

최 종  
연구보고서

T0024366

새만금 유역의  
비점오염원 제어와 관리기술 개발

Development of Nonpoint Source Pollution  
Control and Management Technologies  
for the Saemangeum Watershed

서울대학교 · 전북대학교 · 건국대학교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 6월 20일

주관연구기관명 : 서울대학교  
총괄연구책임자 : 박승우  
세부연구책임자 : 박승우  
연구원 : 김상민 강민구 장민원  
장태일 김학관 조영경  
최라영 황세운 이은정  
신정범 고재영 유승환  
정한석

협동연구기관명 : 전북대학교  
협동연구책임자 : 최진규  
협동연구기관명 : 건국대학교  
협동연구책임자 : 윤춘경



# 요 약 문

## I. 제 목

새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

### 1. 기술적 측면

새만금 유역으로부터 비점오염은 1997년 말 BOD 기준으로 전체 오염부하량의 51%에 달하며, 특히 총인은 84.6%에 이른다. 이중 대부분은 축산계로부터 비롯되며, 토지이용으로부터 BOD 발생부하량은 하루 18,491 kg으로 5.1%로 추정되었다. 한편, 배출부하량은 추가대책이 마련되기 전에는 하루 73,568 kg으로 이중 47%가 비점오염원으로부터 배출되며, 토지이용의 배출량은 하루 7,026 kg으로 전체 배출량의 20%에 달하는 것으로 추정되고 있다.

지금까지 새만금 유역의 비점오염 부하량 저감을 위한 주요 대책은 농경지로부터 비료 사용량을 30%정도 줄이는 것과 친환경농업을 확대 시행하는 것으로 계획하고 있다. 다행히 2003년 말 시비량은 2000년의 250,081톤에서 118,575톤으로 53%정도 감축한 것으로 나타나고 있으며, 이는 2001년도 목표치 30%를 이미 달성한 것으로 평가되었다. 그 밖의 추가적인 대책으로 1) 오염하천정화사업, 2) 만경강생태하천가꾸기사업, 3) 강 살리기 운동 추진, 4) 수질감시체계의 강화 등 다양한 대책을 마련하여 추진하고 있다.

이러한 노력의 결과로서 만경강 수질은 2003년도 하반기에 상당히 개선되고 있는 것으로 나타나, 2003년도 수질은 총인기준 당초목표를 조기에 달성한 것으로 나타나고 있다. 물론 2003년의 기상조건이 다른 해에 비하여 하절기 강수량이 많아 하천수질 관리에 유리한 측면도 전혀 없는 것은 아니지만 새만금호 장래수질의 목표 달성여건이 마련되고 있다는 것이 일반적인 평가이다.

그러나 새만금호의 장래 수질의 개선을 위해서는 지속적인 수질개선노력이 이루어져야한다. 총인(TP)의 경우 오염물질 삭감부하량은 수질보전대책을 통하여 오염물질을 제거하는 것으로 발생부하량의 88%정도를 삭감하도록 하고 있다. 또한 총인오염물질의 배출부하량 중 비점원이 차지하는 비율은 전체의 2/3정도이며, 이중 소규모 축산계(비점원)으로부터 1644kg/일, 토지이용으로부터 572kg/일 등으로 축산농가로부터 비롯되는 양이 상대적으로 높다. 또한 토지이용으로부터는 삭감부하량이 전혀 고려되지 않음을 보여준다.

최근 연구들을 살펴보면 새만금유역의 비점오염 저감대책으로 1) 비료사용량 저감대책, 2) 과학적인 물관리 등을 통한 농경지로부터 오염부하량을 감축하는 것이 중요하다고 보고하였다. 실제로 비료사용량을 30%로 삭감할 경우라도 총인의 부하량은 그보다 작은 비율의 감축 효과만을 보여줄 것으로 예측하였는데, 그것은 논으로부터 흘러나오는 비료성분이 시비량과 선형적인 비례관계를 보이지 않는 데 기인한다고 보고하였다. 이는 농경지에서의 비점오염은 복잡한 기작에 의하여 좌우되기 때문이다. 새만금유역의 비점오염관리를 위해서는 보다 종합적인 측면에서 관리되어야 함을 의미한다.

새만금 유역의 비점오염관리의 주요 목표는 비료성분, 즉 질소와 인을 줄이는 것이다. 지금까지 선행 조사연구 등의 결과로 새만금유역의 오염원 현황자료가 구축되었고, 포장단위의 농업비점오염을 실험적으로 구명하고, 상류유역 주요 측점에서 수질자료가 조사되었다. 유역규모에서의 오염물질 운송기작과 이로 인한 하류수질에 미치는 영향 등에 대한 모델링 등의 연구도 시행 중에 있다. 다만, 비점오염의 제어 및 관리기법에 대한 조사연구는 거의 없는 것이 현실이다.

결국 새만금 유역의 비점오염의 효과적인 저감과 관리를 위해서는 이 지역에 적합한 방안을 모색하고, 그 기술의 효과와 실용성을 동시에 평가하며, 어떻게 현장에 적용할 것인가를 종합적으로 제시하는 기술개발이 시급히 이루어져야 할 것이다.

## 2. 경제·산업적 측면

새만금호 수질개선 대책 중 상류유역의 오염저감대책은 대략 1조 2천억원 정도의 예산이 소요된다. 이를 통해서 약 325천 kg/일의 BOD를 삭감하도록 하고 있다. 반면에 비점오염 저감 대책에는 일부 비점오염 상태로 배출되는 축산분뇨 처리를 제외하고는 뚜렷한 노력을 기울이

지 않고 있는 실정이다. 실제로 BOD 기준 비점오염 발생량은 185천 kg/일이며 농경지 등 토지계로부터 2만 kg/일이므로 단순히 점원오염 삭감에 소요되는 비용과 비교해 보더라도 상대적으로 거의 노력이 이루어지지 않고 있다.

그런데 비점오염 부하량의 상당부분은 주로 폭우시 하천과 강으로 유출되어 새만금호로 유입되게 된다. 점원오염이 연중 거의 일정하게 배출되는 특징과 비교할 때, 비록 그 농도에서는 점원오염에 비하여 작은 양이라고 할지라도, 총량에 있어서는 무시할 수 없는 양이며, 전체 수체에 직접적인 영향을 미치게 된다. 결국 비점오염에 의한 호소 수질의 영향이 매우 중요한 것은 지금까지 국내외 호소수질관리에서 항상 지적되어 온 것이 사실이다.

비점오염은 점원오염과는 달리 수처리 등에 의한 효과적인 제거가 어렵다. 이는 오염물질의 배출경로가 불특정하기 때문이며, 또한 농경지 등으로부터 배출되는 비점오염물질의 농도 역시 상대적으로 낮아 처리효율에서도 낮을 수밖에 없다. 가장 효율적인 비점오염 저감방법으로는 발생원이나 그 부근에서 줄이는 것으로 알려져 있다. 따라서 비점오염의 제어와 관리는 BMP의 시행이 경제적으로 효과적인 것으로 나타났다.

새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 기술개발은 장래 새만금호의 목표수질의 달성을 위해 매우 중요한 수단이다. 정부대책에 포함된 호소 수질개선대책의 소요예산은 3천억원 정도로 추정하고 있으며, 그 상당부분은 상류유역에서 발생하는 비점오염의 제어와 관리가 이루어지면 그 만큼 더 경제적으로 대처가 가능한 것이 분명하다.

유역 비점오염물질의 적절한 제어와 관리가 이루어지지 않으면 대부분의 오염물질은 하류에 위치한 새만금호로 유입되어 호소부영양화의 원인 물질이 될 수 있다. 상류로부터 호소내로 흘러들어가는 토사의 대부분은 호소 내에서 침전되며, 토사에 부착된 영양물질 특히 비용해성 인산질은 용출 등의 과정을 통해 수체의 수질오염에 작용된다. 그밖에도 홍수유출과 함께 유입되는 오염물질은 대용량 호소 수질오염의 주요 원인으로 알려지고 있다. 따라서 새만금호의 수질관리를 위해서는 상류유역에서의 비점오염 제어와 관리가 가장 효과적인 방안이 될 것이다.

새만금호의 장래 수질이 단순히 목표수질을 만족하는 데 머물지 않고 더욱 개선된 수준으로 유지된다면, 농업용수 등 제한적인 목적 이외에 타용도로 수자원을 활용할 수 있을 것이다. 새만금 내부개발계획이 논의되는 시점에서 농업 이외의 타목적으로 새만금의 토지자원이 이용

될 경우에는 여기에 필요한 수자원을 확보하여야하며, 이때 새만금호의 수질은 수자원이용에 있어서 주요 제한 인자가 될 것이다. 결국, 새만금 상류유역의 비점오염제어 및 관리기술은 새만금호의 수질개선을 통해 수자원의 효율적 이용 측면에서도 매우 효과적이다.

### 3. 사회·문화적 측면

새만금호 장래수질이 목표수질 (IV급수)을 충족하는 지 여부는 그동안 새만금사업 찬반논쟁 등 사회적 갈등을 야기해 왔다. 또한, 일부 환경단체 등에서는 정부의 수질관리대책의 실현가능성 등에 대하여도 의문을 제기하고 있는 것이 현실이다. 심지어 수질관리 주무부서인 환경부에서는 지금까지의 상류유역 수질보전대책을 충실히 실천한다고 하여도 새만금호, 특히 만경수역의 수질이 목표수질에 못 미칠 수 있다고 공언하고 있는 것도 현실이다. 결국 경제적으로 타당하면서도 그 효과가 확실한 추가적인 수질보전대책이 강구되어야 할 것으로 평가되고 있다. 이러한 사회적 갈등 해소의 측면에서 새만금 상류유역의 비점오염 제어와 관리기술의 개발이 필요한 것은 자명하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토, 새만금유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링, 최적관리기법 (BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석, 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가, 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발, 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석, 새만금 토지이용방법의 개선 등을 통하여 새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술을 개발하는데 목적이 있다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 2004년부터 2007년까지 3개년에 걸쳐서 실시되었으며, 본 연구의 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

#### 1) 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토

##### (1) 기존 새만금 상류유역 비점오염 추정결과의 평가 분석

① 환경부(1999), 새만금사업 환경영향민관공동조사단(2000) 등의 새만금 상류유역 비점오염 부하량, 배출량 자료의 검토

##### ② 새만금 유역 비점오염 부하량의 시공간적 특징 분석

##### (2) 목표년도(2012년) 새만금 상류유역 비점오염 배출량 예측결과 평가

##### ① 기준년도의 예측결과와 그동안의 변화상황의 비교 평가

##### ② 축산계 비점오염원의 변화추세 평가

##### ③ 친환경농업 추진 계획 대 실적 비교 평가

##### (3) 비점오염 삭감대책의 타당성 검토

##### ① 시비량 절감 계획과 실적 및 그 효과 평가

##### ② 소규모 축산시설의 자원화 추진 상황의 평가

##### ③ 친환경농업으로 인한 비점오염 저감효과 평가

#### 2) 새만금유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링

##### (1) 토지이용, 토양에 따른 비점오염 부하량 조사

##### ① 농촌유역(논, 밭, 축산계)의 시기별 오염부하량 측정

##### ② 관개 및 비관개 논에서의 비점오염 부하량 비교분석

##### ③ 도시지역 환경용량 조사 및 산정

##### (2) 주요 토양통별 경사지 토양유실 및 비점오염 부하량 추정

##### ① 새만금유역의 RUSLE2의 강우입력자료 산정

##### ② 밭작물 작부체계조사 및 작물인자 추정입력자료 산정

##### ③ 토양유실량 및 비점오염 부하량 모의

##### (3) 시험유역 선정 및 비점오염 모니터링



- ① 시험유역 선정
- ② 토지이용형태별 비점오염 배출량 모니터링 (수문, 수질 모니터링)
- ③ 시험유역 작부체계 및 영농 조사 (시비량 등)
- ④ 시기별 비점오염 부하량, 배출량 특성분석

3) 최적관리기법 (BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석

- (1) 기존의 BMP시설 운영실태 조사 분석
  - ① 비점오염관리를 위한 BMP 설계자료 수집
  - ② 국내 BMP 현장답사 및 운영실태 조사
- (2) BMP 시설의 비점오염 저감효과 조사 분석
  - ① 대상 BMP 시설의 선정 및 현장조사계획 수립
  - ② 수질조사 및 분석
  - ③ 운영효율 및 비점오염 저감효과 분석
- (3) 외국의 BMP 설계제원조사 및 국내 적용 타당성 제시
  - ① 비점오염 관리 목적의 Wet land 현지조사
  - ② 설계 및 운영제원 검토
  - ③ 국내 적용방안의 검토

4) 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가

- (1) 기존 비점오염 적용사례조사 및 비교 평가
  - ① 국내 시험유역 적용사례조사
  - ② 새만금유역 비점오염모델링 연구결과 비교
- (2) 비점오염 모델링 개발 및 적용
  - ① 비점오염 모델의 선정 또는 개발 (관개는 적용성 보완)
  - ② 시험포장 및 시험유역자료를 이용한 모델의 적용성 평가
- (3) 새만금 유역 비점오염 모델링
  - ① 기존의 새만금 유역 수질데이터베이스 및 GIS 자료수집

- ② GIS 및 데이터베이스의 보완
- ③ 새만금 유역 비점오염 모델링
- ④ 기존 연구결과와의 비교평가

5) 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발

- ① 농경지 비점오염제어기술 평가
- ② 도시지역 비점오염 제어기술 평가
- ③ 새만금 유역 BMP 선정 및 평가
- ④ 유역비점오염 모델링 결과에의 적용
- ⑤ 유역비점오염 관리를 위한 BMP 실천계획 수립 및 관계기관 협의
- ⑥ 새만금 유역 비점오염관리효과의 정량화
- ⑦ 장래 새만금 유역 비점오염총량 예측 및 평가

6) 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석

- ① 새만금 상류유역의 농업경영 형태조사
- ② 비점오염 제어관리 계획에 대한 경제·사회적 평가분석

7) 새만금 토지이용방법의 개선

- ① 새만금 내부개발 적용가능 BMP의 선정
- ② 초생배수로 및 자연형 습지 수질개선효과 분석
- ③ 새만금 토지이용계획에의 적용방안의 제시

## IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구결과

본 연구의 최종적인 연구개발 결과를 정리하면 다음과 같다.

#### 1) 새만금 유역의 비점오염 부하량 측정 및 기존 삭감대책 타당성 검토

새만금유역의 여건변화 조사 및 분석, 새만금유역의 물수지 분석, 새만금유역의 상류하천 수질예측 및 평가, 새만금 담수호 수질예측 및 평가, 새만금 수질보전대책 개선방향 제시 등의 연구결과를 통하여 기존 새만금 상류유역의 비점오염 추정결과와 평가 및 개선방향이 제시되었으며, 목표연도(2012) 비점오염 배출량 및 부하량 등을 예측하여 새만금호의 수질에 미치는 영향이 분석되었다. 기존 비점오염 삭감대책의 타당성 검토를 위해 새만금 유역의 농업경영현황 조사를 통해 그 형태를 분류하였고, 농업경영형태별로 토양관리기법과 가축분뇨 관리방법 등의 농가조사를 실시하여 비점오염 관리실태를 파악하였다.

#### 2) 새만금 유역 비점오염 현장 조사 및 시험유역 모니터링

농촌유역 비점오염 모니터링을 위하여 시험유역 지점을 만경강유역과 동진강유역으로 구분하여 지점을 선정하여 농업유역의 비점오염 모니터링을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 도시지역의 오염부하량 산정을 위해 합류식 지역과 분류식 지역에 각각 지점을 선정하여 비점오염 모니터링을 실시하여 도시지역의 비점오염 유출특성을 분석하였다. 또한 작부체계의 변화에 따른 토양유실량 변화를 추정하기 위해서 새만금유역 발토양의 작부체계에 관련된 통계자료를 종합하여 시군별 발작물의 작물경작인자를 산정하였고, GIS를 연계한 토양유실량 추정모형을 적용하여 새만금 상류유역의 토양유실량을 추정하고 평가하였다. 새만금담수호 퇴적분포 분석을 위해 2차원 수치모형을 이용하여 위치별, 시간별 수위 및 2차원 유속분포, 퇴적량 및 퇴적량의 공간적인 분포를 분석하였다.

#### 3) 최적관리기법(BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석

현장답사와 문헌조사 등을 통해 BMP의 운영실태를 조사하고 비점오염관리를 위한 BMP 설계자료를 수집하였다. 비점오염 저감시설의 운영효율 및 저감효과를 분석을 위해 주요 비점오염 저감시설을 선정하고 이에 대한 현장 모니터링을 실시하였으며 국내 적용 타당성을 분석하

였다.

#### 4) 새만금 유역 비점오염 모델 개발 및 적용성 평가

새만금 유역 비점오염 모델 개발 및 적용성 평가를 위하여 새만금 유역의 수문자료 및 수질 자료, 지형자료 등을 구축하였으며, AGNPS, CREAMS-PADDY, SWMM, WinHSPF 모델을 이용하여 새만금 유역의 비점오염량을 추정하고 저감대책에 따른 효과를 분석할 수 있는 시스템을 구축하고 적용성을 평가하였다.

#### 5) 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발 및 새만금 토지이용방법의 개선

농경지 및 도시지역의 지점오염을 제어할 수 있는 기술을 개발하고 그 적용성을 평가하였으며, 새만금 유역 및 새만금 내부에 적용 가능한 BMP를 선정하고 구축된 시스템을 이용하여 선정된 BMP에 의한 비점오염관리 효과를 정량화하고, 이를 이용하여 장래 새만금 유역 비점오염총량을 예측하고 평가하였다.

#### 6) 새만금 유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석

새만금 유역에 포함되는 행정구역을 대상으로 농업경영 형태와 형태별 토양관리방법, 가축분뇨 관리방법 등의 농가조사를 통하여 농업인의 비점오염원 관리 실태를 분석하였으며, 제작비용 및 연간 유지관리비 등 유역별 연간 소요되는 비점오염 제어관리 비용을 산정하여 비점오염제어 관리 계획에 대한 경제성을 평가하였다.

## 2. 활용계획 건의

이상의 결과로부터 활용계획을 요약하면 다음과 같다.

### 1) 원단위 비점오염 부하량의 정량화

국내의 토지이용으로부터 비롯되는 비점오염 총량의 추정은 주로 원단위법을 적용한다. 본 연구에서는 농경지의 경사도, 토양, 영농방식 등에 따른 오염부하량을 정량화하고, 도시지역의 우수배수로부터 비롯되는 오염부하량 등 기초자료를 현장조사결과로부터 제시함으로써 비점오염 부하량 추정 기술의 향상에 활용될 것이다.

## 2) 비점오염 모니터링 기술의 활용

비점오염의 관리를 위해서는 정량적인 비점오염 모니터링 기술이 확립되고 이를 바탕으로 BMP 등 저감대책을 마련할 수 있다. 비점오염 모니터링은 점원오염원에 비하여 복잡하고 어려운 것이 사실이며, 우리나라 영농형태 및 토지이용 특성에 맞는 샘플링 주기 및 방법 등에 대한 기술 확보가 필요하며, 본 연구의 결과는 이 분야를 선도하는 기술로 활용할 수 있을 것이다.

## 3) 비점오염 모델링 기술의 확보 및 응용

국내의 유역비점오염의 추정에서 외국에서 개발된 비점오염모델을 활용하는 데 있어서는 1) 논 등의 영농형태에 적합한 모델이 개발되어야 하고, 2) 모형의 매개변수에 대한 정량적인 자료들이 마련되어야 하며, 3) 벤치테라스나 포장 경계 등 우리나라 농경지 형태에 따른 비점오염 유출기작을 감안할 수 있도록 해야 할 것이다. 본 연구의 결과는 이와 같은 국내 여건에 적용 가능한 비점오염 모델을 개발함으로써 이 분야의 기술발전에 기여하고, 유사한 유역 비점오염 관리계획 등에 활용될 수 있을 것이다.

## 4) 환경친화적 농업을 위한 기술의 활용

국내의 친환경농업에 대한 소비자 수요가 점차 증가하는 추세이며, 환경친화적 농업의 정착도 쾌적한 국토환경조성을 위해 반드시 달성해야 할 목표이다. 농경지로부터 오염부하량을 줄이고 배출량을 저감하기 위한 기술개발은 이 분야의 기술에 활용될 수 있을 것이다.

## 5) 새만금 유역의 수질보전대책에 활용

본 연구의 결과는 관련 대책에 반영되어 새만금유역의 수질보전에 기여함은 물론 장래 새만금호 수질을 획기적으로 저감하는 데 활용될 수 있을 것이다. 새만금호의 장래수질이 목표수질에 못 미칠 수 있다는 점은 그동안의 새만금사업 찬반논쟁이라는 사회적 갈등의 중심에 있어 왔다. 따라서 새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 제어기술개발은 이와 같은 사회적 불신을 해소하는 데 기여할 수 있을 것이다.

6) 새만금 토지이용계획에의 활용

새만금 토지이용계획이 조기에 확정되고 이에 부응하는 친환경적 농업기술과 비점오염 제어관리기술의 개발은 친환경적 새만금사업의 목표를 실천하는 데 유리한 결과이며 비점오염으로 인한 추가적인 수질악화를 사전에 막을 수 있는 데 활용될 수 있을 것이다.

여 백

# SUMMARY

## I. THE TITLE OF THE PROJECT:

Development of Nonpoint Source Pollution Control and Management Technologies for the Saemangeum Watershed

## II. THE OBJECTIVES AND JUSTIFICATION OF THE PROJECT

### 1. Technical Aspects

Nonpoint source (NPS) pollution is reported to be a major source of pollutant loads in the Saemangeum Watershed. As of 1997, the NPS pollution loads constituted fifty-one percent of the total generated loads. Moreover the eighty-four percent of the total phosphorous (TP) was attributed to the nonpoint sources. Major portions of the NPS pollution come from livestock industry in the regions, while only 5.1% of the total biochemical oxygen demand (BOD) loads is directly generated from the land use. The discharge pollution load after various treatments and control measures were taken to reduce the generated load was estimated to be 73,568 kg in a day before the comprehensive water quality improvement programs by the Government were implemented. Among them, forty-seven percent came from NPS, while twenty percent was estimated to be originated from land uses.

Major counter-measures to reduce the generated NPS loads in the Saemangeum watershed consist of the thirty percent reduction in chemical



fertilizer applications and the expanding implementation of environmental friendly farming practices. Fertilizer application rates had been reduced from 250,081 ton in 2000 to 118,575 ton in 2003, which was the fifty-three percent reduction since the measures were taken. Additional measures to further reduce NPS pollution include 1) Polluted River Purification Project, 2) Eco-Friendly Mangyung River Preserving Project, 3) Campaign for River Saving, and 4) Enforcement of Water Quality Monitoring Systems.

The efforts to improve river water quality have resulted in significant improvement of the water quality of the Mangyung River. The target of the river water quality has already been achieved in 2003 when the annual averaged TP concentration was considered. The weather conditions in 2003 may help improve the river water quality as compared to normal year, having more rainfall during the summer and evenly distributed throughout the year. It was well recognized that the water quality of the future Saemangeum Lake would meet the targeted level.

Continuing efforts to improve the water quality in the Saemangeum Watershed should be made to ensure the future water quality of the Saemangeum Lake. The targeted reduction rates of TP amounted to be eighty-eight percent of the total generated loads in the watershed by the water quality improvement measures. However, the fact is that the two-third of the generated TP loads comes from nonpoint sources. And the loads from small animal farms were estimated to be 1,644 kg per day, approximately three times more than the loads from land uses. It is also pointed out that no reduction to pollution loads from land uses was accounted.

A recent report showed that important measures to reduce pollution loads from land uses were 1) reduction in fertilizer application rates, and 2) improving water management for paddy irrigation. When fertilizer applications to paddy

fields were to be reduced by thirty percent, TP loads were to be reduced by lesser rate. It was because wash loads from paddies were not directly proportional to the amount of fertilizer applications. That may show how complicated the mechanism of nonpoint source pollutant transport is. More comprehensive approaches need to be considered for effectively controlling nonpoint source pollution in the Saemangeum Watershed.

The major target of nonpoint source pollution controls in the Saemangeum Watershed is to control nutrient loads such as nitrogen and phosphorus. Previous efforts in areas of NPS pollution controls have resulted in the establishment of the followings: The data bases for pollution sources in the watershed, the experimental and theoretical knowledge on agricultural nonpoint source pollution loading and transport in a field scale, and long-term water quality data for streams and rivers in the upstream. Pollutant transport processes in a watershed scale and their impacts on downstream water quality have also been well documented. However, the control and management techniques and strategies for NPS pollution have not yet been clarified, which are considered to be most effective to the Saemangeum Watershed.

In order to effectively and economically control and reduce NPS pollution loads in the Saemangeum Watershed, several problems should be resolved. What are the most effective and appropriate methods to control NPS pollution in terms of technical and economical senses? How are they applied and implemented to the watershed? Efforts need to be made timely to answer the important questions.

## **2. Economical and Industrial Aspects**

The upstream water quality improvement projects for the Saemangeum Watershed cost approximately 1,200 trillion won. They targeted to reduce 325

ton of BOD in a day. NPS pollution loads are not to be reduced except small portions of animal wastes from hog farms. The fact is that NPS pollution loads amount to be 185 ton of BOD per day, among which 20 ton per day is originated from agricultural lands. Point source pollution controls alone may not be feasible nor effective with leaving NPS loads untouched and uncontrolled.

Major portions of NPS pollution loads are washed and transported to the Saemangeum Lake during the direct runoff resulting from heavy rainfall. Point source pollutants are nearly constant throughout a year. NPS loads may be characterized low concentrations but large volume, and significantly impact downstream water quality particularly in large water bodies like lakes and estuaries. This is why NPS pollution is considered to be so important to lake water quality management throughout the world.

NPS pollution is not subject to effectively control by water treatments, which may be considered to be a major different condition compared to point source pollution. It is due to the fact that no definite paths of pollutant transport may be identified. In addition, most NPS pollution loads are low in concentration and any attempts to treat NPS pollution laden flow are not justifiable. The most effective control measures for NPS pollution are to reduce and manage where it is originated or near the areas. This may support the fact that the best management practices (BMP) are most effective methods to technically and economically control NPS pollution problems.

It is important to ensure the targeted water quality of the future Saemangeum Lake that proper techniques are to be developed to control NPS pollution in the Saemangeum watershed. Approximately 300 billion won is estimated to be required to install and implement water quality improvement measures in the Saemangeum Lake. Unless NPS pollution control is successfully implemented in the Saemangeum Watershed, such investment would not be successful to meet

the targeted lake water quality.

When proper measures to control NPS pollution in the Saemangeum watershed are not taken, most of pollutants are to be washed and transported to the Saemangeum Lake, and to cause the lake eutrophication and degrade the water quality. Most of sediment is originated from the upstream and transported to the lake, and eventually settles and deposits on the bottom of the Lake. Nutrient components attached to sediment particles are to be diluted to the water bodies and may trigger the degradation of water quality. As has been mentioned above, pollutants during fresh flood are to cause additional water quality degradation. This may suggest that NPS control measures in the upstream areas are the most effective means to keep the lake water quality in tact.

When the water quality of the future Saemangeum Lake is to be better than the targeted level, the water resources may be used for the purposes other than irrigation. The multiple uses of the water resources would add more values than the proposed water use. That may be a significant step to be taken in the future. Recently, the Saemangeum land use plans reveal that up to fifteen percent of the total reclaimed areas are used for industrial and tourist parks. The water resources for those land development are not available, nor developed in the foreseeable future. When the Saemangeum Lake supplies water resources to meet the additional needs, it would save significant budget to develop new water resources. It would entirely depend on the water quality of the future Saemangeum Lake.

### **3. Social and Cultural Aspects**

Whether the water quality of the future Saemangeum Lake meets the target level (Class IV) has been one of the issues and concerns in long-lasting debates

on the project. Non-government organization (NGO) groups, particularly citizen advocates for the environmental preservation, have questioned and challenged the feasibility of the government policy to the water quality improvement projects. They have claimed that the water quality of the future Lake fails to meet the water quality standards, regardless of water quality measures. They justified their claims by referring the notorious failure of the Shiwha Lake, which was once significantly degraded with heavy outfalls from untreated industrial wastes. The Ministry of Environment which is the authorities concerned on the water quality programs, has issued the reports that the water quality of the future Saemangeum Lake, particularly the Mangyung Water Body, would not meet the targeted water quality standards. This may lead to the conclusions that additional measures may be taken to ensure the water quality of the future Lake. In order to resolve such the social conflicts, the efficient measures to control NPS pollution in the upstream to the Lake should be explored and implemented successfully.

This study is primarily to develop adequate and feasible control measures and management techniques for the NPS pollution in the Saemangeum Watershed. For the purposes, this study covers a broad range of scopes which cover the estimation of NPS pollution loads in the watershed, the analyses of the feasibility of existing NPS pollution control measures, the field monitoring of NPS pollution on-site and of experimental drainage basins, the field monitoring of the best management practices (BMP) which have been established by the Ministry of Environment to control and reduce NPS pollution loads and analyses of their feasibility to the watershed, the development and applications of NPS pollution models that are applicable to the watershed, the development of NPS pollution control measures applicable to the watershed, and the feasibility of proposed measures of the NPS pollution control, and the feasibility of land uses

in the Saemangeum.

### III. CONTENTS AND SCOPE OF RESEARCH PROJECT

This study has been implemented for three years from June, 2004 to June, 2007. The contents and scopes of the study are as follows:

1) Estimation of NPS pollution loads in the watershed and the feasibility of existing NPS pollution control measures

(1) Reviewing the existing NPS pollution load estimates in the Saemangeum Watershed

① Review of the NPS pollution generated and discharged loads by the Ministry of Environment and The NGO-GO Collaboration Committee for the Environmental Impacts of Saemangeum Project.

② Analyses of temporal and spatial characteristics of the NPS pollution loads in the Saemangeum Watershed

(2) Evaluating the estimated NPS pollution discharged loads from the Saemangeum Watershed in the target year of 2012

① Evaluation of the estimated results for the target year and the changes during the past years since the last estimation

② Evaluation of the trends in recent NPS pollution loads in animal industries in the watershed

③ Comparison of the planned and implemented environmentally friendly agriculture in the watershed

2) Field investigation of the NPS pollution in the Saemangeum Watershed and

## Monitoring of experimental watersheds

### (1) Investigation of NPS pollution loads from land use and soils

① Measurements of seasonal pollution loads of rural watersheds (paddy, upland, and animal farms)

② Comparison of NPS pollution loads from irrigated and rain-fed paddies during growing seasons

③ Investigation of environmental capacities of city areas

(2) Estimation of soil losses and generated NPS pollution loads from major soil series in the watershed

① Estimation of rainfall erosivity factors for RUSLE2

② Investigation of cropping patterns and estimation of cropping management factors

③ Estimation of soil losses and NPS pollution loads

(3) Selection of experimental watersheds and field monitoring of NPS pollution loads

① Selection of experimental watersheds

② Hydrologic and water quality monitoring of discharged NPS pollution loads from various land use patterns

③ Investigation of cropping management practices and fertilizer application rates

④ Analyses of seasonal characteristics of generated and discharged NPS pollution loads

3) Field monitoring of the Best Management Practices (BMP) and their feasibility of adaptation to our country

### (1) Investigation of operational features of existing BMP and facilities

① Collection of design documents for BMP

- ② Overview of existing BMP and operational features
- (2) Investigation of reduction efficiency of NPS pollution loads for BMP
  - ① Selection of targeted BMP
  - ② Water quality sampling and analyses
  - ③ Investigation of operational characteristics and the reduction efficiencies of NPS pollution loads
- (3) Investigation of BMP design features in developed countries and their applicability to our country
  - ① Investigation of wetlands for NPS pollution controls
  - ② Investigation design and operational characteristics of wetlands
  - ③ Review of their applicability to our country
- 4) Development of NPS pollution models for the Saemangeum Watershed and analysis of their applicability
  - (1) Investigation of NPS models applied and comparison of their applicability
    - ① Review of NPS models applied for experimental watersheds in literature
    - ② Comparison of those models to NPS pollution models for the Saemangeum Watershed
  - (2) Development of NPS pollution models and applications
    - ① Development (modification) of NPS pollution model applicable to irrigated paddies
    - ② Applications of the model to experimental fields and watershed data
  - (3) Modeling of NPS pollution for the Saemangeum Watershed
    - ① Collection of water quality databases and GIS data for the Saemangeum Watershed
    - ② Updating and modifications of GIS and databases
    - ③ NPS pollution modeling of the Saemangeum Watershed



④ Comparison of the results with existing data

5) Development of control measures for NPS pollution in the Saemangeum Watershed

① Evaluation of NPS pollution control measures for farm lands

② Evaluation of NPS pollution control measures for urban areas

③ Selection and evaluation of BMP for the Saemangeum Watershed

④ Applications of BMP effectiveness in watershed NPS modeling

⑤ Development of BMP implementation plans for NPS pollution control

⑥ Quantification of NPS pollution controls on the Saemangeum

Watershed

⑦ Prediction and evaluation of future NPS pollution loads in the Saemangeum Watershed

6) Socio-Economical Feasibility Analyses of NPS pollution control plans for the Saemangeum Watershed

① Investigation of agricultural economics in the Saemangeum Watershed

② Analysis of socio-economical evaluation of NPS pollution control measures

7) Reform of Land Uses in the Saemangeum

① Selection of BMP applicable to the Saemangeum

② Analysis of water quality improvement effects of vegetated drainage canals and natural wetlands

③ Proposed BMP applications to the Saemangeum

## IV. RESULTS OF THE RESEARCH AND RECOMMENDATIONS

### 1. RESULTS OF THE RESEARCH

The followings are the summary of the final results of the study:

1) Estimation of NPS pollution loads in the watershed and the feasibility of existing NPS pollution control measures

The changes in the Saemangeum Watershed were investigated and modeled to reflect their implications to the future Saemangeum Watershed conditions. The revised water balancing was implemented using Tank model and water budgeting methods for the Watershed, which included the impacts of the water diverted from the neighboring Yongdam Dam. The results were incorporated to water quality modeling of the upstream river reaches in the Watershed. The water quality of the future Saemangeum Lake was modeled and forecasted. The results were adopted to upgrade the Saemangeum water quality improvement programs by the Government. The projected NPS pollution loads were estimated and the water quality improvement programs were proposed. The results were incorporated to forecast the water quality of the future Lake in the target year (2012). In efforts to evaluate the feasibility of existing NPS pollution control measures, the agricultural management status was investigated and classified their patterns, and soil management practices and animal manure management data were analyzed using farm survey. The results led to the present status of how the NPS pollution was managed on farm levels. The proposed fertilizer reduction plans were checked with the relevant agricultural survey results, and their effects on water quality were analyzed.

2) Field investigation of the NPS pollution in the Saemangeum Watershed and Monitoring of experimental watersheds

Two small watersheds were selected, each in the Mangyung and Dongjin River basins for monitoring NPS pollution loads. The monitoring results were analyzed to characterize the seasonal variations of NPS pollution loads as affected by irrigation systems, cultural management, and soils. The NPS pollution loads from two different urbanized zones were field monitored and their characteristics analyzed. The regionalized cropping management factors (C factor) were estimated from cropping patterns in Guns and Cities. The results were incorporated to a GIS-based soil loss estimation model, which was used to estimate annual averaged soil losses in the Watershed. Sediment yield was estimated using the gross erosion and sediment delivery ration method. The estimated sediment yield was compared satisfactorily with the observed data. The incoming sediment yield would be deposited in the Saemangeum Lake, and the deposition patterns were simulated using two-dimensional hydrodynamic model coupled with flow velocity and sediment transport.

3) Field monitoring of the Best Management Practices (BMP) and their feasibility of adaptation to our country

Extensive literature reviews and field survey to BMP facilities on sites were implemented. Existing BMPs were selected and field monitored to estimate their pollution reduction efficiency. And their design features were reviewed to evaluate their applicability to our country and modifications to improve the efficiency were proposed.

4) Development of NPS pollution models for the Saemangeum Watershed and analysis of their applicability

To develop watershed models applicable to the Watershed, hydrologic and water quality data, topographic and soil data, and land use data were collected and incorporated to GIS database systems. AGNPS, CREAMS-PADDY, SWMM, WinHSPF models were used to simulate the NPS pollution loads in the Watershed. And NPS pollution management system was developed and tested for the applicability, which were capable of simulating the effects of any NPS pollution control and management measures on the water quality of the Watershed and the Saemangeum Lake.

5) Development of control measures for NPS pollution in the Saemangeum Watershed

The techniques to control rural and urban NPS pollution loads were developed and their applications tested. The BMPs applicable to the Watershed and the Saemangeum were selected and their effects on the water quality were evaluated using the management system. The system was applied to forecast and simulate the total pollution loads from the future Saemangeum Watershed.

6) Socio-Economical Feasibility Analyses of NPS pollution control plans for the Saemangeum Watershed

The agricultural management patterns, soil management, and animal waste management were investigated using farm surveys in Guns and Cities in the Watershed. The economical feasibility analyses for BMP installation and

operation costs were made, and the economics of NPS pollution control measures were evaluated.

## **2. RECOMMENDATIONS FOR THE RESULT APPLICATIONS**

The recommendations for the feasible applications of the study results are summarized as follows.

### **1) Quantifications of Unit Load NPS Pollution Loads**

Unit load methods are widely used for estimating NPS pollution loads from land uses. This study quantified the NPS pollution loads from land slopes, soils, and cropping manage in rural areas based on field monitoring, and from drainage systems at urban areas. Such results are useful to the improvement of pollutant load estimation techniques.

### **2) Applications of NPS Pollution Monitoring Technology**

NPS pollution monitoring is considered to be the essential steps to quantify the pollution loads and the effectiveness of BMP installation. NPS pollution monitoring requires corporative efforts from multi-disciplinary sectors, and is more complicated than typical point source monitoring. Effective NPS pollution monitoring system should consider appropriate hydrologic and water quality sampling and analyses that are tailored to agricultural practices and land uses. The results from this study should be useful to improve the monitoring system design and operation.

### **3) Establishment of NPS Pollution Modeling Techniques and Their**

## Applications

Existing NPS pollution models developed in other countries should be locally modified before applying to our conditions. Major efforts needed for modifications are: 1) The models should be capable of applying to local agricultural practices, 2) the model parameters should be quantitatively justified to the local conditions, and 3) the models should consider local topography like bench terraces, farm borders, and irrigation systems. The proposed NPS models in the study consider the local conditions and adequate parameters for typical land use and treatments. That should promote the technical advancement of NPS modeling, and the results should be adopted in future watershed modeling efforts.

### 4) Applications to Environmentally Friendly Agricultural Practices

The environmentally friendly agricultural practices have gained popularity and the demands for the agricultural products are growing. Such practices should be considered to the future farming practices in order to improve overall environmental quality. The techniques to control NPS pollution loads from farm lands and to reduce the discharged loads using BPS installation should be valuable to the relevant technologies.

### 5) Applications to the Water Quality Improvement Measures for the Saemangeum Watershed

The results from this study have been incorporated to the counter measures to the Saemangeum water quality improvement projects and further should be

used for substantial reduction of pollution loads to the future Saemangeum Lake. The water quality of the future Saemangeum Lake has been a major public concern and issue, which have led strong and persistent NGO's opposition. It has been in the center of long-lasting court debates till 2006 when the Supreme Court upheld the feasibility of water quality improvement in the Lake. Thus, the results from this study will contribute the improvement of the Lake water quality and will help resolve the social concern of the past two decades.

#### 6) Applications to the Saemangeum Land Use Plans

The land use plans for the Saemangeum have recently been adopted by the Government. The proposed results from this study would be used to lay out the environmentally friendly Saemangeum Project, and be useful to reduce pollution loads further from the present water quality improvement plans. The proposed results would help further ease the probable degradation of the Lake water quality by reducing and controlling NPS pollution more efficiently and comprehensively. Further improvement of the future Lake water quality by implementing the proposed results in the study should be achieved to use the valuable water resources for the planned land uses in the Saemangeum.

# CONTENTS

## Chapter 1. Outlines of Research and Development

Section 1. Introduction .....	4
Section 2. Necessity of Research and Development .....	4
1. Technical Aspects .....	4
2. Economical and Industrial Aspects .....	5
3. Social and Cultural Aspects .....	5
Section 3. Goals and Scopes of Research .....	8
1. Goals and Scopes of Research .....	8
2. Annual Research Objectives and Scopes .....	6
Section 4. Implementation Strategies and Methods .....	6
1. Calculation of Total NPS from the Saemangeum Watershed .....	6
2. Establishment of NPS Countermeasure .....	6
3. Development of NPS Control Technique .....	6
4. Establishment of NPS Countermeasure according to Landuse Plan .....	7
Section 5. Implementation System of Research .....	8
Section 6. Anticipated Effects .....	7
1. Technical Aspects .....	7
2. Economical and Industrial Aspects .....	7
Section 7. Potential Applicability .....	7
Section 8. Composition of Researchers .....	7
Section 9. Summary and Conclusion .....	7

## Chapter 2. Analysis of Hydrologic and Water Quality according to Conditional Changes of Saemangeum Watershed

Section 1. Introduction .....	7
Section 2. Conditional Changes of the Saemangeum Watershed .....	8
1. Investigation of Meteorologic and Hydrologic Data .....	8
2. Cultural, Social, Economy and Pollutant Source .....	8
3. Livestock .....	8



4. Runoff .....	95
5. Water Quality .....	101
Section 3. Development and Application of Watersheds Water Balance Model .....	106
1. Concept of Model .....	106
2. Description of Model .....	108
3. Application of Model .....	134
Section 4. Prediction of the Water Quality of the Future Saemangeum Watershed .....	151
1. Introduction .....	151
2. Pollutant Load .....	151
3. Delivery Load .....	160
4. Modeling the Water Quality of Streamflow .....	162
Section 5 Prediction of the Water Quality of the Future Saemangeum Lake .....	170
1. Introduction .....	170
2 WASP5 Model .....	171
3. Results to Predict the Water Quality of the Saemangeum Lake .....	173
4. Water Quality of the Saemangeum Lake according to the Environmental Countermeasure .....	174
Section 6. Summary and Conclusion .....	179
References .....	183

### **Chapter 3. Estimation of Soil Loss from the Samangeum Watershed**

Section 1. Introduction .....	185
Section 2. Estimation of Soil Loss .....	186
1. USLE (Universal Soil Loss Equation) .....	186
2. Calculation of Crop management factor .....	191
3. Construction of GIS Data .....	193
4. Estimation of Soil Loss from the Samangeum Watershed .....	198
Section 4. Summary and Conclusion .....	200
References .....	201

### **Chapter 4. Analysis of Sediment Distribution for the Saemangeum Lake Using Sediment Numerical Model**

Section 1. Introduction .....	203
Section 2. Description of Numerical Model .....	203

1. RMA2 Model .....	203
2. SED2D Model .....	204
3. Calculation Mesh .....	206
4. Boundary Condition .....	207
Section 3. Application of Sediment Numerical Model .....	20
1. Velocity .....	210
2. Sediment .....	210
3. Changes of the Future Sediment Distribution .....	212
Section 4. Summary and Conclusion .....	216
References .....	217

## **Chapter 5. Monitoring of Agricultural Nonpoint Source Pollution**

Section 1. Mangyeng River Watershed .....	221
1. Selected Site .....	221
2. Monitoring of Hydrology .....	229
3. Monitoring of Water Quality .....	257
Section 2. Dongjin River Watershed .....	262
1. Description of Study Watershed .....	262
2. Monitoring of Hydrology .....	271
3. Monitoring of Water Quality .....	281
4. Discharge and Water Quality of Sumjin Dam .....	305
Section 3. Evaluation of Recycling of Livestock Waste and Improvement measure .....	30
1. General Problems .....	310
2. Recycling of Small-Scaled Livestock Waste .....	30
3. Characteristic of Livestock Waste and Problem of Recycling of Livestock Waste .....	31
4. Goal and Assignment for Recycling of Livestock Waste .....	312
5. Political Improvement Measure .....	33
References .....	314

## **Chapter 6. Calculation of Pollutant Load and Analysis of discharging characteristics of non point source pollution using SWMM model at Urban Area**

Section 1. Analysis of discharging characteristics of non point source pollution using SWMM model at Urban Area .....	317
---	-----

1. Introduction .....	317
2. Method and Construction of Input Data .....	323
3. Results of Discharge and Water Quality Monitoring .....	339
4. Application of SWMM Model and Analysis of Discharging Characteristics .....	367
5. Conclusion .....	392
Section 2. Estimation of Pollutant Load at Urban area .....	394
1. Instruction .....	394
2. Status of the Saemangeum Watershed .....	396
3. Investigation of Development Planning .....	402
4. Investigation of Pollution Source .....	410
5. Estimation of Wastewater Discharge and Generation Load .....	449
6. Estimation of Wastewater Discharge and Discharge Load .....	459
7. Summary and Conclusion .....	478
Section 3. Control measure of Nonpoint Source Pollution Load Using DAF .....	479
1. Introduction .....	479
2. Background and Theory .....	480
3. Material and Method .....	482
4. Result and Discussion .....	484
5. Conclusion .....	493
Reference .....	494

## **Chapter 7. Analysis of removal efficiencies for nonpoint source by BMPs**

Section 1. Introduction .....	508
1. Background of the Research and Research Needs .....	508
Section 2. Literature Research about BMPs to Control NPS Pollution .....	504
1. BMPs Types .....	504
2. Characteristics of BMPs .....	506
3. Examples of BMPs Operation in Home and Abroad .....	540
Section 3. Evaluation for Effectiveness of BMPs Reducing NPS Pollution .....	561
1. Study Sites for BMPs Monitoring in Saemangeum Watershed .....	564
2. Research and Monitoring for BMPs .....	582
Section 4. NPS Model Application for BMPs .....	601
1. NPS Model Application(WinHSPF) .....	601
2. Characteristics of Water Quality in Saemangeum Watershed .....	625
3. BMPs Evaluation by Using WinHSPF .....	636

4. Evaluation of Cost-Effective for BMPs .....	65
5. Proposal of BMPs for Saemangeum Watershed .....	65
Section 6. Summary and Conclusion .....	656
References .....	660

## **Chapter 8. Accessing Impact of Nonpoint Source Pollution by Management Alternatives on Arable Land Using AGNPS Model**

Section 1. Description of Model .....	67
1. Hydrology Model .....	68
2. Soil Loss Model .....	69
3. Nutrient Model .....	70
Section 3. Selected Site and Construction of Data .....	62
1. Select Site .....	62
2. Hydrologic Data .....	673
3. Water Quality Data .....	679
4. Pollution Source Data .....	681
5. Input Parameters .....	681
Section 3. Application of Model .....	65
1. Calibration of Model .....	65
2. Verification of Model .....	62
3. Evaluation of Model .....	65
Section 4. Analysis of Reduction Effectivity According to BMP .....	66
1. BMP Scenario .....	66
2. Analysis of Reduction Effectivity .....	67
Section 5. Summary and Conclusion .....	703
References .....	705

## **Chapter 9. Estimation of Pollutant Discharge from the Samemangeum Watershed**

Section 1. Development of CREAMS-PADDY Model .....	709
1. CREAMS Model .....	709
2. CREAMS-PADDY Model .....	713

3. Verification of CREAMS–PADDY Model .....	723
4. Simulation of Agricultural Pollutant Load from the Saemangeum Watershed .....	728
Section 2. Simulation of Agricultural Pollutant Load Using AGNPS .....	736
1. Development of AGNPS–P .....	735
2. Simulation of Agricultural Pollutant Load Using AGNPS–P .....	742
Section 3. Estimation of Agricultural Pollutant Load .....	744
1. Conditions for Estimating Agricultural Pollutant Load .....	744
2. Results Simulating Agricultural Pollutant Load .....	747
Section 4. Summary and Conclusion .....	750
References .....	752

## Chapter 10. Agricultural Production Processes and Environmental Quality

Section 1. Introduction .....	755
Section 2. Some Features of Agricultural Resource Use in Saemangeum Reclamation Areas .....	756
1. Saemangeum agriculture in brief .....	756
2. Types of farming .....	764
Section 3. Prediction of Non–Point Pollution Sources Resulting from the Various Types of Farming .....	781
1. Methodology for the prediction .....	781
2. Results of the predicted non–point pollution .....	788
3. Comparison of non–point pollutions by the various types of farming .....	788
Section 4. Field Survey for the Chemicals Application and the Stock Manure Disposal .....	789
1. The disposal practices of stock manure in survey sites .....	790
2. Non–point sources by agricultural land use in survey sites .....	795
3. A Case study for non–point pollution management in Bun–Dong rural community .....	799
Section 5. Review of Stock Manure Disposal Policy in Europe and Japan .....	803
1. EU regulations for environmental friendly livestock farming and ‘Agenda 2000’ .....	803
2. Programs and incentives for environmental friendly livestock farming .....	807
3. Background for introducing stock manure disposal policy .....	808
4. Comparison of major policy tools in between EU and Japan .....	809

5. Policy implications .....	809
6. Summary and Conclusions .....	811
References .....	813

## **Chapter. 11 Selecting Target Sites for Non–point Source Pollution Management Using Multiple Criteria Decision Making**

Section 1. Background for Study .....	815
Section 2. Theory for Study .....	816
1. Multiple Criteria Decision Making .....	816
2. Spatial Correlation Analysis .....	822
Section 3. Material and Method .....	825
1. Factor of Non–point Source Pollution .....	825
2. Influencing Index of Non–point Source Pollution .....	827
3. Weight of Each Factor .....	828
Section 4. Application of Study .....	829
1. Study Site .....	829
2. Construction of Data .....	830
3. Result of Application .....	832
Section 5. Analysis of Study .....	833
1. AGNPS Modeling .....	833
2. Agreement Comparison of Management sites .....	834
3. Spatial Correlation Analysis of The Result .....	835
Section 6. Selection Non–point Source Pollution Management sites of Saemangeum Watershed .....	836
1. Watershed Outline .....	836
2. Construction of Minimum Administrative Unit Data .....	837
3. Selecting Management sites of Non–point Source Pollution .....	841
Section 7. Summary and Conclusion .....	843
Reference .....	845

## **Chapter 12. GIS–based TMDL Management System for the Saemangeum Watershed**

Section 1. Introduction .....	849
Section 2. Development of TMDL Management System .....	850

1. Selected Site .....	850
2. Composition and Construction of TMDL Management System .....	851
Section 3. Summary and Conclusion .....	861
References .....	862

## Chapter 13. Goal Achievement and Contribution

Section 1. Research Goal and Estimation .....	865
1. Goal of Research .....	865
2. Key Point of Evaluation .....	867
Section 2. Goal Achievement Rate of Research Development .....	868
1. Estimation of NPS Pollution Loads in the watershed and the feasibility of existing NPS pollution control measures .....	868
2. Field Investigation of the NPS pollution in the Saemangeum Watershed and Monitoring of experimental Watersheds .....	868
3. Field Monitoring of the BMP and their feasibility of adaptation to our country .....	869
4. Development of NPS Pollution Models for the Saemanguem Watershed and Analysis of their applicability .....	869
5. Development of Control Measures for NPS Pollution in the Saemanguem and Reform of Land Uses in the Saemanguem .....	869
6. Socio-Economical Feasibility Analyses of NPS Pollution Control Plans for the Saemanguem Watershed .....	869
Section 3. Contribution Rate of Technique Development for Connected Field .....	870
1. Technical Aspects .....	870
2. Economical and Industrial Aspects .....	871

## Chapter 14. Utilization Plan for the Results of Research

# 목 차

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 서론	47
제 2 절 연구개발의 필요성	48
1. 기술적 측면	48
2. 경제·산업적 측면	56
3. 사회·문화적 측면	57
제 3 절 연구개발 목표 및 내용	58
1. 연구개발목표와 내용	58
2. 연차별 연구개발목표와 내용	61
제 4 절 추진전략 및 방법	64
1. 새만금유역 비점오염총량의 산정	64
2. 비점오염관리대책의 수립	65
3. 비점오염 제어기술개발	66
4. 새만금내부토지이용계획에 따른 비점오염저감대책 수립	67
제 5 절 연구개발 추진체계	69
제 6 절 기대효과	70
1. 기술적 측면	70
2. 경제적·산업적 측면	71
제 7 절 활용방안	71
제 8 절 연구진의 구성	74
제 9 절 요약 및 결론	75

## 제 2 장 새만금 유역의 여건변화에 따른 수문·수질변화 분석

제 1 절 서론	77
제 2 절 새만금 유역의 여건변화	78
1. 기상 및 수문 조사	78
2. 인문사회경제 및 오염원	87
3. 가축사육두수	89
4. 하천 유출	95
5. 하천 수질	101



제 3 절 유역 물수지 모형의 개발 및 적용 .....	106
1. 모형의 기본개념 .....	106
2. 모형의 구성 .....	108
3. 모형의 적용 .....	134
제 4 절 새만금유역의 장래수질 예측 .....	151
1. 개 요 .....	151
2. 오염물질 부하량 .....	151
3. 오염물질 유달부하량 .....	160
4. 하천수질모델링 .....	162
제 5 절 새만금호의 장래수질예측 .....	170
1. 개 요 .....	170
2. WASP5 모형 .....	171
3. 새만금호 수질예측결과 .....	173
4. 새만금호 환경대책에 따른 호소수질 .....	174
제 6 절 요약 및 결론 .....	179
참 고 문 헌 .....	183

### 제 3 장 새만금유역 토양유실량 추정

제 1 절 개 요 .....	185
제 2 절 토양유실량 추정 .....	186
1. USLE (Universal Soil Loss Equation) .....	186
2. 발작물경작인자 산정 .....	191
3. GIS 주제도 구축 .....	193
4. 새만금유역 토양유실량 추정 .....	198
제 3 절 요약 및 결론 .....	200
참 고 문 헌 .....	201

### 제 4 장 수치모형을 이용한 새만금담수호 퇴적분포 분석

제 1 절 개 요 .....	203
제 2 절 수치모형의 개요 .....	203
1. 하천수리해석모형 (RMA2) .....	208
2. 유사운송 및 퇴적모형 (SED2D) .....	204
3. 계산격자망 .....	206
4. 경계조건 .....	207
제 3 절 퇴적수치모형의 적용 .....	210

1. 유속 .....	210
2. 퇴적 .....	210
3. 장래 퇴적분포의 변화 .....	212
제 4 절 요약 및 결론 .....	216
참 고 문 헌 .....	217

## 제 5 장 농업유역 비점오염 모니터링

제 1 절 만경강유역 (이문양수장 지구) .....	221
1. 시험지구 .....	221
2. 수문조사 .....	229
3. 수질조사 .....	257
제 2 절 동진강유역 (산외면 하천유역) .....	262
1. 시험유역 개요 .....	262
2. 수문조사 .....	271
3. 수질조사 .....	281
4. 섬진강댐 유입(방류수)량 및 수질 .....	335
제 3 절 축산분뇨 자원화 평가 및 개선방안 .....	310
1. 일반적인 문제점 .....	310
2. 소규모 축산분뇨 자원화 .....	310
3. 축산분뇨의 특성과 자원화 문제점 .....	311
4. 가축분뇨 자원화의 목표와 과제 .....	312
5. 정책적 개선방안 .....	313
참 고 문 헌 .....	314

## 제 6 장 도시지역의 오염부하량 산정과 비점오염유출특성

제 1 절 SWMM모델을 이용한 도시지역 비점오염 유출특성 해석 .....	317
1. 서 론 .....	317
2. 연구방법 및 입력자료 구축 .....	323
3. 유량 및 수질측정 결과 .....	339
4. SWMM의 적용 및 유출특성 분석 .....	367
5. 결 론 .....	392
제 2 절 새만금 유역의 도시지역 오염부하량 추정 .....	394
1. 서 론 .....	394
2. 새만금 유역현황 .....	396
3. 개발계획조사 및 오염부하량 산정 .....	402

4. 오염원 조사 .....	410
5. 오·폐수발생유량 및 발생부하량 산정 .....	449
6. 오·폐수배출유량 및 배출부하량 산정 .....	459
7. 요약 및 결론 .....	478
제 3 절 비점오염 부하량 제어방안 : DAF공정을 이용한 강우유출수의 비점오염물질 제거 ..	479
1. 서 론 .....	479
2. 이론적 배경 .....	480
3. 재료 및 방법 .....	482
4. 결과 및 고찰 .....	484
5. 결 론 .....	493
참 고 문 헌 .....	494

## 제 7 장 BMPs를 이용한 비점오염원 저감효과분석

제 1 절 서 론 .....	503
1. 연구의 배경 및 필요성 .....	503
제 2 절 비점오염원 저감시설 문헌연구 .....	504
1. 비점오염원 저감시설의 종류 .....	504
2. 비점오염원 저감시설별 특징 .....	506
3. 국내외 저감시설 설치·운영 사례 .....	540
제 3 절 BMPs의 비점오염원 저감효과 분석 .....	564
1. BMPs 대상지구 선정 및 현장조사 .....	564
2. BMPs 현장실험 모니터링 .....	582
제 4 절 모델을 이용한 BMPs의 삭감효율 분석 .....	601
1. 새만금유역의 WinHSPF 모델 적용 .....	601
2. 수질현황과 특성 분석 .....	625
3. WinHSPF를 이용한 BMP 모의 .....	636
4. 새만금유역의 BMPs 경제성 분석 .....	650
5. 새만금유역의 적절한 BMPs 제시 .....	655
제 5 절 요약 및 결론 .....	656
참 고 문 헌 .....	660

## 제 8 장 AGNPS 모형을 이용한 농경지 관리대안에 따른 비점오염 저감 효과 분석

제 1 절 모형의 개요 .....	667
1. 수문모형 .....	668
2. 토양유실 모형 .....	669
3. 영양물질 모형 .....	670
제 2 절 시험유역 및 자료구축 .....	672
1. 시험유역 선정 .....	672
2. 수문자료 .....	673
3. 수질자료 .....	679
4. 오염원자료 .....	681
5. 입력매개변수 .....	681
제 3 절 모형의 적용 .....	685
1. 모형의 보정 .....	685
2. 모형의 검증 .....	692
3. 모형의 평가 .....	695
제 4 절 BMP 적용에 따른 비점오염 저감효과 분석 .....	696
1. 시험유역 BMP 시나리오 .....	696
2. 비점오염 저감효과 분석 .....	697
제 5 절 요약 및 결론 .....	703
참 고 문 헌 .....	705

## 제 9 장 새만금유역의 농경지 오염물질 배출량의 추정

제 1 절 CREAMS-PADDY 모델의 개발 .....	709
1. CREAMS 모델 .....	709
2. CREAMS-PADDY 모델 .....	713
3. CREAMS-PADDY 모델의 검정 .....	723
4. 새만금유역 농경지의 오염물질 부하량 모의 .....	728
제 2 절 AGNPS 모델을 이용한 농경지 오염배출량 모의 .....	736
1. AGNPS-P 모델의 개발 .....	736
2. AGNPS-P 모델을 이용한 농경지 오염배출량 추정 .....	742
제 3 절 농경지 오염물질 부하량 추정 .....	744
1. 농경지 오염물질 부하량 추정조건 .....	744
2. 오염물질 부하량 모의결과 .....	747

제 4 절 요약 및 결론 .....	750
참 고 문 헌 .....	752

## 제 10 장 농업환경경제성 분석

제 1 절 서 론 .....	755
제 2 절 새만금유역 농업현황분석 .....	756
1. 새만금유역 농업현황 .....	756
2. 새만금유역 농업 유형분석 .....	764
제 3 절 새만금 유역의 오염부하량 추정 및 농업유형 구분 .....	781
1. 추정방법 .....	781
2. 오염부하량 추정결과 .....	782
3. 오염부하량에 기초한 농업경영 유형구분 .....	788
제 4 절 비점오염원 실태조사 .....	789
1. 새만금유역 축산농가 축산분뇨처리 실태 .....	790
2. 새만금유역 경종농가 토지이용 유형별 오염원 투입량 조사 .....	796
3. 새만금유역 마을단위 비점오염 관리 실태-정읍시 태인면 분동마을 사례 .....	799
제 5 절 주요선진국의 가축분뇨처리정책과 시사점 .....	803
1. 축산환경보전에 관한 EU의 법제도와 Agenda 2000 .....	808
2. 주요 선진국의 축산환경대책 .....	807
3. 주요국별 환경축산정책의 도입배경 및 경과 .....	808
4. 주요 정책수단의 국별 비교 .....	809
5. 시사점-국내적용 가능성 검토 .....	809
제 6 절 요약 및 결론 .....	811
참 고 문 헌 .....	813

## 제 11 장 다기준 의사결정기법을 이용한 비점원오염 관리지역의 선정

제 1 절 연구 배경 및 목적 .....	815
제 2 절 연구 이론 .....	816
1. 다기준 의사결정기법 .....	816
2. 공간적 자기상관성 분석 .....	822
제 3 절 자료 및 방법 .....	825
1. 비점원오염 기여인자 .....	825
2. 비점원오염 영향지수 (NPSI) .....	827
3. 기여인자별 가중치 산정 .....	828

제 4 절 연구 적용 .....	829
1. 시험유역 .....	829
2. 자료구축 .....	830
3. 연구 적용 결과 .....	832
제 5 절 연구 적용 결과 분석 .....	833
1. AGNPS 모형의 모의 .....	833
2. 관리지역의 격자별 일치도 비교 .....	834
3. 공간적 상관성 분석 .....	835
제 6 절 새만금 유역내 비점원오염 관리지역의 선정 .....	836
1. 유역개요 .....	836
2. 유역내 최소단위구역별 자료구축 .....	837
3. 비점원오염 관리지역의 선정 .....	841
제 7 절 요약 및 결론 .....	843
참 고 문 헌 .....	845

## 제 12 장 GIS를 이용한 새만금유역 오염총량 관리시스템

제 1 절 서 론 .....	849
제 2 절 오염총량 관리시스템 개발 .....	850
1. 대상지역 .....	850
2. 오염총량 관리시스템 구축 .....	851
제 3 절 요약 및 결론 .....	861
참 고 문 헌 .....	862

## 제 13 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 및 평가착안점 .....	865
1. 연구개발목표 .....	865
2. 평가착안점 .....	867
제 2 절 연구개발목표 달성도 .....	868
1. 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토 .....	868
2. 새만금 유역 비점오염 현장 조사 및 시험유역 모니터링 .....	868
3. 최적관리기법(BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석 .....	869
4. 새만금 유역 비점오염 모델 개발 및 적용성 평가 .....	869
5. 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발 및 새만금 토지이용방법의 개선 .....	869
6. 새만금 유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석 .....	869
제 3 절 관련분야의 기술발전예의 기여도 .....	870

1. 기술적 측면 .....	870
2. 경제적·산업적 측면 .....	871

## 제 14 장 연구개발결과의 활용계획

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 서 론

‘새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발’은 농림기술개발 사업 중 핵심전략기술개발과제로서, 2004년 6월 재단법인 농림기술관리센터와 서울대학교간의 연구협정으로 2004년 6월부터 2007년 6월까지 총 3개년에 걸쳐 서울대학교를 주관 연구기관으로 26명의 연구원이 참여하는 학제 간 공동연구로 수행되었다. 본 보고서는 3개년도의 연구 결과를 정리한 최종보고서이다.

핵심전략기술개발과제는 국가차원의 정책 목표 달성을 위해 전략적으로 시급히 개발할 필요성이 있는 중점기술을 핵심전략기술개발과제로 선정하고, 품목별 일괄연구를 추진하여 조기에 실용화, 산업화를 도모하고자 제시되는 기술개발 분야이다.

본 연구는 핵심전략기술개발과제 중에서 자원분야로 새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발을 위해 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토, 새만금유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링, 최적관리기법(BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석, 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가, 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발, 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석, 새만금 토지이용방법의 개선 등의 내용을 포함한다.

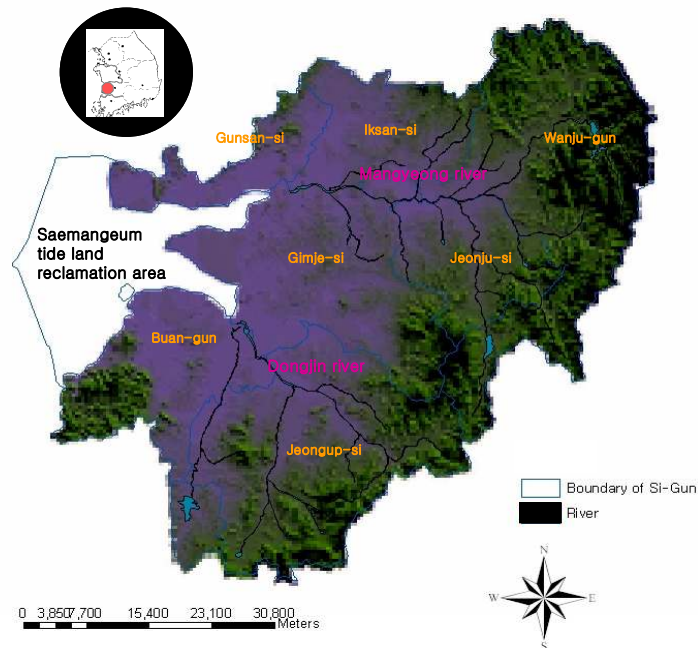
본 장에서는 ‘새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발’ 사업의 연구 배경과 그 필요성을 기술적, 경제/산업적, 사회/문화적 측면에서 살펴보고, 지금까지의 연구개발 실적과 앞으로의 발전과제를 정리하며, 연구 개발의 목표와 내용, 세부 수행방법, 추진계획 등을 정리하도록 한다. 또한, 본 연구의 기대효과를 기술적, 경제/산업적 측면에서 고찰해보고, 연차별 연구목표와 내용, 연구진의 구성과 역할 등을 정리하도록 한다.



## 제 2 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

새만금 유역은 전라북도의 만경강, 동진강과 서해안 일부지역 (이하 서해안유역)으로 총 면적은 2,924km<sup>2</sup>이다 (그림 1-1). 새만금 유역의 토지이용은 1998년 현재 임야 41.7%, 농경지 (논, 밭) 41.3%, 대지 및 기타 3.4%로 구성되며, 타 지역에 비해 농경지의 비중이 높다. 농경지는 논 911.7km<sup>2</sup> (31.2%), 밭 296.3km<sup>2</sup> (10.1%)로서 논의 일부 면적은 벼 추수 후 보리, 밀 등을 재배하는 등 2모작으로 토지 이용률이 상대적으로 높은 지역이다.



(그림 1-1) 새만금 유역 개요

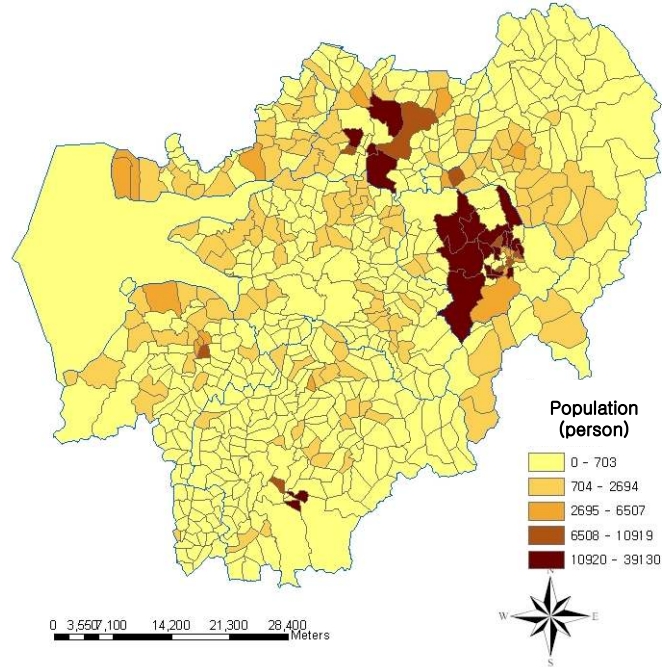
1999년의 새만금사업 환경영향 민관공동조사단은 2001년 3월까지 새만금호의 장래 수질, 환경 및 경제성 등에 대한 그간의 정부관련부처의 계획에 대한 조사 검토를 시행한 바 있다. 그 결과 1999년 6월 새만금호 수질보전종합대책 (환경부, 1999)을 시행할 경우 새만금호의 장래수질은 만경수역의 경우 수질항목 중 총인이 연평균 0.12

mg/l로서 호소수질기준 IV급수 (0.1 mg/l)를 만족하지 못한 것으로 나타났다. 정부에서는 2001년 5월 만경수역의 장래목표수질을 만족하도록 추가적인 수질보전대책을 포함하는 새만금사업 친환경개발을 확정하고 2001년 8월 관계부처별 환경대책 세부 실천계획을 수립하여 추진해오고 있다 (국무총리 수질개선기획단, 2001). 2001년 8월 새만금 수질보전대책의 주요내용은 상류지역의 오염원 저감, 새만금내부친환경간척 및 호소내부 수질개선, 수질모니터링 및 과학적인 물관리체제구축 등을 포함한다. 여기서 상류지역의 오염원 저감을 통한 수질개선으로 하수처리시설 등 환경기초시설 확충, 축산분뇨의 적정처리 및 자원화, 상류지역 비점오염원 저감, 오염총량관리제도 시행, 분뇨, 정화조 오니수거율 제고 등의 사업을 포함하고 있다. 이와 같은 수질보전대책이 확실히 추진될 경우 새만금호의 장래수질은 농업용수로 이용에 문제가 없는 것으로 예상하고 있다.

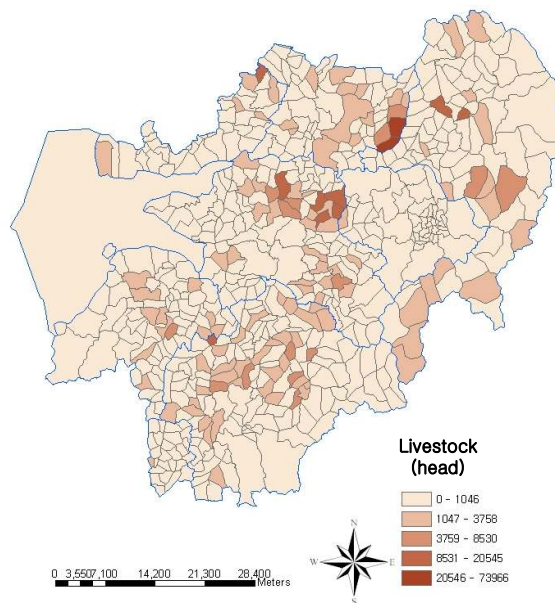
새만금 유역으로부터 비점오염은 1997년 말 BOD 기준으로 전체 오염부하량의 51%에 달하며, 특히 총인은 84.6%에 이른다 (농어촌연구원, 1997). 이중 대부분은 축산계로부터 비롯되며, 토지이용으로부터 BOD 발생부하량은 하루 18,491 kg으로 5.1%로 추정되었다. 한편, 배출부하량은 추가대책이 마련되기 전에는 하루 73,568 kg으로 이중 47%가 비점오염원으로부터 배출되며, 토지이용의 배출량은 하루 7,026 kg으로 전체 배출량의 20%에 달하는 것으로 추정되고 있다 (환경부, 1999). (그림 1-2)~(그림 1-5)는 1999년말 현재 새만금 유역의 행정구역별 오염원의 분포현황을 보여준다. (그림 1-2)는 인구 분포를 나타내고, (그림 1-3)은 가축사육현황을 그리고 (그림 1-4)는 공장폐수를 보여준다. (그림 1-5)에서는 새만금 유역의 토지이용도를 나타낸 것이다.

지금까지 새만금 유역의 비점오염 부하량 저감을 위한 주요 대책은 농경지로부터 비료 사용량을 30%정도 줄이는 것과 친환경농업을 확대 시행하는 것으로 계획하고 있다. 다행히 2003년 말 시비량은 2000년의 250,081톤에서 118,575톤으로 53%정도 감축한 것으로 나타나고 있으며, 이는 2001년도 목표치 30%를 이미 달성한 것으로 평가되었다 (국무총리 수질개선기획단, 2003). 그 밖의 추가적인 대책으로 1) 오염하천정화사업, 2) 만경강생태하천가꾸기사업, 3) 강 살리기 운동 추진, 4) 수질감시체계의 강

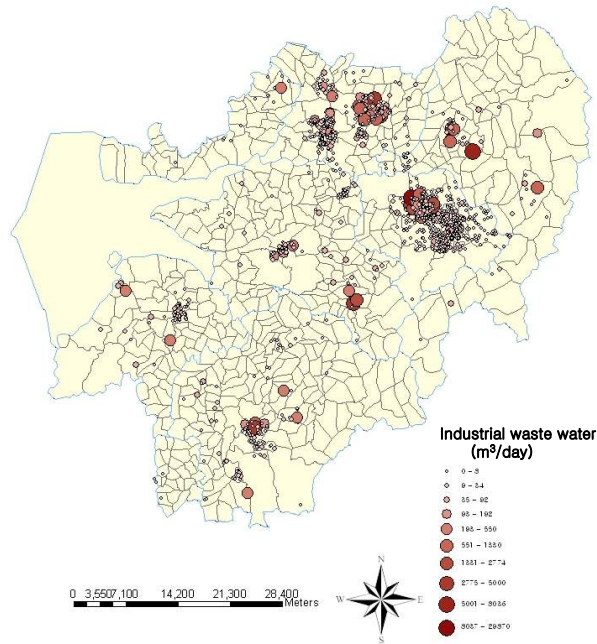
화 등 다양한 대책을 마련하여 추진하고 있다 (국무총리실 수질개선기획단, 2003).



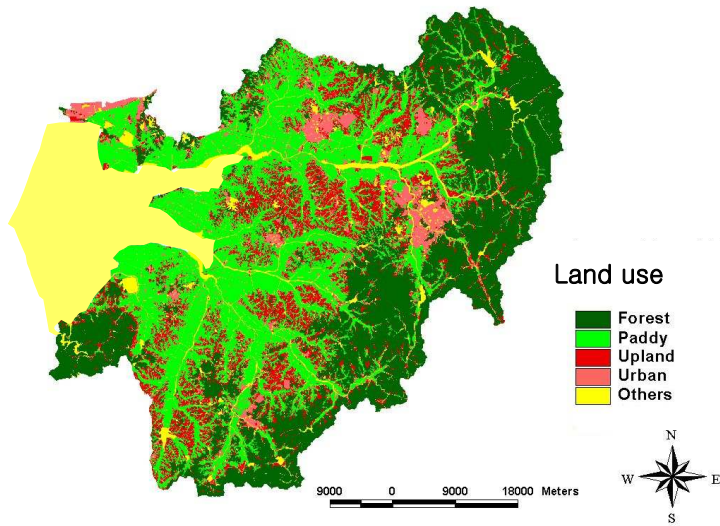
(그림 1-2) 새만금유역 인구분포도



(그림 1-3) 새만금유역 가축 분포도



(그림 1-4) 새만금유역 공장폐수 분포도



(그림 1-5) 새만금유역 토지이용도

이러한 노력의 결과로서 만경강 수질은 2003년도 하반기에 상당히 개선되고 있는 것으로 나타나, 2003년도 수질은 총인기준 당초목표를 조기에 달성한 것으로 나타나고 있다. 물론 2003년의 기상조건이 다른 해에 비하여 하절기 강수량이 많아 하천수질 관리에 유리한 측면도 전혀 없는 것은 아니지만 새만금호 장래수질의 목표 달성여건이 마련되고 있다는 것이 일반적인 평가이다 (새만금환경대책위원회, 2003).

그러나 새만금호의 장래 수질의 개선을 위해서는 지속적인 수질개선노력이 이루어져야한다.

<표 1-1>은 새만금호의 장래 수질예측에서 목표수질관리가 상대적으로 어렵다고 하는 총인(TP)의 오염부하량 및 배출량 예측결과를 보여준다. <표 1-1>의 오염물질 삭감부하량은 수질보전대책을 통하여 오염물질을 제거하는 것으로 발생부하량의 88%정도를 삭감하도록 하고 있다. 또한 총인오염물질의 배출부하량 중 비점원이 차지하는 비율은 전체의 2/3정도이며, 이중 소규모 축산계(비점원)으로부터 1644kg/일, 토지이용으로부터 572kg/일 등으로 축산농가로부터 비롯되는 양이 상대적으로 높다. 또한 토지이용으로부터는 삭감부하량이 전혀 고려되지 않음을 보여준다.

<표 1-1> 2011년도 새만금유역 총인(TP)의 부하량 및 배출량 예측치 (환경부, 1999)

오염원	발생부하량 (kg/일)	삭감부하량 (kg/일)	배출부하량 (kg/일)	구성비 (%)
계	27,828	24,525	3,300	100
점원	4,567	3,484	1,083	32.8
비점원	23,257	21,041	2,217	67.2
축산계	22,685	21,041	1,644	49.8
토지이용	572	0	572	17.3

박승우 등 (새만금환경영향공동조사단, 2000)은 새만금유역의 비점오염 저감대책으로 1) 비료사용량 저감대책, 2) 과학적인 물관리 등을 통한 농경지로부터 오염부하량을 감축하는 것이 중요하다고 보고하였다. 실제로 비료사용량을 30%로 삭감할 경우라도 총인의 부하량은 그보다 작은 비율의 감축효과만을 보여줄 것으로 예측하였는

데, 그것은 논으로부터 흘러나오는 비료성분이 시비량과 선형적인 비례관계를 보이지 않는 데 기인한다고 보고하였다. 이는 농경지에서의 비점오염은 복잡한 기작에 의하여 좌우되기 때문이다. 새만금유역의 비점오염관리를 위해서는 보다 종합적인 측면에서 관리되어야 함을 의미한다.

최강원 (2003)은 새만금상류유역의 친환경농업단지에서의 수질상황을 조사한 결과 친환경농업 만으로 수질개선효과는 미미한 수준을 보인다고 하였는데 그 이유로는 영양물질종합관리 (Integrated Nutrient Management, INM) 등 친환경농업대책은 토양환경개선에 초점을 맞춘 관계로 수질오염부하량 개선에 직접적인 효과를 보이지 않으며, 초생배수로를 흘러가는 동안 비료성분이 감소하는 개선효과를 나타낸다고 보고하였다.

최진규 등 (2001)은 새만금유역 상류에 위치한 논에서의 오염물질 부하량을 조사한 결과, 비생육기의 토사유출량은 관개기간과 거의 동일한 수준으로 나타났다.

박승우 등 (2000)은 새만금 상류유역 중 동진강 수계의 신태인지점 소유역에 대한 비점오염관리대책이 수질개선에 미치는 영향을 AGNPS-P (박승우 등, 1999)를 이용하여 모의하였다. 그 결과 시비량 감축만으로는 유역규모의 수질개선효과는 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 따라서 포장단위에서의 비점오염관리대책 만으로 새만금유역의 수질개선을 꾀하는 데는 한계가 있음을 알 수 있고, 이와 같은 결과는 Park 등 (1995)이 제시한 바와 같이 유역단위 최적관리기법의 효과는 전혀 다른 접근 방법, 즉 유역 전반의 수문학적 측면과 효과적인 수질관리대안의 모색 등의 노력이 이루어져야 하는 것을 의미한다.

새만금 상류유역의 비점오염 저감을 위해서는 지금까지의 여러 가지 관리대안을 망라한 종합적이고 체계적인 접근이 필요하다. 우선 유역규모의 비점오염 수치모델의 구축과 이를 이용한 다양한 관리대안을 평가 분석하는 기술의 개발은 물론이고, 현실적으로 접근 가능한 비점오염 관리방법의 개발, 문제가 예상되는 지구를 대상으로 하는 종합적인 접근 방식의 개발 등 다양한 관리대안을 경제적이면서 시행 가능한 방안을 찾고, 이를 차근차근 실천할 수 있도록 하는 방안이 모색되어야 할 것이다.

비점오염 관리를 위한 최적관리방안 (Best Management Practice, BMP)은 객관적

으로 검증된 기관인증 방안이어야 할 것이다. 미국이나 구미 등지에서 제시한 농경지 BMP에는 <표 1-2>와 같이 작물영양관리를 포함하여 총 25개이다. <표 1-2>에서와 같이 미국 농무성의 BMP는 1) 오염물질의 사용량을 줄이거나 농경지 발생량을 줄이는 방안, 2) 오염물질이 농경지 밖으로 나가는 양을 줄이는 방안, 3) 농경지 밖과 하천으로 흘러가는 동안 저류하여 저감하거나 혹은 하천으로부터 추가적인 오염 발생량을 줄이는 방안 등으로 대별된다.

<표 1-2> 미국농무성의 농경지 및 농촌유역관리 BMP (박승우, 2002)

구 분	BMP	주요 기능
발생원에서의 오염물질을 줄이는 방안 (6)	작물영양관리, 병해충종합관리, 계획방목체계, 한계지방재, 초지식재, 식목	토양유실 발생량을 줄이거나, 비료, 농약 등 사용량을 최적화함으로써 오염물질을 줄이는 방법
오염물질의 유입을 줄이는 방안 (11)	관정보호관리, 작물잔유물관리, 윤작, 필터스트립, 등고선대상재배, 등고선완충대, 등고선재배, 포장경계둑, 방풍림, 지피작물, 테라스	농지로부터 발생한 오염물질이 하천 등으로 유입하는 양을 조절함
오염물질을 저류, 제거하는 방안 및 하도 보호방안 (8)	침사지, 소류지, 경사조절구조물, 도수로, 초생수로, 하천보호, 습지개선, 습지	저류지, 하도구간의 관리 등을 통해 수질을 개선하거나 추가적인 오염물질 유입을 줄이는 방법

<표 1-3>은 도시지역 비점오염관리를 위한 최적관리기법이다. <표 1-3>에서는 BMP의 주요 기능별로 1) 저류형, 2) 침투형, 3) 식생형, 4) 장치형, 5) 처리형 등으로 구분하고 있다.

<표 1-2>와 <표 1-3>의 BMP 중 어떤 유역에 적합한 방안을 선정하는 절차는 다음과 같다 (박승우 등, 2002). 즉, ① 수질문제가 무엇인지를 진단하고, ② 그 문제를 일으키는 오염 물질과 예상되는 오염원을 확인하여, ③ 각 오염물질이 어떻게 수체에 운반되는 지를 정하며, ④ 수자원 이용목적에 감안하여 적절한 수질 목표를 정하고,

⑤ 수질개선효과, 경제적 타당성, 대상지역에 대한 적용가능성 등을 만족하는 BMP를 선정한다.

<표 1-3> 도시우수관리를 위한 BMP (최지용 등, 2003)

유형	관리제어기술의 종류
저류형	하수관거, 저류연못, 우수지활용, 인공습지, 지하저류 등
침투형	침투지, 침투트랜치, 침투도랑, 침투집수정, 투수성포장 등
식생형	식생여과대, 식생수로 등
장치형	Stormfilter, Stormceptor, Sand filter, Swirl 장치, 수유입장치
처리형	침전시설 생물학적 처리시설 (접촉안정법, 폭기식라군법, 살수여상법, 회전원판법) 등

새만금 유역의 비점오염관리의 주요 목표는 비료성분, 즉 질소와 인을 줄이는 것이다. 지금까지 선행 조사연구 등의 결과로 새만금유역의 오염원 현황자료가 구축되었고, 포장단위의 농업비점오염을 실험적으로 구명하고, 상류유역 주요 측점에서 수질자료가 조사되었다. 유역규모에서의 오염물질 운송기작과 이로 인한 하류수질에 미치는 영향 등에 대한 모델링 등의 연구도 시행 중에 있다. 다만, 비점오염의 제어 및 관리기법에 대한 조사연구는 거의 없는 것이 현실이다.

우리나라의 경우 논으로부터 비점오염 저감과 관리를 위한 BMP가 제시된 사례가 없다. 박승우 (2000)는 포장 물관리를 가장 효과적인 BMP의 하나로 제시하였으나, 2001년 정부 종합대책에서는 현실성이 없다고 평가된 적이 있다. 이는 당시의 기술수준에서 유역규모의 비점오염 관리에 대한 이해의 부족으로 평가되며, 단순히 오염물질 사용량 저감만으로 비점오염 관리가 이루어진다는 막연한 생각이 원인으로 보인다.

<표 1-2>의 BMP는 결국 새만금 유역의 비점오염의 효과적인 저감과 관리를 위해서는 이 지역에 적합한 방안을 모색하고, 그 기술의 효과와 실용성을 동시에 평가하며, 어떻게 현장에 적용할 것인가를 종합적으로 제시하는 기술개발이 시급히 이루어



져야 할 것이다.

## 2. 경제·산업적 측면

새만금호 수질개선 대책 중 상류유역의 오염저감대책은 대략 1조 2천억원 정도의 예산이 소요된다. 이를 통해서 약 325천 kg/일의 BOD를 삭감하도록 하고 있다 (국무총리 수질개선기획단, 2001). 반면에 비점오염 저감대책에는 일부 비점오염 상태로 배출되는 축산분뇨 처리를 제외하고는 뚜렷한 노력을 기울이지 않고 있는 실정이다. 실제로 BOD 기준 비점오염 발생량은 185천 kg/일이며 농경지 등 토지계로부터 2만 kg/일이므로 단순히 점원오염 삭감에 소요되는 비용과 비교해 보더라도 상대적으로 거의 노력이 이루어지지 않고 있다.

그런데 비점오염 부하량의 상당부분은 주로 폭우시 하천과 강으로 유출되어 새만금호로 유입되게 된다. 점원오염이 연중 거의 일정하게 배출되는 특징과 비교할 때, 비록 그 농도에서는 점원오염에 비하여 작은 양이라고 할지라도, 총량에 있어서는 무시할 수 없는 양이며, 전체 수체에 직접적인 영향을 미치게 된다 (Novotny and Olem, 1994). 결국 비점오염에 의한 호소 수질의 영향이 매우 중요한 것은 지금까지 국내외 호소수질관리에서 항상 지적되어 온 것이 사실이다.

비점오염은 점원오염과는 달리 수처리 등에 의한 효과적인 제거가 어렵다. 이는 오염물질의 배출경로가 불특정하기 때문이며, 또한 농경지 등으로부터 배출되는 비점오염물질의 농도 역시 상대적으로 낮아 처리효율에서도 낮을 수밖에 없다. 가장 효율적인 비점오염 저감방법으로는 발생원이나 그 부근에서 줄이는 것으로 알려져 있다 (Novotny and Olem, 1994). 따라서 비점오염의 제어와 관리는 BMP의 시행이 경제적으로 효과적인 것으로 나타났다.

새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 기술개발은 장래 새만금호의 목표수질의 달성을 위해 매우 중요한 수단이다. 정부대책에 포함된 호소 수질개선대책의 소요예산은 3천억원 정도로 추정하고 있으며, 그 상당부분은 상류유역에서 발생하는 비점오염의 제어와 관리가 이루어지면 그 만큼 더 경제적으로 대처가 가능한 것이 분명하다.

유역 비점오염물질의 적절한 제어와 관리가 이루어지지 않으면 대부분의 오염물질

은 하류에 위치한 새만금호로 유입되어 호소부영양화의 원인 물질이 될 수 있다. 상류로부터 호소내로 흘러들어가는 토사의 대부분은 호소 내에서 침전되며, 토사에 부착된 영양물질 특히 비용해성 인산질은 용출 등의 과정을 통해 수체의 수질오염에 작용된다. 그밖에도 홍수유출과 함께 유입되는 오염물질은 대용량 호소 수질오염의 주요 원인으로 알려지고 있다. 따라서 새만금호의 수질관리를 위해서는 상류유역에서의 비점오염 제어와 관리가 가장 효과적인 방안이 될 것이다.

새만금호의 장래 수질이 단순히 목표수질을 만족하는 데 머물지 않고 더욱 개선된 수준으로 유지된다면, 농업용수 등 제한적인 목적 이외에 타용도로 수자원을 활용할 수 있을 것이다. 새만금 내부개발계획이 논의되는 시점에서 농업 이외의 타목적으로 새만금의 토지자원이 이용될 경우에는 여기에 필요한 수자원을 확보하여야 하며, 이때 새만금호의 수질은 수자원이용에 있어서 주요 제한 인자가 될 것이다. 결국, 새만금 상류유역의 비점오염제어 및 관리기술은 새만금호의 수질개선을 통해 수자원의 효율적 이용 측면에서도 매우 효과적이다.

### 3. 사회·문화적 측면

새만금호 장래수질이 목표수질 (IV급수)을 충족하는 지 여부는 그동안 새만금사업 찬반논쟁 등 사회적 갈등을 야기해 왔다. 또한, 일부 환경단체 등에서는 정부의 수질관리대책의 실현가능성 등에 대하여도 의문을 제기하고 있는 것이 현실이다. 심지어 수질관리 주무부서인 환경부에서는 지금까지의 상류유역 수질보전대책을 충실히 실천한다고 하여도 새만금호, 특히 만경수역의 수질이 목표수질에 못 미칠 수 있다고 공언하고 있는 것도 현실이다. 결국 경제적으로 타당하면서도 그 효과가 확실한 추가적인 수질보전대책이 강구되어야 할 것으로 평가되고 있다. 이러한 사회적 갈등 해소의 측면에서 새만금 상류유역의 비점오염 제어와 관리기술의 개발이 필요한 것은 자명하다고 할 수 있다.

## 제 3 절 연구개발 목표 및 내용

### 1. 연구개발목표와 내용

본 연구의 목표는 새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술을 개발하는 것이다. 이를 위해 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토, 새만금유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링, 최적관리기법 (BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석, 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가, 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발, 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석, 새만금 토지이용방법의 개선 등의 내용을 포함하고 있다.

#### 1) 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토

##### (1) 기존 새만금 상류유역 비점오염 추정결과의 평가 분석

- ① 환경부(1999), 새만금사업 환경영향민관공동조사단(2000) 등의 새만금 상류유역 비점오염 부하량, 배출량 자료의 검토
- ② 새만금 유역 비점오염 부하량의 시공간적 특징 분석

##### (2) 목표년도(2012년) 새만금 상류유역 비점오염 배출량 예측결과 평가

- ① 기준년도의 예측결과와 그동안의 변화상황의 비교 평가
- ② 축산계 비점오염원의 변화추세 평가
- ③ 친환경농업 추진 계획 대 실적 비교 평가

##### (3) 비점오염 삭감대책의 타당성 검토

- ① 시비량 절감 계획과 실적 및 그 효과 평가
- ② 소규모 축산시설의 자원화 추진 상황의 평가
- ③ 친환경농업으로 인한 비점오염 저감효과 평가

#### 2) 새만금유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링

##### (1) 토지이용, 토양에 따른 비점오염 부하량 조사

- ① 농촌유역(논, 밭, 축산계)의 시기별 오염부하량 측정
- ② 관개 및 비관개 논에서의 비점오염 부하량 비교분석

- ③ 도시지역 환경용량 조사 및 산정
  - (2) 주요 토양통별 경사지 토양유실 및 비점오염 부하량 추정
    - ① 새만금유역의 RUSLE2의 강우입력자료 산정
    - ② 밭작물 작부체계조사 및 작물인자 추정입력자료 산정
    - ③ 토양유실량 및 비점오염 부하량 모의
  - (3) 시험유역 선정 및 비점오염 모니터링
    - ① 시험유역 선정
    - ② 토지이용형태별 비점오염 배출량 모니터링 (수문, 수질 모니터링)
    - ③ 시험유역 작부체계 및 영농 조사 (시비량 등)
    - ④ 시기별 비점오염 부하량, 배출량 특성분석
- 3) 최적관리기법 (BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석
- (1) 기존의 BMP시설 운영실태 조사 분석
    - ① 농림축산 비점오염관리를 위한 BMP 설계자료 수집
    - ② 국내 BMP 현장답사 및 운영실태 조사
  - (2) BMP 시설의 비점오염 저감효과 조사 분석
    - ① 대상 BMP 시설의 선정 및 현장조사계획 수립
    - ② 수질조사 및 분석
    - ③ 운영효율 및 비점오염 저감효과 분석
  - (3) 외국의 BMP 설계제원조사 및 국내 적용 타당성 제시
    - ① 비점오염 관리 목적의 Wet land 현지조사
    - ② 설계 및 운영제원 검토
    - ③ 국내 적용방안의 검토
- 4) 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가
- (1) 기존 비점오염 적용사례조사 및 비교 평가
    - ① 국내 시험유역 적용사례조사

- ② 새만금유역 비점오염모델링 연구결과 비교
- (2) 비점오염 모델링 개발 및 적용
  - ① 비점오염 모델의 선정 또는 개발 (관계는 적용성 보완)
  - ② 시험포장 및 시험유역자료를 이용한 모델의 적용성 평가
- (3) 새만금 유역 비점오염 모델링
  - ① 기존의 새만금 유역 수질데이터베이스 및 GIS 자료수집
  - ② GIS 및 데이터베이스의 보완
  - ③ 새만금 유역 비점오염 모델링
  - ④ 기존 연구결과와의 비교평가
- 5) 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발
  - ① 농경지 비점오염제어기술 평가
  - ② 도시지역 비점오염 제어기술 평가
  - ③ 새만금 유역 BMP 선정 및 평가
  - ④ 유역비점오염 모델링 결과에의 적용
  - ⑥ 유역비점오염 관리를 위한 BMP 실천계획 수립 및 관계기관 협의
  - ⑦ 새만금 유역 비점오염관리효과의 정량화
  - ⑧ 장래 새만금 유역 비점오염총량 예측 및 평가
- 6) 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석
  - ① 새만금 상류유역의 농업경영 형태조사
  - ② 비점오염 제어관리 계획에 대한 경제·사회적 평가분석
- 7) 새만금 토지이용방법의 개선
  - ① 새만금 내부개발 적용가능 BMP의 선정
  - ② 초생배수로 및 자연형 습지 수질개선효과 분석
  - ③ 새만금 토지이용계획에의 적용방안의 제시

## 2. 연차별 연구개발목표와 내용

연차별	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1 차 년 도 ( 2 0 0 4 )	기존 새만금 유역 비점오염총량 예측결과의 평가	① 새만금유역 비점오염 부하량 및 삭감대책 타당성 분석 - 기존자료수집분석 - 기존 비점오염삭감대책의 타당성 검토 ② 예측결과와 실적과의 비교분석 - 기존예측결과와 실적과의 비교분석 - 예측의 보완 및 새만금호 수질환경영향평가분석
	축산계 비점오염관리 추진실적의 평가	① 비점오염 삭감대책(소규모 축산분뇨 자원화) 추진실적 평가 - 축산분뇨자원화 대책 평가 및 보완 - 관계부처와의 조정 및 추진계획에 반영
	새만금유역 비점오염 모니터링	① 시험유역 모니터링 - 수문, 수질계측망 설치 - 하천유량조사 - 수질샘플링 및 분석 - 시기별 비점오염 배출량 분석
	도시지역의 정확한 환경용량 산정과 비점오염원 및 분포에 대한 세부조사	① 새만금유역 도시지역의 현존 환경용량 조사분석 ② 도시지역 오염원의 분포 조사 및 미래 환경용량 평가 ③ 도시지역의 오염원으로부터 수체에 부하될 오염 총량 조사분석 ④ 도시지역 오염물질의 세부적 유입/유출/제거량 조사분석
	BMP 현장 모니터링	① 국내외 BMP 적용사례 조사 - 비점오염 관리 목적의 Wetland 현지조사 - 자료수집, 설계 및 운영제원 검토 - 국내 적용방안의 검토 ② BMP 적용현장 선정 및 현장 모니터링
	새만금유역 토양유실 및 비점오염 모델링	① RUSLE2를 이용한 토양유실량 예측 - 새만금유역의 R인자, C인자 조사 - 토양별, 경종별, 경사지 토양 유실량 추정 ② 비점오염 모델개발 - 기존자료수집 분석 - 새만금 비점오염 모델개발 ③ 비점오염모델의 적용성 평가 - 시험포장, 유역 등 적용성 분석
	새만금 상류 유역의 농업경영형태 파악	① 새만금 상류유역의 농업경영 형태 기초조사

연차별	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
2 차 년 도 ( 2 0 0 5 )	비점오염모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 시험유역 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 영농조사, 물관리관행조사</li> <li>- 하천유량조사 및 수질샘플링 및 분석</li> <li>- 시기별 비점오염 배출량 분석</li> </ul> </li> <li>② 시험유역 GIS자료 및 비점오염 DB구축</li> </ul>
	도시지역의 비점오염원 및 그 부하량에 대한 오염원 관리기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 도시지역 오염원의 형태별 오염 원단위 모델구축</li> <li>② 도시지역 오염원별 발생, 삭감, 배출부하량 결정</li> <li>③ 만경강·동진강 및 새만금 유역의 도시지역 오염부하량 결정</li> <li>④ 새만금 지역의 토지이용의 유형별 분류(논, 밭, 축사, 거주지, 산지 등)</li> </ul>
	BMP효과 분석 (건국대-윤춘경)	<ul style="list-style-type: none"> <li>① BMP 현장조사 및 모니터링</li> <li>② BMP에 의한 비점원오염 저감 효과분석</li> </ul>
	비점오염모델링	<ul style="list-style-type: none"> <li>① RUSLE2를 이용한 토양유실량 예측</li> <li>② 새만금 유역 유사량 추정</li> <li>③ 비점오염모델의 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시험포장 및 시험유역에의 적용성 분석</li> </ul> </li> <li>④ 새만금 유역 비점오염모델 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- GIS, DB 등과 연계한 비점오염 모델 구축</li> <li>- 연차별 비점오염 부하량 추정</li> </ul> </li> <li>⑤ BMP모델링 및 수질개선효과평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새만금유역 비점오염 모델에 BMP모듈추가</li> <li>- 관리대안에 따른 수질개선효과평가</li> </ul> </li> </ul>
	축산계 비점오염저감대책 평가분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 축산분뇨자원화 현지 적용 실태 조사 분석</li> <li>② 축산계 비점오염저감대책의 평가분석 및 개선대안의 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 분뇨처리기술 적용 필요성 검토</li> </ul> </li> </ul>
비점오염 제어 관리기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>① BMP의 적용성 평가</li> <li>② 비점오염관리기술개발 및 실용성 검토</li> <li>③ 도시지역 비점오염 관리기법의 기술서 작성 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새만금 수질보전대책에 반영 가능성 검토</li> </ul> </li> <li>④ 새만금 유역 비점오염관리 BMP의 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소유역별, 위치별 BMP대책제시</li> </ul> </li> <li>⑤ Buffer strip, Wet land 등 추가적인 유역비점오염관리 계획수립</li> <li>⑥ BMP에 의한 시기별 비점오염 저감효과평가</li> <li>⑦ 새만금 수질보전대책과의 조정 협의</li> </ul>	

연차별	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
3 차 년 도 ( 2 0 0 6 )	비점오염 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 원단위 비점오염 부하량 조사 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시기별, 토지이용별 원단위 비점오염 부하량 추정</li> </ul> </li> <li>② 시험유역 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 영농조사, 물관리관행조사</li> <li>- 시기별 비점오염 배출량 분석</li> </ul> </li> <li>③ 시험유역 GIS자료 및 비점오염 DB구축</li> </ul>
	새만금유역에 적합한 BMP제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>① BMP 현장조사 및 모니터링</li> <li>② BMP에 의한 비점원오염 저감 효과분석</li> <li>③ 새만금유역에 적용 가능한 BMP제시</li> </ul>
	유사량 및 비점오염 모델링과 새만금 유역 모델기반구축 및 응용	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 새만금호 퇴사량 추정</li> <li>② 새만금 유역 비점오염모델링</li> <li>③ 새만금 유역 비점오염 관리대안의 평가 및 수질개선 효과 추정</li> <li>④ 새만금 유역 비점오염제어 및 관리체계평가를 위한 모델개발 및 응용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용자 편의시스템 구축</li> <li>- 새만금 유역 비점오염 관리대안별 수질예측도구의 개발</li> <li>- 실무자용 메뉴얼 개발</li> </ul> </li> </ul>
	새만금 유역 비점오염 제어 및 관리기술 확립	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 새만금유역 비점오염 제어 및 관리 시나리오 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소유역별 BMP 계획수립 및 평가</li> <li>- 축산계 비점오염저감대책수립</li> <li>- 도시지역 비점오염 관리 기술 개발</li> <li>- 새만금 유역 수질보전대책에 반영</li> </ul> </li> <li>② 비점오염 제어 및 관리계획에 대한 경제성 평가 및 적용방안 분석</li> <li>③ 비점오염 제어 및 관리에 따른 수질개선효과분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소수계별 적용 가능한 비점오염대책의 제시</li> <li>- 비점오염대책 실천에 따른 수질개선효과 평가 및 새만금호 수질에 미치는 영향분석</li> </ul> </li> </ul>
	새만금내부 토지이용방법의 개선 [비점오염 저감 대책]	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 새만금 내부개발 적용가능 BMP의 선정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물관리단위별(지구별) BMP선정</li> <li>- 초생배수로, 자연형 습지 등 수질개선효과 분석 평가</li> </ul> </li> <li>② 생태공학적 측면에서의 활용방안의 검토 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생태통로로의 활용가치 평가</li> </ul> </li> <li>③ 새만금 토지이용계획에의 적용방안제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새만금호 내부 오염부하량 저감대책 검토</li> <li>- 기존 계획과의 관계 및 조정</li> </ul> </li> </ul>
비점오염원 관리계획에 대한 사회경제성 타당성 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 도시지역 오염원 관리의 기초 방안도출과 미래 변화량의 예측</li> <li>② 도시지역 오염원의 특성분류</li> <li>③ 비점오염 관리방안에 대한 경제·사회적 평가분석</li> <li>④ 다양한 비점오염원 관리계획에 대한 시나리오분석</li> </ul>	



## 제 4 절 추진전략 및 방법

### 1. 새만금유역 비점오염총량의 산정

#### 가. 토지이용 비점오염 원단위 오염부하량 조사분석

구 분	연구 개발 방법	접근 방법 및 설계 내용
산림	토양, 수종, 경사도 등에 따른 비점오염부하량조사	시험유역 모니터링 및 모델링
논	관개지구 및 비관개지구, 구획크기, 토양, 영농방식	시험포장 및 유역 모니터링, 모델링
밭	토양, 경사도, 영농방식	시험유역모니터링, 모델링
축산	축산현황, 축산분뇨처리실태 조사	시험유역 모니터링, 모델링
도시지역	소도시, 대도시 등 우수유출 조사분석	시험유역 모니터링

#### 나. 기존 새만금 유역 비점오염총량 산정결과와 비교 평가

- ① '99 환경부 새만금유역 오염원현황 이후 자료 수집
- ② 새만금 유역 장래수질예측 결과와 지금까지의 수질환경변화와의 비교 평가
- ③ 비점오염 저감대책의 계획 대 실적 평가

#### 다. 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가

- ① 새만금유역 비점오염 모델의 선정, 기존연구결과와의 비교
  - 비점오염 모델의 비교 검토를 통한 모형의 선정
- ② 새만금유역 비점오염원 GIS자료기반의 구축
  - NGIS, 토양도, 위성영상 등을 이용한 새만금 유역의 GIS 주제도 구축
- ③ 시험유역에 대한 적용성 평가 분석
  - 비점오염 모형의 보정과 검증

#### 라. 새만금유역의 비점오염총량 추정

- ① 새만금유역 비점오염 GIS 및 D/B 구축

- 새만금유역 비점오염원에 대한 비점오염 GIS 자료 구축 및 D/B구축
- ② 새만금유역 비점오염모델을 이용한 오염총량 추정
  - 선정된 비점오염모델을 이용하여 소유역별 오염부하 총량 추정
- ③ 장래 새만금유역 비점오염총량 추정
  - 토지이용 변화와 오염원 변화에 따른 장래 새만금 유역 비점오염총량 추정

## 2. 비점오염관리대책의 수립

### 가. 산림사방대책

- ① 새만금유역 사방대책 자료 수집
  - 문헌조사를 통한 새만금유역 사방대책 자료 수집
- ② 비점오염관리대책의 수립
  - 새만금유역에 대한 산림사방대책 수립

### 나. 농경지 비점오염원 관리 대책

- ① 비점오염관리 BMP의 적용성 평가
  - 농경지 비점오염관리를 위한 BMP 조사, 적용성 평가
- ② 비료시비량저감방안 및 효과평가
  - 포장단위 비점오염 모형을 이용한 시비량 절감에 따른 오염부하량 저감효과 분석
- ③ 친환경농업 효과평가
  - 문헌조사를 통한 각종 친환경농법에 대한 자료분석 및 효과평가
- ④ 물관리, 영농방법 등 BMP대책 수립
  - 물꼬관리, 물관리 등의 영농방법의 변화에 따른 영향 분석, BMP 대책수립

### 다. 도시지역 비점오염원 관리대책

- ① 비점오염원 관리방안의 평가
  - 문헌조사를 통한 비점오염원 관리방안 분석 및 각 관리방안에 대한 비교

평가

② 비점오염관리대책의 수립

- 적정 비점오염원 관리 방안의 선정을 통한 도시지역 비점오염관리 대책 수립

**라. 축산계 비점오염원 관리대책**

① 비점오염 관리계획의 평가

- 문헌조사를 통한 축산계 비점오염 관리계획의 분석, 평가

② 축산농가별 추가적인 비점오염관리대책의 수립

- 축산농가별 추가적인 비점오염관리대책의 마련, 효과분석, 관리대책의 수

립

③ 소유역별 비점오염 제어관리방안의 수립 및 평가

- 비점오염 모델링을 통한 소유역별 축산계 비점오염원 관리대책에 따른 영향 분석, 평가

**3. 비점오염 제어기술개발**

**가. 유형별 비점오염 관리기술의 종류**

① 농경지 및 유역 비점오염 제어 관리 기술

② 도시지역 비점오염 제어관리기술

③ 축산계 비점오염 관리기술 (자원화계획)

- 농림부, 환경부 공동 추진 중인 축산분뇨 자원화 계획 등을 이용하여 축산계 비점오염 관리기술 분석, 검토

**나. 기존의 비점오염 제어시설의 조사 및 적용성 평가**

① 비점오염제어시설의 조사 및 수질개선효과분석

- 문헌조사를 통한 비점오염제어시설의 종류, 비용, 처리효과 등을 비교, 분석

② 새만금유역 적용가능시설의 분류

- 적용사례와 처리용량, 처리효과 등을 분석하여 적용가능 시설 분류

③ 비점오염 제어시설의 적용성 평가

- 새만금유역에 적용가능한 시설에 대한 비점오염 제어시설의 적용성 평가

**다. 소유역별 비점오염 제어기술의 계획, 설계**

① 유역비점오염 모델링을 통한 비점오염총량 및 삭감계획량 수립

- 선정된 유역 비점오염 모델을 이용하여 소유역별 비점오염총량 모의, 소유역별 삭감계획 수립

② 소유역별 최적관리기법의 제안

- 소유역별 비점오염 삭감계획량을 충족할 최적관리기법 구성, 삭감량 예측

③ 경제적인 비점오염 제어기술의 계획

- 소유역별로 수립된 최적관리기법에 대한 경제성 분석, 경제적인 비점오염 제어기술 제안, 계획

④ 비점오염제어시설의 설계자료 제시

- 소유역별 비점오염제어시설에 대한 설계자료 제시

**라. 비점오염제어의 경제성 및 타당성 평가**

① 소유역별 비점오염제어시설계획의 타당성 검토

- 수립된 소유역별 비점오염제어시설계획에 대한 기술적 타당성 검토

② 비점오염총량 삭감량의 타당성 검토

- 비점오염모델을 이용하여 수립한 소유역별 비점오염총량 삭감량에 대한 타당성 검토

③ 비점오염 제어의 경제성 평가

- 수립된 소유역별 비점오염제어시설계획에 대한 경제적 타당성 검토

**4. 새만금내부토지이용계획에 따른 비점오염저감대책 수립**

**가. 새만금내부토지이용계획에 따른 비점오염 모델링**

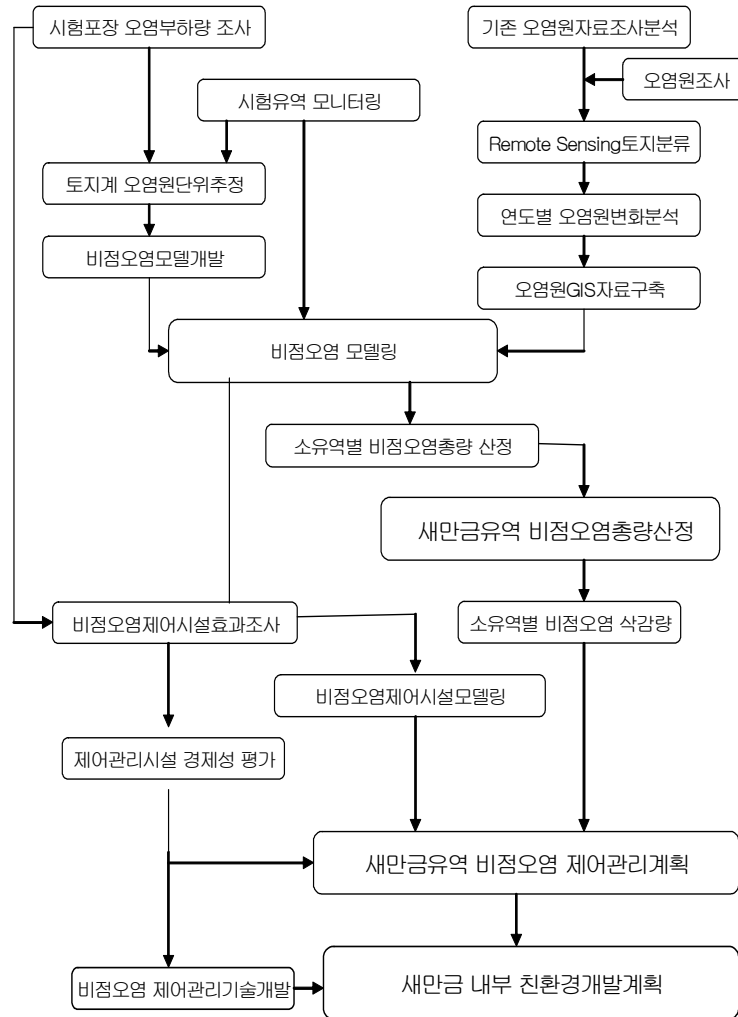
① 비점오염모델의 자료기반 구축

- 새만금내부 토지이용계획에 따른 비점오염모델의 입력자료 구축
- ② 토지이용계획에 따른 장래 비점오염 총량 추정
  - 비점오염모델을 이용한 새만금내부 토지이용계획에 따른 장래 비점오염 총량 추정

**나. 비점오염 저감대책 및 관리방안**

- ① 비점오염 저감방안의 수립
  - 예측된 장래 새만금내부토지이용계획에 따른 비점오염 총량에 대한 저감방안 수립
- ② 비점오염 제어시설의 설계제원 제시
  - 비점오염 삭감총량에 대한 적정 비점오염 제어시설의 설계제원 제시
- ③ 소유역별 비점오염 제어시설 계획
  - 비점오염 삭감총량에 대한 소유역별 비점오염 제어시설 계획 수립, 검토
- ④ 소요예산 및 경제성 평가
  - 비점오염 삭감총량에 대한 적정 비점오염 제어시설의 설치에 따른 소요예산 및 경제성 평가

## 제 5 절 연구개발 추진체계



## 제 6 절 기대효과

### 1. 기술적 측면

1) 우리나라의 비점오염관리기술은 선진외국에 비하여 현재 기초적인 수준에 머물고 있으나, 논농사 중심의 농업체계로서 조방식 발작물 위주의 선진농업에 비하여 비점오염 관리에 있어서는 상대적으로 높은 기술수준을 보유하고 있다.

벤치테라스(Bench terrace)형 논 토양유실량은 경사지 밭에서보다 훨씬 작을 뿐만 아니라 비점오염부하량도 상대적으로 낮아 친환경농업을 유지하는 데 효율적이나, 화학비료 시비량이 세계적으로 매우 높은 수준이며, 관개면적의 비율이 높아 비료물질의 수체에 흘러들어갈 수 있는 가능성이 높아 효율적인 비점오염 관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 외국의 비점오염추정기술(비점오염모델)은 주로 경사지 밭을 대상으로 하고 있으며 이를 국내 여건에 맞도록 하기 위해 충분한 자료조사 및 모델개발이 이루어져야하나 아직은 제한적인 수준에 머물고 있다.

비점오염제어관리기술은 일본에서는 도시지역 저류시설 확충 등을 통해 광범위하게 실용화되고 있으나 우리나라는 우수배제 등 기초적인 단계에 머물고 있으며, 비점오염에 대한 위험도 인식수준이 매우 낮고, 이제 법제화하는 기초적인 수준에 머물고 있어 비점오염 부하량에 대한 체계적인 조사와 비점오염모델 개발을 통해 새만금 유역 비점오염 총량의 정확한 추정과 효과적이고 경제적인 대책을 제시하는 등 기술적 발전에 기여할 수 있다.

본 연구에서는 수행된 시험포장 및 시험유역에 대한 모니터링을 통해 비점오염에 대한 정량적인 자료를 구축하고, 지형, 토양, 영농방식 등에 따른 농업비점오염총량을 파악할 수 있는 기초적인 자료를 제공함으로써 국내의 비점오염총량 추정기술에 기여할 것으로 생각되며, 우리나라 영농여건에 맞는 비점오염모델을 개발하여 적용성을 평가 분석함으로써 국내여건에 맞는 비점오염모델을 완성하여 유사한 조사연구 등에 활용할 수 있게 될 것이고, 다양한 비점오염 저감대책을 효과적이고 경제적으로 평가 분석함으로써 유역규모 비점오염대책수립의 도구로서 활용될 수 있고, 새만금유역 수질보전대책에 반영함으로써 장래 토지이용여건변화에 관계없이 적정한 비점오염대책을 강구하는 데 활용될 것이며, 새만금 내부 토지이용 친환경개발모델을 제시할 수

있을 것으로 기대된다.

또한, 비점오염대책은 새만금유역 오염배출량의 1/4정도에 해당되며, 이를 효과적으로 제어 관리함으로써 새만금호의 장래수질에 기여할 것으로 평가되고, 새만금 내부 토지이용계획이 확정됨에 따른 친환경개발의 구체적인 계획수립에 활용될 수 있을 것이며, 새만금호 장래수질과 관련한 사회적 갈등을 최소화할 수 있는 보다 정량적으로 타당성 있는 수질보전대책의 제시가 가능하며, 과거 예측결과와 그동안의 실적을 평가함으로써 보다 확실하고 검증된 결과를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 경제적·산업적 측면

보다 정확하고 경제적인 새만금 유역 수질보전대책의 수립에 기여할 것이며, 새만금 유역의 비점오염 총량은 전체 오염물질 배출량의 1/4정도에 해당하며, 비점오염총량을 경제적으로 관리제어할 수 있을 때 수질보전대책의 경제성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 친환경농업 등 기존 유역비점오염관리대책을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 함으로써 경제적인 수질보전대책에 기여할 것이며, 새만금사업의 농업용 토지활용에 대한 대국민 신뢰도 향상, 환경친화적인 비점오염원 관리기술개발로 우리나라 경쟁력 향상, 토양유실과 영양물질의 유출억제를 통한 친환경농업기술의 개발은 국내 농경지 비점오염원 처리기술의 향상을 도모할 것이다.

## 제 7 절 활용방안

### 1) 원단위 비점오염 부하량의 정량화

국내의 토지이용으로부터 비롯되는 비점오염 총량의 추정은 주로 원단위법을 적용한다. 본 연구에서는 농경지의 경사도, 토양, 영농방식 등에 따른 오염부하량을 정량화하고, 도시지역의 우수배수로부터 비롯되는 오염부하량 등 기초자료를 현장조사결과로부터 제시함으로써 비점오염 부하량 추정 기술의 향상에 활용될 것이다.

### 2) 비점오염 모니터링 기술의 활용

비점오염의 관리를 위해서는 정량적인 비점오염 모니터링 기술이 확립되고 이를 바



탕으로 BMP 등 저감대책을 마련할 수 있다. 비점오염 모니터링은 점원오염원에 비하여 복잡하고 어려운 것이 사실이며, 우리나라 영농형태 및 토지이용 특성에 맞는 샘플링 주기 및 방법 등에 대한 기술 확보가 필요하며, 본 연구의 결과는 이 분야를 선도하는 기술로 활용할 수 있을 것이다.

### 3) 비점오염 모델링 기술의 확보 및 응용

국내의 유역비점오염의 추정에서 외국에서 개발된 비점오염모델을 활용하는 데 있어서는 1) 논 등의 영농형태에 적합한 모델이 개발되어야 하고, 2) 모형의 매개변수에 대한 정량적인 자료들이 마련되어야 하며, 3) 벤치테라스나 포장 경계 등 우리나라 농경지 형태에 따른 비점오염 유출기작을 감안할 수 있도록 해야 할 것이다. 본 연구의 결과는 이와 같은 국내 여건에 적용 가능한 비점오염 모델을 개발함으로써 이 분야의 기술발전에 기여하고, 유사한 유역 비점오염관리계획 등에 활용될 수 있을 것이다.

### 4) 환경친화적 농업을 위한 기술의 활용

국내의 친환경농업에 대한 소비자 수요가 점차 증가하는 추세이며, 환경친화적 농업의 정착도 쾌적한 국토환경조성을 위해 반드시 달성해야 할 목표이다. 농경지로부터 오염부하량을 줄이고 배출량을 저감하기 위한 기술개발은 이 분야의 기술에 활용될 수 있을 것이다.

### 5) 새만금 유역의 수질보전대책에 활용

본 연구의 목표는 새만금 유역의 수질보전대책에서 고려되지 않는 비점오염 제어 및 관리기술을 개발하는 데 있으며, 그 결과는 관련 대책에 반영되어 새만금유역의 수질보전에 기여함은 물론 장래 새만금호 수질을 획기적으로 저감하는 데 활용될 수 있을 것이다. 새만금호의 장래수질이 목표수질에 못 미칠 수 있다는 점은 그동안의 새만금사업 찬반논쟁이라는 사회적 갈등의 중심에 있어 왔다. 따라서 새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 제어기술개발은 이와 같은 사회적 불신을 해소하는 데 기여할 수 있을 것이다.

6) 새만금 토지이용계획에의 활용

새만금 토지이용계획이 조기에 확정되고 이에 부응하는 친환경적 농업기술과 비점 오염 제어관리기술의 개발은 친환경적 새만금사업의 목표를 실천하는 데 유리한 결과이며 비점오염으로 인한 추가적인 수질악화를 사전에 막을 수 있는 데 활용될 수 있을 것이다.

## 제 8 절 연구진의 구성

구분	성명	소속 및 직위	주요 담당 업무
책임연구원	박승우	서울대학교 교수	연구 총괄
세부연구책임자	박승우	서울대학교 교수	비점오염제어와 관리기술 개발
	윤춘경	건국대학교 교수	BMPs에 의한 비점원오염 저감효과 분석
	최진규	전북대학교 교수	농업유역 비점오염 모니터링
	정팔진	전북대학교 교수	도시지역의 오염부하량 추정
	양병우	전북대학교 교수	농업환경 경제성 분석
연구원	김상민	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	장민원	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 제어기술 개발
	강민구	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 제어기술 개발
	최라영	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	장태일	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 제어기술 개발
	김학관	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	정광욱	건국대학교 대학원	새만금유역 수질현황 분석 및 모델링
	장재호	건국대학교 대학원	BMPs 문헌조사 및 새만금유역 정적 BMP선정
	김형철	건국대학교 대학원	BMPs 현장 모니터링 및 효과분석
	이세봄	건국대학교 대학원	BMPs 현장 모니터링 및 효과분석
	한정윤	건국대학교 대학원	BMPs 현장 모니터링 및 효과분석
	손재권	전북대학교 교수	농업유역 수문/수질 분석
	김영주	전북대학교 박사과정	논구획지구 수문/수질 조사
	송재도	전북대학교 공학박사	농업유역 수문/수질 조사
	곽동희	서남대학교 교수	도시지역의 오염부하량 추정
	백도현	서남대학교 교수	도시지역의 오염부하량 추정
	김민정	전북대학교 강사	도시지역의 오염부하량 추정
	권지영	전북대학교 강사	도시지역의 오염부하량 추정
	강창식	전북대학교 강사	농업환경경제성 분석
	백승우	전북대학교 강사	농업환경경제성 분석
황정욱	전북대학교 대학원	농업환경경제성 분석	
이소영	전북대학교 대학원	농업환경경제성 분석	

구분	성명	소속 및 직위	주요 담당 업무
연구조원	고재영	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	신정범	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	정한석	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	황세운	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 제어기술 개발
	조영경	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 제어기술 개발
	유승환	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 관리기술 개발
	이은정	서울대학교 대학원	새만금유역의 비점오염 제어기술 개발
	이승재	건국대학교 대학원	BMPs 현장 모니터링 및 효과분석
	신아현	건국대학교 대학원	BMPs 현장 모니터링 및 효과분석
	한철만	전북대학교 학부과정	자료정리
	정광호	전북대학교 학부과정	자료정리
	손기수	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정
	박희만	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정
	황준식	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정
	김성훈	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정
	강병준	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정
	신상헌	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정
	신형균	서남대학교 대학원	도시지역의 오염부하량 추정

## 제 9 절 요약 및 결론

본 장에서는 ‘새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술 개발’ 사업의 연구 배경과 그 필요성을 기술적, 경제적/산업적, 사회적/문화적 측면에서 고찰하고, 지금까지의 연구개발 실적과 앞으로의 발전과제를 정리하며, 연구 개발의 목표와 내용, 세부 수행 방법, 추진계획 등을 정리하도록 한다. 또한, 본 연구의 기대효과를 기술적, 경제·산업적 측면에서 고찰해보고, 연차별 연구목표와 내용, 연구진의 구성과 역할 등을 정리하였다.

여 백

## 제 2 장 새만금 유역의 여건변화에 따른 수문·수질변화 분석

### 제 1 절 서 론

2001년 새만금환경대책은 1998년말 새만금유역 상황을 바탕으로 2012년 방조제공사 완료 후 내부개발 착수시점까지 예상되는 여건 변화를 과학적인 방법으로 추정하고 이에 근거하여 제안된 새만금유역과 새만금호의 수질보전 대책들을 주요 골격으로 하고 있으나 새만금유역의 환경부 수질예측(2001. 3) 및 정부조치계획(2001. 5) 이후 현재까지 새만금 유역에서는 용담댐 물 도입, 오염원 변화, 수질개선대책 추진 등으로 인해 수자원 및 수질환경 여건이 크게 변화하였다.

2002년 전주권 광역상수도 2단계 2차 공사가 완료되어 생활용수 공급이 시작되고, 용담댐 발전(發電)이 시작되어 방류량이 만경강 상류 고산천(대아댐 직하류 지점)으로 유입되면서 만경강의 유량이 크게 증가하였으며, 이로 인해 만경강 수계 유황은 2001년 대책수립 당시에 예측했던 것보다 대략 25% 정도 증가했다.

새만금유역의 하천수질은 만경강의 경우 용담댐 발전수량의 유입으로 인하여 하천 유량의 증가로 오염물질의 희석효과가 뚜렷하여 2003년말 현재 만경강 하류의 연평균 수질은 새만금환경대책 수립시 환경기초시설이 건설이 완료되는 2012년에 예상했던 목표 수질에 근접하기에 이르렀다. 동진강의 경우 유역내의 토지이용변화, 가축사육두수 증가 등 오염원이 늘었음에도 하류구간의 수질상황은 비교적 안정되고 있다.

또한 새만금환경대책이 추진된 이후, 새만금유역의 오염원수의 변화가 나타나고 있다. 인구와 산업 등은 1999년 새만금환경영향공동조사단(이하 공동조사단)정부조치계획 이전에 예상한 값보다는 감소하였으며, 축산의 경우, 전국적인 축산물의 수요증가에 따라 돼지 사육두수가 증가하는 등 변화가 나타나고 있는 실정이다.

이처럼 정부의 수질예측(기준년도 : 1998년) 당시에 비해 새만금 유역의 수자원 및 수질환경 여건이 크게 변화된 현 시점에서 5년 전에 실시되었던 정부의 새만금호 수질예측 모델링 및 수질개선대책을 변화된 현실여건을 고려하여 새롭게 재검토할 필요가 있으며, 변화된 수질환경여건을 평가하고, 이를 기준으로 담수호 사용시기(2012년)의 오염원 및 오염부하량 등을 현실에 맞게 보완 산정하여, 정부의 새만금호 수질예측 결과의 타당성 재검토가 필요하다.

또한 현 시점에서 목표연도인 2012년에 새만금 상류유역 여건에 대한 정부조치계획의 예상 수질 조건의 충족여부, 당초 예상한 여건보다 수질상황이 악화 가능성, 향후 추가대책 필요성 등에 대한 재검토가 필요하다.

본 연구에서는 1) 새만금유역의 여건변화 조사 및 분석, 2) 새만금유역의 물수지 분석, 3) 새만금유역의 상류하천 수질예측 및 평가, 4) 새만금 담수호 수질예측 및 평가, 5) 새만금 수질보전대책 개선방향 제시 등을 통하여 새만금 수질환경 여건변화를 반영한 정부조치계획상 수질대책의 재검토와 수질변화를 분석하는데 그 목적이 있다.

## 제 2 절 새만금 유역의 여건변화

### 1. 기상 및 수문 조사

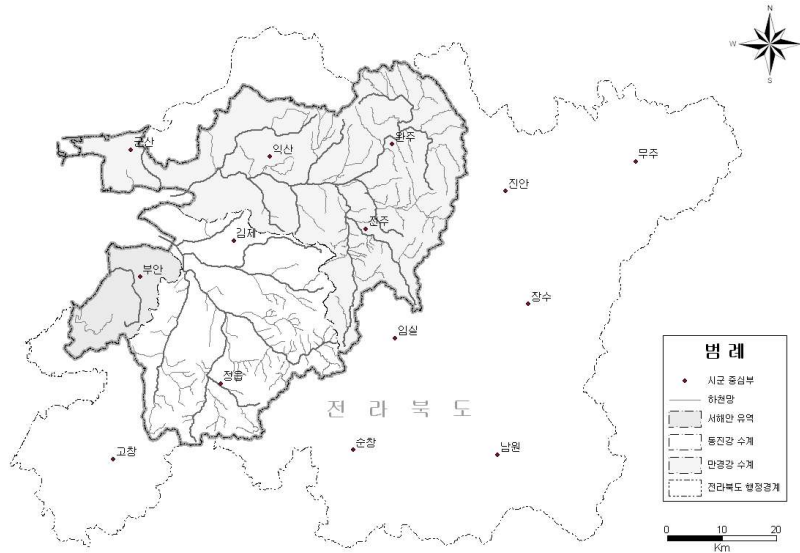
#### 가. 유역개황

새만금호로 배수되는 구역은 크게 새만금 상류유역과 새만금 내부 유역으로 구분된다. 새만금 상류유역은 (그림 2-1)과 같이 전북도 중·하류지역의 대부분을 차지하며, 주요 하천으로는 국가하천인 만경강과 동진강이 위치하고 이밖에 서해안 지역이 포함되어 총 면적은 2,924.3km<sup>2</sup>이다.

새만금 상류유역의 토지이용을 살펴보면 만경강, 동진강 상류는 산림이 주로 분포하며 중·하류는 호남평야가 넓게 펼쳐져 있다. 농경지 면적은 전체 유역면적의 40%로서 그 구성비는 우리나라 평균의 거의 2배에 달하며, 농경지의 75%는 논 (전체 유역면적의 30%)으로 이루어져 있고 밭 면적은 25%를 차지한다 (전체 유역면적의 10%).

새만금유역에 속하는 행정구역은 전라북도의 5개 시 3개 군이다. 이 중 전주시 및

정읍시, 김제시, 완주군은 대부분의 지역이 유역 내에 포함되지만, 군산시, 익산시, 고창군, 부안군은 일부 지역만이 유역으로 포함된다.



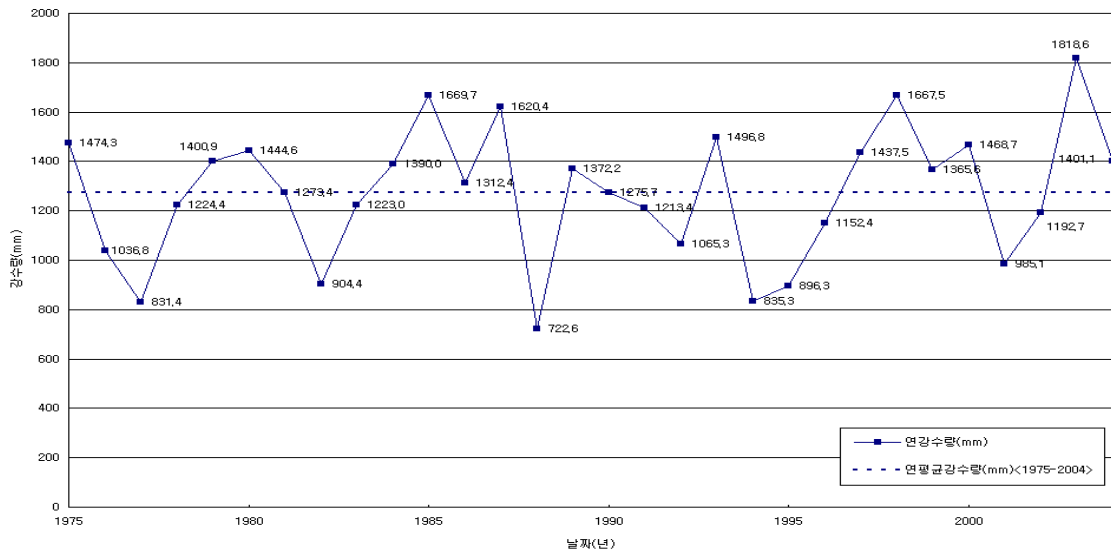
(그림 2-1) 새만금 유역 개황도

## 나. 기상

새만금 유역의 기상수문관측망은 기상청 산하 4개소의 기상관측소 (전주, 군산, 부안, 정읍)가 위치하며, 건설교통부(이하 건교부) 산하의 영산강홍수통제소 관할 14개소의 강우관측소 (만경강 유역 8개소, 동진강 유역 6개소), 그리고 한국농촌공사 새만금사업단에서 4개소의 일반 기상관측을 실시하고 있다.

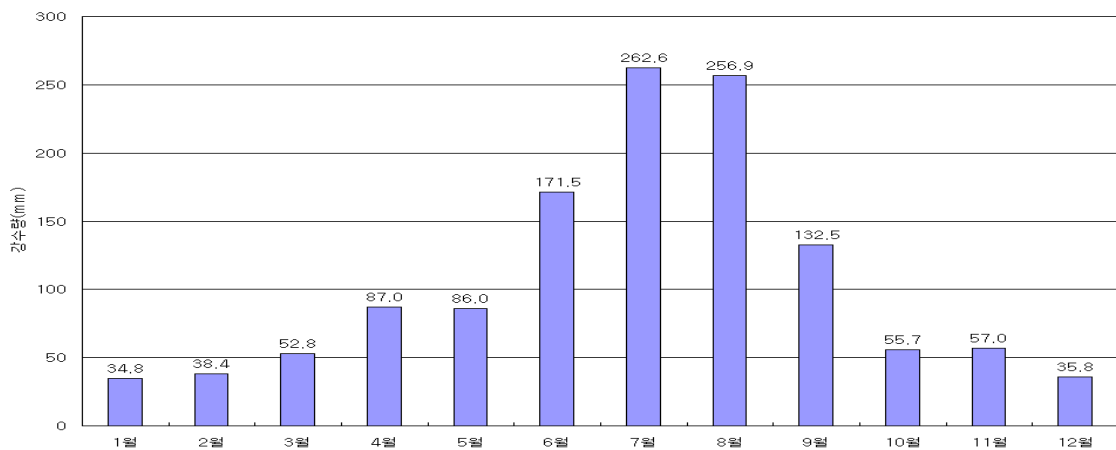
새만금유역의 1975~2004년의 연평균강수량은 1,272mm로 전국평균 강수량보다 약간 작은 양이다. 연평균 강수량은 (그림 2-2)에서와 같이 723~1,819mm의 변화를 나타내고 있으며, 연도별 변화폭이 매우 크다.





(그림 2-2) 새만금 지역의 연강수량 (1975~2004)

새만금지역의 월강수량의 변화는 (그림 2-3)과 같으며, 전국 월평균 강수량변화와 유사한 경향을 보였다. 10월부터 5월까지의 월 강수량은 35~87mm를 보이는데, 특히 12월부터 2월까지의 동절기 동안은 35~38mm로 매우 작은 반면, 우기인 6월~9월 동안 823.5mm가 집중되고 있다. 7, 8월은 250mm 내외의 많은 비가 내려 홍수로 인한 침수피해가 빈번히 발생되고 있다.

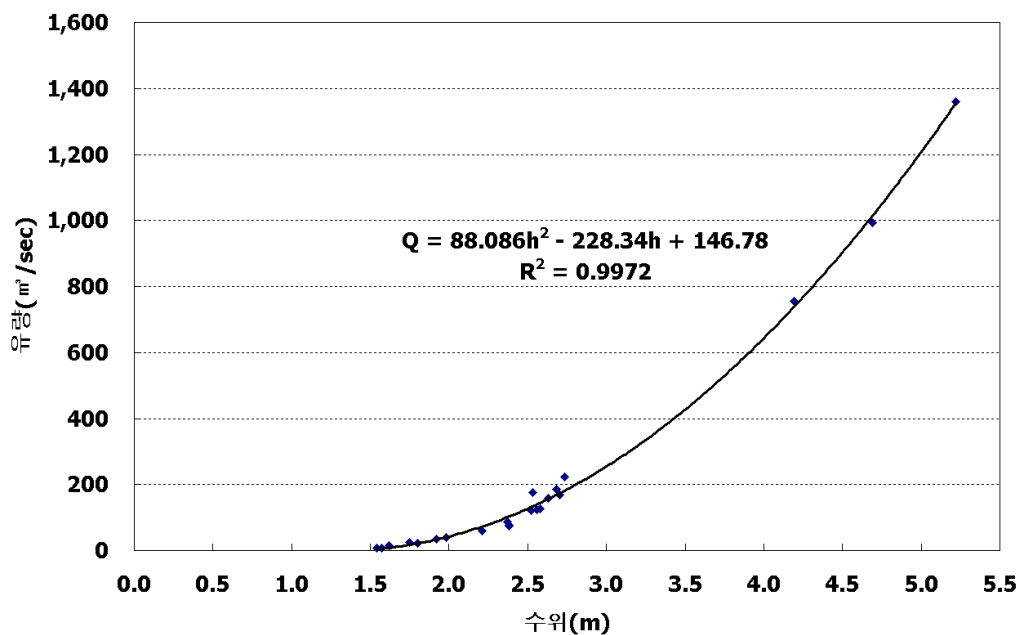


(그림 2-3) 새만금 지역의 월평균강수량 (1975~2004)

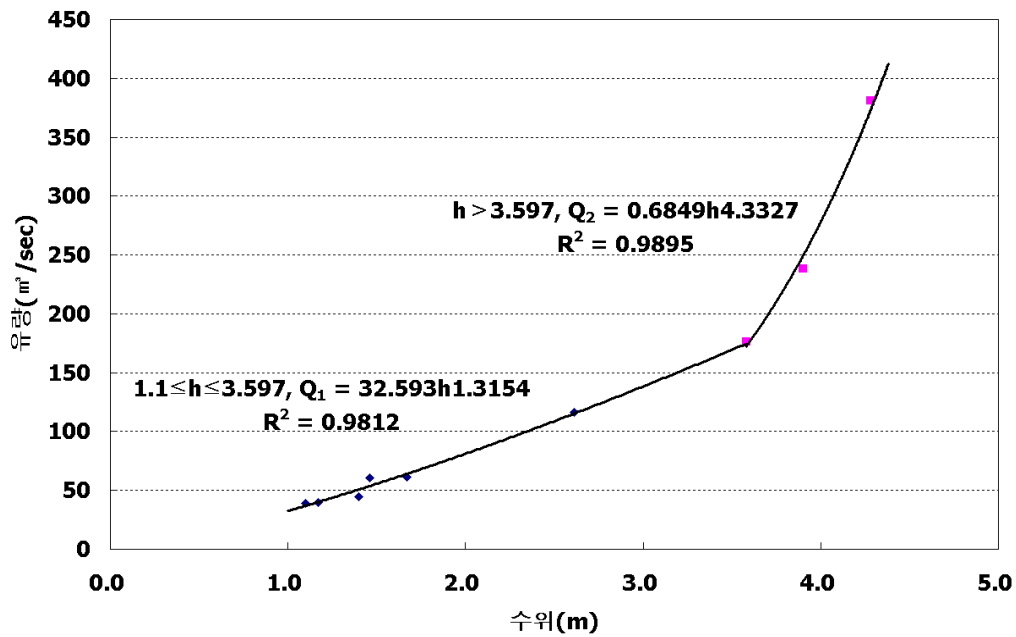
#### 다. 수위 및 유량

새만금유역의 수위측점은 건교부 관할 14개소, 군산시 1개소, 한국농촌공사 4개소 등 모두 19개소이다. 건교부 관할 수위관측소는 만경강과 동진강 홍수예警보를 위해 영산강홍수통제소에서 관리하고 있으며, 2000년도에는 만경강 수계 5개소, 동진강 수계 3개소를 추가 설치하여 운영하고 있다. 또한, 2002년에는 신태인 수위측점이 하류 동진제수문의 배수 영향을 받아 배수 영향이 없는 태인지점에 신규로 관측소를 설치 운영하고 있다.

건교부 수위관측점 중 수위-유량자료를 확보한 곳은 만경강수계의 대천지점과 동진강 수계의 신태인 지점으로, 이들의 수위-유량관계는 (그림 2-4)와 (그림 2-5)에서와 같다(농림부·농업기반공사, 2004).



(그림 2-4) 대천지점 수위-유량 관계곡선(2004년)



(그림 2-5) 신태인지점 수위-유량 관계곡선(2004년)

대천과 신태인지점의 유출량과 유출율은 <표 2-1>에서와 같다(농림부·농업기반공사, 2001; 2002).

<표 2-1> 대천 및 신태인 지점 연도별 유출량 및 유출율

년도	대천			신태인			비고
	강우량	유출	유출율	강우량	유출	유출율	
	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	
2000	1,636.7	893.7	54.6	1,256.9	940.0	74.8	
2001	1,019.4	432.2	42.4	1,136.0	1043.6	91.9	
2002	1,130.1	488.7	43.3	1,259.0	452.0*	35.9	신태인 평.갈수기제외
2003	1,860.3	1,168.7	62.8	1,870.0	1606.3*	85.9	
2004	1,360.7	1,039.1	76.4	1,163.0	652.4*	56.1	
평균	1,401.4	804.5	55.9	1,337.0	1,211.0	83.0	

주)\* 연평균 산정에서 제외

대천지점의 경우 유출율 (강우량에 대한 유출량의 비)은 42~55% 정도로 나타나는데, 용담댐 발전용수가 유입된 후에는 76%에 달하고 있다. 한편, 신태인 지점은 섬진강 댐에서 농업용수가 유역으로 유입됨에 따라 유출율은 83% 정도로 나타났다.

## 라. 용담댐 방류량과 어우보 취수량

### 1) 용담댐 방류량

금강수계 상류에 위치한 용담댐은 2002년 8월부터 전주권과 서해안 군장산업단지에 생공용수를 공급하고 있으며, 용담댐 발전소의 가동으로 발전용수가 만경강 상류 대아댐 직하류로 유입되고 있다. (그림 2-6)은 용담댐 발전용수 토출부 전경을 보여주고 있다.



(그림 2-6) 용담댐 발전용수 토출부 전경

2002년 8월부터 용담댐 발전용수 방류량은 <표 2-2>와 같으며, 2003년~2004년 동안 연간 2.0~3.2억  $m^3$ 이 만경강 수계로 유입되고 있다. <표 2-2>에서와 같이 발전용수량은 월 3.6~32.7백만  $m^3$ 으로 홍수기는 약간 작으나 10월~4월의 비홍수기와 같수기 때는 비교적 많은 양으로 만경강 수계의 하천수량의 증가에 기여하고 있다.

<표 2-2> 용담댐 월별 발전용수량

연도별	월별 발전용수량 (백만 m <sup>3</sup> )												계 (백만 m <sup>3</sup> )
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
2002	-	-	-	-	-	-	-	13.9	12.1	24.4	30.2	13.0	93.6
2003	25.7	21.0	22.9	13.6	5.8	21.0	3.6	7.8	13.7	20.5	29.5	19.3	204.4
2004	31.9	29.1	33.0	31.8	32.7	27.6	23.9	12.9	24.7	17.7	29.3	28.5	323.1

## 2) 어우보 취수량

어우보는 만경강 상류 고산천에 위치하며, 만경강 수계 농업용수댐인 경천댐, 대아댐으로부터 방류된 농업용수를 삼례, 김제, 군산 등에 널리 분포한 농경지에 용수를 공급하기 위해 (그림 2-7)에서와 같이 전북간선수로로 도수하고 있다. 여기서 취수된 물은 익산, 군산지역의 생활용수 등으로 활용되고, 관개기간동안에는 몽리구역에 관개용수를 공급한다. <표 2-3>은 연도별 월별 어우보 취수량을 보여주고 있다. <표 2-3>에서와 같이 1997년~2004년 동안 연간 1.0~2.0억 m<sup>3</sup>을 취수하고 있으며, 관개기간인 4월~9월동안 월 9.2~34.8백만 m<sup>3</sup>을 취수하고 있다.



(그림 2-7) 어우보 전경

<표 2-3>에서와 같이 어우보 취수량은 용담댐 방류 이전에는 연평균 128.7백만 m<sup>3</sup> 정도였으나, 2003년 197.2백만 m<sup>3</sup>, 2004년에는 182.3백만 m<sup>3</sup>로 각각 53%, 42% 증가하였다. 이는 만경강 상류 농업용수댐에서 관개용수 공급량보다 많은 양이 취수 이용되고 있음을 보여주고 있다.

<표 2-3> 어우보 월별 취수량

연도별	월별 취수량 (백만 m <sup>3</sup> )												계 (백만 m <sup>3</sup> )
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
1997	1.4	5.6	4.2	9.9	19.1	23.7	25.8	28.6	16.5	2.8	4.3	3.7	145.5
1998	1.6	3.5	3.2	17.2	21.4	13.6	24.8	21.8	19.4	4.9	3.1	7.1	141.4
1999	5.6	2.7	3.3	12.4	22.2	16.5	14.1	11.4	6.2	3.0	0.6	4.3	102.3
2000	3.4	1.9	3.2	10.1	16.3	17.7	20.7	25.6	11.3	1.5	6.7	3.6	121.9
2001	2.5	5.3	2.3	17.3	19.6	13.4	21.2	20.4	15.3	5.5	0.8	1.5	125.3
2002	1.9	0.9	2.6	9.2	14.8	20.6	11.5	19.5	17.0	9.8	12.3	15.2	135.5
평균	2.7	3.3	3.1	12.7	18.9	17.6	19.7	21.2	14.3	4.6	4.6	5.9	128.7
2003	17.9	16.9	18.7	21.9	30.9	28.8	16.0	18.2	9.9	5.1	2.5	10.2	197.2
2004	5.3	5.9	3.6	20.8	34.8	31.3	13.8	23.8	15.8	10.6	6.2	10.4	182.3

#### 마. 섬진강댐 방류량과 취수량

##### 1) 섬진강댐 방류량

섬진강댐은 섬진강 상류에 위치하며, 운암터널과 칠보터널을 통해 동진강 유역으로 연평균 5억 m<sup>3</sup>정도를 공급하고 있다. 운암터널은 농업용수 공급을 위한 도수로이며, 칠보터널은 칠보발전소에서 발전한 후 운암터널 유하량에 합류되어 동진강으로 흘러가고 있다. <표 2-4>는 1997년~2004년간 섬진강댐으로부터 동진강 수계로 유입되는 월별 방류량을 보여주고 있다.

<표 2-4> 섬진강댐 방류량

연 도	섬진강댐 방류량		
	운암터널 (백만 m <sup>3</sup> )	칠보터널 (백만 m <sup>3</sup> )	계 (백만 m <sup>3</sup> )
1997	360.2	113.9	474.1
1998	456.6	95.5	552.1
1999	391.5	107.8	499.3
2000	396.1	94.8	490.9
2001	382.2	92.9	475.1
2002	374.8	63.3	438.1
2003	562.7	90.5	653.2
2004	407.7	75.2	482.9
평균	416.5	91.7	508.2

## 2) 농업용수 취수량

운암터널과 칠보터널에서 동진강 본류로 방류된 물은 칠보(명천보)에서 동진간선으로 취수되어 관개되며, 나머지 수량은 하류로 유하되면서 낙양보에서 김제간선과 정읍간선으로 급수되어 관개용수로 쓰이고 있다. <표 2-5>는 김제, 정읍 및 동진간선 취수량을 보여주고 있으며, 동진간선 취수량은 연평균 187백만 m<sup>3</sup>이며, 김제간선은 173백만 m<sup>3</sup>, 정읍간선 35백만 m<sup>3</sup> 등으로 연간 약 4억 m<sup>3</sup>을 농업용수로 취수 이용하고 있는 것으로 조사되었다.

<표 2-5> 김제, 정읍 및 동진간선 취수량

구분	농업용수 취수량 (백만 m <sup>3</sup> )			
	김제간선	정읍간선	동진간선	계
1997	202.8	42.6	151.5	396.9
1998	198.2	37.2	185.7	421.1
1999	192.3	37.5	195.9	425.7
2000	169.8	32.7	131.1	333.6
2001	174.6	35.6	163.2	373.4
2002	148.9	36.4	191.6	376.9
2003	141.0	23.3	290.3	454.6
2004	157.2	36.5	190.2	383.9
평균	173.1	35.2	187.4	395.7

## 2. 인문사회경제 및 오염원

### 가. 인 구

#### 1) 새만금유역 인구 변화

2001년 5월 수립된 새만금환경대책에서는 1998년 새만금유역의 인구를 1,348천명을 기준으로 2012년에 이르면 1,438천명으로 약 90,000명 정도 증가('98년대비 6.68%로 연평균 0.48% 증가)할 것으로 예측하였다. 하지만 새만금유역의 인구는 2003년 현재 1,338.7천명으로 1998년에 비교하여 약 9.7천명이 감소하였다. 이 기간 중 인구감소율은 0.7%였으며 연평균으로 환산하면 -0.14%이다. 당초 예측결과와 비교하면 2002년 말 현재 42.1천명 정도 적으며, 2012년 추정인구와 비교할 때 약 116천명의 차이를 보였다.

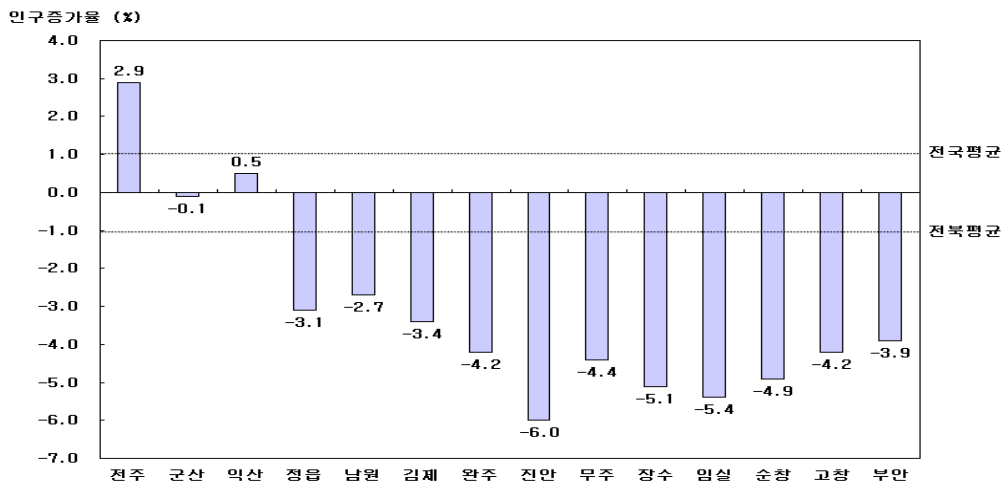
<표 2-6> 새만금 유역 인구 추정결과 비교

구분	1998년 인구(천명)	연평균 증가율	2003년 인구(천명)	2012년 인구(천명)	비고
당초 예상치	1,348.4	0.48%	1,380.8	1,438	새만금환경대책자료
2002년말 현재		-0.14%	1,338.7	1,376	
차이	-	-0.62%	-42.1	-116	

#### 2) 전라북도 인구 변화

2003년말 현재 전북도 인구는 1,962천명으로 1998년 2,014천명에서 약 52천명(2.58%)이 감소하였으며, 전북도 주요 시군별 인구변화는 (그림 2-8)과 같다(전라북도, 2004). 전주, 군산, 익산 등 주요 도시를 제외한 대부분 시군에서 뚜렷한 인구감소를 보였다.





(그림 2-8) 전라북도 시군별 인구증감추세 (전라북도, 2004)

### 3) 전라북도내 인구이동

새만금 유역의 인구 감소율이 전북도 전체 감소율보다 낮은 것은 새만금유역 밖의 인구 일부가 전주, 익산 등 유역 내 도시로 유입했기 때문이며, 이런 사정을 감안할 때 장래 인구는 처음 예상했던 인구보다 적을 것으로 생각된다.

### 4) 전라북도 발전계획

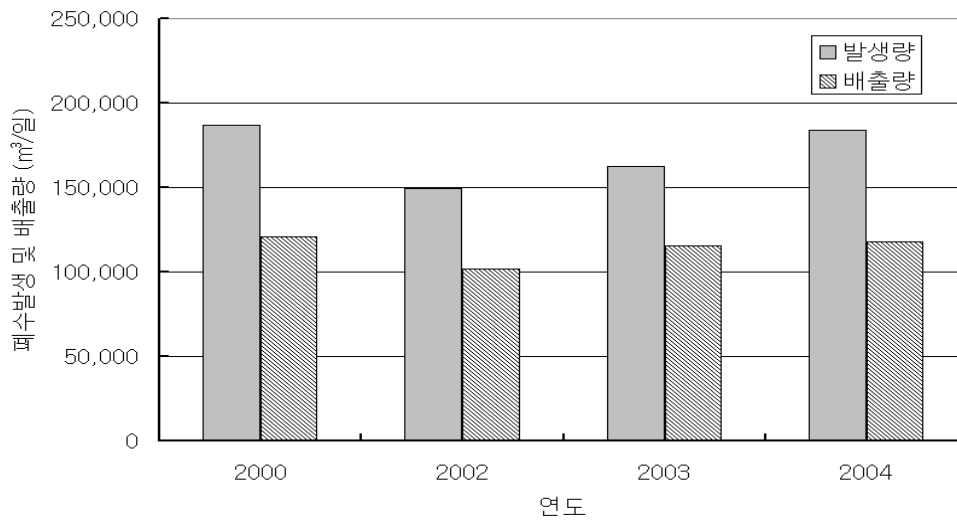
제3차 전라북도 종합발전계획에 따르면, 전북도의 장래인구 변화 추세는 1) 최대성장 시나리오 2,324천명(310천명 증가), 2) 안정성장 시나리오 2,113천명(112천명 증가), 3) 최저성장 시나리오 1,752천명(99천명 감소)으로 보고하고 있다. 이상의 자료에 의거하여 추정할 때 환경대책 목표연도의 새만금 유역 인구는 현 상태를 지속하거나(인구 순감소) 또는 당초 계획인구 수준 이내(인구 약간 증가)로 유지될 것으로 추정할 수 있을 것이다.

## 나. 산업폐수

### 1) 폐수발생량과 배출량

새만금 유역의 2000년~2004년간 폐수발생량은 일평균 170천 m<sup>3</sup>으로 추정되었으며, 2004년 폐수발생량은 2000년보다 약간 감소하였다. 한편 폐수배출량은 일평균 114

천 m<sup>3</sup>으로 나머지 양은 재활용으로 이용되고 있으며, 2004년도 배출량은 2000년 기준 97.8%로 약간 감소하였다.



(그림 2-9) 새만금유역 산업폐수 발생 및 배출량 (2000~2004년)

## 2) 정부조치계획과의 관계

목표연도 2012년의 새만금유역의 장래 산업폐수발생량은 일 148천m<sup>3</sup>으로 추정하였다. 2002년말 기준 새만금유역의 산업폐수발생량은 일 153m<sup>3</sup>으로 3.4%정도 증가하였다. 한편, 2004년말 현재 산업폐수 배출량은 하수재이용 등으로 실제배출량이 줄어 목표연도 계획지표의 77%수준으로 나타났다.

## 3. 가축사육두수

### 1) 가축사육두수

새만금 유역내의 가축사육두수 변화는 <표 2-7>과 같다. 1998년 이후 한우, 젓소 등의 사육두수는 감소하였으나, 돼지, 닭의 사육두수는 증가하였다. 특히 2002년말 돼지사육두수는 791천두로 1998년 대비 42.9%나 증가하였다.

<표 2-7> 새만금유역 가축사육두수 변화 (단위: 두수)

구 분	1998년	2002년	증감	연평균 증감율	비 고
한우	110,768	71,280	-39,488	-8.9%	
젖소	24,074	21,517	-2,557	-2.7%	
돼지	554,013	791,492	237,479	10.7%	
가금	9,771,178	11,234,405	1,463,227	3.7%	

\* 출처 : 2002년도 가축사육두수는 환경부 2002년도 전북도 오염원현황 자료

## 2) 2012년 축산전망

2001년도 새만금 수질보전대책에서는 2012년 가축사육두수를 <표 2-8>과 같이 예측하였다. 2002년말 현재 한우와 젖소는 2012년 예측치보다 감소하였으나, 돼지와 닭 사육두수는 오히려 증가하였다.

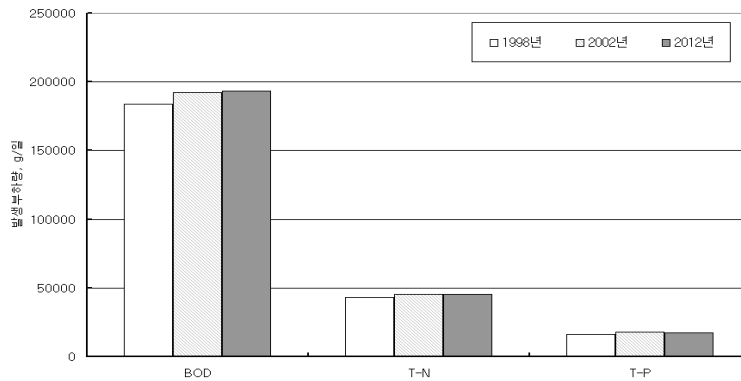
<표 2-8> 2012년 가축사육두수 전망 (2001년 추정치)

구 분		2012년 전망치 ①	2002년말 현황 ②	차이 ③=①-②	비 고
전제조건 및 가정		1994년 이후 사육두수 증가율 적용	환경부 오염원 자료(2002)		
사육두수 (천두)	한우	145	71	74	
	젖소	39	21	18	
	돼지	642	791	-149	
	닭	10,373	11,234	-861	

## 3) 축산 오염발생부하량 비교

2012년 축산 전망치와 2002년말 실제 사육두수를 기준으로 환경부 오염발생부하 원 단위를 적용하여 BOD, T-N, T-P 등의 총부하량을 추정하여 비교하면 (그림 2-10)과 같다. 2002년말 가축사육두수로부터 예상되는 부하량은 BOD와 T-N은 2012년 전망치의 99% 정도로 나타났으며, T-P의 경우는 103%로서 약간 증가하였다. 여기서 오

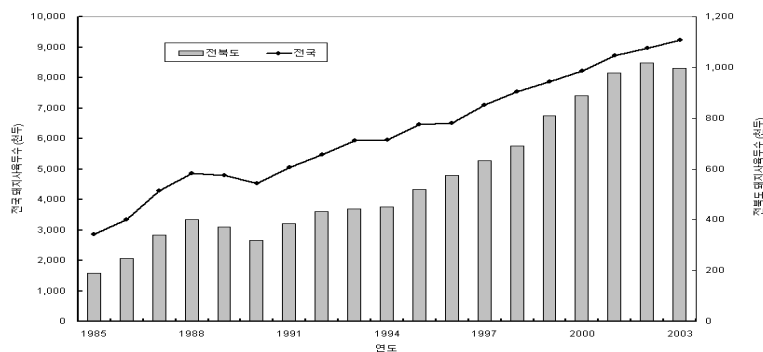
염부하량은 분뇨만을 감안한 경우이며, 폐수와 고형물 등은 제외하였다. 다만, 이를 포함하는 경우에도 2002년말 축산 오염부하량은 2012년 축산 오염부하량 전망치와 거의 같은 값을 보였다.



(그림 2-10) 2002년과 2012년 축산 오염발생부하량 비교

#### 4) 전국 축산추세와의 비교

전라북도의 연도별 축종별 사육두수는 전국 사육두수 변화와 거의 유사한 추세를 나타내고 있다. (그림 2-11)은 1985년~2003년 돼지사육두수의 변화추세를 나타내고 있으며, 전북도의 돼지사육두수변화는 전국 돼지사육두수 변화추세와 유사한 증가 패턴을 보였다.



(그림 2-11) 전국 및 전북도 연도별 돼지사육두수 변화추이

축종별 사육두수 변화추세를 살펴보면 다음과 같다.

#### 가) 한육우

한육우 사육두수는 1996년~1997년을 정점으로 점차 감소하다 2002년 이후 약간 증가하고 있다. 1998년 대비 2003년도 전북도의 한육우 사육두수는 -33.5% 감소 (연평균 -6.7%)하였다.

#### 나) 젓소

젓소 사육두수는 1985년 이래 완만한 상승을 보이다 2001년~2002년을 정점으로 약간 감소하는 경향을 보였다. 전북도의 젓소사육두수는 1998년 기준 2003년은 -1.2% 감소하였다. 기간 중 젓소 사육두수의 연평균 증가율은 전년대비 0.7%를 나타내었다.

#### 다) 돼지

돼지 사육두수는 (그림 2-11)에서와 같이 꾸준히 증가하고 있으며, 특히 2000년 이후 돼지사육두수가 크게 증가하는 데, 1998년 기준 2003년은 44.2% 증가하여 연평균 8%정도 늘어났다. 다만, 2003년에 들어 전년도보다 약간 감소하고 있으나, 현시점에서 돼지 사육두수가 감소추세로 전환되고 있는지는 판단하기 어려운 시점이다.

#### 라) 닭

전북도의 경우 1994년까지 꾸준히 증가하였으나 그 이후 연도별로 증가율은 진폭이 커져 경향성이 보이지 않았다. 전국 닭 사육두수는 2003년을 정점으로 2004년에는 감소하는 것으로 나타났다.

### 5) 장래 가축사육두수

농림부·환경부 합동 (2004. 11) “가축분뇨 관리·이용대책”에서는 다음과 같은 전망을 제시하고 있다.

- (가축사육전망은) 축산물 소비동향, 가축사육 대규모화 등을 감안시 일부 축종은 증가 요인이 있으나,
- 수입자유화, 국내축산물 경쟁력 저하, 질병발생, 축산업종사 기피에 따른 후계자 부재 등을 감안시 전체적으로 가축사육두수는 증가되지 않을 것으로 전망.
  - 분뇨발생량이 가장 많은 양돈의 경우 가축분뇨 처리의 어려움으로 신규진입 및 사육확대는 현실적으로 지난.
  - 환경에 대한 관심 증가 및 축산업에 대한 부정적 인식으로 신규 축산입지 확보 어려움 등이 가축사육 감소요인으로 작용.

#### 6) 가축분뇨 관리·이용대책

농림부·환경부 합동 (2004. 11) 가축분뇨 관리이용대책에서는 1) 기존 가축분뇨관리 대책을 합리적으로 개선하고, 2) 오염사전예방원칙을 도입하며, 3) 경종농업 부문과의 연계강화, 4) 대책의 차질 없는 이행을 위해 양 부처 합동으로 지속적 관리를 원칙으로 실천 가능한 추진대책을 마련하여 시행함으로써 가축분뇨의 자원화와 적정처리를 통해 자원순환형 친환경 축산기반구축과 하천수질을 I~II 급수로 개선하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 동 계획이 착실히 추진될 것으로 전제로 할 때, 장래에는 축산으로 인한 수질오염이 개선되거나, 최소한 현재보다 악화되지는 않을 것으로 예상할 수 있을 것이다.

#### 라. 토지이용

1998년부터 2002년간 새만금 유역의 토지이용 변화 내용은 살펴보면 농경지 면적의 구성비는 전체의 40%로 전국 평균보다 높게 나타났으며, 1998년~2002년 동안 농경지면적은 39.4km<sup>2</sup> 정도 감소하고, 대지와 기타 면적은 증가하였다. 유역별 토지이용은 농경지, 임야면적이 도시개발, 도로용지 등에 전용되고 있으며, 이와 같은 토지이용변화로 결국 비점오염 부하량이 그만큼 증가할 것으로 예상된다. 새만금유역의 토지이용은 <표 2-9>와 같다.

<표 2-9> 새만금유역 토지이용 현황 및 전망

구 분	계		만경강 권역 (km <sup>2</sup> )	동진강 권역 (km <sup>2</sup> )	서해안 권역 (km <sup>2</sup> )	
	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)				
1998	계	2,924.3	100.0	1,418.2	1,034.6	471.5
	전	296.3	10.1	133.4	125.4	37.4
	답	911.7	31.2	347.8	350.7	213.2
	임야	1,219.5	41.7	702.5	389.5	127.5
	대지	98.9	3.4	55.0	29.7	14.2
	기타	397.9	13.6	179.5	139.3	79.0
2002	계	2,924.3	100.0	1,418.2	1,034.6	471.5
	전	291.7	10.0	131.1	121.4	39.2
	답	876.9	30.0	337.8	334.8	204.3
	임야	1202.0	41.0	692.3	382.2	127.5
	대지	103.8	3.6	59.2	30.2	14.4
	기타	449.9	15.4	197.8	166.0	86.1

**마. 비료사용량**

<표 2-10>은 최근 전북도의 화학비료사용량의 변화를 보여주고 있으며, 2000년 이래 화학비료 사용량은 크게 감소하는 추세를 보이고 있다.

<표 2-10> 전북도 화학비료 사용량

구분	연도별 화학비료 사용량				비고
	2000년	2001년	2002년	2003년	
비료사용량 (톤)	250,081	244,823	126,351	118,575	
백분율 (%)	100	97	50	47	2000년 기준

2001년 수질보전대책에서는 2012년 기준 비료사용량을 1998년 대비 30% 정도 감소될 것으로 예상하였지만 실제로는 2000년을 기준으로 할 때 2003년에 이미 53%나 감소하였다. 이는 당초 예상보다 훨씬 빠른 속도로 화학비료사용량이 감소하고 있다는 것을 의미한다.

이런 감소 추세는 사실상 전국적인 현상으로서 우리나라 전체로는 1998년 801천톤

에서 2002년 637천톤으로 20.5%가 감소하였다. 이는 정부의 영농자재비 지원이 어려워지고 있고 친환경농업정책의 확대에서 주로 기인하는 것으로 생각된다. 따라서 앞으로도 이런 추세가 지속될 것으로 기대된다.

이러한 화학비료 사용 감축은 농경지 등 토지계로부터 비점오염 부하량의 감소로 나타날 것이다. 화학비료사용량이 30% 감축될 경우 비점오염 부하량은 총질소(T-N) 기준 약 26%, 총인(T-P) 기준 약 21% 정도 감소될 것으로 분석되었지만 현재 추세를 감안할 때 2012년에는 1998년 대비 약 50% 정도의 감소를 예상할 수 있다.

#### 4. 하천 유출

##### 가. 수자원장기계획

##### 1) 새만금유역 자연유출량

2000년 건설교통부가 수립한 수자원장기계획에서는 만경, 동진강의 연유출량을 각각 1,000백만 m<sup>3</sup>과 783백만 m<sup>3</sup>으로 추정하였다. 수계별 용도별 용수수요 및 물수지 분석결과는 <표 2-11>과 같으며, 농업용수 사용량은 1998년 기준 830.2백만 m<sup>3</sup>로 전체 유출량의 46.6%에 달하여 매우 높은 비중을 차지하고 있다.

<표 2-11> 만경, 동진수계 연도별 용수수요 및 물수지 추정결과

수계별	항 목	연도별 용수수급 추정량(단위: 백만 m <sup>3</sup> )				비 고
		1998년	2001	2006	2011	
만경강	연 유출량	1,000.0				
	생활용수	163.1	183.0	212.0	268.8	
	공업용수	49.9	56.5	63.3	68.7	
	농업용수	383.2	390.8	400.5	398.6	
	물수지	192.0	258.0	246.0	227.0	
동진강	연 유출량	783.0				
	생활용수	44.0	49.6	53.1	56.5	
	공업용수	44.3	50.2	56.1	60.9	
	농업용수	447.2	455.2	465.3	461.9	
	물수지	△19.0	△17.0	△17.0	△17.0	

\* 출처 : 건설교통부, 한국수자원공사, 2000. 수자원장기종합계획보고서 (Water Vision 2020). IPS-2000-10.



## 2) 물수지 분석결과

수계별 하천유지용수량을 감안한 물수지 분석 결과, 만경강 수계는 30년빈도 갈수년에도 물 부족이 없을 것으로 분석하였으나, 동진강 수계는 연 17백만 m<sup>3</sup>의 용수부족을 예측하였다. 여기에서 만경강 수계의 물수지 분석은 용담댐 용수공급을 전제로 하였다.

### 나. 새만금수질보전대책

#### 1) 정부조치계획

2001년 새만금호 수질보전대책 수립시 수행된 새만금 상류 유역 물수지 분석은 1975~1997년의 23년간 일별 기상수문자료를 바탕으로 하여 29개 소유역별(상류유역 28개, 새만금 내부유역 1개)로 일유출량 및 물이용 상황을 모의 추정하였다.

새만금 유역(상류 유역+새만금 내부 유역)으로 유역 변경되어 유입되는 수자원은 크게 만경수계와 동진수계로 구분된다. 만경수계는 대청다목적댐으로부터 통수되는 광역상수도, 용담댐으로부터 통수되는 광역상수도 (다만, 하천유지용수는 분석에서 제외함)와 연락수로를 통해 금강호로부터 유입되는 유량 등을 포함하며, 동진수계는 섬진강 다목적댐에서 이송되는 농업용수 및 발전용수량, 광역상수도 및 부안다목적댐 방출수 등을 포함한다. 또한 기타 소유역별로 환경기초시설(계획 포함)등으로부터 배출수량을 감안하고 있다.

#### 2) 연유출량 추정결과

<표 2-12>는 새만금 유역의 연유출량 추정결과를 보여주고 있다(농림부, 1998).

<표 2-12> 새만금유역 연유출량 추정결과 (농림부, 1998)

구분	유역면적 (km <sup>2</sup> )	연유출량 (백만 m <sup>3</sup> )	비고
만경강수계	1,545.8	837.0	
동진강수계	1,378.5	669.4	
새만금상류유역	2,924.3	1,483.4	

### 3) 유출량 추정결과의 비교

건교부 수자원장기계획과 새만금 수질보전대책에서 나타나는 추정유출량의 차이는 1) 강수량 자료 수집기간이 상이했고, 2) 수자원장기계획에서는 자연유하량만을 고려하여 추정했던 반면 새만금 수질보전대책에서는 소유역별 물수지를 반영했으며, 3) 유출량 추정모델 자체에서 차이가 있었기 때문이다. 또한 새만금 수질보전대책에서 상정된 유역 면적은 새만금호를 중심으로 설정하였기에 현재 만경강, 동진강 수계의 유역면적보다 다소 넓게 잡혔다는 점을 유의해야 한다.

#### 다. 용담댐 방류수

##### 1) 발전용수량

용담댐은 준공 후 2002년부터 대아댐 직하류로 발전용수를 유하시켜 만경강 하천유지용수를 공급하고 있다. 2003년 월별 방류량은 <표 2-13>과 같으며, 총 204.5백만 m<sup>3</sup>을 방류하였다. 이 양은 <표 2-12>에 제시된 만경강수계 연유출량의 24.4%에 달하며 그만큼 만경강 본류의 하천유량 증가에 기여하고 있다.

<표 2-13> 2003년도 용담댐 월별 방류수량

구분 월	초순 (m <sup>3</sup> )	중순 (m <sup>3</sup> )	하순 (m <sup>3</sup> )	합계 (m <sup>3</sup> )
1월	8,121,600	8,354,880	9,244,800	25,721,280
2월	7,577,280	7,560,000	5,892,480	21,029,760
3월	7,482,240	7,223,040	8,208,000	22,913,280
4월	7,603,200	5,771,520	233,280	13,608,000
5월	380,160	440,640	4,950,720	5,771,520
6월	5,469,120	8,173,440	7,395,840	21,038,400
7월	2,471,040	432,000	656,640	3,559,680
8월	751,680	4,320,000	2,764,800	7,836,480
9월	7,110,720	3,991,680	2,566,080	13,668,480
10월	1,792,800	7,931,520	10,739,520	20,463,840
11월	9,806,400	9,849,600	9,849,600	29,505,600
12월	6,488,640	2,669,760	10,177,920	19,336,320
합계	65,054,880	66,718,080	72,679,680	204,452,640

## 2) 발전용수의 수질

2003년 용담댐 방류수 수질은 <표 2-14>와 같으며, 연평균 BOD 1.6 mg/L, T-N 1.58mg/L, T-P 0.03mg/L 정도로 만경강 수질보다 현저히 양호하여 만경강 중하류부 수질 개선에 커다란 기여를 하고 있는 것으로 판단된다.

<표 2-14> 용담댐 방류수 수질(환경부, 2003)

항목 월	수온 (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	탁도 (NTU)	EC (uS/cm)
1월	7	6.4	11.2	1.6	3.4	2.6	1.242	0.012	0.008	1.8	96
2월	5	6.8	13.2	1.2	2.4	2	1.725	0.017	0.004	1.6	58
3월	5	7	12.3	1.5	2.8	2	1.206	0.012	0	1.8	57
4월	10	8.7	13.7	1.6	2.4	2.2	1.215	0.015	0	2.5	111
5월	21	7.2	13.8	1.4	3.1	1.8	1.384	0.026	0	0.9	58
6월	22	7.6	13.6	1.5	2.6	2.4	1.402	0.12	0	1.1	82
7월	23	8.1	9.5	1.6	3.6	2.8	1.435	0.018	0	3.6	83
8월	26	9	12.4	1.9	3.2	1.8	1.325	0.024	0	2.6	80
9월	25	8.7	10.6	2	3.4	1.9	2.252	0.042	0	4.7	62
10월	20	8.7	9.6	2	3.2	2.4	1.891	0.018	0	2.5	54
11월	17	8.4	9	1.9	4.6	5.7	2.698	0.03	0.004	2.1	74
12월	12	7.1	9.7	0.4	2.6	2	1.129	0.036	0.003	1.7	52
평균	16	7.8	11.6	1.6	3.1	2.5	1.575	0.031	0.002	2.2	72

### 라. 어우보 취수량

#### 1) 어우보

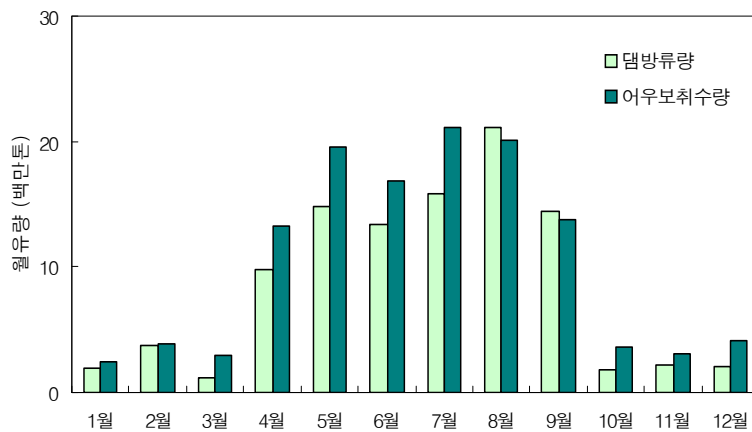
어우보는 만경강 상류 고산천에 위치하며, 상류부의 경천지와 대아댐에서 방류한 물을 전복간선수로로 도수하는 장소이다. (그림 2-12)는 어우보 전경을 보여주고 있다. 여기에서 취수한 수자원은 익산, 군산지역의 생활용수 등으로 활용되고 관개기간 동안에는 인근 농경지에 관개용수로 공급된다.



(그림 2-12) 어우보 전경

## 2) 취수량

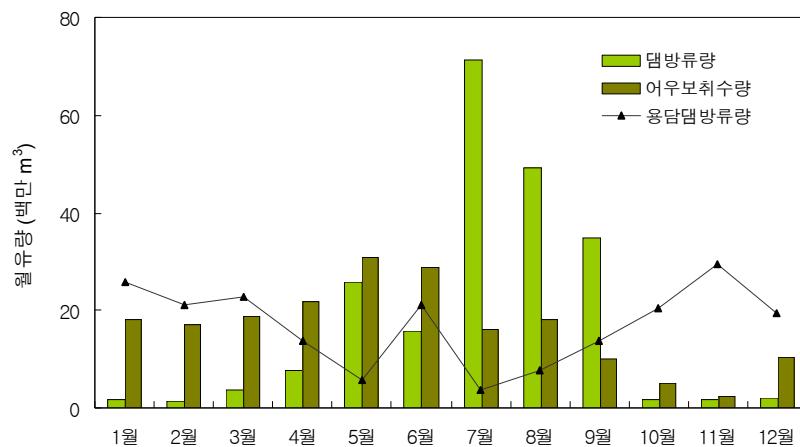
용담댐 방류가 이루어지기 이전의 어우보 취수량은 연평균 128.7백만  $m^3$  정도였으며, 이 취수량의 대부분은 경천지와 대아댐 등 상류 수원공으로부터 방류된 양이다. (그림 2-13)은 상류댐 월 방류량과 어우보 월 취수량 사이의 관계를 나타낸 것으로 홍수기를 제외하면 방류량의 대부분을 취수해서 이용해왔다는 것을 알 수 있다.



(그림 2-13) 어우보 취수량과 상류댐 방류량의 관계 (1998~2002년)

### 3) 용담댐 방류후 변화

용담댐에서 발전용수가 유입되면서 어우보 취수량은 크게 증가하였다. 앞서 (그림 2-14)에서와 같이 용담댐 준공 이전에는 연취수량이 125.1백만 m<sup>3</sup> 정도에 불과했으나 2003년에는 197.2백만 m<sup>3</sup>으로 약 58%정도나 증가하였다. 또한 (그림 2-14)에서와 같이, 경천지와 대아댐 방류량을 초과하는 수량을 어우보에서 취수하고 있다.



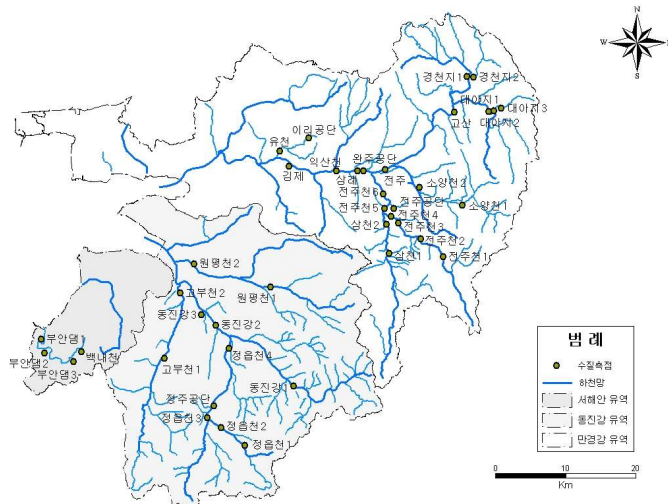
(그림 2-14) 어우보 취수량(2003년)

용담댐 준공 이후 만경강 수계 중하류권의 농업용수 이용이 상당히 증가한 반면, 비관개기간에는 용담댐 방류량의 상당부분이 어우보를 월류하여 만경강으로 유출되고 있다.

결국, 용담댐 방류에 의한 만경강 하류의 수질 희석 효과는 어우보 취수량과 밀접한 관계를 나타낸다고 할 수 있다. 4~6월 농번기에는 용담댐 방류량의 대부분이 어우보에서 취수되어 농업용수로 이용되므로 만경강 수질개선 효과가 적은 반면, 9월 이후에는 어우보 월류량이 크게 늘어나게 되면서 수질개선 효과 또한 커질 것으로 생각된다.

## 5. 하천 수질

새만금 유역의 수질측점은 (그림 2-15)에서와 같으며, 본 연구에서는 만경강, 동진강 하류 수질측점인 김제지점과 동진강 3지점의 수질자료를 수집하여 분석하였다. 또한 새만금사업지구의 기본계획에서는 새만금호의 담수호화와 금강호의 수자원 이용 효율을 높이기 위해서 금강호와 새만금호를 연결하는 연결수로를 건설하고 금강호로부터 희석수를 도입하도록 하였다. 희석수의 수질은 희석 대상의 수체보다 더 좋은 수질로서 도입이 되어야 하며, 희석수로 사용될 금강호의 수질변화는 향후 새만금호의 수질에 영향을 미치므로 그 변화양상을 분석하였다.



(그림 2-15) 새만금 유역 수질 측정

### 가. 연도별 수질변화

만경강, 동진강 하류 수질측점의 연평균 수질은 <표 2-15>와 같다. 새만금 상류유역의 수질은 만경강의 경우는 2002년 이후 개선되고 있으며, 특히 2003년의 경우, BOD, COD, T-P 등 대부분의 수질항목에서 괄목할 만한 수준의 개선을 보였다. 그 이유는 용담댐으로부터 발전수량의 유입으로 인한 희석효과, 2001년 이후 환경기초시설의 완공으로 인한 생활하수 및 축산분뇨 처리율의 증가, 비료사용량 감축으로 인한 비점오염 부하량 감소 등이 주요 원인으로 분석된다. 동진강 수계는 BOD가 3~

4mg/L로 수질상황이 안정되어 있으나, 2004년의 경우 전년보다 BOD 농도가 약간 증가하였다.

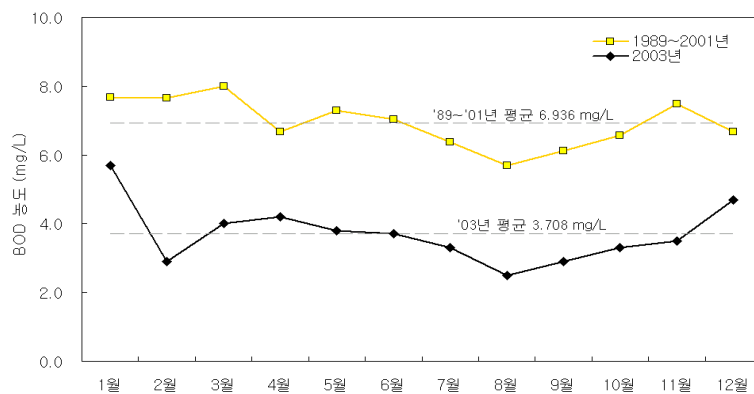
<표 2-15> 새만금유역 주요 수질측점의 연평균 수질변화 (환경부)

수질항목	측점	연평균 수질 (mg/L)					
		1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년
BOD	만경(김제)	7.1	6.8	6.8	5.6	3.7	4.1
	동진(동진강3)	3.6	3.6	4.0	4.5	3.0	4.1
COD	만경(김제)	13.8	10.7	12.0	10.0	6.4	7.6
	동진(동진강3)	6.5	6.1	6.6	6.6	6.5	6.9
T-P	만경(김제)	0.608	0.537	0.689	0.484	0.364	0.391
	동진(동진강3)	0.193	0.263	0.272	0.217	0.206	0.318

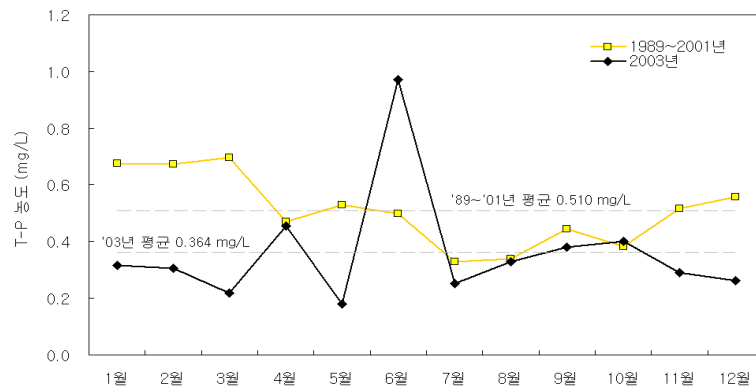
## 나. 월별 수질변화

### 1) 김제 수질측점

(그림 2-16)과 (그림 2-17)은 만경강 하류 김제 측점에서의 용담 다목적댐 하천유지용수 방류 이전의 1998년~2001년과 방류후 2003년의 BOD, T-P 등 수질항목의 월별 변화를 나타내고 있다.



(그림 2-16) 김제 지점의 BOD 농도



(그림 2-17) 만경강 김제 지점의 T-P 농도

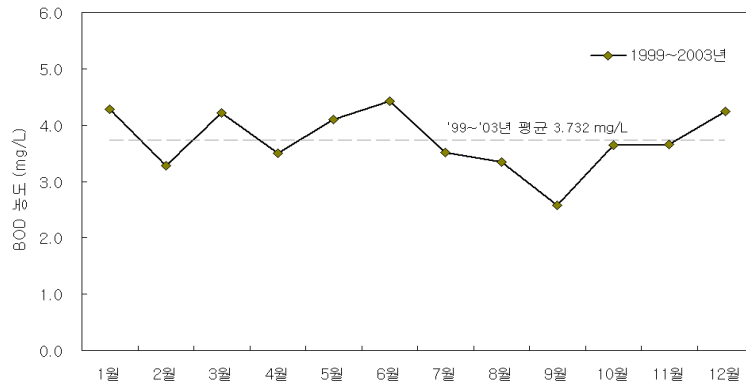
BOD의 경우, 7~10월 등 하천유량이 많은 시기에 낮고, 갈수기와 관개기간 중이 평균값이상을 나타내고 있다. 또한 용담 다목적댐 하천유지용수 방류 후 BOD 농도가 낮아졌으나, 월별 변화 추이는 유사한 경향을 나타내고 있으며 이는 4~6월 중 농업용수 사용량이 큰 기간 중에는 하천유량이 줄어들어 나타나는 현상으로 보인다.

T-P의 월별 변화는 BOD의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있으나 2003년의 경우 6월은 연평균의 2~3배 정도 높은 값을 보였으며, 이는 모내기 직후 농경지로부터 비료성분의 유출이 주요 원인으로 보이나 수질 측정 당시의 특이현상으로 판단된다.

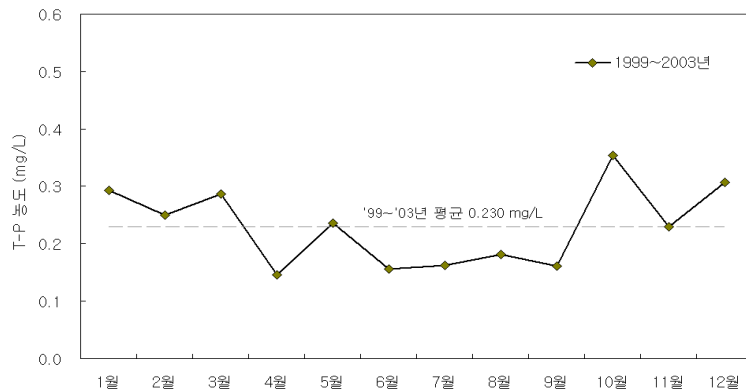
## 2) 동진강3 수질측점

(그림 2-18)과 (그림 2-19)는 동진강3 지점의 BOD, T-P의 월별 변화를 보여주고 있다. BOD의 경우 5, 6월의 농도가 연평균보다 높았고 T-P는 주로 갈수기인 10월~3월의 농도가 높다. 다만, 만경강에 비하여 관개기간과의 관계에서 뚜렷한 경향은 나타나지 않고 있다.





(그림 2-18) 동진강3 지점의 BOD 농도



(그림 2-19) 동진강3 지점 T-P 농도

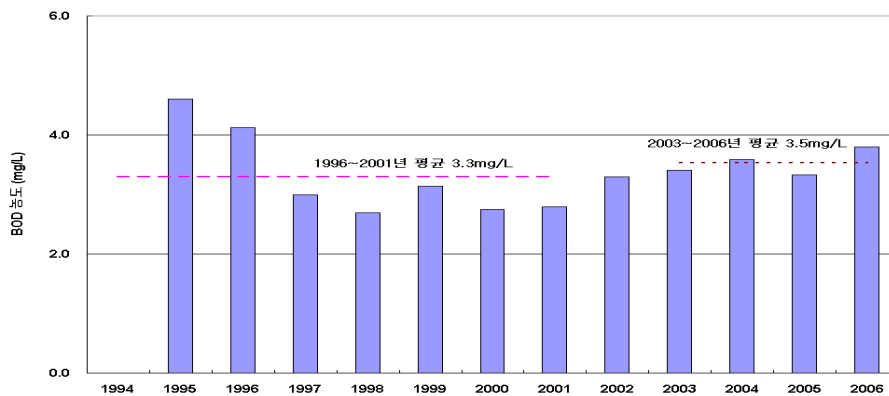
#### 다. 금강하구호 수질변화

금강하구호의 수질측점의 연평균 수질은 <표 2-16>과 같으며, 금강하구호 수질은 BOD와 COD의 경우는 연도별로 차이가 크지 않으나 T-P의 경우 2002년 이후로 농도가 약간 증가하였다. 이는 2002년 8월부터 용담댐 발전용수가 만경강 하천유지용수로 방류됨에 따라 금강호로 유입되는 유량의 변화가 주요 원인인 것을 분석된다.

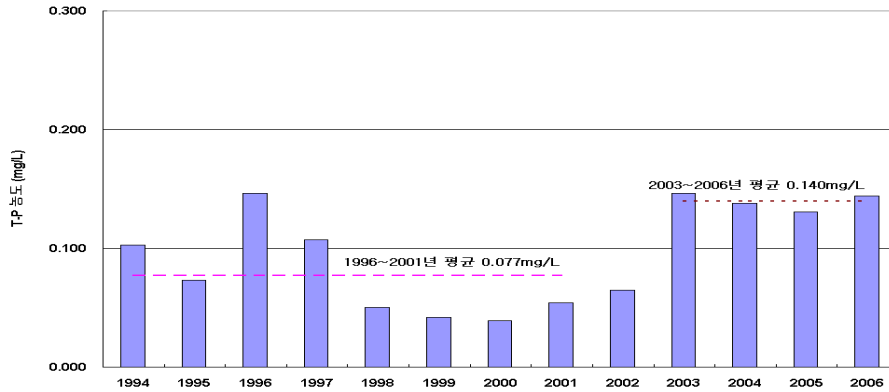
<표 2-16> 금강하구호 수질측점의 연평균 수질변화 (환경부)

수질항목	측점	연평균 수질(mg/L)												
		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
BOD	금강하구언 1		4.5	3.9	2.7	2.6	3.1	3.5	2.8	3.6	3.4	3.7	3.3	3.6
	금강하구언 2		4.6	4.1	3.0	2.7	3.1	2.8	2.8	3.3	3.4	3.6	3.3	3.8
	금강하구언 3		4.5	3.9	2.9	2.9	3.1	3.3	3.0	4.2	3.7	3.9	3.4	3.7
COD	금강하구언 1	9.8	7.0	6.5	6.6	5.6	5.8	5.8	6.2	7.9	6.8	7.6	8.0	6.8
	금강하구언 2	8.3	7.1	6.4	6.8	5.6	6.0	5.6	6.1	7.9	6.8	7.4	7.7	6.8
	금강하구언 3	7.9	6.9	7.2	7.3	5.8	6.0	5.8	5.7	8.2	6.9	7.7	7.6	6.8
T-P	금강하구언 1	0.126	0.119	0.126	0.101	0.049	0.042	0.037	0.056	0.068	0.149	0.147	0.143	0.156
	금강하구언 2	0.103	0.073	0.146	0.107	0.050	0.042	0.039	0.054	0.065	0.147	0.138	0.131	0.144
	금강하구언 3	0.096	0.074	0.132	0.112	0.055	0.046	0.047	0.054	0.074	0.152	0.177	0.137	0.159

(그림 2-20)~(그림 2-21)은 금강호와 새만금호 연결수로 인근지점인 금강하구언2 수질측점의 연평균 수질변화를 보여주고 있다. BOD의 경우 2002년 전후의 농도변화가 0.2mg/L로 작은 변화를 보였지만, T-P의 경우는 0.063mg/L로 80%정도 나빠진 것으로 나타났다.



(그림 2-20) 금강하구언2 지점의 연도별 BOD 농도



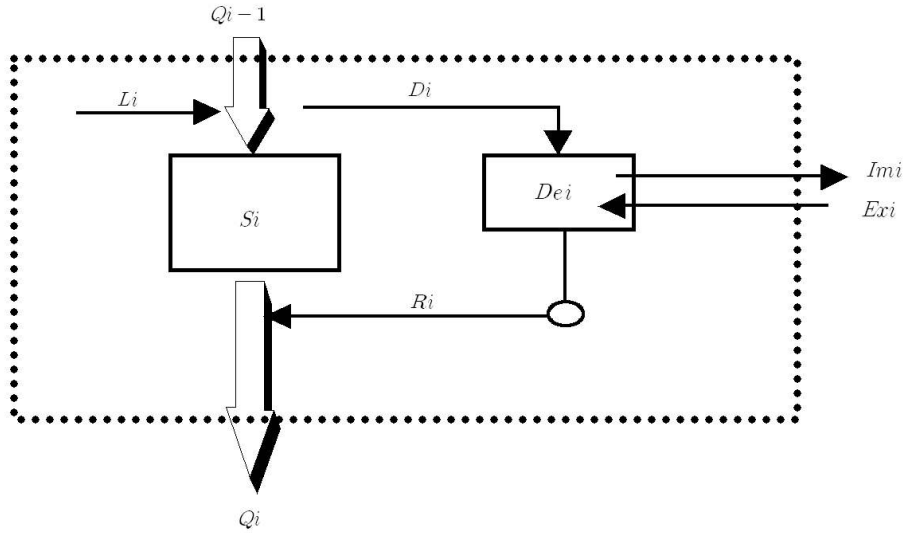
(그림 2-21) 금강하구연2 지점의 연도별 T-P 농도

### 제 3 절 유역 물수지 모형의 개발 및 적용

#### 1. 모형의 기본개념

유역물수지라 함은 하천의 임의지점에서 하천유출의 시간적, 공간적 해석을 위하여 대상하천 유역을 여러개의 소유역으로 구분하고 각소유역의 유입량과 유출량(공급수량)을 산출하여 전체유역에 걸쳐 순차적으로 물수지를 행하는 것을 의미하며, 이때 이를 일괄처리가 가능토록 여러 가지의 수문수리 모형으로 구성된 통합시스템을 유역물수지 모형이라 한다(농업기반공사, 1997).

(그림 2-22) 일반적인 하천의 임의 지점에서의 물수지 요소를 개념적으로 나타낸 것이다. 동그림의  $Q_i$ 는 하천의  $i$ 유역에서 유입, 유출의 물수지 결과로 나타나는 잉여량(overflow)으로서 하류유역  $i+1$ 로의 유입량이 되며  $Q_{i-1}$ 은  $i-1$  유역에서의 물수지 결과로서  $i$ 유역의 상류측 유입량이 된다.  $L_i$ 는  $i$ 유역의 횡유입량으로써 상류측  $i-1$ 유역으로부터의 유입량 이외에 측방에서 유입되는 모든 유입성분을 나타낸다.



(그림 2-22) 하천구간의 물수지 요소

$D_i$ 는  $i$  유역내에서 용수 공급되는 취수량으로서 농업용수, 생활용수, 공업 용수 등의 도수되거나 또는 양수되어 사용되는 양이다. 이 취수량은 모두 소모되지 않고 일부는 하천구간으로 다시 환원되는 데 이를 회귀수(return flow)  $R_i$ 라 한다. 또한 하천구간 내에는 하도나 저수지 등에 의해 저류량이 발생할 수 있는 데 이를 저류량  $\Delta S_i$ 라 한다.  $De_i$ 는 용수이용의 광역화로 외부로부터 하천구간내로의 유역 변경되거나 취수 유입되어 활용되는 수입수량( $Im_i$ )또는 타지역으로의 공급되는 수출수량( $Ex_i$ )을 나타낸다.

한편, 이를 물수지식으로 표시하면 다음 식(2-1)과 같이 간략히 나타낼 수 있다.

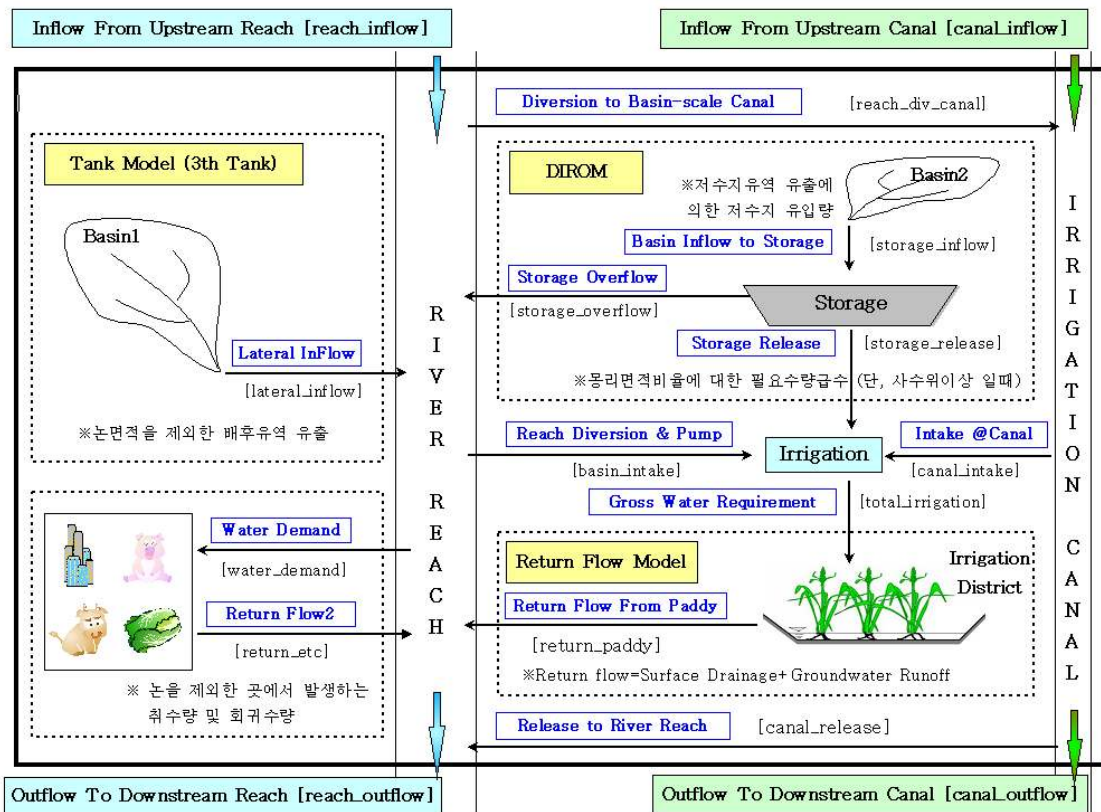
$$Q_i = Q_{i-1} + L_i - D_i + R_i - \Delta S_i \quad (2-1)$$

여기서,  $Q_i$ 는  $i$ 유역에서 하류유역으로의 유출량,  $Q_{i-1}$ 은 상류유역  $i-1$ 으로부터의

유입량,  $L$ 는 유역내의 횡유입량,  $D_i$ 는 유역내에서의 취수량,  $R_i$ 는 취수량으로부터의 회귀수량 (return flow),  $\Delta S_i$ 는 유역내에서의 저류량의 변화이다.

## 2. 모형의 구성

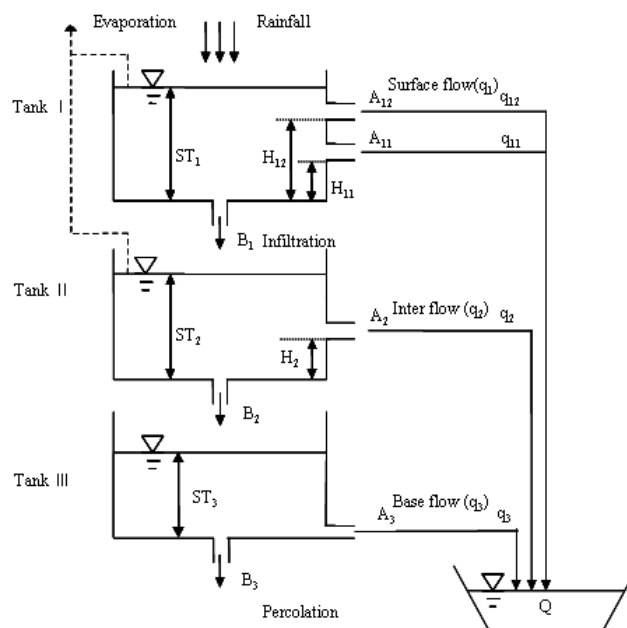
어떤 하천 유역에서 유역 물수지를 행하기 위해서는 이들 각각의 요소를 정확히 추정할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 유역물수지 모형을 (그림 2-23)에서와 같이 하천의 임의 지점에서 배후유역으로부터 유입되는 횡유입량을 추정하기 위한 유역유출모형과 농업유역의 관개지구의 논 관개회귀수량을 추정할 수 있는 관개회귀수량 모형 및 전체유역에 걸쳐서 물수지를 순차적으로 수행케 하는 하천네트워크 모형 등으로 구성하였다.



(그림 2-23) 유역물수지 모형의 구성도

### 가. 유역유출량 모형

배후유역으로부터의 유입되는 횡유입량을 추정하기 위한 유역 유출량 모형은 수정 TANK모형으로 구성하였다 (그림 2-24). 수정 TANK모형은 일본의 수와가라의 4단 TANK모형을 단순화한 것으로 김현영·박승우(1987)는 반월유역 및 건교부의 국제 수문개발계획(IHP)유역 등 12개소에서 실측된 유출량자료와 해당 유역의 수문특성 인자로부터 이 모형의 매개변수와 유역의 지상인자간의 관계를 제안하였다.



(그림 2-24) 3단 Tank 모형의 구성도

(그림 2-24)에서와 같이 수정 TANK모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 식(2-2)에 의하여 계산된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (2-2)$$

여기서,  $Q_{ij}$ 는 t일의 총유출량 (mm),  $i$ 는 탱크의 수,  $j$ 는 탱크 유출공의 수,  $ST_i$ 는  $i$  탱크의 저류수심 (mm),  $H_{ij}$ 는  $i$  탱크의  $j$ 번째 유출공의 높이 (mm),  $A_{ij}$ 는 유출공의

단면적(무차원)이다.

그런데, 상단 TANK의 유출량 성분은 우량 즉시 발생하는 유출량으로 지표 유출현상과 유사한 특성을 나타내므로 이를 지표 유출성분으로 하고, 마찬가지로 중간 TANK유출량 성분은 중간 유출량, 하부 TANK는 기저유출량 성분을 각각 표시하는 것으로 가정할 수 있다. 그러나 본 모형은 개념화 모형으로 TANK모형의 결과가 곧 실제 유역에서의 유출성분의 구분을 의미하는 것은 아니다.

또한 저류수심  $ST$  는 단위시간  $t$ 에 따라 다음 식(2-3)과 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (2-3)$$

여기서,  $ST_{i,t-1}$ 는  $t-1$ 일의  $i$ 번째 탱크의 수심(mm),  $R_t$ 는  $t$ 일의 강우량(mm)  $E_t$ 는 증발량(mm),  $I_{i,t}$ 는  $i$ 번째 탱크의 침투량,  $Q_{i,t-1}$ 는  $i$ 번째 탱크의  $t-1$  일의 유출량이다.

침투량  $I_{i,t}$ 는 다음 식(2-4)와 같이 계산한다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (2-4)$$

여기서  $B_i$ 는  $i$ 번째 탱크의 침투공 단면적(무차원)이다

## 나. 관개회귀수량 모형

### 1) 농업유역의 수문기작

농업유역은 농작물의 재배활동이 이루어지는 생산 공간으로서 논, 밭 등의 경작지, 산림지 및 주거지 등으로 구성되어 있으며, 작물의 생육에 필요한 물을 인위적으로 공급하기 위한 수원공 시설이 위치하고 있다. 수원공은 하천 수나 지하수를 취수하여 관개지구에 공급하게 되는 데, 이로 인하여 상·하류의 하천 유황이 증가하거나 감소

하게 된다. 논벼를 주로 재배하고 있는 우리나라에서는 4월부터 9월까지 벼의 생육을 위하여 관개용수를 공급하고 있으며, 이로 인하여 농업유역에는 관개지구의 수문 순환과 비관개지구인 배후 유역의 수문 순환이 연계되어 복합적으로 발생하고 있다.

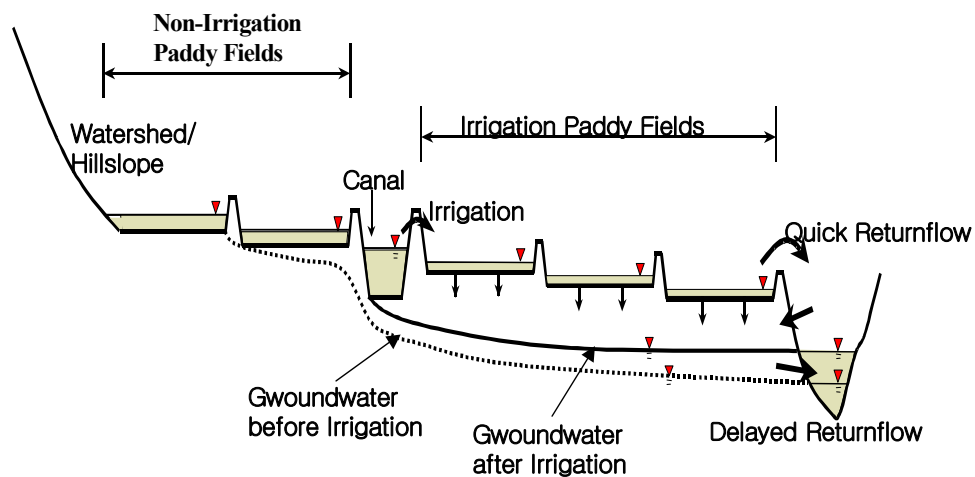
관개지구의 수문순환을 정리하면 다음과 같다. 관개용수는 대부분 상류에 위치하고 있는 관개용 저수지나 양수장 등 수원공 시설로부터 취수하여 수로조직을 통하여 말단의 포장까지 공급한다. 관개용수는 운송과정에서 침투량 등에 의한 수로손실이 발생하고 있으며, 포장에 급수되고 남은 수량은 용수로를 통하여 다시 하천으로 배수된다. 포장에 공급된 수량은 담수심을 유지하며, 물꼬높이 이상의 수량은 물꼬를 넘어 배수되어 하천으로 흘러나오게 된다. 한편, 담수심은 작물에 의해 소비되거나 토양중으로 침투되는 수량을 보충하여 주며, 토양중으로 이동한 수량은 지하수위를 상승시키고 장기간에 걸쳐 하천으로 유출하게 된다. 관개지구에 공급된 관개량 중에서 하천으로 유출되는 양은 지표배수량과 지하수 유출량으로 이루어져 있으며, 지하수 유출량은 수로나 논에서 토양중으로 침투된 수량이 다시 하천으로 흘러나오는 것을 말한다. 한편, 농업유역에는 산림지, 밭 등의 배후 유역이 발달되어 있다. 배후 유역은 관개를 실시하지 않는 비관개 지구로서, 산지 유역이 대부분을 차지하고 있다. 관개용수 회귀수량의 정확한 산정을 위해서는 이들 배후 유역으로부터 유입되는 횡 유입량을 고려하여, 실제적으로 관개용수의 공급으로 인한 유역의 물수지 변화를 추정하여야 한다(임상준, 2000).

## 2) 관개회귀수량

관개를 위한 주수원공은 저수지, 양수장, 관정, 보 등이 있으며, 수원공으로부터 공급된 관개용수는 수로조직을 통하여 말단의 포장까지 운송되게 된다. 이때 수원공으로부터 공급되는 수량은 포장에서 소모되는 수량뿐만 아니라 수로를 통하여 이동하는 과정에서 침투 등으로 인한 수로 손실량 및 관리 손실량을 포함하게 된다. 이와 같이, 관개지구에서는 수로를 통한 배수량이나 담수로 인한 지표배수량이 발생하게 되는데, 이들 수량은 하천으로 다시 유출되어 재이용되거나 하류로 흘러간다. 관개회귀수량이란 (그림 2-25)와 같이 수원공으로부터 공급된 관개용수 중에서 작물에 의해 소



비되지 않고 배수되는 양으로서, 물꼬를 넘어 월류하는 지표 배수량과 지하수 충전량 중에서 하천으로 회귀되는 지하수 유출량을 의미하게 된다. 관개회귀수량은 지표배수량과 같이 짧은 지체시간에 신속히 배제되는 신속 관개회귀수량과 토양중으로 침투되어 지하수위를 상승시키고 장기간에 걸쳐 서서히 하천으로 유출되는 지연 관개회귀수량으로 구분할 수 있다. 신속 관개회귀수량은 배수량의 측정을 통하여 그 양을 쉽게 추정할 수 있으며, 반복이용가능수량 혹은 환원율의 개념으로 적용되기도 한다. 그러나, 실제 관개회귀수량은 이러한 신속 관개회귀수량뿐만 아니라 지연 관개회귀수량을 포함하기 때문에 그 양의 정량적인 분석이 어려우며, 현장 계측을 통한 물수지 요소의 정밀한 조사와 수학적인 모델링을 병행하여 해석하여야 한다(임상준, 2000).



(그림 2-25) 관개회귀수량 개념도

### 3) 모형의 구성

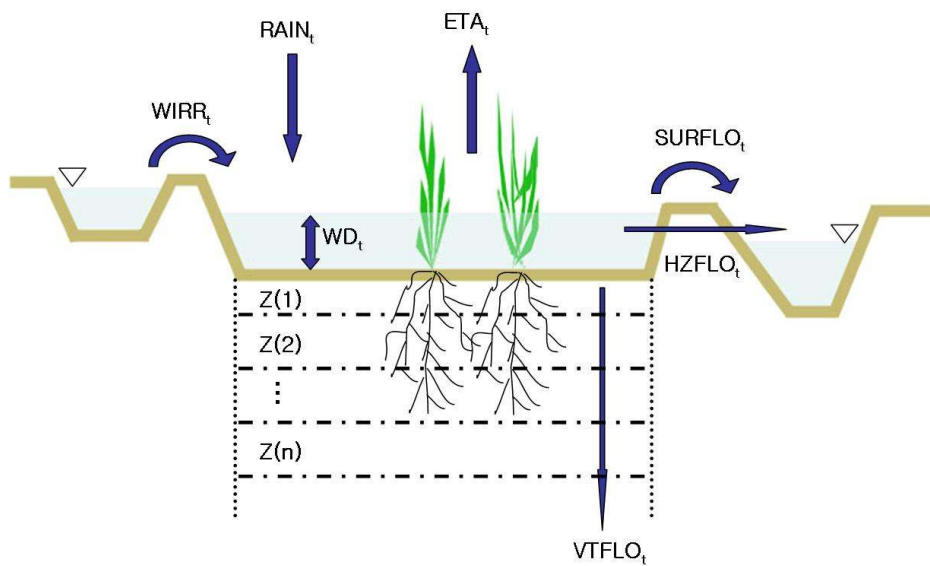
관개회귀수량 모형은 논에서의 물수지를 기본으로 하여 관개블럭 단위에서의 유출량의 변화요소는 그림 1과 같은 기본요소로 구성되는 것으로 가정하여 모형을 구성하였다. 그림 1과 같이 강우량, 관개량, 증발산량, 심층 침투량, 측방침윤량, 지표배수량 등으로 구성되며, 식(2-5)와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$WD_t = WD_{t-1} + RAIN_t + WIRR_t - ETA_t - IFFLO_t - HZFLO_t - SURFLO_t$$

(2-5)

여기서, WD는 담수심(mm), RAIN은 강우량(mm), WIRR은 관개량(mm), ETA은 실제증발산량, IFFLO는 심층 침투량(mm), HZFLO는 논둑을 통해 손실되는 측방침윤량, SURFLO는 지표배수량(mm), t는 시간(day)이다.

또한 토양내의 수분변동을 고려하기 위하여 토층을 n개로 분리하여 토양수분을 모의할 수 있도록 구성하였다.



(그림 2-26) 논에서의 물수지

#### 가) 실제증발산량(ETA)

논에서의 실제증발산량은 식(2-6)과 같이 구하였다.

$$ETA'_t = KC_t \cdot KSS_t \cdot ETP_t \quad (2-6)$$

여기서,  $ETA'$ 는 논외 실제증발산량(mm/day),  $KC$ 는 논벼의 작물계수,  $KSS$ 는 토양 수분계수,  $ETP$ 는 잠재증발산량(mm/day),  $t$ 는 시간(day)이다.

잠재증발산량은 국제식량농업기구에서 1998년에 추천한 Penman-Monteith 공식을 이용하여 산정하였다. Penman-Monteith 공식은 1965년에 처음으로 제안된 방법으로 Penman 공식의 공기동역학 조건에 작물형(crop type)에 따른 기공저항(stomatal resistance)을 포함하여 수정한 방법이다. 기공 저항은 엽온과 밀접한 관련이 있는 것으로 공기동역학항에 온도에 의한 식이 추가되어 있다. 이 방법은 이 공식을 사용하기 위해서는 대기온도, 습도, 복사량 및 풍속에 관한 일별, 일주일 단위 혹은 1개월 단위의 기상자료가 필요하다. 이 공식은 다음과 같다(Allen 등, 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2-7)$$

여기서,  $ET_0$ 는 기준잠재증발산량(mm/day),  $\Delta$ 는 증기압 곡선의 기울기(kPa/°C),  $R_n$ 는 순일사량(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $G$ 는 토양 열 유속 밀도(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $\gamma$ 는 건습계 상수(kPa/°C),  $T$ 는 2m 높이에서 일평균기온(°C),  $u_2$ 는 2m 높이에서 풍속(m/s),  $e_s$ 는 포화증기압(kPa),  $e_a$ 는 실제증기압(kPa)이다.

공식의 변수를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (2-8)$$

여기서,  $\gamma$ 는 건습계 상수(kPa/°C),  $P$ 는 대기압(kPa),  $\lambda$ 는 증발잠열(2.45 MJ/kg),  $\epsilon$ 은 건조한 공기와 수증기의 분자량비(0.622)이다.

$$P = 101.3 \left[ \frac{293 - 0.0065z}{293} \right]^{5.26} \quad (2-9)$$

여기서,  $P$ 는 대기압 (kPa),  $z$ 는 지반고 (m)이다.

$$e^o(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T+237.3}\right] \quad (2-10)$$

여기서,  $e^o(T)$ 는  $T$  °C에서의 포화증기압(kPa),  $T$ 는 온도(°C)이다.

$$e_s = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2} \quad (2-11)$$

여기서,  $e_s$ 는 평균포화증기압(kPa),  $e^o(T_{\max})$ 는 일최고기온( $T_{\max}$ )에서 포화증기압(kPa),  $e^o(T_{\min})$ 는 일최저기온( $T_{\min}$ )에서 포화증기압(kPa)이다.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2} \quad (2-12)$$

여기서,  $\Delta$ 는  $T$  °C에서 포화증기압 곡선의 기울기(kPa/°C)

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \left[ \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2} \right] \quad (2-13)$$

여기서,  $e_a$ 는 실제증기압(kPa),  $e^o(T_{\min})$ 는 일최저기온에서 포화증기압(kPa),  $e^o(T_{\max})$ 는 일최대기온에서 포화증기압(kPa),  $RH_{mean}$ 는 일평균상대습도(%)이다.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2-14)$$

여기서,  $R_n$ 는 지구표면에서 순수하게 축적되는 에너지(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $R_{ns}$ 는 지구표

면에서 흡수되는 태양복사에너지(MJ/m<sup>2</sup>/day),  $R_{nl}$ 는 지구표면에서 우주로 방사되는 복사에너지(MJ/m<sup>2</sup>/day)이다.

$$G = c_s \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z \quad (2-15)$$

여기서, G는 토양 열 유속(MJm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>),  $c_s$ 는 토양의 열용량(2.1 MJ/m<sup>3</sup>/°C),  $T_i$ 는 시간 i에서 대기온도(°C),  $T_{i-1}$ 는 시간 i-1에서 대기온도(°C),  $\Delta t$ 는 시간(day),  $\Delta z$ 는 유효토심(m)이다.

단, 1일 혹은 10일 단위의 토양 열 유속의 경우, 지표가 작물 등의 녹색식물로 피복되어 있을 때의 토양 열 유속은 상대적으로 매우 작기 때문에 무시될 수 있다.

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (2-16)$$

여기서,  $u_2$ 는 지상 2m 높이에서의 풍속 (m/s),  $u_z$ 는 지상 z m에서 측정된 풍속 (m/s), z는 풍속이 측정된 높이(m)이다.

작물계수 Kc는 잠재증발산량과 실제 증발산량의 비로서, 각 지역별로 다른 값을 가지게 되는데, <표 2-17>과 같이 서울대학교 농업개발연구소에서 발표한 자료를 이용하였다.

<표 2-17> 논벼에 대한 작물계수

월	6			7			8		
	초순	중순	하순	초순	중순	하순	초순	중순	하순
Kc	0.97	1.03	1.27	1.27	1.34	1.47	1.57	1.43	1.41

\* 출처 : Institute of Agricultural Science and Development, SNU, 1986

토양수분계수 KSS는 근역(root zone)에서의 토양수분 효과를 고려하기 위한 계수로

써, 실제 토양함수율과 포화상태에서의 토양함수율의 관계를 이용하여 식(2-17)~식(2-19)과 같이 계산한다(Li와 Cui, 1996).

$$KSS_t = 1.0, \quad WACO_t \geq SWCO_t \quad (2-17)$$

$$KSS_t = \frac{\ln[1 + 100(1 - SWCO_t / WACO_t)]}{\ln 101}, \quad \eta \cdot SWCO_t \leq WACO_t < SWCO_t \quad (2-18)$$

$$KSS_t = \epsilon \cdot \exp\left(\frac{WACO_t - \eta \cdot SWCO_t}{\eta \cdot SWCO_t}\right), \quad WACO_t < \eta \cdot SWCO_t \quad (2-19)$$

여기서, WACO는 실제 토양수분 함수비, SWCO는 포화상태에서의 토양함수비,  $\eta$ ,  $\epsilon$ 은 경험계수로써 논벼의 경우 각각 80, 0.95를 적용하며, t는 시간(day)이다.

식(2-6)에서 계산된 실제증발산량이 실질적으로 담수와 토양수분을 합하여도 그 양을 충족시키지 못할 경우를 고려하여 보다 실질적인 실제증발산량을 계산하기 위하여 식(2-6)에서 계산된 실제증발산량을 담수심에 따라 아래 3가지의 경우를 고려하여 최종 실제증발산량을 계산한다.

$$ETA_t = ETA'_t \quad WD_t \geq ETA_t \quad (2-20)$$

$$ETA_t = WD_t + RTP_t - EXC \quad 0 < WD_t < ETA_t \quad (2-21)$$

$$ETA_t = ETA'_t - EXC \quad WD_t = 0 \quad (2-22)$$

여기서, ETA는 최종 실제증발산량(mm/day), RTP는 식(2)에서 계산된 증발산량(ETA')에서 담수심을 제외한 양(mm/day)이며, EXC는 초과증발산량(mm/day), t는 시간(day)이다.

초과증발산량(EXC)는 담수심과 토양층 증발산량을 고려한 잉여 증발산량으로 식(2-23)과 식(2-24)와 같이 계산한다.

$$EXC_t = RWC_t - AWC_t \quad RWC_t > AWC_t \quad (2-23)$$

$$EXC_t = 0 \quad RWC_t \leq AWC_t \quad (2-24)$$

여기서, RWC는 토양에서 발생하는 증발산량(mm), AWC는 토양층내 유효토양수분 함량(mm), t는 시간(day)이다.

토양에서 발생하는 증발산량(RWC)은 증산작용에 의해 발생하는 양으로 근역층에 해당되는 상부 두개 층에서 이루어지고, 상부층부터 계산을 하여 부족분은 하부층에 전달된다고 가정하며 식(2-25)와 같이 계산하고, 각 토양층내 유효토양수분함량은 식(2-26)과 같이 계산한다.

$$RWC_t(i) = \frac{D_i}{D_1 + D_2} \times ETA_t' \quad (2-25)$$

$$AWC_t(i) = [WACO_t(i) - RWCO(i)] \times D_i \quad (2-26)$$

여기서, RWC(i)는 토양층 i에서 발생하는 증발산량, WACO(i)는 각 토양층 i의 현재 함수비( $cm^3/cm^3$ ), RWCO(i)는 토양층 i의 위조점에 대한 함수비( $cm^3/cm^3$ ),  $D_i$ 는 토양층 i의 깊이(m)이다.

#### 나) 연직흐름

연직흐름방향의 물의 흐름 및 흐름양을 계산하기 위하여 Darcy 법칙과 불포화토양에서의 수분이동현상을 기술하는 Richards 식을 이용하여 계산하였다.

##### (1) 토층이 포화상태인 경우

토층이 포화상태인 경우에서의 연직 흐름방향의 물의 흐름양을 계산하기 위하여 흡속을 흐르는 물이 포화 종류 상태로 침투할 때 유출속도(v)는 동수경사(i)에 비례하고 침투유량은 동수경사(i)와 투수단면적(A)에 비례한다는 Darcy 법칙을 이용하였으며, 식(2-27)과 같이 표현된다.

$$Q = kiA \quad (2-27)$$

연직방향으로 유입하는 수위가 시간  $\Delta t$  동안에  $\Delta h$ 로 변하고 유입면적(a)을 고려하면 단위 시간당 유입수량은  $-a \times dh/dt$  이므로 토층깊이를 L이라고 하면, 식(2-28)과 식(2-29)와 같이 표현된다.

$$-a \times dh/dt = kAh/L \quad (2-28)$$

$$-a \frac{dh}{h} = \frac{kA}{L} dt \quad (2-29)$$

만일  $t_1$ 시간에서 수위가  $h_1$ 이고,  $t_2$ 시간에 수위가  $h_2$ 라면,

$$-a \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = \frac{kA}{L} \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (2-30)$$

식(2-30)에서 유입면적(a)과 투수단면적(A)이 같다고 가정하고, 이를 적분하여 정리하면 다음과 같다.

$$h_2 = \exp(\ln h_1 - k(t_1 - t_2)/L) \quad (2-31)$$

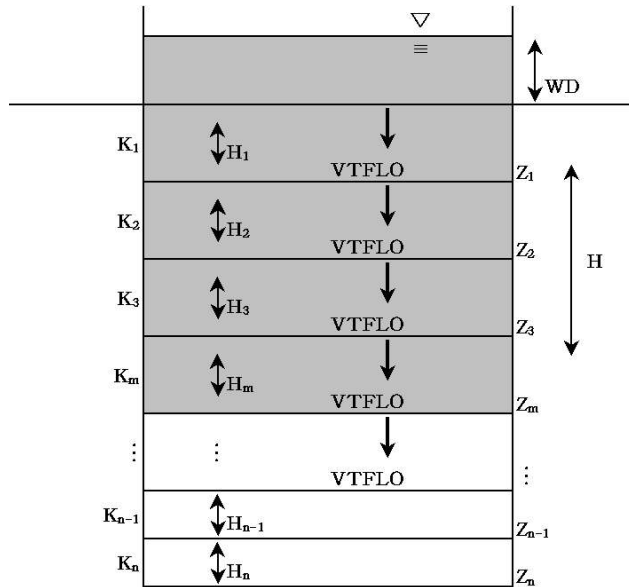
연직방향에 대한 투수계수가 각 층마다 변화하는 다층지반에서, 이를 단순화하기 위하여 등가투수계수 개념을 도입하였다. (그림 2-27)은 n개의 층을 형성하고 있는 다층지반에서 포화토층에서의 연직방향의 흐름을 도시한 경우이다. 이 경우 모든 층을 통과하는 유속은 동일하며, 전수두손실 h는 각 층에서의 수두손실을 합한 것과 동일하며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$v = v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_m \quad (2-32)$$

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_m \quad (2-33)$$

여기서 m은 최종 포화토층 번호이다





(그림 2-27) 포화토층에서의 다층지반 연직흐름 개념도

Darcy의 법칙을 사용하면, 식(2-32)를 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$k_{V(eq)} \left( \frac{h}{H} \right) = k_{V_1} i_1 = k_{V_2} i_2 = k_{V_3} i_3 = \dots = k_{V_n} i_n \quad (2-34)$$

여기서, H는 포화토층 깊이(cm),  $k_{V_1}$ ,  $k_{V_2}$ ,  $k_{V_3}$ , ...,  $k_{V_n}$ 은 각 층에서 수직방향 투수계수(cm/day)이고,  $k_{V(eq)}$ 는 등가투수계수(cm/day)이고, I는 각 토층 번호이다.

식(2-33)으로부터

$$h = H_1 i_1 + H_2 i_2 + H_3 i_3 + \dots + H_n i_n \quad (2-35)$$

식(2-34)과 식(2-35)를 풀면

$$k_{V(eq)} = \frac{H}{\frac{H_1}{k_{V_1}} + \frac{H_2}{k_{V_2}} + \frac{H_3}{k_{V_3}} + \dots + \frac{H_m}{k_{V_m}}} \quad (2-36)$$

초기 수위를 담수심 깊이(WD)로 하고  $\Delta t$  시간후의 담수심 깊이를 WD'라고 하고 식(2-36)에서 구한 등가투수계수를 이용하면 식(2-31)은 다음과 같다.

$$WD' = \exp(\ln WD - k_{V(eq)}(t_1 - t_2)/H) \quad (2-37)$$

따라서 포화상태에 있는 각 토양층에서의 흐름량은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$VTFLO_t = WD - WD' \quad (2-38)$$

여기서, VTFLO는 연직흐름의 양(mm), t는 시간(day)이다.

(2) 토층이 불포화상태인 경우

불포화상태에서의 연직방향의 흐름은 Richard식을 이용하여 다음과 같은 연속방정식을 이용하여 계산하였다(Schulla and Jasper, 2001).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial(-k(\theta) \frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial z})}{\partial z} \quad (2-39)$$

여기서,  $\theta$ 는 토양함수비( $m^3/m^3$ ), t는 시간(s), k는 수리전도도(m/s),  $\Psi$ 는 모관수두와 깊이에 따른 수리학적 수두, q는 비유속(m/s), z는 깊이이다.

식(2-39)를 이산방정식(discrete equation)으로 변환하면 식(2-40)과 같다.

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta z} = q_{inflow} - q_{outflow} \quad (2-40)$$

여기서,  $q_{inflow}$ 는 토양층으로 유입되는 양(m/s),  $q_{outflow}$ 는 토양층에서 유출되는 양(m/s)이다.

식(2-39)과 식(2-40)를 이용하여 상위층(u)과 하위층(l)과의 유량변화는 식(2-41)~식(2-42)과 같이 계산한다.

$$q = k_{eff} \cdot \frac{h_n(\theta_u) - h_n(\theta_l)}{0.5 \times (d_u + d_l)} \quad (2-41)$$

$$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{d_u}{d_l + d_u} \cdot \frac{1}{k(\theta_u)} + \frac{d_l}{d_l + d_u} \cdot \frac{1}{k(\theta_l)} \quad (2-42)$$

여기서,  $q$ 는 두층 사이에 흐르는 유량(m/s),  $k_{eff}$ 는 유효 수리전도도(m/s),  $d$ 는 토양층의 두께(m),  $h_n$ 는 수리학적 수두(m)로 모관압력수두( $\psi(\theta)$ )와 지형학적 고도의 합으로 이루어진다.

불포화 토양층의 모관압력수두 및 불포화투수계수는 Van Genuchten식(1980)을 이용하여 계산하였다. 사용된 식은 아래와 같다.

$$\psi(\theta) = \frac{1}{\alpha} \left[ \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{-\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2-43)$$

$$\frac{k(\theta)}{k_s} = \sqrt{\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}} \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (2-44)$$

여기서,  $\psi$ 는 모관압력수두(m),  $\alpha$ 는 경험계수(1/m),  $n$ ,  $m$ 은 경험계수( $m=1-1/n$ ),  $\theta$ 는 실제함수비,  $\theta_r$ 는 잔류함수비,  $\theta_s$ 는 포화함수비,  $k_s$ 는 포화상태의 수리전도도(m/s)이다.

### (3) 침투량(IFFLO)

지표층이 포화상태인 경우의 침투량(IFFLO)은 (그림 2-27)에서와 같이 토양이 포화상태일 때 구한 연직흐름의 양(VTFLO)과 같은 양이다. 즉, 아래 식과 같다.

$$IFFLO_t = VTFLO_t \quad (2-45)$$

지표층이 불포화상태인 경우는 지표층의 토양수분 부족량이 침투되는 것으로 간주하여 아래의 식과 같이 구하였다.

$$IFFLO_t = 10 \times [SWCO_t(1) - WACO(1)] \times D_1 + DP(1) \quad (2-46)$$

여기서, SWCO(1)는 지표층의 포화상태에서의 함수비( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), WACO(1)는 지표층의 현재상태에서의 함수비( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ),  $D_1$ 는 지표층의 두께(cm), DP(1) 지표층에서 바로 아래층으로 흐르는 수분양(cm)이다.

#### 다) 측방 침윤량(HZFLO)

측방 침윤량은 논안의 물이 논둑을 통해 배수로 또는 다른 논으로 횡방향으로 침윤되는 양을 의미하며, 아래 식(2-47)과 같이 계산한다.

$$HZFLO_t = \frac{\Delta H}{R_{hor}} \quad (2-47)$$

여기서,  $\Delta H$ 는 필지수위와 배수로 수위의 수두차이(mm),  $R_{hor}$ 는 수압저항력(hydraulic resistance[days])이다.

수압저항력은 Ernst 방정식을 이용하여 식(2-48)과 같이 계산한다(ILRI, 1983).

$$R_{hor} = \frac{L^2}{8T} \quad (2-48)$$

여기서, L은 배수로 사이의 거리(mm), T는 투수계수(transmissivity)이다.

### 라) 지표배수량

지표배수량이란 관개지구에 공급된 수량이 물꼬를 넘어 배수로나 하천으로 지표 월류하는 양으로 담수심과 물꼬높이에 영향을 받는다. Odhiambo와 Murty(1996)는 지표 배수량과 담수심을 추정하기 위하여 다음 3가지를 가정하였다. 첫째, 논에서의 유속 및 물꼬의 월류속도를 무시한다. 둘째, 배수되는 물은 논둑을 월류하지 않는다. 셋째, 논둑면은 지표와 수직을 이루며, 관개지구 면적은 담수심과 무관하다. 이상의 가정을 통해 식(2-49)과 같이 물꼬 상류 수두 변화를 상미분 방정식으로 표현하였다.

$$\frac{dH}{dt} = [WIN(t) - SURFLO(H_t)]/A \quad (2-49)$$

여기서, WIN(t)는 시간에 대한 논에서의 관개유입량(m<sup>3</sup>), SURFLO(H<sub>t</sub>)는 물꼬 상류높이(H<sub>t</sub>)에 대한 물꼬를 통해 배수되는 양(m<sup>3</sup>), A는 필지 면적(m<sup>2</sup>), t는 시간간격이다.

식(2-49)를 풀기위하여 수치적 방법인 고전적인 4차 Runge-Kutta법을 이용하였으며, 아래와 같이 계산된다.

$$H_{t+dt} = H_t + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 \quad (2-50)$$

여기서  $k_1, k_2, k_3, k_4$ 는 다음과 같다.

$$k_1 = dt \cdot [WIN(t) - SURFLO(H_t)]/A \quad (2-51)$$

$$k_2 = dt \cdot [WIN(t + dt/2) - SURFLO(H_t + k_1/2)]/A \quad (2-52)$$

$$k_3 = dt \cdot [WIN(t + dt/2) - SURFLO(H_t + k_2/2)]/A \quad (2-53)$$

$$k_4 = dt \cdot [WIN(t + dt) - SURFLO(H_t + k_3)]/A \quad (2-54)$$

WIN(t)는 t시간동안의 강수량과 관개량의 합이며, SURFLO(H<sub>t</sub>)는 광정웨어(broad crested weir) 공식에 의해 아래와 같이 계산한다.

$$SURFLO(H_t) = \mu \cdot LEN \cdot H^{1.5} \quad (2-55)$$

여기서,  $\mu$ 는 유량계수, LEN은 물의 흐름방향과 수직되는 물꼬 폭(m), H는 물꼬 상류높이이다.

물꼬를 통하여 유출되는 광정웨어의 유량계수는 아래와 같이 구할 수 있다(Wang과 Hagan, 1981)

$$\mu = \frac{\sqrt{2g}}{2} \left[ \left( \frac{DisCF^2 - 1}{DisCF^2} \right) \left( \frac{GateHgt + H}{DisCF(GateHgt + H) - H} \right) \right]^{0.5} \quad (2-56)$$

여기서, GateHgt는 물꼬높이(m)이고, DisCF는 상수이다. 상수 DisCF의 값은 자유흐름 조건에서는 2.0이며, 정상흐름조건의 경우에는 1.7이다. 물꼬를 월류하는 경우는 자유흐름과 정상흐름이 복합적으로 일어나므로 평균값이 1.85를 사용하였으며, 일반적으로 광정웨어의 유량계수는 0.85에서 1.0의 범위를 가진다.

#### 마) 지하수 유출량

강우나 관개수의 일부분은 침투로 인하여 토양속으로 이동하여 지하수위를 상승시키고, 서서히 지하수 유출의 형태로 하천으로 유출된다. 이 때, 토양속에서의 수분이 동은 투수계수 등과 같은 토양의 특성이나 지형 및 지하수위에 따라 결정된다.

농업구역의 지하수 유출량은 토양내부 Tank의 개념을 이용하여 아래 식(2-57)을 이용하여 구한다.

$$GWFlow_t = a (GWT_t)^b \quad (2-57)$$

여기서, GWFlow는 지하수 유출량(mm/day)이며, a, b는 유역에 따른 매개변수로 유역면적이나 경사 등의 지형적인 인자에 의해 영향을 받는다. GWT는 지하수위(mm)를 나타내며, 아래의 식(2-58)에 의해 계산된다.

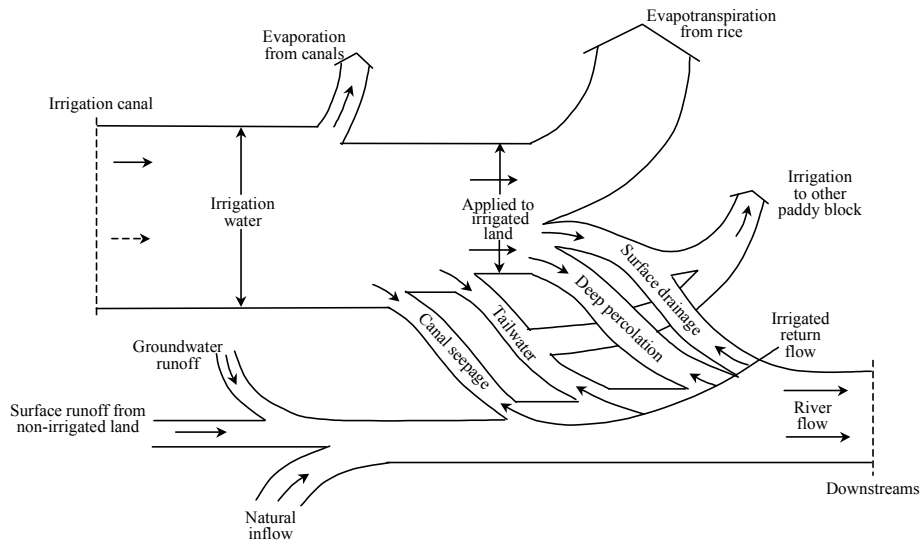
$$GWT_t = GWT_{t-1} - GWFlow_t \quad (2-58)$$

#### 바) 회귀수량

논의 관개에 있어서 관개된 수량이 작물에 의해 모두 소비되는 것이 아니라, 일부는 송수되는 과정에서 침투 등의 손실로 지하로 스며들어 지하수위를 상승시키게 되고, 담수된 수량이 물꼬높이보다 많으면 물꼬를 넘어 배수되게 된다. 이와 같이 농업용수의 순환과정에서 지표수 혹은 지하수의 형태로 배수되어 하천으로 흘러나오는 양을 회귀수량(return flow)이라 하며, 전체 관개량 중에서 회귀수량의 비율을 회귀율(return flow rate)이라 한다.

신속 회귀수량이란 (그림 2-28)에서와 같이 물꼬를 넘어 월류하는 배수량이나 수로의 수위를 유지하기 위한 배분관리 용수량 등이며, 자연 회귀수량은 수로의 침투량이나 논 토양의 침투량이 지하수 유출로 하천으로 흘러나오는 것을 말한다.

논에 강우량, 관개량 등의 공급량과 증발산량, 침투량 등의 소비량으로부터 일별 담수심을 추정하고, 당일의 물꼬높이를 이용하여 지표배수량을 계산한다. 관개는 일차적으로 강우에 의해 이루어지며, 부족한 수량만을 인위적인 수단으로 공급하는 것이다. 그러므로 강우시에는 강우량이 먼저 공급되고, 그 이후에 관개량이 공급되는 것으로 계산하였다.



(그림 2-28) 관개 회귀수 흐름

신속회귀수량, QRF는 아래 식과 같이 배분관리용수량, DWR과 지표배수 관개량, OF로부터 구한다.

$$QRF_t = OF_t + DWR_t \quad (2-59)$$

여기서, DWR는 배분관리용수량이며, OF는 지표배수량 중에서 관개용수의 공급으로 인하여 발생하는 양으로 관개량, 담수심, 물꼬높이에 따라 결정된다.

관개용수 중에서 지표배수되는 양, OF는 다음과 같이 구한다.

- ① 무강우시에는 물꼬를 넘어 월류하는 수량으로 한다.
- ② 강우량에 의하여 증가된 담수심이 물꼬보다 높을 경우에는 관개량을 모두 지표배수 관개량으로 한다.
- ③ 강우에 의한 담수심이 물꼬보다 낮으면, 공급된 관개량으로부터 담수심을 계산하여 물꼬 월류량을 지표배수 관개량으로 한다.

자연 회귀수량은 토양층으로 침투한 수량이 포화된 토양층으로부터 유출되는 것으



로, 지하수 유출에 대한 모델링을 통하여 관개와 비관개 조건에 대한 지하수 유출성분의 변화를 추정하고, 이로부터 관개용수로 인한 자연회귀수량을 계산한다. 이를 위하여 본 모형에서는 비관개 조건의 관개지구(imaginary block)를 구성하였다.

$$DRF_t = GWFIR_t - GWFNO_t \quad (2-60)$$

여기서, DRF는 자연회귀수량(mm/day)이며, GWFIR는 관개지구로부터 유출되는 지하수 유출량(mm/day)이고, GWFNO는 동일한 관개지구에서 관개량이 공급되지 않는 조건(imaginary block)에서 유출되는 지하수 유출량(mm/day)을 의미한다.

관개회귀수량은 식 (2-61)과 같이 신속 회귀수량과 자연 회귀수량을 모두 합하여 일별로 추정하며, 관개 회귀율은 수원공에서 공급된 수량, WU과 관개회귀수량의 비로써 계산한다.

$$RETFLO_t = QRF_t + DRF_t \quad (2-61)$$

$$RATIO_t(\%) = \frac{RETFLO_t}{WU_t} \times 100 \quad (2-62)$$

#### 다. 저수지 모형

저수지의 유입 및 유출수량의 시간적인 변화량을 추적하기 위해 유입량과 방류량 모형을 포함하고 기타 물수지요소도 고려하여 일별 저수량을 추적할 수 있는 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model)을 선정하였다. DIROM은 김현영(1988)이 개발한 것으로 우리나라에서 널리 적용되어 정확성을 입증한 바도 있는 저수지 모의조작 모형이다.

저수지 물수지는 유입·유출수량을 주어진 시간 단위별로 저수량 또는 저수지 수위를 추적하기 위해 사용되는데, 이는 연속방정식에 의해 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + U_t + P_t - (R_t + O_t + E_t + G_t + D_t) \quad (2-63)$$

여기서,  $S_{t-1}$ 은 t-1일의 저수량(storage),  $I_t$ 는 유입량(In-flow),  $P_t$ 는 수면강수량(Precipitation),  $U_t$ 는 지하수 유입량(Underground inflow),  $R_t$ 는 방류량(Release),  $O_t$ 는 여수토 월류량(Overflow),  $E_t$ 는 수면증발량(Evaporation),  $G_t$ 는 지중침투량(Percolation),  $D_t$ 는 제방침투량(Dam seepage)이다.

유입량( $I_t$ )은 sugawara 의 탱크 모형을 기초로 소규모 관개용저수지에 적합하도록 모형을 단순화하여 모의 발생하도록 한다. 방류량( $R_t$ )은 Penman식에 의해 증발산량을 추정하고 답에서의 답수심에 의해 유효우량을 산정한 다음 통관에서의 방류량을 일별로 모의 발생하게 된다.

지하수 유입량( $U_t$ ), 지중 침투량( $G_t$ ) 및 제방침투량( $D_t$ )은 유실이 거의 불가능한 요소들이다. 특히 지하수 유입은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 일단위 와 같이 매우 단기간의 물수지에 있어서는 고려의 대상이 되지 않는다.

또한 지중침투량은 댐 설계시부터 누수를 방지할 목적으로 지수벽을 설치하므로 이로 인한 누수량은 매우 적거나 무시할 수 있다. 따라서 이러한 양은 매우 적거나 단기간의 물 수지에 영향을 미치지 않는으나, 복합적인 작용과 저수지의 규모에 의해 영향을 받을 수 있으며, 식(2-63)의 요인 이외에 통관누수량 등도 생각할 수 있으므로 “기타 손실량”의 개념을 도입하여 black box로 처리한다. 이에 의해 식(2-63)을 다시 쓰면,

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + O_t + E_t + L_t) \quad (2-64)$$

이 된다. 여기서  $L_t$ 는 기타 손실량(other loss)이다.

저수지 수면에 강하하는 강수량은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$P_t = R_t \times A_f \times C \quad (2-65)$$

여기서,  $P_t$ 는 t일의 수면강수량( $m^3$ ),  $R_t$ 는 t일의 측후소 강수량(mm),  $A_f$ 는 저수지 만수면적(ha), C는 단위 환산계수(=10) 등이다.

저수지 수면으로 부터의 수면증발량은( $E_t$ ) 대형증발계에 의한 자료가 이차적 수면의 증발과 가까우므로 Veihmeyer (1964)의 Pan계수를 사용하여 다음 식(2-66)과 같이 설계한다.

$$E_t = A_t \times E_v \times P_c \times C \quad (2-66)$$

여기서,  $E_t$ 는 t일의 수면증발량( $m^3$ ),  $A_t$ 는 t일의 저수지 수면적( $m^2$ ),  $E_v$ 는 측후소 증발량(mm),  $P_c$ 는 증발계 종류에 따른 Pan 계수 (=0.7), C는 단위 환산계수(=1/1000)이다.

여수토 월류량( $O_t$ )은 그 형식이 자연월류식인 경우 물 수지의 설계단위가 1일이므로 시간별 월류량 계산은 무의미하다. 따라서 당일의 저수량이 여수토 마루높이 이상 될 때 그 이상되는 저수량은 모두 월류되는 것으로 한다.

$$O_t = S_t - S_f \quad (\text{단, } S_t > S_f) \quad (2-67)$$

여기서  $O_t$ 는 t일의 월류량( $m^3$ ),  $S_t$ 는 t일의 저수량( $m^3$ ),  $S_f$ 는 저수지 만수량( $m^3$ )이다.

## 라. 기타 공급수량 및 회귀수량 모형

### 1) 기타 공급수량

#### 가) 생활용수

생활용수는 1일당 소비수량과 급수대상 인구수에 의해 추정하는 것이 보통이다. 생

활수준의 향상에 따라 증가하는 것이 일반적인 현상으로서 급수 대상 인구수는 기준년도 의 인구수를 추정하여 결정한다. 또한 생활용수는 계절적으로 수요 시간대별로 급수량이 변화되나 시간대별 급수량의 변동은 급수조에서 조정되는 것으로 보고 일단 위 1인당 소비수량에 따라 다음 식(2-68)으로부터 구하여 본 물수지 모형에서는 일단 위로 정량을 입력토록 하였다. 즉,

$$REQR = N_p \times (ARQR/1000) \quad (2-68)$$

여기서  $REQR$ 는 생활용수 필요수량 ( $m^3/day$ ),  $ARQR$ 는 1인당 평균급수량 ( $l/인 \cdot 일$ ),  $N_p$ 는 급수대상 인구수(인)이다.

인구 1인당 1일 평균 급수량은 <표 2-18>의 값을 기준으로 한다.

<표 2-18> 도시규모별 도시상수도 1인 1일 평균 급수량

단위 : L/인·일				
구분	2001년	2006년	2011년	비고
100만 이상	515	528	538	
40~100	397	432	452	
5~40	354	384	403	
2~5	293	321	340	
2만 미만	269	295	314	
평균	440	467	481	

\* 출처 : 상수도, 건교부(1970~1988)

## 나) 공업용수

공업용수는 제품생산과 그 부대시설의 운용을 위하여 필요로 하는 용수로서 필요수량 계산은 제품중량(Ton)당, 종업원수 또는 공장부지 면적에 의한 원단위 추정법이 있다. 제품중량당 용수량 추정법은 산업활동의 시간적 변화를 고려한 것이나 변화에 대한 추정의 불확실성 등으로 업종별 공장부지 면적에 의한 원단위 추정법이 일반적으로 이용되고 있다. 공장부지면적당 공업용수는 <표 2-19>과 같다.

본 물수지 모형에서는 원단위 추정법에 의하여 다음 식(2-69)과 같이 공업용수의

필요수량을 결정하여 일단위로 정량을 입력토록 하였다.

$$REQI_j = A_j \times ARQI_j \quad (2-69)$$

여기서  $REQI$ 는 공업용수 필요수량 ( $m^3/day$ ),  $A$ 는 업종별 공장부지면적 ( $m^2$ ),  $ARQI$ 는 업종별 원단위 1일 필요수량 ( $m^3/m^2/day$ ),  $j$ 는 업종별 첨자이다.

<표 2-19> 공장부지면적당 공업용수

(단위 :  $m^3/m^2/년$ )

업종분류	1998	2001	2006	2011	2016	2020
음 식 료	11.64	11.72	11.85	11.98	12.11	12.24
섬유·의복	11.22	11.37	11.60	11.85	12.09	12.34
목재·종이	6.01	5.95	5.85	5.76	5.66	5.56
석 유 화 학	4.94	4.97	5.05	5.12	5.19	5.26
비금속소재	3.77	3.74	3.69	3.63	3.58	3.53
철 강	6.61	6.36	5.95	5.54	5.13	4.72
기 계	2.98	2.96	2.84	2.75	2.67	2.58
전기·전자	5.60	5.71	5.90	6.09	6.28	6.47
운 송 장 비	3.76	3.70	3.61	3.52	3.43	3.34
기 타	2.03	2.00	1.95	1.90	1.85	1.80
평 균	5.53	5.64	5.49	5.43	5.30	5.16

\* 출처 : 수자원장기종합계획, 2001, 건설교통부

#### 다) 축산용수

축산용수는 가축두수당 물수요량을 가축두수에 곱하는 원단위 방법으로 추정하며 축종은 한우, 젓소, 돼지, 닭 등 4종으로 선정하였다. 가축두당 물수요량은 음용수량과 세정수량(축사 및 기계기구청소)이며, 가축의 음용수량과 세정수량은 사육방식, 즉 축사형태와 사육규모 그리고 계절적 변화에 의한 차이가 매우 크다. 이러한 요인들을 고려한 원단위 개념의 단위용수량 조사연구는 현재까지 국내에서 이루어지지 못한 실

정이다 (농업기반공사, 2001). 따라서 현재의 여건에서 국내와 가장 유사한 일본 초지 개발사업계획설계기준 자료를 이용하였으며 축종별 물수요량은 <표 2-20>와 같다.

$$REQL = N \times (ARQ/1000) \quad (2-70)$$

여기서  $REQL$ 은 가축별 필요수량 ( $m^3/day$ ),  $ARQ$ 은 가축두당 물수요량 ( $l/일/두수$ ),  $N$ 은 가축수이다.

<표 2-20> 축종별 가축사육의 물 수요량

구 분	젖 소		한 우 (비육우)	돼 지	닭
	착유우	건유우			
가축두당 물수요량	120~150	50~60	50~60	20~30	0.1~1

\* 출처 : 일본 초지개발사업계획설계기준, 1994

## 2) 기타 회귀수량

취수원으로부터의 환원수량은 용수이용방법에 따라 시간적으로 수량에 차이를 보일 수 있다. 농업용수의 경우 포장에서 담수되고 남은 물 또는 관리상의 손실수량 등이 배수된 후 하천에 유입될 때까지 수시간 또는 수일에 걸쳐 환원될 수 있다. 그러나 중소하천구간에서는 유역면적의 규모나 유달시간 등을 고려하여 본 모형에서는 이와 같은 지체시간을 고려하지 않고 일정 회수율을 적용하여 환원수량으로 하였다.

$$R_i = \sum F_j \cdot D_j \quad (2-71)$$

여기서,  $R$ 은 회귀수량,  $F$ 는 용수목적별 회귀율,  $D$ 는 목적별 취수량이며,  $j$ 는 용수목적을 나타내는 첨자이다.

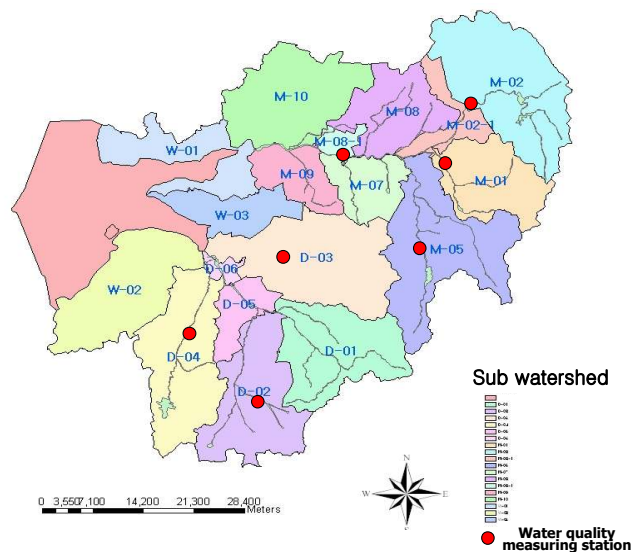
### 3) 하천 네트워크 모형

물수지 모형으로부터 모의한 유량으로부터 각 하천구간별 유량을 추정하고, 이를 상류로부터 하류구간까지 일별 유량을 모의하였다. 하천 구간에 위치한 취입보 수량은 그 지점까지의 유입량을 먼저 산정하고, 보의 수리적 특성에 따라 공급량을 산정하였다. 취수량은 소유역으로 유입되며, 그중 회귀수량은 사전에 지정된 하천구간으로 다시 유입되도록 모의하였다.

## 3. 모형의 적용

### 가. 소유역의 구분

새만금유역의 유출량을 추정하기 위해 새만금유역을 소유역으로 분할하였다. (그림 2-28)과 같이 하천수계별로 29개의 소유역으로 구분하고, 이를 다시 지천의 수계별로 121개의 세부소유역으로 구분하였으며, 각 소유역별 면적과 주요 특징은 <표 2-21>과 같다.



(그림 2-28) 새만금 유역 소유역구분도

소유역별로 물이용과 하천수질예측에 필요한 세부 소유역을 구분하였는데, 세부 소유역은 최대 18개까지 세분함으로서 수질예측의 정확성을 높이도록 하였다.

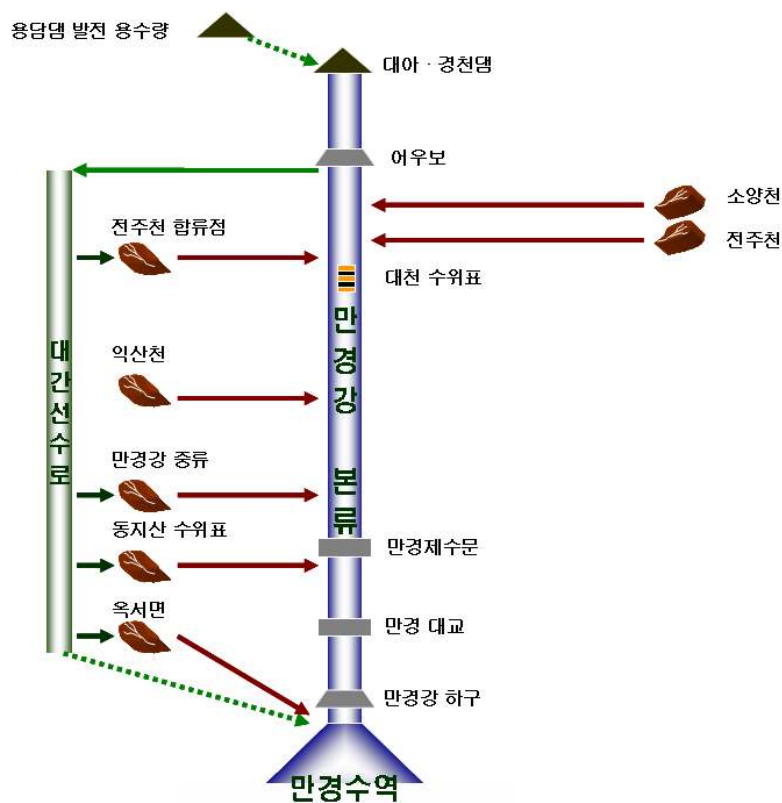
<표 2-21> 세부소유역별 면적 및 주요특징

Sub watershed	Sub area	Area (km <sup>2</sup> )	Delivery length (km)	Shape factor	Sub watershed	Sub area	Area (km <sup>2</sup> )	Delivery length (km)	Shape factor
M-01	M-01	15,300	22.3	0.308	D-03	D-03-1	5,955	8.4	0.850
M-02	M-02	30,820	22.9	0.588	D-03	D-03-2	3,500	7.8	0.581
M-02-1	M-02-1-1	1,945	9.6	0.211	D-03	D-03-3	835	3.4	0.722
M-02-1	M-02-1-2	1,255	3.3	1.152	D-03	D-03-4	3,650	9.2	0.433
M-02-1	M-02-1-3	620	0.8	9.688	D-03	D-03-5	8,240	21.6	0.177
M-02-1	M-02-1-4	410	1.4	2.092	D-03	D-03-6	760	3.5	0.620
M-02-1	M-02-1-5	220	0.3	24.444	D-03	D-03-7	2,900	8.5	0.401
M-02-1	M-02-1-6	210	1.7	0.753	D-03	D-03-8	340	1.4	1.735
M-02-1	M-02-1-7	1,780	10.2	0.171	D-03	D-03-9	840	2.3	1.588
M-05	M-05-1	5,840	20.0	0.146	D-03	D-03-10	310	0.9	3.827
M-05	M-05-2	6,675	3.0	7.618	D-04	D-04-1	18,710	24.5	0.313
M-05	M-05-3	990	2.1	2.266	D-04	D-04-2	1,650	2.8	2.105
M-05	M-05-4	910	2.7	1.296	D-04	D-04-3	520	1.6	2.031
M-05	M-05-5	780	1.5	3.710	D-04	D-04-4	850	2.0	2.125
M-05	M-05-6	10,380	20.5	0.247	D-04	D-04-5	2,800	9.1	0.338
M-05	M-05-7	430	0.6	11.944	D-04	D-04-6	220	1.6	0.859
M-05	M-05-8	440	2.2	0.917	D-05	D-05-1	3,135	9.0	0.387
M-05	M-05-9	490	2.0	1.237	D-05	D-05-2	1,520	6.2	0.395
M-05	M-05-10	1,405	6.2	0.367	D-05	D-05-3	890	3.8	0.616
M-07	M-07-1	2,866	8.0	0.444	D-05	D-05-4	950	4.4	0.491
M-07	M-07-2	1,140	3.0	1.267	D-06	D-06-1	590	2.4	1.024
M-07	M-07-3	4,670	14.1	0.235	D-06	D-06-2	295	1.2	2.049
M-07	M-07-4	990	4.3	0.535	D-06	D-06-3	395	4.2	0.224
M-08	M-08	7,590	17.9	0.237	D-06	D-06-4	260	1.9	0.720
M-08	M-08-2	203	0.5	8.120	D-06	D-06-5	400	3.1	0.416
M-08	M-08-3	211	1.5	0.938	D-06	D-06-6	90	0.1	90.000
M-08	M-08-4	4,360	13.3	0.246	D-06	D-06-7	70	0.1	70.000
M-08-1	M-08-1-1	96	1.5	0.427	W-01	W-01-1	1,560	5.2	0.577
M-08-1	M-08-1-2	84	1.0	0.840	W-01	W-01-2	344	1.5	1.450
M-08-1	M-08-1-3	4,120	10.5	0.374	W-01	W-01-3	450	3.3	0.413
M-09	M-09-1	240	1.9	0.686	W-01	W-01-4	2,268	10.4	0.210
M-09	M-09-2	850	4.8	0.367	W-01	W-01-5	680	3.6	0.540
M-09	M-09-3	5,760	14.3	0.282	W-01	W-01-6	876	4.0	0.548
M-09	M-09-4	2,630	6.5	0.622	W-01	W-01-7	170	0.8	2.656
M-09	M-09-5	320	1.6	1.250	W-01	W-01-8,9	160	0.9	1.975
M-10	M-10-1	1,370	6.2	0.356	W-01	W-01-10	280	1.3	1.709
M-10	M-10-2	1,770	7.1	0.351	W-01	W-01-11	1,850	8.1	0.284
M-10	M-10-3	240	1.1	1.983	W-01	W-01-12	360	2.7	0.487
M-10	M-10-4	280	0.6	7.778	W-01	W-01-13	118	1.4	0.602
M-10	M-10-5	130	1.6	0.508	W-01	W-01-14	770	5.5	0.259
M-10	M-10-6	170	1.5	0.756	W-01	W-01-15	397	0.5	15.880
M-10	M-10-7	510	3.1	0.534	W-01	W-01-16	350	2.1	0.794
M-10	M-10-8	19,200	25.7	0.291	W-01	W-01-17	730	2.0	1.807
M-10	M-10-9	30	0.4	2.315	W-01	W-01-18	1,970	5.1	0.757
M-10	M-10-10	514	1.9	1.424	W-02	W-02-1	990	2.9	1.177
D-01	D-01-1	9,985	12.1	0.682	W-02	W-02-2	1,263	5.8	0.375
D-01	D-01-2-1	2,558	7.3	0.480	W-02	W-02-3	215	2.1	0.488
D-01	D-01-2-2	1,667	4.7	0.755	W-02	W-02-4	3,925	8.3	0.570
D-01	D-01-2-3	475	2.0	1.188	W-02	W-02-5	8,420	16.2	0.321
D-01	D-01-2-4	1,309	2.5	2.094	W-02	W-02-6	3,000	2.1	6.803
D-01	D-01-2-5	1,020	6.2	0.265	W-02	W-02-7	5,900	7.5	1.049
D-01	D-01-2-6	336	1.8	1.037	W-03	W-03-1	260	1.0	2.600
D-01	D-01-3	4,450	11.6	0.331	W-03	W-03-2	120	0.6	3.333
D-02	D-02-0	12,865	12.5	0.823	W-03	W-03-3	165	1.0	1.650
D-02	D-02-1	830	1.4	4.235	W-03	W-03-4	140	1.1	1.157
D-02	D-02-2	330	1.6	1.289	W-03	W-03-5	5,820	9.8	0.606
D-02	D-02-3	1,180	2.6	1.746	W-03	W-03-6,7	1,890	5.4	0.648
D-02	D-02-4	680	3.6	0.525	W-03	W-03-8	520	2.4	0.903
D-02	D-02-5	3,230	9.8	0.336	W-03	W-03-9	1,140	5.0	0.456
D-02	D-02-6	730	2.4	1.267					



## 나. 하천 네트워크의 구성

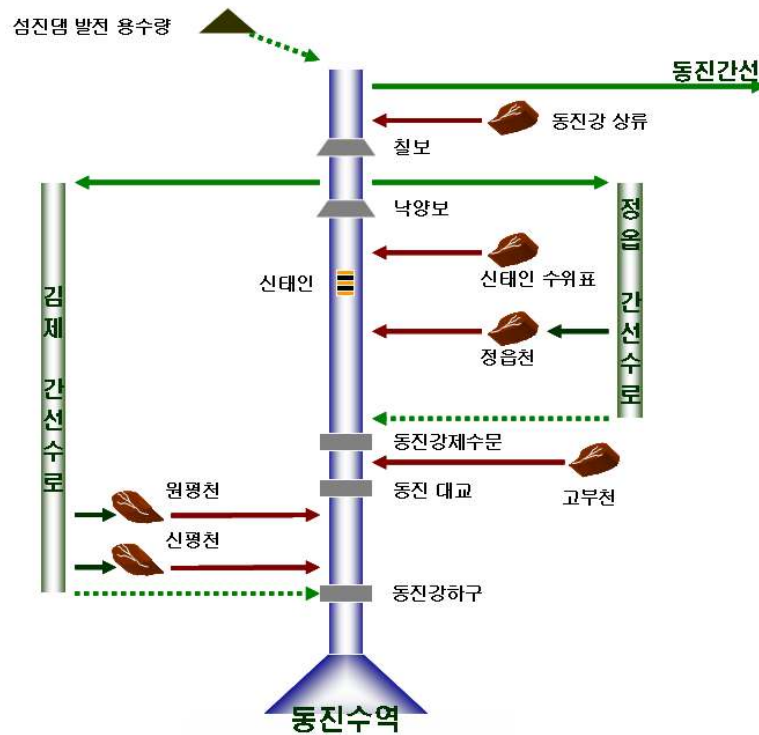
하천 네트워크 (network)는 각각의 소유역, 세부소유역 등의 수문학적 상호관계를 체계화한 것을 말하는 데, 어떤 소유역의 유입 또는 유출되는 유량을 산정하기 위한 것이다. 만경강의 하천 네트워크는 (그림 2-29)와 같으며, 만경강 상류 고산천으로 유입되는 유량은 대아, 경천댐 소유역과 그 하류구간, 그리고 용담댐 발전용수량으로 구성된다. 만경강 본류로 유입되는 수량은 어우보 월류량과 하류구간의 소유역 유량, 생공용수 및 농업용수 회귀수량 등으로 구성되는 체계이다.



(그림 2-29) 만경강수계의 하천 네트워크

동진강의 하천 네트워크는 (그림 2-30)과 같다. (그림 2-30)에서와 같이 동진강은 섬진댐 발전용수량과 농업용수량이 유입되며, 하류구간의 지천으로 정읍천, 고부천, 원평천, 신평천 등으로부터 유출량이 유입되며, 칠보보와 낙양보 등에서 취수된 농업

용수는 유역내 농경지에 관개되며, 그 회귀수량과 유역내 생공용수 배출량이 동진강으로 유입되는 구조이다.



(그림 2-30) 동진강수계의 하천 네트워크

만경강, 동진강 수계내의 주요 하천의 물수지를 위한 하천 네트워크를 구성하였는데, 만경강 수계는 전주천, 동진강 수계는 정읍천, 고부천, 원평천 등에 적용하였다.

#### 다. 물수지모형의 보정 및 검증

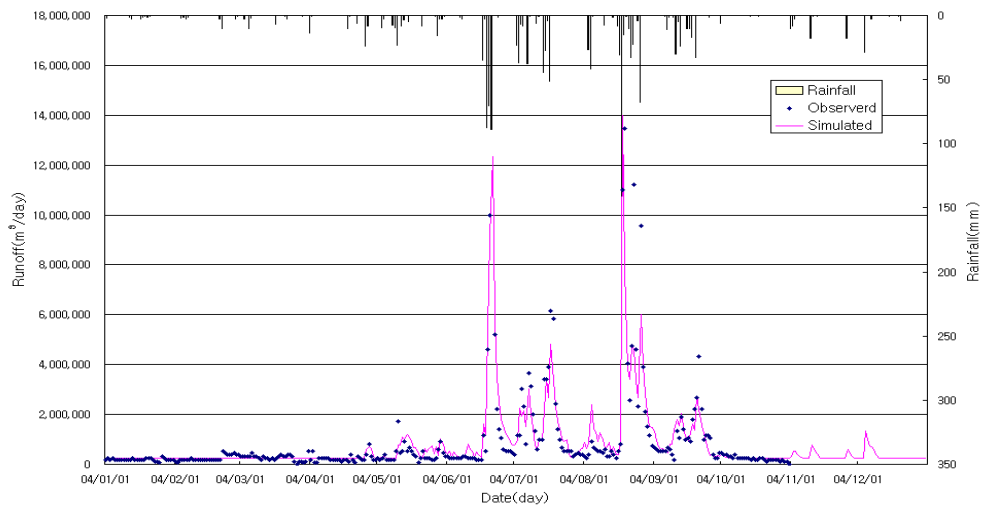
물수지모형의 매개변수의 보정은 기존의 연구결과 등을 참고하여 초기 값을 주어 유량을 모의하고 실측자료가 있는 지점의 하천유량과 비교하여 순차적으로 보정하여 모의결과와 실측치를 비교하는 등의 방법으로 실시하였으며, 매개변수 보정을 위한 목적함수로서 RMSE를 사용하였으며 다음 식 (2-72)와 같이 계산한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_f(i) - Q_o(i)]^2} \quad (2-72)$$

여기서,  $Q_o$ 는 실측값,  $Q_f$ 는 모의값,  $n$ 은 자료수이다.

물수지모형과 하천네트워크 모형으로부터 추정한 일별 유출량과 실측 유출량과 비교한 결과는 (그림 2-31)~(그림 2-32)과 같다.

전주지점의 일유출량은 2002년~2003년 실측자료를 이용하여 모형의 매개변수를 보정하였으며, (그림 2-31)은 2004년 유출량의 추정결과와 실측치를 비교한 결과이다. <표 2-22>는 전주지점에서 매개변수의 보정과 검정한 유출량 추정결과를 비교한 결과로서, 유출량 추정치는 실측치와 유사한 것으로 나타났다.

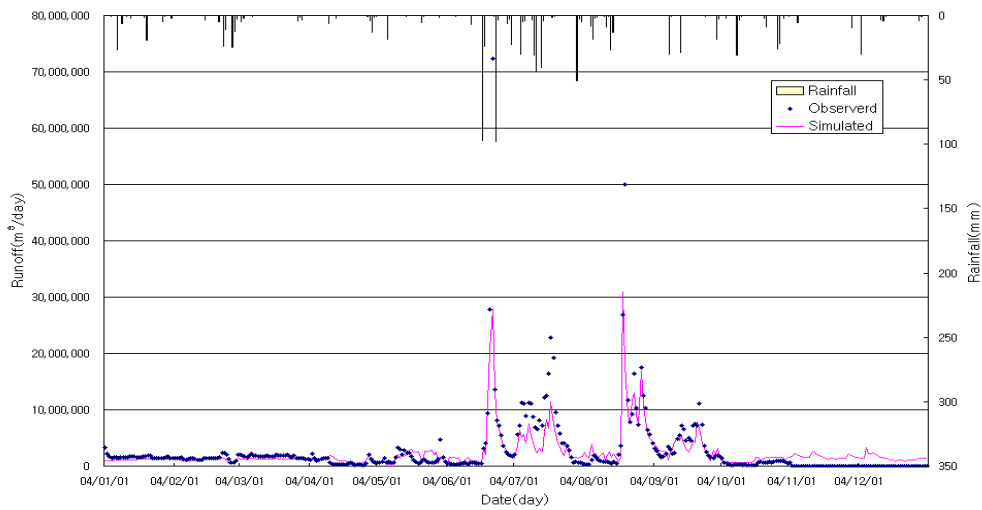


(그림 2-31) 유역물수지 모형의 검정기간에 대한 유출량 비교 (전주지점, 2004년)

<표 2-22> 유역물수지 모형의 보증 및 검증 결과 (전주지점)

구분	연도	강우 (mm)	유출량 (천 m <sup>3</sup> )		유출량비	RMSE (천 m <sup>3</sup> /day)
			실측치	모의치		
보정	2002	1,130.1	217,773	209,950	0.87	679
	2003	1,860.3	440,643	365,532		
검정	2004	1,360.7	271,578	270,252	1.00	940

(그림 2-32)는 대천지점의 일유출량 추정결과와 실측치를 비교한 결과를 보여주고 있다. <표 2-23>에서와 같이 대천지점의 유출량 추정치는 실측치보다 약 11%정도 작은 값을 보여주었으며, 대체적으로 적정한 모의결과를 나타냈다.

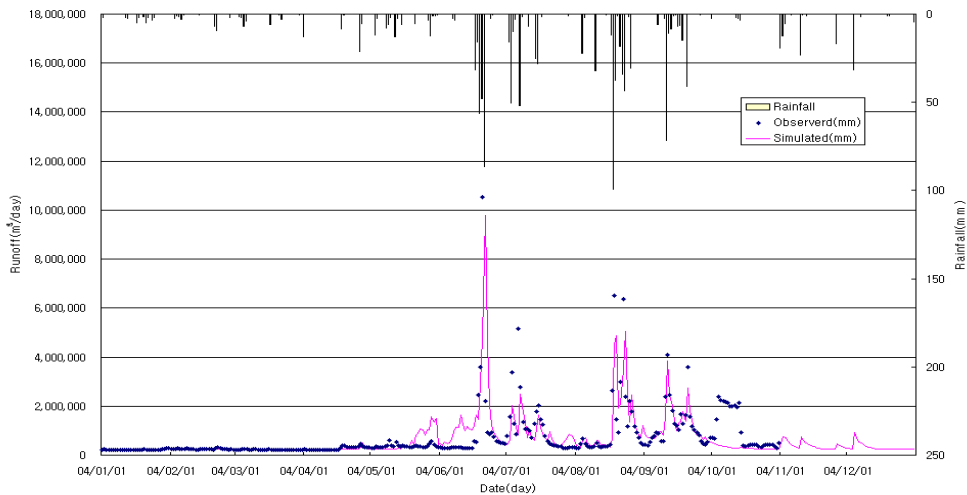


(그림 2-32) 유역물수지 모형의 검정기간에 대한 유출량 비교 (대천지점, 2004년)

<표 2-23> 유역물수지 모형의 보증 및 검증 결과 (대천지점)

구분	연도	강우 (mm)	유출량 (천 m <sup>3</sup> )		유출량비	RMSE (천 m <sup>3</sup> /day)
			실측치	모의치		
보정	2002	1,130.1	429,689	461,289	0.94	2,133
	2003	1,860.3	1,079,696	962,271		
검정	2004	1,360.7	959,965	856,537	0.89	3,633

정읍지점의 일유출량 추정결과는 (그림 2-33)과 같았으며, <표 2-24>에서와 같이 정읍지점의 실측치와 추정치의 유출량비는 1% 정도 차이를 나타냈다.



(그림 2-33) 유역물수지 모형의 검정기간에 대한 유출량 비교 (정읍지점, 2004년)

<표 2-24> 유역물수지 모형의 보증 및 검증 결과 (정읍지점)

구분	연도	강우 (mm)	유출량 (천 m <sup>3</sup> )		유출량비	RMSE (천 m <sup>3</sup> /day)
			실측치	모의치		
보정	2002	1,259.0	220,202	218,136	0.83	856
	2003	1,870.0	396,698	291,368		
검정	2004	1,163.0	212,310	209,485	0.99	875

## 라. 물수지 모의결과

### 1) 새만금유역 유출량

유역물수지 해석결과 1997년이후 연도별 유출량 추정결과는 <표 2-25>에서와 같이 만경강 유역 6.9~14.9억 m<sup>3</sup>으로 연평균 11억 m<sup>3</sup>를 나타냈으며, 동진강 유역은 5.3~9.2억 m<sup>3</sup>의 범위로 연평균 7억 m<sup>3</sup>이다. 또한 서해안 유역에서 유출량을 고려한 새만금 유역의 총 유출량은 24.8억 m<sup>3</sup>정도로 추정된다.

<표 2-25> 새만금 유역의 수계별 연도별 유출량

연도	만경강 유역 (백만 m <sup>3</sup> )	동진강 유역 (백만 m <sup>3</sup> )	새만금 유역 (백만 m <sup>3</sup> )
1997	1,036.2	677.7	2,371.9
1998	1,168.1	917.3	2,893.1
1999	939.9	631.2	2,220.1
2000	1,370.1	674.8	2,830.8
2001	691.7	533.7	1,697.1
2002	781.0	530.7	1,939.5
2003	1,486.9	909.0	3,205.8
2004	1,303.7	630.8	2,661.2
평균	1,097.2	688.2	2,477.4

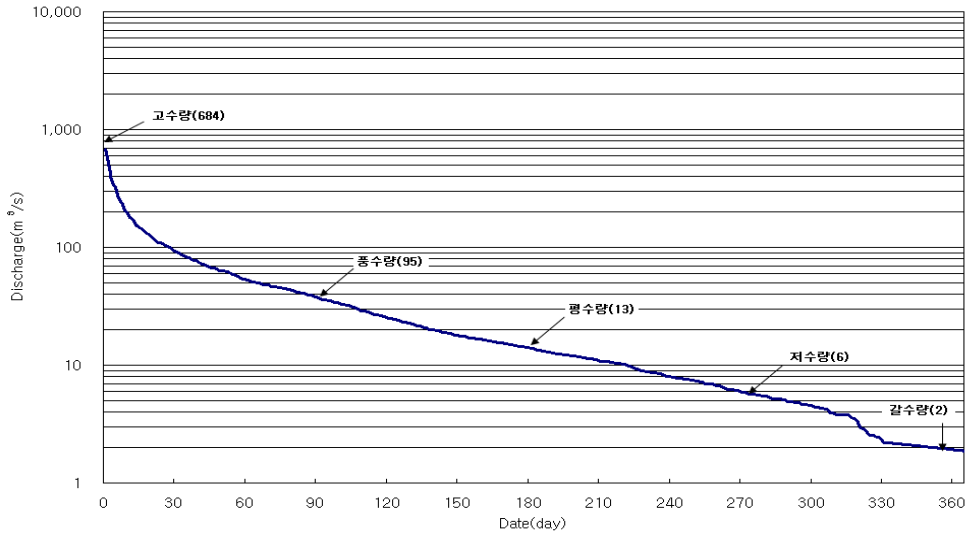
<표 2-26>은 본 연구에서 추정한 새만금유역 유출량과 과거 유출량 추정결과를 비교한 결과이며, 본 연구결과의 연 유출량이 과거 추정치보다 약간 큰 값을 보여준다. 그러나 본 연구의 모형 검증결과를 감안할 때, 추정방법별로 약간의 차이가 나타날 수 있으나, 대체적으로 실측유량에 근접한 결과로 생각된다.

<표 2-25> 새만금유역의 기존 추정결과와 비교

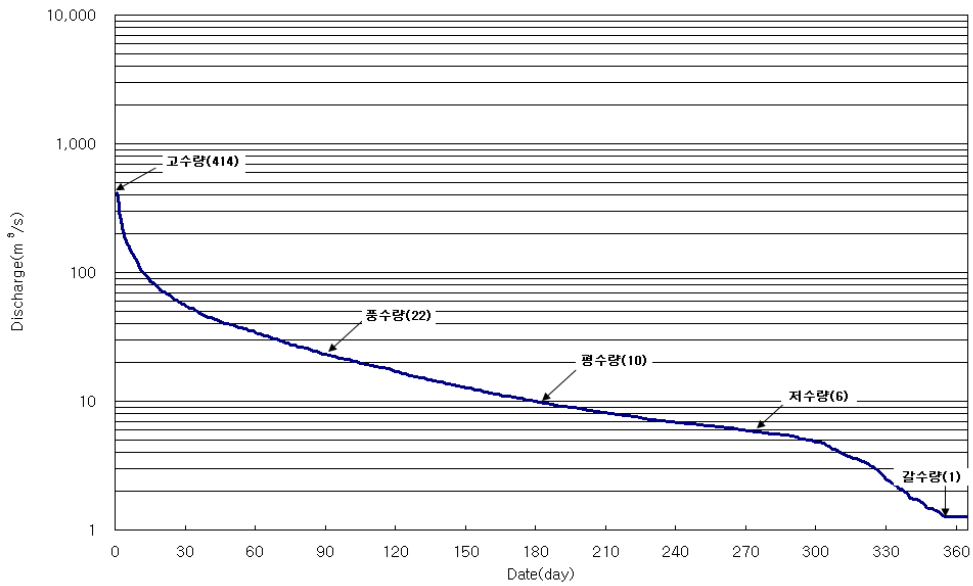
연도	강수량 (mm)	한국농촌공사(2004) <sup>a</sup> (백만 m <sup>3</sup> )	금회 연구 (백만 m <sup>3</sup> )
1997	1,438	2,390.8	2,371.9
1998	1,668	3,169.3	2,893.1
1999	1,366	2,199.2	2,220.1
2000	1,469	2,700.2	2,830.8
2001	985	1,202.3	1,697.1
2002	1,193	1,883.5	1,939.5
2003	1,819	4,050.7	3,205.8
2004	1,401	-	2,661.2
평균	1,417	2,513.7	2,477.4

a : 농림부, 농업기반공사, 2004. 새만금호 종합 물관리 방안수립(I) - 수문보고서.

(그림 2-34)와 (그림 2-35)는 1997년부터 2004년까지의 일평균 유출량 추정결과를 이용하여 구한 새만금유역의 만경강(만경대교 지점)과 동진강(동진대교 지점)의 일별 유황변화를 나타내는 유황곡선 (flow-duration curve)을 보여주고 있다. (그림 2-36)은 만경강(만경대교 지점)의 유황곡선에서 용담댐으로부터 하천유지용수 유입 전후를 비교하고 있으며, 용담댐으로부터 유입량으로 인해 저수량의 값이 큰 폭으로 증가한 것을 알 수 있다.

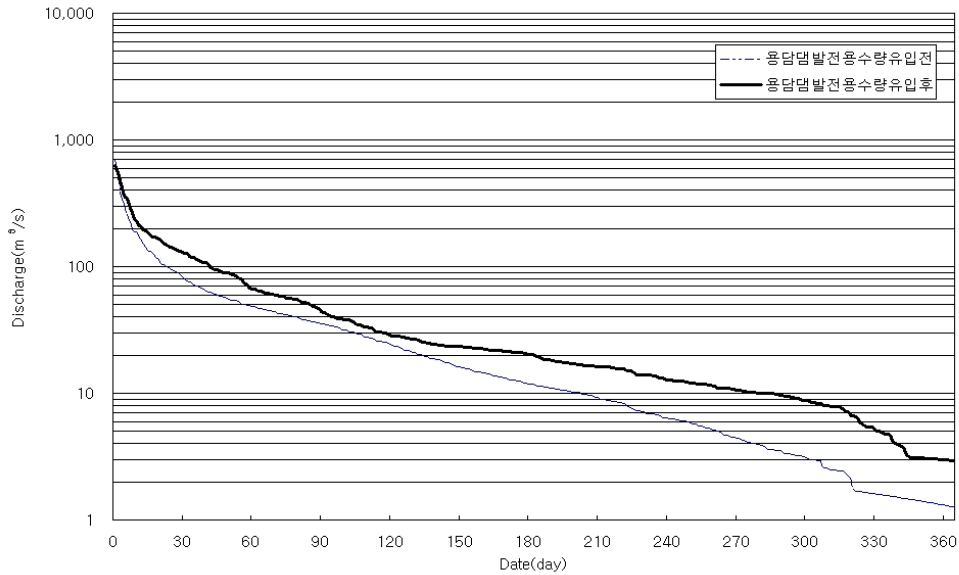


(그림 2-34) 만경강(만경대교지점) 유황곡선(flow-duration curve)



(그림 2-35) 동진강(동진대교지점) 유황곡선(flow-duration curve)

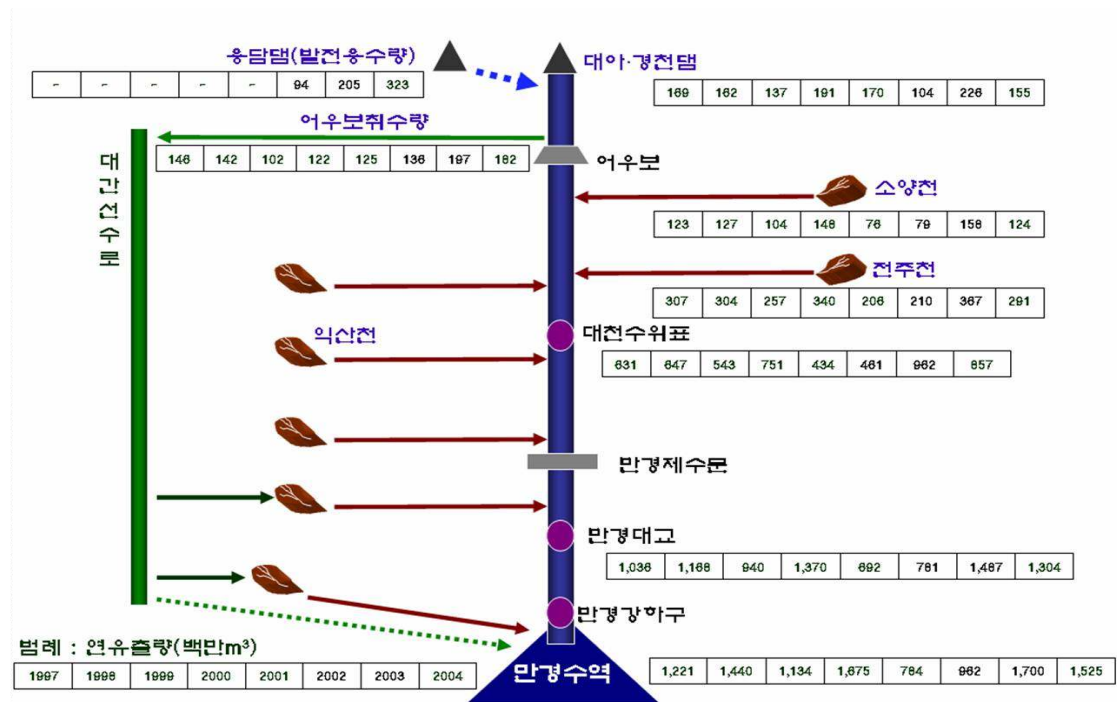




(그림 2-36) 용담댐으로부터 하천유지용수 유입 전후의 유황곡선비교  
- 만경강(만경대교지점) -

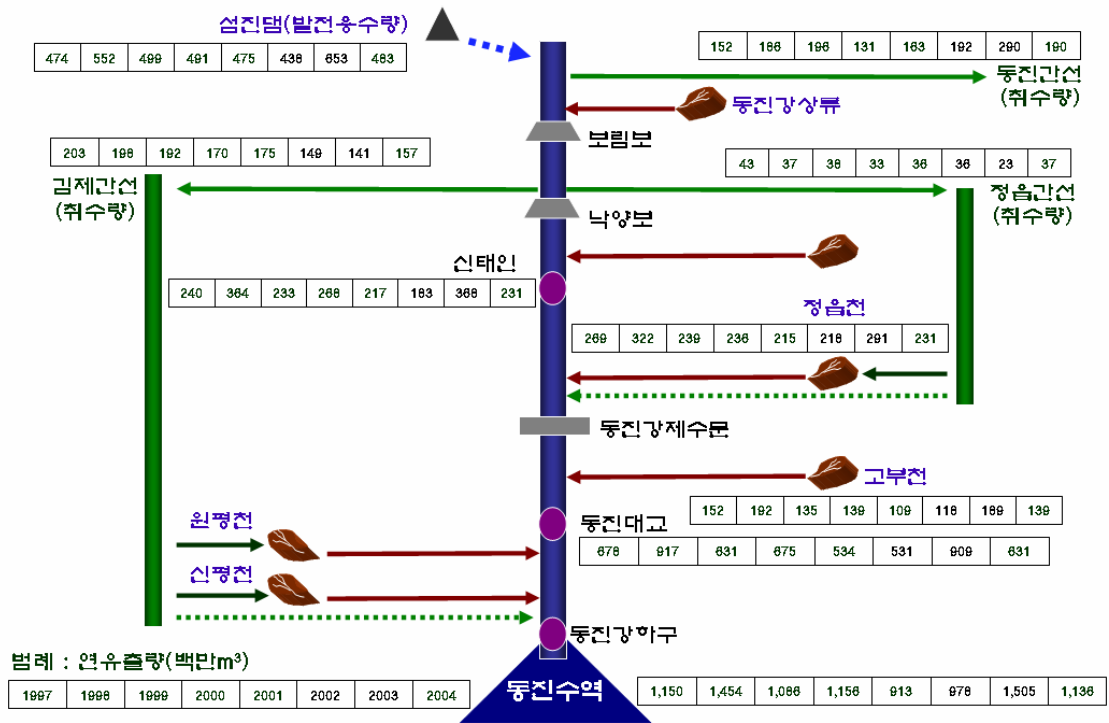
## 2) 지점별 유황

(그림 2-37)은 만경강 수계의 주요 지점에서의 연 유출량을 보여주고 있으며, (그림 2-37)에서와 같이 용담댐 발전용수량 유입으로 인해 어우보 취수량은 1997년 대비 2004년에는 약 25%정도 증가하였다. 대천수위표 지점의 유황은 36%정도 증가하는데 이는 전주권 광역상수도 공급에 따른 회귀수량의 증가에 기인한다. 이로 인해 만경대교지점의 유출량은 26%정도 증가하였으며, 여기서 만경대교 지점의 유출량 증가율이 상류구간보다 낮은 것은 하류구간의 물이용에 따른 회귀수량의 변화로 인해 나타난 결과이다.



(그림 2-37) 만경강수계 주요 지점 연유출량(1997년~2004년)

(그림 2-38)은 동진강 수계의 주요 지점에서의 연 유출량을 보여준다. 1997~2004년 동안 섬진댐에서 동진강 상류로 유입되는 유량 (농업용수+발전용수)은 연평균 5억 m<sup>3</sup> 내외로 동진강 유역의 총유출량의 약 1/3정도이다. 그런데 섬진댐 유입량 중 1.9억 m<sup>3</sup> (47%)은 동진강 상류 보림보에서 취수되어 계화도 간척지 농업용수로 이용되고 있으며, 나머지 유량과 동진강 상류의 유출량은 낙양보에서 취수되어 김제간선, 정읍간선을 통해 김제평야로 관개되고 있다. 김제간선 취수량은 연평균 1.7억 m<sup>3</sup>, 정읍간선 취수량은 0.35억 m<sup>3</sup>이며, 신태인 지점의 유량은 연간 2.6억 m<sup>3</sup>이며, 정읍천, 원평천, 고부천, 신평천 등 동진강의 지류로부터 유입되는 유량으로 동진강 하구지점의 유출량은 연간 약 12억 m<sup>3</sup>이다. 즉 동진강수계의 총 유출량 중 42%는 섬진댐으로부터 유입되며, 동진강 본류에서 농업용수로 취수이용되는 양은 4.0억 m<sup>3</sup>으로 취수율은 33%정도로 나타났다.



(그림 2-38) 동진강수계 주요 지점 연유출량(1997년~2004년)

#### 마. 만경강 농업용수댐 관리의 영향

##### 1) 개요

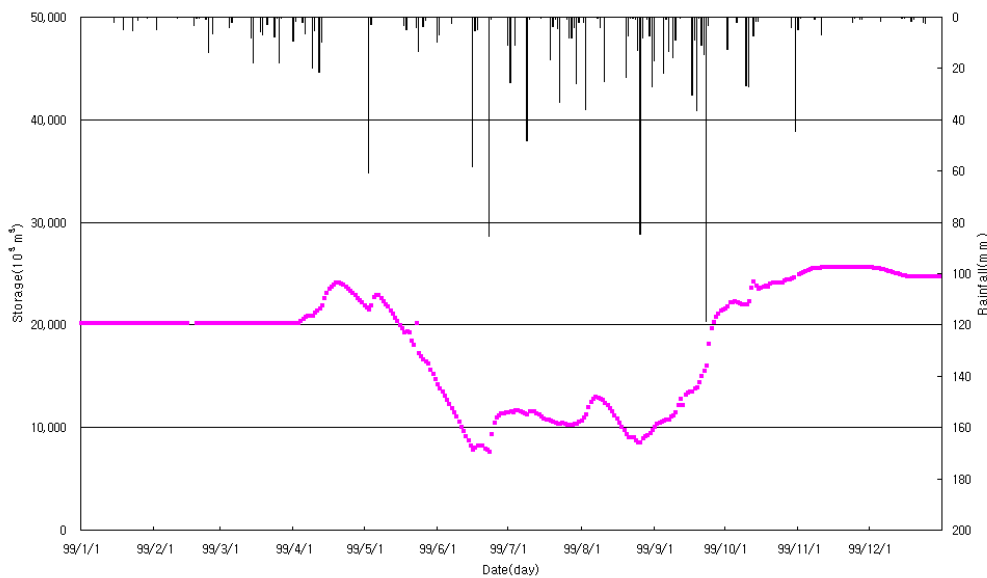
만경강 수계의 넓은 김제평야의 농업용수는 만경강 상류에 위치한 동송댐, 대아댐, 경천댐 등 3개 주요 농업용수 댐으로부터 방류하여 고부천을 흘러나와 어우보에서 전북대간선수로를 통해 공급해 왔다. 전북대간선수로에서 취수되어 관개되는 논 면적은 15천 ha이다.

2002년 8월 용담댐 발전이 시작된 이후 만경강 상류 고부천으로 유입되는 발전용수는 연간 2.0~3.2억 m<sup>3</sup>로 2002년 이전의 어우보 취수량 1.0~1.5억 m<sup>3</sup>보다 많다. 이에 따라 2003년 이후 상류 농업용수댐은 관개기간 중 일부 수량만을 취수해서 이용해도 어우보 취수량을 충족할 수 있는 상황이 되고 있으며, 용담댐 방류량을 타목적으로 이용하거나 댐관리 방식의 변화로 인해 만경강 상류로 방류되는 하천유지용수량의 변

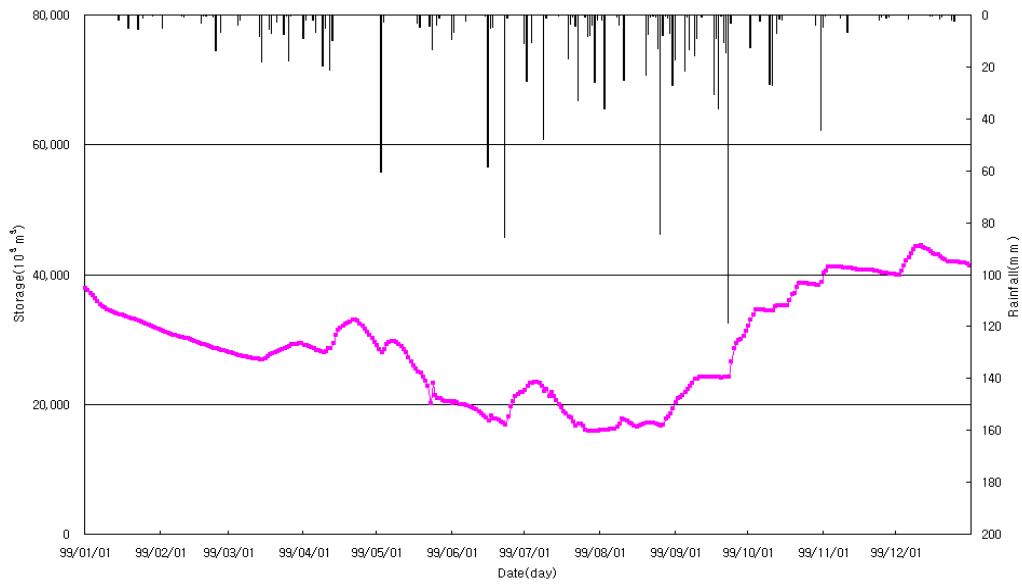
화가 생기지 않을 경우 대아댐, 경천댐 등 기존 농업용수 댐의 관리방식의 조정이 필요하다.

## 2) 댐관리 규칙

저수지 조작에서는 보통 댐 관리규칙(rule curve)을 설정하여 시기별, 저수량에 따른 방류량을 결정한다. 예를 들어 홍수기에 관리수위를 유지하기 위해 예비방류를 실시하거나, 가뭄이 지속될 때, 일정수위보다 낮아지면 취수량을 줄이거나 하는 것이다. 2002년 이전의 대아댐, 경천댐의 계절별 수위변화는 (그림 2-39)와 (그림 2-40)과 같다. 농업용수 댐의 수위는 4월부터 서서히 낮아지다 5월 중하순부터 이양용수 공급으로 급격히 낮아지며, 우기가 시작되기 전 6월에 최저수위에 달하게 된다. 장마기가 끝나는 7월 하순부터 9월 중순까지 농업용수 공급이 끝나면 다시 수위가 상승하는 전형적인 W형 수위변화를 나타낸다. 농업용수 댐의 수위변화는 다목적댐과는 다른데, 다목적댐은 홍수기 저수량을 확보하여 이를 연중 공급하므로 수위변화는 S형을 나타낸다.

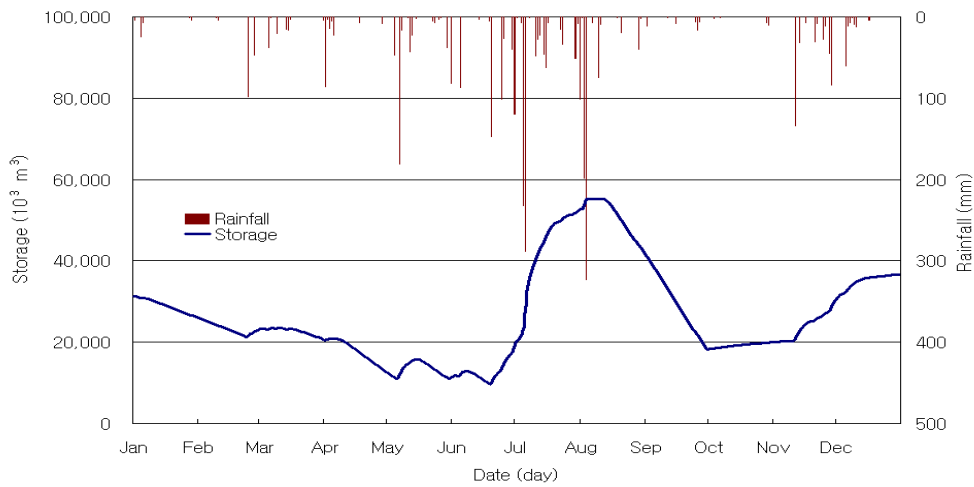


(그림 2-39) 경천댐 일별 저수량 변화 (1999년)



(그림 2-40) 대아댐 일별 저수량 변화 (1999년)

본 연구에서는 용담댐 발전용수 중 일부를 어우보에서 취수하는 용수관행을 기초로 용담댐 발전용수량의 변화에 따라 농업용수 댐으로부터 용수를 공급하는 방식으로 댐 관리 규칙을 수정하였다. (그림 2-41)은 용담댐 발전용수로 인해 하천유지수량 변화를 감안하는 댐관리 규칙 안을 보여주며, 농업용수 댐의 일부 수량을 건기 동안 만경강 수계 하천유지용수로 활용하고, 관개기간동안에는 용담댐 발전수량을 보충하여 공급하는 방식이다. <표 2-26>은 수정안의 주요내용을 정리한 것으로 대아댐의 경우 1월~3월은 일 200천  $m^3$ 씩 방류하고, 4월~6월 중순은 일 500천  $m^3$ 을 공급하도록 하였다. 수정 댐관리 규칙에서는 저수량의 변화를 크게 하도록 수정하여, 유효저수량을 늘리도록 하였다.



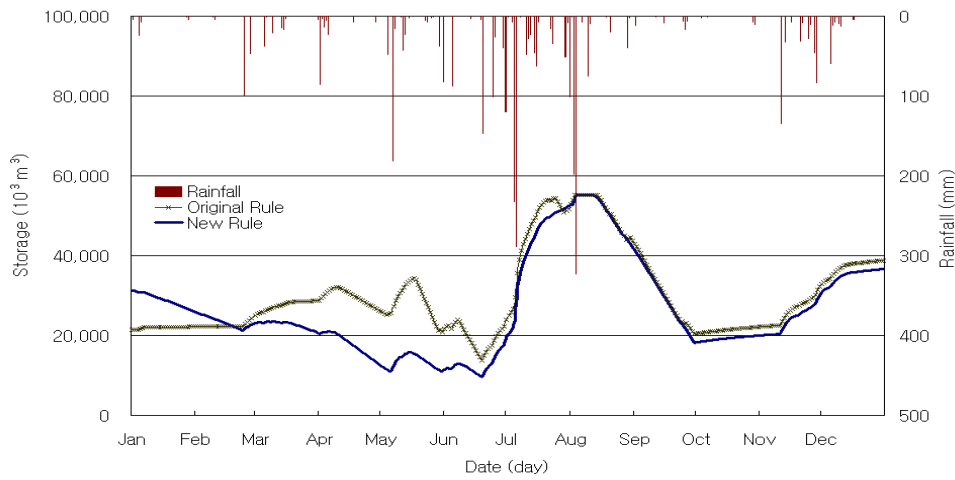
(그림 2-41) 용담댐 발전용수를 고려한 댐관리 규칙안 (대아댐)

<표 2-26> 용담댐 발전용수를 고려한 댐관리 규칙안

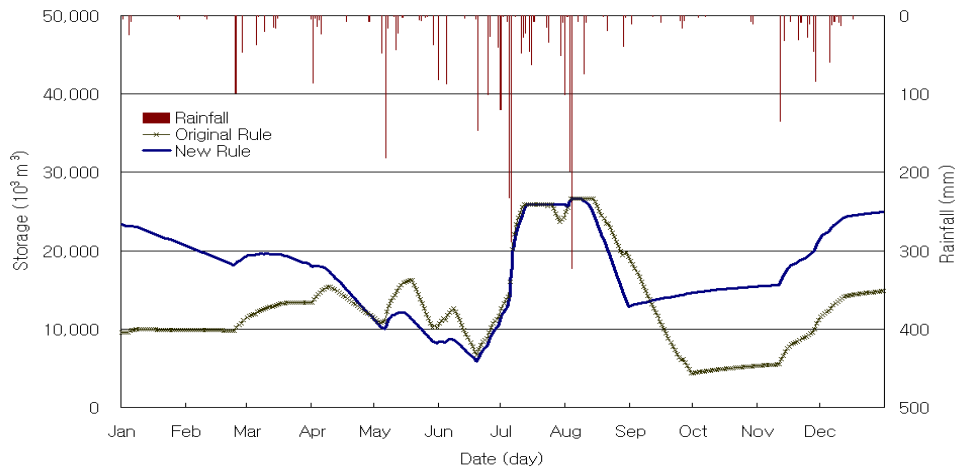
구 분	기 간	방 류 량
대아댐	1월 1일 ~ 3월 31일	200천 m <sup>3</sup> /일
	4월 1일 ~ 6월 20일	500천 m <sup>3</sup> /일
	6월 21일 ~ 7월 31일	방류 없음
	8월 1일 ~ 9월 30일	900천 m <sup>3</sup> /일
	10월 1일 ~ 12월 31일	방류 없음
경천댐	1월 1일 ~ 3월 31일	100천 m <sup>3</sup> /일
	4월 1일 ~ 6월 20일	300천 m <sup>3</sup> /일
	6월 21일 ~ 7월 31일	방류 없음
	8월 1일 ~ 9월 30일	800천 m <sup>3</sup> /일
	10월 1일 ~ 12월 31일	방류 없음

기존의 댐관리 규칙과 수정안에 따른 대아댐, 경천저수지의 저수지 조작 모의결과는 (그림 2-42), (그림 2-43)에서와 같다. (그림 2-42), (그림 2-43)에서와 같이, 수정안에서는 기존 관리규칙의 운영결과보다 저수량의 변화가 크게 나타나는 것을 보여준다. <표 2-27>은 이들 댐의 관리규칙 조정에 따른 취수량을 비교한 결과이며, 홍수기 무효 방류량을 줄여 취수이용량이 증가하는 것을 보여준다.

댐관리 규칙의 변화가 하류구간의 유황에 미치는 영향은 사실상 크지 않으나, 건기의 유황이 개선되며 홍수 조절량이 증가하는 등의 순기능이 있다.



(그림 2-42) 대아댐 저수지 조작 모의 결과



(그림 2-43) 경천댐 저수지 조작 모의 결과

<표 2-27> 관리규칙 조정에 따른 취수량 변화

구 분		월류량 (천 m <sup>3</sup> )	취수량 (천 m <sup>3</sup> )	총취수량 (천 m <sup>3</sup> )
대아댐	기존규칙	22,410.75	81,710.87	104,121.62
	수정규칙	11,241.23	105,300.00	116,541.23
경천댐	기존규칙	17,639.66	47,331.26	64,970.92
	수정규칙	10,521.34	58,100.00	68,621.34

## 제 4 절 새만금유역의 장래수질 예측

### 1. 개 요

본 연구는 유역여건변화에 따른 새만금유역의 장래 수질영향을 예측하기 위한 것으로, 이를 통해 새만금호의 장래 수질을 정량적으로 예측하고자 한다. 여기서 새만금유역의 장래 수질은 2002년말 현재 유역여건에서 2012년말 새만금환경대책이 차질없이 시행된다는 전제하에 만경강, 동진강, 그리고 서해안유역의 주요 하천의 평균 수질을 말한다.

새만금유역의 장래 수질예측은 1) 수계별 소유역별 오염원으로부터 오염 발생부하량을 추정하고, 2) 발생된 오염물질이 다양한 경로를 통해 처리, 삭감된 다음 하천으로 유입되어 배출되는 양 즉 오염배출량을 추정하고, 3) 오염배출량이 본류 하천구간으로 흘러가는 동안 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 따라 변화하는 소유역별 오염물질별 유달부하량을 산정하고, 4) 하천에서 오염물질이 어떻게 거동하는 지를 모의하여 주요 지점에서의 총량과 그 농도를 산정하는 절차로 실시한다.

유역 내에서 발생된 오염물질은 하수처리장 등 처리시설에 유입·처리되어 하천으로 유입되므로, 오염물질별 유입경로와 처리시설에서의 처리율을 감안하여 하천으로 유입되는 배출량을 산정한다.

오염물질의 배출량은 유달부하량에 좌우되는데, 유달부하량은 유역특성과 유량 등에 좌우되며, 또한 하천내에서의 오염물질 거동은 흐름특성에 따라 좌우되므로 수문, 수리, 오염물질 등을 종합적으로 고려하여 하천수질모델링을 통해 산정한다.

### 2. 오염물질 부하량

#### 가. 소유역별 오염원수

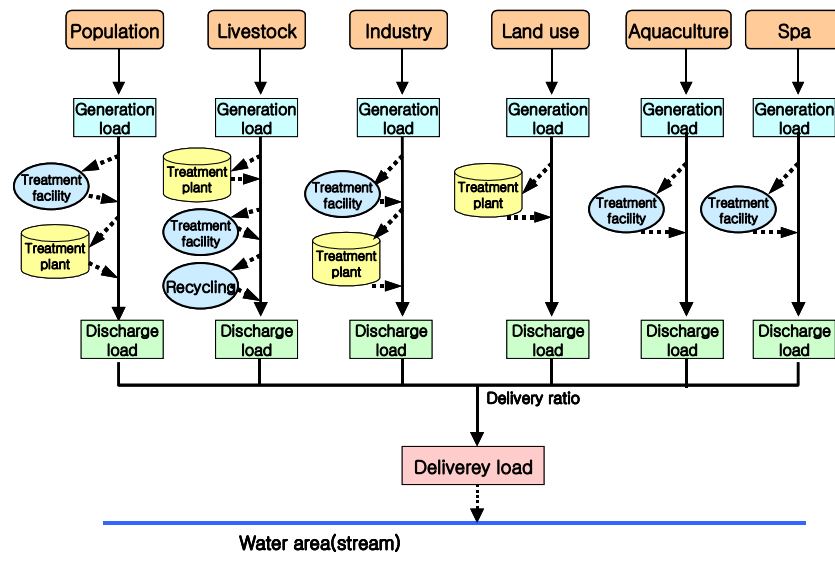
오염물질 부하량은 앞서 논의한 물수지분석에서 구분한 소유역을 기준으로 총 121개 세부유역을 대상으로 하였다. 세부유역별 오염원수는 생활계, 축산계, 산업계, 토지이용, 양식장, 기타로 구분하여, 환경부의 오염원자료 (1998년~2002년)를 적용하였다. 당초 정부조치계획은 1998년까지의 연도별 오염원수의 변화를 감안하여 장래추세분



석을 통해 2012년 추정 오염원수를 적용하였으며, 금회에는 2002년말 기준 오염원자료를 적용하였다. 금회 연구의 오염원으로부터 오염 발생부하량은 정부조치계획의 2012년 추정치와 거의 같은 값을 나타내고 있다.

### 나. 원단위법

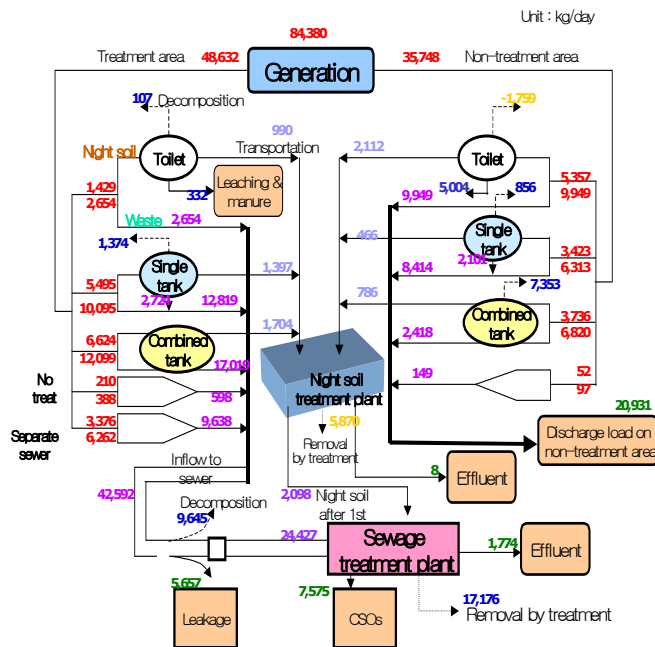
우리나라에서 오염물질의 배출부하량을 산정하기 위해 널리 쓰이는 방법으로, 각 오염원별 원단위와 배출률 및 오염물질 제거율을 적용하여 해당 오염원의 배출부하량을 산정하는 방법이다. 예를 들어 어떤 세부구역의 인구에 의한 오염배출량은 1) 세부구역의 인구수에 원단위 오염물질 발생량을 곱하여 발생부하량(generation load)을 산정하고, 2) 그 구역 내 오염물질 제거와 처리방식에 따라 제거율만큼 삭감하여 배출부하량(discharge load)을 산정하며, 3) 배출부하량이 구역으로부터 하천까지 흘러나오는 비율, 유달율을 곱하여 유달부하량(delivery load)을 계산하게 된다(엄명철, 2004). (그림 2-44)는 오염배출량 산정절차를 보여주고 있다.



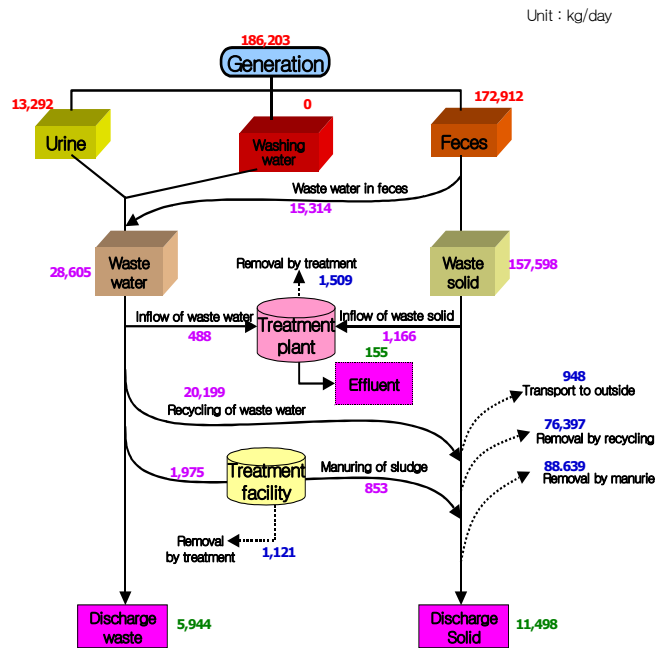
(그림 2-44) 오염배출량 산정절차 개념도

사람에 의해 발생된 생활계 기원 오염물질은 하수관거 설치여부, 처리형태, 하수관거 이송과정, 하수종말처리시설의 효율 등을 고려하여 산정한다. 이때 생활계 오염물질은 분뇨와 잡배수로 구분하여 해당 행정구역의 처리방식을 적용하여 경로별로 배출량을 산정한다. (그림 2-45)는 1998년말 기준 생활계부하량의 경로별 배출량 모식도이다.

각 축산 사육농가에서 발생하는 축산계 부하는 가축의 분뇨, 축사 세정수에 기인하며, 이 중 뇨와 세정수 및 축분에 포함된 폐수량이 축산폐수가 되며, 폐수화 분량을 제외한 축분의 양이 고형물질이다. 축산폐수는 축산폐수공공처리장으로 유입되어 처리되어 배출되거나, 자원화시설, 폐수개별처리시설을 통해 자원화 또는 처리 삭감된다. 개별처리시설에서 발생된 슬러지는 농경지 환원된다. 따라서 처리경로에 따라 점원오염과 비점오염으로 하천으로 유입되거나, 유역 밖으로 배출 (해양투기량 포함)된다. (그림 2-46)은 1998년말 기준 새만금유역의 축산계부하의 경로별 배출량 모식도를 보여주고 있다.



(그림 2-45) 새만금 유역의 생활계부하량의 경로별 배출량 모식도(BOD-1998년)



(그림 2-46) 새만금 유역의 축산계부하량의 경로별 배출량 모식도(BOD-1998년)

산업체에서 발생된 산업계 오염물질은 폐수종말처리장 및 하수종말처리장, 오폐수처리장 등의 환경기초시설로 이송되거나, 개별처리, 개별배출 등으로 세분됨. 개별처리시설을 거친 산업폐수는 직접 수계로 배출되거나 관로를 통해 환경기초시설로 이송되어 처리되는 형태로 수계로 배출된다.

토지이용에 의한 오염물질은 주로 유출에 의해 수용상태나 토사흡착상태로 흘러나오는 비점원 배출특성을 나타낸다. 시가지의 종말처리시설 차집 구역에서는 일부 비점오염물질이 하수관거로 유입되어 종말처리장에서 처리되어 배출되기도 한다.

양식장에서 발생된 오염물질은 양식조에서 곧바로 수역으로 배출된다. 개별처리시설을 갖춘 유수식 양식장에서는 간단한 정화처리 후 수역으로 배출되나 본 연구에서는 그 처리효율을 무시하여 산정한다. 운천에서 발생된 오염물질은 개별 정화시설을 통해 수역으로 배출된다.

#### 다. 오염 발생부하량

<표 2-28>은 정부조치계획 새만금유역 장래수질예측에서 적용한 오염원별 수질항목별 오염발생부하량을 보여준다.

<표 2-28> 2012년 새만금유역 오염원 및 수질항목별 발생부하량(정부조치계획)

수질항목	오염원	만경강	동진강	서해안	합계
BOD (kg/day)	생활계	75,355	17,100	5,269	97,724
	축산계	71,876	70,458	11,569	153,903
	산업계	103,833	17,739	1,980	123,552
	토지이용	6,860	4,087	2,014	12,960
	양식장	1,170	8,905	5,733	15,808
	기타	1,993	195	185	2,372
	합계	261,086	118,484	26,750	406,320
T-N (kg/day)	생활계	16,422	3,894	1,245	21,562
	축산계	16,926	16,523	2,592	36,040
	산업계	4,873	795	149	5,818
	토지이용	5,013	3,897	1,836	10,745
	양식장	228	1,729	1,115	3,072
	기타	163	68	65	296
	합계	43,625	26,906	7,002	77,534
T-P (kg/day)	생활계	1,789	420	136	2,345
	축산계	6,717	6,089	929	13,735
	산업계	4,502	119	20	4,640
	토지이용	414	311	161	887
	양식장	63	475	307	846
	기타	8	2	2	12
	합계	13,494	7,416	1,555	22,465

<표 2-28>의 주요내용은 다음과 같다.

- ① BOD 발생부하량은 총 406천 kg/일로서 축산계가 전체의 38%를 차지하며, 산업계, 생활계 등의 순서로 나타난다. 유역별로 오염원별 발생부하량 구성비가 다른데, 만경강의 경우는 산업계 부하량이 많고, 동진강은 축산계가 가장 높으며, 서해안 유역에서도 축산계의 비중이 크다.
- ② 총질소(T-N) 발생부하량은 77천 kg/일로서 이 중 축산계 부하량이 46%를 차지하며, 생활계, 토지이용의 순으로 나타난다. 유역별로는 만경강 유역에서는 축산

계와 생활계가 비슷한 수준으로 높고, 동진강 유역은 축산계가 전체 부하량의 61%를 차지한다.

- ③ 총인 (T-P) 발생부하량은 새만금유역 전체로 22천 kg/일 정도이다. 총인의 발생 부하량의 61%정도가 축산계로부터 비롯되며, 만경강, 동진강 등 유역별로도 축산계부하량 비중이 가장 높다. 특히 동진강의 경우는 축산계에서 전체 총인 발생부하량의 82%을 차지한다.

아래 <표 2-29>는 2002년말 기준 오염원별 발생부하량 산정결과이다.

<표 2-29> 새만금유역 오염원 및 수질항목별 발생부하량 (본 연구)

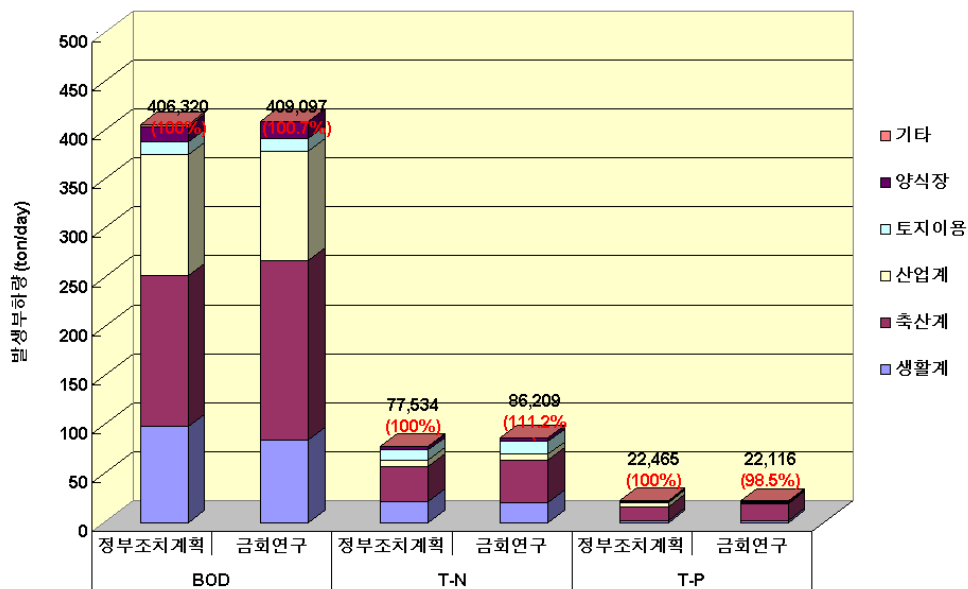
수질항목	오염원	만경강	동진강	서해안	합계
BOD (kg/day)	생활계	65,144	14,221	5,314	84,679
	축산계	90,574	75,355	16,648	182,578
	산업계	94,237	17,083	551	111,871
	토지이용	6,589	4,004	1,909	12,502
	양식장	9,240	3,888	4,341	17,468
	기타	0	0	0	0
	합계	265,784	114,550	28,763	409,097
T-N (kg/day)	생활계	15,453	3,593	1,314	20,361
	축산계	21,248	18,061	3,735	43,043
	산업계	5,395	900	57	6,353
	토지이용	5,997	4,800	2,249	13,045
	양식장	1,802	758	847	3,407
	기타	0	0	0	0
	합계	49,895	28,112	8,201	86,209
T-P (kg/day)	생활계	1,681	386	145	2,212
	축산계	8,505	7,028	1,385	16,919
	산업계	882	140	7	1,030
	토지이용	464	361	186	1,011
	양식장	500	210	235	945
	기타	0	0	0	0
	합계	12,033	8,125	1,958	22,116

<표 2-29>의 주요내용은 다음과 같다.

- ① BOD 발생부하량은 409천 kg/일로서 <표 2-28>의 정부조치계획 대비 0.7%정도

증가하였다. 유역별 발생부하량 구성형태는 당초 예측결과와 큰 차이가 없었다. 다만, 축산계 발생부하량이 18.6%나 증가하였는데, 이는 돼지 사육두수의 증가로 인한 결과이다.

- ② 총질소 (T-N) 발생부하량은 86천 kg/일이며, 정부조치계획 대비 11.2%나 증가하였는데, 이는 가축사육두수 증가에 주로 기인한다(19.4% 증가).
- ③ 총인 (T-P) 발생부하량은 22천 kg/일로서 정부조치계획보다 1.5%정도 감소하였다. 가축사육두수 증가로 축산계 발생부하량은 23.2% 증가하였으나, 산업계 발생부하량이 22%정도 감소하여 전체적으로는 감소로 나타났다.
- ④ (정부조치계획과의 비교) (그림 2-47)은 새만금유역의 오염 발생부하량의 장래 추정치를 비교한 결과이며, 정부조치계획과 금회 연구의 추정결과가 거의 같은 값을 보여주고 있다.



(그림 2-47) 새만금유역의 장래 오염발생부하량 추정치 비교

### 라. 오염 배출부하량

본 연구에서는 2002년말 오염물질 부하량을 기준으로 2012년말 현재 새만금환경대책을 반영한 환경기초시설 등이 정상 가동상태에 달하였을 때 오염물질 배출부하량을 추정하였다. 그 결과는 <표 2-30>에서와 같다. 금회 연구에서 추정한 수질항목별 배출량은 정부조치계획의 결과보다 BOD는 6.7%, TN 11.9%, TP 4.1% 증가하는 것으로 나타났다.

<표 2-30> 새만금유역의 오염원 및 수질항목별 배출부하량(본 연구)

수질항목	오염원	만경강	동진강	서해안	합계
BOD (kg/day)	생활계	19,575	7,121	4,123	30,820
	축산계	4,324	3,756	738	8,817
	산업계	1,183	1,926	57	3,165
	토지이용	6,532	3,982	1,950	12,465
	양식장	9,437	3,888	4,363	17,687
	기타	132	1	0	133
	합계	41,183	20,673	11,231	73,087
T-N (kg/day)	생활계	9,538	2,841	1,113	13,493
	축산계	2,743	2,584	398	5,725
	산업계	1,183	1,926	57	3,165
	토지이용	6,532	3,982	1,950	12,465
	양식장	1,840	758	851	3,449
	기타	643	24	0	667
	합계	22,479	12,116	4,369	38,964
T-P (kg/day)	생활계	754	276	136	1,167
	축산계	293	303	49	645
	산업계	112	147	5	263
	토지이용	460	359	187	1,006
	양식장	510	210	236	956
	기타	3	0	0	3
	합계	2,132	1,295	613	4,040

<표 2-30>에서 보는바와 같이 BOD 배출부하량은 73천 kg/일로서 수계별로는 만경강의 부하량이 56.3%로 높고, 동진강, 서해안 유역의 순서이다. 만경강 수계의 배출부하량 증가는 양식장 등의 확산에 기인되고 있다. 새만금유역 전체의 오염원별 배출부하량 구성은 생활계 42%, 양식장 24.2%, 토지이용 17.5%, 축산계 12.1%, 산업계

4.3% 등으로 나타났다.

T-N 배출부하량은 39천 kg/일로서 만경강 유역이 58% 정도 차지하고 있으며, 오염원별 배출부하량 구성은 생활계 34.6%, 토지이용 32%, 축산계 14.7% 등의 순서이다.

T-P 배출부하량은 4천 kg/일로서 만경강 유역이 53%를 차지하고 있으며, 새만금 유역의 오염원별 배출부하량 구성은 생활계 28.9%, 토지이용 25%, 양식장 24%, 축산계 16% 등으로 나타났다.

정부의 새만금환경대책이 착실하게 추진되어온 지난 4년 동안 새만금유역 오염원 상황은 대체적으로 안정되고 큰 변화를 보이지 않았다. 특히 환경기초시설은 계획보다는 지연되었으나 대부분 착공되었을 뿐만 아니라, 하수관거사업 등 새로 추가되어 추진되고 있는 등 전반적으로 정상적인 추진을 나타내고 있다. 다만, 오염물질 배출량 산정결과를 바탕으로 주목할 만한 변화로서 다음 사항을 지적할 수 있을 것이다.

첫째, 생활계로부터 배출부하량이 당초보다 증가할 것으로 예상되는 데, 하수관거확충사업 등으로 유입량이 증가할 것으로 예상되는 반면에 그 만큼 삭감율이 높아지지 않음으로서 생기는 결과로 보인다. 다만, 하수관거설치로 인해 생활하수의 비점원 형태의 배출량이 감소하는 것을 감안하면 총량에서는 그만큼 개선될 여지가 있으나, 현재의 오염배출량 추정방법의 한계 등으로 해서 충분히 반영되지 못하여 배출량으로 산정되는 점도 간과해서는 안될 것이다.

둘째, 축산계 배출부하량은 당초계획보다 개선되고 있다. 가축사육두수의 증가에도 불구하고, 그동안 환경기초시설의 확충, 축산처리효율의 개선 등의 효과로 배출부하량은 당초계획보다 낮을 것으로 평가된다.

셋째, 토지이용에 따른 오염물질 배출량 증가는 그만큼 토지 이용율이 높아진 데 따른 것으로 불가피한 점이다. 새만금유역내 토지이용율은 앞으로도 증가될 것으로 예상되어 유의해야할 부분이나, 본 연구에서는 이에 대한 대책이 정량적으로 평가될 수 없는 한계가 있음에 유의해야할 것이다.

넷째, 양식장 면적의 증가로 인해 오염물질이 수체로 직접 유입되어 흘러나오는 배출부하량이 증가한다.



### 3. 오염물질 유달부하량

#### 가. 유달율

배출된 오염물질이 대상 하천의 임의 지점까지 흘러나오는 양의 비율을 유달율 (delivery ratio)이라고 한다. 유달율은 1.0이하로 나타나는 데, 이는 오염물질이 소하천으로 흘러들어 본류까지 나가는 동안 물리적, 화학적, 생물학적 반응에 따라 자정되는 비율을 말한다. 유달율이 주어지면 배출부하량을 곱하여 오염물질이 하천까지 흘러나오는 유달부하량을 구한다.

유달율은 오염물질의 특성, 유역 특성과 유황에 따라 변화하며, 아직까지 이론적으로 추정할 수 없는 복잡한 특성을 나타낸다. 다만, 최근의 유역수질모델에서는 오염물질의 발생과 운송, 퇴적과 침전, 휘산과 용해, 용출 등 복잡한 과정을 계량화하여 모의하는 경우도 있으나, 직접적으로 유달율을 추정하는 데 적용할 수 없다. 따라서 하천수질측점을 기준으로 그 지점의 오염물질 운송량을 유량과 농도로부터 구하고, 그 상류에서 발생하는 오염배출량을 오염물질 운송량으로 나누어 유달율을 구하고, 유달율과 유역특성, 유황 등의 인자와 상관관계를 구명하여 유달율 관계식을 구하는 방법이 주로 쓰인다. 본 연구에서는 BOD, T-N, T-P 등의 유달율을 식(2-73)과 같이 추정한다.

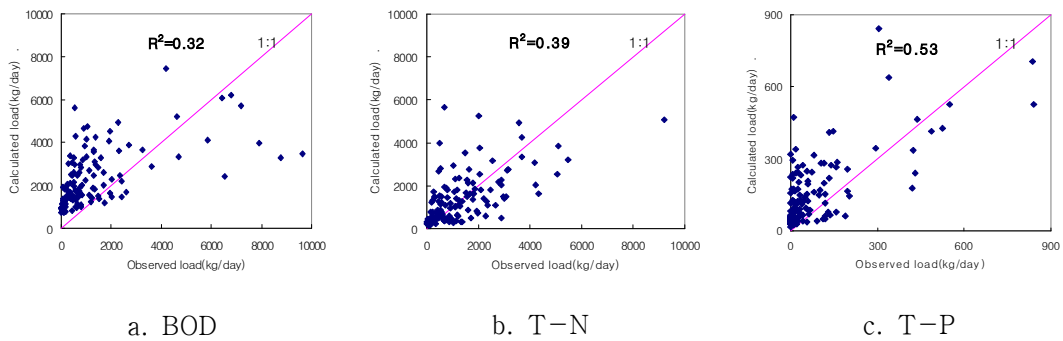
$$k = \alpha_p \times \sqrt{(A/Q)} \times F^{\beta_p} \quad (2-73)$$

여기서,  $k$  는 오염물질의 유달율 (자정계수),  $A$ 는 유역면적(ha),  $Q$ 는 유량 ( $m^3/day$ ),  $F$ 는 유역형상계수,  $\alpha_p, \beta_p$ 는 오염물질별 유역특성에 따른 계수와 지수이다.

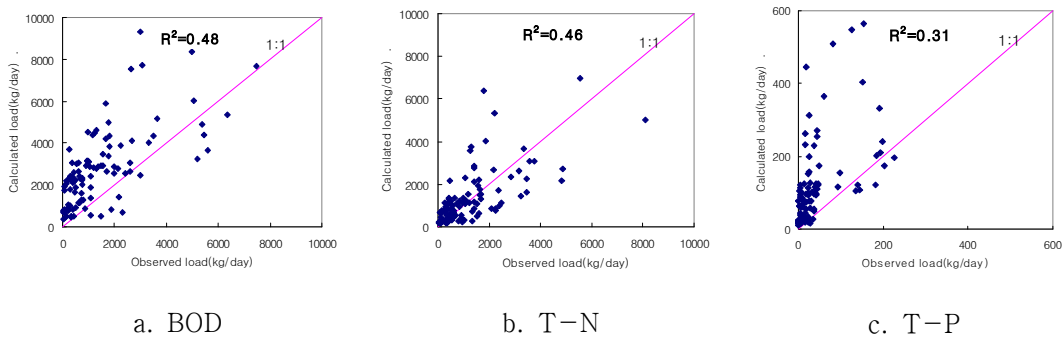
#### 나. 유달부하량

1997년~2002년의 새만금유역내 행정구역 (리·동)별로 BOD, T-N, T-P 등 오염물질별 배출부하량과 수질측점의 월별 오염물질 운송량으로부터 만경강과 동진강의

유달을 관계식을 정하고, 그 관계식으로부터 유달부하량과 운송량을 비교한 결과는 (그림 2-48)과 (그림 49)에서와 같다. 만경강의 경우는 (그림 2-48)에서와 같이 유달 부하량 추정결과와 실측치와의 결정계수가 BOD는 0.32, T-N은 0.39, T-P는 0.53 정도이다. 동진강의 경우는 (그림 2-48)에서와 같이 결정계수가 BOD는 0.48, T-N은 0.46, T-P는 0.31로 만경강과 동진강 모두 결정계수가 높지 않으나, 수질측점에서의 오염물질 운송량이 월별 유달부하량을 나타내지 못하는 한계 등을 감안할 때, 적용에는 큰 무리가 없는 것으로 생각된다.

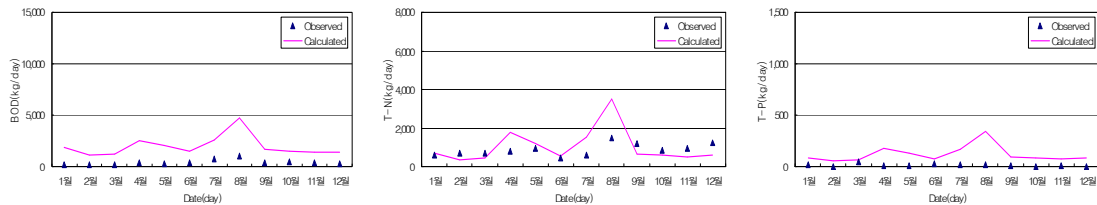


(그림 2-48) 실측 유달부하량과 계산유달부하량의 비교-만경강



(그림 2-49) 실측 유달부하량과 계산 유달부하량의 비교-동진강

(그림 2-50)은 유달을 관계식으로부터 추정한 BOD, T-N, T-P 등의 유달부하량과 소양천 수질측점의 값을 비교한 결과이다.



a. BOD

b. T-N

c. T-P

(그림 2-50) 실측유달부하량과 계산유달부하량 비교 - 소양천 (2002년)

#### 4. 하천수질모델링

##### 가. QUALKO 모델

하천으로 운송된 오염물질은 하류로 이동하면서 물리적, 화학적, 생물학적 요인에 의해 변화되는 데, 이러한 하천유하과정을 수치적으로 해석하는 것을 하천수질모델링이라고 한다. 하천수질모델링은 하천구간의 상하류에서 수질항목의 변화를 추정할 수 있기 때문에 유역여건의 변화로 나타나는 오염물질의 변화와 이에 따른 새만금유역의 장래 수질변화를 추정하는 방법으로 적용되어 왔다.

하천수질모델 중 널리 이용되는 수치모델은 미국 환경청에서 개발한 QUAL2E (Brown and Barnwell, 1987) 모델이다. QUAL2E모델은 우리나라 하천수질예측에서 널리 이용되고 있으며, 새만금유역의 장래 수질예측에서도 이미 적용된 바 있다. 환경부는 QUAL2E모델을 부분적으로 수정·보완하여 QUALKO모델을 개발하였으며, 본 연구에서는 환경부 QUALKO모델을 적용하였다.

새만금유역의 수질예측에서 모의한 수질항목은 수온, BOD<sub>5</sub>, Org-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, T-N, Org-P, Dis-P, T-P, DO, Chl-a 등 총 11가지 항목이다.

##### 나. 하천구간의 구분

하천수질모델링의 대상하천으로는 만경강, 동진강, 원평천이다. 각 하천별로 점원오

염원을 감안하여 하천요소 (element)를 세분하였으며, 본류권으로 유입되는 지천으로부터 횡유입량을 고려하여 하천구간을 구성하였다.

만경강 수질모델링은 어우보 지점에서 만경대교까지의 구간으로 하고, 주요 지천인 전주천은 삼천에서 합류점까지로 한다. 만경강 하천모델링 총 구간은 38km로서 0.5km마다 요소로 구분하여 요소의 총수는 76개로 하며, 만경강 하천모델링 구간으로 유입되는 점오염원의 수는 51개이다.

동진강 수질모델링의 구간은 보림보에서 동진강 하구까지로 하고, 주요 지천인 정읍천은 정읍천3지점부터 합류점까지, 고부천은 앙성교 지점부터 합류점까지로 하였다. 동진강의 하도구간 구분은 0.5km 간격으로 하여 총 54개 요소로 구분한다. 동진강 하천모델링의 하천구간은 17개소, 요소의 수는 54개소(27km)이며, 점오염원은 37개소이다.

서해안유역의 주요 지천인 원평천의 총 20km 구간을 40개 요소로 구분하고, 여기로 유입되는 점오염원수는 11개소이다.

#### 다. 매개변수의 보정

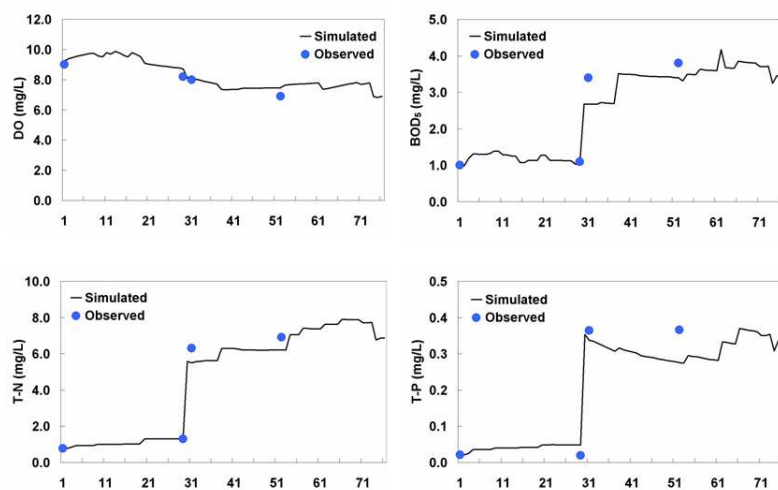
QUALKO모형의 새만금유역 수질예측에 적용에서 적용한 매개변수는 <표 2-31>과 같으며, QUALKO 모형의 매개변수별로 일반적인 범위와 새만금유역에서 적용된 보정 매개변수의 값들을 비교하였다. <표 2-31>에서와 같이새만금 유역에 적용된 매개변수의 값들은 대체적으로 일반적인 범위 값을 쓰고 있으나, 일부 매개변수들은 약간 다른 범위를 나타냈다. 다만, 하천수질모델링에서 적용된 매개변수는 해당 유역의 유달부하량 산정방법, 하천의 수리수문학적 특성, 수질측점의 오염물질 운송량의 정확성 등 여러 가지 변수가 있기 때문에 그 정확성을 논의하는 것은 의미가 없고, 얼마나 실제 상황을 잘 모의할 수 있는지 여부를 근거로 적용해야함을 고려해야한다.

본 연구에서는 QUALKO 모형의 매개변수별로 일반적인 범위 내에서 시행착오법에 의해 각 수질 요소에 대한 QUALKO의 매개변수를 조절하여 보정을 수행하였다. 주로 사용한 매개변수는 탈산소 계수, BOD 침정계수, 하산산소 요구량, 제폭기 계수, 가수분해 계수, Org-N 침전율, 암모니아 산화율, 암모니아 하상용출율, NO<sub>2</sub> 산화율,

Org-P 감쇄율, Org-P 침전율, 용존성인 하상 용출율 등이며, 이 들을 이용하여 수질 항목 DO, BOD<sub>5</sub>, CODMn, Org-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-N, T-P를 대상으로 보정하였다. 각 수질 항목에 상관성을 가지는 매개변수를 조절하여 독립적으로 항목별 보정을 수행하면서 수질 항목 간의 상관성을 함께 고려하여 하천상의 수질농도 변화와 실측을 반복적으로 비교하여 최적화하였다. <표 2-31>은 최적화된 매개변수 값을 보여주고 있다.

하천수질모델링에서는 월별 수질변화를 추정하여 실측치와 비교하였으며, 보정결과는 다음과 같다.

- ① 만경강 본류에서의 수질항목별 하천구간별 수질농도의 변화는 (그림 2-48)에서와 같다. (그림 2-48)은 2002년 10월의 모형보정결과와 실측치를 비교한 결과이며, DO의 값은 어부보 하류에서 약 9mg/L를 보이거나 하류구간으로 흘러가면서 오염이 높아져 DO농도가 낮아지는 경향을 나타낸다. BOD는 만경강 본류의 전 주천 합류점에서 크게 높아지다 하류로 갈수록 약간 개선되는 경향을 나타내며, T-N, T-P 농도도 BOD와 유사한 경향을 보이는 데, T-P는 T-N보다 하류구간으로 갈수록 농도 감소율이 약간 커지는 경향을 나타낸다.

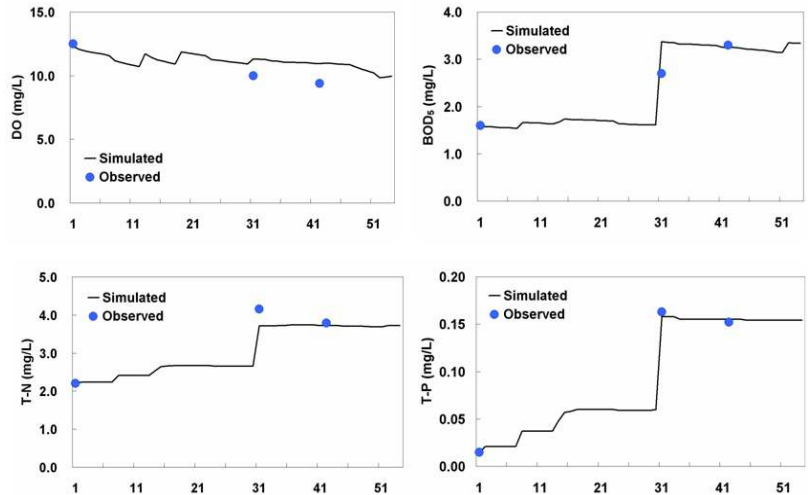


(그림 2-48) 만경강 수질항목별 QUALKO 보정결과 (2002년 10월)

<표 2-31> QUALKO에 사용한 인자 비교

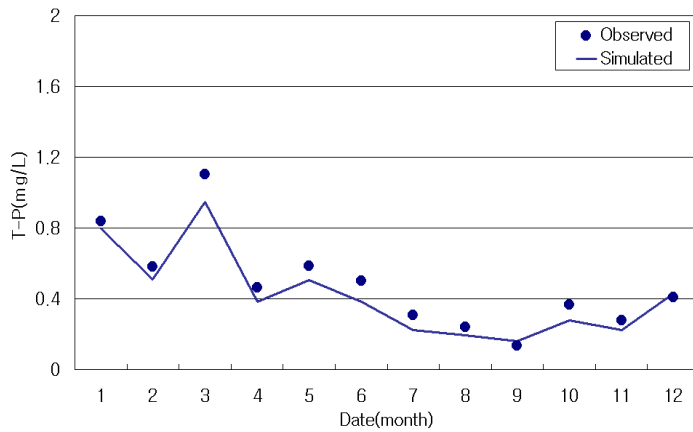
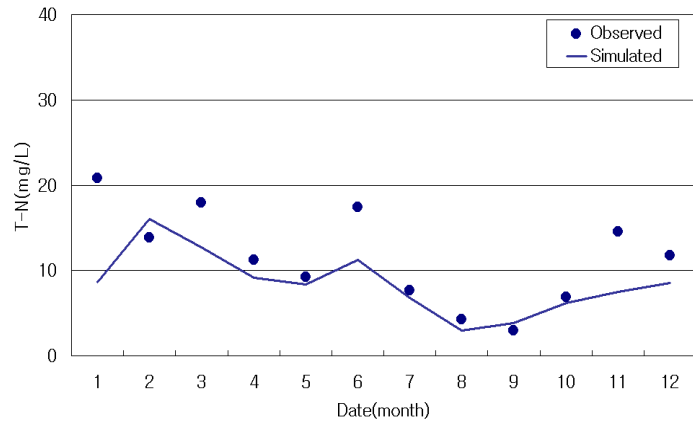
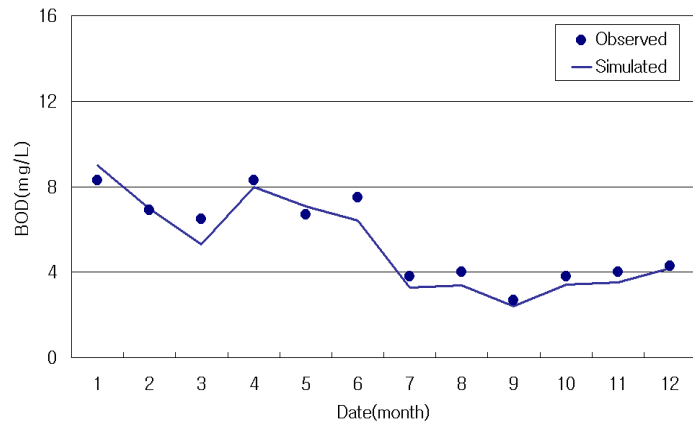
Constant and Coefficients	Unit	General Range	Saemangum
			Tributaries 금회 연구
N content of algae	mgN/mgA	0.07-0.09	0.085-0.125
P content of algae	mgN/mgA	0.01-0.02	0.013-0.02
O2 production by algae	mgO <sup>2</sup> /mgA	1.4-1.8	1.28
O2 uptake by algae	mgO <sup>2</sup> /mgA	1.6-2.3	1.28
O2 uptake by NH <sub>3</sub> oxidation	mgO <sup>2</sup> /mgA	3.0-4.0	3.43
O2 uptake by NO <sub>2</sub> oxidation	mgO <sup>2</sup> /mgA	1.0-1.14	1.14
Maximum algal growth rate	1/day	1.0-3.0	3.5-4.5
Algal respiration rate	1/day	0.05-0.5	0.10-0.15
N half saturation constant	mgN/L	0.01-0.3	0.01
P half saturation constant	mgN/L	0.001-0.05	0.001
Algal preference for NH <sub>3</sub> -N	-	0.0-1.0	0.9
Benthos source rate for DIP	mgP/m <sup>2</sup> /day	Variable	-100-0
Benthos source rate for NH <sub>3</sub> -N	mgN/m <sup>2</sup> /day	Variable	0
Org-N settling coefficient	1/day	0.001-0.10	0.001-0.1
Org-P settling coefficient	1/day	0.001-0.10	0.001-2.1
Org-N hydrolysis coefficient	1/day	0.02-0.4	0.02-0.22
NH <sub>3</sub> -N oxidation coefficient	1/day	0.10-1.00	0.1-0.9
NO <sub>2</sub> -N oxidation coefficient	1/day	0.20-2.0	0.2-1.2
Org-P decay coefficient	1/day	0.01-0.7	0.01-1.7
TSS settling coefficient	1/day	Variable	-
Benthos source rate for TSS	mg/m <sup>2</sup> /day	Variable	-
TSS decay coefficient	1/day	Variable	-
BOD decay coefficient	1/day	0.02-3.4	0.007-0.109
BOD settling coefficient	1/day	-0.36-0.36	-0.36-5.36
Sediment Oxygen Demand	mgO <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> /day	Variable	0-10
Chlorophyll a to algae ratio	ugChla/mgA	10-100	20-50
Recreation rate constant	option	1-7	1-10
Death ratio of algal decay	-	추가항목	0.2-0.5
Organic ratio of recycled N, P	-	추가항목	0.5
Denitrification rate	1/day	추가항목	0.09
DO constant for denitrification	mg/L	추가항목	0.1

② 동진강의 수질항목별 하천구간별 수질농도의 변화는 (그림 2-49)과 같다. 동진강의 수질도 점오염원에서 오염물질이 유입되면 나빠지다, 하류로 이동할수록 약간 개선되는 경향을 보여주고 있다.



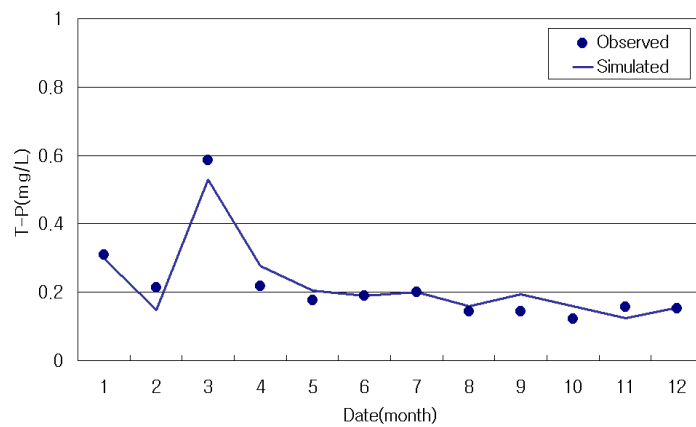
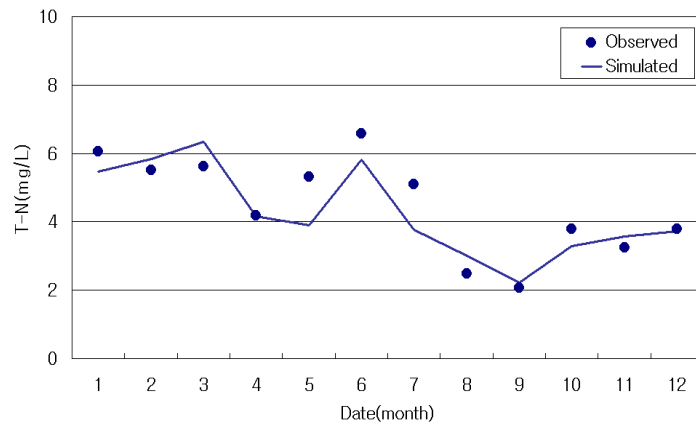
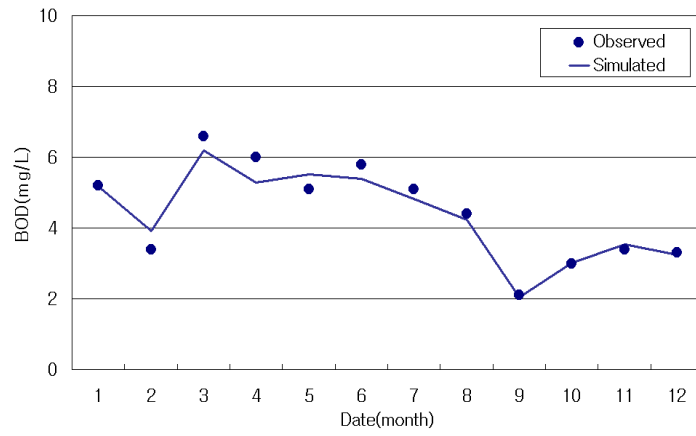
(그림 2-49) 동진강 수질항목별 QUALKO 보정결과 (2002년 12월)

만경강, 동진강 각각의 수질측정지점 중 최하류 지점의 모의치와 실측치를 비교하였다. 수질항목별 월별 수질농도의 모의치와 실측치를 비교한 결과는 (그림 2-50)~(그림 2-51)에서와 같다. 만경강, 동진강 모두 실측치와 모의치가 대체적으로 잘 일치하였다.



(그림 2-50) 만경강 수질항목별 QUALKO 보정결과 (김제지점, 2002년)





(그림 2-51) 동진강 수질항목별 QUALKO 보정결과 (동진강 3지점, 2002년)

## 라. 새만금유역의 장래 수질예측결과

새만금유역의 장래 수질예측은 하천수질모델링의 매개변수 보정결과를 활용하여 2012년 기준 오염물질 유달부하량이 본류로 유입되어 하천에서의 변화를 감안하여 추정한다. 여기서 유달부하량의 산정은 앞서 유역 오염부하량에서 논의한 바와 같이 새만금환경대책에서 제시한 환경기초시설과 환경부·전북도에서 추가대책으로 시행계획이 확정된 부분을 반영한 결과를 적용한다.

장래수질예측에서 필요한 하천유황은 만경강 수계의 경우는 앞서 고찰한 바와 같이 2002년 용담댐 발전용수 유입으로 크게 달라진다. 그러나 동진강과 서해안 유역의 경우는 연도별 강수량 변화 이외에 전주권 광역상수도의 영향에 있을 뿐 유황변화 요인이 크지 않다. 따라서 본 연구에서는 정부조치계획 당시 새만금유역 수질예측 여건을 최대한 반영하고 한편으로는 1975년~2004년의 하천유황에서 평수년에 해당하는 1997년도 유황을 적용하도록 하였다. 다만, 만경강의 경우 용담댐 발전용수량을 고려해야 함으로 1997년 하천유황을 기준으로 2004년도 일별 방류량자료를 적용하여 합성한 하천유황을 적용하였다.

정부조치계획 수립 당시의 하천구간별 매개변수를 적용한 예측결과와 금회 연구에서 예측한 결과를 비교한 결과는 <표 2-32>에서와 같으며 월별 수질변화는 부록 III에 수록하였다. <표 2-32>에서와 같이 BOD는 만경강 만경대교지점 수질은 정부조치계획 당시 연평균 4.36mg/L에서 금회 결과는 3.66mg/L로 당초보다 개선되는 것으로 나타났고, 동진강 동진대교 지점 수질은 정부조치계획 당시 연평균 2.60mg/L에서 금회 결과는 3.63mg/L로 당초보다 높게 나타났다. T-N의 예측결과는 만경강의 경우 연평균 5.59mg/L, 동진강 동진대교지점 수질은 경우 2.79mg/L로 정부조치계획에서 추정한 값보다 낮게 나타났다. T-P는 만경강의 경우 정부조치계획 당시 연평균 0.356mg/L에서 금회 결과는 연평균 0.291mg/L로 낮게 나타났고, 동진강의 경우 정부조치계획에서는 0.097mg/L에서 금회 결과는 0.144mg/L로 다소 높게 나타났다.

<표 2-32> 새만금유역 연평균 예측수질

수질 항목	단위	정부조치계획 결과(연평균)		금회 추정결과(연평균)	
		만경대교	동진대교	만경대교	동진대교
BOD	mg/L	4.36	2.60	3.66	3.63
T-N	mg/L	10.07	4.61	5.59	2.79
T-P	mg/L	0.356	0.097	0.291	0.144

## 제 5 절 새만금호의 장래수질예측

### 1. 개요

본 연구의 목적은 새만금유역의 수질환경변화에 따른 새만금호의 장래수질을 예측 평가하고, 수질보전대책에 주요인자에 대한 효과 등을 구명함으로써 장래 새만금호 수질보전을 위한 방안을 모색하는 데 있다. 새만금호의 장래수질예측은 1) 새만금호로 유입되는 모든 하천의 월별 수량과 수질자료, 2) 새만금 내부개발(당초 내부개발계획)이 완성되었다고 가정할 때, 예상되는 오염물질 유달부하량, 3) 정부조치계획에서 확정 발표된 새만금 호소내 수질보전대책 등을 감안하여, 호소수질예측모델링을 통해 장래 월별 수질을 예측 추정하고자 한다.

새만금호 장래 수질예측에는 미국 EPA에서 개발한 WASP5모형을 적용하였다. WASP5모형은 우리나라 호소수질예측에 널리 쓰이고 있으며, 2001년 정부조치계획에서도 적용된 바 있다. 따라서 새만금호 장래수질예측기법을 동일하게 하기 위해 본 연구에서는 WASP5모형의 적용에서 호소의 요소분할과 매개변수 등은 정부조치계획에서 적용한 것과 동일하게 하였다.

새만금호 장래 수질의 예측결과로부터 장래수질의 평가는 1) 정부조치계획에서와 같이 만경수역과 동진수역으로 구분하여 각 수역별과 함께 전체 호소수질을 평가하며, 2) 월별 호소수질은 호소 구역중 상층부 수질의 체적평균으로부터 구하며, 3) 연평균 수질은 월별 평균수질의 산술평균으로부터 추정하였다.

## 2. WASP5 모형

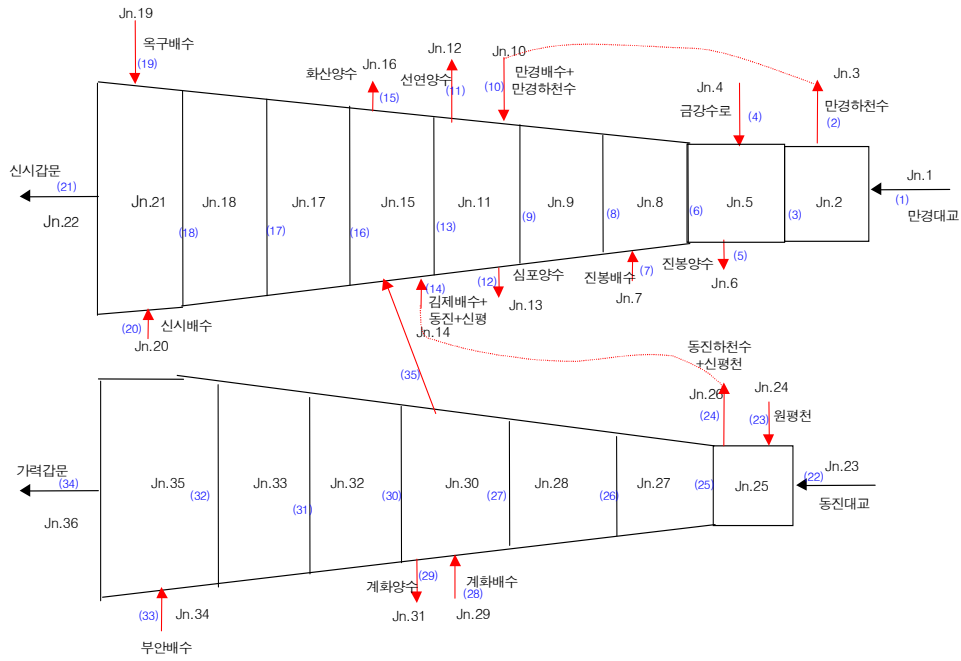
### 가. WASP5 모형의 개요

WASP5 모형은 미국 EPA의 일반화된 지표수 수질예측모델로서 수체의 수리동력학적 특성과 수체 중에서의 오염물질 거동을 1~3차원적으로 해석이 가능하도록 개발되었다. WASP5 모형은 BOD, DO, 영양염류와 부영양화, 미생물오염, 독성화학물질 등의 거동을 모의할 수 있다. WASP5 모형은 수리동력학 부모형 DYNHYD와 오염물질 부모형 EUTRO와 독성물질 부모형 TOXI 부모형 등으로 구성되어 있다. 현재 DYNHYD6와 EUTRO5를 이용한 WASP5 모형의 적용이 일반화되어 있으나, 독성화학물질을 고려할 경우는 TOXI5를 추가해서 이용한다. DYNHYD에서는 WASP5모형의 구동에 필요한 수리동력학적 변수를 모의해주기 때문에 먼저 수체의 질량보전관계를 정의한 다음 WASP5 수질모형을 구동하는 방식으로 적용되고 있다.

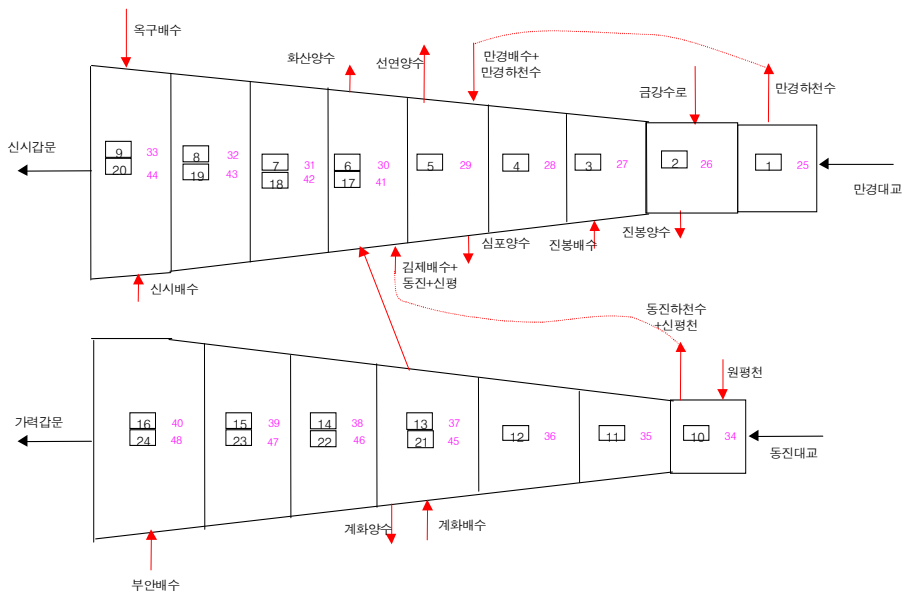
새만금호 수질예측결과는 WASP5 모형을 적용했으며, 본 연구에서도 기존의 WASP5 모형의 입력자료와 매개변수를 그대로 적용하되, 상류유역으로부터 유입되는 수량과 수질항목별 농도 등은 제3, 4장의 결과를 적용하였다.

### 나. 호소의 구분과 입력자료

WASP5 모형의 적용을 위한 새만금호는 (그림 2-52)에서와 같이 우선 35개 JUNCTION으로 나누고, CHANNEL은 32개로 구분하였다. EUTRO5의 적용에서는 수심이 비교적 깊은 새만금호 하류구간의 JUNCTION을 상하층으로 구분하여 (그림 2-53)에서와 같이 표수층 16개, 심수층 8개, 바닥층 24개로하여 총 48개 요소로 구분하였다.



(그림 2-52) 새만금호 DYNHYD6 모식도



(그림 2-53) 새만금호 EUTRO5 모식도

DYNHYD6의 요소별 입력자료는 정부조치계획과 유사하다. 다만, 만경강으로부터 유입되는 유량 증가분만큼 수정하였다.

EUTRO5모형의 입력자료는 정부조치계획 수립당시의 입력자료와 동일하며, WASP5모형의 구동에서는 상류로부터 유입량의 변화에 따라 일련의 계산과정을 시행해야하므로, 이를 손쉽게 정확히 하기 위해 MS Excel을 이용 매크로를 작성하여 모형의 입력파일을 자동적으로 생성되도록 하였다.

### 3. 새만금호 수질예측결과

새만금호의 장래수질 예측의 전제조건을 정리하면 1) 목표연도인 2012년 오염원수는 새만금 상류유역은 2002년말 현재 오염원수를 적용하고 내부개발지 유달부하량은 정부조치계획과 동일한 조건을 적용하였다. 2) 하천유출량은 동진강은 1997년도 유황모의결과를 적용하여 정부조치계획 당시와 동일하게 하고, 만경강은 1997년 유황모의결과에 2004년도 용담댐 월별 발전용수량 자료를 고려하여 물수지 분석결과를 적용하였다. 3) 새만금호의 유입부 월별수질은 QUALKO모형의 모의결과를 적용하였다. 4) WASP5모형의 입력자료는 정부조치계획과 동일한 조건으로 하였다.

이상의 수질예측조건에 따라 WASP5모형을 이용한 수질예측결과는 <표 2-32>에 서와 같다. <표 2-32>에서 수질항목별 농도는 만경수역, 동진수역으로 구분하여 각각 체적에 가중치를 적용해 평균 수질을 구하였다. 당초 정부조치계획에서는 연평균 호소수질을 부피에 대한 수질의 가중평균을 적용해서 구했으며, 그 결과는 만경수역의 T-P농도가 0.103mg/L였다.

<표 2-32>에서와 같이 본 연구의 결과는 만경수역의 경우 T-P가 0.094mg/L로서 호소수질기준 IV급수를 만족하는 것으로 나타났다.

<표 2-32> 새만금호 장래수질 예측결과

수질 항목	단위	호소수질기준 Ⅲ급수	호소수질기준 Ⅳ급수	정부조치계획 결과		금회 추정결과	
				만경수역	동진수역	만경수역	동진수역
COD	mg/L	6 이하	8 이하	5.5	3.8	5.3	4.6
T-N	mg/L	0.6 이하	1.0 이하	3.44	2.33	2.95	1.97
T-P	mg/L	0.05 이하	0.100이하	0.103	0.070	0.094	0.075
Chl-a	μg/kg		-	38.8	25.9	36.2	29.4

새만금호의 장래 수질 예측결과를 수질항목별로 고찰하면 다음과 같다.

- ① COD의 경우 새만금호의 만경수역의 수질은 5.3mg/L이며, 동진수역은 4.6mg/L로 추정되었음. 호소수질기준 III급수를 충족할 것으로 예측되었다.
- ② T-N농도는 새만금호의 만경수역 및 동진수역 모두 정부조치계획에 비교할 때 낮은 값으로 예상되었다.
- ③ T-P의 경우는 만경수역은 0.094mg/L로서 정부조치계획 추정치 0.103mg/L보다 약간 개선된 결과를 나타내었으며, 호소수질기준 IV급수 (0.100mg/L이하)를 만족할 것으로 예상되었다. 동진수역은 정부조치계획 추정치보다 약간 높은 결과를 보였다.

#### 4. 새만금호 환경대책에 따른 호소수질

##### 가. 추가대책

새만금환경보전대책에서 새만금호의 수질보전대책으로 제기되었으나 실현가능성 문제로 검토되지 않은 것에는 만경수역 유입부에 인처리시설을 설치하는 대안이 있었으며, 그 내용은 호소에 유입되는 홍수기에 인처리시설을 가동하여 총인의 호소유입량을 삭감하고자 하는 것이다. 이 경우 평상시 가동되지 않아 유희화 가능성 등 현실성에 대한 문제가 있었다.

만경수역의 총인 성분 유입량을 효율적으로 감축하는 방안은 전주, 익산하수처리장 등 상류지점의 점오염원에서 추가 처리를 실시 방안을 고려할 수 있을 것이다. 이는

미국, 일본 등 선진국에서 하천수질개선을 위해 이미 실용화되고 있는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 화학적 처리공정을 추가하여 새만금호의 수질에 미치는 영향을 평가하도록 하였다.

앞서 논의한 바와 같이 용담댐 발전수량의 유입으로 만경강 상류의 농업용수댐인 대아댐, 경천저수지 등의 수자원 이용형태가 변화되었다. 따라서 이들 농업용수댐의 관리규칙을 변경하여 갈수기 때 용수공급을 늘리는 방안이 가능할 것이다.

또한 새만금 유역의 추가적인 비점오염 저감 대책에 따른 유역 및 호소 수질 환경변화를 평가하기 위하여 토지이용 유입부하 기여도가 비교적 큰 논 면적을 조절함으로써 토지이용에 따른 배출부하를 조절하고 그 결과를 고찰함으로써 비점오염 저감을 모사하여 이에 따른 영향을 평가해 보았다.

그리고 금강하구에서 만경 유역으로 유입되는 도수 계획의 실행에 있어 용담댐 발전 수량 유입에 따른 금강의 수질 환경 변화가 만경 유역 말단에 미치는 영향을 고려하고 이에 대한 해결책을 강구할 필요가 있다.

이상의 하수처리장 보강방법과 댐 관리규칙의 변경, 그리고 유역의 추가적 비점오염 저감 대책과 금강하구 수질 악화에 따른 새만금유역과 새만금호의 장래 수질을 예측하고 기존의 정부조치계획과 그 결과를 비교 평가하도록 하였다. 이에 따라 새만금호 수질보전을 위한 검토 가능한 대책조합은 다음과 같다.

- ① (기존 정부조치계획) 2001년도 새만금환경보전대책 및 이후 추가 확정된 환경보전대책.
- ② (시나리오 I) 기존 정부조치계획에 전주, 익산, 정읍 하수처리장에 인처리시설을 보강하여 점오염원을 감축하는 방안.
- ③ (시나리오 II) 시나리오 1에 농업용수댐 관리규칙을 변경하여 갈수기 만경강의 하천유지용수를 증가시키는 방안.
- ④ (시나리오 III) 새만금 유역 논 20%가 감소되는 경우
- ⑤ (시나리오 IV) 새만금 유역 논 40%가 감소되는 경우
- ⑥ (시나리오 V) 유역 유달부하량 중 T-P가 10% 감소되는 경우
- ⑦ (시나리오 VI) 시나리오 3에 시나리오 5가 함께 실행될 경우



- ⑧ (시나리오 VII) 시나리오 4에 시나리오 5가 함께 실행될 경우
- ⑨ (시나리오 VIII) 최근 금강하구 수질(2003~2006의 월평균)을 적용하였을 경우
- ⑩ (시나리오 IX) 동진·만경 새만금호 유입수 T-P가 10% 감소한 경우
- ⑪ (시나리오 X) 동진·만경 새만금호 유입수 T-P가 20% 감소한 경우
- ⑫ (시나리오 XI) 시나리오 8에 시나리오 9가 함께 실행될 경우
- ⑬ (시나리오 XII) 시나리오 8에 시나리오 10이 함께 실행될 경우

#### 나. 시나리오별 예측수질

기존의 정부조치계획에 추가대책을 고려할 경우 새만금유역과 새만금호의 수질에  
 측결과는 <표 2-33>에서와 같다. 각 내용을 정리하면 다음과 같다.

- ① (시나리오 I) 인처리공정을 기존 대규모 하수처리장에 추가할 경우, 점오염원의  
 감소로 인해 만경강 하구 만경대교지점에서 연평균 0.291mg/L에서 0.198mg/L  
 로 감소할 것으로 예상된다. 이에 따라 만경수역의 T-P는 0.094mg/L에서  
 0.090mg/L로 약 4.3%정도 삭감될 것으로 예상된다.
- ② (시나리오 II) 위 시나리오 I에 추가하여 만경강 상류 농업용수댐 관리규칙을 변  
 경하여 갈수기 하천유지용수를 증가시킬 경우 만경대교지점의 BOD농도는  
 3.66mg/L에서 3.57mg/L로 낮아지며, T-P는 0.291mg/L에서 0.190mg/L로 낮아  
 질 것으로 예상된다. 이로 인한 만경수역의 수질개선효과는 COD가 5.3mg/L에  
 서 5.1mg/L로, T-P는 0.094mg/L에서 0.089mg/L로 각각 낮아질 것으로 추정된  
 다.
- ③ (시나리오 III, IV) 새만금 유역내 추가적인 비점오염 저감 대책에 따른 유역 및  
 호소의 정량적 수질 환경 영향 평가를 위해 본 연구에서는 토지이용에 따른 배  
 출 부하의 기여도가 비교적 큰 논 면적을 감소시킴으로서 비점오염 저감을 모사  
 하였으며, 새만금 전체의 논 면적이 20% 감소할 경우, 전체 토지이용 배출부하  
 량이 T-N, T-P의 경우 각각 9%, 21% 감소하게 되나, 전체 부하량에 대해 차지  
 하는 비율이 2~3%로 작아 새만금호에서는 1% 미만의 수질 변화를 보였으며,  
 논 면적이 40% 감소할 경우에도 2% 미만의 수질 변화를 보이는 것으로 나타났

다.

- ④ (시나리오 V) 시나리오 III, IV와 함께 유역의 비점오염 저감을 모사하기 위하여 유역의 T-P 유달 부하량 10%를 단순 감소시켰을 경우, T-P가 만경 대교 지점에서 0.262mg/L로 10%, 만경수역에서는 0.091mg/L로 3% 향상되는 것으로 나타났다.
- ⑤ (시나리오 VI, VII) 시나리오 V에 시나리오 III, IV를 동시에 적용한 결과 만경대교 지점에서 T-P의 경우 각각 0.257mg/L, 0.254mg/L로 21.5%~22.6% 향상될 것으로 추정되었다.
- ⑥ (시나리오 VIII) 용담댐 발전 수량 유입(2002년 8월) 이후 유량 변화로 인해 금강 하구 수질이 악화된 사실을 고려하기 위하여, 2003년~2006년의 금강 하구언2측점의 실측자료를 적용하였을 경우, 만경수역의 T-P가 0.101로 호소수질기준 IV급수를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- ⑦ (시나리오 IX, X) 호소 및 내부 간척지내 추가적인 수질 개선 대책에 따라 동진·만경유역의 새만금호 유입수 T-P가 10%, 20% 감소한 경우, 만경수역내 T-P가 0.091mg/L, 0.088mg/L로 향상되었다.
- ⑧ (시나리오 XI, XII) 현 금강 수질과 만경·동진유역의 새만금호 유입수의 T-P가 저감될 경우 호소내 수질을 추정하였으며, 금강하구의 악화된 수질이 향상되지 않을 경우, 전 수역의 수질이 호소수질기준 IV급수를 만족하기 위해서는 새만금유역 호소 유입수의 T-P에 대해 5%~10% 추가적인 저감이 필요할 것으로 추정되었다.

비록 추가적인 수질개선대책이 새만금유역과 새만금호의 수질개선에 도움이 되는 것으로 예상되고 있으나, 그 효과가 현시점에서는 미미한 수준인 것으로 나타나고 있다. 따라서 이와 같은 수질개선대책 등은 앞으로의 과제로 충분히 검토되는 것이 바람직할 것이다. 현 시점에서는 당초 새만금환경대책만으로도 수질목표를 달성할 수 있음에 비추어 지금까지의 수질보전대책을 착실히 추진하는 것이 최선의 방안이 될 것으로 생각된다.

<표 2-33> 추가대책을 고려한 새만금유역과 새만금호의 수질예측결과

수질 항목	BOD (mg/L)		COD (mg/L)		T-P (mg/L)				비 고
	만경대교	동진대교	만경수역	동진수역	만경대교	동진대교	만경수역	동진수역	
기존수질 보전대책	3.66	3.63	5.3	4.6	0.291 (100%)	0.144 (100%)	0.094 (100%)	0.075 (100%)	
시나리오 I	3.66	3.63	5.1	4.6	0.198 (68.0%)	0.143 (99.3%)	0.090 (95.7%)	0.075 (100%)	인처리공정
시나리오 II	3.57	3.63	5.1	4.6	0.190 (65.3%)	0.143 (99.3%)	0.089 (94.7%)	0.075 (100%)	댐관리+인처리공정
시나리오 III	3.63	3.60	5.4	4.0	0.286 (98.5%)	0.141 (97.7%)	0.094 (99.3%)	0.074 (99.2%)	비점오염 저감
시나리오 IV	3.56	3.54	5.2	3.9	0.274 (94.2%)	0.136 (94.4%)	0.093 (98.6%)	0.074 (98.1%)	비점오염 저감
시나리오 V	3.66	3.63	5.3	4.0	0.262 (90.0%)	0.143 (99.8%)	0.091 (97.0%)	0.075 (99.9%)	인 유달부하량 감소
시나리오 VI	3.63	3.60	5.3	4.0	0.257 (88.5%)	0.140 (97.3%)	0.091 (96.3%)	0.074 (99.1%)	시나리오 III+V
시나리오 VII	3.60	3.54	5.3	3.9	0.254 (87.4%)	0.136 (94.4%)	0.090 (95.8%)	0.074 (98.1%)	시나리오 IV+V
시나리오 VIII	-	-	5.8	4.6	-	-	0.101 (107.0%)	0.075 (100.0%)	최근 금강수질 적용
시나리오 IX	-	-	5.2	4.5	-	-	0.091 (96.8%)	0.073 (97.3%)	만경동진 유입수 수질 향상
시나리오 X	-	-	5.1	4.4	-	-	0.088 (93.6%)	0.071 (94.7%)	만경동진 유입수 수질 향상
시나리오 XI	-	-	5.7	4.5	-	-	0.098 (103.7%)	0.073 (97.1%)	시나리오 VIII+IX
시나리오 XII	-	-	5.6	4.4	-	-	0.095 (100.4%)	0.071 (94.4%)	시나리오 VIII+X

추  
가  
대  
책

## 제 6 절 요약 및 결론

본 연구에서는 새만금 유역의 여건변화에 따른 새만금 유역 및 새만금호의 수문, 수질변화를 분석하기 위하여 새만금 유역의 수자원 및 수질 상황, 인문사회경제 및 오염원 등을 조사하여 분석하였으며 변화된 하천유황을 수치적으로 모의하기 위하여 유역물수지모형을 개발하고 적용하여 분석하였으며, 하천수질의 예측을 위한 기본 자료를 구축하고, 물관리 방식이 하천 유황에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 목표연도 2012년에 새만금유역의 장래수질을 예측하기 위하여 오염원수를 조사하고 분석하여 오염부하량을 산정하였으며, 하천수질 예측모형인 QUALKO 모형을 새만금유역에 대하여 적용하여 그 적용성 평가 및 예측 결과를 분석하였으며, 호소수질 예측모형인 WASP5 모형을 이용하여 새만금호의 장래수질을 예측 평가하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 새만금유역 제반 여건은 2001년 정부조치계획 수립당시에 고려되지 않았던 용담댐 발전용수의 만경강 상류유역의 유입으로 인하여 만경강 수계의 하천유량의 증가, 수질여건의 개선 등이 나타나고 있다.

② 새만금유역의 인구는 당초 예상보다 감소하고 있으나, 축산에서는 돼지 사육두수가 크게 증가하였다. 토지이용은 농경지와 산림이 일부 도시용지, 도로용지 등으로 전용되어 감소하였다. 또한 비료사용량이 전국적인 추세에서와 같이 크게 감소하는 등 변화를 보이고 있다.

③ 새만금 유역내 가축사육두수는 축산여건의 변화, 농림부·환경부 등 축산관련 정부시책 등을 감안할 때 현시점보다 그 규모가 증가하지는 않을 것으로 전망되고 있다.

④ 용담댐 발전용수의 유입으로 만경강 수계의 물이용 체계가 달라졌으며, 수량 증가로 유역내 물수지가 크게 변화하였다.

⑤ 만경강 하류구간의 수질은 용담댐 발전용수량의 영향으로 당초 예상보다 크게 개선되었으며, 이는 하천유량의 증가에 따른 희석효과에 기인하는 것으로 나타났다. 동진강 하류구간의 수질은 유역내 오염원 증가 등으로 근래 약간 나빠지고 있다.

⑥ 1997년 이후 새만금유역의 하천유황변화를 모의하기 위해 새만금 상류유역을 29개 소유역으로 구분하고, 121개 세부소유역으로 나눠 물수지 분석을 실시하였다. 물수지 분석에서는 만경강, 동진강, 서해안 유역의 하천 네트워크를 구성하여 주요 지점에서 일별 유황을 예측하도록 하였다.

⑦ 물수지 분석에서 적용한 물수지 요소는 상류로부터 유입량, 취수량, 유역으로부터 횡유입량, 회귀수량, 타 유역으로의 수량 입출입 등을 고려하였다. 유역 유출량은 Tank 모형을 이용하여 추정하였으며, 농업용수 취수량은 DIROM 모형 등을 적용하고, 생공용수의 회귀수량은 취수량의 일정율을 적용하고, 농업용수는 회귀수량모형을 적용하여 산정하였다.

⑧ 물수지 모형은 전주지점, 대천지점, 정읍지점 등 건교부 수위관측점의 일별 유황을 이용하여 매개변수를 보정하고, 실측유황을 이용하여 미계측 조건에서 모형의 검증 실시하였다. 하천유황의 예측 결과는 실측치 대비 0.83~1.00의 범위로서 대체적으로 적절한 값을 보였다.

⑨ 용담댐 발전용수량 유입 전후의 만경대교 지점 유황곡선을 비교한 결과 용담댐 발전용수와 광역상수도 회귀수량으로 인해 하천유황이 크게 증가한 결과를 보였으며, 용담댐 발전용수로 유입으로 인해 만경강 상류 고산천의 어우보 취수량이 증가함에 따라 상류유역의 대아댐, 경천지 등 농업용수 댐 운영관리방식의 수정이 필요하며, 저수지 관리 규칙곡선을 변경하여 만경강 하류구간의 하천유지용수를 늘릴 수 있으며, 농업용수 댐의 홍수 조절량을 증가시켜 재해대책에도 유리할 것으로 추정되었다.

⑩ 원단위법을 적용하여 오염부하량을 산정하였으며, 목표연도의 오염원수로부터 수질항목별 발생부하량을 산정하고, 새만금환경대책을 적용하여 경로별 삭감량을 감안하여 배출부하량을 구하였다.

⑪ 1997년~2002년의 연도별 배출부하량과 수질측점의 유달량과의 관계로부터 유달을 관계식을 얻어 소유역별 유달부하량을 산정하였다.

⑫ 목표연도 오염원수는 2002년말 현재 새만금유역의 오염원수를 적용하였다. 이는 오염원 예측에 따른 불확실성을 최소화하기 위한 방법의 하나이며, 실제로 정부조직 계획에서 추정한 2012년 오염원수 예측결과와 비교할 때, 오염 발생부하량에서는 거

의 유사한 결과를 나타내었다. 즉, 본 연구에서 적용한 오염원수를 바탕으로 산정한 발생부하량의 정부조치계획의 예측치에 대한 차이는 BOD는 0.7%, T-N은 11.2%로 각각 많은 값이며, T-P는 1.5%로 작은 값을 나타내었다.

⑫ 본 연구에서 추정된 목표연도의 오염물질 배출부하량은 BOD의 경우 발생부하량의 16.9%, T-N은 16.9%, T-P는 17.3%로 나타났다. 오염원별 배출부하량 구성비는 생활계가 가장 높고, 토지이용, 축산계의 순서이나 그 정도는 수질항목별로 차이가 있었다.

⑬ 유달을 관계식으로부터 유달부하량의 추정결과와 수질자료로부터 얻은 계산치 사이에는 비교적 높은 상관성을 나타내었으며, 월별 유달부하량에서도 대체적으로 유사한 경향을 보였다.

⑭ 하천수질의 예측에서 적용한 일별 하천유량은 평수년인 물수지 분석에서 얻은 1997년 지점별 유황을 적용하였다. 다만, 만경강 수계는 2004년 용담댐 일별 발전용수량을 고려하여 하천유황을 추정하였다(1997년 유황+2004년 발전용수량).

⑮ 하천수질예측은 만경강, 동진강, 원평천 등 주요 하천의 하류구간을 대상으로 환경부에서 개발한 QUALKO모형을 적용하였다. QUALKO모형의 구간별 월별 매개변수는 2002년 유달부하량과 하천유량을 적용하여 시행착오법으로 추정하고, 그 결과와 수질 측정의 자료와 비교한 결과 적절하다고 평가하였다. 다만, 매개변수의 값은 QUAL2E모형 매개변수 범위 이내로 적용하였다.

⑯ 새만금 유역의 장래수질 예측결과는 만경강 만경대교지점의 수질은 연평균 BOD 3.66mg/L, T-P 0.291mg/L로 정부조치계획 당시보다 개선된 결과를 보였다. 동진강 동진대교지점의 수질은 BOD 3.63mg/L, T-P 0.144mg/L로 정부조치계획보다 나쁜 수질을 보이는 것으로 예측되었다.

⑰ 금회 연구의 새만금호 수질예측방법은 2001년 정부조치계획에서와 동일하다. 다만, 하천수질예측에서 논의한 바와 같이 2012년 오염원 추정치는 2002년말 현재의 값을 적용하였고, 하천유황은 1997년 일유출량을 기준으로 만경강의 경우는 2004년 용담댐 일별 발전용수량을 감안한 모의 결과를 적용하였다. 호소 수질예측에서는 WASP5모형을 적용하였다.

⑱ 새만금호 장래수질의 예측결과는 만경수역의 경우 COD 5.3mg/L, T-P 0.094mg/L로 예측되었으며, 동진수역은 COD 4.6mg/L, T-P 0.075mg/L로 나타났다. 이와 같은 결과는 정부조치계획과 비교할 때, 만경수역의 수질은 약간 개선된 결과이며, 동진수역은 약간 나빠지는 결과이다.

⑲ 금회 연구결과로부터 새만금호 장래수질은 호소수질기준 IV급수를 만족하는 수준으로 예상되었다.

⑳ 새만금호 수질개선을 위해 하수처리장 인처리시설의 보강과 만경강 상류유역의 농업용수댐 규칙곡선을 보완한 경우에 대한 수질예측을 실시하였다. 그 결과는 인처리시설을 보강할 경우 만경수역의 T-P는 0.090mg/L, 규칙곡선변경을 추가할 경우 0.089mg/L로 나타났다.

㉑ 새만금 유역내 추가적인 비점오염 저감 대책에 따른 유역 및 호소의 정량적 수질 환경 영향 평가를 위해 전 토지이용 배출부하량을 T-N, T-P의 경우 각각 9%, 21% 감소시킨 시나리오를 적용해 보았으며, 그 결과 전체 부하량에 대해 차지하는 비율이 2~3%로 작아 새만금호에서는 1% 미만의 수질 변화를 보였으며, 이와 함께 유역의 T-P 유달 부하량 10%를 단순 감소시켰을 경우 T-P의 경우 0.257mg/L로 21.5% 향상되는 것으로 나타났다.

㉒ 용담댐 발전 수량 유입 이후 악화된 금강 수질을 적용한 결과, 만경수역의 T-P가 0.101로 호소수질기준 IV급수를 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 이와 함께 호소 및 내부 간척지내 추가적인 수질 개선 대책에 따라 동진·만경유역의 새만금호 유입수 T-P를 10%, 20% 저감시킨 경우, 만경수역내 T-P가 0.098mg/L, 0.095mg/L로 향상되고, 전 수역의 수질이 호소수질기준 IV급수를 만족하기 위해서는 새만금 유역 호소 유입수의 T-P에 대해 5%~10% 추가적인 저감이 필요할 것으로 추정되었다.

㉓ 새만금호 수질보전을 위해서는 최우선적으로 새만금환경보전대책을 차질 없이 추진해가고, 상류유역에서 오염원 관리를 해가는 노력이 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부·한국수자원공사, 2000. 수자원장기종합계획보고서 (Water Vision 2020). IPS-2000-10.
2. 농림부·농어촌진흥공사, 1998. 새만금호 수질보전대책수립 수문조사 보고서. 98-10-01.
3. 농림부·농업기반공사, 2001. 새만금호 종합 물관리 방안수립(I) - 수문보고서.
4. 농림부·농업기반공사, 2004. 새만금호 종합 물관리 방안수립(I) - 수문보고서.
5. 농림부·환경부 합동, 2004. 가축분뇨 관리·이용대책, 행정간행물등록번호 11-1480000-000731-01.
6. 새만금사업환경영향공동조사단, 2000. 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서, 수질보전분야.
7. 진라북도, 2004. <[http://www.jeonbuk.go.kr/intro/pdf/1\\_5.pdf](http://www.jeonbuk.go.kr/intro/pdf/1_5.pdf)>
8. 광결호, 2002. GIS를 이용한 수질오염 총량 관리시스템 개발, 한양대학교 박사학위논문.
9. 김현영, 1988. 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모형발생, 서울대학교 박사학위논문.
10. 신동석, 2001. 유역수질관리를 위한 WASP5 모형의 하천수질 예측 적용성 평가.
11. 엄명철, 2004. 하구담수호 유역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석, 서울대학교 박사학위논문.
12. 임상준, 2000. 농업유역의 논 관개회귀수량 추정 모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
13. 허유만, 1992. 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망 모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
14. Ambrose, R. B., T. A. Wool, and J. L. Martin, 1993a. The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5 Part A: Model Documentation. Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Athens, GA.



15. Ambrose, R. B., T. A. Wool, and J. L. Martin, 1993b. The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5 Part B: The WASP5 Input Dataset. Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Athens, GA.
16. Ambrose, R. B., T. A. Wool, and J. L. Martin, 1993c. The Dynamic Estuary Model Hydrodynamics Program, DYNDYD5: Model Documentation and User Manual. Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Athens, GA.
17. Brown L. C. and T. O. Barnwell, 1987. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and user manual, EPA/600/3-87/007, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
18. ILRI, 1983. Drainage Principles and Applications. Vol.II, Theories of Field Drainage and Watershed Runoff. ILRI Publ. 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
19. Li, Y. H. and Cui, Y.L., 1996. Real-time Forecasting of Irrigation Water Requirements of Paddy Fields. Agricultural Water Management, 31:185-193.
20. Odhiambo, L.O. and Murty, V.V.N., 1996. Modeling Water Balance Components in Relation to Field Layout in Lowland Paddy Fields(I), Agricultural Water Management, 30:185-199.
21. Schulla, J., Jasper, K. 2000. Model description WaSiM-ETH. Internal Report, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Switzerland.
22. Van Genuchten, M.T., 1980, A Closed-Form equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Jr. of Soil Sci. Soc. Am., pp.892-898.
23. Wang, J.K. and Hagan, E.R.(Editors), 1981. Irrigated Rice Production Systems : Design Procedures. Westview Tropical Agriculture Series, No. 3, 192 pp.

## 제 3 장 새만금유역 토양유실량 추정

### 제 1 절 개요

유역의 상류에서 발생하는 토양유실을 추정하는 방법으로는 범용토양유실량식(Universal Soil Loss Equation, USLE)이 많이 이용되고 있으며, USLE의 인자를 보다 쉽게 추출하기 위하여 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)이 이용되고 있다. GIS의 이용은 정보의 최신성이나 분류의 자동화 및 결과의 수치화 등의 측면에서 이점을 가지고 있으며, 시간과 비용면에서 뿐만 아니라 광대한 면적을 차지하는 유역의 지상인자 추출에 효과적이라고 하였다. 현재 국내에서는 NGIS, RGIS 수행으로 국가 기본도를 수치지도로 작성하고 있으며, 이를 기반으로 하여 비교적 적은 비용으로 각 분야에서 GIS 자료를 구축하고, 이를 이용한 공간 분석에 응용하고 있다.

경사지에서 유실되는 토양은 적절한 작부체계 선정과 합리적인 토양관리에 의해 저감시킬 수 있는데, 작물재배에 의한 지면피복은 유거수의 속도감소와 강우의 타격력 감소, 토양구조 발달 및 공극률 증가로 인해 강우의 침투성을 높여 토양유실량과 지표유출수를 줄여준다(Lafren et al., 1979). USLE 인자 중 토양유실량 추정에 이러한 영향을 반영할 수 있는 인자가 작물경작인자(C factor)이다. 그러나 USLE를 이용하여 토양유실량을 추정하는 연구의 경우 해당유역의 작부체계에 관한 자료이용의 어려움으로 인해 단순히 토지이용분류에 따른 작물경작인자를 사용하고 있는 한계를 지니고 있다. 특히 밭토양의 경우 어떤 작부체계를 선택하는가에 따라 시기별 토양유실량의 변화가 큰 폭을 나타내므로, 면적이 큰 유역단위에 단일작물경작인자를 적용하는

데에는 무리가 있다. 따라서 유역에서 발생하는 토양유실량을 보다 정확하게 산정하고 향후 작부체계의 변화에 따른 토양유실량 변화를 추정하기 위해서는 유역 내 작부체계를 조사하고 이에 따른 작물경작인자를 적용할 필요가 있다.

본 연구에서는 새만금유역에 대하여 1) 새만금유역 밭토양의 작부체계에 관련된 통계자료를 종합하여 시군별 밭작물의 작물경작인자 산정하였고, 2) 이를 제외한 USLE의 제인자는 GIS를 이용하여 추출하였고, 3) USLE를 이용하여 상류유역의 토양유실량을 추정하였다.

## 제 2 절 토양유실량 추정

### 1. USLE (Universal Soil Loss Equation)

유역의 토양침식량은 우수가 집수되어 걸리(gully) 혹은 배수로 등과 같이 명백한 수로형태를 갖는 상류의 경우, 흔히 범용토양유실량식(Universal Soil Loss Equation, USLE)라 부르는 다음의 식 (3-1)로부터 추정된다.

$$A = RKLSCP \quad (3-1)$$

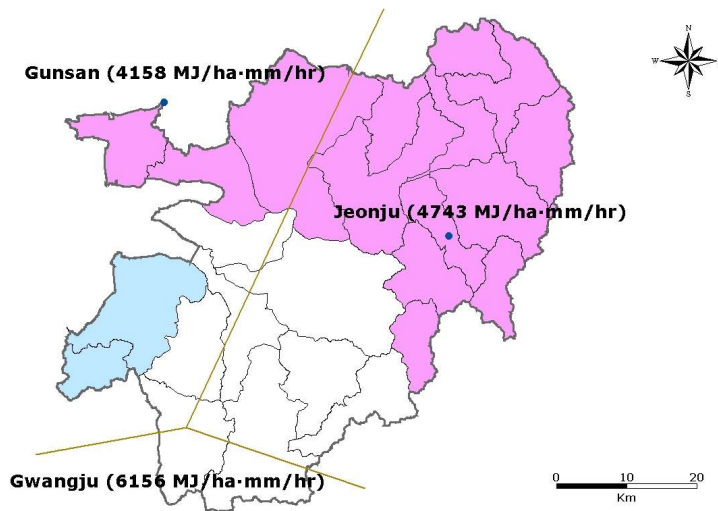
여기서,  $A$  = 강우가식성인자  $R$ 의 해당기간 중 단위면적 당 토양침식량(ton/ha),  $R$  = 강우가식성인자(rainfall erosivity factor, MJ/ha·mm/hr),  $K$  = 토양침식성인자(soil erodibility factor, ton/ha/R),  $LS$  = 지형인자(topographic factor),  $C$  = 작물경작인자(cropping management factor),  $P$  = 침식조절관행인자(conservation management factor)이다.

본 연구에 이용된 식 (3-1)의 각 인자는 다음과 같다.

#### 가. 강우가식성인자(R)

새만금유역 내 지역별  $R$ 값은 강문성 등(2003)이 전국의 26개 주요 관측소를 대상으

로 1973~2002년까지의 10분 및 1시간 강우자료를 분석하여 얻은 R값을 이용하였으며, 군산(4,158 MJ/ha·mm/hr), 전주(4,743 MJ/ha·mm/hr), 광주(6,156 MJ/ha·mm/hr) 관측지점의 R값을 적용하였다. (그림 3-1)과 같이 관측소의 위치자료를 이용해 새만금유역을 포함하는 Thiessen network를 형성하여 지리적 위치에 따른 적절한 R값을 적용하였다.



(그림 3-1) 새만금유역의 R값

#### 나. 토양침식성인자(K)

토양침식성인자는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 나타낸 것으로 토양조직, 토양구조, 유기물 함량, 투수성 등의 토양특성인자와 관련이 있으며, 그 값이 연중 일정한 것으로 가정된다. Wischmeier 등(1978)은 토양에서의 미사와 극미사의 구성비가 70% 이하의 경우 K값을 정의하였으며, Foster 등(1981)은 이를 SI 단위로 환산하여 식 (3-2)와 같이 정의하였다.

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad (3-2)$$

여기서, K = 토양침식성인자(T/ha/R), M = (극세사% + 미사%) × (100 - 점토%), a

= 유기물함량(organic matter, %), b = 토양구조등급(soil structure code, 1~4), c = 토양투수성등급(soil permeability class, 1~6)이다.

본 연구에서는 농촌진흥청의 1:25,000 정밀토양도와 전국 290개 토양통에 대한 물리적·화학적 특성을 이용하여 입경별 분포, 유기물함량, 배수정도 등 필요한 인자를 추출하고, 식 (3-2)를 이용하여 K값을 산정하였다.

#### 다. 지형인자(LS)

지형인자는 9%의 고른 경사와 22.13m의 경사장을 가지는 표준구(unit plot)에서의 토양유실량과 실제 적용지역에서의 토양유실량과의 비를 나타내는 무차원수이다. LS 인자는 사면장인자(slope length factor, L), 경사도인자(slope steepness factor, S)로 이루어져 있으며, 산정방법은 식 (3-3)과 같다(Wischmeier et al., 1965, 1978).

$$LS = \left( \frac{l}{22.13} \right)^m \left( \frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613} \right) \quad (3-3)$$

여기서, l = 사면장(slope length, m), m = 경사에 따라 변하는 경사지수, s = 경사도(%)이다.

경사도는 국립지리원에서 제공하는 1:25,000 수치지도를 이용하여 추출하였다. 경사장은 지표월류가 시작되는 지점으로부터 경사도가 감소하여 퇴적이 발생하는 지점 혹은 지표월류가 집중되어 충분히 발달된 수로 형태의 흐름으로 되는 지점까지의 거리로 산정되며, Foster 등(2002)은 자연상태에서 경사장의 길이가 400ft를 넘지 않다고 제시하고 있다. 본 연구에서는 우리나라의 농경지 특성 등을 고려하여 <표 3-1>과 같이 토지이용별 경사장을 이용하였다.

<표 3-1> 토지이용에 따른 사면장

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로
사면장 (m)	70	50	10	15	70~100	70~100

**라. 작물경작인자(C)**

작물경작인자는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 작물이나 피복조건에서 발생한 토양유실량과 표준구의 휴경과 경운조건에서 발생한 토양유실량과의 비를 의미하며, 그 값은 나지구(bare ground plot)에서 1.0이 되고 작물이 재배되면 1.0 이하가 된다. 밭을 제외한 C값은 USDA(Wischmeier et al., 1975)에서 제시하고 있는 <표 3-2>로부터 구하였다.

<표 3-2> 작물경작인자 (C)

Undistributed forest land							
Percent of area covered by canopy of trees and undergrowth		Percent of area covered by duff at least 2 in deep		Factor C			
100-75		100-90		0.0001-0.001			
70-45		85-75		0.002-0.004			
40-20		70-40		0.003-0.009			
Permanent pasture, range, and idle land							
Vegetative canopy		Cover that contacts the soil surface					
		Percent ground cover					
Type and Height	Type	0	20	40	60	80	95+
No appreciable canopy	G	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
	W	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
Tall weeds or short brush with average drop fall height of 20 in.	G	0.17-0.36	0.10-0.17	0.06-0.09	0.032-0.038	0.011-0.013	0.003
	W	0.17-0.36	0.12-0.20	0.09-0.13	0.068-0.083	0.038-0.041	0.011
Appreciable brush or brushes, with average drop fall height of 6 1/2 ft	G	0.28-0.40	0.14-0.18	0.08-0.09	0.036-0.040	0.012-0.013	0.003
	W	0.28-0.40	0.17-0.22	0.12-0.14	0.078-0.087	0.040-0.042	0.011
Trees, but no appreciable low brush. Average drop fall height of 13ft	G	0.36-0.42	0.17-0.19	0.09-0.10	0.039-0.041	0.012-0.013	0.003
	W	0.36-0.42	0.20-0.23	0.13-0.14	0.084-0.089	0.041-0.042	0.011

G : cover at surface in grass, grasslike plants, decaying compacted duff, or litter at least 2 in deep. W : cover at surface is mostly broadleaf herbaceous plants (as weeds with little lateral-root network near the surface) or undecayed residues or both

<표 3-2>로부터 토지이용에 따른 적절한 작물경작인자를 선택하였으며, <표 3-3>은 밭을 제외한 토지이용에 따른 작물경작인자를 보여준다.

<표 3-3> 새만금유역의 작물경작인자

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로
작물경작인자	0.1	-	0.001	0.01	1	0.01

#### 마. 침식조절관행인자(P)

침식조절관행인자는 경작조건에 의한 토양유실량과 표준구에서의 상하경작에 따른 토양유실량의 비이다. 침식조절관행에는 등고선경작(contouring), 등고선대상재배(contour strip cropping), 테라스공법(terracing) 등이 포함된다.

우리나라의 경우 밭과 과수원, 초지 등은 주로 등고선을 따라 형성되므로 등고선 경작(contouring), 논은 대부분 계단식의 형태로 경작되므로 테라스 공법(terracing)에 속한다고 할 수 있다(이민부 등, 2003). 이러한 기준에 따라 농경지를 경작형태에 따라 분류하고, 이외의 지역에는 특별한 침식조절공법을 적용하지 않아 1.0의 값을 적용하였다. 이를 바탕으로 논, 밭 초지의 경우 국립방재연구소(1998)에서 제시한 경사도별 P값을 이용하였으며, <표 3-4>는 새만금유역에 대한 P값을 정리한 결과를 보여주고 있다.

<표 3-4> 새만금유역의 침식조절관행인자

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로
침식조절관행인자	0.10~0.18	0.5~0.9	1	0.5~0.9	1	1

## 2. 밭작물경작인자 산정

밭토양의 작부체계에 따른 C값을 산정하기 위하여 통계청(2000) 자료를 이용하여 행정구역상 새만금유역에 포함되는 읍면단위까지 작물별 재배면적을 조사하여 단일 밭작물별 재배면적을 산정하였다. 또한 전라북도의 주요한 작부체계(농림부·농촌진흥청, 1996)와 그에 따른 밭작물 혼/간작 재배면적비(전북농업과학기술원, 2005)를 조사하여 이를 바탕으로 작물별 재배면적을 작부체계별 재배면적으로 재분류하여 농업과학기술원에서 산정한 단일작목별 작물경작인자(정강호 등, 2004)와 국내의 주요 작부



체계 및 각 작부체계별 작물경작인자(정필균 등, 1985)에서 제시한 값을 이용하여 식 (3-4)를 통해 작물경작인자를 산정하였다. 통계자료의 부족으로 인하여 작부체계별 혼/간작 비율이 누락된 경우 10%로 가정하였다.

$$C = \sum C_i A_i \quad (3-4)$$

여기서, C = 작물경작인자,  $C_i$  = 작부체계별 작물경작인자,  $A_i$  = 전체 재배면적에 대한 해당 작부체계 면적의 비이다.

<표 3-5>는 작부체계별 C값을 작부체계별 재배면적으로 가중평균하여 새만금유역 내 행정구역별(시군단위) C값을 산출한 결과를 보여주고 있다. 새만금유역의 C값은 0.28~0.35의 분포를 나타내었으며, 김제시(0.35)에서 가장 높은 값을 보였으며, 완주군(0.28)에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

<표 3-5> 새만금유역의 시군별 밭작물경작인자

Coverage Crop	C factor	Percentage of Cultivation Area (%)							
		Jeonju	Gimje	Jeongeup	Wanju	Gunsan	Iksan	Buan	Gochang
Barley	0.34	19.35	38.79	18.75	7.27	70.94	29.95	43.58	3.98
Potato	0.75	0.98	5.92	0.67	2.05	0.32	1.19	0.27	0.48
Soybean	0.19	1.99	1.28	3.12	3.31	1.54	2.13	2.60	2.37
Red Bean	0.19	2.99	1.93	4.69	4.98	0.40	0.41	0.25	0.27
Radish	0.59	4.31	5.15	3.54	5.27	3.72	3.10	7.90	12.56
Chinese Cabbage	0.59	6.12	3.45	3.30	8.54	2.83	4.58	3.91	11.87
Red Pepper	0.28	7.18	9.29	28.99	14.11	4.42	9.70	12.24	30.14
Garlic	0.18	1.27	1.83	1.91	4.94	2.05	2.70	2.87	1.17
Onion	0.18	0.20	0.15	0.23	2.32	0.57	0.50	2.69	0.34
Spring Onion	0.59	1.03	1.07	1.21	2.14	1.21	1.38	4.00	0.07
Ginseng	0.18	2.50	1.33	1.06	2.91	0.00	3.95	0.76	1.37
Maize	0.44	0.39	0.39	0.21	0.33	0.24	0.34	0.23	0.00
Sweat Potato	0.28	2.04	4.59	1.58	2.78	1.15	12.81	0.90	0.67
Sesami	0.28	2.38	3.11	6.65	3.35	2.28	4.23	4.90	7.78
Orchard	0.43	30.71	10.10	8.64	9.59	0.89	8.24	2.96	5.08
Protective Cultivation	0.01	13.22	6.97	9.85	21.75	2.02	8.96	4.33	16.13
Sesami after Vegetable	0.19	0.26	0.35	0.63	0.37	0.25	0.47	0.54	0.86
Soybean after Vegetable	0.10	0.40	0.26	0.63	0.67	0.31	0.43	0.53	0.48
Soybean after Barley	0.18	0.41	0.26	0.64	0.68	0.32	0.44	0.54	0.49
Soybean after Garlic	0.14	0.19	0.12	0.30	0.31	0.15	0.20	0.25	0.22
Sweat Potato with Barley	0.10	0.12	0.26	0.09	0.16	0.06	0.72	0.05	0.04
Barley after Soybean & Red Pepper	0.14	1.02	2.04	0.99	0.38	3.37	1.58	2.29	0.21
Red Pepper with Garlic	0.14	0.80	1.03	3.22	1.57	0.49	1.08	1.36	3.35
Sweat Potato with Potato	0.51	0.15	0.33	0.11	0.20	0.08	0.91	0.06	0.05
Sum		100	100	100	100	100	100	100	100
Weighted average of C factor		0.33	0.35	0.29	0.28	0.33	0.31	0.33	0.31

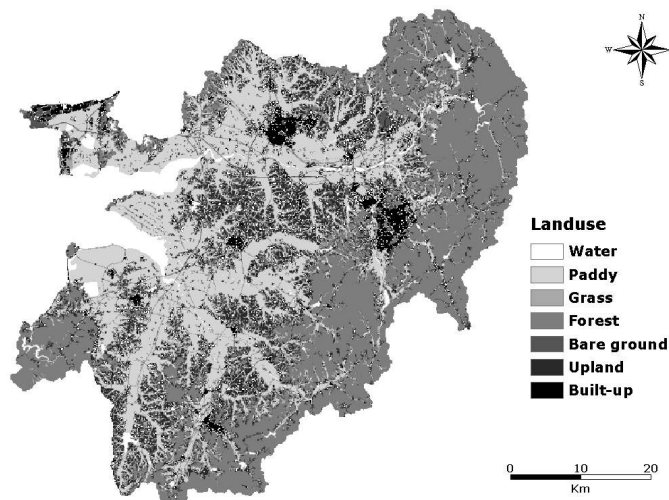
### 3. GIS 주제도 구축

USLE를 이용해 토양유실량을 추정하기 위하여 먼저 대상유역에 대한 GIS 주제도를 구축하였다. (그림 3-2)~(그림 3-8)은 구축된 새만금유역에 대한 GIS 주제도이다.

(그림 3-2)는 새만금유역의 토지이용도를 보여주고 있다. 대상유역의 토지이용은 중분류토지피복지도(1:25,000)를 이용하여 물(Water), 시가지(Urban area), 산림(Forest), 초지(Grass), 나지(Bare ground), 논(Paddy), 밭(Upland) 등 7가지로 재분류하였다. 중분류토지피복지도는 환경부에서 IRS-1C 위성영상, Landsat TM 위성영상,

아리랑 위성영상, 1:25,000 임상도 등을 이용하여 23개 분류항목으로 구축한 것으로 5m급의 지상해상도를 가지고 있다(환경부, 2002). <표 3-6>에서 보는 바와 같이 논 36.4%, 산림 35.0%, 밭 13.9%, 시가지 8%, 초지 1.4%, 나지 1.3%의 분포를 보였다.

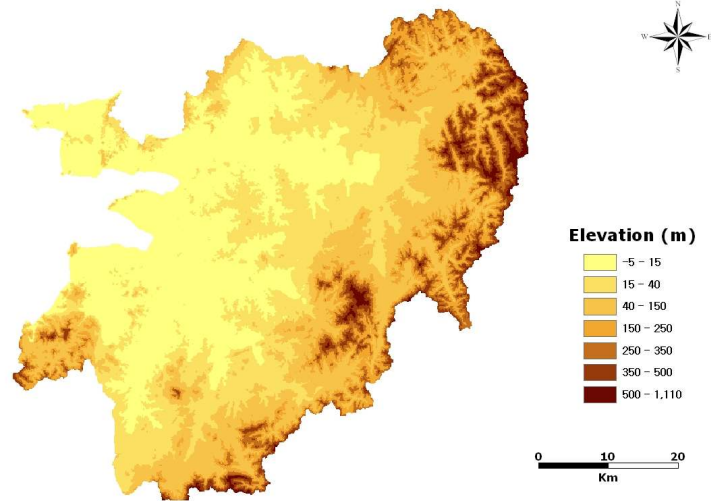
(그림 3-3)~(그림 3-4)는 새만금유역의 고도와 경사도이며, (그림 3-5)~(그림 3-8)은 USLE의 K, LS, C, P 인자를 보여주고 있다.



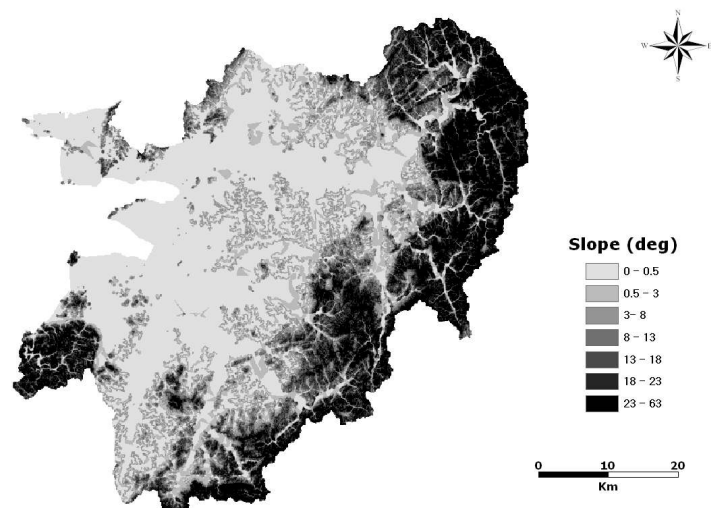
(그림 3-2) 새만금유역의 토지이용도

<표 3-6> 새만금유역의 토지이용현황

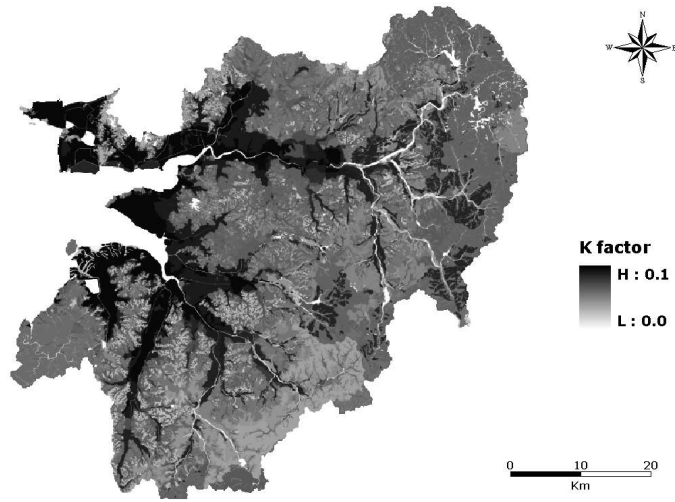
토지이용	논	밭	산림	초지	나지	주거지/도로	수역	합계
면적 (km <sup>2</sup> )	1,088.1 (36.4%)	414.7 (13.9%)	1,051.3 (35.0%)	40.8 (1.4%)	40.2 (1.3%)	239.2 (8.0%)	118.6 (4.0%)	2,992.9 (100%)



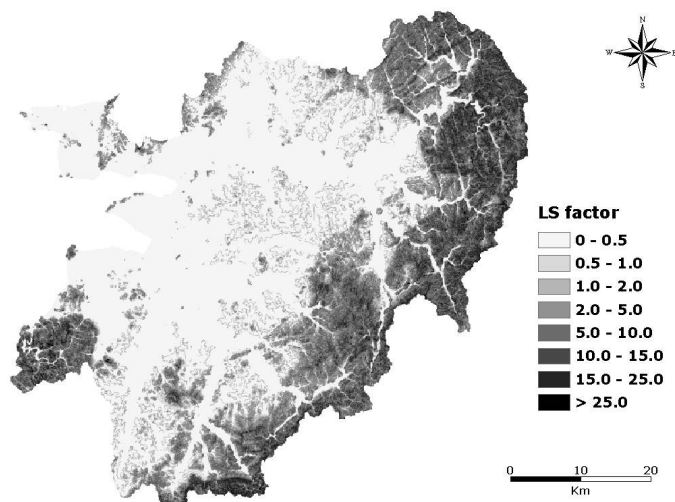
(그림 3-3) 새만금유역의 DEM



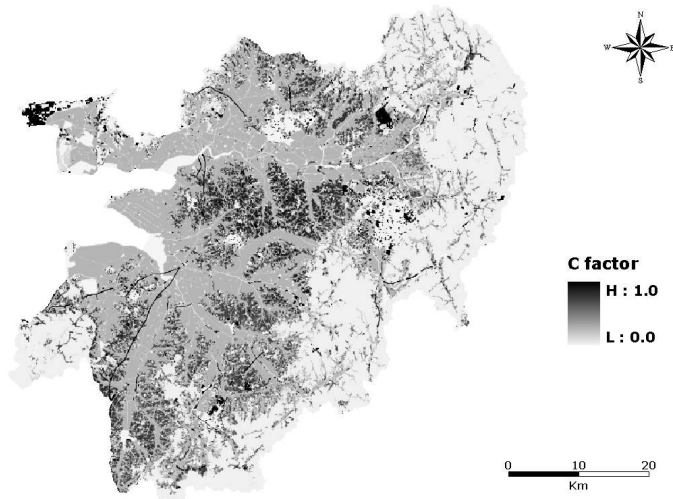
(그림 3-4) 새만금유역의 경사도



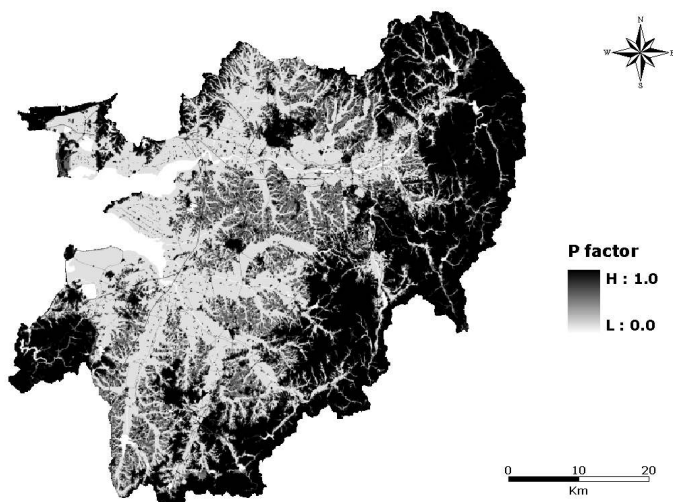
(그림 3-5) 새만금유역의 K값



(그림 3-6) 새만금유역의 LS값



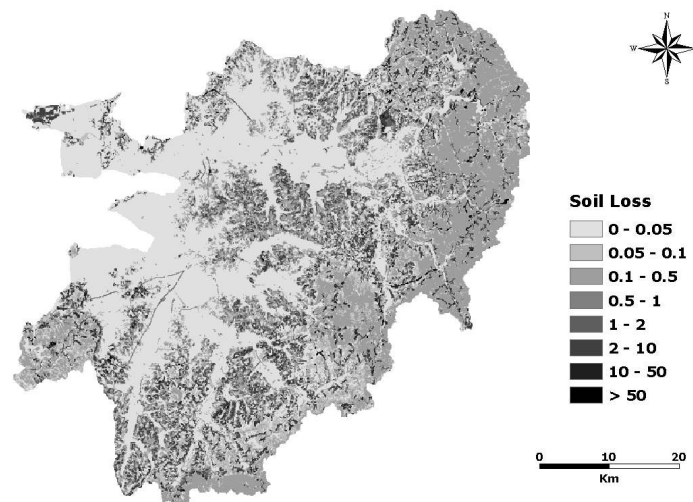
(그림 3-7) 새만금유역의 C값



(그림 3-8) 새만금유역의 P값

#### 4. 새만금유역 토양유실량 추정

구축된 GIS 자료와 범용토양유실량식(USLE)을 이용하여 새만금유역에서 발생한 토양유실량을 추정하였다. 새만금유역에서 발생한 총 연간 토양유실량은 2,852 천ton으로 전체유역에 걸친 공간적분포는 (그림 3-9)와 같다. <표 3-7>은 토지이용별 단위면적당 연평균 토양유실량을 나타내며, 논 0.8ton/ha, 밭 33.7ton/ha, 산림 1.1ton/ha, 초지 3.7ton/ha, 나지 299.0ton/ha, 시가지 1.4ton/ha으로 추정되었다.



(그림 3-9) 새만금유역의 토양유실량

<표 3-7> 토지이용에 따른 단위면적당 연간 토양유실량 (ton/ha)

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	시가지/도로
토양유실량	0.8	33.7	1.1	3.7	299.0	1.4

<표 3-8>은 OECD 농업환경지표에서 제시한 토양침식에 관한 5개의 등급을 기준으로 새만금유역 내 농경지의 토양유실 정도에 따른 토양침식 위험성을 나타낸다. 분석결과 논 1,068.3 km<sup>2</sup>, 밭 198.9 km<sup>2</sup> 등 전체 농경지 중 84.3%가 토양침식의 위험성이 적은 것으로 나타난 반면, 전체 농경지 중 6.0%가 토양유실의 정도가 매우 심각하여 장기적인 농업생산을 위해서는 토양유실을 저감할 수 있는 농지보전공법의 적용이

필요한 것으로 나타났다.

<표 3-8> OECD 토양침식 등급에 따른 농경지 면적

OECD 토양침식등급 <sup>a)</sup>	Tolerable	Low	Moderate	High	Severe
토양유실량 (ton/ha)	0~6	6~11	11~22	22~33	> 33
논 (km <sup>2</sup> )	1,068.3 (71.1%)	9.5 (0.6%)	5.7 (0.4%)	2.3 (0.2%)	2.3 (0.2%)
밭 (km <sup>2</sup> )	198.9 (13.2%)	44.3 (2.9%)	54.7 (3.6%)	29.6 (2.0%)	87.1 (5.8%)

a) Agri-Environmental Indicators(OECD, 2001)

<표 3-9>에서 보는 바와 같이 각 소유역별 토양유실량과 단위면적당 연평균 토양 유실량을 살펴보면, M-03, M-04, M-07, M-08유역으로부터 단위면적당 15ton/ha가 넘는 토양이 유실되며, 이는 다른 소유역에 비해 경사가 급한 지역에 분포하는 밭과 나지의 면적이 넓기 때문인 것으로 나타났다.



<표 3-9> 새만금유역의 소유역별 토양유실량

소유역	면적 (km <sup>2</sup> )	토양유실량		소유역	면적 (km <sup>2</sup> )	토양유실량			
		(10 <sup>3</sup> ton)	(ton/ha)			(10 <sup>3</sup> ton)	(ton/ha)		
만경강 유역	M-01	105.9	140.6	13.28	동진강 유역	D-01	101.7	90.2	8.87
	M-02	68.6	72.9	10.62		D-02	117.4	121.6	10.35
	M-03	110.5	214.9	19.44		D-03	215.9	223.5	10.35
	M-04	157.9	405.3	25.67		D-04	136.7	124.8	9.13
	M-05	73.4	87.6	11.94		D-05	116.3	99.4	8.55
	M-06	60.2	75.2	12.49		D-06	265.0	159.0	6.00
	M-07	60.1	102.9	17.13		D-07	108.9	22.0	2.02
	M-08	90.8	164.3	18.10		D-08	99.7	27.6	2.76
	M-09	76.2	92.0	12.06	소계	1,161.6	868.0	7.47	
	M-10	77.7	45.8	5.90					
	M-11	198.0	151.5	7.65	서해안 유역	S-01	57.1	61.9	10.84
	M-12	326.3	143.8	4.41		S-02	174.8	126.4	7.23
	M-13	92.4	55.8	6.04	소계	231.9	188.3	8.12	
	M-14	101.4	43.2	4.27					
소계	1,599.4	1,795.9	11.23	합계	2,992.9	2,852.2	9.53		

### 제 3 절 요약 및 결론

본 연구에서는 작부체계를 고려하여 새만금유역의 토양유실량을 추정하였다. 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)과 범용토양유실량식(Universal Soil Loss Equation, USLE)을 사용하여 유역규모의 토양유실량을 추정하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) USLE에 사용되는 인자들은 1:25,000 축척의 국립지리원의 수치지도와 농촌진흥청의 정밀토양도, 환경부의 중분류토지피복지도 등의 자료를 GIS를 활용하여 구축하였다.
- 2) USLE 인자 중 발토양의 C값은 발작물과 관련된 통계자료를 이용하여 산출한 작목별 재배면적과 기존 연구된 작부체계별 C값을 이용하여 새만금유역 내 행정구역별(시군단위) 값을 산출하였다. 새만금유역의 발토양의 C값은 0.28~0.35의 분포를

나타내었으며, 김제시(0.35)에서 가장 높았으며 완주군(0.28)에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

3) 새만금유역에서 발생하는 연평균 토양유실량은 2,852 천ton으로 추정되었다. 토지이용별 단위면적당 연평균 토양유실량은 논 0.75ton/ha, 밭 33.72ton/ha, 산림 1.1ton/ha, 초지 3.7ton/ha, 나지 299.0ton/ha, 시가지 1.4ton/ha로 분석되어, 밭과 나지로부터의 토양유실이 큰 값을 보였다.

4) OECD에서 제시한 기준을 바탕으로 새만금유역 내 농경지의 토양침식 위험성을 분석한 결과 전체 농경지 중 84.3%가 토양침식의 위험성이 적은 것으로 나타난 반면, 전체 농경지 중 6.0%가 토양유실의 정도가 매우 심각한 것으로 분석되었다.

5) 수자원단위지도의 표준유역별 토양유실량을 살펴보면 M-03, M-04, M-07, M-08유역으로부터 단위면적당 15ton/ha가 넘는 토양이 유실되며, 이는 다른 소유역에 비해 경사가 급한 지역에 분포하는 밭과 나지의 면적이 넓기 때문인 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 강문성, 박승우, 임상준, 김학관, 2003. RUSLE을 위한 반월 주기 강우가식성인자 산정, 한국농공학회논문집 45(3):29-40.
2. 국립방재연구소, 1998. 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I).
3. 농림부·농촌진흥청, 1996. 상시영농체계확립실천계획.
4. 이민부, 김남신, 강철성, 신근하, 최한성, 한욱, 2003. 북한 회령지역의 농경지 변화에 따른 토양침식 추정, 한국지역지리학회지 9(3):373-384.
5. 전북농업과학기술원, 2005. 밭작물 중점 지도과제 추진상황.
6. 정강호, 김원태, 허승오, 하상건, 정필균, 정영상, 2004. 수치 정밀토양도에 기초한 전국 토양유실량 평가를 위한 USLE/RUSLE 인자의 산정, 한국토양비료학회지 37(4):199-206.
7. 정필균, 고문환, 엄기태, 1985. 토양유실량 예측을 위한 작부인자 검토, 한국토양비료학회지 18(1):7-13.

8. 통계청, 2000. 농업총조사보고서:제8권 전라북도.
9. 환경부, 2002. 인공위성영상자료를 이용한 토지피복지도 구축.
10. Foster, G. R. et al., 2002. USER'S GUIDE Revised Universal Soil Loss Equation Version 2(RUSLE2), USDA-ARS, Washington D.C..
11. Foster, G. R., D. K. McCool, K. G. Renard & W. C. Moldenhauer, 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Unit, Journal of Soil and Water Conservation 36:355-359.
12. Laflen, J. M., W. C. Moldenhauer, 1979. Soil and water loss from corn-soybean rotations, Soil Sci. Soc. Am. J. 43, pp. 1213-1215.
13. OECD, 2001. Environmental Indicators for Agriculture Volume 3 - Methods and Results.
14. R. B. Krone. 1962. Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarine Shoaling Processes. Hydraulic Engineers Lab, University of California, Berkeley, CA (Technical Report).
15. Wischmeier, W. H., D. D. Smith, 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook 282.
16. Wischmeier, W. H., D. D. Smith, 1978. Predicting Rainfall erosion Losses - A Guide to Conservation Planning, USDA Agricultural Handbook 537.

# 제 4 장 수치모형을 이용한 새만금담수호

## 퇴적분포 분석

### 제 1 절 개요

본 연구에서 새만금담수호의 공간적 퇴적형태를 추정하기 위한 수치모형으로 RMA2, SED2D 모형을 선정하였다. 하천수리해석모형인 RMA2 는 2차원 유속벡터와 자유수면의 표고 등을 하천측량자료를 이용해 만들어진 유한요소망의 각 절점에서 계산하므로 지형학적 자료를 쉽게 적용할 수 있고, 시간에 따른 유량, 수위를 값 또는 관계식으로 입력하여 모의가능하다. 또한 유사운송 및 퇴적모형인 SED2D와의 연계를 통하여 하천의 유사퇴적 및 하상변동을 모의하여 홍수발생시 단면변화에 따른 하상변화에 대한 분석이 가능하다.

### 제 2 절 수치모형의 개요

#### 1. 하천수리해석모형 (RMA2)

RMA2 모형은 RMA(Resource Management Associates)에 의해 개발된 2차원 유한요소 모형으로써 모형의 지배방정식은 수심을 적분한 유체의 연속방정식과 2차원 운동량방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} h\frac{\partial u}{\partial t} + hu\frac{\partial u}{\partial x} + hv\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho}\left(E_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \\ + gh\left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{gun^2}{h^{1/3}}(u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos\Psi - 2h\omega \sin\phi = 0 \end{aligned} \quad (4-2)$$

$$\begin{aligned}
& h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} (E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) \\
& + gh \left( \frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gun^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \Psi - 2h\omega \sin \phi = 0 \quad (4-3)
\end{aligned}$$

여기서,  $h$ 는 수심,  $u, v$ 는 직교좌표계에서의 유속,  $x, y, t$ 는 직교좌표계와 시간,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $E$ 는 난류교환계수( $xx$ 는  $x$ 방향 평면의 법선 난류교환계수,  $yy$ 는  $y$ 방향 평면의 법선 난류교환계수,  $xy$ 와  $yx$ 는  $x, y$ 방향 평면의 접선 난류교환계수),  $g$ 는 중력 가속도,  $a$ 는 하상표고,  $n$ 은 Manning's 조도계수,  $\zeta$ 는 바람의 응력계수,  $V_a$ 는 풍속,  $\Psi$ 는 풍향,  $\omega$ 는 지구자전각속도,  $\phi$ 는 위도이다.

식 (4-1)~식 (4-3)은 가중잔차 Galerkin 방법의 유한요소법에 의해 풀렸으며, 요소는 1차원 또는 2차원 사각형, 삼각형이 하천이 될 수 있으며, 곡선이 하천의 한 변으로 사용될 수 있다. 형상함수는 유속에 대해서는 2차함수이며, 수심에 대해서는 1차함수이다. 공간에 대한 적분법은 Gaussian 적분법이 사용되었으며, 시간에 대한 미분은 비선형 유한 차분 근사법에 의해 계산되었고 변수들은 많은 각 초과시간간격에 의해 추정되었다. 해는 완전음해법에 의해 계산되고 각 시간단계에서의 방정식은 Newton-Raphson 비선형 반복법에 의해 결정된다.

## 2. 유사운송 및 퇴적모형 (SED2D)

SED2D 모형은 WES의 Ariathurai(1974)에 의해 STUD-H라는 프로그램으로 처음 개발되어, 현재의 SED2D로 발전되었다. SED2D 모형은 모래 및 점토질 하상의 모의는 가능하지만, 한가지의 대표유효입경만을 고려 할 수 있으므로 여러 가지의 입경을 갖는 경우에는 여러 입경에 따라 각각 모의를 수행하여야 한다. 또한, SED2D 모형은 자체에서 유속을 계산하지 못하므로 RMA2와 연계하여 유사이동 모의를 하여야 한다. 하상변동으로 인한 오차는 모의 후 생성되는 최종 지형을 이용하여 재모의 함으

로써 최소화 할 수 있다.

SED2D는 정류(Steady Flow) 뿐만 아니라 부정류(Unsteady Flow)의 모의가 가능하며, 다음과 같은 가정에 기초한다.

- 침전의 기초적인 과정은 침식, 부유사, 이동, 퇴적으로 이뤄진다.
- 흐르는 물은 침전물의 유무에 관계없이 침식, 운반, 유사이동의 가능성이 있다.
- 하상의 침전물은 침식에 대한 한계전단력보다 작으면 움직이지 않는다.
- 모래입자가 이동할지라도 하상의 표고에는 변화가 없다. 변화는 침식률(Rate of Erosion)과 침전률(Rate of Deposition)의 차이에 의해서만 결과 지어진다.
- 점토질유사는 하상전단응력이 침전의 한계값을 초과하는 동안에 유사형태 그대로 남아 있다. 일반적으로, 점토질 유사의 침전과 침식은 동시에 발생하지 않는다.
- 점토질유사의 하상변동의 구조는 시간과 무거운 하중에 의한다.
- 부유사 이동의 대부분은 부유사의 형태로 이뤄진다.

SED2D 모형의 이송-확산 방정식은 Ariathurai와 Kron(1974)에 의해 제안되었으며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (4-4)$$

여기서,  $C$ 는 농도( $kg/m^3$ ),  $t$ 는 시간( $s$ ),  $u$ 는  $x$ 방향 유속( $m/s$ ),  $v$ 는  $y$ 방향 유속( $m/s$ ),  $x$ 는 주흐름 방향( $m$ ),  $D_x$ 는  $x$ 방향의 유효확산계수( $m^2/s$ ),  $D_y$ 는  $y$ 방향의 유효확산계수( $m^2/s$ ),  $\alpha_1$ 은 하상제원에 대한 계수( $s^{-1}$ ),  $\alpha_2$ 는 하상제원에 대한 평형농도( $kg/m^2/s$ )이다.

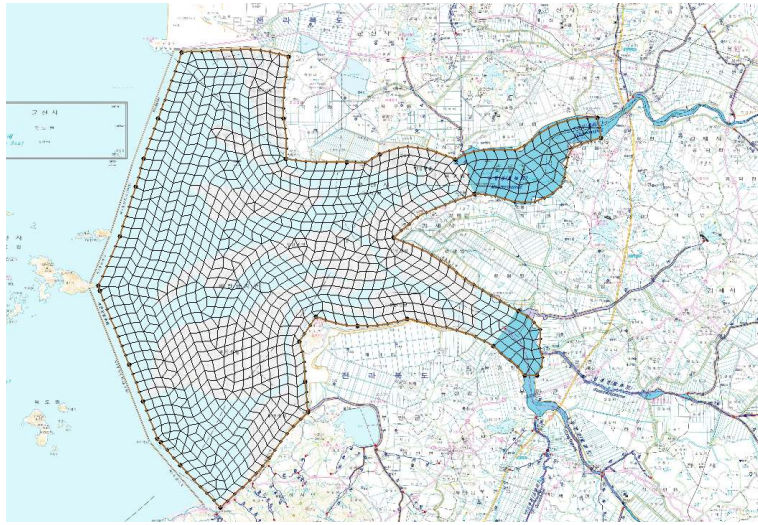
하상전단응력공식은 다음과 같이 표현되고 여기서 전단속도( $u^*$ )를 구하는 공식은 log-속도공식, Manning의 전단응력공식, Jonsson-type 방정식, Bijker-type 방정식 등이 널리 사용된다.

$$\tau_b = \rho(u^*)^2 \quad (4-5)$$

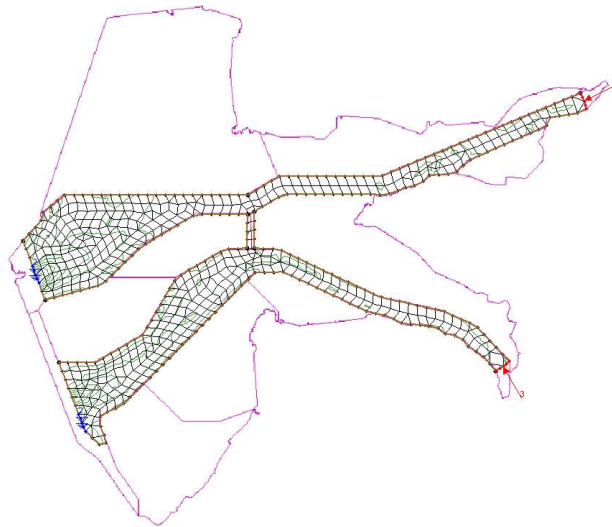
### 3. 계산격자망

RMA2, SED2D 모형을 적용하기 위한 계산영역은 새만금 담수호와 상류의 유량자료가 모의 가능한 동진대교와 만경대교를 포함하는 구역으로 선정하였다. 만경대교는 김제 수질측점으로부터 13.5km, 대천 수위측점으로부터 22.8km 지점으로 유역면적은 1600.6km<sup>2</sup>이다. 동진대교는 동진강3 수질측점으로부터 6.2km, 신태인 수위측점으로부터 14.6km 지점으로 유역면적은 1161.5km<sup>2</sup>이다. 대천, 신태인 수위측점은 건설교통부에서 관할하고 있으며 Telemeter(1999년 이후)를 이용한 유량자료가 잘 구축되어 있다. 또한 두 측점에는 환경부에서 측정한 부유사량 자료가 있어 모형의 구동을 위한 부유사 농도경계를 설정할 수 있었다.

(그림 4-1)은 새만금담수호 계산영역의 격자망을 나타낸 것으로 사각형 요소와 삼각형 요소를 혼용하여 사용하였으며, 약 3,400개의 요소와 4,800개의 절점으로 구성하였다. (그림 4-2)은 내부개발지를 고려한 계산영역의 격자망을 나타낸 것으로 약 500개의 요소와 1,700의 절점으로 구성하였다. 계산영역의 격자망은 하폭이 협소한 구간과 외해 경계부의 수심변화가 급격한 부분은 충분히 조밀하게 구성하였으며, 하폭이 넓고 수심경사가 완만한 부분은 격자망을 성기게 구성하였다.



(그림 4-1) 새만금담수호 계산 격자망



(그림 4-2) 새만금담수호 계산 격자망 (내부개발지 고려)

#### 4. 경계조건

모형의 적용을 위한 경계조건으로는 상류경계의 유량과 부유사 농도가 필요하다. 상류경계의 유입유량은 고수량, 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량으로 구분하여 적용하였으며, 경계의 부유사농도는 경계의 상류지점에서 측정한 월별 부유사농도를 사용하였다.



<표 4-1>은 계산영역의 상류경계로 잡은 만경대교, 동진대교 지점의 1997년에서 2004년까지의 유량자료에 대한 고수량, 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량의 유량을 나타낸 것이다.

<표 4-1> 상류 경계 유입유량 (m<sup>3</sup>/s)

상류경계지점	고수량	풍수량	평수량	저수량	갈수량
만경대교	827	73	31	15	8
동진대교	742	60	24	11	3

<표 4-2> 상류경계지점(김제)에서의 월별 유입유사농도 (mg/l)

월	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	평균
1	7.6	12.3	42.3	19.5	29.8	6.5	5.9	4.7	7.8	11.6	14.8
2	10.7	13.3	20.1	13.5	33.5	11.9	9.8	15.2	7.0	18.1	15.3
3	18.0	13.3	35.8	29.0	36.9	22.5	12.8	13.6	12.3	46.2	24.0
4	17.5	29.3	33.5	18.7	21.8	20.1	12.6	10.8	17.0	19.8	20.1
5	11.5	7.3	17.0	10.7	10.5	8.2	21.0	9.4	27.5	13.0	13.6
6	13.4	19.5	30.0	23.3	14.2	21.9	5.7	10.5	9.1	12.5	16.0
7	30.7	20.9	22.5	9.5	16.8	14.0	23.2	10.5	23.4	38.4	21.0
8	10.6	21.8	24.5	9.9	10.0	11.2	7.3	11.1	12.1	6.2	12.5
9	13.6	14.5	14.5	12.8	9.6	12.2	23.6	10.2	11.4	16.9	13.9
10	17.0	68.7	17.5	13.6	14.0	14.5	11.6	9.0	15.2	15.8	19.7
11	18.8	33.1	14.0	17.4	2.8	24.3	11.9	10.2	10.3	21.4	16.4
12	18.8	17.7	15.0	4.9	2.4	13.0	16.3	10.1	22.1	17.4	13.8

<표 4-3> 상류경계지점(동진강3)에서의 월별 유입유사농도 (mg/l)

월	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	평균
1	27.7	18.5	14.0	3.1	21.9	49.3	29.1	35.9	24.9
2	10.0	21.5	33.6	32.9	40.9	12.5	23.0	13.8	23.5
3	27.0	126.0	41.4	24.9	23.1	32.5	55.1	23.9	44.2
4	19.0	21.2	39.1	11.4	16.8	27.2	40.4	22.5	24.7
5	65.0	30.5	40.1	18.6	34.2	33.9	33.4	14.0	33.7
6	18.5	27.5	15.2	20.8	31.2	16.6	16.3	9.4	19.4
7	16.5	10.9	9.8	11.4	39.1	16.6	20.3	55.2	22.5
8	13.5	164.3	7.6	15.0	19.1	26.8	40.2	14.8	37.7
9	15.0	59.1	10.4	13.0	33.5	17.6	20.4	12.4	22.7
10	25.0	16.1	10.7	46.5	24.6	16.2	25.0	14.2	22.3
11	14.0	13.9	6.8	13.4	15.3	14.4	27.8	21.4	15.9
12	21.5	49.3	7.9	36.7	43.0	22.4	36.3	11.3	28.6

<표 4-2> ~ <표 4-3>는 상류경계지점에서의 월별 유입유사농도를 나타낸 것이다. 평균유입유사농도 농도는 12.5~44.2mg/l의 범위를 나타내고 있으며, 우기인 여름철의 농도가 겨울철의 농도보다 다소 큰 경향을 나타낸다.

<표 4-4>는 상류경계의 유량조건에 따른 유사농도를 나타낸 것이다. 만경강의 경우 고수량과 풍수량의 부유사농도는 24.0mg/l, 평수량의 부유사농도는 20.1mg/l, 저수량의 부유사농도는 16.0mg/l, 갈수량의 부유사농도는 12.5mg/l로 유량이 증가할수록 부유사농도가 높게 나타나는 경향이 있다.

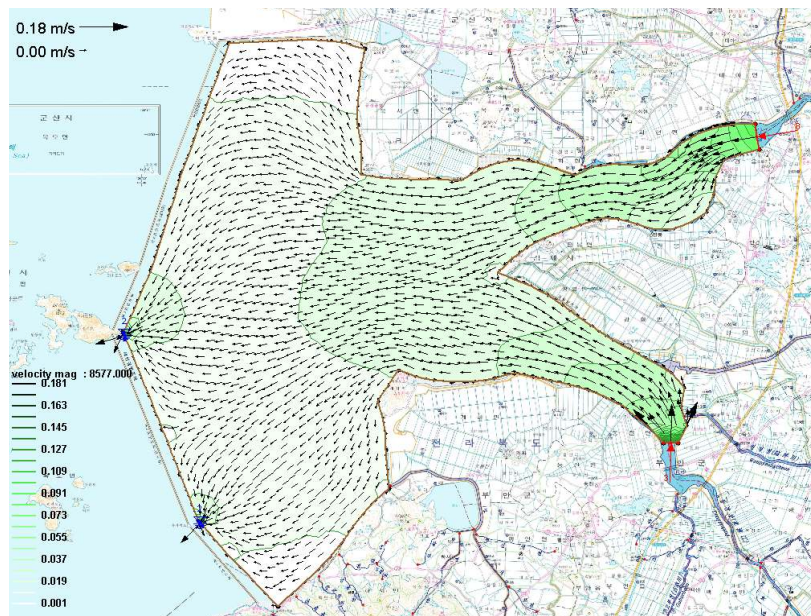
<표 4-4> 상류경계의 유량조건에 따른 유사농도 (mg/l)

상류경계지점	고수량	풍수량	평수량	저수량	갈수량
만경대교	24.0	24.0	20.1	16.0	12.5
동진대교	37.7	37.7	24.7	22.5	15.9

### 제 3 절 퇴적수치모형의 적용

#### 1. 유속

(그림 4-3)는 새만금담수호 계산영역의 유속벡터를 나타낸 것이다. 유속이 가장 크게 나타나는 부분은 유입량 경계지점인 만경대교, 동진대교 지점과 부안갯벌 최말단의 수심이 급격히 커지는 부분이다. 또한 부안군 월포, 장원 방조제 인근과 군산 옥구갯벌, 부안갯벌 등은 지형적인 특성으로 인하여 상대적으로 낮은 유속을 보이며, 부분적으로 유속이 거의 없는 상태에 도달하기도 한다.

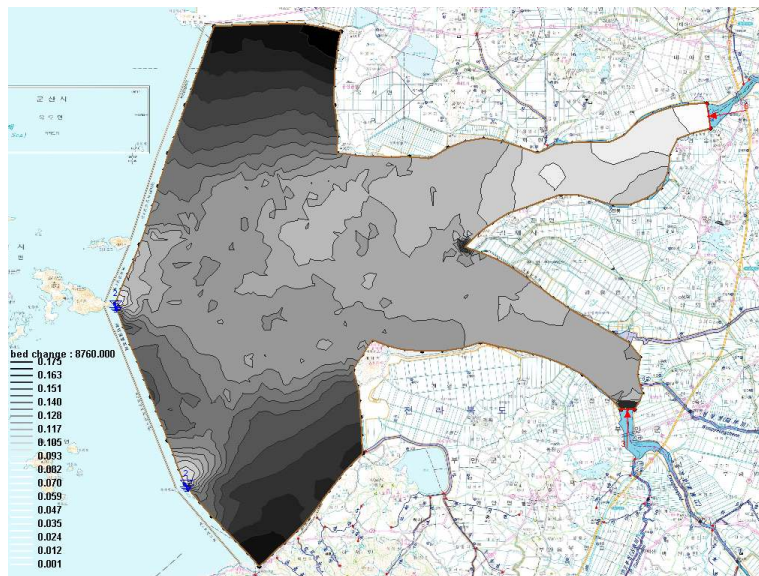


(그림 4-3) RMA2 결과 - 유속벡터(풍수량)

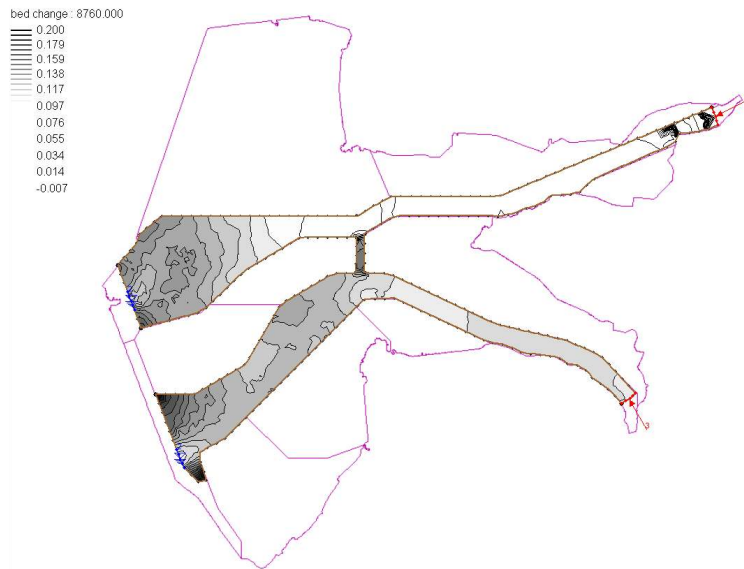
#### 2. 퇴적

(그림 4-4)는 새만금담수호 계산영역의 공간적인 퇴적분포를 나타낸 것이다. 계산 영역의 총 퇴적량은 약 477,000m<sup>3</sup>이며, 이는 대부분 부안군 월포, 장원 방조제 인근과 군산 옥구갯벌, 만경강과 동진강의 합류지점, 신시, 가력배수갑문을 잇는 방조제 내부 지점 등에 분포한다. (그림 4-5)는 내부개발지를 고려한 새만금담수호 계산영역의 공간적인 퇴적분포를 나타낸 것으로, 계산영역의 총 퇴적량은 약 120,000m<sup>3</sup>로 모의되었

다. 계산영역에서 퇴적현상이 나타나는 부분은 하류부의 하폭이 확대되는 부분이며, 이러한 지점은 지형적인 영향으로 인하여 유속이 감소하여 유사운송능이 감소하여 상류부로부터 유입된 유사와 침식된 유사가 퇴적되기 때문으로 판단된다. 동진강하구의 퇴적량이 만경강하구의 퇴적량보다 다소 높은 경향을 나타내는데 이는 동진강의 상대적으로 높은 유사농도와 낮은 유량에 기인한다.



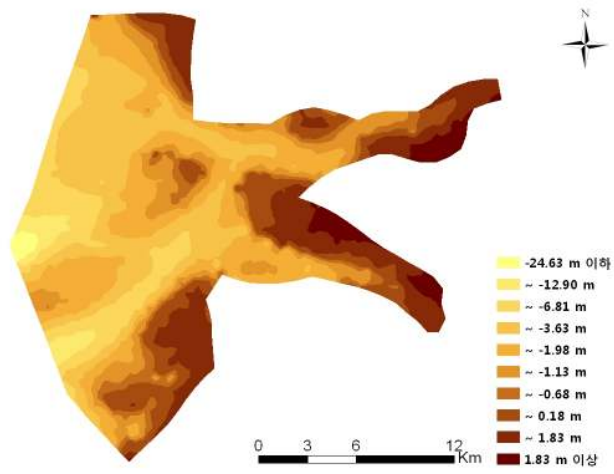
(그림 4-4) 연간 퇴적깊이



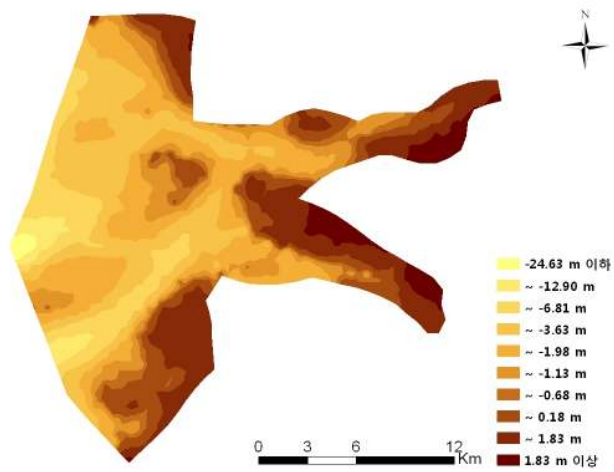
(그림 4-5) 연간 퇴적깊이 (내부개발지 고려)

### 3. 장래 퇴적분포의 변화

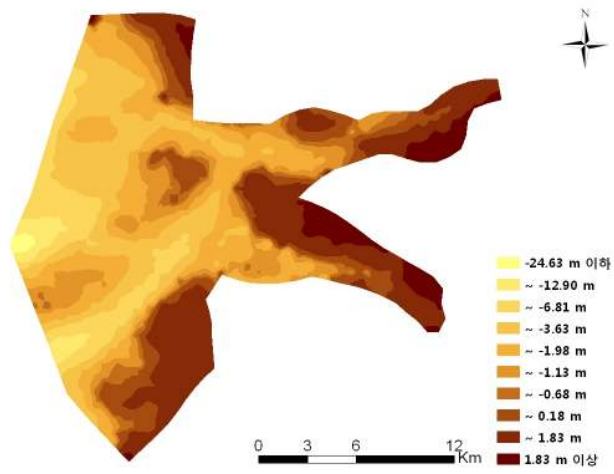
(그림 4-6)~(그림 4-9)는 연간 퇴적분포 모의에 기초한 장래 새만금담수호 계산영역의 공간적인 퇴적분포를 나타낸 것이다. 위치에 따라 퇴적고는 차이를 보이게 되고, 지속적으로 퇴적이 진행되면 장래의 퇴적형태는 일반적인 호소 내 퇴적형태의 시간적 변화과정과 유사하게 점차 하류의 수심이 깊은 곳으로 재부유 이동되어 확산되어가는 과정을 보일 것으로 예상된다.



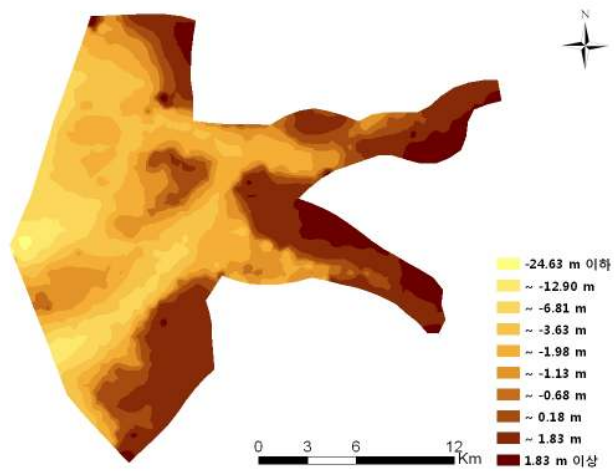
(그림 4-6) 계산영역 등수심도 (현재)



(그림 4-7) 계산영역 등수심도 (10년 후)

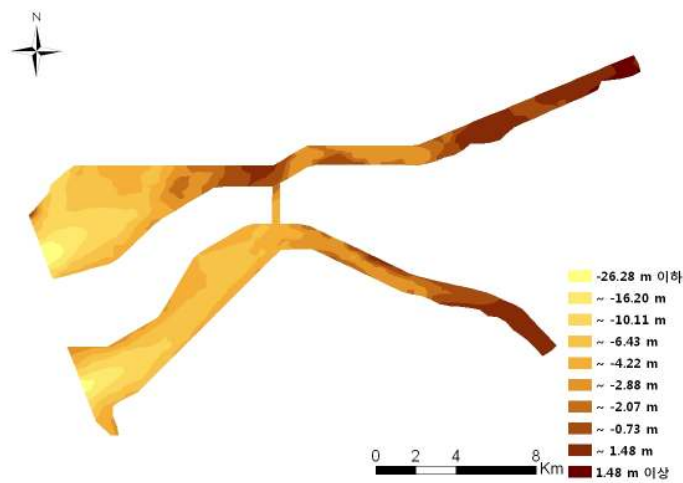


(그림 4-8) 계산영역 등수심도 (20년 후)

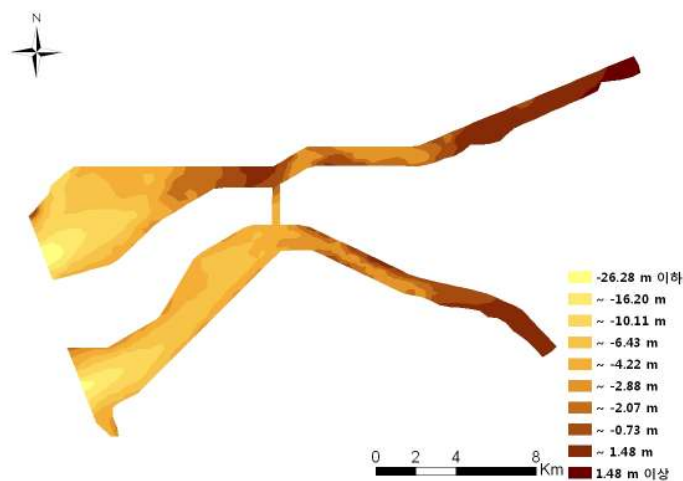


(그림 4-9) 계산영역 등수심도 (30년 후)

(그림 4-10)~(그림 4-13)는 연간 퇴적분포 모의에 기초한 장래 내부개발지를 고려한 새만금담수호 계산영역의 공간적인 퇴적분포를 나타낸 것이다. 수로의 준설 등 세부적인 개발계획이 반영되지 않아 실제의 장래퇴적량과 다소 차이는 있겠지만, 위치에 따라 퇴적고는 차이를 보이게 되고, 일반적인 호소 내 퇴적형태의 시간적 변화과정과 유사하게 점차 하류의 수심이 깊은 곳으로 재부유 이동되어 확산되어가는 과정을 보일 것으로 예상된다.

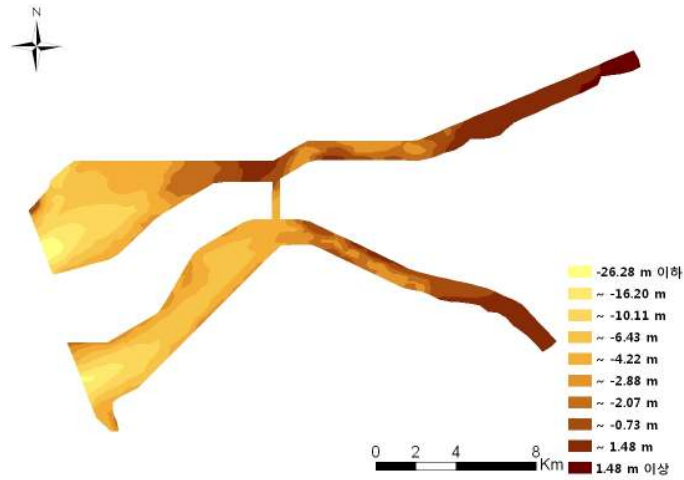


(그림 4-10) 계산영역 등수심도 (내부개발지 고려, 현재기준)

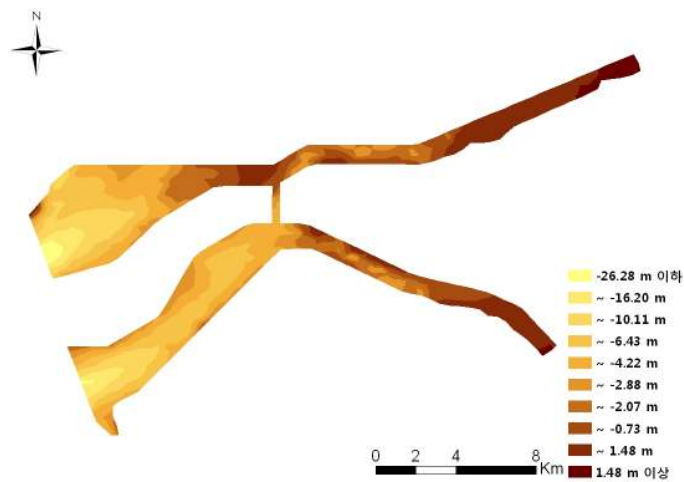


(그림 4-11) 계산영역 등수심도 (내부개발지 고려, 10년 후)





(그림 4-12) 계산영역 등수심도 (내부개발지 고려, 20년 후)



(그림 4-13) 계산영역 등수심도 (내부개발지 고려, 30년 후)

## 제 4 절 요약 및 결론

본 연구에서는 새만금담수호의 퇴적분포를 추정하기 위하여 2차원 수치모형인 RMA2와 SED2D 모형을 선정하여, 새만금담수호의 위치별, 시간별 수위 및 2차원 유속분포를 모의하기 위하여 RMA2를 적용하였으며, 퇴적량 및 퇴적량의 공간적인 분포를 확인하기 위하여 SED2D를 구동하였다. 새만금담수호 수치모델링의 적용구간은 만경강의 만경대교 지점, 동진강의 동진대교 지점을 각각 상류 경계지점으로 하고, 새

만금방조제를 하류 경계지점으로 하는 새만금담수호 수역과 상류하천 구간 일부로 지정하였다. 만경대교 지점과 동진대교 지점의 유입유량은 새만금유역을 대상으로 TANK 모형으로 모의한 결과를 적용하였으며, 유입유사량 농도는 환경부에서 측정한 실측자료를 적용하였다.

수치모델링의 계산격자망은 사각형 요소와 삼각형 요소를 혼용하여 구성하였으며, 유량 및 유사량 조건은 고수량, 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량의 5개 유량으로 결정하였다.

RMA2의 유속벡터 모의결과 유속이 거의 일정하게 큰 부분은 유입량 경계지점인 만경대교, 동진대교 지점과 신시도와 부안갯벌 최말단의 수심이 급격히 깊어지는 부분이다. 또한 부안군 월포, 장원방조제 인근과, 군산시 옥구갯벌, 부안갯벌은 지형적인 특성으로 인하여 유속이 거의 없는 것으로 나타났다.

SED2D의 모의결과 낮은 유속으로 인하여 침식은 거의 발생하지 않았으며, 수심이 얕은 부분을 중심으로 퇴적이 발생하였다. 부안군 월포, 장원방조제 인근과 군산시 옥구갯벌, 만경강과 동진강의 합류지점, 신시, 가력 배수갑문을 잇는 방조제의 내측에 대부분의 퇴적이 발생하였으며, 이는 지형적인 영향으로 인하여 유속이 감소하여 유사운송능이 감소하여 상류부로부터 유입된 유사와 침식된 유사 퇴적되기 때문으로 판단된다.

내부개발지를 고려한 새만금담수호의 장래 퇴적량 모의결과, 수로의 준설 등 세부적인 개발계획이 반영되지 않아 실제의 장래퇴적량과 다소 차이는 있겠지만, 위치에 따라 퇴적고는 차이를 보이게 되고, 일반적인 호소 내 퇴적형태의 시간적 변화과정과 유사하게 점차 하류의 수심이 깊은 곳으로 재부유 이동되어 확산되어가는 과정을 보여주고 있다.

## 참 고 문 헌

1. 서승원, 1998. 금강하구역의 동수역학적 변화(2)-수치실험을 중심으로, 한국해양·해양공학회지, 10(1), pp. 18-26.
2. A. P. Nicholas, D. E. Walling, 1998. Numerical modeling of floodplain

- hydraulics and suspended sediment transport and deposition. *Hydrol Process.* 12: 1399–1355.
3. Ariathurai, R. and R. B. Krone, 1976. finite element model for cohesive sediment transport, *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 102.
  4. C. Teission. 1997. A review of cohesive sediment transport models. In: N. Burt, R. Parker, J. Watts, (Eds): *Cohesive Sediments*. John Wiley & Sons, New York. 367–382.
  5. H. J. Lee, G. H. Lee. 2006. Nearshore sediment transport in front of sector I of the Saemangeum Dyke. *Marine Environmental Change by Large Tidal Flat Developments: Comparative Study on Saemangeum, Korea and Isahaya, Japan*. KORDI, Korea 81–86.
  6. Hayter, E. J. 1983. Prediction of cohesive sediment movement in estuarial water, Ph. D. Thesis, Univ. of Florida.
  7. I. King. 1996. User Guide to RMA2 Version 4.3
  8. J. V. Letter, L. C. Roig, B. P. Donnel, W. A. Thomas, W. A. McAnally, S. A. Adamec. 1998. A User's Manual for SED2D–WES, a Generalized Computer Program for Two–dimensional, Vertically Averaged Sediment Transport. 1–30.
  9. L. C. Roig. 1995. Mathematical theory and numerical methods for the modeling of wetland hydraulics. *Water Resources Engineering: Proceedings of the First International Conference on Hydraulic Design in Water Resources Engineering*, San Antonio, TX. 249–253.
  10. L. Hamm, T. Chester, M. Fettweis, K. P. P. Pathirana, E. Peltier. 1997. An intercomparison exercise of cohesive sediment transport numerical models. John Wiley & Sons, New York. 449–456.
  11. Nicholson, J. and B. A. O'conner, 1986. Cohesive sediment transport model, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 112.
  12. Odd, N. V., and Owen, M. W., 1972. A two–layer model for mud transport in

the Thames estuary, Proc. Instn, Civ. Engrs., pp. 175–205.

13. Sheng, Y. P. 1986. Modeling bottom boundary layer and cohesive sediment dynamics in estuarine and costal waters, in estuarine cohesive sediment dynamics, Mehta, A. J. (ed.), Springer–Verlag.

14. R. B. Krone. 1962. Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarine Shoaling Processes. Hydraulic Engineers Lab, University of California, Berkeley, CA (Technical Report).

여 백

## 제 5 장 농업유역 비점오염 모니터링

농업유역의 비점오염 모니터링을 위하여 새만금지구내 만경강유역과 동진강유역으로 구분하여 만경강유역내에는 김제시 백구면 이문양수장 논구획 지구를 선정하였고, 동진강유역에서는 동진강 본류의 상류유역인 정읍시 산외면의 도원천 하천유역을 선정하였다.

### 제 1 절 만경강유역 (이문양수장 지구)

#### 1. 시험지구

##### 가. 지구개요

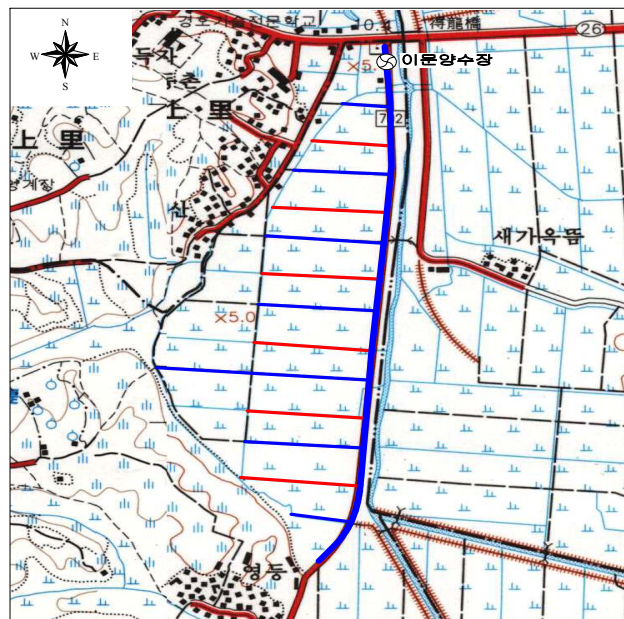
이문양수장 시험지구는 김제시 백구면 영상리에 위치하고 있으며, 이문양수장의 가동에 따른 농경지의 수해면적은 47ha이다. 본 지구는 1982년에 보조수원공으로 설치된 양·배수장 시설 겸용지구로서 침수가 잦은 지역이다. 이문양수장은 만경강 지류로서 배수하천인 마산천을 수원으로 하고 있으며, 하천제방과 전주-군산간 도로를 경계로 한 남측 관개구역과 북측 관개구역으로 분기하여 각각의 경지면적에 관개용수를 공급하도록 되어 있다. 시험지구의 대부분은 벼 재배지역으로 추수후 겨울철에는 휴경을 실시하고 있지만, 일부지역에서 보리나 미나리를 재배하고 있다.

##### 나. 이문양수장 제원

이문양배수장은 본 시험지구의 농업용수를 공급하고 있는 수원공으로 제원은 <표 5-1>에서 나타낸 바와 같다. 관개 급수시 이용되는 양수펌프의 용량은 30마력 1대와 125마력 1대이며, 양수와 배수가 동시에 이루어질 수 있도록 설계되어 있어 정확한 양수 공급량을 조사하기 위해서는 별도의 양수 관측용 수위계의 설치가 필요하다.

<표 5-1> 이문양배수장 제원

시설명	위 치	수혜면적 (ha)	동 력		양수량 (m <sup>3</sup> /s)	수원	수원공 구 분
			용량(Hp)	대수			
이문	김제 백구 영상리	(47)	125	2	4.56	마산천	보조
			30	1	0.23		



(그림 5-1) 이문양배수장 시험지구



(그림 5-2) 이문양배수장 전경



(그림 5-3) 이문양배수장 시험지구 전경





(그림 5-4) 이문양배수장지구 모내기후 전경

#### 다. 수로조직

이문양수장 시험지구의 용수간선 수로에서 수로조직, 구조물 형태, 수로길이, 용수지거로 분기하는 주요 분수문을 조사하였으며 그 결과는 <표 5-2>에 나타낸 바와 같다. 이문 양수장의 수로의 구조는 용수간선의 경우 콘크리트개거, 용수지거는 후륜이나 콘크리트 라이닝수로, 배수로는 토공수로 이루어져 있는 상태이다. 또한, 용수간선의 수로단면은  $0.8 \times 0.6\text{m}$ ,  $0.8 \times 0.8\text{m}$ 였으며, 용수지거의 수로단면은  $0.4 \times 0.4\text{m}$ ,  $0.5 \times 0.5\text{m}$ ,  $0.5 \times 0.6\text{m}$  등으로 구성되어 있다.

<표 5-2> 이문양수장 수로조직 및 구성

번호	측 점	구 조	구간거리 (m)	누가거리 (m)	폭 (m)	깊이 (m)	비 고
1	용수간선(시점)	콘크리트개거	0	0	0.8	0.8	양수장 토출구
2	용수간선	콘크리트개거	70	70	0.8	0.8	제1분수문 앞
3	용수지거①시점	후륜	3	-	0.4	0.4	제1분수문
4	용수간선	콘크리트개거	10	80	0.8	0.8	제1분수문 하류
5	용수간선	콘크리트개거	210	290	0.8	0.8	제2분수문 앞
6	용수지거②시점	콘라이닝(3m) → 토공수로	5	-	-	-	제2분수문
7	용수간선	콘크리트개거	15	305	0.8	0.8	제2분수문 하류
8	용수간선	콘크리트개거	210	515	0.8	0.8	제3분수문 앞
9	용수지거③시점	후륜	5	-	0.4	0.4	제3분수문
10	용수간선	콘크리트개거	20	535	0.8	0.8	제3분수문 하류
11	용수간선	콘크리트개거	209	744	0.8	0.8	제4분수문 앞
12	용수지거④시점	콘라이닝(3m) → 후륜	5	-	0.5	0.5	제4분수문
13	용수간선	콘크리트개거	20	764	0.8	0.8	제4분수문 하류
14	용수간선	콘크리트개거	210	974	0.8	0.6	제5분수문 앞
15	용수지거⑤시점	콘개거(5m) → 콘라이닝	5	-	0.5	0.6	제5분기점
16	용수간선	콘크리트개거	20	994	0.8	0.6	제5분수문 하류
17	용수간선	콘크리트개거	209	1,203	0.8	0.6	제6분수문 앞
18	용수지거⑥시점	후륜	5	-	0.4	0.4	제6분수문
19	용수간선	콘크리트개거	20	1,223	0.8	0.6	제6분수문 하류
20	용수간선	콘크리트개거	214	1,437	0.8	0.6	제7분수문 앞
21	용수지거⑦시점	후륜	5	-	0.4	0.4	제7분수문
22	용수간선 말단	콘크리트개거	20	1,457	0.8	0.6	제7분수문 하류측 10m 지점

<표 5-2> 이문양수장 수로조직 및 구성 (계속)

번호	측 점	구 조	구간거리 (m)	누가거리 (m)	폭 (m)	깊이 (m)	비 고
23	용수지거⑦말단	후륜	100	-	0.4	0.4	
24	배수로⑥	토공수로	280	-			
25	용수지거⑥말단	후륜	282	-	0.4	0.4	
26	배수로⑤	토공수로	287	-			
27	용수지거⑤말단	콘라이닝	282	-			참관, 타구역 급수
28	배수로④	토공수로	295	-			
29	용수지거④말단	토공수로	275	-			
30	배수로③	토공수로	282	-			
31	용수지거③말단	토공수로	280	-			
32	배수로②	토공수로	273	-			
33	용수지거②말단	토공수로	225	-			
34	배수로①	토공수로	175	-			
35	용수지거①말단	토공수로	100	-			참관, 타구역 급수

(주) 용수지거 및 배수지거는 시점부에서부터의 거리임.

또한, 이문양수장 시험지구의 용수간선 수로에서 용수지거로 분기하는 주요 분수문을 조사한 결과 7개의 분수문으로 구성되어 있으며, 각각의 제원은 <표 5-3>에서 보는 바와 같다.

<표 5-3> 용수간선내 분수문 제원

번호	구 분	위 치	구 조	폭(m)	높이(m)	비고
1	제1 분수문	용수지거① 분기	각락관	0.22	0.3	
2	제2 분수문	용수지거② 분기	”	0.20	0.35	
3	제3 분수문	용수지거③ 분기	”	0.20	0.35	
4	제4 분수문	용수지거④ 분기	”	0.20		
5	제5 분수문	용수지거⑤ 분기	-	-	-	
6	제6 분수문	용수지거⑥ 분기	각락관	0.20		
7	제7 분수문	용수지거⑦ 분기	-			

한편, 이문양수장 시험지구의 용수간선 수로에서 용수지거로 분기되는 각 분수문으로부터 용수지거 및 각 구획논에서 배수되는 배수량을 처리하는 배수지거의 수로조직, 구조물 형태, 수로 길이 등을 조사한 결과는 <표 5-4>와 <표 5-5>에 나타낸 바와 같다.

<표 5-4> 이문양수장 수로조직 및 구성 (용수지거)

번호	측 점	구 조	구간거리 (m)	누가거리 (m)	폭 (m)	깊이 (m)	비 고
1	용수간선(시점)	콘크리트개거	0	-	0.8	0.8	양수장 토출구
3	용수지거①	콘라이닝	3.0	3.0	0.4	0.4	제1분수문
3	"	후륜	67.0	70.0	0.4	0.4	
3	"	토공수로	26.0	96.0	0.6	0.6	
3	"	콘라이닝	4.0	100.0	0.4	0.4	
6	용수지거②	콘라이닝	3.0	3.0	0.4	0.4	제2분수문
6	"	토공수로	222.0	225.0	0.6	0.6	
9	용수지거③	관수로(∅0.2)	9.0	9.0			제3분수문
9	"	후륜	31.0	40.0	0.4	0.4	
9	"	토공수로	242.0	282.0	0.6	0.6	
12	용수지거④	콘라이닝	3.0	3.0	0.4	0.4	제4분수문
12	"	후륜	30.0	33.0	0.5	0.5	
12	"	콘라이닝	82.0	115.0	0.5	0.5	
12	"	토공수로	157.0	272.0	0.6	0.6	
12	"	콘라이닝	3.0	275.0	0.5	0.5	
15	용수지거⑤	콘개거(5m)	5.0	5.0	0.5	0.6	제5분기점
15	"	콘라이닝	277.0	282.0	0.4	0.4	
18	용수지거⑥	후륜	282.0	282.0	0.4	0.4	제6분수문
21	용수지거⑦	후륜	100.0	100.0	0.4	0.4	제7분수문
21	"	토공수로	23.0	123.0	0.5	0.5	
22	용수간선 말단	콘크리트개거	1,457.0	1,457.0	0.8	0.6	제7분수문 하류측 10m 지점

(주) 용수지거는 분수문 시점부에서부터의 거리임.

한편, 이문양수장의 시험지구의 배수로는 대체로 토공수로가 주를 차지하고 있어 배수로내에 수초 및 잡초발생이 많았으며, 배수로의 말단부에서는 하천유입시 세굴로 인한 토사유입을 방지하기 위해 2.0~5.0m가량의 콘크리트라이닝 처리한 것으로 조사되었다.

<표 5-5> 이문양수장 수로조직 및 구성 (배수지거)

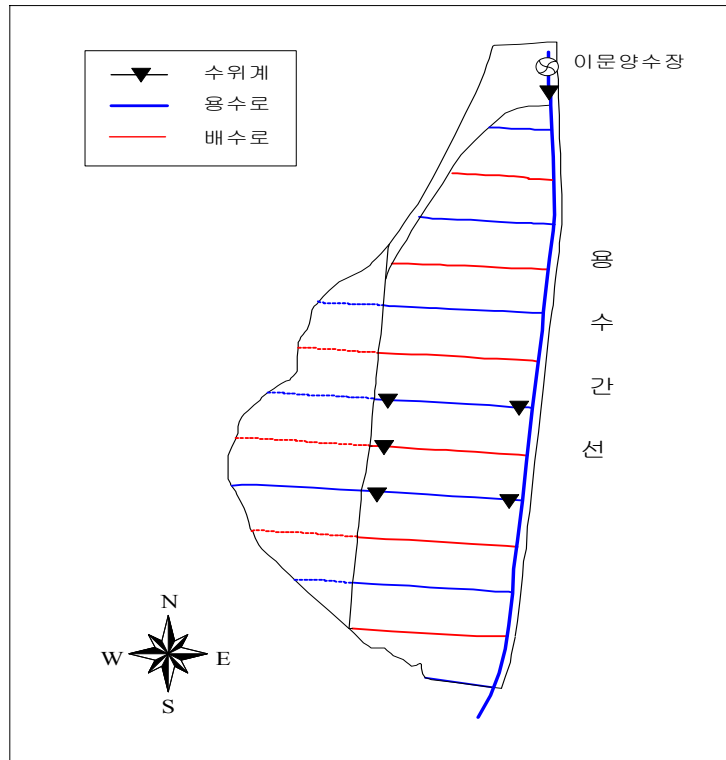
번호	측 점	구 조	구간거리 (m)	누가거리 (m)	폭 (m)	깊이 (m)	비 고
34	배수로①	토공수로	175.0	175.0	0.6	1.0	
32	배수로②	토공수로	270.0	270.0	0.6	1.2	
32	배수로②	콘라이닝	3.0	273.0	0.6	1.0	
30	배수로③	토공수로	280.0	280.0	0.6	1.2	
30	배수로③	콘라이닝	2.0	282.0	0.6	1.0	
28	배수로④	토공수로	290.0	290.0	0.6	1.2	
28	배수로④	콘라이닝	5.0	295.0	0.6	1.0	
26	배수로⑤	토공수로	284.0	284.0	0.6	1.2	
26	배수로⑤	콘라이닝	3.0	287.0	0.6	1.0	
24	배수로⑥	토공수로	280	280.0	0.6	1.0	
35	배수하천	토공수로	1,250.0	1,250.0	-	-	

(주) 배수지거는 시점부에서부터의 거리임.

## 2. 수문조사

### 가. 수문관측시설

본 시험지구의 수문 및 수질모니터링을 위하여 주요 지점에 대하여 수위계와 수위표를 설치하였다. 이문양수장지구에는 용수간선 시점부에 초음파식 수위계 1조, 용수로 및 배수로에 WL-14 압력식 수위계와 보조수위표를 각각 설치하였으며, 수로단면에서의 연속적인 수위를 측정하고 수위-유량곡선에 의한 시간별 유량자료를 획득하였다.



(그림 5-5) 이문양수장지구 수문 관측시설 위치도



(그림 5-6) 이문양수장지구 용수로 수위계 설치 전경



(그림 5-7) 이문양수장지구 용수지거 수위계 설치 전경

#### 나. 기상자료

본 시험지구의 물수지 및 유량 산정을 위한 기초자료로서 전주 기상관측소의 기상 자료를 수집하였다. 전주관측소의 월별 평균기온, 강수량, 증발량은 <표 5-6>에서 보는 바와 같다.

전주관측소의 기상자료중 2004년의 경우 평균기온은 1월  $-0.6^{\circ}\text{C}$ , 7월에  $26.9^{\circ}\text{C}$ , 12월  $4.6^{\circ}\text{C}$ 였으며, 강수량은 5월 100.4mm, 8월 440.5mm, 12월에는 38.2mm를 기록하여 총 강수량은 1,457.9 mm 였으며, 증발량은 1,052.8mm 였다.

2005년의 경우에는 평균기온은 1월  $-0.5^{\circ}\text{C}$ 였으며 점차로 증가하여 7월, 8월에  $26.2^{\circ}\text{C}$ 를 기록하였으며 이후로 점차로 감소하였다. 2005년 강수량의 분포는 4월 39.5mm, 7월과 8월 2달에 걸쳐 896.6mm로 총강수량의 약 65%가량이 집중하여 발생하였고 점차로 감소하여 12월에는 30.0mm였으며, 2005년 총강수량이 1,390.0mm였다. 또한, 2005년 전체 증발량은 989.1mm로 2004년보다 다소 낮은 수치를 기록하였다.

2006년에는 평균기온 8월  $27.7^{\circ}\text{C}$ 로 2004년과 2005년에 비해 다소 높은 최고치를 기



록하였고, 총 강수량이 1,187.5mm를 기록하였으며 7월에만 527.4mm로 총 강수량의 44%가량이 집중하였다. 증발량은 상대적으로 강수량이 적고 기온이 높았던 8월에 최고치인 154.4mm를 기록하였다.

<표 5-6> 전주관측소 월별 기상자료

구 분	2004												소 계
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
평균기온 (℃)	-0.6	3.6	7.0	13.5	18.5	23.1	26.9	26.6	22.3	15.2	9.9	4.6	-
강수량 (mm)	14.2	25.3	25.7	63.3	100.4	290.3	247.5	440.5	146.1	7.4	59.0	38.2	1,457.9
증발량 (mm)	31.7	51.8	90.8	120.8	116.9	124.6	122.2	130.0	99.5	93.3	37.9	33.3	1,052.8

구 분	2005												소 계
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
평균기온 (℃)	-0.5	-0.2	4.8	14.6	18.0	23.5	26.2	26.2	23.3	15.1	9.4	-1.6	-
강수량 (mm)	14.2	26.5	50.2	39.5	52.1	131.5	465.6	431.0	101.9	19.7	27.8	30.0	1,390.0
증발량 (mm)	33.6	33.7	66.5	124.0	142.6	133.4	107.7	100.6	97.7	74.9	45.3	9.1	969.1

구 분	2006												소 계
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
평균기온 (℃)	1.5	1.6	6.6	11.9	18.9	23.3	25.0	27.7	20.9	18.1	10.3	3.1	-
강수량 (mm)	17.0	37.0	10.2	66.1	115.5	97.5	527.4	149.0	41.1	38.9	51.6	36.2	1,187.5
증발량 (mm)	29.8	39.5	85.9	90.3	121.4	142.0	92.0	154.4	105.5	87.9	44.7	25.0	1,018.4

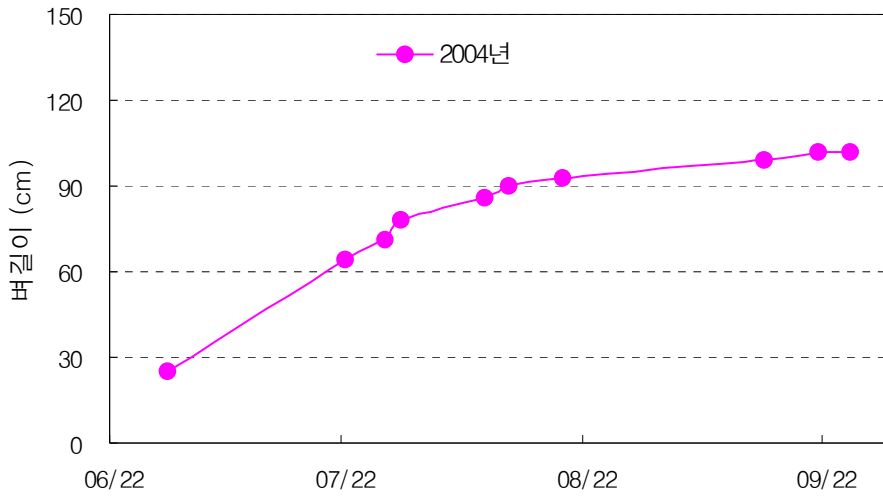
## 다. 영농현황

### 1) 논 담수심 및 벼길이 조사

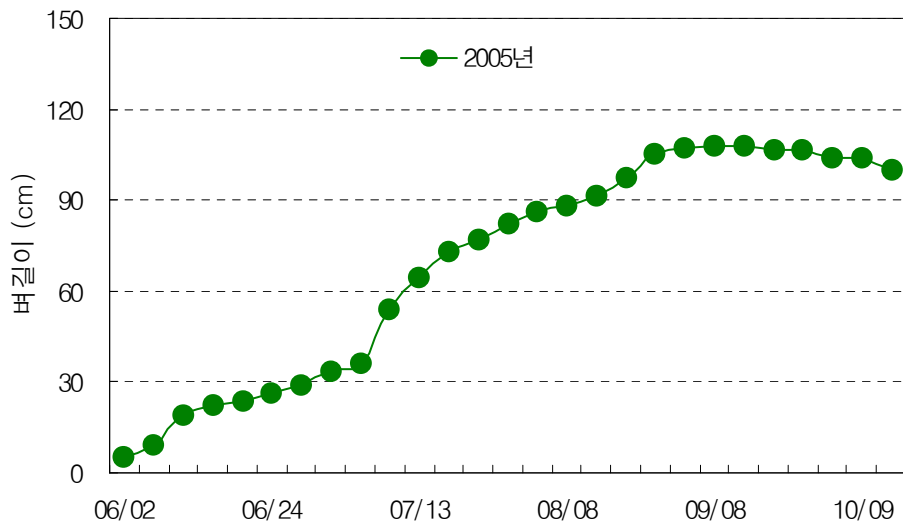
본 시험지구인 이문양수장 지구의 논 2개 지점에 대하여 담수심과 논바닥으로부터 벼의 초장을 주기적으로 측정하였다. 2004년도 벼의 생육 상태를 조사한바 평균 초장은 1m가 약간 넘게 성장하였으며, 논외 담수심은 낙수시기를 제외하고는 0~5cm 정도를 유지하는 것으로 조사되었다. 또한, 2005년에는 모내기 직후에 20cm까지 담수하는 것으로 나타났으며, 벼의 생육은 8월말에 108cm까지 성장하였다. 2006년에는 이양초기를 제외하고 최대 담수심이 5.5cm까지 담수한 것으로 나타났으며, 벼 초장은 109cm까지 성장한 것으로 조사되었다.

<표 5-7> 비의 초장 및 눈 담수심 측정

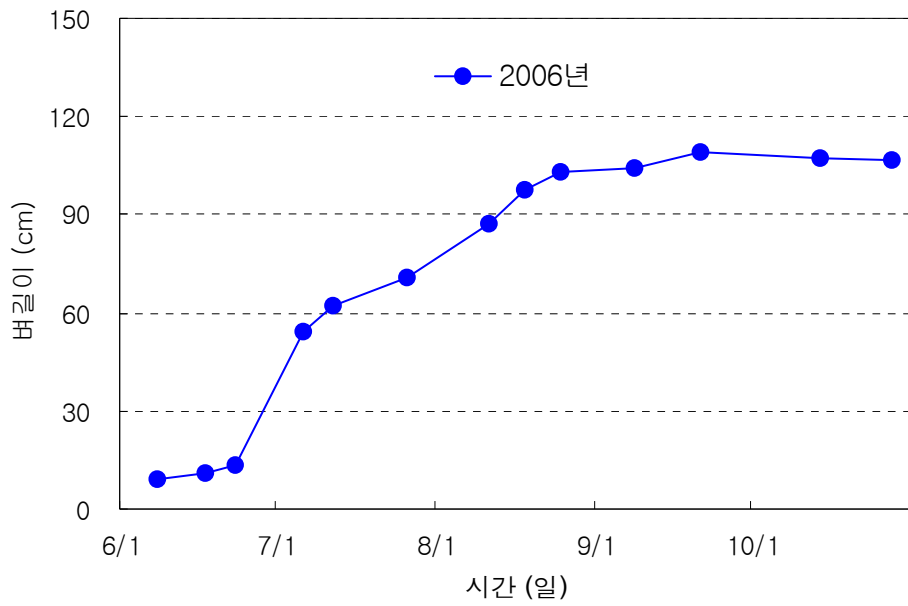
2004년			2005년			2006년		
조사일자	초장 (cm)	담수심 (cm)	조사일자	초장 (cm)	담수심 (cm)	조사일자	초장 (cm)	담수심 (cm)
04/06/29	25	3.0	05/05/21	-	1.5	06/06/08	9.0	9.0
04/07/22	64	3.5	05/06/02	5.0	1.0	06/06/17	11.0	0.5
04/07/27	71	4.5	05/06/04	9.5	2.0	06/06/23	13.5	3.5
04/07/29	78	4.0	05/06/18	19.0	2.5	06/07/06	54.0	1.2
04/08/09	86	4.2	05/06/22	22.5	2.8	06/07/12	62.5	2.5
04/08/12	90	2.0	05/06/23	23.5	2.0	06/07/26	71.0	2.0
04/08/19	93	2.0	05/06/24	26.0	2.0	06/08/11	87.5	5.5
04/09/14	99	0.0	05/06/27	29.0	3.0	06/08/18	97.5	1.8
04/09/11	102	0.5	05/06/29	33.5	2.0	06/08/25	103.0	1.0
04/09/25	-	0.0	05/07/02	36.5	7.0	06/09/08	104.0	0.0
			05/07/06	54.0	0.0	06/09/21	109.0	0.5
			05/07/13	64.5	0.5	06/10/14	107.5	0.0
			05/07/15	73.0	0.0	06/10/28	106.5	0.0
			05/07/20	77.0	0.0			
			05/07/29	82.5	1.8			
			05/08/04	86.0	5.5			
			05/08/08	88.0	0.0			
			05/08/16	91.5	0.0			
			05/08/23	97.5	1.3			
			05/08/26	105.5	1.0			
			05/09/03	107.0	0.0			
			05/09/08	108.0	0.0			
			05/09/10	108.0	1.5			
			05/09/16	106.5	0.0			
			05/09/24	106.5	0.0			
			05/10/01	104.0	0.0			
			05/10/09	104.0	0.0			
			05/10/22	100.0	0.0			



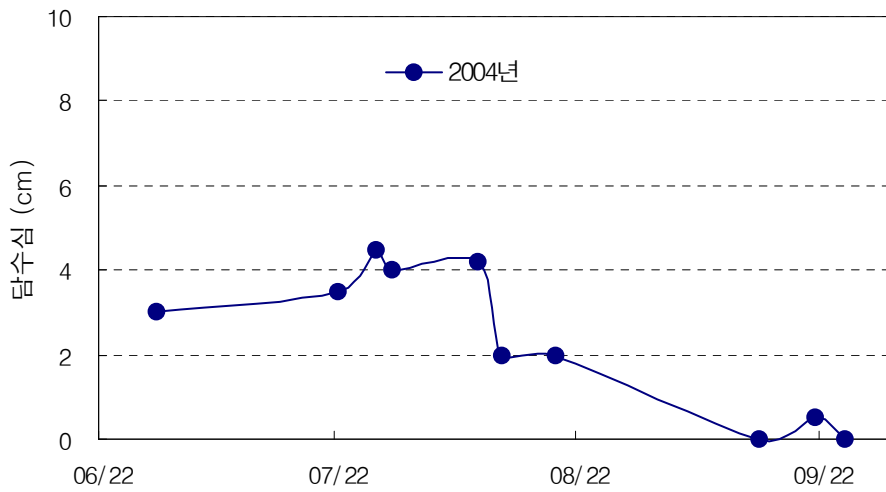
(그림 5-8) 이문양수장 지구 논 벼의 초장 변화 (2004년)



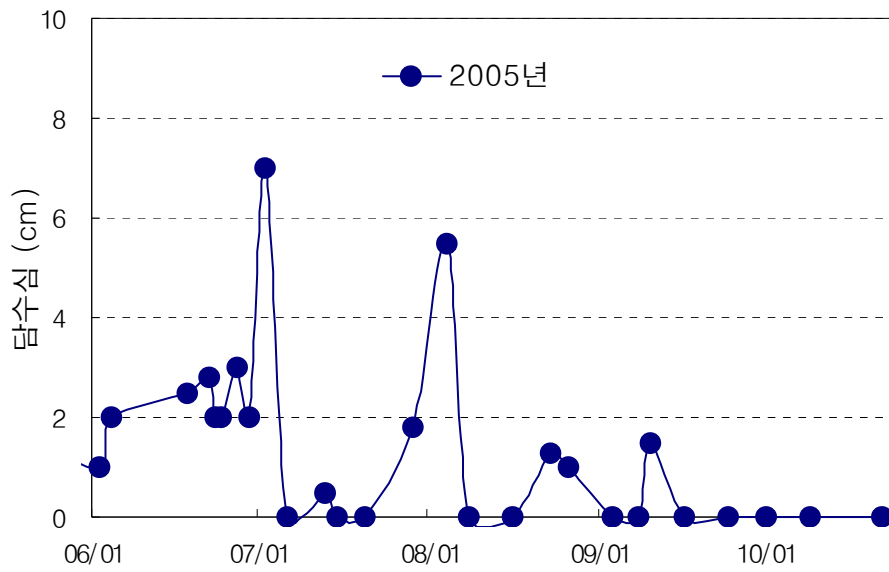
(그림 5-9) 이문양수장 지구 논 벼의 초장 변화 (2005년)



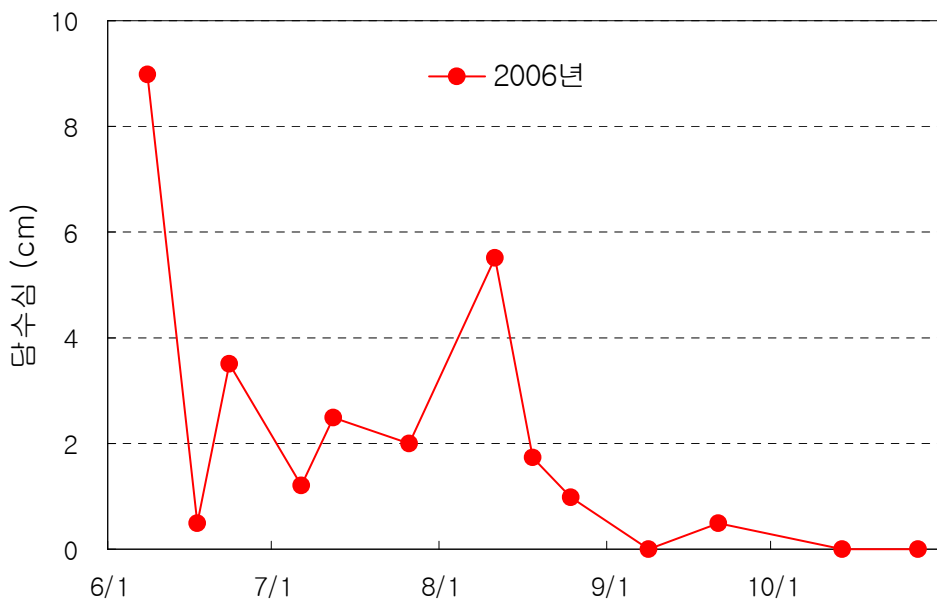
(그림 5-10) 이문양수장 지구 논 비의 초장 변화 (2006년)



(그림 5-11) 이문양수장 지구 논의 답수심 변화 (2004년)



(그림 5-12) 이문양수장 지구 논 의 답수심 변화 (2005년)



(그림 5-13) 이문양수장 지구 논 의 답수심 변화 (2006년)

**라. 용수공급 현황**

이문양수장 시험지구는 만경강 지류로서 배수하천인 마산천을 수원으로 하고 있으

며, 관개용수 공급시에는 30마력 1대와 125마력 1대를 가동하여 관개구역에 농업용수를 공급하고 있으나, 마산천의 유황에 따라 가동여부에 직접적인 영향을 받고 있어 가뭄시에는 용수공급에 차질이 발생하기도 한다.

이문양수장 시험지구의 농업용수공급 상황을 파악하기 위하여 양수장의 가동에 따른 운영 및 공급량을 조사하고자 하였으나 자료가 미비하여 가동시간 자료를 수집하였다. 그러나 2004년에는 관개기간 동안에 비교적 강우가 잦아 양수에 의한 농업용수 공급량은 적었던 것으로 추정된다.

이문양수장의 가동일수에 의한 관개용수 공급 현황을 보면 2004년의 경우 4월에 12회, 5월에 25회, 6월에 15회, 7월에 8회, 8월에 11회, 9월에 2회가 공급된 것으로 나타났고, 낙수시기 및 강우가 비교적 많았던 7, 8, 9월에는 용수공급이 적었으며 또한 하천수 부족으로 가동하지 못한 경우도 있는 것으로 조사되었다 <표 5-8>.

관개용수 공급을 위한 양수펌프의 가동시간에 펌프의 양수량을 곱하여 일별 양수량에 따른 공급량을 계산하였다. 2004년의 총 양수에 의한 공급량은 5,705천 $m^3$ 을 나타내었으며 5월에 1,904천 $m^3$ 으로 가장 많은 관개를 하는 것으로 조사되었다. 또한, 2005년의 경우 관개 일수는 4월 8회, 5월 11회, 6월 20회, 7월 14회, 8월은 관개횟수가 없었으며, 9월은 3회 등 총 56회의 관개를 실시하였으며, 관개시간은 총 971시간을 관개한 것으로 조사되었다. 2005년 4월에서 9월까지 총 3,985 천 $m^3$  공급량을 공급하였으며, 시기별로 4월에는 308 천 $m^3$ , 5월 1,244 천 $m^3$ , 6월에는 가장 많은 공급량인 1,596천 $m^3$ 의 공급하였고, 7월 이후 낙수와 강우로 인해 점차로 공급량이 줄어들었다 <표 5-9>.

한편, 2006년의 경우 강우량이 1,187.5mm로 7월초에 비교적 많은 양을 기록했을 뿐 전체 강우량이 2004년 1,457.9mm, 2005년 1,390.0mm에 비해 현저하게 낮아 관개 일수 및 관개량은 상당히 높게 나타났다. 4월에는 12회, 5월 23회, 6월 18회, 7월 6회, 8월 18회, 9월에는 6회 등 총 70회의 관개를 실시하였으며, 관개시간은 총 1,390시간을 관개한 것으로 조사되었다. 이에 따라 2006년 4월에서 9월까지 총 6,669천 $m^3$  공급량을 공급하였으며, 시기별로 4월에는 1,047 천 $m^3$ , 5월 2,064 천 $m^3$ , 6월에는 1,330 천 $m^3$ 의 공급하였고, 7월에는 398 천 $m^3$ , 8월에는 1,473 천 $m^3$ , 9월에는 357 천 $m^3$ 였다 <표 8-10>.

<표 5-8> 관개기간 이문양수장 일별 양수현황 (2004년)

일자	월 별											
	4월		5월		6월		7월		8월		9월	
	가동 시간	양수량 (천톤)	가동 시간	양수량 (천톤)	가동 시간	양수량 (천톤)	가동 시간	양수량 (천톤)	가동 시간	양수량 (천톤)	가동 시간	양수량 (천톤)
1	-	-	24	98	14	57	-	-	24	98	-	-
2	-	-	12	49	17	70	-	-	24	98	14	57
3	-	-	18	74	24	98	-	-	24	98	21	86
4	-	-	18	74	24	98	-	-	21	86	-	-
5	-	-	-	-	24	98	-	-	5	21	-	-
6	-	-	5	21	24	98	-	-	-	-	-	-
7	-	-	10	41	24	98	-	-	10	41	-	-
8	-	-	11	45	24	98	-	-	12	49	-	-
9	-	-	10	41	24	98	-	-	24	98	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	24	98	-	-
11	-	-	12	49	-	-	-	-	11	45	-	-
12	-	-	16	66	-	-	-	-	10	41	-	-
13	-	-	-	-	24	98	-	-	-	-	-	-
14	15	62	18	74	24	98	-	-	-	-	-	-
15	24	98	24	98	24	98	-	-	-	-	-	-
16	24	98	24	98	24	98	-	-	-	-	-	-
17	24	98	18	74	9	37	-	-	-	-	-	-
18	10	41	24	98	-	-	-	-	-	-	-	-
19	19	78	24	98	-	-	-	-	-	-	-	-
20	24	98	24	98	-	-	-	-	-	-	-	-
21	24	98	24	98	-	-	-	-	-	-	-	-
22	24	98	24	98	-	-	-	-	-	-	-	-
23	24	98	24	98	-	-	13	53	-	-	-	-
24	-	-	24	98	-	-	8	33	-	-	-	-
25	-	-	24	98	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	24	98	-	-	16	66	-	-	-	-
27	-	-	24	98	7	29	24	98	-	-	-	-
28	-	-	4	16	-	-	24	98	-	-	-	-
29	5	21	-	-	-	-	24	98	-	-	-	-
30	17	70	-	-	-	-	24	98	-	-	-	-
31			-	-			24	98	-	-		
계	234	960	464	1,904	311	1,276	157	644	189	776	35	144



<표 5-9> 관개기간 이문양수장 일별 양수현황 (2005년)

일자	월 별											
	4월		5월		6월		7월		8월		9월	
	가동 시간	양수량 (m³)	가동 시간	양수량 (m³)	가동 시간	양수량 (m³)	가동 시간	양수량 (m³)	가동 시간	양수량 (m³)	가동 시간	양수량 (m³)
1							24	98				
2							62	254				
3							72	295				
4					18	74	27	111				
5					20	82						
6					18	74						
7			14	57	24	98					12	49
8					24	98					7	29
9					21	86						
10												
11												
12					12							
13			24	98	24	98						
14			24	98	24	98						
15	6	25	24	98	24	98						
16	7	29	24	98	24	98						
17	4	16	13	53	24	98						
18	8	33			24	98						
19	12	49	36	148								
20			48	197								
21	12	49	48	197								
22	13	53	48	197	24	98						
23	13	53			24	98						
24					24	98						
25					24	98						
26					12	49						
27												
28												
29												
30												
31												
계(일)	75	308	303	1,244	389	1,596	185	759	0	0	19	78

<표 5-10> 관개기간 이문양수장 일별 양수현황 (2006년)

일자	월 별											
	4월		5월		6월		7월		8월		9월	
	가동 시간	양수량	가동 시간	양수량	가동 시간	양수량	가동 시간	양수량	가동 시간	양수량	가동 시간	양수량
1	13	53	18	74	24	98					7	28
2	24	98	22	90	24	98					9	37
3	8	33			24	98					24	98
4			18	74	24	98			8	33	24	98
5	18	74	20	82	20	82					16	66
6	24	98			18	74						
7	24	98			24	98			14	57		
8	24	98			24	98			24	98		
9	24	98	15	62	24	98			24	98		
10	24	98	18	74	18	74			24	98		
11	24	98					2	8	24	98		
12	24	98					44	18	24	98	7	29
13	24	98	24	98	16	66			24	98		
14			24	98					24	98		
15			24	98					24	98		
16			24	98					24	98		
17			24	98	14	57	9	37	24	98		
18			21	86	9	37	14	57	9	37		
19												
20					14	57			10	41		
21			19	78	14	57			17	70		
22			24	98								
23			24	98					18	74		
24			24	98	9	37			24	98		
25			24	98	14	57			19	78		
26			24	98			16	66				
27			22	90			12	49				
28			18	74	10	41						
29			24	98								
30			24	98								
31			24	98								
계(일)	255	1,047	503	2,064	324	1,330	97	398	359	1,473	87	357

**바. 수위 및 유량 측정**

**1) 공급횟수와 공급시기, 기간 및 공급량 측정**

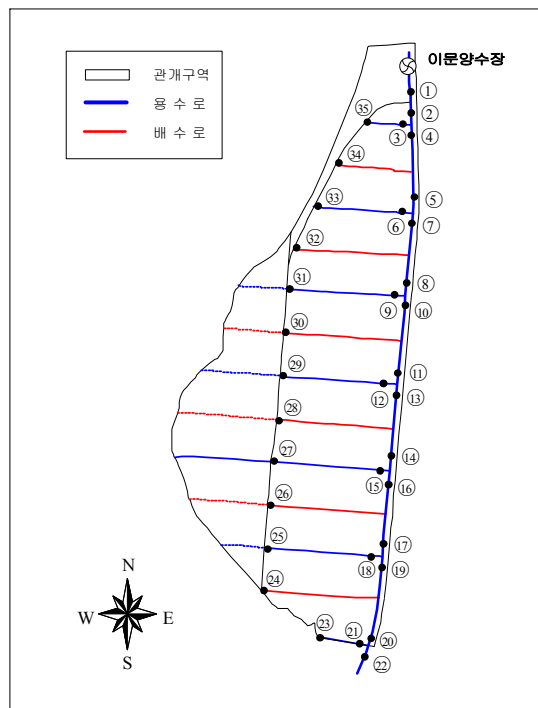
본 시험지구에서 관개기간동안 수원공으로부터 공급된 용수량을 조사하기 위하여 용수간선 시점부에 설치된 수위계와 유량측정을 통하여 얻어진 자료를 이용하여 전체

기간 동안의 용수공급량을 계산하였다.

## 2) 유량 측정

수로에서의 유량측정은 유속계(BFM002, UK)를 이용하여 소단면별 유속을 측정하고, 평균단면법에 의하여 유량을 산정하였다. 유속 측정은 수로수심이 0.5m 이하의 얇은 경우에는 1점법, 0.5m 이상인 경우에는 2점법을 적용하였다. 이문양수장 지구에서의 유량 측정은 (그림 5-14)과 같이 주요 용수간선 및 용수지거에서의 유량측정을 통하여 용수로 공급량을 산정하였다.

2004년도의 경우 유량측정은 1차 측정 2004. 6. 5(토), 2차 측정 2004. 7. 27(화), 3차 측정 2004. 7. 28(수), 4차 측정 2004. 7. 29(목), 5차 측정 2004. 8. 9(월) 등 총 5회에 걸쳐 실시하였다. 2005년 4월부터 9월까지 용수간선 시점(측점-2)에서 유속을 8회 측정하였으며, 측정 결과는 <표 5-11>에 나타내었다. 2006년의 경우 별도의 유속측정은 실시하지 않았으며, 2004년과 2005년의 유속측정결과를 토대로 하여 공급량을 산정하였다.



(그림 5-14) 이문양수장 시험지구 유량측정 위치도

<표 5-11> 이문양수장 1차 유량측정 결과 : 2004. 6. 5 (토)

측점 번호	위 치	거리 (m)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	분수량 (m <sup>3</sup> /s)
1	용수간선(시점)	0	0.1825	-
2	용수간선	70	0.1825	-
3	용수지거①시점	(3)	-	0.0302
4	용수간선	80	0.1771	-
5	용수간선	290	0.1674	-
6	용수지거②시점	(5)	-	0
7	용수간선	305	0.1767	-
8	용수간선	515	0.1625	-
9	용수지거③시점	(5)	-	0.0363
10	용수간선	535	0.1343	-
11	용수간선	744	0.1402	-
12	용수지거④시점	(5)	-	0.0257
13	용수간선	764	0.1214	-
14	용수간선	974	0.1193	-
15	용수지거⑤시점	(5)	-	0.0639
16	용수간선	994	0.0607	-
17	용수간선	1,203	0.0665	-
18	용수지거⑥시점	(5)	-	0.0318
19	용수간선	1,223	0.0324	-
20	용수간선	1,437	0.0280	-
21	용수지거⑦시점	(5)	-	-
22	용수간선 말단	1,457	0.0339	-

(주) 용수지거 거리는 분기점(분수문)에서 측정지점 까지임.

<표 5-12> 이문양수장 2차 유량측정 결과 : 2004. 7. 27 (화)

측점 번호	위 치	거리 (m)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	분수량 (m <sup>3</sup> /s)
1	용수간선(시점)	0	0.2022	-
2	용수간선	70	0.2022	-
3	용수지거①시점	(3)	-	0.0210
4	용수간선	80	0.1769	-
5	용수간선	290	0.1727	-
6	용수지거②시점	(5)	-	0.0421
7	용수간선	305	0.1298	-
8	용수간선	515	0.1290	-
9	용수지거③시점	(5)	-	0.0182
10	용수간선	535	0.0911	-
11	용수간선	744	0.0877	-
12	용수지거④시점	(5)	-	0.0305
13	용수간선	764	0.0588	-
14	용수간선	974	0.0559	-
15	용수지거⑤시점	(5)	-	0.0416
16	용수간선	994	0.0146	-
17	용수간선	1,203	0.0111	-
18	용수지거⑥시점	(5)	-	0.0106
19	용수간선	1,223	-	-
20	용수간선	1,437	-	-
21	용수지거⑦시점	(5)	-	-
22	용수간선 말단	1,457	-	-

<표 5-13> 이문양수장 3차 유량측정 결과 : 2004. 7. 28 (수)

측점 번호	위 치	거리 (m)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	분수량 (m <sup>3</sup> /s)
1	용수간선(시점)	0	0.1983	-
2	용수간선	70	0.1873	-
3	용수지거①시점	(3)	-	0.0202
4	용수간선	80	0.1691	-
5	용수간선	290	0.1521	-
6	용수지거②시점	(5)	-	0.0258
7	용수간선	305	0.1294	-
8	용수간선	515	0.1235	-
9	용수지거③시점	(5)	-	0.0398
10	용수간선	535	0.0957	-
11	용수간선	744	0.0945	-
12	용수지거④시점	(5)	-	0.0244
13	용수간선	764	0.0727	-
14	용수간선	974	0.0691	-
15	용수지거⑤시점	(5)	-	0.0093
16	용수간선	994	0.0567	-
17	용수간선	1,203	0.0465	-
18	용수지거⑥시점	(5)	-	0.0177
19	용수간선	1,223	0.0281	-
20	용수간선	1,437	0.0266	-
21	용수지거⑦시점	(5)	-	0.0255
22	용수간선 말단	1,457	-	-

<표 5-14> 이문양수장 4차 유량측정 결과 : 2004. 7. 29 (목)

측점 번호	위 치	거리 (m)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	분수량 (m <sup>3</sup> /s)
1	용수간선(시점)	0	0.2061	-
2	용수간선	70	0.2038	-
3	용수지거①시점	(3)	-	0.0337
4	용수간선	80	0.1718	-
5	용수간선	290	0.1711	-
6	용수지거②시점	(5)	-	0.0303
7	용수간선	305	0.1274	-
8	용수간선	515	0.1172	-
9	용수지거③시점	(5)	-	0.0151
10	용수간선	535	0.1089	-
11	용수간선	744	0.1079	-
12	용수지거④시점	(5)	-	0.0482
13	용수간선	764	0.0622	-
14	용수간선	974	0.0615	-
15	용수지거⑤시점	(5)	-	0.0215
16	용수간선	994	0.0435	-
17	용수간선	1,203	0.0434	-
18	용수지거⑥시점	(5)	-	0.0362
19	용수간선	1,223	0.0089	-
20	용수간선	1,437	0.0087	-
21	용수지거⑦시점	(5)	-	0.0076
22	용수간선 말단	1,457	0.0017	-

<표 5-15> 이문양수장 5차 유량측정 결과 : 2004. 8. 9 (월)

측점 번호	위 치	거리 (m)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	분수량 (m <sup>3</sup> /s)
1	용수간선(시점)	0	0.1789	-
2	용수간선	70	0.1760	-
3	용수지거①시점	(3)	-	0.0174
4	용수간선	80	0.1575	-
5	용수간선	290	0.1545	-
6	용수지거②시점	(5)	-	0.0171
7	용수간선	305	0.1353	-
8	용수간선	515	0.1327	-
9	용수지거③시점	(5)	-	0.0180
10	용수간선	535	0.1147	-
11	용수간선	744	0.0992	-
12	용수지거④시점	(5)	-	0.0225
13	용수간선	764	0.0765	-
14	용수간선	974	0.0718	-
15	용수지거⑤시점	(5)	-	0.0130
16	용수간선	994	0.0593	-
17	용수간선	1,203	0.0581	-
18	용수지거⑥시점	(5)	-	0.0332
19	용수간선	1,223	0.0207	-
20	용수간선	1,437	0.0196	-
21	용수지거⑦시점	(5)	-	-
22	용수간선 말단	1,457	0.0118	-



<표 5-16> 이문양수장 6차 유량측정 결과 : 2005. 6. 4 (토)

측점 번호	위 치	거리 (m)	수로유량 (m <sup>3</sup> /s)	분수량 (m <sup>3</sup> /s)
1	용수간선(시점)	0	0.2384	-
2	용수간선	70	0.2329	-
3	용수지거①시점	(3)	-	0.0058
4	용수간선	80	0.2259	-
5	용수간선	290	0.2240	-
6	용수지거②시점	(5)	-	0.0146
7	용수간선	305	0.1989	-
8	용수간선	515	0.1976	-
9	용수지거③시점	(5)	-	0.0296
10	용수간선	535	0.1676	-
11	용수간선	744	0.1673	-
12	용수지거④시점	(5)	-	0.0501
13	용수간선	764	0.1155	-
14	용수간선	974	0.1034	-
15	용수지거⑤시점	(5)	-	0.0424
16	용수간선	994	0.0600	-
17	용수간선	1,203	0.0594	-
18	용수지거⑥시점	(5)	-	0.0449
19	용수간선	1,223	0.0151	-
20	용수간선	1,437	0.0140	-
21	용수지거⑦시점	(5)	-	0.0112
22	용수간선 말단	1,457	0.0025	-

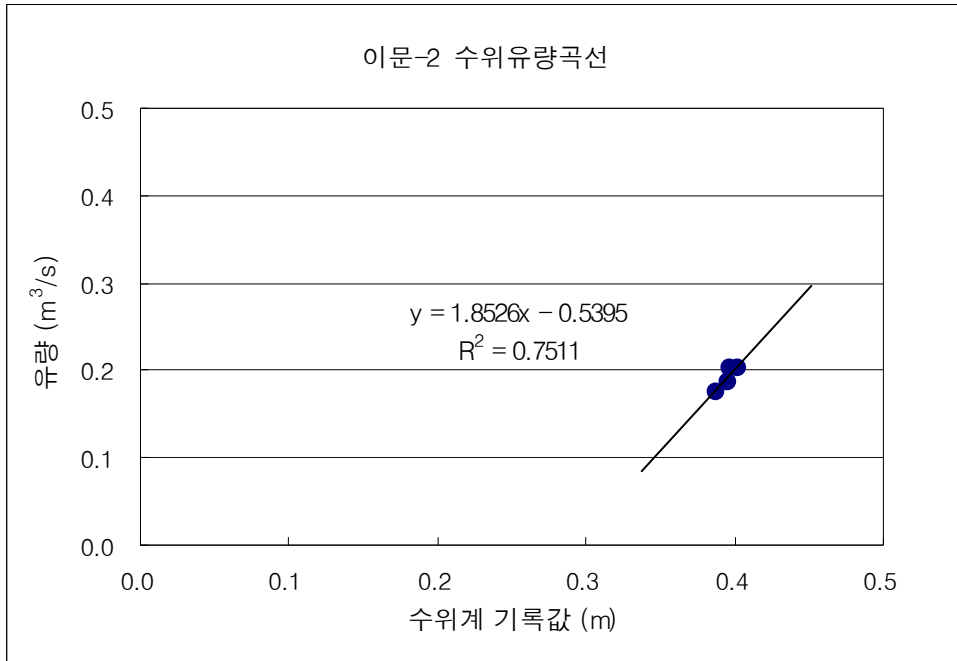
이문양수장 시험지구의 용수간선 시점부와 주요 용수지거 시점 및 말단에 설치한 수위계 지점의 수위-유량곡선을 산정하기 위하여 수위표 수위와 측정된 유량관계를 분석하였다. (그림 5-15)~(그림 5-20)은 2004년 측정-2, 측정-12, 측정-15 및 측정-27~측정-29지점의 관계를 나타낸 것이고, (그림 5-21)은 2005년 4월에서 9월까지의 용수간선(측정-2)의 유속측정을 토대로 하여 수위-유량관계를 나타낸 것이다.

<표 5-17> 이문양수장 시험지구 수로 유량 측정 (2004년)

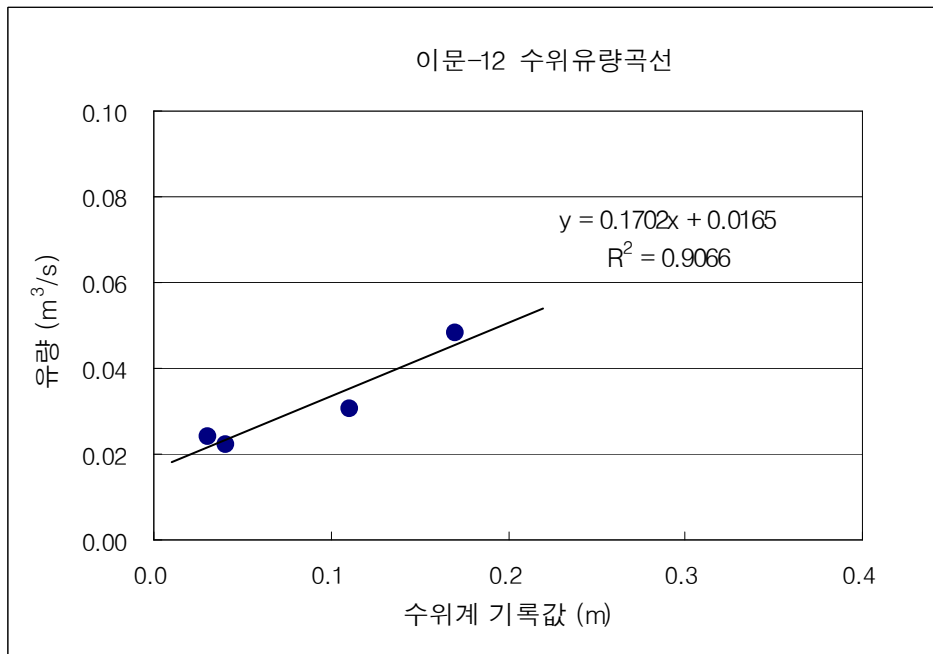
지점 일자	측정 2-지점 (용수간선 시점)			측정 12-지점 (용수지선 시점)			측정 15-지점 (용수지선 시점)		
	수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)	수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)	수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)
04/06/05	2.970	0.1825	2.600	1.460	0.0257	1.300	1.800	0.0639	1.300
04/07/27	2.990	0.2022	"	1.520	0.0305	"	1.770	0.0416	"
04/07/28	2.975	0.1873	"	1.480	0.0244	"	1.670	0.0093	"
04/07/29	2.995	0.2038	"	1.570	0.0482	"	1.700	0.0215	"
04/08/09	2.960	0.1760	"	1.480	0.0225	"	1.690	0.0130	"

<표 5-17> 이문양수장 시험지구 수로 유량 측정 (2004년) (계속)

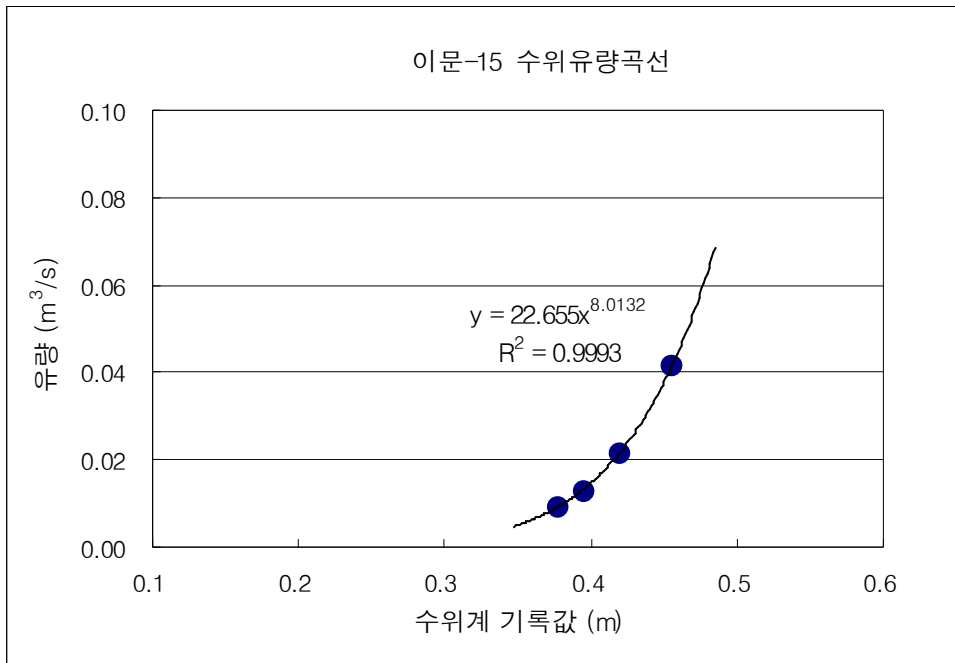
지점 일자	측정 27-지점 (용수지선 말단)			측정 28-지점 (배수지선 말단)			측정 29-지점 (용수지선 말단)		
	수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)	수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)	수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)
04/06/05	4.380	0.0514	4.100	1.530	0.0056	1.500	0.0	0.0000	0.0
04/07/27	4.200	0.0047	"	1.520	0.0093	"	0.0	0.0000	"
04/07/28	4.205	0.0051	"	1.530	0.0048	"	0.005	0.0006	"
04/07/29	4.205	0.0045	"	1.540	0.0101	"	0.010	0.0005	"
04/08/09	4.200	0.0026	"	1.630	0.0112	"	0.050	0.0045	"



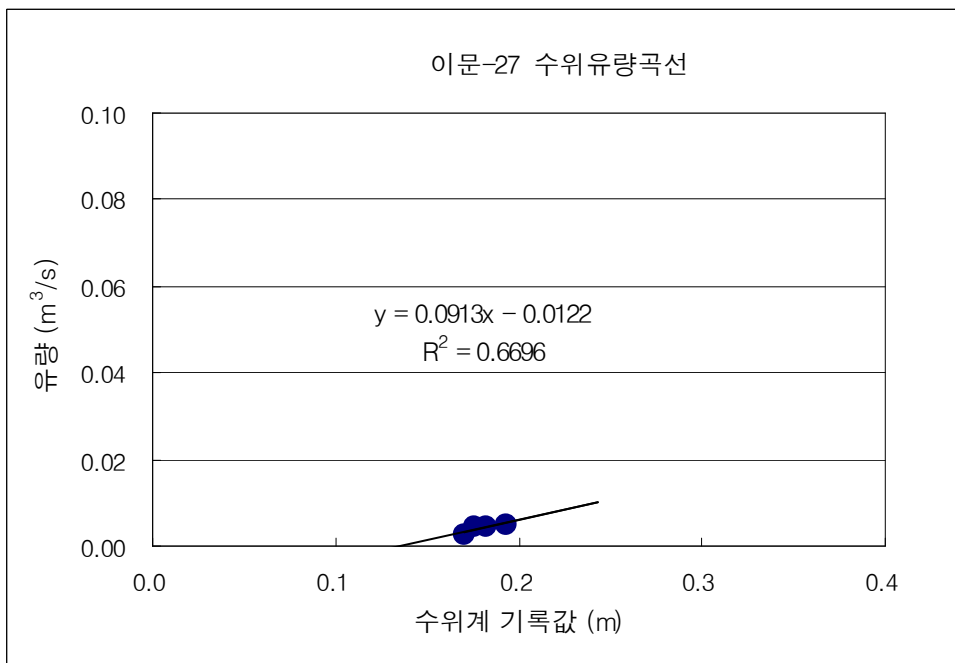
(그림 5-15) 지점-2 용수간선 수위-유량곡선



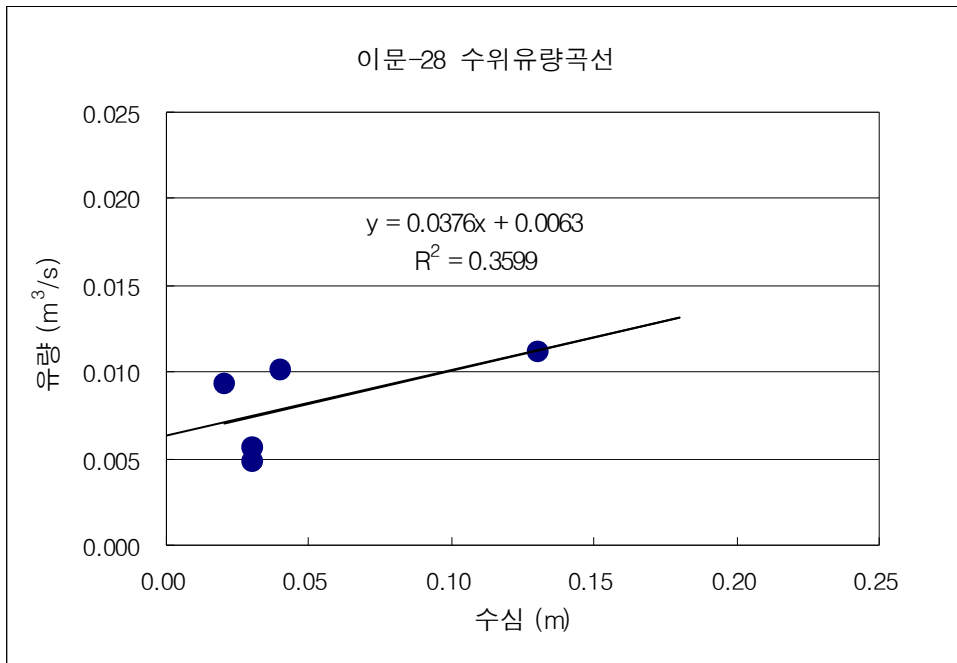
(그림 5-16) 지점-12 용수지선 수위-유량곡선



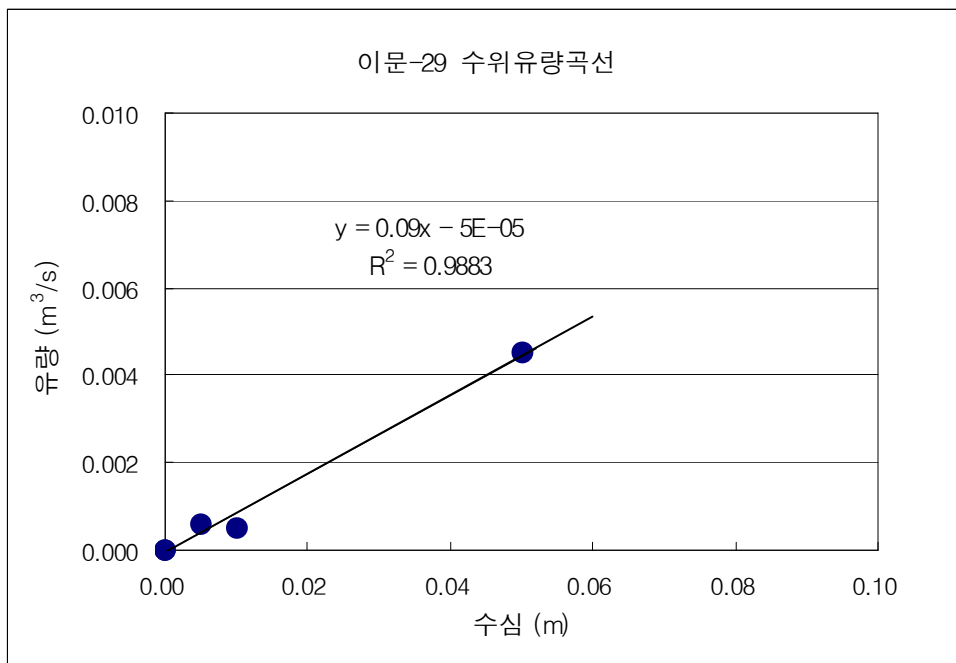
(그림 5-17) 지점-15 용수지선 수위-유량곡선



(그림 5-18) 지점-27 용수지선 수위-유량곡선



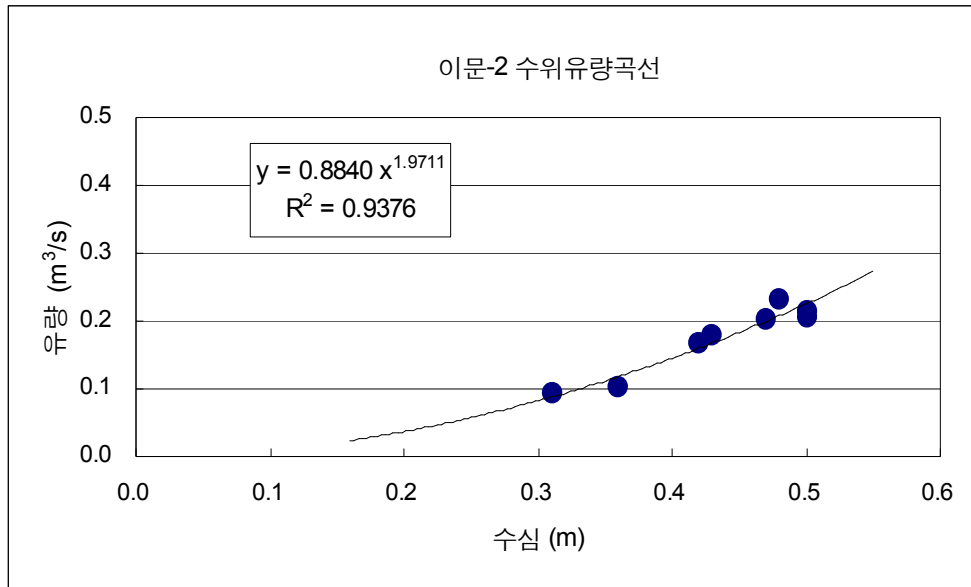
(그림 5-19) 지점-28 배수지선 수위-유량곡선



(그림 5-20) 지점-29 용수지선 수위-유량곡선

<표 5-18> 이문양수장 시험지구 수로 유량 측정 (2005년)

일자	지점	측정 2-지점 (용수간선 시점)		
		수위 H(m)	유량 Q(m <sup>3</sup> /s)	영점표고 (m)
05/04/23		3.020	0.1780	2.600
05/05/14		3.020	0.1665	"
05/06/04		3.080	0.2329	"
05/06/22		2.910	0.0930	"
05/06/24		2.950	0.1018	"
05/09/07		3.100	0.2065	"
05/09/08		3.100	0.2156	"
05/09/09		3.070	0.2015	"



(그림 5-21) 이문양수장 시점 수위-유량곡선 (2005년)

이문양수장의 토구로 양수된 후 용수간선 시점부인 수위계 설치지점의 수위-유량 관계를 구하고 이를 유량자료로 환산하였다. 이와 같은 일별 유량자료를 기본으로 하고 관개수량 계산을 위한 관개면적은 시설물 등록부에 있는 수해면적 47ha를 적용하

였다.

본 시험지구인 이문양수장으로부터 관개기에 수위계와 유속측정 자료를 가지고 계산된 2004년 조사기간 동안의 공급된 용수량은 <표 5-19>에서 보는 바와 같이 405,614 m<sup>3</sup>으로 조사되었다. 이는 수위 관측시설이 2004년 6월 24일에 설치되었기 때문에 관행적으로 이양기 이전부터 공급되는 실제 공급량보다 훨씬 적은 양으로 볼 수 있다. 또한, 2005년의 경우 2004년보다 빠른 시기인 2005년 4월 15일에 수위관측을 실시하여 이양기 이전부터 공급된 용수량은 631,714 m<sup>3</sup>으로 산정되었으며, 낙수기와 강우기에 접어들면서 7월 이후로는 점차로 줄어든 것으로 조사되었다. 한편, 2006년의 경우 2005년에 비해 다소 높은 703,911 m<sup>3</sup>으로 2004년에 비해 1.7배, 2005년에 비해서는 1.1배 가량의 관개용수를 공급한 것으로 조사되었다.

공급일수에 있어서도 2004년에는 6월 9회, 7월 23회, 8월 2회, 9월에는 낙수기에 접어들면서 관개용수공급이 없어 전체 34회를 공급한 것으로 조사되었다. 2005년에는 4월 8회, 5월 11회, 6월 20회, 7월 14회, 8월에는 빈번한 강우로 인해 관개용수공급이 없었으며, 9월에는 3회를 기록하였다. 2006년에는 2005년과는 달리 강우발생빈도가 적음에 따라 관개용수공급일이 잦았는데, 4월에 14회, 5월 22회, 6월 17회, 7월 6회, 8월 7회, 9월에는 4회로 전체 70회의 관개용수 공급일수를 기록하였다.

(그림 5-22)는 2004년 일별 용수량을, (그림 5-23)은 2005년의 일별 용수공급량을 나타낸 것이다.

<표 5-19> 이문양수장 용수간선 시점부 관개용수 공급량

구분	2004년			2005년			2006년		
	공급량 (m <sup>3</sup> )	관개심 (mm)	공급 일수	공급량 (m <sup>3</sup> )	관개심 (mm)	공급 일수	공급량 (m <sup>3</sup> )	관개심 (mm)	공급 일수
4월	-	-	-	44,914	96	8	156,238	332.4	14
5월	0	0	0	116,104	247	11	224,877	478.5	22
6월	86,455	184	9	258,725	550	20	185,198	394.0	17
7월	277,201	590	23	160,795	342	14	52,111	110.9	6
8월	41,958	89	2	0	0	0	48,395	103.0	7
9월	0	0	0	51,176	109	3	37,092	78.9	4
계	405,614	863	34	631,714	1,344	56	703,911	1,497.7	70

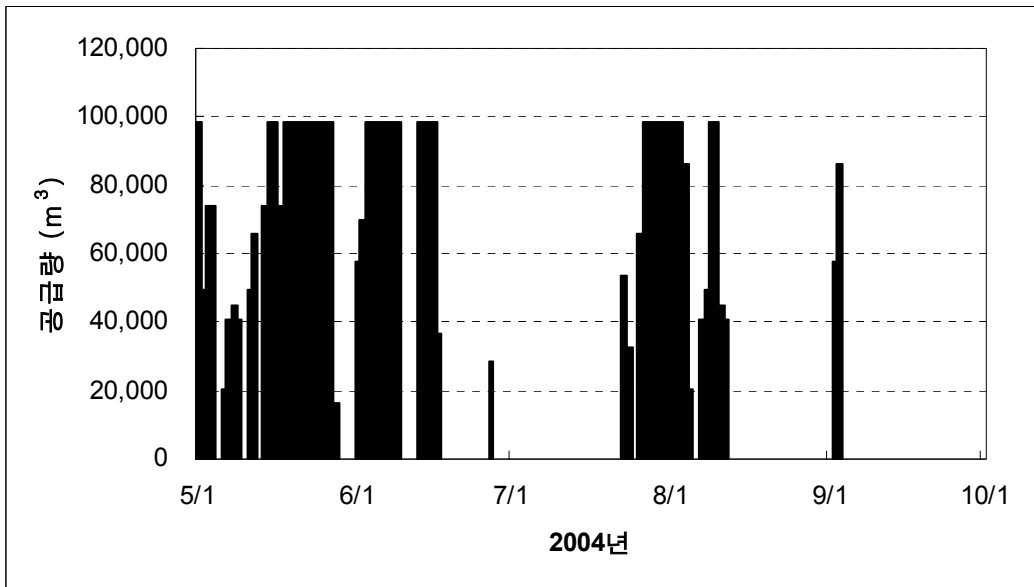
(주) 2004. 6. 24, 2005. 4. 15 수위계 설치 이후 측정 자료임.

<표 5-20> 이문양수장 시험지구 측정 공급량 및 공급일수

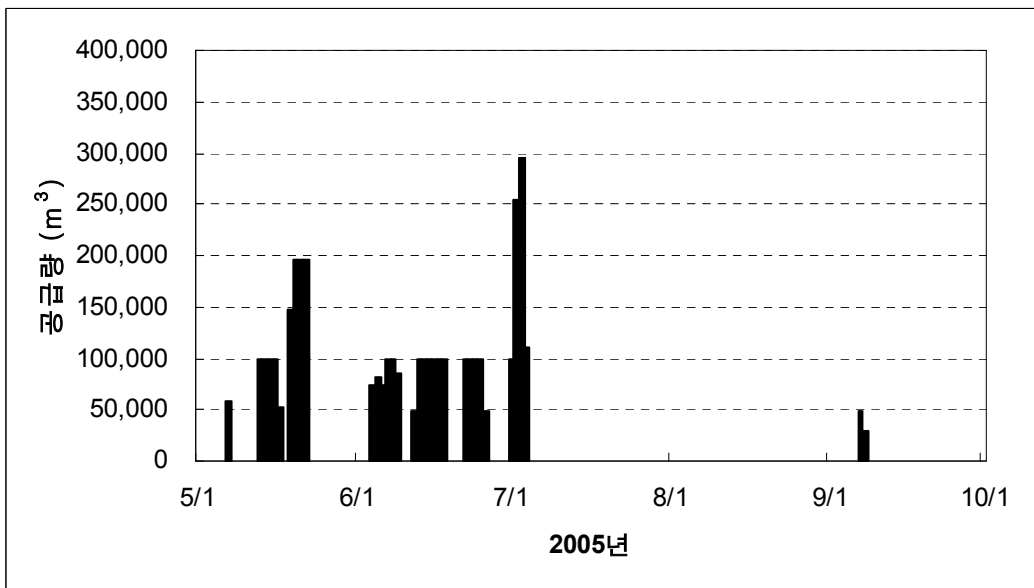
구분	순별	2004년		2005년		2006년	
		공급량(m <sup>3</sup> )	공급일수	공급량(m <sup>3</sup> )	공급일수	공급량(m <sup>3</sup> )	공급일수
4월	상순	-	-	0	0	0	0
	중순	-	-	23,320	5	39,072	5
	하순	-	-	21,594	3	117,166	9
5월	상순	-	-	941	1	76,396	9
	중순	-	-	90,640	8	85,756	7
	하순	-	-	24,524	2	62,725	6
6월	상순	-	-	99,036	7	67,860	7
	중순	-	-	117,513	7	91,093	7
	하순	-	-	42,176	6	26,245	3
7월	상순	0	0	101,491	9	0	0
	중순	0	0	59,304	5	20,823	2
	하순	86,455	9	0	0	31,288	4
8월	상순	144,075	10	0	0	30,994	5
	중순	91,858	8	0	0	17,401	2
	하순	41,268	5	0	0	0	0
9월	상순	41,958	2	51,176	3	19,755	2
	중순	0	0	0	0	8,045	1
	하순	0	0	0	0	9,292	1
계		405,614	34	631,714	56	703,911	70

(주) 2004. 6. 24, 2005. 4. 15. 수위계 설치 이후 측정 자료임.

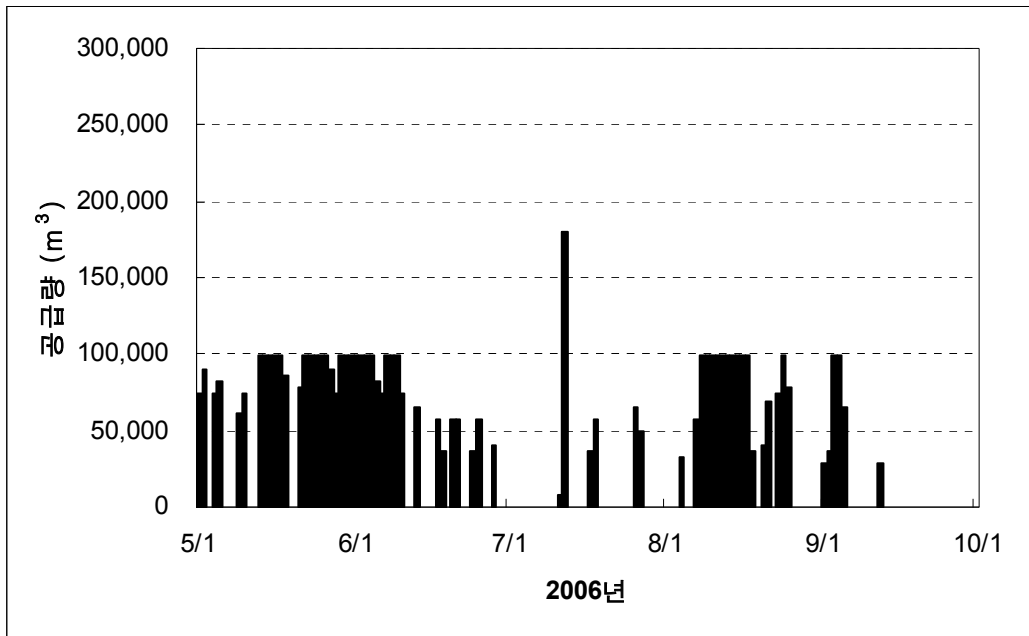




(그림 5-22) 이문양수장 일별 용수공급량 (2004년)



(그림 5-23) 이문양수장 일별 용수공급량 (2005년)



(그림 5-24) 이문양수장 일별 용수공급량 (2006년)

### 3. 수질조사

#### 가. 조사지점 및 시기

수질조사는 용수로, 논물, 배수로, 배수하천, 마산천 등에서 수질샘플링을 하여 수질 분석을 실시하였다. 조사지점은 용수간선 시점, 용수지거, 논물 2개 지점, 논배수지거, 배수로, 배수하천, 마산천 등이며, 수질조사는 관개시와 강우시를 기준으로 하였으며, 매월 1~5회 수질샘플링을 실시하였다.

<표 5-21> 마산천 득룡교 제원

교량명	하천명	위 치	길이 (m)	폭 (m)	공사 기간
득룡교	마산천	김제 백구면 영상리 전주 조촌동 성덕리	60	16	1975.3.15~1975.7.30

## 나. 측정항목

수질조사 항목으로는 수온, pH, DO, COD, T-N, T-P, SS 등을 기준으로 하였다.

## 다. 분석방법

수질시료는 1.5 L 폴리에틸렌용기에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하여 분석시료로 사용하였다. pH(TOA HM-21P), EC(WTW LF-538), DO(WTW 3430) 등은 현장에서 직접 측정하였으며, 그 밖의 시료분석은 환경부의 수질오염공정시험법에 의거하여 분석하였다. 화학적산소요구량(COD)은 과망간산칼륨법, 부유물질(SS)은 유리섬유 거름종이법, 총질소(T-N)는 환원증류-킬달법, 총인(T-P)은 흡광광도법(아스코르빈산 환원법)으로 분석하였다.

## 라. 조사결과

이문양수장 시험지구의 농업용수는 시기별로 용수로에서 논에 유입되는 곳과 포장에 담수된 논물 및 포장에서 밖으로 배출되는 물의 양분이동을 보면 관개 유입수의 총질소 함량이 포장수보다 높은 경우가 많았다. 이는 하천수를 양수하여 용수원으로 이용하기 때문에 하천수량의 정도, 주위 논에서 하천수로 유입되는 양분의 정도 등에 따라 질소함량 등이 크게 다르게 나타난 것으로 사료된다.

한편, 이문양수장 지구에서 수질조사한 결과 T-N 및 T-P의 변화에 대하여 나타내면 (그림 5-25) 및 (그림 5-26)와 같다. 본 시험지구가 농업지역인 관계로 용수로, 논물은 관개기에만 수질 샘플링이 가능하였고, 배수하천, 논배수로, 배수로, 마산천 등은 주기적으로 수질샘플링이 가능하였다.

T-N의 경우 용수로에서는 0.597~6.720mg/L의 범위로 평균 2.256mg/L이었는데 시기별로 이양전후인 4월에서 6월 사이에 비교적 높은 수준으로 나타났다. 배수하천에서는 0.230~11.346mg/L의 범위로 평균 4.598mg/L였고, 배수로는 0.298~56.471mg/L의 범위에 평균 5.251mg/L, 마산천은 0.931~13.735mg/L의 범위로 평균 4.614mg/L였다. 배수하천, 배수로, 마산천의 경우 겨울철 갈수기에 농도가 상승하는 것으로 나타났다. 이는 하천유량의 감소와 미나리재배로 인한 오염물질이 배수로 및 배수하천

으로 직접 유입되었기 때문으로 판단된다. 또한, 논배수로의 경우에는 0.355~20.950mg/L의 범위로 평균 3.167mg/L이었는데, 시비나 퇴비성분의 일시적인 유출로 인해 일시적인 상승을 일으켰으며 시기별로 이양시에 상승하는 변화를 보였다. 논물의 경우 논물1에서 0.355~15.630mg/L 평균 3.281mg/L였으며, 논물2에서는 0.560~12.510mg/L로 평균 3.035로 높게 나타났는데, 논물의 경우 기비살포시기인 이양초기 T-N의 농도가 높게 나타났고 이후로 강우기에 접어들면서 점차로 감소하는 경향을 보였다. 한편, 용수로 및 논물에서도 해마다 상승하는 경향을 보이고 있었는데, 이는 주 용수원인 마산천의 수질농도 상승에 따른 영향으로 판단된다.

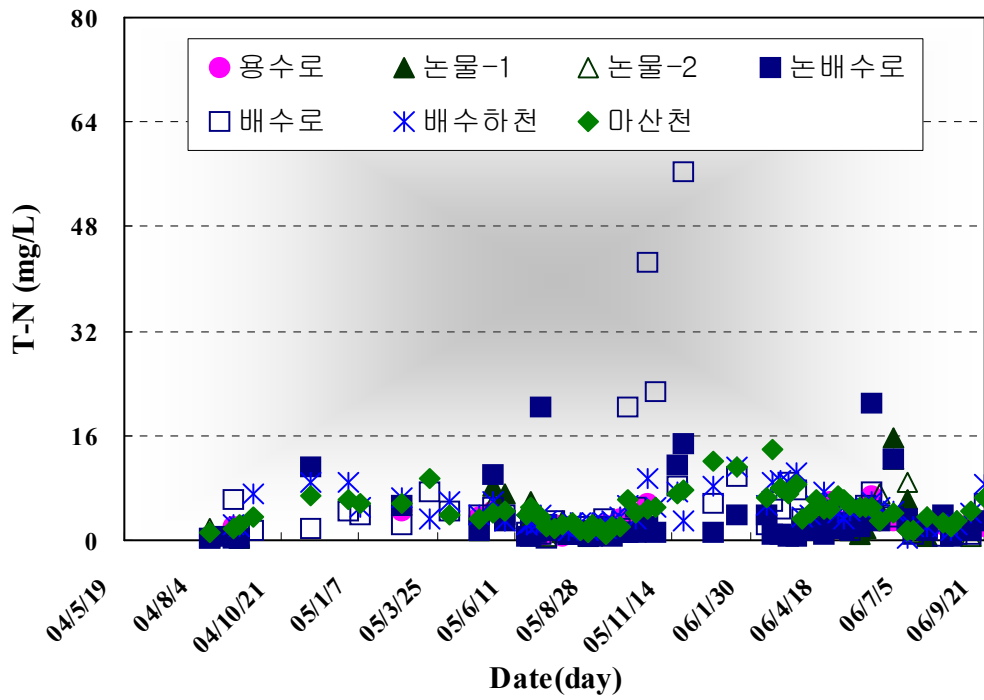
T-P의 경우 용수로에서는 0.120~0.972mg/L의 범위로 평균 0.374mg/L였고 시기별로 강우기인 6월~8월 사이에 다소 높게 나타났다. 배수하천에서는 0.085~0.941mg/L의 범위로 평균 0.346mg/L였고, 배수로는 0.057~2.615mg/L의 범위로 평균 0.346mg/L였으며, 마산천은 0.107~1.046mg/L의 범위로 평균 0.384mg/L였다. 배수하천, 배수로, 마산천의 T-P함량은 시기별로 비슷한 수준이었으며 T-N과는 달리 여름철 강우기에 상승하는 경향을 보였다. 논 배수로는 0.029mg/L~5.232mg/L의 범위로 평균 0.397mg/L였으며 장마기인 6~8월경에 상승하였다. 논물 1에서는 0.182~2.631mg/L의 범위로 평균 0.499mg/L, 논물 2에서는 0.131~1.562mg/L의 범위로 평균 0.493mg/L였는데, 벼 생육초기인 5~6월경에 다소 높은 수준이었다가 점차로 감소하는 경향을 보였다. T-P의 경우 T-N과는 달리 연도별로 채취지점에 따른 큰 변화는 나타나지 않았으나 시험지구전반에 걸쳐 비교적 높은 수준을 기록하였다.

pH의 경우 하천, 논물, 배수로에서 비슷한 수준이었고, EC의 경우에는 벼의 생육에 영향을 미칠 정도로 높은 상황은 아니었으나 일반적인 농업용수에서 나타나는 농도보다 다소 높은 수치를 보였다. 향후 이 지역에서 염분에 대한 저항성이 약한 작물을 재배할 경우에는 관개수 및 토양성분에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

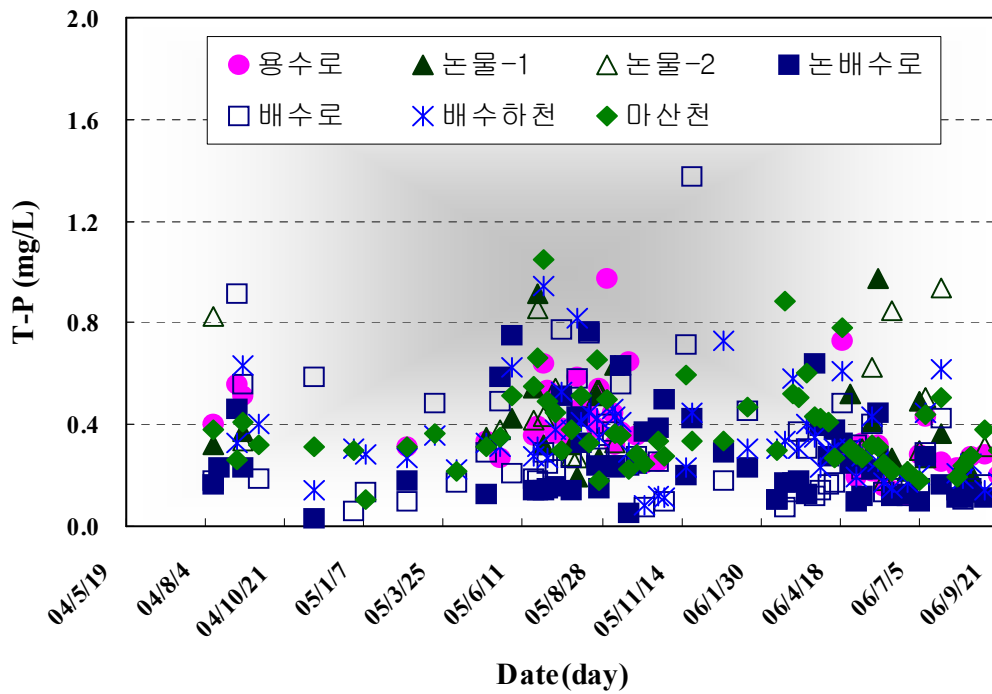
SS는 마산천에서 평균 544mg/L, 용수로에서는 평균 618mg/L, 논배수로에서 647mg/L, 배수로 874mg/L, 배수하천에서 451mg/L로 나타났으며, 논물1, 2에서 각각 1,979mg/L, 3,192mg/L로 나타났다. 시기별로 SS함량은 배수로 및 배수하천의 경우 이양초기와 장마기에 높은 수치를 기록하고 있었다. 이양초기에는 논에서 경운과 씨

래질시 과다하게 발생된 부유물질이 배수로 및 배수하천 등으로 직접유입 되었기 때문으로 판단되며, 장마기에는 강우에 의한 토양 침식으로 씻겨 내려온 부유물질로 인해 SS의 농도가 높아진 것으로 여겨진다. COD의 경우에는 마산천에서 평균 8.42mg/L였으며, 용수로에서 7.78mg/L였으며, 논배수로에서 9.56mg/L, 배수로는 10.77mg/L, 배수하천은 8.62mg/L였다. 용수로의 경우 농업용수수질기준치인 8.00mg/L이하로 나타나고 있지만 상당히 높은 수준을 기록하고 있는 상태로 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 배수로 및 배수하천 등에서는 농업용수 수질기준치를 상회하고 있는 상태이므로 하천에 직접 방류한 후 재이용시에는 작물의 생육에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

본 이문양수장의 수질조사결과 농업유역에서 발생하는 수질오염은 상류에서 하류로 갈수록 상류에서 오염된 하천수를 재이용함에 따라 점차적으로 가중될 것으로 판단되며, 농업지역에서 활용된 물을 그대로 하천에 방류시켰을 경우에는 또 다른 오염을 야기할 수 있다. 따라서 하천이나 농경지의 오염을 방지하기 위해서는 농업지역에서 이양전후 과다한 관행적인 시비는 자제해야 할 것이며, 농업배수시 직접적인 하천 방류를 완화하는 유수조정지나 습지를 활용한 완충지대 등의 설치가 적극적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.



(그림 5-25) 시험지구에서의 수질 변화 (T-N)



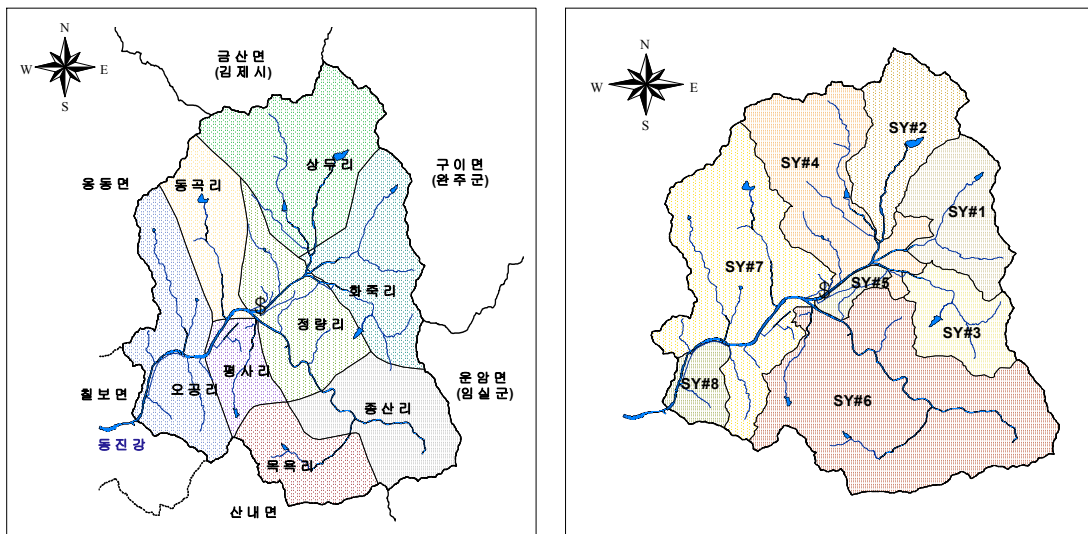
(그림 5-26) 시험지구에서의 수질 변화 (T-P)

## 제 2 절 동진강유역 (산외면 하천유역)

### 1. 시험유역 개요

#### 가. 유역개요

산외면 하천유역은 정읍시 동북부 25km 지점에 위치하고, 행정구역상으로 전라북도 정읍시 산외면을 포함하고 있는 동진강 상류하천 유역으로 전주를 생활권으로 하는 전형적인 산간 농촌지역이다. 대상유역은 동진강의 상류 도원천으로 상류부에 동진강의 발원지인 국사봉을 포함하고 있으며, 행정구역상으로 김제시 금산면, 임실군 운암면, 완주군 구이면과 경계를 이루고 있는 정읍시 산외면 지역이다. 산외면은 행정상 화죽리, 상두리, 동곡리, 정량리, 종산리, 평사리, 목욕리, 오공리의 8개의 법정리와 33개의 행정리로 이루어져 있다. 또한, 하천의 수질조사를 위해 유출형태 및 지형적인 여건을 고려하여 대상유역을 SY#1~SY#8의 8개 소유역으로 구분하였다.



(그림 5-27) 동진강유역 행정구역도 및 소유역구분도

#### 나. 일반현황

2001년을 기준으로 정읍시 산외면 전체면적은 6,272.5ha이다. 이중 전체 면적의 76.7%인 4,807.9ha가 임야이고, 밭의 경우에는 6.4% 406.0ha로 차지하고 있으며, 논은 9.7%인 607.8ha를 점유하고 있는 것으로 조사되었고, 대지가 83.4ha로 1.3%를 차지하

고 있다.

또한, 산외면내 인구는 2001년에는 3,851명이었으나 점차로 감소하여 최근 2005년에는 2,880명이 거주하고 있다. 축산의 경우 한우는 2001년 3,912두에서 2005년에는 5,196두로 증가추세를 보이고 있으며, 젓소는 사육가구 및 사육두수가 없는 것으로 나타났다. 돼지의 경우 2001년 11,445두에서 2005년 8,539두로 다소 감소하였으며 정량, 상두, 화죽리에서 축산단지가 밀집되어 있었으며, 닭의 경우에는 2001년 65,442두에서 2005년 113,515두로 약 두배 가량 증가되었다. 특히, 산외면의 경우 한우마을의 집중조성에 따라 향후 한우의 사육두수가 지속적인 증가 추세를 보일 것으로 여겨진다.

### 1) 법정 리별 현황

산외면내 2001년부터 2005년까지 총 5개년간의 법정리별 인구 및 가축사육변화는 <표 5-22>과 <표 5-23>에서 보는 바와 같으며, 2001년 리별 지목별 토지이용현황은 <표 5-24>에서 보는 바와 같다.

<표 5-22> 정읍시 산외면 인구 현황

구 분	연도별				
	2001	2002	2003	2004	2005
화죽리	475	378	465	356	353
상두리	667	457	558	407	403
정량리	691	600	645	544	517
평사리	663	570	709	531	507
동곡리	412	374	429	348	348
오공리	550	456	517	445	434
목욕리	176	157	150	143	132
종산리	217	192	211	165	186
계	3,851	3,184	3,684	2,939	2,880



<표 5-23> 정읍시 산외면 가축사육 현황

(1) 한우

구 분	연도별				
	2001	2002	2003	2004	2005
화죽리	748	737	758	1,001	948
상두리	350	421	548	607	638
정량리	1,077	1,227	1,289	975	1,096
평사리	407	344	446	413	945
동곡리	303	310	369	401	422
오공리	355	326	323	354	350
목욕리	176	182	211	229	271
종산리	496	354	402	458	526
계	3,912	3,901	4,346	4,438	5,196

(2) 돼지

구 분	연도별				
	2001	2002	2003	2004	2005
화죽리	2,575	2,100	2,500	2,200	2,039
상두리	3,900	3,600	4,300	4,460	3,000
정량리	3,670	3,900	3,750	700	1,400
평사리	0	0	0	1,010	1,100
동곡리	0	0	0	0	0
오공리	1,300	1,300	1,500	1,500	1,000
목욕리	0	0	0	0	0
종산리	0	0	0	0	0
계	11,445	10,900	12,050	9,870	8,539

(3) 닭

구 분	연도별				
	2001	2002	2003	2004	2005
화죽리	150	30,080	30,106	40,087	40,060
상두리	0	15	18	0	56
정량리	30,000	30,158	28,043	43	50
평사리	0	16	0	0	4
동곡리	108	101	71	61	122
오공리	3,000	11,040	9,560	10,000	23,195
목욕리	61	5	0	0	0
종산리	32,123	32,029	30,035	30,000	50,028
계	65,442	103,444	97,833	80,191	113,515

<표 5-24> 정읍시 산외면 토지이용 현황

(1) 2001년

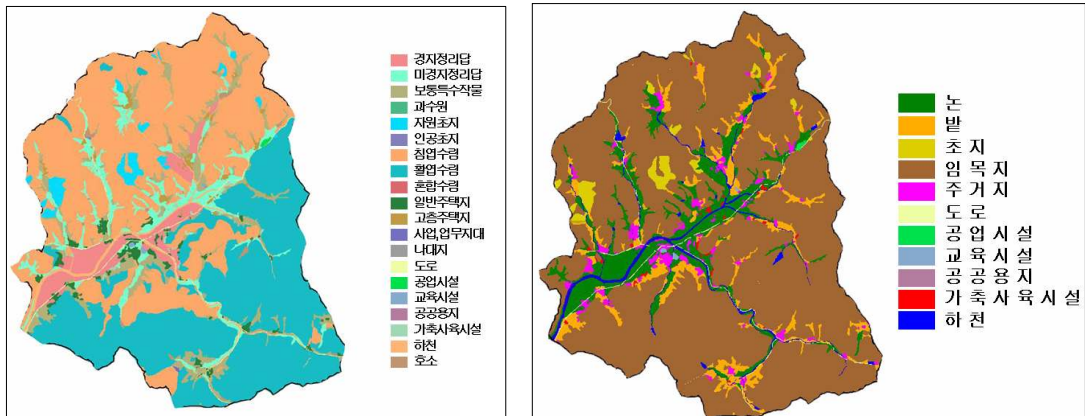
구 분	토지이용현황 (ha)					
	합계	전	답	임야	대지	기타
화죽리	1,135.6	82.9	58.4	926.9	9.6	57.8
상두리	1,269.2	72.5	105.9	1,011.4	12.9	66.4
정량리	758.5	52.6	120.1	507.5	12.9	65.5
평사리	455.9	26.6	53.8	329.6	14.4	31.4
동곡리	532.7	26.9	62.5	405.9	9.4	27.8
오공리	883.7	49.4	143.9	602.4	13.8	74.2
목욕리	461.1	59.6	30.4	347.1	4.6	19.4
종산리	776.0	35.6	32.6	677.2	5.9	24.8
총합계	6,272.5	406.0	607.8	4,807.9	83.4	367.4

(주) 정읍시 산외면 토지이용자료

(2) 2005년

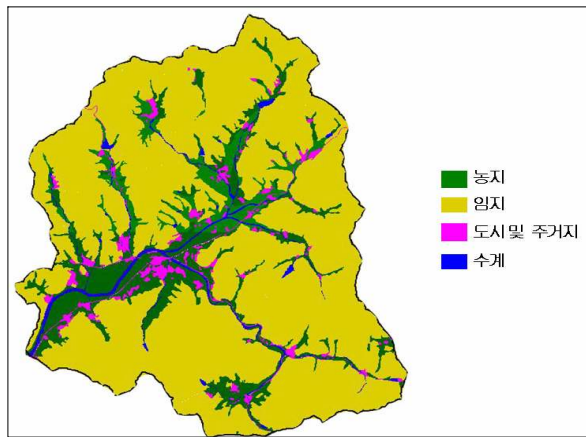
구 분	토지이용현황 (ha)					
	합계	전	답	임야	대지	기타
화죽리	1,106.2	51.8	58.2	927.4	9.8	58.9
상두리	1,269.2	72.4	105.8	1,011.4	13.1	66.4
정량리	757.9	51.9	120.1	507.4	12.9	65.7
평사리	456.4	23.9	54.9	329.5	14.5	33.5
동곡리	532.7	26.9	62.5	405.9	9.4	28.0
오공리	883.7	49.3	143.7	602.5	13.8	74.4
목욕리	461.1	59.5	30.4	347.1	4.6	19.4
종산리	775.2	36.1	32.2	673.1	6.2	27.5
총합계	6,242.2	371.8	607.8	4804.3	84.4	373.9

(주) 전라북도 도청 새만금수질보전과 토지이용현황자료



<소분류>

<중분류>



<대분류>

(그림 5-28) 산외면 토지이용도 현황

## 2) 소유역별 현황

소유역은 주요 교량지점을 기준으로 구분하였으며, 각 소유역별 인구, 토지이용, 가축사육 현황을 살펴보면 <표 5-25> ~ <표 5-27>에서 보는 바와 같다. 소유역 구분을 위해 1:5,000 수치지도를 이용하였고 산외면의 행정구역도를 중첩하여 각 소유역별 행정구역의 점유율을 작성하였다. 또한, 소유역별 점유율에 법정리별 통계자료를 적용하여 소유역별 현황자료를 구성하였다.

<표 5-25> 소유역별 인구 현황 (단위 : 명)

소유역	연도				
	2001	2002	2003	2004	2005
SY#1(화죽교)	312	244	300	228	226
SY#2(상두교)	327	224	273	200	197
SY#3(사내교)	230	189	222	175	173
SY#4(상용교)	617	480	558	435	426
SY#5(유입수)	76	66	71	60	57
SY#6(산외교)	1,125	980	1,101	891	872
SY#7(이상교)	1,043	901	1,045	852	833
SY#8(말단부)	121	100	114	98	96
합계	3,851	3,184	3,684	2,939	2,880

<표 8-26> 소유역별 토지이용 현황

소유역	소계	지목별(ha)				
		전	답	임야	대지	기타
SY#1(화죽교)	726.8	51.9	39.8	591.8	6.3	37.1
SY#2(상두교)	621.9	35.5	51.9	495.6	6.3	32.5
SY#3(사내교)	490.3	33.9	31.9	393.7	4.7	26.2
SY#4(상용교)	1,002.0	61.1	98.4	771.2	12.1	59.2
SY#5(유입수)	83.4	5.8	13.2	55.8	1.4	7.2
SY#6(산외교)	1,840.2	134.7	154.3	1,431.2	25.5	94.5
SY#7(이상교)	1,313.3	72.4	186.4	936.2	24.2	94.2
SY#8(말단부)	194.4	10.9	31.7	132.5	3.0	16.3
합계	6,272.5	406.1	607.6	4,808.0	83.5	367.3

(주) 정읍시 산외면 토지이용자료(2001년)

<표 5-27> 소유역별 가축사육 현황

(1) 한우

소유역	연도				
	2001	2002	2003	2004	2005
SY#1(화죽교)	450	448	467	610	582
SY#2(상두교)	171	206	269	297	313
SY#3(사내교)	374	372	388	442	441
SY#4(상용교)	588	661	748	723	767
SY#5(횡유입수)	119	135	142	107	120
SY#6(산외교)	1,380	1,280	1,445	1,357	1,850
SY#7(이상교)	752	727	816	824	1,046
SY#8(말단부)	78	72	71	78	77
합 계	3,912	3,901	4,346	4,438	5,196

(2) 돼지

소유역	연도				
	2001	2002	2003	2004	2005
SY#1(화죽교)	1,709	1,419	1,691	1,528	1,348
SY#2(상두교)	1,911	1,764	2,107	2,186	1,470
SY#3(사내교)	1,147	1,017	1,130	760	773
SY#4(상용교)	3,029	2,904	3,223	2,438	1,952
SY#5(횡유입수)	404	429	412	77	154
SY#6(산외교)	1,680	1,781	1,725	1,019	1,359
SY#7(이상교)	1,279	1,300	1,432	1,532	1,263
SY#8(말단부)	286	286	330	330	220
합 계	11,445	10,900	12,050	9,870	8,539

(3) 닭

소유역	연도				
	2001	2002	2003	2004	2005
SY#1(화죽교)	86	17,237	17,252	22,970	22,958
SY#2(상두교)	0	7	9	0	27
SY#3(사내교)	5,317	14,812	14,470	15,111	16,706
SY#4(상용교)	8,137	11,477	10,905	4,433	4,468
SY#5(횡유입수)	3,300	3,317	3,085	5	6
SY#6(산외교)	42,964	43,303	40,449	28,119	47,210
SY#7(이상교)	4,978	10,861	9,560	7,353	17,037
SY#8(말단부)	660	2,429	2,103	2,200	5,103
합 계	65,442	103,443	97,833	80,191	113,515

**다. 산외면 주요공사 현황**

현재 산외면내에 시행하고 있는 도로공사로는 <표 5-28>에서 보는 바와 같이 정읍시 칠보면에서 산외면 중앙을 관통하여 완주군 구이면간의 구간거리 13.35km 전라북도 지원 국가지방도 29호선과 정읍시 산외면 오공, 동곡리를 경유하는 두용선(산외 102호선) 0.9km 구간 확·포장공사가 시행중에 있다. 특히, 공사진행중인 지방도 29호선공사는 구간별로 동북부 산지에서는 산림을 벌채한 후 굴착공사가 진행중에 있으며, 중앙부에서 하천에 인접하여 교량, 각종 도로시설물 공사, 도로노반공사가 곳곳에서 이뤄지고 있어 장마기에는 토사유출이 발생하고 있다.

한편, 2004년 12월부터 산외면 소재지와 정읍시 영파동 하수종말처리장을 잇는 하수처리시설 통합공사를 실시하여 2006년 12월 압송관로 8km공사를 준공하여 향후 산외면 일대에서 배출하는 하수처리의 개선이 예상된다.

<표 5-28> 산외면 주요공사 현황

공사명		위치	공사기간	공사개요 (km, m)	시행청
도로공사	정읍~완주 (국지도 29호선 1공구)	정읍시 칠보면 ~산외면	'02.12.30 ~'07.12.31	L=8.63 B=10.5~18.5	전라북도
	정읍~완주 (국지도 29호선 2공구)	정읍시 산외면 ~완주군 구이면	'02.12.26 ~'07.12.31	L=4.72 B=18.5	"
	두용선 (산외 102호선)	정읍시 산외면 오공리, 동곡리	'06~'07	L=0.9 B=6.0	정읍시
환경시설	정읍-시산 하수통합처리공사	정읍시 산외면 소재지	'04.12.10 ~ '06.12.22	압송 및 차집관로 8km	전라북도 정읍시

- 주) 1) 전라북도 도청(도로과) 2006년도 지방도로 공사 추진현황  
 2) 정읍시 건설과 2007년 주요업무계획  
 3) 정읍시 의회업무보고서(2006년)



<도로공사>



<환경기초시설공사>

(그림 5-29) 산외면 주요공사 현황

#### 라. 산외면 주요 저수지 현황

본 시험유역내에는 1939년 이후로 건설되어온 16곳의 소규모의 농업용 소류지가 있는데 이중 대부분이 시·군에서 관리하고 있는 것으로 조사되었다. <표 5-29>는 산외면내 시·군 관할 소류지현황을 나타낸 것이며, 전체 몽리면적은 145.9ha에 달하고 있다. 이들 소류지는 소규모로 대부분이 농업용으로 활용되고 있어 봄철 이앙기와 여름철 가뭄에 대비하여 농업활동이 없는 겨울철에는 하천유지에 필요한 용수공급은 거의 이뤄지지 않고 있다.

<표 5-29> 정읍시 산외면 소류지 현황

소류지 현황					
소류지명	위치	몽리면적 (ha)	만수면적 (ha)	설치연도	비 고
엄계제	화죽리 엄계	12.4	0.9	1968	농업용
농골제	" 당록	24.0	2.9	1996	"
상두제	상두리 구장	28.5	4.3	1969	"
만병제	" 만병	2.2	1.0	1958	"
진계제	" 서진	27.0	1.1	1982	"
유곡제	정량리 원정	0.9	0.5	1968	"
복당제	" 원정	3.6	0.4	1940	"
정량제	" 원정	2.7	0.3	1969	"
방아제	" 상용	2.7	0.9	1940	농업용
척곡제	평사리 노은	11.3	1.0	1967	"
지금제	동곡리 지금	2.9	3.0	1998	"
홍룡제	오공리 야정	6.8	0.5	1939	"
주곡제	" 야정	12.6	0.6	1969	"
이치제	" 이치	2.5	0.7	1974	"
내목제	목욕리 내목	2.9	2.5	1966	"
외목제	" 외목	2.9	0.3	1970	"
소 계		145.9	20.9		

(주) 정읍시 산외면 주요 저수지 현황자료

## 2. 수문조사

### 가. 조사지점

수문조사 지점은 동진강유역 상류하천인 도원천의 상용교 지점을 대상을 하였으며, 상용교 제원은 다음과 같다.



<표 5-30> 동진강 상용교 제원

교량명	하천명	위 치	길이 (m)	폭 (m)	공사 기간
상용교	도원천	정읍 산외면 정량리	51	7	2000. 12 ~ 2001. 8.

#### 나. 수문관측시설

본 시험구역의 수문 및 수질모니터링을 위하여 동진강 상용교 지점에 음과식수위계와 보조수위표를 각각 1조씩 설치하였다.



(그림 5-30) 동진강구역 상용교 지점 수위계 설치 전경

#### 다. 기상자료

본 시험구역의 물수지 및 유량 산정을 위하여 정읍 기상관측소의 기상자료를 수집하였다. 2004년 5월부터 2007년 4월까지 조사기간 중 기상변화는 정읍기상관측소의 기상자료를 이용하였다.

이 구역의 월평균 기온은 <표 5-31>에서 보는 바와 같이 2004년 5월에 17.8℃이었던 것이 2004년 7월에는 25.9℃로서 2004년에 가장 높은 기온을 보였고, 8월 25.6℃이

후로는 점차로 기온이 저하되어 12월에 3.7℃를 기록하였다. 2005년도에는 1월에 -0.5℃, 2월에 -0.4℃, 3월에 4.5℃로 점차적으로 상승하여 8월에 25.7℃로 가장 높게 나타났으며, 9월 이후부터는 기온이 하강하여 12월에는 -2.1℃를 기록하였다. 2006년에는 1월 0.8℃, 2월에 1.0℃였으며, 8월에 26.9℃를 기록하였고, 12월에는 2.3℃를 기록하였고, 2007년에 접어들어서는 1월에 1.0℃, 4월에는 11.4℃의 월별 평균기온을 나타내었다.

강수량의 경우에는 2004년 5월 8월에 334.5mm, 2005년 1월부터 5월까지 월강수량은 100mm이하의 강수량을 보이다가 장마기에 접어들면서 6월에 156.5mm, 7월에 350.5mm, 집중강우로 인해 홍수피해가 많이 발생하였던 8월에는 468.0mm를 기록하였다. 9월에는 231.5mm를 기록하였고 10월부터는 100mm이하로 감소하여 10월, 11월, 12월에는 각각 26.0mm, 34.0mm, 67.5mm를 기록하였다. 한편, 2006년에 접어들어 1월에 17.0mm를 기록하였고, 3월에는 12.0mm, 7월에는 장마기 집중강우로 452.0mm를 기록하였고 8월에는 다소 낮은 200.5mm, 9월부터는 가뭄이 발생하여 적은양의 강수만이 발생하였다. 2007년 1월과 2월에는 각각 19.7mm, 67.5mm였으며, 3월에는 평년과 비교하여 비교적 빈번한 강우사상의 발생으로 인해 119.0mm를 기록하였다.

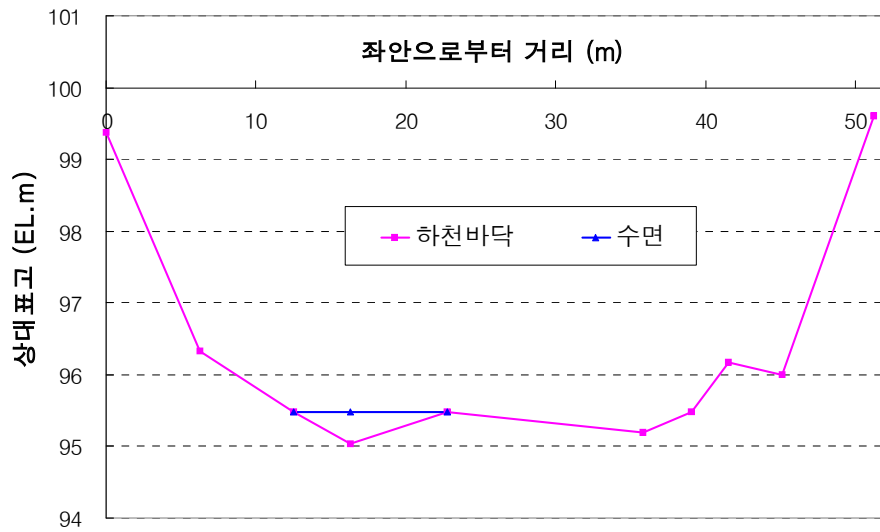
<표 5-31> 정읍관측소 월별 강수량 및 평균 기온

구 분	2004											
	5	6	7	8	9	10	11	12				
평균기온(℃)	17.8	22.2	25.9	25.6	21.3	14.5	9.6	3.7				
강수량(mm)	76.0	247.5	195.5	334.5	171.0	10.5	79.5	39.5				
구 분	2005											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균기온(℃)	-0.5	-0.4	4.5	13.9	17.6	22.9	25.5	25.7	22.6	14.6	9.1	-2.1
강수량(mm)	13.8	47.6	54.0	44.0	43.5	156.5	350.5	468.0	231.5	26.0	34.0	67.5
구 분	2006											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균기온(℃)	0.8	1.0	5.9	11.2	17.9	22.4	24.7	26.9	19.9	17.3	9.6	2.3
강수량(mm)	17.0	43.7	12.0	90.5	152.0	120.0	452.0	200.5	42.0	24.0	63.5	66.6
구 분	2007											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균기온(℃)	1.0	4.3	7.3	11.4								
강수량(mm)	19.7	67.5	119.0	31.0								

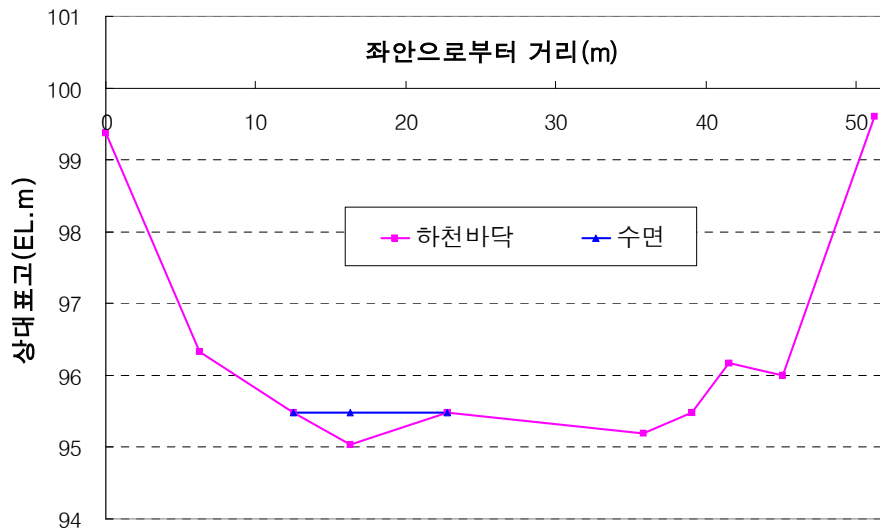
라. 수위 및 유량측정

1) 횡단면 측량

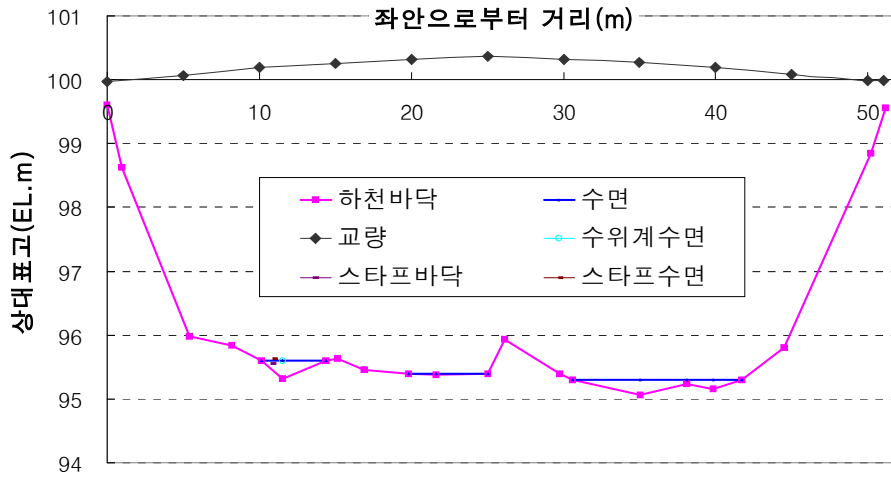
동진강 상류인 상용교 하천지점의 유량을 산정하기 위한 기본자료로 활용하기 위해 하천 횡단측량을 실시하였으며, 다음 (그림 5-31)에서 (그림 5-34)까지는 상용교 지점의 교량 앞면과 뒷면 하천지점 및 각각 상·하류측 50m 지점의 횡단면을 나타낸 것이다.



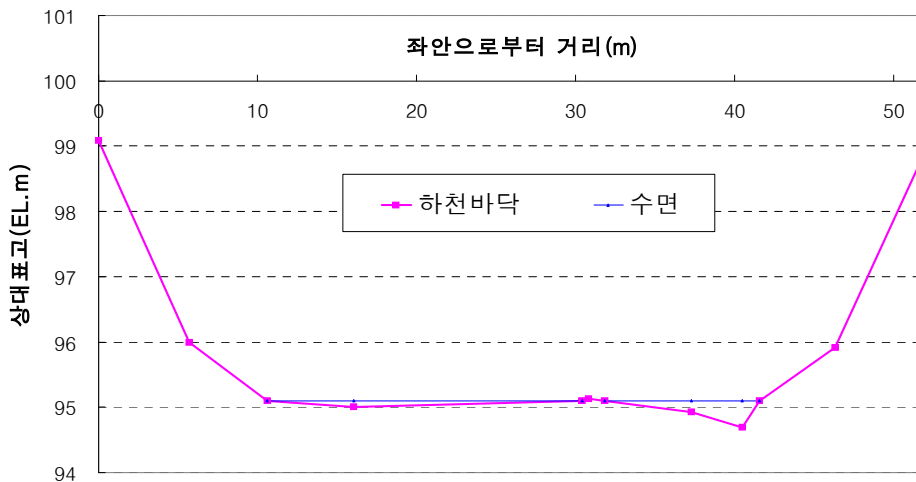
(그림 5-31) 상용교 상류측 50m 지점 하천 횡단면도



(그림 5-32) 상용교 지점 상류측 하천 횡단면도



(그림 5-33) 상용교 지점 하류측 하천 횡단면도



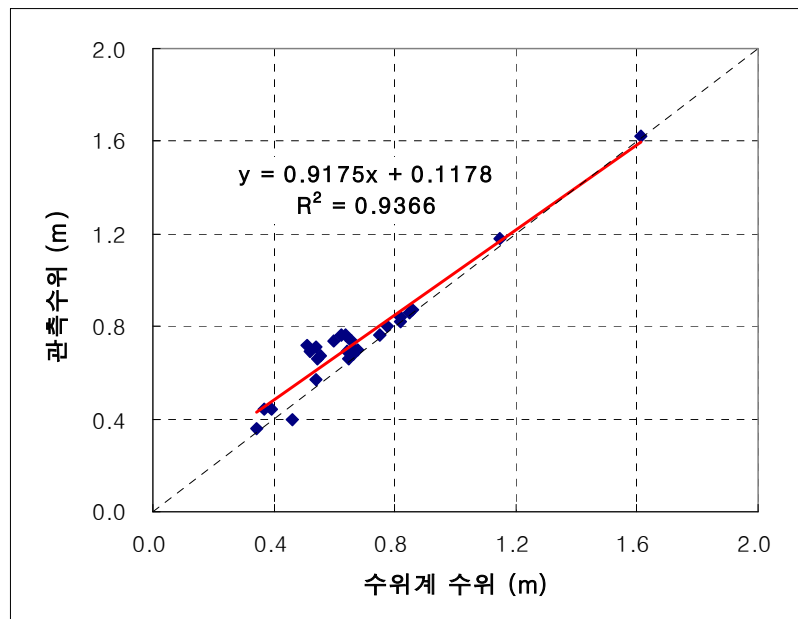
(그림 5-34) 상용교 하류측 50m 지점 하천 횡단면도

## 2) 수위측정

하천지점의 수위는 상용교에 설치된 초음파식 수위계로 연속적으로 측정하였으며, 측정 시간간격은 30분이다. 또한, 목측 수위를 관측할 수 있도록 교량의 옆면에 표척을 설치하였다. 또한, 수위계 수위와 목측으로 관측한 관측수위와의 관계는 (그림 5-36)에서 나타난 바와 같이 일치하는 경향을 보였다.



(그림 5-35) 상용교 초음파식 수위계와 표척



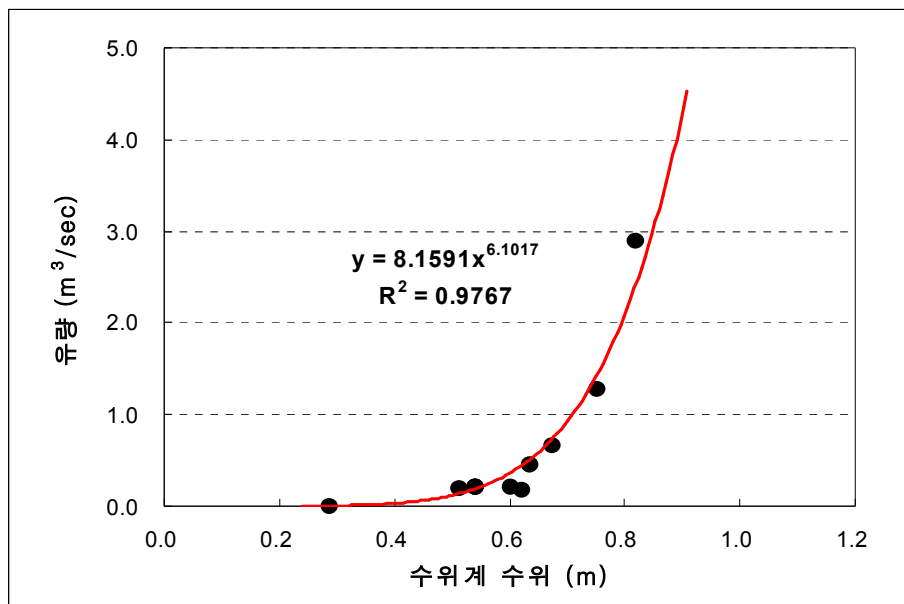
(그림 5-36) 상용교 지점 수위계 수위와 관측수위 비교

### 3) 유량 산정

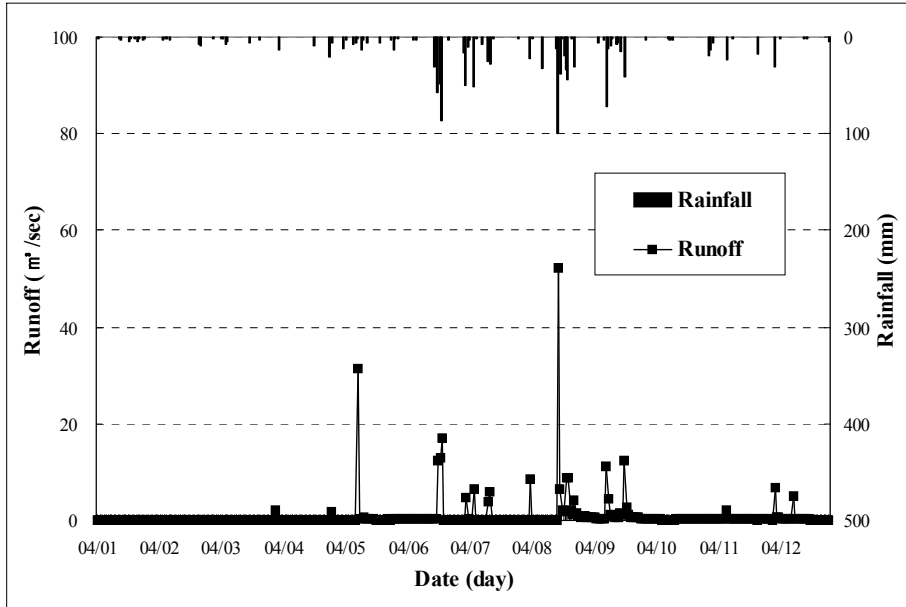
수위계에 의하여 측정된 수위자료는 수위-유량관계 곡선식을 유도하고, 이를 이용하여 유량으로 변환하게 된다. (그림 5-37)은 상용교 하천지점의 유속을 측정하는 사진이며, (그림 3-38)은 수위-유량관계를 나타낸 것이다. 또한, (그림 5-39)는 (그림 5-38)의 수위-유량관계에서 유도된 수위-유량관계식을 이용하여 시간별 수위자료를 일별유량으로 나타낸 것이다.



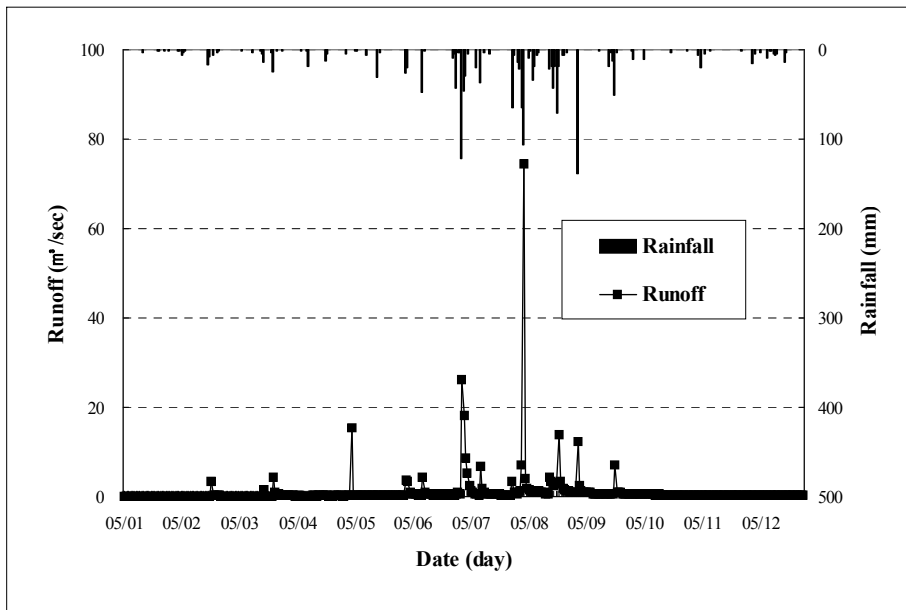
(그림 5-37) 상용교 유속측정



(그림 5-38) 상용교 지점 수위-유량 관계



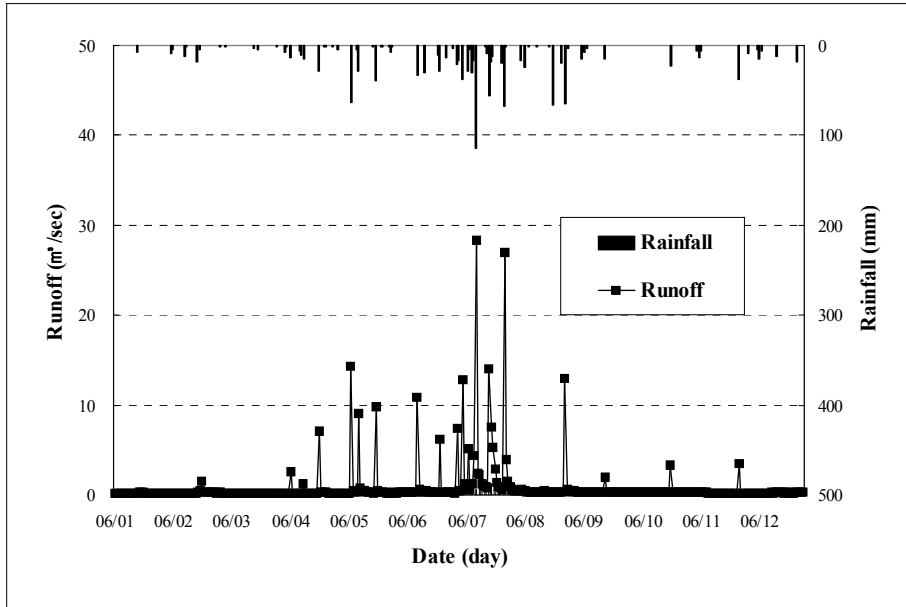
(2004년)



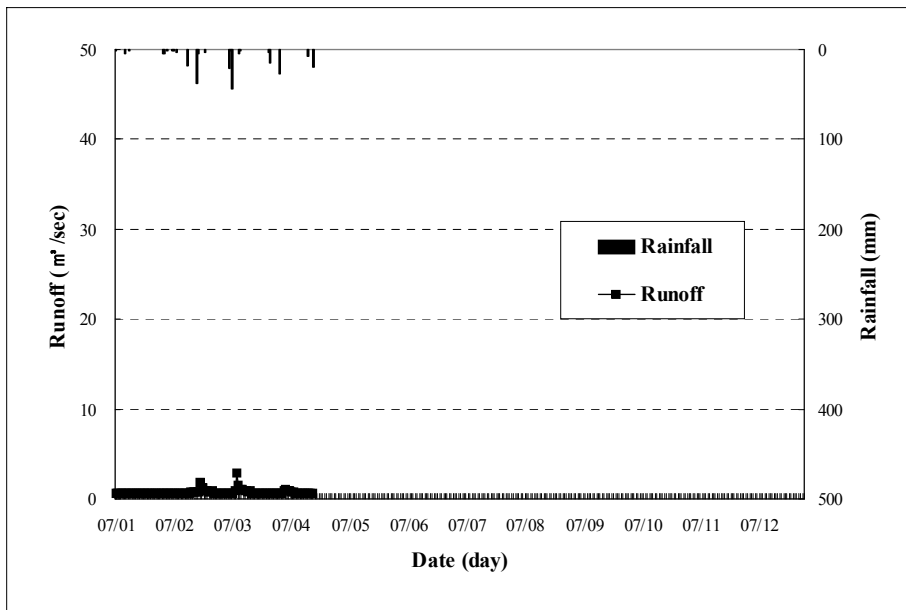
(2005년)

(그림 5-39) 상용교 지점의 일별 유량





(2006년)



(2007년)

(그림 5-39) 상용교 지점의 일별 유량(계속)

### 3. 수질조사

#### 가. 조사지점 및 시기

하천 수질조사는 2004년 5월부터 2007년 4월 현재까지 동진강 상류유역의 하천수를 대상으로 하였다. 2004년 5월부터 2006년 2월까지의 동진강 상류부 주 하천에서 1점과 옥정호로부터 방류된 방류수중 일부가 관개하고 난 후 유입되는 횡유입수 1점을 포함하여 2개 지점이었다. 또한, 2006년 3월부터는 산외면 전체를 대상유역으로 확대하여 기존의 2개 지점을 포함한 전체 8개 지점에서 수질을 조사하였다. 한편, 수질샘플링은 관개시와 강우시를 기준으로 하였으며, 매월 1~7회까지 수질샘플링을 실시하였다.

<표 5-32> 수질조사 지점 주요교량 제원

교량명	위 치						구조	
	좌			우			총연장	폭
	행정구역	경도	위도	행정구역	경도	위도		
상용교	정량리 도원	127°2'48.4"	35°37'13.0"	정량리 상용	127°2'48.6"	35°37'14.6"	51m	7m
화죽교	화죽리 사가	127°4'7.9"	35°37'52.1"	화죽리 화정	127°2'48.4"	35°37'51.4"	30m	16m
상두교	상두리 만병	127°3'45.8"	35°37'58.8"	상두리 만병	127°2'48.4"	35°37'58.3"	24m	4m
하내교	화죽리 하내	127°4'54"	35°37'35.6"	화죽리 하내	127°2'48.4"	35°37'34.8"	30m	9m
산외교	정량리 안계	127°2'46.6"	35°37'9.4"	정량리 도원	127°2'48.4"	35°37'8.6"	38m	7m
이상교	동곡리 이치	127°0'57"	35°36'32.8"	동곡리 이치	127°2'48.4"	35°37'13.0"	80m	8m

주) 흐름방향을 기준으로 하여 좌, 우 구분

#### 나. 측정항목

하천 수질조사 항목으로는 2004년 5월부터 2006년 2월까지 수온, pH, EC, DO, COD, T-N, T-P, SS, BOD5 등 9개 항목을 기준으로 하였으며, 2006년 3월부터는 수온, pH, DO, COD, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, T-P, DTP, Chlorophyll-a, SS,

BOD5 등 14개의 항목으로 확대하였다.

#### 다. 분석방법

2004년 5월부터 2006년 2월 까지 상용교 지점의 하천수와 횡유입수의 수질시료는 1.5 L 폴리에틸렌용기에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하여 분석시료로 사용하였다. pH(TOA HM-21P), EC(WTW LF-538), DO(WTW 3430) 등은 현장에서 직접 측정하였으며, COD, SS, T-N, T-P, BOD 등은 1.5 L 폴리에틸렌용기에 물 시료를 채취하여 실험실로 운반하여 화학적산소요구량(COD)은 과망간산칼륨법, 부유물질(SS)은 유리섬유 거름종이법, 총질소(T-N)는 환원증류-킬달법, 총인(T-P)은 흡광광도법(아스코르빈산 환원법)등에 의거하여 분석하였다.

또한, 2006년 3월 이후부터는 4 L 폴리에틸렌용기에 8개 지점의 물 시료를 샘플링하여 분석하였고 pH(320 perpHec T), EC(Toledr meter), DO는 용존산소측정법으로, COD, SS, T-N, T-P, BOD 등은 이전과 같은 방법으로 그 외 암모니아성질소(NH<sub>3</sub>-N)은 흡광광도법(인도페놀법), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)은 이온크로마토그래프법, 아질산성질소(NO<sub>2</sub>-N)은 흡광광도법, 클로로필-a(Chlorophyll-a)는 흡광광도법, 용존총인(DTP : Dissolved total phosphorus)는 아르코빈산환원법으로 분석하였다.

#### 라. 수질조사 결과

본 조사에서 실시한 수질조사 항목은 2004년도 5월부터 2006년도 2월까지 2개 지점의 수온, DO, pH, EC, T-N, T-P, SS, COD, BOD 등 9개 항목에 대하여, 2006년도 3월 이후로 총 8개 지점의 수온, pH, DO, COD, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, T-P, DTP, Chlorophyll-a, SS, BOD5 등 총 14개 항목에 대한 수질분석을 수행하였다.

한편, (그림 5-40)과 (그림 5-41)는 전체 조사지점에서 T-N과 T-P의 수질분석결과를 나타낸 것이다.

질소성분은 수중에 무기형태의 질소와 유기형태의 질소로 존재하며, 그 형태에 따라서 수도생육에 미치는 영향이 다르게 나타나지만 어떤 형태든 과잉으로 공급되면 수도생육에 질소과잉장애가 발생한다. 전체 조사기간 동안 소유역별 수질농도는

SY#1에서 0.9~6.6mg/L의 범위로 평균 3.2mg/L였으며, SY#2는 1.8~6.9mg/L의 범위로 평균 4.4mg/L, SY#3는 1.4~9.7mg/L의 범위로 평균 4.5mg/L, SY#4는 1.3~8.9mg/L의 범위로 평균 3.7mg/L, SY#5는 0.2~10.3mg/L의 범위로 평균 2.6mg/L, SY#6은 1.2~5.8mg/L의 범위로 평균 2.1mg/L, SY#7은 1.5~4.5mg/L의 범위로 평균 2.3mg/L, SY#8는 1.5~4.4mg/L의 범위로 평균 2.4mg/L로 나타났다. 또한, 소유역별 표준편차를 살펴보면 전체 조사지점에서 0.670~1.762mg/L로 나타났는데 표준편차는 SY#5 > SY#3 > SY#4 > SY#1 > SY#2 > SY#6 > SY#8 > SY#7의 순으로 나타났다. 전반적으로 T-N의 경우에는 하천의 상류지점에서 다소 심한 변화폭을 나타냈으며, T-N 농도 섬진강유입수가 합류하기 이전 SY#1, SY#2, SY#3, SY#4의 조사지점에서 상대적으로 높게 나타났다. 반면, 섬진강유입수와 합류 후 SY#5, SY#6, SY#7, SY#8지점에서는 수질변화가 비교적 안정된 상태로 나타났으며, T-N의 수질농도 역시 낮은 수준이었다. 특히, 상용교지점 유입수(SY#5)는 비록 섬진강유입수와 일부 합류되어 T-N의 수질농도의 평균은 타지역에 비해 낮은 값을 나타내고 있으나 협소한 유역에 일시적인 오염원 유입으로 시기별 변화폭이 크게 나타나고 있었다.

인 성분은 수질악화의 원인인 부영양화를 일으키는 영양염류 중 하나로 일부의 생활하수, 농업유출, 축산폐수, 세제 등으로부터 유입된다. 총인(T-P)의 함량변화를 조사한 결과 SY#1은 0.009~0.272mg/L의 범위로 평균 0.091mg/L였으며, SY#2는 0.011~0.740mg/L의 범위로 평균 0.077mg/L, SY#3는 0.011~0.269mg/L의 범위로 평균 0.085mg/L, SY#4는 0.002~0.902mg/L의 범위로 평균 0.111mg/L, SY#5는 0.002~1.105mg/L의 범위로 평균 0.108mg/L, SY#6은 0.004~0.115mg/L의 범위로 평균 0.028mg/L, SY#7은 0.003~0.118mg/L의 범위로 평균 0.028mg/L, SY#8는 0.002~0.258mg/L의 범위로 평균 0.038mg/L였다. 표준편차는 0.030~0.159mg/L로 소유역별로 SY#5 > SY#4 > SY#2 > SY#1 > SY#8 > SY#3 > SY#7 > SY#6의 순으로 나타났다. T-P의 경우에도 T-N에서와 마찬가지로 비교적 상류지역에 위치한 지역에서 변화가 큰 것으로 나타났으며, T-P농도 또한 섬진강유입수와 합류되는 SY#6, SY#7, SY#8지점에서는 SY#1, SY#2, SY#3, SY#4 등의 수질조사지점보다 낮게 나타났다. 한편, 상용교지점 유입수(SY#5)지점은 T-N과 마찬가지로 전체 소유역내에서 평균은

그다지 높게 나타나지 않았으나, 전체 조사지점 수질농도 중 최고치인 1.105mg/L를 기록하고 있으며 일시적으로 상승하는 경향을 보였다.

BOD의 함량은 SY#1지점에서 0.3~4.0mg/L의 범위(평균 1.4mg/L)였으며, SY#2지점에서 0.2~3.7mg/L의 범위(평균 0.9mg/L)였으며, SY#3는 0.2~3.2mg/L의 범위(평균 0.8mg/L), SY#4는 0.3~6.0mg/L의 범위(평균 1.4mg/L)였으며, SY#5는 0.5~5.7mg/L의 범위(평균 1.6mg/L), SY#6은 0.3~2.1mg/L의 범위(평균 1.0mg/L), SY#7에서는 0.4~2.3mg/L의 범위(평균 1.0mg/L), SY#8은 0.4~2.2mg/L의 범위(평균 0.9mg/L)로 나타났다. 또한, 표준편차는 0.5~1.1mg/L까지 큰 차이는 없었으며, 소유역별로 SY#5 > SY#4 > SY#1 > SY#2 > SY#3 > SY#6 > SY#7, SY#8의 순으로 나타났다. 또한, BOD의 경우 T-N과 T-P에서 나타난바와 같이 상류지점에 위치한 소유역과의 차이는 나타나지 않았으나 상용교지점과 유입수를 비롯한 상류지점에서 다소 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

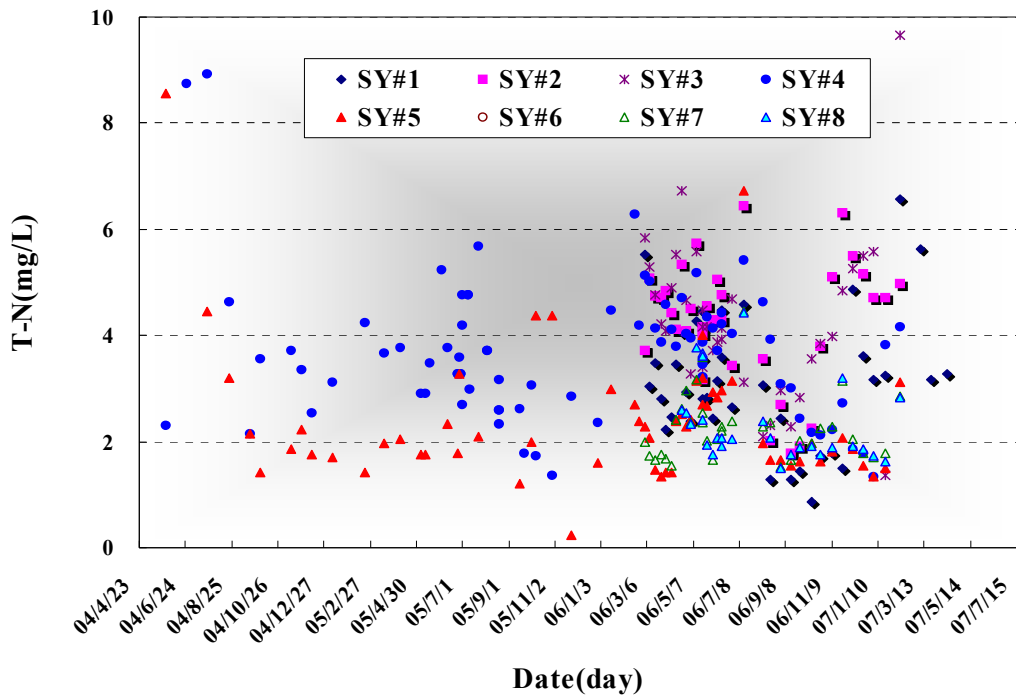
COD의 함량변화는 SY#1지점에서 1.90~10.70mg/L의 범위로 평균 3.87mg/L였으며, SY#2지점에서 0.40~9.60mg/L의 범위로 평균 2.44mg/L였으며, SY#3는 1.10~7.40mg/L의 범위로 평균 2.65mg/L, SY#4는 0.19~51.03mg/L의 범위로 평균 4.16mg/L였으며, SY#5는 0.39~26.60mg/L의 범위에 평균 4.74mg/L, SY#6은 1.20~5.70mg/L의 범위로 평균 3.50mg/L, SY#7에서는 2.10~6.30mg/L의 범위에 평균 3.06mg/L, SY#8은 1.60~5.20mg/L의 범위로 평균 2.83mg/L로 나타났다. 또한, 전체 유역에서 표준편차는 0.80~6.06mg/L의 범위였고 소유역별로 SY#4 > SY#5 > SY#2 > SY#1 > SY#3 > SY#6 > SY#7 > SY#8의 순으로 나타났다. COD의 경우 BOD와는 달리 섬진강유입수와 합류되기 전 지점인 상용교지점(SY#4)에서 수질 변화폭이 크게 나타났으며 섬진강유입수와 합류된 하류지점에서는 수질농도가 낮으며 비교적 안정된상태의 변화를 보였다.

이외의 수질항목에서 pH경우 6.2~9.8mg/L로 상용교유입수지점(SY#5)지점에서 일시적으로 높게 나왔을 뿐 대체로 일반적인 하천에서 나타나는 pH의 변화를 보였다. DO의 경우에는 전체 소유역 평균 8.1~9.6mg/L범위로 소유역별로 큰 차이를 보이지 않으며 하천의 1급수 수질기준치인 7.5mg/L이상으로 나타나 DO만으로 봤을 때는 상

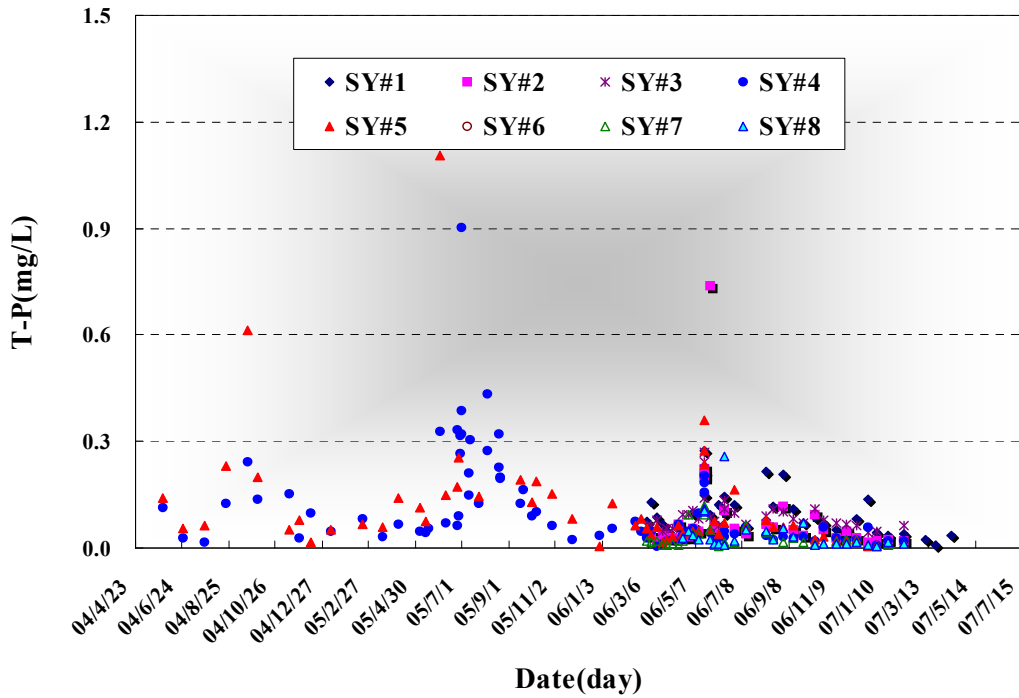
당히 양호한 것으로 나타났다. 또한, EC의 경우 SY#1지점에서 다른 지역보다 다소 높게 나타났는데 우려할 만한 정도는 아니었으며, SS의 경우에는 2004~2005년 사이 도로공사 시작시점에서 비교적 강우기에 일시적으로 토사유출 등으로 인해 높게 나타나고 있었을 뿐 평수기에는 비교적 낮은 수치를 기록하고 있었다.

하천의 조류발생정도를 나타내는 대표적인 수질항목인 chlorophyll-a는 소유역 전체에서 미검출~23.1mg/L로 나타났다. 소유역별로 SY#2지점에서 다소 높게 나타났는데, 이는 조류번식을 위한 영양물질의 유입이라기보다는 갈수기 상류로부터 유하하는 유수의 흐름이 적어 하천바닥에 유수가 정체되어 있기 때문으로 판단된다.

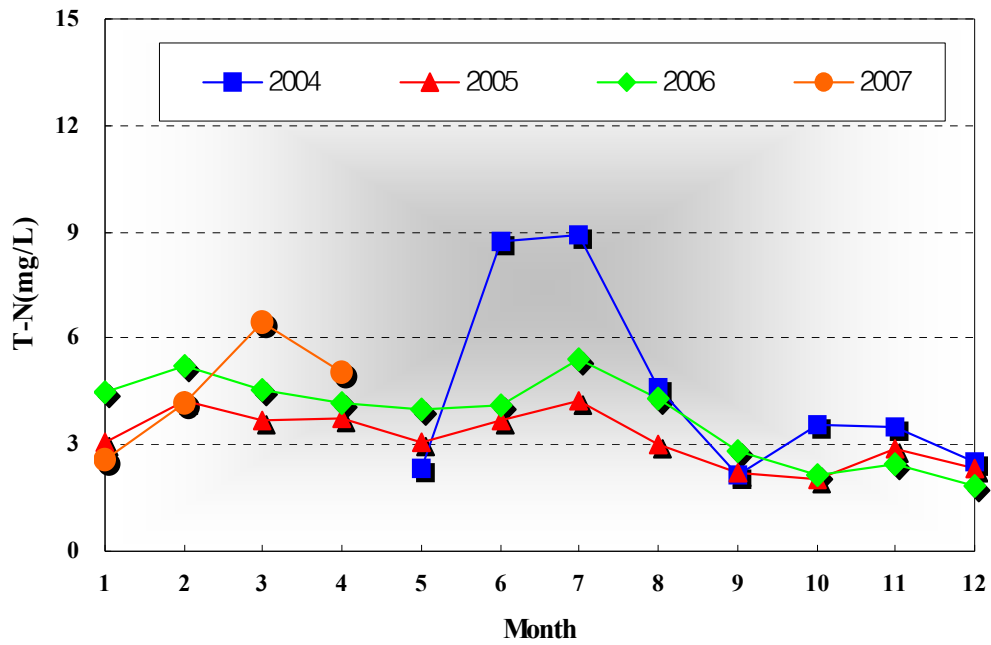
한편, 본 대상유역의 경우 T-N과 T-P의 시기별 변화를 장기간으로 관측된 자료를 살펴보기 위해 (그림 5-42)과 (그림 5-43)와 같이 나타내었다. 그림은 도원천 유역에서 수질관측과 수문관측이 이뤄지고 있는 대표지점인 상용교지점(SY#4)의 각 연도별 수질자료를 월별 평균치를 그림으로 나타낸 것으로 본 수질조사의 시작시점인 2004년 5월부터 2007년 4월까지의 자료이다. 도원천 상용교지점의 T-N의 시기별 수질변화를 살펴보면 2004년의 경우 4.548mg/L으로 다소 높게 나타났다가 2005년(3.190mg/L), 2006년(3.793mg/L)에는 다소 낮게 나타났으며 2007년(4.563mg/L)에는 다시 상승하는 변화를 보이고 있다. 또한, 각 월별로는 장마기에 접어드는 6월, 7월경에 다소 높게 나타났다가 장마기와 더불어 점차로 하강하는 것으로 나타났다. T-P의 경우에는 연도별로 2004년에 평균 0.105mg/L이었다가 2005년에는 0.116mg/L로 상승하였다가 2006년 이후로 0.1mg/L이하로 급격히 감소하는 경향을 이었다. 시기별 T-P의 함량은 강우기와 농업활동이 활발한 7월에서 9월 사이에 높게 나타났으며, 갈수기에 접어들면서 점차로 낮아서 0.1mg/L이하로 낮게 나타났다.



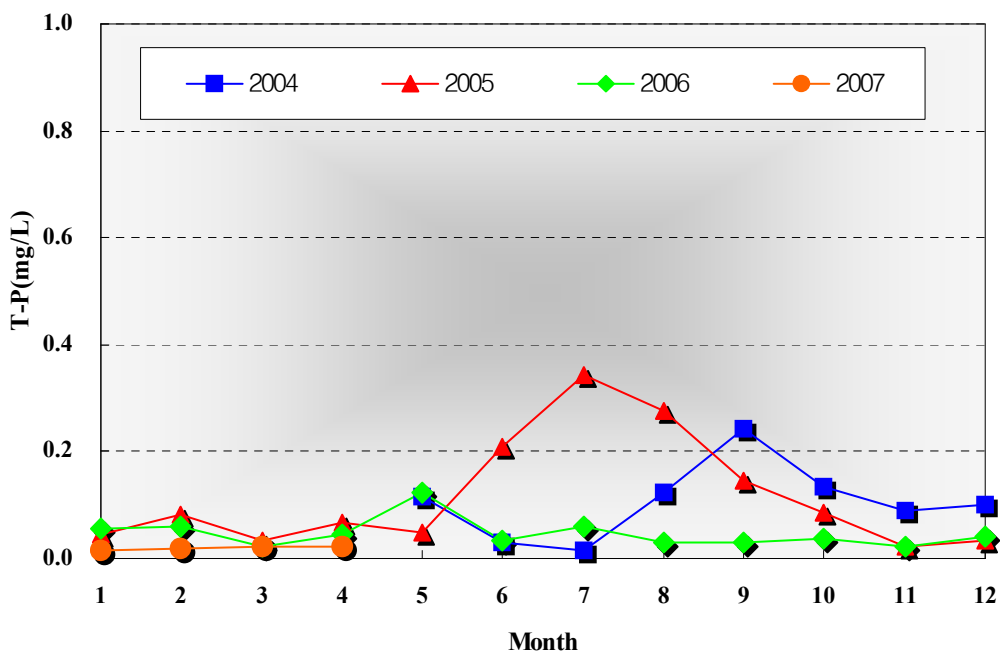
(그림 5-40) 동진강유역 하천의 T-N변화



(그림 5-41) 동진강유역 하천의 T-P변화



(그림 5-42) 동진강유역 상용교지점 T-N의 월별변화



(그림 5-43) 동진강유역 상용교지점 T-P의 월별변화



#### 마. 수질항목간의 상관성 분석

앞서 수질조사자료에서 소유역별 수질의 변화를 살펴보았는데 수질항목간의 관계를 고찰하기 위해 수질항목간의 상관성 분석을 실시하였다. 수질항목간의 상관분석은 수질자료항목의 인과관계를 나타내는 것은 아니지만 이들의 관계를 분석함으로써 본 유역의 수질항목간의 이해의 폭을 넓히고자 분석하였다. 수질항목의 상관분석에 각 수질조사지점별로 최근 1년 동안의 수질자료(BOD의 경우  $n=29$ , 그 외  $n=31$ )를 사례수로 선정하여 <표 5-33>과 같이 수질항목간 Pearson의 상관관계 분석을 실시하였다.

분석결과 수질조사지점별로 수질항목간의 상관계수가 다소 차이가 있었으나, 수온, T-P, SS, COD, BOD등의 수질항목에서 수질조사지점별로 일관된 상관관계를 나타내었다. 수온의 경우 SY#1에서 SY#8지점까지 모두 조사지점에서 DO와 부(-)의 비교적 높은 상관관계를 나타내었으며, 상관계수는  $-0.622 \sim -0.922$ ( $p < 0.001$ )범위로 나타났다. T-N의 경우 전기전도(EC)와의 관계에서 상관성을 나타내었으나, 이는 수질조사지역별로 양(+), 부(-)를 달리하는 상반된 방향성을 보여 일관된 자료로 도출하기에는 어려웠다. T-P의 경우 T-N과는 달리 다른 항목과의 관계에서 대체로 수질조사지점별로 SS, COD, BOD와 일관된 상관관계를 보였고, 이중 BOD와는 상관계수가 0.483에서 0.930까지 양(+ )의 높은 상관계수를 나타내었다. 또한, BOD의 경우에는 앞서 설명한 T-P외에도 SS, COD와의 관계에서 상호간에 유의성 있는 양(+ )의 상관관계를 나타내었다.

<표 5-33> 수질조사지점별 주요 수질항목간 상관분석

<SY#1>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-0.756**	1.000							
pH	-0.192	0.167	1.000						
EC	0.235	-0.411*	-.497**	1.000					
T-N	.065	-0.227	-.136	.631**	1.000				
T-P	.103	-.128	.435*	-.195	.024	1.000			
SS	.106	-.159	.345	-.060	-.015	.904**	1.000		
COD	.151	-.072	.135	-.027	-.064	.634**	.567**	1.000	
BOD	.073	-.031	.284	-.057	-.054	.849**	.817**	.731**	1.000

\*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함, \* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함

<SY#2>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.622**	1.000							
pH	.444*	-.306	1.000						
EC	-.438*	-.067	-.357	1.000					
T-N	-.633**	.452*	-.248	.590**	1.000				
T-P	.175	-.209	.297	-.148	-.121	1.000			
SS	.027	.055	.200	-.418*	-.211	.271	1.000		
COD	.209	-.029	.399	-.442*	-.247	.334	.841**	1.000	
BOD	.203	-.010	.391*	-.470*	-.261	.930**	.826**	.966**	1.000

<표 5-33> 수질조사지점별 주요 수질항목간 상관분석 (계속)

<SY#3>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.846**	1.000							
pH	-.126	.011	1.000						
EC	-.289	.184	-.470**	1.000					
T-N	-.637**	.397*	-.115	.445*	1.000				
T-P	.297	-.356*	.268	-.321	-.160	1.000			
SS	.023	.015	.362*	-.429*	-.085	.812**	1.000		
COD	-.002	.050	.405*	-.538**	-.203	.785**	.913**	1.000	
BOD	.139	-.066	.255	-.465*	-.166	.829**	.913**	.869**	1.000

<SY#4>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.756**	1.000							
pH	-.192	.167	1.000						
EC	.235	-.411*	-.497*	1.000					
T-N	.065	-.227	-.136	.631**	1.000				
T-P	.103	-.128	.435*	-.195	.024	1.000			
SS	.106	-.159	.345	-.060	-.015	.904**	1.000		
COD	.151	-.072	.135	-.027	-.064	.634**	.567**	1.000	
BOD	.073	-.031	.284	-.057	-.054	.849**	.817**	.731**	1.000

<표 5-33> 수질조사지점별 주요 수질항목간 상관분석 (계속)

<SY#5>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.858**	1.000							
pH	-.348	.288	1.000						
EC	.235	-.257	.083	1.000					
T-N	.321	-.344	-.154	.805**	1.000				
T-P	.338	-.339	.103	.466**	.303	1.000			
SS	.140	-.147	.167	.400*	.256	.899**	1.000		
COD	.278	-.237	-.069	.258	.026	.791**	.773**	1.000	
BOD	.348	-.350	.070	.439*	.304	.910**	.905**	.845**	1.000

<SY#6>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.922**	1.000							
pH	.303	-.434*	1.000						
EC	-.291	.227	-.229	1.000					
T-N	-.209	.248	-.377	.497	1.000				
T-P	.283	-.216	-.119	-.012	.396	1.000			
SS	.258	-.184	.096	.077	.382	.554**	1.000		
COD	.318	-.218	.150	-.542	-.342	-.085	-.004	1.000	
BOD	.492**	-.449*	.031	.001	.101	.483**	.667**	.352	1.000

<표 5-33> 수질조사지점별 주요 수질항목간 상관분석 (계속)

<SY#7>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.909**	1.000							
pH	.247	-.479	1.000						
EC	-.350	.265	.077	1.000					
T-N	-.101	.095	.054	.485**	1.000				
T-P	.175	-.246	.344	.045	.419*	1.000			
SS	.133	-.203	.278	.062	.102	.732**	1.000		
COD	.211	-.124	-.064	-.447*	-.236	.233	.354	1.000	
BOD	.333	-.345	.286	-.202	.055	.669**	.730**	.589**	1.000

<SY#8>

항목	수온	DO	pH	EC	T-N	T-P	SS	COD	BOD
수온	1.000								
DO	-.907**	1.000							
pH	.367*	-.540**	1.000						
EC	-.366*	.316	-.035	1.000					
T-N	-.105	.097	-.047	.442	1.000				
T-P	.245	-.307	.205	.017	.144	1.000			
SS	.161	-.222	.224	-.023	.352	.443*	1.000		
COD	.286	-.278	.050	-.313	-.115	.401*	.458**	1.000	
BOD	.407*	-.436*	.256	-.278	.249	.762**	.814**	.658**	1.000

**바. 오염부하량의 산정**

오염원은 여러형태로 하천유역에 영향을 미치고 있어 각각의 특성에 따라 명확히 해석하기에는 어려움이 많다. 이에 본 연구에서는 오염원에 대한 정량적인 해석을 위해 발생오염부하량과 유출오염부하량을 산정하였다.

### 1) 발생오염부하량

발생오염부하량은 인구, 축산, 토지이용에 의한 발생 원단위를 기준으로 산외면에 위치한 시험유역을 대상으로 소유역별로 구분하여 산정하였다. 현재 환경부에서 활용하고 있는 발생오염 원단위는 <표 5-34> ~ <표 5-36>에서 보는 바와 같으며, 이를 이용하여 산외면의 2001년부터 2005년까지 인구, 축산, 토지이용자료에 적용하여 5개년 평균 발생부하량을 산정하면 <표 5-37>에서 보는 바와 같다.

BOD의 경우 5개년 평균 발생오염부하량이 1,546,626.7 kg/yr 소유역별로 SY#1유역에서 199,933.3 kg/yr로 전체의 12.9%를 차지하였고, SY#2유역은 132,445.9 kg/yr로 8.6%, SY#3유역은 148,363.0 kg/yr(9.6%), SY#4유역에서 발생부하량은 274,168.8 kg/yr(17.7%)이었고, SY#5유역은 47,718.6 kg/yr(3.1%), SY#6유역에서 452,126.6 kg/yr(29.2%)로 가장 많이 발생하는 것으로 나타났고, SY#7은 257,364.7 kg/yr(16.6%)이었고, SY#8유역은 34,505.9 kg/yr로 전체의 2.2%를 차지하는 것으로 나타났다. 한편, 대상유역전체에서 인구에 의한 BOD 발생부하량은 59,156.4 kg/yr로 전체의 3.8%가량이며, 축산에 의한 발생부하량은 1,434,927.8kg/yr로 92.8%로 대부분을 차지하고 있었으며, 토지이용에 따른 발생부하량은 52,542.4 kg/yr로 3.4%로 나타났다.

T-N의 발생오염부하량은 전체 416.9ton/yr으로 나타났으며, 소유역별로 SY#1유역에서 52,903.2 kg/yr로 전체의 12.7%를 차지하였고, SY#2유역은 37,742.8 kg/yr로 9.1%, SY#3유역은 38,575.9 kg/yr(9.3%), SY#4유역에서 발생부하량은 73,984.3 kg/yr(17.7%)이었고, SY#5유역은 12,121.1 kg/yr(2.9%), SY#6유역에서 119,775.4 kg/yr(28.7%)로 BOD에서와 마찬가지로 가장 많이 발생하는 것으로 나타났고, SY#7은 71,791.1 kg/yr(17.2%)이었고, SY#8유역은 10,007.1 kg/yr로 전체의 2.4%를 차지하는 것으로 나타났다. T-N의 경우 인구에 의한 발생부하량은 15,936.0 kg/yr로 전체의 3.8%, 축산에 의한 발생부하량은 329,562.9 kg/yr로 79.1%, 토지이용에 의해서는 71,402.0 kg/yr로 17.1%로 나타났다.

T-P의 발생오염부하량은 전체 416,900.9kg/yr으로 나타났으며, 소유역별로 SY#1유역에서 16,574.7 kg/yr(13.3%)였고, SY#2유역은 12,302.3 kg/yr(9.9%), SY#3유역은

12,002.3 kg/yr(9.6%), SY#4유역에서 발생부하량은 23,446.0 kg/yr(18.8%)이었으며, SY#5유역은 3,542.8 kg/yr(2.8%), SY#6유역에서 33,848.1 kg/yr(27.2%), SY#7은 19,963.5 kg/yr(16.0%)이었고, SY#8유역은 2,879.6 kg/yr로 전체의 2.3%를 차지하는 것으로 나타났다. T-P의 발생부하량은 인구는 전체의 1.4%, 축산에서는 94.7%, 토지이용에서 발생하는 비율은 3.8%로 나타났다.

본 유역에서 발생오염부하량에 큰 영향을 미치는 요인은 축산으로 나타났으며, 소유역별로 축산형태에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 한우사육에 따른 오염발생이 가장 큰 것으로 나타났다. (그림 5-44)는 각 소유역별 단위면적당 평균 발생부하량을 나타낸 것으로, BOD, T-N, T-P의 발생부하량은 상대적으로 SY#5유역이 가장 높게 나타났는데 이는 타유역에 비해 상대적으로 협소한 면적에 축산단지 등이 밀집되어있기 때문으로 판단된다. 또한, (그림 5-45)~(그림 5-47)은 2001~2005년까지 소유역별 인구, 축산, 토지이용의 BOD, T-N, T-P의 연도별 발생부하량을 나타낸 것이다.

<표 5-34> 인구에 의한 발생 원단위 [단위 : g/인/day]

구 분		BOD	TN	TP
시가화	가정	50	10.5	1.2
	영업	26	8.0	0.7
비시가화	가정	49	13.2	1.5
	영업	26	8.0	0.7

<표 5-35> 축산에 의한 발생 원단위 [단위 : g/두/day]

구 분		젓소	한우	돼지	가금
BOD	분	516	485	96	5
	노	40	43	13	0
	합계	556	528	109	5
TN	분	115.6	80.8	16.0	1.1
	노	46.2	36.0	11.7	0
	합계	161.8	116.8	27.7	1.1
TP	분	54.1	34.3	11.2	0.4
	노	2.5	1.8	1.0	0.0
	합계	56.6	36.1	12.2	0.4

<표 5-36> 토지이용에 의한 발생 원단위 [단위 : kg/km<sup>2</sup>/day]

구 분	BOD	TN	TP
논	2.3	6.56	0.61
밭	1.6	9.44	0.24
임야	1.0	2.20	0.14
대지	85.9	13.69	2.10
기타	1.0	0.06	0.03

<표 5-37> 소유역별 BOD 원단위 발생오염부하량 [단위 : kg/yr]

구 분	인구	축산			토지이용					계(%)
		한우	돼지	가금	전	답	임야	대지	기타	
SY#1	4,685.9	98,557.0	61,231.5	30,558.9	302.8	334.3	2,160.1	1,967.4	135.4	199,933.3(12.9)
SY#2	4,367.5	48,411.3	75,098.2	16.3	207.5	435.6	1,808.9	1,981.9	118.8	132,445.9(8.6)
SY#3	3,537.7	77,743.2	38,406.1	25,211.5	197.7	268.1	1,436.9	1,466.2	95.6	148,363.0(9.6)
SY#4	8,999.7	134,402.9	107,785.5	14,963.8	356.6	825.9	2,815.0	3,803.2	216.1	274,168.8(17.7)
SY#5	7,454.5	24,012.9	11,744.5	3,687.1	33.8	110.9	203.8	444.9	26.3	47,718.6(3.1)
SY#6	17,774.1	281,833.7	60,186.7	76,696.3	786.8	1,295.6	5,223.9	7,984.5	345.0	452,126.6(29.2)
SY#7	10,444.8	160,535.8	54,155.3	18,899.9	423.0	1,564.7	3,417.0	7,580.3	343.8	257,364.7(16.6)
SY#8	1,892.2	14,492.5	11,553.6	4,743.1	63.5	265.8	483.7	951.9	59.6	34,505.9(2.2)
소계	59,156.4	839,989.4	420,161.4	174,777.0	2,371.6	5,100.8	17,549.2	26,180.2	1,340.6	1,546,626.7
		1,434,927.8			52,542.4					(100.0)

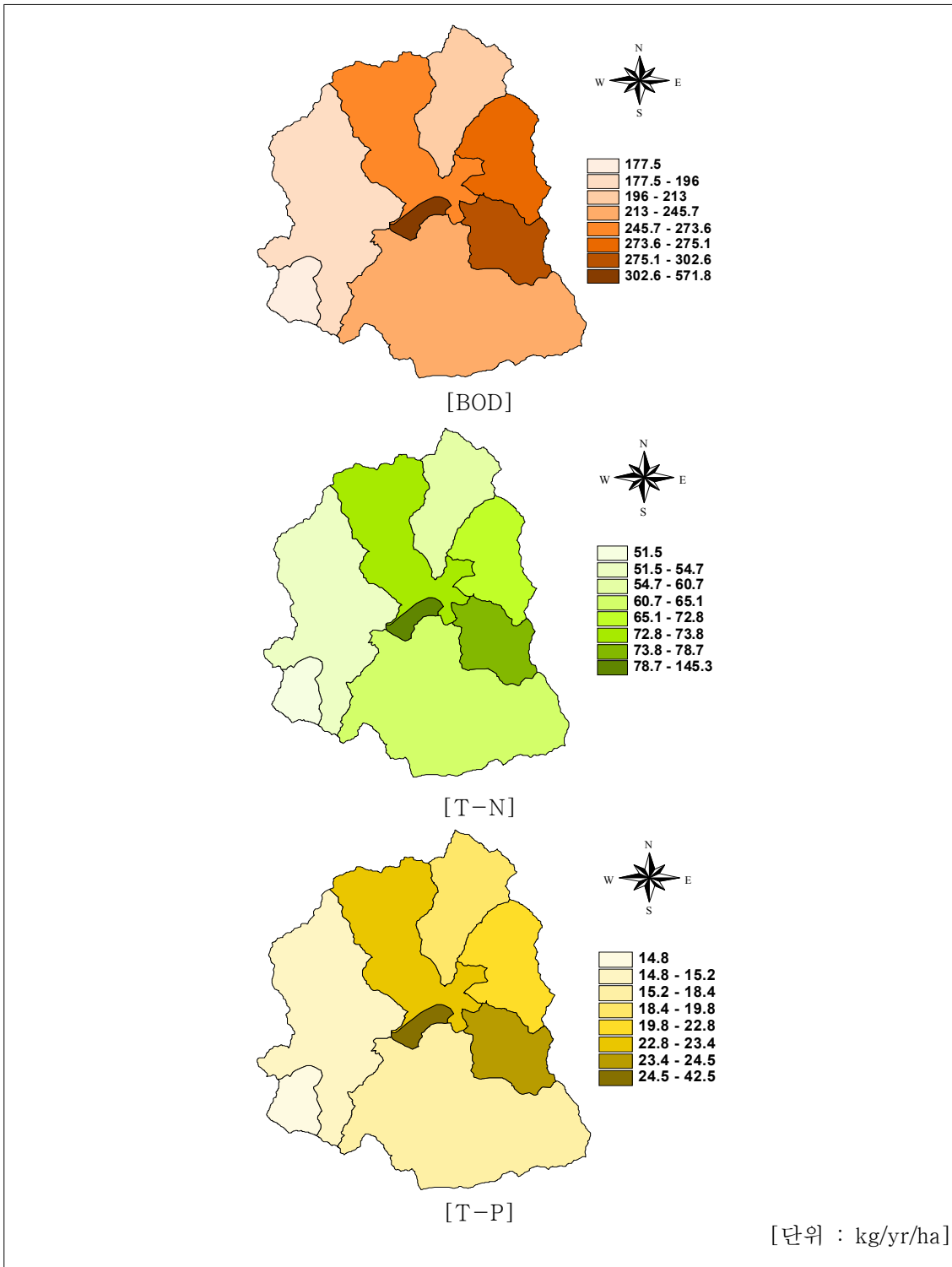


<표 5-38> 소유역별 T-N 원단위 발생오염부하량 [단위 : kg/yr]

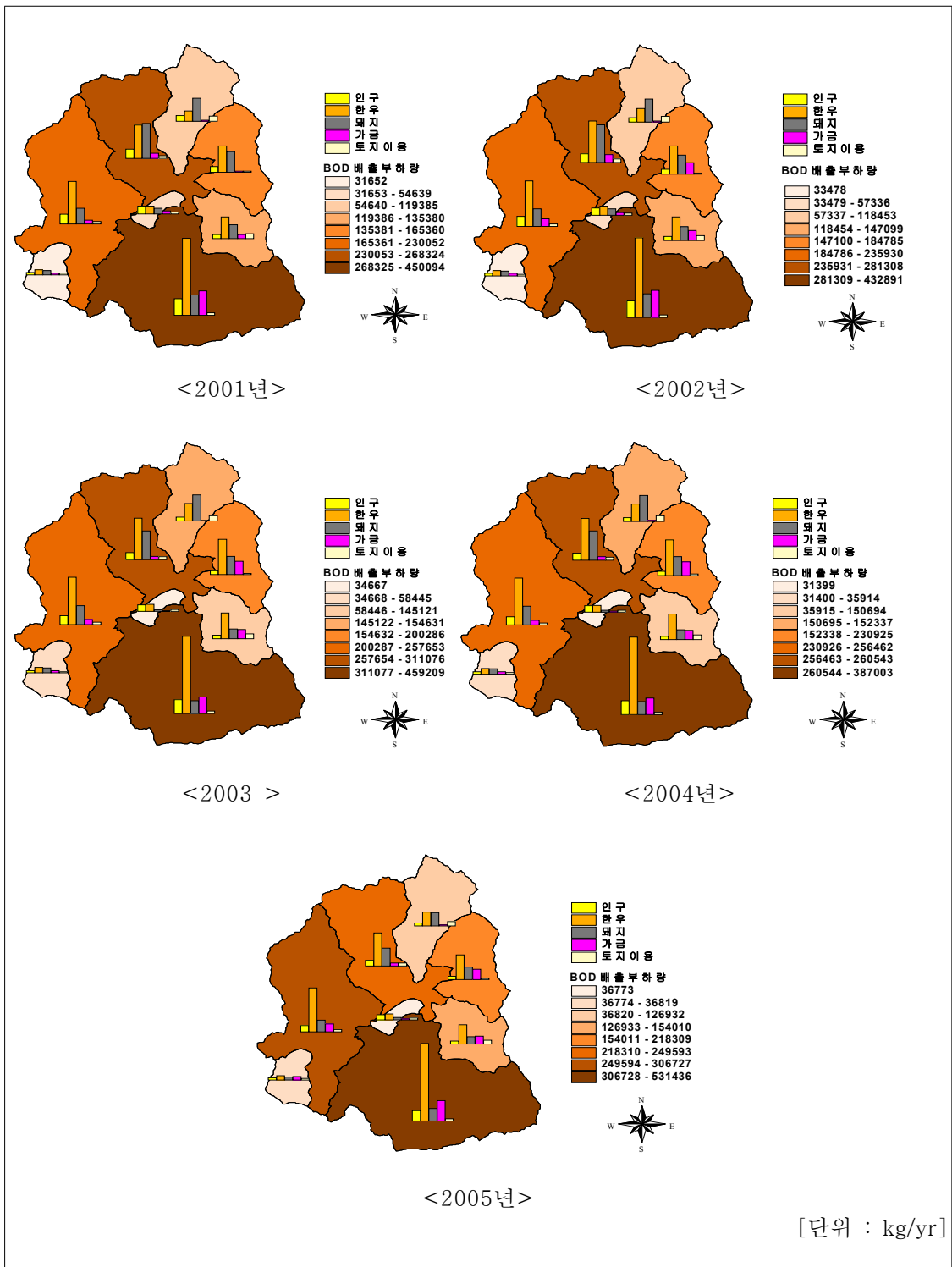
구 분	인구	축산			토지이용					계
		한우	돼지	가금	전	답	임야	대지	기타	
SY#1	1,262.3	21,802.0	15,560.7	6,464.4	1,786.6	953.4	4,752.1	313.5	8.1	52,903.2(12.7)
SY#2	1,176.6	10,709.2	19,084.6	3.5	1,224.0	1,242.5	3,979.6	315.9	7.1	37,742.8(9.1)
SY#3	953.0	17,197.7	9,760.1	5,333.2	1,166.7	764.5	3,161.2	233.7	5.7	38,575.9(9.3)
SY#4	2,424.4	29,731.6	27,391.4	3,165.4	2,103.8	2,355.6	6,193.0	606.1	13.0	73,984.3(17.7)
SY#5	2,008.1	5,311.9	2,984.6	780.0	199.4	316.3	448.3	70.9	1.6	12,121.1(2.9)
SY#6	4,788.1	62,345.0	15,295.2	16,224.2	4,642.1	3,695.2	11,492.5	1,272.5	20.7	119,775.4(28.7)
SY#7	2,813.7	35,512.5	13,762.4	3,998.1	2,495.5	4,462.9	7,517.3	1,208.1	20.6	71,791.1 (17.2)
SY#8	509.7	3,205.9	2,936.1	1,003.3	374.5	758.0	1,064.2	151.7	3.6	10,007.1(2.4)
소계	15,936.0	185,815.8	106,775.0	36,972.1	13,992.6	14,548.4	38,608.2	4,172.4	80.4	416,900.9
		329,562.9			71,402.0					(100.0)

<표 5-39> 소유역별 T-P 원단위 발생오염부하량 [단위 : kg/yr]

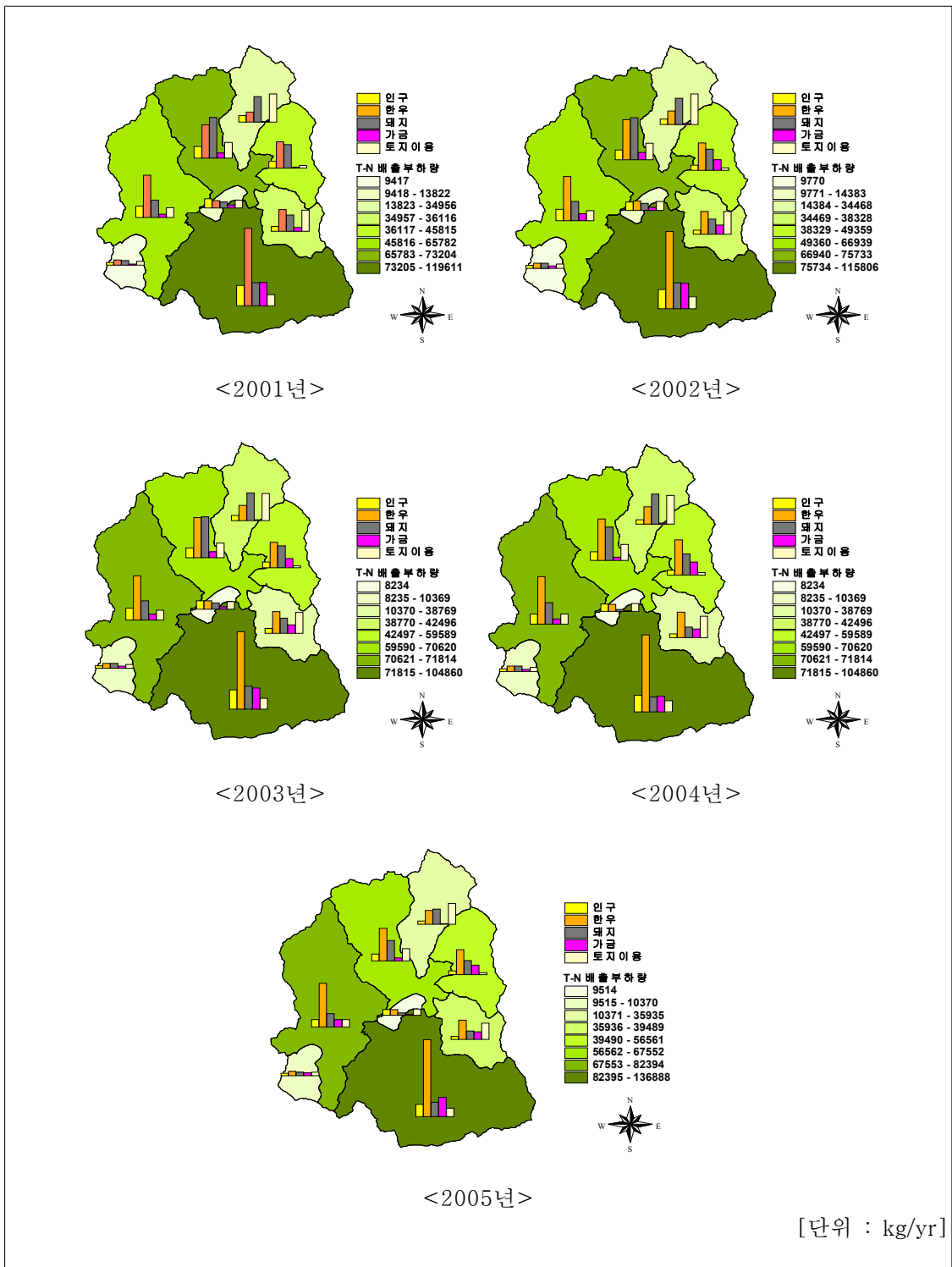
구 분	인구	축산			토지이용					계(%)
		한우	돼지	가금	전	답	임야	대지	기타	
SY#1	143.4	6,738.5	6,853.4	2,350.7	45.4	88.7	302.4	48.1	4.1	16,574.7(13.3)
SY#2	133.7	3,309.9	8,405.5	1.3	31.1	115.5	253.2	48.5	3.6	12,302.3(9.9)
SY#3	108.3	5,315.4	4,298.7	1,939.3	29.7	71.1	201.2	35.8	2.9	12,002.3(9.6)
SY#4	275.5	9,189.3	12,064.1	1,151.1	53.5	219.0	394.1	93.0	6.5	23,446.0(18.8)
SY#5	228.2	1,641.8	1,314.5	283.6	5.1	29.4	28.5	10.9	0.8	3,542.8 (2.8)
SY#6	544.1	19,269.3	6,736.5	5,899.7	118.0	343.6	731.3	195.2	10.4	33,848.1(27.2)
SY#7	319.7	10,976.0	6,061.4	1,453.8	63.4	415.0	478.4	185.3	10.3	19,963.5(16.0)
SY#8	57.9	990.9	1,293.2	364.9	9.5	70.5	67.7	23.3	1.8	2,879.6(2.3)
소계	1,810.9	57,431.1	47,027.2	13,444.4	355.7	1,352.8	2,456.9	640.0	40.2	124,559.3
		117,902.7			4,845.7					(100.0)



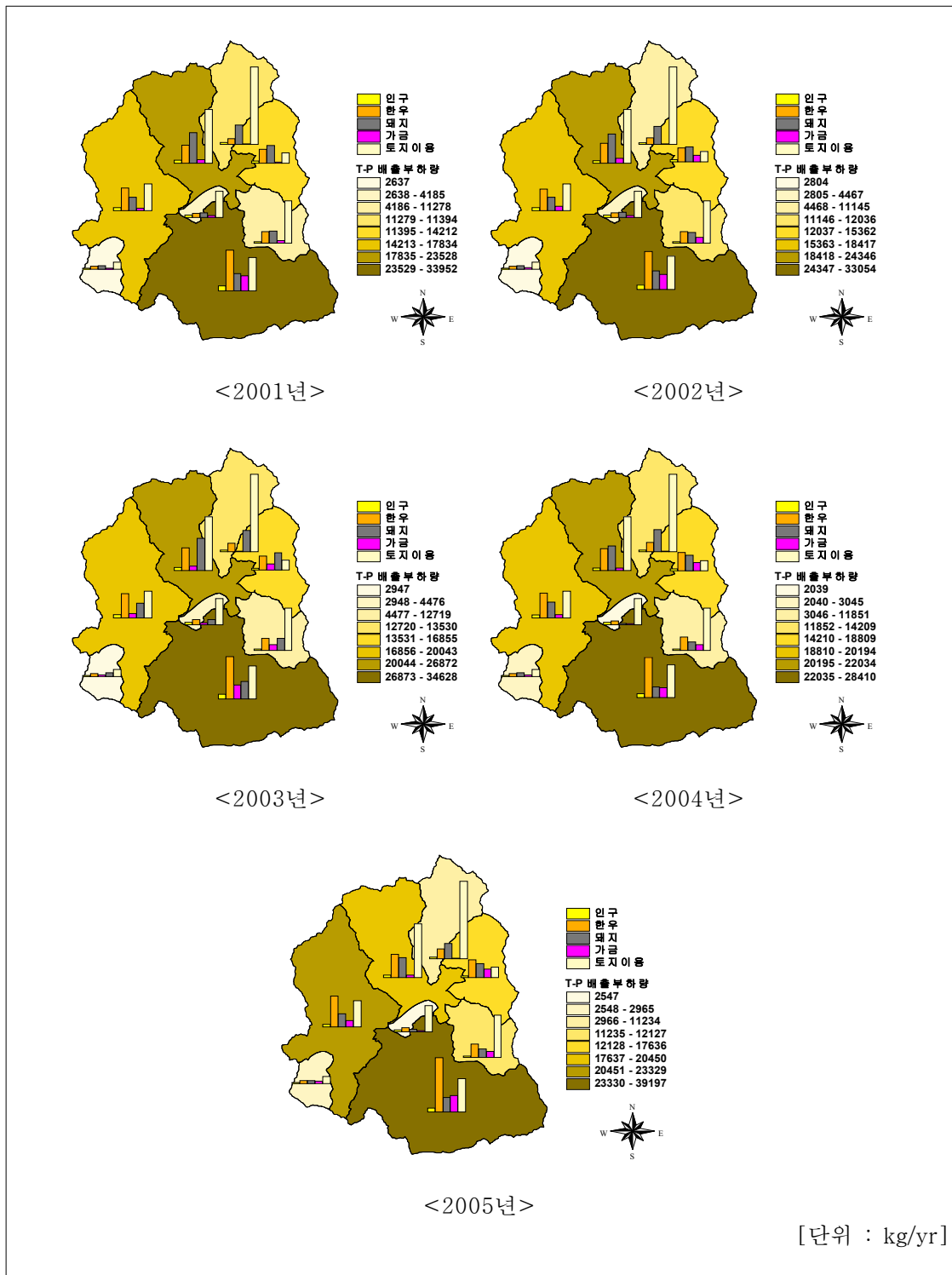
(그림 5-44) 단위면적당 발생오염부하량



(그림 5-45) 연도별 BOD 발생오염부하량



(그림 5-46) 연도별 T-N 발생오염부하량



(그림 5-47) 연도별 T-P 발생오염부하량

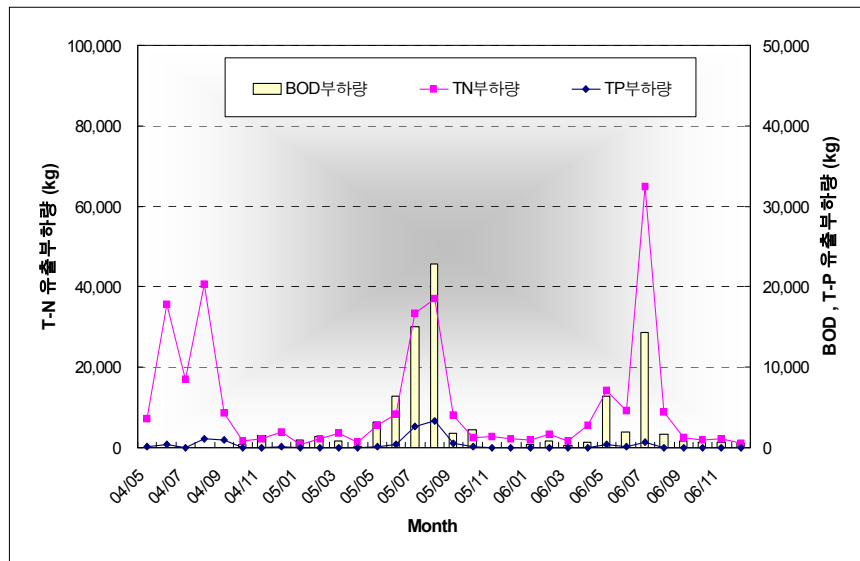
## 2) 유출오염부하량

유출오염부하량은 현재 운영중인 수위-유량측정지점인 상용교지점을 대상으로 유량분석결과에 BOD, T-N, T-P의 수질분석결과를 적용하여 산정하였고, 다음 <표 5-40>는 2004년 5월부터 2006년 12월까지의 유출량 및 유출부하량을 각 월별로 평균하여 나타낸 값이다. 먼저, 상용교지점의 년평균 유출량은 28,684.3 천m<sup>3</sup>으로 장마기인 5월에 전체의 9.9%, 6월에는 10.0%로 점차로 상승하여 8월에는 26.9%로 가장 많은 유출을 보였다가 9월 이후로 점차 유출량이 감소하는 경향을 보였다.

수질항목별 유출부하량을 살펴보면 BOD의 경우 43,740.3 kg의 유출 부하량이 발생하였으며, 각 월별로는 5월에서 8월 사이에 전체의 약 84%인 35,905.0kg이 유출되는 것으로 나타났다. T-N의 유출부하량은 전체 118,015.3kg이 발생하였으며 5월에서 8월 사이에 전체의 79.8%가 유출에 의한 부하량이 발생하고 있는 것으로 나타났다. T-P의 경우에는 3,969.7 kg이 발생하였으며 BOD, T-N에서와 마찬가지로 5월에서 8월 사이 강우-유출과 더불어 다량이 유출된 것으로 나타났다. (그림 5-48)는 2004년 5월부터 2006년 12월까지의 BOD, T-N, T-P의 월별 유출부하량의 변화를 나타낸 것으로 시기별로 비슷한 양상의 변화를 보이고 있으나 T-N 부하량은 BOD의 3배 가량 높게 나타나고 있으며, T-P 부하량 30배가량 높은 수준이었다.

<표 5-40> 상용교지점 3개년 월별 평균유출부하량

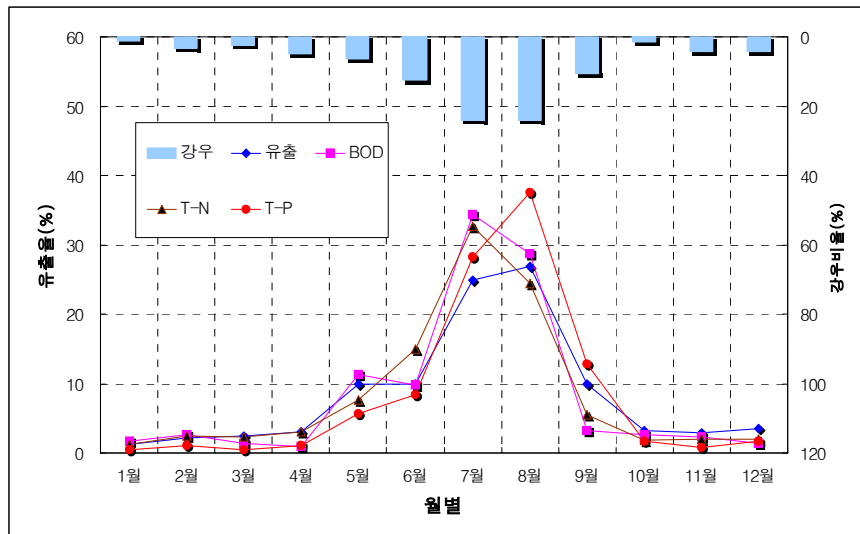
월별	유출		BOD		T-N		T-P	
	유출량 (천m <sup>3</sup> )	비율 (%)	부하량 (kg)	비율 (%)	부하량 (kg)	비율 (%)	부하량 (kg)	비율 (%)
1월	369.4	1.3	687.7	1.6	1,445.9	1.2	19.2	0.5
2월	601.4	2.1	1,113.9	2.6	2,867.1	2.4	42.9	1.1
3월	697.9	2.4	558.3	1.3	2,734.2	2.3	20.8	0.5
4월	868.4	3.0	417.5	1.0	3,534.0	3.0	42.2	1.1
5월	2,843.8	9.9	4,827.9	11.3	9,049.8	7.7	295.7	7.4
6월	2,859.2	10.0	4,160.3	9.7	17,718.5	15.0	222.0	5.6
7월	7,125.6	24.8	14,680.2	34.3	38,505.7	32.6	1,130.3	28.5
8월	7,720.4	26.9	12,236.5	28.6	28,881.3	24.5	1,510.3	38.0
9월	2,868.4	10.0	1,346.1	3.1	6,417.4	5.4	515.5	13.0
10월	897.9	3.1	1,131.5	2.6	2,111.4	1.8	69.0	1.7
11월	822.8	2.9	983.3	2.3	2,386.1	2.0	32.8	0.8
12월	1,009.2	3.5	597.1	1.4	2,363.7	2.0	69.0	1.7
계	28,684.3	100.0	42,740.3	100.0	118,015.3	100.0	3,969.7	100.0



(그림 5-48) 상용교지점 유출부하량의 변화

한편, (그림 5-49)는 월별 유출량, BOD, T-N, T-P의 부하량의 유출형태를 살펴보기 위해 2004년 5월에서 2006년 12월까지의 월별 평균 강우비율, 하천 유출율, 수질부하량 유출율 등으로 구분하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 하천의 유출은 강우비율과 비슷한 형태로 강우가 다량으로 발생한 8월경에 높게 나타나고 있다.

그러나, 수질부하량의 유출변화를 살펴보면 BOD와 T-N은 강우비율, 하천유출과 달리 7월에 최고치를 보이고 있었으며, T-P 부하량의 경우 강우비율, 하천유출과 동일한 8월경에 최고치를 기록하고 있었다. 이 결과를 통해 볼 때 수질부하량 중 T-N과 BOD 부하량은 일정수준 이상의 강우가 발생하는 강우-유출초기에 유출이 발생하고 있음을 알 수 있었다.



(그림 5-49) 수질항목별 부하량의 유출변화

한편, 유출오염부하량의 각 년도에 따른 월별 변화는 다음 <표 5-41>에 나타낸 바와 같다.



<표 5-41> 상용교지점 연도별 월별 유출부하량 (2004년)

월별	월유출용적 (m <sup>3</sup> )	BOD부하량 (kg)	TN부하량 (kg)	TP부하량 (kg)
04/05	3,138,467.5	-	7,218.5	357.8
04/06	4,073,969.4	-	35,655.4	114.1
04/07	1,907,114.4	-	17,017.2	26.7
04/08	8,751,150.9	-	40,535.3	1,085.1
04/09	4,051,436.6	-	8,662.0	984.5
04/10	480,138.6	480.1	1,710.7	64.8
04/11	631,609.0	1,326.4	2,231.5	56.2
04/12	1,522,473.9	-	3,865.6	150.7
총계	24,556,360.3	1,806.5	116,896.1	2,840.0

<표 5-41> 상용교지점 연도별 월별 유출부하량 (2005년) (계속)

월별	월유출용적 (m <sup>3</sup> )	BOD부하량 (kg)	TN부하량 (kg)	TP부하량 (kg)
05/01	303,178.2	939.9	940.8	13.9
05/02	553,494.1	1,383.7	2,341.8	45.9
05/03	999,932.1	799.9	3,666.8	33.0
05/04	404,408.2	202.2	1,525.7	27.2
05/05	1,840,859.3	3,190.8	5,698.4	91.1
05/06	2,280,441.2	6,430.8	8,373.2	477.7
05/07	7,496,118.7	14,992.2	33,543.7	2,645.7
05/08	12,328,582.2	22,807.9	37,182.4	3,384.3
05/09	3,664,092.8	1,832.0	8,065.1	533.7
05/10	1,270,641.6	2,160.1	2,606.3	106.8
05/11	983,164.6	-	2,812.2	22.6
05/12	907,955.1	-	2,135.0	31.6
총계	33,032,868.3	54,739.7	108,891.4	7,413.6

<표 5-41> 상용교지점 연도별 월별 유출부하량 (2006년) (계속)

월별	월유출용적 (m <sup>3</sup> )	BOD부하량 (kg)	TN부하량 (kg)	TP부하량 (kg)
06/01	435,614.6	435.61	1,951.1	24.4
06/02	649,213.0	843.98	3,392.4	39.9
06/03	395,796.6	316.64	1,801.7	8.6
06/04	1,332,383.7	632.88	5,542.4	57.3
06/05	3,552,198.9	6,465.00	14,232.5	438.1
06/06	2,223,279.6	1,889.79	9,127.0	74.3
06/07	11,973,491.7	14,368.19	64,956.2	718.4
06/08	2,081,434.8	1,665.15	8,926.2	61.4
06/09	889,756.0	860.10	2,525.1	28.2
06/10	942,869.3	754.30	2,017.3	35.4
06/11	853,577.3	640.18	2,114.7	19.6
06/12	597,064.7	597.06	1,090.5	24.8
총계	25,926,680.2	29,469	117,677.1	1,530.4

#### 4. 섬진강댐 유입(방류수)량 및 수질

##### 가. 섬진강댐에서 방류량 및 수질

##### 1) 섬진강댐 방류량

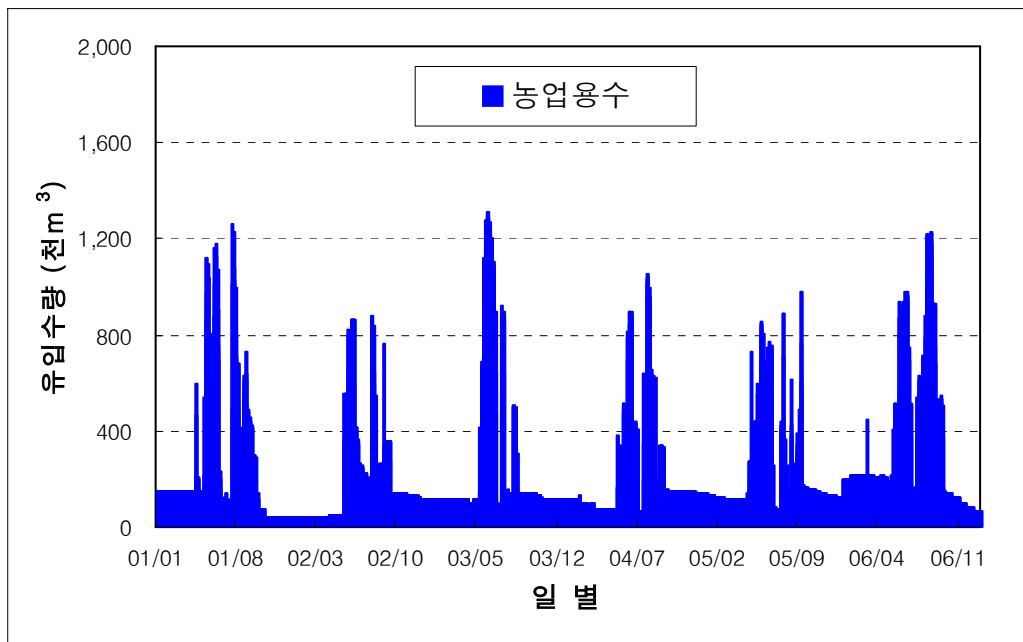
동진강 권역에는 섬진강댐의 운암 취수구를 통하여 관개용수로 도수된 물이 동진강 권역 상류하천에 유입되며, <표 5-42>은 연도별 방류량 자료를 정리한 것이다.

<표 5-42> 섬진강댐의 관개용수 방류량 (2001~2006년) (단위 : 백만 $m^3$ )

연도	월 별												계
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2001	4.6	4.1	4.6	5.5	17.9	16.3	12.0	15.7	7.8	1.8	1.3	1.3	92.9
2002	1.3	1.2	1.3	1.5	10.5	14.8	6.8	7.5	6.7	4.2	3.8	3.5	63.3
2003	3.5	3.1	3.5	3.2	19.5	23.6	9.3	8.3	4.1	3.9	3.4	3.5	88.9
2004	3.5	2.8	2.5	2.3	8.3	13.9	10.2	11.7	6.3	4.6	4.4	4.3	74.8
2005	4.0	3.3	3.5	4.3	14.5	12.9	7.2	7.3	8.3	4.6	4.0	3.9	77.8
2006	6.4	6.0	6.7	5.8	12.2	21.6	10.1	30.8	11.8	4.0	3.0	2.3	120.7
평균	3.9	3.4	3.7	3.8	13.8	17.2	9.3	13.6	7.5	3.9	3.3	3.1	86.4

2001년부터 2006년까지 6개년 동안의 평균 유입량은 86.4백만 $m^3$ 이었다. 2001년 농업용수 방류량이 92.9백만 $m^3$ , 2002년에는 63.3백만 $m^3$ , 2003년도에 88.9백만 $m^3$ 이었으며, 2004년에는 74.8백만 $m^3$  방류된 것으로 나타났고, 2005년에는 77.8백만 $m^3$ , 2006년에는 비교적 방류량이 많은 120.7백만 $m^3$ 의 농업용수를 방류한 것으로 조사되었다.

또한, 시기별로 이양기와 더불어 5월에서 6월사이 높은 방류량을 기록하였는데 5월에는 8.3~17.9백만 $m^3$ 로 평균 13.8백만 $m^3$ , 6월에는 12.9~23.6백만 $m^3$ 으로 평균 17.2백만 $m^3$ 으로 관측되었으며 이외에 시기에는 평균 8월의 13.6백만 $m^3$ 을 제외하고 10.0백만 $m^3$  이하의 방류량을 기록하고 있다. 농업용수 방류량이 일반적으로 섬진강댐의 방류량은 연도별 강수량 등 기상조건에 따라 섬진강댐 상류유역의 유출량 변화로 농업용수를 포함한 동진강 권역으로의 방류량도 차이는 있겠지만 앞으로도 큰 변화없이 기존의 양상과 비슷하게 유지될 것으로 전망된다.



(그림 5-50) 섬진강댐의 동진강권역 방류량 (2001~2005년)

## 2) 섬진강댐 방류수의 수질

섬진강댐 방류수의 수질자료는 한국수자원공사에서 월 1회 실시하고 있는 섬진강댐 수질조사 자료를 이용하였으며, 옥정호 3개 조사지점 중에서 운암취수구에 가까운 옥정호2 지점의 자료를 참고하였다. <표 5-43>은 2004년도 옥정호2 지점의 자료를 정리한 것으로 이 지점의 수질자료를 보면 T-N은 1.64~1.94mg/L 범위, T-P는 0.012~0.017mg/L 이었고, BOD의 경우 1.3~1.5mg/L 범위로서 하천수질기준으로 낮은 2등급(1~3mg/L)을 유지하는 것으로 나타났다. <표 5-48>에서 보는 바와 같이 2005년도에 T-N은 1.889~1.958mg/L 범위로 평균 1.917mg/L, T-P는 0.012~0.025mg/L 범위에 평균 0.0183mg/L, BOD의 경우 1.4~1.5mg/L 범위로 평균 1.45mg/L로 2004년에 비해 다소 상승하였다. 또한, <표 5-49>에서 보는 바와 같이 2006년도 옥정호2 지점의 수질자료에서 T-N은 1.535~2.032mg/L 범위였고, T-P는 0.019~0.030mg/L였고, BOD의 경우 1.4~2.1mg/L 범위로 관측되어 2005년도 보다 소폭의 상승을 보였으며 하천수질기준으로 낮은 2등급(1~3mg/L)을 유지하는 것으로 나타났다.

한편 옥정호의 수질변화를 시기별로 살펴보면 T-N의 경우 비교적 많은 경우가 발

생하는 3월부터 8월까지 T-N농도가 저하되었다가 대체로 장마가 끝나는 9월 이후 이듬해 3월경까지 일정수준으로 상승하는 변화를 보였으며, T-P의 경우에는 강우발생 빈도가 높은 7월경에 소폭으로 상승하였다가 9월이나 10월경까지 상승하였다가 이후로 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. BOD는 시기별로 큰 차이는 보이지 않았으며 비교적 안정된 상태에서 소폭의 변화만이 나타나고 있다.

<표 5-43> 옥정호2 지점 수질자료 (2004년)

월	Temp	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P
2004. 01	6.0	6.7	10.6	1.3	3.0	2.2	1.703	0.017
2004. 02	4.0	6.7	10.6	1.3	3.0	2.0	1.696	0.015
2004. 03	5.0	7.0	11.1	1.4	2.9	1.5	1.659	0.013
2004. 04	8.0	7.5	11.8	1.4	2.9	1.5	1.640	0.012
2004. 05	10	7.5	10.7	1.4	3.0	1.3	1.656	0.012
2004. 06	13	7.8	10.5	1.4	3.1	1.5	1.653	0.013
2004. 07	14	7.8	10.7	1.5	3.3	2.0	1.658	0.015
2004. 08	18	7.9	10.5	1.5	3.1	2.0	1.784	0.016
2004. 09	18	8.0	10.2	1.5	3.3	2.3	1.826	0.013
2004. 10	16	7.3	9.6	1.5	3.2	2.3	1.871	0.014
2004. 11	14	7.1	9.2	1.5	3.1	2.2	1.933	0.014
2004. 12	10	7.8	9.2	1.4	2.8	2.1	1.934	0.013
평균	11.3	7.4	10.4	1.4	3.1	1.9	1.751	0.014

<표 5-43> 옥정호2 지점 수질자료 (2005년) (계속)

월	Temp	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P
2005. 01	7	7.7	9.9	1.4	2.8	1.6	1.918	0.013
2005. 02	4	7.8	11.6	1.4	2.9	1.9	1.892	0.013
2005. 03	4	7.9	12.9	1.4	2.9	1.9	1.889	0.012
2005. 04	7	7.4	14.2	1.5	2.9	1.9	1.895	0.013
2005. 05	10	7.7	12.3	1.4	2.9	1.6	1.901	0.013
2005. 06	13	7.8	10.7	1.4	3.0	2.0	1.898	0.014
2005. 07	17	7.3	9.2	1.5	3.1	6.3	1.941	0.023
2005. 08	18	8.0	6.7	1.5	3.2	4.8	1.934	0.023
2005. 09	19	7.9	6.2	1.5	3.3	4.0	1.958	0.024
2005. 10	17	7.7	7.7	1.5	3.3	4.5	1.928	0.025
2005. 11	14	7.8	8.7	1.5	3.3	2.3	1.923	0.023
2005. 12	10	8.5	9.3	1.4	2.9	2.0	1.921	0.023
평균	12	7.8	10.0	1.5	3.0	2.9	1.917	0.018

<표 5-43> 옥정호2 지점 수질자료 (2006년) (계속)

월	Temp	pH	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P
2006. 01	5	8.8	10.8	1.4	2.9	2.0	1.901	0.021
2006. 02	4	8.4	10.5	1.7	2.9	2.9	1.773	0.024
2006. 03	5	8.0	12.1	1.4	2.1	1.5	1.994	0.020
2006. 04	7	8.0	10.7	1.5	2.3	2.2	1.535	0.019
2006. 05	10	7.9	12.2	1.6	2.5	2.4	1.681	0.019
2006. 06	11	8.0	9.4	2.0	3.0	2.2	1.861	0.021
2006. 07	13	8.1	9.2	2.0	3.1	3.4	1.923	0.025
2006. 08	20	7.6	9.5	2.1	3.3	3.5	1.939	0.028
2006. 09	19	7.9	9.1	2.0	3.3	3.6	1.967	0.029
2006. 10	16	7.7	8.9	2.0	3.4	3.6	2.032	0.030
2006. 11	13	7.2	8.4	2.0	3.3	3.2	2.002	0.029
2006. 12	10	7.0	9.0	1.8	3.1	2.2	1.989	0.024
평균	11.08	7.9	10.0	1.8	2.9	2.7	1.883	0.024

## 제 3 절 축산분뇨 자원화 평가 및 개선방안

### 1. 일반적인 문제점

일반 축산농가에서는 주로 퇴비화, 저장액비화 등 자원화 시설을 설치·운영하여 자체 처리하고 있으며, 축산분뇨는 양질의 퇴비·액비로 토양 환원시에는 자원의 가치가 높은 반면, 생활하수보다 오염 부하량이 높은 고농도 오염물질로서 유출시 수질 오염 영향이 크다. 또한 축산분뇨는 자원화를 위한 공급자(축산농가)와 수요자(경작농가)간의 효율적인 연계가 미흡하며, 축분 퇴비를 살포할 수 있는 초지·경지면적이 부족하여 퇴비화 촉진에도 한계가 있다. 하천 주변에 밀집형태로 입지한 축산농가는 상수원 수질오염의 영향이 크나, 합리적인 축산농가의 입지제한 규정이 미비한 편이며, 축산폐수의 적정 수거 및 처리를 위한 기반시설(보관·저장시설 등)이 미비하여 체계적인 축산폐수의 수거가 곤란하다.

### 2. 소규모 축산분뇨 자원화

○ 축산분뇨 자원화란 오염물질이 될 수 있는 가축분뇨를 자원화 하여 다시 사용하는 것이다. 가축분뇨를 고형 퇴비화 하여 퇴비로 사용할 수도 있을 것이고, 에너지원(메탄발효, 발효열, 석유화, 열분해 등)으로 사용할 수도 있다. 현재 우리나라는 축산분뇨의 자원화를 높이 평가해서 많은 지원을 하고 있는데, 농림부에서는 58천 농가에 분뇨처리시설비 9,645억원을 지원(1991~2003)하고 있고, 환경부에서는 공공처리시설 75개소 4,849억원을 지원(1991~2003)하고 있다. 그러나 부처간 연계부족으로 예산의 중복투자, 행정의 비효율성 등이 초래되고, 가축분뇨도 제대로 관리되지 않아 환경상 문제를 야기하고 있다.

○ 축산분뇨 자원화 대책으로는 ①고형 퇴비화(비료로 사용), ②에너지원으로 사용 등이 있다. 퇴비화처리는 가축의 생분에 충분한 산소를 공급하여 축분 중의 호기성 미생물의 활동을 적극적으로 촉진하여 분중의 이분해성 유기물을 분해하여 토양에 사용하는 경우에 작물에 악영향을 방지하고 안정한 상태로 생분을 처리할 수 있다. 퇴비화 조건은 호기성 미생물의 증식에 알맞은 영양(탄질비), 온도, 수분, 산소(공기) 등의 공급이 필요하다. 퇴비화의 목적은 가축분뇨의 악취와 수분을 감소하여 취급하기

쉽고, 가축분뇨중의 잡초종자, 병원균, 기생충란 등을 사멸하여 위생면에서도 안전하게 하는데 있다. 또한 퇴비화는 가축분뇨를 토양과 작물에 안전하게 사용할 수 있게 한다. 바람직한 완숙퇴비 조건은 냄새가 없고 취급이 쉽고, 위생적이며 생육저해물질(tannin)이 없고 유기성분이 안전화되고, 염류농도가 낮아야 된다. 또한 축산분뇨는 직접 연소, 메탄발효, 발효열, 석유화, 열분해 등을 통하여 다시 에너지원으로 사용될 수 있는데 실제 활용하는 데는 많은 어려움이 따른다.

#### ○ 전북지역의 축산분뇨 자원화 계획

새만금 유역에 농약이나 비료 사용을 최소화 하는 '친환경농업단지' 조성사업이 2006년부터 본격적으로 추진된다. 새만금 친환경단지는 만경·동진강 유역 8개 시군에 1개 단지당 1000ha씩 모두 2만1000ha에 2011년까지 2100억원을 투자하는 계획으로 이 지역 전체농지 11만ha의 20% 규모로, 새만금 담수호가 완성될 2011년까지 순차적으로 조성해 나가는 대규모 프로젝트다. 전북도는 새만금호 주요 오염원인 축산분뇨를 화학비료 대신 활용하는 방안과 함께, 이곳 농산물에 친환경브랜드로 육성한다는 계획이며, 이를 위해 농지마다 유기농, 미생물농업 등을 현지 여건에 맞춰 적용하도록 ha당 200만원 상당의 친환경시설과 자재를 지원하고, 시군과 자재업체가 연계한 농산물 생산·유통체계도 확립한다는 것이다. 전라북도도 2006년에 100억원을 투입해 1개 시범단지를 조성할 계획이며 시범단지에는 환경오염 경감시설, 자원화시설, 친환경 생산·유통시설 등을 설치할 계획이다.

### 3. 축산분뇨의 특성과 자원화 문제점

#### ○ 가축분뇨의 물질적·경제적 특징

가축분뇨는 자연자원의 유기물질을 다량 함유한 완전한 작물영양 공급원임에도 불구하고 분뇨의 특징인 높은 전염 위험성, 수질오염과 토양오염, 메탄 및 암모니아 가스, 아산화질소 등 악취 및 환경 유해가스 방출의 주범이라는 부정적 이미지로 인하여 축산폐수로 처리함으로써 고비용 처리구조와 처리시설의 비효율성과 이용의 비경제성 문제가 제기되고 있는 실정이다. 가축분뇨는 축종과 사료급여 기술, 처리 및 이용과정에 따라 성분함량에 많은 유동성을 가지고 있으며 질소순환의 다양한 오염인자



로 작용하고 있다. 이에 따라 액비는 환경오염 및 작물이용에 불안정적 작용과 영향을 주고 있으며, 이와 같은 가축분뇨의 물질적 경제적 특성으로 인하여 환경오염의 주범으로 인식되어 왔다. 가축분뇨는 화학비료와 비교하면 비료성분이 상대적으로 적기 때문에 저장 및 수송가치가 적으며, 따라서 경제적 물질적 이용가치가 낮게 나타나게 된다. 이러한 요인에 의한 액비 시용가치의 평가절하는 유기질 비료시용의 비적합성, 시용기술의 비효율성으로 친환경 순환농업 이용에 경제성을 가지지 못하고 있으며, 결국 가축분뇨가 자원화 되지 못하고 환경오염의 주범으로 나타나고 있는 실정이다.

○ 2000년 우리나라 총 분뇨 발생량은 4,264만 $m^3$ 이며 평균  $m^3$ 당 처리비용은 18,000원정도이다. 따라서 총 처리비용은 7,675.2억원으로 나타나고 있다. 그러나 조사 분석한 공동이용을 통한 조직적 액비화 시스템에 의한 처리비용은  $m^3$ 당 2,000원으로 나타나고 있어 총 분뇨발생량을 액비화 하는데 요구되는 총 처리비용은 852.8억원 정도로 나타나고 있다. 이는 우리나라 2001년 분뇨 및 축산폐수 세출 예산액인 882억원 보다 적은 비용으로 나타나고 있어 액비화 정책의 중요성을 잘 대변하고 있다. (유, 2001)

#### 4. 가축분뇨 자원화의 목표와 과제

가축분뇨에 의한 환경오염을 저감시키기 위해서는 다양한 분뇨 처리기술 개발, 지속적인 분뇨 자원화를 위한 Recycling 시스템 구축과 조직운영 및 이용기술에 대한 개선책이 요구된다. 분뇨 자원화를 위한 조직운영 및 기술개발은 지역 및 농가의 가축분뇨 과잉공급 문제를 해소하고 생산 및 소비패턴의 변화에 적응하기 위한 지속적 환경농업의 실천을 가능하게 한다. 또한 가축질병의 위험성과 축산활동을 통한 악취 발생을 저감시키고 가축분뇨의 N, P, K 성분유실을 방지할 수 있는 사료이용과 급여 기술 개발을 위해서도 필요하다.

가축분뇨 자원화의 장기적 목표는 작물의 최적 영양공급과 액비의 질적 개선, 그리고 에너지 이용에 있다. 장기적 친환경 선진농업을 달성하기 위해서는 물론 주어진 생산방법과 생산규모에 대한 생태적 최적화를 추구하여야 한다. 따라서 액비성분의 효율성, 특히 N-성분의 효율성을 추구하여야 할 것이다. 따라서 친환경 농축산물 생

산기반 구축을 위한 가축분뇨의 기술적 정책방안으로는 ① 악취, 암모니아 등 환경유해가스 방출저감 기술, ② 질산염의 지하수 유입방지, ③ 온실효과(유해)가스 발생저감기술, ④ 에너지 절감기술, ⑤ 액비경영 등을 통하여 경쟁력과 비용절감을 실현할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

## 5. 정책적 개선방안

현재 정부에서 추진하고 있는 가축분뇨 정책사업은 환경오염 방지와 가축분뇨의 자원화 그리고 소규모 축산농가의 분뇨처리시설 설치에 대한 농가의 경제적 부담경감에 목적을 두고 1990년 이후부터 중 소규모 양축농가의 간이 정화조와 (건조)퇴비사 시설과 이의 효율적 이용방안으로 가축분뇨 공동처리시설과 운반 및 공동저장탱크 시설 설치를 지원하고 있는 실정이다. 또한 환경부에서는 양축농가에서 발생한 가축분뇨를 수거하여 처리할 수 있는 부락 또는 지역단위의 공동처리 시설 (가축분뇨 발효시설, 계분 비료공장) 설치를 지원, 가축분뇨를 유기질 비료화 하는 자원화사업을 추진하고 있다.

가축분뇨 자원화를 위해서 요구되고 있는 정책적 방안을 보면

1) 가축분뇨는 환경오염원인 축산폐수가 아닌 유기자원으로서의 정책적 인식전환을 전제로 한 액비 정책사업 및 지원이 이루어져야 할 것이다.

2) 가축분뇨 수용가능 면적이 있는 한, 액비형태로 토지에 환원하는 1차적 가축분뇨 자원화 가능성을 최대한으로 활용할 수 있어야 할 것이다.

3) 정책사업과 지원은 가축분뇨 발생에서 자원화하기까지의 전 과정이 환경친화적으로 연계되어 폐쇄적이고 안전하게 자원순환이 이루어질 수 있어야 하며 그 가능성과 효과에 따라 사업이나 조직단체, 지역 및 지방자치단체에 지원하여야 할 것이다. 이를 위해서 환경친화적 분뇨 자원화 촉진할 수 있는 법적 제도적 장치를 마련하여야 할 것이다. 예로, 가축분뇨 공동시설 조직운영을 위한 규약 및 규정제정, 액비 시용규정과 저장기간, 시설입지 및 설치규정 등을 마련하고 지역특성에 알맞은 분뇨 자원화 프로그램을 개발하여 홍보, 보급하며 이에 대한 육성 지원기준을 설정하여 이를 충족한 지역 및 단체와 사업을 선정하여 과감한 시설 및 운영자금을 지원하여야 할 것이

다.

4) 환경 기초시설로서 가축분뇨 공동이용시설을 위한 설치 및 지원은 정부 및 기초단체가, 조직운영 및 관리는 축산농가가, 이용은 양축 및 경종농가 그리고 분뇨처리 및 가공은 전문업체가 주체가 되어 상호간 유기적 협조체제가 이루어지도록 지원하여야 할 것이다. 1차적 가축분뇨 자원화를 위해서는 물론 양축농가와 경종농가의 협력에 의한 지역복합 및 양축·유기농업의 순환구축이 전제되어야 할 것이다.

5) 가축분뇨 공동이용시설은 물론 정부가 설치하여 다수 양축농가가 일정한 규정에 의하여 안정되고 지속적이며 효율적으로 운영할 수 있는 조직 또는 조합인가를 심사하여 임대하는 경우도 고려할 수 있을 것이다. 이 경우는 특히 영세 소규모 분산적인 가축사육지역에서 우선적으로 고려해야 할 것이다.

6) 개별 가축분뇨시설에 대한 지원은 지금까지의 정화처리시설지원중심에서 탈피하여 액비의 폐쇄적 시설관리를 원칙으로 저렴한 시설비와 노동력 절감이 가능한 지상축사, 지하분뇨저장의 슬러리 축사를 도입할 수 있는 축사시설 계량사업 지원으로 전환하여야 할 것이다. 이 경우는 전문화된 양축농가를 우선 대상으로 지원되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 국립환경연구원, 오염총량 관리계획 수립지침, 1999
2. 김종구, 2002, 통계분석 기법을 이용한 금강수계의 수질평가, 한국환경과학회지, 11(12), pp.1281-1289
3. 농어촌진흥공사, 농경배수 재이용에 관한 수질관리기법 연구 (I), 1997
4. 농어촌진흥공사, 농업용수 수질정보 종합관리 시스템 개발, 1999
5. 농어촌진흥공사, 새만금 오염하천 정화대책 수립, 1998
6. 농어촌진흥공사, 새만금유역의 비점오염원 관리대책 수립연구, 1998
7. 농어촌진흥공사, 새만금호의 내부오염부하량 산정 및 수질영향 연구, 1998
8. 박성천, 오창열, 진영훈, 김동수, 2005, 섬진강 유역 농촌지역의 비점오염원 배출

- 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 14(11), pp.1057-1062.
9. 박승우, 류순호, 강문성, 1997, 소유역의 토지이용에 따른 비점원오염 부하량, 한국농공학회지, 39(3), pp.115-127.
  10. 박승우, 윤광식, 임상준, 강문성, 1996, 농업유역의 생태환경 모니터링 기법 연구, 농촌계획학회지, 2(2), pp.91-102.
  11. 박승우, 최진규, 윤광식, 강문성, 이정재, 1997. 영농방식에 따른 농업비점오염 부하량 조사분석 -반월저수지 유역을 중심으로-, 제2회 농업과학심포지움 : pp. 356~373.
  12. 새만금 환경영향 공동조사단, 새만금 환경영향 공동조사-수질보전결과 보고서, 2000
  13. 새만금 환경영향 공동조사단, 새만금 환경영향 공동조사-환경영향 분야 결과 보고서, 2000
  14. 원찬희, 정팔진, 김민정, 조성영, 김세훈, 김종천, 2002, 동진강 유역 비점오염원 정밀조사, 전북대 공학연구원, 33(2002), pp.13-20.
  15. 이경보, 김종천, 박지혜, 이덕배, 김종구, 2004, 동진강 정읍천 유역 오염부하량 평가, 한국환경농학회지, 23(1), pp.41-46.
  16. 이호준, 방제용, 김용옥, 1999, 토지이용이 이원천유역의 하천수질에 미치는 영향, 한국생태학회지, 22(5), pp.235-240.
  17. 전라북도 도청(도로과), 2006년도 지방도로 공사 추진현황, 2006
  18. 전라북도 수질보전대책 종합 보고서, 1995
  19. 전라북도, 전라북도 수자원 조사 및 종합개발 계획 요약 보고서, 1998
  20. 정읍시 건설과, 2007년 주요업무계획, 2007
  21. 정읍시 산외면, 2005, 정읍시 산외면 행정정보공개요청 자료.
  22. 정읍시, 정읍시 의회업무보고서(2006년), 2006
  23. 정중배, 김미경, 김복진, 박우철, 1999, 임고천 상류 소규모 농업유역에서 하천으로의 질소, 인 및 유기물의 부하, 한국환경농학회지, 18(1), pp.70-76.
  24. 정하우외 6인, 2006, 관개배수공학.

- 25.조웅현, 만경강 유역 농배수로에 의한 오염부하량 조사, 2002
- 26.조재영, 1999. 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량, 전북대학교 박사학위논문.
- 27.조재영, 2000. 비영농기간 단일필지 논으로부터 영양물질의 유출부하량. 한국농공학회지 42(2) : pp. 63~70.
- 28.조재필, 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
- 29.조재필, 박승우, 강문성, 1998. “복합토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원 오염모형의 적용”, 한국농공학회 학술발표 논문집 : pp. 353~358.
- 30.한국건설기술연구원, 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천 유지 유량산정보고서, 1999
- 31.한국수자원공사, 용담다목적댐 건설사업 수질보전대책 보고서, 2000
- 32.한국환경정책·평가연구원, 도시지역 비점오염원 관리방안, 1998
- 33.홍성구, 권순국, 2001, 농촌유역특성과 하천수질과의 관계, 한국농공학회지, 43(3), pp.56-65.
- 34.환경부 보도자료, 2002년 1월 14일
- 35.환경부, 수질오염공정시험방법, 2004
- 36.환경부, 수질오염총량관리 업무편람, 2004
- 37.환경부, 수질정책지원시스템 개발, 2000
- 38.환경부, 오염하천 정화사업 시행 지침서, 1997
- 39.환경부, 한강수계 오염총량 관리제 시행방안 연구 최종 보고서, 2001
- 40.환경처, 수질보전 장기계획수립, 1992
- 41.환경처, 영산호 환경용량 조사 연구, 수질보전을 위한 부영양화 대책, 1990
- 42.Morgan R. P. C.. 1985. Soil erosion measurement and soil conservation research in cultivated areas of the UK. Journal of Geology 151 : pp. 11~20.

## 제 6 장 도시지역의 오염부하량 산정과

### 비점오염 유출특성

#### 제 1 절 SWMM모형을 이용한 도시지역 비점오염 유출 특성 해석

##### 1. 서 론

###### 가. 비점오염원의 개요 및 연구배경

비점오염물질은 특정한 오염물질을 선별하여 지칭하는 것이 아니라 환경에 배출되는 통합적 오염물질을 칭하는 것으로 환경부 (2000a)에 따르면 농지에 살포된 비료 및 농약, 대기오염물질의 강하물, 지표상 퇴적 오염물질, 합류식 하수관거 월류수 내 오염물질 등 주로 강우시 강우 유출수와 함께 유출되는 오염물질을 말한다.

한편, 미국 EPA (1993)에서는 비점오염원 (non-point source pollution)이란 명확한 오염물질 유출경로를 가지지 않는 오염원에 의하여 오염되는 것을 의미하며 농지, 임업, 광산, 건축, 매립지, 도시지역 등과 같은 강우 유출원의 오염물질을 포함한다고 정의하고 있다.

우리나라 수질관리는 통상 생활하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 수질관리정책을 실시하여 왔으나, 오염물질의 상당량이 면오염원에서 유발되고 있다. 이 비점오염원에서 수질오염물질이 상수원 또는 하천으로 상당량 유입되고 있는데 반하여 현재까지는 비점오염물질을 저감하는 특별한 방안을 강구·시행하는데 한계가 있기 때문에 최근 들어 이 같은 점오염원만을 관리하는 것으로는 근본적인 대책으로 한계가 있음을 인식하고 비점오염원의 관리에도 관심을 기울이고 있다 (환경부, 2000).

비점오염원에서의 오염물질은 강우시에 유출하는 것이 많으므로, 재현성을 포함한 정량화는 많은 노력이 필요하다. 강우시 유출되는 비점오염원 부하가 수질에 끼치는 영향은 하수처리율이 향상되고 경제활동수준이 증가하고, 토지 이용이 고밀도로 이용

될수록 높아지고 있다. 특히 오염원이 집중되어 있는 도시지역에서의 비점오염원에 대한 관리대책은 기존 생활하수, 공단폐수 그리고 축산과 같은 각종 산업폐수와 같은 점오염원에 비하여 충분히 진행되어지지 못하고 있다. 최근 건설되어진 하수관거에 의해 환경기초시설에 의해 점오염원은 그 관리상 체계가 확보되어져 있으며 현재 상수원 유역과 주요 하천유역에 대한 총량규제 오염부하량 조사와 함께 관리계획 수립도 지속적으로 추진되고 있다. 반면 규제가 강화되는 만큼 비점오염물질의 배출량도 늘어날 수밖에 없는 상황이나 아직 도시지역에서의 정확한 비점오염물질의 체계적 조사와 정확한 유출특성에 대한 정보가 부족한 상태이다.

아울러 산재된 농촌지역에 있어서는, 축산에 의한 비점오염원이 일부 점오염원보다 고농도의 오염물을 유출시키기도 하고, 농지의 경우 비록 농도는 낮더라도 면적이 넓어 총 부하량에 큰 비중을 차지한다. 이와 같이 최근의 수질오염 특징은 과거의 대량 발생원의 점오염원에 의한 수질오염에서 도시 강우 유출수, 농지 등에 의한 다수의 저농도 발생원의 비점오염원에 의한 광역적 수질오염이 갈수록 문제가 되고 있다. 점오염원 처리가 어느 수준까지 도달한 선진국에서는 비점오염원이 가장 중요한 오염원으로 대두되고 있으며, 앞으로 우리나라에서도 비점오염원 관리와 규제를 위한 조사와 관리계획의 수립에 더 많은 관심과 노력이 있을 것으로 전망된다.

#### 나. 연구의 필요성

우리나라는 수자원이 부족하여 다목적댐 등에 의해 조성되는 지표수를 주요 용수원으로 사용하고 있으나 산업발전과 개발정책의 가속화에 비례하여 필연적으로 오염부하가 가중되어 왔다. 또한 도시화의 증대에 따라 투수지역의 감소로 인하여 소량의 강우에도 우수유출의 영향을 크게 받게 되며, 불투수지역에서 누적된 각종 오염물질의 유출로 인근 수계에 심각한 수질오염을 일으키게 된다. 점오염원의 경우 발생원의 오염발생 부하량의 정량화가 가능하여 하수도 및 관련 수처리시설 등 저류·저감시설을 운영함으로써 목표로 하는 오염저감대책이 대체로 가능하지만, 비점오염원은 주로 토지상에 또는 대기 중에 분포되어 있고, 간헐적으로 유입되기 때문에 그 양과 유입 경로를 판별하기 어려운 측면이 있다. 또한, 토지이용의 특성이나 강우사상, 지역별

우수·오수 관리시스템 등 다양한 요인에 따라 발생정도가 다르므로 시간적·공간적 특성에 따른 발생오염물의 정량화가 매우 어려우며, 점오염원에 비해 오염도가 낮지만 절대량이 크기 때문에 비점오염원의 적정관리가 이루어지지 않고서는 수계환경의 개선 및 수질환경기준을 달성하기 어렵다.

하지만, 우리나라의 경우 비점오염원에 대한 조사가 농촌지역을 대상으로 부분적인 연구가 수행되고 있을 뿐 도시지역의 비점오염원 연구는 시작단계에 불과하여 비점오염원에 대한 조사방법과 원단위 및 부하량 산정 등 많은 부분에 있어 정확한 수행방법 및 산정기법이 미흡하며, 기초자료가 부족한 실정이다. 따라서, 비점오염원을 적절히 관리하기 위해서는 우선적으로 유출특성을 파악해야 하고, 크게는 국가전체를 대상으로 작게는 유역별 또는 지역별 조사대상을 선정하여 최소 5~10년 이상의 장기간에 걸친 현장조사를 수행하여 자료를 체계적으로 정리하는 것이 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 전주시 삼천천과 전주천을 선정하고, 각각의 하천유역에서 강우시 유출되는 오염물질의 농도와 부하량을 조사함과 동시에 도시지역에서의 비점오염원 오염물질별 유출특성을 조사하고, 유출 수량 및 수질변화를 분석하였다.

또한 전주시 삼천천과 전주천 각각의 하천유역에 유량계를 설치하여 (SIGMA930) 강우시와 건기시의 유량을 조사하여, SWMM 모형의 민감도 분석 및 보정과 검증 실시를 통하여 SWMM 모형에 의한 강우사상 평균농도 (EMC) 및 지역평균농도 (SMC)를 예측하였다.

#### 다. 연구의 목적

본 연구에서는 최근 우리나라뿐 아니라 북미와 유럽지역에서도 체계적 환경관리를 위하여 비점오염원에 대한 연구와 관리계획 수립에 많은 관심이 집중되고 있는 바, 우리나라 도시지역을 선택하여 오래된 합류식 하수관거에서의 비점오염원 유출특성과 최근에 건설된 분류식 하수관거에서의 비점오염물질의 유출특성을 모사하고 비교평가하였다. 이를 통하여 도시지역에서의 비점오염원 유출특성에 대한 정확한 자료를 제시하고 점차 중요시되고 있는 비점오염 물질의 관리에 유용한 연구정보를 제공하고자 하였다.



본 연구에서는 도시구역의 유출량 산정을 위해 기존의 도시유출모형 중 투수지역 및 불투수지역의 유출을 모의할 수 있는 SWMM 모형을 선정하였으며, 모형의 기본 이론에 따라 유출모의 과정을 검토하고, 실측된 강우와 유출자료를 통하여 SWMM 모델로 모의실험을 실시하였다.

한편, 합류식 지역과 분류식 지역의 효과적 비교연구를 위하여 연구대상 지역으로 는 다음과 같은 두 지점을 선정하여 연구를 수행하였다.

첫째, 분류식 하수관거 설치지역으로써 전주시의 계획적인 신도시를 구축하고 있는 지역으로 우수관 우수관을 분류하여 우수관거를 통해 오수는 하수종말처리장으로, 우수는 우수거를 통하여 삼천천으로 유출되는 지점을 선정하였다. 둘째, 합류식 하수관 거 설치지역으로써, 구도시 및 자연발생적 도시형성으로 합류식 관거로 강우시 월류 토구를 통해 전주천으로 배출되는 지점을 선정하였다. 이를 통하여 강우 사상별로 모형의 유출해석을 실시하고, 민감도 분석과 모델의 보정 및 검증과정을 거친 후, 도시 구역의 하수관 설계시 가장 중요한 인자가 되는 침투유량, 총 유출량, 도달시간을 SWMM 모형을 통하여 검토하였다. 아울러, 전주천과 삼천천을 비롯하여 도시지역 인근의 하천 수계로 유입되는 오염 부하량을 예측하고 향후 이 지역의 비점오염원 관리에 실질적인 정보를 제공하여 여러 가지 상황 변화에 따라 합리적인 비점오염원의 관리에 본 연구결과를 활용하도록 하는데 목적이 있다.

#### 라. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 우리나라의 도시지역의 비점오염원 관리에 하나의 모델지역으로 지방의 대-중 도시규모인 전주시 지역 중 합류식 관거 설치지역과 분류식 관거 설치지역을 선정하여 본 연구추진 계획에 따라 일련의 조사와 측정 그리고 모의실험을 실시 하였다.

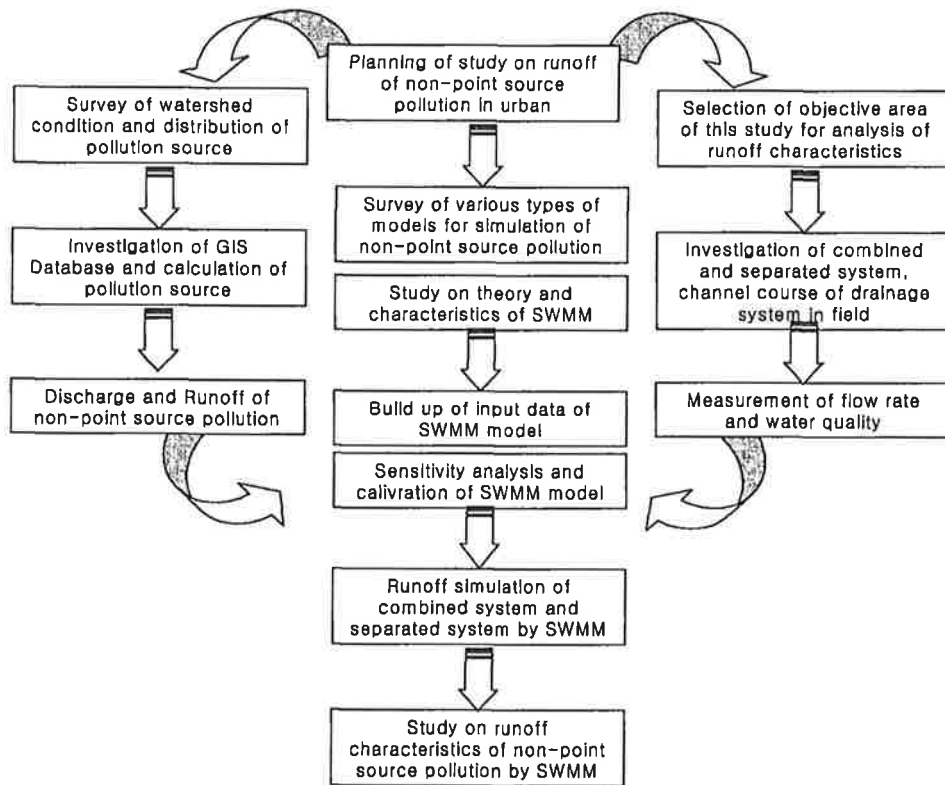
본 연구에서 수행된 연구의 범위와 내용은 다음의 <표 6-1>과 같다. 한편, 연구의 추진방법 및 수행체계 구성에 있어서 도시지역의 주요 토지이용특성을 반영해 토지이용을 구분하고, 이를 바탕으로 각각의 토지이용 형태에 의한 비점오염원의 유출과 이의 영향 및 관리방안을 도출하고자 한다. 이를 위해 국내·외 문헌을 통하여 도시지

역에서의 비점오염원의 유출특성, 원단위 연구, 관리방안 수립 등에 대한 사례를 조사하였다. 또한 합류식 하수관거 및 분류식 하수관거 지역을 대별하여 수질조사와 유출량조사를 통해 오염원배출량을 조사하였다.

또한 비점오염원 유출량 파악을 위한 유출수의 성분조사는 연구대상지역 측정지점에서 BOD, COD, SS, T-P, T-N의 5개 항목에 대한 수질과 유출량을 조사하였다. 이를 토대로 SWMM 모델을 통하여 유출량 조사와 유역내 비점오염원 유출특성을 해석하여 비점오염 유출 부하량을 산정할 수 있는 기본 정보를 도출 제시하였다. 본 연구의 추진방법 및 수행체계의 흐름도는 다음의 (그림 6-1)과 같다.

<표 6-1> 본 연구의 목적과 범위

Description	Objectives	Scope and contents	Remark
Measurement in the field	Investigation and calibration of SWMM model	Measurement * Flow rate * Water quality - Biochemical oxygen demand - Chemical oxygen demand - Suspended solid - Total nitrogen - Total phosphorus	
Foundation of input data for SWMM	Confirmation and rational modeling to simulation using SWMM model	Calculation of input data * Discharge of pollutants - Population - Land use - Other pollution source * Lineage of conduit - Dimension of drainage - Method of discharge	
Simulation of non-point source pollutants	Sensitivity analysis and calibration on SWMM model and input data	• Correction of input data • Confirm of major parameter in this simulation • Calibration of various parameters in SWMM model	
Analysis and calculation of simulation output data	Evaluation and analysis of output data to applicate in the field	• Analysis and calculation of EMC, SMC and COV • Consideration of simulation output data by SWMM model • Analysis of discharge characteristics of non point source pollutants	



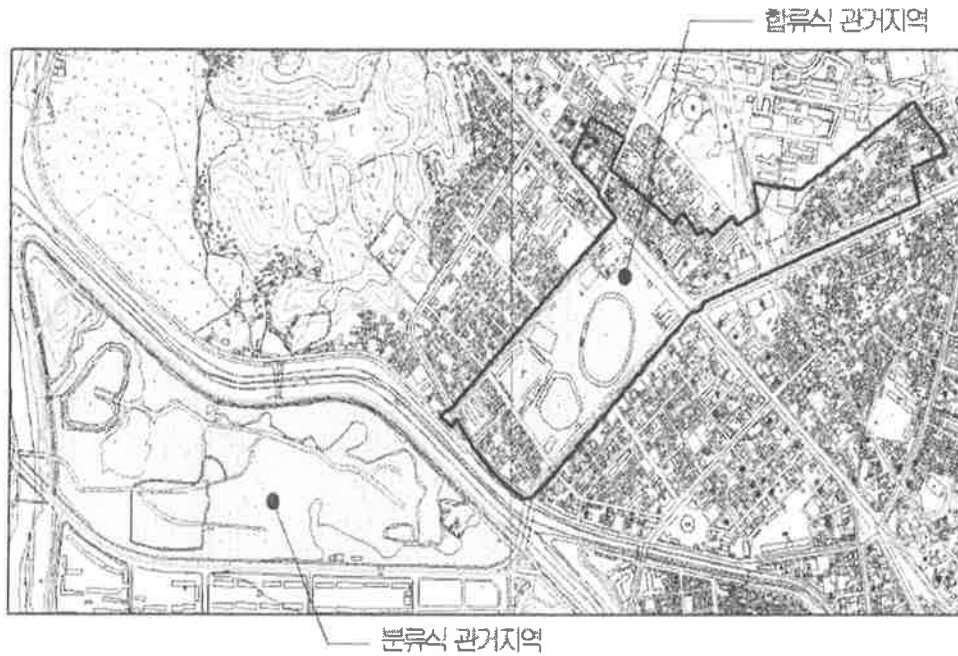
(그림 6-1) SWMM모형을 이용한 비점오염원의 유출특성 평가를 위한 연구의 수행체계도

## 2. 연구방법 및 입력자료 구축

### 가. 연구대상 지역

도시지역의 비점오염원 부하량을 산정하기 위한 대상지역은 전주시의 일부지역으로 다음의 (그림 6-2)와 같이 분류식하수관거지역과 합류식하수관거지역으로 구분하여 조사하였다. 또한 시료 채취 및 유출량을 동시에 측정할 수 있으며 시료 채취시 접근이 용이한 지점으로 선정하였다.

본 연구의 조사 대상지역 선정시 이러한 사항을 고려하여 1:3000 우수·하수관도, 1:500 우수·하수관도와 현장 답사를 통하여 유역 내의 지점을 선정하였다. 대상 유역으로 선정된 배수구역은 전주시의 서신동과 금암동 일대에 위치하고 있다.



(그림 6-2) 연구대상지역과 하수관거시스템 모식도

분류식에서 우수·우수 월류수 지역으로는 아파트단지 밀집지역, 상가지역 두 지점을 선정하였는데, 계획적인 신도시를 구축하는 밀집지역과 상가지역은 분류식 관거로 되어있어, 우수관거는 두 지역 따로 차집되어 하수종말처리장으로 보내어지고 있었고, 우수관거는 한 곳의 지점으로 집결되어 삼천천으로 유출되고 있었다.

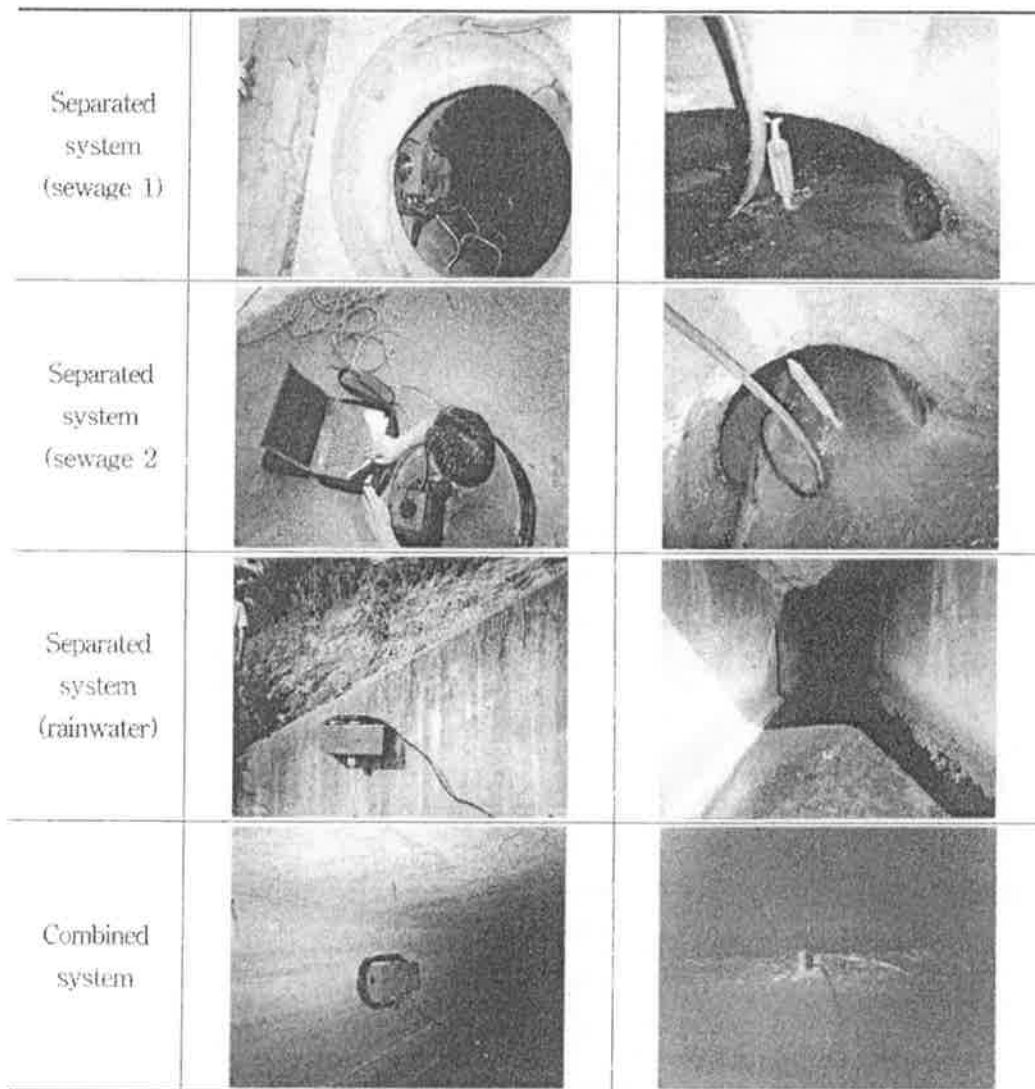
합류식에서는 일반주거지역과 상가·종합운동장이 포함되어 있는 지역으로 구도시 및 자연발생적인 도시형성, 우수와 오수가 나누어 분리되어지지 않아 합류식 관거로 강우시 월류 토구를 통해 전주천으로 배출되는 지점이다.

#### 나. 조사 지점 및 방법

시료 채취는 밀집지역과 상가지역, 일반주거지역과 상가·종합운동장이 포함되어 있는 지역 모두 집결지점에서 손으로 직접 채취하였다. 시료 채취 시간간격은 밀집지역과 상가지역, 일반주거지역과 상가·종합운동장이 포함되어 있는 지역 모두 강우 초기에서 강우 2시간까지 20분 간격으로, 2시간에서 4시간까지는 30분 간격으로, 4시

간에서 24시간까지는 60분 간격으로 시료 채취를 실시하였다. 유출수위 및 유출량은 유량계 (AMERICA SIGMA INC 910)를 사용하여 유속 측정 및 수위를 측정하여 유량을 산정 하였다.

조사시기는 2004년 9월 7일과 2004년 11월 1일이며, 조사지점은 합류식 1지점과 분류식 3지점을 선정하였고 이 지점에서 유량(측정기기: AMERICA SIGMA INC 910)과 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등의 수질을 측정하였다.



(그림 6-3) 유량 연속측정 지점

유량측정은 평상시와 강우시를 대별하여 수행되었다. 하수관거에 초음파유량계를 설치하여 자동유량계인 Sigma 910 기계를 이용하여 15분 간격으로 연속적으로 유량을 측정하였다. 본 연구에서 사용된 Sigma 910 유량계는 하수관거의 I/I 및 CSOs 조사를 위하여 국내, 외적으로 많이 이용되는 초음파식 유량계로서 그 특성은 <표 6-2>에 나타낸 바와 같다.

또한, 본 연구에서 분석항목은 BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P의 수질항목을 분석하였다. 본 연구에서 적용된 수질분석방법은 다음의 <표 6-3>와 같으며, 수질분석방법은 Standard method와 환경오염공정시험방법에 의해 실시하였다.

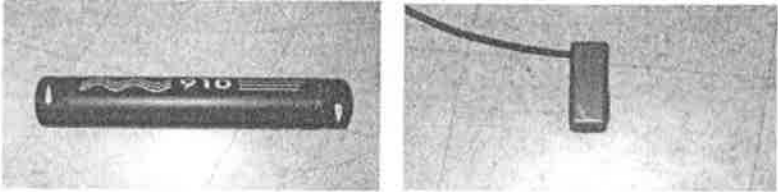
<표 6-2> 본 연구에서의 현장 조사 및 수질측정 항목

Items of measurement	Date of investigation	Interval of measurement
BOD, COD <sub>Mn</sub> , SS, T-N, T-P	4 days / 12 times (dry season 1, rainfall 2times)	Dry season : 2 hours Rainfall : 5 min~4 hours

<표 6-3> 분석항목 및 기구

Water quality	Analysis method and instruments
BOD	5 day incubation with DO determination, 5210 (Winkler method azide modification)
TSS	Gravimetric method, electric drying oven(105℃)
COD <sub>Cr</sub>	Closed Reflux, Titrimetric Method, 5220
COD <sub>Mn</sub>	Acid, Reaction during 30 min in water bath
T-N	Un-visible absorbance spectrophotometric method
T-P	Ascorbic acid reduction method

<표 6-4> 본 연구에서 사용된 유량계의 특성

Description	Ultrasonic
Appearance	
Model	Sigma 910
Principals	단면을 통과하는 유속과 수심을 측정하여 유량을 산정함. 유속은 초음파(도플러) 방식으로 측정하며, 수심은 탐침식 압력변환방식으로 측정하여 유량(유속×단면적)으로 환산함.
Dimension	<ul style="list-style-type: none"> <li>●유속측정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-방식 : 초음파(도플러)방식</li> <li>-측정범위 : -1.52~6.1m/s</li> <li>-Accuracy : ±2%</li> </ul> </li> <li>●수심측정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-방식 : 탐침식 압력변환방식</li> <li>-측정범위 : 5mm~3.5m</li> <li>-Accuracy : ±0.085%</li> </ul> </li> <li>●유량측정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Accuracy : ±2%</li> </ul> </li> </ul>
Materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Enclosure : PVC</li> <li>-보호등급:NEMA 6</li> </ul>
Application condition	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Infiltration/Inflow</li> <li>-합류식 하수관거 월류수(CSOs)</li> <li>-하·폐수 처리장 관리용</li> </ul>
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>-센서 오염방지 기능과 견고한 센서 장착 가능</li> <li>-온도변화에 따른 수면효과 오류 방지</li> <li>-Q-Stick밴드 사용 바닥위에서 흐름측정</li> <li>-Window용 프로그램사용으로 컴퓨터를 통한 실시간 자료수집 및 데이터 관리가 가능</li> <li>-현장 Calibration이 가능</li> <li>-유지관리성, 경제성이 우수함</li> <li>-설치, 이설이 용이함</li> </ul>



#### 다. 입력자료의 구축

본 연구에서는 강우시 유출유량 곡선 및 유출 수질 곡선을 모의하기 위하여 Storm Water Management Model(SWMM)의 RUNOFF Block과 Transport Block을 적용하였다.

SWMM 적용에 필요한 입력자료 중 일부는 Geographic Information System(GIS)을 사용하여 산출하였다. 예를 들면 하천도와 DEM, 그리고 전주시 우수 관망도를 바탕으로 대상지역의 유역도를 산출하고, 배수체계의 특성에 따라 이를 각각 소유역으로 구분하였다. 또한 각 소유역의 면적과 경사, 하도의 길이, 하상 경사 등의 산정을 위해 GIS 기법을 사용했다. 그리고 토지이용 분류는 현장조사를 통해 분류하였다. 이밖에 요구되는 여러 가지 매개변수들은 기존 연구 문헌을 참고하였다.

한편, 기상 입력자료는 강우량, 강설량, 증발량의 세 가지가 있으며, 이 중에서 본 연구는 단일 강우사상시 모의를 대상으로 하였으므로 증발량과 강설량은 고려하지 않았다. 따라서 입력자료로는 강우량만을 선정하였으며, 입력강우자료는 전주기상관측소의 자료를 사용하였다. 적용 대상 강우량은 9월 7일 단일강우사상, 11월 1일 단일강우사상이다.

이밖에 유출수질 곡선 모의시 선행 무강우 일수가 오염물질 축적에 중요한 자료로 사용되었는데 본 연구의 강우사상에 있어서 9월 7일에는 5일, 11월 1일에는 12일의 무강우 일수를 나타냈다.

#### 라. 유역 특성자료의 적용

연구 대상유역의 관망도는 전주시 하수관망도(전주시, 1998, 축척 1:3000)와 GIS 프로그램인 Arc/Info를 사용하여 수치지도 형태로 디지털라이징을 하여 생성하였다. 하수관망도를 기반으로 합류식 구역은 12개, 분류식 구역은 55개의 배수구역으로 세분하였다. 이러한 유역 구분을 바탕으로 각 소유역별로 유역 넓이, 폭, 경사도, 불투수 면적 비율 등을 산정하였다.

##### 1) 유역의 폭

현실에서는 비정형화된 형상을 나타내는 유역을 SWMM에서는 일정한 직사각형의

형태로 가정한다. SWMM에서 유역의 폭을 구하는 방식은 다음과 같다.

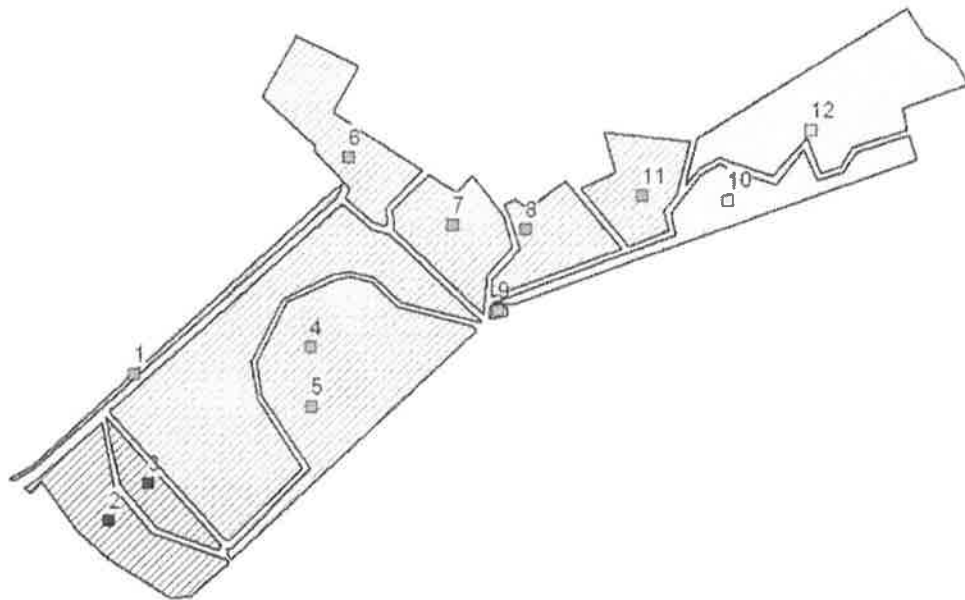
$$W' = (2 - S_k) \cdot L \quad (6-1)$$

$$S_k = (A_2 - A_1) / A \quad (6-2)$$

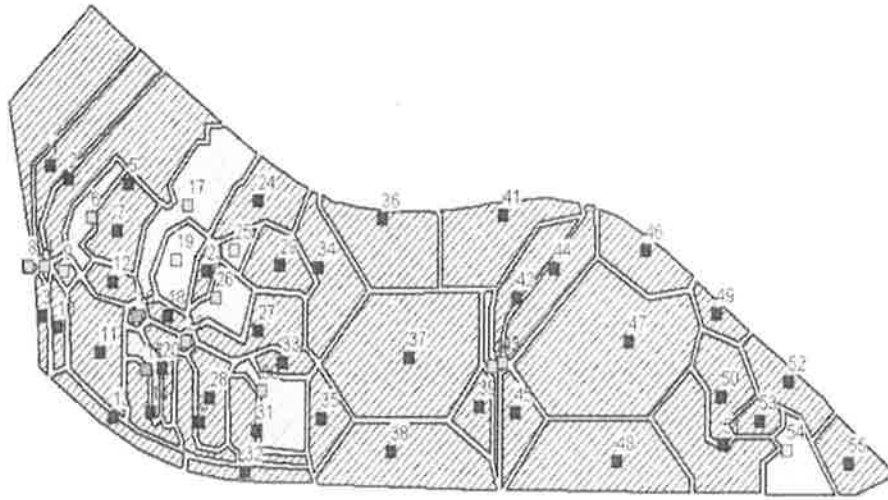
여기서,  $W$  = Total width of overland flow (=2L) (m),  $L$  = length of main drainage channel (m),  $S_k$  = skew factor ( $0 \leq S_k \leq 1$ ) (dimensionless)

## 2) 경사도

유역의 기하학적 형태가 단순한 경우는 단순히 표고차를 유로의 길이로 나누어 산정하지만, 유역의 형태가 복잡한 경우는 그 유역에서 존재하는 유로들의 길이를 가중 평균하여 산정한다. 본 연구에서는 각 소유역의 경사도는 DEM 자료와 소유역도를 이용하여 Arc/Info 프로그램을 통해 산정하였다.



(그림 6-4) 합류식 하수관거의 집수구역 번호



(그림 6-5) 분류식 하수관거의 집수구역 번호

<표 6-5> 합류식 하수관거의 집수구역 특성

Catchment ID	Area (ha)	Width (m)	Slope (%)
1	0.814	1352.8	1.877
2	3.420	217.5	0.192
3	1.567	382.7	0.487
4	10.951	556.1	1.877
5	7.295	664.3	2.136
6	3.463	111.3	2.289
7	2.966	317.6	2.149
8	2.437	265.4	2.030
9	0.094	66.9	1.666
10	3.317	1309.2	5.533
11	2.488	167.4	2.341
12	6.322	779.6	9.406

<표 6-6> 분류식 하수관거의 집수구역 특성

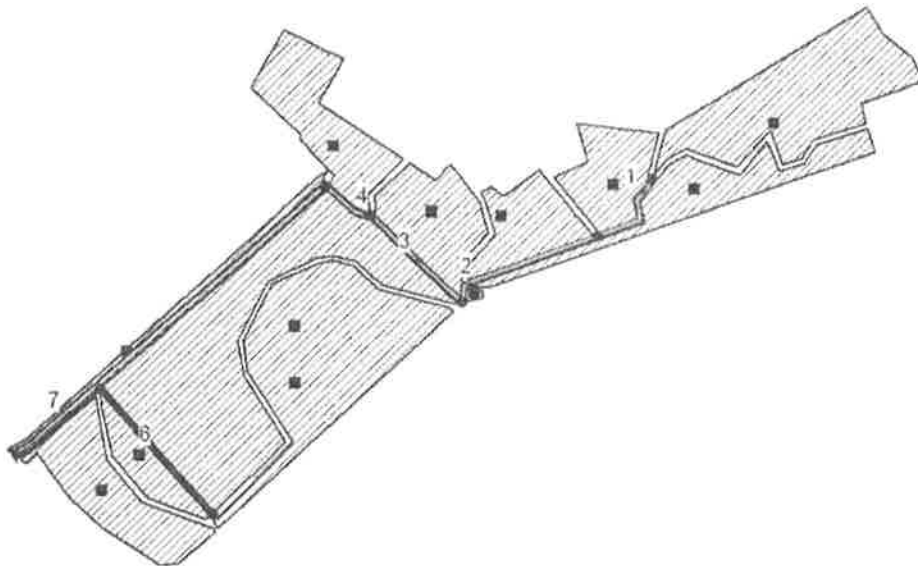
Catchment ID	Area (ha)	Width (m)	Slope (%)
1	2.765	562.4	0.001
2	1.605	611.9	0.001
3	0.314	289.2	0.001
4	0.056	42.5	0.001
5	2.987	481.1	0.001
6	0.552	36.7	0.001
7	1.245	122.3	0.001
8	0.056	47.8	0.001
9	0.168	85.6	0.001
10	0.454	232.2	0.001
11	1.588	255.3	0.001
12	0.459	214.1	0.001
13	0.722	499.1	0.001
14	0.617	182.5	0.001
15	0.393	70.2	0.001
16	0.127	57.7	0.001
17	1.981	26.5	0.001
18	0.276	174.5	0.001
19	0.778	95.4	0.001
20	0.520	114.9	0.001
21	0.619	235.9	0.001
22	0.075	49.5	0.001
23	0.320	169.8	0.001
24	1.222	162.2	0.001
25	0.268	77.7	0.001
26	0.738	27.3	0.001
27	1.273	128.1	0.001
28	0.904	105.1	0.001
29	0.927	186.4	0.001
30	1.114	31.5	0.001
31	0.795	224.2	0.001
32	0.613	439.3	0.001
33	0.433	207.7	0.001
34	1.709	393.9	0.001
35	0.817	254.9	0.001
36	2.179	263.9	0.001
37	4.730	514.8	0.001
38	2.676	439.2	0.001
39	0.669	219.6	0.001
40	0.463	43.6	0.001

<표 6-6> 분류식 하수관거의 집수구역 특성 (계속)

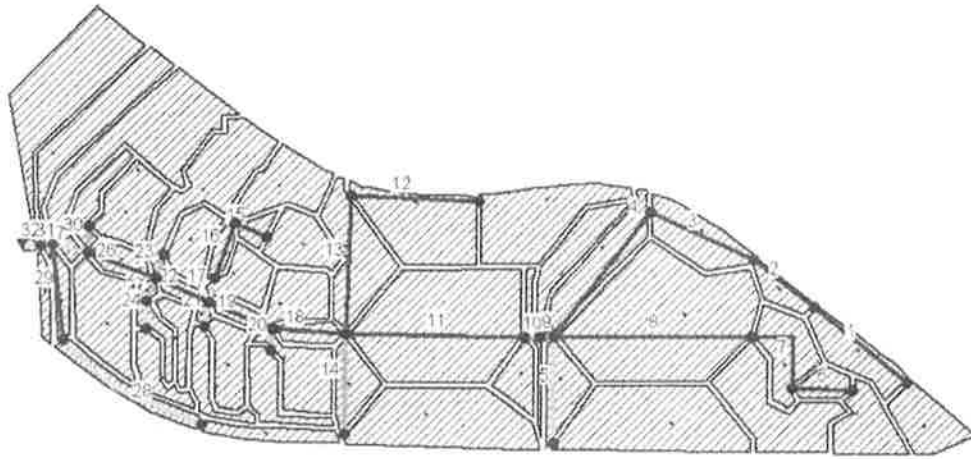
Catchment ID	Area (ha)	Width (m)	Slope (%)
41	2.124	294.9	0.001
42	1.045	373.5	0.001
43	0.028	39.1	0.001
44	1.316	421.3	0.001
45	0.788	245.6	0.001
46	1.223	266.8	0.001
47	5.421	557.8	0.001
48	2.984	444.3	0.001
49	0.494	202.0	0.001
50	1.086	242.1	0.001
51	2.052	260.8	0.001
52	1.097	312.5	0.001
53	0.438	173.7	0.001
54	1.007	88.9	0.001
55	1.056	160.1	0.001

○ 하수관거 속성

하수관거에 대한 속성은 우수관망도는 전주시 하수관망도(전주시, 1998, 축척 1:3000)를 참고하여 입력하였다.



(그림 6-6) 재래식 지역에서의 합류식 하수관거



(그림 6-7) 개선된 지역에서의 분류식 하수관거

<표 6-7> 재래식 지역에서의 합류식 하수관거 특성

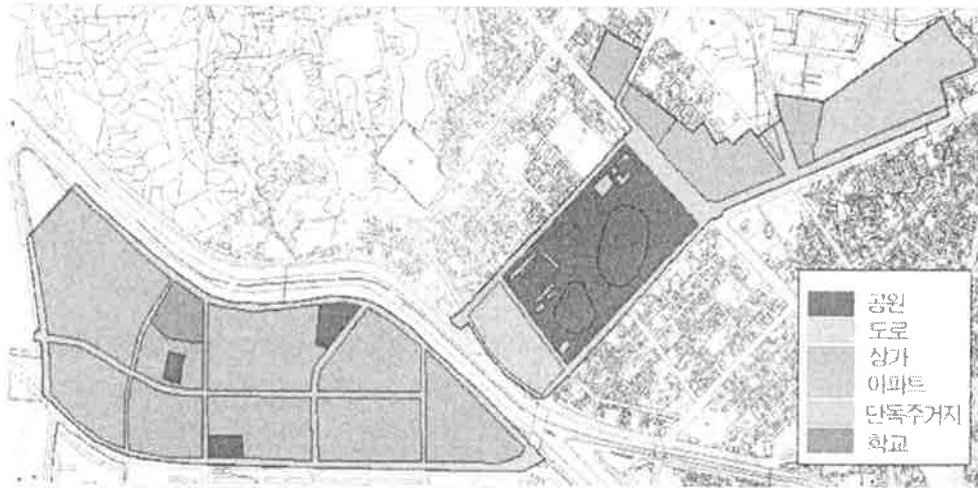
Conduit ID	Shape	Length (m)	Diameter (m)	Height (m)	Manning n
1	Box	169.0	1.0	1.0	0.013
2	Box	241.0	1.0	1.0	0.013
3	Box	236.0	1.5	1.0	0.013
4	Box	104.5	2.0	1.0	0.013
5	Box	792.5	2.5	1.0	0.013
6	Box	308.0	1.5	1.0	0.013
7	Box	238.0	2.5	1.0	0.013

<표 6-8> 개선된 지역에서의 분류식 하수관거 특성

Conduit ID	Shape	Length (m)	Diameter (m)	Height (m)	Manning n
1	Circular	157.9	0.6		0.013
2	Circular	129.2	0.7		0.013
3	Circular	233.5	0.8		0.013
4	Circular	265.0	0.8		0.013
5	Circular	170.0	0.8		0.013
6	Circular	110.0	0.6		0.013
7	Circular	108.5	0.6		0.013
8	Box	324.0	2.0	1.5	0.013
9	Box	19.0	2.0	1.5	0.013
10	Box	25.0	2.0	1.5	0.013
11	Box	299.0	2.0	2.0	0.013
12	Circular	231.7	0.8		0.013
13	Circular	236.4	0.9		0.013
14	Circular	170.0	0.9		0.013
15	Circular	43.6	0.5		0.013
16	Circular	90.3	0.7		0.013
17	Circular	33.9	0.9		0.013
18	Box	126.3	2.0	2.0	0.013
19	Box	102.5	2.5	2.5	0.013
20	Circular	29.5	0.9		0.013
21	Circular	29.9	0.8		0.013
22	Box	131.5	2.5	2.5	0.013
23	Circular	33.6	1.0		0.013
24	Circular	63.7	0.8		0.013
25	Circular	29.7	1.0		0.013
26	Box	95.4	2.5	2.5	0.013
27	Box	33.4	2.5	2.5	0.013
28	Circular	251.8	0.6		0.013
29	Circular	170.4	0.6		0.013
30	Circular	34.4	0.9		0.013
31	Box	40.0	2.5	2.5	0.013
32	Box	40.0	2.5	2.5	0.013

○ 토지이용 및 불투수층 비율

토지이용은 현장조사를 통해 상가, 단독주택, 공동주택, 농업지역, 산림, 도로의 6가지로 분류하였다. 조사된 자료를 수치지도에 표시하여 면적을 산정하고 소유역별로 토지이용의 비율을 산정하였다. 또한 토지이용의 분류에 따라 소유역별 불투수면적을 산정하였다.



(그림 6-8) 본 조사대상 지역의 토지이용현황

○ 토양 특성

농업과학기술원의 수치 정밀토양도를 이용하여 Horton 침투식의 최대 침투능, 최소 침투능에 대한 정보를 산정하여 소유역의 토양의 투수성과 배수성에 대한 정보를 생성하였다.

○ 타 매개변수

그 밖에 Manning 조도계수, 지표면 저류량(depression storage), Horton 방정식의 침투관련 매개변수는 기존 연구문헌을 참고로 하였다.

지표면에 관한 Manning의 조도계수는 피복상대와 흐름상태의 변화 및 아주 작은 흐름 깊이 등으로 인하여 하도의 경우에서와는 달리 일반적인 값으로 대표되기가 매우 어려우나, 수심, 유출량 및 Reynolds 수 등에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

지표면 저류는 투수 및 불투수지역에서 유출이 발생하기 전에 충분히 채워지는 부피로 정의되며, 이는 지표면 습윤(wetting), 차단(interception), 증발(evaporation) 및 저류(ponding) 등에 의하여 발생하는 초기손실 부분을 의미한다.



<표 6-9> 지표유출 맨닝(Manning) 계수

Source	Ground cover	Manning n	Range
Crawford and Linsley (1996)a	Smooth Asphalt	0.012	
	Asphalt of concrete paving	0.014	
	Packed clay	0.03	
	Light turf	0.20	
	Dense turf	0.35	
	Dense shrubbery and forest litter	0.4	
Engman (1986)b	Concrete or asphalt	0.011	0.01 - 0.013
	Bare sand	0.01	0.01 - 0.016
	Graveled surface	0.02	0.012 - 0.03
	Bare clay-loam (eroded)	0.02	0.012 - 0.033
	Range(natural)	0.13	0.01 - 0.32
	Bluegrass sod	0.45	0.39 - 0.63
	Short grass prairie	0.15	0.10 - 0.20
	Bermuda grass	0.41	0.30 - 0.48

Note) a. Obtained by calibration of Stanford Watershed Model

b. Computed by Engman(1986) by kinematic wave and storage analysis of measured rainfall-runoff data.

Quotation) Huber and Dickinson, 1988

<표 6-10> 관거흐름 맨닝(Manning) 계수

Material	Typical Manning Roughness Coefficient
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides	
- concrete	0.020
- mortared stone	0.023
- riprap	0.033
Natural stream channels	
Clean, straight stream	0.030
Clean, winding stream	0.040
Winding with weeds and pools	0.050
With heavy brush and timber	0.100
Flood plains	
Pasture	0.035
Field crops	0.040
Light brush and weeds	0.050
Dense brush	0.070
Dense trees	0.100

Quotation) Chow et al., 1988

<표 6-11> 지표 지체특성

Soil condition		Depth of storage (cm)	Represent value (cm)
Impervious	Covered shed	0.13-0.40	0.25
	Roof	Horizon	0.25-0.80
		Slope	0.13-0.25
Pervious	Glass	0.50-1.25	0.75
	Forest	0.50-1.50	1.00

Quotation) Lee et al., 1994.

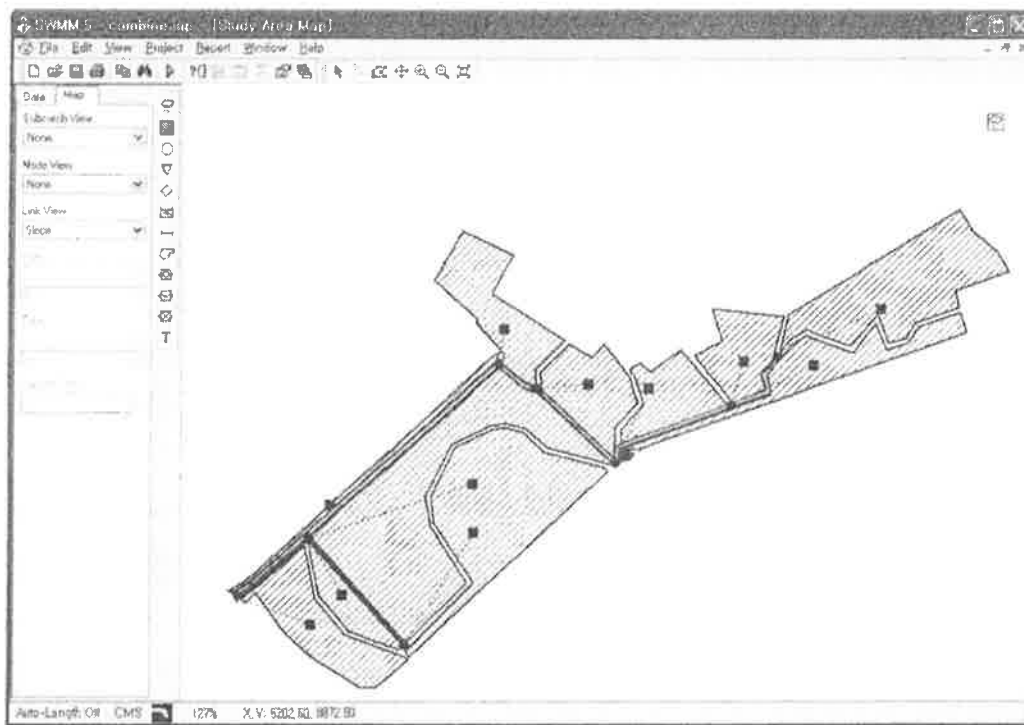
<표 6-12> Horton 식에 따른 침투 계수

Description	SCS Soil			
	A	B	C	D
Final Impervious $f_c$ (mm/hr)	25.4	12.7	6.4	2.5
Initial Impervious $f_0$ (mm/hr)	25.4	20.3	12.7	7.6
Declining coefficient	0.00056(1/sec) = 2.016 (1/hr)			

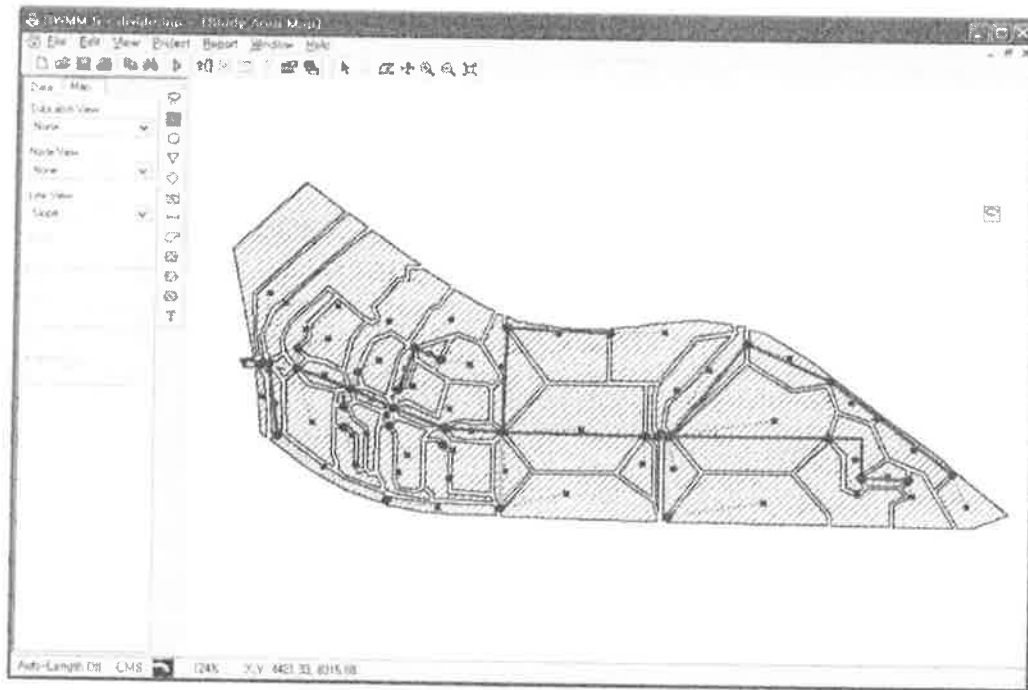
Quotation) Lee et al., 1994.

○ SWMM 입력자료 생성

EPA에서 나온 SWMM Ver. 5.0을 이용하여 소유역, 관거, 집합점에 대한 입력자료를 생성하고 개별 강우사상에 대한 입력자료를 생성하였다.



(그림 6-9) 합류식 하수관거에서의 입력자료



(그림 6-10) 분류식 하수관거에서의 입력값

### 3. 유량 및 수질측정 결과

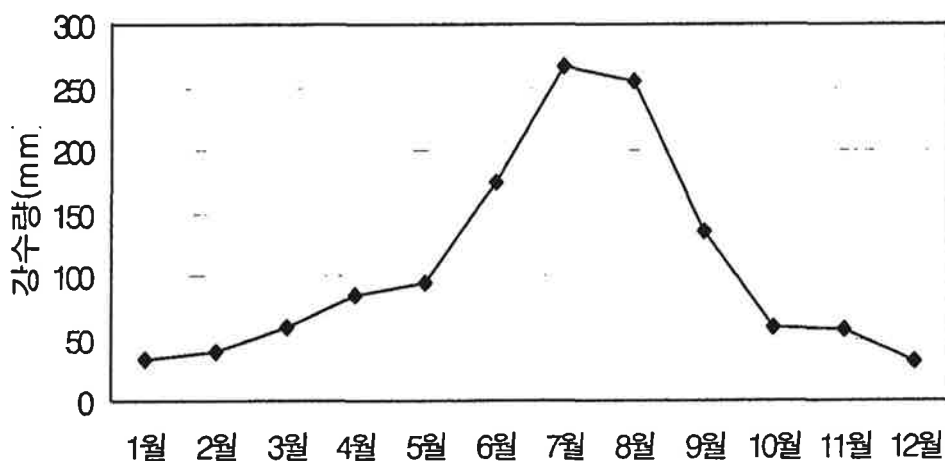
#### 가. 강우량

지역내의 기상자료는 전주 기상청의 자료를 이용하여, 1971 ~ 2000년 사이의 월별 평균기온, 평균습도, 평균강수량, 평균풍속 등을 분석하였으며, (그림 6-11)과 (그림 6-12)는 전주시의 전형적인 월 평균 강수량을, <표 6-11>과 (그림 6-13)은 전주기상 관측소에서 측정된 강우사상이 있었던 9월 7일과 11월1일에 강우강도를 나타내고 있다.

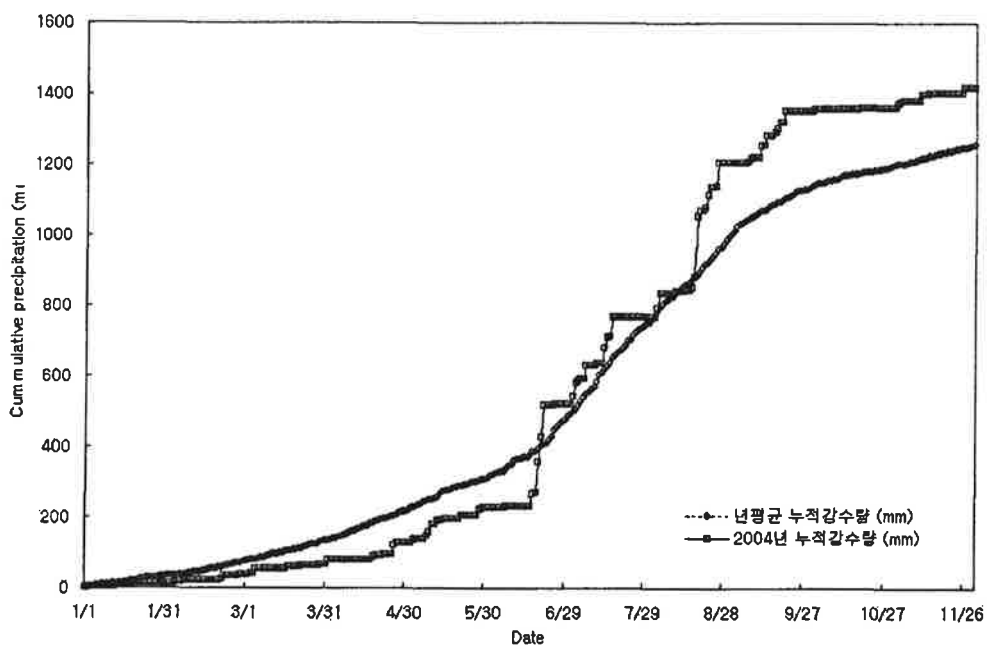
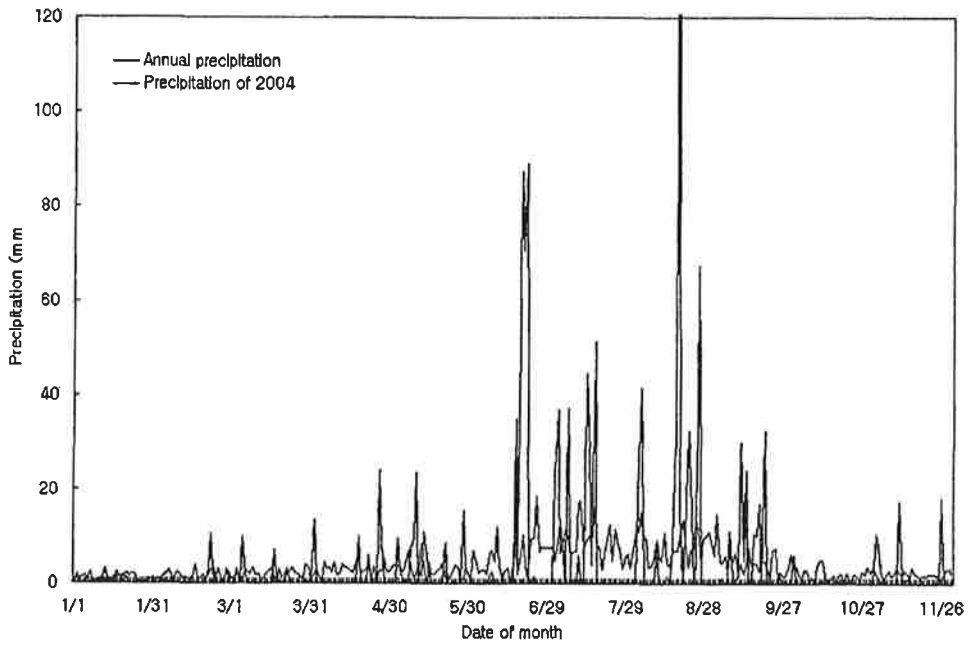
<표 6-13> 조사기간의 전주시 강우 현황

Date	2004. 9. 7														
Hour	08	09	10	11	12	13	14	15	16	1시	18	19	20	21	22
Rainfall (mm/hr)	0.0	-	-	0.0	0.0	1.0	7.0	0.5	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.5	0.0
Date	2004. 11. 1										2004. 11. 2				
Hour	14	15	16	1시	18	1시	20	21	22	23	24	01	02	03	04
Rainfall (mm/hr)	-	-	-	-	3.0	-	-	3.0	-	-	4.5	-	-	1.0	-

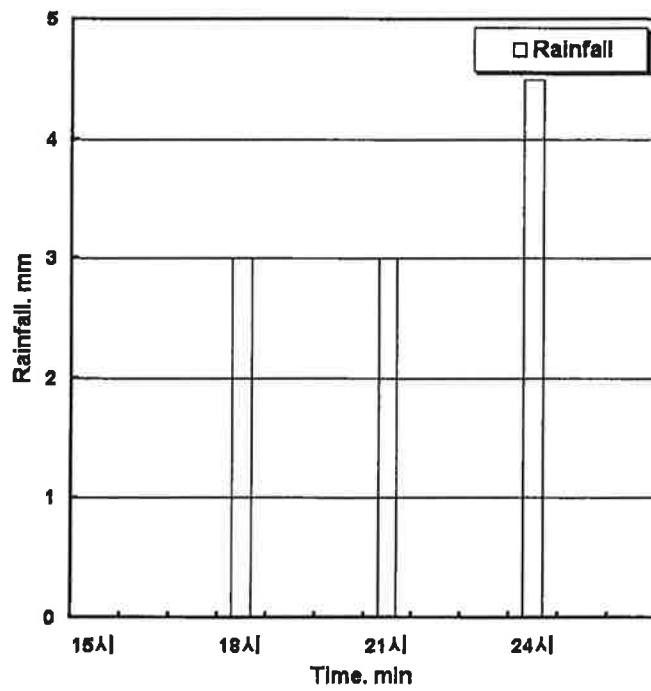
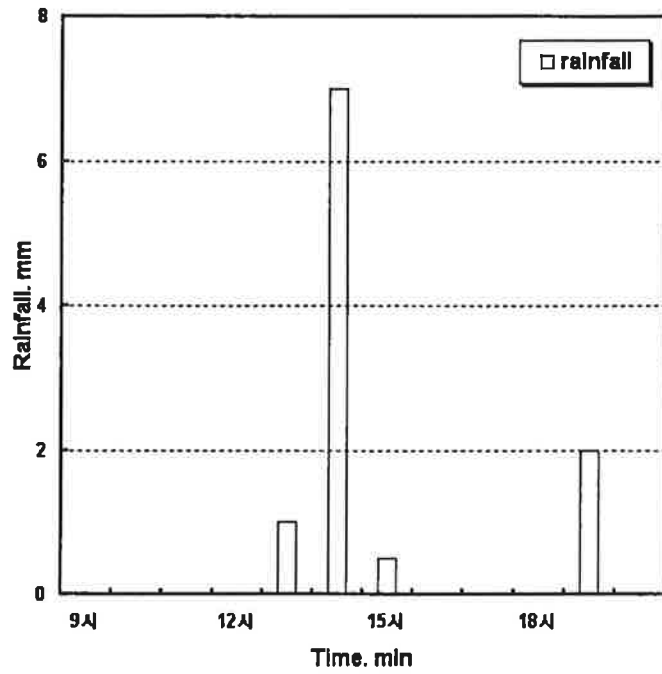
월별 평균 강수량 (1971-2000)



(그림 6-11) 전주시의 일반적 강우특성



(그림 6-12) 전주시의 2004년도 강수 및 강우현황



(그림 6-13) 조사기간의 전주시 강우량

나. 유량측정 결과

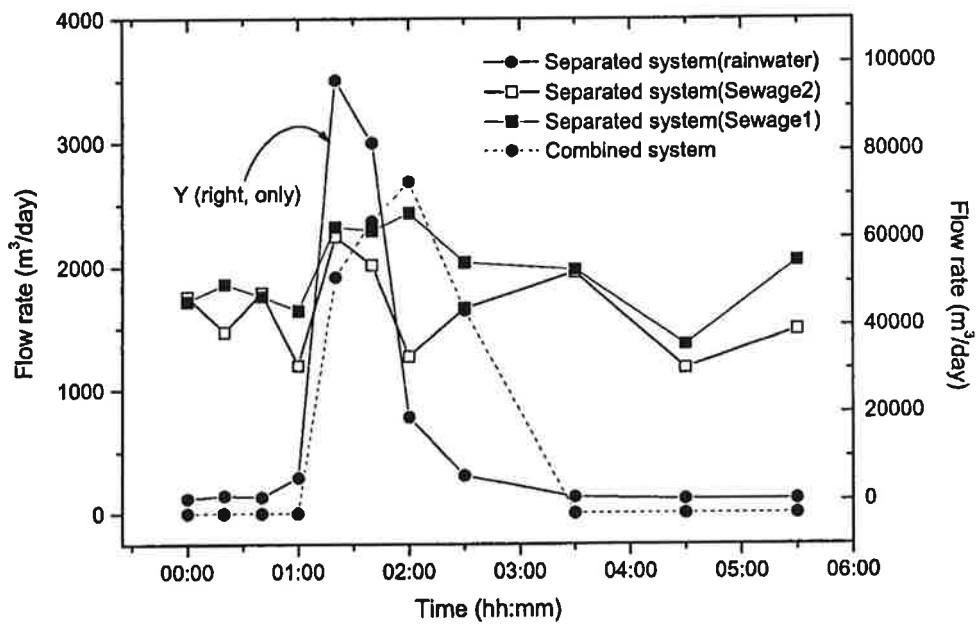
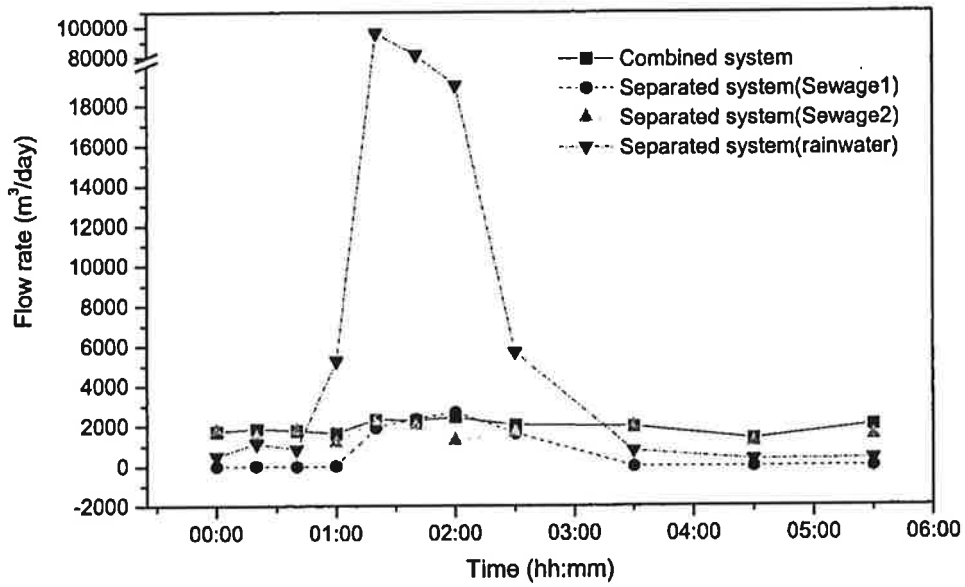
2004년 9월부터 11월까지 강우시 유량을 측정하였고, 시료를 채취하여 수질을 분석하였다. 다음 <표 6-14> 및 (그림 6-14)는 2004년 9월 7일 여름철 태풍 '송다'의 영향으로 집중강우가 있을 당시 측정된 분류식과 합류식의 시간대별 유량측정값을 나타내고 있다.

(그림 6-14)에서 볼 수 있듯이 강우량에 따라 하수관의 유량변동이 나타나고 있으며 분류식 우수관의 유량변동과 합류식 하수관의 유량변동이 대체로 유사한 경향을 보이고 있다. 우수관은 1과 2가 유사한 패턴을 보이며 결국 합류식 하수관의 유량은 강우량에 의해서 나타남을 알 수 있다.

<표 6-14> 시간별 유량 변화 (Unit : m<sup>3</sup>/d)

Sampling	Separated system			Combined system
	Rainwater	Sewage1	Sewage2	
12:00	491	1717	1760	0.0
12:20	1130	1861	1473	0.0
12:40	845	1762	1790	0.0
13:00	5249	1645	1197	0.0
13:20	95974	2319	2245	1916
13:40	81768	2291	2015	2365
14:00	18995	2432	1271	2683
14:30	5643	2033	1663	1647
15:30	775	1977	1953	0.0
16:30	326	1369	1177	0.0
17:30	361	2044	1489	0.0





(그림 6-14) 하수관거 조사지역 4개소에서의 유량변화

다. 수질측정 결과

본 연구를 통하여 여름철 태풍이 상륙하였던 집중강우 시기(2004년 9월 7일)와 가을철 강우시기(2004년 11월 1일)를 선정하여 유량과 더불어 수질을 측정하였고, 이를 토대로 SWMM 모델을 이용하여 강우에 따른 비점오염원의 유출특성을 해석하고자 하였다. 다음의 <표 6-15>~<표 6-16>은 9월 7일 태풍기간에 실시한 분류식과 합류식의 시간대별 수질측정 결과물, <표 6-17>~<표 6-22>는 가을철 강우기간에 측정한 수질 값을 각각 나타내고 있다.

한편, (그림 6-15)~(그림 6-19)에는 수질측정 결과를 각 수질항목별로 그래프로 나타내었다. 이에 관한 고찰은 수질변화 및 유출특성의 고찰에서 하기로 한다.

<표 6-15> 분류식 우수관거 측정지점에서의 수질변화 (2004. 9. 7)

sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Flow rate (m <sup>3</sup> /d)
12:00	10	10.0	8.4	491
12:20	160	14.6	12.1	1130
12:40	40	9.0	8.6	845
13:00	60	7.2	6.0	5249
13:20	30	6.4	5.3	95974
13:40	10	11.2	9.3	81768
14:00	20	9.8	6.9	18995
14:30	20	6.8	5.1	5643
15:30	30	10.8	8.5	775
16:30	10	8.6	7.6	326
17:30	10	8.0	6.7	361

<표 6-16> 분류식 하수관거 제1측정지점에서의 수질변화 (2004. 9. 7)

Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Flow rate (m <sup>3</sup> /d)
12:00	120	48.0	40.2	1717
12:20	240	76.0	70.1	1861
12:40	200	43.0	38.1	1762
13:00	150	39.0	34.2	1645
13:20	150	58.0	51.3	2319
13:40	50	65.0	5.06	2291
14:00	125	34.0	28.6	2432
14:30	75	65.0	55.0	2033
15:30	100	63.0	61.2	1977
16:30	100	53.0	49.7	1369
17:30	125	57.0	49.9	2044

<표 6-17> 분류식 하수관거 제2측정지점에서의 수질변화 (2004. 9. 7)

Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Flow rate(m <sup>3</sup> /d)
12:00	50	36.0	33.2	1760
12:20	125	42.0	40.1	1473
12:40	325	36.0	35.2	1790
13:00	175	38.0	34.7	1197
13:20	100	39.0	36.0	2245
13:40	75	46.0	41.1	2015
14:00	50	57.0	47.8	1271
14:30	150	41.0	38.2	1663
15:30	75	38.0	35.2	1953
16:30	75	38.0	34.1	1177
17:30	25	36.0	33.7	1489

<표 6-18> 합류식 하수관거 측정에서의 수질변화 (2004. 9. 7)

Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Flow rate(m <sup>3</sup> /d)
12:00	50	22.0	19.8	0.0
12:20	2600	39.0	37.1	0.0
12:40	700	95.0	80.3	0.0
13:00	300	23.0	19.9	0.0
13:20	150	26.0	22.4	1916
13:40	75	16.0	12.6	2365
14:00	20	12.0	11.1	2683
14:30	60	23.0	17.6	1647
15:30	20	20.0	18.0	0.0
16:30	20	29.0	24.3	0.0
17:30	20	32.0	28.7	0.0

<표 6-19> 분류식 우수관거 측정지점에서의 수질변화 (2004. 11. 1)

Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
18:00	25	25	20	1.785	0.266
18:20	35	30	27	2.549	0.261
18:40	20	23	21	1.164	0.261
19:00	10	22	20	1.164	0.261
19:20	10	22	21	3.600	0.247
19:40	30	24	21	2.549	0.252
20:00	40	45	39	2.740	0.257
20:30	100	23	21	2.358	0.252
21:00	10	19	16	3.218	0.247
21:30	40	18	16	2.263	0.252
22:00	60	25	21	1.296	0.247
23:00	25	17	14	0.887	0.243
24:00	70	17	13	0.734	0.247

<표 6-20> 분류식 하수관거 제1측정지점에서의 수질변화 (2004. 11. 1)

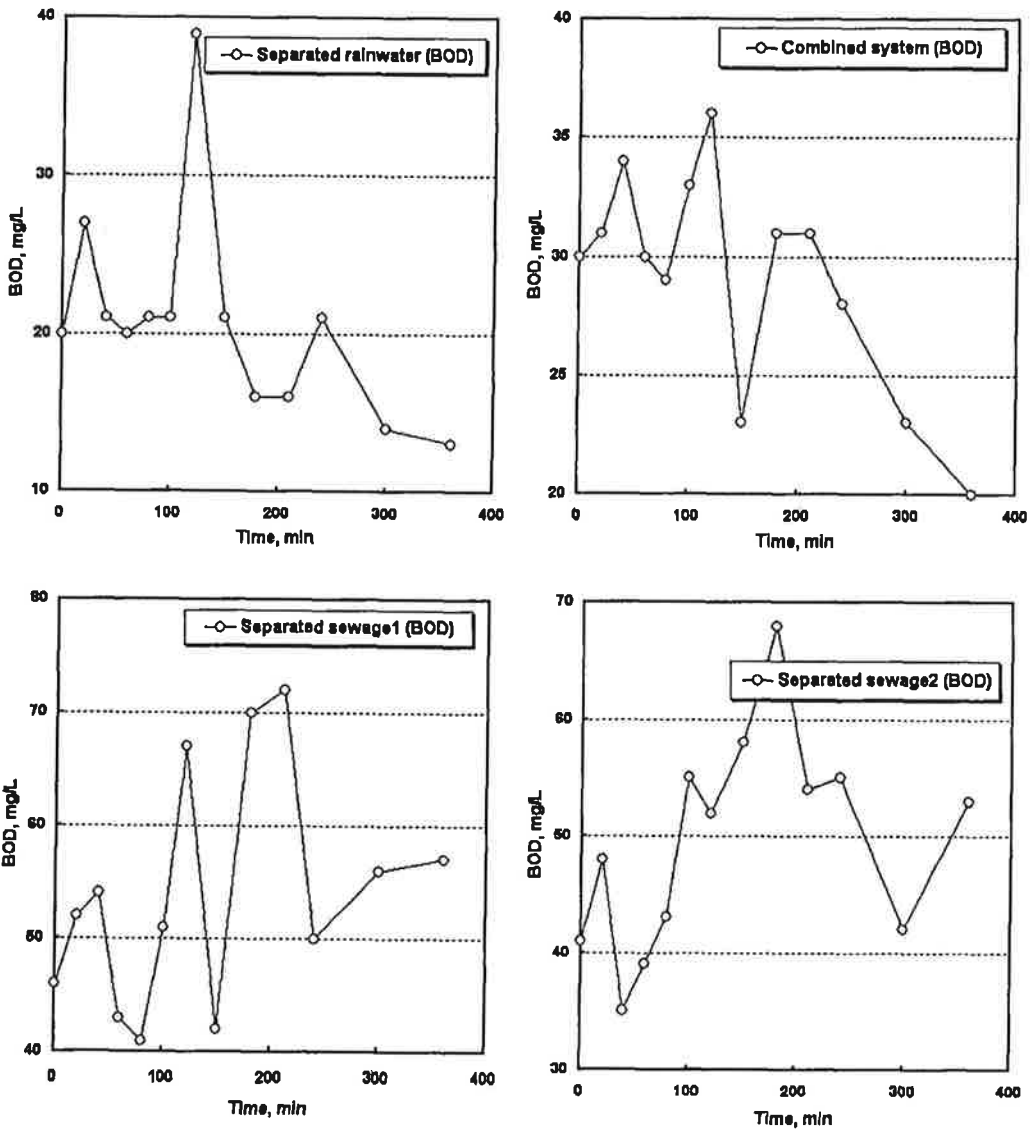
Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
18:00	400	51	46	28.979	2.474
18:20	145	58	52	24.442	2.751
18:40	225	68	54	27.594	2.751
19:00	130	48	43	20.956	2.612
19:20	145	46	41	22.054	2.520
19:40	130	56	51	22.388	2.428
20:00	250	76	67	27.069	2.751
20:30	225	64	42	21.959	2.705
21:00	240	79	70	21.911	2.935
21:30	420	81	72	23.105	3.074
22:00	100	55	50	17.851	2.797
23:00	90	62	56	24.490	3.443
24:00	55	64	57	22.341	3.535

<표 6-21> 분류식 하수관거 제2측정지점에서의 수질변화 (2004. 11. 1)

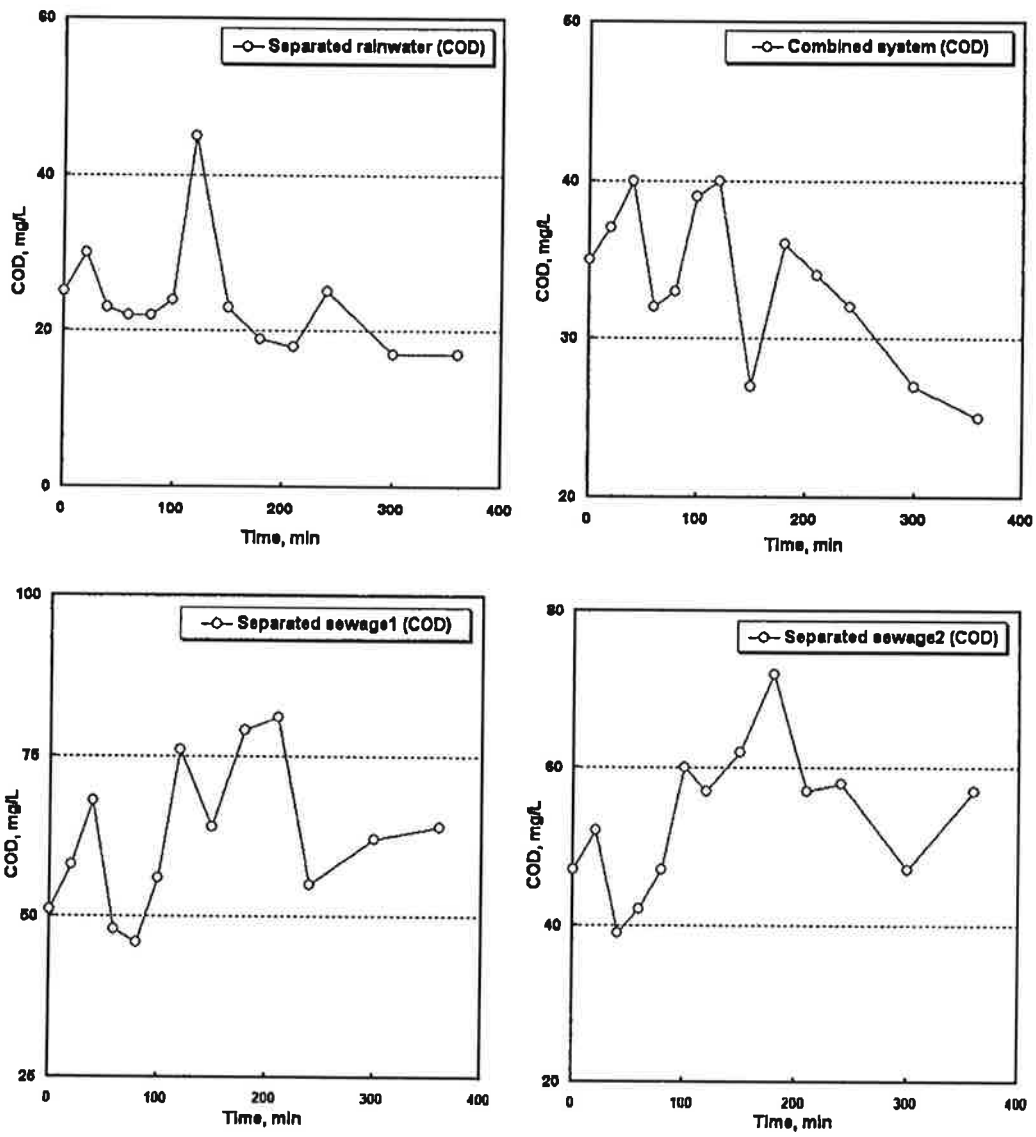
Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
18:시00	20	47	41	18.902	3.304
18:시20	130	52	48	20.239	3.304
18:시40	40	39	35	21.338	3.351
19:시00	120	42	39	17.374	2.889
19:시20	260	47	43	18.711	3.074
19:시40	40	60	55	24.108	3.212
20:시00	85	57	52	19.762	3.028
20:시30	130	62	58	15.033	2.474
21:시00	100	72	68	18.950	2.566
21:시30	280	57	54	15.941	2.566
22:시00	95	58	55	18.950	2.520
23:시00	40	47	42	12.502	2.705
24:시00	60	57	53	19.284	2.705

<표 6-22> 합류식 하수관거 측점에서의 수질변화 (2004. 11. 1)

Sampling	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
18:00	55	35	30	12.932	2.751
18:20	50	37	31	72.775	3.166
18:40	40	40	34	23.726	3.074
19:00	40	32	30	33.134	3.028
19:20	25	33	29	17.565	2.612
19:40	110	39	33	18.281	3.489
20:00	85	40	36	16.323	2.751
20:30	115	27	23	22.006	3.120
21:00	55	36	31	22.054	2.935
21:30	125	34	31	15.368	2.612
22:00	230	32	28	8.385	2.659
23:00	35	27	23	8.634	2.428
24:00	30	25	20	7.535	2.474

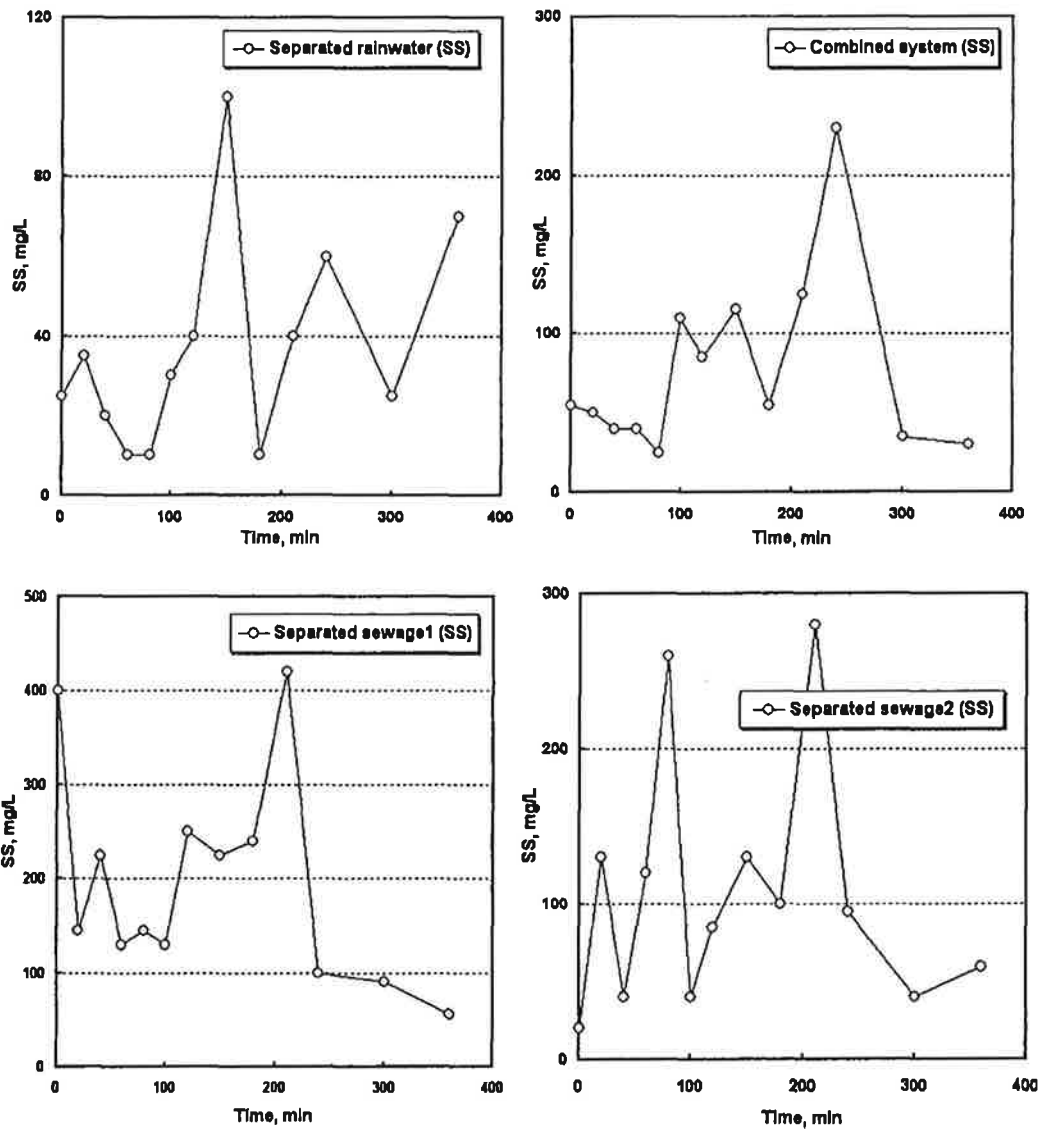


(그림6-15) 하수관거 조사지역 4개소에서의 BOD 변화

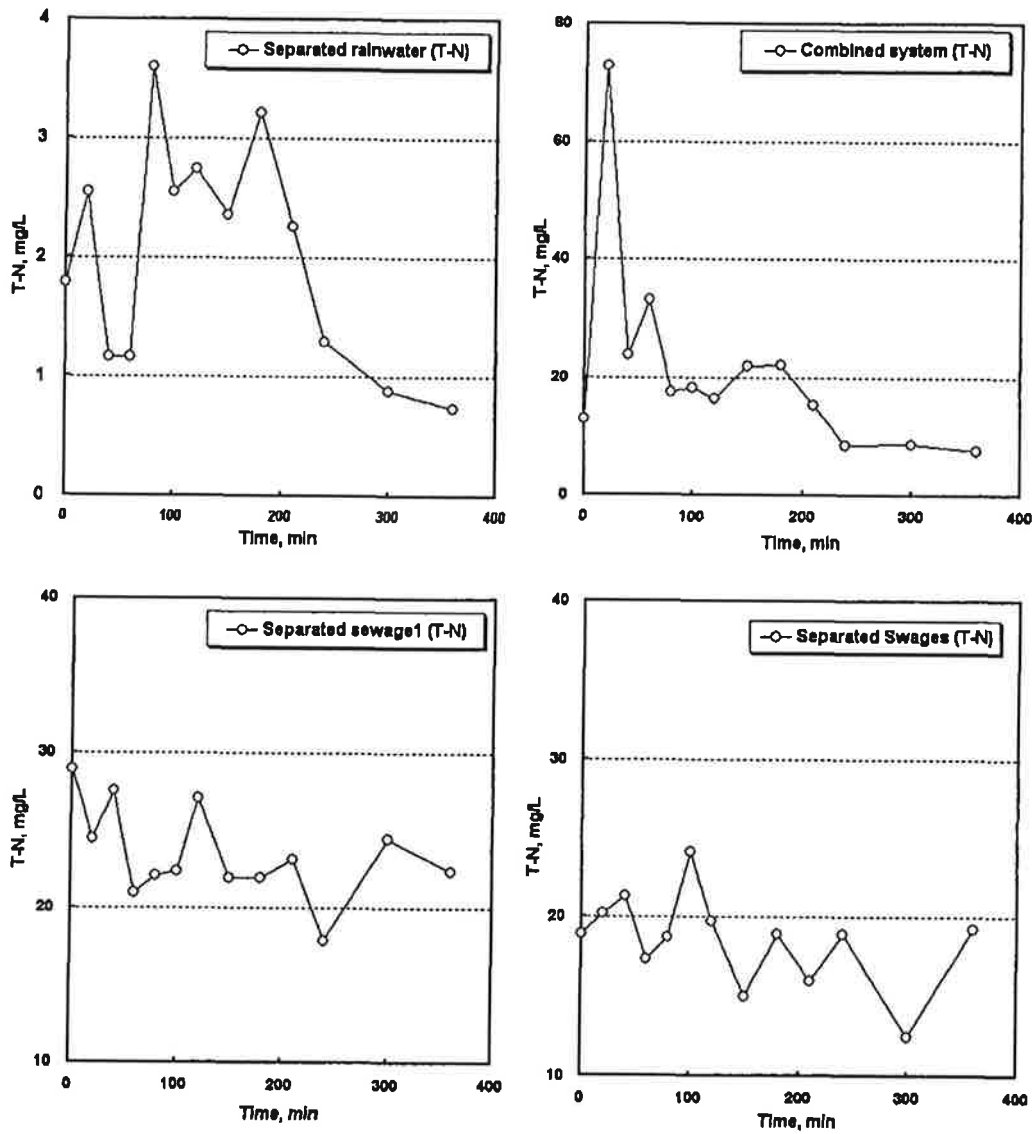


(그림 6-16) 하수관거 조사지역 4개소에서의 COD 변화

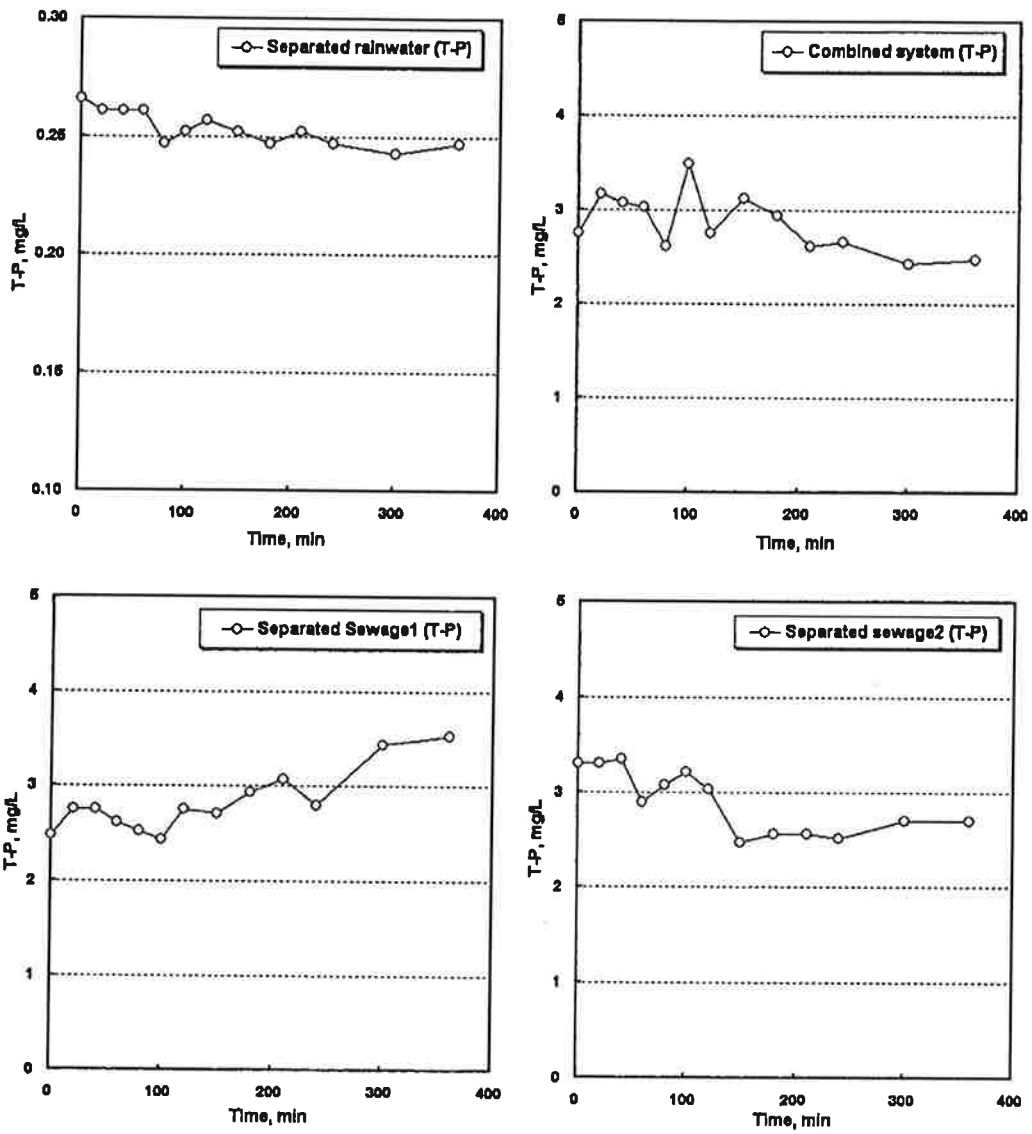




(그림 6-17) 하수관거 조사지역 4개소에서의 SS 변화



(그림 6-18) 하수관거 조사지역 4개소에서의 T-N 변화



(그림 6-19) 하수관거 조사지역 4개소에서의 T-P 변화

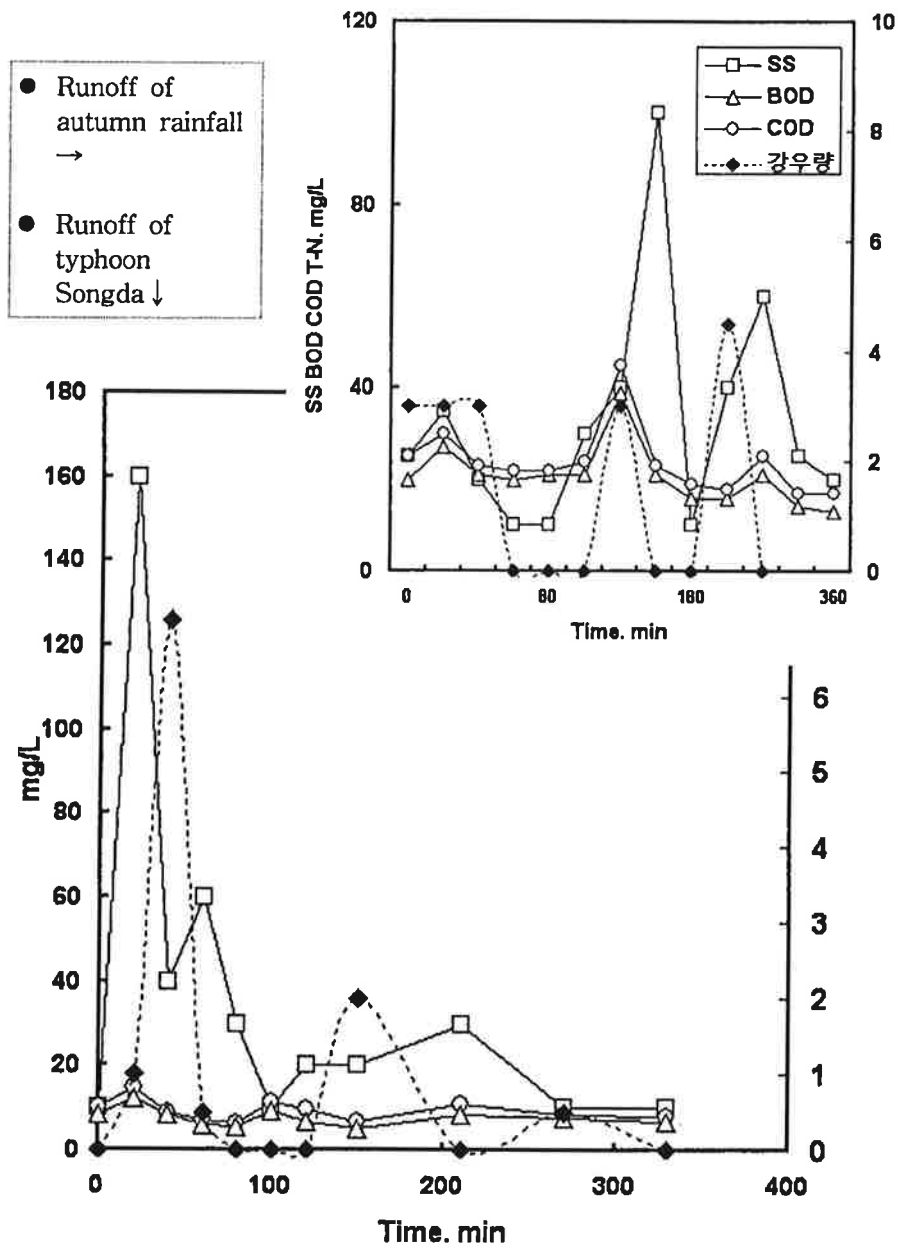
라. 수질변화 및 유출특성의 고찰

1) BOD, COD 및 SS의 유출특성

본 연구에서 측정된 결과를 바탕으로 BOD와 COD 그리고 SS의 유출특성을 살펴보았다. 먼저, 다음의 (그림 6-20)는 분류식 우수관거에서 태풍 송다(2004년 9월 7일)와 가을철 강우(2004년 11월 1일)에 의한 BOD와 COD 그리고 SS의 유출시간별 농도변화를 나타내고 있다. 여기서 볼 수 있듯이, 우수관에서는 매우 빠른 속도로 SS가 상승함을 볼 수 있다. 또한 BOD 및 COD도 강우시간에 따라 비례적으로 상승한 후에 감소함을 볼 수 있다.

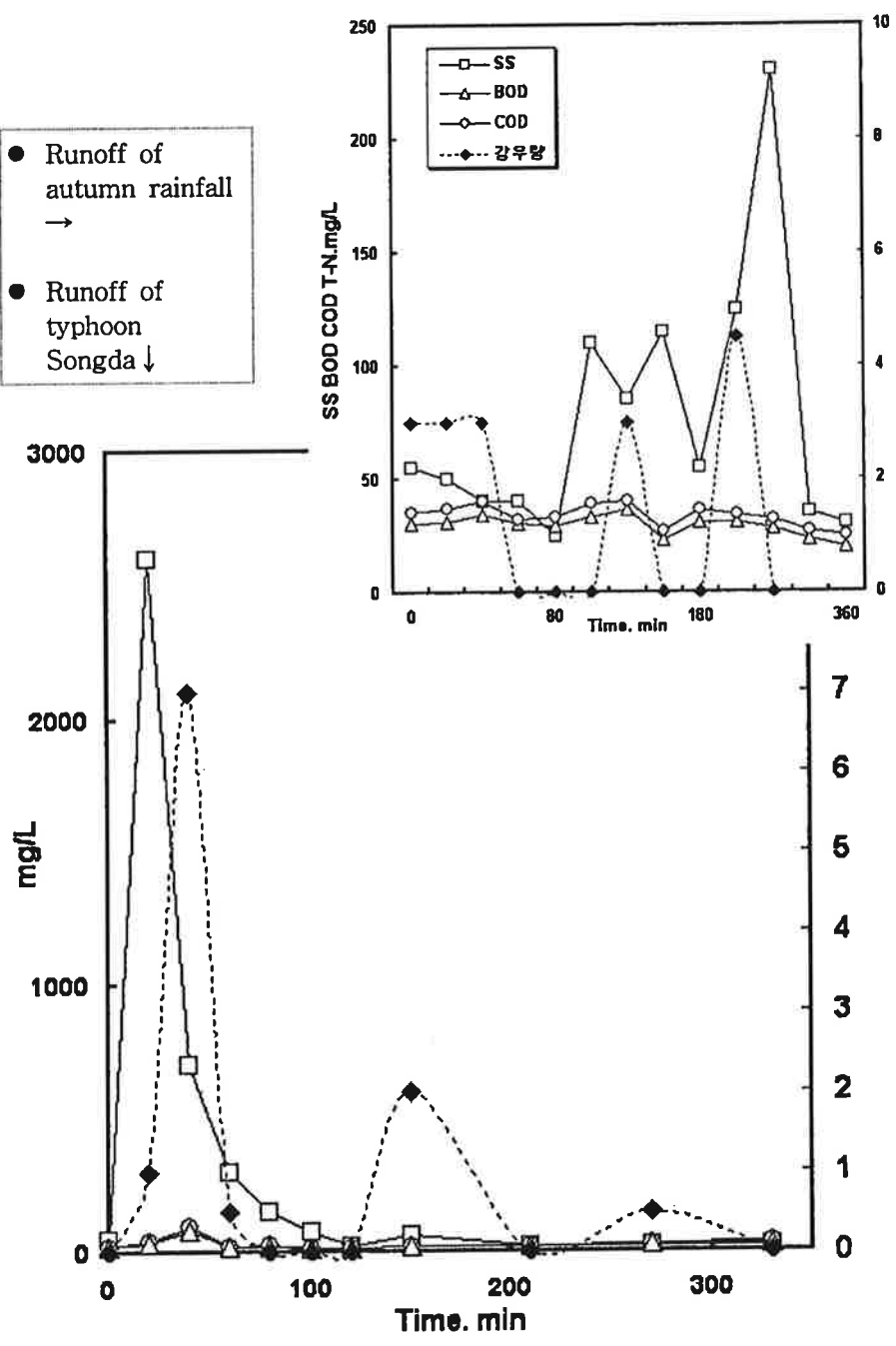
또한, (그림 6-21)의 합류식 하수관거에서도 SS가 강우에 따라 급격히 상승함을 볼 수 있으며 BOD 및 COD의 유출도 분류식 우수관거에서의 유출과 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 패턴은 (그림 6-22)의 분류식 오수관거에서도 거의 동일하게 나타나고 있었다.

특히, 대부분의 경우에서 SS는 강우에 따라 급격한 상승을 나타내는 것은 강우시점에서 비점오염원으로부터의 SS유입뿐 아니라 평상시 관거 바닥에 침적되어 있었던 SS가 집중강우의 강한 유속으로 인하여 유출된 이유로 추정될 수 있다.

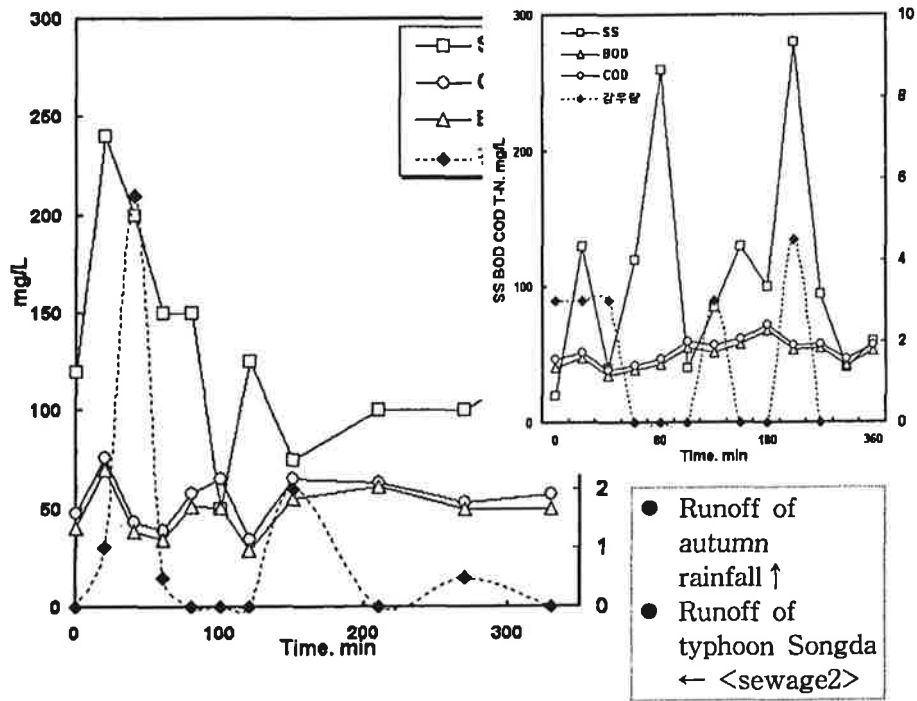
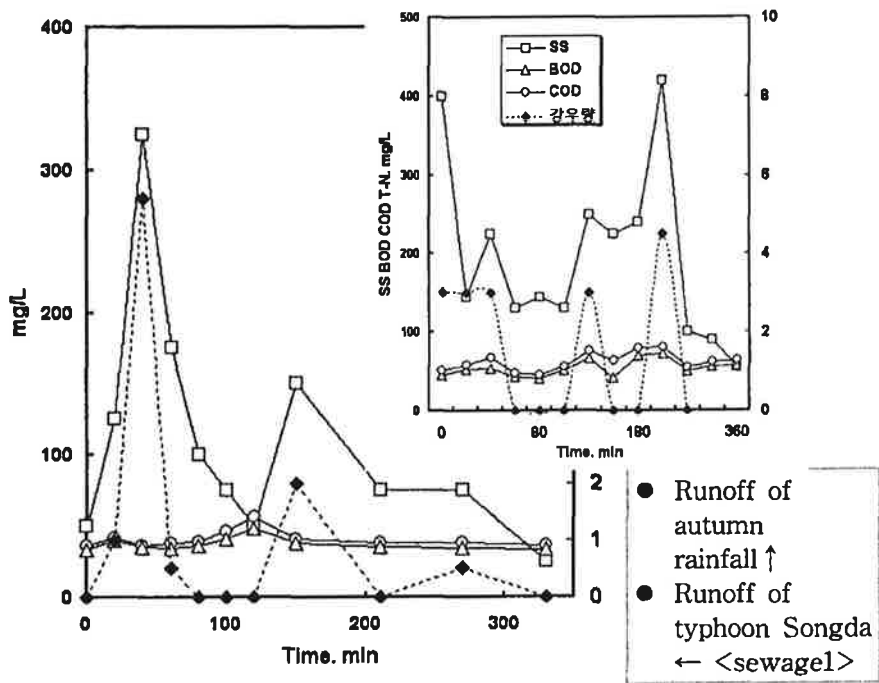


(그림 6-20) 태풍 송다 및 가을 강우기간의 분류식 우수관거에서 BOD, COD, SS의 변화

- Runoff of autumn rainfall  
→
- Runoff of typhoon Songda  
↓



(그림 6-21) 태풍 송다 및 가을 강우기간의 합류식 하수관거에서 BOD, COD, SS의 변화



(그림 6-22) 태풍 송다 및 가을 강우기간의 분류식 하수관거에서 BOD, COD, SS의 변화

## 2) T-N 및 T-P의 유출특성

본 연구에서 측정된 결과를 바탕으로 T-N 그리고 T-P의 유출특성을 살펴보았다. 먼저, 다음의 (그림 6-23)은 분류식 우수관거에서 가을철 강우(2004년 11월 1일)에 의한 T-N 및 T-P의 유출시간별 농도변화를 나타내고 있다. 여기서 볼 수 있듯이, 분류식 우수관과 합류식 하수관에서 강우에 따라 T-N과 T-P의 농도가 상승함을 볼 수 있다.

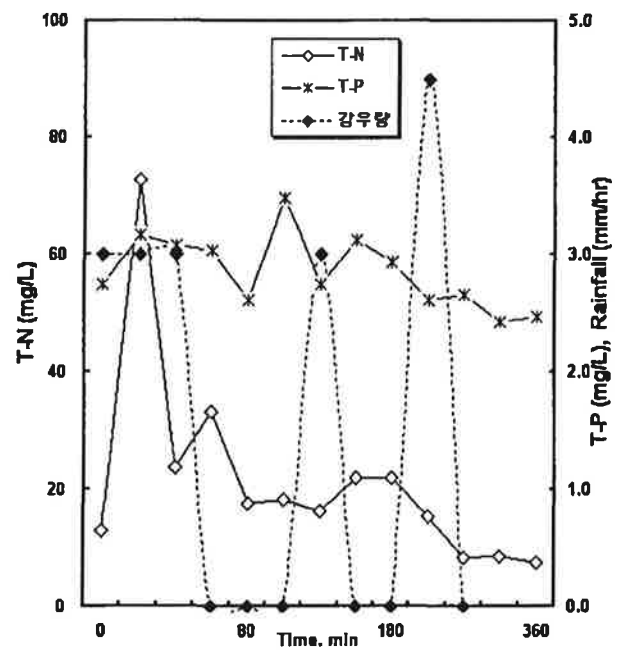
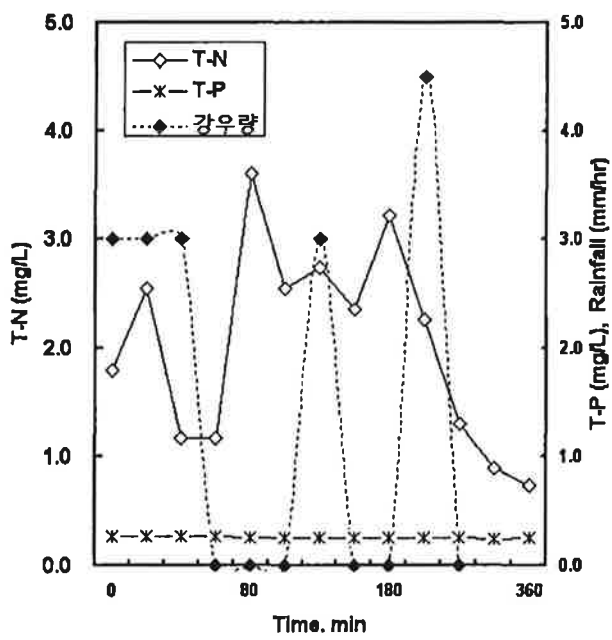
또한, (그림 6-24)의 분류식 우수관거에서도 T-N과 T-P가 강우에 따라 상승함을 볼 수 있으며 이러한 경향은 앞에서의 우수관 및 합류식 하수관과 분류식 우수관거에서도 유사한 것으로 나타났다.

일반적으로 T-N과 T-P 등의 질소 및 인 성분들이 유기물질이나 부유물질처럼 강우초기에 많은 양이 유출되기보다는 강우후반에도 꾸준히 유출되는 경향이 있다. 이것은 기존의 연구(환경부, 1995; Konomu, 1997; 한국건설기술연구원, 2000; 경기도보건환경연구원, 2001)에서 언급되었듯이 토양에 흡착되어 있던 성분들이 서서히 유출된 이유이다. 본 연구는 도시지역에서의 유출인 이유로 T-N과 T-P가 느리게 유출되는 경향은 농업지역에서 유출보다는 빠르게 나타났다.

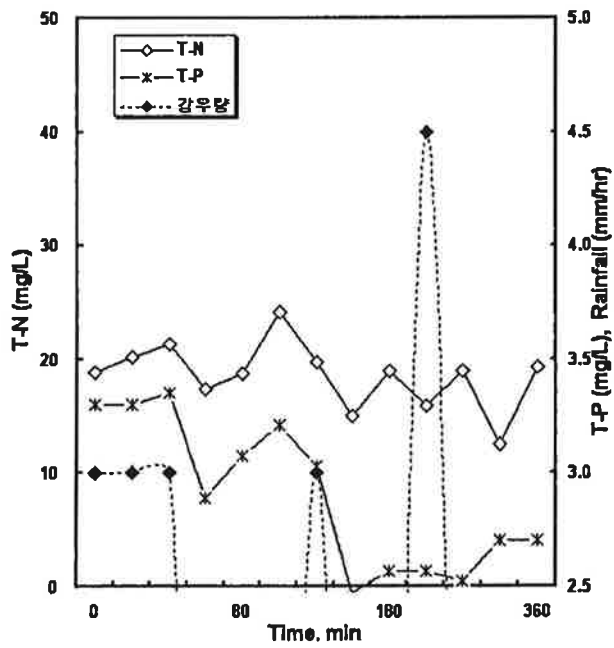
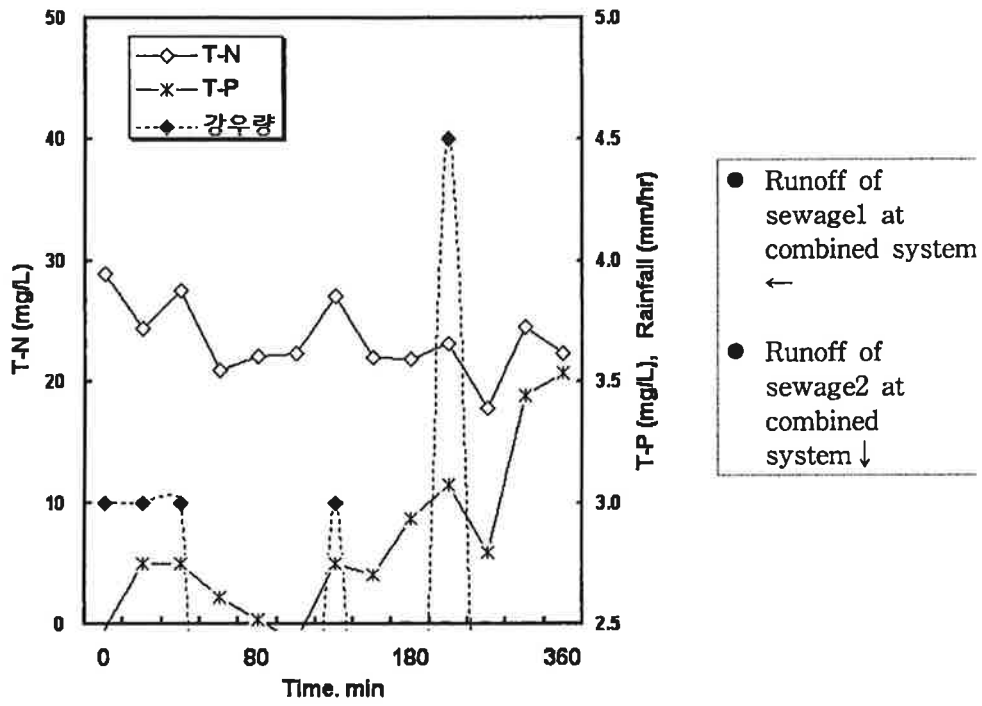
또한 초기 강우시기에 유출되는 농도보다 두 번째 강우에 의하여 유출되는 T-N, T-P 농도는 높지 않았으며 이로 미루어 볼 때, T-N과 T-P는 SS 만큼 빠르게 상승하지는 않으나 농촌지역의 경우보다는 달리 도시지역에서의 유출은 다소 빨라짐을 알 수 있었다.



- Runoff of rainwater at separated system →
- Runoff of rainwater at combined system ↓



(그림 6-23) 가을 강우기간의 분류식 우수관거와 합류식 하수관거에서 T-N, T-P의 변화

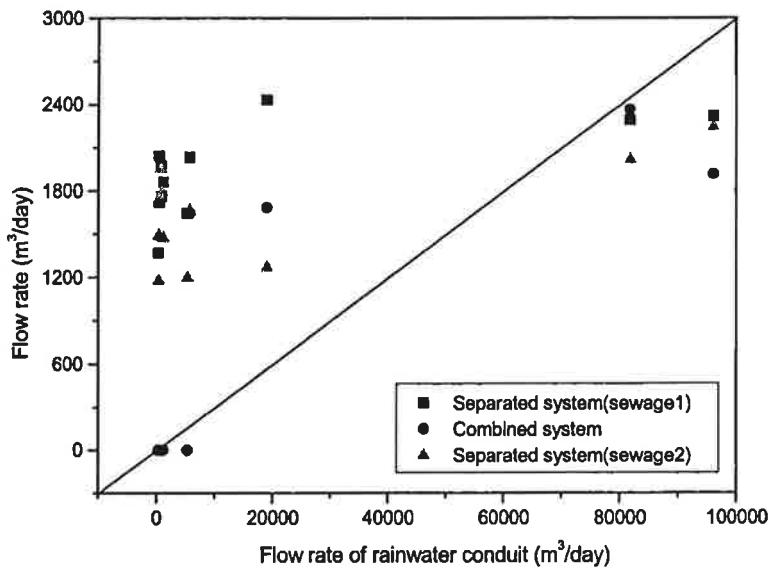


(그림 6-24) 가을 강우기간의 분류식 하수관거에서 T-N, T-P의 변화

### 3) 항목별 상호 관련성

#### 가) 강수량과 관거 유출량

본 절에서는 앞에서 측정된 자료를 토대로 항목별 상관성을 살펴보았다. 먼저 강수량과 각 측정지점에서의 유출량의 상관성을 조사하였다. 다음의 (그림 6-25)에 나타난 바와 같이 강수량을 가장 잘 반영하는 분류식 우수관과 분류식 오수관 그리고 합류식 하수관의 상관성은 그리 높게 나타나지 않았다. 합류식의 경우는 분류식 우수관과의 상관성을 나타내고 있으나 오수관의 유출량은 크게 상관관계를 나타내지 않았다.

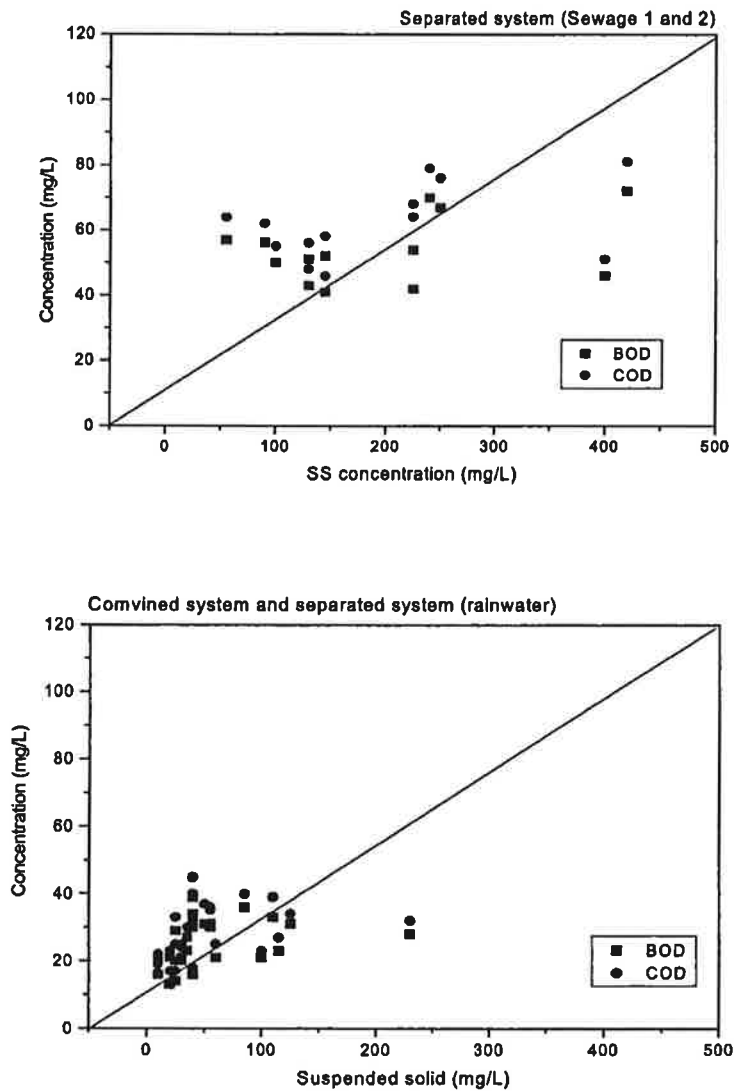


(그림 6-25) 태풍 송다 및 가을 강우동안 분류식 우수관거와 기타 관거에서의 유량 상관관계

#### 나) SS와 BOD 및 COD와의 상관성

본 앞에서 측정된 수질자료를 토대로 항목별 상관성을 살펴보았다. 각 측정지점에서의 SS농도와 BOD 및 COD의 상관성을 조사하였다. 다음의 (그림 6-26)에 나타난 바와 같이 강수량의 변화에 따라 민감하게 농도의 변화가 유발되었던 SS의 농도를

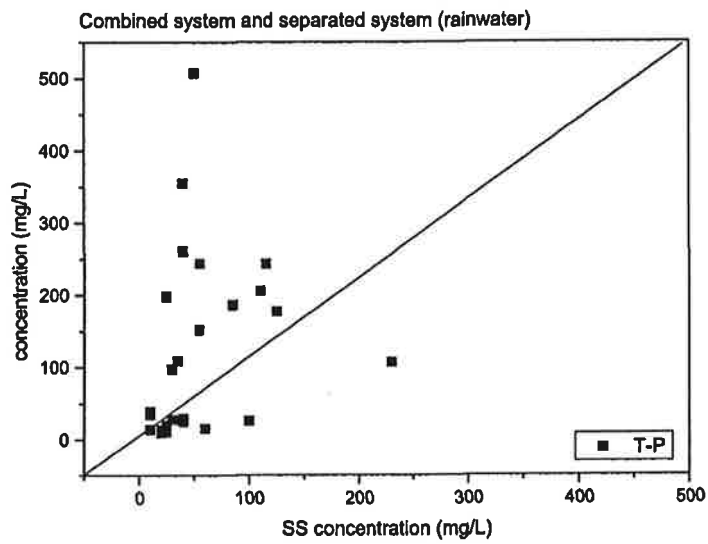
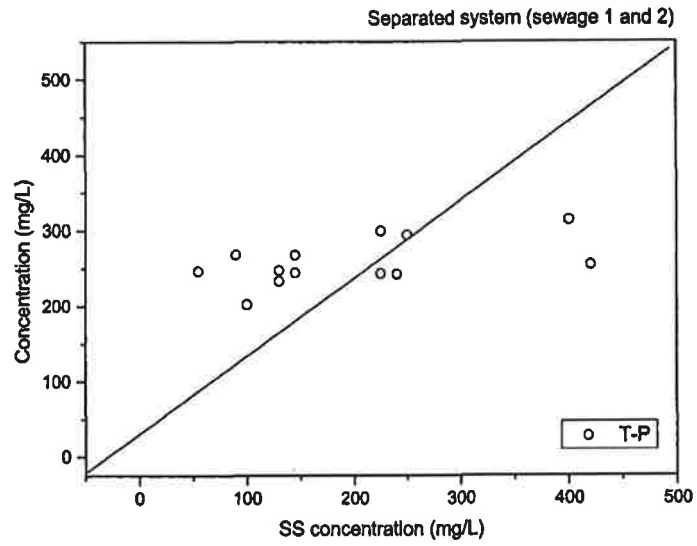
기준으로 BOD와 COD의 변화는 일정한 추세를 나타내고 있으며, 다소의 상관성을 유지하고 있었다. 합류식과 분류식 우수관의 경우는 강우의 영향을 받아 낮은 농도에서 상관점들이 형성되고 더 뚜렷한 상관성을 나타내고 있으며 분류식 우수관에서는 폭넓게 나타나고 있다.



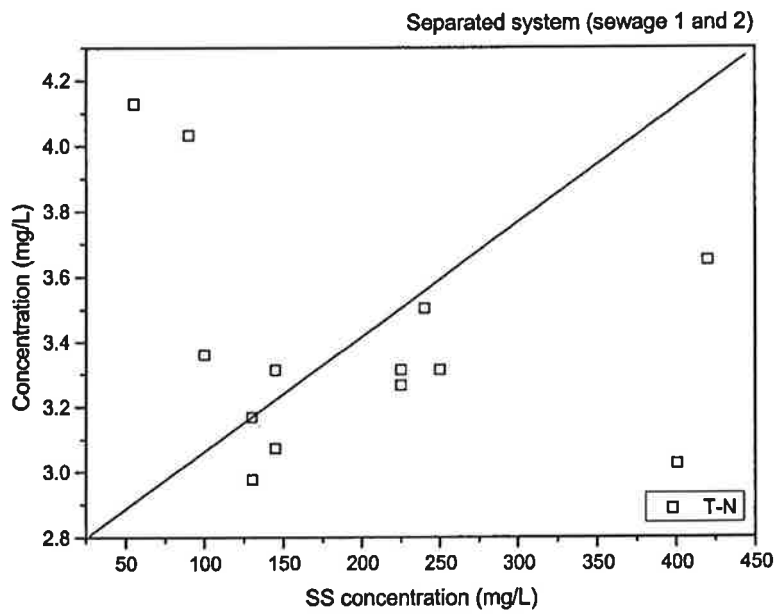
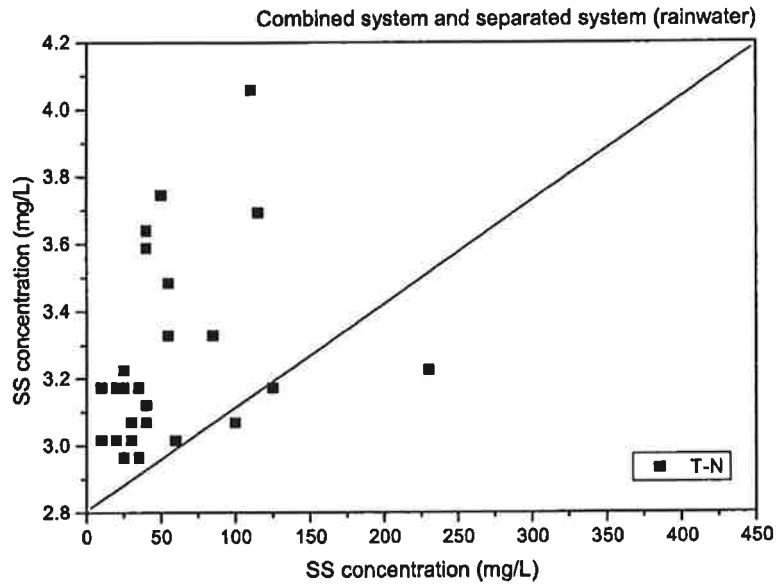
(그림 6-26) 태풍 송다 및 가을 강우동안 SS와 BOD/COD 간의 오염물질농도 상관관계

#### 다) SS와 T-N 및 T-P와의 상관성

본 절에서는 각 측정지점에서의 SS농도와 T-N 및 T-P의 상관성을 조사하였다. 다음의 (그림 6-27) 및 (그림 6-28)에 나타낸 바와 같이 강수량의 변화에 따라 민감하게 농도의 변화가 유발되었던 SS의 농도를 기준으로 T-N 및 T-P의 변화는 BOD와 COD의 변화량보다는 다소 낮은 상관성을 나타내고 있었다. 합류식과 분류식 우수관의 경우는 강우의 영향을 받아 낮은 농도에서 측정점들이 형성되어 있는 반면, 분류식 우수관에서는 폭넓게 나타나고 있다.



(그림 6-27) 태풍 송다 및 가을 강우동안 SS와 T-N 간의 오염물질농도 상관관계



(그림 6-28) 태풍 송다 및 가을 강우동안 SS와 T-P 간의 오염물질농도 상관관계

#### 4. SWMM의 적용 및 유출특성 분석

##### 가. SWMM의 민감도 분석

민감도(sensitivity)란 모형의 결과 값에 영향을 미치는 각 변수들의 특성을 파악하는 것으로 본 연구에서는 보정 전에 실시함으로써 분석결과를 보정과정에 활용하고자 한다. 다음 표는 SWMM의 매개변수를 나타내었다.

민감도 분석과정은 위에 제시한 모형에 포함된 매개변수와 반응계수를 다음 식과 같이 일정비율로 변화시킴으로 나타나는 결과치의 민감한 반응도를 분석하는 것이다.

$$\text{민감도계수} = \frac{|(+50\%변화에의한결과치)| - |(-50\%변화에의한결과치)|}{\text{기준조건에의한결과치}} \times 100 \quad (6-3)$$

여기서, 기준조건에 의한 결과치 = 보정된 계수를 이용하여 계산된 모형의 결과치,  
+50% 변화에 의한 결과치 = 보정된 계수를 50% 증가시켜 계산된 결과치  
-50% 변화에 의한 결과치 = 보정된 계수를 50% 감소시켜 계산된 결과치

유출수량에 영향을 미치는 매개변수로는 조도계수, 투수지역의 저류깊이, 유역경사, 불투수 지역의 면적, 유역폭등이 있다. 이들에 대하여 민감도분석을 실시해 본 결과, 대상유역에서 강우사상이 발생시 유출량의 영향을 미치는 정도는 <표 6-23>에서 보는 바와 같이 유역의 면적, 너비, 불투수도에 의해 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 면적과 너비 및 경사는 모형의 개념화 단계에서 결정되는 값이므로 유역에서의 유출량에 가장 큰 영향을 나타내는 인자는 불투수지역의 Manning 계수 (IMP'n)였으며, 그 밖에 매개변수는 Manning 계수 (IMP'n)에 비해 유출량에 미치는 영향이 상대적으로 작은 것으로 나타났다.



<표 6-23> SWMM모델 변수의 분류

모의 내용	매개변수의 구분		변수	변수의 의미	
유출 수문 곡선의 모의	물리학적 매개변수 (Physical parameters)	소유역관련 매개변수	WAREA	소유역의 면적	
			WSLOPE	유역의 평균경사	
			WW(3)	불투수유역 면적(%)	
		배수체계관련 매개변수	DFULL	하도 및 관망의 깊이	
			GWIDTH	관경 또는 하도의 폭	
			G3	하도의 경사	
	수문학적 매개변수 (Hydrological parameters)	Manning계수	WW(5)	불투수유역의 값	
			WW(6)	투수유역의 값	
			G6	하도 및 관망의 값	
		요지저류량 (depression storage)	WSTORE1	불투수유역의 표면저류	
			WSTORE2	투수유역의 표면저류	
		침투관련 매개변수	Horton	WLMAX	최대초기 침투율
				WLMIN	중기 침투율
				DECAY	침투 감소계수
			Green-Ampt	SUCT	평균 모관 흡입
				HYDCON	토양의 포화 수리학적 전도도
				SMDMAX	토양의 초기 수분 부족량, 공극체적
		유역폭		WW(1)	유역폭
유출 수질의 모의	소유역 및 토지이용별 매개변수	축적방법별 매개변수 (buildup)	Power-Linear	QFACT(1)	오염물 축적한계량
				QFACT(2)	오염물의 축적지수
				QFACT(3)	면적오염부하율
		Michaelis-Menton	QFACT(1)	오염물 축적한계량	
			QFACT(2)	오염물의 축적지수	
			QFACT(2)	면적오염부하율	
	오염원별 매개변수	쓸림매개변수(Washoff)		WASHPO	쓸림지수
				RCOEF	쓸림계수

서 등(1998)에 연구에 의하면, SWMM 모형의 매개변수 민감도 분석에서 침투능(SI)의 경우, 유출민감도(Qsr)가 1보다 작았으며 총유출량비와 침투유출량비의 1단계가 각각 0.8, 0.85로 다른 매개변수에 비해 변화의 폭이 상대적으로 컸다. 조도계수(SR)의 경우 유출민감도비가 1보다 큰 값을 가지고 손실저류깊이(SS)의 경우 유출민감도비가 1보다 큰 값을 가지나 두 매개변수 모두 강우지속기간에 관계없이 총유출량비와 침투유출량비의 1단계가 0.95 전후로 각 단계별 변화의 폭이 아주 작음을 알 있으며 즉 조도계수(SR)와 손실저류깊이(SS) 매개변수의 민감도정도는 아주 약한 것으로 판단하였다.

<표 6-24> SWMM모형에 의한 모의결과의 민감도 분석

Factors	sensitivity(%)
WIDTH(width of subcatchment)	25.44
AREA(area of subcatchment)	80.38
SLOPE(slope of the ground)	12.04
IMP'n(impervious area Manning's roughness)	31.703
ISTORE(impervious area depression storage)	1.572
PSTORE(pervious area depression storage)	1.548

#### 나. 모형의 보정 및 검증

연구의 대상지역 중 삼천천 유역과 전주천 유역에 대해서 강우시 유출현상 및 수질 변화의 흐름을 파악하기 위해 SWMM 모형을 적용하였다. 시간별 강우자료는 전주기 상대의 측정자료를 이용하였으며, 강우시 하천에서의 유출량 및 유출수질은 실측하여 모형의 보정 및 검증에 사용하였다.

비점오염원 모형인 SWMM의 RUNOFF 블록과 TRANSPORT 블록을 이용하여 강

우시 유출량 및 유출수질에 대하여 보정(calibration)과 검증을 실시하였다. 보정을 위한 자료는 2004년 9월 7일에 측정된 유출수량과 유출수질자료를 이용하였으며, 검증은 2004년 11월 1일에 측정된 자료를 이용하였다.

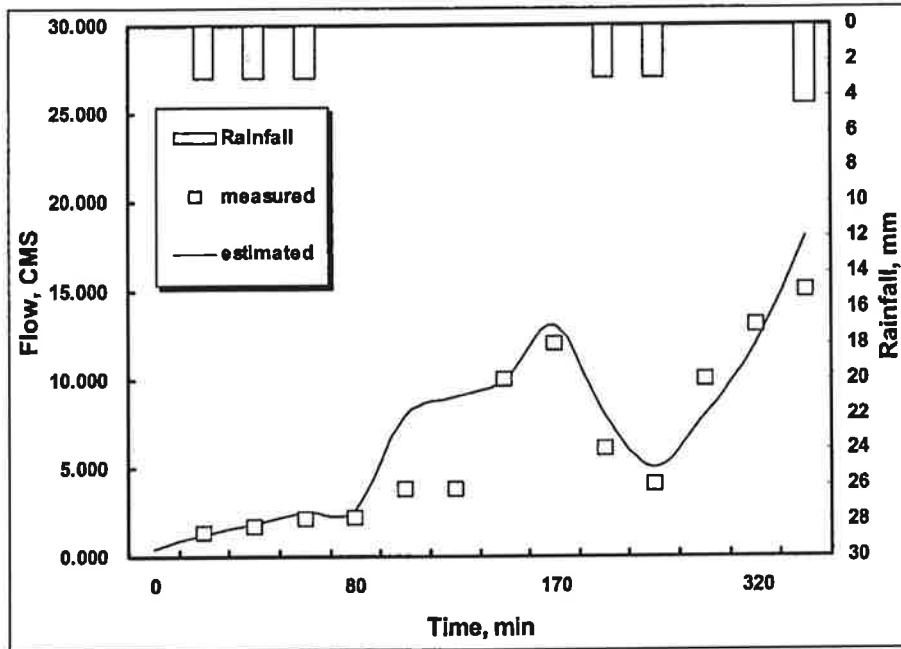
민감도 분석에 의해 파악된 변수를 중심으로 유출수량 및 수질에 영향을 미치는 매개변수를 시행오차법(Trial & Error)으로 보정을 실시하였으며 또 다른 강우사상자료를 이용하여 모형의 검증을 실시하였다. 모의항목으로는 유출량의 경우 첨두유량과 강우사상동안 총 유출량을 중심으로 모의를 실시하고, 유출수질은 SS, BOD, COD, T-P, T-N 항목을 모의하였다.

유출수량 및 수질의 측정은 다음 <표 6-25>에 나타낸 바와 같이 2004년 9월7일과 11월 1일에 전주천 유역의 합류식 관거 지점과 삼천천유역의 분류식 관거 지점에 대하여 실측한 자료를 이용하였다.

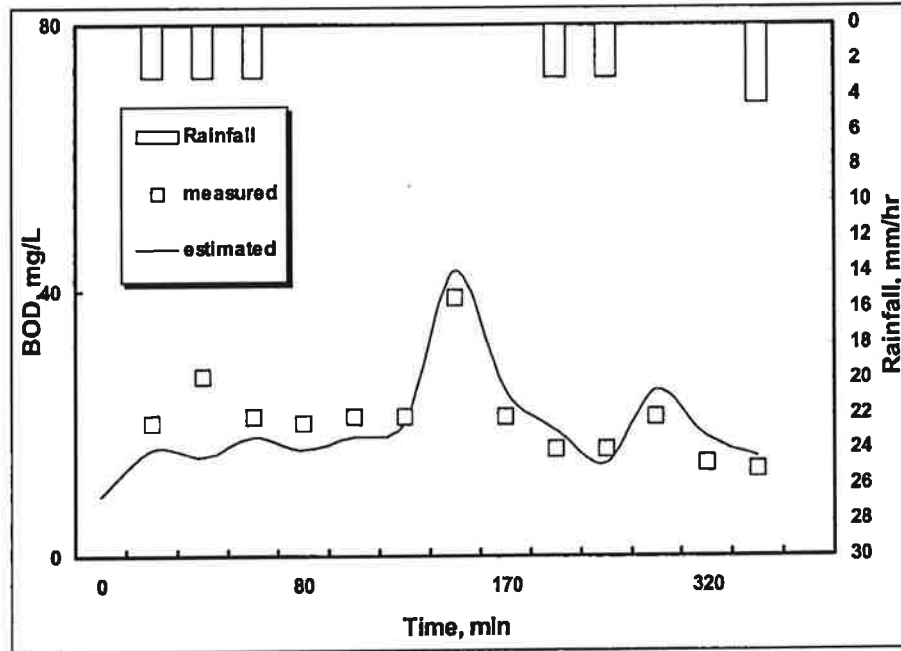
<표 6-25> 강우자료의 보정 및 검증

Rainfall event	Total rainfall (mm)	Duration (hr)
2004. 9. 7 12:00 -2004. 9. 8 01:00	18.4	14
2004. 11. 1 18:00 -2004. 11. 2 02:00	12.4	8

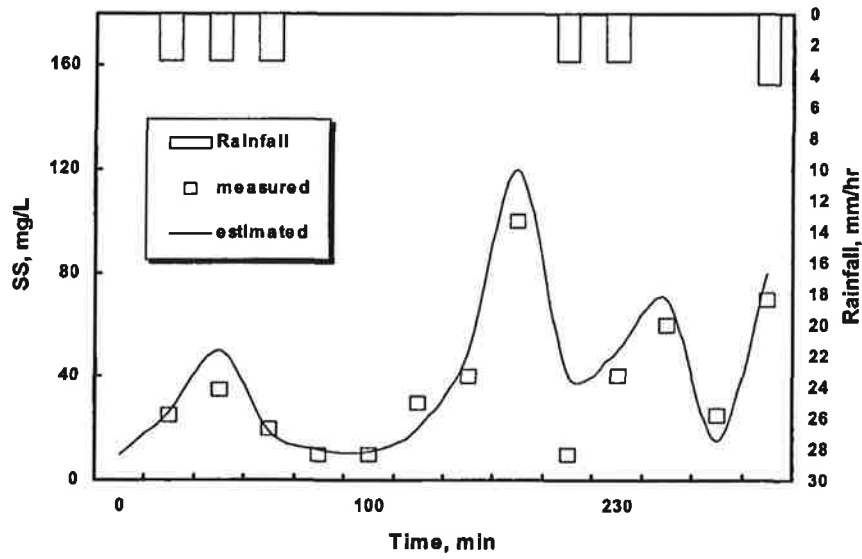
다음의 (그림 6-29)부터 (그림 6-33)은 SWMM의 RUNOFF 블록을 이용하여 유출수량 및 유출수질을 모의한 결과를 나타내고 있다.



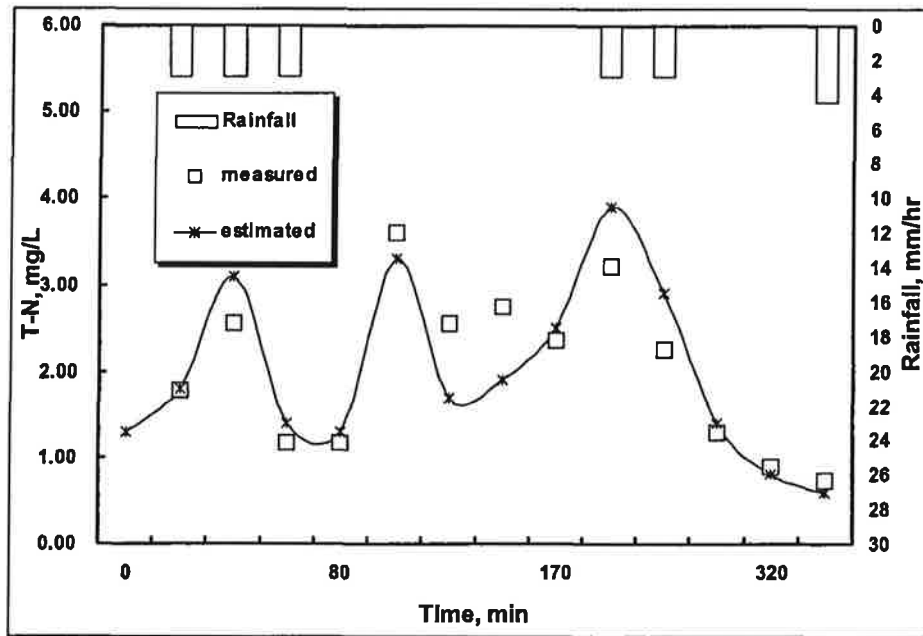
(그림 6-29) 우수유출량 모의결과의 보정 (2004. 11. 1)



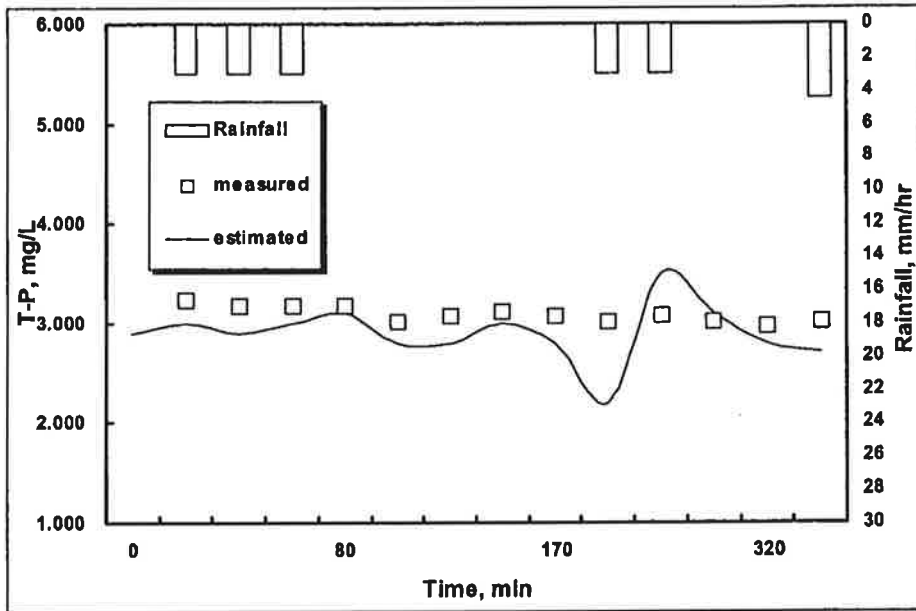
(그림 6-30) BOD 모의결과의 보정 (2004. 11. 1)



(그림 6-31) SS 모의결과의 보정 (2004. 11. 1)



(그림 6-32) T-N 모의결과의 보정 (2004. 11. 1)



(그림 6-33) T-P 모의결과의 보정 (2004. 11. 1)

앞의 그림에서 보는 바와 같이 실측치와 모형에 의한 모의치가 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 특히 유출 수량에 대해서는 그 패턴과 절대량에 대한 모의 결과가 우수한 것으로 나타났다.

모형의 보정 결과를 다음 식으로 나타낼 수 있는 상대오차 그리고 상관계수를 이용하여 평가하였으며 상대오차의 범위는 1.92~31.2%의 범위를 보이고 있다.

$$RE = \frac{|C_M - C_E|}{C_M} \cdot 100(\%) \quad (6-4)$$

여기서,  $C_M$  = 실측한 유출량 또는 농도의 평균값,  $C_E$  = 예측한 유출량 또는 농도의 평균값이다.

다음 <표 6-26>와 <표 6-27>은 보정결과를 요약한 것으로서, 분류식유역에 대한 결과는 상관계수가 0.47-0.80의 값을 보이고 있고 상대오차의 범위도 5.2 - 24.2%로

산정되었고 합류식의 경우에는 상관계수가 0.41 - 0.88의 값을 보이고 있고 상대오차의 범위도 13.7 - 28.2%로 모델에 의한 예측과 실측치간의 차이가 많지 않아 유출특성을 비교적 잘 표현하고 있다고 할 수 있다.

<표 6-26> 분류식 하수관에서의 SWMM 모델의 보정

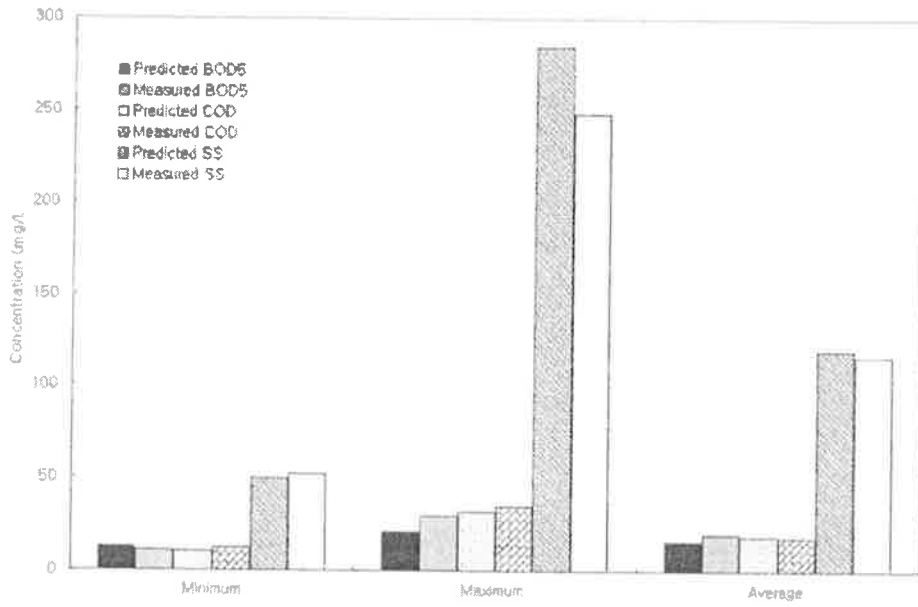
Date	Item	BOD <sub>5</sub>		COD		SS		T-N		T-P	
		Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.
2004 11. 1	Y	0.47		0.51		0.80		0.67		0.48	
	RE	5.2		13.0		24.2		21.2		16.6	
	N	12		12		12		12		12	
	Min.	12.5	11.0	10	12	49.6	52	3.2	3.8	1.7	1.4
	Max.	21.3	29.5	32	35	284.9	248	15.5	13.9	3.9	4.1
	Avg.	16.2	20.2	19	18	119.4	116	8.1	7.9	2.3	2.4

Note) Pred. : predicted values, Meas. : Measured values.

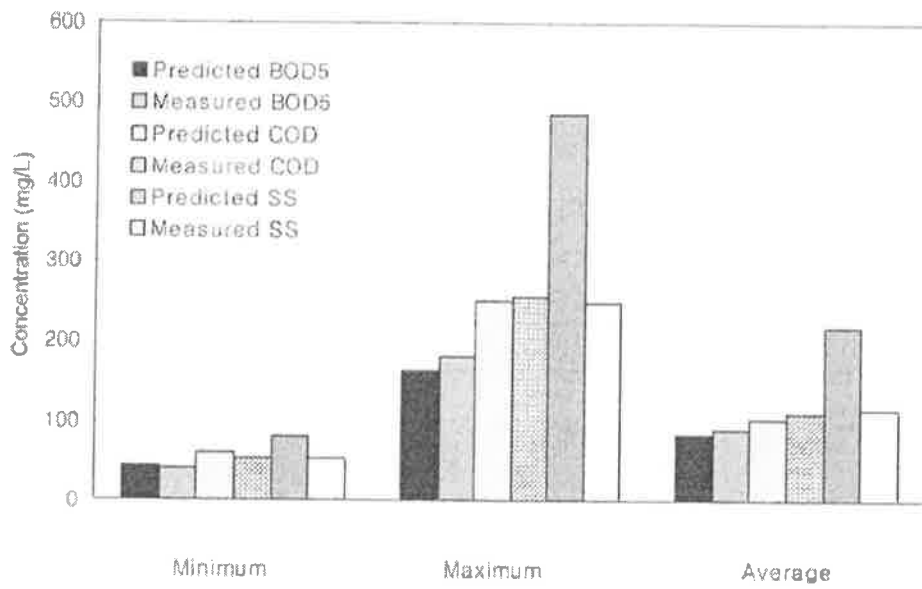
<표 9-27> 합류식 하수관에서의 SWMM 모델의 보정

Date	Item	BOD <sub>5</sub>		COD		SS		T-N		T-P	
		Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.	Pred.	Meas.
2004 11. 1	Y	0.53		0.71		0.88		0.7		0.41	
	RE	13.7		13.0		19.4		28.2		26.6	
	N	14		14		14		14		14	
	Min.	43.5	41.0	61	52	79.6	52	6.2	9.8	1.7	2.4
	Max.	163.4	179.4	249	256	484.9	248	23.5	25.7	9.9	8.8
	Avg.	82.7	90.6	103	109	217.3	116	16.9	16.9	4.8	5.1

Note) Pred. : predicted values, Meas. : Measured values.



(그림 6-34) 분류식 하수관에서의 SWMM 모델의 보정결과와의 비교



(그림 6-35) 합류식 하수관에서의 SWMM 모델의 보정결과와의 비교



다. 비점오염원 부하특성 분석

보정과 검증과정에 의해 구축된 SWMM을 이용하여 2004년도 강우일시 중 다음 <표 6-28>에 제시된 날의 강우사상에 대하여 모의를 실시하였으며 계산된 결과치를 이용하여 비점오염원의 부하특성을 분석하였다.

<표 6-28> SWMM 모의실험에서의 강우사상

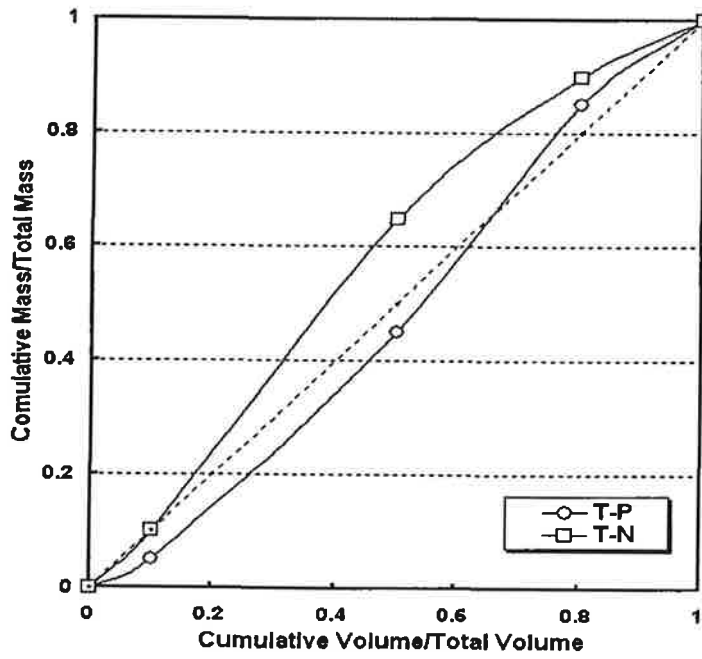
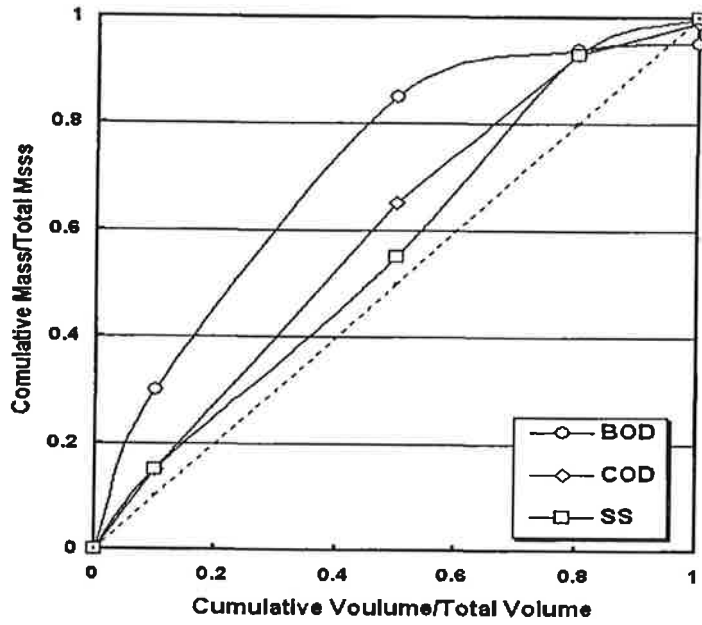
Event	Rainfall (mm)	Rainfall duration time (hr)
2004. 4. 26	24	14
2004. 6. 17	35	25
2004. 6. 20	70.5	38
2004. 7. 02	23.5	30
2004. 7. 07	37.5	32
2004. 9. 11	30	19

유출특성 분석 내용은 우수 유출에 따른 누적오염 부하량비를 산정하여 초기강우에 의해 세척효과를 분석하였고 누적강우에 대한 누적오염부하량비를 산정함으로써 강우의 지속에 따른 부하패턴을 조사하였다. 또한 합류식 및 분류식에 대하여 강우에 따른 비점오염부하의 단순한 표현 형태인 강우사상 평균농도(EMC or SMC)를 계산하였으며 이는 강우사상에 따른 평균오염부하를 산정하는데 손쉽게 활용될 수 있다. 그리고 분류식 및 합류식의 원단위 오염부하를 강우사상 평균농도와 연강수량을 이용하여 산정하였다.

### 1) 우수 유출에 따른 누적오염 부하량비

강우에 의한 오염물질 유출 특성을 파악하기 위해 우수유출에 따른 누적오염부하량비를 그래프로 작성하였다. 누적오염 부하량비를 표현하는 방법은 강우기간 중 이상 시간 동안의 유량  $Q(t)$ 에 대한 누적유량  $\sum Q(t)$ 비인  $Q(t)/\sum Q(t)$ 를 x축으로 하고, 이산(discrete)시간동안의 오염부하량을  $\sum L(t)$ 비인  $L(t)/\sum L(t)$ 를 y축에 나타낸다. 그래프의 기울기가 1보다 크면 초기유출이 강한 것이며, 기울기가 1보다 작은 경우는 초기 유출 효과가 없는 것으로 해석할 수 있다. 대개의 경우 입자상 물질의 경우 강우초기에 유출되는 정도가 커 강우 초기에는 1보다 크며, 용존성 물질은 강우지속 시간 동안 일정하게 유출되는 경향이 있기 때문에 기울기가 1에 접근한다. (그림 6-36)은 분류식 지역(2004년 11월 1일 강우)에서의 우수유출에 의한 오염물질 총량비를 강우 유출량비에 대해 도시한 것이다.

(그림 6-36)에서 보듯이 BOD, COD, SS는 강우초기에 다량의 오염물질이 유출되는 초기유출 현상을 보였다. 영양물질의 경우, T-N은 강우초기 다량의 물질이 유출되는 초기 유출 현상을 보였으나, T-P의 경우는 비교적 균일한 유출특성을 나타내었다. 본 연구의 결과에서 도시지역이 농촌지역보다는 토양의 역류효과 등이 없어 T-N과 T-P의 유출이 상대적으로 빠르게 나타나고 있으며 여기서, 특징적으로 T-P는 T-N보다 다소 느리게 유출되었다.



(그림 6-36) 강우유출에 따른 누적 부하량비

2) 누적강우량에 따른 누적오염부하량

강우지속에 따른 비점오염물질의 유출특성을 파악하기 위하여 다음 <표 6-29>에 나타낸 바와 같이 강우 6일의 강우사상에 대하여 강우량 측정자료를 토대로 BOD 농도와 누적오염부하량을 예측하였다.

<표 6-29> 강수 측정자료를 이용한 BOD 모의결과

Date	Time	Rainfall	Cumulat. Rainfall	Flow (cms)	Flow (cmh)	BOD (mg/l)	Discharge (g/hr)	Cumulat. discharge
04/26	14:00:00	1	1	0	0	0	0	0
04/26	15:00:00	1.5	2.5	0.07	252	0.79	199	199
04/26	16:00:00	1	3.5	0.23	828	3.2	2,650	2,849
04/26	17:00:00	3.5	7	0.18	648	3.73	2,417	5,266
04/26	18:00:00	4	11	0.43	1548	3.38	5,232	10,498
04/26	19:00:00	1	12	0.68	2448	3.23	7,907	18,405
04/26	20:00:00	1	13	0.23	828	3.14	2,600	21,005
04/26	21:00:00	3	16	0.12	432	2.91	1,257	22,262
04/26	22:00:00	4	20	0.41	1476	1.48	2,184	24,447
04/26	23:00:00	3	23	0.63	2268	0.8	1,814	26,261
04/27	0:00:00	1	24	0.49	1764	0.44	776	27,037
04/27	1:00:00	0	24	0.11	396	0.26	103	27,140
sum					12888		27,140	
06/17	2:00:00	0.3	0.3	0	0	0	0	0
06/17	3:00:00	0.1	0.4	0	0	0	0	0
06/17	4:00:00	0.6	1	0.01	36	0	0	0
06/17	5:00:00	0.5	1.5	0.05	180	0.02	4	4
06/17	6:00:00	1.5	3	0.09	324	0.02	6	10
06/17	7:00:00	0	3	0.18	648	2.16	1,400	1,410
06/17	8:00:00	3	6	0.1	360	3.24	1,166	2,576
06/17	9:00:00	1.5	7.5	0.3	1080	3.3	3,564	6,140
06/17	10:00:00	8	15.5	0.38	1368	3.45	4,720	10,860
06/17	11:00:00	5	20.5	1.04	3744	2.94	11,007	21,867
06/17	12:00:00	6.5	27	1.09	3924	2.44	9,575	31,442
06/17	13:00:00	4	31	0.84	3024	1.85	5,594	37,036
06/17	14:00:00	2.5	33.5	0.86	3096	1.13	3,498	40,535
06/17	15:00:00	1.5	35	0.3	1080	0.72	778	41,312
06/17	16:00:00	0	35	0.31	1116	0.32	357	41,669
06/17	17:00:00	0	35	0.07	252	0.18	45	41,715
sum					20232		41,715	

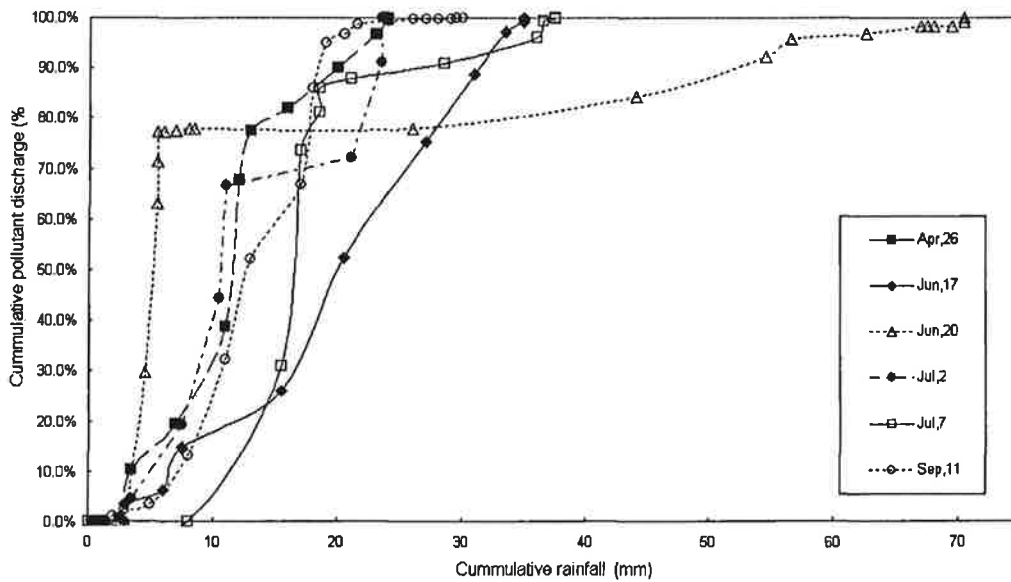
<표 6-29> 강수 측정자료를 이용한 BOD 모의결과 (계속)

Date	Time	Rainfall	Cumulat. rainfall	Flow rate (cms)	Flow rate (cmh)	BOD (mg/l)	Discharge (g/hr)	Cumulat. discharge
06/20	1:00:00	3	3	0	0	0	0	0
06/20	2:00:00	1.5	4.5	0.31	1116	8.71	9,720	9,720
06/20	3:00:00	1	5.5	0.37	1332	8.27	11,016	20,736
06/20	4:00:00	0	5.5	0.1	360	7.65	2,754	23,490
06/20	5:00:00	0	5.5	0.07	252	6.71	1,691	25,181
06/20	6:00:00	0	5.5	0.01	36	6.46	233	25,413
06/20	7:00:00	0.5	6	0	0	5.94	0	25,413
06/20	8:00:00	1	7	0.04	144	0.25	36	25,449
06/20	9:00:00	1	8	0.14	504	0.12	60	25,510
06/20	10:00:00	0	8	0.16	576	0.12	69	25,579
06/20	11:00:00	0.5	8.5	0.05	180	0.12	22	25,601
06/20	12:00:00	17.5	26	0.04	144	0.09	13	25,614
06/20	13:00:00	18	44	2.5	9000	0.23	2,070	27,684
06/20	14:00:00	10.5	54.5	3.42	12312	0.21	2,586	30,269
06/20	15:00:00	2	56.5	1.66	5976	0.19	1,135	31,405
06/20	16:00:00	6	62.5	0.62	2232	0.16	357	31,762
06/20	17:00:00	4.5	67	0.66	2376	0.12	285	32,047
06/20	18:00:00	0	67	0.98	3528	0.07	247	32,294
06/20	19:00:00	0	67	0.05	180	0.05	9	32,303
06/20	20:00:00	0.5	67.5	0	0	0.04	0	32,303
06/20	21:00:00	0.5	68	0.05	180	0	0	32,303
06/20	22:00:00	0	68	0.08	288	0	0	32,303
06/20	23:00:00	1.5	69.5	0.03	108	0	0	32,303
06/21	0:00:00	1	70.5	0.14	504	0.58	292	32,595
06/21	1:00:00	0	70.5	0.11	396	0.64	253	32,849
sum					41724		32,849	
07/02	4:00:00	0.3	0.3	0	0	0	0	0
07/02	5:00:00	1.2	1.5	0	0	0	0	0
07/02	6:00:00	2	3.5	0.11	396	3.8	1,505	1,505
07/02	7:00:00	4	7.5	0.31	1116	4.42	4,933	6,438
07/02	8:00:00	3	10.5	0.56	2016	4.15	8,366	14,804
07/02	9:00:00	0.5	11	0.54	1944	3.83	7,446	22,249
07/02	10:00:00	10	21	0.13	468	3.75	1,755	24,004
07/02	11:00:00	2.5	23.5	1.34	4824	1.33	6,416	30,420
07/02	12:00:00	0	23.5	0.83	2988	0.98	2,928	33,349
sum					13752		33,349	

<표 6-29> 강수 측정자료를 이용한 BOD 모의결과 (계속)

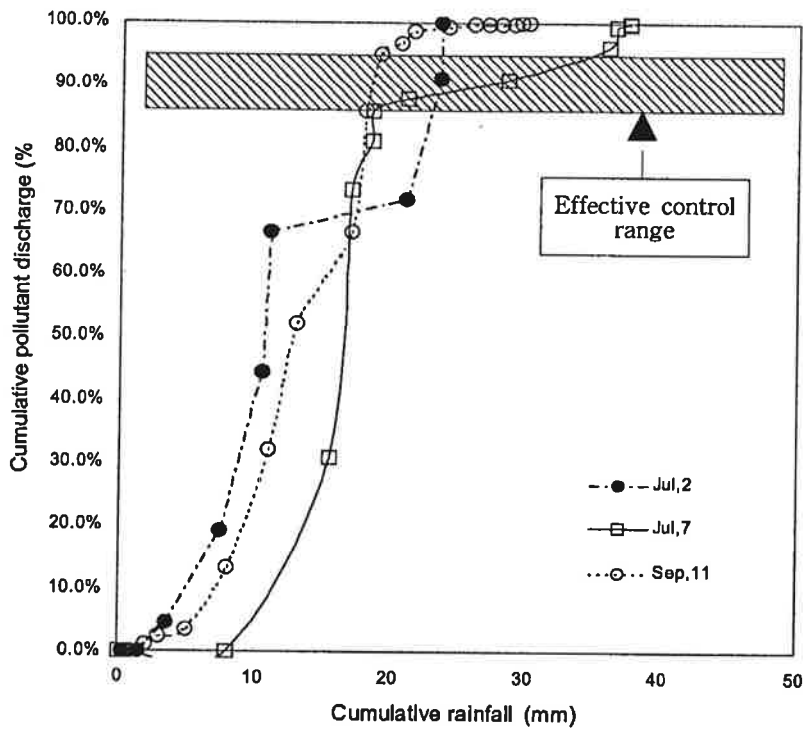
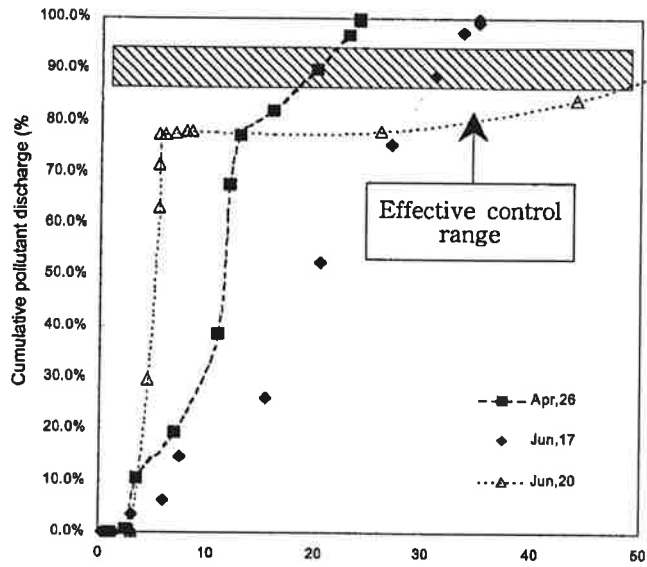
Date	Time	Rainfall	Cumulat. rainfall	Flow rate (cms)	Flow rate (cmh)	BOD (mg/l)	Discharge (g/hr)	Cumulat discharge
07/07	3:00:00	0.1	0.1	0	0	0	0	0
07/07	4:00:00	0.4	0.5	0	0	0	0	0
07/07	5:00:00	7.5	8	0.01	36	0	0	0
07/07	6:00:00	7.5	15.5	0.96	3456	3.22	11,128	11,128
07/07	7:00:00	1.5	17	1.44	5184	2.96	15,345	26,473
07/07	8:00:00	1.5	18.5	0.28	1008	2.74	2,762	29,235
07/07	9:00:00	0	18.5	0.2	720	2.38	1,714	30,948
07/07	10:00:00	2.5	21	0.09	324	2.06	667	31,616
07/07	11:00:00	7.5	28.5	0.24	864	1.27	1,097	32,713
07/07	12:00:00	7.5	36	1.18	4248	0.45	1,912	34,625
07/07	13:00:00	0.5	36.5	1.29	4644	0.25	1,161	35,786
07/07	14:00:00	1	37.5	0.26	936	0.18	168	35,954
07/07	15:00:00	0	37.5	0.06	216	0.12	26	35,980
07/07	16:00:00	0	37.5	0.09	324	0.06	19	36,000
sum					21960		36,000	
09/11	1:00:00	0.5	0.5	0	0	0	0	0
09/11	2:00:00	1	1.5	0.01	36	0	0	0
09/11	3:00:00	0.5	2	0.1	360	0.92	331	331
09/11	4:00:00	1	3	0.12	432	0.83	359	690
09/11	5:00:00	2	5	0.11	396	0.76	301	991
09/11	6:00:00	3	8	0.28	1008	2.7	2,722	3,712
09/11	7:00:00	3	11	0.44	1584	3.32	5,259	8,971
09/11	8:00:00	2	13	0.47	1692	3.31	5,601	14,572
09/11	9:00:00	4	17	0.34	1224	3.32	4,064	18,635
09/11	10:00:00	1	18	0.54	1944	2.75	5,346	23,981
09/11	11:00:00	1	19	0.31	1116	2.25	2,511	26,492
09/11	12:00:00	1.5	20.5	0.08	288	1.79	516	27,008
09/11	13:00:00	1	21.5	0.24	864	0.61	527	27,535
09/11	14:00:00	2.5	24	0.18	648	0.29	188	27,723
09/11	15:00:00	2	26	0.31	1116	0.08	89	27,812
09/11	16:00:00	1	27	0.37	1332	0.02	27	27,839
09/11	17:00:00	0	27	0.16	576	0.01	6	27,845
09/11	18:00:00	1	28	0.06	216	0	0	27,845
09/11	19:00:00	0	28	0.09	324	0.01	3	27,848
09/11	20:00:00	1	29	0.08	288	0.02	6	27,854
09/11	21:00:00	0.5	29.5	0.08	288	0.03	9	27,862
09/11	22:00:00	0.5	30	0.12	432	0.04	17	27,879
09/11	23:00:00	0	30	0.07	252	0.03	8	27,887
09/12	0:00:00	0	30	0.03	108	0.03	3	27,890
09/12	1:00:00	0	30	0.01	36	0.03	1	27,891
sum					16560		27,891	

앞에서 살펴본 예측결과를 토대로, 다음의 (그림 6-37)는 SWMM 모델을 이용하여 6일간의 강우사상에 대하여 나타나는 BOD 누적오염부하량의 변화와 누적비율(%)을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 6월 20일의 자료를 제외하고는 강우초기 10~30mm의 누적강우를 보이는 시점에서 오염부하의 80~90%가 유출됨을 알 수 있다. 따라서 비점오염부하를 관리하기 위하여 차단시설이나 대책을 강구할 경우, 초기강우 10~30mm를 처리대상으로 설계를 한다면 비점오염부하의 80~90%를 처리할 수 있게 됨을 알 수 있다.



(그림 6-37) 누적강우량에 따른 누적부하량

다음의 <표 6-30>은 6일간의 강우사상을 기초하여 누적강우에 대한 누적부하량과 누적부하량비를 나타내고 있다. 표에서 볼 수 있듯이 6월20일을 제외하고는 20-30mm의 누적강우량에서 부하량의 90%정도가 유출되고 있다.



(그림 6-38) 비점오염원의 효과적 제어 범위



<표 6-30> 누적부하량 예측모의 결과

Date	Cumulative rainfall (mm)	Cumulative discharge (g)	Cumulative discharge (kg)	Cumulative discharge	Note
4.26	1	0	0.0	0.0%	
	2.5	199	0.2	0.7%	
	3.5	2,849	2.8	10.5%	
	7	5,266	5.3	19.4%	
	11	10,498	10.5	38.7%	
	12	18,405	18.4	67.8%	
	13	21,005	21.0	77.4%	
	16	22,262	22.3	82.0%	
	20	24,447	24.4	90.1%	
	23	26,261	26.3	96.8%	
	24	27,037	27.0	99.6%	
	24	27,140	27.1	100.0%	
	6.17	0.3	0	0.0	0.0%
0.4		0	0.0	0.0%	
1		0	0.0	0.0%	
1.5		4	0.0	0.0%	
3		10	0.0	0.0%	
3		1,410	1.4	3.4%	
6		2,576	2.6	6.2%	
7.5		6,140	6.1	14.7%	
15.5		10,860	10.9	26.0%	
20.5		21,867	21.9	52.4%	
27		31,442	31.4	75.4%	
31		37,036	37.0	88.8%	
33.5		40,535	40.5	97.2%	
35		41,312	41.3	99.0%	
35		41,669	41.7	99.9%	
35	41,715	41.7	100.0%		

<표 6-30> 누적부하량 예측모의 결과 (계속)

Date	Cumulative rainfall (mm)	Cumulative discharge (g)	Cumulative discharge (kg)	Cumulative discharge	Note
6.20	3	0	0.0	0.0%	
	4.5	9,720	9.7	29.6%	
	5.5	20,736	20.7	63.1%	
	5.5	23,490	23.5	71.5%	
	5.5	25,413	25.4	77.4%	
	6	25,413	25.4	77.4%	
	7	25,449	25.4	77.5%	
	8	25,579	25.6	77.9%	
	8.5	25,601	25.6	77.9%	
	26	25,614	25.6	78.0%	
	44	27,684	27.7	84.3%	
	54.5	30,269	30.3	92.1%	
	56.5	31,405	31.4	95.6%	
	62.5	31,762	31.8	96.7%	
	67	32,303	32.3	98.3%	
	67.5	32,303	32.3	98.3%	
	68	32,303	32.3	98.3%	
	68	32,303	32.3	98.3%	
	69.5	32,303	32.3	98.3%	
	70.5	32,595	32.6	99.2%	
70.5	32,849	32.8	100.0%		
7.2	0.3	0	0.0	0.0%	
	1.5	0	0.0	0.0%	
	3.5	1,505	1.5	4.5%	
	7.5	6,438	6.4	19.3%	
	10.5	14,804	14.8	44.4%	
	11	22,249	22.2	66.7%	
	21	24,004	24.0	72.0%	
	23.5	30,420	30.4	91.2%	
	23.5	33,349	33.3	100.0%	

<표 6-30> 누적부하량 예측모의 결과 (계속)

Date	Cumulative rainfall (mm)	Cumulative discharge (g)	Cumulative discharge (kg)	Cumulative discharge	Note
7.7	0.1	0	0.0	0.0%	
	0.5	0	0.0	0.0%	
	8	0	0.0	0.0%	
	15.5	11,128	11.1	30.9%	
	17	26,473	26.5	73.5%	
	18.5	29,235	29.2	81.2%	
	18.5	30,948	30.9	86.0%	
	21	31,616	31.6	87.8%	
	28.5	32,713	32.7	90.9%	
	36	34,625	34.6	96.2%	
	36.5	35,786	35.8	99.4%	
	37.5	35,954	36.0	99.9%	
	37.5	35,980	36.0	99.9%	
	37.5	36,000	36.0	100.0%	
9.11	0.5	0	0.0	0.0%	
	1.5	0	0.0	0.0%	
	2	331	0.3	1.2%	
	3	690	0.7	2.5%	
	5	991	1.0	3.6%	
	8	3,712	3.7	13.3%	
	11	8,971	9.0	32.2%	
	13	14,572	14.6	52.2%	
	17	18,635	18.6	66.8%	
	18	23,981	24.0	86.0%	
	19	26,492	26.5	95.0%	
	20.5	27,008	27.0	96.8%	
	21.5	27,535	27.5	98.7%	
	24	27,723	27.7	99.4%	
	26	27,812	27.8	99.7%	
	27	27,839	27.8	99.8%	
	27	27,845	27.8	99.8%	
	28	27,845	27.8	99.8%	
	28	27,848	27.8	99.8%	
	29	27,854	27.9	99.9%	
29.5	27,862	27.9	99.9%		
30	27,879	27.9	100.0%		
30	27,887	27.9	100.0%		
30	27,890	27.9	100.0%		
30	27,891	27.9	100.0%		

### 3) 강우사상 평균농도 및 지역평균농도의 산정

우수유출수의 비점오염물질 유출 특성을 파악하기 위해, 각 유역별로 강우사상평균 농도(EMC : Event Mean Concentration) 및 지역평균농도(SMC : Site Mean Concentration)를 산정하였다.

각 유역별 강우사상농도 및 지역평균농도 산정시, 모의의 대상인 6번의 강우사상에 대하여 산정하였다.

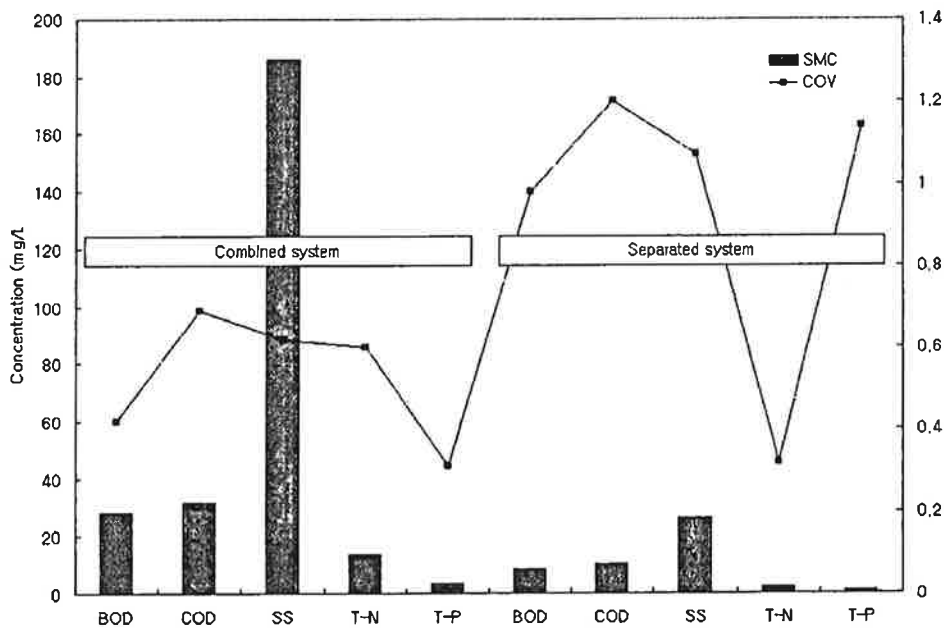
$$\begin{aligned}
 \text{EMC} &= \frac{\text{강우사상별 총 오염물질발생량(kg)}}{\text{강우사상별 총강우유출량(m}^3\text{)}} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n \text{오염물질농도}_i \times \text{유출량}_i}{\sum_{i=1}^n \text{유출량}_i} \quad (6-5)
 \end{aligned}$$

여기서, SMC = 특정지역 EMC 값의 평균(산술활률분포), 또는 중앙값(log-normal 분포)

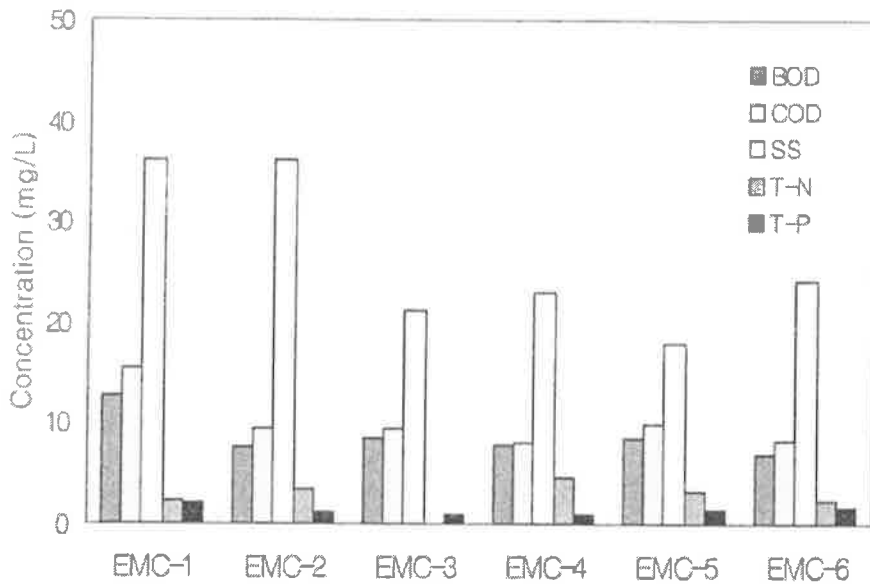
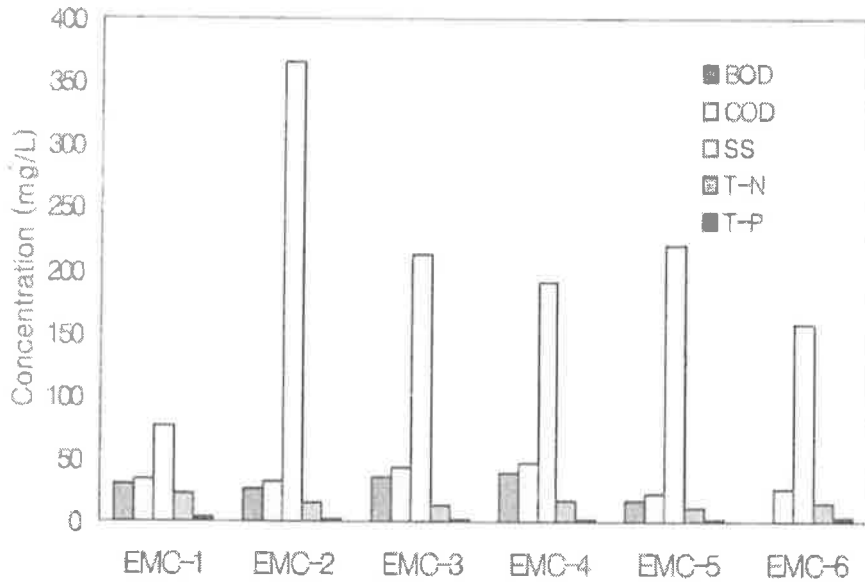
조사 대상유역의 모의대상 강우사상인 6번의 강우사상에 대하여 산정한 EMC와 두 값의 평균값인 SMC를 산정한 결과를 다음 표에 나타내었다. 합류식의 경우는 SMC가 BOD 28.1, COD 31.5, SS 186, T-N 13.66 T-P 3.41로 나타나 분류식의 BOD 8.2, COD 10.3, SS 26, T-N 2.21 T-P 1.2에 비하여 상대적으로 훨씬 높은 값을 나타내고 있다. 이는 합류식의 경우 강우시에 비점오염부하와 함께 하수관거에 퇴적인 물질이 함께 유출되어 나타나는 현상으로 보인다.

<표 6-31> 조사대상지역의 EMC(강우사상 평균농도)와 SMC(지역평균농도)

		Combined system					Separated system				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
EMC	Event 1	29.5	33.6	76	21.66	3.41	12.6	15.4	36	2.21	2.0
	Event 2	26.5	30.6	365	14.32	2.34	7.6	9.3	36	3.45	1.2
	Event 3	35.2	43.2	212	12.13	1.98	8.6	9.5	21	3.56	1.0
	Event 4	38.4	45.8	189	16.23	2.17	7.9	8.1	23	4.69	0.9
	Event 5	17.3	22.3	220	11.09	2.03	8.4	9.8	18	3.21	1.3
	Event 6	23.2	25.4	156	15.09	3.09	6.9	8.3	24	2.18	1.6
SMC		28.1	31.5	186	13.66	3.41	8.2	10.3	26	2.21	1.2
COV		0.42	0.69	0.62	0.60	0.31	0.98	1.20	1.07	0.32	1.14



(그림 6-39) 합류식 및 분류식 하수관거시스템간의 SMC와 COV의 비교



(그림 6-40) 합류식 및 분류식 하수관거시스템간의 EMC의 비교

#### 4) 비점오염부하 원단위 산정

비점오염 원단위를 간단히 정의하면 단위시간당 단위토지면적에서 배출되는 비점오염원에 기인하는 오염물질량을 말한다. 현재 사용되고 있는 원단위 산정법으로는 경험식 등을 이용한 계산법과 유역에서 유량과 오염부하량을 실측해서 산정하는 실측법이 있다. 여기서 실측법은 조사방법에 따라 다음과 같이 크게 세가지로 구분할 수 있다.

○ 지표면에서 오염물질 총량을 실측한 후 축적을 및 분해율을 적용하는 방법으로 주로 도시지역에서 비점오염원 원단위를 산정하는데 이용된다.

○ 강우시 특정지역을 통과하는 하천상류와 하류의 수질을 비교하여 수질의 차이를 환산하여 당해 유역에서의 비점오염원 배출원단위를 산정하는 방법이다.

○ 토지이용별 강우시 배출물질을 직접 채취하여 농도를 측정하는 방법으로서 측정회수가 충분하면 원단위 산정에 가장 신뢰성 있는 방법이다.

본 연구에서는 유역별 강우사상 평균농도 및 지역평균농도에 유역별 표면유출계수, 연간 평균 강우량을 곱하여 산정하였다.

$$\text{원단위 (kg/ha/yr)} = P \times P_j \times C \times \text{SMC} \quad (6-6)$$

여기서, P = 연평균 강수량,

$P_j$  = 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치(0.9)

C = 유출계수 (유출량/강수량)

$$= 0.858 i^3 + 0.78 i^2 + 0.774 i + 0.04$$

(i= 유역의 불투수율)

분류식과 합류식에 대하여 비점오염 원단위를 산정한 결과는 다음의 <표 6-32>과 같이 나타났으며 합류식이 분류식에 비해 2-3배 정도 높은 값을 보이고 있다. 이는

합류식의 하수가 강우에 의해 함께 배출되기 때문에 수질개선을 위해서는 우선 시급한 것이 합류식 하수관 유출수 문제를 해결해야 하는 것을 단적으로 보여주고 있다.

<표 6-32> 비점오염물질의 단위 배출부하 (Unit : kg/ha/yr)

Conduit System	BOD	COD	SS	T-N	T-P
separated	103	146	305	42	3.4
combined	306	410	789	79	6.8

이와 같은 합류식하수관의 월류수에 대한 해결방안으로는 하수관 및 하수처리장의 용량을 증설하여 초기우수를 처리할 수 있는 방안을 마련하거나 초기우수를 그대로 하천으로 방류하지 않고 따로 모아 처리하는 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다. 특히 하류에 대규모의 저수지나 하구언이 존재할 경우 월류된 CSO가 그대로 유입되어 정체하게 되기 때문에 이 문제를 해결하지 않고서는 대도시 하류에 위치하고 있는 저수지나 하구언의 수질개선효과를 기대하기 어렵다.



## 5. 결 론

기존에는 수질관리가 쉽게 조절될 수 있는 점오염원문제에 많이 집중되었으나, 점오염원부하가 감소됨에 따라, 비점 오염원의 중요성이 상대적으로 증가하였고, 장래 수질개선에 더욱 필수적인 사안이 되었다.

본 연구에서는 최근 우리나라뿐 아니라 북미와 유럽지역에서도 체계적 환경관리를 위하여 비점오염원에 대한 연구와 관리계획 수립에 많은 관심이 집중되고 있는 바, 우리나라 도시지역을 선택하여 오래된 합류식 하수관거에서의 비점오염원 유출특성과 최근에 건설된 분류식 하수관거에서의 비점오염물질의 유출특성을 조사하고 비교 평가하였다. 이를 통하여 도시지역에서의 비점오염원 유출특성에 대한 정확한 자료를 제시하고 점차 중요시되고 있는 비점오염 물질의 관리에 유용한 연구정보를 제공하고 자 하였다.

본 연구에서는 도시구역의 유출량 산정을 위해 기존의 도시유출모형 중 투수지역 및 불투수지역의 유출을 모의할 수 있는 SWMM 모형을 선정하였으며, 모형의 기본 이론에 따라 유출모의 과정을 검토하고, 실측된 강우와 유출자료를 통하여 SWMM 모델로 모의실험을 실시하였다.

조사 및 분석결과를 기초로 하여 강우시 합류식 하수관과 분류식 우수관에서 월류수 유출량 변화에 따른 오염물질 오염부하량과의 관계를 분석하였다. 그리고 도시지역에서 비점오염부하를 예측할 수 있는 SWMM 모델을 이용하여 오염부하의 모의를 실시하였으며 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상지역에서 SS는 강우에 따라 급격한 상승을 나타내었으며 강우량과도 높은 상관관계를 나타내었다. 특히, 강우시점에서 SS의 급격한 상승은 비점오염원으로 부터의 SS유입뿐 아니라 평상시 관거 바닥에 침적되어 있었던 SS가 집중강우의 강한 유속으로 인하여 유출된 이유로 판단된다.

2. 강우시 합류식 하수관과 분류식 우수관 및 오수관에서 유출되는 수질성분간의 상관관계를 분석한 결과 강우에 따라 유출되는 SS를 기준으로 BOD, COD 등의 유기

물질은 다소 높은 상관관계를 나타내었다.

3. 통상 T-N과 T-P는 강우에 민감하지 않고 토양 등에 역류되어 느리게 유출되는 것으로 알려져 있으나 본 연구대상지역인 도시(주거-상가지역)지역에서는 T-N는 다른 항목과 유사하게 빠른 유출특성을 보였다. 반면 T-P는 농업지역에서처럼 다른 수질항목에 비하여 상대적으로 낮은 유출속도를 나타내었으며, 이는 도시지역에서의 T-N과 T-P의 발생원이 서로 다르다는 것을 반증한다.

4. 모델을 적용한 결과, BOD, COD, SS, TN, TP 에 대한 예측 농도와 실측 농도간의 상관계수의 범위는 각각 0.54~0.91, 0.24~0.88, 0.38~0.84, 0.72~0.83, 0.12~0.66으로 산정 되었다. 대체로 SWMM 모델은 유출량에 민감한 수질항목에 대해서는 상관계수가 높게 산정 되었다.

5. 강우초기 10-30mm의 누적강우를 보이는 시점에서 오염부하의 80-90%가 유출되는 것으로 나타나 비점오염부하를 차단하기 위한 처리시설도 초기강우 10-30mm를 처리대상으로 설계를 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

6. 분류식과 합류식에 대하여 비점오염 원단위를 산정한 결과, 합류식이 분류식에 비해 2-3배 정도 높은 값을 보이고 있어 합류식 월류수에 대한 대책 마련이 시급함을 알 수 있었다.

## 제 2 절 새만금 유역의 도시지역 오염부하량 추정

### 1. 서론

현재 새만금 사업은 계획된 예정공정에 따라 외곽시설 최종 완료공정을 마무리 중에 있으며 눈앞에 다가온 방조제 완공에 따른 실효성 있고 구체적인 수질관리대책이 절실히 요구되고 있는 상황에 있다. 현시점에서 실효성 있는 현실적 대응과 수계의 오염차단 등 실천적인 대책이 요구되는 상황에 있으며 본 연구를 통하여 보다 과학적이고 체계적인 새만금 유역의 오염차단과 새만금호의 수질관리 대책을 수립할 수 있는 실질적 연구결과를 도출할 필요가 있다.

일반적으로 초기 오염물질의 발생량은 도시하수와 공장폐수와 같은 점오염원이 많으나 하·폐수처리시설을 거쳐 실제로 하천과 강에 유입되는 오염물질량은 산재된 소규모 축산농가의 폐수와 농경지 경작 배출수 등에 의한 부하량이 상대적으로 커서 이 같은 비점오염원의 관리가 중요하다. 도시지역에서도 실제 노면에 방치되거나 불법적채된 오염물질량도 문제가 되며 계절적으로 발생되어지는 낙엽과 비산먼지량도 수계에 유입되는 오염부하량의 일부를 차지한다.

새만금 사업추진에 따라 이 유역의 오염관리에 있어, 점오염원은 환경기초시설에 의한 관리계획이 국가적 차원에서 수립되어져 있으나 대부분 자료에 의한 통계적으로 산정된 자료에 의존하고 있고 실제적으로 오염부하량의 발생과 유출 및 수계 부하량에 대한 실측연구는 미비한 상태이다.

그동안 수행한 오염원에 대한 연구와 수질보전 대책수립에 관한 연구 등을 살펴보면, 농업기반공사에 의해 새만금 유역에 대한 오염원 관리대책(1998), 새만금유역의 오염하천 정화대책 수립(1998), 새만금호 내부 오염부하량 산정 및 수질영향 연구(1998) 등이 있으며 새만금사업 환경영향 공동조사단에 의한 수질보전분야 보고(2000)가 연구되어 있다. 수질의 경우 수질측정망을 통해 월별 보고가 이루어지고 있으나 대부분 하천의 본류 또는 제1지류에 국한되어 있고, 대부분 자료조사 결과이다.

한편, 수질보전 대책수립에 있어 절대적으로 필요한 오염원 및 오염원이 유입하는 작은 지천의 상세 오염부하량 및 오염원 분포 실측조사 자료는 미비한 실정이다. 또

한 새만금 유역의 오염 부하량 실측 조사 자료가 전무하여 이에 대한 상세조사가 필요하다. 따라서 새만금 유역의 비점오염관리의 주요 목표라 할 수 있는 비료성분, 질소와 인을 줄이기 위한 유역 단위의 비점오염 모니터링이 필요하다고 볼 수 있다.

적절한 수질개선의 사업을 추진하기 위해서는 먼저 대상 지점의 선정과 적절한 수질개선의 방향 등을 설정하기 위한 기초자료가 있어야 한다. 이에 따라 새만금 유역 중 도시지역의 오염원을 합리적으로 추정하고 이를 바탕으로 도시지역 오염원의 유출 특성 및 영향인자 등을 조사하여 도시 오염원의 부하 원인 분석 및 관리방안 수립을 위한 기초자료를 활용하고자 한다.

한편, 새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 기술개발은 장래 새만금호의 목표수질의 달성을 위해 매우 중요한 수단이다. 따라서, 유역 비점오염물질의 적절한 제어와 관리가 이루어지지 않으면 대부분의 오염물질은 하류에 위치한 새만금호로 유입되어 호소부영양화의 원인 물질이 될 수 있다. 그러므로, 새만금호의 수질관리를 위해서는 상류유역에서의 비점오염 제어와 관리가 가장 효과적인 이루어 질 수 있도록 비점오염 모니터링이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

전라북도 서부지역에 위치한 새만금에 대규모 정체수역이 형성되어 상류지역에서의 수계 오염물질의 배출을 억제함으로써 전북 대부분의 농경지에서 오염물질의 배출 제한으로 인한 산업적 위축이 유발될 수 있는 바 이 부담을 사전 경감시킬 관리대책이 요구되고 있는 상황에서 보다 효과적인 도시지역의 오염물질 유출량과 유출과정과 수계 유입특성을 파악한 현실성 있는 자료가 요구되고 있다.

또한, 새만금 담수호의 장래수질이 목표수질(IV급수)을 충족하는 지 여부는 그동안 새만금사업 찬반논쟁 등 사회적 갈등을 야기해 왔다. 또한, 일부 환경단체 등에서는 정부의 수질관리대책의 실현가능성 등에 대하여도 의문을 제기하고 있는 것이 현실이다. 그러므로 새만금 담수호에 대하여는 경제적으로 타당하면서도 그 효과가 확실한 추가적인 수질보전대책이 강구되어야 할 것으로 평가되고 있다. 따라서 새만금 상류 유역의 비점오염 제어와 관리기술의 개발과 관리를 위해서는 유역에 대한 비점오염 모니터링이 필요하다.

새만금 사업은 전라북도의 경제뿐 아니라 사회 문화적인 측면에서도 그 영향이 지

대하며, 도시지역의 오염물질 관리에 있어서 개인 가정에서의 관리 등은 현실적으로 불가능하다. 더욱이 배출 당사자에 의한 오염물질 처리도 불가능하며 사회기반 시설과 같이 정책적 차원에서 오염물질의 유출제어와 처리시설 도입 및 관리대책을 수립하여 공익적 차원의 관리가 요구된다.

## 2. 새만금 유역현황

### 가. 대상지역

본 연구의 대상지역은 전라북도의 김제, 군산, 부안 등 5개시, 3개군을 포함한 새만금 유입하천들의 오염도에 의하여 수질의 저하가 예상되는 지역이다. 아울러 1991년도에 착공된 새만금 간척사업의 시행으로 인한 새만금 유역의 환경변화 및 수질오염 문제를 비롯하여 부근의 생태계, 기상변화 및 새만금 지구 연안의 해류 변화 등이 발생될 우려가 큰 지역이다.

새만금 유역과 같은 하구 담수호의 특징은 방조제를 축조하여 잔류해수를 유입하여 담수로 치환하여 사용하는데 있다. 담수호화 이후에는 잔류해수가 하천의 최하류부에서 저수되므로 유역의 오염물질 전부가 부하되어 수질오염에 대한 집중적인 관리가 필요하게 된다. 이러한 배경에서 담수호의 효율적 오염원 관리를 위하여 새만금 유역은 농업 및 산업용수와 관련된 정보의 종합적인 관리가 중요시되는 지역이다. (그림 6-41)은 전라북도 권역 중 새만금 유역을 나타내고 있다.



(그림 6-41) 연구대상지역

<표 6-33>은 새만금 유역의 행정구역별 오염배출 유역현황을 보여주고 있다. 수계 읍·면·동·리, 행정면적, 새만금 수계 유역면적(km<sup>2</sup>) 등을 나타내었다. 김제시, 완주군, 익산시, 전주시는 편입비율이 100%이고, 군산시는 81.3%로 조사되었다.

<표 6-33> 행정구역별 오염배출 유역현황

구분	행정면적 (km <sup>2</sup> )	수계유역 면적(km <sup>2</sup> )	편입비율 (%)	새만금 수계 읍·면·동·리
고창군	606.8	90.2	14.9	성내면, 신림면(외화리, 도림리, 무림리, 송용리에 한한다), 홍덕면(하남리, 석우리, 동사리, 제하리, 송암리, 신송리, 용반리, 치룡리, 홍덕리에 한한다
군산시	377.6	307.0	81.3	개정면(아산리, 발산리, 통사리, 옥석리, 운회리에 한한다), 나운1동, 나운2동, 나포면, 대야면, 미성동, 삼학동, 서수면, 성산면(여방리, 대명리, 둔덕리, 성덕리, 산곡리, 창오리에 한한다.), 소룡동, 신평동, 옥구읍, 옥산면, 옥서면, 월명동, 임피면, 해망동, 회현면
김제시	544.9	544.9	100	전지역
부안군	493.6	369.4	74.8	계화면, 동진면, 백산면, 변산면(중계리에 한함), 보안면(남포리, 부곡리, 상림리, 신북리, 영전리에 한함), 부안읍, 상서면, 주산면, 줄포면(난산리, 대동리, 신리, 우포리에 한함), 하서면, 행안면
완주군	820.5	820.5	100	전지역
익산시	448.1	448.1	100	전지역
전주시	203.5	203.5	100	전지역
정읍시	734.3	576.9	78.6	감곡면, 고부면, 과교동, 내장동, 농소동, 덕촌면, 북면, 산외면, 상동, 상평동, 소성면, 수성동, 시기1동, 시기2동, 시기3동, 신태인읍, 연지동, 영원면, 용동면, 이평면, 입암면, 장명동, 정우면, 정일동, 칠보면, 태인면

<표 6-34> 새만금 유역의 주요하천 및 행정구역 현황

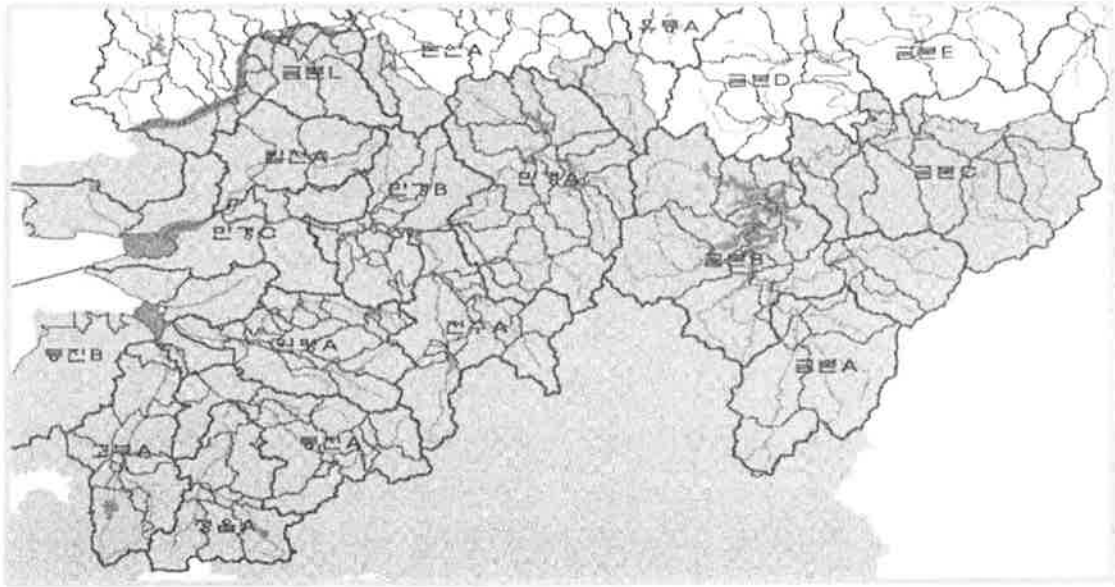
구분	유로연장 (km)	주요하천	행정구역	발원지
만경강	57.0	소양천	완주군 소양면, 용진면	완주군 동상면
		전주천	전주시, 완주군 상관면	
		익산천	익산시 금마면, 왕궁면, 춘포면	
		목천포천	익산시, 익산시 춘포면	
동진강	43.9	정읍천	정읍시, 입암면, 북면, 이평면, 정우면, 덕천면	정읍시 산외면
		고부천	정읍시 영원면, 부안군 동진면	
		원평천	김제시, 정읍시, 완주군	

새만금 유역은 연평균 기온 12.5~13.1℃이고, 연평균 강수량은 1,212mm를 나타내고 있다. 전체유역면적의 41.3%가 농지로 관개기인 5월~9월 사이에는 농업용수 취수량이 매우 많기 때문에 비강우시에는 하천의 유량이 회귀수량에 크게 의존되고 있는 실정이다. 농업용수는 보나 저수지에서 도수로 또는 대간선(간선포함)과 같은 농업용수로를 통해 유역내 하류지역의 농경지로 공급되고 있으며, 중소규모의 보, 배수갑문 저류수에서 직접 하천수를 취수하여 인근 농경지에 공급하거나 금강(나포양수장)에서 취수하여 탐천으로 방류한 후 각 간선에서 농업용수로 이용되고 있다. 만경강 유역은 49개, 동진강 유역은 29개의 배수갑문이 있고 새만금 유역 전체에 대해서는 약 50개의 보가 있다.

새만금 유역의 주요하천은 만경강과 동진강 등으로 이루어지며, 유로연장은 각각 57.0km와 43.9km 이다. 전라북도 완주군에서 발원하는 만경강은 만경A유역에 해당하는 완주군을 경유하여 전주시에 해당하는 전주A유역을 관통하는 만경강의 제1지류인 전주천이 합류된 후 만경B에 유입된다. 익산천이 유입되는 만경B 유역에 해당하는 완주군, 익산시, 김제시를 거친 만경강은 탐천과 합류 후 만경C 유역을 지나 서해로 유입된다. 동진강은 동진A 유역에 포함되는 정읍시에서 시작하여 정읍A 유역을 흐르는 정읍천이 합류된 후, 김제시와 정읍시를 포함하는 원평A 유역을 통과하는 원평천과 고창군, 부안군, 정읍시 일부를 포함하는 고부A 유역을 통과하는 고부천이 합류된 다음 서해로 유입된다.

(그림 6-42)의 소배수구역은 DEM 자료를 기초로 수계망도를 벡터중첩하여 흐름방향을 결정하고 흐름누적을 산정한 후 하천셀 집적도에 따라 유역을 생성하였다. 기술지침의 소유역 구분원칙에 따라 2개 이상의 시군구로 나누어지는 경우 경계를 분할하여 새로운 소유역으로 구분하였다. 소배수구역을 최종적으로 결정하기 위하여 단위유역과의 일치성과 물관리 정보공통유역도의 유역경계 중첩여부를 검토하였다. 마지막으로 하수처리구역도를 고려하여 최종적으로 소유역도의 경계를 조정하였다.





(그림 6-42) 전라북도 오염총량관리 소유역도

세만금 유역에 속하는 전라북도 시군구 단위의 행정구역명 및 해당 행정구역이 각 단위유역에서 차지하는 면적 점유율은 <표 6-35>과 같다.

<표 6-35> 새만금 단위유역명과 단위유역내 면적점유율

단위유역명	시군구	유역내면적 (km <sup>2</sup> )	단위유역내점유율(%)
만경A	전주시	31.119	6%
	익산시	2.245	0%
	완주군	482.001	94%
전주A	전주시	127.337	45%
	완주군	158.114	55%
만경B	전주시	46.415	19%
	익산시	83.648	34%
	김제시	20.079	8%
	완주군	96.092	39%
탑천A	군산시	46.308	27%
	익산시	124.381	73%
만경C	군산시	177.613	46%
	익산시	66.864	17%
	김제시	140.677	37%
정읍A	정읍시	220.339	100%
동진A	정읍시	269.082	96%
	부안군	10.792	4%
고부A	정읍시	99.903	39%
	고창군	57.008	22%
	부안군	99.692	39%
원평A	정읍시	44.664	17%
	김제시	216.148	83%
동진B	김제시	126.468	35%
	부안군	239.187	65%

<표 6-36> 전라북도 관할 만경강·동진강 총량관리단위유역 및 목표수질

단위유역명	총유역		전라북도 관할유역		전라북도 관할유역 목표수질 (BOD <sub>5</sub> , mg/ℓ)
	면적(km <sup>2</sup> )	소유역개소수	면적(km <sup>2</sup> )	소유역개소수	
만경A	5115.366	23	5115.366	23	1.6
만경B	246.233	23	246.233	22	4.2
만경C <sup>1)</sup>	385.154	8	385.154	8	-
전주A	285.451	19	285.451	19	5.9
탑천A	170.689	4	170.689	4	4.9
동진A	279.874	15	279.874	15	3.1
동진B <sup>1)</sup>	365.655	7	365.655	7	-
정읍A	220.339	9	220.339	9	3.4
원평A	260.812	22	260.812	22	3.4
고부A	256.602	15	256.602	15	4.7

주 1) 만경C와 동진B는 해수유통 구간임.

<표 6-36>에 나타난 바와 같이 각 단위유역별 목표수질은 10년 평균저수량 기준으로 만경A가 1.6, 만경B가 4.2, 전주A가 5.9, 탑천A가 4.9, 동진A가 3.1, 정읍A가 3.4, 원평A가 3.4, 고부A가 4.7mg/ℓ이다.

### 3. 개발계획조사 및 오염부하량 산정

#### 가. 개발계획 조사

각 지방자치단체에서 추진 중인 각종 개발계획들 중 하천수계에 영향을 미치는 개발계획 목록을 아래와 같이 정리하여 도시(재)정비계획서, 하수도정비기본계획 등의 관련자료를 참고 조사하였다. 각 개발계획 자료들은 목표연도의 오염부하량 예측에 직접적으로 사용되기도 하고, 상수도계획과 하수도정비기본계획과 같이 향후 인구추정, 상·하수량 추정과 하수도처리구역의 확대 등에 관한 대조확인 참고자료로 사용하였다.

- KEI에서 개발계획조사 목록 및 세부내용을 정리하여 전라북도의 협조하에 각시군 담당자에게 공문으로 전달한 후 위탁연구기관과 공동으로 각종 개발계획서와 각시군에서 추진 중인 자료를 취합·정리하였다.

- 각종 개발계획들 중 지구단위계획, 택지개발관련계획, 교통망확충계획, 공동주택, 단지개발계획, 시설계획과 같이 향후 부하량의 증가에 직접적으로 기여하는 사업들은 준공연도를 기준으로 오염원 및 부하량을 산정하였다.

- 광역도시계획, 도시기본계획, 지구단위계획, 상수도계획, 하수도계획, 개발제한구역 등은 오염원 및 부하량 산출에 직접적으로 이용되지는 않았지만, 향후 인구추정, 성장잠재력 평가, 용수전망 등을 위한 참고자료로 활용하였다.

- 준공예상 년도가 2010년 이내인 사업들은 본보고서에 포함시켰고, 2010년 이후 준공예정인 계획은 본과업의 시간적 범위를 벗어나므로 보고서 및 부하량 산출에서는 제외하였다.

<표 6-37> 개발계획 목록 및 관련 근거법

개발계획구분	법령	지침	구법
1. 광역도시계획	-국토의계획및이용에 관한 법률	-광역도시계획수립지침	-국토이용관리법  -도시계획법
2. 도시기본계획		-도시기본계획수립지침 · 개발행위허가운영지침	
3. 도시관리계획		-도시관리계획수립지침 -토지적성평가지침	
4. 지구단위계획		-제1종/제2종지구단위계획 수립지침	
5. 택지개발예정지구	-택지개발촉진법		
6. 주택종합계획	-주택법		
7. 아파트지구개발기본계획	-주택건설촉진법		
8. 도시개발구역	-도시개발법		-도시재개발법
9. 도시/주거환경정비기본 계획	-도시및주거환경정비법		
10. 정비구역			
11. 주거환경개선사업			
12. 상수도계획	-국토의계획및이용에 관한 법률 (도시관리계획(재정비))		
	-수도법		
13. 하수도정비기본계획	-국토의계획및이용에 관한 법률 (도시관리계획(재정비))		
	-하수도법		
14. 하수관거정비계획	-상동		
15. 매립시설계획	-국토의계획및이용에 관한 법률 (도시관리계획(재정비))		
16. 개발제한구역	-국토의계획및이용에 관한 법률 (광역도시계획)	-광역도시계획수립지침	
17. 교통망확충계획	-국토의계획및이용에 관한 법률 (광역/도시기본/ 도시관리계획등) -대도시권광역교통관리에 관한 특별법		

## 나. 오염부하량산정

### 1) 발생부하량산정

조사되어진 전라북도의 개발계획들에 대해서 각 개발사업별 계획인구 증가, 계획 개발면적, 계획 폐수 발생량(방류량), 예상 사육두수 등의 자료를 이용하여 각 오염원 별로 원단위를 사용하여 발생부하량을 산출하였다. 오염부하량 산정을 위한 최소한의 자료(예, 예상인구, 계획하수량, 개발면적 등)가 확보되지 않은 사업들은 사업건수에는 포함되나 부하량은 산출할 수 없었다. 그 중 시설 및 단지개발계획은 환경부고시 제2001-168호 건축물의 용도별 오수발생량 및 단독정화조 처리대상인원 산정방법을 이용하여 부하량을 추정하였다.

- 공동주택사업은 계획인구가 있는 경우는 계획인구에 발생원단위를 적용하였고, 계획인구가 산정되지 않는 개발계획에 대해서는 각 사업의 총수, 동수, 세대수 등의 자료를 이용하여 계획인구를 추정하였다.

- 시설 및 단지개발계획에서도 각 개발사업의 건축물용도 분류 및 각 용도별 수용인구 산정을 위해서 환경부고시 제2001-168호를 이용하였다.

- 개발사업들 중 하천정비, 관거정비와 골재채취 등과 같은 사업들은 부하량의 증가에 직접적으로 관여하지 않는 사업은 부하량 증가에는 기여하지 않는 것으로 분류하였다.

- 토지계 발생부하량은 개발면적과 지목별 수용면적을 이용하여 산출하였고, 지목 변경 내역이 명확하게 조사되지 못한 계획은 개발을 수행하기 이전의 전, 답, 임야이던 지목이 대지로 변경된다고 가정하였다.

- 교통량확충계획은 각 지자체별 도로 건설계획을 조사한 자료로서, 보편적으로 각 개발사업의 시점과 종점까지의 총연장이 제시되어져 있지만 해당 시군구만의 연장이라든가 도로폭 등이 기재되어 있지 않아 부하량 산출에 직접적으로 사용하지는 않고, 각 시군의 총연장만 제시하였다.

### 2) 배출부하량산정

조사되어진 각종 개발계획들이 각 시군구의 장기발전계획과 같이 포괄적이고 추상

적이 계획이 많고, 개발예정지역이 정해지지 않아 총량지침의 산정방법을 적용하기에는 한계가 많았다.

- 인구배출부하량은 시군구별로 예측한 생활계배출부하량/생활계발생부하량 비율을 발생부하량에 곱하여 산정하였다.

- 토지배출부하량은 발생부하량에 지역별 강우배출비를 곱하여 산정하였다.

- 각 사업의 준공년도를 오염원 증가의 기준시점으로 했고, 준공년도가 없는 사업은 사업승인일을 기준으로 각 사업의 특성에 따라 4~5년이 경과한 시점을 기준시점으로 하였다.

- 각종개발계획들 중 사업명만 있고 구체적 내용들이 결여된 사업은 미확정 사업으로 분류하였고, 기본계획의 개발계획부분에 그 사업명은 포함시켰지만 그 사업에 할당된 부하량은 없다.

#### 다. 개발계획 조사 결과

##### 1) 개발계획 총괄

조사된 자료 중 수계내 포함되며, 2010년 이전의 택지개발계획, 공동주택, 도로확충계획, 시설계획, 단지개발계획은 아래와 같이 정리하였다. 수계범위내 2010년 이전에 계획된 전라북도 관내 개발계획은 공동주택 63건, 교통망확충계획 210건, 단지 개발계획 151건, 시설계획 503건, 지구단위계획 106건, 마지막으로 택지개발계획이 24건으로 총 1,055건의 계획이 조사되고, 기본계획에 포함되어졌다. 개발면적은 개발예정부지의 합계에 불과하므로 개발로 인해 지목의 변경만 있을 뿐이며 전라북도 전체면적에는 변화가 없고, 부하량 산정시는 각 사업별 지목변경 내역을 조사하여 반영하였다.

<표 6-38> 전라북도 개발계획 총괄

계획종류	계획건수 (건)	예상인구 (인)	개발면적 (km <sup>2</sup> )	인구 부하량 (BOD <sub>5</sub> , kg/일)		토지 부하량 (BOD <sub>5</sub> , kg/일)	
				발생 부하량	배출 부하량	발생 부하량	배출 부하량
총계	1,055	618,472	1,023	23,988.90	4,384.00	4,992.90	4,681.00
공동주택	63	91,075	1	4,521.88	550.00	76.07	60.00
교통망확충계획	210	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
단지개발계획	151	92,754	704	6,899.50	2,414.00	1,315.74	1,178.00
시설계획	503	148,617	281	2,596.70	449.00	1,717.62	1,699.00
지구단위계획	106	127,806	27	2,115.19	213.00	1,358.71	1,268.00
택지개발계획	22	158,220	10	7,855.62	758.00	524.77	476.00

2) 시군구별 및 단위유역별 부하량 할당

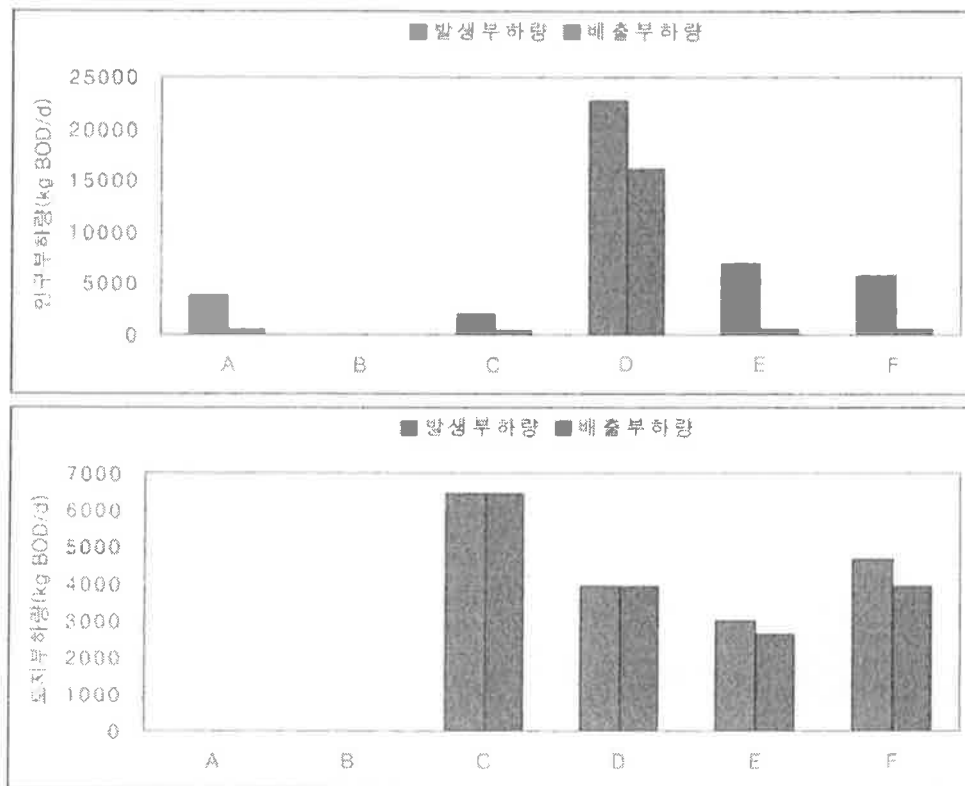
전체 1,055건의 개발사업의 시군구별 분포를 보면 공동주택은 전주시의 29건, 단지개발계획은 장수군이 47건, 시설계획은 완주군이 180건으로 가장 많았다.

이상의 장래개발계획을 새만금 유역으로 정리하여 <표 6-39>와 (그림 6-43)에 나타내었다. 인구부하량의 경우 시설계획이 가장 높은 값을 나타내었고, 토지부하량의 경우는 단지개발계획과 택지개발계획순으로 높게 나타났다.

<표 6-39> 새만금 유역의 장래 개발계획

계획종류	계획건수 (건)	예상인구 (인)	개발면적 (km <sup>2</sup> )	인구부하량 (BOD <sub>5</sub> , kg/d)		토지부하량 (BOD <sub>5</sub> , kg/d)	
				발생 부하량	배출 부하량	발생 부하량	배출 부하량
A. 공동주택	63	77,600	0	3,880	591	0	0
B. 교통망확충계획	210	0	8,827	0	0	0	0
C. 단지개발계획	111	69,313	808	1,972	410	6,435	6,435
D. 시설계획	427	173,291	352	22,747	16,123	3,916	3,916
E. 지구단위계획	120	138,478	59	6,875	561	3,011	2,621
F. 택지개발계획	8	114,460	81	5,683	493	4,651	3,939
계	939	573,142	1,299	41,158	18,179	18,012	16,910

지역 및 단위유역별 개발계획에 따른 오염부하량을 만경강과 동진강으로 각각 구분하여 (그림 6-44)와 (그림 6-45)에 나타내었다. 만경강은 인구에 의한 부하량은 전주 A가 발생부하량과 배출부하량이 높게 조사되었고, 토지에 의한 부하량은 탑천 A가 4,477kg/d, 3,750kg/d로 가장 높게 나타났다. 동진강은 인구에 의한 부하량은 동진B가, 토지에 의한 부하량은 정읍 A가 가장 높게 나타났다.

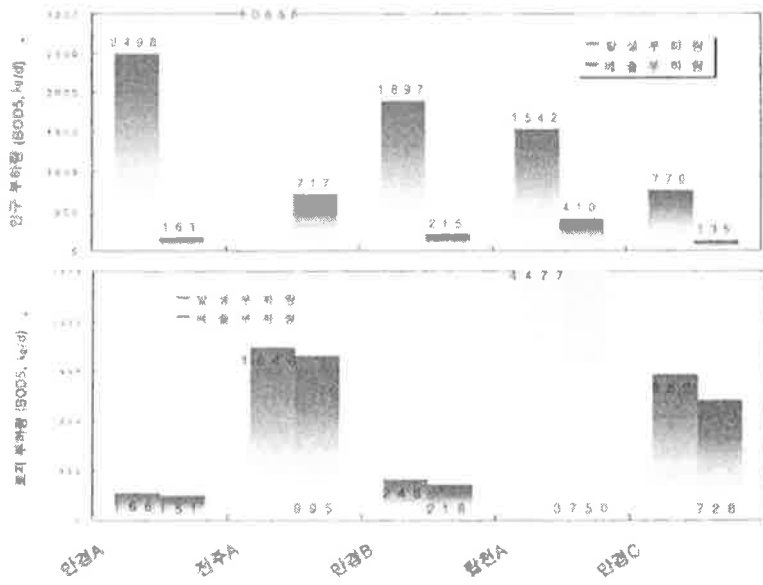


(그림 6-43) 새만금 유역의 장래개발계획

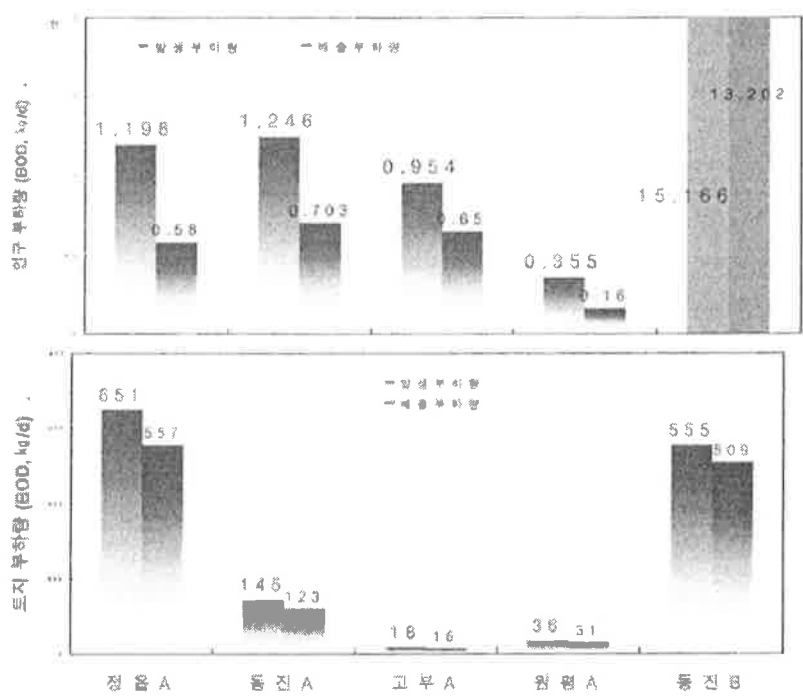


<표 6-40> 만경강 단위유역별 개발계획

단위유역	시군구	예상인구 (인)	개발면적 (km <sup>2</sup> )	인구 부하량 (BOD <sub>5</sub> , kg/일)		토지 부하량 (BOD <sub>5</sub> , kg/일)	
				발생 부하량	배출 부하량	발생 부하량	배출 부하량
만경A	전주시 덕진구	51,760	2.7	1,041.67	75.00	114.26	72.00
	익산시	0	0.0	0.00	0.00	0.11	0.00
	완주군	18,991	8.3	675.87	119.00	170.77	147.00
전주A	전주시 완산구	133,126	10.0	4,170.23	348.00	498.56	448.00
	전주시 덕진구	70,927	4.1	3,360.13	226.00	219.92	177.00
	완주군	9,372	3.8	416.22	30.00	128.57	82.00
만경B	전주시 완산구	18,738	0.8	763.30	69.00	42.09	32.00
	전주시 덕진구	5,223	2.7	1,265.12	63.00	126.95	124.00
	익산시	2,049	0.8	110.14	40.00	41.08	42.00
	김제시	7	0.0	0.35	0.00	0.15	0.00
	완주군	70,369	4.9	3,413.84	496.00	195.87	196.00
담천A	군산시	3,194	0.1	158.56	4.00	2.94	3.00
	익산시	20,728	2.7	996.61	104.00	150.16	150.00
만경C	군산시	7,776	0.6	298.40	37.00	31.70	31.00
	익산시	8,619	0.2	418.03	55.00	11.50	11.00
	김제시	8,184	0.9	116.34	11.00	46.43	46.00



(그림 6-44) 지역 및 단위 유역별 개발계획에 따른 오염부하량(만경강)



(그림 6-45) 지역 및 단위 유역별 개발계획에 따른 오염부하량(동진강)

#### 4. 오염원 조사

##### 가. 오염원 조사

오염원조사는 <표 6-41>과 같이 수계오염총량관리기술지침에 따라 조사하였다. 오염원 조사는 먼저 수질정책지원시스템에 수록된 과거의 오염원 자료(1999년~2001년)와 2002년 현황이 수록된 '2003전국 오염원 조사(환경부, 국립환경연구원)' 결과를 바탕으로 시·군별 또는 읍·면별 현황을 통계연보 및 각종 현황자료와 비교·검토하였다. 통계연보와 각종 환경현황자료 검토결과를 토대로 일치하지 않는 자료는 오염원 조사방법을 해당 시·군 담당자에게 작성요령을 설명하고, 수차례 현지 방문조사를 통하여 이용 가능한 자료를 최대한 조사하였다. 시·군 담당자에 의해 보완·조사된 오염원 자료를 재보완 및 추가조사를 반복한 후 총량관리 단위유역, 소유역별 분류 등 후속과정의 진행을 실시하였다.

조사 항목	조사 방법
<input type="checkbox"/> 생활계 오염원 조사 항목 <input type="checkbox"/> 행정구역별 인구현황, 배출원별 인구현황 <input type="checkbox"/> 행정구역별 사용유량, 배출원별 사용유량 <input type="checkbox"/> 축산계 오염원 조사 항목 <input type="checkbox"/> 행정구역별 축산현황, 배출원별 축산현황 <input type="checkbox"/> 산업계 오염원 조사 항목 <input type="checkbox"/> 행정구역별 산업현황, 배출원별 산업현황 <input type="checkbox"/> 양식계 오염원 조사 <input type="checkbox"/> 행정구역별 양식현황, 배출원별 양식현황 <input type="checkbox"/> 토지계 오염원 조사 <input type="checkbox"/> 행정구역별 토지현황, 배출원별 토지현황 <input type="checkbox"/> 매립계 오염원 조사 <input type="checkbox"/> 환경기초시설 조사 <input type="checkbox"/> 환경기초시설 현황, 총유입량, 전기이용량, 열량이소량 방류량 등 <input type="checkbox"/> 하수도정비기본계획서상의 설치지가 등	<input type="checkbox"/> 오염원 조사의 기초자료는 해당 시군 자료를 인용, 자료의 보완조사 및 검증은 연구진에서 실시. <input type="checkbox"/> 오염원 조사는 최대한 수계오염총량관리기술 지침에 따라 조사. <input type="checkbox"/> 수질정책지원시스템에 수록된 과거의 오염원 자료(1999년~2001년)와 2002년 현황이 수록된 '2003전국 오염원 조사(환경부, 국립환경연구원)' 결과를 바탕으로 시·군별 또는 읍·면별 현황을 통계연보 및 각종 현황자료와 비교 검토. <input type="checkbox"/> 통계연보와 각종 환경현황자료 검토결과를 토대로 일치하지 않는 자료는 해당 시·군 담당자에게 문의 또는 현지 방문조사

(그림 6-46) 오염원 조사항목과 방법

##### 나. 오염원 조사 결과

###### 1) 오염원 현황 및 전망

전라북도 관할지역의 총 오염원 현황과 오염원의 자연증감에 따른 변동을 고려한 장래 오염원의 연차별 전망치는 <표 6-41>과 같다. 인구의 자연증가율은 1998년부터

2002년까지 행정동리 단위의 자료를 기초로 하여 읍면동별로 수학적 추계방법으로 추정하였다. 축산두수 전망 및 산업폐수 방류량은 각 축종별 또는 사업규모별 과거증가 추이에 의한 자연증가율을 적용하였으며, 인구오염원 및 축산두수는 새만금호 수질보전대책의 환경기초시설과 축산대책을 고려하여 전망하였다. 개발계획에 따른 오염원 증가량은 개별 오염원의 증가와는 별도로 추가 조사하여 인구와 토지계에 추가개발로 정리하였다. 개발면적은 개발예정부지의 합계에 불과하므로 개발로 인해 지목의 변경만 있을 뿐 전라북도 전체면적에는 변화가 없으며, 부하량 산정시는 각 사업별 지목 변경 내역을 조사하여 반영하였다.

<표 6-41> 전라북도 오염원 현황 및 전망 총괄표

오염원		1998	1999	2000	2001	2002	2010
인구	자연증감	1,552,645	1,581,812	1,594,531	1,595,888	1,559,160	1,607,035
	축산사육 두수(두)						
	젖소	24,121	23,448	24,505	24,591	25,743	23,259
	한우	138,742	128,055	109,457	94,635	105,874	90,002
	돼지	610,263	659,352	714,857	751,959	860,238	514,464
	가금	10,410,311	12,778,034	13,237,518	16,095,790	13,383,111	18,336,230
	기타	404,172	387,227	396,904	429,861	33,520	33,828
산업폐수방류량(m <sup>3</sup> /일)		155,259	155,088	160,782	154,967	156,135	158,192
양식장시설면적(m <sup>2</sup> )		2,726,020	2,726,020	1,609,837	1,609,837	2,167,929	2,167,929
토지계 (m <sup>2</sup> )	전	404.7	400.8	396.9	394.6	391.5	379.0
	답	1031.2	1025.2	1019.8	1017.6	1014.2	998.2
	임야	2589.1	2584.3	2578.7	2575.3	2571.3	2554.5
	대지	112.7	116.3	119.8	121.1	123.0	134.7
	기타	569.1	580.1	591.5	598.2	606.8	640.4
매립장침출수량(m <sup>3</sup> /일)		983.0	983.0	983.0	983.0	983.0	983.0

#### 가) 생활계 오염원 조사

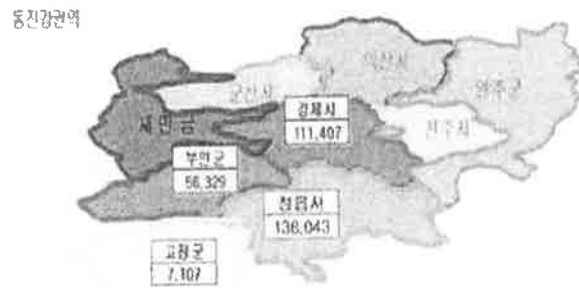
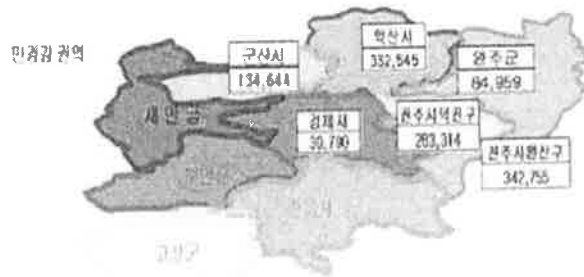
장래인구의 자연증감에 의한 전망은 읍·면·동별로 과거 5년의 인구추세에 근거하여 제1의 원칙은 수학적인 추계방법 중 등차급수를 적용하여 2002년 기준으로 리·동별로 인구를 배분하는 것으로 하고, 등차가 성립하지 않는 경우는 지수회귀를 적용하여 변화의 증감이 적다고 가정하여 추정하였다.

<표 6-42> 행정구역별 가정인구 현황 및 전망조사표

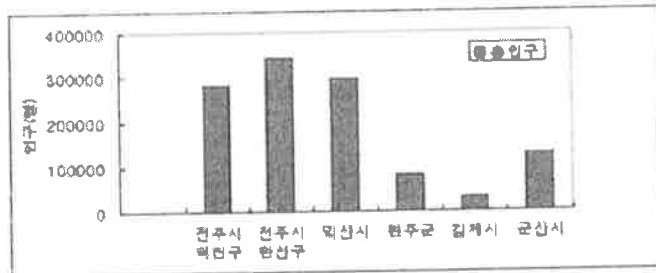
시군구	연도별인구												
	1998년	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년
전주시 완산구	322,919	326,437	333,251	336,077	342,755	342,381	344,236	345,842	347,260	348,528	349,674	350,721	351,685
전주시 덕진구	263,530	285,484	288,987	287,820	283,314	292,129	294,380	296,329	298,049	299,587	300,979	302,249	303,418
군산시	134,657	129,063	135,223	137,744	134,644	136,858	137,156	137,426	137,673	137,903	138,118	138,319	138,510
익산시	335,677	337,436	337,240	337,240	332,545	335,590	335,197	334,846	334,525	334,230	333,954	333,681	333,437
정읍시	148,783	149,539	152,000	150,176	138,043	147,831	146,465	145,572	144,352	144,347	143,883	143,480	143,125
김제시	111,462	115,687	116,211	118,751	111,407	116,068	116,320	116,539	116,731	116,903	117,059	117,202	117,333
완주군	85,122	88,179	87,619	87,081	84,959	85,873	86,295	86,648	86,961	87,239	87,486	87,709	87,912
고창군	8,345	7,971	7,570	7,547	7,107	7,109	6,998	6,902	6,818	6,742	6,674	6,611	6,554
부안군	63,887	63,162	61,755	59,511	56,329	56,702	56,642	56,583	56,525	56,468	56,412	56,356	56,301

만경강 권역과 동진강 권역의 2002 인구현황을 시군별로 도시하여 (그림 6-47)에 나타내었다. 만경강은 전주시 완산구가, 동진강은 정읍시의 인구분포가 큰 값을 보여 주고 있다.

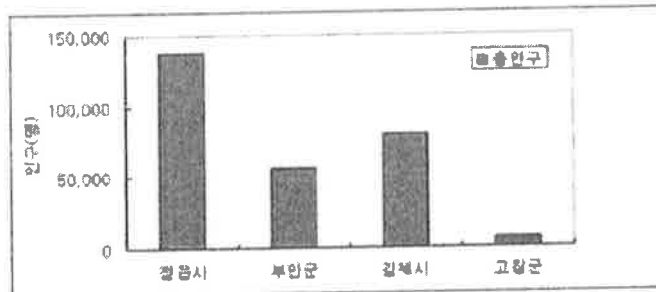
만경강 단위유역별 인구추정 결과는 (그림 6-48)에 나타내었으며, 유역별 인구조사 결과는 (그림 6-48)~(그림 6-50)에 나타내었다. 단위유역별 인구조사에서는 만경강은 전주A가, 동진강은 정읍 A가 가장 인구가 많은 지역으로 조사되었다.



민경강 권역



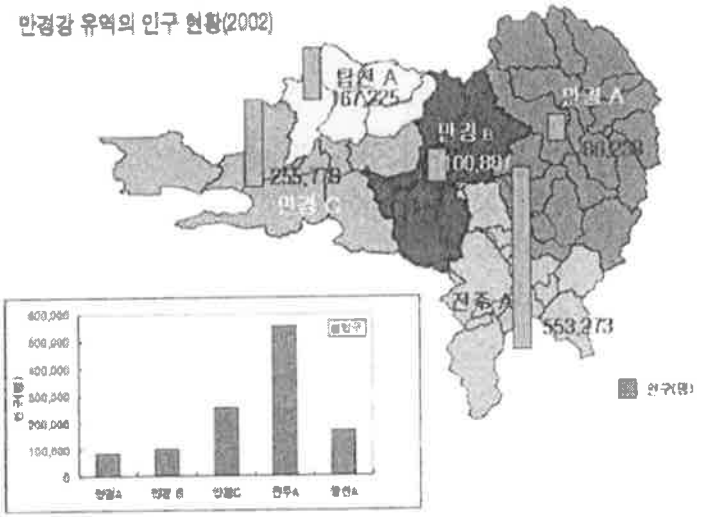
동진강 권역



(그림 6-47) 새만금 유역의 시군별 인구분포 현황



(그림 6-48) 만경강 단위유역별 인구추이



(그림 6-49) 만경강 유역의 인구현황(2002)

동진강 유역 인구현황(명)



(그림 6-50) 동진강 유역 인구현황(2002)

<표 6-43> 단위유역별 가정인구 현황 및 전망 조사표

단위 유역명	시군구	연도별 인구(인)												
		1998년	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년
동진A	정읍시	34,656	34,306	35,410	33,422	29,429	31,945	31,513	31,152	30,841	<b>30,567</b>	30,323	30,102	29,901
	부안군	1,415	1,343	1,301	1,238	1,125	1,137	1,135	1,133	1,131	1,130	1,128	1,126	1,125
동진B	김제시	26,912	28,103	28,897	30,050	26,912	28,851	28,976	29,085	29,180	29,266	29,343	29,414	29,479
	부안군	33,568	32,470	31,497	30,154	28,230	28,459	28,422	<b>28,285</b>	28,349	28,313	28,278	28,244	28,210
고부A	정읍시	12,945	12,909	<b>12,084</b>	12,693	11,058	11,589	11,450	11,330	11,225	11,130	11,044	10,966	10,894
	고창군	<b>8,345</b>	7,971	7,570	7,547	7,107	7,109	6,998	6,902	6,818	6,742	6,674	6,611	6,554
원평A	정읍시	5,906	5,814	5,745	5,595	4,936	5,396	5,290	5,204	5,131	5,068	5,012	4,962	4,917
	김제시	53,705	55,225	54,199	54,439	53,705	54,246	54,244	54,243	54,241	54,240	54,239	54,238	54,237
원평B	덕진구	44,503	46,775	47,695	47,745	47,511	48,461	48,782	49,059	49,304	<b>49,523</b>	49,721	<b>49,902</b>	50,069
	익산시	119	117	108	108	102	103	101	100	99	97	96	96	95
원평C	완주군	39,776	39,525	39,197	<b>38,977</b>	38,265	38,419	38,535	<b>38,624</b>	38,708	38,780	38,843	38,899	38,948
	완산구	2,711	4,044	5,558	6,136	6,328	<b>6,980</b>	7,341	7,653	<b>7,929</b>	8,175	8,398	8,601	8,789
원평D	덕진구	32,517	32,557	31,922	31,483	30,653	30,884	30,732	30,600	30,483	30,379	30,285	30,198	30,119
	익산시	28,192	27,682	26,638	26,638	26,144	26,116	26,002	<b>25,901</b>	25,812	25,731	25,657	25,588	25,525
원평E	김제시	<b>4,939</b>	5,190	<b>5,365</b>	5,485	4,923	5,293	5,314	5,332	5,348	5,362	5,375	5,386	5,397
	완주군	32,089	35,428	35,861	33,784	32,839	33,615	33,754	33,874	<b>33,979</b>	34,073	34,158	34,235	34,305
원평F	군산시	119,584	115,392	121,026	123,716	121,306	<b>123,405</b>	123,771	124,097	<b>124,304</b>	124,667	124,920	125,156	125,378
	익산시	106,511	103,892	101,072	101,072	108,600	110,161	109,290	108,533	107,864	107,264	106,720	106,207	105,748
원평G	김제시	25,906	27,168	27,751	28,777	25,867	27,678	27,786	27,879	27,962	28,036	28,102	28,163	28,219
	완산구	<b>326,208</b>	<b>322,393</b>	<b>327,693</b>	<b>329,941</b>	<b>336,427</b>	335,401	336,895	338,189	<b>339,431</b>	<b>340,352</b>	341,276	342,120	<b>342,896</b>
원평H	덕진구	186,510	206,152	209,369	208,593	205,151	212,784	214,866	216,670	<b>218,262</b>	219,685	220,973	222,148	<b>223,230</b>
	완주군	<b>10,752</b>	<b>10,780</b>	10,136	12,048	11,695	11,660	11,830	11,976	12,104	12,218	12,321	12,414	12,500
원평I	정읍시	95,276	96,510	98,761	98,466	92,621	98,901	98,211	97,886	97,156	97,582	97,504	97,450	97,413
원평J	군산시	<b>8,472</b>	<b>7,263</b>	<b>7,950</b>	7,858	7,386	7,559	7,538	7,521	7,507	7,495	7,486	7,477	7,470
	익산시	157,021	163,539	<b>160,792</b>	169,792	159,839	161,428	162,566	163,544	164,398	165,156	165,836	166,452	167,013



<표 6-44> 배출원별 가정인구현황 조사(2002)

자료년도	시군구	하수처리		하수미처리			총인구(인)
		분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거	
2002	전주시완산구	227,055	83,521	2,760	27,734	1,685	342,755
	전주시덕진구	46,298	215,177	0	18,853	2,986	283,314
	군산시	4,359	94,024	4,800	27,541	3,919	134,644
	익산시	111,477	135,916	14,042	45,746	25,365	332,545
	정읍시	31,624	45,868	14,416	32,028	14,108	138,043
	김제시	12,807	44,894	7,124	29,285	17,297	111,407
	완주군	32,202	0	10,296	31,215	11,246	84,959
	고창군	1,861	0	175	4,201	870	7,107
2010	부안군	1,221	0	10,038	32,562	12,508	56,329
	전주시완산구	239,186	112,499	0	0	0	351,685
	전주시덕진구	156,956	146,462	0	0	0	303,418
	군산시	138,261	0	249	0	0	138,510
	익산시	217,583	23,378	22,669	42,849	26,958	333,437
	정읍시	28,737	73,634	14,051	17,298	9,405	143,125
	김제시	76,735	71	11,287	17,069	12,170	117,332
	완주군	61,189	4,827	9,915	7,850	4,131	87,912
고창군	3,237	1,312	129	1,042	834	6,554	
부안군	11,184	14,898	2,888	9,204	18,128	56,302	

배출원별 가정인구현황 조사(2002년도)는 하수처리와 하수미처리로 구분하여 <표 6-44>에 나타내었다. 단위유역별 인구현황 조사는 <표 6-45>와 <표 6-46>에 정리하였다.

장래 생활계 사용유량의 자연증감에 의한 추세는 동·리별로 예측된 인구의 예측치에 2002년 기준 각 시·군의 생활계 원단위를 적용하여 추정하였으며, 생활패턴의 고도화에 따른 물사용량의 증가분을 고려하기 위하여 각 시군구의 생활계 물사용량 원단위법을 일괄 적용하여 사용수량을 산정하였다. 행정구역별 생활계 사용유량 현황 및 전망은 <표 6-47>에 나타내었다.

<표 6-45> 단위유역별 배출원별 가정인구현황 (2002년도)

단위 유역명	시군구	하수처리		하수미처리			총인구 (인)
		분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거	
동진A	정읍시	2,215	0	7,241	14,671	5,303	29,429
	부안군	0	0	0	558	568	1,125
동진B	김제시	1,333	14,299	1,285	5,866	4,129	26,912
	부안군	490	0	3,791	17,692	6,257	28,230
고부A	정읍시	1,332	3	1,165	4,655	3,903	11,058
	고창군	1,861	0	175	4,201	870	7,107
	부안군	731	0	6,248	14,312	5,683	26,974
원평A	정읍시	215	0	227	2,408	2,085	4,936
	김제시	6,545	28,542	1,835	11,745	5,039	53,705
만경A	전주시덕진구	3,123	42,004	0	2,022	362	47,511
	익산시	0	0	0	102	0	102
	완주군	10,180	0	5,364	17,945	4,776	38,265
만경B	전주시완산구	4,731	343	77	889	287	6,328
	전주시덕진구	5,951	20,653	0	3,502	548	30,653
	익산시	7,779	5,873	2,732	6,931	2,829	26,144
	김제시	785	0	965	1,815	1,359	4,923
	완주군	16,925	0	3,680	7,143	5,090	32,839
만경C	군산시	936	94,024	4,025	19,769	2,551	121,306
	익산시	39,983	51,207	7,472	7,169	2,769	108,600
	김제시	4,144	2,053	3,040	9,860	6,770	25,867
전주A	전주시완산구	222,324	83,178	2,683	26,845	1,397	336,427
	전주시덕진구	37,224	152,521	0	13,329	2,077	205,151
	완주군	4,760	0	1,031	4,524	1,380	11,695
정읍A	정읍시	27,862	45,865	5,784	10,294	2,816	92,621
탑천A	군산시	1,823	0	646	4,342	575	7,386
	익산시	63,472	78,836	3,717	8,295	5,519	159,839

<표 6-46> 단위유역별 배출원별 가정인구현황 (2010년도)

단위 유역명	시군구	하수처리		하수미처리			총인구 (인)
		분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거	
동진A	정읍시	5,908	6,329	5,294	8,990	3,380	29,901
	부안군	0	0	0	385	740	1,125
동진B	김제시	19,301	39	3,334	3,854	2,951	29,479
	부안군	6,303	6,240	1,750	4,835	9,082	28,210
고부A	정읍시	2,834	77	3,585	2,623	1,775	10,894
	고창군	3,237	1,312	129	1,042	834	6,554
	부안군	4,881	8,658	1,138	3,984	8,306	26,967
원평A	정읍시	1,189	196	1,018	1,627	887	4,917
	김제시	46,553	0	1,343	3,350	2,991	54,237
만경A	전주시덕진구	24,028	26,041	0	0	0	50,069
	익산시	32	0	2	1	60	95
	완주군	27,032	4,700	2,869	2,034	2,313	38,948
만경B	전주시완산구	4,731	4,057	0	0	0	8,789
	전주시덕진구	22,324	7,795	0	0	0	30,119
	익산시	11,243	0	3,328	5,023	5,931	25,525
	김제시	599	0	1,116	2,354	1,328	5,397
	완주군	21,734	0	6,132	5,816	624	34,305
만경C	군산시	125,130	0	249	0	0	125,378
	익산시	74,340	14,285	3,680	9,097	4,346	105,748
	김제시	10,282	32	5,494	7,511	4,900	28,219
전주A	전주시완산구	234,455	108,442	0	0	0	342,896
	전주시덕진구	110,604	112,626	0	0	0	223,230
	완주군	11,136	127	42	0	1,194	12,500
정읍A	정읍시	18,806	67,032	4,154	4,058	3,363	97,413
담천A	군산시	7,470	0	0	0	0	7,470
	익산시	123,709	8,943	5,261	20,120	8,980	167,013

<표 6-47> 행정구역별 물사용유량(생활계+영업, m<sup>3</sup>/일)

시군구	생활계 사용유량(m <sup>3</sup> /일)					
	1998	1999	2000	2001	2002	2010
전주시완산구	99,532	101,517	105,214	105,501	110,722	116,095
전주시덕진구	93,882	101,576	101,848	101,508	98,650	102,125
군산시	79,431	78,862	80,747	80,135	74,837	80,702
익산시	93,888	93,745	91,385	91,385	104,518	104,856
정읍시	31,024	31,259	31,696	31,738	33,451	29,765
김제시	19,355	20,068	20,214	20,369	19,347	20,378
완주군	46,338	41,988	42,420	47,633	47,123	48,704
고창군	765	732	696	696	653	603
부안군	12,685	12,868	12,699	12,628	11,543	11,547

<표 6-48> 단위유역별 물사용유량(생활계+영업, m<sup>3</sup>/일)

단위 유역명	시군구	생활계 사용유량(m <sup>3</sup> /일)					
		1998	1999	2000	2001	2002	2010
동진A	정읍시	4,646	4,605	4,719	4,714	3,982	4,084
	부안군	82	77	75	75	65	65
동진B	김제시	5,633	5,859	6,010	6,095	5,633	6,044
	부안군	6,845	6,685	6,515	6,482	5,707	5,703
고부A	정읍시	1,309	1,305	1,227	1,235	1,122	1,115
	고창군	765	732	696	696	653	603
	부안군	5,758	6,106	6,108	6,071	5,771	5,779
원평A	정읍시	763	751	742	742	638	636
	김제시	9,184	9,447	9,331	9,369	9,184	9,427
만경A	전주시덕진구	13,020	13,960	14,237	14,207	14,208	14,939
	익산시	39	39	36	36	34	31
	완주군	20,131	14,909	17,195	21,770	21,796	22,427
만경B	전주시완산구	1,021	1,520	2,090	2,164	2,379	3,025
	전주시덕진구	7,158	7,189	7,056	7,026	6,758	6,771
	익산시	8,437	8,421	8,103	8,103	8,776	8,697
	김제시	702	738	763	765	700	764
	완주군	23,273	24,220	22,473	23,108	22,420	23,219
만경C	군산시	77,617	77,272	79,046	78,439	73,272	79,145
	익산시	42,028	40,911	39,220	39,220	43,081	42,547
	김제시	3,835	4,025	4,109	4,140	3,830	4,142
전주A	전주시완산구	98,511	99,997	103,124	103,337	108,343	113,070
	전주시덕진구	73,705	80,428	80,555	80,275	77,684	80,415
	완주군	1,580	1,577	1,481	1,530	1,739	1,856
정읍A	정읍시	24,305	24,598	25,007	25,048	27,709	23,929
탑천A	군산시	1,458	1,247	1,367	1,364	1,250	1,256
	익산시	36,606	37,841	37,877	37,877	46,781	47,980

배출원별로 하수처리구역과 미하수처리구역에서 사용유량을 산정하는 것은 수도권 대장과 정화조카드를 사용하여도 구분하기가 불가능하였다. 다만 가정인구의 사용유량과 용도구분 중 주거를 주거 이외의 목적으로 하는 사업장 건물의 사용유량은 수도권 자료를 근거로 최대한 구분하였으며, 비급수지역의 경우 시군구별 총사용유량 중 급수지역비율을 근거로 통계연보에 나타난 총사용량에 인구비를 곱하여 자료를 추출하였다.

장래의 사용유량에 대해서는 배출원별로 분리가 어려우므로 동리별 장래 물사용량 추정치에 기준년도의 해당지역내 배출원별 사용유량비를 곱하여 추정하였다.

<표 6-49> 단위유역별 배출원별 가정인구 사용유량 현황 조사표

단위 유역명	시군구	가정용 물 사용유량(m <sup>3</sup> /일)					
		1998	1999	2000	2001	2002	2010
동진A	정읍시	4,093	4,060	4,187	4,187	3,518	3,603
	부안군	78	73	71	71	62	62
동진B	김제시	3,215	3,351	3,442	3,442	3,215	3,497
	부안군	5,830	5,646	5,485	5,485	4,782	4,779
고부A	정읍시	880	876	809	809	752	731
	고창군	765	732	696	696	653	603
	부안군	3,511	3,666	3,649	3,649	3,439	3,448
원평A	정읍시	735	724	716	716	614	612
	김제시	6,314	6,497	6,393	6,393	6,314	6,405
만경A	전주시덕진구	8,499	8,928	9,110	9,110	9,077	9,569
	익산시	39	39	36	36	34	31
	완주군	5,696	5,855	5,659	5,659	5,340	5,399
만경B	전주시완산구	675	1,003	1,380	1,380	1,571	2,180
	전주시덕진구	5,115	5,126	5,031	5,031	4,831	4,755
	익산시	4,081	4,021	3,878	3,878	3,807	3,715
	김제시	616	647	669	669	614	673
	완주군	4,478	4,837	4,803	4,803	4,550	4,727
만경C	군산시	39,709	39,539	40,645	40,645	37,497	43,061
	익산시	13,734	13,424	13,118	13,118	16,136	15,530
	김제시	3,152	3,308	3,378	3,378	3,148	3,424
전주A	전주시완산구	66,856	68,169	70,846	70,846	74,949	78,128
	전주시덕진구	56,594	58,824	59,054	59,054	57,076	58,851
	완주군	1,525	1,541	1,452	1,452	1,661	1,777
정읍A	정읍시	15,282	15,447	15,610	15,610	17,652	13,500
탑천A	군산시	1,282	1,110	1,204	1,204	1,102	1,107
	익산시	19,258	20,204	20,560	20,560	28,277	29,426

<표 6-50> 배출원별 가정인구 사용유량 현황 조사표

자료년도	시군구	하수처리구역		하수미처리구역			총계 (m <sup>3</sup> /일)
		분류	합류	오수처리	단독정화	수거	
2002	전주시완산구	52,890	18,314	564	4,356	397	76,520
	전주시덕진구	8,641	54,916	0	6,730	697	70,983
	군산시	856	33,206	1,344	3,154	300	38,860
	익산시	18,366	22,520	2,846	5,821	2,424	51,977
	정읍시	6,801	8,982	1,698	3,509	1,546	22,536
	김제시	1,540	5,215	861	3,556	2,119	13,291
	완주군	3,809	0	1,395	4,868	1,674	11,746
	고창군	229	0	21	334	68	653
	부안군	270	0	1,848	4,590	1,575	8,283

<표 6-50> 배출원별 가정인구 사용유량 현황 조사표 (계속)

자료년도	단위 유역명	시군구	하수처리구역		하수미처리구역			총계 (m <sup>3</sup> /일)
			분류	합류	오수처리	단독정화	수거	
2002	동진A	정읍시	250	0	1,037	1,571	660	3,518
		부안군	0	0	0	31	31	62
	동진 B	김제시	173	1,634	165	731	512	3,215
		부안군	156	0	729	2,785	1,112	4,782
	고부A	정읍시	125	1	82	303	241	752
		고창군	229	0	21	334	68	653
		부안군	114	0	1,119	1,775	431	3,439
	원평A	정읍시	18	0	28	302	266	614
		김제시	757	3,394	195	1,372	596	6,314
	만경A	전주시덕진구	604	7,996	0	405	71	9,077
		익산시	0	0	0	34	0	34
		완주군	1,397	0	478	2,748	717	5,340
	만경B	전주시완산구	1,181	84	19	217	70	1,571
		전주시덕진구	1,010	3,205	0	536	80	4,831
		익산시	1,060	863	770	840	274	3,807
		김제시	97	0	120	227	170	614
		완주군	1,753	0	757	1,289	750	4,550
	만경C	군산시	224	36,965	1,095	2,677	303	41,265
		익산시	7,178	7,544	1,294	827	186	17,028
		김제시	514	187	381	1,226	840	3,148
	전주A	전주시완산구	51,709	18,230	545	4,138	327	74,949
		전주시덕진구	7,026	43,714	0	5,788	547	57,076
		완주군	629	0	150	676	206	1,661
	정읍A	정읍시	5,202	7,164	549	1,266	367	14,549
	탑천A	군산시	424	0	238	442	13	1,118
		익산시	10,098	14,113	767	1,628	778	27,384

<표 6-50> 배출원별 가정인구 사용유량 현황 조사표 (계속)

자료년도	단위 구역명	시군구	하수처리구역		하수미처리구역			총계 (m <sup>3</sup> /일)
			분류	합류	오수처리	단독정화	수거	
2010	동진A	정읍시	789	498	635	1,228	453	3,603
		부안군	0	0	0	19	43	62
	동진 B	김제시	2,234	3	417	476	367	3,497
		부안군	1,097	776	393	889	1,625	4,779
	교부A	정읍시	209	6	249	152	116	731
		고창군	337	129	10	74	54	603
		부안군	1,283	1,126	138	301	600	3,448
	원평A	정읍시	145	14	130	209	114	612
		김제시	5,446	0	171	407	382	6,405
	만경A	전주시덕진구	4,581	4,989	0	0	0	9,569
		익산시	10	0	0	0	20	31
		완주군	3,878	366	495	376	284	5,399
	만경B	전주시완산구	1,181	999	0	0	0	2,180
		전주시덕진구	3,510	1,245	0	0	0	4,755
		익산시	2,451	0	427	225	613	3,715
		김제시	99	0	132	289	152	673
		완주군	2,541	0	1,145	941	100	4,727
	만경C	군산시	42,979	0	82	0	0	43,061
		익산시	13,382	1,310	68	39	731	15,530
		김제시	1,225	3	702	892	602	3,424
	전주A	전주시완산구	53,389	24,739	0	0	0	78,128
		전주시덕진구	30,188	28,663	0	0	0	58,851
		완주군	1,625	25	8	0	119	1,777
	정읍A	정읍시	5,222	7,053	445	459	320	13,500
	탑천A	군산시	1,107	0	0	0	0	1,107
		익산시	26,601	918	65	134	1,709	29,426

나) 축산계 오염원 조사

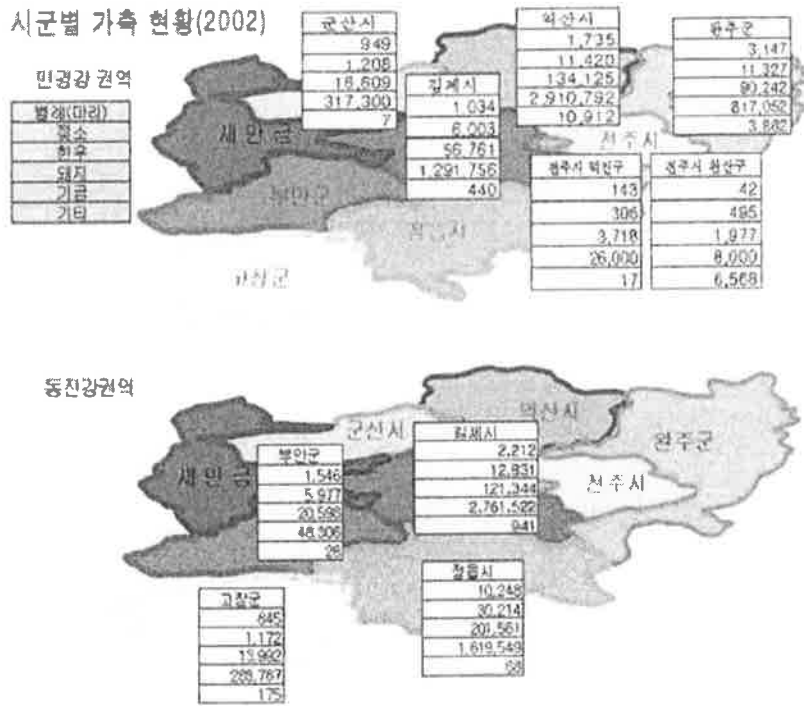
장래의 축산현황의 자연증감에 의한 전망은 시·군별로 과거 5년의 가축 사육두수의 추세에 근거하여 제1의 원칙은 수학적인 추계방법 중 등차급수 방법을 적용하였다. 추세가 감소하면 가축의 사육두수가 2002년과 같다고 가정하였고, 과거 5년의 자료가 분산적으로 분포하면 과거 5개년의 평균값을 적용하였으며, 증가추세에 있는 경우는 산정된 함수식을 적용하여 추정하였다.

<표 6-51> 행정구역 축산현황 및 전망 조사표

시군구	축종	연도별 가축두수(두)					
		1998	1999	2000	2001	2002	2010
전주시 완산구	젖소	49	67	60	63	42	45
	한우	870	476	292	518	495	315
	돼지	1,596	1,880	1,781	2,086	1,977	1,172
	가금	5,073	10,960	30,957	7,000	8,000	17,205
	기타	12,886	12,886	12,395	14,180	6,568	6,568
전주시 덕진구	젖소	166	85	131	131	143	96
	한우	540	2,039	372	214	307	142
	돼지	3,001	3,263	3,538	3,414	3,718	2,084
	가금	16,487	53,040	53,000	53,000	26,000	57,567
	기타	120	120	120	120	16	16
군산시	젖소	1,341	707	109	780	1,165	614
	한우	2,410	1,584	1,576	1,387	1,483	1,129
	돼지	21,778	17,848	18,023	19,137	20,392	14,855
	가금	215,918	184,502	149,793	126,747	389,557	438,047
	기타	7	7	7	7	7	0
익산시	젖소	2,490	2,364	2,756	2,810	3,176	2,768
	한우	18,421	16,233	14,810	12,989	20,910	18,535
	돼지	176,021	172,571	193,896	190,548	245,600	129,260
	가금	3,460,743	4,128,455	4,628,117	4,861,946	5,330,020	6,064,772
	기타	76,261	76,261	75,242	75,242	19,981	20,085
정읍시	젖소	9,819	10,263	11,225	10,723	10,248	10,192
	한우	39,223	38,031	33,752	29,830	30,214	26,502
	돼지	118,126	144,321	161,836	167,896	201,561	142,897
	가금	1,416,234	1,957,681	1,957,681	3,655,490	1,619,549	3,482,538
	기타	188,813	188,538	188,538	208,149	69	76
김제시	젖소	2,981	2,843	3,096	3,270	3,247	2,865
	한우	28,203	25,373	20,800	18,188	18,834	13,865
	돼지	156,468	176,450	167,677	185,667	178,105	100,996
	가금	3,514,774	4,254,682	3,825,723	4,695,967	4,053,279	5,150,087
	기타	1,381	1,381	1,381	1,381	1,381	1,702
완주군	젖소	3,204	3,289	3,532	3,751	3,516	3,214
	한우	14,118	14,470	12,688	11,839	12,656	12,868
	돼지	60,932	68,049	85,568	102,355	100,836	66,411
	가금	783,947	856,355	1,036,650	1,114,738	912,972	1,182,224
	기타	9,550	9,550	9,435	9,269	4,315	4,315
고창군	젖소	507	597	657	0	845	383
	한우	1,384	1,119	917	624	1,172	651
	돼지	4,645	5,995	6,288	7,532	13,992	3,378
	가금	108,466	161,060	202,992	229,871	288,787	699,307
	기타	2,953	2,960	2,901	3,239	175	20
부안군	젖소	2,039	1,918	1,732	1,903	1,546	1,885
	한우	10,146	8,793	7,347	5,826	5,976	4,862
	돼지	19,004	17,790	17,856	17,284	20,597	11,580
	가금	446,648	563,939	544,293	588,852	48,306	491,547
	기타	52,131	52,131	56,107	58,492	26	40

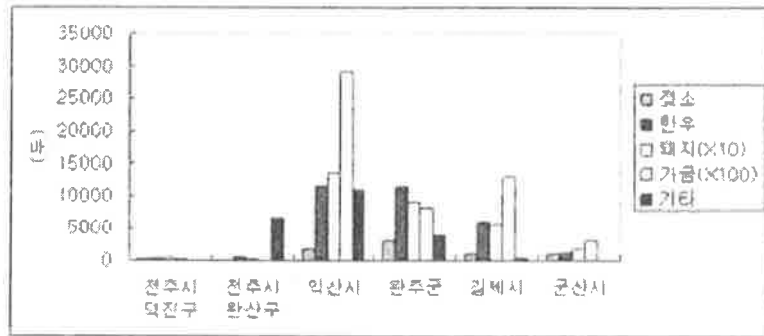


(그림 6-51)은 새만금 유역의 시군별 가축현황을 지도에 시각화하여 나타내었고, (그림 6-52)은 그래프로 도시화하였다. (그림 6-53)과 (그림 6-54)는 만경강과 동진강의 난위유역별 가축현황을 보여주고 있다.

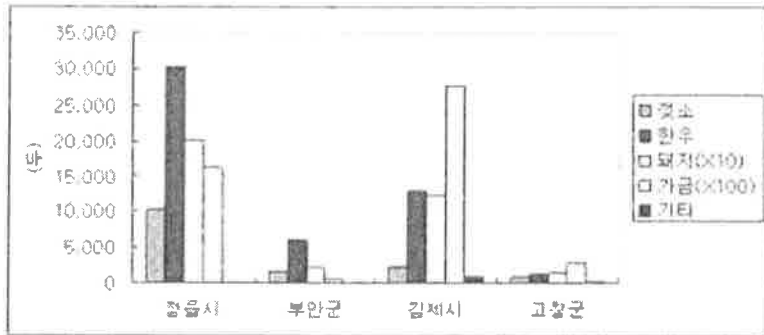


(그림 6-51) 새만금 유역의 시군별 가축현황

만경강 권역



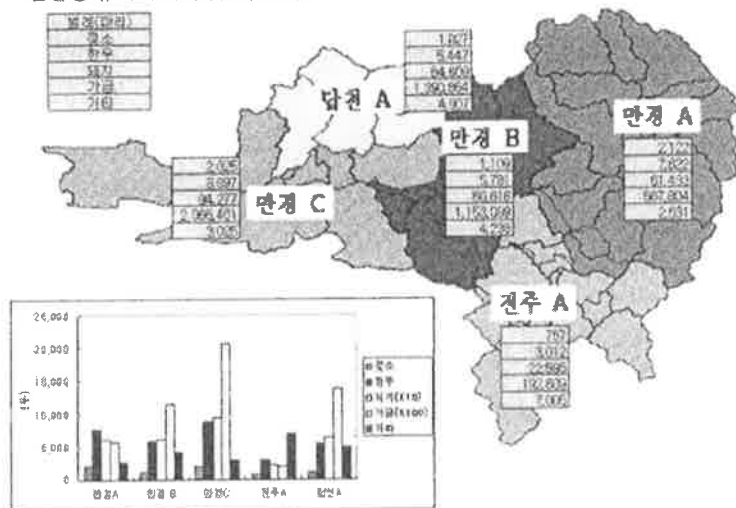
동진강 권역



(그림 6-52) 새만금 유역의 시군별 가축두수(2002)

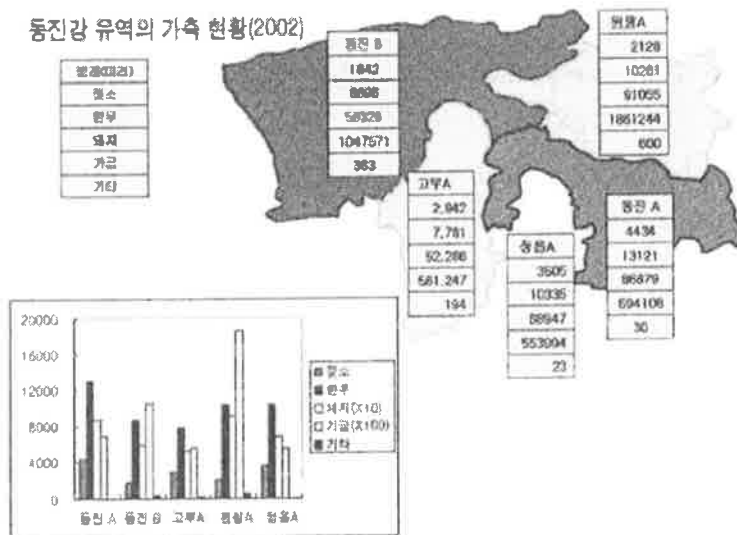
가축두수 중 닭, 돼지의 사육두수는 큰 값을 나타내었고, 만경강에서는 익산시가 닭과 돼지의 사육두수가 가장 큰 값을 나타내었고, 동진강의 경우는 정읍시가 가장 사육두수가 큰 지역으로 조사되었다. 젓소와 한우의 사육두수도 만경강과 달리 큰 값을 보여주고 있다. 단위유역별로 본 경우는 만경강의 경우 만경C가 돼지와 가금의 사육두수가 큰 값을 나타내고 있다. 동진강은 원평A를 비롯하여 거의 유사한 비율로 큰 값을 나타내고 있다.

만경강 유역의 가축 현황(2002)



(그림 6-53) 만경강 단위유역별 가축두수(2002)

동진강 유역의 가축 현황(2002)



(그림 6-54) 동진강 단위유역별 가축두수(2002)

<표 6-52> 단위유역별 축산현황 및 전망 조사표

단위 유역명	시군구	축종	연도별 가축두수(두)					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
동진A	정읍시	젖소	4,198	4,388	4,800	4,585	4,382	5,622
		한우	16,771	16,261	14,432	12,754	12,919	14,035
		돼지	50,508	61,708	69,196	71,788	86,182	65,424
		가금	605,542	837,050	837,050	1,562,986	692,474	1,480,069
		기타	80,731	80,614	80,614	88,999	29	66
	부안군	젖소	69	65	59	64	52	0
		한우	343	297	248	197	202	0
		돼지	643	602	604	584	697	0
		가금	15,104	19,071	18,406	19,913	1,634	0
		기타	1,763	1,763	1,897	1,978	1	0
동진B	김제시	젖소	747	712	776	819	813	140
		한우	7,065	6,356	5,211	4,556	4,718	1,863
		돼지	39,198	44,204	42,006	46,513	44,619	11,200
		가금	880,516	1,065,876	958,414	1,176,426	1,015,421	74,151
		기타	346	346	346	346	346	431
	부안군	젖소	1,357	1,277	1,153	1,266	1,029	1,340
		한우	6,753	5,852	4,890	3,877	3,978	2,181
		돼지	12,648	11,841	11,884	11,504	13,709	7,577
		가금	297,271	375,336	362,260	391,917	32,150	269,982
		기타	34,697	34,697	37,343	38,930	17	0
고부A	정읍시	젖소	1,564	1,635	1,788	1,708	1,632	2,344
		한우	6,247	6,057	5,376	4,751	4,812	2,123
		돼지	18,813	22,985	25,775	26,740	32,102	16,820
		가금	225,557	311,790	311,790	582,192	257,938	864,250
		기타	30,071	30,028	30,028	33,151	11	5
	고창군	젖소	507	597	657	0	845	383
		한우	1,384	1,119	917	624	1,172	651
		돼지	4,645	5,995	6,288	7,532	13,992	3,378
		가금	108,466	161,060	202,992	229,871	288,787	699,307
		기타	2,953	2,960	2,901	3,239	175	20
	부안군	젖소	613	577	521	572	465	545
		한우	3,050	2,643	2,209	1,751	1,797	2,681
		돼지	5,713	5,348	5,368	5,196	6,192	4,003
		가금	134,272	169,533	163,627	177,022	14,522	221,565
		기타	15,672	15,672	16,867	17,584	8	40
원평A	정읍시	젖소	698	730	798	762	729	320
		한우	2,789	2,704	2,400	2,121	2,148	1,829
		돼지	8,398	10,261	11,506	11,937	14,330	32,737
		가금	100,689	139,183	139,183	259,891	115,143	455,492
		기타	13,424	13,404	13,404	14,799	5	5
	김제시	젖소	1,284	1,225	1,334	1,409	1,399	1,813
		한우	12,149	10,930	8,960	7,835	8,113	6,715
		돼지	67,404	76,012	72,233	79,983	76,725	26,662
		가금	1,514,120	1,832,863	1,648,073	2,022,963	1,746,101	581,540
		기타	595	595	595	595	595	184

<표 6-52> 단위유역별 축산현황 및 전망 조사표 (계속)

단위 유역명	시군구	축종	연도별 가축두수(두)					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
만경A	전주시 덕진구	젓소	47	24	37	37	40	42
		한우	152	574	105	60	86	71
		돼지	844	918	996	961	1,046	1,855
		가금	4,639	14,925	14,914	14,914	7,316	41,837
		기타	34	34	34	34	5	0
	익산시	젓소	11	10	12	12	14	0
		한우	82	72	66	57	93	47
		돼지	779	764	858	843	1,087	0
		가금	15,315	18,269	20,480	21,515	23,587	5,752
		기타	337	337	333	333	88	171
	완주군	젓소	1,884	1,934	2,077	2,206	2,068	2,211
		한우	8,303	8,510	7,462	6,962	7,443	8,713
		돼지	35,833	40,018	50,321	60,193	59,300	39,892
		가금	461,024	503,605	609,633	655,555	536,901	438,038
		기타	5,616	5,616	5,549	5,451	2,538	1,442
만경B	전주시 완산구	젓소	3	4	4	4	3	0
		한우	53	29	18	32	30	5
		돼지	97	115	109	127	121	113
		가금	310	669	1,891	428	489	0
		기타	787	787	757	866	401	392
	전주시 덕진구	젓소	61	31	48	48	53	41
		한우	199	753	137	79	113	37
		돼지	1,108	1,205	1,306	1,260	1,373	27
		가금	6,086	19,580	19,565	19,565	9,598	0
		기타	44	44	44	44	6	0
	익산시	젓소	409	389	453	462	522	606
		한우	3,028	2,668	2,434	2,135	3,437	1,593
		돼지	28,931	28,364	31,869	31,319	40,367	81,610
		가금	568,810	678,555	760,680	799,112	876,045	660,446
		기타	12,534	12,534	12,367	12,367	3,284	5,001
	김제시	젓소	120	114	124	131	130	270
		한우	1,133	1,019	836	731	757	444
		돼지	6,286	7,088	6,736	7,459	7,155	82
		가금	141,196	170,919	153,687	188,646	162,828	355,045
		기타	55	55	55	55	55	0
완주군	젓소	365	375	403	428	401	447	
	한우	1,610	1,651	1,447	1,350	1,444	1248	
	돼지	6,950	7,762	9,760	11,675	11,502	14680	
	가금	89,422	97,681	118,247	127,154	104,139	134850	
	기타	1,089	1,089	1,076	1,057	492	860	

<표 6-52> 단위유역별 축산현황 및 전망 조사표 (계속)

단위 유역명	시군구	축종	연도별 가축두수(두)					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
만경C	군산시	젖소	808	426	66	470	702	194
		한우	1,452	954	950	836	894	391
		돼지	13,123	10,755	10,860	11,531	12,287	4,855
		가금	130,103	111,172	90,258	76,372	234,730	85,545
		기타	5	5	5	5	5	0
	익산시	젖소	328	312	363	371	419	46
		한우	2,429	2,140	1,953	1,713	2,757	457
		돼지	23,210	22,755	25,567	25,125	32,384	6,428
		가금	456,325	544,368	610,252	641,084	702,803	37,626
		기타	10,056	10,056	9,921	9,921	2,635	1,822
	김제시	젖소	830	792	862	911	904	642
		한우	7,855	7,067	5,793	5,066	5,246	4,844
		돼지	43,580	49,145	46,702	51,712	49,606	63,051
		가금	978,943	1,185,023	1,065,549	1,307,931	1,128,928	4,139,351
		기타	385	385	385	385	385	1,087
	전주A	전주시 완산구	젖소	46	63	56	59	39
한우			817	447	274	486	465	310
돼지			1,498	1,765	1,672	1,959	1,856	1,059
가금			4,763	10,291	29,066	6,572	7,511	17,205
기타			12,099	12,099	11,638	13,314	6,167	6,176
전주시 덕진구		젖소	58	30	46	46	50	13
		한우	189	713	130	75	107	33
		돼지	1,049	1,140	1,236	1,193	1,299	202
		가금	5,762	18,535	18,521	18,521	9,086	15,730
		기타	42	42	42	42	6	16
완주군		젖소	618	634	681	723	678	93
		한우	2,722	2,790	2,446	2,282	2,440	2,154
		돼지	11,747	13,119	16,497	19,733	19,440	13,581
		가금	151,138	165,097	199,856	214,911	176,012	135,281
		기타	1,841	1,841	1,819	1,787	832	2,651
정읍A		정읍시	젖소	3,359	3,511	3,840	3,668	3,505
	한우		13,417	13,009	11,546	10,204	10,335	8,515
	돼지		40,407	49,367	55,359	57,432	68,947	27,916
	가금		484,447	669,658	669,658	1,250,422	553,994	682,727
	기타		64,587	64,493	64,493	71,201	23	0
탐천A	군산시	젖소	284	150	23	165	247	237
		한우	511	336	334	294	314	389
		돼지	4,616	3,783	3,820	4,056	4,322	8,617
		가금	45,766	39,107	31,750	26,865	82,570	288,462
		기타	2	2	2	2	2	0
	익산시	젖소	611	580	677	690	780	333
		한우	4,522	3,985	3,635	3,188	5,133	1,372
		돼지	43,208	42,361	47,596	46,774	60,287	7,161
		가금	849,507	1,013,409	1,136,061	1,193,459	1,308,357	755,309
		기타	18,720	18,720	18,470	18,470	4,905	2,709

<표 6-53> 배출원별 축산현황 및 전망 조사표

시군구	축종	개별처리유형						
		폐수처리유형				고형물처리유형		
		자원화	폐수처리	무처리	위탁등	자원화	무처리	위탁등
전주시 완산구	한우	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	가금	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
전주시완산구 소계		100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
전주시 덕진구	한우	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	가금	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
전주시덕진구 소계		100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
군산시	한우	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	46.5%	0.0%	53.5%
	가금	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	기타	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
군산시 소계		100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	86.6%	0.0%	13.4%
익산시	한우	91.8%	0.9%	0.0%	7.3%	86.8%	0.0%	13.2%
	젖소	90.4%	0.1%	0.0%	9.5%	82.1%	0.0%	17.9%
	돼지	38.3%	59.3%	0.0%	2.5%	69.9%	0.0%	30.1%
	가금	91.5%	4.8%	0.2%	3.6%	83.7%	0.0%	16.3%
	기타	76.9%	0.5%	0.0%	22.6%	72.4%	0.0%	27.6%
익산시 소계		77.8%	13.1%	0.0%	9.1%	79.0%	0.0%	21.0%
정읍시	한우	90.6%	9.4%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	99.9%	0.1%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	가금	98.5%	1.5%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
정읍시 소계		100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
김제시	한우	89.8%	9.5%	0.7%	0.0%	99.7%	0.0%	0.3%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	70.6%	28.8%	0.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	가금	99.2%	0.2%	0.3%	0.3%	92.6%	0.0%	7.4%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
김제시 소계		91.9%	7.7%	0.3%	0.1%	98.5%	0.0%	1.5%

<표 6-53> 배출원별 축산현황 및 전망 조사표 (계속)

시군구	축종	개별처리유형						
		폐수처리유형				고형물처리유형		
		자원화	폐수처리	무처리	위탁등	자원화	무처리	위탁등
완주군	한우	99.7%	0.0%	0.0%	0.3%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	96.7%	0.0%	0.0%	3.3%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	64.1%	11.0%	0.0%	24.9%	67.5%	0.0%	32.5%
	가금	94.7%	5.3%	0.0%	0.0%	94.7%	0.0%	5.3%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
완주군	소계	91.0%	3.3%	0.0%	5.7%	92.4%	0.0%	7.6%
고창군	한우	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	가금	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
고창군	소계	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
부안군	한우	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	젖소	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	돼지	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	가금	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	기타	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
부안군	소계	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%

비고 1. 자원화 : 액비, 퇴비, 톱밥발효      2. 폐수처리 : 폐수처리  
 3. 무처리 : 무처리, 기타, 해당없음      4. 위탁 등 : 위탁, 투기

다) 산업계 오염원 조사

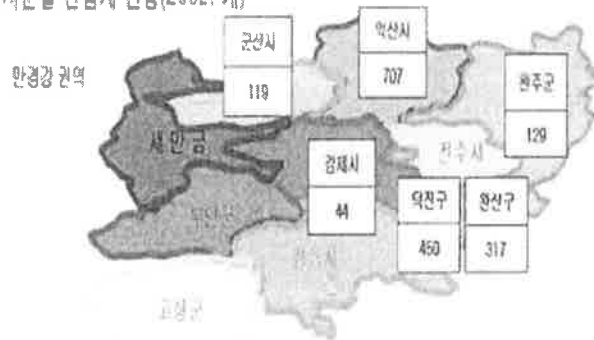
장래의 폐수발생량의 자연증감에 의한 전망은 축산현황과 동일한 방법을 적용하였다. 수학적인 추계방법 중 등차급수 방법을 적용(시·군별)하였고, 이 때 폐수발생량의 추세가 감소하면 2002년과 같다고 가정하였다.



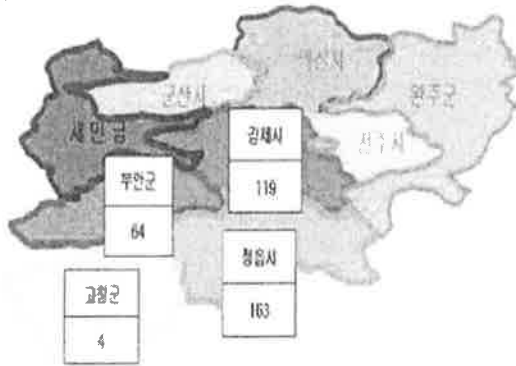
<표 6-54> 행정구역별 산업현황 및 전망 조사표

시군구	연도별 사업체수(개)					
	1998	1999	2000	2001	2002	2010
전주시완산구	301	291	310	308	317	317
전주시덕진구	428	414	440	437	450	450
군산시	118	119	125	123	124	135
익산시	890	908	945	880	864	864
정읍시	171	168	170	165	163	163
김제시	156	151	157	155	163	163
완주군	118	123	126	123	130	130
고창군	4	4	4	4	4	4
부안군	64	66	65	63	64	64

시군별 산업계 현황(2002. 개)

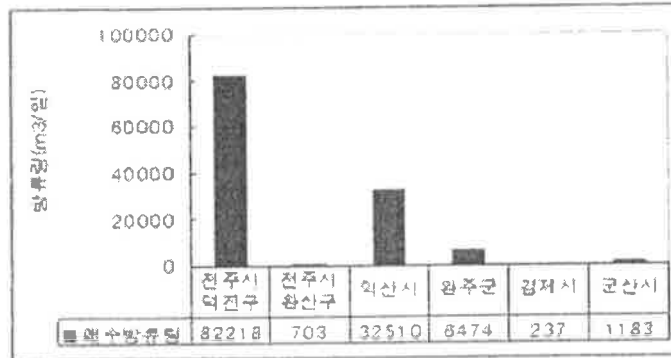


동진강권역

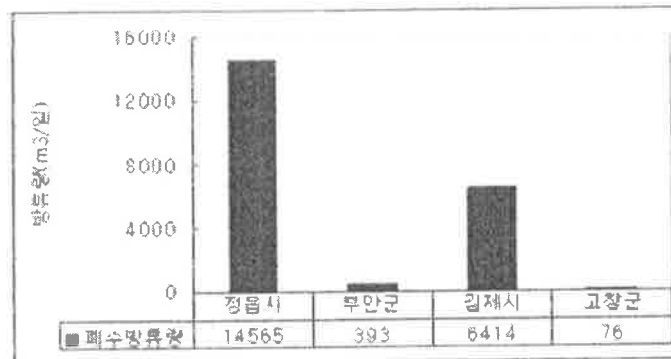


(그림 6-55) 새만금 유역의 시군별 산업계 현황(2002)

만경강 권역

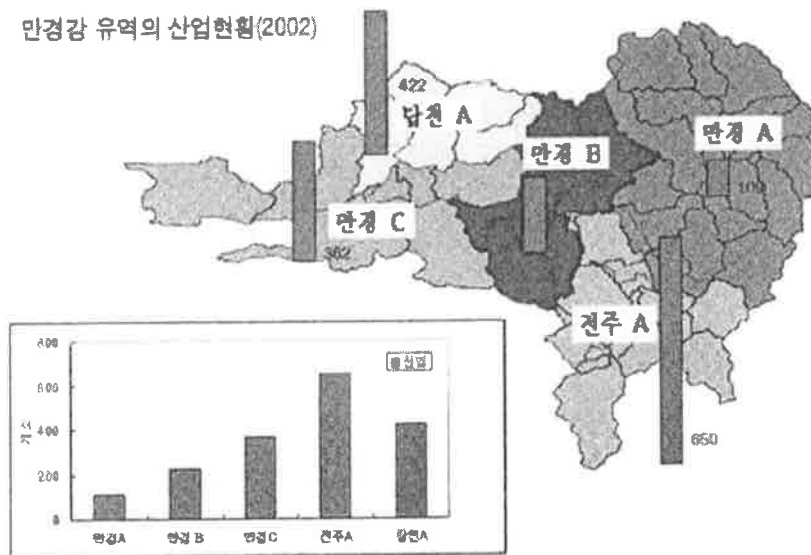


동진강 권역



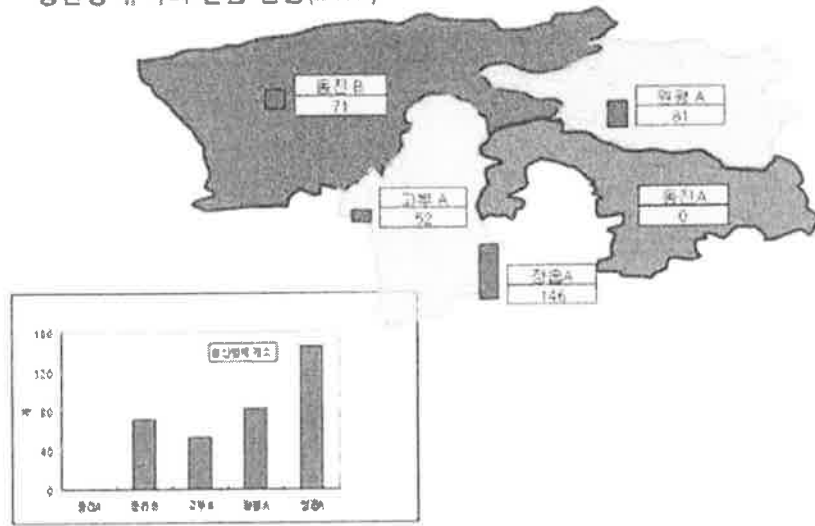
(그림 6-56) 새만금 유역의 시군별 폐수방류량(2002)

만경강 유역의 산업현황(2002)



(그림 6-57) 만경강 단위유역의 산업현황(2002)

동진강 유역의 산업 현황(2002)



(그림 6-58) 동진강 단위유역의 산업현황(2002)

(그림 6-55)~(그림 6-58)은 새만금 유역의 산업현황과 폐수방류량 및 유역별 산업체 현황을 나타내었다. 만경강은 익산시 707개소, 동진강은 정읍시 163개소로 높게 나타났다. 유역별로는 만경강의 경우 전주A, 동진강의 경우 정읍A가 가장 산업체의 개소수가 많게 조사되었다.

<표 6-55> 단위유역별 산업현황 및 전망 조사표

단위 유역명	시군구	연도별 사업체수(개)					
		1998	1999	2000	2001	2002	2010
동진A	정읍시	0	0	0	0	0	0
	부안군	0	0	0	0	0	0
동진B	김제시	39	38	40	39	41	41
	부안군	30	31	30	30	30	30
고부A	정읍시	15	14	15	14	14	14
	고창군	4	4	4	4	4	4
	부안군	34	35	34	34	34	34
원평A	정읍시	3	3	3	3	3	3
	김제시	74	72	75	74	78	78
만경A	전주시덕진구	59	57	61	60	62	62
	익산시	0	0	0	0	0	0
	완주군	43	45	46	45	47	47
만경B	전주시완산구	0	0	0	0	0	0
	전주시덕진구	63	61	64	64	66	66
	익산시	72	74	77	71	70	70
	김제시	16	15	16	15	16	16
	완주군	64	67	68	67	71	71
만경C	군산시	83	84	88	87	87	87
	익산시	254	259	270	252	247	247
	김제시	26	25	26	26	28	28
전주A	전주시완산구	301	291	310	307	317	317
	전주시덕진구	306	296	315	313	322	322
	완주군	10	10	11	10	11	11
정읍A	정읍시	153	150	152	148	146	146
탑천A	군산시	30	31	32	32	32	32
	익산시	402	410	426	398	390	390

<표 6-56> 배출원별 산업 현황 조사표

시군구	자료 년도	산업규모별 업소수와 폐수방류량 (개, m <sup>3</sup> /일)											
		1종		2종		3종		4종		5종		합계	
		업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량
전주시	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	317	703	317	703
	완산구	2010	0	0	0	0	0	0	0	317	715	317	715
전주시	2002	5	74,664	2	2,865	3	1,001	16	1,328	424	2,360	450	82,218
	덕진구	2010	5	75,927	2	2,913	3	1,018	16	1,351	424	2,400	450
군산시	2002	0	0	0	0	1	544	5	374	118	287	124	1,205
	2010	0	0	0	0	1	564	5	388	129	316	135	1,268
익산시	2002	4	10,750	10	12,121	29	11,570	52	5,368	769	2,376	864	42,185
	2010	4	10,946	10	12,342	30	11,983	51	5,265	769	2,419	864	42,955
정읍시	2002	1	9,957	3	2,756	1	487	7	846	151	519	163	14,565
	2010	1	9,794	3	2,711	1	479	7	832	151	511	163	14,327
김제시	2002	1	3,960	1	1,336	1	462	2	282	158	611	163	6,651
	2010	1	3,934	1	1,327	1	459	2	280	158	607	163	6,608
완주군	2002	0	0	3	2,817	7	2,229	8	594	112	869	130	6,509
	2010	0	0	3	2,888	7	2,285	8	609	112	891	130	6,672
고창군	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	4	76	4	76
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	4	78	4	78
부안군	2002	0	0	0	0	0	0	3	183	61	210	64	393
	2010	0	0	0	0	0	0	2	132	62	258	64	390

<표 6-57> 단위유역별 산업규모와 폐수방류량(동진강)

단위 유역명	시군구	자료 년도	산업규모별 업소수와 폐수방류량(개, m³/일)											
			1종		2종		3종		4종		5종		합계	
			업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량
동진A	정읍시	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	부안군	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
동진B	김제시	2002	0	0	0	0	0	0	2	226	40	94	41	320
		2010	0	0	0	0	0	0	2	225	40	93	41	318
	부안군	2002	0	0	0	0	0	0	3	183	27	93	30	276
		2010	0	0	0	0	0	0	2	132	28	142	30	274
고부A	정읍시	2002	0	12	0	2	0	0	1	140	13	103	14	259
		2010	0	12	0	2	0	0	1	138	13	101	14	254
	고창군	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	4	76	4	76
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	4	78	4	78
	부안군	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	34	117	34	117
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	34	116	34	116
원평A	정읍시	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	3	14	3	14
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	3	14	3	14
	김제시	2002	1	3,960	1	1,336	1	462	0	56	74	280	78	6,094
		2010	1	3,934	1	1,327	1	459	0	55	74	278	78	6,054
정읍A	정읍시	2002	1	9,945	3	2,754	1	487	6	705	135	402	146	14,292
		2010	1	9,782	3	2,709	1	479	6	694	135	395	146	14,059

<표 6-58> 단위유역별 산업규모와 폐수방류량(만경강)

단위 유역명	시군구	자료 년도	산업규모별 업소수와 폐수방류량 (개, m <sup>3</sup> /일)												
			1종		2종		3종		4종		5종		합계		
			업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	업소수	폐수 방류량	
만경A	전주시 덕진구	2002	0	0	0	0	0	0	1	59	61	317	62	376	
		2010	0	0	0	0	0	0	1	60	61	322	62	383	
	익산시	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	완주군	2002	0	0	1	760	0	0	2	199	44	284	47	1,243	
		2010	0	0	1	779	0	0	2	204	44	291	47	1,274	
만경B	전주시 완산구	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	전주시 덕진구	2002	1	17,191	0	660	1	230	5	403	59	548	66	19,032	
		2010	1	17,482	0	671	1	234	5	410	59	557	66	19,354	
	익산시	2002	1	2,274	2	2,092	2	494	7	607	59	251	70	5,717	
		2010	1	2,315	2	2,130	2	503	7	618	59	255	70	5,822	
	김제시	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	16	92	16	92	
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	16	92	16	92	
	완주군	2002	0	0	2	2,057	7	2,229	5	340	57	466	71	5,092	
		2010	0	0	2	2,109	7	2,285	5	349	57	478	71	5,220	
	만경C	군산시	2002	0	0	0	0	0	0	3	169	84	177	87	346
			2010	0	0	0	0	0	0	3	175	84	183	87	358
익산시		2002	2	5,272	4	4,851	5	1,824	11	1,086	225	922	247	13,956	
		2010	2	5,369	4	4,940	5	1,858	11	1,106	225	939	247	14,211	
김제시		2002	0	0	0	0	0	0	0	0	28	145	28	145	
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	28	144	28	144	
전주A	전주시 완산구	2002	0	0	0	0	0	0	0	0	317	702	317	702	
		2010	0	0	0	0	0	0	0	0	317	714	317	714	
	전주시 덕진구	2002	4	57,473	2	2,205	2	771	10	866	304	1,495	322	62,810	
		2010	4	58,445	2	2,242	2	784	10	880	304	1,521	322	63,872	
	완주군	2002	0	0	0	0	0	0	1	55	10	84	11	139	
		2010	0	0	0	0	0	0	1	56	10	86	11	142	
담천A	군산시	2002	0	0	0	0	1	544	2	205	29	88	32	837	
		2010	0	0	0	0	1	564	2	213	29	92	32	869	
	익산시	2002	1	3,204	3	4,049	8	3,330	12	1,372	366	882	390	12,837	
		2010	1	3,263	3	4,123	8	3,390	12	1,397	366	898	390	13,071	

라) 양식계 오염원 조사

장래의 양식현황의 자연증감에 의한 전망은 대상수계의 시군의 자료가 감소하는 경향을 보이고 있는 관계로 장래 전망은 2002년 자료와 동일하다는 조건에서 2010년 부하량을 예측하였다.

<표 6-59> 행정구역별 양식현황 및 전망 조사표

시군구	연도별 양식장 시설면적(m <sup>2</sup> )					
	1998	1999	2000	2001	2002	2010
고창군	7,600	7,600	3,338	3,338	5,469	5,469
군산시	149,713	149,713	27,853	27,853	88,783	88,783
김제시	776	776	740	740	758	758
부안군	1,828,136	1,828,136	1,205,792	1,205,792	1,516,964	1,516,964
완주군	18,194	18,194	6,498	6,498	12,346	12,346
익산시	319,504	319,504	90,568	90,568	205,036	205,036
전주시	0	0	0	0	0	0
정읍시	378,862	378,862	255,152	255,152	317,007	317,007

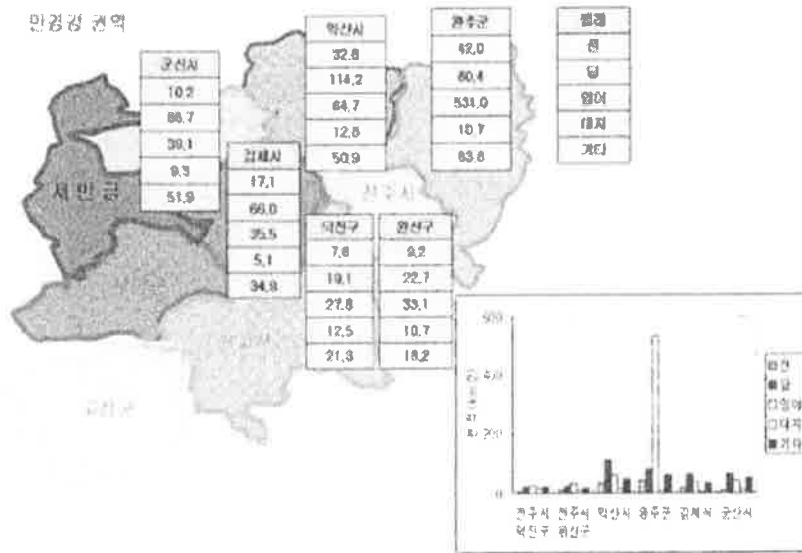
마) 토지계 오염원 조사

2002년 말 기준으로 토지이용 및 규제현황을 분석하였다. 장래의 토지면적에 대한 자연증감분의 전망은 시·군별로 과거 5년의 토지면적에 근거하여 제1의 원칙은 수학적 추계방법 중 지수회귀 방법을 적용하여 보다 변화의 증감이 보다 적다고 가정하여 추정하였다. 토지의 경우는 다른 오염원의 전망과는 달리 총면적의 변화가 거의 없으므로 전체 토지면적 중 가장 많은 부분을 차지하는 임야를 기준으로 하여 전, 답, 대지 등 지목별로 지수회귀 방법을 적용하여 증감의 변화폭을 산출하여 적용하며, 뚜렷한 증감의 변화가 없는 것은 2002년 기준으로 동일하다고 가정하였으며, 나머지의 면적은 총면적에서 추계를 산정한 면적을 빼는 것을 원칙으로 하여 추정하였다.

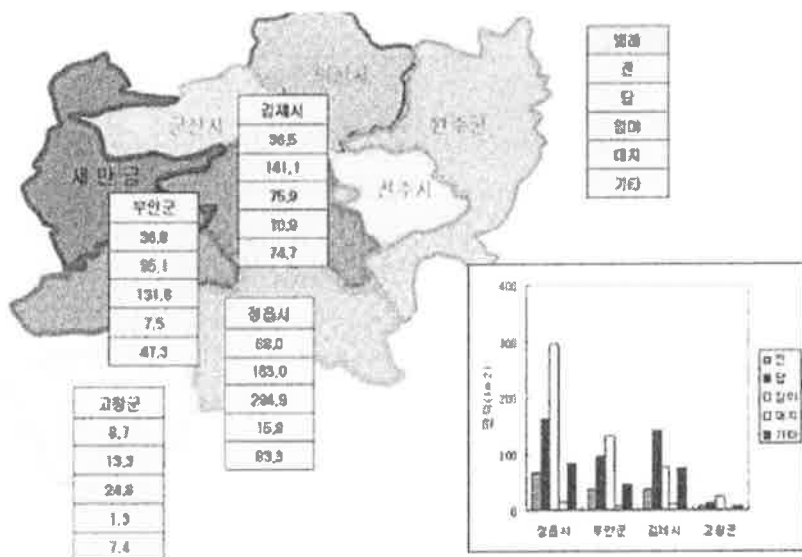


<표 6-60> 행정구역별 토지 현황 및 전망 조사표

시군구	지목	토지면적(m <sup>2</sup> )					
		1998	1999	2000	2001	2002	2010
전주시 완산구	전	9,954,899	9,601,436	9,375,306	9,317,859	9,226,992	8,547,730
	답	24,287,574	23,421,297	23,031,837	22,877,939	22,690,065	21,186,280
	임야	33,749,368	33,286,396	33,121,123	33,094,118	33,061,666	32,370,634
	대지	9,090,427	10,127,782	10,464,813	10,542,776	10,683,614	12,549,299
	기타	16,768,255	17,413,612	17,857,444	18,017,832	18,188,187	19,196,580
전주시 덕진구	전	11,650,284	11,236,624	10,971,983	10,904,751	10,798,409	10,003,464
	답	28,423,908	27,410,098	26,954,309	26,774,202	26,554,332	24,794,443
	임야	39,497,107	38,955,288	38,761,867	38,730,264	38,692,285	37,883,566
	대지	10,638,586	11,852,609	12,247,040	12,338,280	12,503,103	14,686,527
	기타	19,623,998	20,379,265	20,898,684	21,086,387	21,285,754	22,465,883
군산시	전	13,032,200	12,983,270	12,750,795	12,572,648	12,482,813	12,010,720
	답	84,233,510	83,997,401	82,901,781	82,446,701	81,938,953	80,067,774
	임야	48,965,421	48,913,676	48,455,072	48,245,828	48,006,814	47,280,070
	대지	10,527,093	10,632,154	10,789,714	11,151,519	11,395,423	12,391,227
	기타	60,782,624	61,014,347	62,643,486	63,124,153	63,716,846	65,791,057
익산시	전	62,242,648	61,498,484	60,552,568	60,166,571	59,650,816	57,176,915
	답	211,798,606	210,969,779	210,607,175	209,682,386	209,176,940	206,623,885
	임야	119,742,732	119,493,678	118,901,044	118,689,795	118,477,956	117,247,056
	대지	21,898,156	22,572,282	23,084,780	23,291,378	23,494,655	25,211,960
	기타	88,263,488	89,411,407	90,800,063	92,115,500	93,145,263	97,685,814
정읍시	전	70,054,999	69,367,224	68,392,849	68,234,729	68,029,007	66,088,052
	답	164,896,332	164,297,326	163,446,607	163,282,493	163,004,463	161,198,807
	임야	295,988,036	295,655,314	295,238,055	295,046,354	294,872,817	293,879,400
	대지	14,897,918	14,927,292	15,698,269	15,752,098	15,857,704	16,886,082
	기타	79,195,404	80,785,533	82,256,909	82,717,015	83,268,697	86,980,349
김제시	전	55,996,233	55,454,506	54,849,391	54,007,845	53,629,862	51,353,999
	답	208,385,753	207,530,066	206,823,290	207,158,670	207,132,458	205,848,646
	임야	112,454,532	112,252,604	111,773,325	111,615,298	111,456,170	110,446,252
	대지	15,481,178	15,580,502	15,844,346	15,937,403	16,019,316	16,573,097
	기타	105,584,667	107,084,685	108,607,011	109,183,148	109,664,556	113,680,369
완주군	전	48,270,710	48,275,212	48,236,700	47,997,672	46,916,665	45,598,647
	답	92,726,445	92,148,263	91,379,105	91,051,446	89,892,227	87,140,905
	임야	595,503,971	595,315,544	594,944,489	594,589,073	593,341,028	591,160,612
	대지	10,218,327	10,436,728	10,893,909	11,063,679	11,920,497	13,905,619
	기타	66,599,123	67,142,828	67,864,372	68,616,704	71,248,158	75,512,792
고창군	전	9,041,175	8,955,393	8,722,400	8,690,795	8,675,546	8,324,423
	답	13,210,741	13,185,896	13,295,527	13,308,060	13,306,864	13,403,236
	임야	25,194,738	25,138,452	24,939,797	24,867,287	24,808,446	24,427,253
	대지	1,234,169	1,270,105	1,286,192	1,292,194	1,292,716	1,353,995
	기타	6,767,017	6,897,993	7,203,922	7,289,503	7,364,267	7,938,932
부안군	전	38,276,027	37,636,990	37,071,681	36,938,175	36,824,693	35,489,324
	답	95,567,251	95,313,967	95,054,817	95,122,228	95,074,191	94,746,351
	임야	133,498,497	132,381,286	132,045,708	131,924,500	131,830,519	130,407,285
	대지	7,263,541	7,291,764	7,390,572	7,474,521	7,509,624	7,777,399
	기타	43,908,539	45,889,848	46,951,077	47,054,431	47,274,827	50,093,495

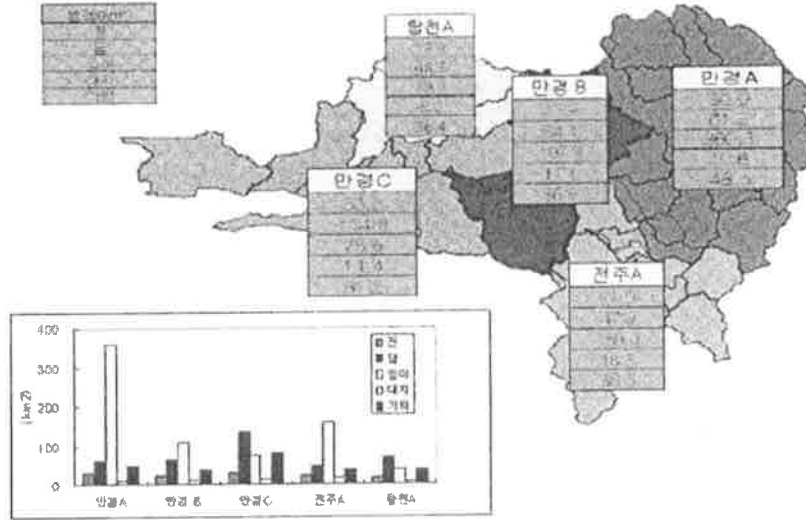


(그림 6-59) 만경강 권역의 시군별 토지이용현황(2002)



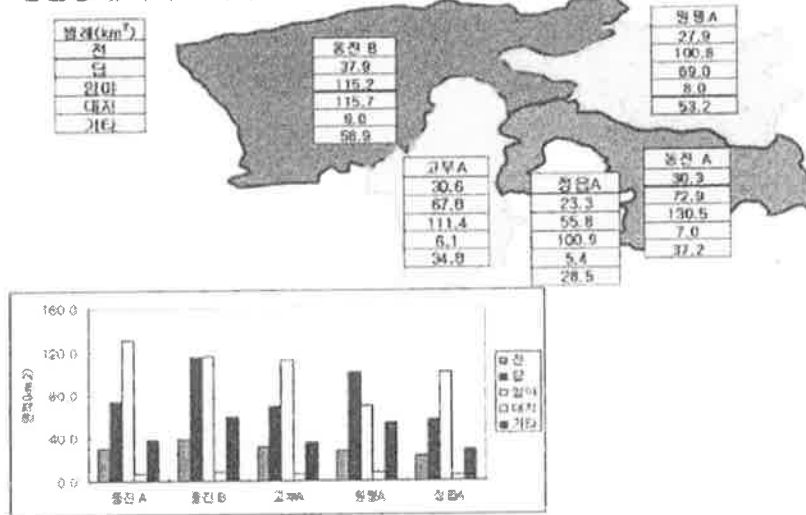
(그림 6-60) 동진강 권역의 시군별 토지이용현황(2002)

만경강 유역의 토지이용 현황(2002)



(그림 6-61) 만경강 권역의 유역별 토지이용현황(2002)

동진강 유역의 토지이용 현황(2002)



(그림 6-62) 동진강 권역의 유역별 토지이용현황(2002)

(그림 6-59)~(그림 6-62)은 새만금 유역의 토지이용현황을 나타내었다. 만경강은 만경강A의 입야가, 동진강은 동진A의 입야가 가장 높게 조사되었다. 만경강과 동진강 모두 토지이용현황은 입야, 논, 기타, 밭, 대지 순으로 나타났다.

<표 6-61> 단위유역별 토지 현황 및 전망 조사표

단위 유역명	시군구	지목	토지면적(㎡)					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
동진A	정읍시	전	29,953,568	29,659,494	29,242,879	29,175,271	29,087,310	28,257,411
		답	70,505,081	70,248,963	69,885,219	69,815,049	69,696,171	68,924,123
		임야	126,556,246	126,413,983	126,235,574	126,153,608	126,079,409	125,654,651
		대지	6,369,935	6,382,495	6,712,143	6,735,159	6,780,313	7,220,019
		기타	33,861,750	34,541,645	35,170,765	35,367,493	35,603,377	37,190,376
	부안군	전	1,294,384	1,272,774	1,253,656	1,249,142	1,245,304	1,200,146
		답	3,231,806	3,223,241	3,214,477	3,216,757	3,215,133	3,204,046
		임야	4,514,531	4,476,750	4,465,402	4,461,303	4,458,125	4,409,995
		대지	245,632	246,586	249,928	252,767	253,954	263,009
		기타	1,484,859	1,551,861	1,587,749	1,591,244	1,598,697	1,694,016
동진B	김제시	전	14,028,088	13,892,375	13,740,783	13,529,960	13,435,269	12,865,123
		답	52,204,470	51,990,105	51,814,297	51,897,063	51,890,497	51,568,878
		임야	28,171,932	28,121,345	28,001,277	27,961,688	27,921,824	27,668,821
		대지	3,878,320	3,903,203	3,969,301	3,992,613	4,013,134	4,151,866
		기타	26,450,904	26,826,687	27,208,057	27,352,390	27,472,992	28,479,027
	부안군	전	25,475,018	25,049,700	24,673,453	24,584,596	24,509,068	23,620,298
		답	63,605,803	63,437,228	63,264,747	63,309,614	63,277,642	63,059,445
		임야	88,851,349	88,107,777	87,884,430	87,803,759	87,741,209	86,793,960
		대지	4,834,327	4,853,112	4,918,874	4,974,748	4,998,111	5,176,331
		기타	29,223,797	30,542,478	31,248,790	31,317,578	31,464,266	33,340,260
고부A	정읍시	전	11,157,314	11,047,775	10,892,592	10,867,409	10,834,644	10,525,518
		답	26,262,225	26,166,824	26,031,334	26,005,197	25,960,917	25,673,338
		임야	47,140,554	47,087,563	47,021,108	46,990,577	46,962,938	46,804,722
		대지	2,372,718	2,377,396	2,500,186	2,508,759	2,525,578	2,689,363
		기타	12,613,061	12,866,313	13,100,652	13,173,931	13,261,795	13,852,931
	고창군	전	9,041,175	8,955,393	8,722,400	8,690,795	8,675,546	8,324,423
		답	13,210,741	13,185,896	13,295,527	13,308,060	13,306,864	13,403,236
		임야	25,194,738	25,138,452	24,939,797	24,867,287	24,808,446	24,427,253
		대지	1,234,169	1,270,105	1,286,192	1,292,194	1,292,716	1,353,995
		기타	6,767,017	6,897,993	7,203,922	7,289,503	7,364,267	7,938,932
	부안군	전	11,506,625	11,314,516	11,144,572	11,104,437	11,070,322	10,668,880
		답	28,729,641	28,653,498	28,575,592	28,595,857	28,581,416	28,482,860
		임야	40,132,617	39,796,758	39,695,876	39,659,439	39,631,186	39,203,330
		대지	2,183,582	2,192,067	2,221,770	2,247,007	2,257,560	2,338,059
		기타	13,199,883	13,795,509	14,114,538	14,145,608	14,211,864	15,059,219
원평A	정읍시	전	4,980,629	4,931,731	4,862,457	4,851,215	4,836,589	4,698,595
		답	11,723,467	11,680,881	11,620,398	11,608,730	11,588,963	11,460,588
		임야	21,043,562	21,019,906	20,990,241	20,976,612	20,964,274	20,893,646
		대지	1,059,182	1,061,271	1,116,084	1,119,911	1,127,419	1,200,533
		기타	5,630,475	5,743,527	5,848,136	5,880,848	5,920,070	6,183,954

<표 6-61> 단위유역별 토지 현황 및 전망 조사표 (계속)

단위 유역명	시군구	지목	토지면적(m <sup>2</sup> )					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
원평A	김제시	전	24,122,471	23,889,101	23,628,426	23,265,898	23,103,068	22,122,655
		답	89,769,952	89,401,333	89,099,017	89,241,341	89,230,049	88,676,999
		임야	48,443,993	48,357,005	48,150,538	48,082,462	48,013,911	47,578,851
		대지	6,669,096	6,711,883	6,825,544	6,865,632	6,900,919	7,139,481
		기타	45,484,542	46,130,731	46,786,529	47,034,722	47,242,107	48,972,068
만경A	전주시 덕진구	전	3,278,272	3,161,872	3,087,405	3,068,487	3,038,563	2,814,874
		답	7,998,201	7,712,925	7,584,671	7,533,990	7,472,121	6,976,906
		임야	11,114,087	10,961,625	10,907,198	10,898,305	10,887,618	10,660,053
		대지	2,993,591	3,335,205	3,446,193	3,471,867	3,518,247	4,132,640
		기타	5,521,995	5,734,519	5,880,679	5,933,496	5,989,596	6,321,673
	전주시 완산구	전	275,437	272,144	267,958	266,250	263,968	253,020
		답	937,255	933,588	931,983	927,891	925,654	914,356
		임야	529,888	528,786	526,163	525,228	524,291	518,844
		대지	96,904	99,887	102,155	103,069	103,969	111,568
		기타	390,585	395,665	401,810	407,631	412,188	432,281
	완주군	전	28,387,039	28,389,687	28,367,038	28,226,471	27,590,752	26,815,653
		답	54,530,567	54,190,550	53,738,224	53,545,534	52,863,821	51,245,823
		임야	350,203,975	350,093,165	349,874,955	349,665,942	348,931,991	347,649,732
		대지	6,009,194	6,137,631	6,406,490	6,506,329	7,010,206	8,177,616
기타		39,165,612	39,485,354	39,909,680	40,352,111	41,899,617	44,407,563	
만경B	전주시 완산구	전	607,964	586,378	572,567	569,059	563,510	522,026
		답	1,483,288	1,430,382	1,406,597	1,397,198	1,385,725	1,293,886
		임야	2,061,137	2,032,862	2,022,769	2,021,120	2,019,138	1,976,935
		대지	555,169	618,523	639,106	643,867	652,468	766,409
		기타	1,024,069	1,063,482	1,090,587	1,100,383	1,110,787	1,172,371
	완주시 덕진구	전	4,300,726	4,148,023	4,050,330	4,025,511	3,986,255	3,692,799
		답	10,492,744	10,118,494	9,950,239	9,883,752	9,802,586	9,152,920
		임야	14,580,438	14,380,425	14,309,023	14,297,357	14,283,337	13,984,796
		대지	3,927,256	4,375,415	4,521,020	4,554,701	4,615,546	5,421,562
		기타	7,244,239	7,523,047	7,714,792	7,784,083	7,857,680	8,293,327
	익산시	전	10,230,235	10,107,924	9,952,453	9,889,010	9,804,240	9,397,629
		답	34,811,334	34,675,107	34,615,509	34,463,511	34,380,435	33,960,814
		임야	19,680,980	19,640,046	19,542,640	19,507,919	19,473,101	19,270,790
		대지	3,599,193	3,709,993	3,794,227	3,828,184	3,861,594	4,143,851
		기타	14,507,035	14,695,707	14,923,948	15,140,154	15,309,406	16,055,693
	김제시	전	2,249,481	2,227,719	2,203,410	2,169,603	2,154,419	2,062,993
		답	8,371,273	8,336,898	8,308,707	8,321,979	8,320,926	8,269,352
		임야	4,517,524	4,509,412	4,490,158	4,483,810	4,477,418	4,436,847
		대지	621,910	625,900	636,499	640,237	643,528	665,774
		기타	4,241,547	4,301,806	4,362,961	4,386,106	4,405,445	4,566,768

<표 6-61> 단위유역별 토지 현황 및 전망 조사표 (계속)

단위 유역명	시군구	지목	토지면적(m <sup>2</sup> )					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
만경B	완주군	전	5,506,067	5,506,581	5,502,188	5,474,923	5,351,616	5,201,275
		답	10,576,974	10,511,023	10,423,288	10,385,913	10,253,685	9,939,851
		임야	67,927,007	67,905,514	67,863,189	67,822,648	67,680,288	67,431,576
		대지	1,165,568	1,190,480	1,242,629	1,261,994	1,359,728	1,586,164
		기타	7,596,724	7,658,742	7,741,046	7,826,862	8,127,023	8,613,474
만경C	군산시	전	7,852,623	7,823,140	7,683,061	7,575,717	7,521,587	7,237,124
		답	50,755,359	50,613,091	49,952,918	49,678,707	49,372,761	48,245,272
		임야	29,504,381	29,473,201	29,196,867	29,070,786	28,926,766	28,488,863
		대지	6,343,157	6,406,462	6,501,401	6,719,408	6,866,374	7,466,401
		기타	36,624,901	36,764,526	37,746,173	38,035,802	38,392,932	39,642,759
	익산시	전	8,207,159	8,109,036	7,984,310	7,933,413	7,865,407	7,539,205
		답	27,927,233	27,817,946	27,770,133	27,648,193	27,581,546	27,244,907
		임야	15,788,976	15,756,137	15,677,993	15,650,138	15,622,206	15,459,903
		대지	2,887,436	2,976,325	3,043,901	3,071,143	3,097,946	3,324,386
		기타	11,638,202	11,789,564	11,972,668	12,146,119	12,281,901	12,880,606
	김제시	전	15,596,194	15,445,311	15,276,773	15,042,383	14,937,107	14,303,229
		답	58,040,057	57,801,730	57,606,269	57,698,287	57,690,987	57,333,417
		임야	31,321,083	31,264,842	31,131,352	31,087,338	31,043,017	30,761,733
		대지	4,311,852	4,339,516	4,413,002	4,438,920	4,461,735	4,615,975
		기타	29,407,673	29,825,462	30,249,463	30,409,930	30,544,013	31,662,506
	전주A	전주시 완산구	전	9,346,935	9,015,059	8,802,739	8,748,800	8,663,482
답			22,804,287	21,990,915	21,625,239	21,480,740	21,304,340	19,892,395
임야			31,688,231	31,253,534	31,098,354	31,072,999	31,042,528	30,393,699
대지			8,535,258	9,509,259	9,825,708	9,898,909	10,031,146	11,782,890
기타			15,744,186	16,350,130	16,766,857	16,917,449	17,077,400	18,024,209
전주시 덕진구		전	4,071,285	3,926,728	3,834,247	3,810,753	3,773,591	3,495,791
		답	9,932,963	9,578,679	9,419,400	9,356,460	9,279,625	8,664,617
		임야	13,802,581	13,613,238	13,545,646	13,534,602	13,521,330	13,238,717
		대지	3,717,739	4,141,990	4,279,826	4,311,711	4,369,310	5,132,325
		기타	6,857,764	7,121,698	7,303,213	7,368,807	7,438,478	7,850,883
완주군		전	9,306,138	9,307,006	9,299,581	9,253,499	9,045,091	8,790,990
		답	17,876,785	17,765,317	17,617,031	17,553,861	17,330,375	16,799,945
		임야	114,807,555	114,771,228	114,699,693	114,631,172	114,390,560	113,970,197
		대지	1,969,997	2,012,103	2,100,243	2,132,973	2,298,159	2,680,872
		기타	12,839,683	12,944,505	13,083,612	13,228,654	13,735,974	14,558,155
정읍A		정읍시	전	23,963,488	23,728,223	23,394,922	23,340,834	23,270,463
	답		56,405,558	56,200,658	55,909,655	55,853,517	55,758,412	55,140,757
	임야		101,247,675	101,133,862	100,991,132	100,925,557	100,866,196	100,526,381
	대지		5,096,083	5,106,131	5,369,856	5,388,269	5,424,394	5,776,168
	기타		27,090,117	27,634,047	28,137,356	28,294,743	28,483,455	29,753,088

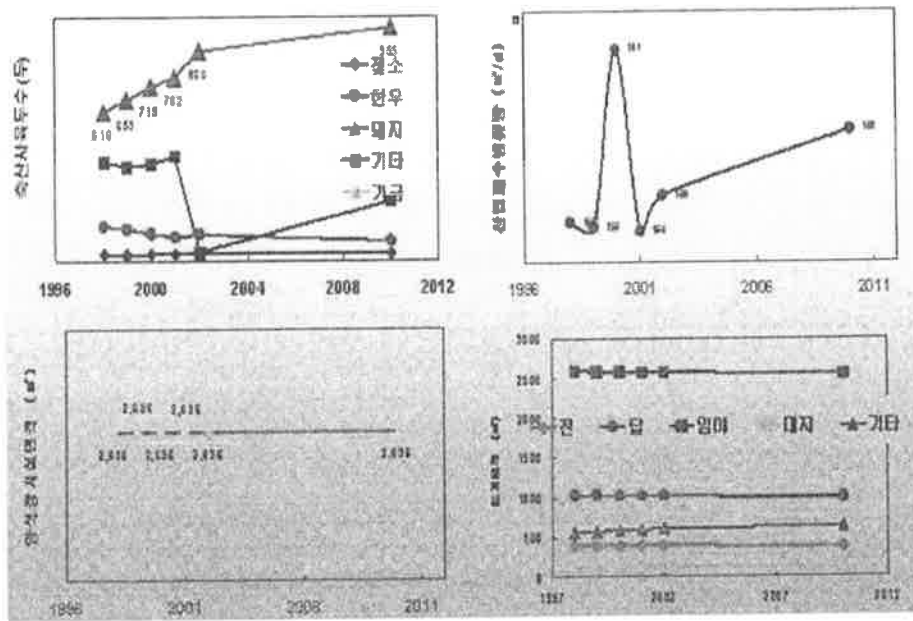
<표 6-61> 단위유역별 토지 현황 및 전망 조사표 (계속)

단위 유역명	시군구	지목	토지면적(m <sup>2</sup> )					
			1998	1999	2000	2001	2002	2010
탑천A	군산시	전	2,762,297	2,751,926	2,702,651	2,664,891	2,645,850	2,545,785
		답	17,854,086	17,804,040	17,571,813	17,475,354	17,367,732	16,971,119
		임야	10,378,682	10,367,714	10,270,509	10,226,157	10,175,496	10,021,456
		대지	2,231,316	2,253,585	2,286,981	2,363,669	2,415,367	2,626,437
		기타	12,883,450	12,932,565	13,277,877	13,379,759	13,505,385	13,945,034
	익산시	전	15,278,667	15,095,998	14,863,804	14,769,054	14,642,452	14,035,185
		답	51,990,083	51,786,631	51,697,623	51,470,616	51,346,544	50,719,847
		임야	29,393,180	29,332,045	29,186,571	29,134,716	29,082,716	28,780,568
		대지	5,375,328	5,540,805	5,666,608	5,717,321	5,767,220	6,188,765
		기타	21,665,988	21,947,767	22,288,640	22,611,539	22,864,315	23,978,881

- 비고) 1. '전'은 지목별 면적 중 전과 과수원을 포함  
 2. '대지'는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장 제외), 유원지, 종교용지, 사적지를 포함  
 3. '기타'는 광천지, 염전, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잡종지를 포함

바) 매립계 오염원 조사

2010년 매립계 오염원 자료는 2002과 동인한 것으로 가정하였다. 새만금 유역의 오염원별 장래추정 결과를 정리하여 (그림 9-63)에 나타내었다. 양식장과 토지는 일정한 경향을 나타내고 가축사육두수 중 돼지, 산업폐수량은 증가하는 경향을 보여주고 있다.



(그림 6-63) 오염원별 장래 추정 결과

사) 환경기초시설

하수종말처리시설, 마을하수도, 분뇨처리시설, 산업폐수종말처리시설, 농공단지처리시설, 축산폐수공공처리시설, 기타 공동처리시설 등 배출업소의 개별처리가 아닌 처리시설로서 폐하수가 수거 또는 배수설비를 통해 이송되어 유입되는 모든 처리시설을 포함한다.



<표 6-62> 전라북도 환경기초시설 개소수

시군구	환경기초시설	개소	시군구	환경기초시설	개소
전주시	하수종말처리장	1	완주군	하수종말처리장	1
	위생처리장	1		위생처리장	1
군산시	하수종말처리장	1		오폐수처리장	13
	위생처리장	1		공단폐수처리장	1
	마을하수도	10		위생처리장	1
익산시	하수종말처리장	1	진안군	마을하수도	15
	위생처리장	1		축산폐수처리장	1
	마을하수도	8	무주군	하수종말처리장	1
	농공단지폐수처리장	1		위생처리장	1
	축산폐수처리장	1		마을하수도	4
정읍시	공단폐수처리장	1	장수군	오폐수처리장	3
	하수종말처리장	1		위생처리장	1
	위생처리장	1		마을하수도	19
	마을하수도	21	축산폐수처리장	1	
김제시	축산폐수처리장	1	고창군	하수종말처리장	1
	하수종말처리장	1		위생처리장	1
	위생처리장	1		마을하수도	19
	마을하수도	26	부안군	위생처리장	1
	축산폐수처리장	1		마을하수도	7
	오폐수처리장	2			

2010년까지의 새만금 유역의 환경기초시설 확충 계획은 <표 6-63>과 같다.

<표 6-63> 새만금 유역의 환경기초시설 확충 계획

시군구	구분	확충계획	시군구	구분	확충계획
전주시	개소		완주군	개소	10
	시설용량(m <sup>3</sup> d)			시설용량(m <sup>3</sup> d)	7,228
군산시	개소	9	고창군	개소	2
	시설용량(m <sup>3</sup> d)	15,390		시설용량(m <sup>3</sup> d)	994
익산시	개소	5	부안군	개소	6
	시설용량(m <sup>3</sup> d)	38,500		시설용량(m <sup>3</sup> d)	13,500
정읍시	개소	27	김제시	개소	4
	시설용량(m <sup>3</sup> d)	5,170		시설용량(m <sup>3</sup> d)	5,200

5. 오·폐수발생유량 및 발생부하량 산정

오·폐수 발생유량 및 발생부하량 산정 시 적용하는 발생원단위는 실측자료를 우선 하였으며 실측자료가 없는 경우는 수질오염총량관리기술지침에서 제시하는 발생원단위를 적용하였다.

가. 생활계

생활계 발생유량 및 발생부하량은 실제 생활용수 사용유량에 지침의 오수전환율을 곱하여 산정하였고, 가정인구와 영업인구의 분뇨 발생유량은 각각의 인구수에 분뇨발생원단위를 곱하여 산정하며, 잡배수 발생유량은 잡배수 사용유량에 오수전환율을 곱하여 산정한다. 생활계 오수발생유량은 가정인구와 영업인구에 의한 오수발생량을 합하여 산정하였다. 발생부하량은 가정인구와 영업인구의 발생부하량의 합으로 나타내며, 영업인구의 발생부하량은 오수발생유량에 오수발생농도를 곱하여 산정하고, 오수발생농도에 대한 실측자료가 없는 경우는 지침의 표준발생농도를 곱하여 산정하도록 하였으나 건축물의 용도를 지침에 따라 상세하게 분류할 수 없어 BOD<sub>5</sub> 150mg/ℓ, TN 50mg/ℓ, TP 5mg/ℓ 를 적용하여 산출하였다.

<표 6-64> 생활계 분뇨발생유량원단위, 분뇨발생유량비 및 잡배수오수전환율

구 분	가정인구 분뇨발생유량원단위 (m <sup>3</sup> /인/일)	영업인구 분뇨발생유량비	잡배수오수전환율
시 가 화	0.00115	0.006	0.88
비시가화	0.00134	0.006	0.88

<표 6-65> 생활계 가정인구 발생부하 원단위 및 분뇨발생부하비

구 분	가정인구 발생부하원단위(g/인/일)			분뇨발생부하비		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
시 가	50.7	10.6	1.24	0.45	0.8	0.8
비시가	48.6	13.0	1.45			

<표 6-66> 생활계 오·폐수 발생유량, 부하량 현황 및 전망(m<sup>3</sup>/일, kg/일)

생활계	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	97,508.7	21,627.0	5,255.1	585.1	102,239.9	22,270.5	5,432.1	604.3
완산구								
전주시	86,871.2	17,971.0	4,202.2	471.2	89,933.0	19,157.4	4,470.9	501.7
덕진구								
군산시	39,096.4	7,005.6	2,048.2	215.3	39,466.0	7,027.5	2,056.0	216.1
익산시	98,983.8	25,722.8	6,434.7	708.3	100,964.5	26,512.1	6,592.9	726.9
정읍시	29,466.9	9,066.7	2,237.8	249.6	26,222.6	8,794.3	2,187.2	243.4
김제시	17,046.6	6,311.9	1,603.4	178.4	17,954.8	6,647.8	1,694.8	188.5
완주군	41,506.5	8,849.8	2,608.1	274.2	42,899.4	9,157.1	2,699.4	283.8
진안군	3,521.3	1,459.3	369.2	41.0	3,540.1	1,457.6	369.1	41.0
무주군	6,745.7	1,828.3	479.8	52.6	6,677.1	1,813.2	475.6	52.1
장수군	3,639.0	1,206.8	311.2	34.3	3,708.7	1,238.4	318.7	35.2
고창군	575.6	345.4	92.4	10.3	531.9	318.7	85.2	9.5
부안군	10,168.1	3,221.1	788.0	88.3	10,171.6	3,219.8	787.7	88.2
생활계	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	97,508.7	21,627.0	5,255.1	585.1	102,239.9	22,270.5	5,432.1	604.3
완산구								
전주시	86,871.2	17,971.0	4,202.2	471.2	89,933.0	19,157.4	4,470.9	501.7
덕진구								
군산시	38,818.3	6,710.2	1,968.8	206.5	39,200.2	6,746.3	1,980.5	207.7
익산시	93,831.7	23,638.3	5,881.5	647.2	96,029.4	24,559.9	6,073.2	669.6
김제시	3,991.9	1,605.0	426.0	47.3	4,323.5	1,752.7	465.1	51.7
완주군	40,477.8	8,616.3	2,537.2	266.8	41,840.9	8,919.2	2,627.0	276.3
생활계	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	29,466.9	9,066.7	2,237.8	249.6	26,222.6	8,794.3	2,187.2	243.4
김제시	13,054.7	4,706.9	1,177.4	131.1	13,631.3	4,895.1	1,229.8	136.8
고창군	575.6	345.4	92.4	10.3	531.9	318.7	85.2	9.5
부안군	10,168.1	3,221.1	788.0	88.3	10,171.6	3,219.8	787.7	88.2

나. 축산계

축산계 발생유량 및 발생부하량은 각 사육두수에 대하여 고형물과 폐수로 나누어 각각의 발생유량원단위와 발생부하 원단위를 곱하여 산정하고, 폐수발생유량과 고형물 발생유량을 합하여 축산계 발생유량을 산정하고, 폐수발생부하와 고형물 발생부하를 합하여 축산계 발생부하량을 산출한다.

<표 6-67> 축종별 발생유량 원단위(m³/두/일)

구분	젖소	한우	말	돼지	산양·사슴	개	가금
합계	0.0456	0.0146	0.0097	0.0086	0.0007	0.0011	0.00008
폐수발생유량	0.0259	0.0065	0.0043	0.0074	0.0005	0.0008	0
고형물발생유량	0.0197	0.0081	0.0054	0.0012	0.0002	0.0003	0.00008

<표 6-68> 축산분뇨 발생부하원단위(g/두/일)

항목	구분	젖소	한우	말	돼지	양·사슴	개	가금
BOD	합계	556	528	259	109	10	18	5.2
	폐수	117	67	30	32	3	4	0
	고형물	439	461	229	77	7	14	5.2
TN	합계	161.8	116.8	77.6	27.7	5.8	8.4	1.1
	폐수	63.5	40.0	26.7	14.9	4.2	5.4	0
	고형물	98.3	76.8	50.9	12.8	1.6	3.0	1.1
TP	합계	56.7	36.1	24.0	12.2	0.9	1.6	0.4
	폐수	10.7	3.5	2.3	3.3	0.2	0.3	0
	고형물	46.0	32.6	21.7	8.9	0.7	1.3	0.4

<표 6-69> 축산계 오·폐수 발생유량, 부하량 현황 및 전망(m³/일, kg/일)

축산계	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
시군구								
전주시 완산구	34.0	659.1	183.1	58.0	25.3	525.9	150.3	45.5
전주시 덕진구	45.1	782.2	190.7	75.0	29.0	655.0	153.3	59.0
군산시	440.0	8,490.7	2,041.7	796.1	225.0	5,139.7	1,198.2	460.7
익산시	3,004.8	67,451.6	15,744.5	6,081.2	2,209.7	63,235.0	14,361.6	5,305.2
정읍시	2,862.6	51,575.2	12,535.9	4,838.8	2,243.2	50,488.8	11,879.2	4,432.2
김제시	2,280.8	52,268.4	12,130.8	4,660.7	1,615.4	46,730.9	10,559.2	3,957.7
완주군	1,289.5	24,442.9	5,877.3	2,257.6	1,004.4	22,034.6	5,195.8	1,935.8
진안군	240.1	5,847.3	1,352.8	503.8	179.1	5,415.3	1,222.3	450.5
무주군	240.8	4,949.8	1,173.3	430.8	175.7	3,726.6	880.1	323.2
장수군	512.5	9,404.8	2,251.8	858.3	456.1	10,306.9	2,396.0	853.6
고창군	138.8	4,220.7	956.9	354.9	107.8	4,393.5	963.9	353.6
부안군	427.2	8,034.3	1,955.1	712.2	295.9	7,434.0	1,734.6	620.3
축산계	만경강							
	2002				2010			
시군구	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	34.0	659.1	183.1	58.0	25.3	525.9	150.3	45.5
전주시 덕진구	45.1	782.2	190.7	75.0	29.0	655.0	153.3	59.0
군산시	372.9	7,113.5	1,708.1	673.3	188.9	4,230.7	987.0	384.3
익산시	1,762.8	29,383.9	7,158.0	2,943.1	1,041.5	21,072.2	4,998.8	1,980.5
김제시	1,393.6	34,913.8	7,989.6	3,092.7	1,022.4	33,568.5	7,466.2	2,812.1
완주군	1,289.5	24,441.8	5,877.1	2,257.5	1,004.3	22,033.2	5,195.5	1,935.7
축산계	동진강							
	2002				2010			
시군구	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	2,862.6	51,575.2	12,535.9	4,838.8	2,243.2	50,488.8	11,879.2	4,432.2
김제시	887.2	17,354.6	4,141.2	1,568.1	593.0	13,162.4	3,093.0	1,145.6
고창군	138.8	4,220.7	956.9	354.9	107.8	4,393.5	963.9	353.6
부안군	427.2	8,034.3	1,955.1	712.2	295.9	7,434.0	1,734.6	620.3

다. 산업계

산업계 발생유량은 오염원조사의 산업계 배출원별 산업현황 및 전망 조사표의 폐수 발생량을 사용하고 시군구별로 정리하면 아래와 같다. 산업계 발생부하량은 발생유량에 발생농도를 곱하여 산정하였다.

<표 6-70> 산업계 오·폐수 발생유량, 부하량 현황 및 전망(m<sup>3</sup>/일, kg/일)

산업계	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	703.1	97.5	6.5	0.7	715.0	99.2	6.6	0.7
완산구								
전주시	82,218.2	47,006.9	1,732.0	347.2	83,608.6	47,801.9	1,761.3	353.1
덕진구								
군산시	1,187.2	648.6	99.4	12.8	1,249.9	685.5	103.7	13.9
익산시	42,680.5	17,805.9	1,610.8	1,031.8	43,459.6	18,130.9	1,640.2	1,050.7
정읍시	15,613.0	13,649.1	476.0	70.0	15,357.8	13,426.0	468.2	68.8
김제시	6,650.6	4,673.4	608.4	185.4	6,607.7	4,643.2	604.5	184.3
완주군	6,508.6	4,199.1	890.1	97.2	6,671.8	4,304.4	912.4	99.7
진안군	462.3	88.9	16.1	1.0	418.9	80.6	14.6	0.9
무주군	289.7	72.3	10.4	0.7	278.5	69.5	10.0	0.6
장수군	878.0	394.7	54.6	10.0	872.4	392.2	54.2	9.9
고창군	76.0	2.5	0.0	0.0	78.3	2.6	0.0	0.0
부안군	393.0	38.7	7.7	0.6	390.3	38.4	7.6	0.6
산업계	만경강							
시군구	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	703.1	97.5	6.5	0.7	715.0	99.2	6.6	0.7
완산구								
전주시	82,218.2	47,006.9	1,732.0	347.2	83,608.6	47,801.9	1,761.3	353.1
덕진구								
군산시	1,165.7	647.4	99.3	12.8	1,209.2	671.5	103.0	13.3
익산시	33,005.6	17,608.4	1,521.7	1,030.6	33,608.1	17,929.9	1,549.5	1,049.4
김제시	237.3	72.7	5.7	1.2	235.7	72.2	5.7	1.2
완주군	6,473.6	4,186.3	890.0	96.2	6,636.0	4,291.3	912.3	98.6

<표 6-70> 산업계 오·폐수 발생유량, 부하량 현황 및 전망(m<sup>3</sup>/일, kg/일)(계속)

산업계	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	15,613.0	13,649.1	476.0	70.0	15,357.8	13,426.0	468.2	68.8
김제시	6,413.3	4,600.7	602.7	184.3	6,372.0	4,571.0	598.8	183.1
고창군	76.0	2.5	0.0	0.0	78.3	2.6	0.0	0.0
부안군	393.0	38.7	7.7	0.6	390.3	38.4	7.6	0.6

라. 양식계

양식계 발생유량은 오염원조사의 양식계 배출원별 양식장 현황 및 전망 조사표의 폐수 발생량을 사용하고 시군구별로 정리하면 아래와 같고, 사료투여량 자료(kg/월)에 발생부하비를 곱하여 월별로 산정하거나, 사료투여량이 없는 경우는 시설면적에 시설면적기준 발생부하단위를 곱하여 산정하다.

<표 6-71> 양식계 오·폐수 발생유량, 부하량 현황 및 전망(m<sup>3</sup>/일, kg/일)

양식계	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
완산구								
전주시	0.0	30.4	6.1	1.6	0.0	30.4	6.1	1.6
덕진구								
군산시	0.0	76.7	14.9	4.0	0.0	76.7	14.9	4.0
익산시	0.0	1,554.5	301.8	82.3	0.0	1,554.5	301.8	82.3
정읍시	0.0	2,529.3	505.8	131.6	0.0	2,529.3	505.8	131.6
김제시	0.0	239.2	47.8	12.4	0.0	239.2	47.8	12.4
완주군	0.0	57.9	11.6	3.0	0.0	57.9	11.6	3.0
진안군	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0
무주군	0.0	49.6	9.7	2.7	0.0	49.6	9.7	2.7
장수군	0.0	17.3	3.5	0.9	0.0	17.3	3.5	0.9
고창군	0.0	23.4	4.7	1.2	0.0	23.4	4.7	1.2
부안군	0.0	887.3	177.2	46.2	0.0	887.3	177.2	46.2

<표 6-71> 양식계 오·폐수 발생유량, 부하량 현황 및 전망(m<sup>3</sup>/일, kg/일) (계속)

양식계	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
시군구								
전주 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주 덕진구	0.0	30.4	6.1	1.6	0.0	30.4	6.1	1.6
군산시	0.0	76.7	14.9	4.0	0.0	76.7	14.9	4.0
익산시	0.0	934.3	181.4	49.5	0.0	934.3	181.4	49.5
김제시	0.0	99.9	20.0	5.2	0.0	99.9	20.0	5.2
완주군	0.0	57.9	11.6	3.0	0.0	57.9	11.6	3.0
양식계	동진강							
시군구	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	0.0	2,529.3	505.8	131.6	0.0	2,529.3	505.8	131.6
김제시	0.0	139.3	27.9	7.2	0.0	139.3	27.9	7.2
고창군	0.0	23.4	4.7	1.2	0.0	23.4	4.7	1.2
부안군	0.0	887.3	177.2	46.2	0.0	887.3	177.2	46.2

마. 토지계

토지계 발생부하량은 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하 원단위 및 강우배출비를 적용하여 월별 발생부하량을 개략적으로 산정하였다.

<표 6-72> 토지계 지목별 연평균발생부하원단위(kg/km<sup>2</sup>/일)

지목	BOD	T-N	T-P
전	1.59	9.44	0.24
답	2.30	6.56	0.61
임야	0.93	2.20	0.14
대지	85.90	13.69	2.10
기타	0.960	0.759	0.027

주) '전'은 지목별 면적 중 전과 과수원을 포함, '대지'는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장 제외), 유원지, 종교용지, 사적지를 포함. '기타'는 광천지, 염전, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잡종지를 포함



<표 6-73> 토지계 발생부하량 현황 및 전망(g/일)

토지계	전라북도								
	시군구	2002				2010			
		유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	1,795.5	552.8	60.8	0.0	2,005.5	572.8	65.1	
전주시 덕진구	0.0	2,100.4	721.8	75.5	0.0	2,327.6	735.0	79.6	
군산시	0.0	2,357.4	1,400.7	133.1	0.0	2,524.1	1,404.7	135.6	
익산시	0.0	5,991.2	3,066.2	288.8	0.0	5,723.2	3,042.5	283.4	
정읍시	0.0	5,060.3	3,152.5	271.1	0.0	5,343.9	3,165.5	277.1	
김제시	0.0	4,443.6	2,959.7	261.0	0.0	4,582.4	2,948.8	263.5	
완주군	0.0	3,800.9	2,841.8	222.8	0.0	4,285.5	2,885.2	233.2	
고창군	0.0	526.9	333.3	27.5	0.0	546.5	332.7	28.0	
부안군	0.0	2,543.6	1,826.6	157.6	0.0	2,616.3	1,821.7	158.8	
토지계	만경강								
시군구	2002				2010				
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP	
전주시 완산구	0.0	1,795.5	552.8	60.8	0.0	2,005.5	572.8	65.1	
전주시 덕진구	0.0	2,100.4	721.8	75.5	0.0	2,327.6	735.0	79.6	
군산시	0.0	1,999.4	1,193.9	115.0	0.0	2,140.3	1,197.1	117.0	
익산시	0.0	4,109.6	1,856.2	180.4	0.0	3,935.3	1,838.9	176.9	
김제시	0.0	1,489.4	985.5	84.2	0.0	1,541.3	980.9	85.3	
완주군	0.0	3,587.7	2,610.3	206.7	0.0	4,050.3	2,652.0	216.7	
토지계	동진강								
시군구	2002				2010				
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP	
정읍시	0.0	2,529.3	505.8	131.6	0.0	2,529.3	505.8	131.6	
김제시	0.0	139.3	27.9	7.2	0.0	139.3	27.9	7.2	
고창군	0.0	23.4	4.7	1.2	0.0	23.4	4.7	1.2	
부안군	0.0	887.3	177.2	46.2	0.0	887.3	177.2	46.2	

바. 매립계

매립계 발생유량은 오염원조사의 매립계 오염원조사의 침출수 발생유량으로 했으며, 침출수 발생유량에 발생농도를 곱하여 발생부하량을 산출하였다.

<표 6-74> 매립계 오·폐수 발생유량 현황 및 전망(m³/일)

매립계	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	35.0	1.6	32.9	0.0	35.0	1.6	32.9	0.0
군산시	400.0	155.2	216.2	0.0	400.0	155.2	216.2	0.0
익산시	100.0	1,200.0	2,300.0	1.3	100.0	1,200.0	2,300.0	1.3
정읍시	60.7	1.3	33.7	0.4	60.7	1.3	33.7	0.4
김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
완주군	122.3	812.5	235.9	0.0	122.3	812.5	235.9	0.0
진안군	90.0	1.3	33.7	0.4	90.0	1.3	33.7	0.4
무주군	7.3	1.7	4.1	0.1	7.3	1.7	4.1	0.1
장수군	30.0	2.8	9.0	0.2	30.0	2.8	9.0	0.2
고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
매립계	만경강							
시군구	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	35.0	1.6	32.9	0.0	35.0	1.6	32.9	0.0
군산시	400.0	155.2	216.2	0.0	400.0	155.2	216.2	0.0
익산시	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3
김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
완주군	122.3	812.5	235.9	0.0	122.3	812.5	235.9	0.0
매립계	동진강							
시군구	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	60.7	1.3	33.7	0.4	60.7	1.3	33.7	0.4
김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

사. 오폐수 발생유량, 발생부하량 현황 및 전망

전라북도 관할지역의 오염원 현황과 전망에 따른 오염원별 오염물질 발생 및 배출 부하량은 <표 6-75> ~ <표 6-76>과 같다.

<표 6-75> 2002년 전라북도 오염원별 발생 및 배출부하량 총괄(kg/day)

시군구	생활계		축산계		산업계		토지계		매립계		양식계	
	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출
전주시 완산구	21,627.0	1,887.9	659.1	58.8	97.5	4.5	1,795.5	1,500.8	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	17,971.0	4,980.8	782.2	69.7	47,006.9	515.1	2,100.4	1,309.2	1.6	0.3	30.4	30.4
군산시	7,005.6	4,669.3	8,490.7	757.2	648.6	141.2	2,357.4	2,133.7	155.2	1.5	76.7	76.7
익산시	25,722.8	7,308.8	67,451.6	4,963.0	17,805.9	384.5	5,991.2	5,577.0	1,200.0	1.4	1,554.7	1,554.7
정읍시	9,066.7	3,134.9	51,575.2	4,601.5	13,649.1	191.8	5,060.3	4,723.2	1.3	0.1	2,529.4	2,529.4
김제시	6,311.9	2,722.4	52,268.4	4,278.6	4,673.4	137.3	4,443.6	4,010.3	0.0	0.0	239.2	239.2
완주군	8,849.8	3,744.5	24,442.9	1,892.8	4,199.1	136.2	3,800.9	3,800.9	812.5	5.1	57.9	57.9
고창군	345.4	204.7	4,220.7	376.2	2.5	1.5	526.9	526.9	0.0	0.0	23.4	23.4
부안군	3,221.1	2,333.8	8,034.3	716.1	38.7	20.8	2,543.6	2,543.6	0.0	0.0	887.3	887.3

<표 6-76> 2010년 전라북도 오염원별 발생 및 배출부하량 총괄(kg/day)

시군구	생활계		축산계		산업계		토지계		매립계		양식계	
	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출
전주시 완산구	22,270.5	371.4	525.9	46.9	99.2	4.1	2,005.5	1,578.1	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	19,157.4	2,917.7	655.0	58.4	47,801.9	351.8	2,327.6	1,711.4	1.6	0.2	30.4	30.4
군산시	7,027.5	261.1	5,139.7	458.4	685.5	58.7	2,524.1	2,524.2	155.2	1.5	76.7	76.7
익산시	26,512.1	4,365.2	63,235.0	5,140.2	18,130.9	359.6	5,723.2	5,693.3	1,200.0	1.4	1,554.7	1,554.7
정읍시	8,794.3	1,821.1	50,488.8	4,504.5	13,426.0	186.5	5,343.9	4,814.4	1.3	0.1	2,529.4	2,529.4
김제시	6,647.8	1,570.5	46,730.9	3,999.2	4,643.2	136.2	4,582.4	4,581.3	0.0	0.0	239.2	239.2
완주군	9,157.1	2,143.1	22,034.6	1,770.1	4,304.4	160.1	4,285.5	4,202.1	812.5	19.1	57.9	57.9
고창군	318.7	90.6	4,393.5	391.6	2.6	1.6	546.5	512.3	0.0	0.0	23.4	23.4
부안군	3,219.8	1,462.7	7,434.0	662.6	38.4	20.7	2,616.3	2,506.2	0.0	0.0	887.3	887.3

## 6. 오·폐수배출유량 및 배출부하량 산정

### 가. 산정방법

오염물질 배출량은 배출유량과 배출부하량(BOD<sub>5</sub>), 총질소(TN), 총인(TP))으로 구분하여 배출유형별로 산정하였다. 실측자료가 있는 경우는 실측자료를 우선으로 사용하였고, 실측자료가 없는 경우는 지침의 원단위를 적용하여 지침에 따라 산정하였다.

#### 1) 개별배출량 산정

개별배출량은 각 배출원별 발생량에서 개별삭감량, 직접이송량과 관거유입량을 감하여 산정하였다. 각각의 개별삭감량, 직접이송량과 관거유입량은 지침에 따라 아래와 같은 방법에 따라 산정하였다(상세한 내용은 수계오염총량관리기술지침(2004.5, 국립환경연구원) 참조).

##### 가) 개별삭감량

개별삭감량은 환경기초시설이 아닌 배출원의 자체 오염삭감시설에 의한 삭감량으로서, 배출원별 개별삭감대상량에 개별배출원별 개별삭감비를 곱하여 산정하였다. 생활계 개별삭감량은 개별삭감대상량에 개별삭감비를 곱하여 산정하였고, 개별삭감유량은 무시하였다. 축산계는 축산폐수와 고형물을 구분하여 각각의 개별삭감량과 농지삭감량을 산정한다. 폐수개별삭감량은 폐수자원화량과 폐수개별처리량 및 폐수처리의 슬러지를 통하여 농지로 환원되는 양으로 산정하였고, 자원화 개별삭감량은 직접이송량을 감한 고형물발생량과 폐수자원화량을 합한 양에 자원화처리비를 곱하여 산정하였다. 축산계 개별삭감량은 폐수개별삭감량과 자원화 개별삭감량을 합하여 산정하였다. 산업계 배출원의 개별삭감량은 개별배출시설의 폐수발생부하량에서 폐수배출부하량을 감한 양으로 산정하였고, 매립계는 침출수 발생량에서 침출수 방류량을 감한 양으로 산정하였으며 양식계는 양식배수가 침전조, 순화여과조 등의 자체 정화시설에서 제거되는 삭감량으로 하고, 토지계는 토지유출수가 저류조, 인공습지 등이 자체 정화시설에서 제거되는 삭감량을 고려하여 산정하였다.

##### 나) 직접이송량

직접이송량은 관거 배수설비를 통하지 않고 환경기초시설로 직접 이송되는 양으로

서, 직접이송비는 환경기초시설의 배출원별 직접이송량을 처리구역의 배출원별 총 직접이송대상량으로 산정하였다. 각 배출원별 직접이송량은 개별적 파악이 어려워 배출원의 직접이송대상량에 대해 직접이송비를 곱하여 산정하였다. 각 배출원별 직접이송량을 모두 합하여 각 오염원별 직접이송량을 산정하였다.

생활계는 분뇨 등이 수거 등의 방법으로 이송되어 환경기초시설에 직접 투입되는 양(분뇨전처리수 직접이송량 제외)이며, 수거분뇨와 정화조오니로 구분하여 각각 선정하였고, 축산계는 축산 분뇨가 수거 등의 방법으로 이송되어 환경기초시설에 직접 투입되는 양(축산계 분뇨전처리수 직접이송량 제외)을 대상으로 하였다. 매립계는 매립시설 침출수의 원수 또는 전처리수가 수거 등의 방법으로 이송되어 환경기초시설에 직접 투입되는 양을 말하고, 산업계는 정수장폐액(슬러지 및 역세수)이 직접이송 되는 경우를 그리고, 양식계는 양식장의 배수가 직접이송 되는 경우를, 토지계는 토지유출수가 직접이송 되는 경우를 대상으로 하였다.

#### 다) 관거유입량

관거유입량은 폐하수 관거유입량과 토지계 관거유입량과 불명수 관거침투량의 합으로 산정하였고, 폐하수 관거유입량은 하수 처리구역에서 해당 환경기초시설에 연결된 관거배수설비로 유입되는 양으로서, 관거식 처리구역의 발생량에서 개별삭감량과 직접이송량을 감하여 산정하였다. 생활계, 산업계, 양식계, 매립계의 개별배출원 관거유입량은 처리구역내 발생량에서 개별삭감량과 직접이송량을 감한 양이고, 축산계 배출원의 관거유입량은 폐수와 고형물을 각각 분리하여 산정하였다. 환경기초시설에 연결된 관거별 폐하수 관거유입량은 해당 차집구역의 오염원별 폐하수관거 유입량을 모두 합한 양을 대상으로 하였다.

토지계 관거유입량은 합류식관거 지역에서 강우에 의한 토지유출수가 유입되는 양, 분류식관거에서 맨홀부의 시공불량 또는 우·오수관의 오점 등으로 우수가 유입되는 양을 말한다. 처리구역내 차집구역(처리구역 중 우수가 환경기초시설에 연결된 관거배수설비로 유입되지 않는 구역 제외)으로부터 유효강우(유효강우로서 10mm/일 이상의 강우강도를 기준한다)시 강우유출수로 인한 토지계 관거유입유량을 지침에 따라

계산하였다.

불명수의 관거침투량은 환경기초시설에 연결된 관거배수설비에 관거의 불량부위를 통하여 지하수, 복류수, 하천수 등이 침투하는 양을 말한다.

#### 라) 개별배출량

각 오염원의 개별배출량은 배출원에 따라 아래의 산식에 의해 산정하였다. 축산계는 폐수형태로 상시 부하되는 점오염원 배출량과 초지, 농경지 또는 야적지에 살포된 상태에서 강우시 배출되는 비점오염원 배출량을 분리하여 산정한 후 월별로 합산하였다.

$$\text{배출원배출량} = \text{배출원별} (\text{개별배출량} + \text{관거배출량} + \text{방류량} - \text{직접정화량}) \quad (6-7)$$

$$\text{배출원개별배출량} = \text{배출원별} [\text{발생량} - \text{개별삭감량} - \text{직접이송량} - \text{관거유입량}] \quad (6-8)$$

$$\text{오염원별배출량} = \text{오염원별} \sum \text{배출원배출량} \quad (6-9)$$

<표 6-77> 생활계 배출부하량 현황 및 전망(kg/일)

시군구	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	8,486.2	1,887.9	477.7	52.8	2,382.8	371.4	90.8	11.0
완산구								
전주시	9,589.0	1,400.3	326.6	36.1	2,094.8	313.8	74.7	9.1
덕진구								
군산시	30,168.3	4,642.7	1,778.9	180.2	774.4	111.3	35.5	3.8
익산시	32,006.0	6,529.2	2,374.9	245.4	12,565.3	2,728.0	851.4	84.8
정읍시	11,185.1	2,727.9	979.1	106.6	5,493.1	1,414.0	523.2	59.1
김제시	8,943.5	2,406.4	782.6	82.5	5,213.8	1,335.0	440.1	48.2
완주군	29,654.9	3,665.5	1,734.1	181.6	11,024.8	1,431.2	580.2	62.2
고창군	368.8	199.8	63.5	6.5	155.2	81.7	25.4	2.7
부안군	9,202.3	2,332.7	754.5	85.1	4,408.5	1,377.9	411.8	46.5
시군구	만정강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시	8,486.2	1,887.9	477.7	52.8	2,382.8	371.4	90.8	11.0
완산구								
전주시	9,589.0	1,400.3	326.6	36.1	2,094.8	313.8	74.7	9.1
덕진구								
군산시	30,073.1	4,451.0	1,720.4	173.7	767.0	106.1	34.0	3.7
익산시	26,897.9	4,775.0	1,848.2	188.4	8,894.4	1,908.0	562.3	58.1
김제시	3,146.8	854.5	284.1	31.1	2,764.0	719.8	241.6	26.5
완주군	28,656.9	3,523.0	1,669.9	175.0	10,370.8	1,414.6	540.0	58.0
시군구	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	11,185.1	2,727.9	979.1	106.6	5,493.1	1,414.0	523.2	59.1
김제시	5,796.7	1,551.8	498.6	51.4	2,449.9	615.1	198.4	21.7
고창군	368.8	199.8	63.5	6.5	155.2	81.7	25.4	2.7
부안군	9,202.3	2,332.7	754.5	85.1	4,408.5	1,377.9	411.8	46.5

<표 6-78> 축산계 배출부하량 현황 및 전망(kg/일)

시군구	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	33.6	58.8	43.5	4.3	25.1	46.9	35.7	3.4
전주시 덕진구	44.7	69.7	45.3	5.6	28.7	58.4	36.4	4.4
군산시	436.0	757.2	485.6	59.2	222.9	458.4	285.0	34.2
익산시	1,824.3	4,870.1	3,170.3	390.3	1,667.2	4,990.2	2,986.2	351.4
정읍시	2,837.8	4,601.5	2,982.5	359.8	2,223.8	4,504.5	2,826.2	329.5
김제시	2,099.2	4,277.4	2,727.2	328.3	1,438.4	3,993.2	2,406.2	283.2
완주군	1,249.8	1,883.0	1,202.7	141.1	968.1	1,764.1	1,104.1	126.0
고창군	203.1	426.5	289.9	34.2	147.8	391.7	262.3	30.6
부안군	238.5	438.3	276.2	31.7	174.0	330.3	207.5	23.8
시군구	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	33.6	58.8	43.5	4.3	25.1	46.9	35.7	3.4
전주시 덕진구	44.7	69.7	45.3	5.6	28.7	58.4	36.4	4.4
군산시	369.5	634.4	406.2	50.0	187.2	377.3	234.7	28.6
익산시	593.8	1,650.2	1,249.1	167.6	510.0	1,441.7	896.5	117.2
김제시	1,220.0	2,733.3	1,745.0	212.2	850.7	2,821.4	1,672.2	198.3
완주군	1,249.8	1,882.9	1,202.6	141.1	968.1	1,764.0	1,104.0	126.0
시군구	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	2,837.8	4,601.5	2,982.5	359.8	2,223.8	4,504.5	2,826.2	329.5
김제시	879.1	1,544.1	982.2	116.2	587.6	1,171.8	734.1	84.9
고창군	137.4	376.2	227.4	26.4	106.7	391.6	229.1	26.3
부안군	423.1	716.1	464.7	52.9	293.0	662.6	412.3	46.1



<표 6-79> 산업계 배출부하량 현황 및 전망(kg/일)

시군구	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	70.0	4.5	0.8	0.1	62.4	4.1	0.7	0.1
전주시 덕진구	3,818.7	118.1	79.5	6.6	3,069.0	104.5	72.3	6.2
군산시	657.4	139.4	27.0	1.8	678.1	56.8	26.6	1.6
익산시	7,127.7	303.1	117.3	21.6	7,329.7	231.1	101.6	22.1
정읍시	4,999.4	182.5	168.7	5.3	4,915.3	179.3	165.3	5.2
김제시	6,340.8	137.2	206.0	6.4	6,298.9	136.2	204.5	6.3
완주군	2,316.0	129.1	40.1	2.3	2,376.7	132.5	41.1	2.4
고창군	76.0	1.5	0.0	0.1	78.3	1.6	0.0	0.1
부안군	309.0	20.8	4.0	0.3	306.9	20.7	4.0	0.3
시군구	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	70.0	4.5	0.8	0.1	62.4	4.1	0.7	0.1
전주시 덕진구	3,818.7	118.1	79.5	6.6	3,069.0	104.5	72.3	6.2
군산시	636.9	138.9	27.0	1.8	656.9	56.3	26.5	1.6
익산시	3,148.5	266.9	79.5	17.6	3,250.2	194.1	62.8	18.0
김제시	190.5	5.0	2.3	0.2	189.3	5.0	2.3	0.2
완주군	2,281.0	128.9	40.1	2.3	2,340.8	132.2	41.1	2.3
시군구	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	4,999.4	182.5	168.7	5.3	4,915.3	179.3	165.3	5.2
김제시	6,150.3	132.1	203.7	6.2	6,109.6	131.2	202.2	6.1
고창군	76.0	1.5	0.0	0.1	78.3	1.6	0.0	0.1
부안군	309.0	20.8	4.0	0.3	306.9	20.7	4.0	0.3

<표 6-80> 토지계 배출부하량 현황 및 전망(kg/일)

시군구	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	605.3	1,500.8	505.8	36.7	624.0	1,578.1	504.7	47.2
전주시 덕진구	4,346.4	1,062.1	557.3	36.3	1,953.5	1,606.5	620.5	48.3
군산시	566.3	2,128.7	1,367.0	129.8	25.8	2,524.2	1,404.7	159.5
익산시	1,833.1	5,555.9	3,000.6	268.0	235.4	5,690.9	3,037.5	295.2
정읍시	2,354.9	4,692.6	3,096.8	293.6	2,858.5	4,777.5	3,076.6	310.9
김제시	1,598.6	3,957.1	2,884.1	252.6	51.0	4,581.2	2,948.6	265.8
완주군	0.0	3,800.9	2,841.8	216.7	703.4	4,193.4	2,870.7	227.4
고창군	0.0	526.9	333.3	51.6	207.5	510.8	327.0	53.7
부안군	0.0	2,543.6	1,826.6	147.1	713.1	2,499.7	1,803.3	152.7
시군구	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	605.3	1,500.8	505.8	36.7	624.0	1,578.1	504.7	47.2
전주시 덕진구	4,346.4	1,062.1	557.3	36.3	1,953.5	1,606.5	620.5	48.3
군산시	566.3	1,770.6	1,160.2	104.7	25.8	2,140.3	1,197.1	130.2
익산시	1,833.1	3,674.3	1,790.6	143.5	89.7	3,908.0	1,834.6	157.3
김제시	77.5	1,464.6	981.7	96.3	2.2	1,540.7	980.8	101.6
완주군	0.0	3,587.7	2,610.3	206.4	693.5	3,958.2	2,637.4	216.7
시군구	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	2,354.9	4,692.6	3,096.8	293.6	2,858.5	4,777.5	3,076.6	310.9
김제시	1,521.1	2,492.5	1,902.4	156.3	48.8	3,040.5	1,967.8	164.2
고창군	0.0	526.9	333.3	51.6	207.5	510.8	327.0	53.7
부안군	0.0	2,543.6	1,826.6	147.1	713.1	2,499.7	1,803.3	152.7

<표 6-81> 양식계 배출부하량 현황 및 전망(kg/일)

시군구	전라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	0.0	30.4	6.1	1.6	0.0	30.4	6.1	1.6
군산시	0.0	76.7	14.9	4.0	0.0	76.7	14.9	4.0
익산시	0.0	1,554.5	301.8	82.3	0.0	1,554.5	301.8	82.3
정읍시	0.0	2,529.3	505.8	131.6	0.0	2,529.3	505.8	131.6
김제시	0.0	239.2	47.8	12.4	0.0	239.2	47.8	12.4
완주군	0.0	57.9	11.6	3.0	0.0	57.9	11.6	3.0
고창군	0.0	23.4	4.7	1.2	0.0	23.4	4.7	1.2
부안군	0.0	887.3	177.2	46.2	0.0	887.3	177.2	46.2
시군구	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	0.0	30.4	6.1	1.6	0.0	30.4	6.1	1.6
군산시	0.0	76.7	14.9	4.0	0.0	76.7	14.9	4.0
익산시	0.0	934.3	181.4	49.5	0.0	934.3	181.4	49.5
김제시	0.0	99.9	20.0	5.2	0.0	99.9	20.0	5.2
완주군	0.0	57.9	11.6	3.0	0.0	57.9	11.6	3.0
시군구	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	0.0	2,529.3	505.8	131.6	0.0	2,529.3	505.8	131.6
김제시	0.0	139.3	27.9	7.2	0.0	139.3	27.9	7.2
고창군	0.0	23.4	4.7	1.2	0.0	23.4	4.7	1.2
부안군	0.0	887.3	177.2	46.2	0.0	887.3	177.2	46.2

<표 6-82> 매립계 배출부하량 현황 및 전망(kg/일)

시군구	진라북도							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0
군산시	15.5	0.0	0.1	0.1	15.5	0.0	0.1	0.1
익산시	69.6	1.4	1.4	0.7	69.6	1.4	1.4	0.7
정읍시	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
완주군	5.9	0.1	0.2	0.0	5.9	0.1	0.2	0.0
고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
시군구	만경강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
전주시 완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0
군산시	15.5	0.0	0.1	0.1	15.5	0.0	0.1	0.1
익산시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
완주군	5.9	0.1	0.2	0.0	5.9	0.1	0.2	0.0
시군구	동진강							
	2002				2010			
	유량	BOD	TN	TP	유량	BOD	TN	TP
정읍시	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<표 6-83> 기초시설 이송량 및 개별삭감-배출량 현황 및 전망(kg/일)

생활계		관거-직접이송량 및 개별 삭감-배출량									
		발생부하량		직접이송량		관거유입량		개별삭감량		개별배출량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시	21,627.0	22,270.5	12.5	16.6	19,270.4	21,426.5	964.8	827.4	1,379.4	0.0
	완산구										
	전주시	17,971.0	19,157.4	24.7	20.7	15,249.5	18,104.0	1,698.8	1,032.7	997.9	0.0
	덕진구										
	군산시	7,005.6	7,027.5	305.1	0.0	1,238.6	7,015.0	939.9	7.8	4,522.0	4.7
	익산시	25,722.8	26,512.1	1,311.6	1,246.3	16,779.6	22,730.1	2,111.3	34.4	5,420.4	2,601.3
	정읍시	9,066.7	8,794.3	341.5	300.0	4,959.3	6,330.4	1,205.8	976.8	2,560.1	1,187.1
	김제시	6,311.9	6,647.8	411.9	411.9	3,007.7	4,599.1	746.8	347.2	2,145.5	1,289.5
	완주군	8,849.8	9,157.1	316.9	87.7	3,253.9	7,707.8	2,002.1	602.6	3,276.9	759.0
고창군	345.4	318.7	24.4	6.1	90.4	225.3	30.9	17.9	199.7	69.4	
부안군	3,221.1	3,219.8	2.2	73.9	66.4	1,570.1	819.7	295.1	2,332.7	1,280.7	
축산계		관거-직접이송량 및 개별 삭감-배출량									
		발생부하량		직접이송량		관거유입량		개별삭감량		개별배출량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시	659.1	525.9	0.0	0.0	0.0	0.0	659.1	525.9	0.0	0.0
	완산구										
	전주시	782.2	655.0	0.0	0.0	0.0	0.0	782.2	655.0	0.0	0.0
	덕진구										
	군산시	8,490.7	5,139.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8,490.7	5,139.7	0.0	0.0
	익산시	67,451.6	63,235.0	1,876.9	2,279.6	0.0	0.0	65,574.7	60,955.3	0.0	0.0
	정읍시	51,575.2	50,488.8	0.0	0.0	0.0	0.0	51,575.2	50,488.8	0.0	0.0
	김제시	52,268.4	46,730.9	1,088.0	971.7	0.0	0.0	51,180.5	45,759.2	0.0	0.0
	완주군	24,442.9	22,034.6	57.8	196.7	0.0	0.0	24,385.2	21,837.9	0.0	0.0
고창군	4,220.7	4,393.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4,220.7	4,393.5	0.0	0.0	
부안군	8,034.3	7,434.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8,034.3	7,434.0	0.0	0.0	
산업계		관거-직접이송량 및 개별 삭감-배출량									
		발생부하량		직접이송량		관거유입량		개별삭감량		개별배출량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시	97.5	99.2	0.0	0.0	58.6	59.6	35.9	36.6	3.0	3.0
	완산구										
	전주시	47,006.9	47,801.9	0.0	0.0	1,690.7	1,719.3	45,242.8	46,007.9	73.5	74.7
	덕진구										
	군산시	648.6	685.5	0.0	0.0	83.9	88.3	552.7	584.8	12.0	12.5
	익산시	17,805.9	18,130.9	0.0	0.0	1,752.1	1,784.0	15,914.0	16,204.5	139.8	142.3
	정읍시	13,649.1	13,426.0	0.0	0.0	113.3	111.9	13,357.3	13,138.9	178.5	175.1
	김제시	4,673.4	4,643.2	0.0	0.0	0.9	0.9	4,535.4	4,506.1	137.1	136.2
	완주군	4,199.1	4,304.4	0.0	0.0	291.0	298.4	3,779.0	3,873.8	129.1	132.3
고창군	2.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.5	1.6	
부안군	38.7	38.4	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	17.7	20.8	20.7	

<표 6-84> 기초시설 이송량 및 개별삭감-배출량 현황 및 전망(kg/일)계속

양식계		관거-직접이송량 및 개별 삭감-배출량									
		발생부하량		직접이송량		관거유입량		개별삭감량		개별배출량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	완산구										
	전주시	30.4	30.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	30.4
	덕진구										
	군산시	76.7	76.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.7	76.7
	익산시	1,554.7	1,554.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,554.7	1,554.7
	정읍시	2,529.4	2,529.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,529.4	2,529.4
	김제시	239.2	239.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	261.8	261.8
	완주군	57.9	57.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.9	57.9
고창군	23.4	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.4	23.4	
부안군	887.3	887.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	887.3	887.3	
매립계		관거-직접이송량 및 개별 삭감-배출량									
		발생부하량		직접이송량		관거유입량		개별삭감량		개별배출량	
시	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	완산구										
	전주시	1.6	1.6	0.0	0.0	1.4	1.4	0.3	0.3	0.0	0.0
	덕진구										
	군산시	155.2	155.2	0.0	0.0	71.9	71.9	83.3	83.3	0.0	0.0
	익산시	1,200.0	1,200.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,198.6	1,198.6	1.4	1.4
	정읍시	1.3	1.3	0.0	0.0	1.0	1.0	0.2	0.2	0.0	0.0
	김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	완주군	812.5	812.5	0.0	0.0	205.8	205.8	606.7	606.7	0.0	0.0
고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

2) 관거배출량 및 기초시설 방류량 산정

관거이송과정의 누수, 월류, 분해, 퇴적, 재부상 등의 변화는 실측을 통해 조사하는 것이 원칙이지만 가용한 자료의 부족으로 인해 처리구역별 관거유입량과 해당 환경기초시설 관거이송량으로부터 지침에 따라 산정하였다.

#### 가) 관거유입량

관거유입량은 폐하수 관거유입량과 토지계 관거유입량과 불명수 관거침투량의 합으로 산정하였고, 산정 방법은 6.1.1의 개별배출량 산정과 동일하다.

#### 나) 관거배출량

관거배출량은 해당 환경기초시설의 처리구역내 오염원별(불명수 포함) 관거누수량 및 관거배제량과 관거월류량을 합한 값으로 관거누수량은 관거로 유입된 총유입량이 관거를 통해 하수처리장으로 이송되면서 누수된 양을 총관거유입량에 누수비(누수비는 총관거유입량에 대한 관거이송 중 누수량의 상대비)를 곱하여 산정하였고, 관거배제유량은 전기 기준으로 처리시설의 용량부족으로 인해 미처리 상태로 배제하는 유량(우기시에는 전기시 평균배제유량)을 평균하여 산정하였으며, 관거월류량은 관거로 유입된 총유입량이 관거를 통해 하수처리장으로 이송되면서 월류되는 양을 총관거유입량에 월류비(월류비는 총관거유입량에 대한 관거월류량(CSOs, SSOs)의 상대비)를 곱하여 산정하였다. 오염원별 관거누수량과 관거월류량은 유효강우일수비를 고려한 월간 평균값으로 산정하였다.

#### 다) 관거저류변화량

관거저류 변화량은 환경기초시설의 처리구역내 오염원별 관거유입량에 대한 관거내 물질퇴적, 물질분해, 오니제거, 퇴적물 월류 등에 의한 변화량을 나타내는 것으로 총관거유입량에 관거저류변화비를 곱하여 산정하였다. 아래의 표에서는 관거유입량에서 관거배출량과 관거이송량을 뺀 결과가 관거저류변화량이다.

#### 라) 관거이송량

오염원별 관거이송량은 해당 환경기초시설의 처리구역내 오염원별 총관거유입량 관거이송비를 곱하여 산정하였고 월간 오염원별 관거이송량은 유효강우일수비를 고려한 평균값으로 산정하였다, 관거이송비는 환경기초시설의 처리구역별 총관거유입량에 대한 해당 시설의 총관거이송량의 상대비로 하였다.

마) 기초시설삭감량

환경기초시설의 관거이송부하량과 방류부하량의 차를 각 환경기초시설의 삭감량으로 하였다.

바) 방류량

환경기초시설의 방류수가 다른 연계처리시설로 연계 처리되는 경우를 제외하고 공수역으로 방류되는 경우에 대해서만 고려하였다. 오염원별 방류량은 총방류량에 오염원별 방류비율 곱하여 산정하였고, 불명수 침투량은 토지계 이송량에 산입하였다.



<표 6-85> 관거유입-배출량 현황 및 전망(BOD, kg/일)

생활계		관거유입-누수-월류량 및 방류량											
		관거유입량		직접이송량		관거누수량		관거월류량		기초시설 삭감량		방류량	
도	시군구	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	
전라북도	전주시완 산구	19,270.4	21,426.5	12.5	16.6	0.0	0.0	508.5	371.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	전주시덕 진구	15,249.5	18,104.0	24.7	20.7	0.0	0.0	402.4	313.8	0.0	0.0	3,580.5	2,603.9
	군산시	1,238.6	7,015.0	305.1	0.0	64.4	37.3	56.3	69.3	0.0	0.0	26.6	149.8
	익산시	16,779.6	22,730.1	1,311.6	1,246.3	0.0	49.6	1,108.9	77.2	0.0	0.0	779.6	1,637.2
	정읍시	4,959.3	6,330.4	341.5	300.0	0.3	16.4	167.6	210.5	0.0	0.0	407.0	407.1
	김제시	3,007.7	4,599.1	411.9	411.9	0.8	23.7	260.1	21.7	0.0	0.0	316.0	235.5
	완주군	3,253.9	7,707.8	316.9	87.7	388.5	556.9	0.1	115.2	0.0	0.0	79.0	711.9
	고창군	90.4	225.3	24.4	6.1	0.0	3.9	0.0	8.5	0.0	0.0	4.9	8.9
	부안군	66.4	1,570.1	2.2	73.9	0.0	27.1	0.0	70.0	0.0	0.0	1.1	84.8
축산계		관거유입-누수-월류량 및 방류량											
		관거유입량		직접이송량		관거누수량		관거월류량		기초시설 삭감량		방류량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시완 산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전주시덕 진구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	군산시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	익산시	0.0	0.0	1,876.9	2,279.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.9	150.0
	정읍시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	김제시	0.0	0.0	1,088.0	971.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	6.0
	완주군	0.0	0.0	57.8	196.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	6.0
	고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
산업계		관거유입-누수-월류량 및 방류량											
		관거유입량		직접이송량		관거누수량		관거월류량		기초시설 삭감량		방류량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시완 산구	58.6	59.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전주시덕 진구	1,690.7	1,719.3	0.0	0.0	0.0	0.0	44.6	29.8	0.0	0.0	397.0	247.3
	군산시	83.9	88.3	0.0	0.0	126.8	44.1	0.6	0.2	0.0	0.0	1.8	1.9
	익산시	1,752.1	1,784.0	0.0	0.0	155.9	84.4	7.5	4.4	0.0	0.0	81.4	128.5
	정읍시	113.3	111.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	4.2	0.0	0.0	9.3	7.2
	김제시	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	완주군	291.0	298.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	7.1	27.6
	고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<표 6-85> 관거유입-배출량 현황 및 전망(BOD, kg/일) (계속)

양식계		관거유입-누수-월류량 및 방류량											
		관거유입량		직접이송량		관거누수량		관거월류량		기초시설삭감량		방류량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시완산구	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	전주시덕진구	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	군산시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	익산시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	정읍시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	김제시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	완주군	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	고창군	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
부안군	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
매립계		관거유입-누수-월류량 및 방류량											
		관거유입량		직접이송량		관거누수량		관거월류량		기초시설삭감량		방류량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시완산구	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전주시덕진구	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
	군산시	71.9	71.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
	익산시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	정읍시	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
	김제시	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	완주군	205.8	205.8	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	19.0
	고창군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부안군	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
토지계		관거유입-누수-월류량 및 방류량											
		관거유입량		직접이송량		관거누수량		관거월류량		기초시설삭감량		방류량	
도	시군구	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010	2002	2010
전라북도	전주시완산구	297.8	431.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	전주시덕진구	1,052.4	729.3	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	8.2	0.0	0.0	247.1	104.9
	군산시	232.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
	익산시	454.3	32.7	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	0.5	0.0	0.0	21.1	2.4
	정읍시	373.4	573.9	0.0	0.0	0.0	0.1	5.7	7.4	0.0	0.0	30.6	36.9
	김제시	506.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1	0.1	0.0	0.0	53.2	0.1
	완주군	0.0	94.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	8.7
	고창군	0.0	36.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	1.5
부안군	0.0	119.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	6.5	

3) 발생부하량과 배출부하량 비교

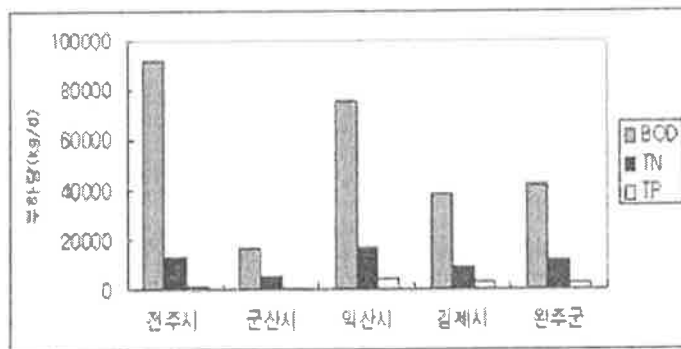
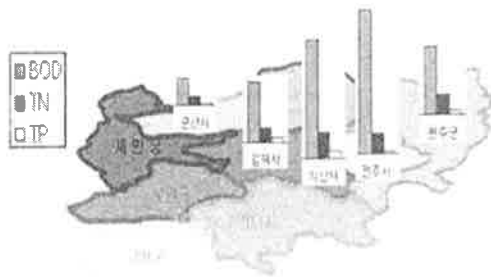
새만금 유역의 각 오염원별 평균부하량을 시군구별로 도식화해보면 <표 6-86>와 (그림 6-64)과 같다.

<표 6-86> 전라북도 총발생유량과 총배출부하량(kg/day)

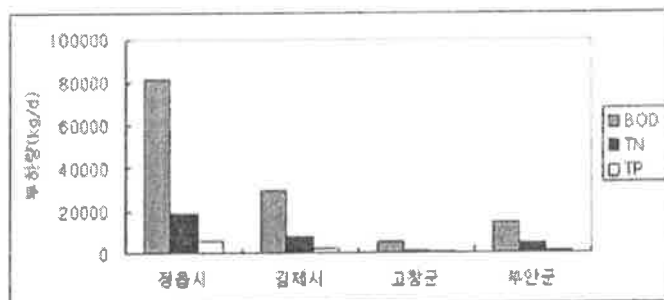
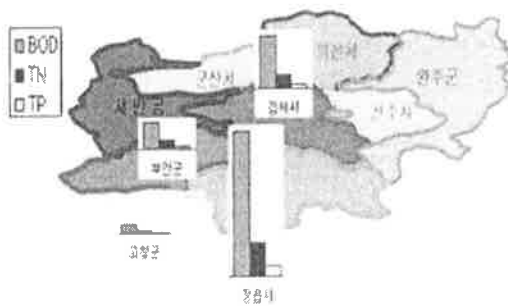
2002년 시군구	발생			배출		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
전주시 완산구	24,179.2	5,997.4	704.6	3,452.0	1,027.8	93.9
전주시 덕진구	67,892.5	6,885.7	970.6	6,905.5	5,491.0	424.9
군산시	18,734.2	5,821.1	1,164.2	7,779.7	3,741.1	382.9
익산시	119,726.2	29,458.2	8,193.6	19,789.4	11,405.2	1,157.5
정읍시	81,881.9	18,941.7	5,561.5	15,181.0	8,481.1	963.3
김제시	67,936.6	17,350.1	5,298.0	11,387.8	7,891.1	802.0
완주군	42,163.1	12,464.8	2,859.3	9,637.4	6,186.3	566.6
고창군	5,118.9	1,387.3	394.0	1,132.7	631.4	86.3
부안군	14,724.9	4,754.6	1,004.9	6,501.7	3,231.6	331.9
2010년 시군구	발생			배출		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
전주시 완산구	24,901.1	6,161.9	715.6	2,000.5	632.0	61.6
전주시 덕진구	69,973.9	7,159.4	995.1	5,069.9	6,722.6	660.9
군산시	15,608.8	4,993.7	833.1	3,380.5	2,073.1	233.9
익산시	116,355.8	28,239.1	7,449.7	17,114.3	11,596.1	1,368.6
정읍시	80,583.7	18,239.6	5,153.5	13,855.9	7,999.6	926.6
김제시	62,843.6	15,855.1	4,606.3	10,526.4	6,530.4	664.7
완주군	40,652.1	11,940.3	2,560.1	8,352.4	6,154.2	683.9
고창군	5,284.7	1,386.5	392.4	1,019.4	607.0	86.1
부안군	14,195.9	4,528.9	914.2	5,539.4	2,991.1	310.0

<표 6-87> 전라북도 오염원별 총발생부하량과 총배출부하량(kg/day)

시군구	생활계		축산계		산업계		토지계		매립계		양식계	
	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출
전주시 완산구	21,627.0	1,887.9	659.1	58.8	97.5	4.5	1,795.5	1,500.8	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	17,971.0	4,980.8	782.2	69.7	47,006.9	515.1	2,100.4	1,309.2	1.6	0.3	30.4	30.4
군산시	7,005.6	4,669.3	8,490.7	757.2	648.6	141.2	2,357.4	2,133.7	155.2	1.5	76.7	76.7
익산시	25,722.8	7,308.8	67,451.6	4,963.0	17,805.9	384.5	5,991.2	5,577.0	1,200.0	1.4	1,554.7	1,554.7
정읍시	9,066.7	3,134.9	51,575.2	4,601.5	13,649.1	191.8	5,060.3	4,723.2	1.3	0.1	2,529.4	2,529.4
김제시	6,311.9	2,722.4	52,268.4	4,278.6	4,673.4	137.3	4,443.6	4,010.3	0.0	0.0	239.2	239.2
완주군	8,849.8	3,744.5	24,442.9	1,892.8	4,199.1	136.2	3,800.9	3,800.9	812.5	5.1	57.9	57.9
고창군	345.4	204.7	4,220.7	376.2	2.5	1.5	526.9	526.9	0.0	0.0	23.4	23.4
부안군	3,221.1	2,333.8	8,034.3	716.1	38.7	20.8	2,543.6	2,543.6	0.0	0.0	887.3	887.3
시군구	생활계		축산계		산업계		토지계		매립계		양식계	
	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출
전주시 완산구	22,270.5	371.4	525.9	46.9	99.2	4.1	2,005.5	1,578.1	0.0	0.0	0.0	0.0
전주시 덕진구	19,157.4	2,917.7	655.0	58.4	47,801.9	351.8	2,327.6	1,711.4	1.6	0.2	30.4	30.4
군산시	7,027.5	261.1	5,139.7	458.4	685.5	58.7	2,524.1	2,524.2	155.2	1.5	76.7	76.7
익산시	26,512.1	4,365.2	63,235.0	5,140.2	18,130.9	359.6	5,723.2	5,693.3	1,200.0	1.4	1,554.7	1,554.7
정읍시	8,794.3	1,821.1	50,488.8	4,504.5	13,426.0	186.5	5,343.9	4,814.4	1.3	0.1	2,529.4	2,529.4
김제시	6,647.8	1,570.5	46,730.9	3,999.2	4,643.2	136.2	4,582.4	4,581.3	0.0	0.0	239.2	239.2
완주군	9,157.1	2,143.1	22,034.6	1,770.1	4,304.4	160.1	4,285.5	4,202.1	812.5	19.1	57.9	57.9
고창군	318.7	90.6	4,393.5	391.6	2.6	1.6	546.5	512.3	0.0	0.0	23.4	23.4
부안군	3,219.8	1,462.7	7,434.0	662.6	38.4	20.7	2,616.3	2,506.2	0.0	0.0	887.3	887.3

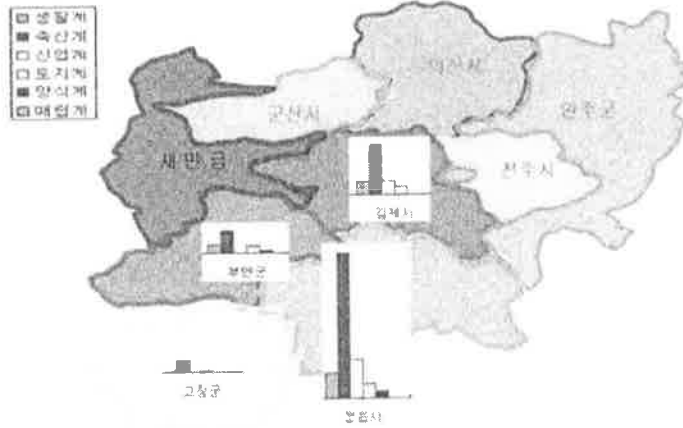


(그림 6-64) 만경강유역의 발생부하량 총괄(2002년도)

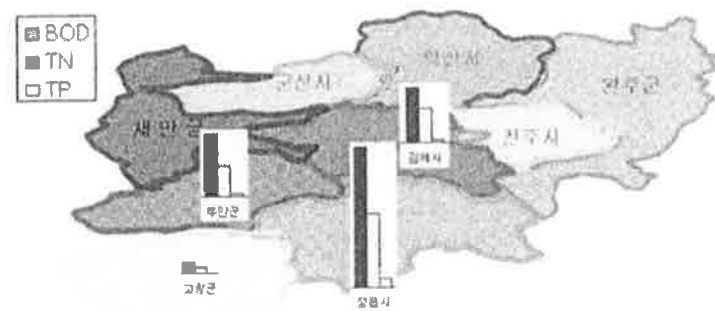
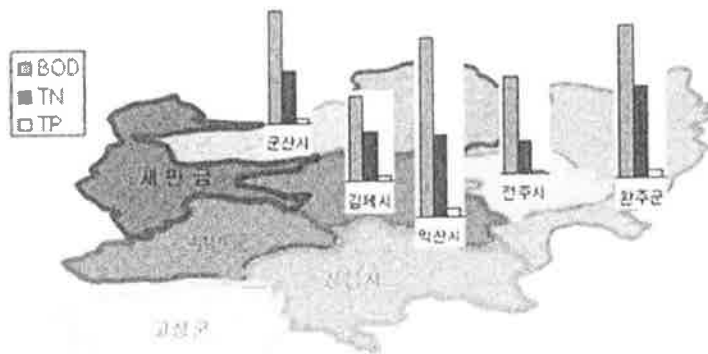


(그림 6-65) 동진강유역의 발생부하량 총괄(2002년도)

동진강 BOD 발생부하량(2002)



(그림 6-66) 동진강유역의 BOD 발생부하량(2002년도)



(그림 6-67) 새만금 유역의 배출부하량 총괄 (2002년도)

## 7. 요약 및 결론

현재 새만금 사업은 계획된 예정공정에 따라 외곽시설 최종 완료공정을 마무리 중에 있으며 눈앞에 다가온 방조제 완공에 따른 실효성 있고 구체적인 수질관리대책이 절실히 요구되고 있는 상황에 있다. 현시점에서 실효성 있는 현실적 대응과 수계의 오염차단 등 실천적인 대책이 요구되는 상황에 있으며 본 연구를 통하여 보다 과학적이고 체계적인 새만금 유역의 오염차단과 새만금호의 수질관리 대책을 수립할 수 있는 실질적 연구자료를 도출하고자 하였다.

이에 따라 본 연구에서는 새만금 유역중 도시지역의 오염원을 합리적으로 추정하고 이를 바탕으로 도시지역 오염원의 유출특성 및 영향인자 등을 조사하여 도시 오염원의 부하 원인 분석 및 관리방안 수립을 위한 기초자료를 활용되도록 하고자 하였다.

먼저, 새만금 단위유역별 목표수질은 10년 평균저수량 기준으로 만경A가 1.6mg/l, 만경B가 4.2mg/l, 전주A가 5.9mg/l, 탑천A가 4.9mg/l, 동진A가 3.1mg/l, 정읍A가 3.4mg/l, 원평A가 3.4mg/l, 고부A가 4.7mg/l 이다.

다음으로, 지역 및 단위유역별 개발계획에 따른 오염부하량을 만경강과 동진강으로 각각 구분하여 나타내었다. 만경강은 인구에 의한 부하량은 전주 A가 발생부하량과 배출부하량이 높게 조사되었고, 토지에 의한 부하량은 탑천 A가 4,477kg/d, 3,750kg/d로 가장 높게 나타났다. 동진강은 인구에 의한 부하량은 동진B가, 토지에 의한 부하량은 정읍 A가 가장 높게 나타났다.

한편, 2010년을 기준으로 하여 전라북도의 새만금 유역에 있어서, 오염원별 총발생부하량과 총배출부하량을 살펴보면, 생활계 오염부하량은 익산시에서 26,512kg/d로 가장 많은 발생량을 나타내었으며 다음으로 전주시 완산구에서 22,271kg/d이었으며 하천에 배출되는 부하량도 익산시에서 4,365kg/d로 가장 높은 수치를 나타내었다. 축산계는 대부분 익산시, 정읍시, 김제시, 완주군에서 상대적으로 높았으며 익산시가 63,235kg/d가 발생되어 5,140kg/d를 배출하여 가장 높았다. 산업계는 발생량이 전주시 덕진구가 47,802kg/d로 가장 높았으나 실제 배출부하량은 360kg/d를 배출하는 익산시보다 약간 낮은 352kg/d를 나타내었으며, 비점오염원으로 분류되는 토지계는 익산시에서 5,723kg/d가 발생되어 삭감되는 양이 별로 없이 5,693kg/d가 하천으로 배출되고, 양식계 오염부하량은 정읍시에서 2,529kg/d가 발생되어 배출되는 것으로 나타났다.

### 제 3 절 비점오염 부하량 제어방안 : DAF공정을 이용한 강우유출수의 비점오염물질 제거

#### 1. 서 론

새만금 사업은 계획된 예정공정에 따라 외곽 방조제가 완공되었으며 이에 따라 추후 조성될 새만금 담수호와 인근 해역의 수질보전을 위하여 상류지역인 동진강과 만경강의 수질개선을 통한 실효성 있고 구체적인 연구가 절실히 요구되고 있다.

새만금 사업추진이 효과적으로 추진되기 위해서는 수질오염 문제의 해결이 전제되어야 하며 이는 새만금 상류 유역의 수질오염 관리가 요구되는 바, 점오염원은 환경기초시설에 의한 관리계획이 관주도로 추진되어지고 있으나 비점오염원의 제어는 아직 연구개발중이거나 처리시설의 시범도입 등 관리의 시작단계에 있다. 그동안 수행한 새만금의 오염원에 대한 연구와 수질보전 대책수립에 관한 연구 등을 살펴보면, 농업기반공사에 의해 새만금 유역에 대한 오염원 관리대책(1998), 새만금유역의 오염하천 정화대책 수립(1998), 새만금호 내부 오염부하량 산정 및 수질영향 연구(1998) 등이 있으며 새만금사업 환경영향 공동조사단에 의한 수질보전분야 보고(2000)가 연구되어 있다. 아울러 최근에는 전북지역환경기술개발센터에서 수행되고 있는 새만금 유역의 점·비점오염원 제어 및 관리대책(2005)이 보다 체계적인 연구로 수행되어지고 있다. 한편, 새만금 유역의 수질연구에 관한 내용 중 비점오염물질의 처리기술에 관한 연구는 아직 미진한 상태이며 현재 연구되어지고 있는 처리공정도 인공습지나 생태수로 등 자연정화 형태에 한정되고 있다. 새만금의 수질개선을 보다 능동적이고 인위적 조작을 통하여 신속하고 효과적으로 처리하기 위해서는 장치형 처리공정의 기술이 유용할 수 있다.

본 연구에서는 보다 적은 시설면적과 설비로 신속하게 오염물질을 처리할 수 있는 DAF(dissolved-air flotation) 공정을 이용하여 비점오염물질의 제거효율과 적용성을 조사하여 새만금 유역의 수질관리에 유용한 연구정보를 제공하고자 하였다.



## 2. 이론적 배경

### 가. 비점오염물질의 개요

오염원은 오염물질의 배출 형태에 따라 점 오염원과 비점오염원으로 구분한다. 여기서 비점오염원이란 오염물질의 발생이 어느 특정 지점이 아닌 면적으로 분포하여 처리시설에 의하여 처리되지 않고 강우·강설 등에 의하여 수계에 유입되는 오염원을 말한다(이인선, 1993).

점 오염원은 배출장소 및 배출 경로의 확인이 가능한 오염원이며 비점오염원은 점 오염원 이외의 오염원으로서 배출장소와 배출경로가 불분명할 뿐만 아니라 주로 강우에 의존하여 유출이 일어난다. 따라서 비점오염원은 비특정 오염원, 면 오염원, 이동 오염원 또는 기타 수질 오염원이라고도 한다. 즉 점 오염원이 특정한 배출경로를 가진 것과는 달리 비점오염원은 도시노면 배수나 농경지배수와 같이 불특정한 배출경로를 통해 비점오염물질을 발생시키는 장소 또는 지역에서 배출된다. 비점오염물질은 주로 강우시 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로써 농지에 살포된 비료나 농약, 토양 침식물, 축사 유출물, 교통 오염물질, 도시지역의 먼지와 모든 오염물질을 포함한 채 배출되는 빗물이 실제로 주된 비점오염원이 된다. 비점오염물질은 일반적으로 강우시 유출되기 때문에 일간·계절 간 배출량 변화가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 어려운 기상조건·지질·지형 등에 영향을 많이 받는 특성을 지니고 있다(임영환, 2004).

### 나. DAF공정의 원리와 적용

DAF공정은 크게 공기 주입, 압력 펌프, 가압조(saturator) 및 부상조(flotation chamber)의 네 가지 중요한 요소로 구성된다. Henry의 법칙에 따라 물속에 녹아 있는 기체의 용해도는 압력이 증가함에 따라 증가한다. system으로 유입된 처리수는 압력 펌프에 의해 생성되는 4 kg/cm<sup>2</sup> 이상의 압력 하에서 가압조에 0.5 - 3.0분가량 머무르면서 과포화 된다. 가압조로부터 대기압 상태의 부상조로 가압수를 유입시키면 갑작스런 압력의 감소로 인해 평균 입경 40 $\mu$ m 혹은 그 이하의 미세한 기포가 발생한다. 이 기포가 부상조 내부에서 부유하고 있거나 콜로이드 상태인 입자들과 결합하여 부

상하게 된다.

수처리 분야에 있어 DAF공정은 침전법의 대안으로 사용되기 시작하였으며, 특히 영국과 스칸디나비아 반도에서 많이 사용되어 약 100개 이상이 현재 사용되거나 건설 중에 있다. 부상법은 주로 조류의 수화 현상(Algae Bloom)으로 다량의 조류, 낮은 탁도와 알칼리도, 색도를 띤 호소수에 많이 사용되었다. 이러한 원수는 응집공정을 거치면서 침전속도가 낮은 플록이 형성되어 침전법을 적용하기가 어렵기 때문이다. 최근에는 강우시 유입되는 비점오염물질이 토사성분이 아닌 비침전성 입자들이 초기의 강우유출수에 다량 함유된 원수의 성상이 보고되어지면서 DAF공정이 비점오염물질의 제거에 효과적일 수 있다는 사실이 알려졌다.

#### 다. DAF공정의 국내외 연구동향

1990년 이전까지 DAF공정에 대한 연구는 주로 설비업자들의 경험적 지식에 기초하여 설계가 이루어졌고 DAF에 관한 혁신적인 연구와 개발사업들은 영국에서 주로 이루어졌다. 이 기간 동안에는 전 세계적으로 DAF공법의 전반적인 이해의 폭이 점차적으로 넓어졌고 영국의 Frankly 정수장(450,000 m<sup>3</sup>/d 규모)과 같은 규모가 큰 DAF 설비를 지어야 한다는 필요성이 제기되었다. 또한 DAF공법에 관한 최적의 설계인자와 운전조건에 관한 필요성이 제기되기 시작하였다. 이후 DAF의 각 부문별 연구가 진행되어 미세기포와 입자의 부착과정 및 부상조에서의 흐름에 대한 전산유체해석(CFD), 유입노즐과 가압탱크의 최적설계, 규모를 최소화하기 위한 조합형 부상-여과 DAF조, Cryptosporidium 및 Giardia, THMFP, 조류 등의 제거를 위한 새로운 방식의 DAF조에 관한 연구가 이루어졌다(곽동희 등, 2003; Kwak et al., 2005).

이 공정의 특징은 조류, 색도 제거에 침전지보다 월등한 성능을 지니고 있어 이에 대한 연구가 유럽 및 미국을 중심으로 활발히 진행되어 왔다. 영국의 경우 봄과 여름철 Thames강의 조류로 인한 모래여과지의 폐쇄현상을 해결하기 위해 침전지를 DAF로 대체한 바가 있으며, 독일의 경우 탁도가 낮고, 높은 농도의 Chlorophyll-a를 함유한 원수의 경우 DAF를 이용한 처리가 타 공정과 비교하여 상당히 우수한 처리효율을 나타내었다고 보고되었다(Zabel, 1985).

또한, 조류종에 따른 DAF의 효율의 검토도 연구가 되었으며, 규조류와 남조류에 높은 처리효율을 나타내었다(Edzwald, 1993). 그리고 수인성 질병을 일으키는 미생물인 Cryptosporidium과 Giardia를 대상으로 용존공기부상법을 적용한 연구결과에서도 용존공기부상법이 침전과 비교하여 높은 처리효율을 나타내었다(Edzwald, 1995).

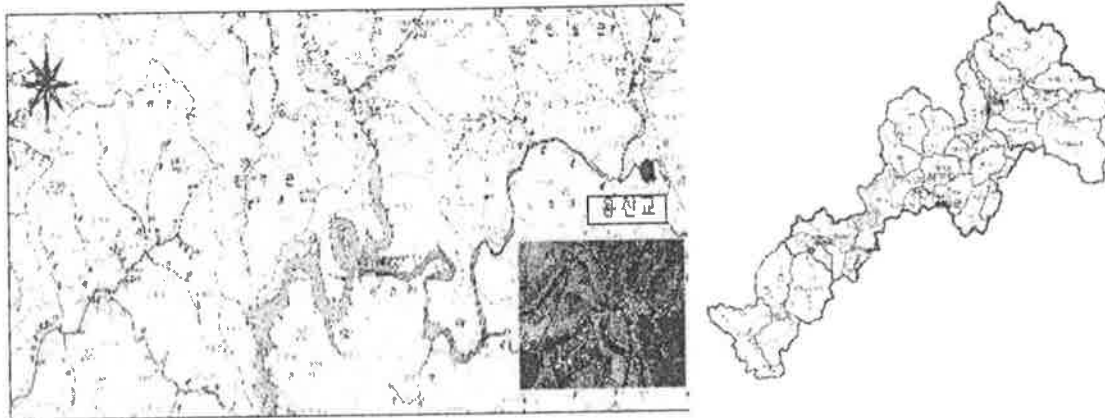
최근의 연구는 부상공정과 타 공정의 연계를 통한 패키지화에 관한 연구와 실용화가 진행되고 있다. 부상공정과 경사판(Lamella)을 조합한 공정은 Purac사에서 개발하여 LDAF라는 상표로 개발되었다. 부상공정과 모래여과 공정을 조합한 공정은 Purac, Krofta, Ahlstrom사에 의해 개발되어 Flofilter, Sandfloat, AhiFloat라는 상표로 실용화가 되었으며, 오존과 부상공정을 결합한 공정은 Ozo-Flotation 및 Flottazone이라는 상표로 실용화 되었다. 또한 기존의 장방형 침전지를 개량하여 부상조로 만드는 연구도 진행되고 있으며, 침전의 장점인 고탁도 처리와 부상의 장점인 조류의 처리를 조합하여 기존의 침전지를 개량하는 연구도 또한 활발히 진행되고 있다. 기타 고도정수 처리와의 연계공정의 연구도 진행되어 실제 뉴욕주 New Castle에서 1993년부터 적용하였다(Nickols, 1995).

### 3. 재료 및 방법

#### 가. 시료

본 연구에서 제거대상이 되는 비점오염물질을 함유한 대상 시료는 비점오염원이 다량 위치해 있는 임실천 유역에서 시료를 채취하였으며, 채수지점의 위치와 수계는 다음의 (그림 6-68)에 나타내었다. 이 지역의 오염배출부하량은 오염배출량중 약 62%가 비점오염부하량이다(환경부, 2005).

본 연구에서는 강우사상에 따라 나타나는 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 다섯가지 항목에 대한 수질변동 특성을 살펴보고 이 하천의 강우유출수에 함유된 입자의 DAF공정의 적용에 의한 부상특성과 중력 침전특성을 상호 비교하고 CGS 및 DAF공정의 제거효율을 조사하였다.

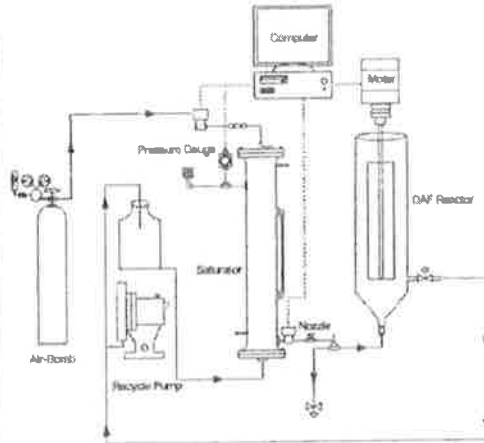
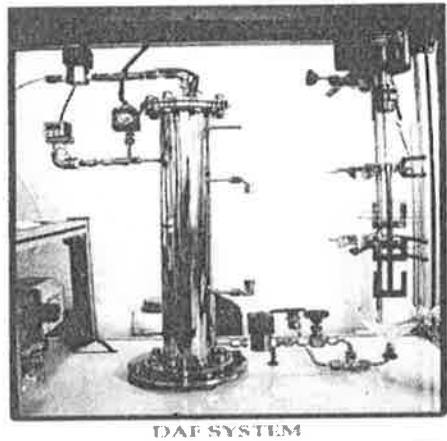


(그림 6-68) 비점오염물질이 함유된 강우유출수 채수구역 및 지점

#### 나. 실험장치 및 운전

실험에 사용한 회분식 DAF pilot plant 모식도는 (그림 6-69)와 같으며 원통형 부상 컬럼 밑에서 포화된 순환수가 유입할 수 있도록 제작되었다. 부상컬럼 상단에 모터를 설치하여 하나의 반응기내에서 약품의 급속교반과 플록형성을 위한 완속교반을 실시할 수 있도록 제작하였다. 또한, 본 실험장치는 타이머를 부착하여 기포체적농도를 자동조절이 가능하여 반복되는 실험의 오차를 줄일 수 있도록 하였다. 가압탱크는  $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 운전하였으며 일정한 기포체적농도 유지를 위하여 컴프레서대신 봄베를 사용하였다.

한편, 가압탱크의 순환수는 수돗물을 사용하였으며 반송비는 15%로 실험하였다. 응집제 주입을 결정실험을 위하여 Jar test를 실시하고 이후 pilot plant를 이용하여 DAF 처리실험을 수행하였다. 응집제는 PACl을 사용하여 실험하였다. 응집실험방법은 타 논문이나 문헌과 크게 다르지 않으며 일반적인 경수처리공정의 운전조건에서 실험하였다. DAF 처리 실험에서 시료는 부상실험과정에서 미량 침전한 플록의 혼입을 방지하기 위하여 부상컬럼 바닥에서부터 7cm의 높이에서 채취하였다.



(그림 6-69) 회분식 DAF Pilot plant의 모식도

#### 다. 분석방법

실험에 사용된 원수는 임실천유역의 강우유출수를 사용하였으며, 실험에 사용된 응집제는 PACl이며, Jar tester를 이용한 약품 혼화 조건은 G값  $700 \text{ sec}^{-1}$ 로 1분이내로 급속 교반을 실시하였으며, 플록형성을 위한 완속교반은  $80 \text{ sec}^{-1}$ 로 10분간 실시하였다. 한편, 본 연구에서의 수질분석은 수질오염공정시험법에 의거 실시하였다.

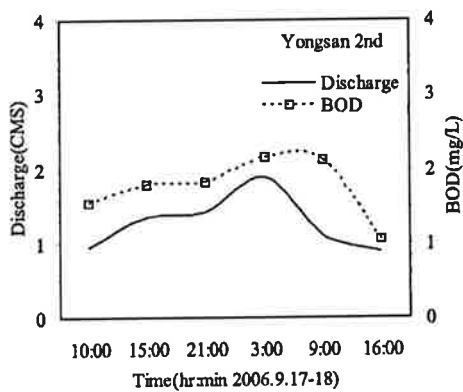
### 4. 결과 및 고찰

#### 가. 강우유출수의 수질특성

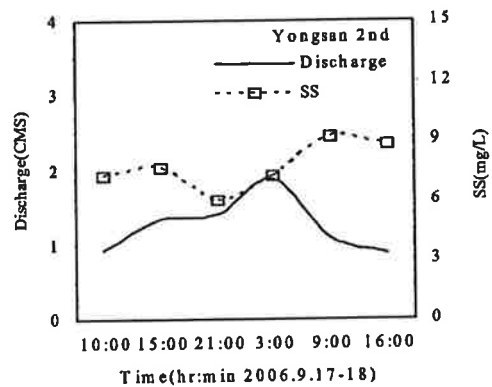
일반적으로 하천에서의 오염물질 유하 상태는 강우시와 비강우시에 현저하게 차이가 난다. 비강우시 하천에 유입되는 오염물질은 주로 점오염원이며 강우시에는 하천의 배수구역으로부터 점오염원뿐만 아니라 배출원을 정확히 구분할 수 없는 여러 종류의 오염물질이 다량으로 유입하여 하천수질에 큰 영향을 미치고 또한, 하천의 기천으로부터의 오염물질 유입과 더불어 오염물질의 유입에 따른 퇴적 그리고 하상에 퇴적되어 있던 오염물질들의 부상등 복잡한 현상으로 인하여 유출수의 수질변동이 일어난다(신현택 등, 1993; 김영철 등, 2002).

강우에 따른 하천수의 BOD, SS, T-N, T-P의 농도와 유량과의 관계를 다음의 (그림 6-70)에 나타내었다. BOD의 경우 모두 비점원 오염물질들이 강우 초기유출에 의

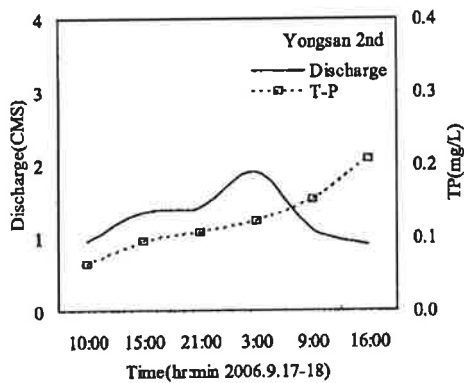
해 썰겨 내려감으로 인해 농도가 강우유출수 초기에 일시적으로 크게 증가하는 것을 보여주고 있다. 유출이 계속되면서 대체적으로 유량이 증가함에 따라 농도가 증가하는 양상을 나타내고 있으나 강우에 따라서 유출이 더욱 증가할 경우 농도가 감소하는 경우도 발생한다. 강우가 끝나고 유출이 감소하는 수문곡선의 하강부에서 BOD농도는 감소되면서 안정화를 나타낸다. SS는 강우에 민감한 반응을 나타내고 있으며, 강우로 인해 먼지나 토양입자 등의 하천유입 및 하천유속의 증가로 인해 부유물이 늘어난 것으로 분석된다. SS는 유출초기에 급격하게 증가하였다가 직접유출이 끝나면서 급격하여 감소하였다. T-N, T-P는 유출초기에 세 지점 모두 약간의 농도증가가 나타났으나 유량 증가에 따라 농도가 감소하였다.



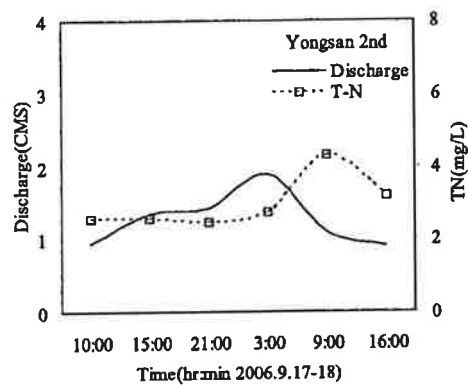
(a) BOD



(b) SS



(c) T-N

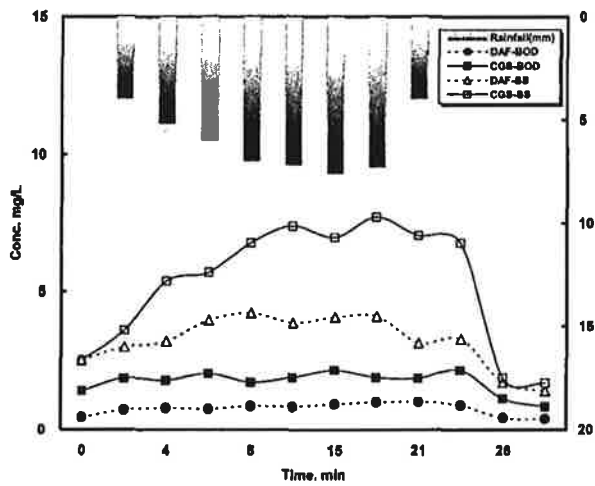


(d) T-P

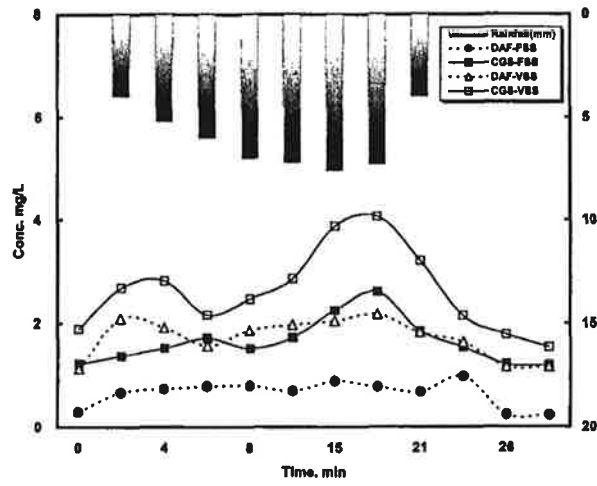
(그림 6-70) 강우유출수의 유량에 따른 수질 변화

나. 강우유출수의 입자제거 특성

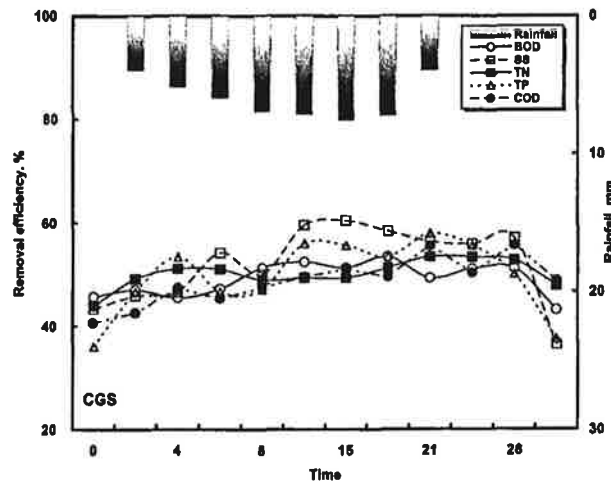
강우사상에 따라 채수한 강우유출수를 대상으로 Jar tester를 이용하여 실시한 CGS (conventional gravity sedimentation) 실험과 pilot plant를 이용하여 실시한 DAF 실험결과를 다음의 (그림 6-71)~(그림 6-74)에 나타내었다. 입자의 침전 또는 부상분리를 위한 Jar test에서 PACl 25ppm 주입시 가장 좋은 제거효율을 나타내었다. 입자의 분리를 위한 SS제거효율 비교실험에서 DAF가 CGS보다 다소 높은 제거율을 나타내었다.



(그림 6-71) 강우지속시간에 따른 강우유출수의 CGS와 DAF 처리결과 (BOD, SS)

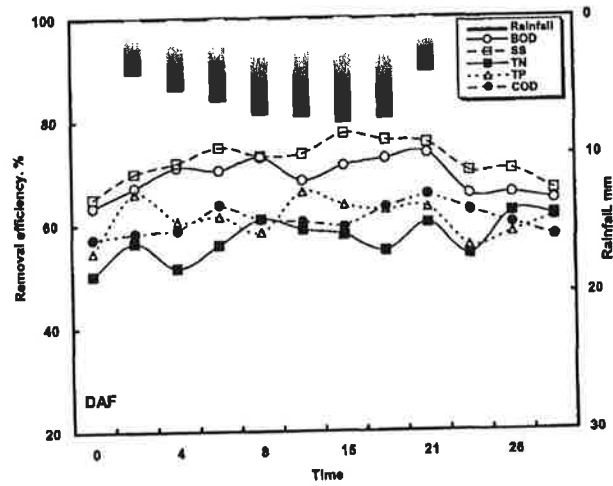


(그림 6-72) 강우지속시간에 따른 강우유출수의 CGS와 DAF 처리결과 (VSS, FSS)



(그림 6-73) 강우지속시간에 따른 강우유출수의 CGS공정 처리효율

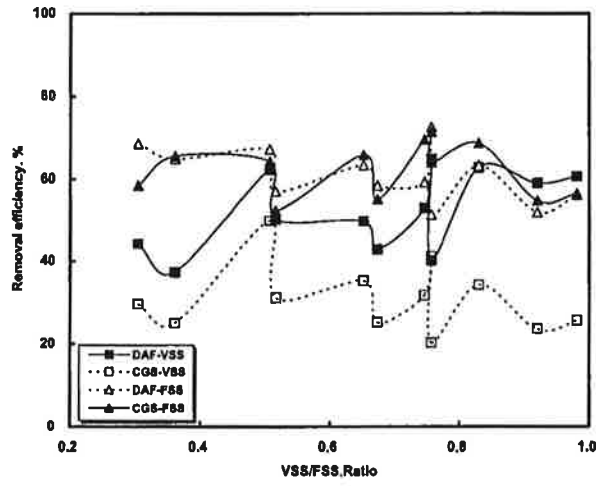




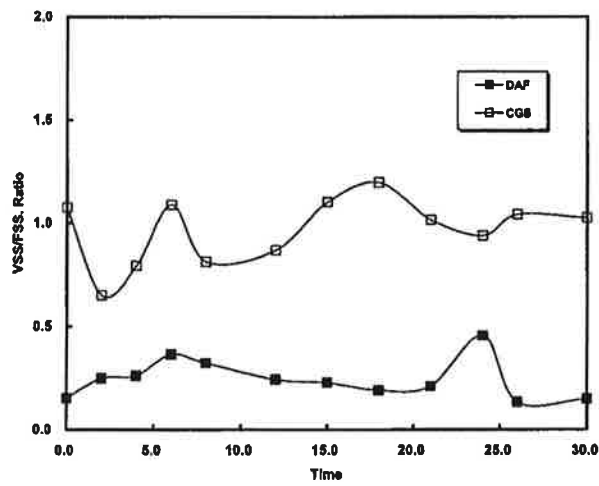
(그림 6-74) 강우지속시간에 따른 강우유출수의 DAF공정 처리효율

#### 다. 강우에 따른 CGS와 DAF의 BOD 처리효율

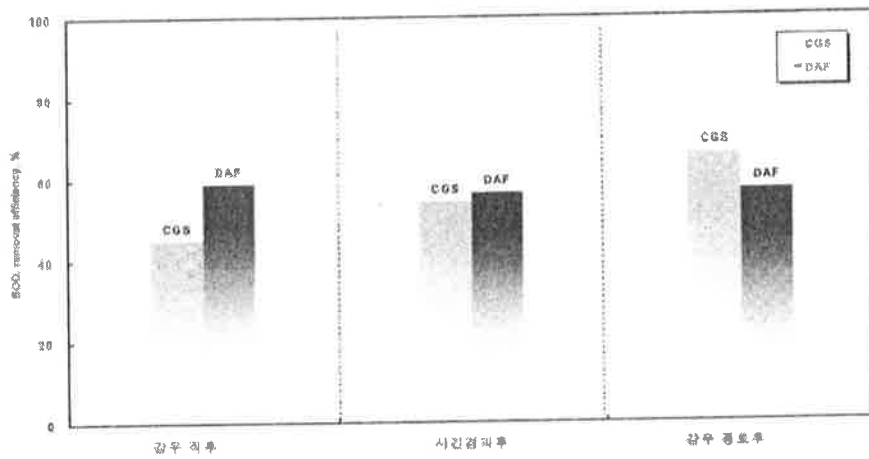
강우사상에 따라 채수한 원수를 대상으로 BOD 제거효율을 살펴보기 위하여 실시한 CGS와 DAF 실험결과를 다음의 (그림 6-75)~(그림 6-78)에 나타내었다. CGS와 DAF공정간에 BOD제거효율 비교실험에서, 강우초기에는 CGS가 DAF보다 양호한 제거효율을 보였으나 강우지속시간이 계속됨에 따라 DAF가 CGS보다 높은 제거율을 나타내는 현상을 보였다.



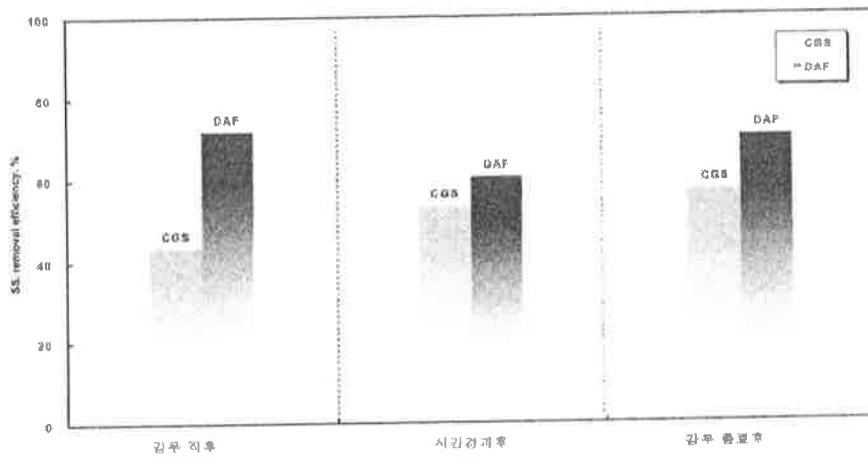
(그림 6-75) VSS/FSS 비에 따른 강우유출수의 CGS공정과 DAF공정의 처리효율 비교



(그림 6-76) VSS/FSS 비에 따른 강우유출수의 CGS공정과 DAF공정의 처리효율 비교



(그림 6-77) 강우지속시간에 따른 강우유출수의 CGS공정과 DAF공정 BOD의 처리효율 비교

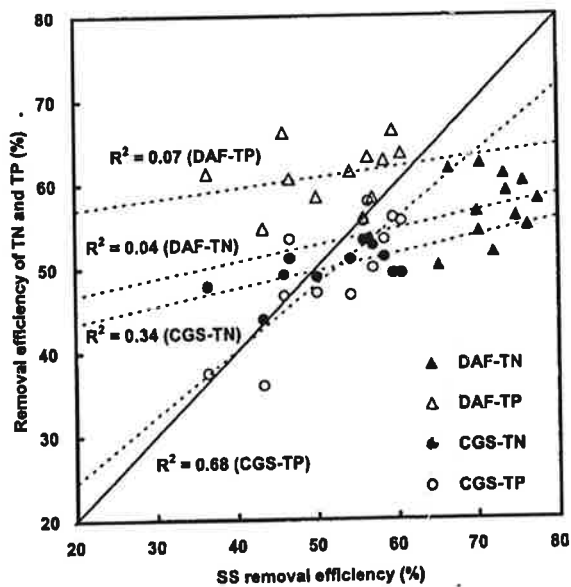
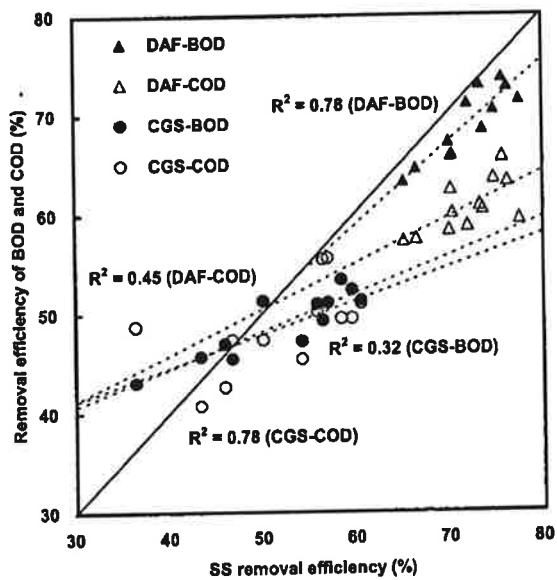


(그림 6-78) 강우지속시간에 따른 강우유출수의 CGS공정과 DAF공정의 SS 처리효율 비교

라. SS제거에 따른 BOD, T-N 및 T-P 처리효율과의 상관성

강우사상에 따라 채수한 강우유출수의 처리실험 결과를 토대로, SS의 제거에 따른 BOD, T-N, T-P 등의 제거효율을 살펴보았다. 다음의 (그림 6-79)와 같이 SS의 제거 효율과 BOD는 약간 유사한 상관관계를 보였으나 T-N과 T-P와의 상관성은 높지 않았다. DAF와 CGS에 의해 제거된 BOD는 SS제거율과 양호한 상관관계를 보였으나

T-N과 T-P제거율은 SS제거율과 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다. 결국 초기 강우유출수중에 함유된 입자를 DAF나 CGS로 처리할 경우 제거되는 SS는 점토와 실트질 등의 무기성 입자와 더불어 유기성 입자도 많은 양이 제거되고 있음을 알 수 있다. 반면, T-N과 T-P는 반드시 부유성 입자로 강우유출수에 함유되지 않으며, 용존된 상태로 존재하여 입자분리공정인 DAF나 CGS공정에 의해 효과적으로 제거되지 않을 수 있다.



(그림 6-79) DAF와 CGS에 의해 제거된 수질항목과 SS제거율과의 상관관계

## 5. 결 론

본 연구는 비시가화지역의 비점오염 처리공정의 적용을 위한 공정선정과 도입에 있어서 기초가 되는 수질변화와 입자분리특성을 살펴보고자, 강우사상에 따라 비점오염원에 의하여 변화되는 강우유출수의 시간간격을 두고 채수하여 수질변화와 입자의 침전·부상 분리특성을 살펴보았다.

강우에 따라 나타나는 강우유출수에 혼입된 비점오염물질에 의하여 강우 초기에 다소 급격한 수질 변화를 나타내었으며, 초기 강우시에 급격한 증가를 나타낸 후 강우 지속시간의 경과에 따라 유량은 증가하나 수질상태는 양호하게 회복되는 전형적인 강우유출수의 패턴을 보였다. 수질항목간 변화에 있어서도 BOD, SS, T-N, T-P 항목 모두 대부분 유사한 변동특성을 보였다.

강우유출수를 일정 시간간격을 두고 채수한 시료에 대하여 CGS와 DAF공정을 이용하여 처리한 실험결과, DAF의 평균 제거효율은 BOD 68.9%, COD, 60.68%, SS 72.11%, T-N 57.14%, T-P 61.05%이었으며, CGS는 평균 BOD 49.0%, COD 48.6%, SS 52%, TN 50.1%, TP 49.6%를 나타내었다. 초기 강우에 의한 강우유출수의 처리에서 CGS 보다 DAF가 약 20%이상 높은 제거효율을 나타내었으며, 강우시간이 지속됨에 따라 CGS에 의한 입자의 침전효율이 상승하는 것으로 나타났다. 이 사실은 초기 강우에 토사성분도 유입되지만 비점오염물질이 다량 혼입이 추정되는 것이나 강우강도에 따라 그 현상은 변화될 수 있으므로 추후 강우강도나 주변 영향요소에 따라 토사물질과 같은 무기성 입자의 유입과 유기성 입자가 주된 물질인 비점오염물질 입자의 유입비율은 세밀히 연구되어야 할 것이다.

DAF공정으로 처리함에 있어서 BOD는 SS의 제거효율과 유사한 상관관계를 나타내었으나, T-N과 T-P 제거효율의 변화는 SS 제거효율과 큰 상관성을 나타내지 않았다. 이 같은 수질항목의 제거효율은 SS와 같은 입자의 제거와 밀접한 연관이 있음을 알 수 있었으며 비점오염물질의 효과적인 제어와 처리를 위해서는 강우에 따라 나타나는 강우유출수중의 입자의 성상과 거동특성에 대한 조사와 분석이 중요함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 강금석, (1995) 지리정보시스템을 결합한 SWMM, 서울대학교 석사학위논문.
2. 경기도보건환경연구원, (2001) 비점오염원 관리방안.
3. 경기도보건환경연구원, (2001) 비점오염원 관리방안.
4. 박동희 등 (2003), 고도상수처리, 동화출판사
5. 국립환경연구원, (1997) 오염총량 관리계획 수립지침.
6. 국립환경연구원, 오염총량 관리계획 수립지침, 1999
7. 국무총리 수질개선기획단, (1997) 물관리 종합대책.
8. 권순국. (1998) 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, 대한환경공학회지, 20(11)
9. 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진, (2002a) 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위조사, 대한환경공학회지, 24(11), pp,2019-2027
10. 김영철, 이재수 (2002) 강우시 유역특성에 따른 유출 오염물질 농도곡선의 형상, 대한환경공학회지, 24(4): 633~645.
11. 김영철, 이재수, (2002b) 강우시 유역특성에 따른 유출 오염물질 농도곡선의 형상, 대한환경공학회지, 24(4), pp.633~645.
12. 김주성, (1993) 소유역 수질예측을 위한 지표유출모형의 개발, 서울대학교 석사학위 논문.
13. 농어촌 진흥공사, 농경배수 재이용에 관한 수질관리기법 연구 (I), 1997
14. 농어촌 진흥공사, 농업용수 수질정보 종합관리 시스템 개발, 1999
15. 농어촌 진흥공사, 새만금 오염하천 정화대책 수립, 1998
16. 농어촌 진흥공사, 새만금 오염하천 정화대책 수립, 1999
17. 농어촌 진흥공사, 새만금유역의 비점오염원 관리대책 수립연구, 1998
18. 농어촌 진흥공사, 새만금유역의 비점오염원 관리대책 수립연구, 1998
19. 농어촌 진흥공사, 새만금호의 내부오염부하량 산정 및 수질영향 연구, 1998
20. 농어촌 진흥공사, 새만금호의 내부오염부하량 산정 및 수질영향 연구, 1998

21. 박승우, 최진규, 윤광식, 강문성, 이정재, 1997. 영농방식에 따른 농업비점오염 부하량 조사분석 -반월저수지 유역을 중심으로-, 제2회 농업과학심포지움 : pp. 356~373.
22. 山田 淳, (1997) 「Diffuse Pollution 研究の現状と今後と展開」, 水環境學會誌 20(12).
23. 새만금 환경영향 공동조사단, 새만금 환경영향 공동조사-수질보전결과 보고서, 2000
24. 새만금 환경영향 공동조사단, 새만금 환경영향 공동조사-수질보전결과 보고서, 2000
25. 새만금 환경영향 공동조사단, 새만금 환경영향 공동조사-환경영향 분야 결과 보고서, 2000
26. 새만금 환경영향 공동조사단, 새만금 환경영향 공동조사-환경영향 분야 결과 보고서, 2000
27. 서규우, 허준행, (1998) 유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석II, 한국수자원학회논문집, 31(3) pp.253-267.
28. 서규우, 허준행, 조원철, (1997) 도시하천유역 저지대 택지개발로 인한 침투 영향 분석, 대한토목회 논문집, 17(II-2).
29. 신현택, 윤용남 (1993) 도시 소유역에서의 유출과 비점오염원 배출간의 상관관계 수립에 의한 NPS 오염원 배출량의 산정, 한국수문학회지, 26(4).
30. 신현택, 윤용남, (1993a) SWMM 모형을 이용한 도시유역의 유출 및 NPS 오염물 배출 모의, 한국수자원학회지, 26(3).
31. 신현택. 윤용남, (1993b) 도시 소유역에서의 유출과 비점오염원 배출간의 상관관계 수립에 의한 NPS 오염원 배출량의 산정, 한국수문학회지, 26(4).
32. 안재환, (2000) 비도시지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출특성 연구, 건설기술정보, 12.
33. 윤현식. (1998) 합류식 하수관거 월류수의 오염물질 특성과 처리 한양대학교 대학원 박사학위논문



34. 이남호, (1988) 관개지구 물관리조직의 일별 모의 조작, 서울대학교 박사학위논문.
35. 이인선 등 (1993) 비점오염원으로부터 오염물질 유출특성 조사를 위한 방법론적 연구, 국립환경연구원.
36. 이인선 등 (1993) 비점오염원으로부터 오염물질 유출특성 조사를 위한 방법론적 연구, 국립환경연구원.
37. 이종태, 윤세의, 김정환, (1994) 지표면 유출 해석방법이 도시구역의 홍수량산정에 미치는 영향, 대한토목학회 논문집, 14(5).
38. 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남, (1991) 도시화 영향을 고려한 우수지 계획모형, 한국수문학회지, 24(4) pp.73-83.
39. 임영환 (2004) SWMM모형을 이용한 도시지역의 비점오염 유출특성 연구, 서남대학교 박사학위논문
40. 전라북도 수질보전대책 종합 보고서, 1995
41. 전라북도 수질보전대책 종합 보고서, 1995
42. 전라북도, 전라북도 수자원 조사 및 종합개발 계획 요약 보고서, 1998
43. 전라북도, 전라북도 수자원 조사 및 종합개발 계획 요약 보고서, 1998
44. 전북지역환경기술개발센터, 새만금 유역의 점·비점오염원 관리 및 제어대책 수립 1차년도보고서, 2005
45. 전북지역환경기술개발센터, 새만금 유역의 점·비점오염원 관리 및 제어대책 수립 2차년도보고서, 2006
46. 조용현, 만경강 유역 농배수로에 의한 오염부하량 조사, 2002
47. 조재영, 1999. 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량, 전북대학교 박사학위논문.
48. 조재영, 2000. 비영농기간 단일필지 논으로부터 영양물질의 유출부하량. 한국농공학회지 42(2) : pp. 63~70.
49. 조재필, 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
50. 조재필, 박승우, 강문성, 1998. "복합토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원 오염모형의 적용", 한국농공학회 학술발표 논문집 : pp. 353~358.

51. 최지용, 신창민 (2002) 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국정책평가연구원, KEI-2002-RE03
52. 최지용. (1997) 도시지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원 기본과제 연구보고서
53. 최지용. (1998) 비점오염원 제도적 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원 정책과제 연구보고서
54. 한강수계 오염총량 관리제 시행방안 연구 최종 보고서, 2001, 환경부
55. 한국건설기술연구원, 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천 유지 유량산정보고서, 1999
56. 한국건설기술연구원, (2000) 팔당상수원 비점오염원 유출특성과 최적관리방안.
57. 한국수자원공사, 용담다목적댐 건설사업 수질보전대책 보고서, 2000
58. 한국수자원학회, (1996) 도시지역에서의 배수계통의 설계를 위한 SWMM 모형, 제4회 수공학 워크샵 교재.
59. 한국환경정책·평가연구원, 도시지역 비점오염원 관리방안, 1998
60. 한국환경정책평가연구원, (2000) 비점오염원의 제도적 관리방안.
61. 허준행, 서규우, 이홍래, 이재철 (1997), 주택단지내 우수유출해석을 위한 모형의 적용 및 비교분석, 대한토목학회논문집, 17(II-5), pp.429-440
62. 환경부 (2001) 비점오염원 관리요령.
63. 환경부 보도자료, 2002년 1월 14일
64. 환경부, (1995) 비점오염원 조사연구사업 보고서
65. 환경부, (1995) 비점오염원 조사연구사업 보고서.
66. 환경부, (1998) 팔당호 등 상수원수질개선특별종합대책(안)
67. 환경부, (2000) 한강수계 오염총량 관리제 시행방안 연구 최종 보고서
68. 환경부, (2003) 비점오염원 관리를 위한 강우 유출수관리 매뉴얼
69. 환경부, 수질정책지원시스템 개발, 2000
70. 환경부, 오염하천 정화사업 시행 지침서, 1997
71. 환경부, 한강수계 오염총량 관리제 시행방안 연구 최종 보고서, 2000

72. 환경처, 수질보전 장기계획수립, 1992
73. 환경처, 영산호 환경용량 조사 연구, 수질보전을 위한 부영양화 대책, 1990
74. American Society of Civil Engineering, (1998) Urban runoff quality management.
75. APHA, AWWA, and WPCF. 1992. Standard Method for the examination of water and wastewater. 18th Ed. APHA. N. Y
76. APHA, AWWA, and WPCF. 1992. Standard Method for the examination of water and wastewater. 18th Ed. APHA. N. Y
77. ASCE (1991) Manual and Report on Engineering Practice No.62. American Society of Civil Engineers.
78. Baffaut, C. and Delleur, J. W., (1990) Calibration of SWMM Runoff Quality Model With Expert System, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 116(2)
79. Bedient P. B., Lambert J. L., and Springer N. K., (1980) Storm water Pollution load-runoff relationship, Jour. Water Poll. Control Fed., 52(9), pp.2396-2404
80. Bedient P. B., Lambert J. L., and Springer N. K., (1980) Storm water Pollution load-runoff relationship, Jour. Water Poll. Control Fed., 52(9), pp.2396-2404
81. Carreker, J. R. et al., (1974) Using Poultry Litter, Irrigation and Tall Fesque for No-Till Corn Production, Journal of Environmental Quality, 2(4), pp.497-500.
82. Edzwald, J. K. (1993), Algae, Bubble, Coagulants and Dissolved Air Flotation, Wat. Sci. Tech., Vol.27, No.10, pp.67~81.
83. Edzwald, J. K.(1995), Principles and applications of dissolved-air-flotation, Journal of Wat. Sci. Tech. Vol.1, No.3-4. pp.1-23.
84. Huber, W. C. and Dickinson R. E., (1998), Strom water management model user's manual, Version 4., EPA/600/3-85/077(NTIS PB86136041) EPA, Athens, GA.
85. Huber, W. C. and Dickinson R. E., (1998), Strom water management model

- user's manual, Version 4., EPA/600/3-85/077(NTIS PB86136041) EPA, Athens, GA.
86. Ichiki, A and Yamada, K. (1999) Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan, *Water Sci. Technol.*, 39(12), pp.17~25.
87. Ichiki, A and Yamada, K. (1999) Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan, *Water Sci. Technol.*, 39(12), pp.17~25.
88. International Erosion Control Association (2002) Storm water Quality specialist Review
89. Jewell T. K., and Adrian D. D., (1982) Statistical analysis to derive improved stormwater quality models, *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 54(5), pp.489-499.
90. Jewell T. K., and Adrian D. D., (1982) Statistical analysis to derive improved stormwater quality models, *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 54(5), pp.489-499.
91. Konomu, U., Nakamura, E., and Fujita, S., (1997) Characteristics of stormwater runoff and its control in Japan, *Water Sci. Technol.*, 36(8-9), pp.141~147.
92. Konomu, U., Nakamura, E., and Fujita, S., (1997) Characteristics of stormwater runoff and its control in Japan, *Water Sci. Technol.*, 36(8-9), pp.141~147.
93. Kwak, D.-H., Jung, H.-J., Kim, S.-J., Won, C.-H., Lee, J.-W. (2005), Separation Characteristics of Inorganic Particles from Rainfalls in Dissolved Air Flotation: A Korean Perspective, *Separation Science and Technology*, 40, 3001-3016.
94. Loehr R. C., (1974) Characteristics and comparative magnitude of non-point sources, *Journal of Water Poll. Control Fed.*, 46(8), pp.1849-1872
95. Meals, D. W. (1996) Watershed-Scale Response to Agricultural Diffuse Pollution Control Program in Vermont, *Wat. Sci. Tech.* 33(4-5), pp.197-204.
96. Meals, D. W. (1996) Watershed-Scale Response to Agricultural Diffuse Pollution Control Program in Vermont, *Wat. Sci. Tech.* 33(4-5), pp.197-204.
97. Mecalff & Eddy., (1991) *Wastewater Engineering treatment-disposal-reuse*, 3rd

Edition

98. Mecalff & Eddy., (1991) Wastewater Engineering treatment-disposal-reuse, 3rd Edition
99. Morgan R. P. C.. 1985. Soil erosion measurement and soil conservation reseach in cultivated areas of the UK. Journal of Geology 151 : pp.11~20.
100. NJEDP, (1994) Wastewater Engineering treatment-disposal- reuse, 3rd Edition
101. Pegram. G. C., and Hinsch, M., (1999) The nonpoint source impacts of peri-urban settlements in South Africa ; implications for their management. Water Sci. Technol., 39(12). pp.283~290.
102. Pegram. G. C., and Hinsch, M., (1999) The nonpoint source impacts of peri-urban settlements in South Africa ; implications for their management. Water Sci. Technol., 39(12). pp.283~290.
103. Pitt, R, and Mclean. J. (1986) Toronto Are Watershed Management Strategy study. Humber River Pilot Watershed Project. Final Rep., Ont. Ministry Environ, Toronto, Ont., Can.
104. Sartor J.D., Boyd G. B. and Agardy F. J., (1974) Water pollution aspect of street surface contaminants, Journal of Water Poll. Control Fed., 46(3), pp.458-467
105. Sartor J.D., Boyd G. B. and Agardy F. J., (1974) Water pollution aspect of street surface contaminants, Journal of Water Poll. Control Fed., 46(3), pp.458-467
106. Schueler, T. R. (1987) Controlling Urban Runoff : A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices. Metro. Wash. Water Resour.Plann. Board, Washington D.C.
107. Schueler, T. R. (1994) Watershed Protection Techniques: a Quarberly Bulletin on Urban Watershed Restoration and Protection Tools. Center for Watershed

- Protection, Silver Spring. Md., 1, with permission.
108. Schueler, T. R. (1994) Watershed Protection Techniques: a Quarterly Bulletin on Urban Watershed Restoration and Protection Tools. Center for Watershed Protection, Silver Spring. Md., 1, with permission.
  109. Singh, V. P., (1989) Hydrologic system, Vol.2, Watershed Modeling Prentice Hill, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
  110. Tombo, N., Fukushi, K., Matsui, Y., "A kinetic model for dissolved air flotation in water and wastewater treatment", Wat. Sci. Tech.(1995), Vol. 31, pp.37-47.
  111. US Water News, (1989) ANON Spillwat System Detects Polluion, Tokyo Metropolitan Government, Underground River
  112. USEPA (1988) Design Manual : Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal WasteWater Treatment, EPA/625/1-88/022, 1988.
  113. USEPA, (1983) Results of the Nationwide Urban runoff Program. Final Report, Water Plann. Div. Washington, D.C
  114. USEPA, (1990) Nonpoint Source Impact Assessment, WPCF Research Foundation Report 90-5, CH2M HILL, Inc.
  115. USEPA, (1993) Guideance Specifying Management Measures for Sources of Non-point Pollution in Coastal Waters, EPA-840-B-92-002.
  116. USEPA, (1993) Urban runoff pollution prevention and control planning, EPA/625/R-93/004
  117. USEPA, (1997) Clean Water into the 21st Century, 800-F-97-004.
  118. USEPS. (1986) Methodology for Analysis of Detention Basins for Control og Urban Runoff Quality. EPA-440/5-87-001. Washington, D.C.
  119. Vladimir N. and Harvey O., (1994) Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold
  120. Vladimir N., (1993) Water Quality Prevention, Identification and Management

of Diffuse Pollution

121. WEF, (1991) Manual of Practice : Existing sewer evaluation & rehumiliation

122. Zabel, T.(1985), The Advantages of Dissolved-Air Flotation for Water Treatment, Journal of AWWA, Vol.77, No.5, May, p.42~45

## 제 7 장 BMPs를 이용한 비점오염원 저감효과분석

### 제 1 절 서 론

#### 1. 연구의 배경 및 필요성

하천의 수질개선을 위한 부단한 노력에도 불구하고 호소와 하천 등의 오염저감에는 한계가 있었으며 그 이유를 점오염원에 대한 관리의 소홀보다는 “기타수질오염원”으로 불리는 불특정오염원에서 오염물질이 대량으로 하천 및 호소에 유입되기 때문인 것으로 추정하고 있다. 미국의 경우 총수질오염부하의 50%정도가 비점오염원에 의한 것으로 조사되고 있고, 폐쇄성수역의 경우 영양물질의 80% 이상이 비점오염원에 의한 것으로 계산되고 있다 (Novotny and Chesters, 1981). 한편, 우리나라에서도 비점오염원 조사연구사업을 실시하였으며 4대강 물관리대책(‘98~’00) 수립 당시의 비점오염물질 오염부하량이 수계별로 22~37%에 달하는 것으로 조사되었다.

새만금 유역으로부터 발생하는 비점오염은 1997년 말 BOD 기준으로 전체 오염부하량의 51%에 달하며, 특히 총인은 84.6%에 이른다 (농어촌연구원, 1997). 이중 대부분은 축산계로부터 비롯되며, 토지이용으로부터 BOD 발생부하량은 하루 18,491 kg으로 5.1%로 추정되었다. 한편, 배출부하량은 추가대책이 마련되기 전에는 하루 73,568 kg으로 이중 47%가 비점오염원으로부터 배출되며, 토지이용의 배출량은 하루 7,026 kg으로 전체 배출량의 20%에 달하는 것으로 추정되고 있다 (환경부, 1999).

비점오염 부하량의 상당부분은 주로 폭우시 하천과 강으로 유출되어 새만금호로 유입되게 된다. 점원오염이 연중 거의 일정하게 배출되는 특징과 비교할 때, 비록 그 농도에서는 점원오염에 비하여 작은 양이라고 할지라도, 총량에 있어서는 무시할 수 없는 양이며, 전체 수체에 직접적인 영향을 미치게 된다 (Novotny and Olem, 1994). 비점오염은 점원오염과는 달리 수처리 등에 의한 효과적인 제거가 어렵다. 이는 오염물질의 배출경로가 불특정하기 때문이며, 또한 농경지 등으로부터 배출되는 비점오염물



질의 농도 역시 상대적으로 낮아 처리효율에서도 낮을 수밖에 없다. 가장 효율적인 비점오염 저감방법으로는 발생원이나 그 부근에서 줄이는 것으로 알려져 있다 (Novotny and Olem, 1994). 따라서 비점오염의 제어와 관리는 BMP의 시행이 경제적으로 효과적인 것으로 나타났다. 비점오염최적관리기술에 따라 설치되는 비점오염 저감시설은 대상유역의 오염부하량 저감과 하천수역의 수질개선효과를 위한 시설이며 자연형 및 장치형 시설 등이 있다.

새만금호의 장래 수질의 개선을 위해서는 지속적인 수질개선노력이 이루어져야 하며 비점오염의 효과적인 저감과 관리를 위해서 비점오염 저감시설을 새만금유역에 어떻게 적절히 적용할 것인가에 대한 종합적인 제시가 시급하다. 새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 BMPs 연구는 장래 유역 목표수질의 달성을 위해 매우 중요한 수단이며 새만금호소수의 수질개선을 통해 수자원의 효율적 이용 측면에서도 매우 효과적일 것이다. 따라서 새만금 상류유역의 비점오염 제어와 관리기술의 개발이 반드시 필요하며 본 연구에서는 새만금유역의 비점오염원을 저감하기 위한 적절한 BMPs를 제시하고자 하였다.

## 제 2 절 비점오염원 저감시설 문헌연구

### 1. 비점오염원 저감시설의 종류

비점오염원 저감을 위한 강우유출수 관리시설에는 크게 저류형 시설, 침투형 시설, 식생형 시설, 장치형 시설 등으로 구분할 수 있으며, 이 중 강우유출수 저류시설 및 침투시설은 비점오염원의 저감뿐만 아니라 홍수 방재를 위한 우수유출 저감기능도 포함한다. 대부분의 비점오염원 유출은 강우유출과 동시에 진행되기 때문에 강우유출량이 저감될수록 비점오염원 저감량도 증가하므로 대부분의 비점오염원 저감시설과 강우유출억제시설은 기본적으로 비슷한 구조를 가지고 있다.

<표 7-1> 비점오염원 저감기술의 종류

관리유형		비점오염원 저감기술의 종류
자연형	식생형	· 식생여과대, 식생수로, 인공습지 등
	침투형	· 침투지, 침투트렌치, 침투도랑, 침투집수정, 투수성포장 등
장치형		· 와류형, 여과형, 와류형+여과형 등

비점오염원 저감과 강우유출량을 동시에 저감할 수 있는 시설은 다음과 같이 수질 개선, 수량개선, 친수개선, 홍수방지 등의 <표 7-2>와 같이 다양한 효과가 있다.

<표 7-2> 비점오염원 저감시설의 설치에 따른 각종 효과

구분	효과
수질개선	· 공공수역의 수질오염의 경감, · 하수도시설 부담의 경감 · 하천유지용수 및 건천화 방지용수의 확보
친수개선	· 도시경관의 형성, · 자연생태계의 복원, · 수변의 환경성 회복 · 레크레이션 기능의 증대, · 도시 열섬화의 완화
수량개선	· 하천평상시 유량의 회복, · 잡용수의 확보, · 지하수의 확보 · 소방용수의 확보
수문개선	· 수순환 기능 개선, · 염수침입방지, · 식생고사방지 · 기반침하방지
홍수방재	· 도시 수해의 경감, · 침투 유출량 감소

### 가. 식생형 시설

식생형시설은 우수유출수에 의한 침투유량의 감소와 비점오염원의 저감뿐만 아니라, 동·식물 서식공간 제공, 녹지경관 조성 등의 기능도 수행한다. 도시지역에서의 식생은 불투수성지역을 감소시키고 우수유출수의 침투 및 고형물 포획 효과의 기능이 있다. 이들은 다른 물리적 방법에 의해 집중 처리되기 전에 강우유출수로부터 부유고형물을 제거하기 위한 전처리방법으로도 적합하다. 식생수로란 식생 높이 아래로 물이 흐르는 얇은 수로를 의미한다. 식생여과대란 물이 아주 얇게 흐르는 식생이 조성된 평탄한 지표면을 의미한다. 주로 조성되는 식생으로는 잔디류, 정수식물, 습지식물

등이 있다. 일반적으로 사용되는 식생처리방법은 식생수로와 식생여과대가 있으나 두 방법 모두 때로는 식생여과대로 취급되기도 한다.

#### 나. 침투형 시설

침투시설은 우수를 지하로 침투되도록 유도하는 시설로서 주로 지표면이나 지하의 일정공간에 쇄석 등의 다공질 매질을 충전하여 우수를 지표 혹은 지표면 보다 얇은 곳에서 불포화지층을 통해 분산 침투시키는 시설물로서 환경적으로 가장 바람직한 기법이다. 침투시설은 집 앞의 뜰, 공원이나 녹지 등을 이용하여 침투율을 증가시키는 방법과 보도나 주차장 같은 불투수면을 투수성이 높은 재료를 이용하여 침투가 가능하도록 하는 방법이 있으며, 또한 빗물이 수로에 흐를 때, 지하로 스며들도록 유도하는 시설로 침투트렌치, 침투집수정, 침투측구 등이 있다. 우수저류시설은 침투유량을 저감시킬 수 있지만, 총유출량의 감소기능은 없다. 반면 우수침투시설은 지반의 침투 능력에 따라 지하로 침투시켜 강우유출량의 절대량을 감소시켜 하류하천의 홍수 부담을 경감시키는 것 이외에도, 토지의 다목적 이용이 가능하게 된다. 이와 같은 이유로 예전의 방재조정지 등의 저류형 유출 억제시설에서 현재는 개발로 인해 증대되는 유출량은 되도록 현지에서 처리한다는 생각을 기본으로 침투시설을 겸용한 우수저류·침투방식이 바람직하다.

#### 다. 장치형 시설

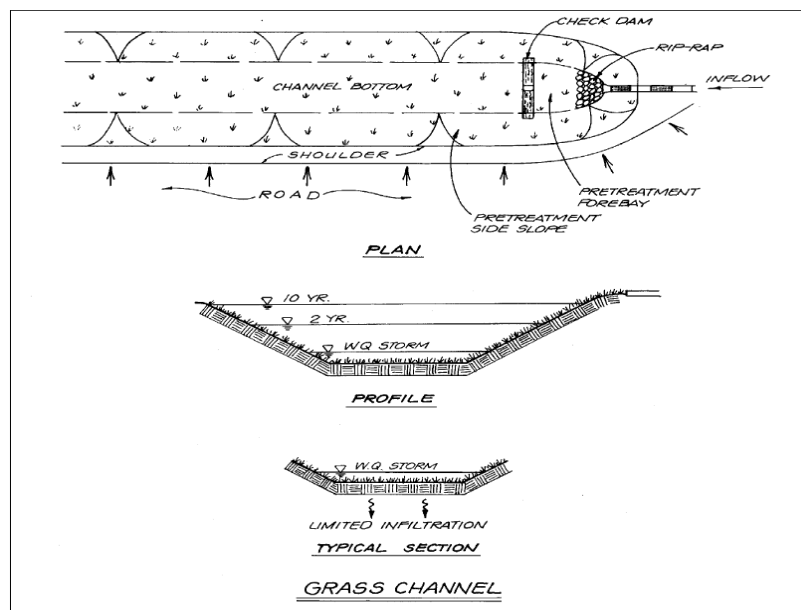
우수유출수에 포함된 오염물질을 제거하기 위하여 물리·화학적 장치를 이용하는 저감기술로서 스크린, 모래 등을 이용한 여과형과 유수를 분리하여 처리하는 와류형 등이 있다. 와류형 장치에는 Downstream Defender, CDS 등이 있고 여과형 장치에는 아쿠아 필터, M-Filter, Stormfilter, Stormsys 등이 있다.

## 2. 비점오염원 저감시설별 특징

### 가. 식생형 시설

#### 1) 식생수로

식생수로 (grassed swale)는 개수로 형태의 시스템으로서 유량조절둑 (checkdam)이나 건식 또는 습식 격자 (cell)내에 처리용량 (WQv)을 저류하여 처리하도록 식생처리된 시설이다. 강우시 토양의 침식을 줄이고 강우유출수의 유속을 감소시키기 위해 수로에 식생을 도입하는 것으로서 부유고형물과 금속 같은 오염물질 제거에도 효과적이다. 오염물질의 침투는 식생수로를 통해 수행되는 가장 중요한 오염물질의 제거과정이다. 침투과정에 의해 박테리아도 제거되나 영양물질 같은 용존성 오염물질은 잘 제거되지 않는다. 식생수로는 또한 식물에 의한 여과와 고형물의 침전에 의해서도 오염물질이 제거되며, 강우유출수에 포함된 오염물질 제거뿐만 아니라 강우유출수량 조절기능도 갖고 있다. 제거효율은 경사감소, 식생밀도 증대, 소규모 조절댐의 설치 등에 의한 강우유출수의 유속감소에 의해 증가될 수 있고 하부토양의 여과율이 높을 때 제거율도 향상된다. 식생수로는 연석을 설치하고 배수시스템을 재정비해야 하기 때문에 기존의 개발지역에는 적용이 어렵다. 식생수로의 간단구조는 (그림 7-1)과 같다.



(그림 7-1) 초기우수 처리를 위한 식생수로 간단구조

<표 7-3> 식생수로의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건설비용이 적고, 유지관리비가 낮음</li> <li>○ 운영 간단, 에너지 소모가 없음</li> <li>○ 슬러지가 없고, 화학적인 조작이 필요 없음</li> <li>○ 부유고형물질에 대한 처리촉진</li> <li>○ 강우에너지로부터 토양을 보호함으로써 토양침식 감소</li> <li>○ 유수속도 감소, 침투증가에 의해 강우 유출수량 감소</li> <li>○ 동·식물 서식공간 제공</li> <li>○ 녹지경관으로 기능</li> <li>○ 지표면 유출수의 저렴한 운송방법</li> <li>○ 수로의 침식방지에 매우 효과적임</li> <li>○ 경관향상 효과</li> <li>○ 유속을 저감하고 침전, 여과, 침투 등에 의해 빗물내 오염물질 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 모기발생 가능성이 있음</li> <li>○ 부하변동에 적응성이 낮음</li> <li>○ 오염물질 제거의 신뢰성이 낮음</li> <li>○ 기존 개발된 지역에서는 설치 곤란</li> <li>○ 토사의 유입이 많은 강우유출수 적용 곤란</li> <li>○ 큰 유량에서는 한계가 있음</li> <li>○ 식생유지 및 관리에 어려움이 있음</li> <li>○ 장기간 침수가능성이 있는 지역에는 식생에 미치는 영향으로 적절하지 않음</li> </ul>

식생수로 (grass channel)는 통수단면의 침식을 방지하기 위해 식생으로 라이닝 된 수로를 말한다. 식생수로는 바이오 필터라고도 하며 주로 빗물처리와 유속조절 (처리 시설 인입시설)을 위한 용도로 설치된다. 식생수로는 도로나 고속도로 노면 유출수 처리에 널리 적용되고 있다. (그림 7-2)는 실제 현장에 적용된 식생수로의 형태들이다.



(그림 7-2) 식생수로의 형태

## 2) 인공습지

습지(wetland)란 수 표면이 지면과 같거나 그 상부에 위치하여 (적어도 주기적으로) 강우나 하천수, 지하수 등에 의해 토양층이 물로 포화될 수 있는 침수지역으로, 이러한 환경에 적합한 생물이 서식할 수 있는 지역으로 정의할 수 있다. 미국에서 자연습지는 법적으로 하천이나 강처럼 하나의 수계로 간주되고 있다. 우리나라에서도 자연습지를 효율적으로 보전·관리하고 "국제적으로 중요한 습지보전에 관한 국제협약(람사협약)"을 준수하기 위하여 1999년 2월 습지 보전법이 제정 공포되어 같은 해부터 시행되고 있다.

우리나라 습지 보전법에서 규정하고 있는 습지의 정의는 “담수, 기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로 내륙습지와 연안습지를 말한다. 내륙습지라 함은 육지 또는 섬 안에 있는 호(湖) 또는 소(沼)와 하구(河口) 등의 지역을 말한다.”라고 되어있다. 2004년 현재 생태적으로 보전가치가 있는 전국 15곳의 습지가 습지보호구역으로 지정되어 관리되고 있다.

습지는 크게 토양과 물, 식생, 미생물, 동물로 구성되어 있다. 습지의 가장 큰 특징인 식생으로는 크게 부들과 갈대, 줄과 같은 정수식물 (emergent plant)과 뿌리와 줄기와 잎이 수면에 부유하여 성장하는 부평초, 개구리 밥 등 부유식물 (floating plant), 그리고 뿌리는 바닥 토양에 있고 잎과 줄기는 수중에서 자라는 침수식물 (submergent plant)로 구성되어 있다.

인공습지(constructed wetland)는 자연상태의 습지가 가지고 있는 처리현상 및 능력을 인위적으로 도입하여 수 처리 목적으로 조성하는 습지를 말한다.

인공적으로 습지를 조성하여 오염물질을 처리한 것은 전혀 새로운 기술이 아니다. 과거 우리조상 들은 마을 공동 우물가에 미나리 습지를 조성하여 설거지나 빨래 후 발생하는 오염물질을 처리하였다. 과거의 미나리 습지의 처리기능은 오늘날 보다 정교하게 설계되어 설치되고 있는 인공습지의 기능과 기본적으로는 동일하다.

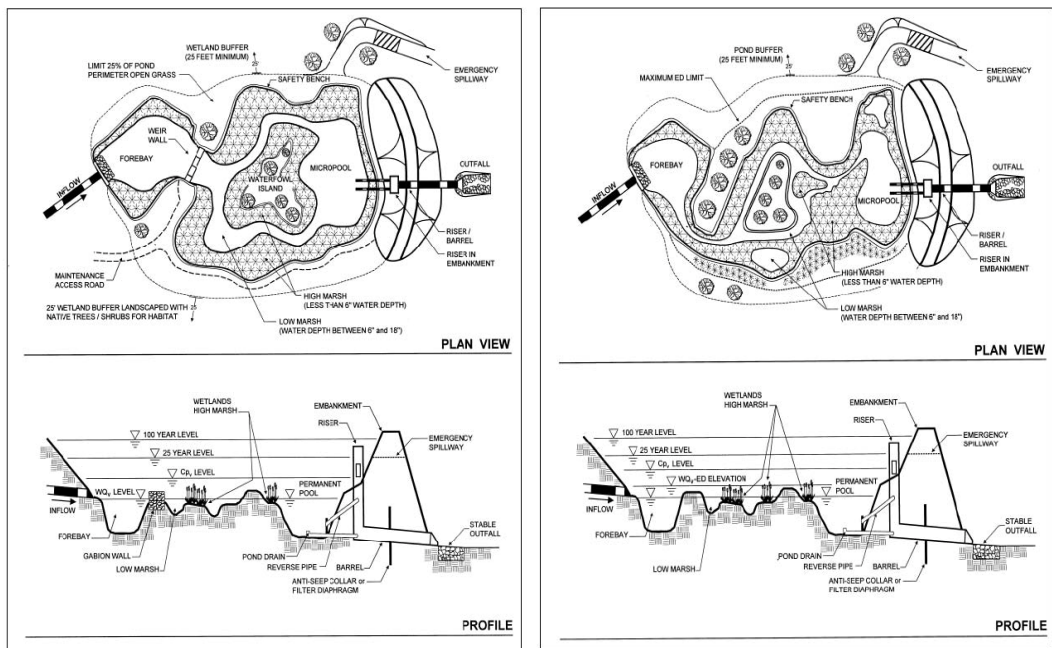
현재 전 세계적으로 약 1000여 개의 인공습지가 건설되어 운영되고 있으며 이중에 약 절반 정도가 미국에 있다. 우리나라에서도 1980년대 후반부터 군부대를 중심으로 소규모 간이 습지가 설치 운영되고 있다.

시화호 오염사건과 새만금 간척사업을 계기로 물 관련 국영기업체(농업기반공사,

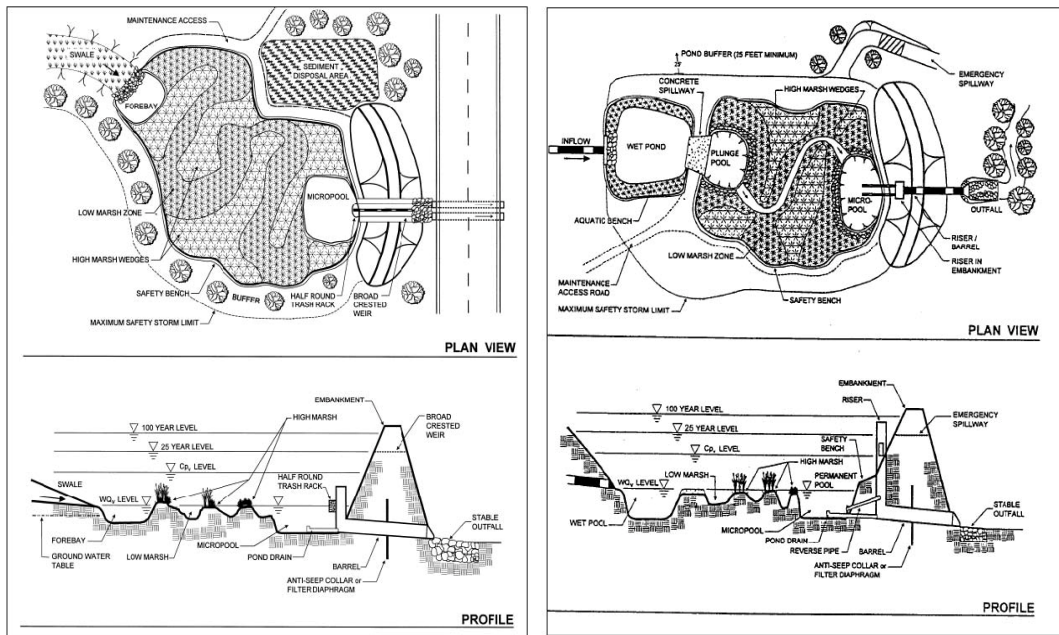
수자원공사)를 중심으로 전국의 다목적 댐, 담수호, 그리고 농업용 저수지를 중심으로 인공습지가 설치되기 시작하였다. 최근에 습지는 하수처리장 방류수의 수질개선편야와 비점오염물질의 처리목적으로 적용되면서 그 적용분야가 크게 확대되고 있는 양상이다.

비점오염물질 처리용 인공습지는 강우유출수에 함유되어 있는 오염물질이 생분해, 식물흡수, 침전, 여과, 흡착 등을 통하여 최대로 제거가 이루어질 수 있도록 인공적으로 조성한 습지를 말한다. 또한 이러한 목적의 인공습지는 오염물질의 수계유입을 저체시키거나 홍수조절 기능과 함께 야생동물과 생물에게 서식처를 제공하는 등의 기능도 수행한다.

비점오염물질 처리용 습지를 분류하면 얇은 습지, 체류시간 확장형 얇은 습지, 연못/습지 결합형, 포켓형 습지 등이 있고 각각의 습지형태를 그림으로 나타내면 (그림 7-3)과 (그림 7-4)와 같다.



(그림 7-3) 습지의 형태 (a) 얇은 습지, (b) 체류시간 확장형 얇은 습지



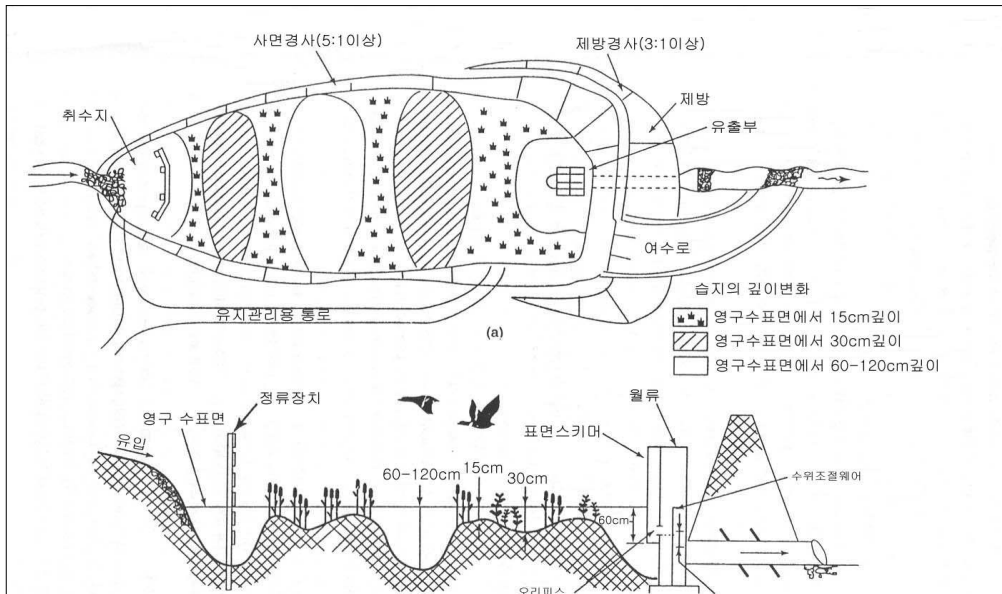
(a)

(b)

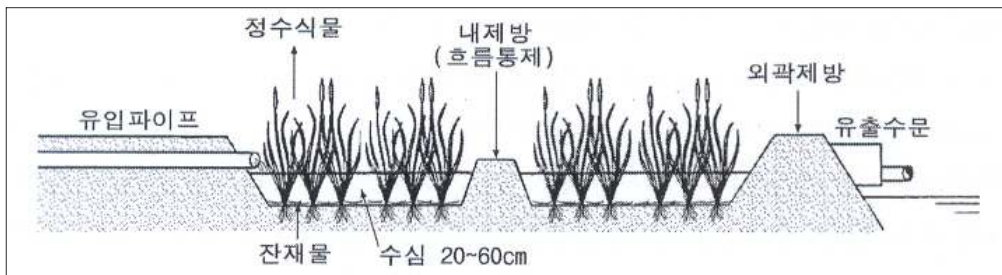
(그림 7-4) 습지의 형태 (a) 연못/습지 결합형, (b) 포켓형 습지

인공습지는 수문학적 특성에 따라 자유흐름시스템 (free water surface system : FWS), 지하흐름시스템 (subsurface flow system : SFS), 부유식물 시스템 (floating aquatic plant system : FAPS)으로 크게 분류하며 오염물 부하량에 따라 2~3개 습지를 직렬 또는 병렬로 구성한다. 자유흐름시스템(FWS)은 유입수가 저류하는 장소 (Basin), 유입수가 흐르는 수로 (Channel), 유입수의 침출을 막는 제방으로 이루어지며, 정수식물이 자라는 수심 0.2~0.6 m 정도의 식재구간 (Closed Water)과 수심이 다소 깊어 정수식물이 자라지 않는 수심 1~1.2 m 개방구간 (Open Water)으로 설계한다.

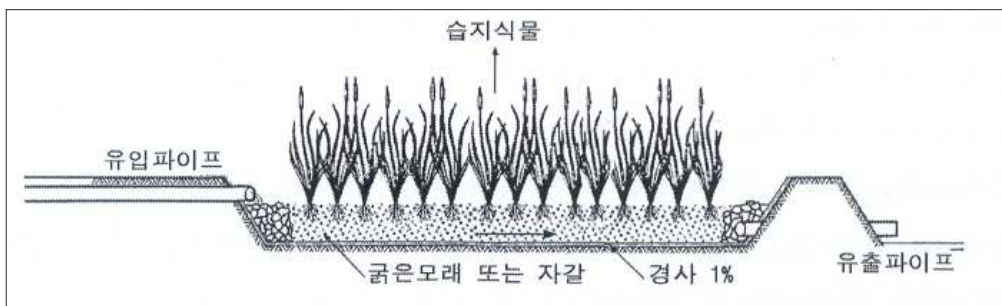




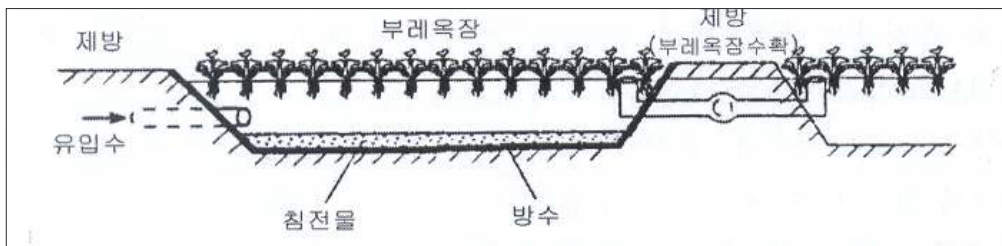
(그림 7-5) 습지의 평면도 및 종단도



(그림 7-6) 지표흐름형 습지 개념도



(그림 7-7) 지하흐름형 습지 개념도



(그림 7-8) 부유식물 수생식물 습지 개념도

북미에서 많이 활용하는 자유흐름 기법은 연못시스템 혹은 기계식 2차처리장에서 처리한 처리수의 질소와 인을 낮은 수준으로 처리하거나, 초기 강우유출수의 저류 및 오염하천수 등 비점오염물질의 질소, 인을 낮은 수준으로 처리하기 위해 활용된다. 반면에 지하흐름형시스템은 (SFS)은 지면이 물에 잠기지 않으며 땅속에 도랑이나 침투가 용이한 바닥층을 설치하여 자갈이나 굵은 모래속으로 유입수가 침투되어 정화되며 표토에 습지식물을 심는다. 인공습지는 부하량에 따라 23개 습지를 직렬 또는 병렬로 구성한다.

인공습지의 수질정화 효과로는 SS침전, BOD제거, 질소와 인 제거, 중금속 제거 등이 규명되어 왔다. SS는 주로 침전에 의해, BOD는 미생물과 유기물의 생물학적 대사 (Metabolism)에 의해, 질소는 대부분 질산화 (Nitrification)와 탈질화 (Denitrification) 현상에 의해 제거된다. 질산화는 수중의 호기성 미생물에 의해서 일어나는데 질산화물 (Nitrate)은 습지바닥의 침전물이나 토양으로 확산되어 혐기성 상태에서 탈질소화 가스가 발생한다. 호기성 미생물의 작용으로 유기물이 분해되면서 나오는 질소와 인은 조류 (Algae)가 성장하면서 섭취하여 제거되고 성장한 조류는 일정기간이 지나면 죽어서 습지바닥으로 침전된다. 또한 습지에서 중금속은 침전, 식물과 토양에 의한 흡수에 의해 제거된다.

인공습지는 기존의 하수처리장에 비해 많은 면적이 필요로 하며, 비교적 평탄한 지면을 요구한다. 현행 물질부하에 의한 설계기준에 의하면 전처리나 원하는 수질에 따라 다르지만 1,000 m<sup>3</sup>처리에 1.5~5 ha가 필요하다. 인공습지에 대한 현행 설계, 시공, 운영기준이 불명확하여 소요처리면적의 범위가 넓다. 인공습지나 자연습지는 복잡하고 동적인 (dynamic) 시스템인데 그 거동에 관한 이해는 매우 제한적이다. 그러나 세

계적으로 많은 곳에서 실험적 습지 또는 실제 운영하는 습지들에 의해 데이터베이스를 구축하고 있으므로 정확한 설계와 운영기준이 개발될 것이다. 다른 단점으로는 습지의 최고효율은 식물의 성장과 조성상태에 의존하기 때문에 설계효율이 나타나려면 2~3년은 지나야 한다. 즉, 습지의 건설과 식물의 식재가 끝남과 동시에 완전히 정상적인 가동이 이루어지지 않는 점이다.

습지의 사용연한은 잘 알려져 있지 않은 데 이유는 성공적으로 운영 중인 시스템들이 아직 20년을 초과하지 않았기 때문이다. 인공습지는 천년이 넘게 수질개선을 한 자연습지를 모방한 것이므로 처리습지는 시간이 지남에 따라 해로운 영향을 나타낼 것 같지는 않고, 일정기간이 지난 후에 습지를 개조할 필요성은 있을 것이다.

생활하수처리용 습지의 경우 퇴적은 매년 2~3 cm 정도로 낮게 측정되었으며, 처리효율의 손실은 없는 것으로 보고되고 있다. 이러한 퇴적율은 습지 제방높이를 결정하는데 고려되어야 하며, 20년 또는 그 이상의 사용기간을 고려하면 여유고는 1m 정도를 가져야 한다. 그 때에는 시스템을 청소하고, 다시 가동해야 할 필요성이 있으며, 퇴적물은 유해물질의 조사를 거친 후 기존 하수처리장의 슬러지 처리와 같이 퇴비화하거나 농지살포를 할 수 있을 것이다. 마지막으로 부적절하게 설계되거나 운영된 인공습지는 해충이나 모기 또는 설치류 문제로 인하여 인근 주민들에게 악영향을 미칠 것이다. 이러한 문제는 적절하게 설계하고 운영하면 쉽게 피할 수 있을 것이다. <표 7-4>에는 인공습지의 장단점에 대해 정리하였다.

<표 7-4> 인공습지의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건설비용이 적음</li> <li>○ 상대적으로 작은 유지관리비용</li> <li>○ 일관성이 있고 신뢰성이 있음</li> <li>○ 운영이 간단</li> <li>○ 에너지가 많이 필요하지 않음</li> <li>○ 질소, 인 처리가능</li> <li>○ 슬러지가 없고, 화학적인 조작이 필요 없음</li> <li>○ 부하변동에 적응성이 높음</li> <li>○ 식물의 다양성 확보와 야생 동식물 서식처 제공</li> <li>○ 우수한 경관형성</li> <li>○ 부유물질과 입자상 오염물질 제거에 탁월</li> <li>○ 습지식생에 의한 영양소의 생물학적 흡수</li> <li>○ 침투유량 조절을 통한 홍수예방 기능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 많은 면적이 소요</li> <li>○ 최적설계 자료가 부족</li> <li>○ 기술자와 운영자가 습지기술에 친숙하지 못함</li> <li>○ 설계회사에서는 설계비용이 많이 소요</li> <li>○ 모기발생 가능성이 있음</li> <li>○ 습지식생유지를 위해 연속적인 기저유량 필요</li> <li>○ 식물의 고사시 (가을과 동절기) 영양소의 배출</li> <li>○ 상대적으로 다른 BMPs에 비해 부지 요구도와 건설비용이 큼</li> </ul>

### 3) 식생여과대

식생여과대 (Vegetated Filter Strips, VFS)는 완충지대라고도 하며 수로는 아니지만 식생수로와 유사한 방법이다. 식생여과대는 지표 강우유출수내 오염물질 제거를 위해 사용된다. 유입된 유출수가 식생여과대를 통해 흐를 때 유출속도가 감소되고 오염물질은 여과, 흡착, 중력 침전과정을 통해 침전물 및 각종 오염물질을 제거한다. (그림 7-9)에서 나타낸 것과 같이 강우유출수가 여과대면을 균등하게 흐르고 단회로 현상이 없는 이상적 환경이 유지된다면, 식생여과대는 침전물 제거에 매우 효과적일 것이다 (최지용과 신창민, 2002).

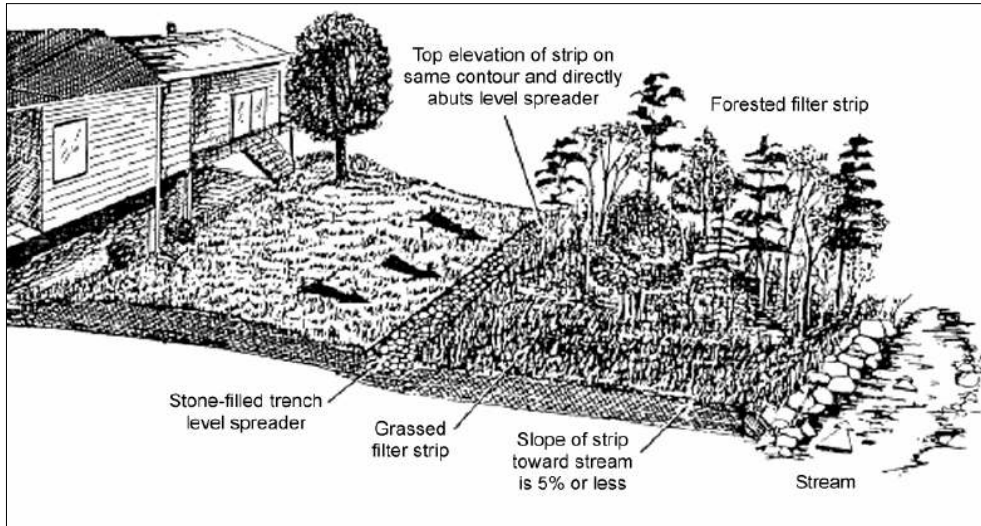
식생여과대 특징으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

① 강우 시 집중되는 강우유출수의 흐름을 분산시켜 처리될 수 있도록 하며, 단회로 현상이 생기지 않도록 주의하여 여과대의 수직 방향으로 조성한다 (그림 7-10).

② 오염물질 제거효율은 수역의 크기, 유속, 여과대의 길이와 크기, 경사 그리고 토양의 침투성 및 여과성에 의해 결정된다.

- 식생여과대의 경사가 증가 할수록 처리효율은 감소하는데 보통 17% 이상의 경

사에서는 제 기능이 발휘될 수 없으며, 5% 미만의 경사에서 최적의 효과를 기대할 수 있다.



(그림 7-9) 주거지역의 식생여과대



(그림 7-10) 수직방향으로 설치된 식생여과대

- 길이가 짧을수록 경사도는 작아야 하며, 여과대 길이가 6m 이하라고 했을 경우 경사는 “0”에 가깝게 조성되어야 처리효율을 기대할 수 있다.

<표 7-5>는 식생여과대 장·단점을 정리한 것이다.

<표 7-5> 식생여과대의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 강우에너지로부터 토양을 보호함으로써 토양침식 감소</li> <li>○ 지표면 유수속도 감소, 침수시간 증가, 침투증가에 의해 강우유출수량 감소</li> <li>○ 유속이 감소됨에 따른 여과, 흡수 등에 의한 부유성 침전물 제거</li> <li>○ 자연환경개선 효과</li> <li>○ 부유고형물, 유기물질 그리고 일부 미량 금속같은 오염물질 제거에 가장 효과적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저장과 침투기능이 충분하지 못하여 수질개선 미흡가능</li> <li>○ 오염물 제거에 필요한 이상적 환경이 유지되는 것을 조건으로 함</li> <li>○ 관리가 노동집약적임.</li> <li>○ 오염물질 제거를 위한 최소너비가 필요하므로 일정규모의 토지가 필요함 (도시지역 설치 어려움).</li> <li>○ 영양물질과 같은 용존성 오염물질 제거에는 효과 미흡</li> </ul>

## 나. 침투형 시설

### 1) 침투도랑

침투형 시설은 토양을 통해 강우 유출수를 지하로 침투시키기 위한 시설로서 아래와 같은 종류가 있으며 저감시설 내부에 충전하는 물질의 종류에 따라 다양한 오염물질 특성별로 제거효과를 볼 수 있다. 침투형 시설은 오염물의 제거효과가 아주 좋은 것으로 선진국에 많이 설치된 것으로서 주로 침전, 생분해, 여과에 의한 오염물 제거를 위주로 한다. 이 시설의 침투능력의 지속을 위하여 대부분의 퇴적입자를 제거하기 위한 침전시설이 반드시 설치되어야 한다.

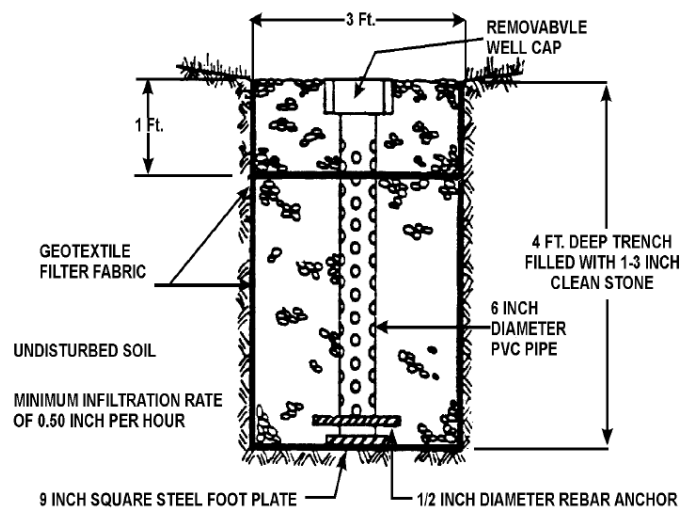
○ 침투조 : 유출수의 차집과 임시저장 및 침투를 위해 투수성 토양에 설치.

○ 침투도랑: 유출수 수집과 임시저장, 지속적 침투로 인한 지하수의 함양 및 강우 유출수의 침투유량 감소기능.

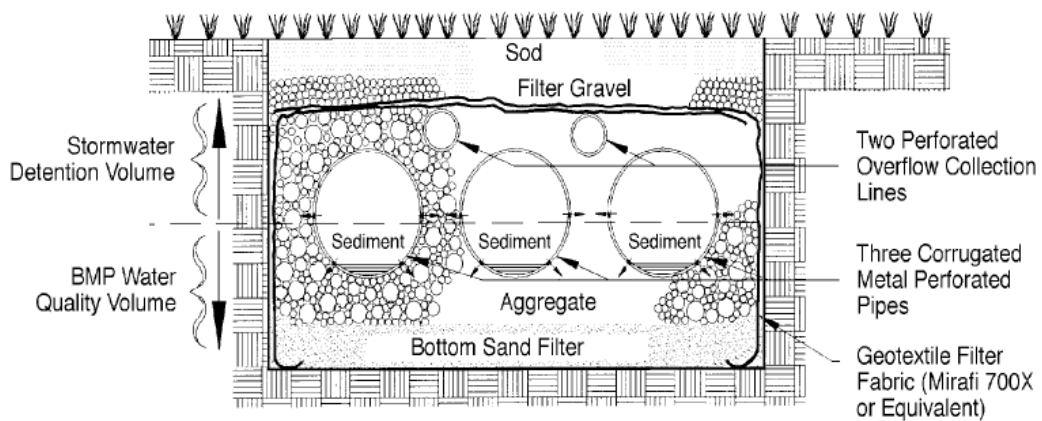
침투도랑은 길고, 좁으며, 자갈 등으로 채워진 도랑이다. 이 장치는 강우유출수의 유출구가 없는 것이 대부분이다. 유출수는 자갈 사이의 빈 공간에 저장되며, 바닥으로 여과 되어, 토양층으로 흡수된다. 침투도랑은 미세한 퇴적토 입자와 오염물질의 제거

에 우수한 것으로 알려져 있다. 전처리로 거름장치, 침전조, 또는 저류조를 사용하는 것이 큰 입경의 퇴적물들이 도랑으로 유입되어 공극을 막아 효율이 저감되는 것을 최소화 할 수 있다.

아래 그림은 「Storm Water Technology Fact Sheet Infiltration Trench (EPA 832-F-99-019 September 1999)」에 수록된 내용이다.



(그림 7-11) 침투도랑의 일반적 개념도



(그림 7-12) 관로 저장 형태의 침투도랑

침투도랑 시설은 침투조와 같이 많은 면적을 필요로 하지 않는다. 침투유량은 유량 분배기 (flow splitter)를 통해 유입되며 강우유출수가 많아 침투용량을 초과하는 경우 우회로를 이용하여 월류시킬 수 있다. 침투용 충전재는 최소 3.5 cm, 최대 7.5 cm의 깨끗한 입도를 가진 것으로 공극율은 0.3~0.4가 되도록 한다. 설치시, 최상부 30 cm를 제외하고 막힘을 방지하기 위하여 투수성이 있는 부직포를 이용하여 충전재를 감싼 후 설치한다. 또한, 직경 10~15 cm의 뚜껑이 있는 관측공을 설치하여 수위, 침투 시간 및 오염물 퇴적량을 관측할 수 있도록 한다.

침투도랑은 도로 및 주차장과 같은 토지이용에서 배출되는 비점오염물질의 효율적 처리를 위하여 많이 적용되는 시설중의 하나이다. 도로 및 주차장의 경우 조경시설 공간 등이 존재하기에 선형기술인 침투도랑의 설치는 선진국의 경우 용이하게 적용되고 있다. 침투도랑의 경우, 강우시 발생된 강우유출수를 토양을 통해 지하로 침투시키기 위한 시설로서 지하수를 재충전할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 배수를 위한 우회로는 불필요하지만 관리가 미흡하면 침전물로 인해 공극이 폐색되고 지하수가 오염될 우려가 있다. 부유성 침전물과 부유쓰레기, 박테리아 등은 효과적으로 제거되나 용존성 영양물질의 제거에는 큰 효과가 없어 지하수를 통해 수계로 배출될 수도 있다. 또한 본 시설의 적용에 있어서는 설치하고자 하는 지점의 지하수위의 고려가 요구된다.

침투도랑은 침사지와 침투도랑을 연결하는 시스템으로 구성되어 있으며, 침사지에서는 중력침전을 통해 입자상 물질인 토사와 각종 쓰레기를 제거하는 공정이며, 침투도랑은 각종 여재를 통해 흡착과 여과를 통해 용존성 물질을 제거하는 공정으로 이루어져 있다.

① 중력침전 : 중력적인 방법으로 강우 유출수내에 함유된 고형물질들을 침전 제거하는 방법이다. 여기에는 입자의 크기와 분포, 유출수의 점성계수와 밀도 및 입자의 속도에 의해 영향을 받는다. 이러한 침전은 최적관리시설 (Best Management Practices, BMPs)중에서 다양한 비점오염 저감시설에서 전처리 공정 (Pre-treatment process)으로 많이 적용되고 있으며, 침투도랑에서도 중력침전이 가능한 입자상 물질인 토사를 제거하기 위한 공정이다. 또한 중력침전을 통해 입자상 물질이 제거될시



이러한 고품물에 흡착된 각종 유기물 및 중금속 등의 오염물질들도 동시에 제거하는 메커니즘을 가지고 있다.

② 여과 : 침투도랑에서 여과기작은 특정 유공성 여과재를 이용하여 입자성 오염물질을 제거하는 것을 의미한다. 여기에 사용되는 여과재는 플라스틱, 모래, 자갈, peat, 제올라이트, 토양입자 등을 의미하며 때로는 이들의 혼합 여과재를 사용한다. 투과는 많은 수의 인자를 가진 복잡한 과정이며, 입자의 크기와 분포, 여과재 공극의 크기 및 분포 그리고 강우 유출수의 투과 속도 등이 여과재를 이용한 처리방법의 효율에 중요한 영향을 끼친다.

③ 침투 : 침투 기작은 강우시 유출되는 유출수의 관리 (runoff control)에 매우 중요한 방법이며, 유출수의 양을 줄이고 오염물질을 제거할 수 있는 방법이다. 일반적으로 침투도랑은 도로나 주차장 및 도로연변에 주로 설치가 되며, 유출되는 양을 줄이고 흡착을 통해서 수질을 개선할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

일반적으로 침투도랑과 같은 모든 비점오염원 저감시설은 오염물질을 저감하기 위한 환경시설로써 지속적인 유지관리가 요구된다. 침투도랑의 경우 충분한 처리효율을 가지기 위한 여과재의 수명연장과 유지관리 비용을 효율적으로 저감하기 위하여 초기공정으로 침사지를 두게 되는데 이는 중력침전 가능한 비점오염물질들을 초기에 침전시켜 제거함으로써 침투도랑에서의 유지관리 비용을 절감할 수 있는 방법이다.

침투도랑은 토사와 같은 입자상 물질의 제거를 위한 침사지가 선행공정으로 설치되게 되며, 후속공정으로 여과와 침투 기작을 통해 용존성 오염물질을 제거하기 위한 여과 기능이 후속공정으로 연결되는 시스템을 가지고 있다. 이러한 침투도랑의 장단점을 살펴보면 <표 7-6>과 같이 정리된다.

침투도랑은 충분한 공극을 가진 모래 등의 재료를 이용하여 설계 및 시공될 수 있으나, 비점오염관리를 위한 각종 여과형 시설에서 적용하는 각종 여과 재료를 사용함으로써 처리효율을 향상시킬 수 있다. 침투도랑은 침전, 침투 및 여과 메커니즘을 이용하여 오염물질을 제거하는 시스템이기에 여과재의 선정은 매우 중요하다. 침투도랑의 경우 침투 자체만으로도 50% 이상의 처리효율을 나타내지만, 처리효율을 높이기 위하여 여과기능을 가지도록 여과재를 주입하는 기능을 추가할 수 있다. 또한 여과재

는 처리효율 상승에 큰 영향을 주지만, 유지관리 및 경제성 평가도 충분히 이루어져야 한다.

<표 7-6> 침투도랑의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 침투도랑은 필요한 유량이나 월류빈도를 감소시키기 위해 강우유출수 하수관거 시스템의 설계에 포함 가능.</li> <li>○ 지하수 충전 및 일시적 강우유출수의 저류를 통해 지역의 범람 해소에 기여.</li> <li>○ 자연적 배수시스템을 이용하여 에너지 비용에서 효과적.</li> <li>○ 수리학적으로 침투보다 빠르게 기능</li> <li>○ 지하수를 재충전 가능.</li> <li>○ 공간이 제한된 지역, 즉 도로 및 주차장 등과 같은 지역과 도심지의 조경공간에서도 적용 가능.</li> <li>○ 지하에 설치되는 장치형 시설에 비해 유지관리가 용이함.</li> <li>○ 공공 안정성에도 효과적이며, 지역주민들에게 조경공간으로의 활용이 가능하여 심미적인 기능을 가짐</li> <li>○ 환경시설이 혐오시설이 아닌 친환경적이고, 대민친화형이 될 수 있음.</li> <li>○ 설계기술로도 개발사업에 직접 접목할 수 있기에 로열티 제공 등과 같은 설치 및 유지관리시 부대비용이 저렴함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 부적절한 설계, 오염물질 부하, 관리 소홀 등으로 인한 실패 가능성이 있기에 전문화된 설계인력이 요구됨.</li> <li>○ 침투도랑을 환경친화적 및 대민친화형의 조경공간으로 유지를 위하여 지속적인 유지관리 빈도 필요.</li> <li>○ 침사를 통과하여 지속적인 침투도랑으로의 오염물질 유입에 따른 침투도랑의 막힘 우려 있음.</li> <li>○ 지속적인 유지관리 부재시 효율저하와 함께 지하수 오염문제 유발 가능.</li> <li>○ 대민친화형 시설이 되기 위해서는 지속적인 식생 관리가 중요함.</li> <li>○ 침투도랑의 설계 및 저류용량을 넘어서는 여름철 큰 규모의 강우가 발생될시 침투도랑 상부에 비위생적인 쓰레기 등의 축적이 발생될 수 있음.</li> </ul>

여과재에 대한 설명 및 요약은 다음 장의 와류+여과형에서 자세하게 조사하였기에 여기에서는 침투도랑의 여재가 가져야 할 조건을 정리하였다.

① 침투도랑은 충분한 저류공간을 가져야 하기에 사용되는 여재는 충분한 공극을 가진 재료여야 함.

② 여과재료는 친자연적 및 대민 친화적 재료이어야 함.

③ 대지에서 유출되는 비점오염물질은 대부분 입자상 물질 및 중금속이기에 이의 처리 및 저감에 효율적이어야 함.

④ 국내에서 쉽게 구할 수 있는 재료이어야 함.

⑤ 비용측면에서도 충분히 경제성이 있어야 함.

⑥ 침투도랑은 지하수 충진을 위한 침투기능이 충분히 확보되어야 하기에 일정 이상의 투수계수를 가진 재료여야 함.

## 다. 장치형 시설

### 1) Downstream Defender

Downstream Defender은 분류식 우수관거의 초기우수내에 포함되어있는 비점오염원을 처리하는 설비로 고형물을 포함한 유체가 스크린에 연속 편향 분리됨으로 강우 유출수중의 직경 0.5 mm이상의 고형물을 분리하는 장치이다. 맨홀형태의 구조물에 원통형 편향스크린을 설치하여 유입수의 각종 협잡물을 제거하는 장치로서 분리된 협잡물은 맨홀중앙부의 Sump내로 포집된다. (그림 7-13)은 와류 A형의 강우 처리개념을 나타내고 있으며 (그림 7-14)는 고형물의 분리에 있어서 일반적인 screen에 의한 것과 Downstream Defender 시설 내부에 설치된 screen에 의해 편향 분리되는 차이점을 나타내고 있다.

Downstream Defender의 특징으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

① 볼텍스 현상 및 와류형 스크린을 이용하여 침전물 및 부유물을 제거한다.

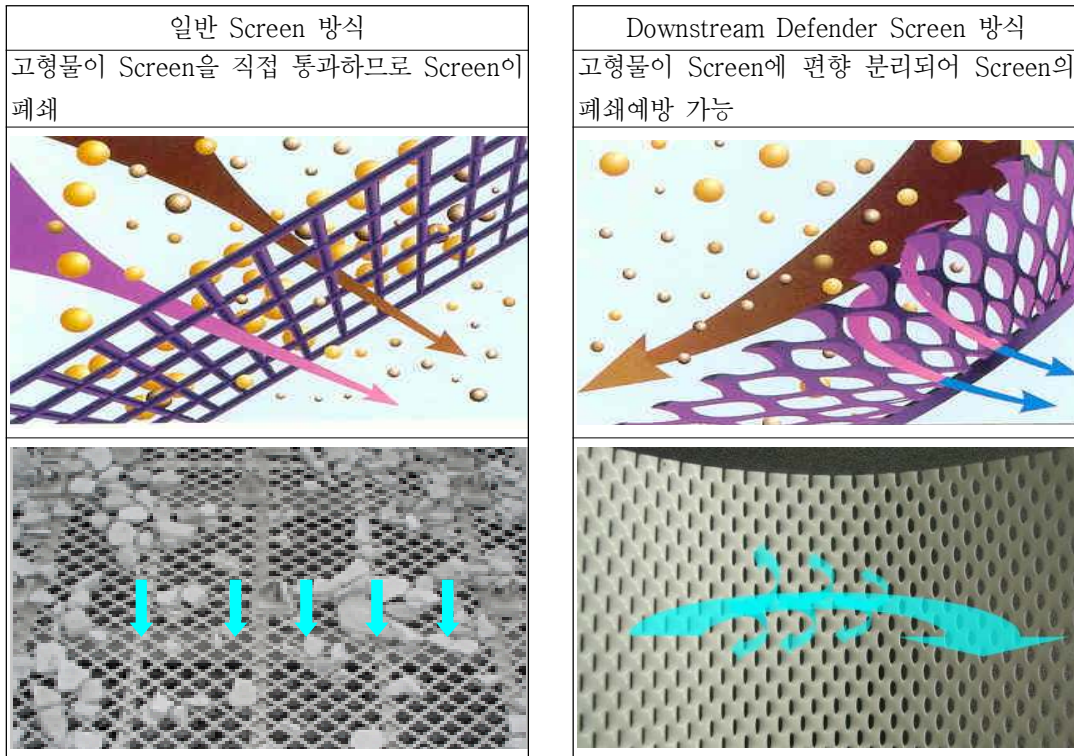
② 유입유량 및 농도에 관계없이 실시간 처리가 가능하다.

③ 유입유량 초과시에도 오염물질을 장치 내에 보유한다.

④ 기존시설과 달리 부지소요가 작고 구조물이 지하에 매설되므로 장애가 없으며 시각적으로도 깨끗하다.



(그림 7-13) Downstream Defender의 강우처리 개념도



(그림 7-14) 일반 Screen과 Downstream Defender Screen의 비교

⑤ Downstream Defender 스크린은 기존의 직접스크린 방식이 아니 유체가 편향 접근 분리되어 지나가므로 전혀 막히지 않는다.

⑥ 부유 및 침전물질 (SS), 유류물질 (Oil&Grease) 등을 효율적으로 제거한다.

⑦ 대규모 유량까지 처리범위가 크며 유량변동에 대한 안정적인 처리 가능하다.

⑧ 소규모에서 대규모 용량까지 Downstream Defender 시설이 규격화되어 있다.

⑨ Precast 콘크리트 제품을 사용하여 신속·정확한 설치가 가능하다.

⑩ 내부구조가 간단하고 유지관리가 용이하다 (연 1~2회 정도 내부에 포집된 오염물질을 진공흡입 차량으로 제거).

⑪ 제거효율 : 입자별 제거율과 오염물질별 제거효율은 아래 <표 7-7>과 <표 7-8>과 같다.

<표 7-7> Downstream Defender의 입자크기에 따른 제거율 (2.4 mm 스크린 사용<sup>(1)</sup>)

오염물 입자크기	0.425 mm 이상	0.3~0.425 mm	0.15~0.3 mm	0.075~0.15 mm
제거율(%)	100	96	76	42

<sup>(1)</sup> Storm Water Treatment BMP New Technology Report, State of California Department of Transportation (2004).

<표 7-8> Downstream Defender 처리효율 (국외 사례 요약)

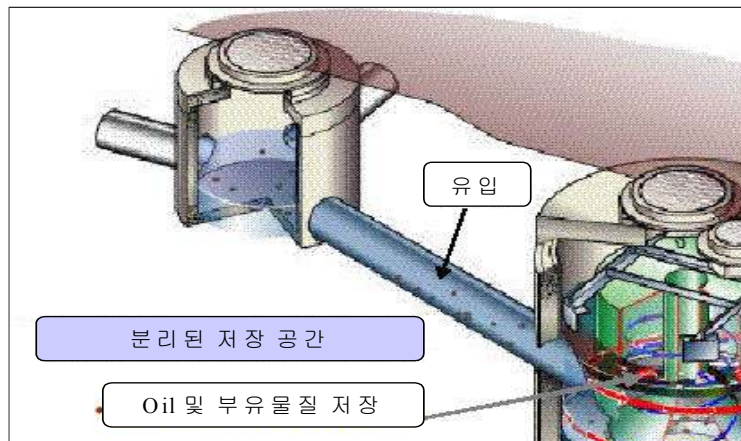
구 분	BOD	COD	TSS	TN	TP	Oil&Grease	중금속
제거율(%)	20~50	20~50	30~60	20~50	20~50	75~80	80

## 2) CDS

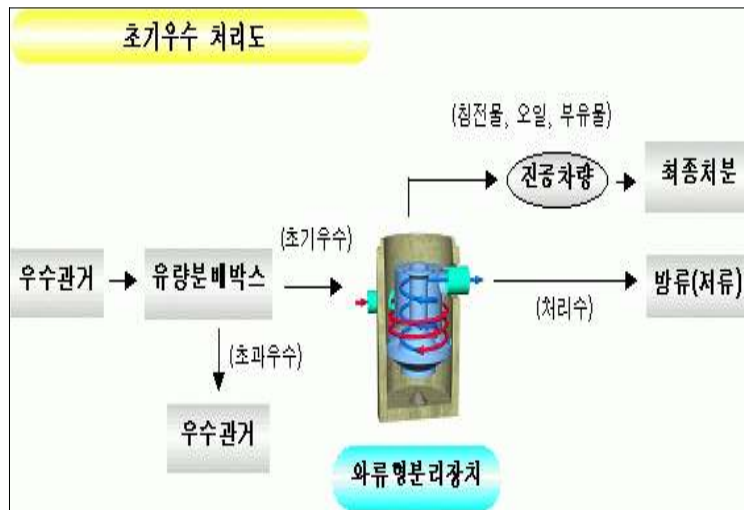
CDS는 와류형 분리기로서 수리동력학적 와류현상 (Vortex)을 이용하여 우수 중에 포함된 침전성고형물과 Oil, 부유물 등을 효과적으로 제거할 수 있는 장치형 시설이다. CDS는 우수내 오염고형물질 입자직경 150  $\mu\text{m}$ 이상 (비중 2.65)인 입자를 90%이상 제거함과 동시에 부유물질과 오일 등도 함께 제거 가능하며 제한적이긴 하나, 입자에 부착된 영양물질, 유기물질도 제거가 가능한 것으로 알려져 있다. 또한 초기우수와 함께 유출되는 중금속 물질은 대부분 고형입자에 부착되어 이동되므로 중금속 제거도 일부 가능하다.

(그림 7-15)와 (그림 7-16)은 CDS 시설의 개요 및 초기우수 처리 개요를 그림으로 나타낸 것이다. CDS 시설로 유입되는 초기우수는 조에 접선방향으로 유입되어 덩플

레이트 외부에서는 하향류, 내부에서는 상향류의 수력학적 와류 (Vortex)가 형성되면서 Oil과 부유물은 수 표면으로 상승하여 저류되고, 입자성 고형물질은 입자에 작용되는 원심력과 충돌·흡착현상운동방향 전환 등의 처리기작 및 중력 침전효과에 의해 침전하여 저류된다. 또한 침전하여 저장된 고형물질이 재부상하지 않는 구조로 되어 있다.



(그림 7-15) CDS 시설 개요



(그림 7-16) CDS 시설을 이용한 초기우수 처리개요

별도의 분리된 공간에 안전하게 저류된 Oil과 부유물 및 침전물은 기존의 하수관거 준설차(진공흡입식)에 의해 용이하게 제거된다.

와류 B형을 설치함으로써 다음과 같은 효과를 볼 수 있다.

- o 우수내 오염물질은 입자직경이 150 μm 이상 (비중 2.65)인 입자를 90% 이상 제거함과 동시에 부유물질과 오일 등도 함께 제거한다.

- o 방류 호소 및 하천의 수질을 개선함으로써 수자원의 가치를 향상시키고 친수환경을 조성한다.

- o 현재 각 선진국에서 새로운 환경오염문제로 부상되고 있는 비점오염원 처리의 대책으로서 효율적인 초기우수처리 대책을 수립할 수 있다.

- o 극히 적은 면적이 소요되므로 공기단축 및 경제성, 토지이용률을 높일 수 있다.

<표 7-9>는 CDS 시설의 장단점을 표로 정리한 것이다.

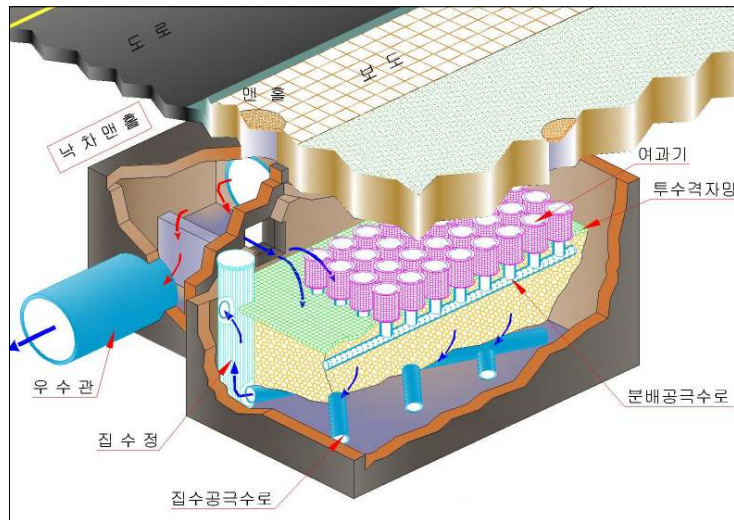
<표 7-9> CDS 시설의 장단점

분 류	내 용
처리대상 및 제거효율	·미세침전물 및 부유물 (Oil 등)
처리유량 및 부지소요	·처리유량범위가 넓음 ·부지소요 적음
시공성	·Precast 제품으로 빠른 시공 (도심에 적합)
유지관리 항목	·퇴적물 및 부유물 준설 ·소모품교환 없이 유지관리 용이
장 점	·초과유량 안정적으로 우회시킬 수 있는 구조 ·유지관리 가장 간편, 관리비 저렴 ·소모품 발생 없음. ·처리유량범위가 탄력적이며, 시공성 우수 ·침전을 이용한 시설 중 가장 높은 제거 효율 ·다른 BMPs의 전처리시설로 연계가능하며, 설치면적이 가장 적음 ·구동부가 없어 전기 불필요. ·지하 매설깊이에 영향을 받지 않음.
단 점	·용존성 오염물질 제거 곤란 ·T-N, T-P 제거 제한적

### 3) Aqua-Filter

Aqua-Filter는 무동력 여과방법에 의하여 오염된 물속의 입자상 오염물질을 제거하는 장치로서 콘크리트 구조물 내부에 모래와 자갈로 구성된 상소하대공극 필터층을 설치하고 상소하대공극 필터층 상부 모래층에 투수격자망을 포설하고 상소하대공극 필터층 위로 월류수 여과기를 설치하여 오염된 물이 정화시설에 유입하면 상소하대공극 필터층 상부에 저장되면서 수위차로 모래층과 자갈층을 통과하여 부유물질은 여과되어 자연유하로 방류되며 시간이 경과되어 유입수내 토사 등이 상소하대공극 필터층의 모래표면을 막아서 여과 속도가 줄어들거나 유입수량이 증가하면 수위가 올라가면서 유입수는 월류수 여과기를 통하여 여과되어 상소하대공극 필터층의 자갈층에 유입되어 정화된 후 방류된다.

(그림 7-17)은 Aqua-Filter의 시설구성을 개략적으로 나타낸 그림이다.



(그림 7-17) Aqua-Filter 시설구성도

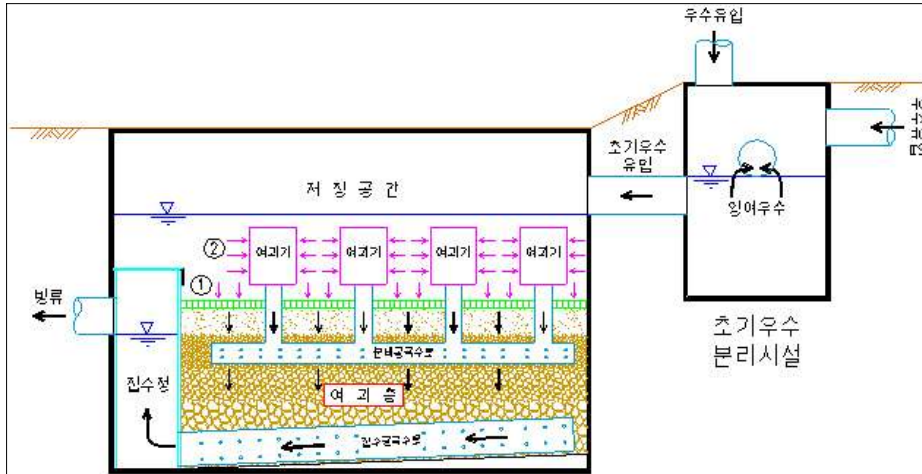
Aqua-Filter 장치의 정화 원리는 다음과 같다.

- ① Aqua-Filter 장치는 초기우수의 저장 및 여과시설로서 정화시설내로 초기우수만 유입되고 잉여우수는 정화시설로 유입되지 않고 직접 하류로 배출된다.
- ② Aqua-Filter 장치는 수평여과시설인 모래층여과와 측면여과시설인 여과기에



의한 여과로 정화된다.

(그림 7-18)은 Aqua-Filter의 초기우수 정화과정을 개략적으로 나타낸 것이다.



(그림 7-18) Aqua-Filter 장치의 정화원리

Aqua-Filter 장치의 특징으로는 아래와 같은 내용을 들 수 있다.

① 우수관이나 합류식 관로상에 설치하여 초기우수 또는 합류식 하수관의 초기월류수를 정화하는 시설이다.

② PC구조물로서 설치가 용이하며 공사기간이 짧다.

③ 여과에 의한 오염물질 정화방법으로서 여과를 위한 수두가 필요하며 동일한 시설규모에서도 확보가능 수두높이에 따라서 여과능력이 차이가 생긴다.

④ 우수관에서의 초기우수 정화를 위해서는 낙차맨홀이 필요하며 PC구조물로 제작된 Aqua-Filter 장치를 먼저 설치하고 이 PC구조물에 붙여서 낙차맨홀을 현장타설 방법으로 설치하거나 PC구조물로 제작된 낙차맨홀을 설치한다.

⑤ 합류식관에서의 초기월류수 정화를 위해서는 우수토실과 연계하여 PC구조물로 제작된 Aqua-Filter 장치를 설치한다.

⑥ 초기우수 또는 초기월류수만 유입하고, 유입된 유량은 100% 여과하여 방류되므로 수질정화의 신뢰성이 높다.

⑦ 모래여과, 흡착제 여과, 자갈층 미생물 여과로 SS, BOD, T-N, T-P 등의 수질

정화 효과가 크다.

⑧ 평상시 여과공간이 건조상태이므로 슬러지 처분이 용이하고 악취 및 모기 등의 해충발생이 없다.

Aqua-Filter 장치는 다음과 같은 정화능력을 가진다.

① Aqua-Filter 장치는 저장 및 여과시설로서 정화시설에 유입한 초기우수 및 초기월류수는 100% 여과층에서 여과되어 방류된다.

② Aqua-Filter 장치는 수평여과시설인 모래층여과와 측면여과시설인 여과기에 의한 여과로 정화된다.

③ Aqua-Filter 장치는 낙차맨홀에서의 확보가능 한 수위차에 따라서 여과량이 차이가 있다.

④ Aqua-Filter 장치에서 정화시간은 초기우수를 정화하는 시간으로서 집수대상 구역의 원거리 지점 초기강우 유출수의 정화시설 도달시간(유입시간) 및 강우지속시간을 고려하여 결정한다.

※ 초기우수의 정의 : 강우시작부터 30분까지의 초기강우 (미국 EPA)

⑤ Aqua-Filter 장치의 모델별 집수가능면적은 “장치형 시설의 처리용량 계산방법”을 이용하여 역으로 계산하여 산정한다.

$$Q = 1/360 C \cdot I \cdot A$$

- ▶ Q : 장치형 시설의 처리용량 (m<sup>3</sup>/초)
- ▶ C : 유출계수 (C=0.6 적용)
- ▶ I : 80%확률 강우강도 또는 최소 5mm/시간
- ▶ A : 처리대상면적(ha) 1ha=10,000m<sup>2</sup>

⑥ 동일한 규모의 여과 A형 장치에서 확보가능 수위차가 클수록 여과 A형 장치의 정화용량은 커지며 이에 따라서 집수가능 면적도 커진다.

여과 A형 장치의 유지관리는 크게 여과기 여재교체와 퇴적 건조슬러지 인력준설이다. 여재교체주기는 비교적 여과면적이 넓어서 타시설에 비해 여재교체빈도가 낮은

편이다. 슬러지 준설은 초기우수를 분리하여 처리하므로 준설빈도가 낮고 또한 건조된 슬러지케익이 발생되므로 준설량이 적다.

Aqua-Filter 장치는 아래와 같은 장점을 지니고 있다.

① 초기우수를 분리하며 정화시설에 유입한 초기우수를 대부분을 여과하여 배출하므로 수질정화효과가 좋다.

② 모래층여과, 흡착제층여과 및 자갈층여과로서 수질정화 효과가 높다.

③ 정화구조물에 유입한 오염수는 여과층을 통하여 배출하므로 시설용량 이상의 유량은 정화시설로 유입하지 않고 직접 유출하며 대유량에 포함된 토사 등이 정화시설 내부로 유입하지 않는다.

④ 단위 부지면적당 여과면적이 커서 여과지속시간이 길고, 정화시설로의 토사 유입량이 적어서 유지관리 빈도가 낮다.

⑤ 슬러지 발생량이 적고 75% 이하로 탈수되어 있으므로 직접 처분이 가능.

⑥ PC구조물로서 다양한 유량크기에 대하여 적용가능하고 비교적 큰 유량에 적용가능하다.

⑦ 사고로 발생하는 유독물을 필터층 공극에 저장하여 유출을 차단하는 방재기능

⑧ 공사비가 저렴하다.

한편 아래와 같은 단점도 있으므로 유의하여야 한다.

① 건조된 슬러지를 인력으로 준설하여야 한다.

② 유지관리 빈도는 낮으나 장기간 동안 유지관리 하지 않으면 여과시설 내부에 물이 배수되지 않아서 혐잡물 등이 침수상태로 쌓인다.

#### 4) Stormfilter

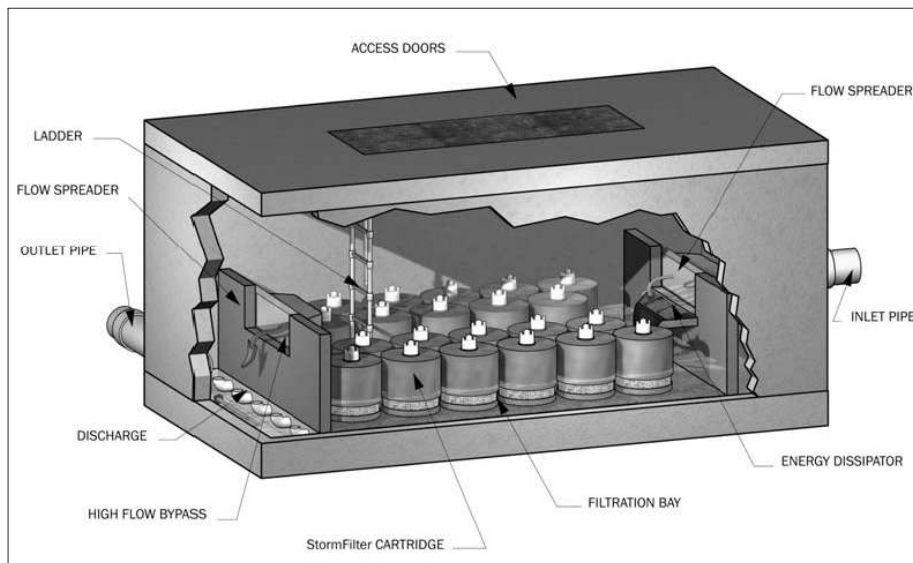
Stormfilter는 무동력으로 강우유출수를 여과하는 필터형 장치로서 우수관거 말단부 또는 집수정 등에 설치하여 도시에서 발생하는 쓰레기, 유기물질, 영양염류, 용해성 금속류, 기름과 침전물(TSS) 등이 포함된 강우유출수를 처리하여 강우유출수질을 개선하는 장치이다. Stormfilter는 주거지역의 거리, 일반도로 및 고속도로, 상업지역, 조선포, 유리공장 등과 같은 공업지역 등의 거의 모든 대상 지점에 폭넓게 적용될 수 있

다.

<표 7-10>에는 Stormfilter의 개요를 정리하였으며 (그림 7-19)는 Stormfilter의 개략도이다.

<표 7-10> Stormfilter의 개요

개요	강우시 지표 유출수를 여과(filtration) 및 흡착(adsorption)으로 처리하는 시스템으로 간선 우수관로에 Channel을 설치하고 필터를 이용하여 우수중 오염물질을 처리함	
처리대상		BOD, TSS, T-N, T-P, Oil, 중금속
구조	콘크리트로 제작된 저장조와 내부에 설치되는 여재로 충전된 카트리지가 및 배수관로로 구성	
장소	도로, 교량, 주차장, 소규모 시설	
처리방법	강우시 오염도가 높은 초기우수는 스톱필터 내부의 카트리지를 통과하면서 미세한 부유물(SS)은 여과되고 중금속 및 용존 고형물(DS)은 흡착되어 제거됨	
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 설치가 간단하고 일년에 1~2회 청소로 유지관리가 용이함.</li> <li>○ 다양한 filter매질을 오염물질 특성과 오염농도에 따라 바꿀 수 있음.</li> <li>○ TSS, 용해되는 물질, 용해되는 질소, 인, Oil &amp; Grease 등의 오염물질을 제거하는 능력이 탁월함.</li> <li>○ 도로 및 고속도로에 적합</li> <li>○ 유지관리비가 저렴</li> <li>○ Pond 등과 같은 시설에 비해 10% 정도의 부지소요</li> <li>○ 오염물질 농도가 높을수록 제거효율이 높음.</li> </ul>	



(그림 7-19) 전형적인 Stormfilter의 개략도

출처 : EPA "Environmental Technology Verification Report" - The Stormwater Management StormFilter Using ZPG Filter Media, 'July 2004, 04/17/WQPC-WWF, EPA/600/R-40/125'

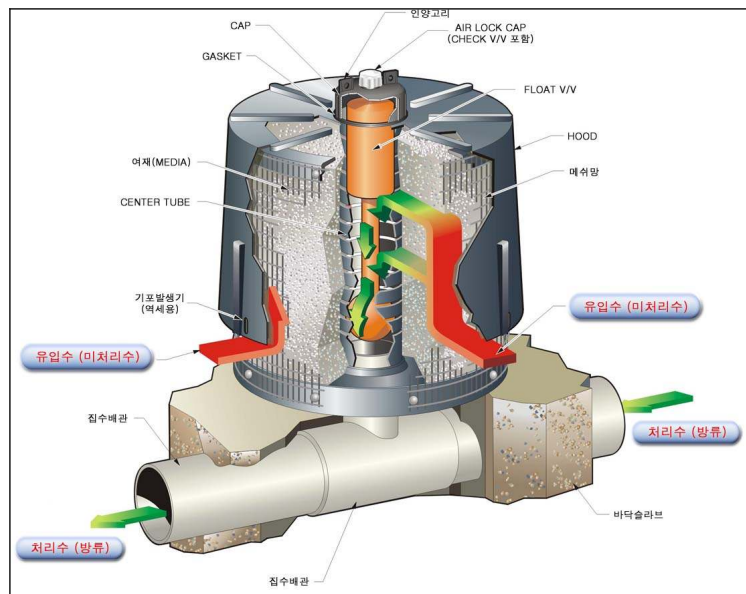
Stormfilter의 시스템은 일반적으로 처리대상지역내에 지하구조물을 건설하여 설치하게 된다. 구조물내에는 유입조, 필터조, 방류조로 분리되며, 각 조의 분리는 격벽을 기준으로 역할에 따라 구분한다.

(그림 7-19)에서 보이는 바와 같이 유입조에서는 유입유량의 일정량을 저류하며, 부유고형물과 기름류, 표면의 스킴을 제거하게 된다. 일정 저류용량이상으로 강우유출수가 유입되면 격벽의 웨어를 통하여 유입수는 필터조로 유입되게 된다. 필터조에서는 설치된 여과재를 통하여 여과가 진행되게 되며, 여과된 처리수는 여과 B형 하부의 유출배관 또는 유출수로를 통하여 방류조로 유입되게 된다. 방류조에서는 방류배관을 통하여 방류수역으로 배출되게 된다.

필터조에 유입수가 유입되게 되면 수위가 증가하게 되고 강우유출수는 필터로 천천히 수평으로 유입되면서 필터를 통과하여 center tube에 모이게 된다. Center tube내에 설치되어 있는 float 밸브는 처리시작 후 일정 유량이 유입되기 전까지는 하부 유출배관(또는 유출수로)의 입구를 막고 있다. 여과수량이 증가하게 되면 내부에 있는 공기는 상부의 체크 밸브를 통해 외부로 방출되면서 center tube내에는 처리수 (수위

는 약 45.7 cm)만 존재하게 된다. 이때, float는 충분한 부양력에 의하여 부양하고 그로 인해 유출배관 (또는 유출수로) 입구가 개방되면서 처리수는 방류되게 된다. 최초의 처리수가 방류되는 순간 필터내에는 상부의 체크밸브에 의하여 외부 공기 유입이 차단되므로 진공상태가 형성된다. 진공상태가 형성되면서 사이펀현상이 발생하게 되고 이러한 사이펀현상은 필터 전체에 퍼져있는 오염된 물을 여과시키는 에너지로 전환된다. Driving force에 의하여 필터조의 수위와 무관하게 강우가 지속되는 동안 여과가 진행되게 된다.

이러한 사이펀의 원리를 통한 여과는 필터조의 수위가 카트리지 hood의 scrubbing regulator보다 높을 때까지 지속된다. 필터조의 수위가 scrubbing regulator 위치에 도달하게 되면 공기가 빠르게 scrubbing regulator를 통하여 내부로 침투하면서 스크린의 표면과 hood의 내부표면사이에 높은 에너지 turbulence가 생성되게 되면서 필터 표면을 교란하여 표면에 부착되어 있는 여과물들을 하부 바닥으로 떨어뜨린다. 이러한 표면 세척 메카니즘은 필터의 표면의 투과율을 유지시켜 주고 시스템의 수명 연장 및 처리 기능을 유지시켜준다.



(그림 7-20) Stormfilter 카트리지 구조

<표 7-11> Stormfilter의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 중금속류 및 유류 등의 제거성능이 매우 우수하다.</li> <li>○ TSS 및 Hydrocarbon, Chlorides 등의 다양한 오염물질의 제거가 가능하다.</li> <li>○ 협잡물외에 용존성 물질의 처리가 가능하다.</li> <li>○ 일반적으로 도로, 교량, 주차장등 자동차 통행량이 많고 공단지역, 상업지역등의 고농도 오염물질이 발생하는 지역에 적합하다.</li> <li>○ 전체지역에 대해 초기우수의 병합처리 또는 일정 구간별 개별처리가 가능하며, 도로의 경우 집수정 등에 설치가 가능하다.</li> <li>○ 배수구역의 토지이용현황 또는 주요 제거대상오염물질에 따라 적합한 필터로 교체 또는 혼합하여 제거성능을 향상 시킬 수 있다.</li> <li>○ 차량사고 등에 의한 유류유출사고에 대비할 수 있다.</li> <li>○ 여재표면의 자가 세척기능을 구비하고 있어 여재 및 스크린의 막힘 현상을 최소화 하여 여재의 수명 및 유지관리 기간의 연장이 가능하다.</li> <li>○ 무동력 설비이며, 고장의 염려가 없다.</li> <li>○ 제거된 협잡물이 지하 시스템내에 존재하여 주변 경관 훼손을 방지한다.</li> <li>○ Precast 제품은 현장에서 유입관 및 배출관의 연결만으로 시공이 완료된다.</li> <li>○ 진공흡입장치를 이용하여 침전물질 및 여과물질을 제거하므로 유지관리가 용이하다.</li> <li>○ 카트리지의 탈부착 및 여재의 교체가 용이하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대규모 배수지역에서는 부적합하다.</li> <li>○ Media 관리가 처리효율에 직접적인 영향을 주므로 정기적인 유지관리 및 교체가 요구된다.</li> <li>○ 유입부에 전처리 시설(침전)이 요구된다.</li> <li>○ 설치장소에 제약을 받는다.</li> <li>○ 불투수성 지역에서만 적용가능하다.</li> <li>○ 국외 수입품으로 로열티 지불이 있다.</li> </ul>

### 5) Stormsys

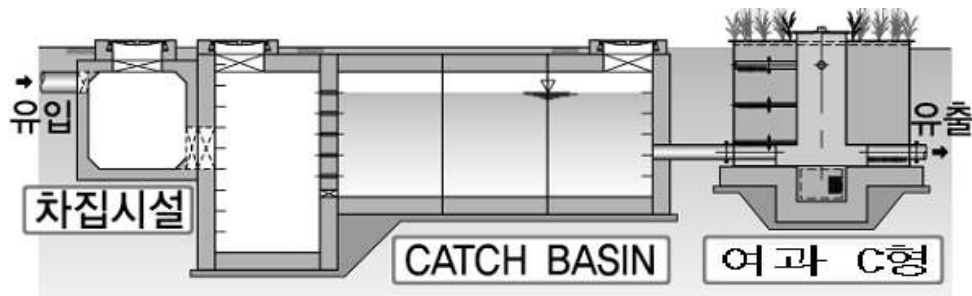
Stormsys는 고농도의 오염물질을 함유하는 초기강우를 일정 배수면적에서 유출되는 초기강우량 만큼을 저류할 수 있게 설계된 catch basin과 오물수거망, 회전류 발생부, 메디아층, 식생대로 구성된 자연정화식 맨홀을 이용하여 강우유출수중의 협잡물, 토사, 부유물질, 용존성 오염물질 등을 스크리닝, 침전, 여과, 흡착 등에 의해 침전성

고형물뿐만 아니라 용존성 오염물질까지 제거할 수 있는 처리기술이다. 도로변이나 교량, 주차장 등지에 설치하여 부유물질, 토사 및 기타 오물이 강우시 하천을 통한 수계로 직유입되는 것을 방지하고, 용존되어 있는 유기물과 탄화수소 등의 오염물질을 효율적으로 정화할 수 있는 기술이다. <표 7-12>는 Stormsys의 개요 및 특징을 나타낸다.

<표 7-12> Stormsys 개요 및 특징

개요	강우시 지표 유출수를 catch basin을 통한 저류·침전 및 미디어층을 이용한 흡착·여과를 통하여 침전성 고형물 뿐만 아니라 용존성 오염물질까지 제거.
처리대상	BOD, COD, TSS, T-N, T-P, Oil, 중금속
구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Catch Basin(전처리시설) 초기강우의 저류, 협잡물 Screening, 토사·부유물질 침전제거</li> <li>▷ 여과 C형(본처리시설) <ul style="list-style-type: none"> <li>① 오물수거망 : 하이드로싸이클론을 이용한 미세입자의 분리제거</li> <li>② 메 디 아 : 여과·흡착에 의한 용존성 오염물질 제거, Cartridge type으로 시공 및 유지관리가 용이함</li> <li>③ 식 생 대 : 갈대, 애기부들의 근계를 이용한 유기물질의 흡수 → 미디어 수명, 처리효율 향상</li> </ul> </li> </ul>
장 소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치가능지역 : 도로, 공항, 차량정비업소, 주차장, 하천의 유입전단부, 아파트 등 인구밀집지역</li> <li>- 설치장소 : 오염원 직유입부, 기존관로 합류지점, 하천 또는 호소 유입 말단부</li> </ul>
처 리 방 법	강우시 catch Basin을 이용하여 스크링 및 침전제거 등의 전처리를 하고 여과 C형을 통과하면서 여과 및 흡착이 이루어진다.
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내기술</li> <li>○ 국내 최초의 소규모 장치형 비점오염물질 처리기술</li> <li>○ 고농도의 오염물질을 처리함으로써 과다 설계를 방지함.</li> <li>○ CATCH BASIN은 초기강우를 저류시키고 토사 등의 부유물질 등을 침전시키는 전처리 시설임.</li> <li>○ 회전류를 이용하여 오물을 분리하고 미디어 충전층으로 유입된 초기 강우를 여과, 흡착등을 통해 정화시킴.</li> <li>○ 미디어 충전층 상부에 식재된 식생식물은 미디어의 수명 및 효율을 배가.</li> <li>○ 자연 유하식 흐름으로 설계된 무인, 무동력 처리 장치임.</li> </ul>





(그림 7-21) 전형적인 Stormsys의 개략도

Stormsys의 초기우수내 오염물질 처리과정은 다음과 같다.

자연정화식 맨홀시스템은 초기강우량 만큼을 저류하고 협잡물 등의 SS성분을 제거시키는 Catch Basin과 자연정화식 맨홀로 구성이 된다. Catch Basin은 배수면적에 따라 형태나 용량등이 가변적으로 설치가 가능하고 자연정화식 맨홀전단에서 강우유출수중의 협잡물이나 토사 등의 침전 가능한 SS성분을 제거시킨다.

자연정화식 맨홀은 Catch Basin과 연결되는 맨홀 유입구와 유입수내 포함된 부유물질을 제거할 수 있는 오물수거망, 오물제거의 효율을 높이고 수두손실을 최소화 할 수 있는 원형몸체, 오물과 분리된 물을 미생물이 서식하는 맨홀 몸체내의 자갈이나 미디어 충전층으로 분배시키는 분배관과 흐름을 안정적으로 유지하기 위한 미디어를 충전한 몸체 및 처리된 물이 몸체하부로 배출되는 유출관으로 구성된다.

Catch Basin에서 1차 처리된 우수는 원통형 회전류 발생 부위로 유입되고 회전류 발생 부위에서는 오물 제거망에 의해 부유물질과 침전 가능한 오물이 제거된다. 유입구와 오물제거망의 접합부위는 회전류의 발생을 원활하게 하기 위하여 유선형 격막이 설치되어 있다. 오물 제거망을 통과한 물은 원통형 몸체에서 분배관을 통하여 맨홀내 미디어가 충전된 부분으로 흐름이 균등하게 분배된다. 분배관을 통과한 물은 맨홀 몸체내의 미디어 충전층을 흐르게 되며, 이 때 미디어의 표면에 서식하는 미생물에 의해 유기물 및 탄화수소 등이 분해 및 무해화 된다.

<표 7-13>은 Stormsys의 장단점을 요약한 것이다.

<표 7-13> Stormsys의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내기술 - 국내최초의 소규모 장치형 비점오염 저감기술</li> <li>○ 자연유하식 흐름의 무인·무동력 처리시설</li> <li>○ 용존성 오염물질의 여과흡착 제거위한 미디어 적용</li> <li>○ 처리대상 배수면적의 강우유출수중 고농도의 초기강우만을 포집하여 처리함으로써 장치의 효율성 및 경제성을 증대시킨 기술 - 고농도의 오염물질을 처리함으로써 과다 설계를 방지함.</li> <li>○ CATCH BASIN은 precast형으로 제작하여 공기 단축</li> <li>○ 회전류를 이용하여 오물을 분리하고 미디어 충전층으로 유입된 초기 강우를 여과, 흡착 등을 통해 정화시킴.</li> <li>○ 미디어 충전층 상부에 식재된 식생식물은 미디어의 수명 및 효율을 배가시킴.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Catch Basin과 여과 C형 본체의 이중구조물 형태이다.</li> <li>○ 1차처리(Catch Basin)수의 여과 C형 본체 자연유하를 위한 구매 확보 필요</li> <li>○ 시설설치부지 확보의 문제점 발생</li> <li>○ 전량 포집후 처리에 따른 처리 대상수의 소량화</li> <li>○ 미디어 교체 등의 사후관리의 문제점</li> </ul>

## 6) M-Filter

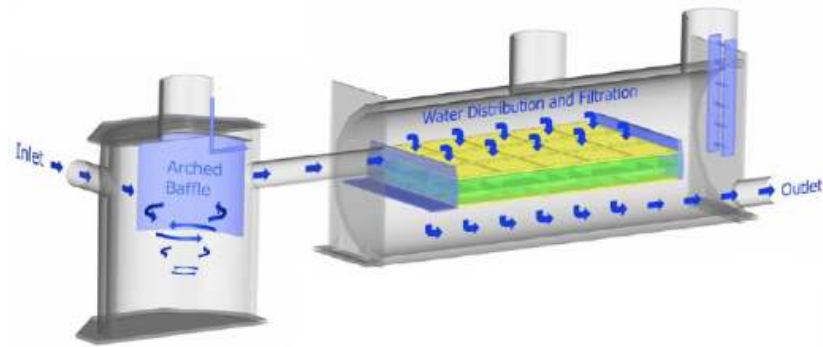
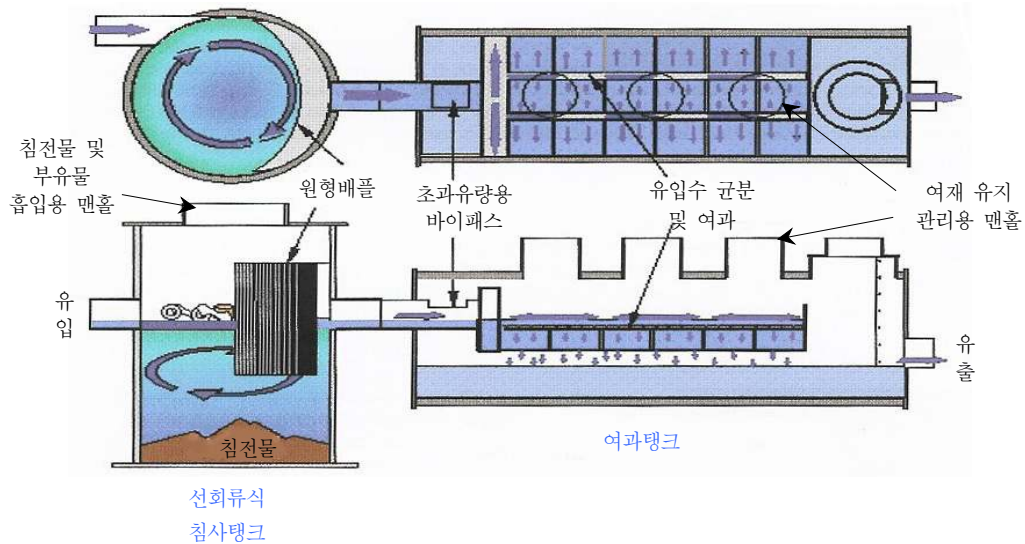
비점오염물질을 관리하기 위한 많은 장치형 시설 중의 하나인 M-Filter는 최근 수질오염총량관리제 시행을 앞두고 인근 수계에 배출되는 비점오염물질의 유입을 저감하기 위하여 설계 및 적용되고 있다. 일반적으로 M-Filter는 침전과 여과기능이 결합되어 있으며, 이는 토사와 같이 중력침전이 가능한 침사지와 중력침전이 불가능한 용존성 입자 및 중금속의 제거를 위한 필터를 적용하는 물리적 처리기법이다.

유역에서 발생된 강우유출수는 와류 시스템에서 1차 처리가 되며, 유출수는 여과탱크로 균등하게 유입되어 여재를 통과하면서 용존성 물질이 처리되는 메커니즘을 가지고 있다 (그림 7-22). 이 공정에서 여과·흡착 등에 의하여 추가적으로 SS성분 및 기타 오염물질들이 제거되며 다양한 여재의 사용으로 흡착성이 높은 중금속 등의 추가 제거가 가능하며, 미세한 침전물 및 수인성 오염물질의 높은 처리효율을 보이는 것으로 알려져 있다. 그러나 M-Filter 시스템도 환경오염물질을 처리하기 위한 시설이기에 지속적인 유지관리가 요구되며, 이는 처리효율 유지를 위해서는 필수적이다.

M-Filter의 오염물질 처리 유지관리 메커니즘은 다음과 같다.

### ① 1단계 - 침전

토사 및 비점오염물질이 함유된 강우유출수는 시설에 유입되어 선회류식 침사탱크에서 1차 처리과정을 거치면서 토사와 같이 중력침전 및 강제침전이 가능한 오염물질이 제거가 되며, 1차 처리된 유출수는 후속공정인 여과탱크로 이동하게 된다.



(그림 7-22) M-Filter 시스템의 간략 구조와 메카니즘

침전단계에서는 표면적과 수면적부하량에 기초한 침강프로세스에 따라 모래 등의 침전물이 침강된다. 이 과정에서 토사와 부착된 중금속 등과 같은 오염물질도 일정부분 제거되는 것으로 알려져 있다.

② 2단계 - 여과

여과공정에서의 오염물질 처리 메커니즘은 주로 여과기능이 담당하고 있으며, 이

과정에 중금속 등과 같은 용존성 오염물질과 중력침전이 불가능한 오염물질 등의 처리가 수행된다. 선행 공정인 침사지 또는 침전지에서 1차 침강 처리된 강우 유출수는 본 공정인 여과탱크로 균등하게 유입되어 여재를 통과하면서 오염물질이 처리된다. 일반적으로 최대 처리유량은 유역특성 및 강우특성과 처리기준을 고려하여 설계된다.

### ③ 3단계 - 유지관리

본 시스템에서 오염물질 처리효율을 지속적으로 유지하기 위해서는 지속적인 유지관리가 요구된다. 다양한 유지관리 중에서 가장 중요한 유지관리는 침사지 또는 침전지에서의 퇴적물 제거와 여과탱크에서의 여재 교체이다. 우선 1단계인 침전과정에서 많은 양의 토사 및 오염물질들이 선회류식 침사탱크에 침전하게 되는데, 이러한 퇴적물은 제거의 필요성이 제기될 때 침전물 흡입용 맨홀을 통해 인력 및 차량 등으로 수거하게 된다. 그리고 여과탱크의 여재는 용존성 오염물질의 처리효율을 결정하는 매우 중요한 인자이므로, 여재 유지관리를 맨홀에서 관찰하여 초기의 밝은 색에서 짙은 갈색으로 변하면 교체하는 지속적인 유지관리가 요구된다.

<표 7-14>는 M-Filter 시설의 설치 및 운영시 발생하는 장점 및 단점을 정리한 것이다.

M-Filter 시설의 높은 효율을 유지하기 위해서는 여과탱크 공정에서의 여재(media) 선택이 매우 중요하다. 일반적으로 여과공정에서 적용되는 사용 가능한 여재는 용존성 물질인 중금속 등과 같은 비점오염물질의 처리에 효율적인 재료가 선정되어야 하며, 유지관리시 용이성 등을 충분히 고려되어 선정되어야 한다.

<표 7-14> M-Filter 시설의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 침전 및 여과를 일괄 처리.</li> <li>○ 설치가 간편하며, 컴팩트한 구조를 가짐.</li> <li>○ 지하에 설치 가능하여 여유부지 확보에 유리.</li> <li>○ 시설의 운전시 전력이 요구되지 않기에 에너지 관리 측면에서 유리.</li> <li>○ 침사지 및 여재의 지속적 유지관리를 높은 처리효율 기대.</li> <li>○ 112~1,866 m<sup>3</sup>/hr 용량의 제품으로 다양한 처리 가능.</li> <li>○ 설치시 지하수위에 의한 영향을 받지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국외 수입제품으로 로열티가 있음.</li> <li>○ 대규모 시설의 설치시 설치비용이 높음.</li> <li>○ 지속적인 높은 처리효율을 가지기 위해서는 지속적 유지관리 요구됨.</li> <li>○ 특히 여재의 교환주기 예측이 쉽지 않으며, 교환시 경제적 비용이 높음.</li> <li>○ 지하에 건설되어 퇴적물의 준설 및 여재의 교환시 맨홀을 이용하여야 하기에 유지관리가 어려우며, 이는 경제적 유지관리 비용으로 나타남.</li> <li>○ 비점저감시설로 여유부지가 비교적 없는 도시지역에 건설되는 장점이 있으나, 냄새, 모기 등의 발생으로 인하여 혐오시설로 인정될 수 있음.</li> <li>○ 퇴적물 준설 및 여재 교환 등의 유지관리를 작업인부의 안전문제에 지장을 초래.</li> </ul>

### 3. 국내외 저감시설 설치·운영 사례

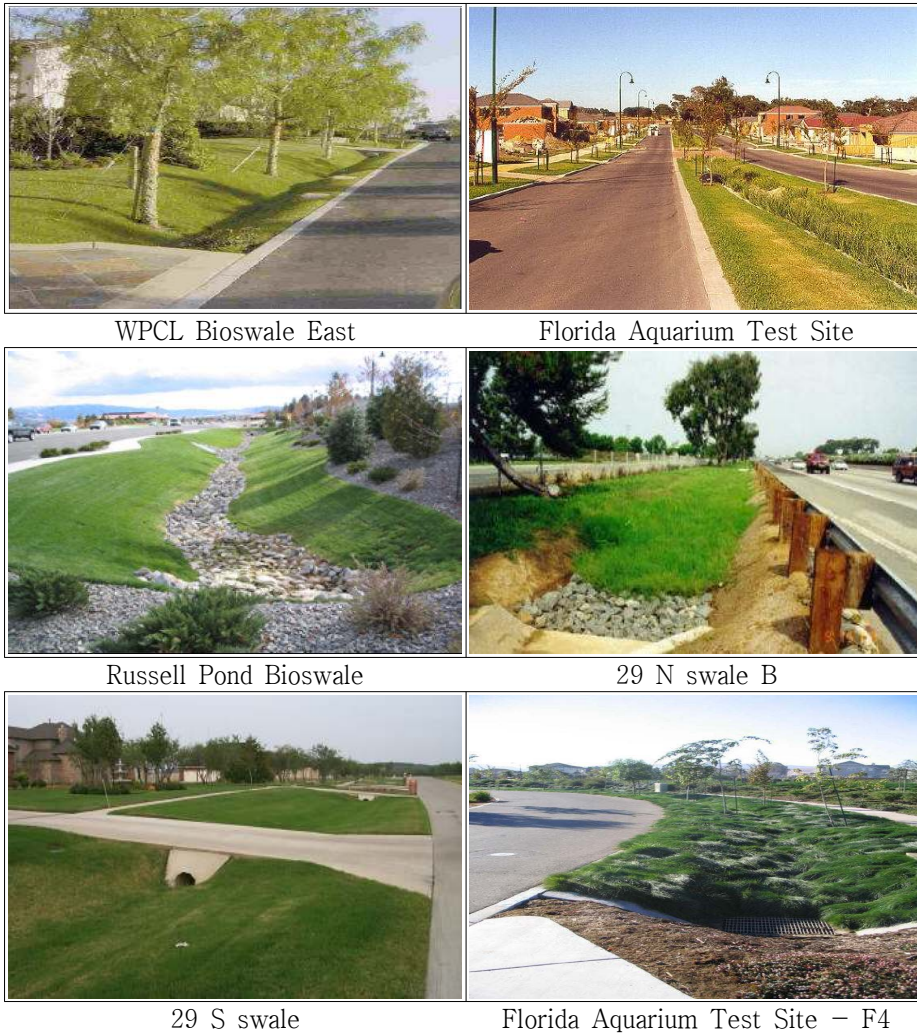
#### 가. 식생형 시설

##### 1) 식생수로

국외 식생수로 설치·운영 사례에 대하여 조사하였는데 (그림 7-23)은 현재 미국 내 설치되어 운영 중인 시설전경이며 6개 site(USEPA; ASC; WERF; EWRI, 1996)에 대한 자세한 제원 및 처리효율은 <표 7-15>와 <표 7-16>에 각각 나타내었다.

각 시설의 처리효율을 살펴보면 BOD, COD, 그리고 TSS에 대한 처리효율이 25~70%, 영양물질이 -123~40%로 조사되어 오염물질 중 유기물질 및 부유물질을 효과적으로 처리하는 것으로 나타났다. 29 south swale은 buffer strip과 swale을 모니터링 한 연구이다. 유량 측정의 결과에 의하면, 유입으로부터 유출까지의 과정에서 그 양이 증가하는 것으로 나타나, barrier가 그 역할을 적절히 해내지 못하고 있음을 보여주었다. 만약 유량을 무시하고 오직 오염 농도에 대해서만 고찰한다면, 이 시설에서의 농도 감소는 TSS, COD, TP 그리고 Zn 에 대하여 각각 29%, -6%, -0.4% 및 11%

이다. 이 지역에서 swale로의 유출이 발생하기 위해서는 적어도 7mm 이상의 강우가 필요한 것으로 나타났다.



(그림 7-23) 미국에 설치된 식생수로

29 N swale B은 1970년대 초반에 건설되었고 고속도로 중간지점 U.S. Route와 수로 (Hydraulic Road)의 교차점에 위치하고 있다. 이 연구의 1 단계는 총 길이 128 m의 swale에 대하여 평가하였다. 그러나 2 단계는 swale의 30 m 이하에 초점을 맞추었다. 이 swale로의 유출이 발생하기 위해서는 최소 5 mm 이상의 강우가 필요하였고 5

회의 태풍에 대한 모니터링 중 최초의 두 번에 대한 결과는 그다지 좋지 못한 처리 효율을 보이고 있다. 이것은 swale에의 유입량보다 유출량이 더 많은데 원인이 있으며, 측면으로부터의 유입을 방지하기 위한 시설이 안정적인 역할을 하지 못하였기 때문이다.

Florida Aquarium Test Site - F4는 Florida Aquarium의 주차구역 설계되었고 이 지역은 연간 7십만이 방문하는 4.65 ha의 주차구역이다. 주차구역 내 구역별로 반복된 각각의 처리 과정을 4가지로 실험설계하고 통계적 기법을 통하여 분석한 결과, 첫 번째는 아무런 처리도 가하지 않았고 (swale 없는 아스팔트 포장), 두 번째는 swale이 있는 아스팔트 포장, 세 번째는 swale이 있는 시멘트 포장이며, 네 번째는 swale이 있는 주차 구역에서 발생한 유출의 양적·질적 측면을 고려한 경우로 각각의 유역과 비교하였다.

<표 7-15> 미국내 설치·운전 중인 식생수로 제원

Test Site Name	City	State	BMP Type	길이(m)	경사	조도계수
WPCL Bioswale East	Portland	OR	Biofilter - Grass Swale	48.8	2.3	0.24
Florida Aquarium Test Site	Tampa	FL	Biofilter - Grass Swale	39.6	0	0.04(m/s)
Russell Pond Biowale	Portland	OR	Biofilter - Grass Swale	64	0.2	-
29 N Swale B	Charlottesville	VA	Biofilter - Grass Swale	30	0.1	-
29 S Swale	Charlottesville	VA	Biofilter - Grass Swale	30	0	-
Florida Aquarium Test Site - F4	Tampa	FL	Biofilter - Grass Swale	39.6	0	0.04(m/s)

<표 7-16> 미국 내 설치·운전 중인 식생수로의 처리효율

Test Site Name	구분	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Metals ( $\mu$ g/L)
WPCL Bioswale East	유입수질 (EMC)	10.9	96.1	105.8	0.15	0.4	-
	처리효율 (%)	27.1	38.4	71.4	37.8	20.0	-
Florida Aquarium Test Site	유입수질 (EMC)	-	-	12.8	0.6	0.1	-
	처리효율 (%)	-	-	69.3	5.9	-85	-
Russell Pond Biowale	유입수질 (EMC)	5.4	30.6	20.7	0.025	0.1	-
	처리효율 (%)	11.1	33.5	-5.4	0	5.0	-
29 N Swale B	유입수질 (EMC)	-	-	-	-	-	-
	처리효율 (%)	-	3	49	-	33	-
29 S Swale	유입수질 (EMC)	-	-	-	-	-	-
	처리효율 (%)	-	59.3	63.9	-	21.2	-
Florida Aquarium Test Site - F4	유입수질 (EMC)	-	-	12.8	0.6	0.1	-
	처리효율 (%)	-	-	61.8	-15.2	-123	-

출처 : USEPA & ASC & WERF & EWRI, 1996. "International stormwater BMP database search", <[www.bmpdatabase.org](http://www.bmpdatabase.org)>

식생수로에 대한 국외 설치 및 운전사례는 지극히 단편적인 것이 대부분이다. EPA 보고서 "Nonpoint Source Program Success Story"에 따르면 식생수로는 대부분 목장이나 농경지 토사유실 방지 목적이나 도로 강우 유출수 처리가 주종을 이루고 있다.

## 2) 인공습지

비점오염물질에 대한 대책으로 근래 자연현상을 이용한 생태 공학적 방법들이 권장되고 있으며 그 중에서도 인공습지의 오염물질 제거능력이 탁월한 것으로 알려져 있



다. 또한 습지는 영양염류의 제거능력과 유량 및 수질변화에도 적응력이 높다는 장점과 함께 생물의 서식처 제공, 경관개선, 홍수조절 등과 같은 간접적인 효과도 높고 유지관리비용과 설치비용이 상대적으로 적다는 장점 등 장치형 처리방법의 대안으로 제시되고 있다.

북미와 유럽에서는 1990년대부터 강우유출수 처리용 인공습지가 건설되기 시작하였다. 국내에서는 1990년대부터 농업기반공사를 시작으로 전남 무안군 감돈 저수지에 시험지구가 설치되기 시작한 후 석문 담수호 등 우리나라 서남해안 담수호에 설치가 진행 중이거나 설치 계획 중에 있다.

국내에서도 오염총량제가 시행됨으로서 비점오염물질 관리의 중요성이 부각되면서 소유역 단위의 인공습지 설치가 크게 확대되리라 판단된다.

#### 가) 미국 인공습지 설치·운영사례

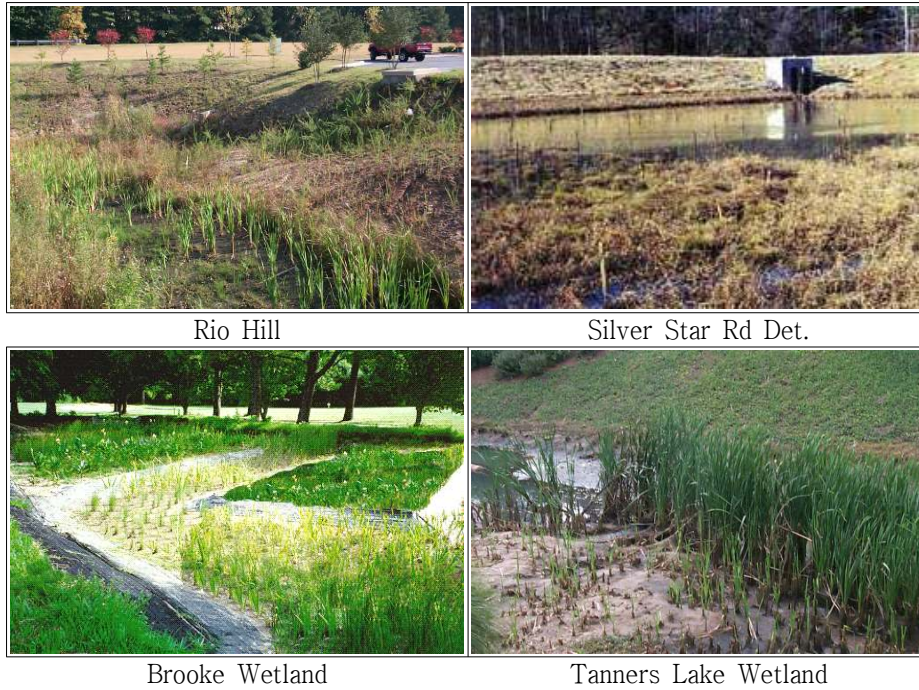
국외 인공습지의 설치·운영사례에 대하여 조사하였는데 (그림 7-24)는 현재 미국 내 설치되어 운영 중인 시설전경이며 9개 site에 대한 자세한 제원 및 처리효율은 <표 7-17>과 <표 7-18>에 각각 나타내었다.

Rio Hill Detention Basin은 자연도래한 식생을 가지고 있는 강우유출 체류지이다. 도로 교차로와 넓은 주차장을 가지고 있는 쇼핑센터를 배수구역으로 하며 개방수역이 습지면적의 5%보다 작다. 유출·입구 사이의 평균거리를 바탕으로 길이와 폭의 비율은 5:8이며 평균 체류시간은 4.4시간이다.

Brooke wetland는 0.08 ha의 체류지와 2.83 ha의 인공습지로 구성되어있고, 약 0.4 ha의 개방수역을 가지고 있다. 배수구역은 주차장, 식생지역, 그리고 철로이며 식생은 Wool grass, Cattail, Goldenrod, Soft rush 등으로 개방수역을 제외하고 뺄뺄이 식재되어 있다.

Megginnis Ck. Marsh의 경우 상업지역으로부터의 유출수 내 고형물 및 영양물질의 제거에 있어서 모래 여과와 인공습지의 효율에 관한 연구를 수행하였고 시설은 Jackson호로 유입되는 Megginnis Arm Creek에 위치하고 있으며, 1980년부터 1987까지 11회에 걸친 태풍의 강우 사상에 대하여 모니터링 되었다. 이 시설은 평균적으로,

용존 영양물질의 60~65%를 제거하였다.



(그림 7-24) 미국에 설치·운영 중인 인공습지

<표 7-17> 미국 내 설치·운영 중인 인공습지 제원

Site Name	City	State	Area (ha)	Length (m)	Width (m)	Depth (m)
Rt.288	Chesterfield	VA	2.02	-	-	0.3~1.3
Convington	Rapahannock	VA	0.4	-	-	
Rio Hill	Albemarle	VA	0.28	-	-	0.3~1.3
Rio.460	-	VA	-	-	-	
Brooke Wetland	-	VA	2.83	-	-	0.3~1.3
Megginnis Creek	Tallahassee	FL	-	152.4	43.3	-
Silver Star Rd Det.	Orlando	FL	0.1	-	-	-
Lake McCarrons Wetland	Roseville	MN	-	442	30.5	-
Tanners Lake Wetland	Oakdale	MN	-	-	-	-

<표 7-18> 미국 내 설치·운영 중인 인공습지 처리효율

Site Name	City	구분	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)	Metals (mg/L)
Rt.288	Chesterfield	유입수질 (EMC)	56.99	54.85	2.91		223.23
		처리효율 (%)	23.2	57.0	68.6	-	-57.0
Covington	Rapahannock	유입수질 (EMC)					
		처리효율 (%)	50.3	29.0	29.5	-	
Rio Hill	Albemarle	유입수질 (EMC)	34.27	532.63	3.82		296.03
		처리효율 (%)	-31.6	19.0	14.9	-	29.0
Rio.460	-	유입수질 (EMC)					
		처리효율 (%)	-5.9	54.4	-19.1	-	
Brooke Wetland	-	유입수질 (EMC)	37.03	37.48	0.76		53.68
		처리효율 (%)	51.2	100.0	100.0	-	-39.6
Megginnis Creek	Tallahassee	유입수질 (EMC)		55.91	0.38	0.52	
		처리효율 (%)	-	85.0	74.5	55.3	
Silver Star Rd Det.	Orlando	유입수질 (EMC)		33.35	0.17	1.38	99.39
		처리효율 (%)	-	49.2	31.2	11.9	49.0
Lake McCarrons Wetland	Roseville	유입수질 (EMC)		120.83	0.33	2.06	31.22
		처리효율 (%)	45.1	80.0	31.5	23.2	75.0
Tanners Lake Wetland	Oakdale	유입수질 (EMC)		165.84	0.47	2.43	33.14
		처리효율 (%)	-	88.8	27.2	19.0	78.8

출처 : USEPA & ASC & WERF & EWRI, 1996. "International stormwater BMP database search", <www.bmpdatabase.org>

Silver Star Rd Wetland는 Florida주 교통부 도로로부터의 태풍 시 도시유출수의

임시 저류를 위한 pond 및 습지 시스템 효율에 대해 연구하였고 연속적으로 연결되어 있는 임시 저류 pond-습지 시스템으로 구성되어 있다. pond가 일반적으로 부유물의 제거에 효과를 나타내었으며(pond : TSS 65%, 부유 Pb 41%, 부유 Zn 37%, 부유 N 17%, 부유 P 21%), 습지는 부유물의 제거와 용존 부하의 제거에 효과적(suspend loads : TSS 66%, Pb 75%, Zn 50%, N 30%, P 19% dissolved loads : TDS 38%, Pb 54%, Zn 75%, N 13%, P 0%)이었다.

#### 나) 영국 인공습지 설치·운영사례

영국 내 대표적인 갈대 습지의 운전성과를 보여주고 있다. BOD나 TSS의 처리효율은 평균 75% 이상으로 좋으나 TN처리 효율은 약 31%, TP처리 효율은 평균 21% 정도의 효율을 보이고 있다 (한국수자원공사, 2005).

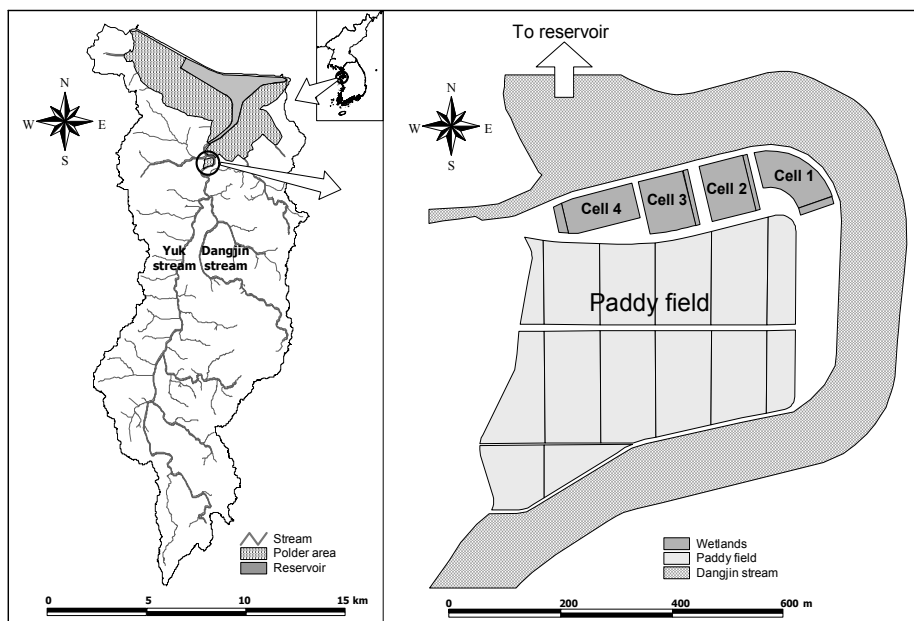
<표 7-19> 영국의 비점원 오염물질 처리용 인공습지 사례

	유입 BOD <sub>5</sub> (mg/L)	유출 BOD <sub>5</sub> (mg/L)	BOD <sub>5</sub> 제거율 (%)	유입 TSS (mg/L)	유입 TSS (mg/L)	TSS 제거율 (%)	유입 TN (mg/L)	유출 TN (mg/L)	TN 제거율 (%)	유입 TP (mg/L)	유입 TP (mg/L)	TP 제거율 (%)
Folville	15	3	79.3	61	8	87.6	17.9	16.7	6.7	6.6	3.9	40.9
Himley	14	2	88.9	39	5	86.9	18.5	15.7	15.1	8.6	7.8	9.3
Wootton (1)	13	4	72.7	20	4	79.7	33.0	22.8	30.9	13.2	12.8	3.0
Wootton (2)	12	3	76.0	26	6	77.6	20.8	14.6	29.8	11.2	9.6	14.3
Thorepe	15	4	74.0	35	6	84.4	18.5	13.7	25.9	7.6	4.8	36.8

#### 다) 국내 인공습지 설치·운영사례

인공습지를 이용한 비점오염원 제어효율을 검증하기 위해 2001년에 충남 당진군의 석문담수호 유입부에 인공습지와 유수지를 각각 4개씩 조성하였으며, 각각의 면적은

0.8 ha와 0.08 ha이고, 총 면적은 약 3.6 ha이다. 실험시설의 평면도는 (그림 7-25)와 같다. 습지와 유수지의 배치에 따른 처리효율을 비교하기 위해 습지가 유수지 앞에 놓인 습지-유수지 시스템(cell 2와 cell 4)과 습지가 유수지 뒤에 놓이는 유수지-습지 시스템(cell 1과 cell 3)으로 배치하였다. 또한 습지의 가로-세로비에 따른 처리효율의 변화를 조사하기 위해 개략적인 가로-세로비가 1:1인 형태(cell 2와 cell 3)와 가로-세로비가 2:1인 형태(cell 1과 cell 4)로 조성하였다.



(그림 7-25) 석문인공습지의 위치와 시설배치도

인공습지의 유입수는 석문담수호로 유입되는 당진천의 물을 펌핑하여 사용하였으며, T-N과 T-P의 평균 유입수 농도는 각각 3.7 mg/L와 0.30 mg/L를 나타내었다. 습지의 수심은 웨어를 이용하여 생장기(3~11월)와 동절기(12~2월)에 각각 0.3 m과 0.5 m를 유지하였으며, 체류시간은 2~5일을 유지하였다. 평균유입유량은 2002년 생장기와 동절기에는 각각 750, 755 m<sup>3</sup>/day를 적용하였고, 2003년 생장기와 동절기에는 각각 이보다 적은 540, 700 m<sup>3</sup>/day를 적용하였으며, 2004년 생장기에는 675 m<sup>3</sup>/day를 적용하였다. 인공습지는 2002년부터 현재까지 운영하고 있다 (한국농촌공사 농어촌연

구원, 2006).

<표 7-20> 석문인공습지 처리효율 (2005~2006년)

Constituents		Growing Season						Winter Season					
		POND-WET			WET-POND			POND-WET			WET-POND		
		PI	PO	WO	WI	WO	PO	PI	PO	WO	WI	WO	PO
DO	Conc.(mg/L)	9.0	11.9	5.1	8.9	4.6	8.4	13.7	15.3	14.2	14.3	13.1	11.6
	RR (%)		-31.6	57.3		48.6	-84.1		-12.0	7.5		8.2	11.3
	TRR (%)			43.8			5.4			-3.7			18.6
BOD	Conc.(mg/L)	5.2	6.4	4.8	5.4	5.0	4.1	3.4	3.8	3.6	3.6	2.9	3.0
	RR (%)		-22.0	24.1		7.1	16.9		-11.2	4.8		19.7	-3.2
	TRR (%)			7.4			22.8			-5.8			17.1
COD	Conc.(mg/L)	10.1	5.5	7.4	7.7	6.9	7.3	2.7	4.4	3.9	6.9	6.0	5.2
	RR (%)		45.5	-34.3		9.9	-5.4		-61.3	10.9		13.1	13.4
	TRR (%)			2.68			5.0			-43.7			24.7
T-N	Conc.(mg/L)	3.6	3.2	1.5	3.7	1.8	1.8	5.9	5.9	5.3	5.7	5.0	5.3
	RR (%)		10.1	54.0		51.2	2.3		1.3	9.3		11.9	-5.3
	TRR (%)			58.6			52.3			10.4			7.2
T-P	Conc.(mg/L)	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4
	RR (%)		28.6	16.7		33.5	14.6		-3.9	20.3		18.9	11.0
	TRR (%)			40.5			43.2			17.2			27.8
TSS	Conc.(mg/L)	19.0	15.4	4.0	19.0	4.5	8.2	3.9	5.3	3.3	5.9	1.8	2.2
	RR (%)		19.0	73.9		76.4	-83.3		-34.3	37.8		69.5	-19.4
	TRR (%)			78.9			56.7			16.4			63.6
Chl-a	Conc.(mg/L)	24.7	58.2	9.3	27.8	10.3	24.0	4.1	18.6	9.0	5.2	3.9	3.6
	RR (%)		-135.3	84.0		62.9	-133.5		-350.1	51.8		26.0	7.4
	TRR (%)			62.3			13.4			-116.9			31.5

RR: Removal rate, TRR: Total Removal rate

PI: 유수지유입, PO: 유수지유출(습지유입), WO: 습지유출

WI: 습지유입, WO: 습지유출(유수지유입), PO: 유수지유출

### 3) 식생여과대

(그림 7-26)은 미국 Southern California 지역 식생여과대 설치·운전 사례를 보여 주고 있다. 이 지역의 주요 대상물질은 Sediment와 Metal, Oil & Grease 로 보이며, 쓰레기와 유기물질은 보통의 제거효율을 나타내고, 박테리아와 영양염류는 제거효율

이 낮을 것이라 판단하고 있다. <표 7-21>에서 나타낸 것은 이 지역의 모니터링 수행 결과이며, TSS와 중금속의 제거효율은 높게 나타났고 질소와 인과 같은 영양염류의 처리효율은 대체적으로 낮게 나타나거나 거의 효율이 없는 것으로 나타났다.



- o 위치 : 미국 Southern California 지역
- o Filter Length : 5 m, o Filter Slope : 10%
- o 측정항목 : TSS, N, P, NO<sub>3</sub>, TKN 중금속 (Cu, Pb, Zn) 등

(그림 7-26) 도로변의 식생여과대 설치사례

<표 7-21> 미국 Southern California 지역의 모니터링 결과

Constituent	Mean EMC		Removal (%)
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	
TSS	119	31	74
NO <sub>3</sub>	0.67	0.58	13
TKN-N	2.50	2.10	16
T-N	3.17	2.68	15
T-P	0.42	0.62	-52
Total Cu	0.058	0.009	84
Total Pb	0.046	0.006	88
Total Zn	0.245	0.055	78

California Department of Transportation, 2003

<표 7-22>는 미국 Eastern North Carolina 지역의 고속도로변에서의 분석결과 이

며, TSS, N, P 의 제거효율이 각각 95%, 92%, 89%로 비교적 높게 나타나 본 지역의 식생여과대의 설치는 적합하였다고 판단된다.

<표 7-22> 미국 Eastern North Carolina 지역의 분석 결과 (Han et al., 2005)

구 분	TSS	N	P
Removal (%)	95	92	89

o 위치 : 미국 Eastern North Carolina 지역  
o Filter Length : 25 m

<표 7-23>은 미국의 버지니아주 블랙버그의 농경지에 식생여과대 Plots를 제작·설치하여 실험한 결과 값을 얻어낸 것이며, PO<sub>4</sub>-P를 제외한 모든 수질항목에서 비교적 높은 제거효율을 보였다. 또한 Filter length가 길수록 혹은 Slope 값이 작을수록 처리효율은 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

<표 7-23> 미국의 Blacksburg, Virginia (Dallaha et al, 2005)

Filter length(m)	Slope (%)	Removal (%)					
		TSS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub>	TN	TP	PO <sub>4</sub>
9.1	11	98	89	78	91	93	50
4.6		86	57	7	65	73	-78
9.1	16	70	42	22	56	65	-82
4.6		53	9	13	43	49	-49
9.1	5	93	84	73	80	87	50
4.6		83	74	74	83	85	69

o 위치 : 미국의 Blacksburg, Virginia 지역  
o Filter Length : 4.6 m, 9.1 m, o Filter Slope : 5%, 11%, 16%

## 나. 침투형 시설

### 1) 침투도랑



<표 7-24>와 (그림 7-27)은 다양한 자료를 참고하여 침투도랑의 설치 사례를 정리한 것이다.

<표 7-24> 자료를 참고한 국외 침투도랑 설치 사례

No.	Locations	Impervious Cover %	Size	land Use	Design Criteria	Reference
1	Altadena Maintenance Station, Los Angeles	100	161m <sup>2</sup>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Design Storm = 25mm</li> <li>· WQV = 172</li> </ul>	Storm Water Treatment BMP Technology Report, November 2004
2	Carlsbad Maintenance Station, San Diego	100	94m <sup>2</sup>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Design Storm = 33mm</li> <li>· WQV = 83</li> </ul>	Storm Water Treatment BMP Technology Report, November 2004
3	Pennsylvania Villanova	100		Parking lot		Villanova Urban Stormwater Partnership Government



(a) Carlsbad Maintenance Station



(b) Altadena Maintenance Station



(c) Pennsylvania Villanova



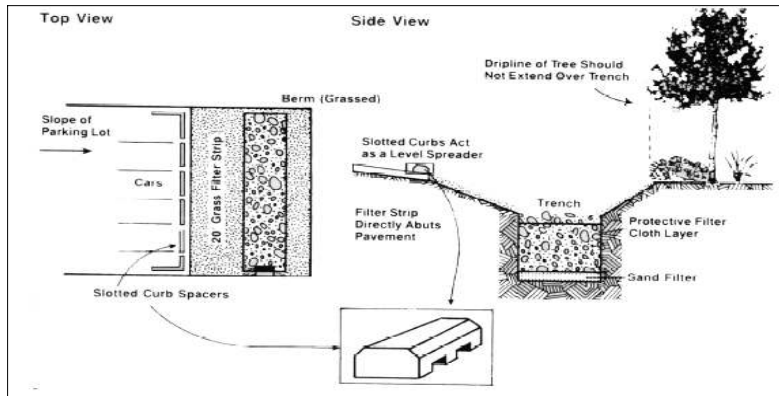
(그림 7-27) 자료를 참고하여 획득한 침투도랑 설치사례

이렇듯 미국의 경우 침투형인 침투도랑이 도시 내 도로 및 고속도로와 주거지역 등에 설치되어 오염물질의 저감에 접목되고 있다. 또한 이러한 시설들은 도로의 건설과정에서부터 유지관리에 이르기까지 다양한 형태로 접목되고 있다.

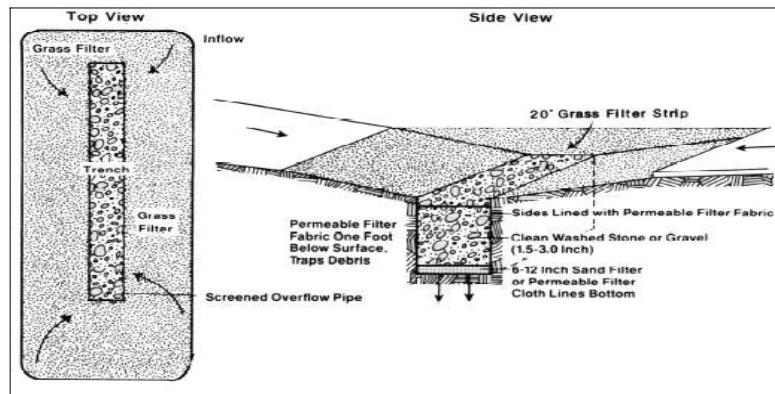
캘리포니아 강우 유출수 핸드북(2003)에 따르면, 미국 캘리포니아의 칼트랜스(Caltrans) 회사는 두 개의 침투도랑을 고속도로에 건설하였으며, 오염물 제거 효과는 거의 100%에 달하는 것으로 조사되었다. 그러나 그중 하나는 침투 실험에서 측정된 것 보다 낮은 침투율로 인해서 설계 속도로 운전하는데 실패하였다고 보고하였다. 이러한 사례는 현장에 대해 적절한 평가를 하는 것이 필수적임을 제시해 준다. 이 장치는 다른 장치에 비해서 유지 보수가 많이 필요하지 않다고 한다.



(그림 7-28) 미국 캘리포니아 고속도로에 건설된 침투도랑



(그림 7-29) 주차장 주변의 침투도랑 설계



(그림 7-30) 중앙분리 형태의 침투도랑 설계



(그림 7-31) 저습지에 시공된 침투형 도랑 (미국 오클랜드)

#### 다. 장치형 시설

##### 1) Downstream Defender

미국 내 몇 군데의 Downstream Defender 설치사례를 보면 다음과 같다.

○ Downstream Defender 현장 수질분석 결과(Strynchuk, et al., 2000)

- 소재지 : Brevard County, Orlando, Florida, USA
- 배수 구역 : 24.87 ha (산업, 주거 및 공터가 혼재된 지역)
- 측정 항목 : pH, TSS, BOD, COD, 탁도, TP 등 6개 항목
- 수질분석 결과 (단위 : mg/L)

<표 7-25> Downstream Defender 분석결과 (1)

구 분	pH	TSS	NTU	BOD	COD	TP
유입부	7.6	220	180	28	150	1.4
유출부	7.4	110	100	23	110	1.0
제거율	-	50 %	44 %	18 %	27 %	29 %

<표 7-26> Downstream Defender 분석결과 (2)

구 분	pH	TSS	NTU	BOD	COD	TP
유입부	7.6	300	110	12	71	1.3l
유출부	7.6	150	86	8.2	53	0.95
제거율	-	50 %	21.8 %	31.7 %	25.4 %	27 %

<표 7-27> Downstream Defender 분석결과 (3)

구 분	pH	TSS	NTU	BOD	COD	TP
유입부	9.4	35	56	9.6	53	0.29
유출부	7.6	13	9.4	3.4	27	0.17
제거율	-	63 %	83 %	65 %	49 %	41 %

## 2) CDS

미국 뉴저지주 환경보호국(New Jersey Department of Environmental Protection)에서는 초기우수처리시설인 CDS 장치에 대하여 현장 적용시 TSS 50%이상의 제거율을 나타낸다고 인증한 바 있다. 제거효율은 뉴저지주 환경보호국에서 EETV Program (에너지 및 환경기술인증 프로그램)의 규정에 따라 프로그램을 수행한 NJCAT (New Jersey Corporation for Advanced Technology)의 최종보고서를 토대로 제시되었다. 각종 여건에 따른 장치의 객관적인 평가를 위하여, 정확한 효율분석이 어려운 필드테스트 대신 실규모의 처리장치를 대상으로 랩테스트를 실시하였다. 실험에 사용된 유입수는 U.S Silica F-95 Sand (평균입경, d50 120  $\mu\text{m}$ )를 이용하였으며 평균 유입농도는 240 mg/L 이었다. 또한 본 장치는 150마이크로미터 입자성 물질 (비중 2.65)을 약 90% 제거할 수 있으며, 제거되는 입자성 물질이 제거됨으로써 일정량의 BOD도 제거가 가능하다.

또한 미국 Massachusetts 주에서는 Gillette Stadium을 건설함에 있어서, 미국수질 오염방지법 (Clean Water Act)의 NPDES (오염물질배출삭감제도) 및 메사추세츠 초기우수 정책 (TSS 80% 제거목적)의 방안으로 CDS (3.0 m 4대, 1.8 m 2대)를 설치하

였다. Gillette Stadium은 17 Acre에 해당하는 면적을 차지하며 약 16,000여대를 수용할 수 있는 주차장을 보유하고 있어, 초기우수 유출수에 포함된 토사류, 오일 및 각종 오염물질 등이 인근 하천으로 유입되어 환경오염문제를 유발할 것으로 예측되었으며, CDS를 설치함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

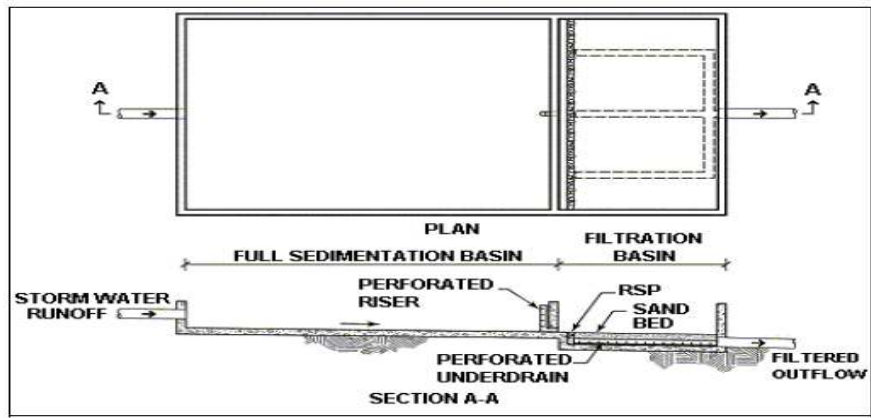


(그림 7-32) CDS의 적용사례

### 3) Aqua filter

Aqua filter 장치는 국내 업체가 개발한 필터 형태의 장치로, 국외 문헌에는 그 사례가 없다. 따라서 이와 유사한 모래필터(Sand Filter) 형태의 시공 사례 및 국내 사례에 대하여 서술하였다.

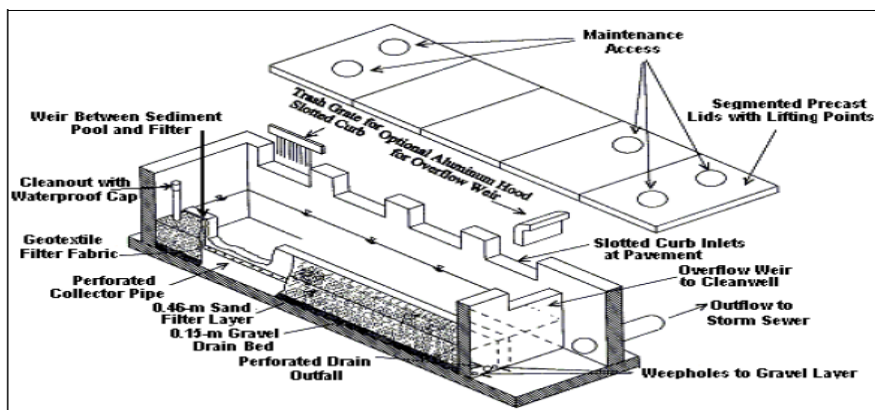
(그림 7-33)과 (그림 7-36)은 미국 캘리포니아의 BMP Retrofit Pilot Program 최종 보고서(2004)에 있는 오스틴 모래 필터(Austin Sand Filter)와 델라웨어 모래 필터(Delaware Sand Filter)의 개념도 및 시공 사례이다.



(그림 7-33) 오스틴 모래 필터 (Austin Sand Filter) 개념도



(그림 7-34) I-5/SR-78 오스틴 모래 필터 (Austin Sand Filter)



(그림 7-35) 벨라웨어에 설치된 모래 필터의 개념도



(그림 7-36) 델라웨어 모래 필터

관거형 Aqua filter 장치는 우수관이나 합류식 관로상에 설치하여 초기우수 또는 합류식 하수관의 초기월류수를 정화하는 시설이다.

도로형 Aqua filter 장치는 교량, 도로, 주차장 등에서 초기강우에 의하여 발생하는 비점오염물질을 다단계 여과방법(Multi-Filtration)으로 제거하는 기술로서 콘크리트 복개구조물 내에 다단계 필터층을 설치하고 필터층위에 월류수 여과기를 설치하여 오염수가 필터층이나 여과기를 통과하면서 오염물질이 정화된다.

측구형 Aqua filter 장치는 도로상의 비점오염물질을 정화하는 시설로서 측구밑에 우수받이와 같은 형태로 설치한다.

교량형 Aqua filter 장치는 장대교량에서 발생하는 초기우수를 교량의 상부구조물에서 정화하는 시설로서 교량의 노면을 소집수구역으로 분할 집수하여 교량의 상부구조물인 콘크리트 박스 거더 내부, 교각 위 또는 교각이나 교대의 측면벽에 소형의 교량 Aqua filter 장치를 설치하여 초기우수를 선착순 정화하여 방류하고 잉여우수는 월류시키는 시설이다.

둔치형 Aqua filter 장치는 비점오염물질이 포함되어 오염된 하천수를 무동력으로 정화하는 시설로서 유량이 변동하는 하천의 바닥에 통수단면 잠식이 없는 하저취수탱크를 설치하고 하천의 둔치나 제방 경사면 지하에 Aqua filter 장치를 설치하여 하천수위가 둔치높이보다 낮을 때 하천에 흐르는 하천수를 자연유하로 취수하여 다단계 여과 방법으로 정화하여 방류하며 하천 수위가 둔치보다 높을 때에는 시설이 수중에 잠기



면서 정화기능이 정지되는 시설이다.

수로형 Aqua filter 장치는 비점오염물질이 포함되어 오염된 하천수를 무동력으로 정화하는 시설로서 유량이 변동하는 하천바닥에 보 형태로 하천을 가로막아서 Aqua filter 장치를 설치하고 Aqua filter 장치의 상부 슬라브에 수로방향으로 스크린수로를 설치하여 하천의 유량이 적을 때 에는 스크린수로를 통하여 물이 흐르면서 스크린의 공극으로 취수되어 하부의 다단여과 시설에서 정화되어 방류하며 하천의 유량이 많을 때에는 수위가 상승하여 물이 흐르게 되며 수로형 Aqua filter 장치는 수중에 잠겨서 정화기능이 정지되는 시설이다.

Aqua filter 시설은 국내 고유기술로 개발된 시설로 국외의 설치 운전사례는 없다.

#### 4) Stormfilter

Stormfilter은 외국기술이기 때문에 외국에 적용된 사례가 많았으며, 적용범위도 주유소, 복합거주지역, 국제공항, 공업/상업지구, 다리 밑 등 다양하게 적용되고 있었다.





(그림 7-37) Stormfilter 적용사례

<표 7-28> Stormfilter 국외 적용실적

구분	위 치	도 시	주	적용현장	Media
1	King Farm	Rocknilie	MD	상업지구	Perlite
2	Shops at Summer	Bethesda	MD	상업지구	Perlite
3	Great Ludoors	Gaithersburg	MD	상업지구	Perlite
4	Wai-mart Vancouvert # 8	Vancouver	WA	상업지구	Perlite
5	Ski Run Marina South	Lake Tahoe	CA	상업지구	Zeolite
6	NASSCO Shipyard	San Diego	CA	공업지역	CSF
7	Mandalay Bay	Oxnard	CA	주 거 지	ZPG
8	King County Airport	Turkolia	WA	공 항	CSF
9	BWI CRCF	Baltimore	MD	공 항	CSF
10	Caltrans - San Diego	San Diego	CA	대중교통시설	Zeolite
11	Wood Village Town Center	Troutdale	OR	상업지구	Perlite
12	Orenco Station - East	Hillsboro	OR	상업지구	Perlite
13	White Flint Plaza	Rockville	MD	상업지구	Perlite

### 5) Stormsys

시설에 사용되는 여재인 제올라이트는 넓은 공극 및 흡착성으로 인하여 오염물질 제거에 널리 사용되고 있으며, 아래와 같은 특성을 가지고 있기에 오염물질 제거에

효과적임이며, 최근 들어 친환경적이며, 친 자연적인 제올라이트의 사용은 넓은 분야로 확대되어 지고 있으며, 특히 환경시설에 많이 접목이 되고 있다.

Physical Filtration + Surface Adsorption + Chemical Capture

Stormsys (와류+여과형)은 여유부지가 매우 부족한 도심지 지역에서 설치 및 운영되고 있으며 본장에서는 운전사례를 보여주고자 한다.

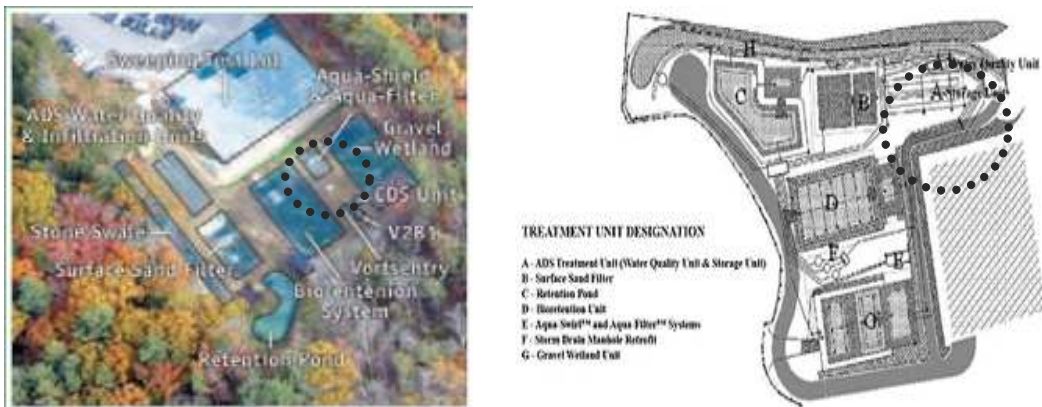
현재 미국에서는 다양한 곳에 Stormsys 시설이 설치되어 있고 <표 7-29>, <표 7-30>과 (그림 7-38)은 미국 적용사례를 보여주고 있다.

<표 7-29> 미국 Stormsys 설치 사례

No	Locations	Size	land Use	Removal Efficiency	Reference
a	City of Kalamazoo Public Services Building at 415 Stockbridge Avenue	1.91ac	Parking lot	-	Portage-Arcadia Section 319 NPS Transition Grant Best Management Practice Water Quality Sampling December 2005
b	University of New Hampshire Field Verification	1ac	Parking lot	TSS=60% Zn=61% NO <sub>3</sub> -N=10%	University of New Hampshire Stormwater Center 2005 Data Report



(a) City of Kalamazoo Public Services Building at 415 Stockbridge Avenue



(b) University of New Hampshire Field Verification

(그림 7-38) Stormsys 설치사례

Stormsys의 성능은 유출수내의 오염물 제거 효율에 의해 정해지며 이 효율을 분석하는 방법은 실험실내 조건에서 시행하는 것과 자연 상태의 현장 조건에서 하는 방법 등 2가지가 있다.

<표 7-30> Stormsys 미국 내 적용사례

국가	State	Project	비 고
미국	미시간	Department of Public Works Facility in Wayne	
	미시간	Institutional Parking Facility in Kalamazoo	
	미시간	Roadway Project in Novi	
	워싱턴	Roadway Project/Test Facility in Seattle	
	아칸소	Housing Subdivision in Anchorage	
	뉴욕	Industrial Facility Parking Lot in Massena	
	오클라호마	Truck Wash in Oklahoma City	
	메릴랜드	Commercial Facility Parking Lot in Rockville	
	버지니아	Hotel Parking Lot in Dumphries	
	웨스트버지니아	Highway/Stream Re-development in Jackson	
	캘리포니아	Navy Base Pier in San Diego	

### 제 3 절 BMPs의 비점오염원 저감효과 분석

#### 1. BMPs 대상지구 선정 및 현장조사

##### 가. 적용 가능한 BMPs 종류 검토

##### 1) 도시지역

##### 가) 도시지역 비점오염 발생원

도시지역에서 발생하는 비점오염원 제어방법 중 보다 적극적인 방법은 집수과정에서 처리하는 것이다. 이러한 집수과정에서 처리하는 방법은 하수배제 방식에 따라 그 처리방안이 달리 적용되어야 한다. 합류식하수관거 방식인 경우는 하수처리장에 유입된 비점오염원을 처리하는 방안에 주안점을 두어야 하며, 분류식인 경우는 소규모 유역별로 우수관로내에 처리시설을 설치할 수 있는 방안을 모색하여야 한다.

도시지역에서 발생하는 CSO를 전량 처리하는 것은 현실적으로 불가능하며, 우선적으로 적용가능하고 가시적인 효과를 얻을 수 있는 방법은 하수처리장으로 유입된 CSO에 대한 대책을 수립하는 것이다. CSO는 유량 및 수질특성을 고려할 때 일반적

인 하수처리 공정의 적용은 불가하며, 처리효율이 높은 물리 또는 화학적 처리공법을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

분류식 하수배제 방식인 경우 발생하는 모든 비점오염원은 우수관로를 통해 유출되므로 처리대책 또한 관로내에서 처리할 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 또한, 합류식인 경우는 비점오염원이 하수처리장으로 유입되어 운영요원에 의한 제어가 가능할 수 있지만, 분류식인 경우는 우수관로를 통해 수용하천으로 유입되도록 설계되어 있어, 강우시 발생하는 비점오염원을 처리하기 위해 새로운 시설설치가 곤란하며, 이에 대한 운영요원의 투입도 곤란한 실정이다. 따라서, 적용되는 처리시설은 동력 및 인력 소요가 없는 방식이어야 한다. 적절한 대안으로는 외국에서 적용 사례가 많은 Swirl 등이 가능할 것이며, 실제적인 현장 적용을 위해서는 보다 구체적인 연구가 선행되어야 할 것이다.



(그림 7-39) 도시지역 CSO 발생

#### 나) 도시지역 비점오염원 저감을 위한 방법

대부분의 비점오염물질은 우수유출수에 의해 희석되어 오염원에서 보다 저농도로 이동하기 때문에 이를 효과적으로 처리하기는 매우 어려우므로 발생 전에 침식억제공

법 등을 이용해 유출자체를 억제시키는 것이 가장 효과적이다. 일단 유출된 후 집수 시스템 내에서의 처리법에는 침전에 의한 오염물의 제거(저류형), 침투능 증가를 통한 오염물 제거(침투형), 식생을 이용한 오염물 제거(식생형)등의 기법이 있다. 처리효율을 높이려면 오염된 물을 다른 우수유출수와 최대한 분리하여야 하고, 이와 같은 분리를 위해 우회수로와 같은 시설이 건설되기도 한다.

이와 같이 저류형 시설과 장치형 시설은 비점오염물질의 저감뿐만 아니라 강우유출수량도 크게 저감하는 효과를 동시에 가지고 있어 도시지역에 적용하기에 적합하다. 또한 기존 도시지역의 경우, 토지수용의 어려움으로 넓은 토지면적을 필요로 하는 우수유출수 처리시설은 설치하기 어려우므로 비교적 토지이용에 제한이 적은 침투형 시설이나 CDS 등의 장치형 시설, 그리고 빗물펌프장의 유수지와 수해방지목적의 저류지 등을 이용하는 방안이 적절하다.

#### ○ 저류형

비점오염원 처리시설로 가장 일반적인 것은 초기우수를 저류시키는 방법이다. 초기 우수내 입자상 오염물질의 침전에 의해 제거되기 때문에 저류형 시설은 입자상물질과 입자상물질에 부착되어 있는 오염물질을 제거하는데 효과적이지만, 용존성 물질을 제거하는데는 한계가 있다. 저류형의 경우는 충분한 체류시간 확보를 위해서는 넓은 부지가 요구되는데, 도시지역의 경우는 부지의 확보가 어려우며, 처리시설이 자칫 혐오시설이 될 우려가 있어 인근 주민들의 수용여부에 대한 고려가 선행되어야 한다. 저류형 시설로는 저류지, 연못, 인공습지 등이 있으나, 단순한 저류기능만을 수행하는 저류지는 설치부지 요구도 및 주민수용 여부 등을 고려할 때 도시지역에 적용하기는 곤란할 것으로 판단되며, 소규모의 인공습지가 가장 무난한 시설로 판단된다.

#### ○ 침투형

강우유출수를 차집하여 지표로 방류하는 저류설비와는 달리, 침투시설은 강우유출수를 지하로 침투시킨다. 강우침투를 증진시키고 강우유출수로부터 오염물을 제거하기 위해 사용되는 설비는 침투조(infiltration basins), 침투도랑/건식우물(infiltration trenches/dry wells), 투수성 포장(porous pavement) 등이 있다.

이 방법은 토양의 침투능 및 지표면 저류능 증대를 통한 수리학적 방법으로 지표유

출의 양과 빈도를 감소시킴으로써 도시지역의 비점오염원 유출을 관리하는 것이다. 주차장이나 도로를 다공성 포장재로 시공하여 불투수 지역을 감소시키는 방안이 적용 가능하다. 이와 같이 투수성 포장재를 이용하면 강우유출수 발생량의 감소, 지하수 함양 증가 등의 이점을 기대할 수 있다. 다공성 포장재의 침투효과를 지속시키기 위해서는 주기적으로 지표면을 청소해 주어야 하며, 하부 토양의 침투능이 충분치 못한 경우에는 하부에 적절한 침투능 증가시설을 하여야 한다.

침투형 처리시설의 경우는 토양의 공극을 막고 침투의 효율을 감소시킬 수 있는 물질을 제거하기 위해 초기우수가 조(槽)로 유입되기 전에 부유성 오염물질 제거를 위한 전처리 공정이 필요하다. 침투형은 박테리아, 부유고형물, 비용존성 영양물질, 유분, 그리고 부유 폐기물의 제거에 특히 효과적이지만 용존성 영양염류와 염소의 제거에는 처리효율이 높지 않다. 또한, 강우유출수를 토양속으로 침투시켜 여과 등을 통해 오염물질을 제거하고 지하수로 재충진하는 방법이기 때문에 지하수의 오염이 우려되는 지역에는 설치할 수 없다.

#### ○ 식생형

도시지역에서 식생은 불침투성 지역을 감소시키고 강우유출수의 침투를 증진시키고 고형물을 제거한다. 이들은 주로 전처리 방법으로 사용되며, 일반적으로 사용되는 방법은 식생수로(*grassed swales*)와 식생여과대(*filter strips*) 등이다.

식생수로는 연석을 설치하고 배수시스템을 재정비해야 하기 때문에 기존의 도시지역에는 설치가 곤란하며, 신규로 개발되는 도시지역에 적용 가능하다.

식생여과대는 포장된 불투수 지역이 많은 도시지역의 경우는 강우유출수의 유속이 커 처리에 어려움이 있으며, 식생여과대 조성에 많은 토지가 필요해 도시지역에 설치하기는 곤란하다. 또한, 식생여과대는 토양으로의 침투효과가 처리효율을 결정짓기 때문에 토양의 침투성이 큰 지역에 제한적으로 사용될 수 있다.

#### ○ 장치형

장치형 비점오염원 처리시설로는 *Swirl concentrator*, *Vortex separator*, *Storm King*, *Hydroseparator*, *CDS(Continuous Deflective Separation)* 등이 있다. 이러한 시설은 관거에 설치하는 시설로 주로 관거를 통해 우수가 유출되는 도시지역에 적용 가



능하다. 장치형 처리시설 중 일부는 처리효율을 높이기 위해 응집제를 투입하는 시설도 있으나, 유출량의 변화가 심한 비점오염원의 유출특성을 감안할 때 응집시설의 도입은 부적합한 것으로 사료된다.

장치형 처리시설은 부유성 고형물질의 제거가 주된 목적이며, 영양염류 및 중금속의 제거효율은 낮은 편이다. 장치형 처리시설은 Swirl 형태가 대표적인데, Swirl 형태가 널리 사용되는 이유는 침전성 부유물질 및 부상성 물질 등의 고형물을 제거 가능할 뿐 아니라, 유량의 조정 및 저류기능이 있어 급격한 유량변동에 대해 탄력적으로 대응할 수 있는 기능이 있다. 또한, 아주 짧은 체류시간으로 인해 소규모화가 가능하고, 구동부분이 없어 유지관리가 용이하며, 유체의 흐름특성을 이용하므로 에너지 소비가 전혀 없는 장점을 가진다(Field, 1974). 특히, 소규모로 지하화할 수 있어 기존 도시의 합류식하수관월류수 처리에 적용된 사례가 많다. 단점으로는 강우사상이 끝난 후 퇴적물을 제거해 주어야 하며, 경우에 따라서는 처리수 이송에 펌프장치가 요구되기도 한다는 것이다.

## 2) 비도시지역

### 가) 비도시지역 비점오염 발생원

비도시지역은 대부분 농경지, 산지, 축산농가, 일부 주거지역으로 구성되어 있다. 농업활동이 수질에 미치는 영향은 일차적으로 농작물과 축산물의 생산활동에 의해 일어난다. 이러한 활동은 점오염원과 비점오염원의 모든 형태로 나타나지만 대규모 축산을 제외하고는 대부분 비점오염원으로 나타난다. 농지의 경우에는 농작물의 경작시 발생하는 표토의 교란, 식생을 제거하고 그 자리에 농작물을 심고 농작물이 뿌리를 내리기까지 토양방치, 토양개량을 위해 비료나 가축배설물 등의 토층상부 살포, 살충제 살포, 관개용수의 공급 등이 있다. 또 축산의 경우에는 부적절한방법에 의한 가축배설물 처리, 식생을 적절히 보호치 못하는 방목, 하천 인근에서의 가축방목 및 사육 등이 있다. 농업 및 축산과 관련된 주요 비점오염물은 침식물과 영양물(특히 인과 질소), 농약 및 독성물질, 박테리아나 병원균, 염도 등이며, 주요 농업지역인 5개 토지이용에 의한 비점오염물은 <표 7-31>과 같고, 각 주요 오염물의 영향은 다음과 같다.

<표 7-31> 토지이용별 주요오염원

토지이용	주요 비점오염물
논	농약과 영양물 등 흡착한 침식물 및 용존영양염과 박테리아 등 미생물을 함유한 관개배수
밭	영양물과 농약을 흡착한 침식물
축사	박테리아, 바이러스, 기타 미생물, 용존 및 흡착 영양물, 침식물, 유기물질, 염, 금속, 항생제 등
마을	유기물, 박테리아, 염, 영양물 등
산지	침식물, 영양물 등

○ 침식퇴적물

침식퇴적물은 농지 및 목장용지에서 용적상으로 가장 큰 비점오염원이다. 침식퇴적물은 토양침식에 의한 광물조각이나 농작물 및 가축폐기물로 이루어지며 퇴적물은 하천이나 호수바닥에 침전하여 생물을 질식사시키거나 어류의 서식지를 파괴하고 빛의 투과를 감소시킴으로써 광합성과정을 방해한다. 또한 살충제와 영양물질의 운반자역할을 하고, 하천수로의 용적을 감소시키고 흐름을 방해하며 하천관리비용을 증가시키고, 호수에 도달하여 저수용량을 감소시키고 상수처리비용을 증가시킨다.

○ 영양물질

하천에서 일정수준이상의 영양물질농도는 비료의 과다사용이나 가축배설물의 부적절한 처리에서 야기된 것이다. 수용성 영양물질은 강우유출수나 지하침투를 통해 지표수나 지하수에 도달한다. 이온물질들은 토양입자에 흡착되어 침식이나 퇴적공정을 통해 지표수에 도달하기도 하고, 가축배설물이나 비료가 직접 우수유출수에 의해 지표수로 유입되기도 한다. 과도한 영양물질은 자연에서 영양물질의 균형을 파괴하고 호수의 부영양화를 유발하여, 수공급시스템에서 각종 장애를 발생시킨다. 농지에서의 영양물질유출은 토양형태, 농작물의 종류 및 영농방법, 그리고 기후에 따라 다양하며 대표적인 영양물질은 인과 질소이다. 인은 호수나 하천수내 식물성장의 주요 제한영양물질이고 인위적 부하가 생태계 균형을 쉽게 교란할 수 있다. 최근에는 농작물의 생산량 증가를 위한 인비료의 과다사용과 동물배설물의 농지처분에 의해 대부분의 선

진국에서 토양내 과도하게 축적되어 있다. 그 결과, 인이 과도하게 함유된 강우유출수를 만들었고 지하수까지 침출의 위험이 증가되었다. 질소는 농업유출수내 암모니아, 질산성 질소, 아질산성 질소, 유기질소의 형태로 존재할 수 있다. 주요 형태는 질산성 질소로, 나머지 존재형태는 축산폐수로 오염된 강우유출수에서 보다 우세하게 존재한다. 질산성질소는 청색유아증을 유발하고 최근에는 위암을 유발하는 것으로 알려져 있다. 또한 해양환경내 식물성장에 있어 주요 제한 영양물질로 과도한 하천부하는 연안수내 부영양화 문제를 가속시킬 것이다. 강우유출수내 대부분 입자상으로 존재하는 인과 달리, 질산염은 용해도가 높기 때문에 주요 수송기작이 침출이 되고 따라서 식물에 의한 영양물질 흡수가 최소가 되는 가을과 겨울에 부하가 증가한다.

#### ○ 살충제

살충제는 수용성이거나 불용성으로 영양물질과 같은 경로를 통해 지표수나 지하수로 유입된다. 물에서의 살충제는 직접적인 독성문제 또는 먹이사슬에 의한 잠재적인 문제를 유발할 수 있다. 우리나라에서는 1996년에 연간 24.6천톤의 살충제가 사용된 것으로 보고되고 있다. 종류도 다양하여 미국의 경우 100종의 살충제가 지하수에서 검출되고 있다. 이중 1/3 이 공업폐수 등의 점오염원에서 기인하고 나머지 2/3는 농업비점오염원에서 기인하는 것으로 밝혀졌다. 농업용 살충제는 주로 유기염소제(organochlorine insecticides)로서 수체에 심각한 영향을 미친다. 대부분의 농약은 살포후 지하수로 유입되어 문제가 확인되기까지 장기간이 소요된다. 그리고 농약은 환경에 유입되어 분해되거나 흡착되는 비율이 토양특성 등 그 지역의 자연조건에 크게 좌우되므로 일률적인 대책수립이 어렵다. 우리나라에서 일반적으로 사용하고 있는 atrazine은 덴마크, 독일, 프랑스, 네덜란드 등에서는 그 사용을 금지하거나 엄격히 규제하고 있으며, 독일과 네덜란드에서는 이외에도 수원보호구역에서 용해성이 큰 농약의 사용을 금지하고 있다.

#### ○ 제초제

과거 10년(1985~1995)동안 제초제의 생산량은 1.6배가 증가하였으며 사용된 제초제의 1/3이 밭작물에 사용되었다. 밭은 논에 비해 침식력이 강해 밭에 뿌려진 제초제는 상당부분 지표유출을 통해 하천으로 유입되거나 지하로 침투되어 지하수로 유입된

다. 더구나 문제가 되는 것은 매년 새로운 제초제가 생산되어 사용되고 있으나 이러한 새로운 화학물의 수체와 인체에의 영향이 규명되어 수질감시항목으로 선정되기까지는 상당한 시간이 소요된다는 것이다. 제초제는 계절적 피크를 나타내며 대부분 늦은 봄과 초여름사이에 식물이 완전히 성장하기 전에 가장 많이 살포하므로 이 시기에 가장 많이 유출된다. 이 시기에는 주변의 토착 동식물도 유아기에 있으므로 생태계에 미치는 영향이 크다. 대부분의 제초제는 토양속에 오랜 기간동안 잔존하며 천천히 분해된 물질은 지표수나 지하수로 유입된다. atrazine의 분해물인 desethylatrazine은 제초제 중에서도 이동성이 강하고 지속기간이 길다. 따라서 이 물질은 외국에서는 농업 비점오염원의 오염지표로 많이 사용된다.

○ 유기물질

가축배설물과 농작폐기물은 유기성 물질생성에 가장 큰 기여를 한다. 유기물질은 고형물이나 수용성의 형태로 우수유출수에 의해 지표수로 유출되거나 침투를 통해 지하수로 유입될 수 있다. 유기물질은 유입하천에서 BOD로 표현되는 산소요구의 문제를 야기하고, 맛, 색깔, 냄새, 영양물질의 축적으로 수공급과 이용에 문제를 유발한다.

○ 미생물

수환경에서 미생물과 관련된 주요사항은 질병을 야기하는 박테리아 등 병원균이며, 축분은 농경활동에서 병원성 박테리아를 야기하는 주된 발생원이다. 병원균은 침식물, 수용성 물질, 유기물질과 함께 지표수나 지하수로 이동한다.



(a) 농경배수 호소직유입      (b) 경사밭고랑 토양침식증가      (c) 과량의 농약살포

(그림 7-40) 농경지역 비점오염물질 발생원



(a) 미흡한 축사관리

(b) 축사분뇨의 야적

(그림 7-41) 축산지역 비점오염물질 발생원

#### 나) 비도시지역 비점오염원 저감을 위한 방법

현재 많은 학자들은 농업생태계의 지속성을 보전하기 위한 실천방안으로 최적영농관리방안(BMP: Best Management Practices)을 제안하고 있다. BMP란 “농업비점오염원에 의해 초래되는 오염량을 수질목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현가능한 영농방법”으로 정의할 수 있다. 비점오염원의 억제를 위해 사용되는 행정적, 규제적, 기술적 방안은 점오염원의 억제를 위해 사용되는 원리와 다르다. 비점오염원을 경제적으로 억제하기 위해 사용될 수 있는 접근 방법은 오염물질을 수거하여 처리하는 대신 발생급원을 관리하는데 있다고 볼 수 있다. BMP는 영농방법과 보전방법을 모두 포함하고 있다. BMP를 작부체계에 도입하는 것은 환경농업에서 추구하는 기술적, 경제적, 환경적 성공도의 면에서 가장 중요한 일이다. BMP는 지역특성에 따라 다르기 때문에 (site-specific), 한 지역에서 시행할 수 있는 BMP가 다른 지역에서 반드시 같을 수는 없다. 따라서, BMP는 지역, 작물의 종류, 기후 등에 따라 달라진다. BMP는 연구에 의해 개발된 체계이어야 하며 농민에 의해 이행되어 최적의 화학농자재의 투입효과, 수량과 환경보전의 목표가 달성될 수 있는지 검증되어야 한다.

환경농업을 통해 경제성이 있는 작물생산성을 유지함과 동시에 환경에 주는 악영향을 최소화하기 위해서는, 작물이 필요로 하는 적절한 양의 영양소가 사용됨은 물론 그 이용효율이 극대화되며, 특정 지역에 적합한 토양 및 수질 보전 기술을 채택해야

한다. 이를 달성할 수 있는 기술적 체계가 BMP라고 할 수 있다.

BMP는 문제를 파악, 평가한 후 대체할 수 있는 영농방안을 조사하고, 농민이 자발적으로 참여, 검토한 후 지역특성에 맞는 관리방안을 행정당국에서 결정할 수 있다. 모든 비점오염원을 관리, 억제할 수 있는 단일 기술이나 또는 단일 BMP는 없다. BMP의 선정 및 이행은 억제하고자 하는 오염원의 종류와 양, 배출하는 농업활동형태, 부하 감소량, 특정 지역의 기후, 지형 등의 자연요소를 포괄하여 고려하여야 한다. 비점오염원의 억제를 위한 적절한 BMP의 선정 및 이행을 위한 일반적인 단계는 다음과 같다.

- 1단계 : 개선을 필요로 하는 지표수와 지하수의 수질 문제 파악
- 2단계 : 수질문제에 기여하는 오염원의 급원과 부하량 확인
- 3단계 : 억제방법 및 특정 관리방안 설정

- 가장 이상적인 BMP는 농업적 효율성, 환경적 효율성, 경제적 수익성, 사회적 수용성, 시행 가능성의 조건을 갖춘 것

- 4단계 : BMP 이행

농경지에서 오염원 억제를 위한 적절한 BMP란 다음의 특성 중 한가지 이상의 조건을 갖추고 있어야 한다.

- 토양을 식물재배방법이나 작물 잔류물로 적절하게 피복시켜 강우강도를 완화시키고 유거수의 속도를 줄일 수 있어야 한다.

- 적절한 토양 침투와 흐름경로를 마련하여 토양에서 분리, 이동을 통한 오염원의 유실을 최소화하고 침투능을 증가시켜 유거수량을 감소시킬 수 있어야 한다.

- 유출이 많이 일어날 때 표토나 근권에 있는 토양용액 중의 수용성농약, 식물영양소 및 기타화합물의 농도를 최소화하거나 감소시켜 이들 물질의 유거나 침투에 의한 이동을 최소화시킬 수 있어야 한다.

- 영농방법을 변경할 수 있어서 특정 방법에 의한 잠재적 오염원의 유실과 이동을 줄일 수 있도록 해야 한다.

따라서 BMP에 의한 오염원 억제 수단은 관리(Management), 식물(Vegetative) 피복, 구조적(Structural) 방법으로 구분할 수 있다. 관리방법에 의한 억제는 화학자재의

형태, 시용시기, 시용율, 시용방법, 경운 방법 등을 포함한다. 식물피복 방법은 토양 표면에 식물을 재배하거나 잔류물질을 이용하여 토양유실 방지, 유거수 속도감소, 토양수분 보유력 증가, 침투수의 비율과 양 증가를 통한 오염원의 억제 수단으로 중요한 역할을 하는 것으로, 작부체계와도 밀접한 관련이 있다. 구조적 방법은 시설물을 설치하거나 공사를 통해 포장을 변경시켜 오염원의 발생을 억제하는 수단으로 자본의 투자가 요구되나 비교적 영구적인 억제방법으로 간주된다. 농경지에서의 비점오염원억제를 위한 가능한 BMP의 예를 <표 7-32>에서 나타내었다.

<표 7-32> 경작지에서 비점오염원 억제를 위한 BMP

---

■ 관리적 억제

- 과도한 화학물질 투입을 감소
- 손실방지를 위해 화학물질 투입 최적시기 결정
- 투입방법 개선
- 나지 기간의 최소화를 위한 경작지 경운 시기 개선
- 수질 오염 가능성이 낮은 대체 농약 사용
- 내병충해성 작물 선택
- 체계적인 잡초 방제법 선택
- 경운의 감소 또는 무경운
- 등고선 재배

---

■ 식물에 의한 억제

- 병충해 순환 방지를 위한 윤작
- 토양 구조 개선과 지표유거 최소화를 위한 윤작
- 동계 작물 재배로 피복
- 등고선 대상 재배
- 오염물질 유출 최소화를 위한 경작지 주위에 독과 초지 설치
- 지표유거와 토사 감소를 위한 경작지와 하천 경계에 완충지역 설치

---

■ 구조적 억제

- 계단식 경지 설치
  - 배출로의 우회
  - 초지로 조성된 수로 설치
  - 심층 배수
  - 조절지 설치
-

또한 <표 7-33>은 농지비점오염원 관리기법 중 각 세부기법에 대한 장점과 단점을 비교 분석한 결과이며 <표 7-34>는 오염원별 적정BMP의 선택을 위한 구체적인 대책들을 체계적으로 종합 정리한 것이다.

<표 7-33> 농지비점오염원 관리기법

방 법	장 점	단 점
논갈이	침투증가, 식물의 성장촉진	기상조건에 따라 부적합
보존경작시스템	토양손실감소, 토양비효증가, 필요 비료사용량 감소	다른 농장운영에 방해
등고선 경작	토양손실감소, 강우유출감소, 수분보유	지형제한
등고선과 수원	토양손실감소, 강우유출감소, 수분보유	지형제한, 과수수확의 손상가능
식물잔재 및 녹비사용	동절기에 토양보호, 수분보유, 토양유기물함량 증진	성장시기와 수확기로 인한 제한
취약지구의 식종	침식감소, 수분보유, 토양개선	농지확보, 관리노력필요
농업잔재물이용	효과적인 토양보존, 수분보유, 침투증가, 필요비료량 감소	곤충문제유발, 동물사료로의 사용이 더 유용
관개용수관리	침식감소, 장래 수공급확보, 식생커버 조성에 도움	보조시설이 필요
토양덮개	침식감소, 즉가적 효과, 강우유출감소, 발아를 위한 종자지	비용이 고가(특수장비가 필요)
초지관리	침식 및 영양물질 손실 감소, 목초제공	보조시설 필요 (다른 농장운영에 방해)
초지조성	침식과 토양손실 감소, 목초제공, 영양물질 손실감소	작물생산을 위한 농장운영에 방해, 농지확보
방목지 조성	침식감소, 방목분해, 박테리아와 유기영양물질부하량 감소	다른 농장운영에 방해
일렬식종	토양손실감소, 수분보유, 영양물질 강우유출감소	경작활동에 방해(장비제한)
오물침전연못	침전물을 포획하고 오염물질흡착, 가축에게 용수공급, 외부의 손상 조절	시공비 고가, 다른 토지용도를 방해 (토지작업이 필요)



&lt;표 7-33&gt; 농지비점오염원 관리기법 (계속)

방 법	장 점	단 점
우회수로건설	침식방지(경제적 사용을 위해 바람직한 지역으로 유출)	농장운영에 부적합 (기타 보조처리방법 필요)
울타리치기	방목분산에 의해 침식예방 (식생커버 개선, 특정지역 축분부하량 감소)	농장운영에 제한 (적용성 제한)
방포림조성	풍식감소, 작물보호	적용성 제한
여과초지대	침전물 포획과 오염물질 흡착 (목초가능)	경작면적 감소 (병해와 곤충의 은신처제공)
경사안정화 구조물	침전물 부하감소 (제한지역내 식생조성을 용이)	고가, 적용제한 (보조시설필요)
연못	침전물 포획과 오염물질 흡착, 위락성 제공, 관개용수 제공, 침식조절	다른 토지용도 방해, 적용제한 (지질, 비용이 제한요소)
농로정비	체류도랑개발 (연중 지속적 접근이 가능)	고가
지표하배수	침투증가, 접근성개선, 강우유출수감소	총영양물질 강우유출 증가
Terrace	침식감소, 경사면의 영농성 개선, 강우유출수 감소	장비와 지형제한에 따른 농경활동방해
수로 & 유출부조성	침식감소, 접근통로제공 (목초생산에 사용가능)	작물생산토지감소 (농경활동의 재편성이 필요)

출처 : USPEA, "Best Management Practices Handbook : Agriculture", Virginia, 1979.

&lt;표 7-34&gt; 오염원별 적정 BMP의 선택

오염물질	관리방법	구조적	재배적	관리적
퇴적물	1. 경지와 하천제방의 침식방식  2. 퇴적물 포획을 위한 유거수로 조성  3. 퇴적물 처리	테라스/우회수로 사면안정/하천제방 보호  침사지	피복작물/윤작/ 보전경운/중요지역 식재  여과식생대 조성/ 초지수로/대상재배/경지보호	등고선재배/수변지역 보호/적정 초지관리  적정 재이용

<표 7-34> 오염원별 적정 BMP의 선택 (계속)

오염물질	관리방법	구조적	재배적	관리적
영양물질	1. 오염원 최소화 2. 수용성형태의 화학비료관리 3. 수용성형태의 축산분뇨관리 4. 토양침식 및 퇴적물 이동의 최소화 5. 수계유입차단	축산분뇨처리시스템/방지벽/우회수로/테라스 테라스/방수로 웅덩이/유거수 조절지/습지 개발 우 회 수 로/연 못, 조절지,저류지/퇴비화 시설 테라스/우회수로/하천제방보호/침사지/중요지역 처리 상기방법/수처리(고부가가치 작물의 경우)	윤작/방목지 관리 피복작물/대상재배/수변완충지/다비작물로 전환 보전경운/식생여과대/수변보호지역/피복작물 수변완충지역	방목지&초지관리 /양분관리/퇴비화 /적정사육두수 용수재이용/양분관리/ 관개수조절 적정용수관리 양분관리 상기방법
병원균	오염원 최소화 최소 이동 수처리	방지벽 축산분뇨보관/저류연못 처리라군/여과지	식생여과대/수변완충지역 인공습지/식물여재를 이용한 미생물 여과시스템	축산분뇨의 관리(처리량과 시기) 적정부지선정/적정량 처리 재활용과 재이용
염류	유효성 제한 유실 조절	증발지/관수로화/수로 라이닝/방수조절 연못/	작물 선별/염수습지완충/토지이용변경	점적관수 관개수 관리
금속류	토양원 관리 유입원 관리 수처리	방수로 웅덩이/재이용, 재활용 시스템 여과	작물/식물 선별 인공습지/식물여재를 이용한 미생물여과시스템	미량금속 함유물질 유입 방지/관개수 관리/IPM
농약/기타 독성물질	오염원 최소화 이동 최소화 배출수 처리	테라스/침사지/물재용재활용을 위한 저류지 탄소여과시스템(고부가가치 작물)	식물 종/작물 선택 완충지/보전경운/여과식생대/습지 식물여재를 이용한 미생물 여과시스템/인공습지	IPM/식재시기변경/용기의 적정처리 관개수 관리/IPM

출처 : U.S. EPA (1993); Brach (1990); Alexander (1993); USDA, SCS (1988)

농지 비점오염원 관리기법으로는 친환경적 경작시스템 도입, 보전경작시스템, 침식 우려지역 식생조성, 침식물저류조, 강우유출수 우회수로, 방풍림, 초지여과대, 침식여과대, 농도관리 등이 있으며 논외의 경우 비점오염물질을 배출하기도 하지만 홍수조절 및 토양유실을 방지하는 역할과 관개시 작물에 의한 용수중의 오염물질의 흡수 등 긍정적인 역할을 하기 때문에 저감시설로써 적용이 기대되는 시설이다. 축산지역의 비점오염 관리기법으로는 식생수로, 저류연못, 토양흡착지대 등이 효과적이다.

### 나. BMPs 적용현장 선정

BMPs를 이용한 비점오염원 저감효과를 분석하기 위해 도시지역 및 비도시지역에서 적용할 수 있는 BMPs를 검토하였고 그 중에 수도권 인근에서 현재 운영 중인 BMP 시설을 선정하였다.

#### 1) 고액분리시스템 (CDS : Continuous Deflective Separation)

장치형 시설의 한 종류로써 본 연구에서 적용한 CDS의 설치위치는 경기도 파주시의 봉일천 빗물펌프장 전방 하천변에 설치되어 있다. 시설용량은 15,120 m<sup>3</sup>/d이며 오염물질 내 고체성분과 액체성분의 분리를 통한 비점오염원 저감이 목적이며 파주 금촌면 일대의 CSOs의 처리를 위하여 시범 설치되어 운영 중이 있다. 주변 배수구역의 토지이용은 주거지역과 농경, 산림지역으로 이루어져 있다.



(그림 7-42) 파주 고액분리시스템(CDS)

## 2) 우수유출수 저류시설

본 연구에서 사용된 저류조는 서울시 중랑구 망우동 공원묘지 지하에 설치되었으며 2004년 12월에 완공되어 현재 운영 중에 있다. 시설규모는 저류높이가 6 m, 연장이 108 m, 폭이 45~71 m, 배수면적이 33.3 ha로써 홍수조절능 30,000 ton, 홍수년도 30년 빈도로 설계되었다. 또한 유입유량은 86만  $\text{m}^3/\text{d}$ 이고 방류량이 26만  $\text{m}^3/\text{d}$ 로써 호우시 침수피해 방지 및 유출수 오염물질 저감을 목적으로 운영되고 있다. 배수구역의 토지이용은 대부분이 공동묘지를 포함한 산지로 이루어져 있다.



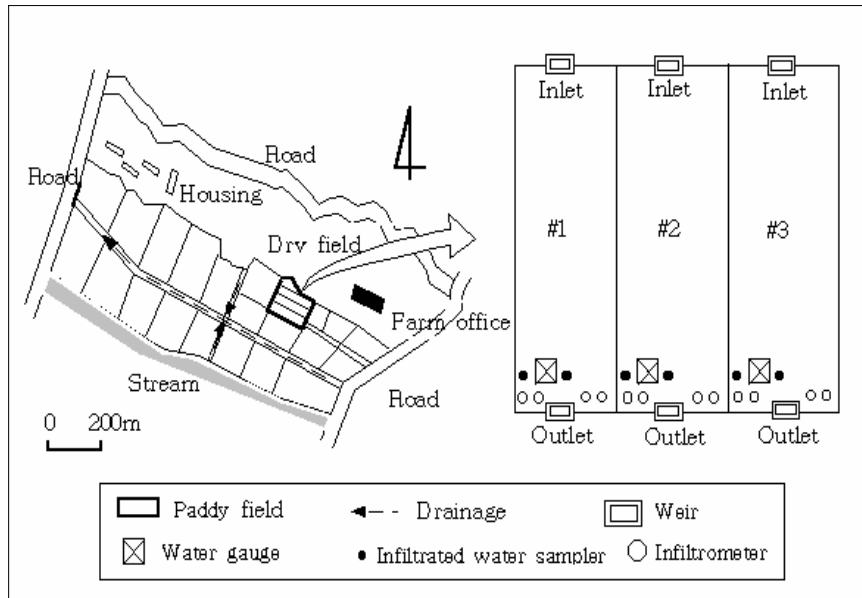
(그림 7-43) 망우동 우수유출수 저류조

## 3) 정화 논 (실제 영농중인 논 일부를 BMPs 시설로 활용 현장실험)

본 시설의 적용현장은 경기도 여주시 건국대학교 실습농장 내에 위치해 있다. 논은 홍수조절과 오염물질 제어기능을 동시에 지니고 있는 시설이다. 필지단위 논으로 약 0.8 ha의 면적을 가지고 있으며 배수구역의 토지이용은 전형적인 농촌지역이며 산림과 밭으로 이루어져 있다.



(그림 7-44) 여주 정화 논



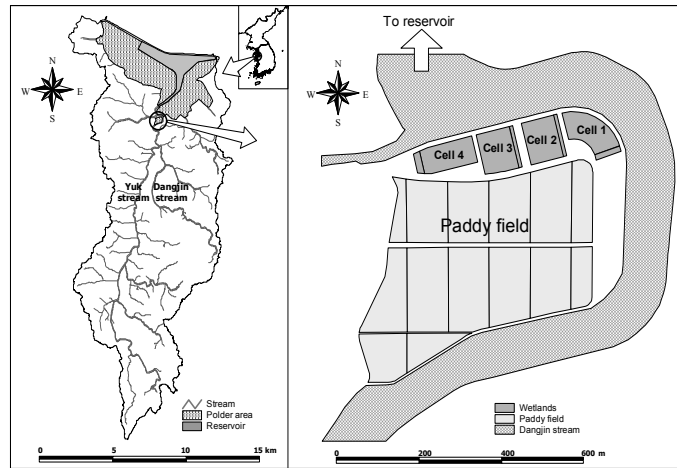
(그림 7-45) 정화 논 모식도

#### 4) 인공습지 및 유수지

본 시설의 적용현장은 충청남도 당진의 석문지구 담수호 유입하천에 위치해 있다. 습지면적 3.2 ha이며 수심은 0.5 m, 체류기간은 20일이다. 유수지면적은 0.32 ha이며 수심은 2 m, 체류기간은 8일이다. 평상시 및 강우시의 유입하천의 오염물질을 처리하기 위해 운영되고 있다.



(그림 7-46) 당진 석문지구 인공습지 및 유수지



(그림 7-47) 석문인공습지의 위치와 시설배치도

## 다. 토지이용 특성을 고려한 저감시설 선정의 적정성 평가

### 1) 도시지역

#### 가) 저류형 : 초기우수 저류시설, 서울시 중랑구 소재 망우공원지하 저류지

○ 초기우수 내 입자상의 오염물질의 침전에 의해 제거되기 때문에 저류형 시설은 입자상물질과 입자상 물질에 부착되어 있는 오염물질을 제거하는데 효과

○ 강우강도가 큰 강우의 경우 망우공원의 부유물질을 다량 유출시키므로 이를 저류할 수 있는 저류시설이 필요함

#### 나) 장치형 : 고액분리시스템, 파주시 금촌면 인근 하수관로 말단

○ 도시와 같이 시설부지의 제한을 받는 지역에 적합하며 하수 및 강우유출수의 고형물질과 유기물질의 처리에 효과적임

○ 금촌지역 30 mm 이상의 강우시 말단 하수관로에 유출량이 다량 발생하고 하천으로 직유입되는 것을 방지하기 위하여 CDS와 같은 장치형시설이 필요함

### 2) 비도시지역

#### 가) 정화 논 : 여주군 건국대학교 실험장 내

○ 농경지 및 방목지의 토양유실과 유사로 인한 수질악화 방지, 홍수조절 및 토양

유실 방지, 그리고 관개시 작물에 의한 용수 중의 오염물질 흡수에 효과적임

○ 정화 논 주변의 토지이용(축산농장, 인삼밭 등)에서 발생하는 비점원오염의 초기우수저류 및 오염물질 저감을 위해 필요함

#### 나) 인공습지 및 유수지 : 석문지구 담수호 유역 내

○ 농경지 및 방목지의 토양유실과 유사로 인한 수질악화 방지, 홍수조절 및 토양유실 방지, 습지식물에 의한 용수 중의 오염물질 흡수에 효과적임

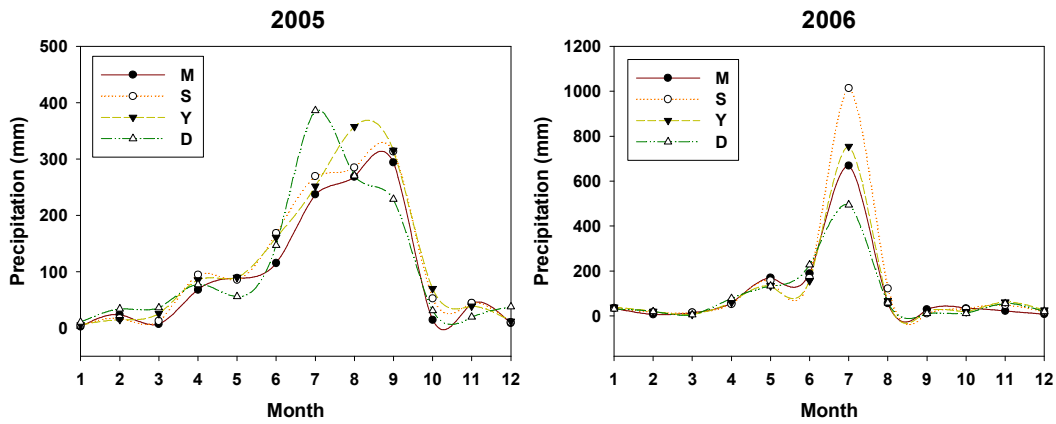
○ 하천말단에 위치하고 있기 때문에 하천수 정화기능 및 초기우수저류, 오염물질 저감을 위해 필요함

## 2. BMPs 현장실험 모니터링

### 가. 대상 시설주변의 지역현황 및 오염원 현황

#### 1) 대상시설 지역의 연평균 강우량

대상시설 지역별 강우량에 대하여 조사한 결과는 (그림 7-48)과 같으며 2005년 지역별 강우량은 문산, 서울, 수원, 서산에서 각각 1171.7 mm, 1358.4 mm, 1427.6 mm, 1334.2 mm로 나타났으며, 일년 중 강우량이 집중되는 6월에서 9월까지의 분포는 과주가 914.8 mm로서 가장 적었고, 서울이 1036.2 mm, 수원이 1085.2 mm, 서산이 1032.3 mm를 각각 나타내었다. 2006년의 경우 1284.5 mm, 1681.9 mm, 1362.7 mm, 1139.2 mm로 각각 나타났으며, 6월에서 9월까지의 분포는 서울(13414.8 mm) > 수원(999.7 mm) > 문산(942.4 mm) > 서산(789.6 mm) 순으로 각각 조사되었다.



(그림 7-48) 각 대상시설 지역별 2005~2006년 월평균 강우량

## 2) 대상시설 주변현황

### 가) 저류시설

저류조는 서울 중랑구 망우동 공원지하에 위치하여 있으며 강우시 공원산지에서 유출되는 유량과 토사 및 부유물질이 저류시설로 유입되어 약 200 m의 개수로를 경유 후 저류되며, 일정시간이 경과하면 작은 갑문을 통해 하류로 상등수만 방류된다. 저류조가 위치한 지역의 현황은 주거지역이 대부분이나, 강우시 저류조에 직접적인 영향은 공원산지에서 유출되는 토사 및 부유물질이 대부분이다.

### 나) 고액분리시스템

고액분리시스템은 파주 금촌면 일대 하수관거 말단에 위치하여 있으며 시설 주변 환경은 주거지역이 약 20%, 농경지 및 산림이 약 80%를 점유하고 있다. 평상시에는 배출되는 하수가 전량 하수처리장으로 이송되어 처리되고 강우시에는 다량의 비점오염물질을 포함한 하수가 유출되어 유출량이 증가하면 2Q까지는 고액분리시스템에서 처리되고 2Q 이상은 봉일천으로 방류된다.

### 다) 정화 논

정화 논은 여주군 건국대학교 농장 인근에 위치하여 있으며 필지단위 논으로써 약 0.8 ha로 구성되어 있다. 시설 주변 환경은 대부분이 농경지 및 산림으로 이루어져 있



고 강우시 산지, 인삼밭에서 유출되는 다량의 비점오염물 질(유기물, 영양물질 등)이 개수로를 통해 하천으로 직접 방류되기 전에 정화 논으로 유입된다. 유입구에서 유출구까지 약 40 m를 경유하여 배수로를 통해 유출되고 있다.

#### 라) 인공습지 및 유수지

인공습지 및 유수지는 충남 당진 석문지구안에 자리잡고 있으며 시설 주변 환경은 하천말단부에 위치하고 있어 산림과 농경지가 대부분이다. 강우강도가 큰 강우시나 홍수시 유역으로부터 많은 비점오염물질이 하천으로 유입되어 흐르는 것을 하천말단에서 일정한 유량을 펌핑하여 습지와 유수지 시스템을 통하여 정화하고 있다.

#### 나. BMP별 강우유출량 및 수질 모니터링 결과

본 연구에서는 도시 및 비도시지역에 위치해 있는 저류조, CDS, 정화논, 인공습지를 대상으로 강우시 비점오염 모니터링을 실시하였다. <표 7-35>에 나타낸 바와 같이 각 시설에 대한 모니터링은 시설 유입수 및 유출수를 대상으로 당진 인공습지를 제외한 나머지 시설의 경우 8~10회를 조사하였으며 분석항목은 BOD<sub>5</sub>, TSS, TN, TP, TC, FC, *E. coli*에 대하여 각각 분석하였다 .

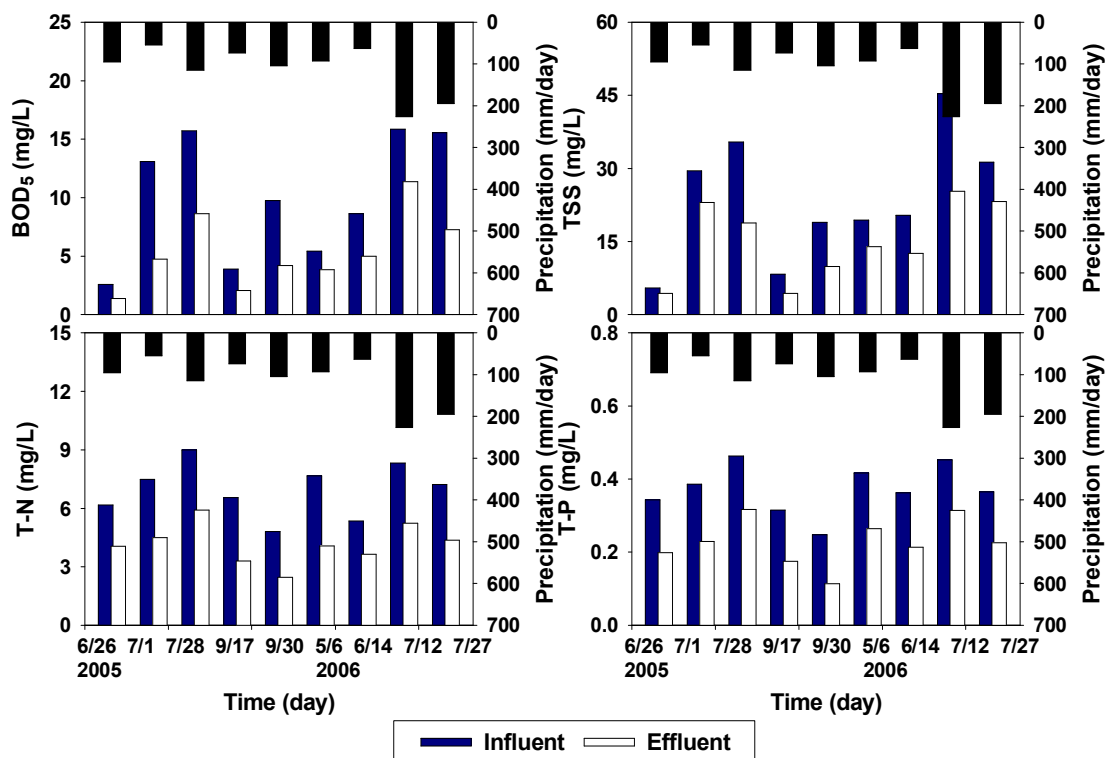
<표 7-35> BMP별 모니터링 현황

BMP 시설명	모니터링 횟수	측정대상	분석항목
망우리 저류조	2005~2006 (9회)	시설 유입수 및 시설 유출수	BOD <sub>5</sub> , TSS, TN, TP, TC, FC, <i>E. coli</i>
파주 CDS	2005~2006 (8회)		
여주 정화 논	2005~(2006(10회)		
당진 인공습지	평상시 : 2002~2006 (172회)		
	강우시 : 2003 (2회)		

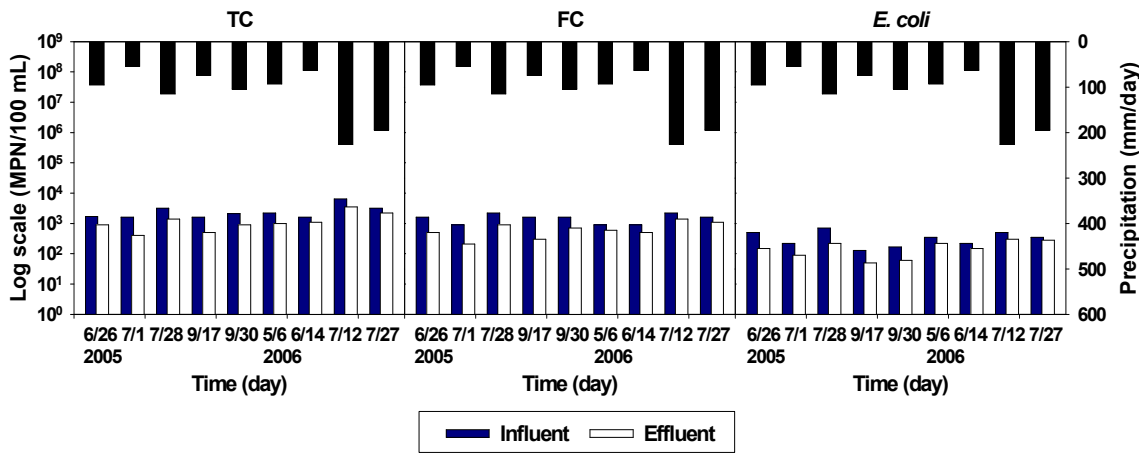
#### 1) 망우리 저류조

저류조에 대한 비점오염물질 제거효율을 (그림 7-49), (그림 7-50)과 <표 7-36>에

정리하였다. 저류조의 유입원수는 산지의 토사가 주를 이루며 강우유출시 계곡을 따라 하류로 다량 유출된다. 강우시 총 9회 모니터링을 하였고 유입원수의 각 수질항목별 농도는 BOD<sub>5</sub>가 10.18 mg/L, TSS가 24.31 mg/L, T-N이 6.97 mg/L, T-P가 0.38 mg/L, TC가 2,695 MPN/100 mL, FC가 1,490 MPN/100 mL, *E. coli*가 350 MPN/100 mL으로 낮게 나타나 유입수 수질은 양호한 것으로 나타났다. 저류조를 체류 후 유출된 유출수의 농도는 BOD<sub>5</sub>가 5.53 mg/L, TSS가 15.42 mg/L, T-N이 4.19 mg/L, T-P가 0.23 mg/L, TC가 1,385 MPN/100 mL, FC가 711 MPN/100 mL, *E. coli*가 176 MPN/100 mL로 각각 분석되었다. 이 시설의 평균제거율은 각각 45.7%, 36.6%, 39.9%, 38.5%, 48.6%, 52.3% 및 49.7%로 나타내었다.



(그림 7-49) 저류조의 유기물 및 영양물질 유·출입농도



(그림 7-50) 저류조의 지표 미생물 유·출입농도

<표 7-36> 저류조의 평균 유·출입 농도와 제거율

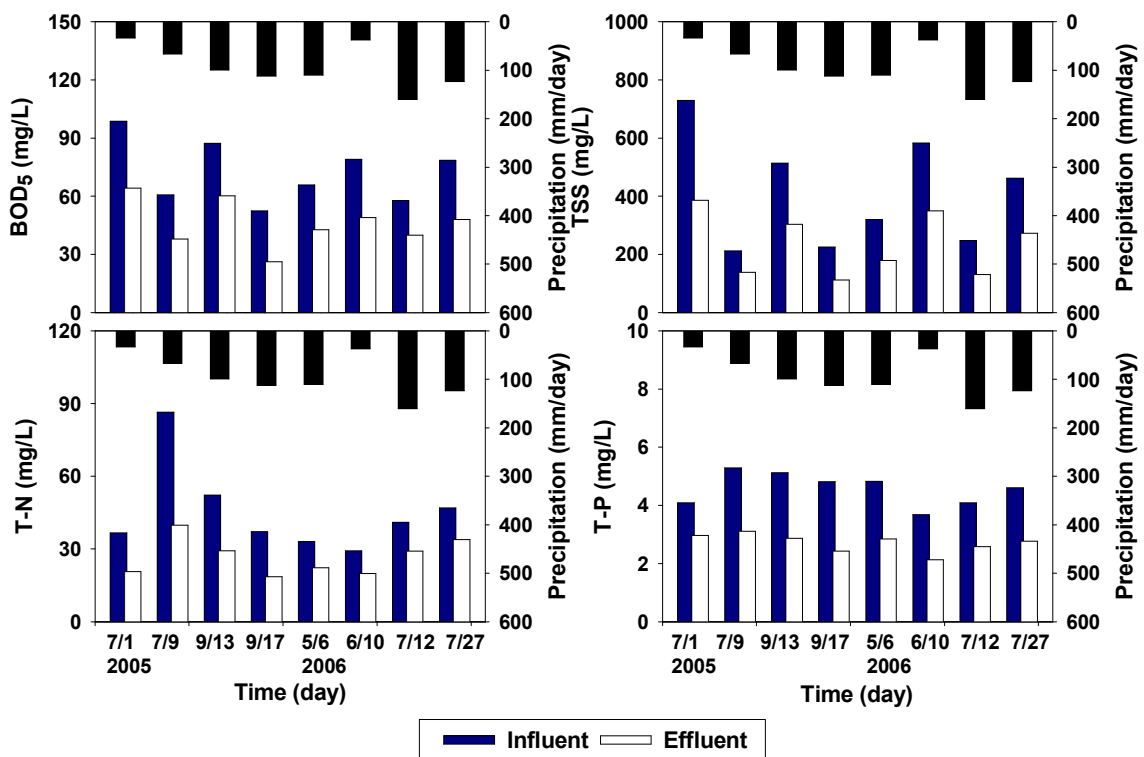
항목	샘플수	평균유입수 (mg/L)	평균유출수 (mg/L)	제거율(%)
BOD <sub>5</sub>	9	10.18	5.53	45.7
TSS	9	24.31	15.42	36.6
TN	9	6.97	4.19	39.9
TP	9	0.38	0.23	38.5
TCa	9	2,695	1,385	48.6
FCa	9	1,490	711	52.3
<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	9	350	176	49.7

<sup>a</sup> 지표미생물 단위 (MPN/100 mL)

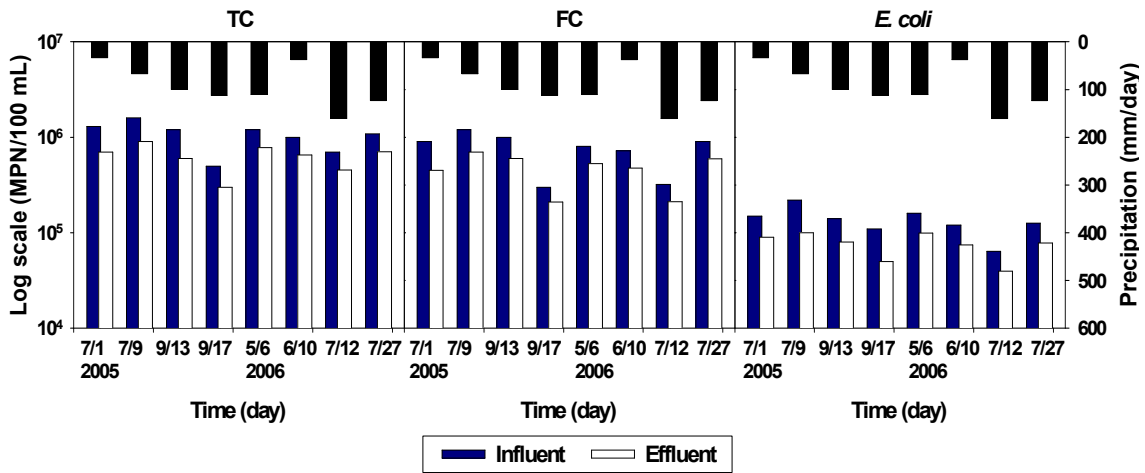
## 2) 파주 고액분리시스템

고액분리시스템에 대한 비점원오염물질 제거효율을 (그림 7-51), (그림 7-52)와 <표 7-37>에 정리하였다. 이 시설에 유입원수는 생활하수가 주를 이루며 강우시 비점원오염물질도 유입된다. 강우시 총 5회 시료채수를 하였고 유입원수의 각 수질항목 별 농도는 BOD<sub>5</sub>가 78.68 mg/L, TSS가 461.45 mg/L, T-N이 47.86 mg/L, T-P가 4.65 mg/L, TC가 1,072,500 MPN/100 mL, FC가 767,500 MPN/100 mL, *E. coli*가 136,250 MPN/100 mL으로 높은 수질농도를 나타내었다. 고액분리장치의 유출수 농도는 BOD<sub>5</sub>가 50.0 mg/L, TSS가 262.06 mg/L, T-N이 28.34 mg/L, T-P가 2.71 mg/L,

TC가 635,875 MPN/100 mL, FC가 471,050 MPN/100 mL, *E. coli*가 76,425 MPN/100 mL로 각각 분석되었다. 이 시설의 평균제거율은 각각 36.4%, 43.2%, 40.8%, 40.5%, 40.7%, 38.6% 및 43.9%로 나타내었는데도 불구하고 유출수농도가 높은 이유는 본 시설에 유입되는 유입원수의 농도가 매우 높고 총 유입량이 시설용량인 15,120 m<sup>3</sup>/d를 초과하여 유입되기도 하기 때문으로 판단되었다.



(그림 7-51) 고액분리시스템의 유기물 및 영양물질 유·출입농도



(그림 7-52) 고액분리시스템의 지표 미생물 유·출입농도

<표 7-37> 고액분리시스템의 유·출입 농도와 제거율

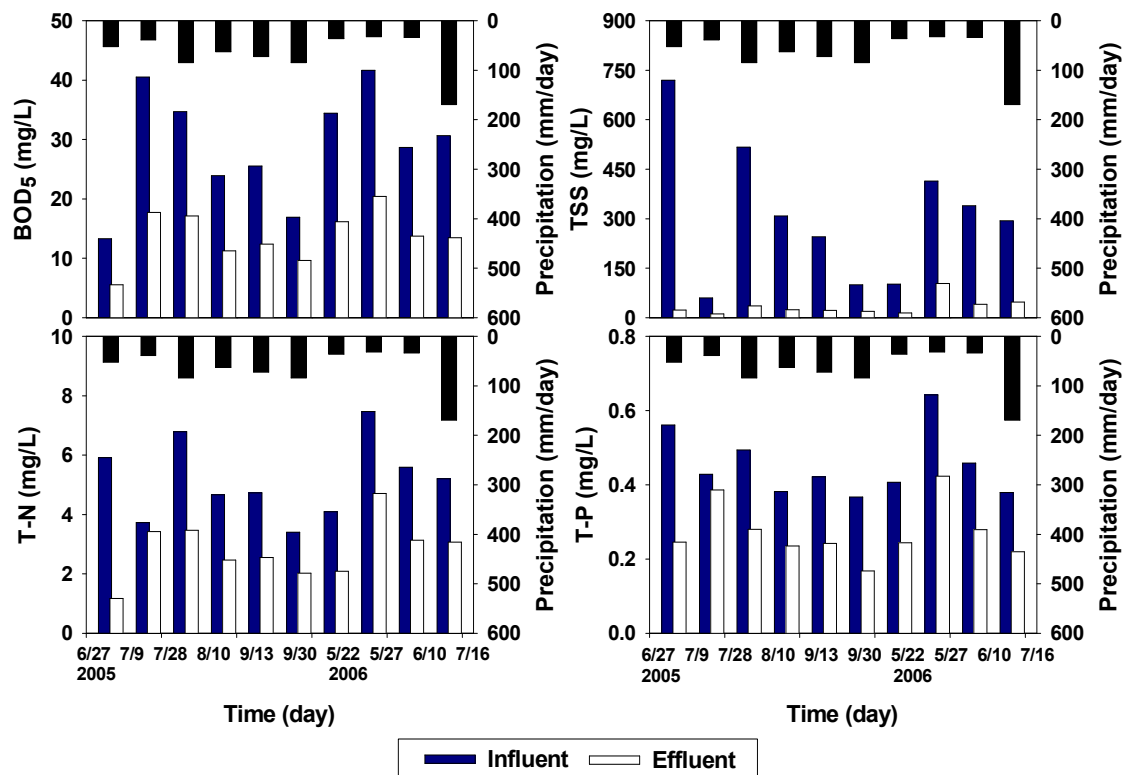
항목	샘플수	평균유입수 (mg/L)	평균유출수 (mg/L)	제거율(%)
BOD <sub>5</sub>	8	78.68	50.0	36.5
TSS	8	461.45	262.06	43.2
TN	8	47.86	28.34	40.8
TP	8	4.56	2.71	40.5
TCa	8	1,072,500	635,875	40.7
FCa	8	767,500	471,050	38.6
<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	8	136,250	76,425	43.9

<sup>a</sup> : 지표미생물 단위 (MPN/100 mL)

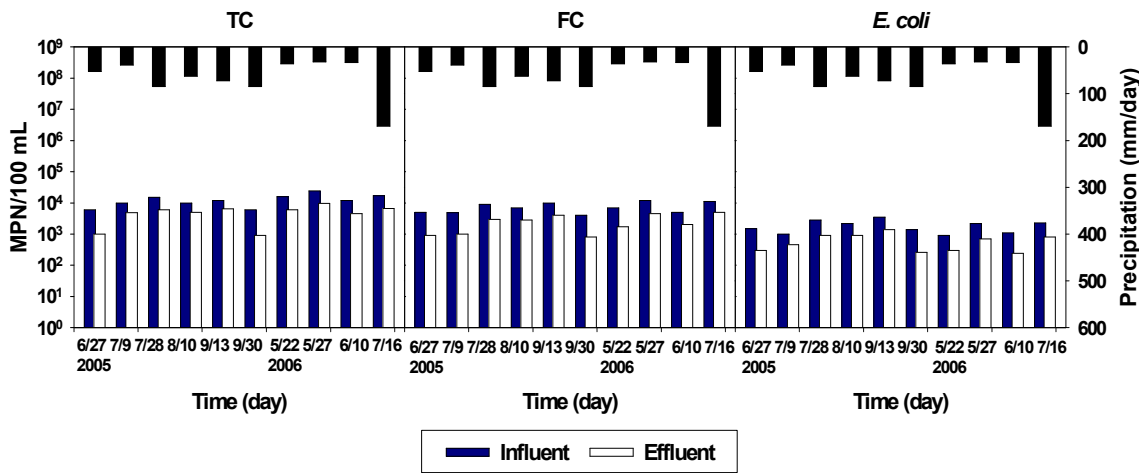
### 3) 여주 정화 논

정화 논에 대한 비점원오염물질 제거효율을 (그림 7-53)~(그림 7-54)와 <표 7-38>에 정리하였다. 이 시설에 유입원수는 농경지의 비료성분과 토사 유기물이 대부분이며 강우시 자연배수구를 경유하여 유입된다. 강우시 총 6회 시료채수를 하였고 유입원수의 각 수질항목별 농도는 BOD<sub>5</sub>가 29.82 mg/L, TSS가 306.13 mg/L, T-N이 5.23 mg/L, T-P가 0.46 mg/L, TC가 13,542 MPN/100 mL, FC가 7,692 MPN/100 mL,

*E. coli*가 1,846 MPN/100 mL로 나타났다. 정화 논으로 유입되어 일정시간 체류 후 유출되는 유출수의 농도는 BOD<sub>5</sub>가 14.12 mg/L, TSS가 37.07 mg/L, T-N이 2.88 mg/L, T-P가 0.28 mg/L, TC가 5,346 MPN/100 mL, FC가 2,692 MPN/100 mL, *E. coli*가 607 MPN/100 mL로 각각 분석되었다. 이 시설의 평균제거율은 각각 52.7%, 87.9%, 44.9%, 39.7%, 60.5%, 65.0% 및 67.1%로 저류조나 고액분리장치에 비해 비교적 높은 수준을 나타내었는데 이는 산지 및 밭에서 유실되는 많은 양의 토사를 논에서 처리할 수 있었기 때문으로 판단되었다. 지표 미생물의 경우도 60%이상의 높은 제거율을 나타내어 논이 가지는 정화기능은 비교적 양호한 것으로 판단되었다.



(그림 7-53) 정화 논의 유기물 및 영양물질 유·출입농도



(그림 7-54) 정화 논 의 지표 미생물 유·출입농도

<표 7-38> 정화 논 의 유·출입 농도와 제거율

항목	샘플수	평균유입수 (mg/L)	평균유출수 (mg/L)	제거율(%)
BOD <sub>5</sub>	10	29.82	14.12	52.7
TSS	10	306.13	37.07	87.9
TN	10	5.23	2.88	44.9
TP	10	0.46	0.28	39.7
TCa	10	13,542	5,346	60.5
FCa	10	7,692	2,692	65.0
<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	10	1,846	607	67.1

<sup>a</sup> 지표미생물 단위 (MPN/100 mL)

#### 4) 석문지구 인공습지 및 유수지

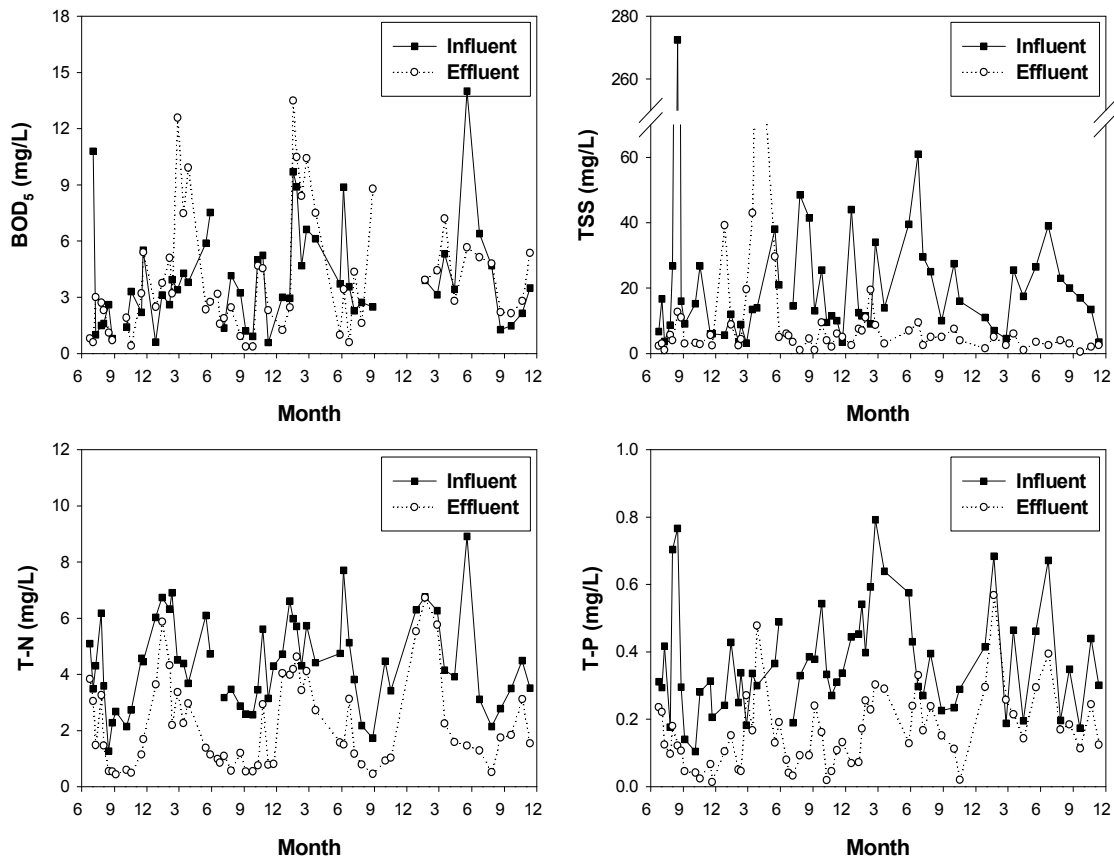
(그림 7-55)~(그림 7-58)과 <표 7-39>는 석문지구 인공습지 및 유수지의 평상시 오염물질 유출입 농도와 처리효율을 나타낸 결과이다. 본 시설의 경우 연중 오염물질이 유입되고 평상시의 시설기능도 중요한 의미를 가지므로 강우시의 처리효율과 비교하기 위하여 2002년부터 2006년까지 조사한 자료를 바탕으로 분석한 결과이다.

조사기간 동안 각 시험포에서의 유입수 BOD<sub>5</sub> 평균농도를 살펴보면 1시험포의 경우 4.0 mg/L, 유출수는 3.9 mg/L를 나타내었고 처리효율은 0.1%를 나타내었다. 2시험포

의 경우 유입수는 3.8 mg/L, 유출수는 3.3 mg/L를 나타내었고 처리효율은 13.6%를 나타내었다. 3시험포의 경우 유입수는 3.7 mg/L, 유출수는 3.9 mg/L를 나타내었고, 4 시험포의 경우 유입수는 3.7 mg/L, 유출수는 3.7 mg/L를 나타내었다. 시기에 상관없이 2002~2006년 각 시험포마다 인공습지에 의한 BOD<sub>5</sub>의 개선효과는 거의 나타나지 않았으며, 오히려 유출수의 농도가 유입수에 비해 소폭 상승한 것을 알 수 있다.

습지의 TSS제거 기작은 주로 습지식물에 의해 유속이 감소되어 입자성 물질이 침전되어 TSS가 제거된다. 유입수의 TSS는 침전을 통해 수체내의 탁도를 감소시키며, 입자에 흡착되어 있는 인과 같은 오염물질이 토양에 퇴적되도록 하는 한편, 농도가 높으면 탁도 증가로 인해 광 투과도가 감소되어 수체 내 식물플랑크톤 및 조류의 광합성 등에 영향을 미친다. 조사기간 동안 각 시험포에서 TSS 농도의 범위를 살펴보면, 1시험포의 경우 유수지 유입구 부분은 0.3~64.5 mg/L, 습지 유출구 부분은 0.5~116.0 mg/L의 범위를 나타내었고 평균 TSS농도는 유수지 유입, 습지 유출부분이 각각 22.6 mg/L와 8.7 mg/L를 나타내었다. 2시험포의 경우 습지 유입구 부분은 4.0~114.0 mg/L, 유수지 유출구 부분은 0.5~18.0 mg/L의 범위를 나타내었고, 평균 TSS 농도는 습지 유입, 유수지 유출부분이 각각 21.6 mg/L, 7.1 mg/L를 나타내었다.



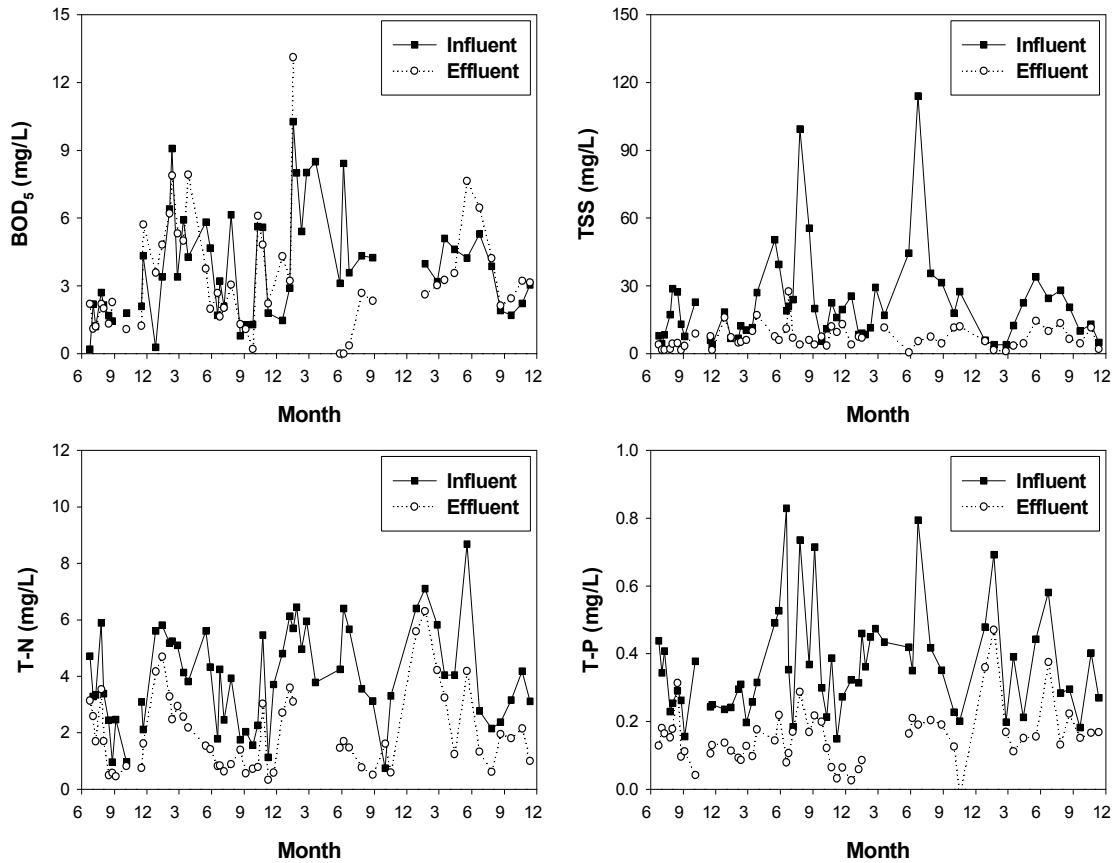


(그림 7-55) 유수지-습지(Cell 1) 시스템에서의 유·출입 농도변화

3시험포의 경우 유수지 유입구 부분은 1.0~32.5 mg/L, 습지 유출구 부분은 0.5~36.5 mg/L의 범위를 나타내었고 평균 TSS 농도는 유수지 유입, 습지 유출부분이 각각 22.4 mg/L, 6.8 mg/L를 나타내었다. 4시험포의 경우 습지 유입구 부분은 2.0~343.5 mg/L, 유수지 유출구 부분은 0.5~46.0 mg/L의 범위를 나타내었고 평균 TSS농도는 습지 유입, 유수지 유출부분이 각각 27.7 mg/L, 14.5 mg/L를 나타내었다. 시험포별 TSS의 처리효율은 각각 61%, 67%, 70%, 48%로 비교적 높게 나타났다.

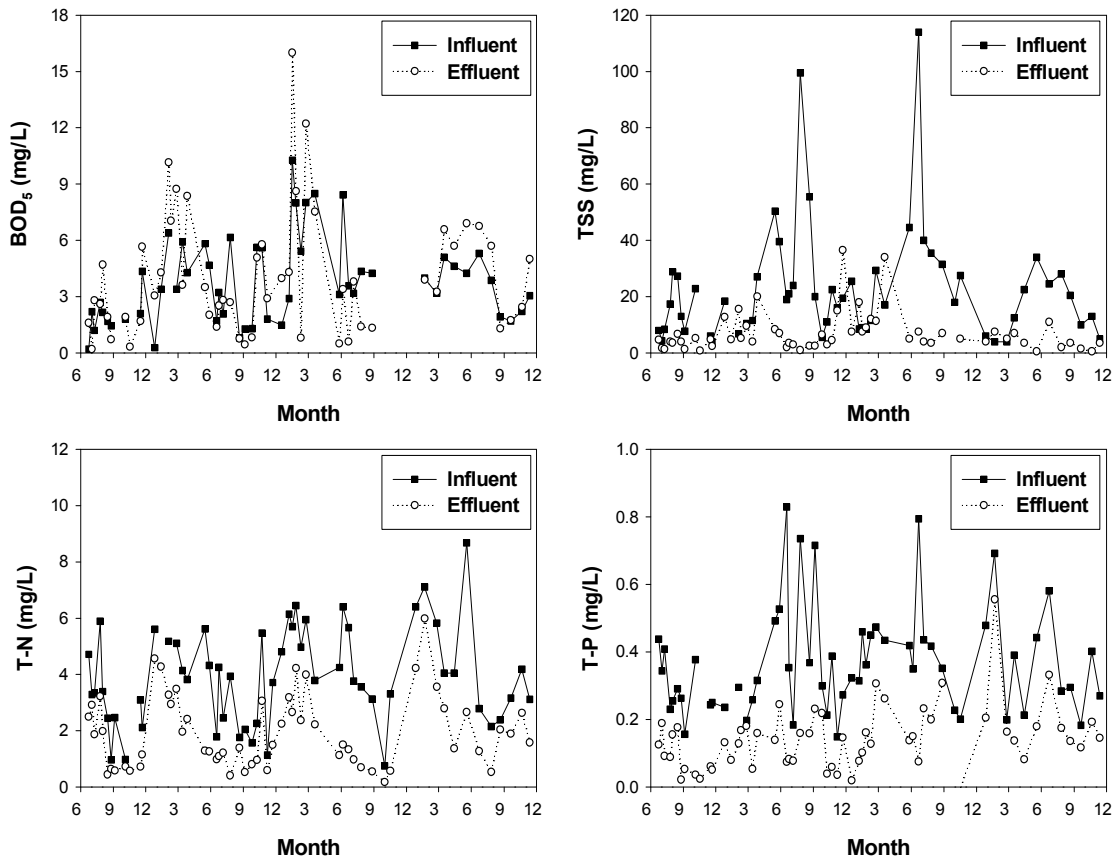
습지를 장기간 운영하는 측면에서 살펴보면, 5시험포와 7시험포의 경우처럼 습지 이전에 유수지를 배치시켜 유수지에서 일단 많은 부유물질을 가라앉히고 습지에서 생물학적 처리가 이루어지도록 하는 것이 더 유리하다고 판단된다. 장기간 운영 후에 유수지에 유사가 많이 침전되어 수심이 낮아져도 유수지 바닥의 유사를 준설하면 습

계 안정된 시스템으로 다시 이용할 수 있으며, 상대적으로 습지에서 침전되는 유사 및 오염부하를 감소시킬 수 있기 때문에 습지의 수명을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.



(그림 7-56) 습지-유수지(Cell 2) 시스템에서의 유·출입 농도변화

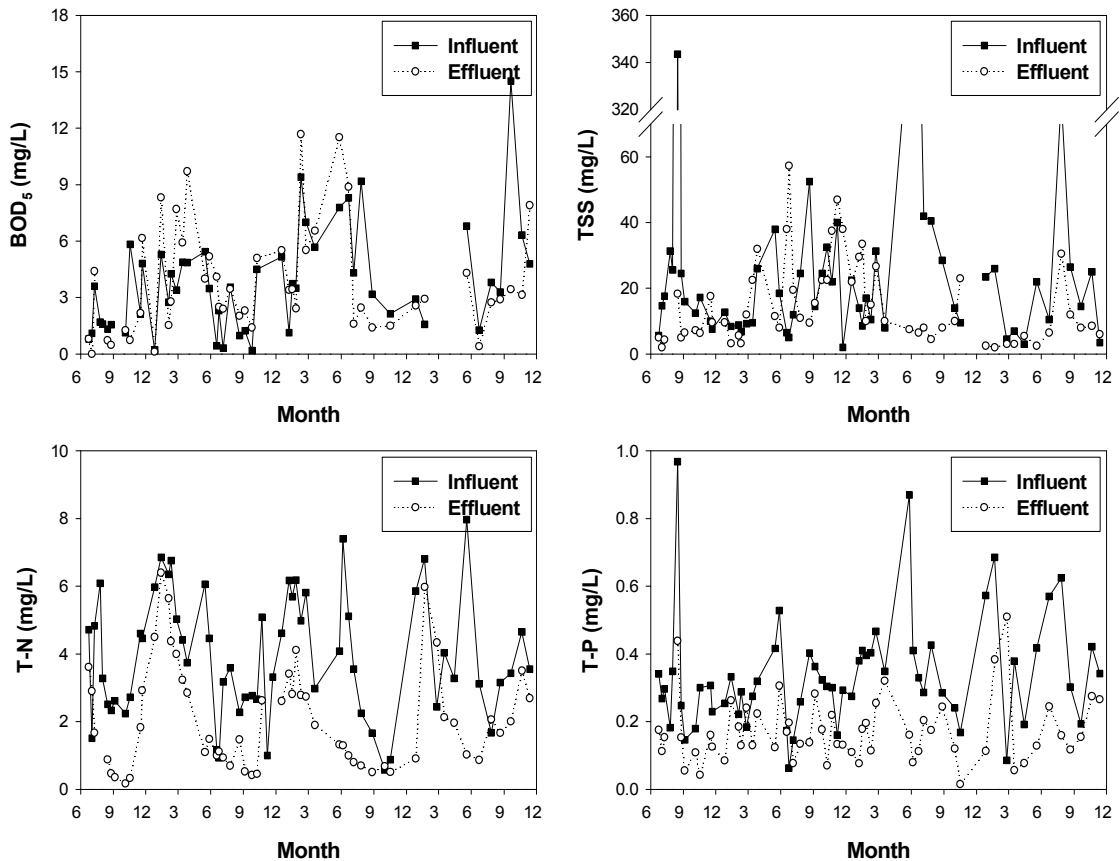
5시험포의 습지의 경우 2002년 12월 중순과 2003년 3월 하순경에 습지 유입부분보다 유출지점에서 훨씬 더 높은 TSS농도 값이 나왔다. 이는 습지 외적인 요인으로 수심을 낮게 유지한 5번 습지에 새들이 먹이를 찾기 위해 많이 날아와 습지를 교란시켜 바닥에 침전되어있던 입자성물질이 교란되어 나타난 현상이며, 2004~2005년도의 경우에는 수위를 높게 유지시켜 주어서 새나 그 밖에 환경에 의한 습지수체내의 내부교란은 발생하지 않고 지속적인 TSS의 침전효과가 나타났다고 판단된다.



(그림 7-57) 유수지-습지(Cell 3) 시스템에서의 유·출입 농도변화

각 시험포별 유입 및 유출구의 농도변화와 처리효율의 경우 각 시험포에서 T-N 평균농도는, 1시험포의 경우 유수지 유입과 습지 유출부분이 각각 4.4 mg/L와 2.2 mg/L를 나타내었다. 2시험포의 경우 유수지 유입과 습지 유출부분이 각각 3.9 mg/L와 1.9 mg/L를 나타내었다. 3시험포의 경우 유수지 유입과 습지 유출부분이 각각 3.9 mg/L와 1.4 mg/L를 나타내었다. 4시험포의 경우 유수지 유입과 습지 유출부분이 각각 3.9 mg/L와 2.2 mg/L를 나타내었으며, 각각 51%, 50%, 51%, 45%로 비교적 양호한 처리효율을 나타냈다. 2003년의 경우에는 각 습지마다 10월부터 습지유입수의 T-N농도가 증가하다가 집중호우가 내린 2003년도 7월경에 습지 유입량의 증가로 유입수의 농도가 급격히 감소한 후 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다. 2004년도에도 각 습지별로 T-N변화를 살펴보면 2003년도와 유사하게 1~3월 얼음이 녹는 시기에

농도가 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 집중호우가 내린 8~9월에는 농도가 감소하였다.



(그림 7-58) 습지-유수지(Cell 4) 시스템에서의 유·출입 농도변화

또한 2004년 5월부터 9월까지 농지배수를 적용하여 운영한 5번과 8번 습지의 경우를 살펴보면 6월경에 습지 유입수의 T-N농도가 7 mg/L까지 상승하였는데, 이 시기에 하천수를 적용한 6번과 7번 습지도 거의 유사한 경향을 나타내어 농지배수와 하천수의 T-N 농도차이는 거의 없었음을 확인 할 수 있었다. 2005년의 경우를 살펴보면 평년과 마찬가지로 얼음이 녹기 시작하는 1~3월에 농도가 상승하고 집중호우기간인 7~8월경에 다시 농도가 상승하는 현상을 보이고 있다.

인은 질소와 함께 조류의 증식에 필요한 영양분이 되어 수역의 부영양화를 지배하

는 중요한 인자이다. 각 시험포에서 T-P 평균농도는, 1시험포의 경우 유수지 유입, 습지 유출부분이 각각 0.37 mg/L와 0.16 mg/L를 나타내었다. 2시험포의 경우 유수지 유입, 습지 유출부분이 각각 0.36 mg/L와 0.15 mg/L를 나타내었다. 3시험포의 경우 유수지 유입, 습지 유출부분이 각각 0.37 mg/L와 0.14 mg/L를 나타내었다.

<표 7-39> 인공습지와 유수지시스템의 유·출입 농도와 제거율

Constituents		Concentration (mean ± Standard deviation)				n
		Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	Influent	4.0 ± 2.8	3.8 ± 2.4	3.7 ± 2.3	3.7 ± 2.7	172
	Effluent	3.9 ± 3.2	3.3 ± 2.5	3.9 ± 3.2	3.7 ± 2.8	172
	Removal (%)	0.1 ± 98.2	13.6 ± 227.5	-	-	172
TSS (mg/L)	Influent	22.6 ± 36.3	21.6 ± 20.4	22.4 ± 20.6	27.7 ± 47.5	172
	Effluent	8.7 ± 16.5	7.1 ± 4.9	6.8 ± 6.9	14.5 ± 12.6	172
	Removal (%)	61.3 ± 162.3	67.1 ± 31.6	69.5 ± 58.4	47.6 ± 294.9	172
T-N (mg/L)	Influent	4.4 ± 1.6	3.9 ± 1.7	3.9 ± 1.7	3.9 ± 1.8	172
	Effluent	2.2 ± 1.6	1.9 ± 1.4	1.7 ± 1.3	2.2 ± 1.6	172
	Removal (%)	50.6 ± 24.2	50.4 ± 31.8	50.8 ± 20.4	44.5 ± 42.2	172
T-P (mg/L)	Influent	0.37 ± 0.16	0.36 ± 0.16	0.37 ± 0.16	0.34 ± 0.17	172
	Effluent	0.16 ± 0.11	0.15 ± 0.09	0.14 ± 0.09	0.17 ± 0.09	172
	Removal (%)	55.6 ± 32.9	57.4 ± 23.6	61.4 ± 21.5	50.7 ± 81.7	172

4시험포의 경우 유수지 유입, 습지 유출부분이 각각 0.34 mg/L와 0.17 mg/L를 나타내었으며, 각각 56%, 57%, 61%, 51%로 비교적 양호한 처리효율을 나타냈다. 유수지를 통과한 후 유입되는 습지와 유수지를 거치지 않고 바로 습지로 유입되는 습지사이에는 차이가 존재하였으며, 유수지를 통과한 5번과 7번 습지유입수가 습지로 바로 유입되는 6번과 8번 습지의 유입수보다 전체적으로 더 적은 농도를 나타내는 경향을 보이고 있다.

습지별로 시기에 따른 T-P의 습지 유출수 농도를 살펴보면 시기에 따른 변화폭이 습지 유입수에 비해서 적은 것을 알 수 있으며, T-P의 경우는 각 시험포마다 T-P 유입수의 농도 및 시기의 변화와 큰 상관없이 상대적으로 안정된 유출수 농도를 유지하

고 있는 것으로 나타났다.

강우시 모니터링은 시험포2와 시험포3에서 2003년에 2회에 걸쳐 조사하였고 강우시 시간 변화에 따른 유입수 및 유출수의 농도변화는 (그림 7-59)와 <표 7-40>과 같다. BOD<sub>5</sub>는 각 시험포의 총 처리율이 31%와 40%로 제거율이 높게 나타나지는 않았지만 유출수의 농도가 3.0 mg/L와 2.6 mg/L로 낮은 농도로써 양호한 것으로 나타났다. BOD<sub>5</sub>는 유수지보다는 습지에서 더 많이 처리되며, 습지-유수지 시스템인 2시험포보다는 유수지-습지 시스템인 3시험포에서 처리율이 약 1.4배 높게 나타났다. 강우 유출수에 포함된 BOD<sub>5</sub>는 유수지에서의 침전보다는 습지에서 미생물에 의한 분해가 더 크게 작용한 것으로 생각된다.

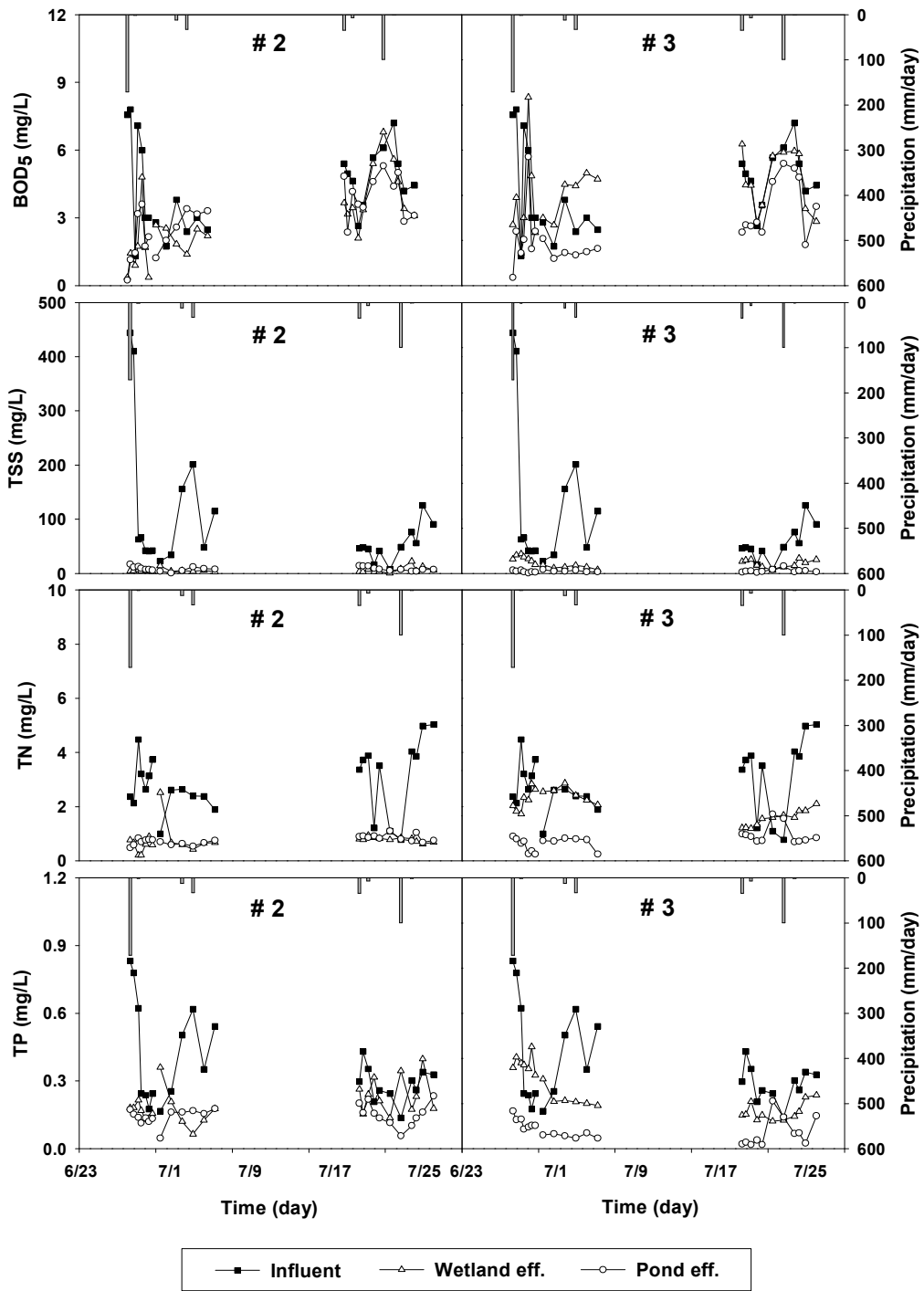
TSS의 경우 (그림 7-59)에서와 같이 유입수의 농도는 크게 급변하는데 최종 유출수의 농도는 큰 변화 없이 비슷한 범위를 나타내었다 평균처리율은 2시험포와 3시험포에서 각각 91%와 95%로 비슷한 처리율을 나타내었다. 하지만 2시험포의 경우 88%가 습지에서 제거되었고 단지 3%만이 유수지에서 제거된 반면에, 3시험포는 79%가 유수지에서 제거되었고 16%가 습지에서 제거되었다. 습지 관리상 유수지-습지 시스템에서와 같이 유수지에 많은 부유물질이 가라앉고 습지에서 생물학적 처리가 이루어지는 것이 더 유리할 것으로 판단된다. 유수지에 많은 sediment가 침전되어 수심이 낮아지면 유수지의 바닥의 sediment를 준설하면 쉽게 안정된 시스템으로 다시 이용할 수 있는 장점과, 상대적으로 습지에서 침전되는 sediment의 양이 감소하기 때문에 습지의 수명을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

T-N의 평균 처리율은 2시험포와 3시험포에서 각각 74%, 73%로 크게 차이가 나지는 않았다. 2시험포의 경우 습지에서 75%까지 처리되었던 것이 유수지를 통과하면서 농도가 오히려 높아져 총 처리율이 74%로 나타난 반면에, 3시험포에서는 유수지에서 26%가 처리되고 습지에서 47%가 처리되어 총 제거율이 73%로 나타났다. 2시험포의 유수지는 T-N의 제거에 기여가 없었던 반면에, 3시험포의 유수지에서는 약 26%의 일정 수준의 T-N을 제거하였다.

T-P의 평균 처리율은 2시험포와 3시험포에서 각각 60%와 78%로 3시험포에서 비

교적 높은 처리효율을 나타내었다. 2시험포의 경우 습지에서 55%가 처리되고 우수지에서 5%가 처리된 반면에, 3시험포의 경우 우수지에서 40%, 습지에서 38%로 우수지에서 처리율이 더 크게 나타났다. 이처럼 2시험포에서는 우수지가 T-P의 제거에 크게 기여하지 못한 반면에, 3시험포에서는 습지보다 더 제거할 수 있었기 때문에 3시험포에서 더 높은 처리율이 나타난 것으로 생각된다. 강우유출수의 T-P는 약 70%이상의 유기인 형태로 유입되는데, 이를 우수지와 같은 침전지를 조성하여 하루정도 체류시킬 경우 약 30%의 처리효율을 얻을 수 있다. 하지만, 우수지만으로는 일부의 유기인만 처리할 수 있고 더 큰 처리효율을 얻을 수 없다. 그러므로 더 큰 처리효율을 얻기 위해서는 습지와 우수지가 결합된 우수지-습지 시스템으로 운영되어야 한다고 생각한다.

강우시 2시험포와 3시험포의 유출수를 평상시와 비교하여 <표 7-41>과 같이 나타내었다. 유입수의 농도는 강우시가 평상시보다 BOD<sub>5</sub>, TSS, T-N, T-P가 각각 2.5, 5.2, 1.1, 1.2배 높았으나, 유출수의 농도는 강우시가 평상시보다 각각 1.5, 1.4, 1.0, 1.3배 더 높게 나타났다. TSS의 경우 유입수가 5.2배 더 높았으나, 유출수에서는 강우시가 평상시보다 약 1.4배 정도로 TSS가 강우시 가장 높게 처리되는 것을 알 수 있었다. T-N과 T-P는 평상시와 비슷한 농도로 유입되었고, 그 결과 유출수 농도 또한 평상시와 비슷한 범위를 나타내었다.



(그림 7-59) Cell 2, 3 시험포에서의 강우시 유·출입 농도변화



<표 7-40> 인공습지와 유수지시스템의 강우시 유·출입 농도와 제거율

Constituents		Concentration (mean ± Standard deviation)		n
		Cell 2	Cell 3	
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	Influent	4.4 ± 1.9	4.4 ± 1.9	24
	Effluent	3.0 ± 1.3	2.6 ± 1.5	24
	Removal (%)	31.4 ± 35.4	40.3 ± 25.4	24
TSS (mg/L)	Influent	95.3 ± 111.6	95.3 ± 111.6	24
	Effluent	8.5 ± 3.9	4.4 ± 2.5	24
	Removal (%)	91.1 ± 16.2	95.4 ± 20.2	24
T-N (mg/L)	Influent	2.9 ± 1.2	2.9 ± 1.2	24
	Effluent	0.8 ± 0.2	0.8 ± 0.3	24
	Removal (%)	73.7 ± 25.6	73.2 ± 46.3	24
T-P (mg/L)	Influent	0.36 ± 0.19	0.36 ± 0.19	24
	Effluent	0.15 ± 0.04	0.08 ± 0.05	24
	Removal (%)	59.7 ± 16.8	77.7 ± 25.1	24

<표 7-41> 평상시와 강우시 인공습지 유출수의 특성

구분	BOD <sub>5</sub> (mg/L)		TSS (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)	
	Cell 2	Cell 3	Cell 2	Cell 3	Cell 2	Cell 3	Cell 2	Cell 3
평상시	2.1	1.7	6.5	3.1	0.72	0.98	0.11	0.06
강우시	3.1	2.7	7.5	4.9	0.76	0.84	0.14	0.08

### 5) BMPs 제거효율

<표 7-42>는 2005년에서 2006년까지 각 BMP별 제거효율을 정리하여 나타낸 결과이다. 저류조와 CDS의 경우 일반 수질인자에서 36~46%, 대장균은 36~52% 수준으로 제거가 되었고, 정화 논의 경우 각각 40~88%와 60~67% 수준으로 비교적 높은 제거효율을 나타내었다. 인공습지의 경우 강우시 비점오염물질 제거효율은 31%에서 95% 수준까지 높게 나타났다. <표 7-42>에서의 제거효율은 4절에서 모형 적용시 BMP의 제거 fraction으로서 활용하기 위한 참고자료이다.

<표 7-42> BMP별 수질 제거효율

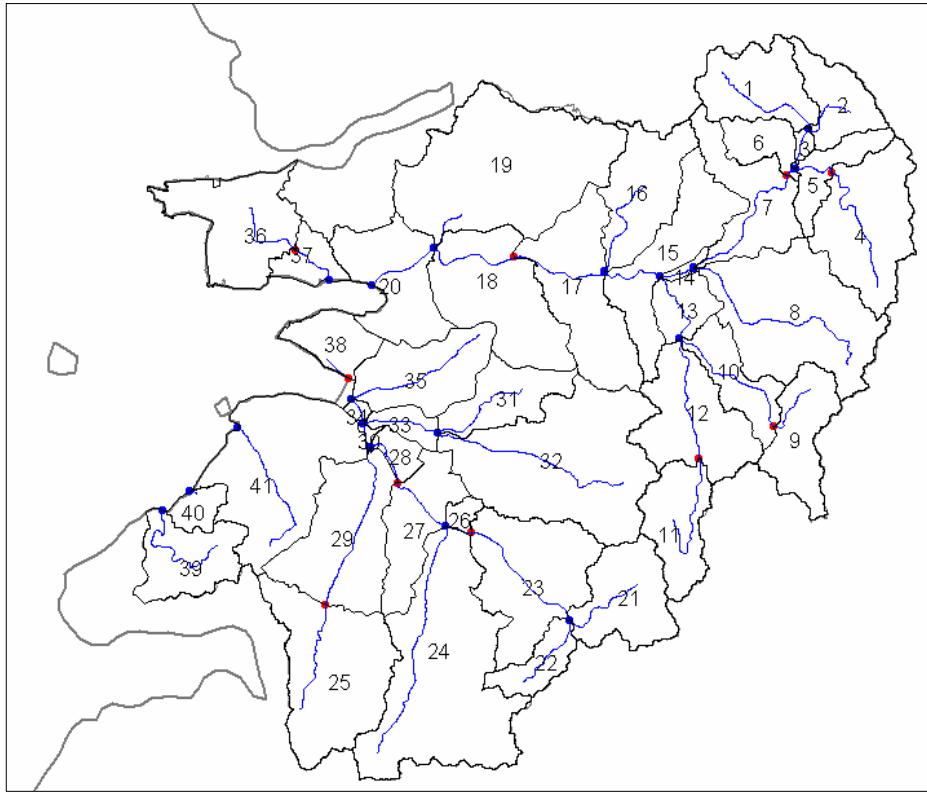
구 분	BMP	수질항목	제거효율(%)
도시지역	저류조	일반 수질인자	36~43
		대장균	36~44
	CDS	일반 수질인자	37~46
		대장균	49~52
비도시지역	정화 논	일반 수질인자	40~88
		대장균	60~67
	인공습지	일반 수질인자	31~95

## 제 4 절 모 델 을 이 용 한 BMPs의 삭 감 효 율 분 석

### 1. 새만금유역의 WinHSPF 모델 적용

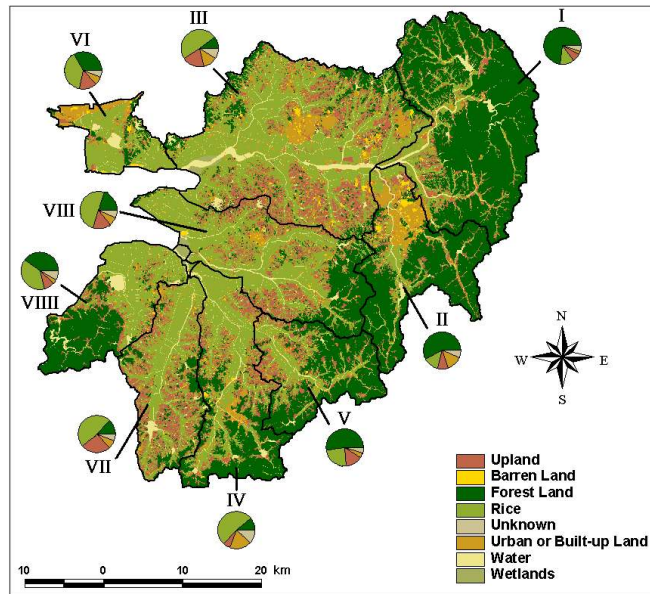
#### 가. 소유역 분할 및 토지이용 분류

유역의 형태학적 특성은 유역에서의 수문과 오염물질 이동모의에 있어서 매우 중요한 요소이다. 이러한 형태학적 특성에는 지형학적 특성 (유역의 경사, 고도 등), 토양 종류, 토지이용상태 등이 있다. HSPF를 포함한 유역모형 적용시 형태학적 특성을 고려하기 위해서는 유역을 지형학적 특성이 유사한 소유역과 토지이용상태별로 분류를 하여야 한다. (그림 7-60)은 BASINS Utility의 delineation Tool을 이용하여 새만금 간척지구를 대상으로 소유역을 분류한 결과이다. 유역의 배수상태와 유역특성을 고려하여 소유역을 분류한 결과 총 41개의 소유역으로 분류되었다.



(그림 7-60) WinHSPF 적용을 위한 새만금유역 소유역분류도

새만금 유역의 토지이용상태는 국립지리원에서 제작된 GIS자료를 이용하였으며 논, 밭, 산림, 도시, 나지, 습지, 기타로 분류하였다. 소유역도와 토지이용상태를 고려하여 (그림 7-61)과 같이 유역을 다시 총 9개의 카테고리로 분류하였으며, 각각의 카테고리별 토지이용상태는 <표 7-43>과 같다. 일반적으로 만경유역 (카테고리 I~IV)은 동진유역에 비해 도시가 높은 비중을 차지하였다. 상류 지역인 카테고리 I, II, V는 산림이, 하류 지역인 카테고리 III, IV, VI~VIII은 논이 우세한 것으로 나타났다. HSPF 모델의 실행은 (그림 7-60)과 같은 소유역도를 기준으로 이루어졌으며, 모델의 결과를 이용한 오염부하 특성은 (그림 7-61)을 기준으로 분석하였다.



(그림 7-61) 유역 카테고리별 토지이용상태

<표 7-43> 유역카테고리별 토지이용상태 분류 (단위:km<sup>2</sup>)

카테고리	소유역	산림	논	밭	도시	기타
I	1~8	373.8 (73%)	59.8 (12%)	37.3 (7%)	16.1 (3%)	23.2 (5%)
II	9~14	167.6 (58%)	38.8 (13%)	26.0 (9%)	40.8 (14%)	18.8 (6%)
III	15~20	68.8 (10%)	333.1 (49%)	136.9 (20%)	78.5 (12%)	56.1 (8%)
IV	36~37	60.5 (52%)	7.0 (6%)	11.1 (10%)	11.1 (10%)	26.0 (22%)
V	21~23	112.8 (52%)	52.3 (24%)	33.5 (15%)	9.6 (4%)	9.5 (4%)
VI	24~27	118.6 (28%)	160.3 (38%)	90.7 (21%)	29.2 (7%)	24.7 (6%)
VII	28~29	12.0 (9%)	78.4 (62%)	19.9 (16%)	9.1 (7%)	7.4 (6%)
VIII	31~38	77.0 (21%)	175.4 (49%)	60.7 (17%)	27.0 (7%)	20.1 (6%)
VIII	39~41	36.9 (16%)	91.3 (40%)	19.1 (8%)	10.1 (4%)	68.7 (7%)
Total		1,028.1 (35%)	996.4 (34%)	435.2 (15%)	231.4 (8%)	254.6 (9%)

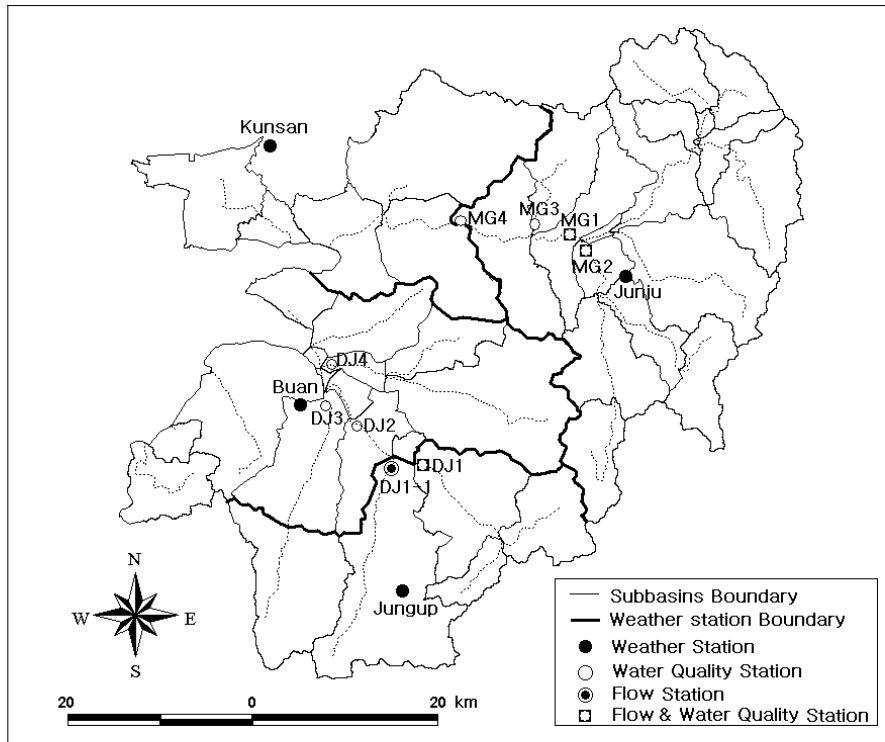
## 나. WinHSPF 모델 적용을 위한 입력자료

### 1) 기상자료

WinHSPF 모델 실행을 위해서는 기온, 이슬점 온도, 운량, 풍속, 강우량, 일사량, 증발량, 증발산량 등과 같은 기상자료를 필요로 하며, 기상청으로부터 시간별 기상자료를 획득하였다 <표 7-44>. 총 4개의 기상대(전주, 군산, 정읍, 부안)가 새만금 유역내에 위치해 있으며 (그림 7-62), 30년 월평균 강우량은 <표 7-45>와 같다. 증발산량과 증발량은 최고/최저 기온, 이슬점온도, 풍속, 일사량 등과 같은 자료를 WDMUtil 프로그램을 이용하여 산정하였다.

<표 7-44> WinHSPF 모델 실행에 필요한 기상자료

종 류	위 치	비고
Rainfall	전주, 군산, 정읍, 부안	시별자료
Temperature	전주, 군산, 정읍, 부안	
Wind speed	전주, 군산, 정읍, 부안	
Solar radiation	전주	
Dewpoint temperature	전주, 군산, 정읍, 부안	
Cloud cover	전주, 군산	
Potential evapotranspiration	계산에 의해 추정	
Evaporation	계산에 의해 추정	



(그림 7-62) 기상, 수질, 유출량 측정지점

<표 7-45> 30년 월평균 강우량 (단위: mm)

	전 주	군 산	정 읍	부 안
Jan.	33.9	30.5	41.5	32.9
Feb.	39.2	32.5	38.7	37.3
Mar.	59.0	51.1	56.7	51.1
Apr.	83.9	79.9	86.1	85.8
May	93.8	86.8	91.6	87.7
Jun.	173.6	158.7	160.1	158.0
Jul.	266.7	240.7	253.3	250.6
Aug.	254.8	250.9	255.7	232.8
Sep.	134.4	125.6	139.3	131.5
Oct.	59.7	51.9	61.5	57.6
Nov.	56.8	58.2	61.6	56.0
Dec.	31.0	34.6	40.0	38.1
Total	1,286.8	1,201.3	1,286.1	1,219.4

## 2) 유출량 및 수질측정자료

유출량 및 수질측정지점은 (그림 7-62)와 같다. 유출량 및 수질측정자료는 건교부 및 환경부에서 각각 취득하였다. 대천, 전주천, 신태인, 정읍천 지점에 대해서 일별 유출량 보정 및 검증이 실시되었으며, 대천, 전주천, 익산천 김제, 신태인, 동진강3, 고부천, 원평천에 대해서 일평균 수질항목에 대한 보정 및 검증을 실시하였다. 또한 강우시 HSPF 모델의 보정은 대천과 김제 지점에 대해서 이루어졌다.

### 다. 모델 보정 방법

검·보정 자료의 제약상, 만경유역의 경우 1999~2002년과 동진유역의 경우 2001~2002년을 모의 기간으로 설정하였다. 우선 유역모델의 검·보정 단계의 첫단계는 수문해석에 대한 보정이다. 이 과정에서는 유출량에 영향을 주는 수리학적 인자를 조정한다. 수리학적 인자는 고정인자와 보정인자로 나누어지는데, 고정인자의 경우 하천의 길이, 경사, 폭, 깊이와 같이 측정이 가능하거나 이미 널리 알려진 값들로써 대부분이 지형학적 특성을 포함한다. 본 연구에서는 수치고도모델 (Digital Elevation Model; DEM)과 BASINS Utility를 이용하여 고정계수를 추출하였다. 보정인자는 침투율과 토양하층 저류면적과 같이 환경에 따라 그 인자의 변화폭이 크거나 혹은 측정이 어려운 인자를 의미한다. 따라서 모델의 검·보정에 있어서는 고정인자는 고정시키고 보정인자를 조정하여 실측치에 예측치를 맞추어 검·보정을 실시하였다.

DO, BOD,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ , T-P, 식물성 플랑크톤과 같은 6개의 수질항목들은 독립적으로 존재하기 보다는 수질항목 간에 영향을 미치며, 생물학적 과정이 지배적인 인자이다. 따라서 이러한 항목들을 검·보정 할 때에는 DO-BOD, 영양물질, 조류성장 등을 동시에 고려하여 검·보정을 하였다. DO는 수온에 영향을 받기 때문에 수온을 예측하는 모듈과 함께 검·보정을 실시하였다. 하천에서의 영양물질 예측하는 모듈은 질산화/탈질화 과정을 통해서 그리고 식물성 플랑크톤을 모의하는 모듈은 광합성/호흡 과정을 통해서 DO-BOD 모의에 현저한 영향을 미친다.

유역에서의 오염부하 모의는 일반적으로 유출량과 침전물질과의 관계에 의해 모의된다.  $\text{NO}_3^-$ 의 경우 지표유출, 지표면에서의 축적량, 기저유출, 지하수 유출에 의해 영

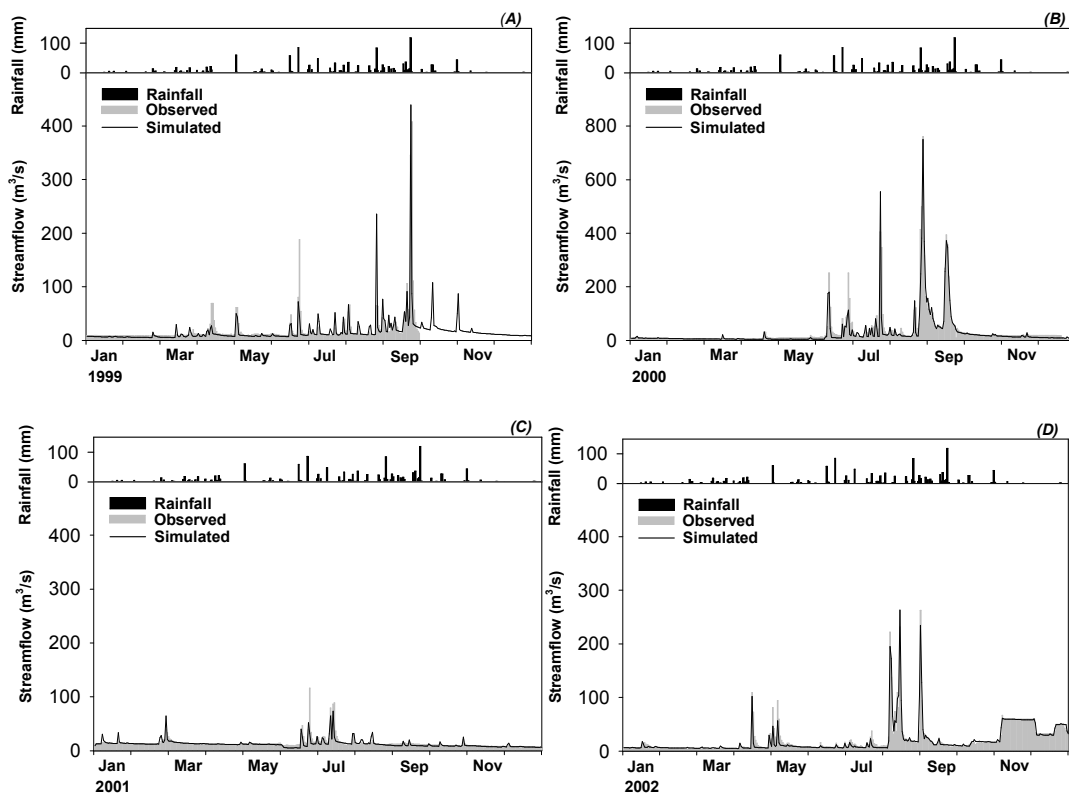
향을 받는다. NH<sub>3</sub>의 경우 흡착된 침천물과의 유출, 지표면에서의 축적량, 기저유출과 지하수 유출에 영향을 받는다. 인의 경우 또한 흡착된 침천물과의 유출, 지표면에서의 축적량, 기저유출과 지하수 유출에 영향을 받는다. HSPF 모델에서는 인의 경우 침천물이나 토양표면에 흡착된 입자성 형태와 용존성 형태, 유기물질 형태로 존재하며 총 인이라 함은 이 세가지 형태를 모두 합한 값을 의미한다.

## 라. 일별 검·보정 결과

### 1) 유출량

#### 가) 대천 지점

대천 지점에 대한 모델의 검·보정 결과는 (그림 7-63)과 같다.

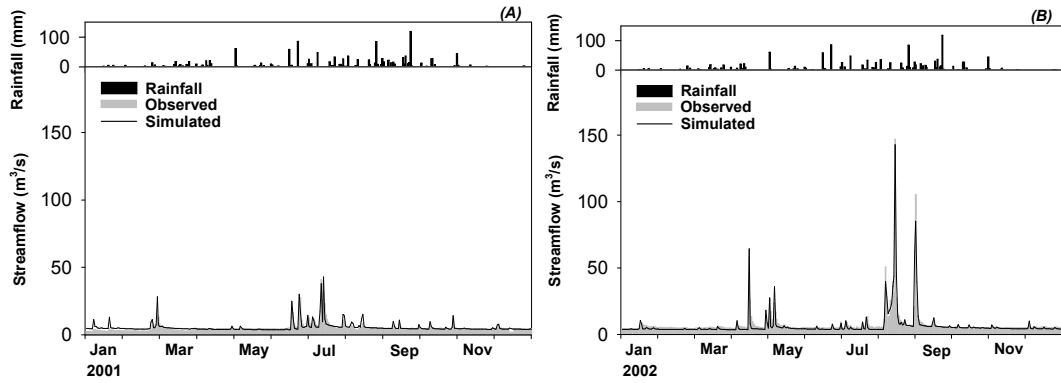


(그림 7-63) 대천지점 유출량에 대한 예측치 및 실측치 비교



## 나) 전주천 지점

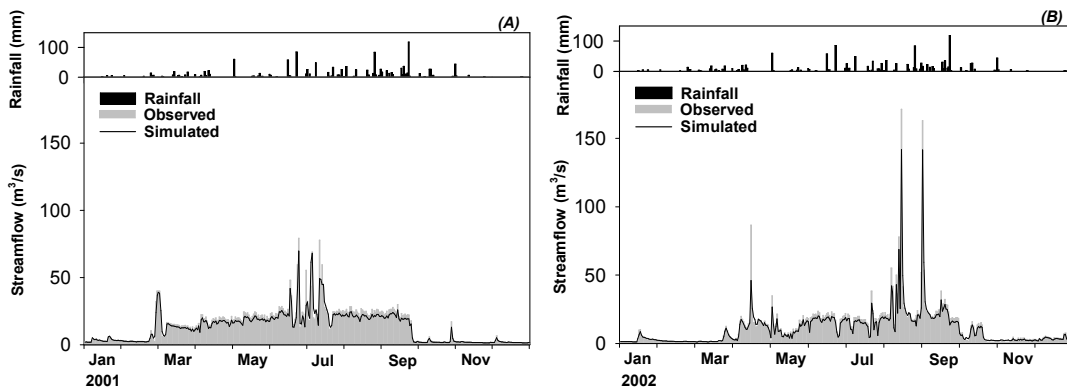
전주천 지점에 대한 모델의 검·보정 결과는 (그림 7-64)와 같다.



(그림 7-64) 전주천 지점 유출량에 대한 예측치 및 실측치 비교

## 다) 신태인 지점

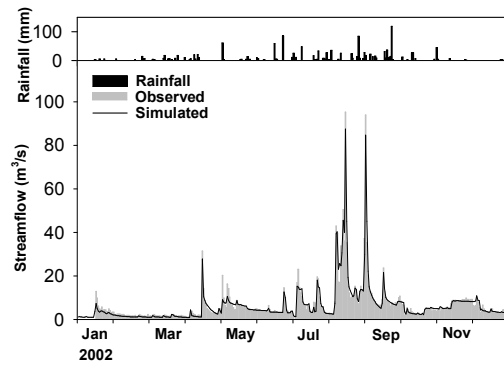
신태인 지점에 대한 모델의 검·보정 결과는 (그림 7-65)와 같다.



(그림 7-65) 신태인지점 유출량에 대한 예측치 및 실측치 비교

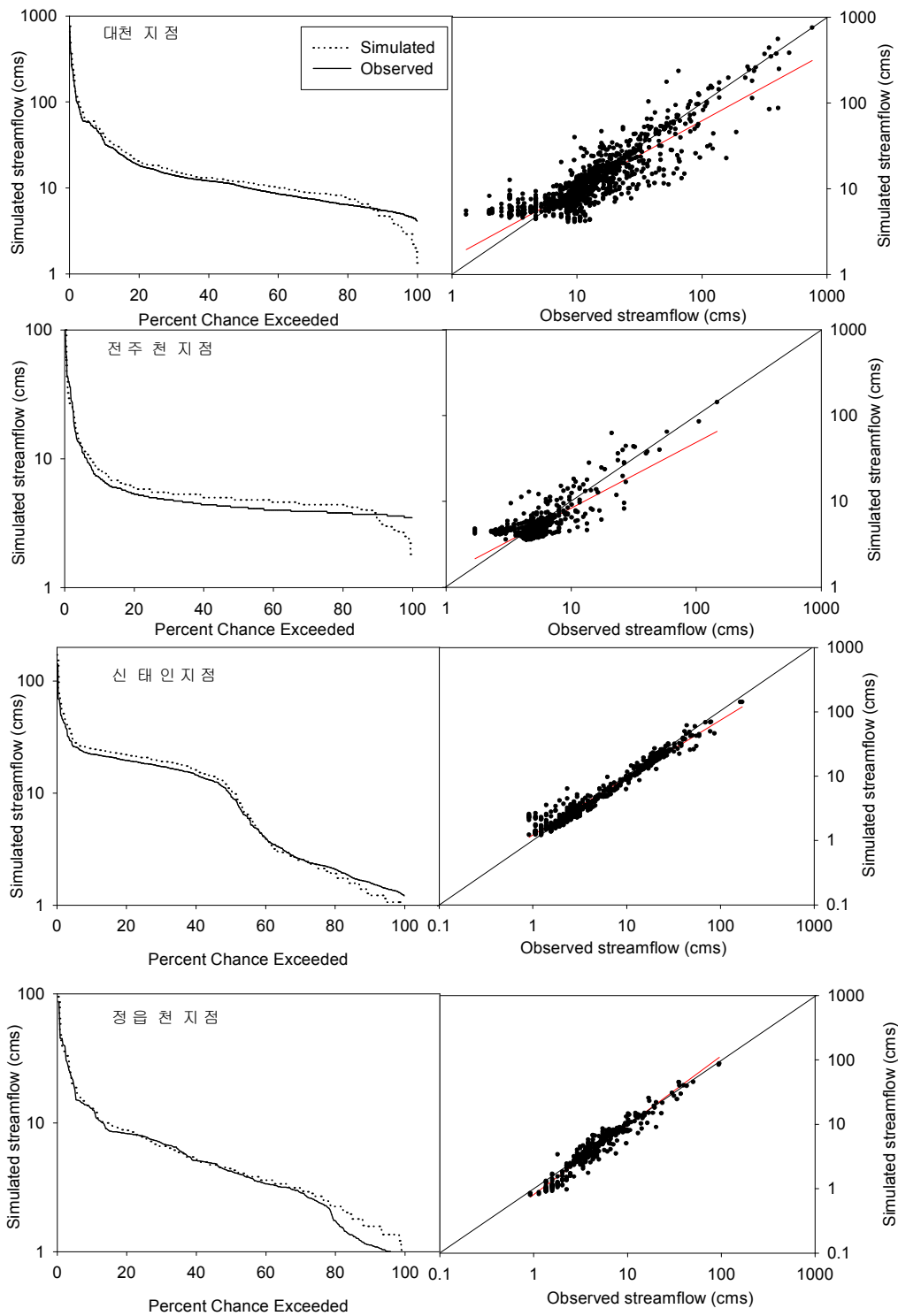
## 라) 정읍천 지점

정읍천 지점에 대한 모델의 검·보정 결과는 (그림 7-66)과 같다.



(그림 7-66) 정읍천지점 유출량에 대한  
예측치 및 실측치 비교

(그림 7-67)은 각 수질 측정지점의 유량의 실측치와 모의치를 나타내었으며 각 측정지점의 결과값을 나타낸다. 대천지점은 1999년부터 2002년까지 4년간의 결과를 나타를 표현하였으며 나타난 회귀식은 아래와 같으며 비교적 실측값과 모의값이 일치하는 것으로 나타났다. 수위별로 살펴보면 고수위 부분이 저수위 부분보다 비교적 실측값과 더 일치하는 경향을 나타내었다. 전주천 지점은 2000년부터 2002년까지 2년간의 결과를 분석하였으며 실측값과 모의값이 비교적 일치하는 경향을 나타내었다. 신태인 지점은 실측값과 모의값이 아주 유사한 형태를 보였으며 저수위와 고수위 모두 거의 일치하는 경향을 나타내었다. 정읍천의 경우도 1:1라인에 거의 근접한 경향을 나타내었다. 이상의 경우를 살펴보면, 동진강의 정읍천과 신태인이 만경강의 대천과 전주천 지점보다 유량이 실측값과 예측값이 잘 일치하는 것으로 나타났는데 관개나 회귀수 등 용수계통이 비교적 단순한 동진유역에서 높은 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

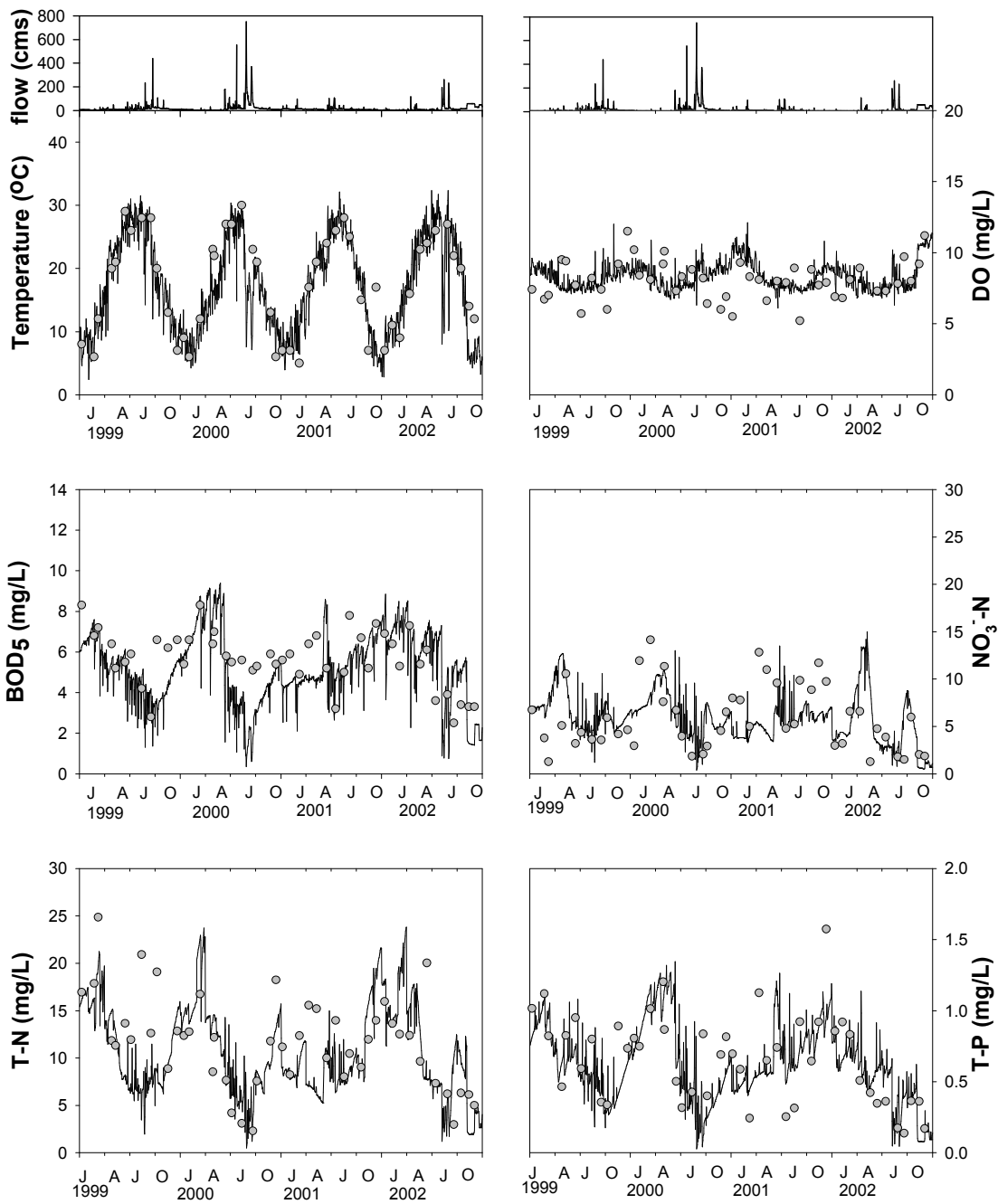


(그림 7-67) 유량 검·보정지점의 유출량 예측치 및 실측치 비교

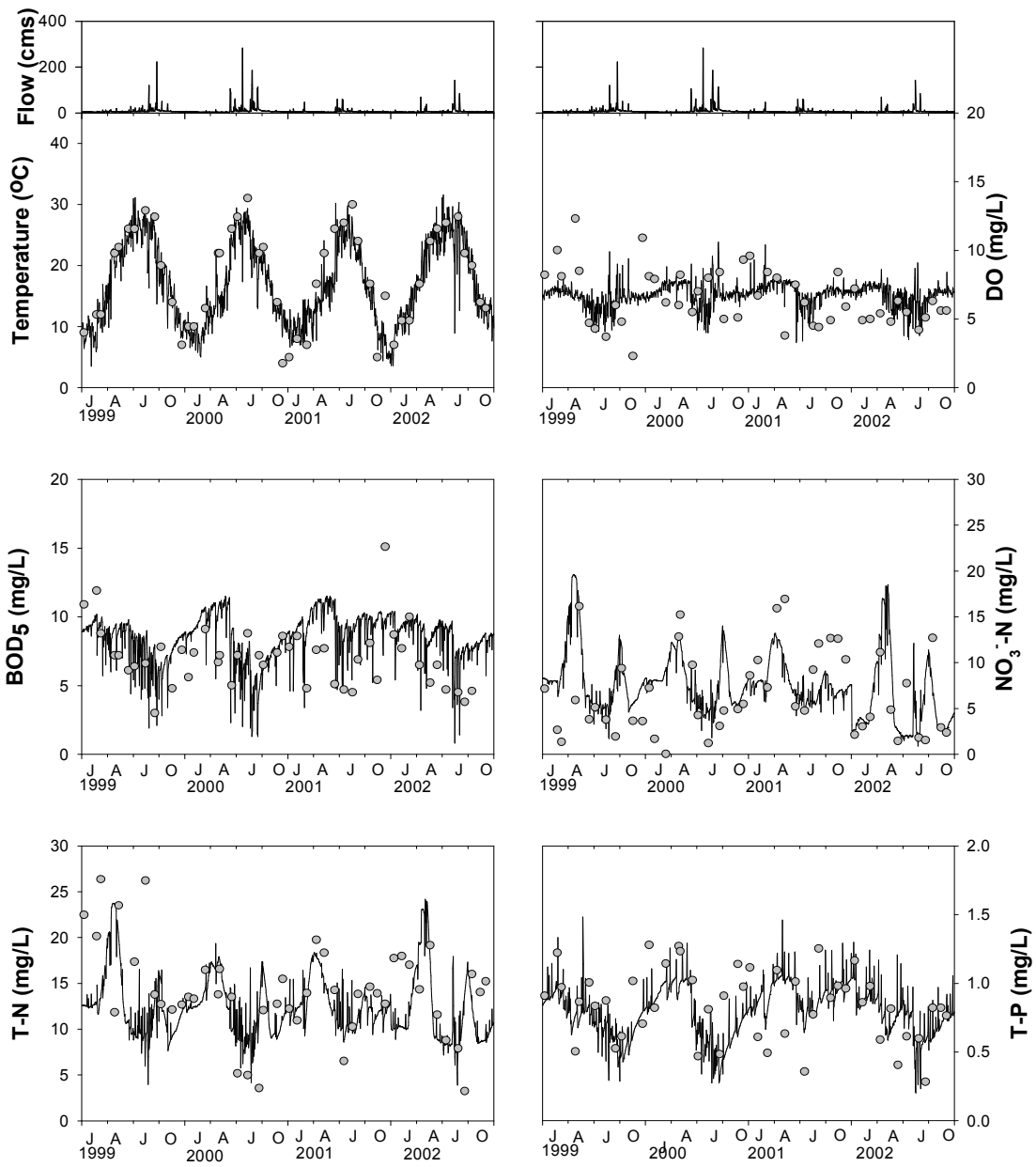
## 2) 수질

HSPF 적용의 주요 목적은 유역에서의 부하량 산정, 오염물질의 이동시 메카니즘, 수질개선을 위한 대안평가로 요약할 수 있다. 이를 위해서는 수온, DO, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P 등과 같은 여러 가지 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교하거나, 하천으로 유입되는 오염원이 수질에 미치는 기여도 평가 등을 통해 이루어질 수 있다. (그림 7-62)에서의 수질측정 지점에 대한 수질 자료는 환경부를 통해 획득하였다. 평상시 월 1회에 측정된 수질 측정자료를 실측치, 모형의 일평균 수질자료를 예측치로 일별 수질항목에 대한 모형의 검·보정이 이루어졌다. 여러 가지 수질항목에 대한 일별 모형의 검·보정 기간은 자료의 제한을 고려하여, 만경 유역(대천, 전주천, 익산천, 김제지점)에 있어서는 1999~2002년 동안 4년에 걸쳐 이루어 졌으며, 동진유역 (신태인, 동진강3, 고부천, 원평천지점)의 경우 2001~2002년 동안 2년에 걸쳐 이루어졌다. 수질항목에 대한 검·보정 결과는 실측치와 예측치에 대한 그래프에 의한 비교와 다양한 통계기법에 의해 이루어졌다. 2002년 8월 6일 ~ 24일 강우시 (강수량 267.6 mm) 측정된 수질 측정자료를 실측치, 모형의 시평균 수질자료를 예측치로 하여 강우시 시별 수질항목에 대한 모형의 검·보정이 대천지점과 김제지점에 이루어졌다. 각 수질보정지점에 대한 실측치와 예측치 사이의 비교 그래프는 (그림 7-68)~(그림 7-75)와 같으며, 검·보정에 대한 통계분석 결과는 <표 7-46>~<표 7-47>과 같다.

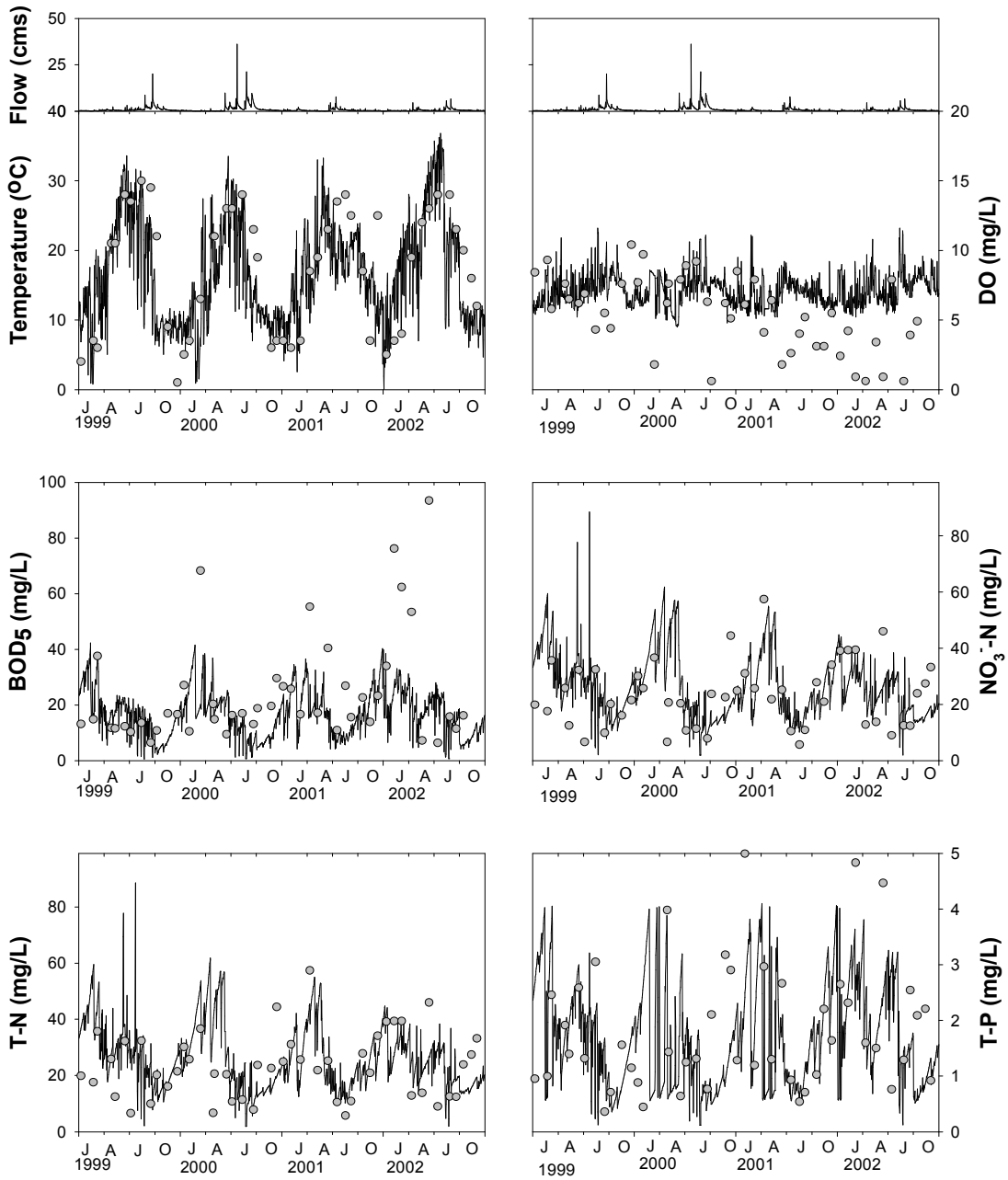
대천지점과 김제지점에 대한 강우시 시별 모델 검·보정 결과는 (그림 7-76)~(그림 7-77)과 같다. 일반적으로 강우시 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 T-P의 경우 초기세척효과를 뚜렷하게 나타내었으나, NH<sub>3</sub><sup>-</sup>의 경우에는 초기세척효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 검·보정 지점에 대한 평균 수질 실측치와 예측치 비교는 <표 7-48>과 같으며, 실측치에 대한 예측치 비율은 0.70~1.32를 나타내었다.



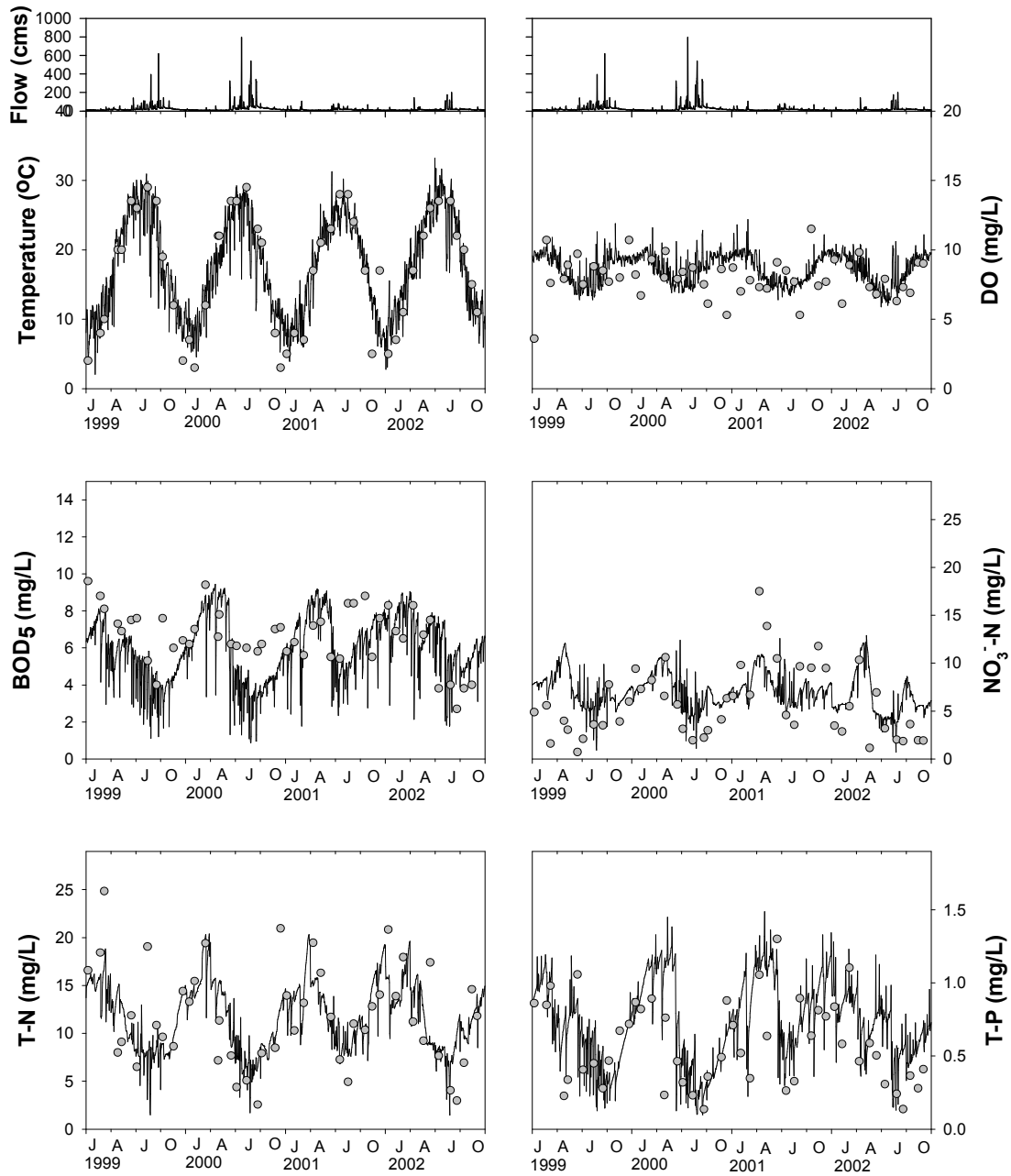
(그림 7-68) 대천지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교



(그림 7-69) 전주천지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교

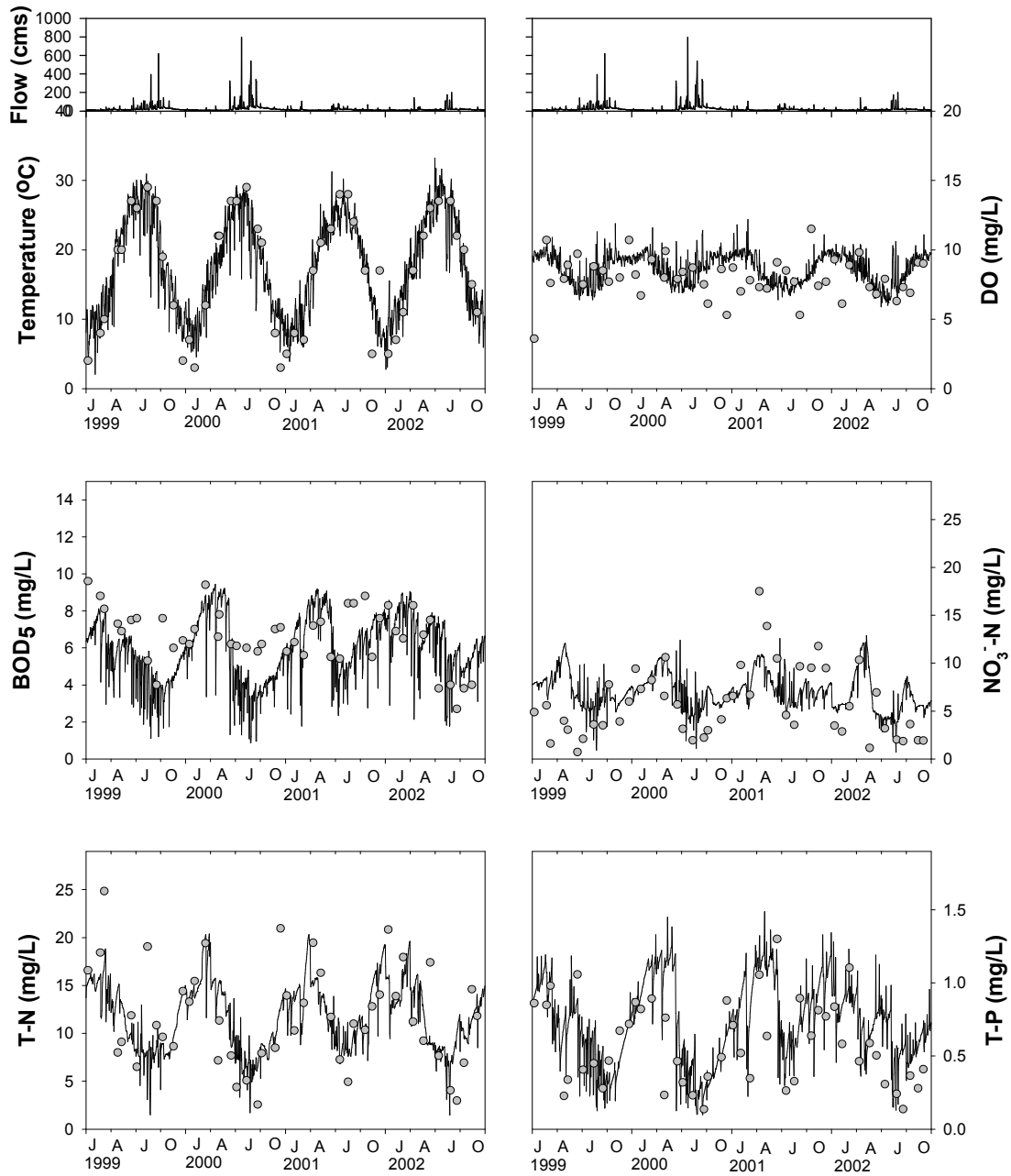


(그림 7-70) 익산천지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교

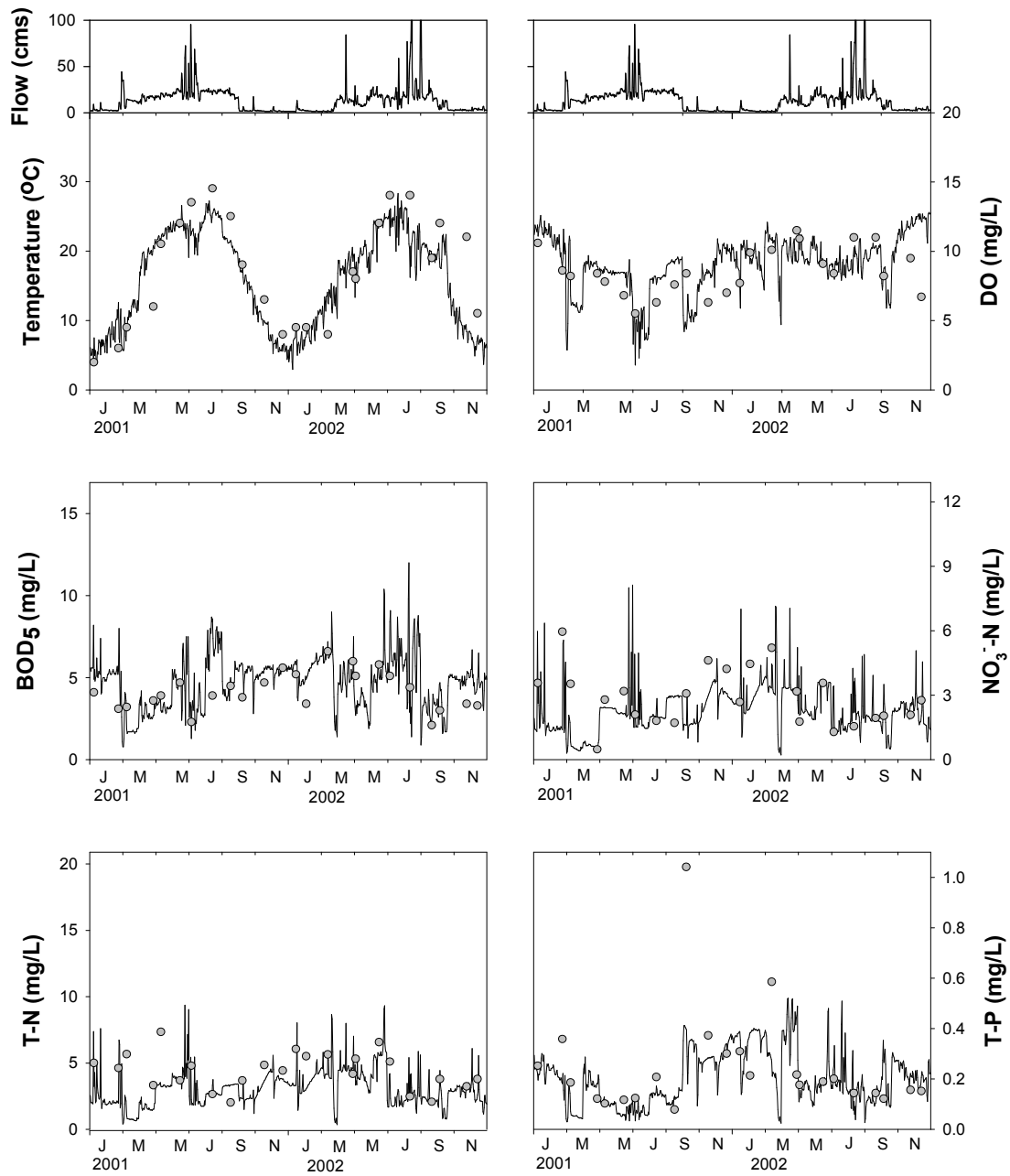


(그림 7-71) 김제지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교

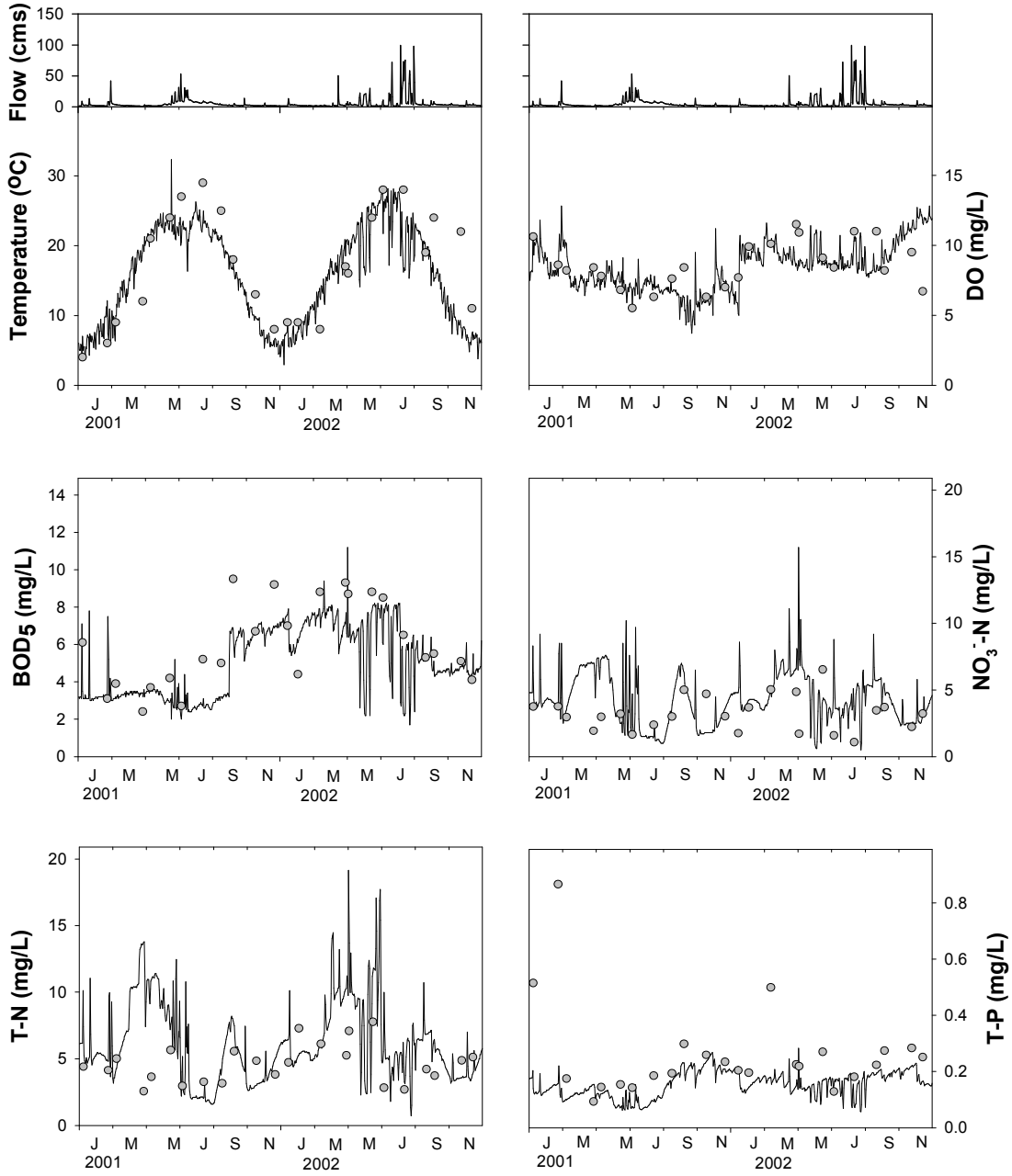




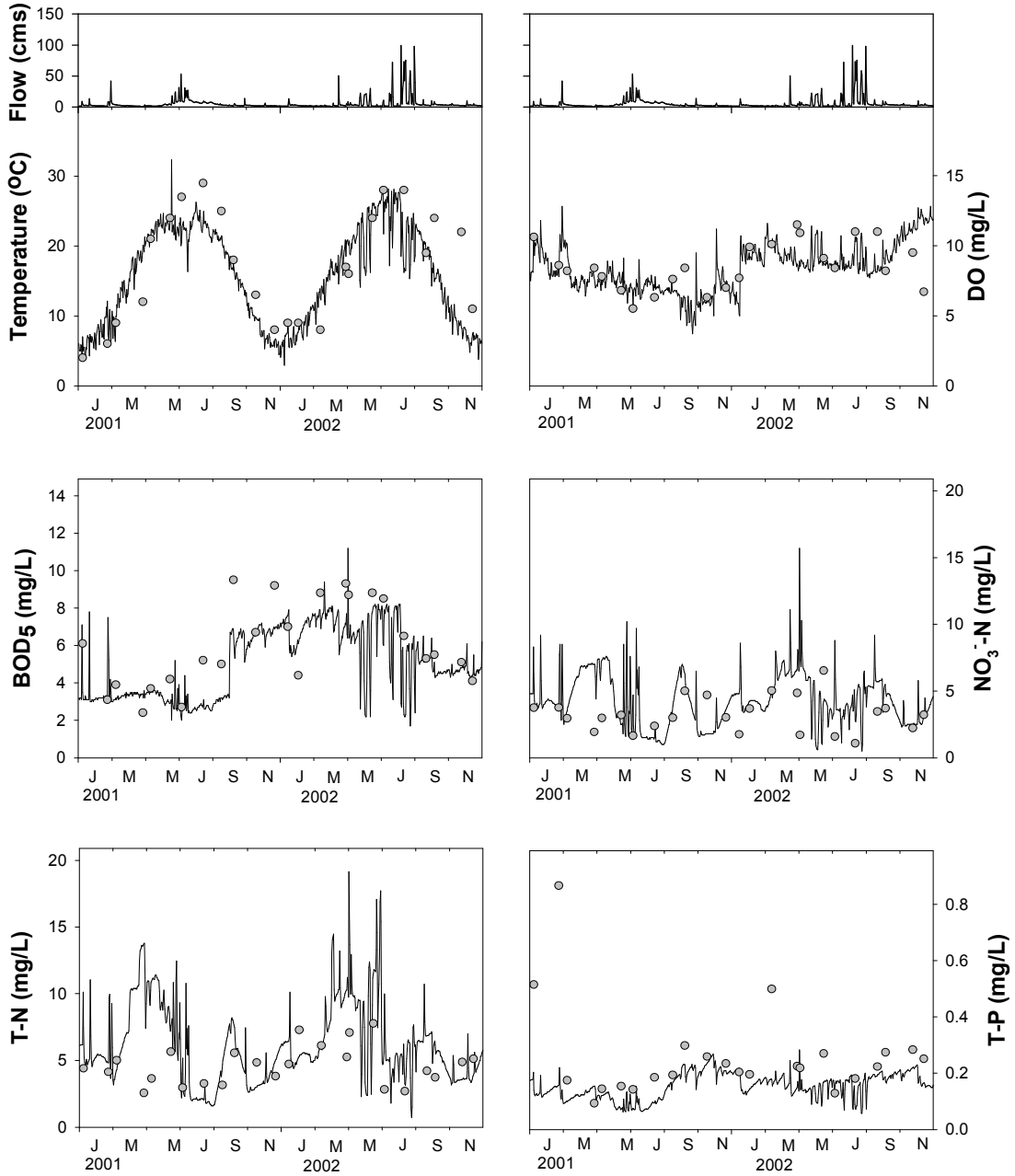
(그림 7-72) 신태인지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교



(그림 7-73) 동진강3지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교



(그림 7-74) 고부천지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교



(그림 7-75) 원평천지점 수질항목에 대한 실측치와 예측치 비교

<표 7-46>은 만경유역 수질측정 지점에 대한 모델 검·보정 통계분석 결과이다. RMSE는 실측값과 예측값의 차이가 작을수록 모형과 실측값의 오차가 작다는 것을

의미한다. 결정계수 ( $R^2$ )는 회귀분석 하여 나타낸 결과로 값이 1에 가까울수록 높은 상관성을 보이게 된다. 결정계수는 단지 무작위 오차만을 평가하는 것으로서 오차의 정도를 나타내지는 못한다. 따라서 오차의 정도를 나타내기 위해 mean error와 root mean square error를 사용하였다. 모형의 효율을 평가하기 위해서 사용한 효율지수는 아래의 식으로 계산한다 (Chanasykl et al., 2003).

$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{n} \quad (7-1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i - O_i]^2} \quad (7-2)$$

RMSE는 수온과 DO에서 비교적 높은 값을 나타내었는데, 수온과 DO의 경우 HSPF-Paddy 모형에서 비교적 잘 모의 하는 것으로 나타났으며, 결정계수도 높은 수준이었다. 대천, 전주천, 김제지점의 화학적인 수질인자들의 RMSE와  $R^2$ 을 평가한 결과 3이하의 값을 나타내었다. 익산천의 경우는 상대적으로 낮은 수준의 RMSE값과 결정계수 ( $R^2$ )를 나타내었는데, 특히  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우는 31.739의 높은 수치를 나타내었다. 익산천은 많은 양의 축산폐수로 오염된 하천으로 하상의 경우 축산분뇨의 찌꺼기로 오염되어 있기 때문에 정상적인 하천의 형태를 유지하지 못하고 있다. 따라서 HSPF-Paddy 모형으로 측정시기별로 급변하는 수질을 검·보정하여 표현하는데 한계성이 있다. <표 7-47>은 동진구역 수질측정 지점에 대한 결과로 만경구역의 익산천과 같이 RMSE값이 큰 차이를 보이는 결과는 보이지 않았다.

<표 7-48>은 만경과 동진 구역의 수질측정 지점에 대한 연평균 수질 실측치와 예측치의 비를 나타낸 표이다. 예측과 실측 비율이 1에 가까울수록 평균수질이 유사하다는 것을 의미하여 1보다 클 경우는 예측값이 높다는 것을 의미하며, 1보다 작을 경우에는 실측값의 평균이 높다는 것을 의미한다. 동진강과 만경강에 하구에 위치한 동진강 3지점과 김제지점의 비교 결과, 동진강3지점은 DO의 예측값이 높게 평가되었으

며 나머지는 낮게 평가되었다. 김제지점은 DO, TP는 예측값이 높게 평가되었으며 BOD<sub>5</sub>와 TN은 낮게 평가되었다.

<표 7-46> 만경유역 수질측정지점에 대한 모델 검·보정 통계분석 결과

수질항목		RMSE (mg/L)	ME (mg/L)	R <sup>2</sup>
대천 (삼례)	수온	0.217	-0.214	0.878
	DO	0.216	0.056	0.687
	BOD <sub>5</sub>	0.298	-0.650	0.183
	NO <sub>3</sub> -N	1.408	0.595	0.211
	TN	0.683	0.857	0.154
	TP	0.912	0.142	0.374
전주천	수온	0.365	-1.293	0.835
	DO	0.402	-0.046	0.054
	BOD <sub>5</sub>	0.390	0.430	0.089
	NO <sub>3</sub> -N	1.561	1.066	0.206
	TN	0.654	-1.276	0.068
	TP	0.564	0.180	0.260
익산천	수온	1.163	-0.696	0.635
	DO	3.498	1.794	0.041
	BOD <sub>5</sub>	0.812	-6.794	0.073
	NO <sub>3</sub> -N	31.739	3.035	0.435
	TN	0.911	-0.345	0.110
	TP	2.951	-0.637	0.031
김제	수온	0.526	0.333	0.899
	DO	0.355	0.623	0.002
	BOD <sub>5</sub>	0.316	-0.431	0.143
	NO <sub>3</sub> -N	1.932	1.321	0.179
	TN	0.550	0.065	0.390
	TP	0.959	0.195	0.429

<표 7-47> 동진유역 수질측정지점에 대한 모델 검·보정 통계분석 결과

수질항목		RMSE (mg/L)	ME (mg/L)	R <sup>2</sup>
신태인	수온	0.258	-2.063	0.782
	DO	0.300	0.638	0.215
	BOD <sub>5</sub>	0.693	0.763	0.045
	NO <sub>3</sub> -N	0.253	-0.180	0.538
	TN	0.379	-0.958	0.095
	TP	0.367	0.005	0.647
동진강3	수온	0.220	-1.051	0.824
	DO	0.261	0.579	0.184
	BOD <sub>5</sub>	0.346	-1.275	0.175
	NO <sub>3</sub> -N	0.476	-1.059	0.184
	TN	0.409	-1.707	0.321
	TP	0.523	-0.049	0.084
고부천	수온	0.239	-1.199	0.775
	DO	0.234	-0.554	0.111
	BOD <sub>5</sub>	0.268	-0.438	0.681
	NO <sub>3</sub> -N	1.284	0.978	0.001
	TN	0.917	1.648	0.113
	TP	0.389	-0.097	0.019
원평천	수온	0.273	-2.241	0.778
	DO	0.251	-0.433	0.136
	BOD <sub>5</sub>	0.217	-0.382	0.510
	NO <sub>3</sub> -N	1.115	0.682	0.093
	TN	0.665	-0.404	0.106
	TP	0.796	-0.027	0.156

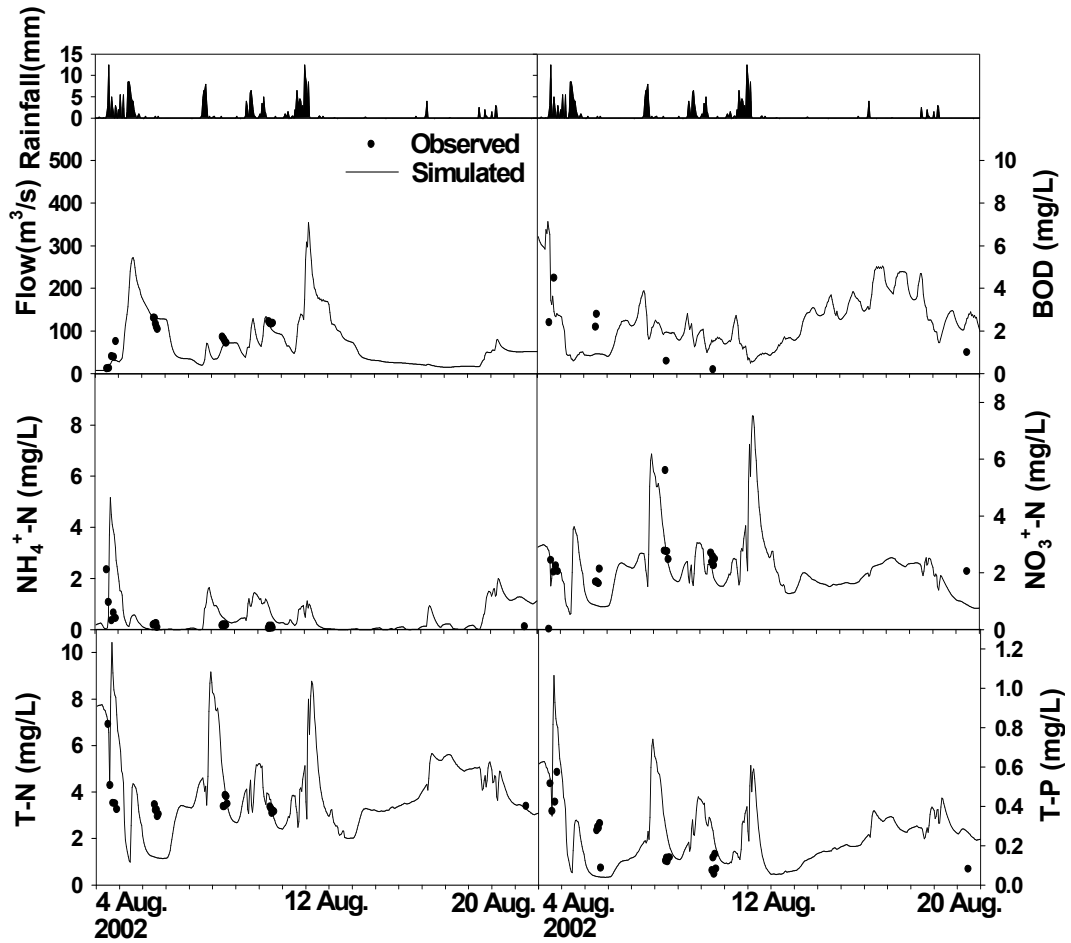
<표 7-48> 수질보정지점에 대한 연평균 수질 실측치와 예측치 비교

		DO	BOD <sub>5</sub>	TN	TP
대천	실측값	8.04	5.66	11.62	0.66
	예측값	8.10	4.86	12.38	0.78
	예측/실측 비율	1.01	0.86	1.07	1.19
전주천	실측값	6.51	6.91	14.50	0.84
	예측값	6.62	7.11	12.91	1.00
	예측/실측 비율	1.02	1.03	0.89	1.19
익산천	실측값	5.31	24.15	23.26	1.91
	예측값	7.31	17.28	22.17	1.65
	예측/실측 비율	1.38	0.72	0.95	0.86
김제	실측값	8.00	6.57	11.77	0.58
	예측값	8.67	5.93	11.71	0.73
	예측/실측 비율	1.08	0.90	0.99	1.27
신태인	실측값	9.24	2.98	3.43	0.21
	예측값	9.85	3.86	2.64	0.21
	예측/실측 비율	1.07	1.29	0.77	1.01
동진강3	실측값	8.56	5.98	4.61	0.26
	예측값	9.10	4.73	3.09	0.20
	예측/실측 비율	1.06	0.79	0.67	0.79
고부천	실측값	8.56	5.99	4.61	0.26
	예측값	8.28	5.33	6.17	0.16
	예측/실측 비율	0.97	0.89	1.34	0.61
원평천	실측값	8.74	5.78	4.28	0.15
	예측값	8.33	5.41	3.84	0.13
	예측/실측 비율	0.95	0.94	0.90	0.87

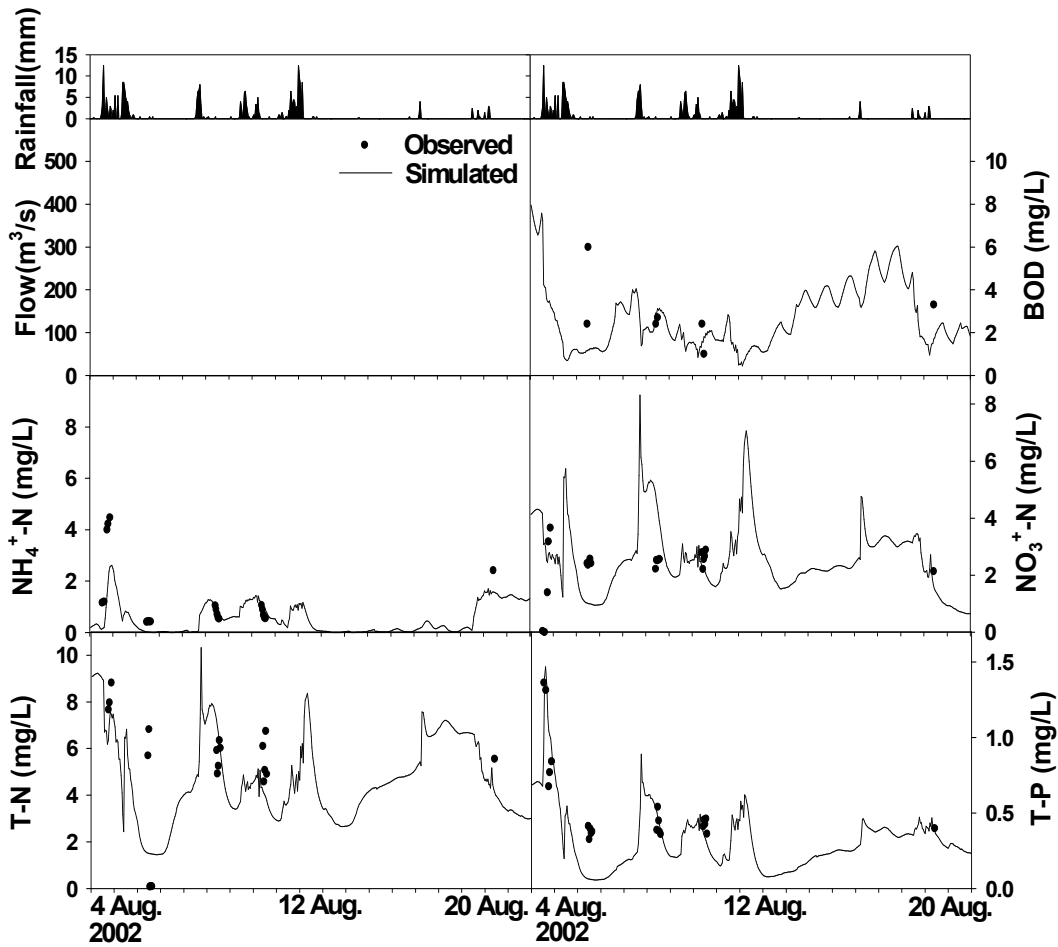
(그림 7-76)과 (그림 7-77)은 대천과 김제지점에 대한 강우시 시별 모델 검·보정 결과를 나타낸 그림이다. 시별로 검·보정한 결과의 경우도 실측값의 농도변화를 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 대천지점의 경우 유출량을 실측한 값과 모형결과의 패턴이 유사한 것으로 나타났다. 하지만 화학적인 수질결과는 유량에 비해서는 차이를 보였으나 유출특성에 따라 예측된 수질 패턴과 실측된 수질패턴이 유사한 것을 알 수 있다. 대천지점의 경우 NO<sub>3</sub>-N, TN, TP의 경우 모형결과의 패턴을 잘 반영하는 것으



로 나타났다. 김제지점의 경우에는 실측시기별로 차이는 있으나 실측값과 모형결과가 유사함을 알 수 있다.



(그림 7-76) 대천지점에 대한 강우시 시별 모델 검·보정 결과



(그림 7-77) 김제지점에 대한 강우시 시별 모델 검·보정 결과

## 2. 수질현황과 특성 분석

### 가. 새만금유역의 수질현황 및 특성

하구 담수호가 위치한 지역에서는 담수화 진행과정에서 담수와 해수 생태계가 공존하게 되며, 유역말단에 위치하는 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입되기 때문에 건강한 수생태계를 유지하기 위해서는 많은 노력이 필요하게 된다. 효과적인 토지이용과 오염원관리는 건전한 하천생태를 유지하기 위해 반드시 필요한 부분이며 유역의 적절한 평가, 계획 그리고 관리에서도 중요한 부분이다. 특히 하구 담수호와 같이 유역말단에 위치하고 있으며 지형적인 특징으로 인해 많은 양의 오염물질이 유입되기 때문에 오염원관리에 더 많은 노력이 필요하게 된다. 우리나라 하구 담수호

유역은 대부분 주거지역을 포함하는 전형적인 비도시 유역의 형태를 보이기 때문에 토지이용에 대한 유역전반에 대한 이해가 필요하다.

유역말단 지역은 하수처리장 방류수, 정화조유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등 오염부하량이 축적되어 하천의 수질문제를 발생시키고 있으며, 담수호로 유입되어 호수 수질에 악영향을 미치고 있다. 농경지의 영양물질, 부유물질, 대장균, 그리고 농약 등의 유출이 하천의 수질에 악영향을 미치며, 호수로 유입되어 심각한 부영양화를 발생시킨다고 보고하였다 (Donoso et al., 1999). 유역 내 오염원의 평가는 복잡한 데이터를 이용하여 실시해야 하기 때문에 적절한 평가를 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 하천의 수질에 영향을 주는 토지이용의 평가는 오염원의 배출시간과 배출공간에 따라 독립적으로 변화하는 특징을 갖고 있다 (Allan et al., 1997; Townsend et al., 2003). 최근 GIS/RS기법의 발전으로 많은 정보를 쉽고 정확하게 이용할 수 있으며, 토지이용과 같은 지형학적인 정보를 소유역별로 구분하여 적용할 수 있기 때문에 활용가능성이 점차 증가하고 있다. Griffin et al. (1999)에 의한 연구에 의하면 정화조가 밀집한 지역에서는 영양물질이나 분변성 오염물질에 의해 하천수가 오염되며, 사질토인 경우 지하수의 오염이 하천수에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다 (Paul et al., 1995). David et al. (1995)과 Eran and David (1996)는 적절하게 차집되지 않고 유출되는 가정하수가 하천수질에 큰 영향을 미친다고 보고하였다.

투수면적비율이 큰 비도시 유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 가축을 사육하는 축산지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정되며 토지이용과도 일정한 관계를 나타낸다. 수질평가에 있어 두 개 이상 항목들 간의 관계를 규명지음으로써 이들 사이의 거동을 조사하는 기법이 자주 쓰인다. 이러한 기법은 결측된 수질 항목을 이와 관련된 다른 항목에 대한 정보를 사용하여 보충할 수 있을 뿐 아니라, 측정된 수질 관측치를 이용하여 미래의 수질을 예측하는데 이용될 수 있다. 항목들 간의 거동을 조사하는 방법에는 회귀분석과 상관분석을 이용하는데 이러한 분석들은 항목들 간의 수학적 관계를 평가하기 위한 가장 단순하면서도 널리 쓰이는

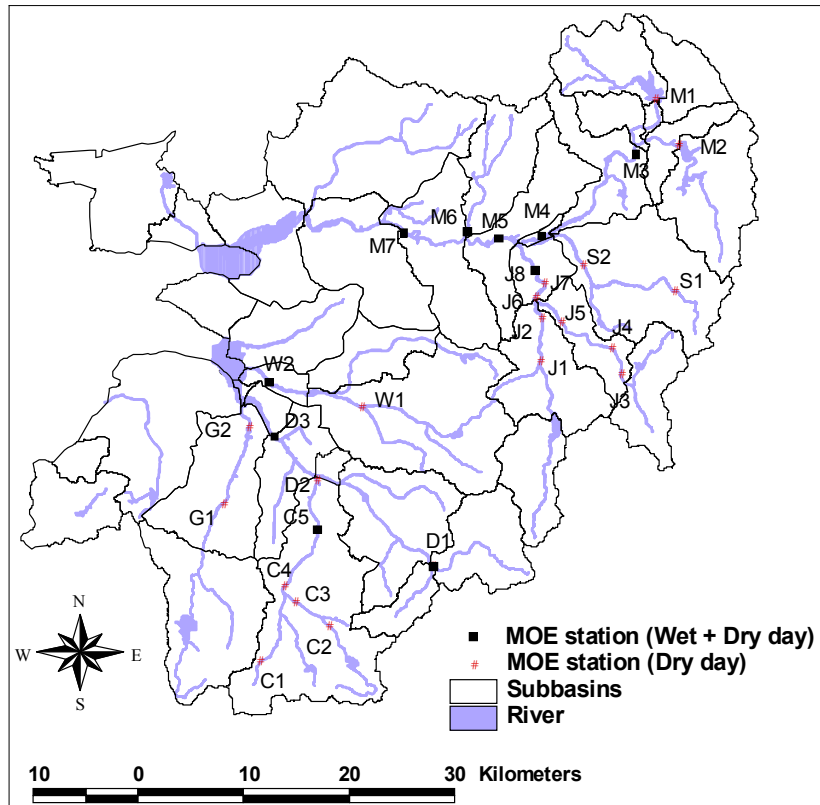
통계적인 모델 기법이다.

그간 수행된 학술적인 연구를 살펴보면, 총인과 부유물질의 부하비율(kg/ton)은 연간 단위면적당 부유물질의 부하량 (SS  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ )과는 지수적인 관계가 있다 (Wall et al., 1996). 탁도와 총인, 총질소, 대장균군은 양의 선형적인 관계가 있으며 (Christensen et al, 2001), Donigian et al. (1995)는 비점오염원을 계산하는 방법으로 원단위법, 통계학적 기법, 회귀식이나 상관관계를 이용하여 산정할 수 있다고 하였다.

최근 우리나라는 오염총량제의 도입으로 전국에 걸쳐 인구, 축산, 산업, 토지, 양식, 매립장, 하수처리장 등 방대한 자료를 축적하여 행정구역 단위별로 발생하는 배출부하량을 산정하는데 이용하고 있으나, 계산과정이 복잡하고 많은 시간이 필요하기 때문에 신속한 유역 평가에는 아직 개선할 부분이 남아있는 상태이다. 비도시 유역은 오염물질의 배출구조가 비교적 단순하기 때문에 기본 오염원자료만으로도 오염원에 대한 평가가 어느 정도 가능할 것으로 추정된다. 투수면적비율이 큰 비도시 유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 가축을 사육하는 축산지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정되며, 토지이용과 오염원자료 사이에 일정한 관계를 나타낼 것으로 생각된다.

### 1) 수질측정지점

유역의 수질현황을 파악하기 위해 진행되고 있는 새만금지구의 수질 모니터링은 환경부 전주지방 환경청, 전북보건환경연구원, 농업기반공사, 수자원공사, 금강 유역청에서 이루어지고 있다. 유역현황을 파악하기 위해 사용된 자료는 2002년부터 2005년 10월까지의 자료를 이용하였으며, 오염원과 토지이용 상태를 고려하여 만경유역의 17개 지점, 동진유역의 10개 지점, 그리고 원평천의 2개 지점의 데이터를 이용하였으며 (그림 7-78)과 같다. 토지이용과 오염원현황, 그리고 배출부하량을 이용한 수질상관성 평가에서는 평수년과 강우시를 동시에 측정한 결과를 이용하여 분석하였다. 측정지점은 (그림 7-78)과 같으며, 만경유역은 M3, M4, J8, M5, M6, 그리고 M7이며, 동진유역은 D1, C5, 그리고 D3 지점, 원평천 유역은 W2지점에서 측정하였다.



(그림 7-78) 강우시와 평수년의 수질측정 지점

각 측정지점의 명칭은 <표 7-49>와 같고, 환경부 수질측정망 지점의 명칭을 사용하였다.

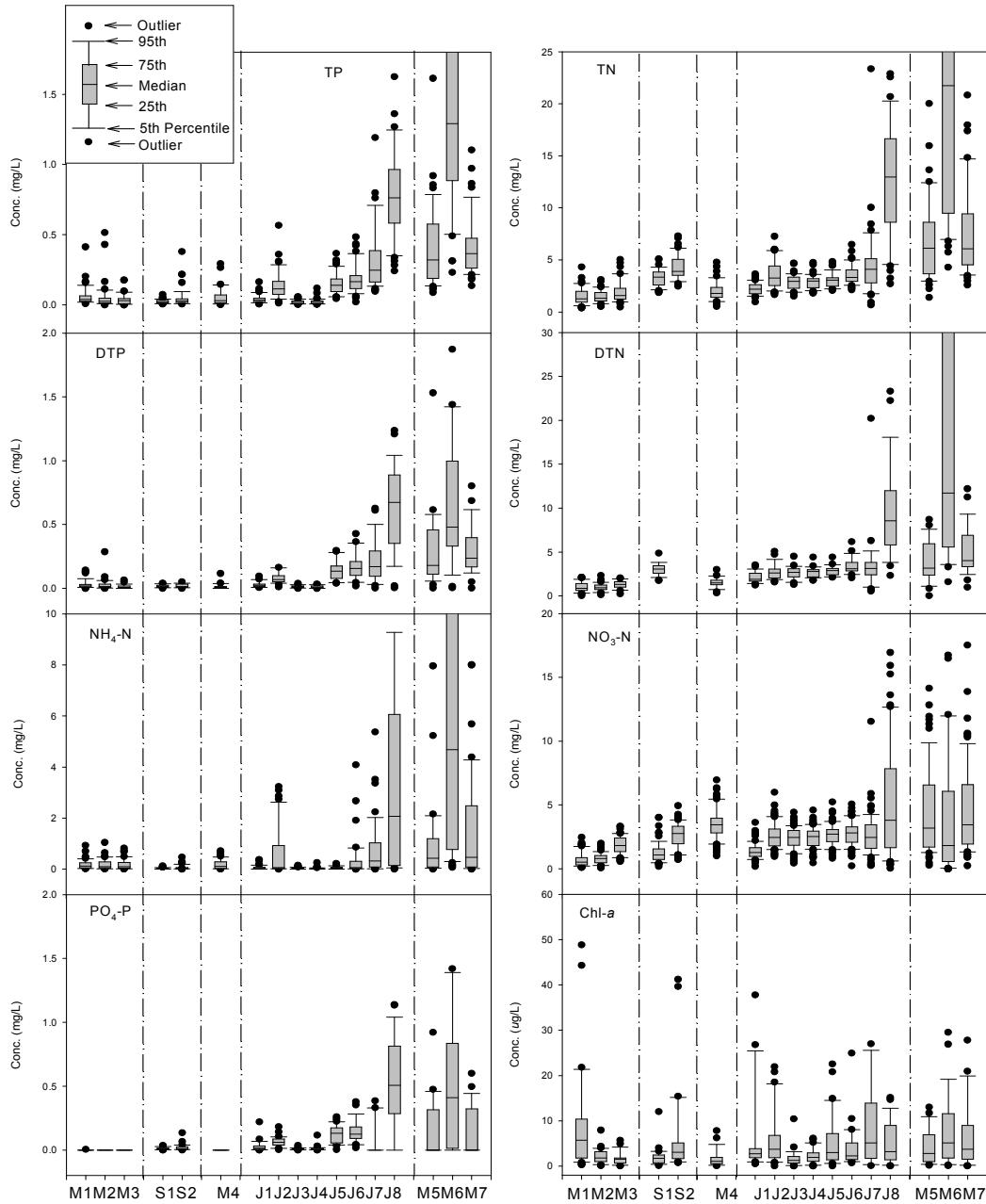
만경분류는 알파벳 M, 소양천은 알파벳 S, 전주천은 알파벳 J, 동진분류는 알파벳 D, 원평천은 알파벳 W, 정읍천은 알파벳 C, 그리고 고부천은 알파벳 G로 표시하여 구분하였다. 환경부 수질측정망에 의해서 측정되는 수질 측정지점은 1년에 각 월별로 12회 측정하였으며, 강우시 자료는 측정지점별로 각 강우별 4-7회 측정하였으며 1년에 총 4-6개의 강우를 대상으로 하였다. 사용된 자료는 2002년부터 2004년까지 3년간의 자료이다.

<표 7-49> 분석 지점의 위치와 채수지점

측정 ID	환경부 측정명칭	채수 지점	비고
M1	경천지1	전북 완주군 화산면 운제리 (댐앞)	분류
M2	대아지1	전북 완주군 동상면 대아리 (댐앞)	분류
M3	고산	전북 완주군 고산면 읍내리 (오성교)	분류
M4	전주	전북 전주시 덕진구 전미동 (삼례보)	분류
M5	삼례	전북 완주군 삼례읍 칠목동 (삼선철교)	분류
M6	익산	전북 익산시 춘포면 용연리 (용연교)	지류
M7	김제	전북 김제시 백구면 백구리 (백구제수문앞)	지류
S1	소양천1	전북 완주군 소양면 황운리 (황운교)	지류
S2	소양천2	전북 완주군 용진면 구억리 (소양교)	지류
J1	전주천1	전북 전주시 대성동 (원당정수장)	지류
J2	전주천2	전북 전주시 동서학동 (좁은목 약수터 앞)	지류
J3	전주천3	전북 전주시 서신동 (서신교)	지류
J4	삼천1	전북 전주시 완산구 평화동 (삼천취수장 상류보)	지류
J5	삼천2	전북 전주시 완산구 효자동 (서곡교)	지류
J6	전주천4	전북 전주시 덕진동 (법원인근보)	지류
J7	전주천5	전북 전주시 팔복동 (전주대교)	지류
J8	전주천6	전북 전주시 송천동 (평리보)	지류
W1	원평천1	전북 김제시 봉남면 용신리 (원평교)	분류
W2	원평천2	전북 김제시 죽산면 죽산리 (죽산교)	분류
D1	동진강1	전북 정읍시 용동면 산성리 (행정교)	분류
D2	동진강2	전북 정읍시 신태인읍 신양동 (상신마을 옆)	분류
D3	동진강3	전북 부안군 백산면 용계리 (군포교)	분류
C1	천원천	전북 정읍시 연지동 (모촌교)	분류
C2	정읍천1	전북 정읍시 송산동 (송령교)	지류
C3	정읍천2	전북 정읍시 연지동 (연지교)	지류
C4	정읍천3	전북 정읍시 공평동 (해평교)	지류
C5	정읍천4	전북 정읍시 정우면 산북리 (만석교 구다리)	지류
G1	고부천1	전북 정읍시 영원면 애성리 (애성교)	지류
G2	고부천2	전북 부안군 동진면 팔왕리 (팔왕교)	지류

## 2) 만경유역의 수질현황 분석

측정지점의 비강우시 영양물질과 Chl-a의 수질 분석결과는 (그림 7-79)와 같이 Box plot으로 표현하였다.



(그림 7-79) 만경유역의 측정지점별 영양물질과 Chl-a의 변화

특히 전주천의 J8지점 이후에 수질이 악화되는 것을 알 수 있는데 이 지점은 전주 하수처리장의 방류수가 유입되는 지점으로 많은 양의 오염물질이 유입됨을 알 수 있다. 또한, M6지점은 익산천이 만경분류와 합류되기 직전에 위치한 지점으로 높은 농도의 오염물질이 유입되는 지점이다. 하지만 유량이 크지 않기 때문에 하류지점인 M7지점의 농도 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

J8 지점의 질소와 인의 형태별 분포를 살펴보면, 질산성 질소의 형태가 매우 높았으며 암모니아성 질소의 형태로 높은 수준이었다. 이유는 전주하수처리장의 처리형태가 생물학적 처리를 하기 때문에 질산성 질소의 형태가 많았으며 일부 미처리된 암모니아성 질소도 유입되는 것으로 판단된다. 인의 경우에는 용존성 인의 형태가 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

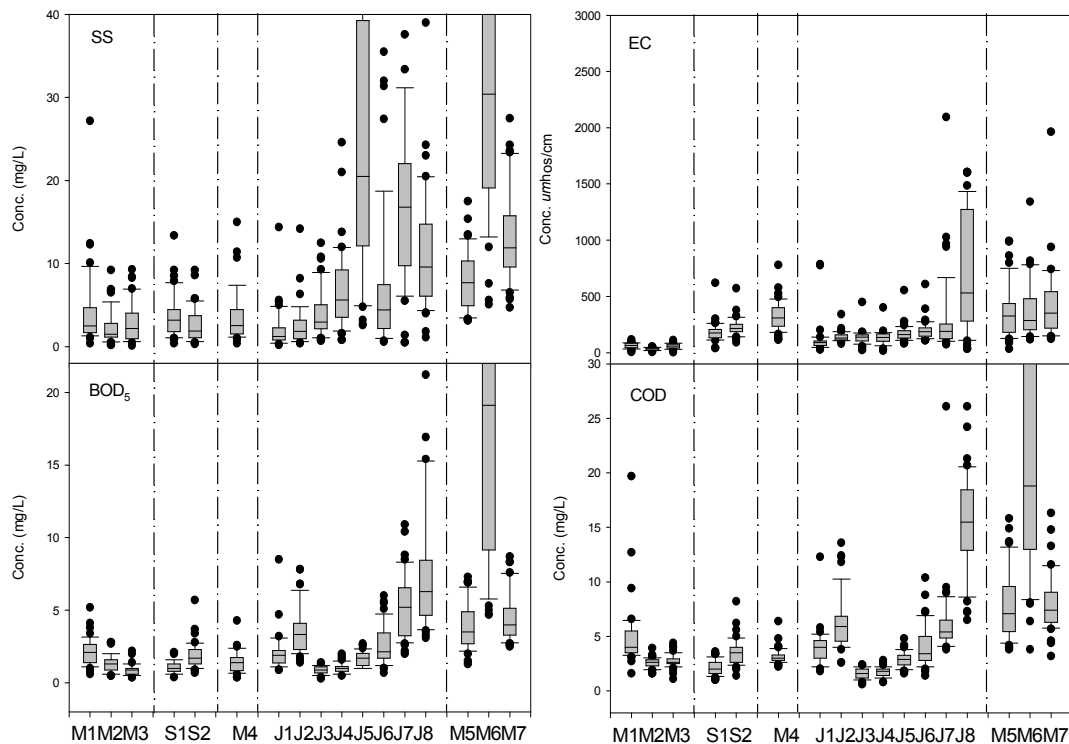
M6 지점을 영양물질의 각 구성비로 살펴보면, 질소의 경우 암모니아성 질소의 형태가 많은 부분을 차지하고 있는 것을 볼 수 있다. 익산천의 경우는 많은 축산폐수의 유입되기 때문이며, 현재 유입되는 오염원의 저감을 위한 노력이 이루어지고 있는 지역이다. 인의 구성성분도 대부분 용존성 성분보다는 입자성 성분이 많은 부분을 차지하고 있다. 익산천의 경우는 그동안 하천의 바닥부분에 많은 양의 분뇨성분들이 축적되어 있기 때문에 하상의 용출에 의한 영향도 큰 것으로 판단된다. Chl-a의 경우는 호소내의 측정지점인 M1지점에서 높은 농도를 보였으며, 이후 하천으로 유입된 후에는 낮은 수준이었으며 측정지점이나 측정시기별로 차이는 있으나 10  $\mu\text{g/L}$  수준을 유지하였다.

(그림 7-80)은 만경유역의 수질측점지점별 부유물질, 유기물질, EC의 변화를 나타낸 그래프이다. SS의 경우에는 유역의 상류지점부터 M4지점까지는 10 mg/L 이하를 나타내었는데, 전주천이 합류하고 난 M5지점에서 높은 농도를 나타내었다. 이유는 삼천의 말단부인 J5지점의 높은 SS농도가 전주천과 합류하여 전주천의 SS에 영향을 주었기 때문이다. J5 지점은 하천정비, 토지개발을 통해서 많은 도로와 건축물이 축조되고 있는 지역으로 토사성분의 유입이 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 익산천의 말단 부인 M6에서도 높은 SS가 유입되기 때문에 M7의 김제 지점의 SS농도에도 영향을 주는 것으로 나타났다.



EC의 경우는 만경강 본류에서는 전주천이 합류한 후 높아지는 경향을 보였으며 전주하수처리장이 유입되는 측정지점인 J8에서 가장 높은 농도를 나타내었다. EC는 수체가 전류를 통과시키는 능력을 표현하는 수치이다. 전주하수처리장이 합류하고 난 후 높은 수준을 보인 것은 방류수의 높은 EC수치가 영향을 준 것으로 판단된다.

유기물질의 경우는 BOD<sub>5</sub>와 COD모두 J8지점과 M6지점에서 높은 농도를 나타내었으며 전주하수처리장의 영향이 크기 때문에 만경유역의 하천에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가 되었다. J8지점의 경우 생물학적으로 분해 가능하지 않은 유기물의 비율이 높은 것으로 평가되었다. 이는 하수처리장에서 생물학적으로 처리할 수 없는 유기물이 하천으로 방류되는 것으로 판단된다. 익산천 말단의 측정지점에서는 BOD<sub>5</sub>와 COD의 농도가 유사한 수준이었는데, 이는 유입오염원의 대부분이 축산폐수로서 그 특성이 반영된 결과이다.



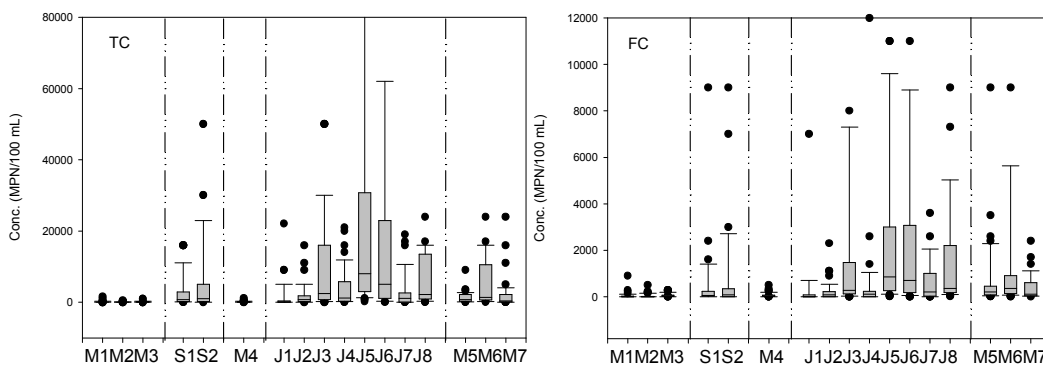
(그림 7-80) 만경유역의 측정지점별 부유물질, 유기물질, EC의 변화

(그림 7-81)은 지표미생물인 총대장균군 (Total coliform, TC)과 분변성 대장균군 (Fecal coliform, FC)의 지점별 농도를 나타낸 그래프이다.

TC와 FC는 미생물적 측면에서 수질오염의 평가기준이 되는 지표생물로서 미생물에 의한 오염으로부터 안정성의 평가 및 모니터링을 위해 일반적으로 사용되고 있다 (Weiner, 2000). 지표미생물의 조건은 (1) 측정이 용이하고, (2) 오염된 물에서만 측정되며, (3) 다른 오염물질과 상관성을 갖고, (4) 병원성 미생물보다 소멸하는 속도가 늦어야 한다 (USEPA, 1999). TC는 자연계의 모든 대장균을 나타내며, Fecal coliform은 온혈동물의 장에서 배출되는 분변성 대장균을 나타내는 항목이다. 지표미생물의 농도는 휴양용수, 음용수, 수생태계의 보호를 위해서 법률로서 규제하고 있다.

지표미생물은 만경분류 상류지점에서는 낮은 수준이었으나 전주천에서 영향을 받아 높은 수준이었으며 전주천 중류인 J3, J5, J6, J8지점이 높은 수준을 나타내었고, 익산천의 말단부인 M6 지점은 다른 화학적 항목에 비해 낮은 수준이었다.

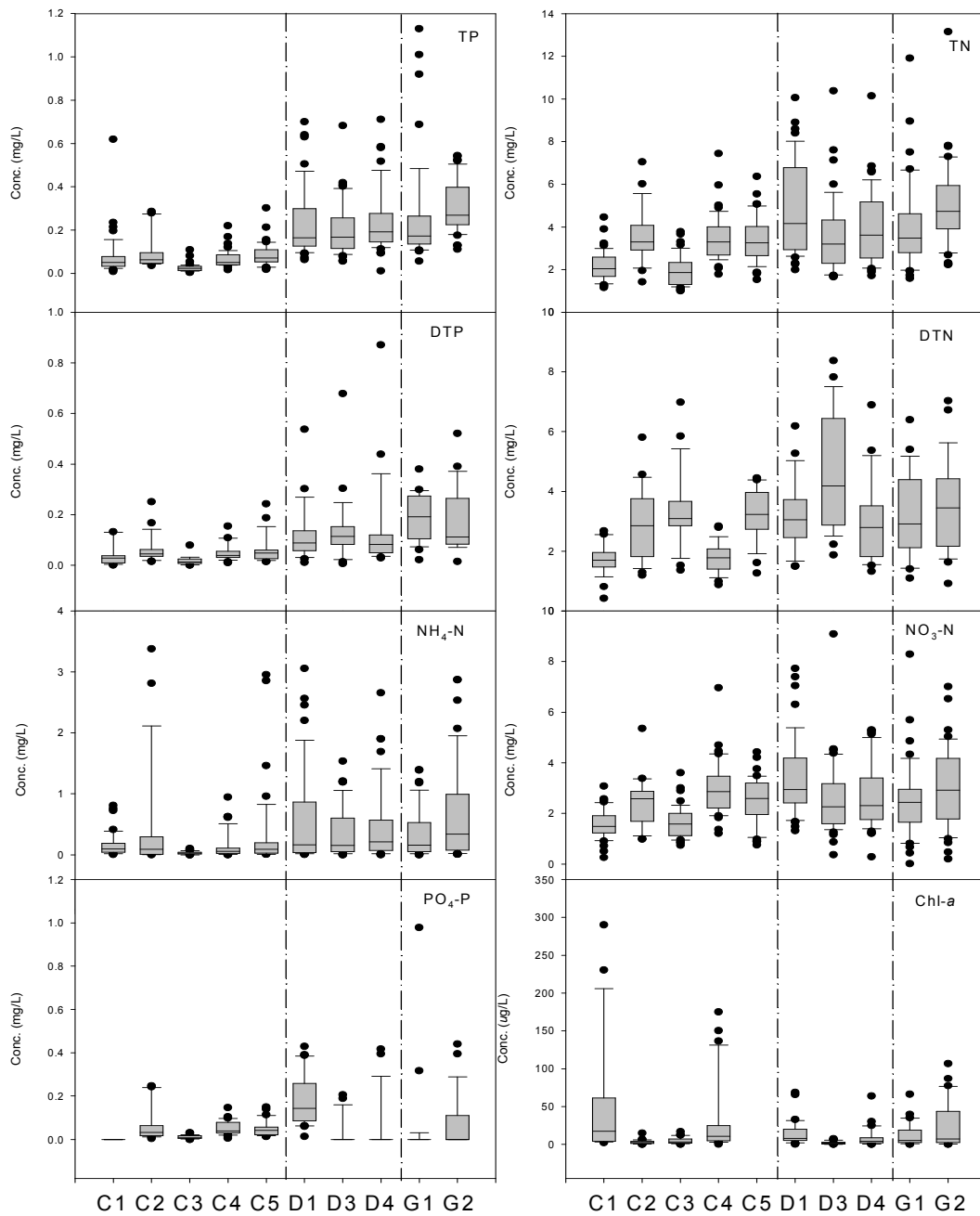
WHO에서는 휴양용수의 규제를 위해서 대장균농도를 규제하고 있으며 분변성 대장균의 경우 최근 5회 샘플에서 기하평균의 농도 50%가 100/100 mL이하이고, 90%가 1,000/100 mL보다 낮아야 한다고 규정하고 있다. 우리나라의 환경기준을 살펴보면 수영이 가능한 상수용수 2급과 수산용수 2급에서 총대장균군을 1,000 MPN/100 mL로 제한하고 있다. 본 연구에서 측정된 지표미생물 농도는 국제적인 권고치는 물론 우리나라 수질기준에도 부적합하며 적절한 개선대책이 필요한 것으로 나타났다.



(그림 7-81) 만경유역의 측정지점별 지표미생물의 변화

### 3) 동진유역의 수질현황 분석

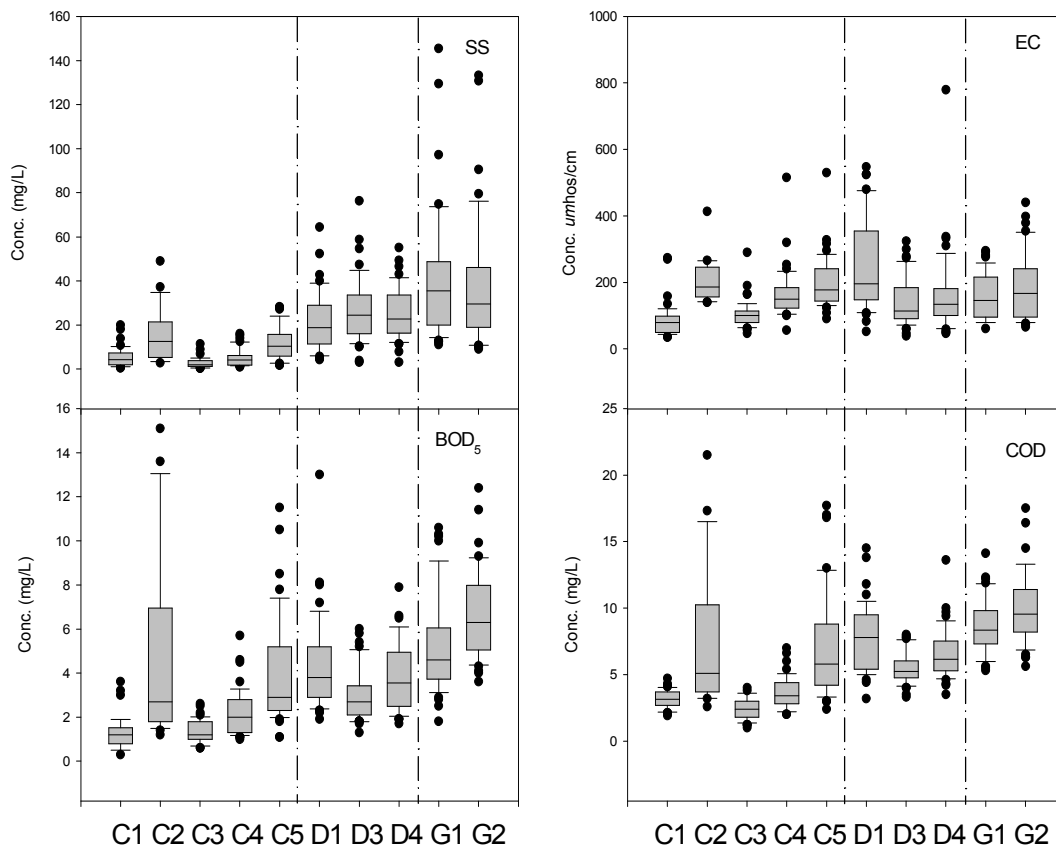
(그림 7-82)는 동진유역의 영양물질과 Chl-a 농도변화를 나타내는 그림이다.



(그림 7-82) 동진유역의 영양물질과 Chl-a의 농도변화

영양물질의 경우 정읍천 유역의 측정지점인 C1, C2, C3, C4, 그리고 C5지점의 수질은 대체적으로 양호한 상태였으며, 동진분류인 D1의 수질측정지점에서 높은 수준을 나타내었으며 하류부로 갈수록 수질이 개선되는 형태를 나타내었다 (그림 7-83). 고부천의 경우는 고부천 말단부인 G2 지점의 수질이 동진강 본류의 말단지점인 D4보다 좋지 않은 수준이었기 때문에 고부천이 합류되고 난후 동진강 수질 중 영양물질의 농도에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

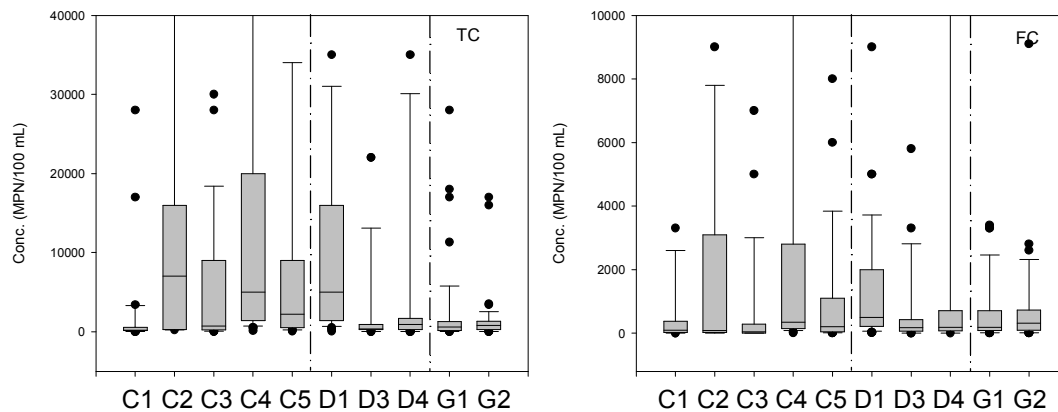
부유물질인 SS의 농도를 살펴보면 정읍천 유역에서는 낮은 수준이었으나 동진강 본류인 D1, D2, D3 지점에서 높은 수준이었고, 고부천의 수질은 동진분류보다 높은 수준을 나타내었기 때문에 동진분류에 악영향을 미치는 것으로 분석되었다. 전기전도도는 일반적인 하천의 범위인 0-600  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위를 타나내었다.



(그림 7-83) 동진유역의 측정지점별 부유물질, 유기물질, EC의 변화

유기물질은 정읍천의 C2지점에서 높은 농도를 나타내었으나 정읍천의 지천으로 정읍천의 본류와 합류된 후에는 낮은 수준을 나타내었다. C2지점은 정읍시 송산동에 위치한 지점으로 유기물이 많은 지역이나 유량이 적기 때문에 하류에 미치는 영향은 적은 것으로 분석되었다. 동진강의 경우 상류부분의 높은 유기물농도를 나타내었으며 정읍천과 합류 후 감소하는 경향을 나타내었다. 고부천의 유기물질의 농도가 높기 때문에 동진본류와 합류되면서 수질이 악화되는 것으로 분석되었다.

지표미생물의 농도를 살펴보면 정읍천의 C2, C4, C5, 그리고 D1 지점이 높은 수준을 나타내었다. C2 지점은 높은 유기물 농도를 나타내었으며 암모니아성 질소의 농도 또한 높은 수준이었기 때문에 축산에 의한 오염원 유입이 원인인 것으로 판단된다. 측정시기와 지점별로 차이는 있으나 만경강에 비해 낮은 수준이었다.



(그림 7-84) 동진유역의 측정지점별 지표미생물의 변화

### 3. WinHSPF를 이용한 BMP 모의

#### 가. BMPRAC (Best Management Practice Evaluation)

BMPRAC는 HSPF 모델링 과정에서 간단한 제거율을 입력하여 모듈을 추가함으로써 최적관리기법 (Best Management Practice)방안에 따른 제거효과를 모의하는 모듈이다. WinHSPF에 BMPRAC를 추가하여 저류형 시설, 식생형 시설, 침투형 시설 및 장치형시설 등 40여 가지의 BMP를 적용하였을 경우 각 시설에 따라 제거되는 비율 (FRAC)을 입력할 수 있다. 각 소유역의 RCHRES뿐만 아니라 PERLND와 IMPLND

에서 저감시설을 통한 오염물질 제거효과를 모의할 수 있기 때문에 유역 내에서의 복잡한 토지이용 및 오염부하 형태를 고려하여 비점오염물질의 저감을 평가할 수 있다. 그러나 저감시설을 통한 오염물질의 저류와 제거 효과를 모의하는 식은 단순한 기작으로만 되어있기 때문에 복잡한 기작은 포함되지 않는 단점이 있다.

BMPRAC 모듈에서의 오염물질 제거 기작은 다음 식과 같다.

$$REMOVE = FRAC \times INPUT \quad (7-3)$$

$$OUTPUT = INPUT - REMOVE \quad (7-4)$$

여기서, REMOVE = mass removed, FRAC = fraction to remove.

INPUT = inflow mass, OUTPUT = outflow mass

BMPRAC 모의과정에서 제거율은 각각의 처리시설에 따라 토지이용별, 수질항목별로 입력하여 모의할 수 있으며, windows 상에서 table로 간단히 입력하기 때문에 사용자가 유역관리를 실행하고, 그 효과를 예측하는데 있어서 편리한 방식으로 되어있다.

#### 나. BMPRAC 대상 소유역

BMPRAC를 적용하기 위하여 새만금유역 내 만경강유역 및 동진강유역에서 비점오염이 가장 문제시 될 만 한곳을 현장 조사를 통해 선정하였다. (그림 7-62)의 분할된 소유역 중 현장조사 결과 비점오염의 영향이 큰 소유역을 <표 7-50>과 같이 나타내었다. 만경강유역의 경우 강우시 전주시내 도시관로 말단의 CSOs와 전주하수종말처리장 및 전주공단폐수 방류에서의 배출이 큰 비점오염원으로 작용하고 있다. 뿐만 아니라 익산의 왕궁축산폐수처리장과 하수처리장, 익산 CSOs, 도로 및 주차장 유출수, 그리고 농경지에서의 유출수 등이 큰 비점오염원으로 작용하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 왕궁 축산폐수처리장 하류 지점을 비롯해 만경강과 합류직전 지점에서는

BOD가 각각 42ppm과 46ppm으로 오염도가 5급수기준(10ppm)보다 무려 5배 가까이 됐으며, SS도 각각 131ppm과 236ppm으로 나타나 오염도가 심각한 수준으로 조사되었다(만경강 생태하천가꾸기 민·관·학협의회, 2005). (그림 7-85)~(그림 7-88)은 만경유역 및 동진유역의 비점오염원 유출지역에 대해 나타낸 그림이다.

<표 7-50> 새만금유역 내 비점오염의 영향이 큰 소유역 조사 결과

유역	소유역번호	주요 비점오염원
만경	10	전주시내 합류식하수관거 말단 CSOs
	12	전주시내 합류식하수관거 말단 CSOs
	13	전주하수종말처리장, 전주공단폐수
	16	왕궁축산폐수처리장 방류수
	17	익산시 하수처리장 방류수
	19	익산 도시하수, 도로, 주차장, 세차장, 논, 밭 유출수
동진	23	정읍시 축산폐수, 생활하수
	24	정읍시 하수 일부 유입, 정읍공단
	27	정읍시 축산폐수 및 공단폐수
	29	정읍시 생활하수, 부안군 생활하수
	33	김제시 생활하수 및 축산폐수, 죽산면 일대 생활하수, 축산폐수



(그림 7-85) 전주천 도시 CSOs



(그림 7-86) 전주공단폐수 유출 및 전주하수처리장 방류수



(그림 7-87) 익산천 하류 탁수발생 및 왕궁축산폐수처리장 방류수



(그림 7-88) 동진유역 정읍천 상류 주거 및 농경배수와 토사유실

본 연구에서 사용한 BMP는 대표적으로 도시 CSOs를 저감하기 위한 CSO retention basins, 하수종말처리장과 산업공단 및 축산폐수처리장에서의 방류수 및 기타 도시, 비도시 비점오염원을 저감하기 위하여 wet detention pond, wetland를 선정하였다. 일반적으로 인공습지는 다른 처리시설에 비해 많은 면적을 필요로 하는 단점을 가지고 있으나, 현행 오염물질부하에 의한 설계기준에 의하면 전처리나 원하는 수질에 따라 약간씩은 다르지만 1,000 m<sup>3</sup>처리에 약 1.5~5 ha가 필요하다 (환경관리공



단, 2003). 위 문헌조사에서 살펴보았던 석문 인공습지의 경우 면적 0.8ha에 약 1,000 m<sup>3</sup>/day까지 처리될 수 있다고 보고하였다. 따라서 새만금유역에 1 ha당 최대 처리용량이 1,000 m<sup>3</sup>/day인 인공습지를 소유역 총면적당 5%를 할당하여 조성하였다고 가정하였고 CSO retention basins와 wet detention pond의 경우도 강우시 다량의 CSOs와 환경기초시설의 방류수를 고려하여 소유역 총면적의 5%를 결정하였다. BMPRAC모듈에서는 먼저 각각의 소유역에 토지이용별 할당율을 <표 7-51>과 <표 7-52>에서 보는 바와 같이 5% 입력하였고, <표 7-53>과 같이 WinHSPF의 BMPRAC모듈에서 제공하는 DB range, 문헌연구 및 현장 BMPs 저감효율 결과를 바탕으로 removal fraction을 결정하였다. CSO retention basins의 경우 0.3~0.99, wet detention pond는 0.2~0.9, wetland는 0.3~0.9의 범위로 각각의 수질인자에 대한 removal fraction을 주었다.

<표 7-51> 만경유역의 BMPs 적용 면적비율

Subbasins	10				12				13			
	Area		A	B	Area		A	B	Area		B	C
	ha	%			ha	%			ha	%		
Urban_P <sup>(1)</sup>	728.8	15.8	5%	5%	665.3	7.3	5%	5%	472.3	15.9	5%	5%
Urban_I <sup>(2)</sup>	728.8	15.8	5%	5%	665.3	7.3	5%	5%	472.3	15.9	5%	5%
Agricultural	318.5	6.9		5%	1056.2	11.6		5%	539.5	18.1	5%	5%
Rice	174.0	3.8		5%	1856.7	20.4		5%	1036.8	34.8	5%	5%
Forest	2216.1	47.9		5%	4339.5	47.7		5%	97.9	3.3	5%	
Water	132.3	2.9		5%	271.1	3.0		5%	217.3	7.3	5%	
Barren	325.0	7.0		5%	238.5	2.6		5%	138.3	4.6	5%	
Livestock	2.8	0.1		5%	1.9	0.0		5%	0.9	0.0	5%	

<sup>(1)</sup> Pervious land, <sup>(2)</sup> Impervious land

A: CSO retention basins, B: wet detention pond, C: wetland

<표 7-51> 만경유역의 BMPs 적용 면적비율 (계속)

Subbasins	16				17				19				
	Area		B	C	Area		B	C	Area		A	B	C
	ha	%			ha	%			ha	%			
Urban_P	286.5	3.7	5%	5%	700.1	6.5	5%	5%	1,423.7	7.0	5%	5%	5%
Urban_I	286.5	3.7	5%	5%	700.1	6.5	5%	5%	1,423.7	7.0	5%	5%	5%
Agricultural	1,823.1	23.6	5%	5%	2,792.4	25.8	5%	5%	3,209.2	15.7		5%	5%
Rice	3,162.7	40.9	5%	5%	5,129.9	47.4	5%	5%	10,718.6	52.5		5%	5%
Forest	1,633.7	21.1	5%		631.7	5.8	5%		2,586.0	12.7		5%	
Water	390.9	5.1	5%		712.3	6.6	5%		632.5	3.1		5%	
Barren	118.3	1.5	5%		157.5	1.5	5%		386.0	1.9		5%	
Livestock	24.1	0.3	5%		5.2	0.0	5%		28.9	0.1		5%	

<표 7-52> 동진유역의 BMPs 적용 면적비율

Subbasins	23				24				27				
	Area		B	C	Area		B	C	Area		B	C	
	ha	%			ha	%			ha	%			
Urban_P	728.8	15.8	5%	5%	665.3	7.3	5%	5%	472.3	15.9	5%	5%	
Urban_I	728.8	15.8	5%	5%	665.3	7.3	5%	5%	472.3	15.9	5%	5%	
Agricultural	318.5	6.9	5%	5%	1056.2	11.6	5%	5%	539.5	18.1	5%	5%	
Rice	174.0	3.8	5%	5%	1856.7	20.4	5%	5%	1036.8	34.8	5%	5%	
Forest	2216.1	47.9	5%		4339.5	47.7	5%		97.9	3.3	5%		
Water	132.3	2.9	5%		271.1	3.0	5%		217.3	7.3	5%		
Barren	325.0	7.0	5%		238.5	2.6	5%		138.3	4.6	5%		
Livestock	2.8	0.1	5%		1.9	0.0	5%		0.9	0.0	5%		

<표 7-52> 동진유역의 BMPs 적용 면적비율 (계속)

Subbasins	29				33			
	Area		B	C	Area		B	C
	ha	%			ha	%		
Urban_P	718.7	8.2	5%	5%	286.5	3.7	5%	5%
Urban_I	718.7	8.2	5%	5%	286.5	3.7	5%	5%
Agricultural	1776.6	20.3	5%	5%	1,823.1	23.6	5%	5%
Rice	3744.2	42.7	5%	5%	3,162.7	40.9	5%	5%
Forest	945.8	10.8	5%		1,633.7	21.1	5%	
Water	566.6	6.5	5%		390.9	5.1	5%	
Barren	295.6	3.4	5%		118.3	1.5	5%	
Livestock	3.0	0.0	5%		4.1	0.3	5%	

<표 7-53> BMP별 제거효율

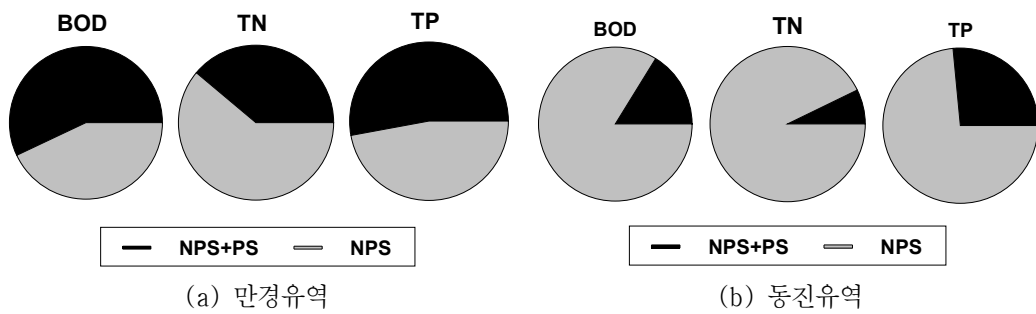
Pollutants		CSO retention basins		wet detention pond		wetland	
		FARC	DB range(%)	FARC	DB range(%)	FARC	DB range(%)
Sediment	Sand	0.99	99~99	0.9	80~90	0.9	90~90
	Silt	0.99	99~99	0.9	80~90	0.9	90~90
	Clay	0.99	99~99	0.9	80~90	0.9	90~90
BOD		0.3	-	0.4	20~40	0.8	70~80
Solution	NO <sub>3</sub>	0.77	77~77	0.4	30~40	0.6	60~60
	TAM	0.3	-	0.3	20~30	0.3	-
	NO <sub>2</sub>	0.77	77~77	0.4	30~40	0.6	60~60
	PO <sub>4</sub>	0.3	-	0.7	60~70	0.3	-
Sand Adsorbed	NH <sub>4</sub>	0.3	-	0.3	20~30	0.3	-
	PO <sub>4</sub>	0.9	90~90	0.5	40~50	0.6	60~60
Clay Adsorbed	PO <sub>4</sub>	0.9	90~90	0.5	40~50	0.6	60~60
TDS		0.3	-	0.4	20~40	0.3	-
Organic Nitrogen		0.3	-	0.3	20~30	0.3	-
Organic Phosphorus		0.9	90~90	0.5	40~50	0.6	60~60

새만금유역 연평균 오염부하량 및 비점오염부하량은 <표 7-54>와 (그림 7-89)와 같다. 만경유역의 연간 총부하량은 BOD, TN, TP가 각각 1,518~3,437 10<sup>3</sup>kg/year,

7,752~13,407 10<sup>3</sup>kg/year, 385~569 10<sup>3</sup>kg/year로 모의되었고, 동진유역의 경우 3,663~4,871 10<sup>3</sup>kg/year, 4,369~7,175 10<sup>3</sup>kg/year, 226~274 10<sup>3</sup>kg/year로 각각 모의되었다. 만경유역의 비점오염부하는 BOD가 42.9%, TN이 61.1%, TP가 47.1%를 차지하였고, 동진유역의 경우 각각 83.9%, 92.8%, 73.5%로써 비점오염부하량이 차지하는 비율이 높았다.

<표 7-54> 새만금유역 연평균 오염부하량 및 비점오염부하량

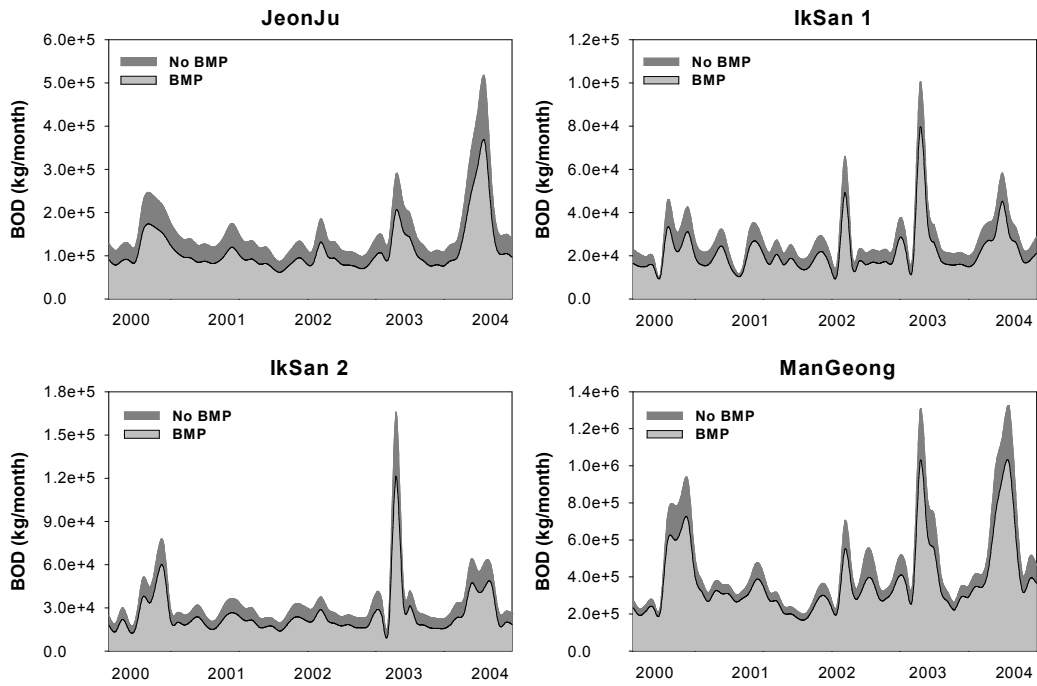
유역	년도	BOD (10 <sup>3</sup> kg/year)		TN (10 <sup>3</sup> kg/year)		TP (10 <sup>3</sup> kg/year)	
		NPS	Total	NPS	Total	NPS	Total
만경	2000	2,628	5,756	8,691	13,407	264	542
	2001	1,518	4,117	3,175	7,752	173	422
	2002	1,762	4,452	4,140	7,763	167	385
	2003	3,058	6,340	9,193	11,731	260	488
	2004	3,437	7,752	8,777	12,883	278	569
동진	2000	3,066	3,663	5,544	5,939	158	226
	2001	3,632	4,283	3,982	4,369	194	262
	2002	3,617	4,461	4,433	4,836	201	271
	2003	4,121	4,871	6,765	7,175	205	274
	2004	4,066	4,780	5,574	5,962	197	265



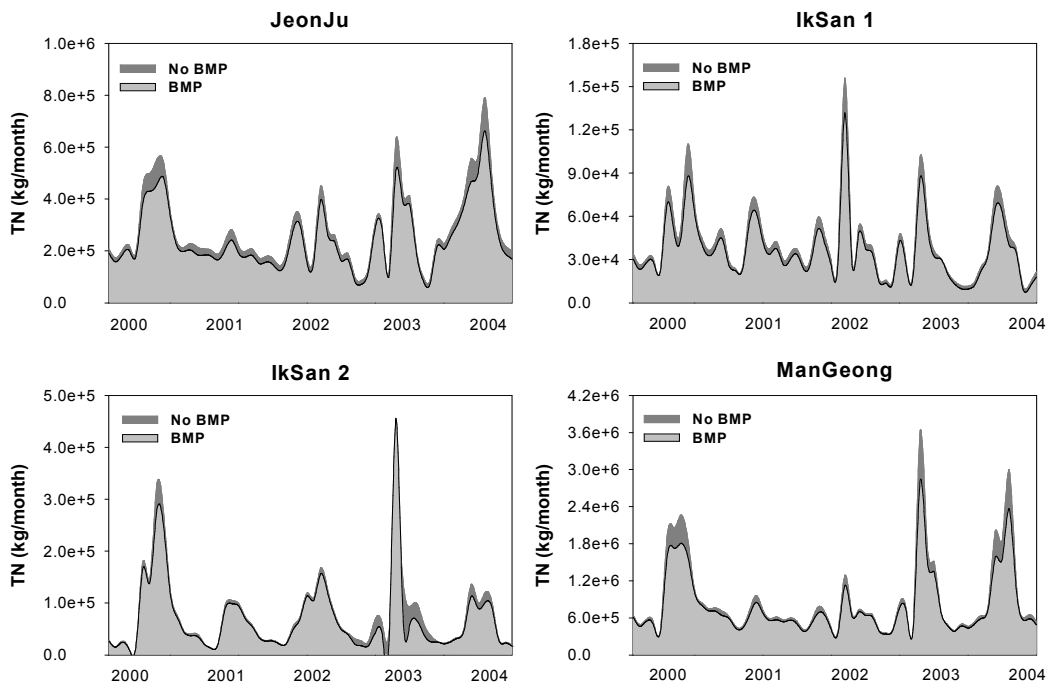
(그림 7-89) 비점오염부하량과 총오염부하량의 비율

#### 다. BMPRAC 적용 결과

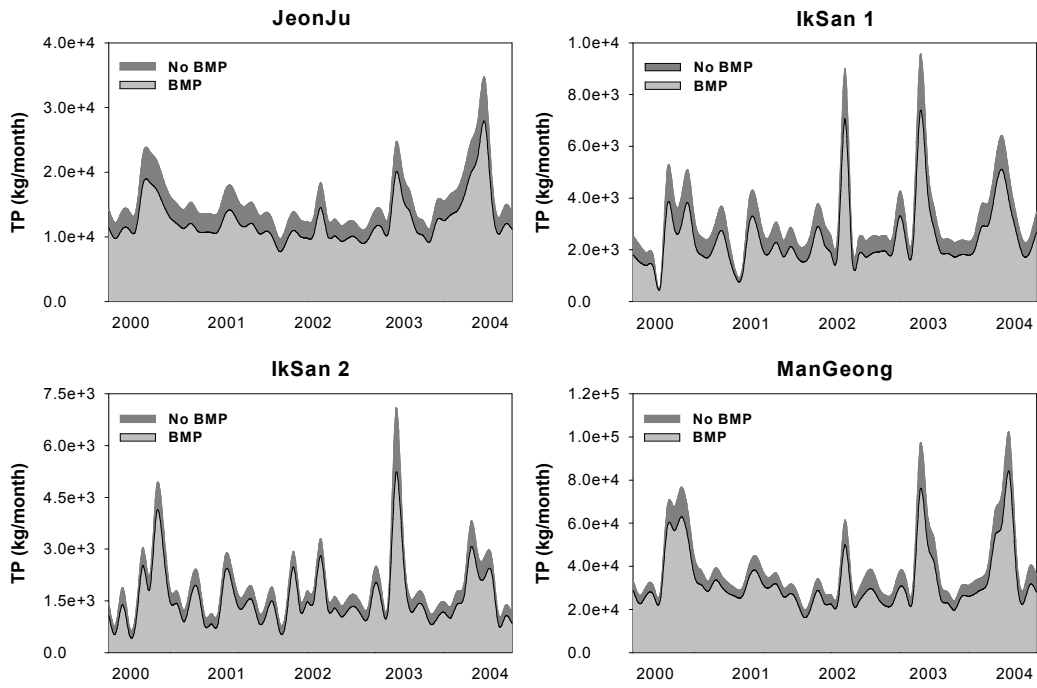
(그림 7-90)~(그림 7-95)에는 BMPRAC 적용 결과이며 2000년부터 2004년까지 총 부하량의 삭감결과를 월별로 나타내었다. 만경유역은 전주천, 익산천 등 주요 유역의 결과와 만경유역 전체에 대한 BMP 삭감량을 도시하였으며 동진유역도 마찬가지로 정읍천, 고부천, 원평천 등 주요 유역과 동진유역 전체에 대한 BMP 삭감량을 나타내었다. <표 7-55>에 따르면 전주천의 경우 10, 12, 13번 소유역이 포함되며 각각의 소유역에 CSO retention basins, wet detention basins, wetland를 적용한 결과 연도별 BOD 삭감량이 28.7~31.4%로 가장 많았다. TN의 경우 10.8~12.1%, TP의 경우 18.6~21.2%의 삭감율을 나타내었다. 익산천의 경우 16번 소유역이 포함되며 wet detention basins, wetland를 적용한 결과 BOD, TN, TP의 삭감율은 23.3~26.3%, 10.6~12.5%, 21.5~26.8%로 각각 산정되었다. 만경유역 전체는 20번 소유역의 결과를 반영하며 각 소유역에 BMPs를 적용한 결과로서 BOD는 4,117~7,752 10<sup>3</sup>kg/year에서 16.2~23.3%만큼 삭감되어 3,871~6,951 10<sup>3</sup>kg/year로 나타났으며, TN은 7,752~13,407 10<sup>3</sup>kg/year에서 7.0~14.1%만큼 삭감되어 7,298~12,338 10<sup>3</sup>kg/year로 나타났다. TP는 385~569 10<sup>3</sup>kg/year에서 14.7~19.2%만큼의 비점오염 삭감율을 나타내어 354~516 10<sup>3</sup>kg/year로 모의되었다 <표 7-57>.



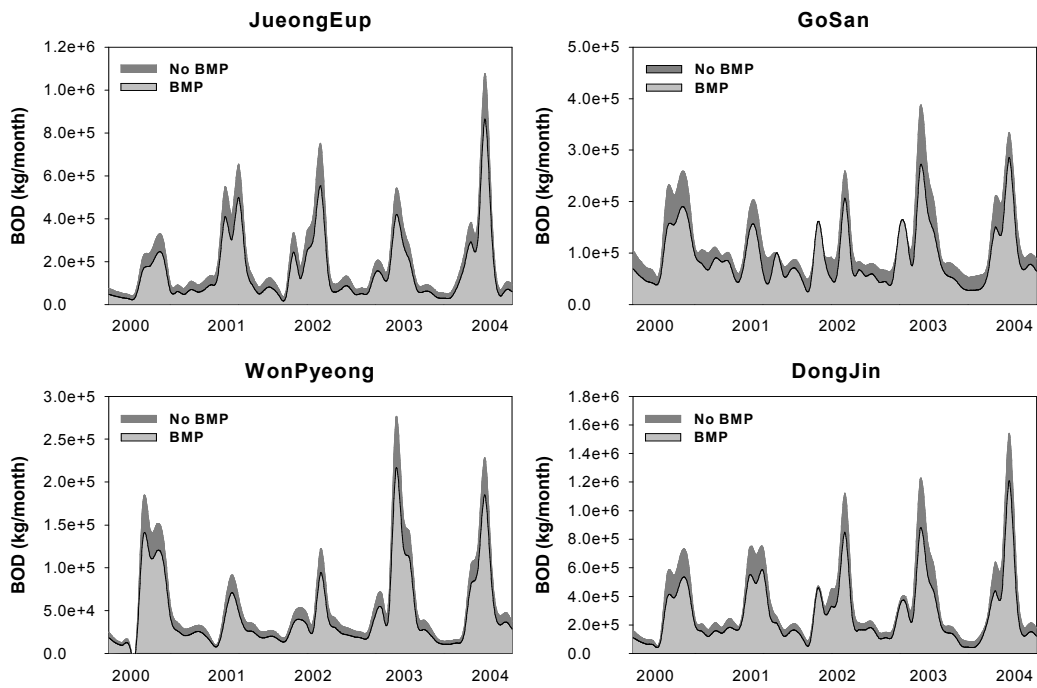
(그림 7-90) 만경유역 BMPRAC 적용결과 (BOD)



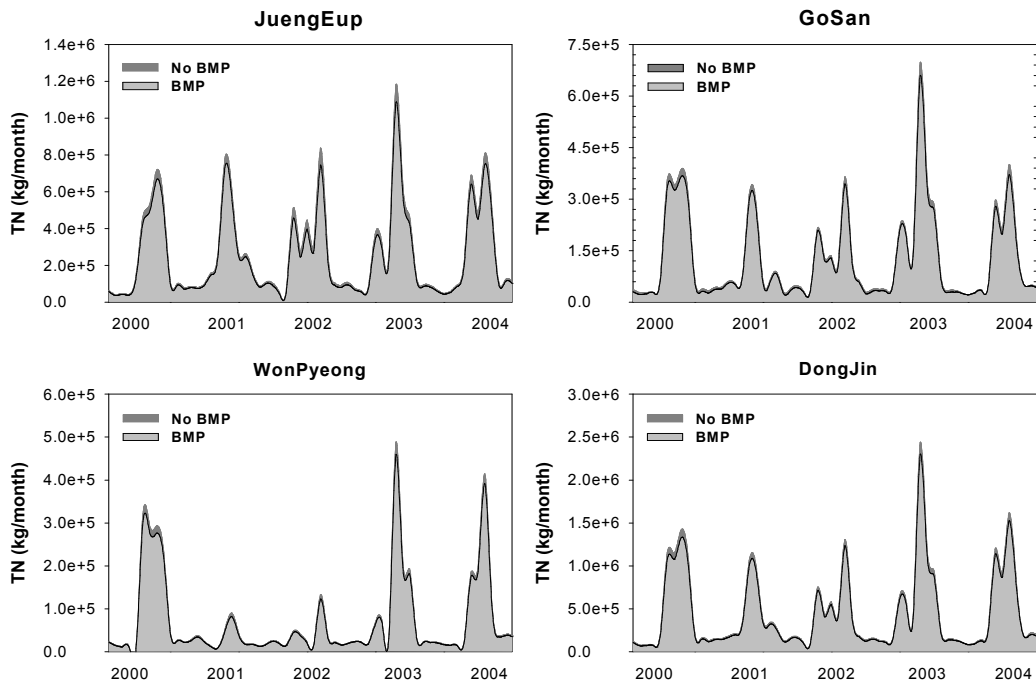
(그림 7-91) 만경유역 BMPRAC 적용결과 (TN)



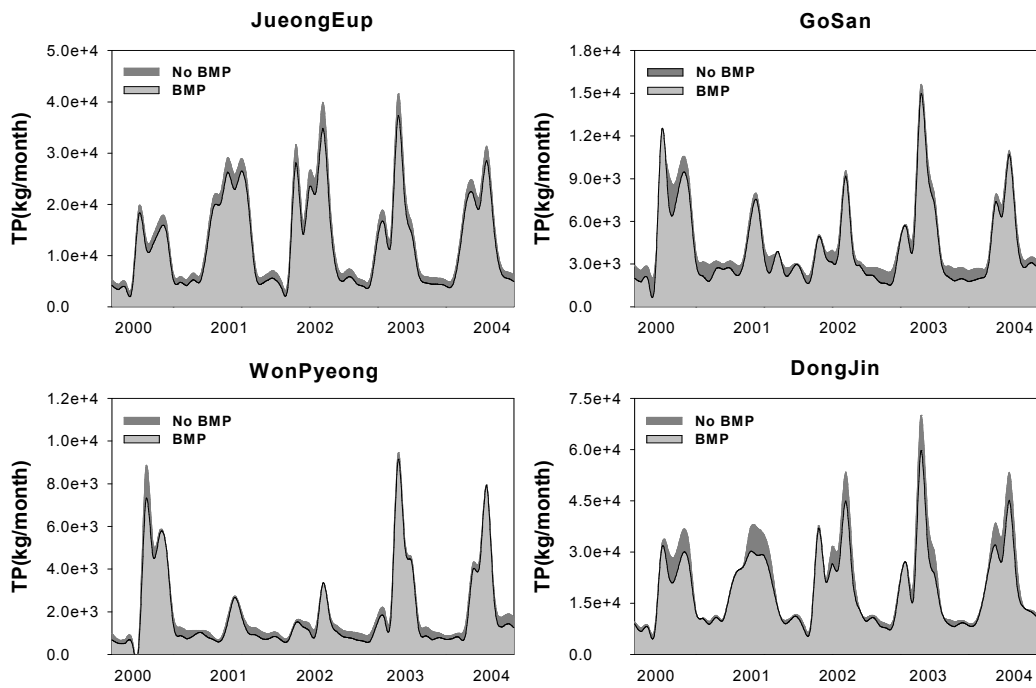
(그림 7-92) 만경유역 Bmprac 적용결과 (TP)



(그림 7-93) 동진유역 Bmprac 적용결과 (BOD)



(그림 7-94) 동진유역 Bmprac 적용결과 (TN)



(그림 7-95) 동진유역 Bmprac 적용결과 (TP)



동진유역은 정읍천의 경우 23, 24, 27번 소유역이 포함되며 wet detention basins, wetland를 각각 적용한 결과 <표 7-56>과 <표 7-57>과 같이 비점오염부하량이 삭감하였다. BOD는 24.3~29.3%로 나타났으며 가장 높은 삭감효율을 보였다. TN은 6.4~11.3%로 나타났으며 TP는 11.4~14.2%만큼 삭감되었다. 고부천은 29번소유역에 wet detention basins, wetland를 적용하였고 BOD 20.6~28.3%, TN 5.7~6.7%, TP 10.4~13.6%로 모의되었다. 원평천은 33번소유역에 wet detention basins, wetland를 적용하였고 BOD 21.2~25.2%, TN 5.4~7.5%, TP 11.3~15.5%로 나타났고 TP의 경우 삭감효율이 비교적 높게 모의되었다. 동진유역은 34번 소유역으로 나타낼 수 있으며 삭감부하량은 BOD가 3,663~4,871 10<sup>3</sup>kg/year에서 24.4~27.6%만큼 삭감되어 2,823~3,774 10<sup>3</sup>kg/year로 나타났고 TN은 4,369~7,175 10<sup>3</sup>kg/year에서 5.9~6.6%만큼 삭감되어 4,369~7,175 10<sup>3</sup>kg/year로 나타났다 TP는 226~274 10<sup>3</sup>kg/year에서 14.2~17.8%만큼 삭감되어 199~242 10<sup>3</sup>kg/year로 모의되었다.

<표 7-55> 만경유역 소유역별 BMP적용 비점오염부하량 저감효율 (2000~2004)

년도	항목	소유역				
		13	16	17	19	20
2000	BOD	29.5	26.3	14.4	25.4	20.2
	TN	10.9	12.3	5.9	8.8	12.3
	TP	20.4	26.8	7.8	20.6	15.4
2001	BOD	31.4	23.3	13.3	27.1	16.2
	TN	12.1	10.8	5.2	5.3	7.0
	TP	21.2	24.8	6.4	20.8	14.7
2002	BOD	28.7	25.8	17.4	27.0	20.6
	TN	11.4	12.0	7.6	5.4	12.3
	TP	20.5	24.8	9.6	19.5	18.8
2003	BOD	28.7	23.3	13.5	28.5	22.1
	TN	10.8	10.6	6.4	7.3	13.4
	TP	18.6	22.7	10.7	22.0	19.2
2004	BOD	29.1	24.3	13.1	27.1	23.3
	TN	12.0	12.5	6.1	10.8	14.1
	TP	19.4	21.5	10.0	20.7	19.2

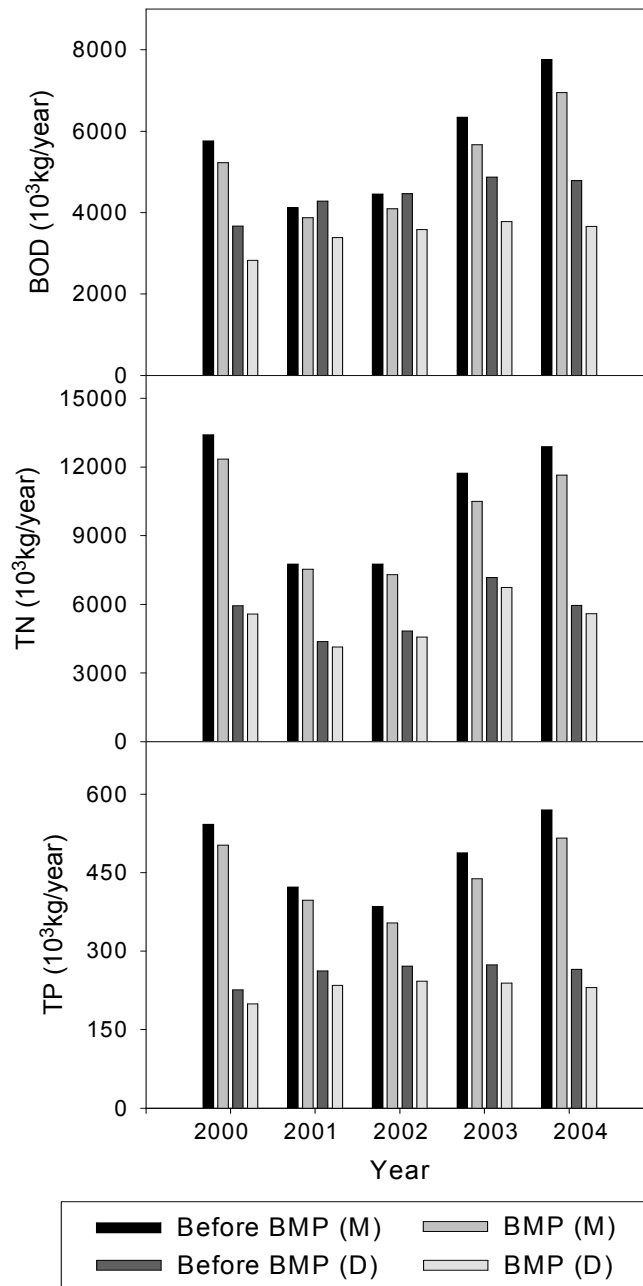
<표 7-56> 동진유역 소유역별 BMP적용 비점오염부하량 삭감효율 (2000~2004)

년도	항목	소유역			
		27	29	33	34
2000	BOD	29.2	28.3	22.6	27.4
	TN	7.4	6.4	5.5	6.5
	TP	13.7	13.6	13.7	17.1
2001	BOD	28.2	23.2	24.3	24.7
	TN	6.4	6.7	7.5	6.0
	TP	11.4	12.0	15.5	14.2
2002	BOD	29.3	20.6	25.2	24.4
	TN	11.3	5.9	6.8	5.9
	TP	14.2	10.4	13.8	14.3
2003	BOD	25.6	24.2	23.4	26.6
	TN	8.3	5.7	5.6	6.4
	TP	13.5	12.1	11.7	16.9
2004	BOD	24.3	26.7	21.2	27.6
	TN	7.3	5.7	5.4	6.6
	TP	11.8	12.3	11.3	17.8

<표 7-57> 연평균 삭감부하량

유역	년도	BOD (10 <sup>3</sup> kg/year)		TN (10 <sup>3</sup> kg/year)		TP (10 <sup>3</sup> kg/year)	
		Reduction	Total	Reduction	Total	Reduction	Total
만경	2000	5,225	5,756	12,338	13,407	502	542
	2001	3,871	4,117	7,529	7,752	397	422
	2002	4,089	4,452	7,298	7,763	354	385
	2003	5,665	6,340	10,499	11,731	438	488
	2004	6,951	7,752	11,646	12,883	516	569
동진	2000	2,823	3,663	5,578	5,939	199	226
	2001	3,386	4,283	4,130	4,369	234	262
	2002	3,579	4,461	4,574	4,836	242	271
	2003	3,774	4,871	6,742	7,175	239	274
	2004	3,658	4,780	5,594	5,962	230	265

(그림 7-96)에는 새만금유역 BMP 적용 전과 후의 연평균 부하량을 비교하여 나타내었다.



(그림 7-96) 새만금유역 BMP적용 전과 후의 연평균 부하량 비교

#### 4. 새만금유역의 BMPs 경제성 분석

새만금유역의 BMPs 적용을 위하여 비교적 간단하게 소요 비용을 산정하였다.

BMP 비용은 구조적 기능이나 비구조적 기능이나에 따라 다르며 대상지역의 상황, 제거목표 오염물질의 종류, 대상지역의 기후, 이용가능한 정보 등에 따라 다양하게 변한다. 게다가, 본 연구에서 적용한 BMP와 제거 Fraction은 WinHSPF의 BMPRAC 모듈을 이용하였으며, 이 BMPRAC 모듈에는 특정 BMP의 구분은 안 되며 일반적인 BMPs와 제거효율만 제공하고 있다. 그러므로 여기서 제공하는 비용산정은 대상지역에서 일반적인 계획에 맞게 적절히 고려되어야 한다. 실제 비용은 자세한 유역평가에 따르는 현장설계에서 얻어진 상세 비용으로부터 시설 크기순으로 쉽게 변한다.

도시지역과 비도시지역에 대한 단위비용은 '면적당 비용'으로써 산정할 수 있으며 다양한 BMP 적용 수준에 의해 처리되는 면적은 계획한 비용을 도출하기 위해 사용될 수 있다. 도시지역의 BMP 비용 산정은 미국의 CWP (Center for Watershed Protection)에서 제공하는 방법을 이용하였다 (D. Caraco, 2001). CWP에서는 도시와 도시근교의 구시설 및 새로 개발되는 BMPs에 대한 일반적인 비용을 계산하였다. 이 비용에는 설계를 위한 사전 연구, 설계, 제작 및 유지관리에 대한 비용을 포함한다. 비도시지역에 대한 BMP 비용은 비교적 비용이 저렴하고 추가비용이 들지 않는 경작지 보존과 영양물질 관리에서 식생수로, 테라스, 저류지와 같이 비용이 많이 소요되는 구조적 시설물까지 다양하게 생각할 수 있다. 비도시지역에 대한 단위면적당 BMP 비용은 Novotny and Chesters (1981)에 의해 제안된 바 있다. <표 7-58>에서는 도시지역과 비도시지역에서의 일반적인 BMP 단위면적 당비용을 나타내었다.

<표 7-58> BMPs의 단위면적당 비용

구분	BMP	단위면적당 비용 (dollar/acre)	Data Source
도시지역	Retrofit BMPs and new development BMPs	\$ 288~1,255 (\$ 570)	CWP (D. Caraco, 2001)
비도시지역	Structural and non-structural BMPs	\$ 0~175 (\$ 25)	Novotny & Chesters, 1981

<표 7-59>는 거주지역 및 상업지역에서의 BMP 면적별 소요되는 일반적인 비용에

대하여 제시한 연구사례이다. <표 7-60>와 <표 7-61>에는 연못과 습지시설에 대한 소요 제작비용 산정공식과 연간 유지관리비용에 대하여 제시하였다. 국내에는 BMPs의 경제성 분석에 대한 연구가 활발히 이루어지지 않았기 때문에 외국문헌을 참고로 본 연구에서 사용한 BMPs에 대한 비용분석을 수행하였다.

<표 7-59> BMPs의 일반적인 적용비용 사례

BMP Type	Typical Cost (\$/BMP)	Application	Data Source
Retention Basin	\$100,000	50-Acre Residential Site (Impervious Cover = 35%)	Adapted from Brown and Schueler (1997b)
Wetland	\$125,000	50-Acre Residential Site (Impervious Cover = 35%)	Adapted from Brown and Schueler (1997b)
Bioretention	\$60,000	5-Acre Commercial Site (Impervious Cover = 65%)	Adapted from Brown and Schueler (1997b)
Grass Swale	\$3,500	5-Acre Residential Site (Impervious Cover = 35%)	Adapted from SWRPC (1991)

<표 7-60> Ponds와 Wetlands에 대한 주요 비용공식

BMP Type	Cost Equation or Estimate	Costs Included		Source
		Construction	E&S Control	
Retention Basins and Wetlands	$7.75V^{0.75}$	✓	✓	Wiegand et al, 1986
	$18.5V^{0.70}$	✓		Brown and Schueler, 1997b
Detention Basins	$7.47V^{0.78}$	✓		Brown and Schueler, 1997b
Retention Basins	1.06V: 0.25 acre retention basin (23,300 cubic feet)	✓		SWRPC, 1991
	0.43V: 1.0 acre retention basin (148,000 cubic feet)			
	0.33V: 3.0 acre retention basin (547,000 cubic feet)			
	0.31V: 5.0 acre retention basin (952,000 cubic feet)			

V: refers to the total basin volume in cubic feet

Costs presented from SWRPC(1991) are "moderate" costs reported in that study.

<표 7-61> 연간 유지관리비용

BMP	Annual Maintenance Cost (% of Construction Cost)	Source(s)
Constructed Wetlands	2%	Livingston et al, 1997; Brown and Schueler, 1997b
Detention Basins	< 1%	Livingston et al, 1997; Brown and Schueler, 1997b
Retention Basins and Constructed Wetlands	3~6%	Wiegand et al, 1986 Schueler, 1987 SWRPC, 1991

본 연구에서 사용한 CSO retention basins와 Wet detention pond, Wetland를 대상으로 <표 7-60>를 이용하여 BMP 제작비용을 산정하였고 <표 7-61>을 이용하여 연간 유지관리비용을 산정하여 유역별 연간 소요되는 BMPs 비용을 분석하였다.

CSO retention basins의 경우 Retention basins로 가정하여 계산하였고, 건설비는 Retention Basins and Wetlands의 Erosion and Sediment control을 고려하지 않은  $18.5V^{0.70}$ 를 이용하였으며 연간 유지관리비는 Retention Basins and Constructed Wetlands의 3~6%를 이용하여 계산하였다. Wet detention pond는 Detention Basins를 Wetland는 Constructed Wetlands의 기준을 이용하여 각각 산정하였으며 건설비의 경우 Erosion and Sediment control을 고려한  $7.75V^{0.75}$ 를 이용하였다. 유역별 연간 소요되는 BMPs 비용을 산정한 결과는 <표 7-62>와 <표 7-63>과 같다.

<표 7-62> 만경유역의 대상 소유역별 BMP 소요 비용(천원)

Sub-basins	Total basin volume(m <sup>3</sup> )		Construction	Annual Maintenance	C+M(1)	Total
10	CSO retention basins	364,383	1,753,016	70,121	1,823,137	13,018,722
	Wet detention pond	2,312,949	11,084,737	110,847	11,195,585	
12	CSO retention basins	332,618	1,644,590	65,784	1,710,374	20,677,742
	Wet detention pond	4,546,790	18,779,573	187,796	18,967,368	
13	Wet detention pond	1,487,474	4,692,564	46,926	4,739,490	8,839,955
	Constructed wetland	630,133	4,020,064	80,401	4,100,465	
16	Wet detention pond	3,862,536	9,151,799	91,518	9,243,317	16,841,642
	Constructed wetland	1,389,550	7,449,338	148,987	7,598,325	
17	Wet detention pond	5,413,943	11,591,918	115,919	11,707,837	23,080,558
	Constructed wetland	2,330,349	11,149,726	222,995	11,372,721	
19	CSO retention basins	711,770	2,801,131	112,045	2,913,177	56,526,027
	Wet detention pond	10,203,115	35,276,662	352,767	35,629,428	
	Constructed wetland	4,193,333	17,630,806	352,616	17,983,422	

<표 7-63> 동진유역의 대상 소유역별 BMP 소요 비용(천원)

Sub-basins	Total basin volume(m <sup>3</sup> )		Construction	Annual Maintenance	C+M(1)	Total
23	Wet detention pond	3,061,137	7,777,028	77,770	7,854,798	13,558,567
	Constructed wetland	962,245	5,592,922	110,847	5,703,76	
24	Wet detention pond	5,629,214	11,912,671	119,127	12,031,79	19,847,576
	Constructed wetland	1,440,737	7,662,528	153,251	7,815,778	
27	Wet detention pond	1,699,912	5,152,218	51,522	5,203,741	9,834,469
	Constructed wetland	736,453	4,539,930	90,799	4,630,729	
29	Wet detention pond	2,874,393	7,441,801	74,418	7,516,219	14,290,429
	Constructed wetland	1,199,367	6,641,382	132,828	6,774,210	
33	Wet detention pond	446,930	2,022,383	20,224	2,042,607	3,688,675
	Constructed wetland	195,545	1,613,792	32,276	1,646,068	

위 결과에 의하면 새만금유역과 같은 비도시지역에 설치되는 BMPs는 배수구역 면적과 시설용량이 증가함에 따라 연간 유지관리비를 포함한 BMP 비용도 비례하여 증가하며, 만경유역은 19번 소유역이, 동진유역의 경우 24번 소유역이 설치되어야 할 시설용량과 그 비용이 가장 큰 것으로 분석되었다.

### 5. 새만금유역의 적절한 BMPs 제시

비점오염원 관리를 위한 최적관리기법의 종류에는 저류형, 침투형, 식생형, 장치형으로 구분된다. 그 형태별로 적절하게 적용하는 것이 중요한데 많은 오염물질들이 포장된 지역을 중심으로 급격하게 발생하며 지대가 비싼 도시지역에서는 홍수관리도 병행할 수 있는 시설로 선정하는 것이 유리하며, 처리효율이 높은 공정을 적용하는 것



이 효과적이다. 상대적으로 지대가 싸고 넓은 면적에서 비점오염이 발생하는 비도시 유역에서는 식생형, 저류형 등을 이용하는 방법이 유리할 것으로 판단되며 자연경관과 생태적인 측면도 고려하여 결정하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 장치형 시설의 경우 설계 및 시공, 유지관리면에서 저류형이나 자연형 시설에 비하여 비용이 많이 든다는 단점이 있으며 유지관리를 위한 전문인력의 확보가 필요하다는 점과 유역에서 유출되는 유출대비 처리용량 또한 저류형 및 자연형 시설보다 작기 때문에 새만금유역의 적용에는 효과적일 수 없다고 판단된다. 본 연구에서는 BMPs 적용 결과 인공습지나 저류지 (wet detention pond) 및 CSOs 제거를 위한 basins을 적절히 혼합하여 모델에 적용한 결과 비점오염부하량의 저감효과를 볼 수 있었다. 따라서 새만금유역과 같이 투수성 지역의 비율이 큰 지역의 경우 적절한 부지의 확보가 가능하다면 인공습지나 저류지 (wet detention pond) 및 CSOs 제거를 위한 basins 등을 설치하여 점오염원 뿐만 아니라 강우시 유역으로부터 유출되는 비점오염원 부하를 감소시키는 것이 오염총량 목표달성 및 효과적인 유역관리에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 제 5 절 요약 및 결론

본 연구에서는 새만금간척사업으로 인한 수질개선이 문제시되고 있는 가운데 새만금 상류유역, 즉 만경유역 및 동진유역의 본천과 지천 등의 수질을 개선하기 위하여 비점오염 제어와 관리기술의 개발이 반드시 필요하며 강우시 발생하는 비점오염부하량을 비점오염 저감시설(BMPs)을 적용하여 삭감량을 산정하고, 새만금유역의 비점오염부하량을 저감하기 위한 적절한 BMPs를 제시하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도시지역과 비도시지역으로부터 발생하는 비점원오염은 수질오염에 현저한 원인으로써 그 중요성이 크게 인식되고 있다. 현재 새만금유역의 경우 비점오염원에 의한

오염부하량은 개략적으로 만경유역이 40~60%, 동진유역이 70~90%정도를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며 향후 지속적으로 증가할 것으로 예측하고 있다. 특히 강우 시 지표면 유출에 의해 발생하는 비점오염원은 토지이용상태에 영향을 받으며, 다양한 오염물질을 포함하고 있으므로 보다 효과적인 유역관리를 위해서는 점오염원제어 위주의 유역관리만으로는 수질목표달성에 한계가 있다. 따라서 유역 내에서 비점오염원 제어에 대한 관리와 대책이 반드시 필요하다.

2. 비점오염원 저감을 위한 BMP시설에 대한 문헌연구를 하였으며 BMPs에는 크게 저류형 시설, 침투형 시설, 식생형 시설, 장치형 시설 등으로 구분할 수 있다. 이 중 저류시설 및 침투시설은 비점오염원의 저감뿐만 아니라 홍수 방재를 위한 우수유출 저감기능도 포함한다. 대부분의 비점오염원 유출은 강우유출과 동시에 진행되기 때문에 강우유출량이 저감될수록 비점오염원 저감량도 증가하므로 대부분의 비점오염원 저감시설과 강우유출억제시설은 기본적으로 비슷한 구조를 가지고 있다.

대표적으로 저류형 시설에는 인공습지, 연못 등이 있고 식생형 시설에는 식생여과대 및 식생수로, 침투형 시설에는 침투지, 침투트렌치, 침투도랑 등이 있으며 장치형 시설에는 와류형, 여과형 및 와류형+여과형 시설 등이 있다.

이러한 시설들은 오래전부터 국외에서 개발·사용되어 오고 있으며 그 효과가 인정된 시설들이 많이 있다. 일반적으로 인공습지 및 저류지의 경우 BOD, TSS, TN 및 TP의 처리효율이 각각 40%, 50~80%, 30~35%, 15~45%이며, 식생수로의 경우 25%, 30~65%, 10~45%, 15~45%로 각각 보고되고 있다. 장치형 시설의 경우 BOD가 20~50%, TSS가 30~60%, TN이 20~50%, TP가 20~50%의 처리효율로 보고되었다.

3. 비점오염 저감시설에 대한 저감효율 분석을 위하여 주요 저감시설을 선정하고 이에 대한 현장 모니터링을 실시하였다. 도시지역의 주요 비점오염원은 도로와 주차장 등의 불투수층에서의 강우유출수와 CSOs가 있으며 이를 고려하여 저류조와 장치형시설인 고액분리장치(CDS)를 선정하여 모니터링을 수행하였다. 비도시지역의 경우

농경지의 배출수와 축사에서 배출되는 폐수 및 산지의 침식물 및 영양물 등이 주요 비점오염원으로 작용하며 이를 고려하여 인공습지 및 유수지와 담수기능과 오염물질 정화기능이 있는 정화 논을 저감시설로 선정하였다. 각각 8회에서 10회의 모니터링을 수행하였고 저류조의 경우 일반 수질인자가 36~43%, 대장균이 36~44%의 저감효율을 보였고 CDS는 일반 수질인자가 37~46%, 대장균이 49~52%의 저감효율을 나타냈다. 인공습지는 일반수질인자가 31~95%로 높은 저감효율을 나타내었다. 정화 논의 경우 일반 수질인자가 40~88%, 대장균이 60~67%로 다른 시설과 비교하여 저감효과가 높은 것으로 분석되었다.

4. 비점오염원의 유출은 장기적인 조사를 바탕으로 정량화하여야하지만 비용과 시간이 많이 소요되므로 유역유출모델을 이용하여 추정하기도 한다. 최근 GIS를 기반으로 하여 유역이라는 공간적인 특성과 유역내의 여러 가지 정보를 연결시켜주는 프로그램들이 많이 사용되어지고 있으며, 대표적인 프로그램으로 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)는 다양한 Tool을 가지고 있으며, 유역 및 하천모델을 지원하고 있다. 특히 WinHSPF 모의를 위한 유역분할, 토지이용분류 등의 초기값을 손쉽게 생성시켜줌으로써 모델의 적용이 더욱 용이하도록 도와준다. WinHSPF 모델은 시변화 유역모델로써 유역의 특성을 반영하여 하천을 장기적으로 모의할 수 있고 다른 유역모델과 비교하여 수질모의가 비교적 정확하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 새만금유역에 대하여 WinHSPF 모델을 구축하여 검·보정을 수행하였다.

5. 새만금유역의 수질관리를 위해서는 유역의 수질현황에 대하여 사전 분석이 이루어져야만 한다. 따라서 만경유역과 동진유역으로 구분하여 각각의 수질현황에 대하여 분석하였다. 새만금유역을 환경부 수질측정망을 기준으로 총 7개 지역으로 분류하였고 모두 29개 측정소가 포함되어있다. 만경유역의 경우 유기물 및 영양물질 모두 전주천과 익산천 일대의 측정소에서 높게 나타났고, 동진유역의 경우 유기물 및 영양물질 모두 고부천과 동진강 분류의 말단부에서 비교적 높게 나타났다. 전주천의 경우 전

주시내 합류식하수관거 말단에서 발생하는 CSOs, 전주하수종말처리장의 방류수, 전주공단에서 발생하는 오염물질 등이 비점오염원으로 크게 작용하여 전주천 수질악화에 큰 영향을 미친 것으로 판단되었다. 익산천은 왕궁축산폐수처리장의 방류수수질이 개선되지 못한 채 하천으로 방류되어 익산천 수질을 악화시키는 요인으로 작용하는 것으로 판단되었다. 그 밖에 전주시와 익산시의 도로, 주차장, 세차장 등 불투수층에서 발생하는 비점오염원과 농경지에서의 유출수 등이 만경수계를 오염시키는 주된 원인으로 조사되었다. 동진유역의 경우 김제시 및 정읍시의 축산폐수와 CSOs, 정읍공단의 폐수 등이 주된 비점오염원으로 작용하는 것으로 조사되었다.

6. WinHSPF 모델을 이용하여 새만금유역의 오염부하량을 모의한 결과 만경유역의 연간 총부하량은 BOD, TN, TP가 각각 1,518~3,437  $10^3$ kg/year, 7,752~13,407  $10^3$ kg/year, 385~569  $10^3$ kg/year로 모의되었고, 동진유역의 경우 3,663~4,871  $10^3$ kg/year, 4,369~7,175  $10^3$ kg/year, 226~274  $10^3$ kg/year로 각각 모의되었다. 만경유역의 비점오염부하는 BOD가 42.9%, TN이 61.1%, TP가 47.1%를 차지하였고, 동진유역의 경우 각각 83.9%, 92.8%, 73.5%로써 비점오염부하량이 차지하는 비율이 높았다.

7. WinHSPF 모델의 BMPRAC 모듈을 이용하여 BMPs 저감효과 분석하였다. 비점오염부하 삭감율은 만경유역의 경우 BOD가 13.1~31.4%, TN이 5.2~14.1%, TP가 6.4~26.8%로 모의되었다. BMPs 적용 후의 저감된 부하량은 BOD가 3,871~6,951  $10^3$ kg/year TN이 7,298~12,338  $10^3$ kg/year, TP가 354~516  $10^3$ kg/year로 각각 산정되었다. 동진유역의 경우 BOD가 20.6~29.3%, TN이 5.4~11.3%, TP가 10.4~17.8%로 모의되었다. BMPs 적용 후의 저감된 부하량은 BOD가 2,823~3,774  $10^3$ kg/year, TN이 4,369~7,175  $10^3$ kg/year, TP가 199~242  $10^3$ kg/year로 각각 모의되었다.

8. 새만금유역에 각 소유역별로 모의하였던 BMPs에 대한 건설비와 연간 유지관리비를 산정한 결과, 소유역 면적과 시설용량에 비례하여 증가하는 것으로 나타났고, 만경유역은 19번 소유역이, 동진유역은 24번 소유역이 연간 소요되는 BMPs 비용이 가

장 큰 것으로 분석되었다.

9. 비점오염원으로 인한 부하를 제거하기 위한 시설로는 저류형 시설, 침투형 시설, 식생형 시설 및 장치형 시설 등이 있다. 본 연구에서는 BMPs 적용 결과 인공습지나 저류지 (wet detention pond) 및 CSOs 제거를 위한 basins을 적절히 혼합하여 적용하여 모델에 적용한 결과 비점오염부하량의 저감효과를 볼 수 있었다. 따라서 새만금유역과 같은 비도시유역에서는 적절한 부지의 확보가 가능하다면 인공습지나 저류지 (wet detention pond) 및 CSOs 제거를 위한 basins 등을 설치하여 점오염원 뿐만 아니라 강우시 유역으로부터 유출되는 비점오염원 부하를 감소시키는 것이 오염총량 목표달성 및 효과적인 유역관리에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2000) 도시공원내 저류시설의 설치 및 운영지침.
2. 경기도 보건환경연구원 (2001), 비점오염원관리방안.
3. 국립환경연구원 (1989) 한국환경과학연구협의회, 하천 및 호수수질의 최적화 관리방안, 세계환경의 날 기념 학술세미나.
4. 국립환경연구원 (1997) 환경오염물질 측정분석 정도관리 종합지침.
5. 국무총리 수질개선기획단 (2002) 2002년도 물관리종합대책 실천계획, 174-176.
6. 권명준, 권순국, 홍성구 (2003) 농촌유역 하천의 수질예측을 위한 SWAT모형과 WASP모형의 연계운영. 한국농공학회. 45(2): 116-125.
7. 김상민, 강문성, 박승우. (2003) Estimation of pollutant loading from agricultural small watershed using the unit load factor and water quality monitoring. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 45(3): 94-102. (in Korean)
8. 김연권, 신응배, 이두진, 배요섭, 윤현식 (2000) 산업공단에서의 지표유출수 오염물질 특성, 대한환경공학회지 22(4): 689-698.

9. 김영철, 김건하, 이동률 (2003) 농촌 소유역에서 EMC를 이용한 오염물질 부하량 산 정기법의 개발, 한국수자원학회지, 36(4): 691-703.
10. 김현수, 정상옥 (2002) 논에서의 영양물질 배출량 추정(I)- 모형의 개발-. 한국농공학회. 44(4): 51-61.
11. 김현수, 정상옥, 김진수, 오승영 (2002) 논에서의 영양물질 배출량 추정(II)-모형의 적용-. 한국농공학회. 44(5): 106-115.
12. 김형철, 비점오염원 제어를 위한 자유수면형 인공습지의 수질개선 연구, 건국대학교, 2006
13. 방기웅, 이준호, 유명진 (1997) 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지. 13(1): 79-99.
14. 서춘석, 박승우, 임상준, 윤광식, 김상민, 강문성 (2002) 관개 논에서의 영양물질 추정 모형의 개발, 한국농공학회지, 44(3): 146-156.
15. 신응배, 윤현식 (1998) 도심지 합류식 하수관거 월류수 오염물질 침강특성, 한국물환경학회지. 14(4): 425-432.
16. 신현석, 윤용남 (1993) SWMM모형을 이용한 도시구역의 유출 및 NPS 오염물질 배출 모의, 한국수문학회지. 26(3): 125-135.
17. 안재환 (2000) 비도시지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출특성 연구, 건설기술정보. 제12호.
18. 오승영, 김진수, 김규성, 김선종, 윤춘경 (2002) 관개기 대구획 광역논에서의 오염부하 원단위, 한국농공학회지, 44(2): 136-147.
19. 윤세의, 고재형, 김수열 (2003) 하천에 순간 유입된 오염물질의 거동 특성 분석, 한국수자원학회지, 36(4): 575-586.
20. 윤춘경, 함종화 (2000) 습지-저류지에 의한 하구 담수호 수질개선효과 예측. 한국농공학회. 42(5): 94-102.
21. 이관영 (1995) 소도시 배수구의 오락부하량 추정에 관한 연구, 대한상하수도학회지. 1: 89-95.
22. 이노성 (1991) 강우시 도시지역 유출의 수질특성에 대한 조사연구, 서울대학교

- 보건대학원, 석사학위 논문.
23. 이영대, 박승우 (1990) 도시소유역의 유출해석을 위한 수문모형의 개발과 응용, 한국수문학회지. 23(3): 329-340.
  24. 이준호, 방기웅 (1996) 강우시 합류식하수관 월류수의 수질예측. 대한환경공학회 춘계학술연구발표회: 179-183.
  25. 이준호, 방기웅 (2000) RFS를 이용한 도시유출수처리. 대한환경공학회지. 22(1): 159-167.
  26. 이현동, 배철호 (2002), 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물환경학회지, 18(6): 569-576.
  27. 전지홍, 윤춘경, 황하선, 정광욱 (2003)논으로부터의 질소이동의 분석과 질소부하 측정 모델의 발전. 한국농공학회. 45(7): 57-69 (in English).
  28. 정지은, 정상욱 (2003) 다목적댐 홍수조절용지 내 경작실태 및 비점원오염부하량 조사분석한국관개배수위원회. 10(1): 44-52.
  29. 조옥상, 화용호 유역 비점오염 저감 시설 설치 타당성 조사, 수원대학교, 2004
  30. 주진호, 양재의, 김정제, 정영상, 최종대, 윤세영, 유관식 (2000) Assessment of soil aggregates and erodibility under different management practices in the mountainous soils, The Journal of Korea Society of Soil Science and Fertilizer, 33(2): 61-69.
  31. 최종수, 도시지역 비점오염원의 유출특성 및 저감방안 (2003).
  32. 최종대 (1995) 비점오염원 배수구역별 자료조사 및 수질·수량 측정 (한강), 한국환경기술개발원(보고서).
  33. 최종대, 최예환, 심혁호 (2003) 침사구를 이용한 고랭지 유사방지 대책, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 571-574.
  34. 최지용, 신은성, 이동훈 (1999) 서울 도시지역의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국물환경학회지. 15(3): 315-323.
  35. 한국토지공사 (1999) 단지내 우수유출에 의한 하천수질변화에 관한 연구, 한국토지공사.

36. 허창환 (2003) 유역의 도시화에 따른 유출변화특성, 한국수자원학회지, 36(5): 725-740.
37. 환경부, 관계부처합동 [물 관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원 관리 종합대책. (2004)
38. 환경부, 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책 (2004).
39. 환경부, 비점오염관리 업무편람 (2005)
40. 환경부, 비점오염원 관리능력 제고를 위한 워크샵 (2006).
41. 환경부, 비점오염원관리 업무편람 (2005).
42. 환경부, 비점오염원관리 업무편람 (2005).
43. 환경부, 환경관리공단, 비점오염관리를 위한 강우유출수 관리 매뉴얼 (2003).
44. 환경부·환경관리공단, 비점오염원 관리능력 제고를 위한 워크샵 (2006).
45. Collins P. G., and Ridgwat J. W. (1980) "Urban Storm Runoff Quality in Southeast Michigan" J. of Environ, Eng. ASCE, 106(EЕ1) : 153-162.
46. Colston N. V. 1974. Characterization and treatment of urban land runoff, U. S. EPA-670/2-74-096.
47. Darren. D., Rodger, T., and Philip, W. (2000) "Pollutant concentrations in road runoff, Southeast queensland case study," J. of Environ. Eng., 131(2): 232-241.
48. Fam, S., Stenstorm, M. K., and Silverman, H. (1987) Hydrocarbons in urban runoff, J. of Environ. Eng., ASCE, 113(5): 1032-1046.
49. Field, R. and Struzeski, E. J. 1972. Management and control of combined sewer overflows, Journal of WPCF, 44(7): 1393-1414.
50. Hoffman E. J., Latimer J. S., Mills G. L., and Quinn J. G. (1982) " Petroleum Hydrocarbons in Urban Runoff from a commercial Land use area", Journal of Water Pollution. Control Fed., 54: 1517-1525.
51. Jewell T. K., and Adrian D. D. (1981) Development of improved stormwater



- quality models, *J. of Environ. Eng. ASCE*, 107(EE5): 957–974.
52. Kim, L. H., Kayhavian M., Zoh, K.D., and Stenstrom, M.K. (2005) Modeling of Stormwater Runoff, *Science of the Total Environment*, 348: 1–18.
53. Pergram, G.C, G. Quibell, and M. Hinsch (1999), The non–point source impacts of peri–urban settlements in South Africa: Implications for their management, *Water Sci. Technol.*, 39(12): 283–290.
54. Renard KG, GR Foster, GA Weesies, DK McCool, and DC Yoder (1997) Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), *Agriculture Handbook Number 703*, USDA.
55. U.S. California Department of Transportation, *Guidance Manual; Stormwater Protocols (Second Edition)*, Caltrans Doc. No. CTSW–RT–00–005 (2000).
56. U.S. California Stormwater BMP Handbook New Development and Redevelopment January (2003).
57. U.S. EPA (1998) Storm Water Management Model. version 4: user's manual, EPA/600/3–88/001a.
58. U.S. EPA, *Economic Benefits of Runoff Controls*. U.S. EPA, Report 841–S–95–002, USA (1995).
59. U.S. EPA, *Guidance to Specify Management Measures for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters*. EPA–840–B–92–002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC (1993).
60. U.S. EPA, *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas (Draft)*, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (2002).
61. U.S. EPA, *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES), Sediment Filters and Sediment Chambers*, <http://cfpub.epa.gov/npdes/>
62. U.S. EPA, *Nonpoint sources pollution control program*, U.S. EPA, Report

- 841-F-94-005, USA (1994).
63. U.S. EPA, Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices, EPA-821-R-99-012 (1999)
  64. U.S. Pennsylvania, Villanova University Stormwater Best Management Practice Section 319 National Monitoring Program Project (2004).
  65. U.S. Tennessee Tech University, Department of Civil and Environmental Engineering. Laboratory Evaluation of TSS Removal Efficiency for Aqua-Swirl Concentrator Stormwater Treatment System, November (2002).
  66. U.S. University of New Hampshire Stormwater Center, 2005 Data Report (2005).
  67. U.S. Villanova Urban Stormwater Partnership Government, Storm Water Treatment BMP Technology Report, November (2004).
  68. Urbonas, B., Roesner, L.A., and Guo, C.Y., L.S., "Hydrology for Optimal Sizing of Urban Runoff Treatment Control Systems," Water Quality International. International Association for Water Quality, London, England (1996a)
  69. Urbonas, B.R., Doerfer, J.T. and Tucker, L.S., "Stormwater Sand Filtration: A Solution or a Problem?" APWA Reporter. American Public Works Association, Washington, DC (1996b).
  70. Walker, T. A., Allison, R. A., Wong, T. H. F. and Wootton, R. M. Removal of suspended solids and associated pollutants by a CDS gross pollutant trap, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology (1999).
  71. Washington State Department of Ecology Water Quality Program, Stormwater Management Manual for Western Washington Volume V, Runoff Treatment BMPs (2005)
  72. Winer, R., National Pollutant Removal Performance Database for Stormwater Treatment Practices, 2nd Edition. Final Report to US EPA, Office of Science

and Technology. Center for Watershed Protection. Ellicott City, Maryland. pp. 29 (2000).

73. Wossink, Ada, and Bill Hunt., The Economics of Structural Stormwater BMPs in North Carolina, WRI Research Report Number 344 (2003).

## 제 8 장 AGNPS 모형을 이용한 농경지 관리대안에 따른 비점오염 저감효과 분석

최적관리기법(Best Management Practices, BMP)은 비점오염에 관한 문제를 해결하는 방법 중 하나로, 비점오염의 발생 및 유출을 최소화하는데 적합한 유·무형의 방법을 뜻한다. BMP 적용에 따른 유역의 비점오염 조절능력을 평가하기 위한 가장 이상적인 방법은 광범위한 모니터링 시스템을 구축하는 것이나, 대부분의 유역에서 이는 비경제성으로 인해 현실성이 부족하다(Mostaghimi et al., 1997). 그러나 토양 및 영양물질 유실 잠재지역의 위치를 규명하고, 정량적 분석을 통하여 잠재 오염 발생량의 감소를 유도하며, 비점오염으로부터 수질을 보호하고 지역특성에 맞는 효과적인 BMP 적용을 위해서는 여러 가지 적용 가능한 BMP의 효과를 비교·분석하는 것이 필요하다. AGNPS (Agricultural Non-Point Source) 모형은 유역의 BMP 적용에 따른 공간적 수문량 및 오염원량의 변화를 파악하기 위해 주로 적용되는 모형이다.

본 연구에서는 선정된 시험유역에 대해 수집한 자료와 ARC/INFO-AGNPS 모형을 이용하여 시험유역에 대한 적용성을 평가하였다. 그리고 여러 가지 BMP 중 시험유역에 적용 가능한 관리대안을 선정하고, 각 관리대안에 따른 비점오염의 저감효과를 분석하였다.

### 제 1 절 모형의 개요

본 연구에서 사용된 AGNPS(Agricultural Non-Point Source) 모형은 미국 농무성의 농업연구소(Agricultural Research Service, ARS)와 미네소타 환경보전국(Minnesota Pollution Control Agency, MPCA) 및 토양보전국(Soil Conservation

Service, SCS)이 공동으로 개발한 모형으로, 수 ha에서 20,000 ha(50,000 acre)에 이르는 농업 소유역에서 발생하는 유출수의 수질을 추정하고 분석하며 농촌 유역의 비점원 오염의 발생원 파악과 이의 억제를 위한 최적관리기법(Best Management Practices, BMP)을 적용하기 위해 개발된 단일 폭우사상에 대한 분포형 매개변수 모형이다(Young et al., 1987)

AGNPS 모형은 크게 수문부분, 유사운송 및 수질부분으로 구성되어 있으며, 유역을 수문특성이 균일한 정방형 격자(cell)로 구분하여 이들 셀에 대해 각각의 폭우사상에 따른 유출과 침투유량, 토양유실 및 운송, 충전, 총질소, 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand, COD) 등을 구하도록 구성되어 있다. 모형은 각 셀에 대한 지형, 토지이용, 토양 및 식생, 테라스 등 농지보전법, 시비량과 유효량, 걸리 침식량이나 축산 또는 그 밖의 점원 오염량 등의 자료와 강우량, 강우에너지계수 등의 유역 입력자료 등을 입력받아 각각의 셀에 대한 수문, 유사, 수질을 추정하고 이를 유역 출구까지 추적해 대상유역의 비점원 오염 부하량을 구한다.

## 1. 수문모형

### 가. 유출량

유출량은 SCS의 유출곡선지수법(USDA, 1972)에 의하여 추정되면 다음 식 (8-1)과 같다.

$$RO = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (8-1)$$

여기서,  $RO$  = 직접유출량(mm),  $P$  = 강우량(mm),  $S$  = 최대잠재보유수량(mm)이다.

식 (8-1)에서의 최대잠재보유수량은 식 (8-2)와 같다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (8-2)$$

여기서,  $CN$  = 유출곡선지수이다.

유출곡선지수는 유역의 토지이용, 토양종류, 수문학적 토양조건 등에 의한 값으로 0~100의 범위를 갖는다.

## 나. 침투유량

침투유량은 수로를 삼각형 수로로 가정하여 침투유량을 계산하는 CREAMS 모형에서의 방법(Smith and Williams, 1980)과 사각형 수로로 가정하여 계산하는 TR55 방법(SCS, 1986) 등이 있다. 본 연구에서는 Smith와 Williams가 제안한 방법을 사용하였으며, 침투유량은 다음 식 (8-3)과 같이 정의된다.

$$Q_p = 3.79A^{0.7}CS^{0.16}(RO/25.4)^{(0.903A^{0.017})}LW^{-0.19} \quad (8-3)$$

여기서,  $Q_p$  = 침투유량( $m^3/s$ ),  $A$  = 유역면적( $km^2$ ),  $CS$  = 하천경사( $m/km$ ),  $RO$  = 유출량( $mm$ ),  $LW$  = 유역주장-면적비( $L^2/A$ ),  $L$  = 유역주장( $km$ )이다.

식 (8-3)은 유역지형인자로서 유역면적, 하천경사, 유역주장-면적비와 강우사상의 유출량을 이용하여 침투유량을 구한 것으로 식에 사용된 계수는 현장의 관측으로부터 결정된다(Young et al., 1989).

## 2 토양유실 모형

### 가. 토양유실량

토양유실량 추정은 단일 강우사상에 적용할 수 있도록 수정된 수정 USLE(Modified Universal Soil Loss Equation)공식(Wischmeier and Smith, 1978)을 사용하며, 식 (8-4)와 같다.

$$SL = (EI)KLSCP(SSF) \quad (8-4)$$

여기서,  $SL$  = 토양유실량,  $K$  = 토양침식성인자,  $LS$  = 지형인자,  $C$  = 작물경작인

자,  $P$  = 침식조절관행인자,  $SSF$  = 경사보정인자이다.

경사보정계수는 셀 내의 경사형태에 따른 값으로 경사형태는 등경사, 요철(凹凸, concave or convex) 등 세가지 형태로 구분한다.

토양유실량은 유역의 각 셀에 대해 계산되며 이렇게 계산된 유사량은 5개의 입자(점토, 실트, 잔골재, 조골재, 모래)로 분할되어 유사운송식에 의해 유역의 출구지점까지 추적된다.

### 나. 유사운송

유사운송에 사용되는 방법은 Foster 등(1980)과 Lane(1982)이 제시한 유사운송 및 퇴적 방정식을 사용하였으며 다음 식 (8-5)와 같다.

$$Q_s(x) = Q_s(o) + Q_{sl}(x/L_r) - \int_0^x D(x)w dx \quad (8-5)$$

여기서,  $Q_s(x)$  = 유출부 유사량,  $Q_s(o)$  = 유입부 유사량,  $Q_{sl}$  = 측면 유입 유사량,  $x$  = 구간길이,  $L_r$  = reach 길이,  $D(x)$  =  $x$ 지점의 유사퇴적량,  $w$  = 하천폭이다.

## 3 영양물질 모형

모형의 수질성분을 유역에서 유거하는 질소, 인, 화학적 산소요구량(COD)에 대해 추정하고 있는데, 영양물질의 이송계산에 사용된 관계들은 CREAMS(Frere et al., 1980) 모형과 목장평가모형(Young et al., 1982)을 일부 수정하여 이용하고 있다. 각각의 성분은 유출수 중의 용존상태와 유사에 부착된 상태로 나누어 계산한다.

표토에서의 질소 및 인의 양은 침투 및 유출로 인해서 변화하며, 모형에서는 강우 중의 질소량과 잔류물, 시비에 의한 질소 및 인 투여량을 고려한다.

AGNPS 모형의 영양물질은 유출수 등의 용존상태의 영양물질과 유사에 부착된 상태의 영양물질의 합으로 나타내며, 다음 식 (8-6)과 같다.

$$Nut = Nut_{sol} + Nut_{sed} \quad (8-6)$$

여기서,  $Nut$  = 영양물질,  $Nut_{sol}$  = 용존상태의 영양물질,  $Nut_{sed}$  = 유사에 부착된 영양물질이다.

유출수 내의 영양물질 농도인  $Nut_{sol}$ 은 다음 식 (8-7)에 의해 계산된다.

$$Nut_{sol} = C_{vt} \cdot Nut_{ext} \cdot RO \quad (8-7)$$

여기서,  $Nut_{sol}$  = 유출수 내의 영양물질 농도,  $C_{nut}$  = 유출기간 중 표토에서의 용존상태의 영양물질의 평균농도,  $Nut_{ext}$  = 유출 중으로의 영양물질의 용탈계수,  $RO$  = 총 유출량이다.

유사에 부착된 영양물질의 양은 각 셀에서의 총 유사량에 의해 다음 식 (8-8)과 같이 계산된다.

$$Nut_{sed} = Nut_f \cdot SED \cdot E_R \quad (8-8)$$

여기서,  $Nut_{sed}$  = 유사에 의해 운송되는 영양물질,  $Nut_f$  = 토양 중의 영양물질 농도,  $SED$  = 유사량,  $E_R$  = 고행계수이다.

고행계수인  $E_R$ 은 다음 식 (8-9)와 같이 계산된다.

$$E_R = 7.4 \cdot SED^{-0.2} \cdot T_f \quad (8-9)$$

여기서,  $T_f$  = 토양구성에 따른 조정계수로 점토 1.15, 실트 1.00, 모래 0.85, peat 1.50이다.



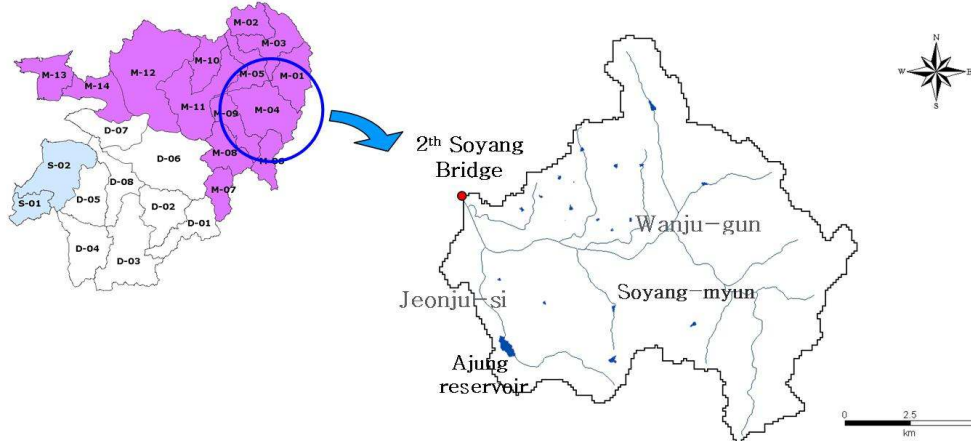
## 제 2 절 시험구역 및 자료구축

### 1. 시험구역 선정

AGNPS 모형을 적용할 시험구역은 USLE를 이용하여 추정된 새만금구역의 소유역 별 토양유실량으로부터 선정하였다. 이에 따라 토양유실 위험성을 가장 많이 내포하고 있는 M-04 소유역을 대표 소유역으로 선정하고, 모형의 보정을 위해 M-04 구역 하류부에 위치하고 있는 제2소양교를 구역 출구로 하여 시험구역을 재구성하였다. 시험구역 내 주요 하천으로는 소양천이 있으며, 시험구역의 총 면적은 127.35 km<sup>2</sup>으로 토지이용별 면적은 <표 8-1>과 같다. (그림 8-1)은 시험구역의 위치를 나타내고 있다.

<표 8-1> 시험구역의 토지이용도

토지이용	논	밭	산림	초지	나지	시가지/도로	수역	합계
면적 (km <sup>2</sup> )	10.96 (8.6%)	7.49 (5.9%)	89.82 (70.5%)	2.28 (1.8%)	0.99 (0.8%)	5.9 (4.6%)	9.91 (7.8%)	127.35 (100%)



(그림 8-1) 시험구역 위치

## 2. 수문자료

### 가. 강우자료

AGNPS 모형에서 강우자료는 입력변수 중 유역자료에 해당하는 자료로서 강우사상별 강우량과 강우가식성인자( $EI_{30}$ ) 등이 있으며, 본 연구에서는 시험유역에 가장 인접해 있는 전주기상대에서 관측하여 제공되는 1시간 단위 강수량자료를 수집하였다. 이 자료들을 이용하여 Wischmeier의 강우사상 분류방법에 따라 12.7 mm 이상의 연속된 강우로 무강우시간이 6시간 이상일 때 하나의 독립적인 강우로 취급하였고, 독립적인 1회의 강우가 12.7 mm 이하인 강우는 15분 이내의 강우량이 6.35 mm보다 큰 값인 것을 추출하여 사용하였다.

강우가식성인자는 30분 최대 강우강도와 강우에너지로부터 구하는 값으로 2000년부터 2006년까지 1시간 단위 계측자료로부터 식 (8-10)과 같이 강문성 등(2003)의 연구결과를 이용하여 구하였으며, 그 결과는 <표 8-2>와 같다.

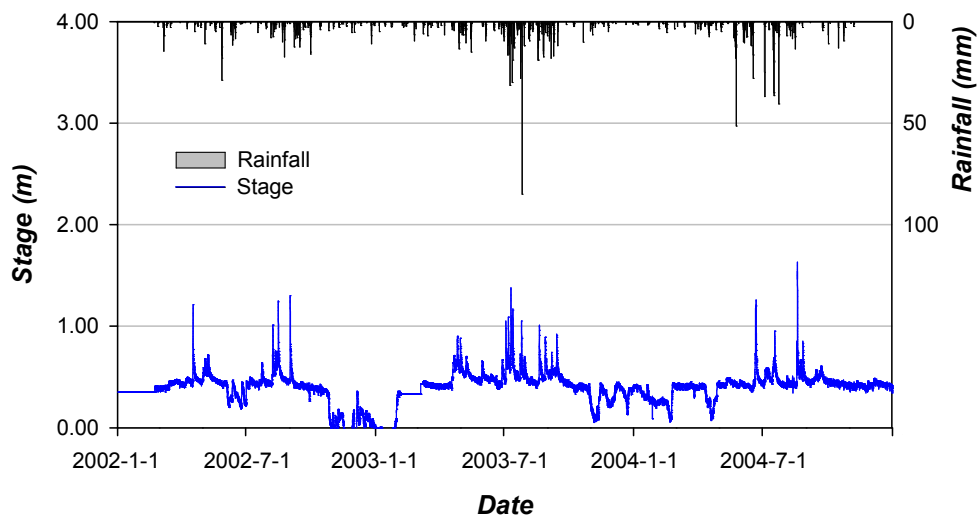
$$EI_{30} = 1.4960 \times EI_{60} \quad (8-10)$$

<표 82> 강우사상별 강우량과 EI<sub>30</sub> (2000년~2006년)

Date	Rainfall (mm)	EI <sub>30</sub> MJ·mm/ha·h	Date	Rainfall (mm)	EI <sub>30</sub> MJ·mm/ha·h	Date	Rainfall (mm)	EI <sub>30</sub> MJ·mm/ha·h
000315	17.3	11.19	011203	30.2	23.38	050321	26.0	16.89
000419	36.0	145.33	020430	49.0	77.6	050409	15.9	8.22
000526	19.9	28.83	020503	33.5	110.3	050419	13.5	8.83
000608	37.0	154.39	020506	46.0	95.4	050517	31.0	67.92
000609	174.2	2328.22	020610	13.0	17.1	050601	45.5	196.10
000611	25.5	91.17	020623	22.0	16.0	050610	59.0	138.57
000622	42.5	124.13	020630	24.0	50.2	050628	13.0	6.83
000624	15.9	41.23	020705	35.0	39.3	050701	225.0	2600.65
000624	24.5	107.09	020719	28.5	77.6	050703	59.5	227.46
000626	75.6	241.87	020722	40.0	205.6	050709	18.5	32.73
000704	15.1	75.92	020810	32.0	68.5	050711	42.5	105.56
000710	40.4	114.79	020812	42.0	66.7	050728	93.5	538.09
000714	24.9	75.68	020814	78.0	265.6	050731	30.0	77.72
000715	19.2	39.05	030418	48.5	183.1	050802	279.5	4642.16
000719	48.6	677.13	030419	28.5	35.6	050809	19.5	68.97
000723	157.8	1978.19	030422	32.3	50.5	050819	22.0	31.41
000730	24.5	39.61	030424	59.5	93.2	050821	56.5	216.11
000804	17.3	44.92	030429	46.5	131.1	050901	14.0	56.67
000819	42.5	249.75	030506	16.0	36.4	050918	17.0	33.66
000820	46.2	382.24	030507	28.0	116.3	050921	35.5	136.13
000824	258.1	1958.69	030529	63.0	161.1	050921	13.0	5.98
000831	40.8	141.84	030623	19.0	27.5	051105	18.5	9.41
000903	24.6	64.26	030627	55.5	142.7	060214	17.5	10.67
000908	24.7	14.97	030702	71.0	353.8	060409	16.5	9.95
000912	176.8	757.55	030704	35.0	166.8	060419	17.5	44.59
001023	13.7	12.25	030706	69.0	697.8	060506	43.0	57.86
001024	12.8	8.88	030712	71.5	279.1	060509	21.0	10.83
001119	18.0	8.74	030717	34.5	54.2	060518	28.0	25.08
010107	26.9	17.06	030722	51.8	501.0	060527	14.9	13.01
010119	20.3	14.80	030728	34.0	116.6	060610	40.0	467.49
010223	35.3	20.01	030817	98.0	528.3	060614	24.0	17.70
010227	37.3	40.39	030827	79.0	408.0	060621	22.5	52.50
010430	13.2	14.12	030905	23.0	63.5	060701	45.0	101.16
010507	18.5	20.51	030911	80.0	368.7	060704	44.0	113.07
010618	121.0	1623.38	040617	35.0	72.2	060708	26.0	79.01
010624	100.7	572.15	040702	23.5	62.0	060710	33.5	39.91
010701	22.3	62.71	040703	43.5	114.4	060711	101.5	752.90
010705	30.4	85.89	040707	37.5	77.2	060717	114.5	273.81
010711	31.0	76.27	040714	44.5	151.4	060725	128.5	1229.02
010712	43.8	154.17	040717	51.5	494.0	060804	26.0	175.28
010714	40.0	356.89	040803	26.5	233.5	060807	35.5	218.61
010730	50.4	305.22	040825	71.5	952.3	060821	13.0	29.10
010806	18.3	84.26	040910	31.5	26.5	060825	30.0	259.26
010814	39.5	329.33	040913	24.0	39.8	060827	31.0	62.48
010909	30.2	77.98	040917	22.0	28.0	060905	22.0	11.40
010914	28.9	57.55	040920	32.5	130.5	060917	18.0	12.08
010930	18.2	22.74	050215	19.5	15.71	061022	38.5	124.90
011009	31.0	28.32	050316	14.5	5.69	061106	17.5	11.84
011027	47.8	113.57						

#### 나. 수위자료

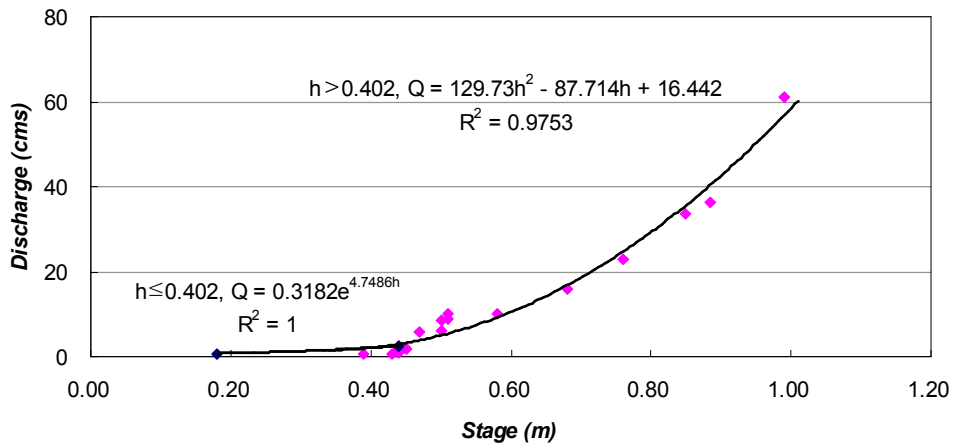
영산강홍수통제소에서는 2000년 1월부터 완주군 용진면 구억리에 있는 제2소양교에서 수위관측을 하고 있으며, (그림 8-2)는 소양지점의 2002년~2004년까지의 30분 수위자료를 강우량과 함께 도시한 것이다.



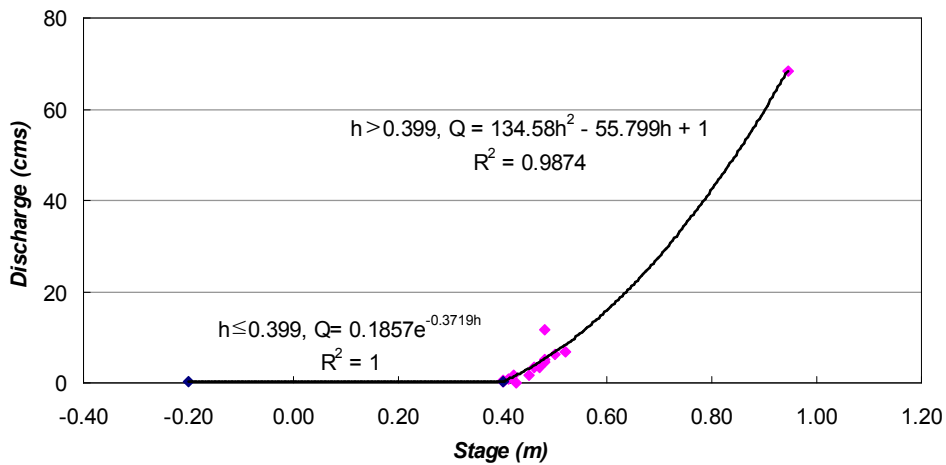
(그림 8-2) 소양지점 수위자료

#### 다. 유출량자료

유량측정은 한국농촌공사에서 새만금유역 수질개선대책의 일환으로 2002년부터 실시하고 있다. 유출특성은 평수일 때 수위가 0.40 m 정도이고, 유속은 0.05 m/s 정도로 홍수기를 제외하면 유출량의 변동 폭은 거의 없는 지점이다. 측정된 유량자료를 바탕으로 한국농촌공사에서 2002년~2004년까지 연도별 수위-유량 관계곡선식을 개발하였다. 그러나 2002년 수위-유량곡선의 경우 고수위 자료의 부족으로 홍수기의 유출량이 과대 산정되는 경향이 있어 본 연구에서는 2002년과 2003년 측정 자료를 종합하여 2002년~2003년 수위-유량 관계곡선식을 새로이 유도하고, 2004년은 한국농촌공사에서 개발한 식을 그대로 적용하였다. (그림 8-3)~(그림 8-4)는 소양지점의 연도별 수위-유량곡선이며, <표 8-3>은 소양지점의 연도별 수위-유량 관계곡선식을 나타낸다. (그림 8-5)는 수위-유량곡선식에 의해 산정된 유량을 강우량과 함께 보여주고 있다.



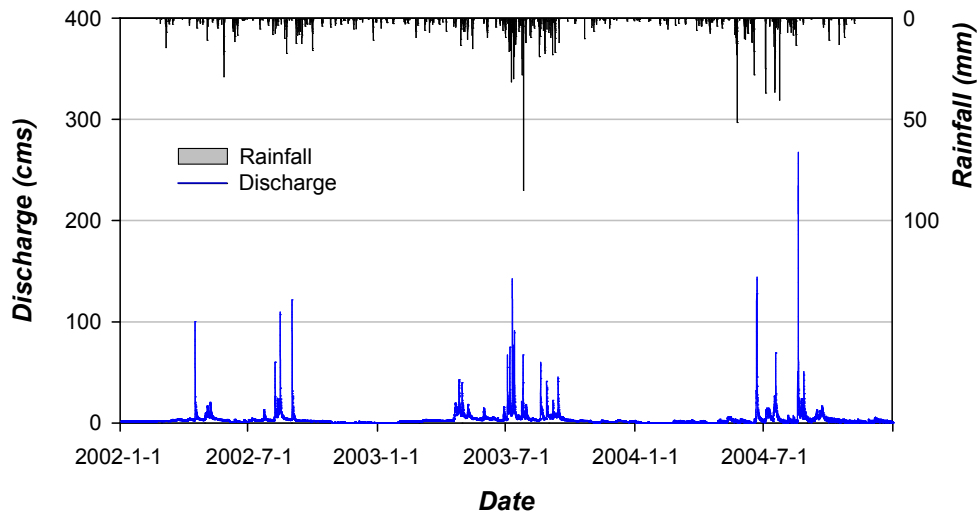
(그림 8-3) 소양지점의 수위-유량곡선 (2002년~2003년)



(그림 8-4) 소양지점의 수위-유량곡선 (2004년)

<표 8-3> 소양지점의 수위-유량 관계곡선식

구분	기간	수위-유량 관계곡선식	적용범위
소양지점	2002~2003	$Q = 0.3182e^{4.7486h}$	$h \leq 0.402$
		$Q = 129.73h^2 - 87.714h + 16.442$	$h > 0.402$
	2004	$Q = 0.1857e^{-0.3719h}$	$h \leq 0.399$
		$Q = 134.58h^2 - 55.799h + 1$	$h > 0.399$

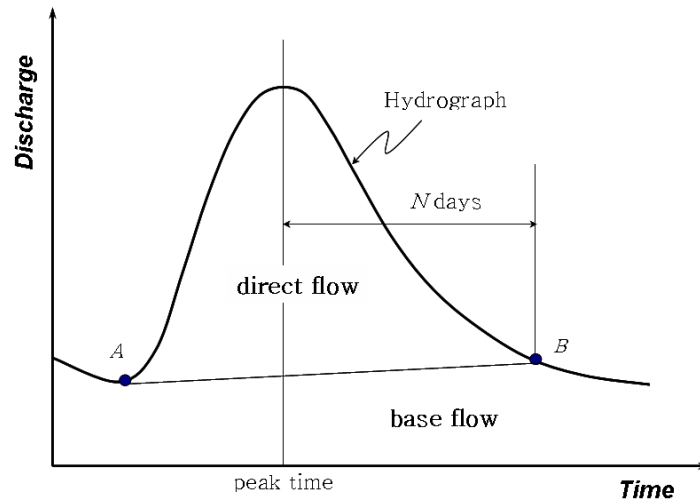


(그림 8-5) 소양지점의 유출량

AGNPS 모형에 의해 모의되는 유출량은 기저유출량을 제외한 직접유출량이므로, 2002년~2004년의 각 강우사상별 수문곡선을 통해 N-day법을 사용하여 총 유량으로부터 강우만에 의해 발생된 유량을 분리시켰다. (그림 8-6)과 같이 N-day법은 수문곡선의 상승부 기점(A)으로부터 침투유량이 발생하는 시간으로부터 N일 후의 유량을 표시하는 점(B)를 연결하여 총 유출량으로부터 기저유출량을 분리하는 방법이다(윤용남, 2002). N값은 다음 식 (8-11)로부터 결정한다.

$$N = A_1^{0.2} = 0.827A_2^{0.2} \quad (8-11)$$

여기서, N = 일(day),  $A_1$ ,  $A_2$  = 각각  $\text{mi}^2$ 과  $\text{km}^2$  단위로 표시되는 유역면적이다. <표 8-4>는 2002년~2004년 동안의 강우사상별 유출량과 침투유량을 나타내고 있다.



(그림 8-6) N-day 법

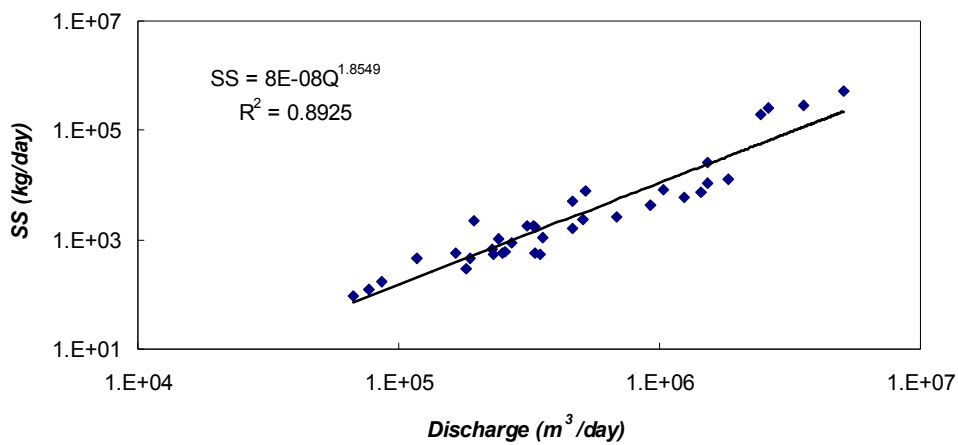
<표 8-4> 강우사상별 유출량과 침투유량 (2002년~2004년)

일자	강우량 (mm)	유출량 (mm)	침투유량 (cms)	일자	강우량 (mm)	유출량 (mm)	침투유량 (cms)
020430	49.0	4.61	5.55	030704	35.0	10.04	16.99
020503	33.5	7.27	10.77	030706	69.0	21.49	66.13
020506	46.0	10.17	14.77	030712	71.5	24.75	82.59
020610	13.0	1.75	2.36	030717	34.5	3.16	3.70
020623	22.0	1.53	2.19	030722	51.8	8.96	17.14
020630	24.0	1.39	2.28	030728	34.0	8.78	8.78
020705	35.0	1.69	2.16	030817	98.0	20.75	20.75
020719	28.5	1.11	1.40	030827	79.0	19.53	19.53
020722	40.0	6.62	10.33	030905	23.0	6.17	6.17
020810	32.0	10.30	19.17	030911	80.0	18.80	18.80
020812	42.0	18.04	19.08	040617	35.0	2.13	4.12
020814	78.0	37.78	103.96	040702	23.5	3.19	4.04
030418	48.5	7.72	9.30	040703	43.5	6.85	9.89
030419	28.5	8.72	11.47	040707	37.5	8.12	9.57
030422	32.3	5.00	7.18	040714	44.5	8.51	11.95
030424	59.5	18.79	32.85	040717	51.5	17.73	58.11
030429	46.5	15.30	32.02	040803	26.5	2.23	7.37
030506	16.0	1.49	2.94	040825	71.5	22.58	46.66
030507	28.0	8.22	12.91	040910	31.5	1.49	2.91
030529	63.0	7.60	10.61	040913	24.0	7.08	8.92
030623	19.0	0.90	1.23	040917	22.0	3.97	5.71
030627	55.5	8.28	12.44	040920	32.5	6.53	9.67
030702	71.0	21.23	62.98				

### 3. 수질자료

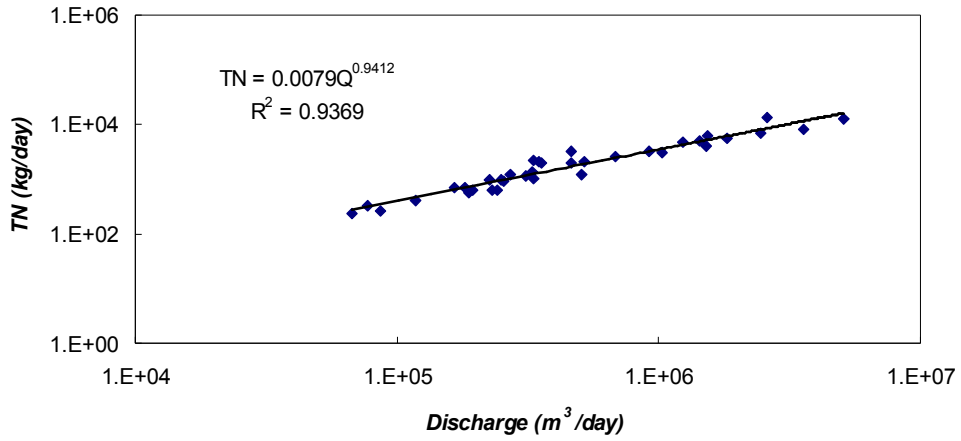
수질자료는 농어촌연구원에서 구축한 소양지점의 수질자료와 환경부에서 제공하는 월별 수질자료를 이용하여 구축하였다. 농어촌연구원에서는 새만금호의 수질관리 및 수환경 개선 조사연구의 일환으로 평수기와 홍수기에 새만금유역 내 주요지점에 대해 수질조사를 실시하였다(한국농촌공사·농어촌연구원, 2002; 환경부).

수집한 자료를 확장하여 강우사상별 부하량 자료를 구축하기 위해 2002년~2004년까지의 수질조사 자료를 이용하여 SS와 TN, TP에 대해 유량-부하량 관계곡선식을 유도하였다. 다음 (그림 8-7)~(그림 8-9)는 자료 확장을 위해 유도한 수질 항목별 유량-부하량 관계를 보여주고 있으며, 결정계수는 SS가 0.8925, TN과 TP가 0.9369, 0.8835로 나타났다. <표 8-5>는 수질 항목별 유량-부하량 관계식과 결정계수를 정리한 표이다.

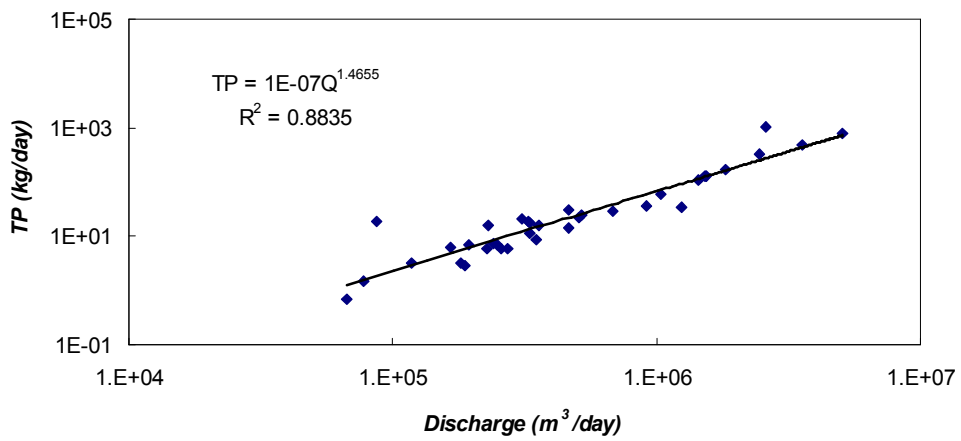


(그림 8-7) 소양지점의 유량-부하량 관계식 (SS)





(그림 8-8) 소양지점의 유량-부하량 관계식 (TN)



(그림 8-9) 소양지점의 유량-부하량 관계식 (TP)

<표 8-5> 소양지점의 유량-부하량 관계식

구 분	항목 (kg/day)	유량-부하량 관계식	R <sup>2</sup>
소양지점	SS	$SS = 8E-08 Q^{1.8549}$	0.8925
	TN	$TN = 0.0079 Q^{0.9412}$	0.9369
	TP	$TP = 1E-07 Q^{1.4655}$	0.8835

#### 4 오염원자료

오염원자료는 전북관련 주요통계 정보를 제공하는 전북통계정보시스템으로부터 수집하고 정리하여 사용하였다. 본 연구에서는 축산계 점원오염을 고려하였으며, 전북통계정보시스템으로부터 리동별 축종에 따른 사육두수 자료를 사용하였다.

#### 5 입력매개변수

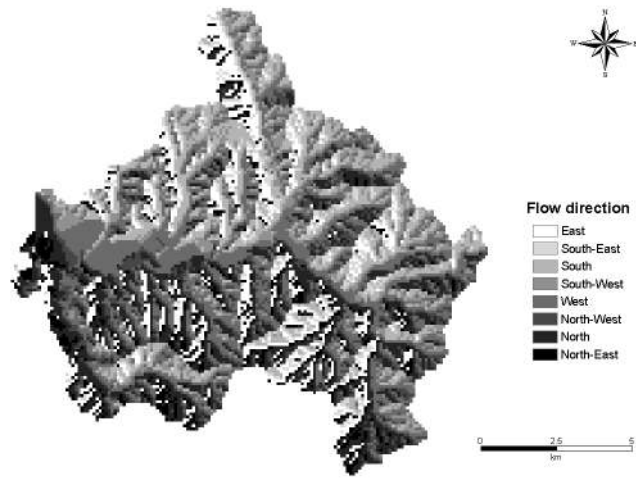
##### 가. GIS 입력자료

토지이용도, USLE와 관련한 제인자를 비롯하여 경사도, 경사장 자료는 새만금유역의 토양유실을 예측한 부분에서 구축한 자료들을 사용하였다. 이 밖에 수문학적 토양군도, 토성 등은 농촌진흥청의 1:25,000 정밀토양도와 전국 290개 토양통의 특성자료를 이용하여 구축하였다.

Young 등(1989)은 유역면적이 800 ha 이상일 경우 16 ha 정도의 격자크기를 권장하고 있으나 격자크기가 작을 경우 모형의 정확도가 높아진다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 조재필(1998)의 격자크기에 따른 모형의 거동 특성을 연구한 결과로부터 격자의 크기가 100 m인 입력자료를 구축하였다. 기존에 구축된 입력자료의 경우 격자크기를 100 m로 재구축하였다.

##### 1) 경사방향도

경사방향도는 수치고도자료(DEM)로부터 작성하였으며, (그림 8-10)과 같다.



(그림 8-10) 소양지점의 경사방향도

## 2) 수문학적 토양군도

토양의 수문학적 토양군도는 토양의 투수성에 따라 구분되며, 이는 SCS 유출곡선 번호를 결정하기 위해 필요하다(강문성, 2002). 다음 <표 8-6>은 미국자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service, NRCS)에서 제시한 수문학적 토양군의 분류기준이다.

<표 8-6> 수문학적 토양군의 분류기준

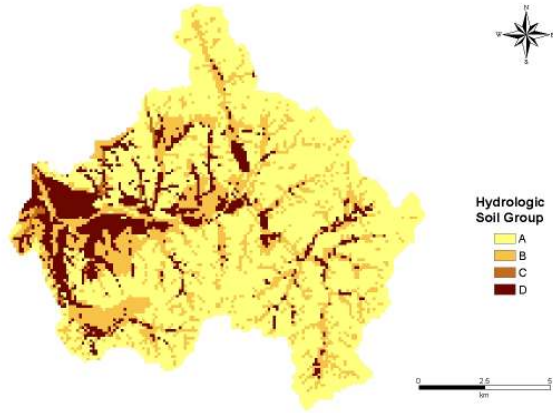
Soil Hydrologic Group	Description
A	Low runoff potential and high infiltration rates even when thoroughly wetted. Chiefly deep, well to excessively drained sands or gravels. High rate of water transmission (>0.75cm/hr).
B	Moderate infiltration rates when thoroughly wetted. Chiefly moderately deep to deep, Moderately well to well drained soils with moderately fine to moderately coarse textures. Moderate rate of water transmission (0.40~0.75cm/hr).
C	Low infiltration rates when thoroughly wetted. Chiefly soil with a layer that impedes downward movement of water, or soils with moderately fine to fine texture. Low rate of water transmission (0.15~0.40cm/hr).
D	High runoff potential. Very low infiltration rates when thoroughly wetted. Chiefly clay soils with a high swelling potential, soils with a permanent high water table, soils with a claypan or clay layer at or near the surface, or shallow soils over nearly impervious material. Very low rate of water transmission (0~0.15cm/hr).

농촌진흥청의 정밀토양도 자료에 의하면 매우양호에서 매우불량의 6가지 투수수준으로 구분되어 있으며, 사용자에 따라 4개의 등급으로 재분류하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 토양의 투수수준 중 매우양호를 A 토양군, 양호를 B 토양군, 약간양호와 약간불량을 C 토양군, 불량과 매우불량을 D 토양군으로 분류하였다.

이 기준으로 분류한 시험구역의 수문학적 토양군은 <표 8-7>과 같고, (그림 8-11)은 수문학적 토양군도를 나타낸다.

<표 8-7> 소양지점의 수문학적 토양군

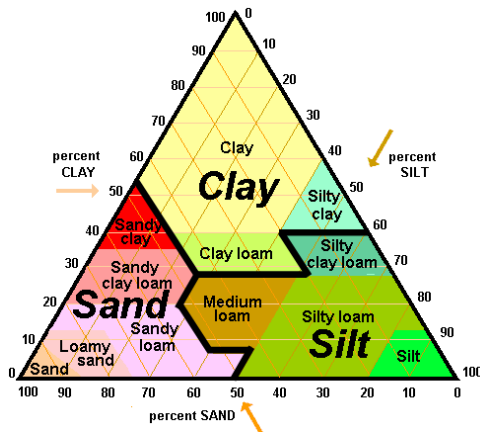
Hydrologic soil group	Area (km <sup>2</sup> )
A group	78.81 (61.9%)
B group	30.51 (24.0%)
C group	0.84 (0.7%)
D group	17.19 (13.4%)



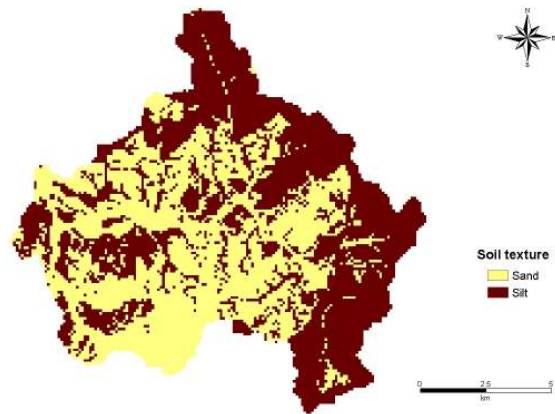
(그림 8-11) 소양지점의 수문학적 토양군도

### 3) 토성

토성은 정밀토양도의 표토의 토성을 나타내는 자료를 (그림 8-12)의 미농무성의 삼각좌표 분류표에 따라 모래, 점토, 실트로 구분하였다. 분류 결과 시험구역의 토성은 (그림 8-13)과 같이 모래와 점토 두가지 토성으로 분류되었다.



(그림 8-12) 삼각좌표 분류표



(그림 8-13) 소양지점의 토성

#### 나. 유출곡선지수

임상준 등(1997)에 의하면 논에서의 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)의 결정은 구역에서와 같이 5일 선행강우량과는 무관하며, 생육시기

별로 CN값의 변화는 초기담수심과 물꼬높이 등에 기인한다고 하였다. 또한 수문학적 토양군 A, B, C, D 등에 의한 CN값의 변화는 논에 적용되지 않는다고 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 토양조건에 관계없이 임상준 등(1997)이 제시한 값들을 사용하였다.

산림에서의 CN값의 결정은 부식토 층의 두께(humus depth)에 의해 결정된 산림수문조건등급(Forest Hydrologic Condition Class)과 수문학적 토양군에 의해 결정된다. 국내 산지의 경우는 부식토 층의 두께가 깊지 않은 것으로 알려져 있으며, SCS의 CN Table에 있는 Forest의 값은 부식토 층이 가장 얇은 조건에서의 값이다.

밭의 경우는 Row crops : straight row : poor의 값을, 초지는 Permanent meadow, 나지는 Follow, 주거지의 경우는 Farmstead의 값을 사용하였다. <표 8-8>은 각 토지이용별 AMC II 조건에서의 수문학적 토양군에 따른 유출곡선지수를 나타낸다.

<표 8-8> 수문학적 토양군에 따른 토지이용별 유출곡선지수 (AMC II)

토지이용	수문학적 토양군				Land cover, Treatment, Hydrologic condition
	A	B	C	D	
논	78	78	78	78	Im, S. J. et al.(1997)
밭	72	81	88	91	Row crops : straight row : poor
초지	30	58	71	78	Permanent meadow
산림	56	75	86	91	Forest - very sparse
나지	77	86	91	94	Follow
시가지/도로	59	74	82	86	Farmstead

### 제 3 절 모형의 적용

#### 1. 모형의 보정

본 연구에서는 단순시행 착오법을 사용하여 2002년과 2004년에 측정된 강우사상에 대하여 모형의 보정을 실시하였다. 모형보정의 목적함수로서 *RMAE*, 효율지수, 일치

지수를 이용하였다. Nash와 Sutcliffe(1970)에 의해 고안된 효율지수(coefficient of efficiency,  $E$ )는 모의치와 실측치가 일치하면 1.0이며, 그 값이 0~1.0 사이에 있으면 모의치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 효율지수가 0보다 작으면 모형의 모의결과가 나쁘거나 실측자료가 일관성이 없음을 의미한다. Willmott(1981)가 제안한 일치지수(Index of Agreement,  $d$ )는 0~1.0 사이의 값을 가지며, 1.0에 가까울수록 모형의 모의결과와 실측치가 잘 맞는 것을 의미한다. 다음 식 (8-12)~식 (8-14)는 각각 목적함수로 사용된  $RMAE$ ,  $E$ ,  $d$ 를 산출하는 식이다.

$$RMAE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - P_i|}{\bar{O}} \quad (8-12)$$

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (8-13)$$

$$d = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (8-14)$$

여기서,  $N$  = 자료의 수,  $O_i$  = 실측치,  $P_i$  = 모의치,  $\bar{O}$  = 실측치의 평균을 의미한다.

#### 가. 유출량

시험유역에 대한 모형의 적용을 위하여 모의된 유출량으로부터 유출곡선지수를 산정하여 유역에서의 실제 유출곡선지수와 비교분석하여 모형의 적용성을 검토하도록 하였다.

실측 유출곡선지수를 구하기 위해서 최대잠재보유수량  $S$ 을 유출량과 강우량에 대

하여 정리하면 다음 식 (8-15)와 같다.

$$S = 5P + 10Q - 10\sqrt{Q^2 + 1.25QP} \quad (8-15)$$

식 (8-15)를 이용하여 유출곡선지수  $CN$ 에 대하여 정리하면 식 (8-16)과 같은 유출곡선지수 계산식을 얻을 수 있다.

$$CN = \frac{25,400}{254 + 5P + 10Q - 10\sqrt{Q^2 + 1.25QP}} \quad (8-16)$$

한편, SCS에서는 5일 선행강우량의 크기에 따라 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)을 설정하고 있으며, 상대적으로 건조한 상태인 AMC I, 보통 상태인 AMC II 및 습윤상태를 나타내는 AMC III로 나타내고 있다. 여기서 선행토양함수조건을 구분하게 되는 기준은 1년을 성수기(growing season)와 비성수기(dormant season)로 나누어 각 경우에 대하여 다음 <표 8-9>와 같은 3가지 조건으로 구분하고 있다.

<표 8-9> 선행토양함수조건

선행토양함수조건	5일 선행강우량 $P_5$ (mm)	
	비성수기	성수기
I	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
II	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.34$
III	$P_5 > 27.94$	$P_5 > 53.34$

2002년과 2004년 각 강우사상에 대하여 <표 8-9>에서 제시한 기준을 바탕으로 AMC를 결정하고, 식 (8-16)을 이용하여 강우사상별 실측 유출곡선지수를 산정하였다. <표 8-10>은 강우사상별 AMC와 실측 유출곡선지수를 나타내고 있다. 전체 강우사상 23개 중 AMC I인 강우사상이 13개, AMC II는 5개, AMC III은 6개로 나타났으며 AMC 조건에 따른 강우사상의 평균 유출곡선지수는 AMC I인 강우사상이



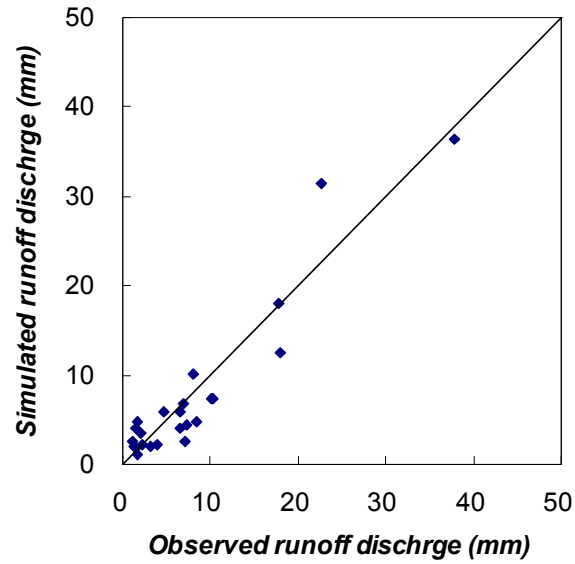
77.2, AMC II는 84.3, AMC III은 83.2로 나타났다. 이 결과를 살펴보면 유역의 평균 조건인 AMC II의 발생빈도가 가장 작게 나타나고 AMC II 조건에서의 유출곡선지수가 AMC III 조건에서보다 더 크게 나타나 SCS에서 제시하는 기준이 적합하지 않은 것으로 판단된다.

<표 8-10> 소양지점의 강우사상별 AMC와 실측 유출곡선지수

Date	AMC	Obs. CN			Date	AMC	Obs. CN		
		AMC I	AMC II	AMC III			AMC I	AMC II	AMC III
020430	I	68.5			040702	I	84.2		
020503	II		83.2		040703	I	75.8		
020506	II		78.5		040707	III			81.6
020610	I	90.6			040714	I	77.4		
020623	I	81.2			040717	III			82.7
020630	I	78.9			040803	I	79.4		
020705	I	70.9			040825	III			75.9
020719	I	73.9			040910	I	72.9		
020722	I	77.8			040913	II		89.8	
020810	III			87.8	040917	II		87.0	
020812	III			88.3	040920	II		82.9	
020814	III			82.8					
040617	I	72.3			Average		77.2	84.3	83.2

AMC 조건을 구분하는 기준은 기후, 지질 및 지형, 식생의 상태 등 여러 가지 조건을 고려하여 결정되어야 하며, 우리나라는 미국과 확연히 다른 지형, 토양 및 기후 조건 등을 가지고 있음을 고려할 때 우리나라에 그 기준을 적용하는 것이 타당한지를 검토해 볼 필요가 있다(박정훈 등, 2005).

따라서 AMC I 과 AMC II의 기준인 35.56 mm를 하향조정하여 모형에 적용하도록 하였다. 실측자료가 많은 경우에 보다 정확한 기준을 정할 수 있으나 본 연구에서는 단순시행 착오법을 사용하여 11 mm~20 mm의 기준을 가지고 유출량을 비교해 보았으며, 11 mm 기준에서 실측치와 모의치의 유출량이 가장 잘 일치하였다. 실측유출량과 모의유출량을 비교하면 (그림 8-14)와 같다.

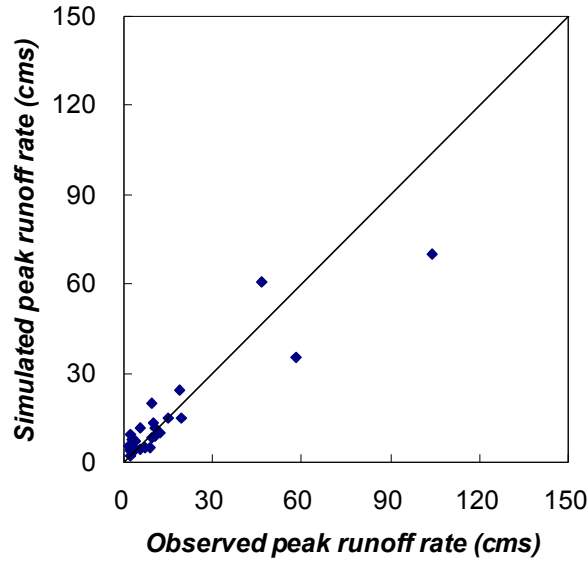


(그림 8-14) 소양지점의 실측-모의 유출량  
(보정)

#### 나. 첨두유량

첨두유량의 보정은 AGNPS 모형의 결과로부터 구해진 모의 첨두유량과 실측 첨두유량의 회귀식으로부터 구한 회귀계수 0.2763을 식 (8-3)에 곱하여 하였다. 보정을 거쳐 수립된 첨두유량은 식 (8-17)과 같이 정의된다. 식 (8-17)을 이용하여 구한 실측 첨두유량과 모의 첨두유량의 비교는 (그림 8-15)와 같다.

$$Q_p = 3.79A^{0.7}CS^{0.16}(RO/25.4)^{(0.903A^{0.017})}LW^{-0.19} \quad (8-17)$$

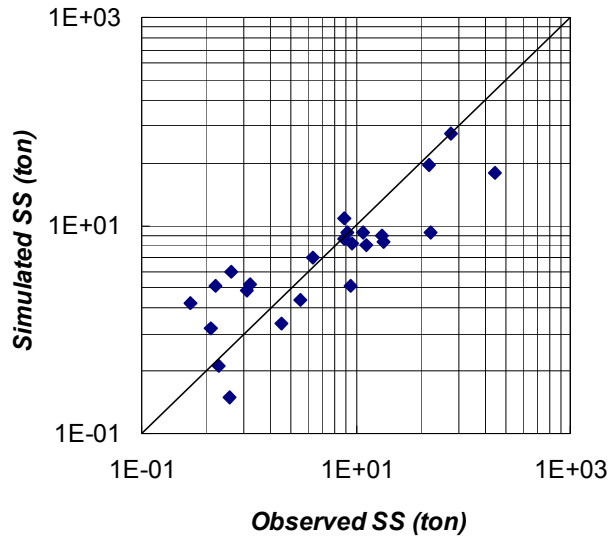


(그림 8-15) 소양지점의 실측-모의 첨두유량 (보정)

**다. 유사량**

유역의 유사량은 유역의 하천유량과 그에 따른 유사농도로부터 구한 부유사량이다. 폭우시 부유사 농도는 폭우사상 전체의 부유사 농도를 대표하지 못하므로 단일 폭우 사상에 대하여 샘플링된 한 두점의 부유사 농도를 이용하여 유사량을 계산하는 것은 오차의 범위가 크게 나타날 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 유량의 변화에 따른 유사량의 관계를 나타내는 유량-유사량 관계식을 이용하여 실측 유사량으로 사용하였다. 유사량에 대한 보정은 USLE 인자에 의해 이루어졌다.

(그림 8-16)은 모형의 보정에 의한 유사량의 모의치와 실측치를 비교하여 보여주고 있다. 보정결과 AGNPS 모형에 의한 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

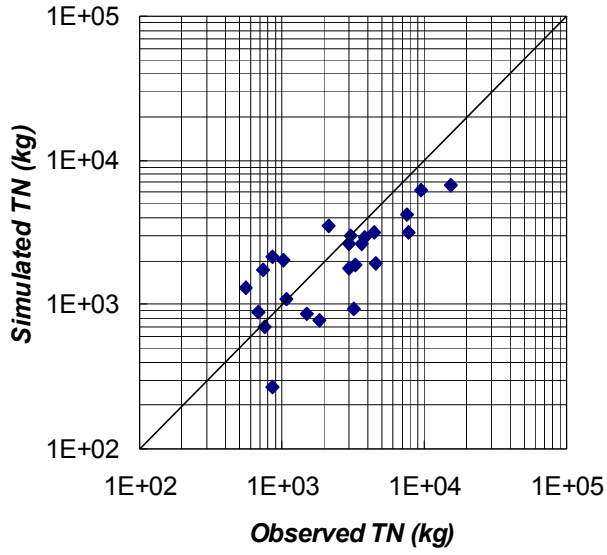


(그림 8-16) 소양지점의 실측-모의 SS (보정)

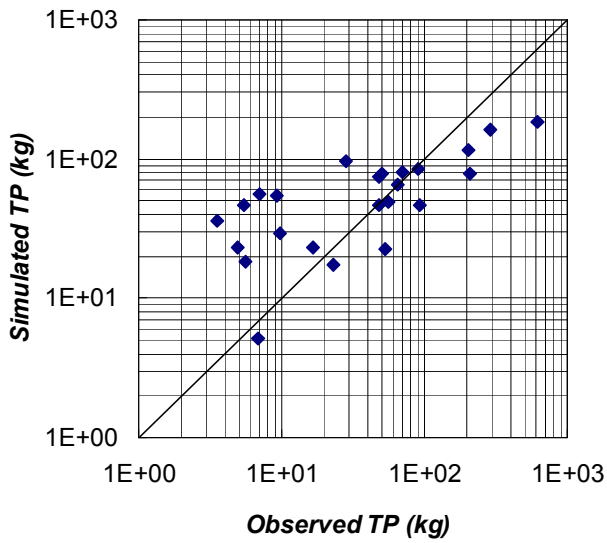
#### 라. 영양물질

총질소와 총인의 실측치는 유사량에서와 동일하게 유량-부하량 관계식을 이용하여 계산한 영양물질 부하량으로 하였다. AGNPS 모형에 의한 총질소와 총인의 모의는 가축분뇨를 점원오염으로 처리하여 수행하였다.

영양물질에 대한 보정은 지표흐름이 발생하는 셀에서의 지연지표(decay indicator)와 유출에 의해 토양으로 침전되거나 유출수 내로 용출되는 영양물질량 등에 의해 이루어졌다. (그림 8-17)~(그림 8-18)은 모형의 보정에 의한 총질소와 총인의 모의치를 실측치와 비교하여 보여주고 있다. 결정계수는 총질소와 총인이 각각 0.76, 0.72로 나타났다.



(그림 8-17) 소양지점의 실측-모의 TN (보정)



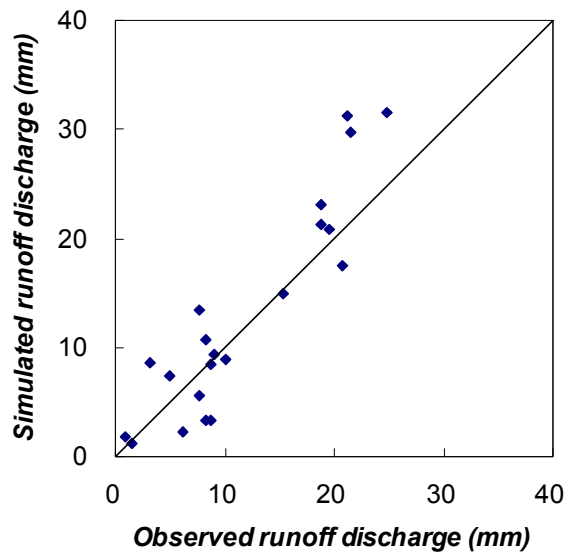
(그림 8-18) 소양지점의 실측-모의 TP (보정)

## 2. 모형의 검증

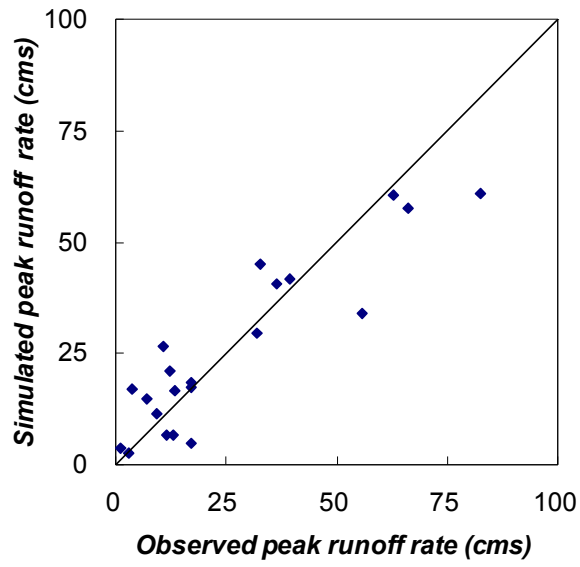
모형의 검증은 이미 보정된 매개변수가 동일 유역 및 보정에 이용되지 않은 자료기

간에 대해서 얼마나 일관된 결과를 모의하여 주는 가를 평가하는 것이다. 모형의 검증은 보정에 이용하지 않았던 2003년 자료에 대하여 실시하였다.

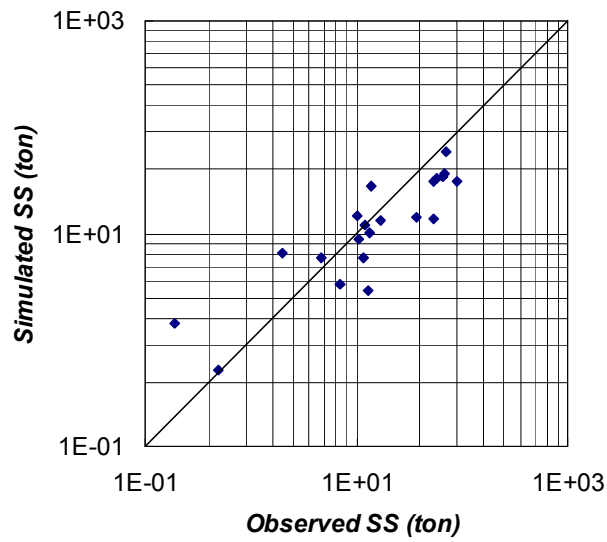
(그림 8-19)~(그림 8-23)은 소양유역의 2003년 자료에 대한 유출량, 침투유량, 유사량, 총질소 그리고 총인에 대한 모형의 모의치와 실측치를 보여주고 있다. 모형의 검증 결과, 유출량과 침투유량의 결정계수는 0.85, 0.83으로 나타났고, 유사량은 0.68, 총질소는 0.78, 그리고 총인은 0.69로 나타났다.



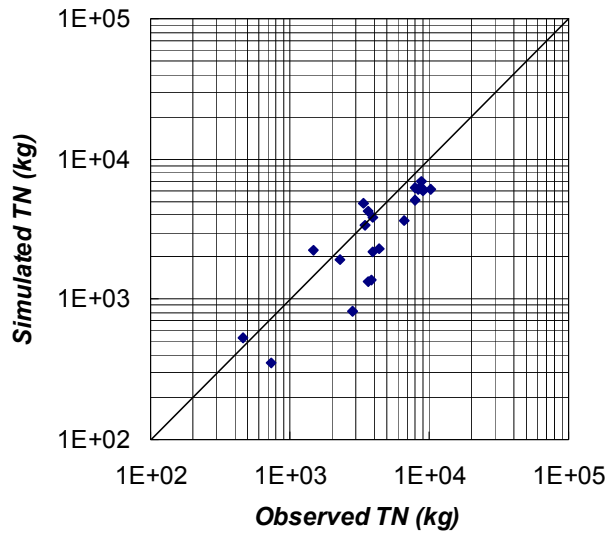
(그림 8-19) 소양지점의 실측-모의 유출량  
(검증)



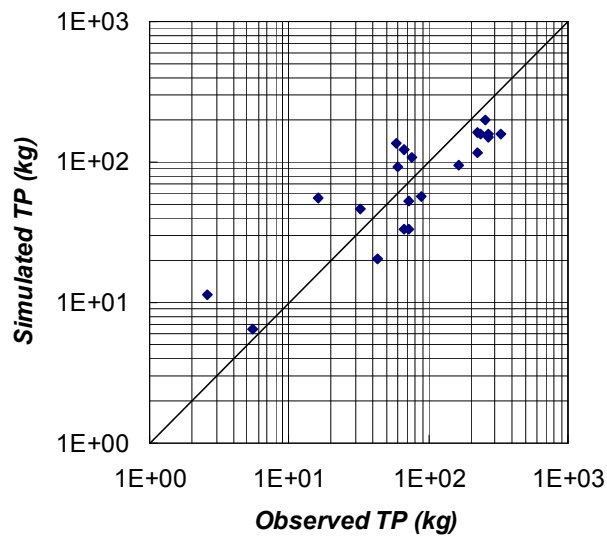
(그림 8-20) 소양지점의 실측-모의 첨두유량  
(검증)



(그림 8-21) 소양지점의 실측-모의 SS (검증)



(그림 8-22) 소양지점의 실측-모의 TN (검증)



(그림 8-23) 소양지점의 실측-모의 TP (검증)

### 3. 모형의 평가

모형의 보정과 검증에 대한 평가는 모형의 보정에 사용된 목적함수인  $RMAE$  (relative mean absolute error)와 효율지수(coefficient of efficiency,  $E$ ), 그리고 일



치지수(Index of Agreement,  $d$ ) 등의 통계적인 변량을 사용하였다.

<표 8-11>은 유출과 수질 항목별 모형의 보정과 검증의 결과에 대한 통계적 변량을 나타내고 있다. AGNPS 모형의 통계적 변량을 이용한 평가 결과, AGNPS 모형을 이용한 비점오염부하량의 정량적 추정이 가능할 것으로 보인다.

<표 8-11> 소양지점의 AGNPS 보정과 검증 결과

Item		$RMAE$	$E$	$d$	$R^2$
Runoff discharge (mm)	Calibration	0.27	0.88	0.97	0.8884
	Verification	0.29	0.62	0.93	0.8450
Peak runoff rate (cms)	Calibration	0.37	0.82	0.94	0.8547
	Verification	0.28	0.82	0.94	0.8263
SS (ton)	Calibration	0.56	0.28	0.59	0.3908
	Verification	0.49	0.42	0.77	0.6803
TN (kg)	Calibration	0.46	0.48	0.76	0.7664
	Verification	0.34	0.50	0.84	0.7785
TP (kg)	Calibration	0.61	0.42	0.66	0.7157
	Verification	0.45	0.53	0.80	0.6930

## 제 4 절 BMP 적용에 따른 비점오염 저감효과 분석

### 1. 시험유역 BMP 시나리오

시험유역은 전체유역의 70 % 정도가 산림으로 이루어져 있으며, 농경지가 15 % 정도로 전체 유역의 특성은 산림이 우세한 지역으로 나타났다. 그러나 하천분류를 따라 발달한 농경지와 유역 상류 급경사지에 위치하고 있는 나지로 인해 비점오염 부하량이 큰 것으로 판단된다.

이러한 원인을 바탕으로 시험유역에 적용 가능한 BMP 시나리오를 다음 <표 8-12>와 같이 구성하였다. 나지로부터의 과도한 토양유실을 제어하기 위하여 유역

상류에 위치하고 있는 나지의 피복상태를 초지로 개선하는 경우(Scenario I), 하천변에 인접하고 있는 농경지로부터의 오염부하량을 저감하기 위해 시험유역 하류 부근 하천변에 위치하는 약 2.6 km<sup>2</sup>의 논을 농배수로(grass waterway)로 개선하는 경우(Scenario II), 앞서 언급한 지역에 저류지(detention pond)를 설치하는 경우(Scenario III), 전체 논을 시비량을 10%~30% 단계적으로 절감한 경우(Scenario IV-1~IV-3), 그리고 Scenario I 과 Scenario IV-3의 복합 시나리오로써 유역 상류에 위치한 나지의 피복상태를 초지로 개선하고 전체 논을 시비량을 30% 절감하는 경우(Scenario V)로 구분하였다.

<표 8-12> BMP 시나리오

시나리오	관리대안
I	토지이용상태 개선 - 고지대에 위치하고 있는 나지를 초지로 개선
II	하천변 농경지의 농배수를 식생수로 개선
III	농경지 배출수 저류를 위한 저류지 설치
IV-1	농경지 시비량 10% 저감
IV-2	농경지 시비량 20% 저감
IV-3	농경지 시비량 30% 저감
V	시나리오 I 과 시나리오 IV-3 의 복합시나리오

BMP 적용에 따른 모형을 통한 비교평가를 위하여 BMP에 따른 모형의 매개변수의 변화는 토지이용, Manning 조도계수, 저류지 옵션, 시비량 등의 인자에 대해 실시하였다. 본 연구에서 행한 각각의 BMP의 매개변수 값은 AGNPS 모형 사용자 지침서, Mostaghimi 등(1997)의 연구결과를 참조하여 정하였다.

## 2. 비점오염 저감효과 분석

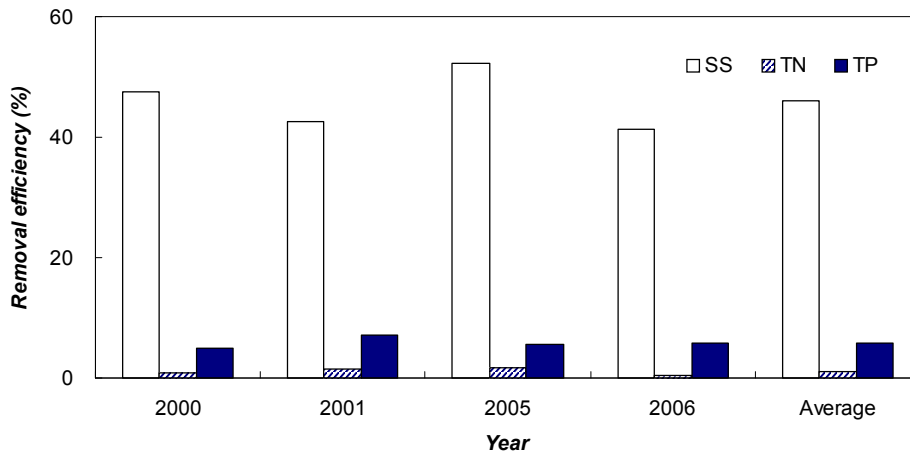
구성된 시나리오에 따른 시험유역의 비점오염 저감효과를 살펴보기 위해, 2000년~2001년, 2005년~2006년까지 4개년의 총 100개 강우사상 자료를 이용하여 각 시나리오

오별로 AGNPS 모형을 구동하였다. <표 8-13>은 시나리오에 따른 SS, TN, TP의 저감효율을 정리한 표이다. 결과를 살펴보면 Scenario I에 의한 SS의 저감효율이 평균 46 % 정도로 나지의 피복상태의 개선이 유사량 저감에 효율적임을 알 수 있다. TN과 TP의 경우 Scenario II를 적용한 결과 각각 약 25 %, 28 %의 저감효율을 나타냈으며, Scenario III의 경우에는 각각 약 17 %, 12 %의 비점오염 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 논외 시비량을 절감한 Scenario IV의 경우 SS는 저감효과가 나타나지 않았으며, TN과 TP는 시비량을 10 % 절감할 경우 각각 약 4 %, 5 %, 시비량을 20 % 절감할 경우 각각 약 9 %, 12 %, 시비량을 30 % 절감할 경우 각각 약 13 %, 18 %의 비점오염의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. Scenario I 과 Scenario IV-3을 동시에 적용한 Scenario V의 결과를 살펴보면 SS, TN, TP의 저감효율은 각각 약 46 %, 14 %, 25 %로 나타났다.

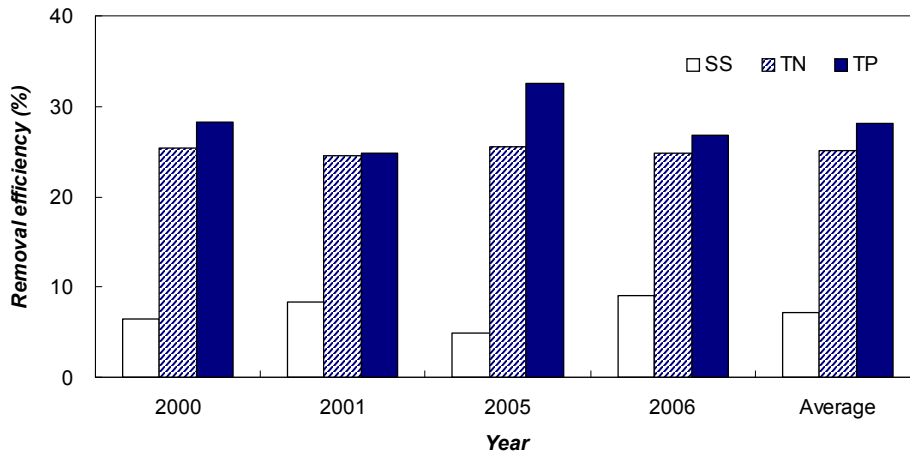
(그림 8-24)~(그림 8-30)은 시나리오에 따른 각 항목별 오염부하량의 저감효율을 연도별로 보여주고 있으며, (그림 8-31)은 시나리오에 따른 SS, TN, TP의 저감효율을 보여주고 있다.

<표 8-13> 시나리오에 따른 SS, TN, TP의 저감효율

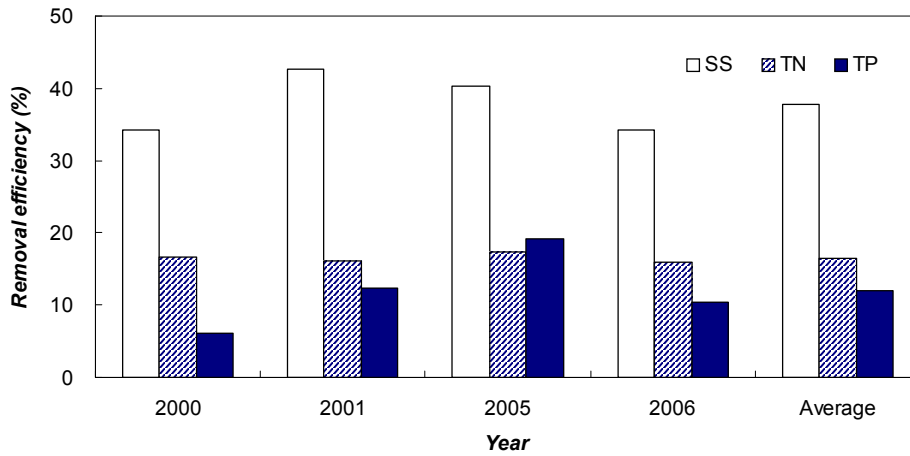
구 분		2000	2001	2005	2006	평균
Scenario I	SS (%)	47.6	42.5	52.3	41.4	46.0
	TN (%)	1.0	1.5	1.8	0.4	1.2
	TP (%)	5.0	7.2	5.6	5.8	5.9
Scenario II	SS (%)	6.4	8.3	4.9	9.1	7.2
	TN (%)	25.4	24.5	25.5	24.8	25.1
	TP (%)	28.3	24.8	32.5	26.8	28.1
Scenario III	SS (%)	34.3	42.6	40.4	34.2	37.9
	TN (%)	16.7	16.1	17.4	15.9	16.5
	TP (%)	6.1	12.3	19.1	10.4	12.0
Scenario IV-1	TN (%)	3.8	5.1	4.0	4.6	4.4
	TP (%)	1.5	3.0	13.5	2.3	5.1
Scenario IV-2	TN (%)	7.5	10.2	7.5	9.4	8.6
	TP (%)	13.6	12.9	16.7	6.4	12.4
Scenario IV-3	TN (%)	11.5	15.5	11.0	14.1	13.1
	TP (%)	22.7	17.0	19.5	13.4	18.1
Scenario V	SS (%)	47.6	42.5	52.3	41.4	46.0
	TN (%)	12.2	16.9	12.7	14.4	14.1
	TP (%)	27.7	27.1	23.9	22.1	25.2



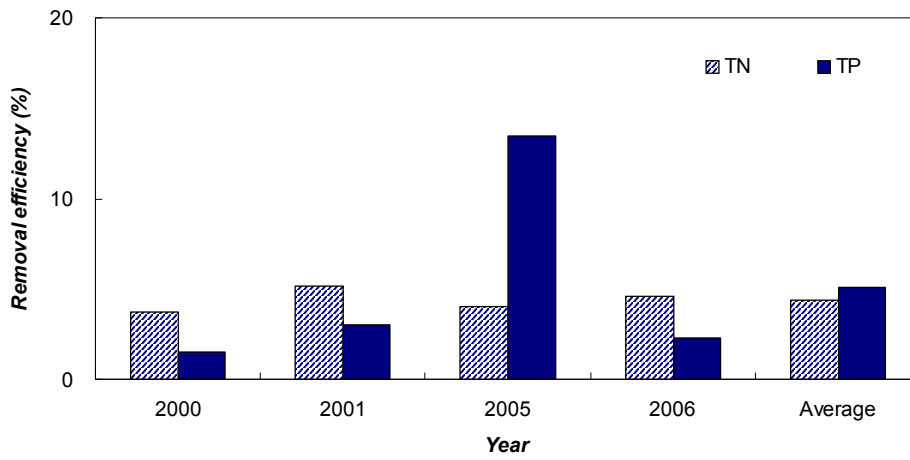
(그림 8-24) 비점오염 저감효율 (Scenario I)



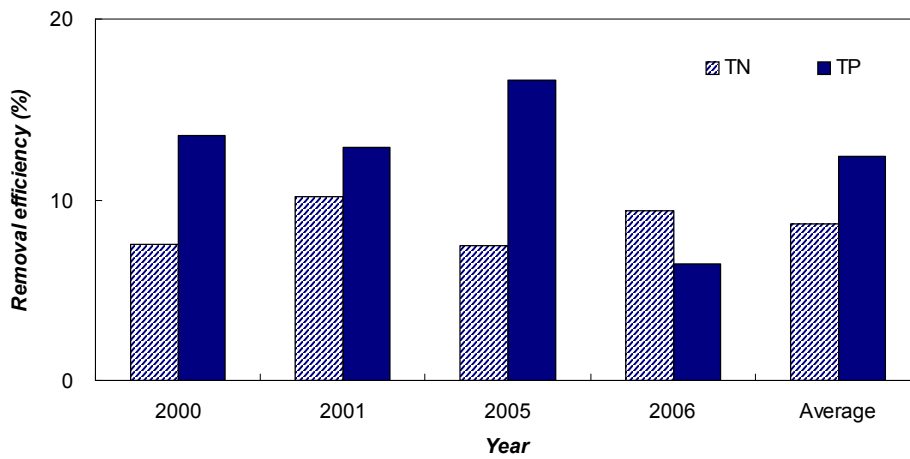
(그림 8-25) 비점오염 저감효율 (Scenario II)



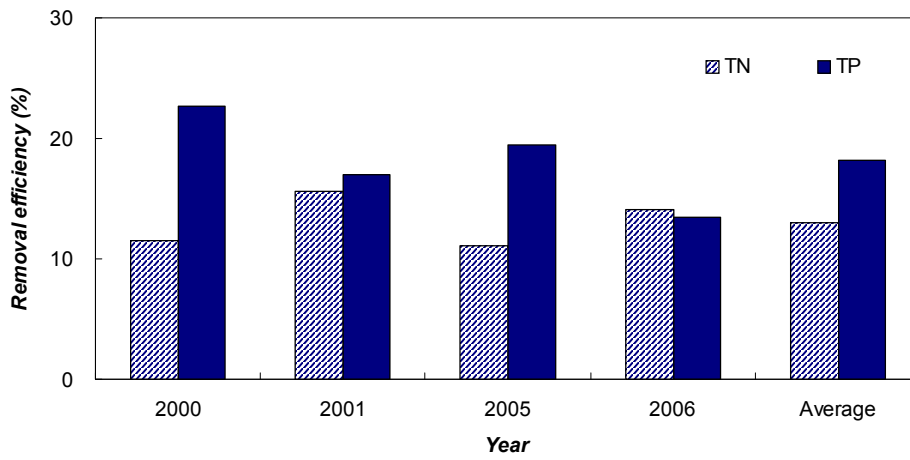
(그림 8-26) 비점오염 저감효율 (Scenario III)



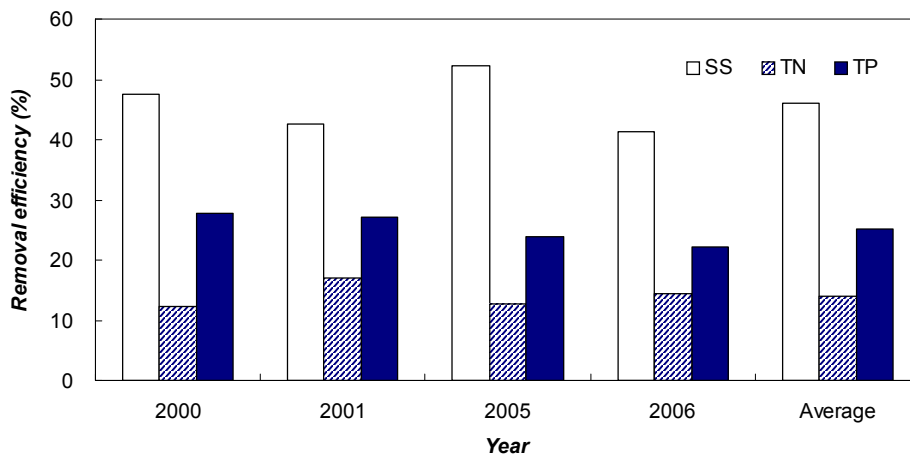
(그림 8-27) 비점오염 저감효율 (Scenario IV-1)



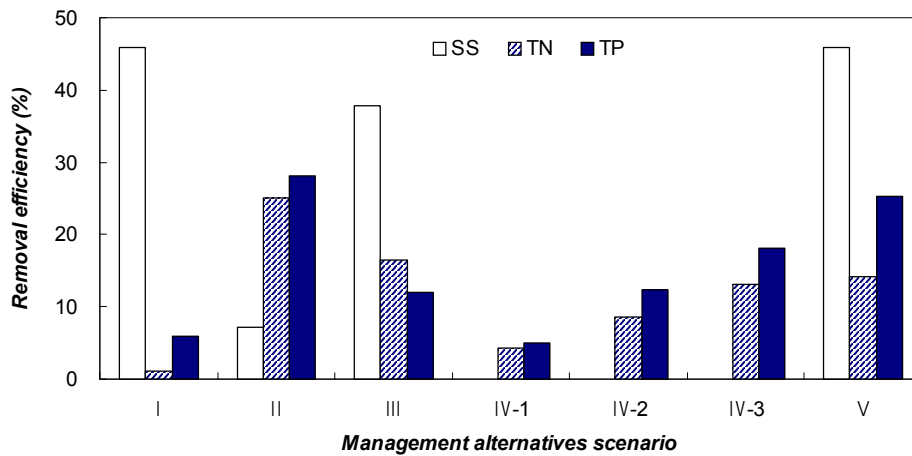
(그림 8-28) 비점오염 저감효율 (Scenario IV-2)



(그림 8-29) 비점오염 저감효율 (Scenario IV-3)



(그림 8-30) 비점오염 저감효율 (Scenario V)



(그림 8-31) 시나리오에 따른 SS, TN, TP의 저감효율

## 제 5 절 요약 및 결론

본 연구에서는 잠재 오염 발생량의 감소를 유도하고 비점오염으로부터 수질을 보호하며, 효과적인 BMPs 적용을 위한 유역 내 토양 및 영양물질 유실 잠재지역의 위치를 규명하고, 이를 정량적으로 분석하기 위하여 대표소유역을 선정하고, 선정된 소유역에 대해 수집한 자료와 AGNPS 모형을 이용하여 적용성을 평가하였다. 그리고 여러 가지 BMPs 중 대상 소유역에 적용 가능한 BMPs를 선정하고, 각 방법에 따른 비점오염의 저감효과를 분석하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. USLE를 통한 새만금유역의 소유역별 토양유실량을 산정한 결과를 이용하여 위험지역인 M-04 소유역을 대표 소유역으로 선정하였다. 모형의 보정과 검증을 위해 M-04 유역 내 수문·수질자료가 있는 제2소양교를 유출구로 하여 시험유역을 구성하였다.

2. 2002년, 2004년 강우사상을 이용하여 유출량, 침투유량, SS, TN, TP에 대해 모형



의 보정을 실시한 결과, 각 항목별  $R^2$ 가 각각 0.89, 0.85, 0.39, 0.77, 0.72로 산정되었으며,  $RMAE$ 는 각각 0.27 mm, 0.37 cms, 0.56 ton, 0.46 kg, 0.61 kg의 수준으로 모의치가 실측치의 경향을 따르도록 하여 모형의 보정을 실시하였다.

3. 모형의 검증을 위해 2003년 강우사상을 이용하였으며, 유출량, 침투유량, SS, TN, TP의 각 항목별  $R^2$ 가 각각 0.85, 0.83, 0.68, 0.78, 0.69로 모형 보정 수준과 비슷하게 산정되었으며,  $RMAE$ 는 각각 0.29 mm, 0.28 cms, 0.49 ton, 0.34 kg, 0.45 kg로 나타나 모형의 적용성이 있는 것으로 나타났다.

4. 시험유역의 특성을 살펴본 결과 하천본류를 따라 발달한 농경지와 유역 상류 급경사지에 위치하고 있는 나지로 인해 비점오염 부하량이 큰 것으로 판단되며, 이러한 원인을 바탕으로 시험유역에 적용 가능한 BMPs 시나리오를 구성하였다.

5. 시험유역의 비점오염 저감을 위해 선정된 BMPs 시나리오는 나지로부터의 과도한 토양유실을 제어하기 위하여 유역 상류에 위치하고 있는 나지의 피복상태를 초지로 개선하는 경우(Scenario I), 하천변에 인접하고 있는 농경지로부터의 오염부하량을 저감하기 위해 해당 논외 농배수로를 식생수로(grass waterway)로 개선하는 경우(Scenario II), 앞서 언급한 지역에 저류지(detention pond)를 설치하는 경우(Scenario III), 전체 논외 시비량을 10% ~ 30% 단계적으로 절감한 경우(Scenario IV-1 ~ IV-3), 그리고 Scenario I와 Scenario IV-3의 복합 시나리오로서 유역 상류에 위치한 나지의 피복상태를 초지로 개선하고 전체 논외 시비량을 30% 절감하는 경우(Scenario V)로 구분하였다.

6. BMPs 적용에 따른 모형을 통한 비교평가를 위하여 BMPs에 따른 모형의 매개변수의 변화는 토지이용, Manning 조도계수, 저류지 옵션, 시비량 등의 인자에 대해 실시하였다. 비점오염 저감 시나리오에 따른 결과를 살펴보면 Scenario I과 Scenario III에 의한 SS의 저감효율이 각각 46%, 38% 정도로 나타났다. TN과 TP의 경우

Scenario II를 적용한 결과 각각 약 25%, 28%의 저감효율을 나타냈으며, Scenario III의 경우에는 각각 약 17%, 12%의 비점오염 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 논의 시비량을 절감한 Scenario IV의 경우 SS는 저감효과가 나타나지 않았으며, TN과 TP는 시비량을 10 % 절감할 경우 각각 약 4 %, 5 %, 시비량을 20 % 절감할 경우 각각 약 9 %, 12 %, 시비량을 30 % 절감할 경우 각각 약 13 %, 18 %의 비점오염의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. Scenario I과 Scenario IV-3을 동시에 적용한 Scenario V의 결과를 살펴보면 SS, TN, TP의 저감효율은 각각 약 46 %, 14 %, 25 %로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 강문성, 2002. 인공신경망 원격탐사기법과 비점오염모델을 이용한 오염총량모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위논문.
2. 박정훈, 유철상, 김중훈, 2005. SCS 방법 적용을 위한 선행토양함수조건의 재설정: 1. SCS 방법 검토 및 적용상 문제점, 한국수자원학회논문집 38(11):955-962.
3. 윤용남, 2002. 공업수문학, 청문각.
4. 임상준, 박승우, 1997. 논의 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집 30(4):379-387.
5. 전북통계정보시스템, <http://stat.provin.jeonbuk.kr>
6. 조재필, 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원 오염모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
7. 한국농촌공사·농어촌연구원, 2002. 새만금호 수질관리 및 수환경 개선 조사연구 (III).
8. 환경부, <http://www.me.go.kr>
9. Foster, G. R., L. J. Lane and J. D. Nowlin, 1980, A model to estimate sediment yield from field-sized areas: Selection of parameter values, In Knisel, W. G., ed., 1980. CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff and

- erosion from agricultural management systems, USDA Conservation Resources Report 26(2):193–281.
10. Frere, M. H., J. D. Ross and L. J. Lane, 1980. The nutrient submodel. CREAMS, A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems, U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report 26:65–85.
  11. Lane, L. J., 1982. Development of a procedure to estimate runoff and sediment transport in ephemeral streams. In: Proceedings of the Symposium on Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield, International Association of Hydrological Sciences, Publication 137:275–282.
  12. Mostaghimi, S., S. W. Park, R. A. Cooke and S. Y. Wang, 1997. Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed, Water Resources 31(8):1867–1878.
  13. Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles, Journal of Hydrology 10(3):282–290.
  14. Smith, R. E. and J. R. Williams, 1980. Simulation of surface water hydrology. In CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems, USDA Conservation Research Report 26.
  15. Soil Conservation Service (SCS), 1986. Technical Release 55; Urban hydrology for small watersheds, USDA.
  16. Willmott, C. J., 1981. On the validation of models, Physical Geography 2:184–194.
  17. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch and W. P. Anderson, 1987. AGNPS, Agricultural Non-Point Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool, USDA Conservation Research Report 35.

18. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch and W. P. Anderson, 1989. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds, *Journal of Soil and Water Conservation* 44(2):168-173.
19. Young, R. A., M. A. Otterby and A. Roos, 1982. A technique for evaluating feedlot pollution potential, *Journal of Soil and Water Conservation* 37(1):21-23.

여 백

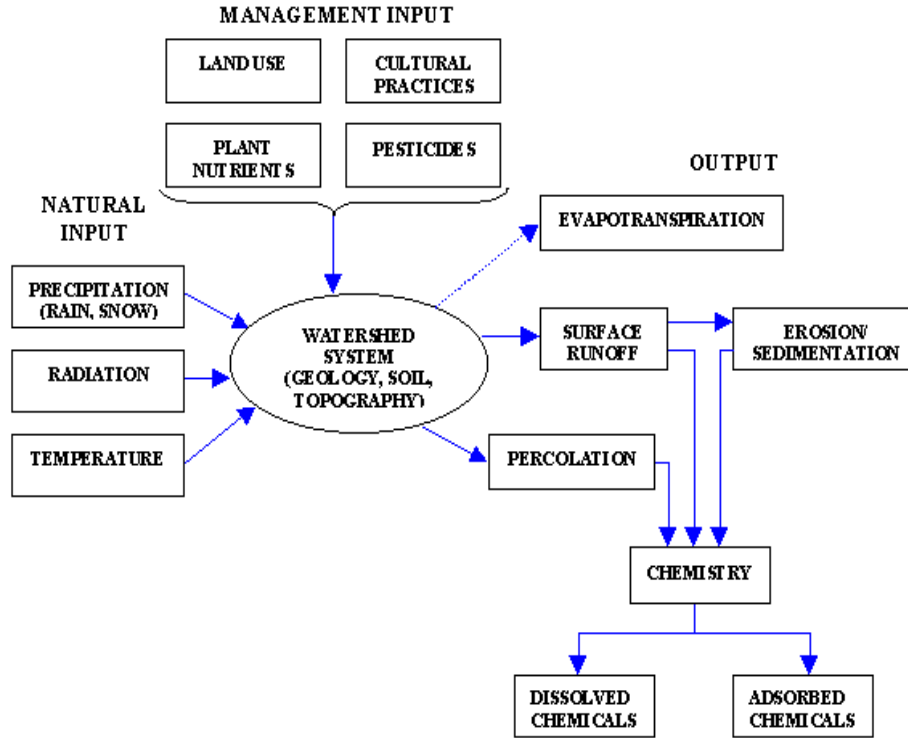
## 제 9 장 새만금유역의 농경지 오염물질 배출량의 추정

### 제 1 절 CREAMS-PADDY 모델의 개발

#### 1. CREAMS 모델

CREAMS(CheMical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System) 모델은 미국 농무성 농업연구처(USDA, Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 모델로서, 폭우사상에 대한 단기 모의발생과 일 강우량 자료로부터 장기 모의발생을 실시할 수 있으며 수문, 토양 침식 및 농업화학물질 손실량 부모모델 등으로 구성되어 있다 (Knisel et al., 1980). CREAMS 모델은 포장규모에서의 장기간의 유출 및 유사량, 영양물질 유실량을 추정하기 위한 모델이다. 여기서의 포장이란 1) 단일한 토지이용 형태, 2) 비교적 균일한 토양, 3) 공간적으로 균일한 토지, 4) 균일한 영농형태 등을 갖는 영농관리단위를 말한다. CREAMS 모델을 수정하여 유역에 적용할 수 있는 SWRRB 모델(Williams et al., 1985)과 지하수 부분을 보완한 GLEAMS 모델(Leonard et al., 1987) 등이 개발되어 사용되고 있다. CREAMS 모델은 농경지로부터 비료물질 배출량을 모의할 수 있는 수질관리 모델의 시초로서, 영농방법에 따른 비점오염 부하량의 변화를 추정할 수 있다.

(그림 9-1)은 CREAMS 모델의 구성도를 나타내고 있다. (그림 9-1)에서와 같이 CREAMS 모델은 기상수문자료, 토양, 경종, 시비량 등 영농관리자료를 바탕으로 포장에서의 유출, 토양유실과 비료물질의 부하량을 계산한다. 비료물질 유실량은 깊이 1 cm의 얇은 표토층의 비료성분의 용출량과 토양유실과 함께 유거되는 양으로 구성된다.



(그림 9-1) CREAMS 모델의 구성도

### 가. 수문 부모델

CREAMS 모델은 수문현상으로 지표유출, 침투, 증발산 등을 포함하고 있으며, 강우 에너지와 지표유출로 인해 토양침식이 발생하고, 유출수에 용해되거나 토립자에 부착되어 영양물질이 이동하는 것으로 해석한다. CREAMS 모델은 폭우사상의 모의 발생에는 시간별 강우량으로부터 침투손실을 고려한 유출량을 추정하며, 일유출량 계산에서는 SCS 유출곡선법을 바탕으로 하여 토양저류량을 고려하여 유출량을 추정한다.

일유출량은 SCS 유출곡선법에 의해 추정하며, 다음 식과 같다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (9-1)$$

여기서,  $Q$  = 직접유출량(mm),  $P$  = 강우량(mm),  $S$  = 잠재보유수량(mm) 이다.  
 식 (9-1)에서의 잠재보유수량은 다음 식과 같이 정의된다.

$$S = S_{mx} \frac{(UL - SM)}{(UL)} \quad (9-2)$$

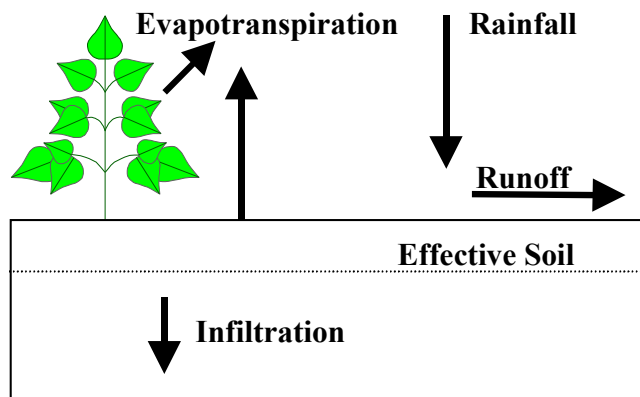
여기서,  $S_{mx}$  = 최대잠재보유수량(mm),  $SM$  = 토양수분량,  $UL$  = 토양수분량의 최대치다.

식 (2.2)에서의 토양수분량은 다음 식과 같다.

$$SM_i = SM_{i-1} + F_i - ET_i - O_i + M_i \quad (9-3)$$

여기서,  $F$  = 침투량,  $ET$  = 증발산량,  $O$  = 근근역 하향으로의 침투량,  $M$  = 용설량,  $SM$  = 근근역의 토양수분량이다.

증발산량은 토양증발량과 작물증산량에서 구하며, Ritchie식을 사용한다. 이상의 CREAMS 모델의 수문 부모모델의 추정과정을 그림으로 나타내면 (그림 9-2)와 같다.



(그림 9-2) CREAMS 모델의 수문기작



#### 나. 토양침식 부모델

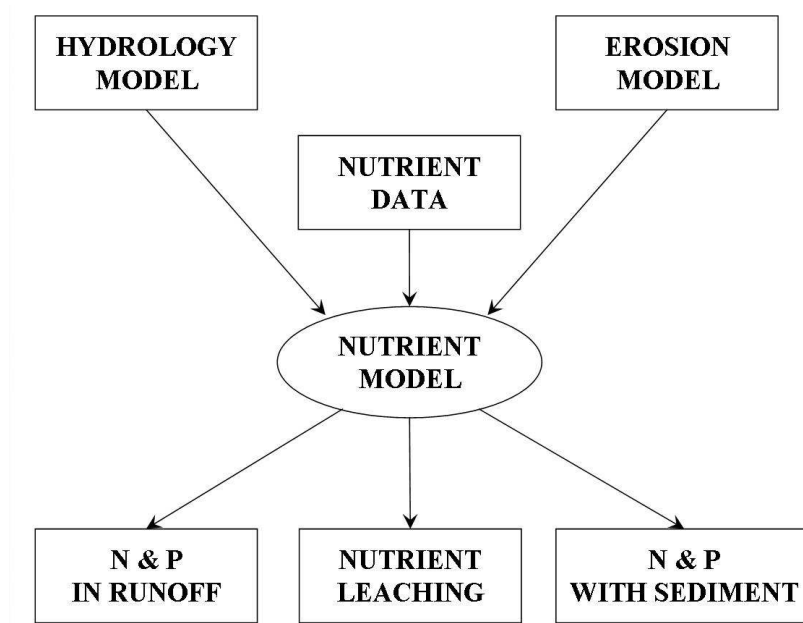
CREAMS 모델의 침식 부모델은 강우로 인해 농경지의 토양이 운송 및 퇴적되는 과정을 나타내며, 경사면에서의 유사운송과정을 고려한다. 임의구간에서의 침식은 유사량이 운송력보다 작을 경우에는 물의 운동에너지에 의해 토양침식이 발생하고, 반대로 유사량이 운송력을 초과하는 경우에는 그 초과량은 퇴적한다. 침식량은 USLE 식을 적용하고, 지표류의 운송력은 Yalin(1963)의 유사운송식을 사용한다.

#### 다. 화학물질 부모델

CREAMS 모델의 화학물질 부모델은 농약과 비료에 관련된 두 부분으로 나누어진다. 이 중 비료에 대한 영양물질 부모델은 농경지에서의 질소와 인의 순환과 유실을 추정한다. 화학비료나 축산분뇨 등에 의해 토양입자에 흡착된 질소와 인의 성분은 침식토양과 함께 유실되고, 수용성 질소와 인은 지표면 유출로 유실되며, 토양내의 침투, 탈질, 작물의 섭취 등에 의해 유실이 발생한다.

(그림 9-3)은 영양물질 부모델의 입출력을 나타내는 순서도이다. 수문모델과 침식 모델에서 처리된 결과가 영양물질 부모델의 입력으로 사용되어 영양물질의 유출량, 침투량 등을 계산한다.

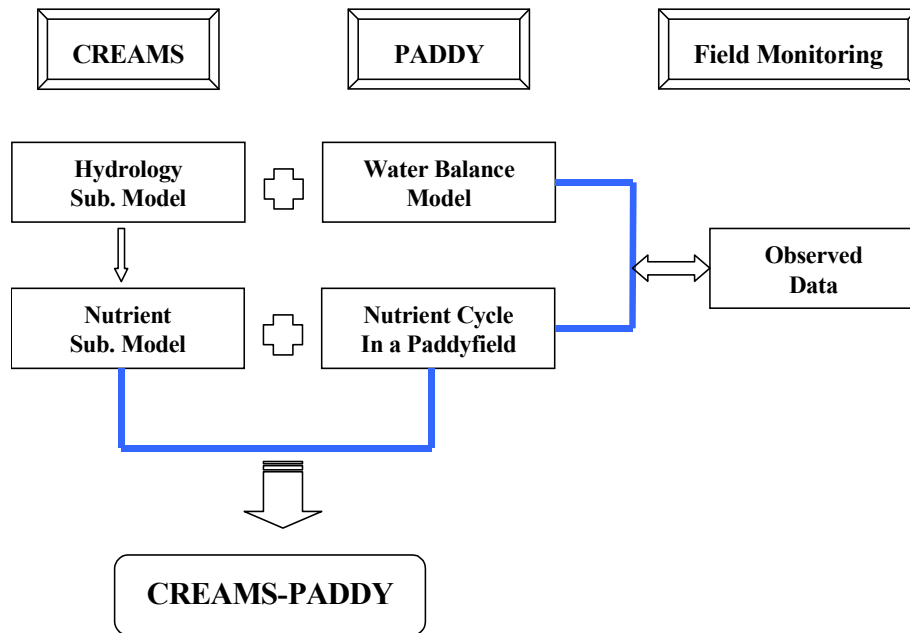
이상에서와 같이, CREAMS 모델은 농경지에서의 유출, 토양침식과 운송, 퇴적과정과 이에 수반되는 농업화학물질의 유실을 모의할 수 있으며, 특히 영농관리방식에 따른 영향을 구명할 수 있으므로 농업비점오염의 추정과 수질관리 등에 적용되고 있다.



(그림 9-3) CREAMS 모델의 영양물질 부모모델 모식도

## 2. CREAMS-PADDY 모델

CREAMS 모델에서 고려한 (그림 9-2)의 수문과정은 관개 논에서의 경우는 적용할 수 없고, 담수상태의 농업화학물질 순환기작을 표시하는 데 곤란하다. 따라서, 본 연구에서는 CREAMS 모델의 수문모델을 논의 조건에 맞도록 수정하고, 담수상태에서의 물질운송기작을 포함하도록 하였으며, 그 밖의 입력·출력 등의 기능은 그대로 보전하도록 하였다. (그림 9-4)는 CREAMS-PADDY 모델의 구성도를 보여주고 있다. 이와 같은 수정은 CREAMS 모델의 입력자료를 최소한으로 변경하여 동일한 형식의 입출력 자료를 활용함으로써 CREAMS 모델과 호환되도록 하기 위함이다.



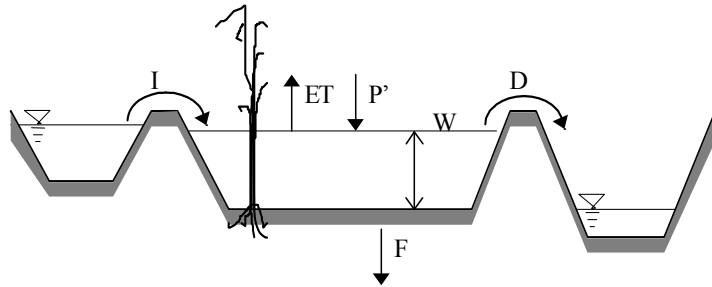
(그림 9-4) CREAMS-PADDY 모델의 구성도

#### 가. 논에서의 물수지

논에서의 일별 담수심은 강우량, 증발산량, 관개량, 유출량, 침투량 등에 의해 좌우된다. (그림 9-5)는 포장에서의 수문과정을 도식화한 것이다. 포장의 담수심,  $W$ 는 다음과 같은 물수지식으로 표시할 수 있다.

$$W_j = W_{j-1} + I_j + P_j - (D_j + ET_j + F_j) \quad (9-4)$$

여기서,  $I$  = 관개량(mm),  $P$  = 일강우량(mm),  $D$  = 유출량(mm),  $ET$  = 증발산량(mm),  $F$  = 침투량(mm),  $W$  = 담수심(mm)이다. 첨자  $j$ 는  $j$ 일을 나타낸다.



(그림 9-5) 논에서의 물수지

식 (9-4)에서 일강우량은 기상자료로부터 입력하며, 증발산량은 CREAMS 모델에  
서와 같이, 잠재증발산으로부터 토양수분, 작물조건 등을 고려하여 추정한다. 잠재증  
발산량은 Ritchie 식(1972)으로부터 구하며, 다음과 같다.

$$E_0 = \frac{1.28\Delta H_0}{\Delta + \gamma} \quad (9-5)$$

여기서,  $E_0$  = 잠재증발량,  $H_0$  = 총일조량,  $\gamma$  = 습공기상수,  $\Delta$  = 평균온도의 포화  
수증기압곡선 기울기이다.

증발산량은 토양증발량과 작물증산량을 분리하여, 토양증발량은 다음과 같이 계산  
한다.

$$E_s = \alpha_s [t^{1/2} - (t-1)^{1/2}] \quad (9-6)$$

여기서,  $E_s$  = t 일의 토양증발량,  $\alpha_s$  = 토양수분 이동특성에 따른 토양증발계수이  
다.

작물증산량은 다음과 같다.

$$E_p = \frac{(E_o)(LAI)}{3}, \quad 0 \leq LAI \leq 3 \quad (9-7)$$

$$E_p = E_o - E_s, \quad LAI > 3 \quad (9-8)$$

여기서,  $E_p$  = 작물증산량,  $LAI$  = 엽면적지수이다. 식 (9-6) ~ 식 (9-8) 에서 계산된 증발산량(토양증발량과 식물증산량의 합)은 식 (9-5)에서 계산된 잠재증발량 ( $E_o$ ) 을 초과할 수 없다.

침투량은 토양의 종류, 담수심에 따라 변화하므로, 일평균값을 입력하도록 하였는데, 토양종류에 따른 평균침투량은 <표 9-1>과 같다.

<표 9-1> 토양종류에 따른 평균침투율

Soil Types	Loam	Sandy clay loam	Silt clay loam	Sandy loam
Infiltration Rate (mm/day)	2.7	8.8	5.6	2.2

관개량은 일별 관개량 자료로부터 구하거나, 생육시기별 적정 담수심에 필요한 수량으로 하여 다음과 같은 식으로 추정한다.

$$I_j = 0.0 \quad \text{if } W_j \geq PD_j \quad (9-9)$$

$$I_j = PD_j - W_j \quad \text{if } W_j < PD_j \quad (9-10)$$

여기서,  $PD$  = 시기별( $j$ ) 적정 담수심(mm)이다.

식 (9-9)와 식 (9-10)에서와 같이 담수심이 적정 담수심 ( $PD$ ) 이상일 때는 관개량은 0이며, 적정 담수심에 미치지 못할 때는 부족분 만큼을 관개하는 것으로 모의하였다. 적정담수심은 벼의 생육에 따라 변화하며, 이앙후 활착기, 분얼기, 수잉기, 황숙기, 등숙기로 구분된다. <표 9-2>는 논벼의 생육시기별 적정 담수심을 나타낸 것이며 물수지 모델의 입력자료로 사용되었다.

<표 9-2> 벼의 생육시기별 적정담수심

Date	6/10	6/20	6/30	7/10	7/20	7/30	8/10	8/20	8/30	9/10	9/20	9/30
Days after transplanting	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Growth stage	Root Setting		Tiller			Elongation		Heading		Ripening		
Depth (mm)	40		60	0	60		60		60			

논에서의 유출량은 담수심과 물고높이의 관계로부터 다음과 같다.

$$D_j = D_j \quad \text{if } W_j \leq H_j \quad (9-11)$$

$$D_j = D_j + (W_j - H_j) \quad \text{if } W_j > H_j \quad (9-12)$$

여기서, H = 물고높이(mm)이다.

식 (9-11), 식 (9-12)와 같이 담수심은 물고 높이 이상이 될 수 없으며, 물고 높이 이상의 양은 유출된다.

이상의 논외 물수지 관계는 정하우 등(1986), 이남호 등(1988)에서 일별 담수심의 추정에서 실측자료와 비교 검증되어 적용이 가능한 것으로 알려졌다. 임상준(2000)은 경지정리 구획의 평균 담수심의 추정에서 적용한 결과, 구획내 포장의 평균 담수심을 모의할 수 있었다.

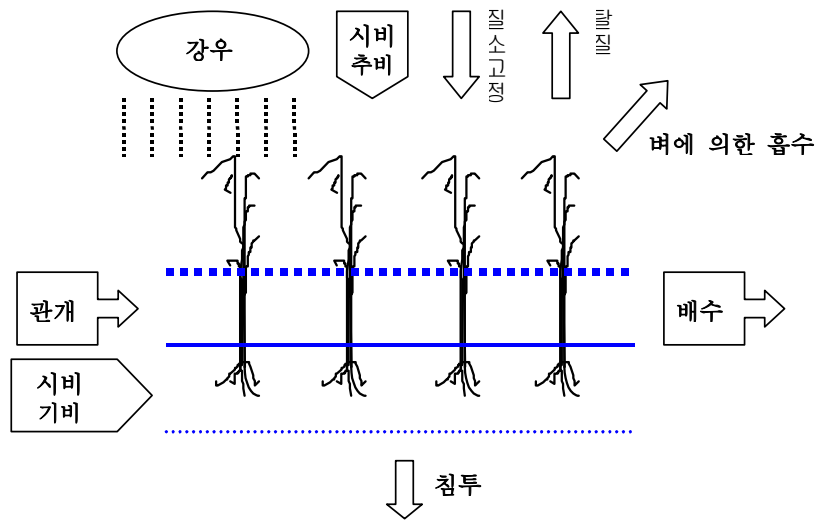
#### 나. 논에서의 질소수지

논에서의 질소 순환은 강우나 관개수에 용해되어 유입되거나, 비료 등에 의해 투입되고, 침투와 탈질, 작물의 흡수 등에 의해 유실되며, 논물에 용해되어 유출과 함께 하류로 흘러나온다. 이 중 관개량, 강우량의 농도는 실측치나 문헌 등에서 나타난 평균 값을 적용할 수 있으므로, 논외 물수지 요소 중 담수심과 침투, 유출 과정에 따른 물 질순환을 고려하였다. 또한, 논에서의 질산염이 질소가스로 변화하여 빠져나가는 탈질(denitrification)이나, 유기태질소가 질산염으로 변화하는 무기화(mineralization) 등을 추정하여 전체 총질소 양에서 빠져나가는 양을 계산하도록 CREAMS-PADDY 모

델의 질소 수지식을 구성하였다.

논의 비생육기간은 밭과 같은 상태로 유지하고, 못자리 설치나 이앙 이후는 담수상태를 유지하므로, 그 토양 상태는 호기성에서 혐기성으로 변하게 된다. 밭에서는 공기가 토층과 접하여 토양 내의 질산화가 신속히 진행되나, 혐기성인 논에서는 그만큼 질산화가 늦게 된다. 모델에서는 토층 내의 질소량이 논물로 용출되는 시간적 차이로 나타난다. CREAMS-PADDY 모델에서는 기존 CREAMS 모델의 추출계수를 조정하여 질산화가 지연하여 나타나는 것으로 수정하였다.

논에서의 질소질 성분의 순환과정을 그림으로 나타내면 (그림 9-6)과 같다. (그림 9-6)에서와 같이, 논으로 들어오는 질소량은 시비량, 강수량, 관개량, 질소고정 등이며, 논으로부터 출력되는 기작은 작물의 흡수, 탈질, 침투, 지표배출 등이다. 이 중 질소 고정량은 적은 값으로 모델에서는 고려하지 않았다. 질소의 영양물질 순환기작은 담수농도의 변화, 토양의 유기질소량, 탈질량, 작물의 질소흡수량, 질소 침투량 등을 포함하고 있다.



(그림 9-6) 논에서의 질소 입출력

## 1) 영양물질 농도

논에서 강우와 관개에 의해 유입된 물에 의해 수용성 영양물질은 토양 속으로 침투, 논물 중 저류되거나, 혹은 유출과 함께 배수된다. 이 중 표토 약 1 cm 정도가 근근역으로의 침투, 논물로의 추출 등에 기여하는 활성 구역이다 (Knisel et al., 1980).

활성구역으로부터 논물로 추출되는 수용성 질소량 (RON)과 근근역으로 질소침투량 (DWN)은 다음과 같이 계산된다.

$$RON = \overline{C_n} \times EXKN \times PDEPTH \times 0.01 \quad (9-13)$$

$$DWN = \overline{C_{n1}} \times EXKN_1 \times F \times 0.01 \quad (9-14)$$

여기서,  $\overline{C_n}$ ,  $\overline{C_{n1}}$  = 담수와 침투수의 평균질소농도, EXKN, EXKN<sub>1</sub> = 추출계수, PDEPTH = 담수심, F = 유효 침투량이다.

토층에서 담수로 용출되는 질소량을 예측하기 위해서는 토양중의 초기 질소 농도와 추출계수 등의 두 가지 입력값이 필요하다.

## 2) 토양유기질소

광물질화 (mineralization)는 유기태 질소를 질산염으로 변화시키는 기작을 뜻하며, 토양중의 질소량, 온도와 토양수분조건에 좌우된다.

$$MN = POTM \times WK \times (1 - \exp(-TK \times DAYS)) \quad (9-15)$$

여기서, MN = 광물화 질소량 (kg/ha), POTM = 토층속의 광물화가능 질소량이며, 온도상수 (TK)와 수분상수 (WK)는 다음과 같다.

$$TK = \exp(15.807 - 6350/TA) \quad (9-16)$$



$$WK = AWC/FC \quad (9-17)$$

여기서, TA = Kelvin 온도, AWC = 평균수분체적함량, FC = 포장용수량 ( $\text{mm}^3/\text{mm}^3$ )이다.

### 3) 작물흡수량

근근역에서 작물에 의한 흡수는 질산염의 감소에 가장 중요한 기작이다. 좋은 기상 조건과 경작조건에서는, 대부분의 근근역내 질산염은 작물에 의해 흡수된다. 논벼에 의한 작물흡수량은 생육시기 중 초기에는 작은 값이나 점차 증가하여 생장이 가장 왕성한 시기에 최대를 보이므로, S자 형태의 평균확률곡선을 보인다. 작물흡수량은 다음과 같다.

$$UN = (PUN - PPUN) \times PU \times TR \quad (9-18)$$

여기서, UN = 작물 질소흡수량 (kg/ha), PUN = T일동안 작물의 잠재 질소흡수량, PPUN = 이전단계의 질소흡수량, PU = 작물의 연간 잠재 질소흡수량 (kg/ha), TR = 실제증산량과 잠재증산량의 비이다.

잠재 질소흡수량 (PUN)은 다음과 같다.

$$PUN = 1 - 1/2(S)^{-4} \quad (9-19)$$

$$S = 1.0 + 0.196854X + 0.115194X^2 + 0.000344X^3 + 0.01957X^4 \quad (9-20)$$

$$X = (T - M) / SD \quad (9-21)$$

여기서, M = 연간흡수량의 50% 흡수에 필요한 일수, SD = 50% ~ 84% 까지의 흡수에 필요한 일수이다.

#### 4) 질소 침투량

근균역 이하로의 질소침투량은 근균역으로부터의 침투수량에 근균역내의 질소량을 곱한 값이다.

$$NL = NO_3 \times PERC / (PERC + RZC) \quad (9-22)$$

여기서, NL = 질소침투량 (kg/ha), RZC = 근균역내의 잔류수량,  $NO_3$  = 근균역내의 질소량 (kg/ha), PERC = 침투수량 (mm)이다.

#### 5) 탈질량

토양의 혐기성 상태에서는 질산염이 질소가스로 변화하여 대기중으로 환원한다. 이와 같은 탈질 기작은 유기탄소, 온도 그리고 수분의 일차반응식으로 나타난다. 토양내의 탄소량은 유기질량으로부터 계산되며 다음식과 같다.

$$SC = OM / 0.1724 \quad (9-23)$$

여기서, SC = 토양 1g당 탄소량 (mg), OM = 유기질량 (%)이다.

35°C에서의 비례상수 DK는 다음 식과 같다.

$$DK = 24 \times (0.011 \times SC + 0.0025) \quad (9-24)$$

여기서, DK = 비례상수 ( $day^{-1}$ )이다.

온도에 대해 보정한 비례상수 (DKT)는 다음과 같다.

$$DKT = \exp(0.0693 \times ATP + DB) \quad (9-25)$$

$$DB = \ln DK - 2.4255 \quad (9-26)$$

여기서, ATP = 평균온도이다.

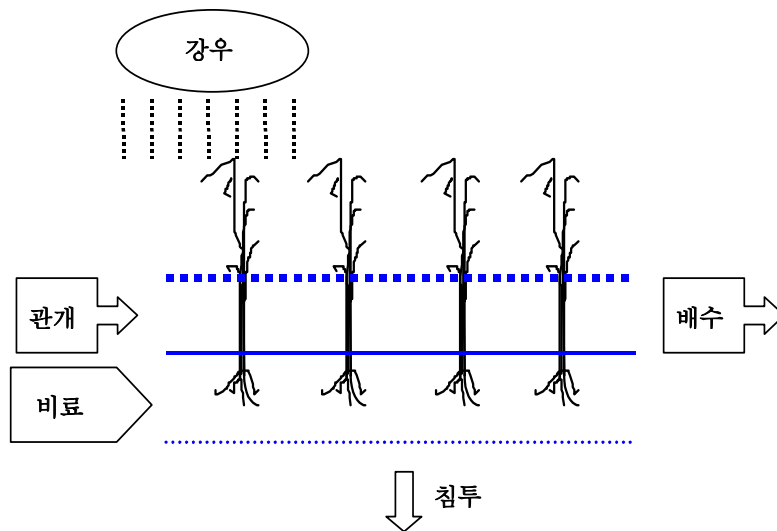
탈질량 (DNI)는 다음과 같다.

$$DNI = NO_3 \times (1.0 - \exp(-DKT \times (DT - 0.5))) \quad (9-27)$$

여기서,  $NO_3$  = 근구역내의 질산염량 (kg/ha), DT = 계산일수이다.

#### 다. 논에서의 인수지

논에서의 인 수지는 (그림 9-7)과 같다. (그림 9-7)에서와 같이 논으로 들어오는 인은 시비량, 강수량, 관개량 등이며, 논에서 나오거나 소모되는 것은 침투, 지표배출 등이다. 인은 질소성분과는 달리 여타의 화학적, 생물학적 반응이 중요한 순환기작이 아니고, 토양에 흡착되거나, 유출수와 함께 배출된다. 따라서, 논의 담수농도의 변화만을 고려한다.



(그림 9-7) 논에서의 인 입출력

지표 1cm의 표토로부터 용출되는 수용성 인량 (ROP)와 침투 인량 (DWP)는 다음과 같이 계산된다.

$$ROP = \overline{C_p} \times EXKP \times PDEPTH \times 0.01 \quad (9-28)$$

$$DWP = \overline{C_{p1}} \times EXKP_1 \times F \times 0.01 \quad (9-29)$$

여기서,  $\overline{C_p}$ ,  $\overline{C_{p1}}$  = 담수층의 평균농도, 침투층의 평균농도, EXKP, EXKP<sub>1</sub> = 추출 계수이다.

인의 추출계수 (EXKP, EXKP<sub>1</sub>), 초기 토양 속의 인량 (SOLP), 그리고 시비량으로부터 추정된다 (진영민, 1998).

#### 라. 토양유실과 흡착물질 손실

CREAMS-PADDY 모델에서는 논으로부터 토양유실량과 토양에 흡착된 질소, 인의 양은 CREAMS 모델을 이용하여 추정한다. 그런데, 논은 담수상태이고, 경사도가 없는 수평 상태의 저류 조건이므로, 토양유실량이 밭이나 경사지에 비하여 현저히 적다. 따라서, 흡착성 염류의 손실량은 매우 작은 값으로 무시할 수 있다 (진영민, 1998).

### 3. CREAMS-PADDY 모델의 검정

#### 가. 시험포장과 수질자료

CREAMS-PADDY 모델의 검정을 위하여 시험포장을 선정하여 논벼의 재배기간 중의 영농조건을 조사하고, 담수심의 측정과 논물에 대한 수질분석을 실시하였다. 시험포장은 경기도 수원시에 위치한 서울대학교 농업생명과학대학 농장내에 위치한 4개 시험구를 택하였으며, 각 시험구는 10×20 m로서 200 m<sup>2</sup>이다. 논외 물질순환시험포장은 못자리 2시험구 (NU-1, NU-2), 본답 3개 시험구 (PF-1, PF-2, PF-3)등으로 구성되었으며, 그 위치도는 (그림 9-8)에서와 같다.

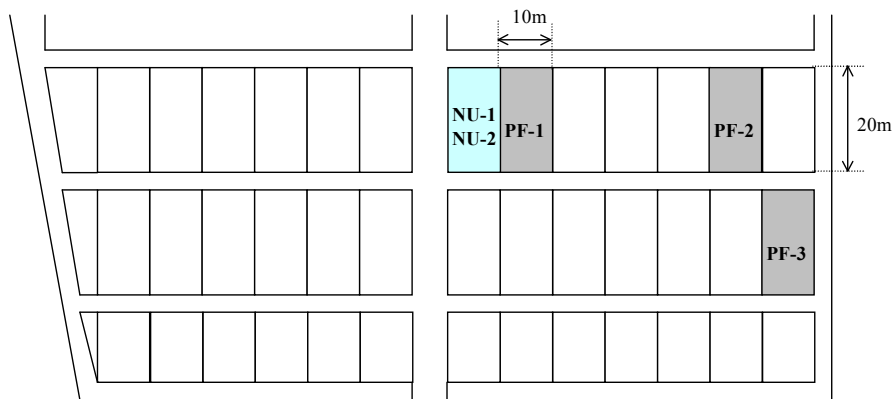
논외 물질순환조사는 1996년 4월 25일부터 9월 10일까지 120일로 하였으며, 공시품종은 화성벼이고, 이앙상자에 파종한 후 4월25일에 못자리를 설치하고, 5월26일에 본답 이앙을 실시하였으며, 9월 10일에 단수하였다. 그 밖의 내용은 농촌진흥청의 논벼

의 표준영농법에 따랐다 (진영민, 1998).

못자리기간과 본답기간의 수질조사는 주 3회에 걸쳐 각 포장별로 현장조사와 수질 샘플링을 실시하고, 실험실에서 수질분석을 하였다. 수질측정항목별 분석방법은 <표 9-3>에서와 같았다.

포장별 수질분석의 결과는 <표 9-4>에서와 같다. 포장별 수질항목별 평균은 모내기 기간중 pH는 7.7정도 였으며, DO는 8.4~9.0 mg/L 이고, TN은 2.2~9.8 mg/L, TP는 0.3~0.6 mg/L 의 범위였다. 본답기의 pH는 7.63으로 모내기 기간과 큰 차이가 없었으며, DO는 6.1~8.0 mg/L 의 범위이고, TN은 2.3~4.9 mg/L (평균 3.46 mg/L), TP는 0.3~0.6 mg/L (평균 0.38 mg/L)의 범위를 나타냈다. 여기서, 논물의 총인의 평균 농도는 총질소의 11% 정도로서 약 1/10배를 나타냈다.

한편, 시험기간 동안의 강우 수질분석 결과는 pH는 3.75~5.94 (평균 4.67)로 산성을 띄고 있었으며, 총질소는 0.16~4.20 mg/L (평균 2.48 mg/L), 총인은 검출되지 않거나 최대 0.47 mg/L, 평균 0.16 mg/L 였다.



(그림 9-8) 시험포장 구성도

### 나. 토양 잔존질소량

논의 수질환경조사와 함께 토양 중 잔존 질소량의 변화를 고찰하기 위해, 시험포장의 토양시료를 깊이에 따라 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~90 cm의 4개 구간으로 나누어 시료를 채취하고, 토양환경조사법에 의거 실험실에서 토층별 잔존질소량을 조사하였다. 조사결과, 시험포장의 토양 잔존질소량은 표토층인 0~20 cm를 제외하고는 거의 변화가 없었는데, 표토층에서는 초기에는 질산태 질소가 낮은 값을 보이다가 점차 증가한 후 7월 중순이후에는 감소하였다. 또한, 본답기의 표토층의 암모니아태 질소 농도는 초기에는 높다가 온도가 높아짐에 따라 감소하였는데, 질산화과정 등이 주요 원인으로 생각된다 (진영민, 1998).

<표 9-3> 측정항목별 수질분석 방법

구 분	성 분	분 석 방 법	비 고
pH, DO, 온도	pH, DO, 수온	pH meter, DO meter, 온도계	현장 측정
질소	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N T-N	Ion chromatography Kjeldahl method Kjeldahl distillation	실험실 분석
인	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> & HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P T-P	Ion chromatography Ascorbic acid reduction method	실험실 분석

<표 9-4> 시험포장의 측점별 수질분석 결과

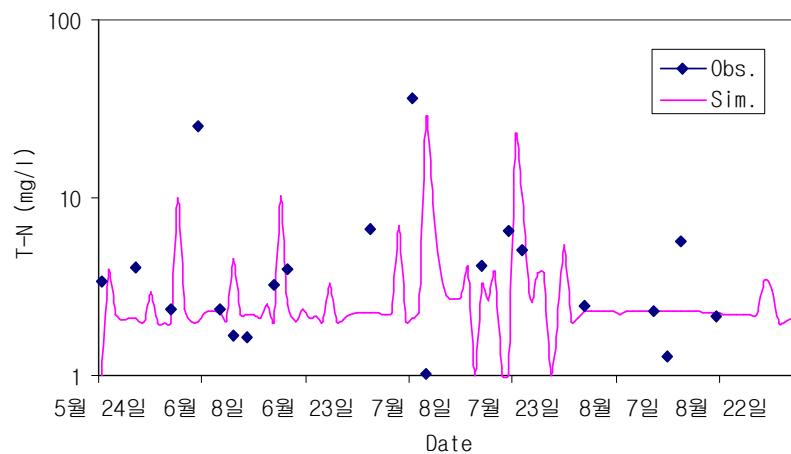
포장	측정기간 (측점수)	구 분	pH	DO	T-N	T-P	비 고
					(mg/L)		
NU-1	96/4~96/5 (11)	최대/최소	8.92/6.84	10.40/5.50	10.24/1.00	2.61/0.17	못 자 리
		평균	7.65	8.40	2.20	0.59	
		표준편차	0.69	1.99	2.84	0.79	
NU-2	96/4~96/5 (11)	최대/최소	9.39/6.84	12.20/5.50	45.40/1.12	0.48/0.15	
		평균	7.75	9.03	9.68	0.28	
		표준편차	0.83	2.57	15.69	0.12	
PF-1	96/5~96/9 (31)	최대/최소	9.53/6.54	14.03/4.29	35.84/0.28	0.75/0.05	
		평균	7.74	8.04	4.87	0.28	
		표준편차	1.00	2.68	8.07	0.17	
PF-2	96/5~96/9 (16)	최대/최소	9.49/6.85	12.60/2.50	7.88/0.72	2.51/0.06	분 답 기
		평균	7.63	7.43	3.23	0.55	
		표준편차	0.73	2.49	2.18	0.63	
PF-3	96/5~96/9 (19)	최대/최소	9.65/6.61	11.70/2.95	3.86/0.44	0.49/0.04	
		평균	7.52	6.13	2.27	0.31	
		표준편차	0.83	2.56	1.14	0.13	

#### 다. CREAMS-PADDY 모델의 검증

CREAMS-PADDY 모델을 이용하여 시험포장의 일별 수질변화를 모의하고, 포장자료와 비교한 결과는 (그림 9-9)와 (그림 9-10)과 같았다. (그림 9-9)는 논물의 총질소 농도의 모의결과와 실측결과를 나타내고 있는데, 대체적으로 양호한 결과를 나타내고 있다. 시험포장의 일별 총질소 농도는 평균 4.02 mg/L 이었으며, 모의결과는 3.47 mg/L로서 근사한 결과를 나타냈으며, 이들 간의 상관관계는 상관계수  $r=0.98$ 로 고도의 유의성이 인정되었다.

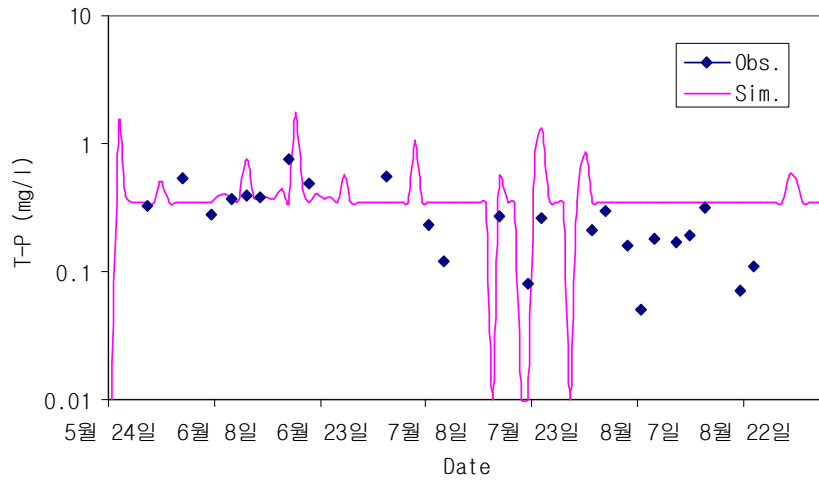
(그림 9-10)의 총인 농도의 경우에도 모의결과와 실측치가 유사한 변화를 나타냈으며, 일별 실측 총인 농도는 평균 0.26 mg/L 이고, 모의결과는 0.37 mg/L 를 나타내었으며, 측정치와 모의결과의 상관성은  $r=0.62$ 로 유의성이 있었다.

이상의 결과로부터 CREAMS-PADDY 모델은 논외 담수 농도를 비교적 잘 모의할 수 있음을 알 수 있고, 따라서, 이를 이용하여 논에서의 수질변화를 추정하고, 포장배수량으로부터 오염물질 부하량의 추정에 적용할 수 있는 것으로 판단된다.



(그림 9-9) 담수상태의 질소농도 비교





(그림 9-10) 담수상태의 인농도 비교

#### 4. 새만금유역 농경지의 오염물질 부하량 모의

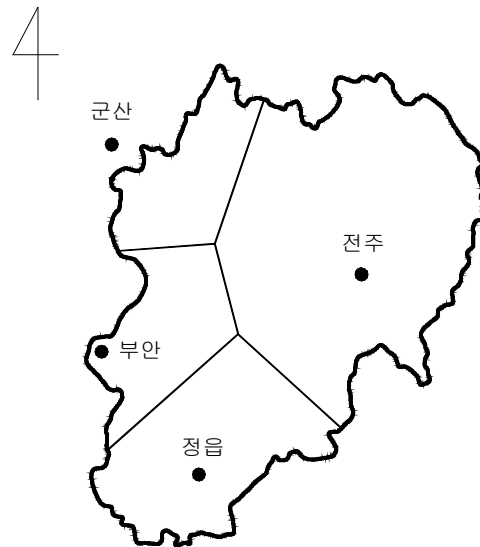
##### 가. 기준측후소와 기상자료

새만금 유역의 기상수문관측망은 기상청 산하 4개소의 기상관측소 (전주, 군산, 부안, 정읍)가 위치하며, 건설교통부(이하 건교부) 산하의 영산강홍수통제소 관할 14개소의 강우관측소 (만경강 유역 8개소, 동진강 유역 6개소), 그리고 한국농촌공사 새만금사업단에서 4개소의 일반 기상관측을 실시하고 있다.

본 연구에서는 강우관측기간 및 자료의 연속성이 우수한 기상청 관측소인 군산, 전주, 부안, 정읍 등 4개 측정점을 기준 측후소로 선정하였으며, Thiessen망을 작도한 결과는 (그림 9-11)과 같으며, <표 9-15>는 각 기상측후소별 새만금유역의 지배면적을 나타내고 있다.

새만금 유역의 농경지 오염부하량에 영향을 미치는 기상인자는 농경지의 일별 증발산량을 좌우하는 온도, 상대습도, 일조시간, 태양복사열, 풍속 등과 강수량 등이다. 증발산량 등은 연도별 변화가 크지 않다. 그러나, 강수량은 연도별로 심한 편차를 나타내며, 따라서, 장기간의 기상자료로부터 관개수량과 유출량을 산정하고, 그 통계적 특성을 감안하여 추정하는 것이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 농경지 오염부하량을

1995~2004년의 10개년 일별 기상자료로부터 모의하고, 그 연도별 변화를 고찰하며, 그 결과로부터 연평균 부하량을 추정하였다.



(그림 9-11) 새만금 유역의 Thiessen망

<표 9-5> 새만금유역 기상측후소별 지배면적

측후소	지배면적(km <sup>2</sup> )	면적비중	비 고
군산기상대	378.99	0.138	
전주기상대	1380.28	0.501	
정읍관측소	612.84	0.222	
부안관측소	382.56	0.139	
유역전체	2754.67	1.000	

#### 나. CREAMS-PADDY 모델을 이용한 논외 오염부하량

##### 1) 경종조건

새만금 유역은 김제평야를 포함하며, 일찍부터 관개사업을 실시하여 유역의 대부분의 논에

서는 관개를 실시하고 있다. 새만금 유역의 논 시비방법은 기비와 추비로 나누어 이루어지며, 농촌진흥청의 조사결과에 따른 평균 시비량은 <표 9-9>에서와 같다.

<표 9-9> 새만금 논 표준영농 시비방법 (단위: kg/ha)

시비	시기	질소(N)	인산(P)
기비	이앙전 5/20	55	45
추비	분얼비 6/1	55	0
	수비(이삭비) 7/25	59	0
계		169	45

\*농업기술원(1999)

## 2) 입력자료

새만금유역의 논 경종방법별로 CREAMS-PADDY 모델의 입력자료는 <표 9-10>에서와 같다. 한편, 대표포장의 크기는 경지정리시 표준구획으로 적용되는 50m×100m를 설정하였다.

<표 9-10> CREAMS-PADDY 모델의 입력자료

구 분	값	비 고
면적 (ha)	0.5	
평균경사 (%)	0.001	
근균역 (inch)	36	
토 양	실트질 점토	
수 문 변 수	논에서의 물수지이용	
공 극 율 (%)	0.51	
시비 (N-P) (kg/ha)	기비(5/20) : 55-45 추비(6/1) : 55-0 추비(7/25) : 59-0	

\*농업기술원(1999)

### 3) 모의결과

CREAMS-PADDY 모델을 이용하여 새만금 유역의 1995년~2004년의 연도별 유출, 영양물질 유실량을 정리하면 <표 9-11>에서와 같다.

논의 유출량 추정결과는 연평균 611 mm로서 벼 재배기간 강수량의 71%를 나타냈는데, 그 이유는 새만금 유역의 강수량은 5월~9월 중에 전체의 약 65%가 내리기 때문에, 10월부터 익년 4월의 건기 동안의 유출량이 크지 않는 데 기인한다.

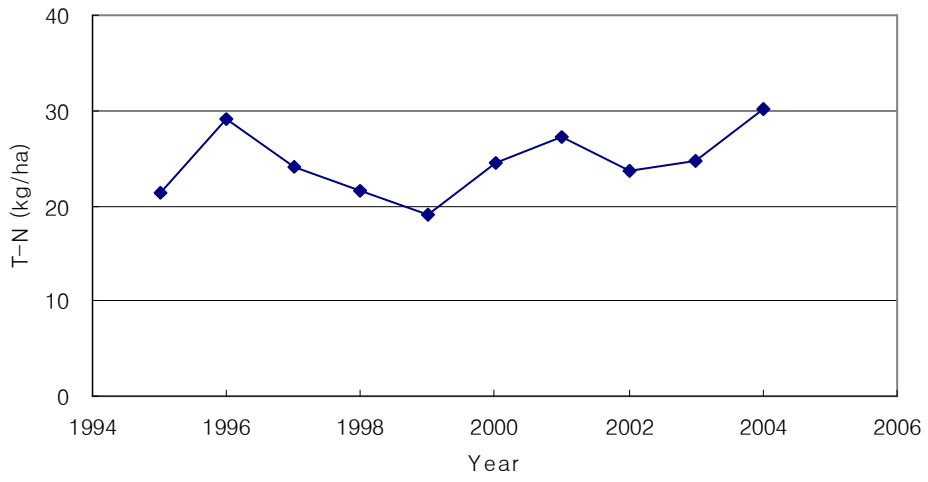
논으로부터 영양물질 유실량 모의결과는 총질소는 연평균 24.54 kg/ha이고, 총인은 1.06 kg/ha이었다. (그림 9-12)에서 볼 수 있듯이, 총질소 부하량의 연도별 변화를 살펴보면 2004년 30.20 kg/ha로 최대값을 보였으며, 1999년은 19.08 kg/ha로 최소값을 나타냈고, 그 표준편차는 3.51 kg/ha로 나타났다.

총인의 부하량 추정결과는 (그림 9-13)과 같다. 2002년에 1.21 kg/ha으로 최대, 1999년은 0.89 kg/ha으로 최소를 보였고, 표준편차는 0.09 kg/ha이었다.

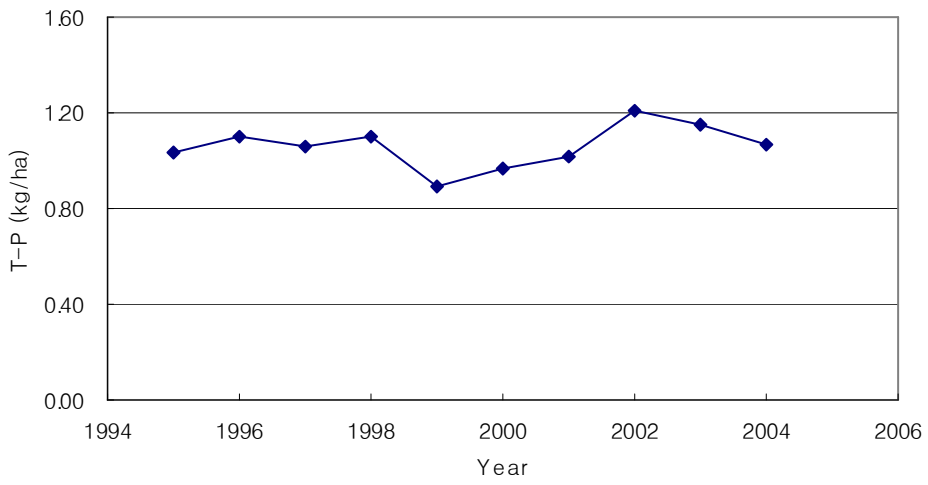
(그림 9-14)과 (그림 9-15)는 1997년과 2002년도에의 결과를 도식적으로 나타낸 것으로, 연단위 강수량, 관개량, 유출량, 담수심에 따른 총질소와 총인의 변화를 보여주고 있다.

<표 9-11> 새만금 유역 논에의 CREAMS-PADDY 모델 모의 결과 자료 (단위 : kg/ha)

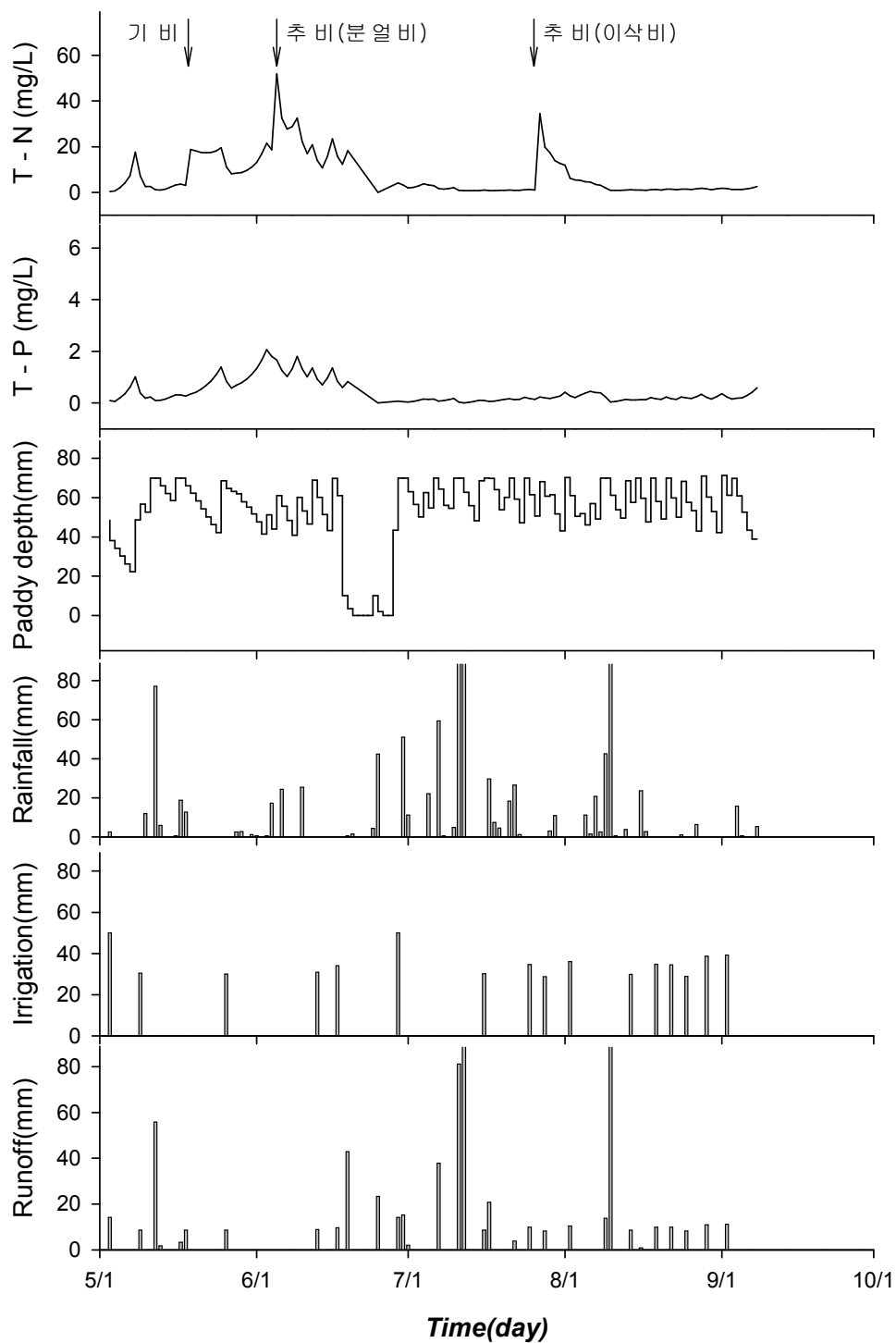
년도 (year)	연강우량 (mm)	재배기간중강우량 (mm)	유출량 (mm)	T-N (kg/ha)	T-P (kg/ha)	비고
1995	884	619	509	21.33	1.03	
1996	1146	719	494	29.14	1.10	
1997	1425	993	707	24.10	1.06	
1998	1666	976	633	21.51	1.10	
1999	1347	692	508	19.08	0.89	
2000	1452	1074	811	24.55	0.97	
2001	969	578	433	27.23	1.02	
2002	1174	742	533	23.61	1.21	
2003	1808	1268	708	24.62	1.15	
2004	1395	979	771	30.20	1.07	
평균	1327	864	611	24.54	1.06	



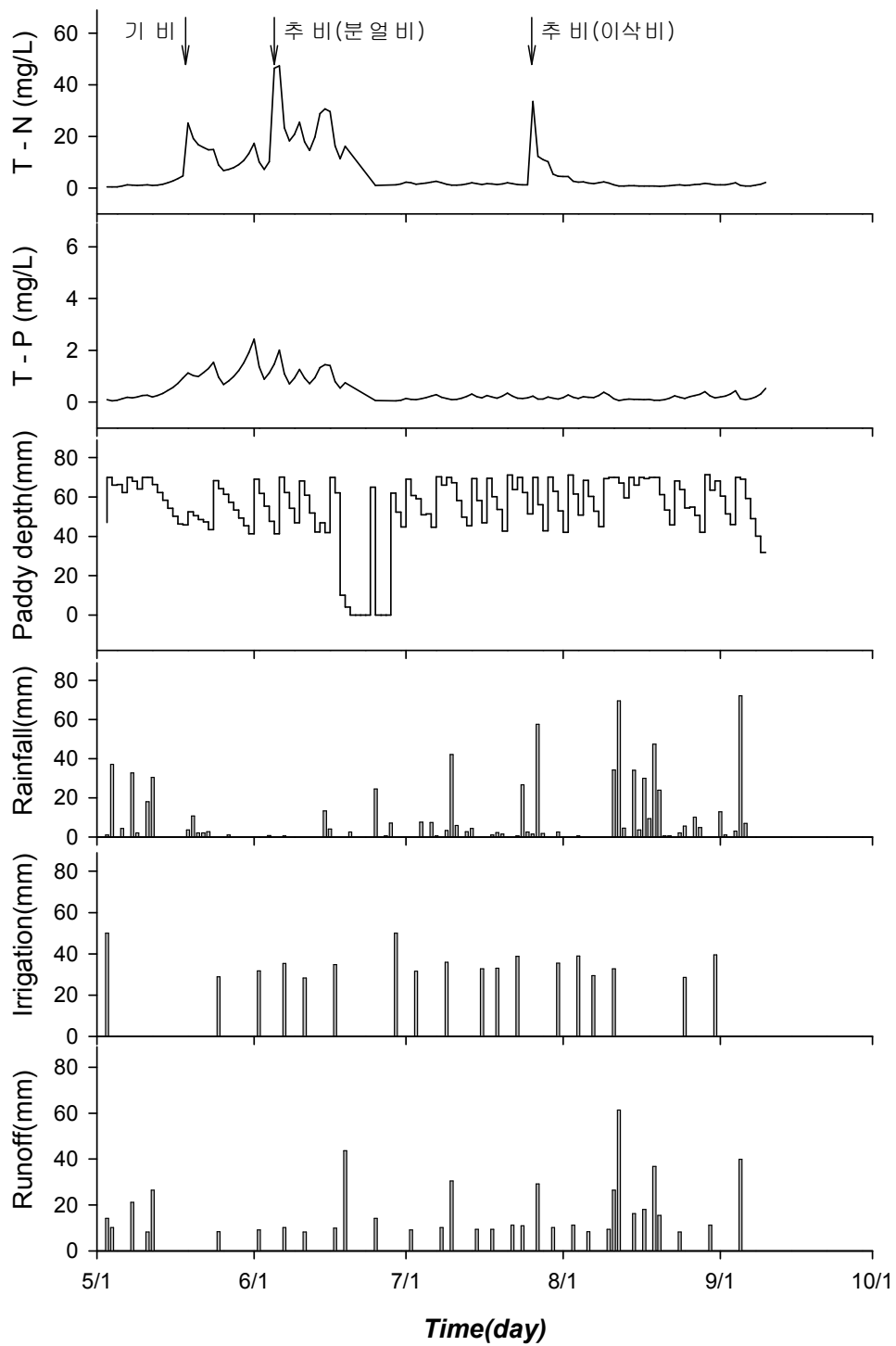
(그림 9-12) CREAMS-PADDY 결과(TN) (1997년)



(그림 9-13) CREAMS-PADDY 결과(TP) (1997년)



(그림 9-14) CREAMS-PADDY 결과(1997년)



(그림 9-15) CREAMS-PADY 결과(2002년)

#### 4) 기존 원단위 오염물질 부하량자료와의 비교

이상에서 1995~2004년의 10개년간 기상조건에 따른 새만금유역의 농경지 오염물질 부하량 모의결과와 기존의 원단위 부하량을 비교하면 다음과 같다.

<표 9-12>는 논외의 원단위 오염부하량 자료를 비교한 결과이다. 논외의 경우, 총질소에 대하여 농어촌연구원 (1998)에서는 새만금 유역의 논외의 원단위를  $1.32 \text{ kg/km}^2/\text{일}$ 로 보고하였다. 환경부 (1999)의 농경지 원단위 부하량은 논외는  $6.56 \text{ kg/km}^2/\text{일}$ 로 조사되었다.

본 연구의 결과에서는  $6.72 \text{ kg/km}^2/\text{일}$ 로 모의되었으며, 그 값과 기존의 원단위 자료를 비교하면 총질소에서는 본 연구의 결과는 환경부(1999)의 자료와 비슷한 값을 보인다. 반면, 총인외의 경우는 본 연구의 결과가 여타 자료보다 작은 값을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 농진공 (1998)과 국립환경연구원 (1999) 등의 자료가 일부 지역의 단기간의 자료를 바탕으로 하고 있는 데 기인하는 것으로 보여진다. 농진공 (1998)은 1998년의 논외 생육기간중의 수질샘플링 결과를 바탕으로 하고 있으며, 총질소 대비 총인외의 원단위값이 60% 정도로 지나치게 큰 값을 보인다. 외국의 농경지 오염부하량을 살펴보면 총인외의 값이 1/10이하의 값을 보이는 경우가 대부분임을 감안할 때, 샘플링 지역의 특수성에 기인하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 예를 들어, 국내외 원단위 평균을 근거로 하고 있는 국립환경연구원 (1999)에서는 총질소 대비 총인외의 부하량이 1/10정도를 보이고 있음에도 이와 같은 특이성을 살펴볼 수 있다. 또한, 앞서 시험포장의 논외의 수질분석 결과에서도 총인외의 농도는 총질소의 1/10정도임을 감안할 때, 논외에서의 부하량 중 총인외량이 총질소의 2/3정도가 되는 경우는 특이한 값을 알 수 있다.

총인외의 부하량은 용해성보다는 토사에 정착되어 유실되는 경우가 대부분을 차지한다. 그런데, 담수상태의 논외에서는 밭의 토양유실량에 비교하여 상대적으로 작은 값을 보인다. 이러한 조건에서 논외로부터 총인외의 부하량은 대부분 용해성으로 구성된다. 따라서, 본 연구의 결과에서 나타난 바와 같이 총질소 대비 총인외의 원단위 부하량이 약 1/20로 나타난 것이 오히려 자연스러운 것이라고 생각된다.

특히, 본 연구의 결과는 10개년의 오염부하량을 평균한 결과로서, 새만금 유역의 기상수문환경에 대한 오염부하량으로 적용성이 있을 것으로 생각된다.



<표 9-12> 논외 원단위 오염부하량 산정결과 및 기존자료와의 비교

조사 기관	총질소 (TN)		총인 (TP)		비 고
	원단위 (kg/km <sup>2</sup> /일)	백분율 (%)	원단위 (kg/km <sup>2</sup> /일)	백분율 (%)	
농진공 (1998)	1.32	20	0.78	269	새만금수질예측 및 대책(안)
전북대 (1998)	1.57	23	0.62	214	새만금유역의 비점원오염원 관리대책수립
국립환경연 (1999)	6.56	98	0.61	210	오염총량관리계획 수립지침(안)
본 연구 결과	6.72	100	0.29	100	CREAMS-PADDY 모델(10개년 평균)

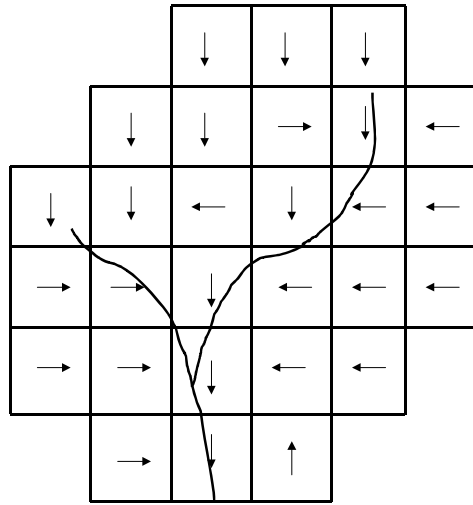
## 제 2 절 AGNPS 모델을 이용한 농경지 오염배출량 모의

### 1. AGNPS-P 모델의 개발

#### 가. AGNPS 모델

미국 미네소타주의 오염조절국 (Minnesota Pollution Control Agency, MPCA)에서는 비점오염 최적관리를 위하여 통일된 추정방법 개발의 필요성에 부응하여, 미국 농무성의 자연자원보전처와 농업연구처 등과 함께 유역규모의 유출, 유사량, 영양염류의 손실량 추정 모델의 개발에 참여하였다. 그 결과로부터 소위 농업비점오염 모델 (agricultural non-point source pollution model, AGNPS)을 개발하였다.

AGNPS 모델은 폭우사상, 물리적 매개변수 모델로서 cell이라고 부르는 정방형격자의 요소들로서 유역을 구분하고, 각 cell의 경사방향에 따라 흐름방향(flow direction)을 구하고, 지표월류와 하천을 통해 유역의 출구로 유출되는 유량, 토양유실, 비료와 농약 유실량을 추적할 수 있도록 구성되었다. (그림 9-17)은 AGNPS 모델의 cell 구분과 흐름방향 예를 나타낸 것이다.



(그림 9-16) AGNPS 모델의 cell 구분과 흐름방향

AGNPS 모델의 수문, 토양유실, 농업화학물질 부모모델을 정리하면 다음과 같다.

### 1) 유출과 침투유량

AGNPS 모델의 유출량은 CREAMS 모델에서와 같이 SCS의 유효우량식으로부터 산정된다. 또한, 유사운송량의 산정을 위한 유속은 다음식의 침투유량으로부터 추정한다.

$$Q_p = 8.484 \times A^{0.7} \times S_c^{0.159} \times R_F^{(0.824 \times A^{0.0166})} \times \left(\frac{L_c^2}{A} \times 43560\right)^{-0.187} \quad (9-30)$$

여기서,  $Q_p$  = 침투유량 ( $m^3/s$ ),  $A$  = 배수면적 ( $km^2$ ),  $S_c$  = 하천경사 ( $m/km$ ),  $RF$  = 유출량 ( $mm$ ),  $L_c$  = 하천연장 ( $km$ )이다.

### 2) 토양유실과 운송

각 cell의 토양유실량은 USLE의 연평균 토양유실량식에 경사형상 수정계수를 곱하여 구한다. 즉,

$$E = EI \times K_s \times C \times LS \times P \times SF \quad (9-31)$$

여기서, E = 폭우사상의 유실량(ton), EI = 폭우사상의 강우인자(m-Mg/ha-cm), K<sub>s</sub> = 토양침식능인자, C = 작물경종계수, LS = 경사 인자, P = 보전영농법 인자, SF = 경사의 형상계수 등이다.

토양유실량 중 하류로 운송되는 양은 상류로부터 유입 유사량과 cell의 유실량의 합과 운송력을 비교하여 작은 값을 취하는 데, 유사량은 다음식으로부터 산정된다.

$$Q_s(x) = Q_s(o) + Q_{s1} \Delta x / L_r - W \times \Delta x / 2 \times (D(o) + D(x)) \quad (9-32)$$

여기서, Q<sub>s</sub> = 유사량, o/x = 상류유입cell/현재의 cell, Δx = cell 경사장의 길이, L<sub>r</sub> = 유로장의 길이, W = 수로폭, D = 퇴적량이다.

또한, 유사운송중의 입경분포를 추정함으로서, 토양 종류에 따른 농업화학물질의 운송량을 추정할 수 있도록 하였다.

### 3) 농업화학물질

AGNPS 모델에서는 총질소, 총인, COD등 농업화학물질의 유실과 운송을 고려하는데, 그 부하량은 CREAMS 모델에서와 같이 표토 1 cm의 유효성분량을 고려하여, 용해성 유실량과 토립자에 정착되어 유실되는 양을 구분하고, 토립자 정착 성분량은 유사운송과정 중 퇴적 등에 따라 소거되거나, 부유량인자(enrichment factor)를 감안하여 운송량을 추정한다.

### 4) 점원 오염물질의 부하량

유역내의 점원 오염이나 축산분뇨 등의 부하량은 입력자료로서 처리하여, 하류로 운송기작을 고려하여 유역의 배출량을 산정하도록 하고 있다.

## 5) 테라스 저수로 인한 영향

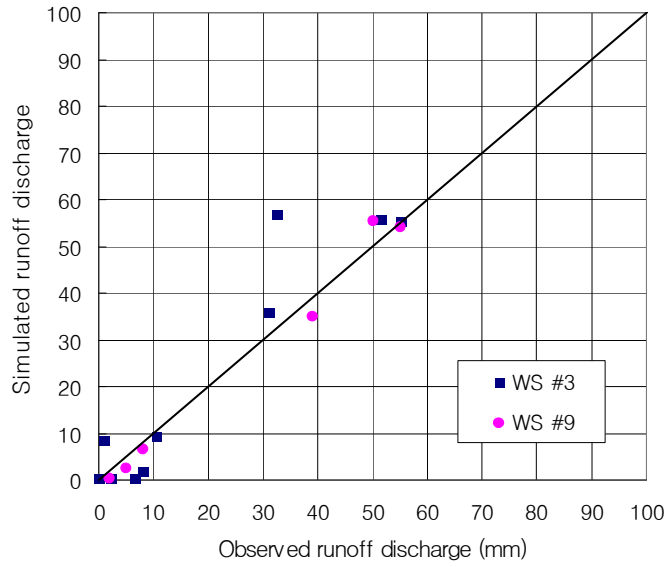
농경지의 테라스로 유입되는 토사량은 상당량이 침전되는 데, AGNPS 모델에서는 테라스 저류지의 수문기작을 고려하여, 유입토사량의 침전을 산정하고, 이때 비료물질의 삭감을 산정하도록 하고 있다.

### 나. AGNPS 모델의 적용

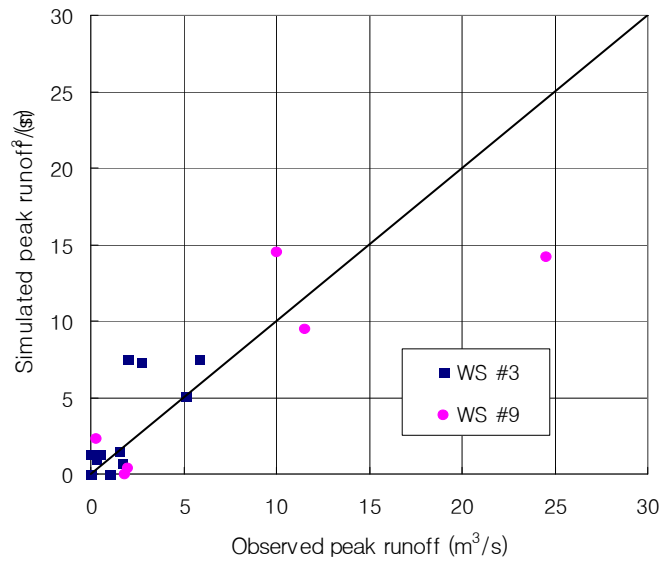
김진택·박승우 (1997)는 유역규모에서의 AGNPS 모델의 검정을 실시하였다. 반월 시험유역의 수문, 수질모니터링 자료에 대한 폭우사상별 오염물질 배출량을 AGNPS 모델을 이용하여 추정한 결과, (그림 9-17), (그림 9-18)에서와 같이 유출과 침투유량은 실측치와 근사한 값을 나타냈다. (그림 9-19)과 (그림 9-20)은 총질소, 총인의 배출량의 추정 결과이다.

조재필 (1998)은 AGNPS 모델을 비정형격자망에 적용이 가능하도록 수정하여 경기도 화성군 발안저수지 유역에 대하여 적용하였으며, 유출량과 침투유량의 추정오차는 각각 6.03%, 9.21%, 총질소와 총인의 추정오차는 63%, 26%로 모델의 적용성을 평가 분석하였다.

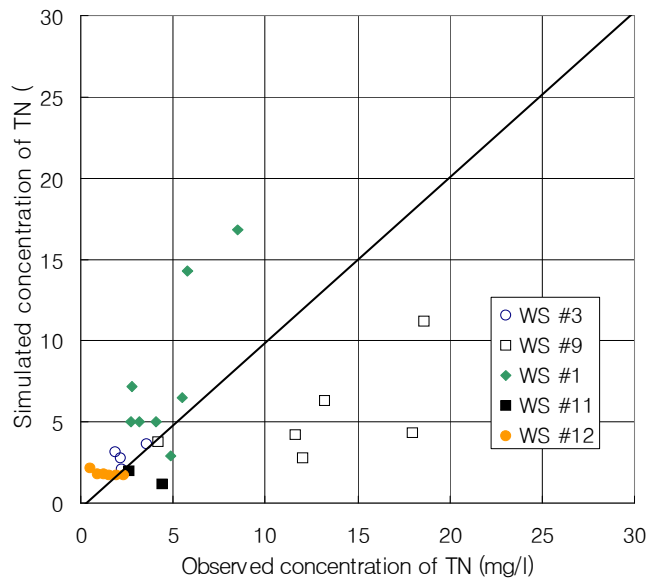
이상의 결과로부터 AGNPS 모델은 유역의 비점오염 추정에 적용이 가능한 것으로 나타났다.



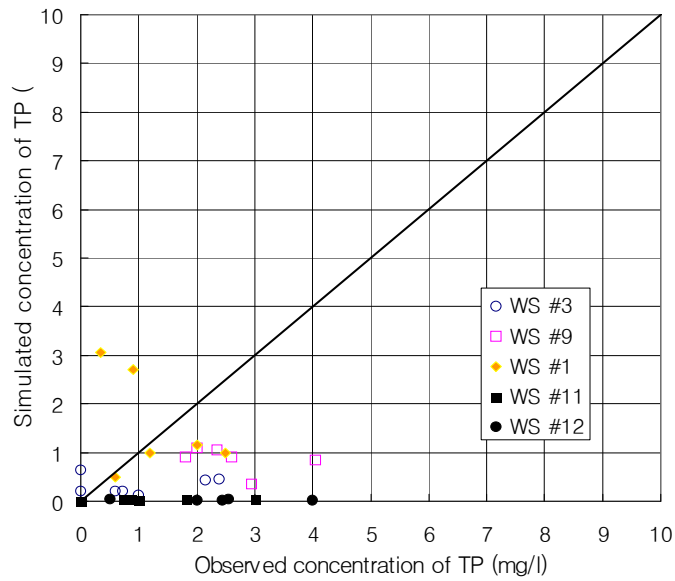
(그림 9-17) 반월유역의 유출량에 대한 실측치와 추정치의 비교



(그림 9-18) 반월유역의 첨두유량에 대한 실측치와 추정치의 비교



(그림 9-19) 반월유역의 총질소에 대한 실측치와 추정치의 비교



(그림 9-20) 반월유역의 총인에 대한 실측치와 추정치의 비교

#### 다. AGNPS-P 모델의 개발

CREAMS 모델에서 고찰한 바와 같이, AGNPS 모델은 논에서의 토양과 비료물질

의 유실과 운송을 고려하는 데는 한계가 있다. 이와 같은 한계는 이들 모델이 개발된 환경에서는 관개 논을 고려할 필요가 없는 데 있다. AGNPS 모델을 경기도 화성군 반월저수지 유역 (김진택과 박승우, 1997)과 발안저수지유역 (조재필, 1998) 등에 적용한 결과도 수문해석은 가능하나, 영양물질 유실량에서는 그 추정오차가 큰 경우가 발표되었는 데, 이는 논외 물질수지를 고려하는 데 한계가 있기 때문이다.

본 연구에서는 AGNPS 모델을 논에 적용하기 위해서 영양물질 부하량을 용해성과 유사 점착성 부하량으로 구분하였다. 유사 점착 유실량은 AGNPS 모델의 기작을 적용하고, 용해성 부하량은 논외 유출량과 영양물질의 농도로부터 다음과 같이 추정하였다.

$$LO_{sol} = Q \times LO_{con} \quad (9-33)$$

여기서,  $LO_{sol}$  = TN, TP의 부하량,  $Q$  = 유출량,  $LO_{con}$  = 논외의 TN, TP농도이다.  $LO_{con}$ 의 값은 생육시기별로 변화하므로, 실측자료나 추정자료로부터 입력자료를 제공하도록 하였다.

식 (9-33)의  $LO$ 는 CREAMS-PADDY 모델로부터 얻어지는 논외 물질의 일별 총질소, 총인 농도를 입력파일을 얻어, AGNPS 모델에서 활용이 가능하도록 AGNPS 모델을 수정하여 AGNPS-P 모델을 개발하였다.

AGNPS-P 모델에서는 논 cell의 경우, CREAMS-PADDY 모델의 출력을 이용하여 논외의 농도로 하고, cell의 유출량에 그 농도를 곱하여 부하량을 추정하도록 하였다. 토사 점착성 영양염류의 경우는 AGNPS 모델의 기작을 적용하였다.

## 2. AGNPS-P 모델을 이용한 농경지 오염배출량 추정

AGNPS-P 모델은 CREAMS 모델과 동일한 영양염류의 cell 부하량을 모의하므로, 폭우사상별 농경지 cell의 부하량도 동일한 값을 얻을 수 있다. 2개 이상의 cell을 갖는 유역규모에 대한 모델의 적용결과는 부하량에서는 동일하나, 물질운송의 결과에서 차

이를 갖을 수 있다. 그러나, CREAMS 모델은 포장단위 모델로서 상호 비교가 불가능하다. 다만, AGNPS 모델의 시험구역의 적용결과를 바탕으로 그 적용성이 평가되었다고 할 때, AGNPS-P 모델을 이용하여 농업구역의 비점오염 배출량의 추정이 가능하다고 생각된다.

본 조사연구에서는 AGNPS-P 모델을 이용하여, (그림 9-21)와 같은 관개지구의 말단에서 폭우사상별 비점오염 배출량을 추정하고, 각 cell의 부하량과의 관계로부터 농경지에서의 오염물질의 순환기작에 의한 유달율을 산정하도록 하였다.

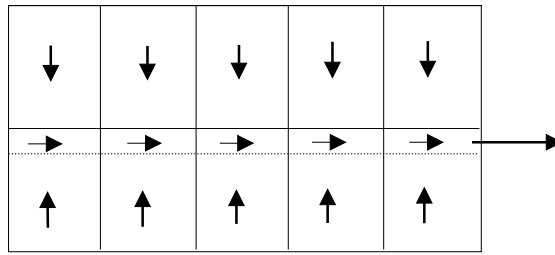
(그림 9-21)는 300 ha의 가상적인 관개지구로서, 각 포장으로부터 배수로를 통해 하류 하천으로 유입되는 특징을 나타내고 있다. cell의 크기는 30 ha이며, 각 cell의 유출수내 N농도 추정식은 식 (9-34)과 같으며, 용존 P 산정식은 강우중 P의 영향을 제외하고는 용존 N 추정식과 유사하다. AGNPS 모델의 순환기작을 통해 배수로의 유출수 농도를 산정하고, 그 배출량과 부하량과의 비를 유달율로 하였다.

$$RON = 0.01 \cdot C \cdot EXKN2 \cdot RO \quad (9-34)$$

여기서, RON = 유출수 내의 N농도, C = 유출중 표토의 용존 N농도, EXKN2 = 유출로의 용탈계수, RO = 총유출량 (mm)이다.

<표 9-13>는 AGNPS-P 모델을 이용하여, 폭우사상별로 부하량과 배출량을 모의한 결과이며, 부하량에 대한 배출량의 비로서 유달율을 산정하였다. <표 9-13>에서와 같이 TN의 평균 유달율은 89%, TP의 평균 유달율은 54%로 TN의 유달율에 비해 TP의 유달율이 현저히 작은 경향을 보이고 있다.





(그림 9-21) 300 ha의 임의의 관개지구

<표 9-13> 폭우사상별 부하량, 배출량 추정

강우량(mm)	TN (kg/ha)			TP( kg/ha)		
	부하량	배출량	유달율(%)	부하량	배출량	유달율(%)
25	0.20	0.16	80	0.04	0.02	50
50	1.21	1.08	89	0.13	0.07	54
75	2.60	2.42	93	0.19	0.10	53
100	4.19	3.99	95	0.25	0.15	60
평균	2.05	1.91	89	0.15	0.09	54

### 제 3 절 농경지 오염물질 부하량 추정

#### 1. 농경지 오염물질 부하량 추정조건

##### 가. 논외 오염물질 부하량 추정조건

새만금유역의 농경지로부터 부하량은 총인을 기준할 때, 총부하량의 약 1/4에 달하는 것으로 보고되고 있다 (환경부, 1999). 농경지로부터 오염물질의 배출량을 줄이기 위한 저감대책이 강구되어야 하며, 환경부 대책안에 따르면 시비량을 약 30%정도 절감하여 총 부하량을 줄여, 결과적으로 새만금호로 유입되는 농업비점오염물질의 감축을 달성하도록 하고 있다.

1999년 농업기술원의 조사결과에 따르면 새만금유역의 평균 시비량은 <표 9-14>에

서와 같이 성분량 기준으로 질소질 비료 169 kg/ha, 인 45 kg/ha등으로 나타났다. 이 양은 농촌진흥청의 논벼 표준시비량 질소질 비료 110 kg/ha, 인 70 kg/ha 등에 비하여 질소질은 표준시비량의 1.54배, 인은 0.64배로서 질소 비료는 표준 시비량보다 많았으나, 인산질 비료는 표준량보다 작은 값이었다.

<표 9-14> 새만금 논 표준영농 시비방법 (단위: kg/ha)

시비	시기	질소(N)	인산(P)
기비	이앙전 5/20	55	45
추비	분얼비 6/1	55	0
	수비(이삭비) 7/25	59	0
계		169	45

\*농업기술원(1999)

논에서의 오염물질 부하량 발생 과정은 <그림 9-6>, <그림 9-7>에서 살펴본 바와 같다. 영양염류는 논물에 녹은 상태이므로, 강우에 의한 유출수나 관개에 의하여 발생되는 배수량 등에 의하여 논으로부터 배수되며, 이 물은 배수로를 통하여 하천으로 흘러가게 된다. 이와 같은 논에서의 영양염류의 유실과정으로부터 시비량의 절감에 따른 논의 오염물질 배출량의 변화를 모의한다. 한편, 농업용수의 수질개선에 따른 오염물질 배출량의 변화를 알아보기 위해, 서울대학교에서 지속적으로 모니터링하고 있는 경기도 화성군 팔탄면의 기천저수지 일대 농업용수의 수질을 개선된 수질로 적용하여 모의한다. <표 9-14>~<표 9-16>는 논 시비량저감 및 관개수질에 따른 오염물질 배출량 모의를 위한 조건을 나타내고 있다.

<표 9-14> 논에서의 영양염류 부하량 추정조건

구 분	저감방안	상세 내용	비 고
시비관리	표준시비	표준시비량	
	P-01	10%절감	
	P-03	30%절감	
	P-05	50%절감	
관개수 수질	K-01	새만금 유역 수질	
	K-02	기천저수지 유역 수질	

<표 9-15> 영양물질 배출부하 추정을 위한 시비량 저감 조건 (단위: kg/ha)

구 분		표준시비		10% 저감		30% 저감		50% 저감	
		N	P	N	P	N	P	N	P
기 비	밀거름 5/20	55.0	45.0	49.5	40.5	38.5	31.5	27.5	22.5
추 비	분얼비 6/1	55.0	0.0	49.5	0.0	38.5	0.0	27.5	0.0
	수비 7/25	59.0	0.0	53.1	0.0	41.3	0.0	29.5	0.0
계		169.0	45.0	152.1	40.5	118.3	31.5	84.5	22.5

<표 9-16> 영양물질 배출부하 추정을 위한 관개수 수질 조건

구분	관개수농도(mg/L)		비고
	총질소	총인	
새만금유역	4.25	0.24	
기천저수지유역	2.11	0.08	

<표 9-17>은 우리 나라 논 의 유효인산의 농도를 나타내고 있다. <표 9-17>에서와 같이, 논, 밭 모두 작토층내의 과다한 인산질 성분의 축적이 이루어지고 있으며, 이는 복합비료의 시용으로 질산질 비료성분에 맞추어 시비가 이루어짐으로서 작물의 인산질 비료의 흡수량을 초과하여 왔는데 기인한 것으로 알려지고 있다.

<표 9-17> 논 토양의 연도별 화학적 성분 변화 (1964 ~1995)

년도	pH (1:5)	O.M (g/kg <sup>1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg <sup>1</sup> )	K	Ca	Mg	Av. SiO <sub>2</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	시료수
				Exch.(cmol/kg <sup>2</sup> )				
64~68	5.5	26	60	0.23	4.5	1.8	78	5,130 <sup>1)</sup>
76~79	5.9	24	88	0.31	4.4	1.7	75	19,737 <sup>2)</sup>
80~89	5.7	23	107	0.27	3.8	1.4	88	612,942 <sup>3)</sup>
90	5.7	27	101	0.32	4.3	1.5	80	1,192 <sup>4)</sup>
95	5.6	25	128	0.32	4.0	1.2	72	1,168 <sup>5)</sup>

1) 농업기술연구소, 1994

2) 정 등, 1979

3) 농촌진흥청 농토배양 10개년 사업 종합보고서, 1989

4) 정점조사토양

## 2. 오염물질 부하량 모의결과

### 가. 오염물질 부하량 모의 방법

논의 오염물질 저감대책에 따른 농경지 오염물질 부하량의 변화는 CREAMS-PADDY 모델을 이용하여, 새만금유역의 1995~2004년의 10개년의 일별 기상자료를 활용하여 부하량을 추정하고, 각 조건별 차이를 비교하였다.

### 나. 조건별 오염물질 부하량 모의결과

관개수조건 및 시비량저감에 따른 오염물질 배출부하량 모의 결과는 <표 9-18>~<표 9-20> 및 (그림 9-22)와 같다. 새만금유역의 표준시비에 따른 총질소 부하량은 24.54 kg/ha, 총인은 1.06 kg/ha이었다. 총질소의 경우 시비량을 각각 10%, 30%, 50% 삭감시 논 의 배출부하량은 2.1%, 6.3%, 10.3%가 감소되는 것으로 모의되었으며, 총인의

경우는 시비량삭감에 따른 변화가 미미한 것으로 계산되었다.

한편, 관개수 수질에 따른 비교에서 새만금수질에 비해 총질소는 약 50%, 총인은 약 33%인 기천저수지 유역의 관개수에 따라 총질소는 13.7%, 총인은 1.9% 감소되는 것으로 나타났다.

따라서, 시비량저감에 따른 배출부하량저감효과보다는 관개수 수질개선에 따른 배출부하량 저감효과가 더 큰 것으로 모의되었다.

<표 9-18> 관리대안별 영양물질 발생모의 결과

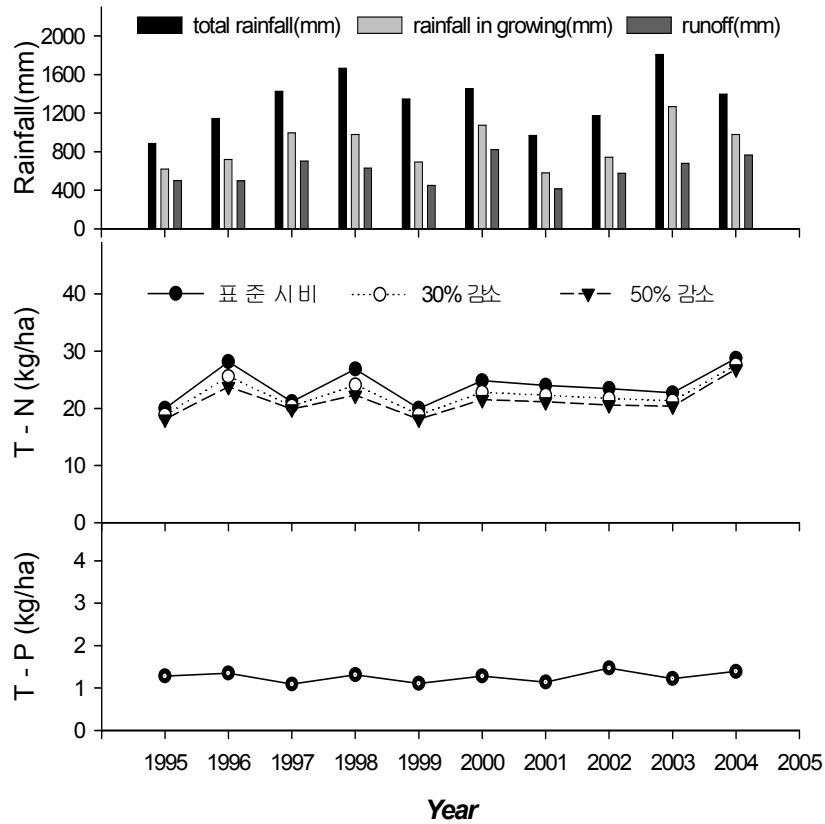
관개수	시비량	총질소 (kg/ha)	총인 (kg/ha)	표준시비에 대한비율(%)	
				총질소	총인
K-01 (새만금)	표준시비	24.54	1.06	100.0	100.0
	P-01 (10%)	24.02	1.06	97.9	100.0
	P-03 (30%)	23.00	1.06	93.7	100.0
	P-05 (50%)	22.00	1.06	89.7	100.0
K-02 (기천)	표준시비	21.17	1.04	86.3	98.11
	P-01 (10%)	20.67	1.04	84.2	98.11
	P-03 (30%)	19.70	1.04	80.3	98.11
	P-05 (50%)	18.73	1.04	76.3	98.11

<표 9-19> 시비량 저감에 따른 새만금 유역논의 연도별 영양물질 발생모의 결과(kg/ha)

년도 (year)	유출량 (mm)	T-N (kg/ha)				T-P (kg/ha)
		표준시비량	10%감소	30%감소	50%감소	
1995	509	21.33	20.96	20.26	19.56	1.03
1996	494	29.14	28.44	26.99	25.56	1.10
1997	707	24.10	23.75	23.04	22.38	1.06
1998	633	21.51	21.11	20.39	19.68	1.10
1999	508	19.08	18.81	18.24	17.66	0.89
2000	811	24.55	23.97	22.78	21.64	0.97
2001	433	27.23	26.51	25.05	23.58	1.02
2002	533	23.61	22.98	21.77	20.57	1.21
2003	708	24.62	24.09	23.05	22.05	1.15
2004	771	30.20	29.62	28.46	27.32	1.07
평균	611	24.54	24.02	23.00	22.00	1.06

<표 9-20> 시비량 저감에 따른 기천저수지 유역논의 연도별 영양물질 발생모의 결과(kg/ha)

년도 (year)	유출량 (mm)	T-N (kg/ha)				T-P (kg/ha)
		표준시비량	10%감소	30%감소	50%감소	
1995	509	17.28	16.92	16.27	15.61	1.02
1996	494	25.18	24.47	23.04	21.6	1.07
1997	707	21.33	20.98	20.33	19.66	1.06
1998	633	18.95	18.59	17.9	17.23	1.1
1999	508	15.53	15.26	14.69	14.19	0.88
2000	811	20.8	20.22	19.13	18.03	0.96
2001	433	23.06	22.33	20.96	19.55	0.95
2002	533	20.43	19.83	18.63	17.52	1.18
2003	708	22.34	21.86	20.88	19.95	1.15
2004	771	26.78	26.2	25.13	23.99	1.07
평균	611	21.17	20.67	19.70	18.73	1.04



(그림 9-22) 새만금 유역의 시비량 저감에 따른 연도별 T-N, T-P 배출부하 변화

#### 제 4 절 요약 및 결론

새만금유역의 비점오염원으로부터 오염물질 부하량과 배출량 추정을 위해 농경지의 오염물질 부하량은 기상조건과 재배작물, 시비량 등 영농조건 등에 의하여 좌우되므로, CREAMS-PADDY모델을 적용하여, 10개년의 기상자료로부터 부하량을 추정하였으며, AGNPS-P모델을 이용한 농경지의 배출량을 모의하였으며, 그 결과를 원단위 자료와 비교하였다. 새만금유역의 농경지 오염물질 배출량추정을 정리하면 다음과 같다.

- ① 논으로부터 부하량을 모의할 수 있도록 CREAMS-PADDY모델을 개발하고, 시험포장의 자료를 이용하여 적용성을 평가하였다.

② CREAMS-PADDY모델을 이용하여 1995~2004년의 10개년의 기상자료로부터 논외 오염부하량은 추정된 결과는 총질소는 24.54 kg/ha, 총인 1.06 kg/ha로 나타났다.

③ AGNPS모델을 이용하여, 300 ha의 관개지구의 유달율을 모의한 결과는 총질소는 83%, 총인은 31%로 나타났다.

④ 논외 부하량 저감방안으로 시비량 감축방안, 관개수질개선 등의 시나리오별 부하량을 추정하여 비교한 결과, 총질소의 경우 시비량을 각각 10%, 30%, 50% 삭감시 논외 배출부하량은 2.1%, 6.3%, 10.3%가 감소되는 것으로 모의되었으며, 총인의 경우는 시비량삭감에 따른 변화가 미미한 것으로 계산되었다.

⑤ 관개수 수질에 따른 비교에서 새만금수질에 비해 총질소는 약 50%, 총인은 약 33%인 기천저수지 유역의 관개수에 따라 총질소는 13.7%, 총인은 1.9% 감소되는 것으로 나타났다.

⑥ 따라서, 새만금유역의 농경지 오염배출량의 저감을 위한 최적관리기법은 논외 경우는 관개수질의 개선과 더불어 시비량의 감축이 필요할 것으로 판단된다. 농경지의 최적관리기법은 새만금유역의 현장적용성 평가 등의 후속조치가 필요하며, 받기반 정비사업 등을 통한 배출량 저감효과의 평가 등이 필요하다고 생각된다.



## 참 고 문 헌

1. 김재규·박노권, 1994. 동일비료 연용시험, 경북진흥원 시험연구보고서.
2. 김진택, 박승우, 1997. 농업비점원오염모델을 위한 GIS 호환모델의 개발 및 적용 (Ⅱ) - AGNPS 모델의 수정 -, 한국농공학회지, 39(2), pp. 53-61.
3. 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1998. 새만금 유역의 비점오염원 관리대책 수립연구. 전북대학교 공업연구소 최종보고서, 253p.
4. 농촌진흥청, 1998. 농촌진흥청 연구사업보고서98 - 농업경영 연구보고 제62호 - 도별 비료 시용 실태 조사 성적 (전라북도).
5. 농촌진흥청, 1999. 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용, 농업과학기술원.
6. 류종원·H.Jacob, 1995. 초지생태계에서 질산태질소 용탈에 미치는 액상분뇨와 화학비료 시용효과, 축산시설환경 : I(2), pp. 173-178.
7. 오인환, 1997. 장기폭기시킨 축사노오수의 벼재배 시비효과, 축산시설환경 : 3(1), pp. 35-42.
8. 이남호, 1988. 관개지구 물관리조직의 일별 모의조작, 서울대학교 박사학위논문.
9. 임상준, 2000, 농업유역의 논 관개회귀수량 추정 모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문
10. 정광용, 1998. 가축분 등 유기성 폐기물 종류별 양분 가용화율 구명, 농촌진흥청 공동연구보고서.
11. 정하우, 1986. 작물 소비수량 산정방법의 정립, 서울대학교 농업개발연구소, 농수산부, 농업진흥공사.
12. 조재영, 1999. 논에서 영양물질의 수지와 유출부하량, 전북대학교 박사학위논문.
13. 조재필, 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모델의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
14. 진영민, 1998. 논 비점오염물질 배출량 추정을 위한 CREAMS-PADDY 모형의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
15. 환경부, 1999. 새만금호 수질보전종합대책(시안), 「새만금사업 환경영향 공동조

- 사단」 조사활동 참고자료, 108p.
- 16.환경부, 1999. 새만금호 수질보전종합대책(시안), 「새만금사업 환경영향 공동조사단」 조사활동 참고자료.
- 17.Driver, N. E. and D. J. Lystrom, 1987. "Estimation of urban storm-runoff loads and volumes in the United States.", Urban Storm Water Quality, Planning and Management, Proc. 4th International Conference on Urban Storm Drainage. Ecole Polytechnique Federals, Lausame, Switzerland. pp. 214-220.
- 18.Foster, G. R., and L. J. Lane, 1987. User Requirement: USDA-Water Erosion Prediction Project(WEPP), NSERL Rep. No. 1, USDA-ARS, W. Lafayette, IN.
- 19.Jung, K. Y., and K. D. Woo, 1994. The use of organic wastes for the organic fertilizer in Korea, International seminar on the use of microbio and organic fertilizers in agricultural production, RDA/FFTC.
- 20.Knisel, W. G., 1980. CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. U. S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Conservation Research Report No. 26.
- 21.Leonard, R. A., W. G. Knisel, and D. A. Still, 1987. 'GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems'. Transactions of the ASAE, 30(5), pp. 1403-1418.
- 22.Novotny, V., and H. Olem, 1994. Water Quality, Van Nostrand Reinhold.
- 23.Ritchie, J. T., 1972. 'A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover'. Water Resources Research, 8(5), pp. 1204-1213.
- 24.Roehl, J. W. 1962. "Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors.", Publ. 59, International Association of Scientific Hydrology, Commission of Land Erosion. pp. 202-213.
- 25.Sharpley, A. N., and J. R. Williams, 1990. EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U. S. Department of Agriculture, Technical

Bulletin. No. 1768.

26. Tufford, D. L., and H. N. McKellar, 1998. Spatial and temporal hydrodynamic and water quality modeling analysis of a large reservoir on the South Carolina(USA) coastal plain, *Ecological Modeling*, 114, pp. 137-173.
27. USDA SCS, 1971. *National Engineering Handbook*, Section 4.
28. Williams J. R. and H.D. Berndt, 1972. "Sediment yield computed with universal equation." *J. of Hydraulic Division, ASCE* 98(HY12): 2087-2098.
29. Williams, J. R., A. D. Nicks, and J. G. Arnold, 1985. Simulator for water resources in rural basins, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 111(6), pp. 970-986.
30. Yalin, M. S., 1963. An expression for bed load transportation, *Journal of Hydraulic division*, 89, pp. 221-250.
31. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson, 1987. AGNPS, *Agricultural Non-Point Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool*, USDA Conservation Research Report 35.

## 제 10 장 농업환경경제성 분석

### 제 1 절 서 론

본 과제는 새만금호 상류유역인 만경강과 동진강 유역의 농업경영현황 조사를 통해 그 형태를 분류함으로써, 경영형태가 비점오염원 유출량에 미치는 영향을 파악하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

새만금유역에 해당하는 전라북도 8개 시·군(군산, 전주, 익산, 정읍, 김제, 완주, 고창, 부안) 중에서도 농업지대는 만경강유역에서는 익산, 완주, 김제 등 3개 지역과 동진강유역에서는 김제, 정읍, 고창 등 3개 지역이 광범위하게 분포되어 있다. 실제 행정구역으로는 71개 읍·면과 622개 동·리로 구분된다. 그러나 이 지역의 비점오염원 분포를 파악하기 위해서는 토지용도별 형태와 경작형태별 지역을 재 구분할 필요가 있다.

농업경영의 유형구분은 크게 작물, 축산, 작물+축산으로 구분할 수 있으며, 작물의 경우에도 식량작물, 원예작물, 특용작물 등으로 구분할 수 있으며, 축산의 경우에도 각 축종을 기준으로 세분화할 수 있어 작물재배의 경영유형, 축산의 경영유형 또한 매우 다양한 유형구분이 가능하다. 그러나 여기에서는 작물의 경우 농지유형에 따라 쌀이 주종인 논과 밭에서 재배되는 전작, 논(쌀)+전작으로 단순화 하였으며, 이것을 축종과 연결하여 12개의 경영형태로 구분하였다. 그리고 이러한 농업경영형태는 환경오염 원단위에 기초하여 추정된 오염부하량을 기준으로 각 유형별 오염부하량이 상위인 지역으로 구분하였다.

농업경영형태별로 오염부하량이 상위인 지역에 대해서는 실제 농업비점오염원이 될 수 있는 토양관리방법(시비 등), 가축분뇨 관리방법(처리, 살포, 배출 등)등의 농가 조사를 실시하여 농업인의 비점오염원 관리 실태를 분석하였다.

또한 비점오염원으로 가장 문제가 되고 있는 축산분뇨에 대해서는 선진국의 그 관리 실태를 검토함으로써 향후 농업경영형태별로 비점오염원 관리방안을 수립하는데 필요한 기초자료로서 활용이 가능하도록 시사점을 정리하였다.

## 제 2 절 새만금유역 농업현황분석

### 1. 새만금유역 농업현황

새만금 유역에 포함되는 행정구역은 <표 10-1>과 같이 8개 시·군과 71개 읍·면, 622 동·리로 구분할 수 있으며, 이들 새만금 유역권의 농업현황을 농경지 및 재배작물 현황과 축산으로 구분하여 살펴보고자 한다.

<표 10-1> 새만금 유역에 포함되는 행정구역 범위

시·군	읍·면	동·리	비고
전주시	전역		
김제시	전역		
정읍시	전역		(산내면만 제외)
완주군	전역		(윤주면만 제외되며, 이중 구제리는 포함)
군산시	개정면 대야면 서수면 성산면 옥구읍 옥산면 옥서면 입피면 회현면 시부	옥석리, 통사리 전역 전역 산곡리, 창오리 전역 금성리 전역 전역 전역 나운2동	
익산시	금마면 삼기면 오산면 왕궁면 춘포면 함라면 황등면 시부	갈산리, 기양리, 동고도리, 서고도리, 신용리, 용순리 전역 전역 전역 전역 다망리, 신대리, 신동리, 신목리, 함열리 구자리, 동연리, 신기리, 신성리, 울촌리, 죽촌리, 황등리 전역	
부안군	계화면 동진면 백산면 변산면 보안면 부안읍 상서면 주산면 줄포면 하서면 행안면	전역 전역 전역 대항리, 중계리 부곡리, 상림리, 상입석리, 월천리, 하입석리 전역 전역 전역 난산리, 대동리, 신리, 장동리, 파산리 전역 전역	
고창군	성내면 신림면 홍덕면	전역 도림리, 무림리, 용리, 외하리 동사리, 석우리, 송암리, 신송리, 용반리, 제하리, 치룡리, 하남리	

자료 : 새만금사업 환경영향 공동조사단, 『새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서』, 2000, p.62에서 재인용

가. 농경지 및 작물재배 현황

전국 농경지 중 전라북도가 차지하는 비중은 12.4% 수준인 187,374ha이다. 그러나 논외의 경우 16.3%로 전체 경지면적 비율 12.4% 보다 높아 답작 중심임을 알 수 있다 (<표 10-2> 참조).

<표 10-2> 도별 경지면적 현황

(단위 : ha, %)

구분	경지면적	논	밭
경기	191,821 (12.7)	131,679 (11.5)	60,142 (7.5)
강원	104,063 (6.9)	104,063 (9.1)	104,063 (13.0)
충북	99,985 (6.6)	99,985 (8.7)	99,985 (12.5)
충남	220,477 (14.6)	160,694 (14.0)	59,782 (7.4)
전북	187,374 (12.4)	187,375 (16.3)	187,376 (23.3)
전남	264,941 (17.5)	181,388 (15.8)	83,554 (10.4)
경북	242,085 (16.0)	133,446 (11.6)	108,639 (13.5)
경남	149,278 (9.9)	100,637 (8.8)	48,641 (6.1)
제주	50,525 (3.3)	50,526 (4.4)	50,527 (6.3)
전국	1,510,548 (100.0)	1,149,792 (100.0)	802,708 (100.0)
평균	167,839	127,755	89,190
최대값	264,941	187,375	187,376
최소값	50,525	50,526	48,641
표준편차	71,979	44,153	43,640
변동계수	0.43	0.35	0.49

주 : 특별시, 광역시는 인근 도에 포함.

전라북도의 전체 경지면적 중 논외의 비율은 76.1%로 전국평균 62.8%를 훨씬 상회하고 있어 전형적인 답작지대임을 알 수 있다. 각 시·군별 경지면적을 살펴보면 김제군이 가장 많은 26,914ha이며, 다음으로 익산과 고창의 순으로 농경지 면적이 상위인 시·군은 만경강과 동진강 유역권임을 알 수 있다(<표 10-3> 참조).

구체적으로 전라북도 농경지 중 새만금유역에 포함되는 농경지는 53.3%로 나타났

으며, 특히 논이 비중이 높음을 알 수 있다(<표 10-4> 참조).

<표 10-3> 전북 시·군별 경지면적, 논, 밭 현황 (단위 : ha, %)

구분	경지면적	논	밭
전주시	6,536 (100.0)	4,602 (70.4)	1,934 (29.6)
군산시	14,592 (100.0)	13,638 (93.5)	954 (6.5)
익산시	23,841 (100.0)	20,537 (86.1)	3,304 (13.9)
정읍시	20,730 (100.0)	15,948 (76.9)	4,782 (23.1)
남원시	13,905 (100.0)	11,002 (79.1)	2,902 (20.9)
김제시	26,914 (100.0)	22,638 (84.1)	4,276 (15.9)
완주군	9,613 (100.0)	6,176 (64.2)	3,436 (35.7)
진안군	5,850 (100.0)	2,873 (49.1)	2,976 (50.9)
무주군	4,242 (100.0)	1,733 (40.9)	2,509 (59.1)
장수군	5,561 (100.0)	3,439 (61.8)	2,122 (38.2)
임실군	7,944 (100.0)	5,099 (64.2)	2,845 (35.8)
순창군	8,158 (100.0)	6,112 (74.9)	2,046 (25.1)
고창군	21,835 (100.0)	13,988 (64.1)	7,847 (35.9)
부안군	17,652 (100.0)	14,886 (84.3)	2,767 (15.7)
전북	187,374 (100.0)	142,671 (76.1)	44,702 (23.9)
전국	1,510,548 (100.0)	948,345 (62.8)	562,203 (37.2)
평균	13,384	10,191	3,193
최대값	26,914	22,638	7,847
최소값	4,242	1,733	954
표준편차	7,632	6,820	1,650
변동계수	0.57	0.67	0.52

주) 평균, 최대값, 최소값, 표준편차, 변동계수는 전국계는 제외하였음.

<표 10-4> 전북에서 새만금유역의 농업 비중 (단위 : 호, ha, %)

구분	농가수	경지면적		
		계	논	밭
전라북도	121,749 (100.0)	187,374 (100.0)	142,671 (100.0)	44,702 (100.0)
새만금유역	64,951 (53.3)	109,522 (58.5)	88,854 (62.3)	20,667 (46.2)

새만금 유역에 포함된 각 시·군의 농가 및 경지면적을 살펴보면, 농가의 경우 김제, 정읍, 완주의 순이며, 농경지의 경우에는 김제, 정읍, 부안의 순으로 많음을 알 수 있다. 농경지 중 논은 김제, 정읍, 부안의 순이며, 밭의 경우 역시 김제, 정읍, 부안의 순으로 나타났다(<표 10-5> 참조).

<표 10-5> 새만금유역에 포함된 시·군별 농가, 경지면적 현황

(단위 : 호, ha, %)

구 분	농가수	경지면적		
		계	논	밭
새만금유역	64,951 (100.0)	109,522 (100.0)	88,854 (100.0)	20,667 (100.0)
전주	6,066 (9.3)	6,536 (6.0)	4,602 (5.2)	1,934 (9.4)
군산	5,358 (8.2)	10,215 (9.3)	9,575 (10.8)	640 (3.1)
익산	8,794 (13.5)	15,127 (13.8)	12,879 (14.5)	2,248 (10.9)
정읍	12,648 (19.5)	20,367 (18.6)	15,818 (17.8)	4,549 (22.0)
김제	13,192 (20.3)	26,914 (24.6)	22,638 (25.5)	4,276 (20.7)
완주	8,844 (13.6)	9,248 (8.4)	6,066 (6.8)	3,182 (15.4)
고창	2,042 (3.1)	3,917 (3.6)	2,651 (3.0)	1,267 (6.1)
부안	8,007 (12.3)	17,197 (15.7)	14,627 (16.5)	2,570 (12.4)
평균	8,119	13,690	11,107	2,583
최대값	13,192	26,914	22,638	4,549
최소값	2,042	3,917	2,651	640
표준편차	3,703	7,675	6,679	1,370
변동계수	0.46	0.56	0.60	0.53

주 : 시·군별 새만금유역에 포함된 지역만 계산.

새만금 유역의 용도별 경지면적은 쌀 재배면적이 81.1%로 가장 많으며, 다음으로 전작물 및 기타 용도의 경지가 많은 것으로 나타나 새만금유역은 전형적인 답작지대임을 알 수 있다.(<표 10-6> 참조)



<표 10-6> 새만금유역에 포함된 시·군의 용도별 경지면적 현황 (단위 : 천ha, %)

구분	경지면적	쌀	과수	시설	전작 및 기타
전국	1,510.5 (100.0)	948.3 (62.8)	136.1 (9.0)	53.1 (3.5)	373.0 (24.7)
전라북도	187.4 (100.0)	142.7 (76.1)	7.1 (3.8)	4.3 (2.3)	33.3 (17.8)
새만금유역	109.5 (100.0)	88.9 (81.1)	3.2 (2.9)	2.3 (2.1)	15.2 (13.9)
전주	6.5 (100.0)	4.6 (70.4)	0.7 (10.9)	0.2 (3.1)	1.0 (15.6)
군산	10.2 (100.0)	9.6 (93.7)	0.0 (0.3)	0.0 (0.4)	0.6 (5.6)
익산	15.1 (100.0)	12.9 (85.1)	0.2 (1.4)	0.2 (1.5)	1.8 (12.0)
정읍	20.4 (100.0)	15.8 (77.7)	0.8 (4.1)	0.2 (1.2)	3.5 (17.1)
김제	26.9 (100.0)	22.6 (84.1)	0.7 (2.5)	0.7 (2.5)	2.9 (10.9)
완주	9.2 (100.0)	6.1 (65.6)	0.4 (4.1)	0.6 (6.2)	2.2 (24.1)
고창	3.9 (100.0)	2.7 (67.7)	0.2 (4.9)	0.1 (3.8)	0.9 (23.6)
부안	17.2 (100.0)	14.6 (85.1)	0.1 (0.8)	0.2 (1.0)	2.3 (13.1)
평균	13.7	11.1	0.4	0.3	1.9
최대값	26.9	22.6	0.8	0.7	3.5
최소값	3.9	2.7	0.0	0.0	0.6
표준편차	7.7	6.7	0.3	0.2	1.0
변동계수	0.56	0.60	0.76	0.77	0.54

새만금 유역의 용도별 경지면적 비중 상위지역을 읍·면별로 살펴보면 논외의 경우 부안 계화면이 2,647ha로 가장 많으며, 다음으로 김제 죽산면과 군산 대야면의 순으로 나타났다.

밭의 경우 김제 용지면, 부안 줄포면, 김제 백산면의 순으로 나타났으며, 과수원의 경우 포도재배가 많은 김제 백구면이 가장 많은 면적을 보이고 있고, 다음으로 복숭아 주 재배지인 전주 삼천3동의 순으로 나타났다.

시설재배의 경우에는 시설감자 재배가 많은 김제 광활면이 260ha로 가장 높으며, 주로 딸기재배가 많은 완주군 삼례읍과 봉동읍의 순이다(<표 10-7> 참조).

<표 10-7> 새만금유역의 용도별 경지면적 비중 상위 지역(읍·면)

(단위 : ha, %)

구분	논		밭		과수원		시설재배	
	지역	면적	지역	면적	지역	면적	지역	면적
1	부안 계화	2,647 (30)	김제 용지	809 (39)	전주 삼천3	216 (68)	김제 광활	200 (115)
2	김제 죽산	2,216 (25)	완주 이서	648 (31)	김제 백구	206 (65)	완주 삼례	190 (84)
3	군산 대야	2,087 (23)	고창 흥덕	525 (25)	완주 이서	142 (45)	완주 봉동	118 (52)
4	김제 진봉	2,045 (23)	익산 삼기	524 (25)	김제 용지	133 (42)	완주 용진	95 (42)
5	부안 백산	1,997 (22)	부안 줄포	511 (25)	정읍 북	131 (41)	고창 성내	90 (40)
6	부안 동진	1,899 (21)	김제 백산	510 (25)	정읍 소성	125 (40)	김제 신흥	73 (32)
7	부안 부안	1,833 (21)	고창 성내	466 (23)	전주 조촌	98 (31)	완주 비봉	70 (31)
8	익산 오산	1,755 (20)	익산 왕궁	434 (21)	정읍 내장상	96 (30)	부안 동진	62 (27)
9	익산 춘포	1,736 (20)	부안 보안	400 (19)	고창 성내	88 (28)	김제 진봉	56 (25)
10	정읍 신태인	1,640 (18)	정읍 고부	399 (19)	정읍 고부	68 (21)	고창 흥덕	54 (24)
평균	1,989		523		130		107	
최대값	2,647		809		216		200	
최소값	1,640		399		68		54	
표준편차	289		124		48		67	
변동계수	0.15		0.24		0.37		0.63	

#### 나. 축산현황

전라북도의 축산현황을 사육두수를 기준으로 살펴보면, 전국 가축 사육두수의 10% 전후를 차지하고 있으며, 닭의 경우 타 가축에 비해 상대적으로 높게 나타났는데 이것은 도내에 위치하고 있는 대규모 육계가공업체인 (주)하림과의 계열화로 사육기반이 양호하기 때문이다.

새만금유역의 가축 사육두수가 전라북도 가축 사육두수에서 차지하는 비중은 한우, 젓소, 닭은 50%를 약간 상회하는 수준이나, 돼지의 경우 62.6%로 타 가축에 비해 높게 나타났다(<표 10-8> 참조).

<표 10-8> 새만금유역 가축 사육두수 현황

(단위 : 마리, %)

구 분	전 국 (A)	전 북 (B)	새만금유역 (C)	비 중	
				( B/A )	( C/B )
한육우	1,812,004	183,654	100,341	10.1	54.6
젖소	467,252	34,190	15,943	7.3	46.6
돼지	7,887,915	930,802	582,268	11.8	62.6
닭	179,992,510	27,496,534	11,467,217	15.3	41.7

축종별로 각 시·군의 사육현황을 살펴보면 한육우와 젖소는 정읍이 각각 33.2%와 42.8%로 가장 많으며, 돼지와 닭의 경우는 김제가 각각 29.6%와 33.9%로 가장 많은 것으로 나타났다(<표 10-9> 참조).

<표 10-9> 새만금유역 시·군별 가축 사육두수 현황

(단위 : 마리, %)

구 분	한육우	젖 소	돼 지	닭
새만금유역	100,341 (100.0)	15,943 (100.0)	582,268 (100.0)	11,467,217 (100.0)
전주	6,848 (6.8)	545 (3.4)	17,703 (3.0)	201,563 (1.8)
군산	2,360 (2.4)	897 (5.6)	32,715 (5.6)	356,677 (3.1)
익산	5,991 (6.0)	693 (4.3)	104,487 (17.9)	1,292,845 (11.3)
정읍	33,282 (33.2)	6,829 (42.8)	150,117 (25.8)	3,891,512 (33.9)
김제	21,435 (21.4)	1,863 (11.7)	172,387 (29.6)	2,881,114 (25.1)
완주	16,350 (16.3)	2,779 (17.4)	62,345 (10.7)	1,886,506 (16.5)
고창	1,734 (1.7)	488 (3.1)	21,200 (3.6)	411,782 (3.6)
부안	12,341 (12.3)	1,849 (11.6)	21,314 (3.7)	545,218 (4.8)
평균	12,543	1,993	72,784	1,433,402
최대값	33,282	6,829	172,387	3,891,512
최소값	1,734	488	17,703	201,563
표준편차	10,821	2,114	62,065	1,356,075
변동계수	0.86	1.06	0.85	0.95

축종별 사육두수를 각 읍·면별로 살펴보면, 한육우는 완주 화산면, 젖소는 정읍 덕천면, 돼지는 익산 왕궁면, 닭은 김제 용지면이 가장 많은 것으로 나타났다(<표 10-10> 참조).

<표 10-10> 새만금유역 가축별 사육두수 비중 상위 10개 지역(읍·면) (단위 : 마리, %)

구분	한육우		젖 소	
	새만금유역	70,393 (100.0)	새만금유역	20350 (100.0)
1	완주 화산면	8,949 (8.9)	정읍 덕천면	2,731 (17.1)
2	전주 금암1동	6,000 (6.0)	정읍 태인면	896 (5.6)
3	정읍 정우면	4,623 (4.6)	완주 비봉면	891 (5.6)
4	정읍 산외면	4,238 (4.2)	정읍 소성면	767 (4.8)
5	정읍 이평면	3,101 (3.1)	완주 봉동읍	640 (4.0)
6	김제 금산면	2,910 (2.9)	완주 소양면	527 (3.3)
7	정읍 덕천면	2,747 (2.7)	정읍 고부면	507 (3.2)
8	정읍 감곡면	2,684 (2.7)	김제 백구면	507 (3.2)
9	부안 보안면	2,647 (2.6)	김제 황산면	492 (3.1)
10	김제 봉남면	2,598 (2.6)	정읍 이평면	466 (2.9)
평균		4,050		842
최대값		8,949		2,731
최소값		2,598		466
표준편차		2,055		684
변동계수		0.51		0.81
구분	돼 지		닭	
	새만금유역	507,763 (100.0)	새만금유역	8,555,140 (100.0)
1	익산 왕궁면	83,789 (14.4)	김제 용지면	1,419,117 (12.4)
2	김제 용지면	64,082 (11.0)	완주 화산면	685,776 (6.0)
3	정읍 태인면	40,850 (7.0)	정읍 입암면	675,188 (5.9)
4	정읍 감곡면	31,250 (5.4)	정읍 태인면	630,658 (5.5)
5	김제 백산면	27,496 (4.7)	정읍 북면	501,072 (4.4)
6	완주 소양면	26,381 (4.5)	정읍 고부면	427,355 (3.7)
7	군산 서수면	19,736 (3.4)	김제 만경읍	404,495 (3.5)
8	김제 공덕면	14,230 (2.4)	정읍 정우면	364,341 (3.2)
9	정읍 이평면	13,276 (2.3)	익산 함라면	339,234 (3.0)
10	완주 고산면	12,210 (2.1)	고창 성내면	291,023 (2.5)
평균		33,330		573,826
최대값		83,789		1,419,117
최소값		12,210		291,023
표준편차		23,647		329,118
변동계수		0.71		0.57

## 2. 새만금유역 농업 유형분석

### 가. 새만금유역 토지유형 분석

#### 1) 토지유형 및 농업경영유형과 농업비점오염원

농업지역의 비점오염물질은 경작지, 초지, 방목지, 산림지, 축산지의 강우유출수로부터 발생한다. 또한 강우유출수의 수질과 수량은 유역의 기후와 지형뿐 아니라 토지사용형태와 처리방법에 크게 의존한다.

따라서 토지의 유형과 각 유형별 토지의 이용형태에 대한 정확한 파악은 농업지역의 비점오염원 추정에 있어 매우 중요한 자료이다. 이러한 토지유형 및 토지이용형태의 중요성을 감안 새만금유역의 토지유형과 토지의 이용형태에 대한 정확한 파악의 필요성이 있는 것이다.

#### 2) 토지유형의 변화

새만금 유역의 토지면적은 2002년 현재 3,127.8km<sup>2</sup>이며, 완주군이 728.2km<sup>2</sup>로 가장 넓으며, 고창군이 105.1km<sup>2</sup>로 가장 적은 면적이다. 시·군별 토지면적의 연도별 변화율은 익산, 군산, 완주, 부안은 감소하였으나, 기타 시·군은 증가하는 추세이다. 읍면별로는 완주군 동상면이 106.52km<sup>2</sup>로 가장 넓은 것으로 나타났다.

<표 10-11> 새만금유역 시군별 면적 및 비중 변화

(단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			증감율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	190.7 (6.1)	206.2 (6.6)	206.2 (6.6)	1.58	0.00	1.13
익산	259.3 (8.3)	253.5 (8.1)	253.5 (8.1)	-0.45	0.00	-0.32
군산	252.0 (8.1)	251.7 (8.0)	251.7 (8.0)	-0.03	0.00	-0.02
김제	515.9 (16.6)	515.9 (16.5)	515.9 (16.5)	0.00	0.00	0.00
정읍	619.8 (19.9)	627.6 (20.1)	627.8 (20.1)	0.25	0.02	0.18
완주	728.6 (23.4)	728.4 (23.3)	728.2 (23.3)	-0.01	-0.01	-0.01
부안	438.6 (14.1)	439.3 (14.0)	439.3 (14.0)	0.03	0.00	0.02
고창	105.2 (3.4)	105.1 (3.4)	105.1 (3.4)	-0.02	0.00	-0.01
계	3,110.0 (100.0)	3,127.7 (100.0)	3,127.8 (100.0)	0.11	0.00	0.08
평균	388.8	391.0	391.0			
최대값	728.6	728.4	728.2			
최소값	105.2	105.1	105.1			
표준편차	221.2	221.0	221.0			
변동계수	0.57	0.57	0.57			

<표 10-12> 새만금유역 읍면별 면적 상위 10지역

(단위 : km<sup>2</sup>)

1995	2000	2005
1 완주 동상면 106.72	1 완주 동상면 106.72	1 완주 동상면 106.52
2 완주 소양면 94.14	2 완주 소양면 94.15	2 완주 소양면 94.14
3 완주 구이면 88.84	3 완주 구이면 88.73	3 완주 구이면 88.74
4 부안 변산면 85.12	4 부안 변산면 85.16	4 부안 변산면 85.2
5 완주 화산면 70.83	5 완주 화산면 70.9	5 완주 화산면 70.89
6 완주 고산면 69.39	6 완주 고산면 69.34	6 완주 고산면 69.35
7 완주 상관면 68.67	7 완주 상관면 68.57	7 완주 상관면 68.57
8 김제 금산면 66.89	8 김제 금산면 66.89	8 김제 금산면 66.89
9 정읍 산외면 62.71	9 정읍 산외면 62.73	9 정읍 산외면 62.73
10 부안 상서면 51.52	10 부안 상서면 51.53	10 부안 상서면 51.53

토지를 지목별로 살펴보면 임야의 비중이 가장 높은 41.2%이며, 다음으로 논·의 순으로 나타났다. 연도별로 살펴보면 농경지 중 논과 밭의 면적은 감소하고 있으나 과수원과 목장용지는 증가하는 추세임을 알 수 있다.

<표 10-13> 전북 및 새만금유역의 토지지목별 면적 및 비중 변화 (단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	1995			2000			2005		
	전북 (A)	새만금 (B)	B/A	전북 (A)	새만금 (B)	B/A	전북 (A)	새만금 (B)	B/A
전	703.8 (8.7)	325.1 (10.5)	46.2	676.3 (8.4)	318.3 (10.2)	47.1	665.4 (8.3)	315.5 (10.1)	47.4
답	1,642.5 (20.4)	938.1 (30.2)	57.1	1,617.5 (20.1)	924.9 (29.6)	57.2	1,608.1 (20.0)	921.7 (29.5)	57.3
과수원	3.4 (0.0)	1.6 (0.1)	46.1	6.6 (0.1)	1.7 (0.1)	26.5	7.8 (0.1)	1.9 (0.1)	23.8
목장용지	21.6 (0.3)	6.2 (0.2)	28.7	29.7 (0.4)	8.2 (0.3)	27.6	31.6 (0.4)	8.8 (0.3)	27.9
임야	4,636.5 (57.5)	1,285.5 (41.3)	27.7	4,600.3 (57.1)	1,290.9 (41.3)	28.1	4,582.8 (56.9)	1,288.4 (41.2)	28.1
대지	164.2 (2.0)	92.9 (3.0)	56.6	178.5 (2.2)	101.5 (3.2)	56.9	185.2 (2.3)	103.8 (3.3)	56.0
기타	886.1 (11.0)	460.6 (14.8)	52.0	941.2 (11.7)	482.0 (15.4)	51.2	969.7 (12.0)	487.7 (15.6)	50.3
계	8,058.0 (100.0)	3,110.0 (100.0)	38.6	8,050.1 (100.0)	3,127.7 (100.0)	38.9	8,050.6 (100.0)	3,127.8 (100.0)	38.9

변화추이를 연평균 변화율을 기준으로 살펴보면 논·의 경우 1995년을 기준으로 0.25%, 밭의 경우 0.43% 감소하였으며, 과수원과 목장용지는 각각 2.43%, 5.21% 증가하였다.

구체적으로 새만금유역의 각 시군별 토지유형의 변화추이를 살펴보면, 논·의 경우 김제시를 제외하고 정도의 차이는 있으나 감소하였음을 알 수 있다.

<표 10-14> 전북 및 새만금지역의 지목별 연평균 변화율 변화

(단위 : %)

구분	1995-2000		2000-2005		1995-2005	
	전북	새만금지역	전북	새만금지역	전북	새만금지역
논	-0.31	-0.28	-0.29	-0.17	-0.30	-0.25
밭	-0.79	-0.42	-0.81	-0.44	-0.80	-0.43
과수원	14.20	2.24	8.66	2.93	12.59	2.43
목장용지	6.62	5.79	3.11	3.77	5.61	5.21
임야	-0.16	0.08	-0.19	-0.10	-0.17	0.03
대지	1.68	1.79	1.88	1.09	1.74	1.59
전체	-0.02	0.11	0.00	0.00	-0.01	0.08

<표 10-15> 새만금유역 시군별 논 면적 및 비중 변화

(단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	53.7 (5.7)	51.1 (5.5)	51.1 (5.5)	-1.01	0.00	-0.72
익산	110.0 (11.7)	105.7 (11.4)	104.9 (11.4)	-0.79	-0.40	-0.68
군산	110.8 (11.8)	108.6 (11.7)	107.9 (11.7)	-0.40	-0.36	-0.38
김제	215.9 (23.0)	215.9 (23.3)	215.9 (23.4)	0.00	0.00	0.00
정읍	179. (19.2)	179.6 (19.4)	178.6 (19.4)	-0.01	-0.29	-0.09
완주	91.6 (9.8)	89.2 (9.6)	88.7 (9.6)	-0.52	-0.29	-0.45
부안	146.5 (15.6)	145.2 (15.7)	145.2 (15.8)	-0.17	-0.01	-0.13
고창	29.9 (3.2)	29.5 (3.2)	29.5 (3.2)	-0.26	-0.02	-0.19
계	938.1 (100.0)	924.9 (100.0)	921.7 (100.0)	-0.28	-0.17	-0.25
평균	117.3	115.6	115.2			
최대값	215.9	215.9	215.9			
최소값	29.9	29.5	29.5			
표준편차	62.0	62.6	62.6			
변동계수	0.53	0.54	0.54			



논 면적 상위지역을 살펴보면 논외의 경우 부안 계화면이 31.14㎢로 가장 많으며, 다음으로 군산 대야면과 김제 죽산면 순이며, 전체적으로 면적은 감소하는 추세를 보이고 있다.

<표 10-16> 새만금유역 읍면별 논 면적 상위 10지역 (단위 : ㎢)

1995	2000	2005
1 부안 계화면 31.11	1 부안 계화면 31.17	1 부안 계화면 31.14
2 군산 대야면 25.61	2 군산 대야면 25.08	2 군산 대야면 25.06
3 김제 죽산면 24.03	3 김제 죽산면 24.03	3 김제 죽산면 24.03
4 부안 백산면 23.58	4 부안 백산면 23.4	4 부안 백산면 23.42
5 김제 진봉면 21.82	5 김제 진봉면 21.82	5 김제 진봉면 21.82
6 익산 오산면 20.3	6 익산 오산면 20.19	6 익산 오산면 20.19
7 부안 동진면 19.46	7 부안 동진면 19.29	7 부안 동진면 19.31
8 익산 춘포면 17.34	8 익산 춘포면 17.29	8 익산 춘포면 16.99
9 완주 삼례읍 17	9 완주 삼례읍 16.7	9 정읍 감곡면 16.73
10 완주 봉동읍 16.9	10 정읍 감곡면 16.68	10 완주 삼례읍 16.62

밭의 경우 완주군의 경우만 1995-2000년 기간동안 0.23% 증가하였으며, 타 시군은 감소하였다. 읍·면별로 살펴보면 김제시 용지면이 9.76 ㎢로 가장 큰 면적이며, 연도별 변화는 없는 것으로 나타났다.

<표 10-17> 새만금유역 시군별 밭 면적 및 비중 변화

(단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	21.7 (6.7)	20.8 (6.5)	20.8 (6.6)	-0.82	0.00	-0.59
익산	37.4 (11.5)	36.3 (11.4)	35.9 (11.4)	-0.56	-0.59	-0.57
군산	15. (4.9)	15.3 (4.8)	15.0 (4.8)	-0.74	-0.72	-0.73
김제	57.9 (17.8)	57.9 (18.2)	57.9 (18.3)	0.00	0.00	0.00
정읍	73.3 (22.6)	72.0 (22.6)	70.8 (22.4)	-0.38	-0.82	-0.50
완주	44.9 (13.8)	45.5 (14.3)	45.1 (14.3)	0.23	-0.37	0.06
부안	54.5 (16.8)	52.0 (16.3)	51.4 (16.3)	-0.93	-0.58	-0.83
고창	19.6 (6.0)	18.7 (5.9)	18.7 (5.9)	-1.00	-0.10	-0.74
계	325.1 (100.0)	318.3 (100.0)	315.5 (100.0)	-0.42	-0.44	-0.43
평균	40.6	39.8	39.4			
최대값	73.3	72.0	70.8			
최소값	15.8	15.3	15.0			
표준편차	20.7	20.6	20.3			
변동계수	0.51	0.52	0.51			

<표 10-18> 새만금유역 읍면별 밭 면적 상위 10지역

(단위 : km<sup>2</sup>)

1995		2000		2005	
1	김제 용지면 9.76	1	김제 용지면 9.76	1	김제 용지면 9.76
2	부안 변산면 8.99	2	고창 흥덕면 8.39	2	고창 흥덕면 8.39
3	고창 흥덕면 8.84	3	부안 보안면 8.24	3	부안 보안면 8.07
4	부안 보안면 8.5	4	부안 변산면 8.14	4	부안 변산면 8.07
5	부안 줄포면 7.71	5	부안 줄포면 7.65	5	부안 줄포면 7.6
6	정읍 감곡면 7.57	6	익산 왕궁면 7.41	6	익산 왕궁면 7.37
7	익산 왕궁면 7.54	7	정읍 감곡면 7.38	7	정읍 감곡면 7.22
8	완주 봉동읍 7.1	8	완주 봉동읍 7.03	8	완주 봉동읍 6.97
9	고창 성내면 6.53	9	정읍 소성면 6.38	9	정읍 소성면 6.29
10	정읍 소성면 6.49	10	고창 성내면 6.28	10	고창 성내면 6.25

과수원의 경우 전주시를 제외하고 새만금 유역 전 시·군이 1995-2005년 기간 동안 증가하였다. 읍·면별로 살펴보면 김제시 황산면과 김제시 용지면이 각각 0.32km<sup>2</sup>, 0.15 km<sup>2</sup>로 가장 큰 면적을 보이고 있다.

<표 10-19> 새만금유역 시군별 과수원 면적 및 비중 변화 (단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	0.3 (19.2)	0.3 (14.4)	0.3 (13.6)	-3.46	0.00	-2.49
익산	0.1 (5.0)	0.1 (6.3)	0.2 (8.5)	6.91	20.13	10.53
군산	0.0 (1.0)	0.0 (2.7)	0.1 (3.1)	23.51	11.75	20.03
김제	0.7 (41.9)	0.7 (37.5)	0.7 (35.4)	0.00	0.00	0.00
정읍	0.2 (14.6)	0.3 (15.3)	0.3 (16.0)	3.21	5.36	3.82
완주	0.2 (14.1)	0.3 (15.9)	0.3 (15.0)	4.63	0.18	3.34
부안	0.0 (0.9)	0.1 (2.9)	0.0 (2.7)	28.10	-0.06	19.33
고창	0.1 (3.3)	0.1 (5.2)	0.1 (5.6)	12.08	7.08	10.63
계	1.6 (100.0)	1.7 (100.0)	1.9 (100.0)	2.24	2.93	2.43
평균	0.2	0.2	0.2			
최대값	0.7	0.7	0.7			
최소값	0.0	0.0	0.0			
표준편차	0.2	0.2	0.2			
변동계수	1.10	0.92	0.85			

<표 10-20> 새만금유역 읍면별 과수원 면적 상위 10지역

(단위 : km<sup>2</sup>)

1995	2000	2005
1 김제 황산면 0.32	1 김제 황산면 0.32	1 김제 황산면 0.32
2 김제 용지면 0.15	2 김제 용지면 0.15	2 김제 용지면 0.15
3 완주 이서면 0.1	3 완주 이서면 0.1	3 완주 이서면 0.1
4 완주 용진면 0.07	4 완주 용진면 0.08	4 고창 신림면 0.09
5 정읍 북면 0.06	5 고창 신림면 0.08	5 완주 용진면 0.08
6 김제 백구면 0.05	6 정읍 북면 0.06	6 익산 금마면 0.07
7 전주 우아2동 0.05	7 김제 백구면 0.05	7 정읍 북면 0.06
8 고창 신림면 0.05	8 익산 금마면 0.05	8 김제 백구면 0.05
9 전주 송천2동 0.04	9 김제 만경읍 0.04	9 정읍 감곡면 0.04
10 전주 호성동 0.04	10 정읍 감곡면 0.04	10 김제 만경읍 0.04

복장용지의 경우 새만금 유역 전 시·군이 1995-2005년 기간 동안 증가하였으며, 특히 익산시와 완주군의 증가율이 두드러짐을 알 수 있다. 읍·면별로 살펴보면 정읍시 덕천면과 김제시 백산면이 각각 0.69km<sup>2</sup>, 0.53km<sup>2</sup>로 가장 큰 면적을 보이고 있으며, 정읍시 덕천면의 경우는 지속적으로 증가하는 추세이다.

<표 10-21> 새만금유역 시군별 목장용지 면적 및 비중 변화

(단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	0.1 (1.4)	0.1 (1.4)	0.1 (1.3)	4.67	0.00	3.31
익산	0.1 (1.4)	0.6 (7.9)	0.7 (8.3)	50.00	6.65	36.07
군산	0.2 (3.6)	0.4 (4.5)	0.4 (4.6)	10.65	5.07	9.03
김제	1.1 (17.3)	1.1 (13.0)	1.1 (12.1)	0.00	0.00	0.00
정읍	1.9 (30.9)	2.4 (29.1)	2.8 (31.6)	4.55	8.12	5.55
완주	0.3 (5.1)	0.7 (9.0)	0.9 (9.8)	18.19	8.56	15.35
부안	1.6 (26.0)	1.9 (23.2)	1.9 (21.2)	3.38	-0.71	2.19
고창	0.9 (14.3)	1.0 (12.0)	1.0 (11.1)	2.19	-0.21	1.50
계	6.2 (100.0)	8.2 (100.0)	8.8 (100.0)	5.79	3.77	5.21
평균	0.8	1.0	1.1			
최대값	1.9	2.4	2.8			
최소값	0.1	0.1	0.1			
표준편차	0.7	0.8	0.9			
변동계수	0.92	0.75	0.78			

<표 10-22> 새만금유역 읍면별 면적 상위 10지역 목장용지

(단위 : km<sup>2</sup>)

1995	2000	2005
1 정읍 덕천면 0.59	1 정읍 덕천면 0.66	1 정읍 덕천면 0.69
2 김제 백산면 0.53	2 김제 백산면 0.53	2 김제 백산면 0.53
3 부안 변산면 0.37	3 익산 왕궁면 0.4	3 익산 왕궁면 0.46
4 김제 공덕면 0.35	4 고창 신림면 0.4	4 고창 신림면 0.39
5 고창 신림면 0.34	5 부안 보안면 0.38	5 부안 주산면 0.36
6 부안 보안면 0.32	6 부안 변산면 0.37	6 김제 공덕면 0.35
7 고창 성내면 0.3	7 부안 주산면 0.36	7 고창 성내면 0.34
8 부안 주산면 0.29	8 김제 공덕면 0.35	8 부안 보안면 0.34
9 고창 흥덕면 0.24	9 고창 성내면 0.34	9 부안 변산면 0.33
10 부안 하서면 0.21	10 고창 흥덕면 0.24	10 정읍 상교동 0.26

임야의 경우 전주시, 정읍시는 증가하였으며, 변동이 없는 김제시를 제외한 나머지 시·군은 1995-2005년 기간 동안 감소하였다. 전주시의 경우 시 외곽지역의 도시편입 등에 의해 증가한 것으로 추측된다.

읍·면별로 살펴보면 완주군 동상면과 소양면이 임야면적이 가장 많은 것으로 나타났다으며, 대체적으로 감소하고 있는 추세이다.

<표 10-23> 새만금유역 시군별 임야 면적 및 비중 변화 (단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			연평균변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	63.4 (4.9)	72.8 (5.6)	72.8 (5.7)	2.83	0.00	2.01
익산	55.3 (4.3)	55.2 (4.3)	54.9 (4.3)	-0.05	-0.28	-0.12
군산	49.6 (3.9)	48.7 (3.8)	48.4 (3.8)	-0.36	-0.39	-0.37
김제	118.6 (9.2)	118.6 (9.2)	118.6 (9.2)	0.00	0.00	0.00
정읍	275.8 (21.5)	277.5 (21.5)	276.9 (21.5)	0.12	-0.10	0.06
완주	520.4 (40.5)	519.2 (40.2)	518.6 (40.2)	-0.05	-0.06	-0.05
부안	164.2 (12.8)	161.7 (12.5)	161.3 (12.5)	-0.31	-0.12	-0.25
고창	38.3 (3.0)	37.3 (2.9)	37.0 (2.9)	-0.53	-0.33	-0.48
계	1,285.5 (100.0)	1,290.9 (100.0)	1,288.4 (100.0)	0.08	-0.10	0.03
평균	160.7	161.4	161.1			
최대값	520.4	519.2	518.6			
최소값	38.3	37.3	37.0			
표준편차	165.8	165.0	164.8			
변동계수	1.03	1.02	1.02			

<표 10-24> 새만금유역 읍면별 임야 면적 상위 10지역

(단위 : km<sup>2</sup>)

1995		2000		2005	
1	완주 동상면 97.9	1	완주 동상면 97.84	1	완주 동상면 97.63
2	완주 소양면 78.05	2	완주 소양면 77.82	2	완주 소양면 77.75
3	완주 구이면 69.72	3	완주 구이면 69.54	3	완주 구이면 69.51
4	부안 변산면 66.58	4	부안 변산면 64.95	4	부안 변산면 64.96
5	완주 상관면 59.05	5	완주 상관면 58.95	5	완주 상관면 58.95
6	완주 화산면 52.56	6	완주 화산면 52.51	6	완주 화산면 52.47
7	완주 고산면 51.64	7	완주 고산면 51.56	7	완주 고산면 51.53
8	정읍 산외면 48.11	8	정읍 산외면 48.11	8	정읍 산외면 48.08
9	김제 금산면 47.53	9	김제 금산면 47.53	9	김제 금산면 47.53
10	부안 상서면 35.44	10	부안 상서면 35.31	10	부안 상서면 35.26

<표 10-25> 새만금유역 시군별 대지 면적 및 비중 변화

(단위 : km<sup>2</sup>, %)

구분	면적			연평균변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	17.6 (18.9)	22.6 (22.3)	22.6 (21.8)	5.18	0.00	3.67
익산	12.8 (13.8)	13.4 (13.2)	13.7 (13.2)	0.96	1.02	0.98
군산	9.1 (9.8)	9.8 (9.7)	10.3 (10.0)	1.44	2.63	1.78
김제	15.6 (16.7)	15.6 (15.3)	15.6 (15.0)	0.00	0.00	0.00
정읍	15.6 (16.8)	16.3 (16.1)	17.2 (16.5)	0.93	2.55	1.39
완주	9.2 (9.9)	10.2 (10.1)	10.6 (10.2)	2.21	1.63	2.04
부안	10.4 (11.1)	10.8 (10.6)	11.0 (10.6)	0.77	1.04	0.85
고창	2.7 (2.9)	2.8 (2.7)	2.8 (2.7)	0.46	0.28	0.41
계	92.9 (100.0)	101.5 (100.0)	103.8 (100.0)	1.79	1.09	1.59
평균	11.6	12.7	13.0			
최대값	17.6	22.6	22.6			
최소값	2.7	2.8	2.8			
표준편차	4.8	5.8	5.8			
변동계수	0.41	0.46	0.45			

대지의 경우 택지소유의 증가 등으로 전 시·군이 증가하는 추세이며, 특히 시 지역과 도시에 인접한 군 단위의 택지 증가율이 높게 나타났다. 읍·면·동별로 살펴보면 2000년까지는 부안군 부안읍의 택지면적이 가장 많았으나, 2005년에는 군산시 나운동이 이를 상회하여 2.07km<sup>2</sup>로 가장 많음을 알 수 있다.

<표 10-26> 새만금유역 읍면별 대지 면적 상위 10지역 (단위 : km<sup>2</sup>)

1995	2000	2005
1 부안 부안읍 1.76	1 부안 부안읍 1.88	1 군산 나운동 2.07
2 군산 나운동 1.69	2 군산 나운동 1.85	2 부안 부안읍 1.98
3 완주 삼례읍 1.51	3 완주 봉동읍 1.72	3 완주 봉동읍 1.77
4 완주 봉동읍 1.46	4 전주 인후1동 1.64	4 전주 인후1동 1.64
5 군산 대야면 1.34	5 완주 삼례읍 1.61	5 완주 삼례읍 1.63
6 익산 왕궁면 1.3	6 익산 왕궁면 1.39	6 익산 왕궁면 1.43
7 익산 황등면 1.24	7 군산 대야면 1.38	7 군산 대야면 1.39
8 정읍 신태인읍 1.22	8 익산 황등면 1.3	8 익산 황등면 1.31
9 김제 금구면 1.15	9 전주 효자1동 1.27	9 전주 효자1동 1.27
10 전주 동산동 1.15	10 정읍 신태인읍 1.24	10 정읍 신태인읍 1.25

#### 나. 가축사육두수 변화

새만금유역의 가축사육두수 변화추이를 살펴보면 한우의 경우 1995년에 비해 2005년의 사육두수는 감소한 반면, 젓소, 돼지, 닭의 경우는 증가하는 추세를 보이고 있다. 그러나 2000-2005년 기간은 전북의 젓소 총 사육두수는 감소한 반면 나머지 축종은 모두 전북지역, 새만금유역 모두 증가하는 추세를 보이고 있다. .

축종별로 살펴보면 한우의 경우 새만금 유역 전 지역 모두 감소하는 추세를 보이고 있다. 특히 전주와 고창의 감소율이 크게 나타났다.



<표 10-27> 새만금유역 가축 사육두수 변동추이

(단위 : 마리,%)

구 분		사육두수			연평균 변화율		
		1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
한우	전 복(A)	213,420	150,732	183,654	-6.72	4.03	-1.49
	새만금(B)	114,393	103,514	123,348	-1.98	3.57	0.76
	B/A	53.6	68.7	67.2			
젖소	전 복(A)	34,304	44,274	34,190	5.24	-5.04	-0.03
	새만금(B)	24,204	27,021	14,265	2.23	-11.99	-5.15
	B/A	70.6	61.0	41.7			
돼지	전 복(A)	439,345	752,978	930,802	11.38	4.33	7.80
	새만금(B)	282,844	507,763	582,268	12.41	2.78	7.49
	B/A	64.4	67.4	62.6			
닭	전 복(A)	10,229,221	15,710,530	27,496,534	8.96	11.85	10.39
	새만금(B)	5,722,985	8,555,140	11,467,217	8.37	6.03	7.20
	B/A	55.9	54.5	41.7			

<표 10-28> 새만금유역 시군별 한우 사육두수 변동추이

(단위 : 마리, %)

구분	사육두수			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	1,853 (1.6)	775 (0.7)	429 (0.3)	-16.00	-11.16	-13.61
익산	17,140 (15.0)	14,810 (14.3)	18,543 (15.0)	-2.88	4.60	0.79
군산	3,471 (3.0)	3,228 (3.1)	3,194 (2.6)	-1.44	-0.21	-0.83
정읍	41,294 (36.1)	37,416 (36.1)	42,615 (34.5)	-1.95	2.64	0.32
김제	22,132 (19.3)	21,130 (20.4)	25,842 (21.0)	-0.92	4.11	1.56
완주	13,228 (11.6)	12,629 (12.2)	18,650 (15.1)	-0.92	8.11	3.49
고창	2,765 (2.4)	2,392 (2.3)	1,734 (1.4)	-2.86	-6.23	-4.56
부안	12,510 (10.9)	11,134 (10.8)	12,341 (10.0)	-2.30	2.08	-0.14
계	114,393 (100.0)	103,514 (100.0)	123,348 (100.0)	-1.98	3.57	0.76
평균	14,299	12,939	15,419			
최대값	41,294	37,416	42,615			
최소값	1,853	775	429			
표준편차	13,135	12,110	14,340			
변동계수	0.92	0.94	0.93			

젓소의 경우에는 전주, 정읍의 감소추세가 뚜렷하고, 김제, 완주는 증가하는 것으로 나타났다.

<표 10-29> 새만금유역 시군별 젓소 사육두수 변동추이 (단위 : 마리, %)

구분	사육두수			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	432 (1.8)	176 (0.7)	78 (0.5)	-16.44	-15.02	-15.73
익산	2,401 (9.9)	2,756 (10.2)	2,217 (15.5)	2.80	-4.26	-0.79
군산	1,981 (8.2)	1,956 (7.2)	1,630 (11.4)	-0.25	-3.58	-1.93
정읍	11,102 (45.9)	12,784 (47.3)	993 (7.0)	2.86	-40.01	-21.45
김제	2,158 (8.9)	2,670 (9.9)	3,829 (26.8)	4.35	7.48	5.90
완주	2,855 (11.8)	3,532 (13.1)	3,181 (22.3)	4.35	-2.07	1.09
고창	734 (3.0)	710 (2.6)	488 (3.4)	-0.66	-7.22	-4.00
부안	2,541 (10.5)	2,437 (9.0)	1,849 (13.0)	-0.83	-5.37	-3.13
계	24,204 (100.0)	27,021 (100.0)	14,265 (100.0)	2.23	-11.99	-5.15
평균	3,026	3,378	1,783			
최대값	11,102	12,784	3,829			
최소값	432	176	78			
표준편차	3,374	3,958	1,285			
변동계수	1.12	1.17	0.72			

돼지의 경우에는 익산시를 제외한 나머지 시·군은 증가하였다. 증가율에 있어서는 고창군이 가장 높은 17.30%를 보이고 있다.

<표 10-30> 새만금유역 시군별 돼지 사육두수 변동추이 (단위 : 마리, %)

	사육두수			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	8,233 (2.9)	10,520 (2.1)	17,703 (3.0)	5.02	10.97	7.96
익산	111,111 (39.3)	128,329 (25.3)	104,487 (17.9)	2.92	-4.03	-0.61
군산	12,316 (4.4)	24,372 (4.8)	32,715 (5.6)	14.63	6.06	1.26
정읍	51,811 (18.3)	114,248 (22.5)	150,117 (25.8)	17.13	5.61	11.22
김제	56,454 (20.0)	139,132 (27.4)	172,387 (29.6)	19.77	4.38	11.81
완주	21,943 (7.8)	54,078 (10.7)	62,345 (10.7)	19.77	2.89	11.01
고창	4,299 (1.5)	10,991 (2.2)	21,200 (3.6)	20.65	14.04	17.30
부안	16,677 (5.9)	26,093 (5.1)	21,314 (3.7)	9.37	-3.97	2.48
계	282,844 (100.0)	507,763 (100.0)	582,268 (100.0)	12.41	2.78	7.49
평균	35,356	63,470	72,784			
최대값	111,111	139,132	172,387			
최소값	4,299	10,520	17,703			
표준편차	36,282	54,878	62,065			
변동계수	1.03	0.86	0.85			

닭의 경우에는 모든 시·군이 증가하였으며, 증가율에 있어서는 부안, 정읍, 완주의 순으로 높은 것으로 나타났다.

<표 10-31> 닭 사육두수 변동

(단위 : 마리, %)

구분	사육두수			연평균 변화율		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
전주	183,360 (3.2)	129,057 (1.5)	201,563 (1.8)	-6.78	9.33	0.95
익산	683,444 (11.9)	1,008,128 (11.8)	1,292,845 (11.3)	8.08	5.10	6.58
군산	223,965 (3.9)	355,413 (4.2)	356,677 (3.1)	9.68	0.07	4.76
정읍	1,284,062 (22.4)	2,374,286 (27.8)	3,891,512 (33.9)	13.08	10.39	11.73
김제	2,323,787 (40.6)	2,832,543 (33.1)	2,088,114 (25.1)	4.04	0.34	2.17
완주	661,263 (11.6)	800,243 (9.4)	1,886,506 (16.5)	3.89	18.71	11.05
고창	199,858 (3.5)	379,981 (4.4)	411,782 (3.6)	13.71	1.62	7.50
부안	163,246 (2.9)	675,489 (7.9)	545,218 (4.8)	32.85	-4.19	12.82
계	5,722,985 (100.0)	8,555,140 (100.0)	11,467,217 (100.0)	8.37	6.03	7.20
평균	715,373	1,069,393	1,433,422			
최대값	2,323,787	2,832,543	3,891,512			
최소값	163,246	129,057	213,563			
표준편차	756,823	993,701	1,356,075			
변동계수	1.06	0.93	0.95			

### 제 3 절 새만금 유역의 오염부하량 추정 및 농업유형 구분

#### 1. 추정방법

오염부하량의 추정은 논, 밭, 축산을 대상으로 하였으며, 추정방법은 다음과 같다.

읍·면별 오염부하량 = 경지면적에서의 오염부하량 + 축산에서의 오염부하량

경지의 오염부하량 =  $\Sigma(\text{해당 읍·면 경지면적(논, 밭)} \times \text{논·밭 원단위 오염부하량})$

축산의 오염부하량 =  $\Sigma(\text{해당 읍·면 축종별사육두수} \times \text{축종별 원단위 오염부하량})$

추정에 활용된 자료는 경종·축산의 원단위는 기존연구를 활용하였으며(<표 10-32 <표 10-33> 참조), 읍·면별 경지면적과 가축 사육두수는 각 시·군 통계를 활용하여 앞에서 정리한 자료를 활용하였다.

<표 10-32> 논·밭 원단위 오염부하량

(단위 : kg/km<sup>2</sup>/일)

구 분	총질소 (TN)		총 인(TP)	
	논	밭	논	밭
원단위	3.11	3.38	0.07	0.51

주 : 새만금사업 환경영향 공동조사단, 2000, 「새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서(수질보전분야)」, p.189.

<표 10-33> 축종별 원단위 오염부하량

구분	총질소 (TN)				총 인(TP)			
	한육우	젖소	돼지	닭	한육우	젖소	돼지	닭
분뇨발생원단위 (l/일)	14.6	45.6	8.6	0.14	14.6	45.6	8.6	0.14
오염물질원단위 (mg/l)	10,499	8,911	8,705	51,000	3,415	2,440	4,520	21,300

주 : 새만금사업 환경영향 공동조사단, 2000, 「새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서(수질보전분야)」, p.83-85.

## 2. 오염부하량 추정결과

축산부문의 총질소(TN)는 새만금 유역이 전북 전체 총질소(TN) 발생량 2,024.9톤/일의 60% 수준을 차지하고 있는 1,501.7톤/일로 추정되었다. 연도별 추이를 살펴보면, 1995년 대비 2000년은 증가하였으나 이후 정체하는 추세를 보이고 있다. 시·군별로 살펴보면 총질소(TN) 부하량이 가장 많은 곳은 정읍과 김제의 순이며, 시·군별 추이를 살펴보면 전체적인 추이(1999년 대비 2000년 증가, 2000년 대비 2005년 정체)와 비슷하나 군산, 정읍, 완주, 고창은 1995년 이후 지속적인 증가를 보이고 있다.

축산부문의 총인(TP)의 경우에도 부하량에는 차이가 있으나 그 추세는 총질소(TN)와 동일한 변화를 보이고 있다.

<표 10-34> 새만금유역 축산부문 총질소(TN) 오염부하량

(단위 : 톤/일, %)

	1995					2000					2005				
	한우	젓소	돼지	닭	소계	한우	젓소	돼지	닭	소계	한우	젓소	돼지	닭	소계
전북	327.1	139.4	328.9	730.4	1,525.8	231.1	179.9	563.7	1,121.7	2,096.4	281.5	138.9	696.8	1963.3	3,080.5
새만금 유역	175.3	98.4	211.7	408.6	894.1 (100.0)	158.7	109.8	380.1	610.8	1,259.4 (100.0)	189.1	58.0	435.9	818.8	1,501.7 (100.0)
전주	2.8	1.8	6.2	13.1	23.9 (2.7)	1.2	0.7	7.9	9.2	19.0 (1.5)	0.7	0.3	13.3	14.4	28.6 (1.9)
익산	26.3	9.8	83.2	48.8	168.0 (18.8)	22.7	11.2	96.1	72.0	202.0 (16.0)	28.4	9.0	78.2	92.3	208.0 (13.8)
군산	5.3	8.0	9.2	16.0	38.6 (4.3)	4.9	7.9	18.2	25.4	56.5 (4.5)	4.9	6.6	24.5	25.5	61.5 (4.1)
정읍	63.3	45.1	38.8	91.7	238.9 (26.7)	57.4	51.9	85.5	169.5	364.4 (28.9)	65.3	4.0	112.4	277.9	459.6 (30.6)
김제	33.9	8.8	42.3	165.9	250.9 (28.1)	32.4	10.8	104.2	202.2	349.6 (27.8)	39.6	15.6	129.1	205.7	389.9 (26.0)
완주	20.3	11.6	16.4	47.2	95.5 (10.7)	19.4	14.4	40.5	57.1	131.3 (10.4)	28.6	12.9	46.7	134.7	222.9 (14.8)
고창	4.2	3.0	3.2	14.3	24.7 (2.8)	3.7	2.9	8.2	27.1	41.9 (3.3)	2.7	2.0	15.9	29.4	49.9 (3.3)
부안	19.2	10.3	12.5	11.7	53.6 (6.0)	17.1	9.9	19.5	48.2	94.7 (7.5)	18.9	7.5	16.0	38.9	81.3 (5.4)

<표 10-35> 새만금유역 축산부문 총인(TP) 오염부하량

(단위 : 톤/일, %)

	1995					2000					2005				
	한우	젓소	돼지	닭	소계	한우	젓소	돼지	닭	소계	한우	젓소	돼지	닭	소계
전북	106.4	38.2	170.8	305.0	620.4	75.1	49.3	292.7	468.5	885.6	91.6	38.0	361.8	819.9	1,311.4
새만금 유역	57.0	26.9	109.9	170.7	364.6 (100.0)	51.6	30.1	197.4	255.1	534.2 (100.0)	61.5	15.9	226.3	342.0	645.7 (100.0)
전주	0.9	0.5	3.2	5.5	10.1 (2.8)	0.4	0.2	4.1	3.8	8.5 (1.6)	0.2	0.1	6.9	6.0	13.2 (2.0)
익산	8.5	2.7	43.2	20.4	74.8 (20.5)	7.4	3.1	49.9	30.1	90.4 (16.9)	9.2	2.5	40.6	38.6	90.9 (14.1)
군산	1.7	2.2	4.8	6.7	15.4 (4.2)	1.6	2.2	9.5	10.6	23.9 (4.5)	1.6	1.8	12.7	10.6	26.8 (4.1)
정읍	20.6	12.4	20.1	38.3	91.4 (25.1)	18.7	14.2	44.4	70.8	148.1 (27.7)	21.2	1.1	58.4	116.0	196.7 (30.5)
김제	11.0	2.4	21.9	69.3	104.7 (28.7)	10.5	3.0	54.1	84.5	152.1 (28.5)	12.9	4.3	67.0	85.9	170.1 (26.3)
완주	6.6	3.2	8.5	19.7	38.0 (10.4)	6.3	3.9	21.0	23.9	55.1 (10.3)	9.3	3.5	24.2	56.3	93.3 (14.5)
고창	1.4	0.8	1.7	6.0	9.8 (2.7)	1.2	0.8	4.3	11.3	17.6 (3.3)	0.9	0.5	8.2	12.3	21.9 (3.4)
부안	6.2	2.8	6.5	4.9	20.4 (5.6)	5.6	2.7	10.1	20.1	38.5 (7.2)	6.2	2.1	8.3	16.3	32.8 (5.1)

농경지의 총질소(TN)는 새만금 유역이 전북 전체 총질소(TN) 발생량 72.77kg/ha/일의 54.1%인 39.39kg/ha/일로 추정되었다. 연도별 추이를 살펴보면 도시화의 확대 등의 요인에 따른 농경지의 지속적 감소로 1995년 이후 오염부하량 역시 지속적으로 감소하고 있음을 알 수 있으며, 총질소(TN) 부하량이 가장 많은 곳은 김제와 정읍의 순이다.



<표 10-36> 새만금유역 시군별 총질소 농경지 오염부하량

(단위 : kg/ha/일)

	1995			2000			2005		
	논	밭	소계	논	밭	소계	논	밭	소계
전북	51.08	23.90	74.99	50.30	23.08	73.39	50.01	22.76	72.77
새만금 유역	29.18	11.04	40.22 (100.00)	28.76	10.82	39.58 (100.00)	28.66	10.73	39.39 (100.00)
전주	1.67	0.74	2.41 (6.00)	1.59	0.71	2.30 (5.81)	1.59	0.71	2.30 (5.84)
익산	3.42	1.27	4.69 (11.65)	3.29	1.23	4.52 (11.41)	3.26	1.22	4.48 (11.37)
군산	3.45	0.54	3.98 (9.90)	3.38	0.52	3.90 (9.84)	3.35	0.51	3.86 (9.81)
김제	6.72	1.98	8.69 (21.62)	6.58	1.94	8.52 (21.52)	6.52	1.92	8.43 (21.41)
정읍	5.59	2.49	8.08 (20.08)	5.59	2.44	8.03 (20.28)	5.55	2.40	7.96 (20.20)
완주	2.85	1.53	4.37 (10.87)	2.77	1.55	4.32 (10.91)	2.76	1.53	4.29 (10.90)
부안	4.56	1.84	6.40 (15.91)	4.52	1.76	6.28 (15.86)	4.52	1.74	6.26 (15.88)
고창	0.93	0.67	1.59 (3.97)	0.92	0.63	1.55 (3.92)	0.92	0.63	1.55 (3.94)
평균	3.65	1.38	5.03	3.58	1.35	4.93	3.56	1.33	4.89
최대값	6.72	2.49	9.20	6.58	2.44	9.02	6.52	2.40	8.92
최소값	0.93	0.54	1.46	0.92	0.52	1.43	0.92	0.51	1.43
표준편차	1.93	0.70	2.63	1.92	0.69	2.61	1.90	0.68	2.58
변동계수	0.53	0.51	1.04	0.54	0.51	1.05	0.53	0.51	1.05

농경지의 총인(TP)은 새만금 유역이 전북 전체 총인(TP) 발생량 4.56kg/ha/일의 49.6%인 2.26kg/ha/일로 추정되었다. 연도별 추이를 살펴보면 도시화의 확대 등의 요인에 따른 농경지의 지속적 감소로 1995년 이후 총질소(TN)와 마찬가지로 지속적으로 감소하고 있음을 알 수 있으며, 시·군별로 총인(TP) 부하량이 가장 많은 곳은 정읍과 김제의 순이다.

<표 10-37> 새만금유역 시군별 총인 농경지 오염부하량

(단위 : kg/ha/일)

	1995			2000			2005		
	논	밭	소계	논	밭	소계	논	밭	소계
전북	1.15	3.61	4.76	1.13	3.48	4.62	1.13	3.43	4.56
새만금 유역	0.66	1.67	2.32 (100.00)	0.65	1.63	2.28 (100.00)	0.65	1.62	2.26 (100.00)
전주	0.04	0.11	0.15 (6.44)	0.04	0.11	0.14 (6.27)	0.04	0.11	0.14 (6.32)
익산	0.08	0.19	0.27 (11.53)	0.07	0.19	0.26 (11.39)	0.07	0.18	0.26 (11.36)
군산	0.08	0.08	0.16 (6.82)	0.08	0.08	0.15 (6.76)	0.08	0.08	0.15 (6.74)
김제	0.15	0.30	0.45 (19.35)	0.15	0.29	0.44 (19.32)	0.15	0.29	0.44 (19.27)
정읍	0.13	0.38	0.50 (21.57)	0.13	0.37	0.49 (21.67)	0.13	0.36	0.49 (21.53)
완주	0.06	0.23	0.29 (12.67)	0.06	0.23	0.30 (12.97)	0.06	0.23	0.29 (12.97)
부안	0.10	0.28	0.38 (16.39)	0.10	0.27	0.37 (16.11)	0.10	0.26	0.36 (16.08)
고창	0.02	0.10	0.12 (5.23)	0.02	0.10	0.12 (5.11)	0.02	0.10	0.12 (5.14)
평균	0.08	0.21	0.29	0.08	0.20	0.28	0.08	0.20	0.28
최대값	0.15	0.38	0.53	0.15	0.37	0.52	0.15	0.36	0.51
최소값	0.02	0.08	0.10	0.02	0.08	0.10	0.02	0.08	0.10
표준편차	0.04	0.11	0.15	0.04	0.10	0.15	0.04	0.10	0.15
변동계수	0.53	0.51	1.04	0.54	0.51	1.05	0.53	0.51	1.05

새만금유역을 읍·면별로 구분하여 추정한 결과 총질소(TN) 오염부하량은 김제 용지가 가장 높고, 다음으로 익산 왕궁, 정읍, 이평의 순으로 나타났다(<표 10-38> 참조).

<표 10-38> 읍·면별 총질소(TN) 오염부하량 부문별 상위지역

순위	경지			축산					총질소 계
	논	밭	경지 계	한육우	젓소	돼지	닭	소계	
1	부안 계화	김제 용지	부안 계화	완주 화산	정읍 덕천	익산 왕궁	김제 용지	김제 용지	김제 용지
2	김제 죽산	부안 줄포	정읍 감곡	정읍 정우	정읍 태인	김제 용지	정읍 이평	익산 왕궁	익산 왕궁
3	군산 대야	김제 백산	김제 죽산	정읍 산외	정읍 소성	완주 소양	김제 금구	정읍 이평	정읍 이평
4	부안 동진	완주 이서	부안 백산	김제 금산	정읍 고부	김제 백산	익산 합라	군산 서수	군산 서수
5	부안 백산	고창 홍덕	부안 동진	김제 금구	부안 주산	정읍 태인	군산 서수	김제 금구	김제 금구

총인(TP) 오염부하량 역시 김제 용지가 가장 높고, 다음으로 익산 왕궁, 정읍 이평의 순이다(<표 10-39> 참조).

<표 10-39> 읍·면별 총인(TP) 오염부하량 부문별 상위지역

순위	경지			축산					총인 계
	논	밭	경지 계	한육우	젓소	돼지	닭	소계	
1	부안 계화	김제 용지	김제 용지	완주 화산	정읍 덕천	익산 왕궁	김제 용지	김제 용지	김제 용지
2	김제 죽산	부안 줄포	부안 줄포	정읍 정우	정읍 태인	김제 용지	정읍 이평	익산 왕궁	익산 왕궁
3	군산 대야	김제 백산	정읍 감곡	정읍 산외	정읍 고부	완주 소양	김제 금구	정읍 이평	정읍 이평
4	부안 동진	완주 이서	김제 백산	김제 금산	정읍 소성	김제 백산	익산 합라	군산 서수	군산 서수
5	부안 백산	고창 홍덕	부안 보안	김제 금구	부안 주산	정읍 태인	군산 서수	김제 금구	김제 금구

읍·면별 경지, 축종별 오염부하량(총질소, 총인)을 계산한 후, 각 분야별 총량에서의 비중지수를 구하고, 이를 읍·면별로 평균하여 순위를 부여한 결과 김제 용지가 1위로 나타났으며, 다음으로 익산 왕궁과 정읍 태인의 순으로 나타났다(<표 10-40> 참조).

오염부하량 평균 상위 10개 지역의 부문별 비중을 살펴보면 김제 용지가 평균 3.200으로 가장 높으며, 다음으로 익산 왕궁 3.088의 순이다(<표 10-41> 참조).

<표 10-40> 읍·면별 총질소·총인 오염부하량 평균 상위 10개 지역 (단위 : %)

순위	지역	평균	총 질 소 (TN)			총 인 (TP)		
			경 지	축 산	계	경 지	축 산	계
1	김제 용지면	3.200	1.602	12.846	12.812	2.745	13.060	13.057
2	익산 왕궁면	3.088	1.536	8.663	8.641	1.936	9.893	9.890
3	정읍 태인면	2.332	1.386	2.529	2.526	1.459	2.511	2.511
4	정읍 감곡면	2.286	1.979	2.587	2.585	2.280	2.669	2.669
5	정읍 고부면	2.211	1.539	2.587	2.584	1.736	2.413	2.412
6	정읍 이평면	2.167	1.338	3.663	3.656	1.069	3.656	3.655
7	김제 백산면	1.818	1.435	2.158	2.156	2.166	2.334	2.334
8	정읍 덕천면	1.811	0.767	2.326	2.322	0.817	1.977	1.977
9	김제 금구면	1.687	1.282	2.868	2.864	1.297	2.800	2.800
10	김제 금산면	1.640	0.970	1.504	1.503	1.215	1.401	1.401

주 : 평균은 읍·면별 논, 밭, 한육우, 젓소, 돼지, 닭의 각 비중의 기하평균임.

<표 10-41> 오염부하량 평균 상위 10개 지역의 부문별 비중

순위	지역	평균	경 지		축 산			
			논	밭	한육우	젓소	돼지	닭
1	김제 용지면	3.200	1.065	3.742	2.516	0.624	9.245	18.566
2	익산 왕궁면	3.088	1.348	2.285	2.479	1.877	21.233	2.851
3	정읍 태인면	2.332	1.351	1.524	2.493	6.084	3.375	1.528
4	정읍 감곡면	2.286	1.837	2.542	2.331	1.720	3.336	2.284
5	정읍 고부면	2.211	1.446	1.909	2.952	4.526	0.968	3.268
6	정읍 이평면	2.167	1.465	0.833	2.963	2.197	2.941	4.434
7	김제 백산면	1.818	1.091	2.804	2.480	1.229	4.284	0.904
8	정읍 덕천면	1.811	0.743	0.862	2.796	15.818	1.990	0.626
9	김제 금구면	1.687	1.275	1.309	3.034	0.816	1.383	4.041
10	김제 금산면	1.640	0.855	1.428	3.294	3.656	1.265	1.046

### 3. 오염부하량에 기초한 농업경영 유형구분

농업경영의 유형구분은 크게 작물, 축산, 작물+축산으로 구분할 수 있으며, 작물의 경우에도 식량작물, 원예작물, 특용작물 등으로 구분할 수 있다. 또한 축산의 경우에도 각 축종을 기준으로 세분화할 수 있어 작물재배의 경영유형, 축산의 경영유형 또한 매우 다양한 유형구분이 가능하다.

그러나 여기에서는 작물의 경우 농지유형에 따라 쌀이 주종인 논과 밭에서 재배되는 전작, 논(쌀)+전작으로 단순화 하였으며, 이것을 축종과 연결하여 12개의 경영형태로 구분하였다(<표 10-42> 참조).

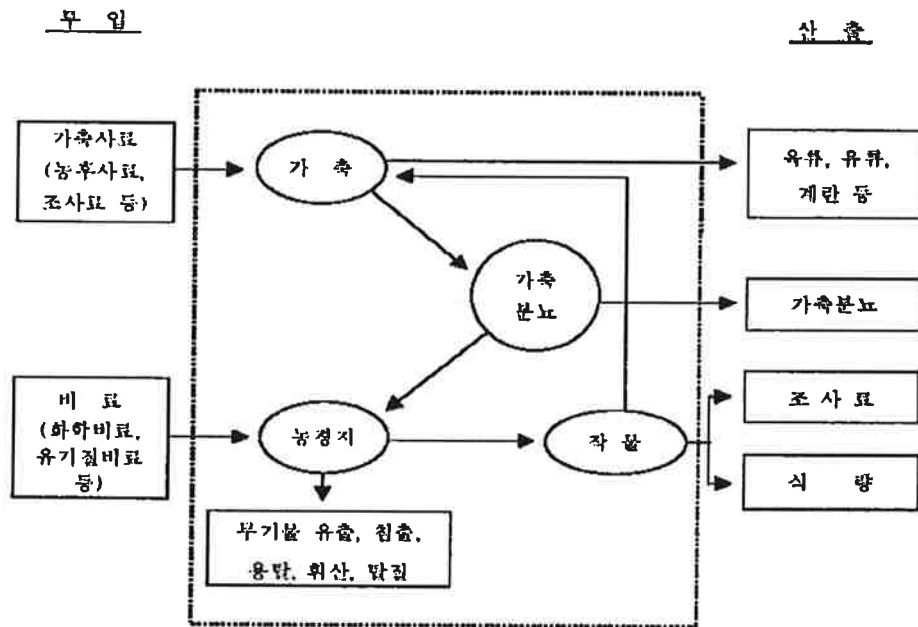
오염부하량 평균이 높은 상위 20개 지역을 오염원인 경지와 축산을 결합 경영형태의 유형을 구분할 결과는 <표 10-42>와 같다.

<표 10-42> 오염부하량 평균 상위 20개 지역의 경영형태별 분류

구분	한육우	젖소	돼지	닭
논(쌀)		(군산 서수)	군산 서수	정읍 감곡
밭(전작)	(부안 주산) (정읍 북면)	부안 주산 정읍 북면	익산 왕궁 군산 서수 완주 소양 (김제 용지)	김제 용지
논+밭	(김제 금구) (정읍 웅동)	정읍 이평 정읍 태인 정읍 덕천 정읍 웅동 부안 보안 부안 주산 완주 봉동 김제 황산	정읍 고부	김제 금구 정읍 상교동 (완주 봉동) (김제 황산)

## 제 4 절 비점오염원 실태조사

농업부문의 물질 순환의 투입 및 산출 개념은 아래 그림에서 알 수 있듯이, 크게 축산부문의 가축분뇨와 경종부문의 비료 사용을 들 수 있다. 본 연구에서도 축산부문과 경종부문을 분리하여 각각의 경우에 비점오염원의 발생과 처리실태를 조사하였고, 축산부문과 경종부문이 상호 협력하며 함께 존재하는 마을단위에서의 비점오염원의 발생과 처리실태를 조사하였다.



자료 : 김창길, 김태영, 친환경농업시스템 구축을 위한 지역단위 물질균형 분석, 농촌경제, 제26권 제4호, KREI.

(그림 10-1) 농업부문의 물질순환 투입-산출 개념도

## 1. 새만금유역 축산농가 축산분뇨처리 실태

### 가. 조사농가 개요

앞서 살펴본 축종별 사육두수에서 2005년 현재 한우는 정읍, 김제, 젓소는 정읍, 완주, 돼지는 김제, 정읍, 닭은 정읍, 김제의 비중이 크게 나타났다. 특히 지역적으로 정읍과 김제는 모든 축종에서 고르게 높은 비중을 차지하고 있다. 따라서 본 연구에서는 새만금유역 중 정읍과 김제를 중심으로 만경강유역의 축산분뇨처리에 관한 조사를 2006년 2월부터 2007년 4월까지 실시하였다.

축종별 조사농가수는 한우 16호, 젓소 6호, 돼지 12호, 닭 8호로 총 42호이며, 지역별 분포는 (그림 10-2) 조사농가 분포도에서와 같이 주로 만경강유역에 분포되어 있다.

<표 10-43> 축종별 조사농가수

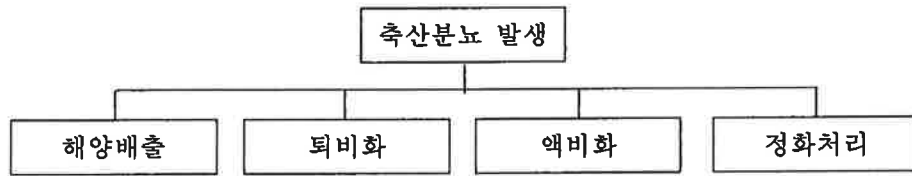
	한우	젓소	돼지	닭	계
계	16	6	12	8	42



(그림 10-2) 조사농가 분포도

나. 축종별 축산분뇨처리 실태

본 연구에서는 축산분뇨처리방법은 크게 분과뇨, 분뇨혼합의 3가지 형태로 축산분뇨를 구분한 후, 각각 해양배출, 퇴비화, 액비화, 정화처리 등으로 구분하여 처리방법별 비중을 파악하였다.



(그림 10-3) 축산분뇨 처리유형

조사농가 42농가의 축산분뇨 처리방법 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 퇴비화와 정화처리(위탁처리)로 나타났다. 해양배출은 양돈농가(2농가)에서 하고 있으며, 액비화 역시 양돈농가에서 분·뇨 분리처리시 이루어지고 있다.

1) 한우 사육농가의 축산분뇨처리

한우 조사농가는 16호로 이들 농가를 경영유형별로 살펴보면, 일관경영이 12농가, 비육농가 2호와 번식농가 2호이다.

<표 10-44> 조사농가 경영형태

	일관	비육	번식	계
농가수	12	2	2	16
(%)	(75.0)	(12.5)	(12.5)	(100.0)

한우 조사농가의 87.5%인 14농가가 분뇨를 퇴비화하고 있으며, 12.5%인 2농가만이 정화(위탁)처리 하고 있어 퇴비화 비중이 높게 나타났다.



<표 10-45> 한우 사육농가의 축산분뇨 처리유형

	퇴비화	액비화	정화처리	해양배출	계
농가수 (%)	14 (87.5)	-	2 (12.5)	-	16 (100.0)

한우 조사농가에서 발생하는 축산분뇨를 퇴비화하는 경우 자가처리되는 비중은 27.8%이며, 타인에게 유·무상으로 판매되는 것은 72.2%로 높게 나타났다. 한우와 젓소의 경우 양돈과 양계에 비해 축산+경종(사료작물 재배)의 복합영농이 용이해서 자가사용 비중이 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

<표 10-46> 한우 사육농가의 퇴비생산량 중 자가사용 비중

	자가처리	타인판매
사용비중 (%)	27.8	72.2

## 2) 젓소 사육농가의 축산분뇨처리

젓소 조사농가는 6호로 모두 일관경영농가를 대상으로 실시하였다. 젓소 조사농가의 83.3%인 5농가가 분뇨를 퇴비화하고 있으며, 16.7%인 1농가만이 정화(위탁)처리하고 있었다. 퇴비화하는 농가중 상당수가 발생하는 분뇨를 사육농가 소유의 퇴비(발효)창고에 보관하여 발효시키고 상인이 수시로 방문하여 가져가는 형태를 취하고 있었다.

<표 10-47> 젓소 사육농가의 축산분뇨 처리유형

	퇴비화	액비화	위탁처리	해양배출	계
농가수 (%)	5 (83.3)	-	1 (16.7)		6 (100.0)

<표 10-48> 젓소 사육농가의 퇴비생산량중 자가사용 비중

	자가처리	타인판매
사용비중 (%)	22.2	77.8

### 3) 양돈농가의 축산분뇨처리

양돈농가는 총 12호를 조사하였으며, 이들 12호 중 91.7%인 11농가가 일관경영을 하고 있으며, 1농가만 비육경영 농가이다.

<표 10-49> 조사농가 경영형태

	일관	비육	번식	계
농가호수	11	1	-	12
(%)	(91.7)	(8.3)		(100.0)

양돈 농가의 경우 대부분 농가에서 분과 뇨를 분리하여 처리하고 있었다. 분의 경우 66.7%가 퇴비화하고 있으며, 위탁처리와 해양배출이 각 2농가씩으로 나타났다. 퇴비화 및 액비화시설은 대부분의 양돈농가가 정부보조 70%를 받고 있으며, 용자 20%와 자부담 10%로 시설비를 부담하여 운영하고 있는 것으로 나타났다.

뇨의 경우는 분리배출농가는 자가소유의 액비탱크 또는 저장시설을 갖추고 뇨를 발효시킨 후 자기 소유 또는 주변농가 소유의 경작지에 살포하는 경우가 많았다. 그러나 일부 농가는 시·군 또는 민간이 운영하는 정화시설에 위탁하여 처리하는 사례도 있었다.

분과 뇨를 분리하지 않는 경우에는 혼합된 채로 퇴비화되어 발효 후 경작지에 살포되거나 타인에게 판매하는 형태로 분뇨를 처리하고 있는 것으로 나타났다.

<표 10-50> 양돈농가의 축산분뇨별 처리유형

	퇴비화	액비화	위탁처리	해양배출	계
분 처리 농가수 (%)	8* (66.7)	-	2 (16.7)	2 (16.7)	12 (100.0)
뇨 처리 농가수 (%)	3* (25.0)	5 (41.7)	4 (33.3)	-	12 (100.0)

주) \* : 분·뇨 미분리 처리 포함

해양배출 농가의 경우, 총 발생량의 60% 정도를 해양투기 전문위탁업체를 통하여 처리하고 있으며, 이 때 비용은 톤당 16,800원을 부담한다.

양돈 조사농가에서 발생하는 축산분뇨 중 퇴비화되어 자가처리되는 비중은 2.5%로 매우 적으며, 타인에게 유·무상으로 판매되는 경우가 97.5%로 높게 나타났다. 이는 양돈경영의 특성으로 경종+축산의 복합영농이 어려워 대부분 양돈만을 전업으로 하기 때문이다.

<표 10-51> 양돈농가의 퇴비생산량중 자가사용 비중

	자가처리	타인판매
사용비중 (%)	2.5	97.5

#### 4) 양돈농가의 경영성과 및 축산분뇨처리

양돈농가의 분뇨처리비는 조사농가중 규모별 1농가씩을 선별하여 계산한 것으로 사육모돈수를 기준으로 대, 중, 소로 구분하여 생산비 및 축산분뇨처리비 등을 계산하여 규모별 경영성과 및 축산분뇨 처리 실태를 파악하였다.

먼저 규모별 양돈농가의 경영성과를 보면, 먼저 조수입 대비 소득 비율은 평균 26.4%, 조수입 대비 순수익 비율 역시 평균 22.3%로 나타나 규모가 클수록 소득과 순수익의 비율이 높게 나타났다.

축산분뇨처리비용 또한 경영규모가 클수록 크게 나타났다. 이는 양돈농가의 경영규모와 분뇨처리 행태와 관련이 있기 때문이다. 구체적으로 소규모 양돈농가는 발생하는 축산분뇨를 자체 퇴비화시설을 이용하여 퇴비화한 후 자작지 또는 주변 농가에 무

상으로 제공하기 때문에 분뇨 처리비용이 낮게 나타나고 있다. 반면 중규모 양돈농가에서는 앞선 소규모 농가와 같이 일부를 자체 퇴비화한 후 농경지에 살포하고 초과하는 발생량에 대해서는 해양투기나 전문처리업체에 위탁처리하는 형태로 그 처리비용이 늘어나는 것이다. 따라서 양돈사육규모가 커짐에 따라 축산분뇨의 발생량은 비례적으로 늘어나고, 규모의 불경제와 같이 그 처리비용 역시 늘어나고 있다.

<표 10-52> 비육돈 경영성과와 분뇨처리 비용 및 수입 (단위 : 원/두, %)

구 분	소	중	대	평균
모 돈 수	100두 미만	100 - 200	200두 이상	
조수입 (A)	250,464	260,298	300,236	274,256
경영비 (B)	207,072	184,040	219,491	201,737
생산비 (C)	219,175	197,647	228,280	213,210
소 득 (A-B)	43,392	76,258	80,745	72,519
소득/조수입(%)	17.3	29.3	26.9	26.4
순수익 (A-C)	31,289	62,651	71,956	61,045
순수익/조수입(%)	12.5	24.1	24.0	22.3
축산분뇨처리비 (D)	4,708	8,028	27,778	15,188
최종순수익 (A-C-D)	26,581	54,623	44,178	45,857
조수입대비 축산분뇨처리비 비중 (D/A)	1.9	3.1	9.3	5.5
경영비 대비 축산분뇨처리비 비중 (D/B)	2.3	4.4	12.7	7.5
소득 대비 축산분뇨처리비 비중 (D/(A-B))	10.9	10.5	34.4	20.9
축산분뇨판매수입	-	49,068	-	21,701
축산분뇨 처리형태	-퇴비화 -하수처리장 위탁처리	-퇴비화시설 이용 -상인에게 판매	-퇴비액비화 (40%)무상 -해양투기 (60%)	

5) 양계농가의 축산분뇨처리

양계 조사농가는 총8농가로 5농가(62.5%)는 산란계, 3농가(37.5%)는 육계를 사육하는 농가이다.

<표 10-53> 조사농가 경영형태

	산란계	육계	번식	계
농가수	5	3	-	8
(%)	(62.5)	(37.5)		(100.0)

양계농가의 경우 조사대상 전 농가가 분뇨를 퇴비화하고 있으며, 거의 대부분을 타인에게 유무상으로 판매하고 있다. 상인에게 판매할 경우 판매가격은 23,806원/톤이며, 조사농가 소재지인 정읍과 김제 이외 지역으로 반출되는 량이 퇴비생산량 전체의 76.8%를 차지하고 있다.

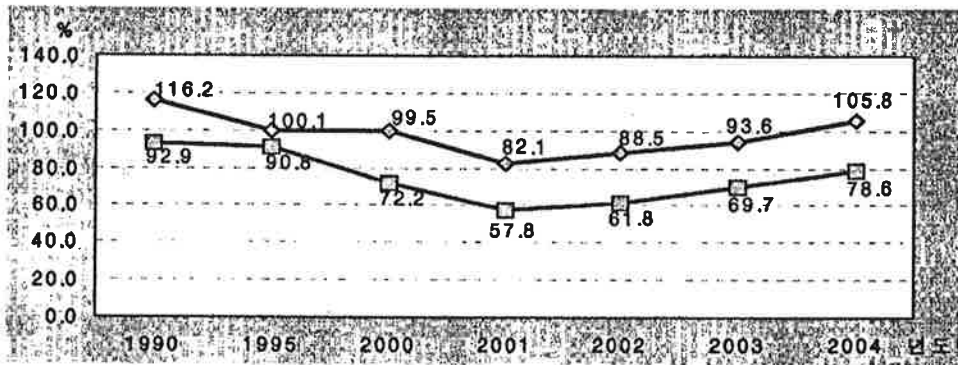
<표 10-54> 양계농가의 퇴비생산량중 자가사용 비중

	자가처리	타인(상인)판매		
		계	시·군내	시·군외
사용비중 (%)	2.2	97.8	21.0	76.8

2. 새만금유역 경종농가 토지이용 유형별 오염원 투입량 조사

가. 실태분석 목적

우리나라는 농경지에 투입되는 양분량은 농경지에 필요한 양분량을 초과하여 투입되고 있는 것이 일반적이다. 이러한 추세는 1995년에 그 격차가 조금 줄어드는 듯 하였으나, 이후에는 거의 일정한 격차를 보이고 있다. 이러한 상황에서 본 분석은 새만금 유역 경종농가의 영농실태를 오염원 투입량을 중심으로 그 현상을 파악하고, 정리된 자료를 향후 비점오염원 저감을 위한 대책수립의 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.



자료 : 김창길, 잉여양분의 효과적인 관리를 위한 지역단위 양분총량제 시행방안, KREI, 2006

(그림 10-4) 농경지 양분초과율 변화 추이

#### 나. 실태분석 결과

조사농가는 동진강수계의 중산간지(정읍) 20호, 만경강수계의 군산, 익산, 김제지역 10호로 총 30호를 대상으로 하였다.

<표 10-55> 조사개황

구분	산간	평야				계
	정읍	군산	익산	김제	소계	
조사호수	20	1	5	4	10	30

<표 10-56> 조사농가 개황

구분	평균연령 (세)	영농경력 (년)	농업종사율 (%)	평균경지면적 (평)	평균소득 (천원)
전체농가	58.3	37.7	96.0	12,092	35,885
산간지대	64.5	45.8	94.0	3,713	18,577
평야지대	46.1	21.6	100.0	28,850	48,000

조사농가의 개황을 살펴보면, 평야지대가 산간지에 비해 영농규모 및 소득이 높게 나타났으며, 경영주의 평균연령 및 영농경력은 낮은 것으로 나타났다.

본 실태분석의 가장 중요한 부분이라 할 수 있는 오염원 자재의 투입에 대해 화학

비료를 대상으로 농촌진흥청 등 농업관련기관에서 제시하는 적정시비량을 기준으로 살펴보면, P(인산)을 제외하고 N(질소)와 K(가리)는 적정시비량을 크게 초과하는 것으로 나타났다. 구체적으로 N(질소)의 경우 적정시비 기준 155%, K(가리)의 경우 142%를 투입하는 것으로 나타났으며, 평야지대에 비해 산간지대의 화학비료 투입이 많은 것으로 나타났다.

<표 10-57> 10a당 비료사용 성분량 (단위 : kg/10a)

구분		N	P	K
적정시비량		11.0	4.7	5.7
조사농가 평균시비량	전체농가	17.0	4.9	8.1
	산간지대	18.6	5.3	8.4
	평야지대	14.7	4.2	7.7

그러나 이상의 실제 투입량과는 달리 적정시비 사용여부에 대한 질문에서는 대부분의 농가인 76.7%가 적정시비량을 사용하고 있다고 스스로 판단하고 있었다. 이것은 농가들이 적정시비량에 대한 정확한 인지를 하지 못하는데 그 원인이 있는 것으로 생각되며, 향후 오염원 저감을 위한 대책 수립 시 적정시비량에 대한 교육 등이 필요할 것으로 판단된다.

<표 10-58> 적정시비 사용여부 (단위 : 호, %)

구분	적정시비	적정시비보다 과소사용	적정시비보다 과다사용	계
전체농가	23	-	7	30
	(76.7)		(23.3)	(100.0)
산간지대	15	-	5	20
	(75.0)		(25.0)	(100.0)
평야지대	8	-	2	10
	(80.0)		(20.0)	(100.0)

오염원이 되는 농자재의 투입과 밀접한 관계가 있는 친환경농업에 대한 실천정도를 살펴보면, 친환경농업 관련 교육 횟수는 2.6회로 나타났으나(<표 10-59> 참조), 친환

경농업 교육자 중 관련 단체 가입율은 19%로 저조한 수준이다(<표 10-60> 참조).

<표 10-59> 친환경농업교육 평균참여 횟수

구분	전체농가	산간지대	평야지대
회	2.6	2.0	3.2

<표 10-60> 친환경농업 단체 가입 여부

구분	가입	가입하지 않음	계
응답자	4 (19.0)	17 (81.0)	21 (100.0)

경종과 축산 복합농의 경우 축산분뇨는 퇴비화하여 농경지에 재투입하거나 정화처리 등 적정하게 처리하여 환경오염을 최소화하고 있는 것으로 나타났다.

<표 10-61> 사육 가축에서 발생하는 분뇨, 오수 처리방법

구분	수집 후 거름으로 사용	부자재(똥밥, 왕겨) 이용 퇴비화	정화처리	계
응답자	6 (46.2)	6 (46.2)	1 (7.7)	13 (100.0)

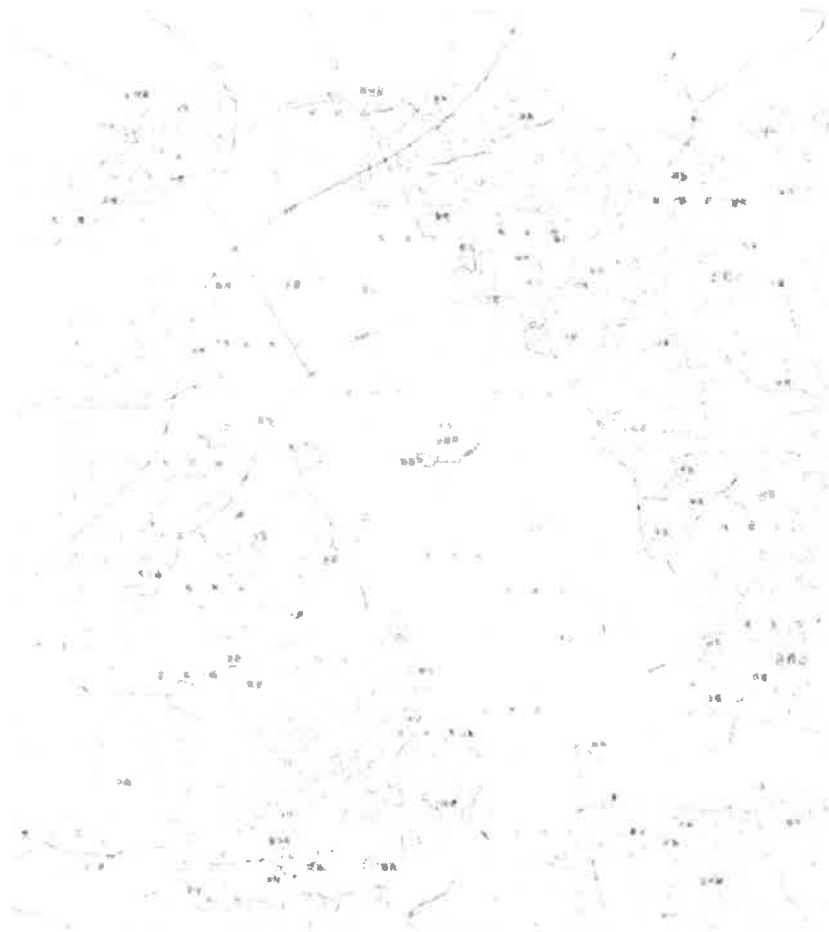
### 3. 새만금유역 마을단위 비점오염 관리 실태-정읍시 태인면 분동마을 사례

#### 가. 조사마을 개요

조사마을은 정읍시 태인면 소재지에서 정읍방향으로 국도 1호선을 따라 약 3km 지점에서 동쪽방향으로 약 2km지점에 위치하고 있으며, 마을의 남쪽으로는 매계리, 동으로는 거산리, 북으로는 태창리, 서쪽으로는 북면 장하리가 위치하고 있다.

마을지형은 마을 중앙에 낮은 구릉을 중심으로 농가가 형성되어 있고, 농가를 중심으로 구릉에는 밭, 구릉 이외에는 논이 형성되어 있다.





(그림 10-5) 조사마을 지형도(정읍시 태인면 분동)

마을의 총가구수는 60호로 농가 42호(70.0%)와 비농가 18호(30.0%)로 구성되어 있으며, 농가 호당경지면적은 1.7ha로 주요 재배작물은 배, 고추, 배추, 북분자 등이다.

축산농가는 전체 농가의 23.8%인 10호이며, 축종은 양돈 4호와 한우 6호로 나타났다. 축산농가는 마을의 남동쪽과 북서쪽에 대부분 위치하고 있으며, 축산분뇨처리시설로는 액비저장탱크 등이 축산농가를 중심으로 설치되어 있으나 사용되지 않고 방치되어 있는 상태이다.

<표 10-62> 양돈농가 현황

사육규모(두)	10,000	2,000	1,500	500
사육형태	일괄	비육	일괄	비육
농가수	1	1	1	1

<표 10-63> 한우사육농가 현황

사육규모(두)	105	53	8	1-2
사육형태	일괄	일괄	일괄	일괄
농가수	1	1	1	3

## 나. 조사내용

### 1) 축산분뇨 처리 실태

조사마을의 양돈농가는 정읍시에서 운영하는 축산분뇨처리장과 액비시설을 이용하여 축산분뇨를 처리하고 있다. 정읍시에서 운영하는 축산분뇨처리장은 최근 운영주체가 시에서 개인으로 변경되었으며, 처리비용은 톤당 소규모 7천원, 대규모 9천원 정도의 비용을 부담하고 있다. 액비시설은 톤당 5천원의 액비처리비를 농가에서 부담하여 처리하고 있으며, 액비저장탱크에서 6개월 이상 부숙 후 농경지에 살포하고 있는 것으로 나타났다.

한우 사육농가의 경우는 대규모일 경우 자체 퇴비사에서 보관하며 퇴비화한 후 주위농가에 무료로 제공하거나 자작 농경지에 살포하는 형태이다. 그러나 사육규모가 10두 내외의 비교적 소·중규모의 한우 사육농가에서는 퇴비사 등 분뇨처리시설이 있으나 논밭 근처에서 보관하며 발효 후 농경지에 살포하고 있다.

### 2) 축산분뇨 발생량 추정

조사마을의 축산분뇨 발생량을 마을내 양돈과 한우의 사육두수와 축종별 원단위 발생량을 이용하여 추정할 수 있다. 축종별 축산분뇨 발생량은 한우가 1,327톤/년, 돼지

21,462톤/년 으로 추정된다. 축산분뇨를 기준으로 총질소와 총인의 발생량을 추정한 결과 한우가 연간 총질소 38톤, 총인 12톤을 발생시키고, 대부분 마을 인근 농경지에 살포되고 있다.

양돈농가에서는 연간 총질소 1,048톤과 총인 544톤이 발생되는 것으로 추정된다. 그러나 앞에서 조사한 양돈농가의 액비화 비율이 약 40%인 점을 감안한다면 총질소 419톤과 총인 218톤이 마을 인근 농경지에 살포되고 있는 것으로 추정된다.

<표 10-64> 조사마을의 연간분뇨 및 오염원 발생량 (단위 : 두, 톤)

구분	사육두수	연간분뇨발생량(톤)			총질소 (톤)	총인 (톤)
		분	뇨	분뇨발생량		
한우	249	918	409	1,327	38	12
돼지	14,000	8,176	13,286	21,462	1,048 (419)	544 (218)
계	-	9,094	13,695	22,789	1,086 (457)	557 (230)

주: ( )는 양돈농가에서 액비시설을 통해 농경지에 살포되는 량을 계산한 수치.

### 3) 경종농가의 토지이용유형별 오염원 실태

조사마을에서의 토지이용 유형은 논에서는 수도작, 밭에서는 고추와 복분자가 주로 재배되고 있으며, 마을내 농가에 의한 경작면적은 총 경작면적의 56.2%인 약 40ha 정도이며, 나머지 농경지는 주변 마을농가에서의 경작 또는 휴경지로 구성되어 있다.

<표 10-65> 조사마을 농경지 오염부하량 발생량

구분	총질소(TN)		총인(TP)	
	논	밭	논	밭
원단위발생량 (kg/km <sup>2</sup> /일)	3.11	3.38	0.07	0.51
년간발생량(kg)	368 (657)	94 (168)	8 (15)	14 (25)

주: 년간발생량은 마을농가에 의한 경작지에서의 발생량이며, ( )은 마을내 총경작지에서의 발생량을 계산한 수치임.

마을 전체 농경지에서 발생하는 오염부하량은 총질소가 논에서 연간 657Kg, 밭에서 168kg으로 총 835kg이 발생하고 있으며, 총인은 논에서 연간 15kg, 밭에서 25kg으로 총 40kg이 발생하고 있다.

마을내 농경지중 논은 대부분 수리시설이 갖추어져 있으며, 동진강에서 유입된 물은 농경지를 거쳐 다시 동진강으로 유입되고 있고, 밭 역시 마을 주변 경사진 쪽에 위치하고 있어 밭에서 발생한 오염물은 논과 농수로를 통해 동진강으로 유입되고 있다.

## 제 5 절 주요선진국의 가축분뇨처리정책과 시사점

### 1. 축산환경보전에 관한 EU의 법제도와 Agenda 2000

#### 가. EU의 축산과 환경문제

최근 EU의 축산부문은 뚜렷한 집약화, 전문화 추세를 보이고 있다. 양돈의 경우 EU의 특정지역, 특히 해안이나 대도시주변에 집중되는 경향이 있으며, 국가별로 보면 벨기에, 네덜란드, 덴마크 및 독일, 프랑스, 스페인, 이탈리아, 포르투갈과 영국의 일부에 집중해 있다. 또 대부분의 EU가맹국에서는 모든 100두 이상의 규모가 보편적이어서 분뇨발생량도 매우 많은 편이다.

이러한 현실에서 EU에서는 집약화가 환경에 미치는 영향에 대해 규제(수질 등)와 농정개혁 두 측면에서 접근하고 있다.

가축비료단위를 척도로 EU 주요국의 가축분뇨로 인한 오염부하수준을 살펴보면, 세계 평균수준(0.76)보다 높다. 덴마크, 독일, 영국의 비료단위는 1.0을 상회하고 있지만, 한계치인 2.5보다는 낮은 수준이며, 프랑스는 0.92 수준이다. 다만, 네덜란드는 6.61로 한계치를 두배 이상 상회하고 있어, 환경문제가 심각함을 알 수 있다(표 66 참조). 따라서 네덜란드는 1990년대 말부터 오염부하가 상대적으로 큰 양돈산업의 축소균형을 정책적으로 유도하지 않을 수 없었다.

<표 10-66> EU 주요국의 가축비료단위 밀도

	경지+다년생 작물 (천 ha)	소 (천두)	돼지 (천두)	닭 (천수)	비료단위 (천)	ha당 비료단위
덴마크	2,328	2,091 (1,394)	11,084 (1,583)	19,000 (190)	3,167	1.36
프랑스	19,493	20,524 (13,682)	14,593 (2,084)	219,000 (2,190)	17,956	0.92
독일	12,061	15,962 (10,641)	24,698 (3,528)	104,000 (1,040)	15,209	1.26
네덜란드	916	4,654 (3,102)	14,397 (2,056)	90,000 (900)	6,058	6.61
영국	5,971	11,868 (7,912)	7,879 (1,125)	126,000 (1,260)	10,297	1.72
일본	1,985	3,147 (2,098)	6,461 (923)	86,000 (860)	3,881	1.80
한국	4,378	4,916 (3,277)	10,250 (1,464)	314,000 (3,140)	7,881	1.95
세계	1,476,378	1,311,515 (874,313)	900,816 (128,688)	12,715,000 (127,150)	1,130,151	0.76

주 : 1) ( )안은 비료단위를 나타냄.

2) 1 비료단위는 독일의 Nieder Sachsen 주를 기준으로 연간 80kg 미만의 질소(N)를 유발하는 분뇨 또는 계분의 양을 의미함.

3) 1 비료단위에 해당하는 가축두수는 소 1.5, 돼지 7, 닭 100입.

4) 1ha당 분뇨 투입한도는 2.5비료단위임.

#### 나. 초산염지침(Nitrate Directive, 91/676/EEC)

1991년 12월 EU각료이사회에서 합의된 「초산염지침」의 목적은 축산 등 농업부문에 기인하는 수질오염의 경감과 더 이상의 오염을 방지하는 것이다.

「초산염지침」의 내용 및 특징을 살펴보면, 초산염지침의 준수에 있어 생산자에게는 오염자부담의 원칙이 견지되고 있다. 또한 이 지침은 모든 가맹국을 구속하고 있으며, 각국은 목적 달성을 위한 스케줄을 작성하도록 되어 있다. 국별 스케줄에서는 초산염에 오염되거나 오염이 우려되는 취약지구(vulnerable zone)의 지정, 오염방지를 위한 농업인의 자주적 우량농법규범(Codes of Good Agricultural Practice), 농업인의 영농행위에 대한 강제적 규제인 행동계획(Action Programme) 등이 포함되어야 한다.

#### 다. 통일적 배출 규제(Integrated Emissions Legislation)

「초산염지침」과 함께 EU에서는 「통일적 오염 방지와 규제에 관한 이사회지침

96/61/EEC」을 통해 비육돈 2,000두 이상, 모돈 750두 이상, 닭 40,000수 이상을 사양하는 집약적 축산의 요건을 규정하고 있다.

구체적으로 이들 시설로부터의 오염의 배출(악취 발생 포함)은 시설설치 허가 시 규제조건에 따르도록 되어 있다. 여기에는 부영양화의 원인이 되는 물질이나 초산염, 인산에 대한 배출 상한선 설정 및 폐기물 규제가 포함된다.

#### 라. 환경영향평가

「환경의 영향평가에 관한 이사회지침 85/337/EEC」(이사회지침 97/11/EC의 개정)는 양계와 양돈의 집약적 시설을 대상으로 하고 있는데, 양돈장의 환경평가의무는 비육돈 3,000두 이상이나 모돈 900두 이상의 시설에 적용된다.

#### 마. 농정개혁

1991년 이후, EU에서는 오염경감 및 방지를 위한 이상의 법적 접근과 동시에 농정개혁을 시도하였다. 이들 농정개혁 중 환경관점에서 볼 때 가장 중요한 최근의 개혁은 1992년의 개혁으로 환경의 보호 및 농촌경관의 보전 요건에 합치하는 농업생산방법에 관한 규칙(No:2078/92)을 도입하였다. 이 규칙의 목적은 농업으로 인한 오염을 경감하는 농법, 환경적으로 바람직한 경종농업 및 축산업, 환경의 보호 및 개선과 양립가능한 토지이용을 촉진하는데 있다.

EU의 공동농업정책(CAP)에서 친환경적인 축산경영의 확립을 위한 제도적 장치가 공식적으로 도입된 것은 1992년 CAP 개혁을 통해서이다. 당시 EU는 과잉생산과 환경문제를 동시에 해결하고 육우생산의 사육밀도를 낮추기 위한 조치로 조방화장려금 제도를 도입하였다. 그 구체적인 내용은 첫째, 일종의 장려금에 해당되는 육우특별장려금(Beef Special Premium, BSP) 및 번식우장려금(Suckler Cow Premium, SCP)의 경우 농장별로 일정한 사육밀도의 상한을 초과하는 두수에 대해서는 친환경적 축산경영의 확립이란 차원에서 지급대상에서 제외시키고 있다. 사육밀도의 상한은 사료작물 면적 1ha당 가축단위로, 1993년의 3.5LU에서 1996년의 2.0LU까지 점차 낮아졌다. 단, 총 가축단위가 15LU 이하의 영세농가는 사육밀도의 제한을 받지 않는다. 둘째, 좀더

적극적인 조방화정책으로는 1ha당 가축단위가 1.4LU 미만일 경우 상기의 BSP 및 SCP에 추가해서 두당 30ECU의 장려금이 별도로 지급하는 내용이다.

이상의 조방화 장려금은 집약생산에 따른 환경문제와 과잉공급 해소라는 두 가지 목적을 겨냥한 것이다. 또한 조방적인 축산은 주로 산악지대 및 구릉지대를 중심으로 실시되고 있음을 감안할 때, EU의 조방화장려금제도는 일종의 조건불리지역(LFA)정책이라 할 수 있다.

또한 EU는 1998년 CAP 개혁을 통해 친환경적 축산경영을 강화하였다. 구체적인 내용은 첫째, Cross Compliance 조항으로 각 회원국이 장려금 지급에 있어서 환경관련 조건을 설정하도록 규정하고 있다. 아울러 이 조건을 위반할 경우에는 장려금 지급을 삭감 또는 정지할 수 있다. 따라서 종전의 BSP나 SCP에서는 환경조건의 이행이 선택사항이었으나 새로운 개혁안에 있어서는 의무사항이 되었다. 둘째, 조건불리지역(LFA) 대책에 있어서 환경요인이 강화되었다. 즉 기존의 LFA 대책에서는 3ha 이상의 농지를 5년 이상 경작할 경우 보상금이 지급되며, 그때 생산자의 환경보호에 대한 공헌을 참고하도록 되어 있었으나, 1998년 CAP 개혁에서는 LFA에 대한 보상금지급 요건을 '농업환경 및 농촌지역의 보전'과 양립하는 생산활동으로 한정하였다. 따라서 LFA에 입각한 축산농가는 더 이상 친환경적 축산경영을 외면할 수 없게 되었다.

이상의 내용 이외에도 1997년 7월 EU위원회는 CAP 개혁을 주요과제로 하는 Agenda 2000을 발표하였는데, 여기에서는 직접지불(direct payment)과 환경을 연계시킨 횡단적 규정(horizontal regulation)의 도입을 기본방향으로 제시하고 있다.

#### 바. 가축분뇨처리문제에 대한 기본관점

네덜란드, 덴마크 등 유럽의 주요 국가는 한국, 일본 등과 달리 주로 지하수에 의존한 수자원 이용체계를 가지고 있으므로 수질의 오염은 매우 중대한 문제가 아닐 수 없다. 따라서 지하수 등 수자원의 오염을 원천적으로 배제한다는 관점에서 가축분뇨처리문제에 대처하고 있는 것이 특징적이며, 이것이 지표수에 의존하고 있는 우리와 다른 점이다. 따라서 유럽의 환경규제조치를 우리에게 응용할 때는 이런 점에 주의할 필요가 있다.

## 2. 주요 선진국의 축산환경대책

<표 10-67> EU 주요국의 가축분뇨 규제제도 비교

국명	시설규제	가축분뇨사용관리에 따른 규제	지원장치	환경문제의 현상
네덜란드	<ul style="list-style-type: none"> <li>저장시설 밀폐</li> <li>축사관련시설의 암모니아 휘산, 질소, 인산의 침투 최소화</li> <li>기업적 생산자의 축사 증설 억제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가축분뇨 생산기록의 장기보관의무화</li> <li>과잉분뇨에 대한 생산세 부과(인산환산 125kg/ha 이상에 과세: 125kg 이상 0.25 길더/kg, 200kg 이상 0.50 길더/kg)</li> <li>사육규모 확대 규제(인산환산배출량 125kg/ha 이상 농가의 규모확대 금지)</li> <li>살포시기제한(9/1~2/1 살포금지)</li> <li>살포방법제한(슬러리 지표살포 금지)</li> <li>가축분뇨 농지사용량의 단계적 삭감(1987~2000년간 일정량 삭감)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모가축분뇨 plant 보조(보조율 35%)</li> <li>가축분뇨은행 설치 보조(재원:과잉가축분뇨생산세)</li> <li>환경대책투자조성(최소투자액 2만길더, 1경영당 상한 38만길더, 보조율 25~35%, 35세이하 청년층 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수의 초산염 오염: 255개 취수지중 10개소에서 50ppm 이상 발견, 폐쇄조치.</li> <li>향후 전체의 1/4인 60개소에서 허용한계를 넘을 것으로 예상됨.</li> <li>암모니아 휘산에 따른 산성우로 토양의 산성화, 산림의 고사 발생</li> </ul>
덴마크	<ul style="list-style-type: none"> <li>9개월분 저장시설설치(31LU 이상 농가)</li> <li>슬러리 탱크 밀폐</li> <li>축사, 가축분뇨저장시설 입지조건(취수구, 공공도로, 인가거리)</li> <li>구조규제(누수방지)</li> <li>축산시설의 신설, 확장 의 허가 규제(250가축단위 이상 농가)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시비계획 작성 의무화</li> <li>면적당 가축사육한도(소 2.3두/ha. 모돈 5.1두/ha)</li> <li>살포시기 제한(겨울, 도시지역에서 토, 일, 경축일 살포 금지)</li> <li>살포지제한(나대지, 상수원 주변 살포 금지)</li> <li>살포방법제한(살포 12시간이내 복토)</li> <li>가을철 green cover, catch crop 의무화(농지의 70%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가축분뇨저장시설 보조는 1988년부터 1995까지 실시(보조율 40%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초산염에 따른 지하수 오염, 바다, 호수의 질소, 인의 부영양화</li> <li>초산염 오염의 대부분은 농업에 기인함</li> <li>지하수의 초산염 오염: 하수원의 18% 25ppm 이상, 8% 50ppm 이상</li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모 가축분뇨저장시설의 설치 허가제</li> <li>6개월 이상 저장시설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>살포량규제(80~200kgN/ha 이하)</li> <li>살포시기제한(10~2월간 살포 금지)</li> <li>살포지 제한(수질보전지역 등)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>초산염의 지하수 침투와 해역유출</li> <li>지하수 초산염 오염(330자치체의 9% 25ppm 이상, 지하수원의 5%가 50ppm 이상)</li> </ul>
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> <li>4개월 이상 저장시설 설치</li> <li>가축분뇨저장시설의 입지규제(하천, 우물, 수원지, 민가로부리의 거리)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>살포량 제한(질소 200kgN/ha.y)</li> <li>살포시기 제한(11월1월 금지)</li> <li>살포지 제한(하천, 수원지, 민가로부리의 거리)</li> <li>농가의 가축분뇨사용계획작성 의무화(현장검사 실시)</li> <li>규정미준수농가에 대해서는 과징금 부과(돼지 1두당 최고 17프랑)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>축산농가의 환경보전투자 조성</li> <li>컨실턴트비용보조(보조율 50%)</li> <li>시설부자의 보조(보조율 30%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수의 초산염 오염: 농업지대에서 높은 농도 분석됨, 40~50 ppm의 수질을 음료수로 음용.</li> </ul>
영국	<ul style="list-style-type: none"> <li>4개월이상 저장시설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>살포량 제한(질소의 사용상한선 250kgN/ha.y, 슬러리 살포 최대량 50t/ha.1회)</li> <li>살포시기 제한(겨울철, 홍수의 위험이 있는 시기)</li> <li>살포지 제한(수도, 우물, 경사 등지에서 살포 금지)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가축분뇨 처리 및 저장시설 설치 보조(50%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수의 초산염 오염:중부, 남부지역의 집약농업지대에 50ppm 이상 분포</li> </ul>



3. 주요국별 환경축산정책의 도입배경 및 경과

<표 10-68> 한국, 일본, EU의 환경축산 발전단계

단계	구분 내용	한 국	일 본	E U
1	수질오염방지법	악취·수질문제 발생	악취·수질문제 발생	악취·수질문제 발생
	정화 기술체계 퇴비화 기술체계 액비 기술체계  방류수규제 강화 물주요수단으로 하는 단계	-BOD, N, P 강화  -초산염의 지하수, 지표수오염 계속 문제화	「수질오염방지법」 「폐기물처리 및 청소에 관한 법률」, 「악취방지법」 -N, P 제거. -톱발발효 퇴비. -질산염 질소 지하수오염 계속 문제화	EU 각지역, 국가별 농지환원을 기본으로 액비사용 기준, 거리, 수량, 시기 등을 규제하고 있으나 지하수, 지표수 계속 문제화
2	농지환원 사육 가축단위(경지중심의 축산)	-농지환원 축산 농가지원우선제도 추진 -가축퇴비, 액비 제조가공판매센터 추진	「가축배설물 관리적정화 및 이용촉진에 관한 법률」(1999)을 통해 환경규제강화와 퇴비이용 촉진을 제도적으로 유도 -가축분뇨 퇴비센터 중심 -야적 및 용덩이처분 금지	「가축분뇨 사용한계량」 강화(네덜란드) 「조화의 규칙」, 「면적규제」등의 강화조치(덴마크)
	분뇨이용촉진법틀을 제도화하는 단계			
3	비료법 개정을 통해 민간주도의 분뇨대책을 수립하도록 유도하는 단계		-가축분뇨퇴비 유통화 조직체계 -액상퇴비화는 고온호기 처리, 근거리 이용 -가축배설물 비료법 추가 등록 완비 -「축산환경정비기구」의 민간주도 설립 및 축산환경기술연구소 설립.	국가, 지역별 민간 생산자단체가 중심이 되어 잉여분뇨에 대한 다양한 유통방법 체계화 -Pelleting(네덜란드) -액비유통체계(독일) -가축분뇨정보처리센터, 가축분뇨 해외수출(네덜란드) -민간주도의가축분뇨처리장, CH4발효처리시설(네덜란드)
4	지하수오염 방지를 위한 법규 강화 단계 (NO3-N)			-「수질환경계획II」, 등 가축단위 강화로 양돈 10% 감축(덴마크) -EU「초산염지침」(EU회원국은 ha당 N 170kg이하 살포규제) -인산기준 분뇨사용 규제(네덜란드) -「MINAS」(네덜란드) ※가축사육두수 감축 방법으로 효과적임
5	미래형 친환경 축산체계 구축단계	-토양작물 생육에 기초한 (N, P) 축산정책 -퇴비·액비 유통화(경제성) -지역순환체계의 종합시스템 구축		-메탄발효(덴마크, 네덜란드) -슬러리 N,P부하저감기술(독일, 네덜란드) -유기축산 장려(덴마크, 독일)

4. 주요 정책수단의 국별 비교

<표 10-69> 주요 선진국의 가축분뇨처리정책 비교

	일본	네덜란드	덴마크
주요 정책	「야적, 웅덩이저장 금지」 「퇴비의 광역유통 활성화」	「MNAS」, 「분뇨처분계약제도」	「조화의 규칙」, 「면적규제」 「수질환경계획 II」 「동계 피복작물 의무화」
효과	-야적과 웅덩이저장 금지로 지표수오염 방지 -웅덩이저장 금지로 지하수오염 방지 -퇴비유통센터를 통해 지역내에서 소비할 수 없는 분뇨를 타지역에 이송함으로써 분뇨의 유통활성화 촉진	-분뇨의 토지 환원을 기본으로 하는 네덜란드는 농지 ha당 질소살포 가능량이 계속 감소 -최근에는 인산기준도 더욱 강화되었는데, ha당 미네랄의 투입량과 배출량의 차이에 대한 손실량 기준을 설정하여 일정기준을 초과할 경우 과징금을 지불하게 하여 분뇨처리보다는 환경보호 우선정책을 통해 환경문제에 대처 -과잉의 분뇨는 분뇨처분계약제도를 통하여, 농가에서 단기적인 분뇨계획을 수립토록 함으로써 환경보호 도모	-비교적 넓은 초지와 경지를 보유하고 있어 분뇨 관련 환경대책은, 농지 ha당 가축사육단위를 감소시키는 방법과, 일정규모 이상의 축산농가는 반드시 자기농지를 소유하도록 규제 -겨울철에 피복작물을 재배 하도록 하여 지하수로의 미네랄용탈 방지
문제점	-퇴비유통센터를 통한 분뇨처분방식은 투입가격상승으로 인한 생산비증가(경제성) 문제와, 경종농가가 희망하는 퇴비의 품질균일화 문제 -경종농가의 퇴비구입 가격부담으로 사실상 구입이 어렵다는 점에서 실효성에 문제	-전반적으로 농축산업보다 환경보호를 우선함으로써 축산농가의 경영여건 악화 농가차원에서는 환경부담금 증가 -가축사육, 가공, 유통 등 축산업계 전반에 걸쳐 경제적이고 효율성 있는 산업으로 재편되지 않는 한, 일부단계의 기술수준 향상등 부분적 대응으로는 문제의 근본적 해결이 어려움	네덜란드와 유사하나 문제의 심각성은 훨씬 덜함

5. 시사점-국내적용 가능성 검토

이상에서 살펴본 가축분뇨처리와 관련하여 일본, 네덜란드 등 선진국에서 현재 사용되고 있는 방법들을 중심으로 그것을 국내에 적용할 때 기술적 측면에서 고려해야 할 사항을 정리하면 <표 10-70>과 같이 요약할 수 있다.

<표 70> 선진국의 주요 분뇨처리기법에 대한 평가

선진 기법	국 가	평 가
퇴비유통센터 (지역단위규모)	일 본	-퇴비의 광역 유통체계 구축시, 품질 표시제, 비료법 개정, 품질 관리, 유통주체 등의 면에서 벤치마킹할 필요가 있음. -단, 톱밥가격의 부담, 민간주도 방식, 경종농가의 구입부담이 크다는 점에서 신중한 접근이 필요
매탄발효처리 (지역단위규모)	네덜란드	-과잉분뇨를 공동처리할 경우 사용하는 방법으로, 가축분뇨만으로는 경제성이 맞지 않아 도시쓰레기와 함께 처리함. 또한 생산된 메탄 에너지는 국가가 구입함으로써 경제적인 부담을 덜어 주고 있음. -국내에 적용하고자 할 경우 계절적인 가동효율과 더불어 위와 같은 점이 함께 고려되어야 할 것임.
N, P분리기술 (농가규모)	네덜란드	-N, P분리기술은, 환원토지가 부족하여 농지환원 가능량만 환원하고, 나머지는 다른 장소로 이동시키기 위해 필요한 기술임. -분리방법으로는 기계적인 방법, 화학적 응집제 이용방법, 침전 방법, 물리적 방법 등이 채용되고 있음. -국내의 현 여건으로 볼 때 시급히 도입이 검토되어야 할 기술임.
Pelleting기술 (지역단위 규모)	네덜란드	-N, P분리후 고형물을 다른 장소로 이송시킬 때 부피를 적게 하여 이용에 편리하도록 하는 기술 -분뇨의 국내 이동 및 해외수출을 모색하기 위해 시급히 도입을 검토해야 할 기술임.
생물학적 N,P제거기술 (종합처리규모)	네덜란드	-N은 질산화 후 탈질하여 N을 감량시키고, 침전되는 P는 분리하여 퇴비화시키며, 나머지 액상물은 자가 환원농지에 이용가능토록 함.
증발/농축기술 (농가규모)	네덜란드	-비교적 입자가 적은 상태까지 분리작업을 마친 다음에도 계속해서 분리하기 위해, 고농도의 농축물과 저농도의 농축물로 유기물을 분리할 때 쓰는 방법임. -비용과 에너지가 많이 소요되어 국내도입 가능성은 낮음.

## 제 6 절 요약 및 결론

본 과제는 새만금호 상류유역인 만경강과 동진강 유역의 농업경영현황 조사를 통해 그 형태를 분류함으로써, 경영형태가 비점오염원 유출량에 미치는 영향을 파악하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

농업경영의 유형구분은 크게 작물, 축산, 작물+축산으로 구분할 수 있으며, 재배작물과 사육축종을 기준으로 세분화할 수 있어 다양한 유형의 경영형태로 구분하였다. 이러한 농업경영형태와 환경오염 원단위에 기초하여 추정된 오염부하량을 기준으로 각 유형별 오염부하량이 상위인 지역을 주요 분석대상으로 하였다.

주요 분석내용은 대상지역에서의 농업비점오염원과 관련하여 실제 토양관리방법(시비 등), 가축분뇨 관리방법(처리, 살포, 배출 등)등의 농가조사를 실시하여 농업인의 비점오염원 관리 실태를 분석하였다.

조사대상은 읍·면별 경지, 축종별 오염부하량(총질소, 총인)을 계산한 후, 각 분야별 총량에서의 비중지수를 구하고, 이를 읍·면별로 평균하여 순위를 부여한 결과를 기준으로 선정하였다. 이상의 기준으로 살펴본 결과 오염부하량이 많은 지역은 김제 용지, 익산 왕궁, 정읍 태인 등으로 나타났으며, 이 중 김제와 정읍을 대상으로 축산분뇨 처리실태, 농경지의 비점오염원이 되는 화학비료 투입실태를 조사하였으며, 정읍시 태인의 경우 1개마을을 사례로 전수조사를 실시하였다.

축산분뇨 처리방법 조사결과, 한우 조사농가에서 발생하는 축산분뇨중 퇴비화되어 자가처리되는 비중은 27.8%이며, 타인에게 유·무상으로 판매되는 것은 72.2%로 높게 나타났다. 한우와 젖소의 경우 양돈과 양계에 비해 축산+경종(사료작물 재배)의 복합영농이 용이해서 자가사용 비중이 상대적으로 높게 나타났다.

양돈 농가의 경우 대부분 분과뇨를 분리하여 처리하고 있다. 분의 경우 66.7%가 퇴비화하고 있으며, 일부 농가는 위탁처리와 해양배출의 형태를 보이고 있다. 축산분뇨처리비용 또한 경영규모가 클수록 크게 나타났다. 이는 양돈농가의 경영규모와 분뇨처리 행태와 관련이 있는 것으로 보인다. 조사대상 농가의 경우 소규모 양돈농가는 발생하는 축산분뇨를 자체 퇴비화시설을 이용하여 퇴비화한 후 자작지 또는 주변 농

가에 무상으로 제공하거나 낮은 처리비를 들여 살포하여 처리하고 있기 때문이다. 반면 중규모 양돈농가에서는 앞선 소규모 농가와 같이 일부를 자체 퇴비화한 후 농경지에 살포하고 초과하는 발생량에 대해서는 위탁처리하고 있다. 따라서 양돈경영 규모가 더 커져 대규모가 되면 축산분뇨 발생량이 많아져 자체 소화하기는 힘들고, 많은 비중을 해양투기나 전문처리업체에 위탁하기 때문에 축산분뇨처리비용이 늘어나게 된다.

이상의 축산분뇨 처리실태를 살펴 본 결과 대부분의 농가가 분뇨를 적절히 처리하는 것으로 나타났다. 그러나 일부에서는 대부분의 농가가 우수기에 무단 방류를 하고 있는 것이 현실이라는 문제점을 제기하고 있다. 따라서 이러한 부분에 대한 철저한 관리감독이 있어야 할 것으로 생각된다.

농경지에서의 비점오염원 실태를 살펴본 결과, 우리나라는 농경지에 투입되는 양분량이 농경지에 필요한 양분량을 초과하여 투입되고 있다. 이러한 전국적인 추세와 마찬가지로 조사농가의 경우에도 농촌진흥청 등 농업관련기관에서 제시하는 적정시비량을 기준으로 화학비료의 시비량을 살펴본 결과 P(인산)을 제외하고 N(질소)와 K(加里)는 적정시비량을 크게 초과하는 것으로 나타났다.

그러나 대부분의 농가인 76.7%가 적정시비량을 사용하고 있다고 스스로 판단하고 있다고 응답하였는데 이것은 농가들이 적정시비량에 대한 정확한 인지를 하지 못하는 데 그 원인이 있는 것으로 생각된다. 따라서 농업인에 대한 적정량에 관련된 교육이 필요한 실정이다. 그리고 이러한 교육은 일률적인 표준시비량을 사용하도록 권장하는 것은 문제가 있으며, 토양조건에 따라 그 시비량이 달라져야 하기 때문에 철저한 토양검증에 기초하여 이루어져야 할 것이다.

정읍시 태인면 소재의 사례조사마을의 경우, 양돈농가는 정읍시에서 운영하는 축산분뇨처리장과 액비시설을 이용하여 축산분뇨를 처리하고 있다. 처리장에서 분뇨를 처리할 경우 발생하는 처리비는 농가에게 적지 않은 부담이 되고 있는 것으로 나타났다. 액비시설을 이용할 경우는 액비저장탱크에서 6개월 이상 부숙 후 농경지에 살포하고 있다.

한우 사육농가의 경우는 대규모일 경우 자체 퇴비사에서 보관하며 퇴비화한 후 주

위농가에 무료로 제공하거나 자작 농경지에 살포하고 있다. 그러나 사육규모가 10두 내외의 비교적 소·중규모의 한우 사육농가에서는 퇴비사 등 분뇨처리시설이 있으나 분뇨처리시설 이용보다는 논밭 근처에서 보관하며 발효 후 농경지에 살포하는 것이 일반적이다.

비점오염원으로 가장 문제가 되고 있는 축산분뇨에 대해서는 선진국의 그 관리 실태를 검토함으로써 향후 농업경영형태별로 비점오염원 관리방안을 수립하는데 필요한 기초자료로서 활용이 가능하다. 가축분뇨처리와 관련하여 일본, 네덜란드 등 선진국에서 현재 사용되고 있는 방법들을 중심으로 그것을 국내에 적용할 때 기술적 측면에서 고려해야 할 사항을 정리하면 다음과 같다.

지역단위 퇴비유통센터(일본)는 퇴비의 광역 유통체계 구축시 경종농가의 구입부담이 크다는 점에서 신중한 접근이 필요하나 관리, 유통주체 등의 면에서 벤치마킹할 필요가 있다.

농가 단위의 N, P분리기술(네덜란드)은 환원토지가 부족하여 농지환원 가능량만 환원하고, 나머지는 다른 장소로 이동시키기 위해 필요한 기술로 국내의 현 여건으로 볼 때 시급히 도입이 검토되어야 할 기술이다.

지역단위의 Pelleting기술(네덜란드)은 N, P 분리 후 고형물을 다른 장소로 이송시킬 때 부피를 적게 하여 이용에 편리하도록 하는 기술로서, 분뇨의 국내 이동 및 해외 수출을 모색하기 위해 시급히 도입을 검토해야 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 고창군, 각 년도. 고창군 통계연보.
2. 군산시, 각 년도. 군산시 통계연보.
3. 김제시, 각 년도. 김제시 통계연보.
4. 김창길·강창용, 2002. 지역단위 농업환경모형의 체계화에 관한 연구, 한국농촌경

제연구원.

5. 김창길·김태영, 친환경농업시스템 구축을 위한 지역단위 물질균형 분석, 농촌경제, 제26권 제4호, KREI.
6. 김창길·김태영·신용광, 2005. 지역단위 양분총량제 도입 세부 시행방안 연구, 한국농촌경제연구원.
7. 농림부, 2005. 농림사업시행지침서(축산).
8. 농림부, 각년도. 농림업 주요통계.
9. 통계청, 각 년도. 농업총조사, 통계청.
10. 부안군, 각 년도. 부안군 통계연보.
11. 새만금사업 환경영향 공동조사단, 2000. 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서.
12. 완주군, 각 년도. 완주군 통계연보.
13. 익산시, 각 년도. 익산시 통계연보.
14. 전주시, 각 년도. 전주시 통계연보.
15. 정읍시, 각 년도. 정읍시 통계연보.
16. 최지용·신은성, 1998. 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책·평가연구원

## 제 11 장 대기준 의사결정기법을 이용한 비점원오염 관리지역의 선정

### 제 1 절 연구 배경 및 목적

비점원오염 관리를 위한 방지대책은 오염원의 종류나 오염과정만큼이나 다양하다. 모든 곳에 사용할 수 있는 범용대책은 거의 존재하지 않는다. 점원오염과 같이 처리 시설을 갖추어 오염물질을 적정기준 이하로 처리한다는 것은 비점원오염이 광범위한 지역에 걸쳐 발생하는 특성상 현실성이 없다. 따라서, 비점원 오염 지역에서 오염물질의 배출을 억제한다거나 방류수계에 도달하기 전에 적절히 처리할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 이에 대하여 비점원오염에 의한 오염을 제어할 수 있는 종합적인 관리방안으로 다양한 최적관리기법(Best Management Practices ; BMP)이 제시되었다. BMP는 비점원오염의 발생 및 유출을 최소화하는데 적합한 유·무형의 방법을 뜻한다. 최근에는 BMP를 적용하였을 때 비점원오염 발생량 대비 배출부하량을 저감하는 제어 및 관리 수준을 적용할 수 있는 것으로 보고되고 있다(강 등, 2003; Amanda and Allen, 2006). 하지만 다양한 종류의 BMP를 유역내 위치하는 모든 비점오염원에 적용하기 보다는 유역 출구에 대하여 비점원오염 영향이 큰 지역을 대상으로 적정한 최적관리기법을 적용하는 것이 더욱 중요하다(권 등, 1998).

유역 출구에 비점원오염 영향이 큰 지역 선정 방법에는 원단위법을 적용하는 방법, GIS를 이용한 토양유실량 추정에 의한 방법, 의사결정에 의한 오염영향 지수 산출을 이용한 정성적인 분석 방법, 비점원오염 모델링에 의한 방법 등이 있다. 그러나 각각의 방법은 접근법 및 방법론에 있어서 한계를 가지고 있다. 비점원오염 원단위법에 의한 배출부하량만을 기준으로 하여 관리지역을 제시하는 방법은 각 비점오염원의 배출 및 유달시 수리학적 특성에 의하여 부하량의 증·감에 작용하는 인자 등을 반영하지 못하고 있다. 비점원오염 물질의 배출은 수리·수문현상과 밀접한 관련을 맺고 있



기 때문에 이러한 요소들을 고려하여 비점원오염 관리지역을 선정할 필요가 있다. 토양유실량에 의한 추정방법은 비점원오염이 토양유실량 뿐만 아니라 지표퇴적물 및 농약 비료 등의 다른 오염원들을 고려하지 못하고 있으며, 정성적 지수에 의한 오염기여지역 산정방법의 경우 비점원오염의 유출에 작용하는 인자를 충분히 고려하지 않은 경우가 존재하고 실제 선정지역의 타당성에 대한 검증이 되지 않는 단점이 있다. 비점원오염 모델링에 의한 방법은 물리·화학적 기반에 의하여 운용되므로 결과에 대하여 타당성을 가지고 있으나, 방대한 양의 입력자료와 시간을 필요로 하며 적용 가능한 유역면적의 한계로 인하여 모델의 적용이 쉽지 않은 경우가 빈번하다(Michele, 2005).

따라서 본 연구에서는 비점원오염에 의하여 하천 및 호소의 수질오염에 미치는 영향이 큰 비점원오염 관리지역(환경부, 2007)을 선정하고자 하였다. 복잡하고 많은 시간과 비용이 소요되는 비점원오염 모델보다는 합리적이고 객관적으로 비점원오염 관리지역 선정 방법을 논의하고자 한다. 다기준 의사결정기법 중 가장 널리 이용되고 있는 계층분석적 의사결정기법의 쌍대비교행렬을 이용하여 비점원오염 기여인자에 대한 가중값을 산정하도록 하였으며, 유역내 단위구역별로 비점원오염 영향지수를 제시하여 관리지역을 선정하고자 하였다. 이는 각 비점원오염 기여인자의 자료만으로 방대한 규모의 유역에도 적용이 가능하도록 하여 향후 중권역 대권역 규모의 유역에 적용하여 비점원오염 관리지역 선정이 가능하다. 그리고 의사결정기법의 특성상 물리·화학적 오염물질의 거동 모의가 불가능한 한계점에 대한 비교분석으로 본 연구에서 적용한 결과자료의 공간적 분포와 비점원오염 모델(AGNPS)을 통해 모의된 비점원오염 부하량의 공간적 분포의 비교 및 분석을 통하여 비점원오염 관리지역 선정의 합리성 및 객관성을 검증하도록 하였다.

## 제 2 절 연구 이론

### 1. 다기준 의사결정기법

다기준 의사결정(multicriteria decision making)이란 평가기준이 다수인 경우, 각 기준 하에서 선택대상으로 고려하고 있는 다수 대안들의 선호도를 각각 측정하고 이를

종합하여 최선의 대안을 선택하고자 하는 과정을 말한다. 다속성 효용이론(multi attribute utility theory ; MAUT), 계층분석화과정(analytic hierarchy process ; AHP), PROMETHEE(preference ranking organization method for enrichment evaluation)는 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 대표적인 기법이다.

#### 가. 계층분석적 의사결정 기법 개요

1970년대 후반 T. Saaty에 의하여 개발된 계층분석적 의사결정방법(Analytic Hierarchy Process ; AHP)은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(pairwise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 하나의 새로운 의사결정방법론이다. AHP 기법은 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 말미암아 여러 의사결정분야에서 널리 응용되어 왔으며, 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다.

항목의 우선순위를 구하는 방법에는 AHP 기법 외에도 주관적 평가기법, 경제성 평가기법, 대차대조표 작성법, 목표달성 행렬법, 공조분석법, 우열법, 다속성모델 등 여러 다양한 방법이 있다(김, 1995). 특히, 다속성모델(Multi-Attribute Model)은 대안을 구성하는 속성들의 가치를 측정하여 최종 대안을 선택하는 방법으로 많이 활용된다. 그러나 이 기법은 AHP 기법과 유사하지만, 가중치 결정에 있어서 AHP 기법은 상대적인 비율을 사용하는데 비하여 다속성 모델에서는 확률을 사용한다는 차이점이 있고(Hacker, 1987), AHP 기법에서는 설문작성자의 판단에 대한 일관성 여부를 검증하여 채택하지만 다속성모델에서는 이러한 과정이 없이 모든 작성자는 일관적이라고 가정한다는 점 등에서 AHP 기법 결과가 더 객관적인 자료로 활용될 수 있다(김, 1998).

#### 나. 계층분석적 의사결정 기법 특징

일반적으로 의사결정문제는 서로 상반된 기준과 불완전한 정보 및 제한된 자원 하에서 최적의 대안을 선택해야 하는 문제를 내포하고 있다. AHP 기법은 이러한 다수 기준 하에서 평가되는 다수 대안들의 우선순위를 선정하는 문제를 다룬다. AHP 기법은 먼저, 상위계층에 있는 요소를 기준으로 하위계층에 있는 각 요소의 가중치를 측

정하는 방식을 통하여, 상위계층의 요소 하에서 각 하위요소가 다른 하위요소에 비하여 우수한 정도를 나타내 주는 수치로 구성되는 쌍대비교행렬을 작성하게 된다. 그리고 이 행렬로부터 고유치 방법(eigenvalue method)을 이용하여 계층의 최상위에 위치한 의사결정의 목적을 달성할 수 있도록 해주는 최하위 단계에 있는 대안들의 상대적인 우선순위를 나타내 주는 전체 계층에 대한 하나의 복합 우선순위벡터(priority vector)를 산출하게 된다.

AHP 기법은 다음에 설명하는 4가지 공리(axioms)에 의하여 적용을 위한 이론적 배경을 마련하고 있다.

<공리1> 역수성(reciprocal) : 의사결정자는 동일한 계층 내에 있는 2개의 요인을 짝지어 비교할 수 있어야만 하고, 그 선호의 강도를 표현할 수 있어야 한다. 이러한 선호의 강도는 역수조건을 만족시켜야만 한다. 예를 들어, A가 B보다  $x$ 배 중요시된다고 하면 B는 A보다  $\frac{1}{x}$ 배 중요하다는 의미가 된다.

<공리2> 동질성(homogeneity) : 중요도는 제한된 범위 내에서 정해진 척도(boundary)에 의하여 표현한다.

<공리3> 종속성(dependency) : 한 계층의 요소들은 인접한 상위계층의 요소에 대하여 종속적이어야 한다. 그러나, 상위계층의 모든 요소에 대하여 인접한 하위계층 내의 모든 요소들 간에 독립성이 확보되어야 하는 것은 아니다.

<공리4> 기대성(expectations) : 의사결정의 목적에 관한 사항을 계층이 완전하게 포함하고 있다고 가정한다.

## 다. 계층분석적 의사결정 기법 주요내용

### 1) 쌍대비교행렬

AHP의 분석은 각 계층의 항목 간 쌍대비교로부터 시작된다.  $n$ 개의 항목으로 구성된 계층에서, 각 항목에 대하여 항목  $i$ 가 항목  $j$ 에 대하여 얼마나 더 선호되는지에 대하여 묻고 그 결과를  $a_{ij}$ 로 하여 비교행렬을  $A = [ a_{ij} ] \quad i, j = 1, 2, \dots, n$ 을 얻을 수 있

다. 쌍대비교를 통하여 상위요소에 기여하는 정도를 <표 11-1>과 같이 9점 척도로 중요도를 부여하는데, 직계 하위계층이  $n$ 개의 요소로 구성되어 있다면 모두  $n(n-1)/2$ 회의 비교를 필요로 한다.

<표 11-1> 쌍대비교 척도의 기준 (Saaty, 1980)

중요도	정 의	설 명
1	비슷함 (Equal importance)	어떤 기준에 대하여 두 활동이 비슷한 공헌도를 가진다고 판단됨
3	약간 중요함 (Moderate importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 약간 선호됨
12	중요함 (Strong importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 매우 강하게 선호됨
7	매우 중요함 (Very strong importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 극히 선호됨
9	극히 중요함 (Extreme importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 강하게 선호됨
2,4,6,8	위 값들의 중간값	경험과 판단에 의하여 비교값이 위 값들의 중간값에 해당한다고 판단될 경우 사용함
역수값	활동 $i$ 가 활동 $j$ 에 대하여 위의 특정값을 갖는다고 할 때, 활동 $j$ 는 활동 $i$ 에 대하여 그 특정값의 역수값을 갖는다.	

$n$ 개의 항목들 각각의 가중치를  $w_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 라 할 때, 비교행렬  $A$ 의 원소  $a_{ij}$ 는 항목  $i$ 와 항목  $j$ 의 두 항목 간 가중치 비율을 의미하고 다음 식 (11-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (\text{for } i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (11-1)$$

따라서, 비교행렬  $A$ 는 다음 식 (11-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \cdots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (11-2)$$

## 2) 가중치 산정

다음은 계층 내 각 항목들의 가중치  $w_i$ 를 구하는 방법이다. 비교행렬  $A$ 의 모든 요소를 나타내면 다음 식 (11-3)과 같다.

$$\sum_j^n a_{ij} \cdot w_j \cdot \frac{1}{w_i} = n \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (11-3)$$

이는 곧 다음 식(11-4)와 같이 나타낼 수 있고,

$$\sum_j^n a_{ij} \cdot w_j = n \cdot w_i \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (11-4)$$

위 식은 선형대수론에서의 고유치 문제와 같다.

$$A \cdot W = n \cdot W \quad (11-5)$$

여기서,  $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ 는 행렬  $A$ 의 우측 고유벡터,  $n$ 은 행렬  $A$ 의 고유치이다.

요소  $a_{ij}$ 로 구성되는 행렬  $A$ 는 고유치방법에 의하여  $W$ 를 구할 수 있는 것이다. 쌍대비교행렬  $A$ 의 각 요소에 대한 가중치  $W$ 를 모른다고 했을 때, 이 행렬을  $A'$ 라 하고

이 행렬의 가중치 추정치  $W'$ 는 다음 식 (11-6)을 이용하여 구한다.

$$A' \cdot W' = \lambda_{\max} \cdot W' \quad (11-6)$$

여기서,  $\lambda_{\max}$ 는 행렬  $A'$ 의 가장 큰 고유치이며,  $\lambda_{\max}$ 에 대한 고유벡터가 중요도이다.

$\lambda_{\max}$ 는 항상  $n$ 보다 크거나 같기 때문에 계산된  $\lambda_{\max}$ 가  $n$ 에 근접하는 값일수록 쌍대비교행렬  $A$ 의 수치들이 일관성을 가진다고 말할 수 있다.

### 3) 일관성의 검증

AHP 기법은 의사결정자가 경험과 직관에 의해 주관적으로 측정하게 되는 요소도 평가에 고려하기 때문에 판단의 완전한 일관성을 기대하지는 않는다. 즉, 인간이 내릴 수 있는 판단의 불완성까지도 AHP 기법은 고려하는 것이다. Saaty는 이러한 문제를 정확히 진단하기 위하여 평가자가 일관성 있는 판단을 내렸음을 검증할 수 있는 방법으로 일관성 지수(consistency index; CI)를 개발하였다.

즉, 응답자들이 얼마나 일관된 사고를 하고 있는지를 평가하기 위하여 일관성 평가를 하게 된다. 일관성 지수는 다음 식 (11-7)과 같이 정의된다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (11-7)$$

이론적으로 가중치 벡터(weight)를 구할 때의 해인  $n$ 과 eigenvalue법을 써서 구한 해  $\lambda_{\max}$ 와의 차이가 크다면 일관성이 없다고 할 수 있다. 이와 같이 CI에 대해서  $A$ 가 일관성이 있는지 아닌지를 판정할 수 있지만  $n$ 이 크게 되면 CI의 값도 커지게 되기 때문에 그대로 일관성의 판정에 이용하기 어려운 점이 있다.

그래서 CI를 보완한 CR(consistency ratio)가 널리 이용되고 있다. CR은 CI를 RI

(random index)로 나눈 값이다. *RI*의 각 요소의 값을 랜덤하게 주어서 발생하는 다수의 일대일 비교행렬의 *CI*의 평균치이다. *CR*이 10%이하 정도이면 일관성이 있다고 판단하여도 좋다고 알려져 있다. Saaty는 *RI*를 다음과 같이 제안하고 있다.

<표 11-2> 랜덤 지수

<i>n</i>	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.59

한편, 노(1996)는 AHP 기법에 대한 이해도가 낮은 사람들을 대상으로 하는 경우 *CR*을 0.2이하까지 허용 가능한 것으로 받아들일 수 있다고 보았으며, 이(2000)는 AHP 기법은 표본크기에 상대적으로 덜 의존적이므로, AHP 기법을 적용하기 위해 필요한 문제에 대한 실무지식과 전문적 경험이 있는 집단의 규모는 집단 특성이 동질적일 때에는 10 ~ 15명이면 충분하다고 보았다.

## 2. 공간적 자기상관성 분석

공간적 자기상관분석이란 어떤 현상의 지리적 패턴을 기술하고 설명하는데 있어서 그 현상의 공간적 배열이 우연적인 것인지 아니면 어떤 체계를 따라 같은 변량을 가진 지역끼리 집적되어 패턴을 형성하고 있는지를 분석하는 것이다.

### 가. Moran's I

Moran's I는 공간적 자기상관성을 측정, 검정하는 방법 중 하나이다. 공간적 자기상관이란 어떠한 현상의 공간적 분포 패턴을 설명하는데 있어서 변량의 크기가 유사한 지역끼리 서로 이웃하고 있는 현상을 의미한다. 유사한 크기의 변량들이 특정한 지역에 집적되어 패턴을 형성하고 있다면 공간적 자기상관이 존재한다고 볼 수 있다. Moran's I는 이러한 공간적 자기상관을 측정하기 위해 고안한 통계치로서, 지역적(local) Moran's I와 전역적(global) Moran's I로 나눌 수 있다. 지역적 Moran's I는 임의의 지점에서의 변량과 주변지역의 변량들과의 상관성 정도를 측정하는 것이며 전

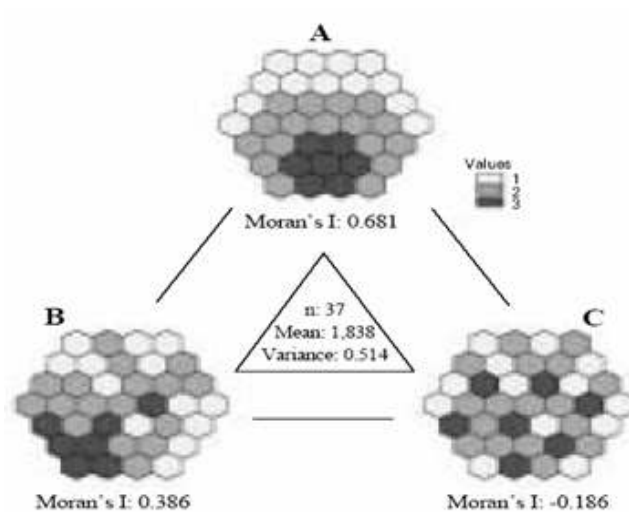
역적 Moran's I는 지역적 Moran's I를 전 지역에 대해 구한 다음 평균한 것이다. 전역적 Moran's I를 구하는 공식은 식 (11-8)과 같다(이, 2004). 전역적 공간자기상관 지수는 연구지역내 단위구역들의 속성 값이 그 근린(neighborhood)의 값들과 유사한 평균 정도를 일련의 표준 수식에 의해 정량적으로 측정하는 것이다.

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j v_{ij}} \cdot \frac{\sum_i \sum_j v_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (11-8)$$

여기서,  $n$ 은 영상내의 총 화소개수이며,  $x_i, x_j$ 는 각각  $i$ 와  $j$ 위치에서의 기준영상 과 대상영상의 속성 값이다.  $v_{ij}$ 는  $(i, j)$ 위치에서의 공간 가중치 행렬(spatial weight matrix)의 원소이다.

공간 가중치 행렬이란 화소내의 인접 원소들끼리의 거리에 대한 가중치를 행렬 형식으로 나타낸 것으로, 일반적으로 거리에 반비례하거나 거리의 제곱에 반비례하는 조건을 이용하여 거리가중치를 계산한다. (그림 11-1)에 제시된 바와 같이 세 개의 공간자료 A, B, C는 전체 평균값과 분산값이 같지만, 같은 크기의 변량들이 집적되어 분포한 A의 경우가 Moran's I값이 더 크게 나타남을 의미한다.





(그림 11-1) 공간자료 특성별 Moran's I

#### 나. 전역적 이변량 Moran's I

공간적 상관계수는 두 변수간의 공간적 상관도를 수치로 나타낸 것으로 본 논문에서는 전역적 이변량 Moran's I(global bivariate Moran's I)를 이용하여 공간적 상관계수를 구하였다. 전역적이라 함은 하나의 분석으로부터 일련의 결과들이 산출되고, 그 결과들은 연구지역 전체에 대해 동일하게 적용되는 것으로 간주됨을 의미한다. 두 영상 A와 B가 있을 때 두 영상간의 공간적 상관계수를 산출하는 과정은 다음과 같다(박, 2004).

1) A영상과 B영상을 각각 평균과 표준편차를 이용하여 정규화 시킨다. 영상을 정규화하는 식 (11-9)와 같다.

$$(\text{normalized } x_{ij}) = \frac{x_{ij} - \mu_i}{\sigma_i} \quad (11-9)$$

2) 정규화된 A영상에서 임의의 위치 (i, j)에서의 화소를 선택한다.

3) 정규화된 B영상의 (i, j)위치의 화소를 중심화소로 하는 윈도우를 씌운 후 윈도우 내의 화소들만 떼어서 저장한다.

4) (5 by 5) 공간가중치 행렬을 구성한다. 각 화소에 대한 거리가중치는 중심화소로

부터 거리의 제곱에 반비례하게 결정되며 가중치의 총합을 1로 만들기 위해 row standardization과정을 거친다. <표 11-3>은 (5 × 5) 크기의 공간가중치 행렬을 형성한 것이다.

5) B영상에서 떼어낸 윈도우의 각 화소에 공간가중치 행렬의 각 원소를 곱하여 총합한다.

6) 총합한 수치와 A 영상에서의 화소를 곱한다.(local bivariate Moran's I)

7) 위의 ii부터 vi까지의 과정을 A영상의 모든 화소에 대해 반복한 후 전 영상에 대한 평균값을 구한다.

<표 11-3> 공간가중치 행렬 (5 × 5)

0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
0.0008	0.0625	0.0625	0.0625	0.0008
0.0008	0.0625	0.5000	0.0625	0.0008
0.0008	0.0625	0.0625	0.0625	0.0008
0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008

위의 과정을 거치면 두 영상간의 전역적 이변량 Moran's I가 구해지는데 이 수치는 1에 가까울수록 양의 상관관계가 강하게 나타나며, -1에 가까울수록 음의 상관관계가 강하게 나타난다.

## 제 3 절 재 료 및 방 법

### 1. 비점원오염 기여인자

본 연구에서는 원단위법에 의한 비점원오염발생량에 대하여 유달거리, 불투수면적의 비율, 지면경사, 토양유실량, 유효강우비를 비점원오염에 기여하는 인자로 제시하였다. 인자의 선정 방법은 비점원오염 모델링에 있어서 가장 높은 활용성과 적용성을

보인 모형을 선정하여 입력변수로 공통적인 인자들만 추출하여 본 연구의 목적에 맞게 선정한 것이다. <표 11-4>는 본 연구의 기여인자 선정에 기준이 되는 비점원오염 모형들을 비교하여 나타낸 것이다.

<표 11-4> 수질모의 모형별 특성비교

Model	Water quality analysis		Simulation type <sup>a</sup>	Drainage area up to 20 acres	Drainage area 20 to 2,000 acres	Area type	Developer
	Polluto-graph	Average annual loading					
AGNPS	No	No	SE	Yes	Yes	Rural	USDA
CREAMS/ GLEAMS	Yes	Yes	C, SE	Yes	Yes	Rural	USDA
SWRRB	No	Yes	C	Yes	Yes	Rural	USDA
SWAT	Yes	Yes	C	Yes	Yes	Rural	USDA
GWLF	Yes	Yes	C	Yes	Yes	Rural/ Urban	Cornell Univ.
HSPF	Yes	Yes	C	Yes	Yes	Rural/ Urban	USEPA
SWMM	Yes	Yes	C, ME	Yes	Yes	Urban	USEPA

a SE = single event, C = continuous, ME = multi-event

이들 인자는 오염물질이 수체까지 이동하는 동안에 회석, 확산, 이류, 침전, 흡착, 탈착, 용해, 침투 등의 자연적 현상을 발생시키는 것으로 오염물질의 거동에 큰 영향을 준다. 유달거리는 오염물질이 발생하여 유역의 출구점까지 이르는 거리를 의미하며 오염물질의 자연적인 정화작용에 있어서 유달거리가 길수록 자연정화작용 효율성은 높아지며 부유사의 도달률은 낮아지는 경향을 가진다(권 등, 1998). 불투수율은 오염 부하량 증가에 영향을 미치는 요인이며, Schueler(1994)는 불투수율 2배증가시 오염부하는 1.7~2.0배 증가한다고 보고한 바 있다. 지면경사의 경우 각 격자의 지면평균경사가 클 수록 오염물질의 배출특성이 빠르며(Basnet et al., 2001) 이는 오염물질의 침전, 흡착 등의 자연적 현상에 의한 오염물질 삭감율을 크게 낮추는 작용을 한다. 권 등(1998)은 토양 침식에 의해 발생하는 토양유실량이 각종 오염물질의 이송 매개체로

서 인과 질소 같은 영양물질이나 독성 물질을 운송하여 수질에 직접적인 영향을 미치는 것으로 제시하였으며, 유사와 수문현상이 비점원오염 배출부하량과 양의 상관관계를 보이는 것으로 제시하였다. 유효강우비는 비점원오염의 대부분이 강우시 유출에 의해 발생하므로 유출에 직접적인 영향을 주는 인자이다.

## 2. 비점원오염 영향지수 (NPSI)

비점원오염 관리지역을 선정하기 위하여 유역내 위치하는 각 격자별로 비점원오염 영향지수를 산출하게 된다. 비점원오염 영향지수는 유역내 비점원오염에 의하여 유역 출구에 영향을 기여하는 정도를 수치화한 것으로, 식 (11-10)과 같은 과정에 의하여 격자별로 지수 값을 산출하였다. 식 (11-10)은 각 인자의 속성값과 가중값의 단순 부가 가중합으로 표현되며, 발생부와 기여부로 나뉘어서 산정된다.

$$NPSI_i = NPS_i \times W_{NPS} + SL_i \times W_{SL} + ER_i \times W_{ER} + IMP_i \times W_{IMP} + DD_i \times W_{DD} + S_i \times W_S \quad (11-10)$$

여기서,  $NPSI$ 는 비점원오염 영향지수,  $NPS$ 는 비점원오염발생량,  $SL$ 는 토양유실량,  $ER$ 는 유효강우비,  $IMP$ 는 불투수면적의 비율,  $DD$ 는 유달거리,  $S$ 는 지면경사를 나타낸다. 아래첨자  $i$ 는 전체격자 중  $i$ 번째 격자를 가리키며,  $W$ 는 각 인자에 해당하는 가중치를 나타낸다.

식 (11-10)의 적용시 각 인자들을 동일한 척도 하에서 평가하기 위해 속성 값의 일반화(normalization)가 필요하다. 즉, 모든 속성 값을 0 ~ 1사이의 값으로 일반화를 해주어야 한다. 일반화 방법에는 여러 가지가 있으나 연구에서는 일반적으로 많이 쓰이는 방법 중의 하나인 선형변환 방법을 사용하였다. 식 (11-11)과 식 (11-12)에 제시한 바와 같이 수치가 높을수록 높은 영향을 가지는 인자에 대해서는 식 (11-11)을 적용하며, 수치가 낮을수록 높은 영향을 가지는 인자에 대해서는 식 (11-12)를 적용하여 각 인자를 변환하였다.

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}} \quad (11-11)$$

$$X'_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}} \quad (11-12)$$

여기서  $x'_{ij}$ 는  $j$ 번째 평가기준도 내에 있는  $i$ 번째 화소값의 일반화된 값이며  $x_{ij}$ 는  $j$ 번째 평가기준도 내에 있는  $i$ 번째 화소값,  $x_j^{\max}$ 는  $j$ 번째 평가기준도 내의 최대 화소값,  $x_j^{\min}$ 은  $j$ 번째 평가기준도 내의 최소 화소값이다.

### 3. 기여인자별 가중치 산정

본 연구에서는 비점원오염 기여인자의 가중치 산정을 위해 AHP 기법 중 쌍대비교 방식을 이용하였다. 쌍대비교 방식은 두 가지 기준을 동시에 고려할 수 있다는 장점이 있고, 다른 방식에 비하여 이론적인 근거가 명확하며, GIS 기반의 의사결정 문제에 있어 적용이 가장 용이한 방식이다(홍 등, 2003). 즉 요소들 간의 상대적 중요도를 나타내는 쌍대비교 행렬을 구성하여 각 인자별 가중치를 계산한다.

설문대상은 비점원오염 및 수문수질분야에서 15년 경력이상의 전문가들로서 본 연구 설문내용에 적합한 전문가들로 구성하였다. 설문표본 수는 45명이며 쌍대비교를 위한 설문지의 질문 예시는 <표 11-5>와 같다.

<표 11-5> 설문 조사지 형식의 예시

Q> 귀하는 비점원오염 부하량 결정에 두 인자 중 어느 것이 얼마만큼 중요하다고 생각하십니까?										
중요 <-----					-----> 중요					
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
유효강우비										지면경사
⋮	⋮								⋮	
불투수면적 비율										토양유실량

개별 평가자가 행한 각각의 쌍대비교행렬을 수집하고 일관성 비율(CR) 0.2를 기준으로 각 평가자의 응답에 대하여 일관성이 저조한 행렬구성은 제외하였다. 일관성 검증에서는 전체 45명 중 10명이 부적합한 것으로 나타났으며 적합한 나머지 평가자들의 항목별 고유치의 백터 값을 산술평균하여 가중치를 통합하는 방법을 적용하였다. 이 방법은 평가에 참여하는 모든 평가자의 견해를 종합적으로 반영하기 때문에 전문가의 종합적 판단을 증시하는 경우에 활용될 수 있다(한국개발연구원, 2000).

AHP 기법에 의하여 산정된 각 유출기여 인자별 가중치는 <표 11-6>과 같다. 토양 유실량이 가장 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으며, 다음으로 유효강우비, 유달거리, 불투수면적의 비율, 지면경사 순으로 나타났다. 식 (11-10)의 계산시 발생부와 기여부의 합산시 발생하는 가중값의 영향을 고려하기 위해 유효강우비와 비점오염원량 사이의 중요도에 대하여 질의를 하였으며, 비점원오염량의 가중치는 0.2387로 나타났다.

<표 11-6> 기여인자별 가중값

Factor	Weight
Soilloss in each cell <SL>	0.2650
Effective rainfall <ER>	0.2585
Delivery distance <DD>	0.2444
Impervious area ratio <IMP>	0.1601
Slope <S>	0.0720
Non-point source generation <NPS>	0.2387

## 제 4 절 연구 적용

### 1. 시험유역

본 연구에서는 경기도 화성시 봉담면과 팔탄면에 위치하고 있는 발안유역 중 북동쪽에 위치한 HP#6 소유역을 시험유역으로 선정하였다. (그림 11-2)는 HP#6을 포함하고 있는 발안유역의 위치를 보여주고 있다. HP#6 소유역에 대한 지목별 토지이용 현황은 산림이 1.96km<sup>2</sup>로서 전체 유역 면적의 51%를 차지하고 있으며, 나대지가 20%,

논이 19%로서 비슷한 비율이었고, 밭이 10%인 것으로 나타났다. 유역면적 3.84km<sup>2</sup>, 유로장 3.1km, 유역경사 1.5km/km였고, 형상계수가 1.56으로서 정방형의 소유역이다.



(그림 11-2) 발안유역의 지리적 개요

## 2. 자료구축

각 인자별 자료는 GIS를 이용하여 유역내 지형·도형인자를 격자형 자료인 그리드 (grid) 자료로 구축하였으며, Young 등(1987)이 추천한 셀의 크기와 조(1998)의 격자의 크기에 따른 모형의 거동 특성을 연구한 결과로부터 100m×100m 크기로 구축하였다.

### 가. 비점원오염 발생량(NPS)

본 연구에서는 토지이용계 부하량이 비점원오염 발생의 주요부분을 차지하므로 이를 비점원오염 발생량으로 정하였다. 토지이용계 부하량 산정을 위해 각 격자별 토지이용은 Landsat-TM(2000.3.20)영상을 이용하여 무감독 분류하여 논, 밭, 임야, 나대지, 기타 등 5가지 지목으로 구분하였다. 비점원오염발생량은 국립환경과학원(2002)이 제시한 지목별 발생원단위를 이용하여 격자 단위 면적에 발생원단위를 곱하여 식 (11-13)과 같이 산정한다. 본 연구에서는 비점원오염의 원인이 되는 총질소 및 총인에

대하여 발생량을 구하였다.

$$NPS_i = \sum (M \times U_i) \quad (11-13)$$

여기서,  $NPS_i$ 는 토지이용계 발생부하량(kg/day),  $M$ 는 지목별 면적(km<sup>2</sup>),  $U_i$ 는 토지이용 지목별 발생원단위(kg/km<sup>2</sup>·day)이다.

#### 나. 토양유실량(SL)

격자별 토양유실량을 산정하기 위하여 토양유실량 추정에 널리 쓰이는 범토양유실량 추정식(USLE)을 이용하였으며 식 (11-14)의 계산식에 의하여 토양유실량을 구하였다(이 등, 2006).

$$SL = R \times K \times LS \times C \times P \quad (11-14)$$

여기서,  $SL$ 는 연평균 토양유실량 (ton/ha/yr)이고,  $R$ 는 강우가식성인자(MJ/ha·mm/hr)이고,  $K$ 는 토양침식성인자(ton/ha/R)이고,  $LS$ 는 지형인자이고,  $C$ 는 작물경작인자이고,  $P$ 는 침식조절관행인자이다.

#### 다. 유효강우비(ER)

비점원오염 물질의 배출은 수문현상과 밀접한 관련을 맺고 있으며, 비점원오염부하 유출은 주로 강우유출에 의해 일어나므로 강우의 영향을 충분히 고려하여야 한다. 따라서 비점원오염부하의 배출에서 강우의 영향을 충분히 고려하기 위하여, 10mm/day 이상 강우강도를 부하량의 배출이 일어나는 유효강우량이라 하였으며, 연 강우량에 대한 유효강우량의 합(엄, 2004)을 ER 값으로 사용하였다.



## 라. 지형특성 인자

불투수면적의 비율(IMP)은 전체 면적에 대한 녹지를 제외한 면적의 백분율을 이용하여 피복의 불투수성 나타내었다. 불투수면적의 비율은 Landsat-TM(2000.3.20) 위성영상을 이용하여 격자별 정규식생지수(NDVI)를 이용하여 구하였다. NDVI는 식생의 활력도에 따라 (-1) ~ (+1)의 값을 갖는 것으로 식생의 활력정도가 토지의 피복정도를 나타낸다고 볼 수 있다(신 등, 1996; 함 등, 2006). 유역 출구에 이르는 각 격자별 유달거리(DD)는 ESRI사의 ArcGIS의 ArcHydro Tool을 이용하여 분석하여 자료를 구축하였으며, 지면경사(S)의 경우 DEM(Digital Elevation Map)을 이용하여 각 격자의 지면경사를 구하였다.

## 3. 연구 적용 결과

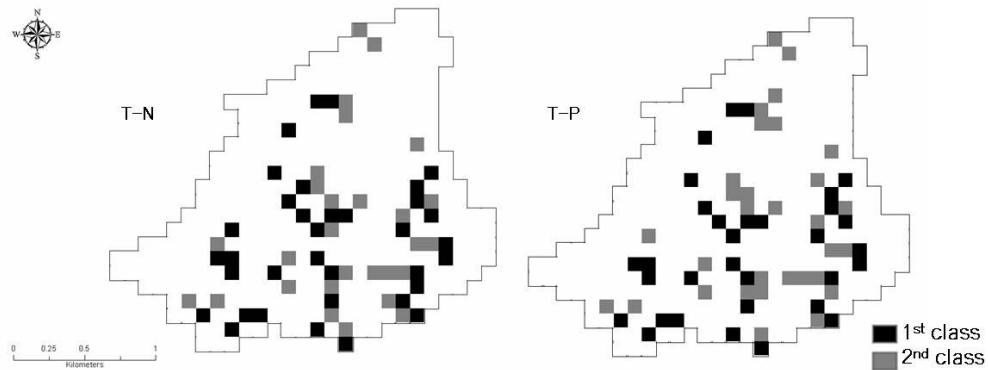
앞서 제시한 식 (11-10)에 의하여 격자별 비점원오염 영향지수를 산정하였으며, 그 결과를 이용하여 비점원오염 관리지역을 선정하였다. 본 연구에서는 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 항목에 대하여 각각의 비점원오염 영향지수를 산정하였는데 이는 각 항목의 지목별 원단위 값의 크기가 다르기 때문이다. 전체 격자에 대한 비점원오염 영향지수를 <표 11-7>에 제시하였다.

<표 11-7> 비점원오염 영향지수의 통계변량

	Mean	SD	Max	Min
Total Nitrogen	0.588	0.024	1.038	0.320
Total Phosphorus	0.567	0.024	1.038	0.306

비점원오염 영향지수의 값이 높은 지역 순으로 순위화 하여 우선적인 관리대상지역 선정을 위해 상위 10%까지를 1등급, 10%초과 20%지역까지를 2등급으로 등급화 하고 T-N, T-P에 대하여 (그림 11-3)에 제시하였다. 본 연구의 목적이 비점원오염 관리에 있어서 순위화에 목적을 둔 것이기 때문에 등급화의 기준은 우선적인 지역을 선정하여 제시하고자 한 것이다. 각각의 항목에 대하여 제시된 관리지역이 비슷한 지역으로 분석되었으며, 대부분의 지역이 나대지 및 밭으로 이용하고 있는 상태였다. 이는 유역

내 비점원오염의 관리우선지역을 보여주며, T-N, T-P의 각각의 항목에 대하여 1등급이 중복되는 지역부터 우선적으로 최적관리기법 등을 적용하여 유역내 비점원오염 부하량의 정량적인 삭감이 필요한 것으로 판단된다.



(그림 11-3) 비점원오염 관리지역의 등급화

## 제 5 절 연구 적용 결과 분석

### 1. AGNPS 모형의 모의

AGNPS 모형의 지형학적 입력자료는 GIS를 이용하여 기본도로부터 주제도를 추출하도록 하였다. 추출된 주제도는 격자로 분할하고, 격자별 속성 값을 갖는 ASCII CODE로 전환하여 모의토록 하였다. AGNPS 모형의 강우자료는 1996년부터 2000년까지의 화성군 팔탄면에 설치된 강우계로부터 수집된 강우자료를 이용하였다. 수위자료는 HP#6 측점에 WL-14 Global Water Level Logger 수위계를 설치하여 자료 수집하였고, 유량자료는 강우가 많은 여름철에는 폭우시 수시로 현장 출장하여 유량 측정하며 그 외 기간에는 년10회의 정기적인 유량 측정을 통하여 수위-유량관계를 조사하였다. 홍수가 발생하면 하천단면이 변화하므로 해마다 현장 조사를 통해 수위-유량관계를 보정하였다. 비점원오염에 의한 부하량 모의를 위해 강우량이 많은 8회의 강우사상에 대하여 수문자료 분석하여 <표 11-8>에 제시하였다. 모형의 오염원자료는 토지이용에 따른 비점오염원에 의한 결과만을 비교하기 위해 점오염원자료는 제외시켰다.

<표 11-8> AGNPS 수문 입력자료

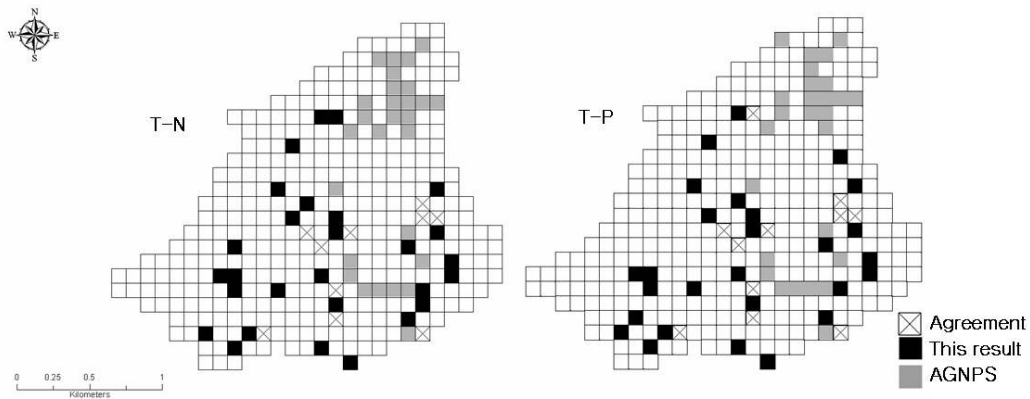
Name	Rainfall (mm)	EI <sub>30</sub> (MJ-mm/ha-h)	Runoff (mm)	Peak (m <sup>3</sup> /s)	AMC
S960617	181.50	1305.09	86.94	29.05	1
S970625	108.50	828.19	47.32	14.19	1
S970630	135.50	1035.84	58.77	26.99	1
S970803	108.50	1711.02	60.0	22.43	1
S970804	122.0	1520.23	85.90	30.36	3
S990802	192.02	802.49	169.78	21.01	3
S990920	147.32	353.34	95.00	14.80	3
S000722	303.53	2569.85	187.94	47.46	1

강 등(2003)은 HP#6을 대상으로 AGNPS를 적용한바 있으며, 이 유역에 적합한 최적의 매개변수를 제시하였다. 제시한 매개변수는 유출량, T-N, T-P, SS에 대하여 각각  $R^2=0.96, 0.74, 0.71, 0.66$ 의 높은 적용성을 보여, 본 연구에서는 HP#6유역에 대한 AGNPS 모형 모의를 위하여 강 등(2003)이 제시한 매개변수를 이용하였다. <표 11-8>에 제시된 8회의 강우사상에 대하여 AGNPS 모의하여 격자별 비점원오염 부하량(T-N, T-P)을 구하였다.

## 2. 관리지역의 격자별 일치도 비교

본 연구에서 제시한 관리지역과 AGNPS 모형의 모의를 통하여 선정된 결과를 비교하고자 하였다. 계층분석적 의사결정기법으로 분석된 1등급지역과 AGNPS 모의에 의한 1등급 지역에 대하여 중복되는 지역(38개 격자)을 (그림 11-4)에 도시하였다. T-N의 경우 26.3%(10격자), T-P는 29.0%(11격자)의 격자 일치도를 보였으며, 중복이 되는 지역의 토지이용현황은 나대지 및 밭으로 분석되었다. 나대지의 경우 비점원오염 발생량 및 토양유실량에 의한 영향이 크게 나타났으며, 밭의 경우 지면경사 및 토양유실량 영향으로 분석되었다. 그리고 상위 10%초과 20%까지 2등급에 해당하는 지역을 추가 선정하여 중복지역(76개 격자) 분석결과, T-N의 경우 63.2%(48격자), T-P는 75.0%(57격자)의 격자 일치도를 보였다. HP#6 소유역의 경우 격자별 비점원오염 발생량이 절대적으로 적은 소유역이어서 AGNPS 모형 모의시 격자별 수문·수리학적

인자에 의하여 민감하게 반응을 보이기 때문인 것으로 분석되었다. 이는 상대적으로 유역 면적이 커서 오염 부하량이 큰 유역에 적용시 오차에 의한 영향을 줄일 수 있을 것이라 판단된다.



(그림 11-4) 1등급 분류 지역의 격자일치도 비교

### 3. 공간적 상관성 분석

본 연구에서는 global Moran's I를 이용하여 AHP 기법에 의한 비점원오염 영향지수 분포와 AGNPS 모형에 의한 비점원오염 부하량 격자별 분포의 공간적 상관성을 분석하였다. AHP 기법에 의해 모의된 공간분포를 대상영상으로 정하였고, AGNPS 모형에 의해 모의된 8개 강우사상에 의한 비점원오염 부하량(T-N, T-P)의 공간분포를 기준영상으로 정하였다.

두 연구방법에 의한 격자별 속성 값의 공간적 분포 상관성을 분석한 결과를 <표 11-9>에 제시하였다. 강우사상별 Moran's I 값이 T-N의 경우 0.455 ~ 0.499, T-P의 경우 0.430 ~ 0.459의 범위를 보여 두 연구방법에 의한 결과는 높은 정적인 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에 의한 격자별 비점원오염 영향지수의 분포가 AGNPS 모형의 격자별 오염부하량 분포와 유사한 경향을 보인다는 것을 말한다.

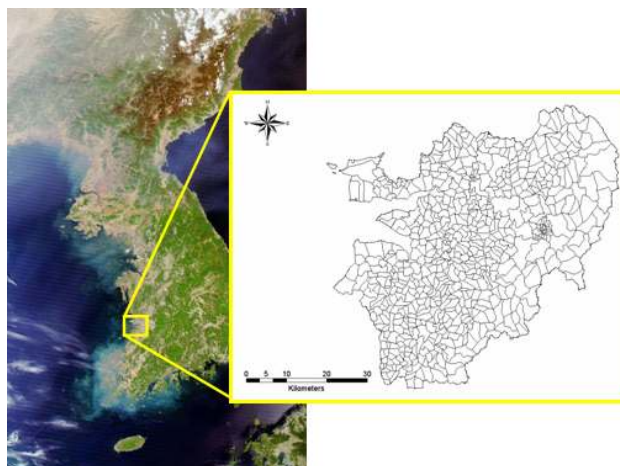
<표 11-9> 본 연구와 AGNPS 모형의 공간적 상관계수 Moran's I

Item	1996 06-17	1997 06-25	1997 06-30	1997 08-03	1997 08-04	1999 08-02	1999 09-20	2000 07-22	Average
T-N	0.493	0.485	0.489	0.497	0.471	0.456	0.455	0.499	0.481
T-P	0.439	0.430	0.435	0.440	0.459	0.455	0.452	0.448	0.445

## 제 6 절 새만금 유역내 비점원오염 관리지역의 선정

### 1. 유역개요

본 연구의 적용대상이 되는 새만금 유역은 전라북도의 전주시, 익산시, 군산시, 김제시 등 5개 시, 3개 군에 걸쳐 있으며 유역전체 면적은 2,924km<sup>2</sup>로, 총 619개의 최소단위 행정구역인 리·동으로 구성되어 있다. 유역내 토지이용 현황은 전체면적에 대하여 논 36.3%, 밭 13.9%, 산림 35.1%, 초지 1.4%, 나지 1.4%, 대지 8.0%, 수역 4.0%(2000년 기준)로 나타났다. (그림 11-5)는 새만금 담수호 유역의 지리적 위치와 유역내 위치하는 리·동의 행정경계를 나타내고 있다. 최대 행정구역은 정읍시 상교동(46.2km<sup>2</sup>)며 최소는 전주시 중노송2동(0.3km<sup>2</sup>)이다. 새만금 유역의 주요 하천인 만경강과 동진강이 비점원오염에 의한 수질오염에 대하여 새만금 담수호의 수질에 대한 관심이 높은 곳이다.



(그림 11-5) 새만금유역 개요 및 행정구역경계

## 2. 유역내 최소단위구역별 자료구축

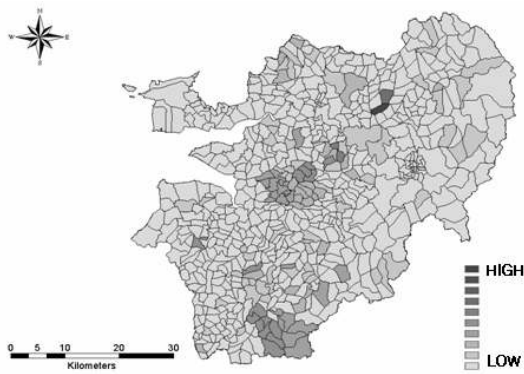
### 가. 리·동별 비점원오염 발생부하량(NPS)

비점원오염 발생의 주요부분을 차지하는 토지이용계와 축산계 부하량을 비점원오염 원인으로 하였다. 토지이용계의 경우 각 리·동의 토지이용을 논, 밭, 임야, 나대지, 기타 등 5가지 지목으로 구분하여, 원단위법에 의하여 토지이용계에 따른 비점원오염 부하량을 산정하였다. 축사에서 발생하는 비점원오염 부하량은 가축의 분과뇨, 축사 세정수에 기인하며, 식 (11-14)에 의하여 산정된다. 이 중뇨와 세정수 및 축분에 포함된 폐수량이 축산폐수가 되며, 폐수화 분량을 제외한 축분의 양이 고형물질량이다. 축산폐수는 공공처리장 및 자원화시설을 통하여 자원화 되거나 처리 삭감되는 점원배출량으로 작용하는 반면, 축산 고형물의 경우 자원화시설을 통한 처리, 농경지 환원등에 의해 오염물질이 배출되어 강우시에 집중적으로 수역으로 유입되는 비점원의 형태를 띠게 된다. 리·동별로 가축사육현황을 파악하여 이 중 유역내로 배출되는 축산고형물의 양을 조사하였다(엄, 2004).

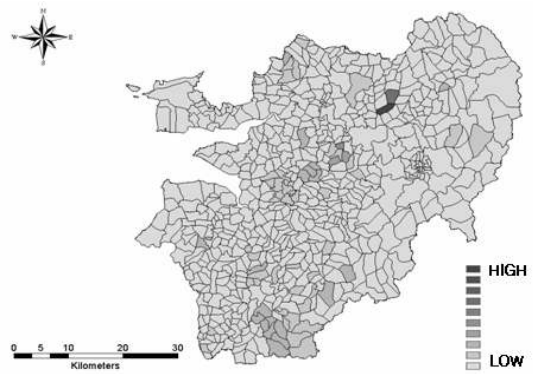
$$NPS_A = L_A - L_{A2} + L_{A3} - L_{A4} + L_{A5} - L_{A6} \quad (11-14)$$

$NPS_A$ 는 축산고형물 비점원 배출부하량,  $L_A$ 는 축산고형물 배출부하량,  $L_{A2}$ 는 축산고형물 환경기초시설이송부하량,  $L_{A3}$ 는 축산폐수 자원화부하량,  $L_{A4}$ 는 축산고형물 자원화삭감부하량,  $L_{A5}$ 는 축산폐수 개별처리슬러지 농지환원부하량,  $L_{A6}$ 은 축산고형물 농경지 삭감부하량이다(각 단위는 kg/day임).

리·동별 비점원오염 발생부하량을 (그림 11-6) ~ (그림 11-7)에 나타내었다. 이는 토지이용계에 의한 부하량과 축산계에 의한 부하량을 합산한 것이다. T-N의 경우 익산시 왕궁면온수리가 968.05 kg/day로 가장 크게 나타났으며 전주시 완산구중노송2동이 2.54 kg/day로 가장 작게 나타났다. T-P의 경우 익산시 왕궁면 온수리가 644.86 kg/day으로 가장 큰 값을 보였으며, 군산시 회현면 세장리가 0.29 kg/day으로 가장 작은 값을 보였다. 리·동 전체에 대하여 T-N, T-P 각각에 대하여 평균 73.9 kg/day, 23.8 kg/day을 보였다.



(그림 11-6) 발생부하량 (T-N)



(그림 11-7) 발생부하량 (T-P)

#### 나. 리·동별 토양유실량(SL)

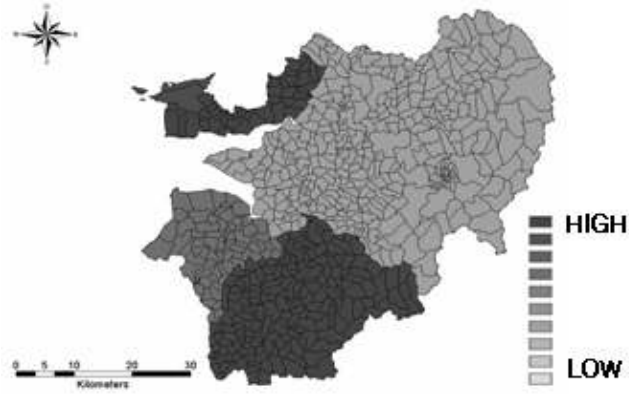
각 리·동별로 범토양유실량 추정공식(USLE)에 의하여 자료를 구축하였다. 리·동별로 0.001 ~ 10.837 tons/ha/yr 이었으며, 평균 0.772 tons/ha/yr으로 나타났다. 토양유실량 추정값이 가장 큰 지역은 군산시 옥산면 금성리였으며, 가장 작은 값을 가지는 지역은 진주시 완산구 중앙동으로 나타났다.



(그림 11-8) 토양유실량

#### 다. 리·동별 유효강우비(ER)

유효강우의 경우 새만금유역내 위치한 기상관측소인 전주, 군산, 정읍, 부안의 자료를 이용하였다. 유역을 다각형 티센망의 작도에 의하여 분할하여 해당하는 지역의 강우자료를 이용토록 하였다. 각 관측소의 유효강우비는 전주가 0.745, 군산이 0.807, 정읍이 0.807, 부안이 0.782로 나타났다.



(그림 11.9) 유효강우비

**라. 리·동별 불투수율 면적 비율(IMP)**

각 리·동 전체면적에 대하여 대지로 이용되고 있는 면적의 비를 불투수율 면적 비율로 간주하여 IMP인자 값을 산정하였다. 리·동별로 0.001 ~ 0.704의 범위를 나타냈으며, 평균 0.057이었다. 가장 큰 값을 가지는 곳은 전주시 완산구 태평동이었으며 가장 작은 값의 지역은 부안군 변산면 중계리로 나타났다.



(그림 11-10) 불투수면적의 비율

**마. 리·동별 유달거리(DD)**

ESRI사의 ArcGIS의 ArcHydro Tool을 이용하여 전체 리·동에 대하여 세만급호



유입에 이르는 유달거리를 구하였다. 리·동별로 0 ~ 63.8km의 범위를 보였으며, 평균 22.6km이었다. 가장 큰 값을 가지는 곳은 완주군 화산면 운산리이며 가장 작은 값의 지역은 군산시 개정면 옥석리로 나타났다.



(그림 11-11) 유달거리

#### 바. 리·동별 지면 평균경사(S)

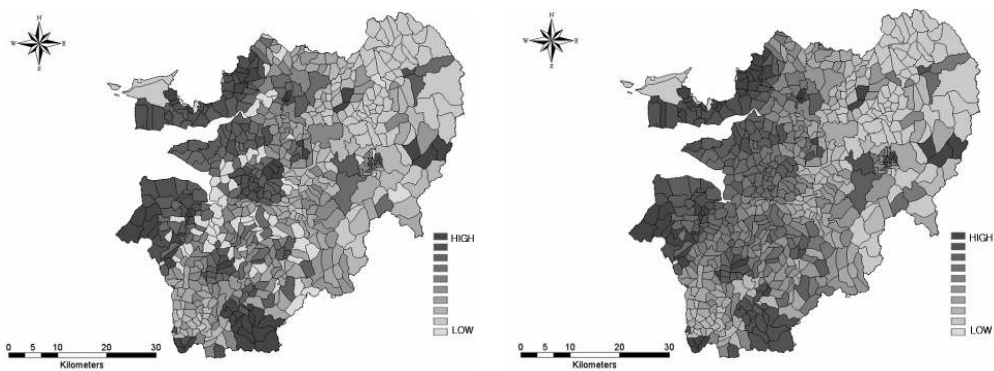
각 리·동의 지면평균경사를 수치고도맵(DEM)을 이용하여 분석하였다. 리·동별로 0.00 ~ 54.14%의 범위를 보였으며, 평균 9.32%로 나타났다. 가장 큰 경사를 갖는 지역은 정읍시 내장상동이며 가장 작은 경사지역은 정읍시 3지역, 부안군 5지역, 김제시 15지역, 익산시 10지역, 군산시 4지역, 완주군 1지역이 평균경사도 0.001%를 보였다. 이들 지역은 새만금 유역의 하류부에 위치한 농경지로 나타났다.



(그림 11-12) 지면경사

### 3. 비점원오염 관리지역의 선정

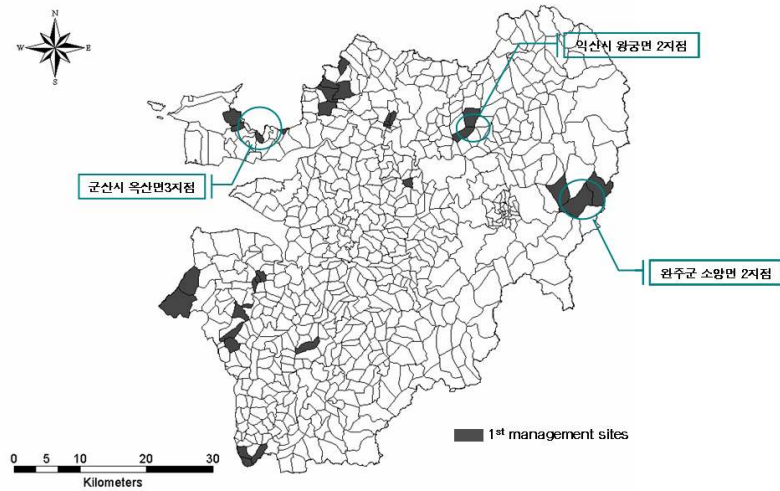
앞서 3절에서 제시한 비점원오염 영향지수(NPSI) 식 (11-10)에 의하여 새만금유역 내 리·동별로 NPSI를 구하였다. 619개의 리·동별로 비점원오염 영향지수가 큰 순서대로 순서화 하였으며, T-N, T-P 각각에 대하여 1등급에서 10등급으로 등급화하였으며 각 등급별로 1점의 차등점수를 부여하였다. 상위 0 ~ 10% 까지 1등급에 해당하는 리·동은 10점의 점수를 90 ~ 100%까지를 1점의 등차점수를 부여하여 점수가 높을수록 비점원오염 우선관리지역으로 분류되며, 등급별로 (그림 11-13) ~ (그림 11-14)에 나타내었다.



(그림 11-13) 등급별 점수분포 (T-N) (그림 11-14) 등급별 점수분포 (T-P)

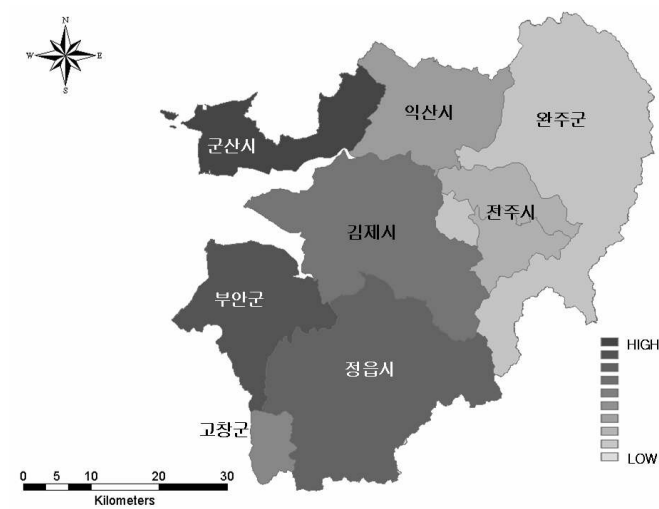
제시된 비점원오염 관리지역에 대하여 우선적으로 BMP를 적용할 지역을 선정할

필요가 있으며, 이는 T-N, T-P 각 항목에 대하여 1등급으로 선정된 지역 중에서 중복되는 지역을 선정하였다. (그림 11-15)에 최우선적인 비점원오염 관리지역을 제시하였다.



(그림 11-15) 최우선적 비점원오염 관리지역 현황

제시된 지역에 대한 분석결과 T-N, T-P에 대하여 가장 높은 값을 보인 지역은 군산시 옥산면이며, 다음으로 익산시 왕궁면, 완주군 소양면으로 나타났다. 옥산면의 경우 토양유실량과 유달거리에 의한 영향이 큰 것으로 나타났으며, 왕궁면 온수리의 경우 비점원오염 발생부하량에 의하며 완주군 소양면의 경우 토양유실량, 지면경사에 의한 것으로 나타났다. 이를 근거로 하여 이들 지역에 비점원오염 관리시 이들 인자를 고려한 최적관리기법의 선정 및 적용이 필요하다고 판단된다.



(그림 11-16) 시·군별 비점원오염 영향지수 분포

그리고 비점원오염 관리지역을 명시화하기 위하여 시·군 별로 점수를 합산하였다. 이는 새만금유역이 대규모의 유역이기 때문에 리·동 단위의 관리지역의 선정으로는 관리의 효과가 미미하며, 비점원오염 관리지역으로 제시되는 지역이 시·군 단위의 규모로 선정되고 있기 때문에 시·군 별로 제시하고자 하였다. 리·동별 점수를 소속 시·군의 전체면적에 대한 면적가중을 적용하여 반영하였다. 시·군 별로 분류하여 (그림 11-16)에 제시하였으며 시군별로 군산시 17.91, 부안군 14.55, 정읍시 13.97, 김제시 11.01, 고창군 8.43, 익산시 7.75, 전주시 7.01, 완주군 4.57을 보였다. 이들 값을 고려하여 시·군별로 비점원오염 관리대책 마련이 필요하리라 판단된다.

## 제 7 절 요약 및 결론

본 장에서는 비점원오염 모델들의 실제 가용자료 부족 및 통계학적 모델의 적용이 불가능한 한계점에 대한 방안으로 합리적이면서도 객관적으로 결과를 제시할 수 있는 방법을 제시하였다. 비점원오염에 영향을 미치는 인자들을 조사하고 계층분석적 의사결정기법(AHP)을 이용한 비점원오염 영향지수를 제시하였으며, 이를 이용하여 유역 내 비점원오염에 대한 관리지역을 선정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 비점원오염 유출 기여 인자로 유효강우비, 불투수면적 비율, 유달거리, 지면경사, 토양유실량을 제시하였으며, 경기도 화성시 발안유역내 HP#6 소유역을 시험유역으로 선정하여 각 인자와 수문 및 도형자료를 구축하였다.

2. 각 인자간의 상호 가중치를 산출하기 위해 비점원오염 및 수질, 토양 분야의 전문가 45명을 대상으로 AHP 기법을 이용하여 각 인자간의 가중치를 산출하였다. 토양 유실량이 0.2650으로 가장 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으며, 다음으로 유효강우비, 유달거리, 불투수면적 비율, 지면경사 순으로 나타났다. 그리고 각 인자별 가중치와 비점원오염량의 가중치를 고려하기 위해 유효강우비와 비점오염원량 사이의 중요도를 질의하여 비점원오염량의 가중치는 0.2387로 나타났다.

3. 산정된 가중치를 이용하여 단순 부가 가중법에 의하여 격자별 비점원오염 영향지수를 산정하였으며, 이에 의하여 유역내 위치하는 단위구역 중 비점원오염 영향에 대하여 관리가 필요한 지역으로 선정·제시하였다. 비점원오염 영향지수의 값이 높은 지역 순으로 순위화 하여 상위 10%까지를 1등급, 10%초과 20%지역까지를 2등급으로 등급화 하여 비점원오염의 주요 수질항목인 T-N, T-P에 대하여 각각 분석하였다.

4. 본 연구에서 제시한 관리지역과 AGNPS에 의한 비점원오염 부하량의 결과를 비교하고자 하였으며, 1등급에 해당하는 지역의 경우 T-N은 26.3%, T-P는 29.0%의 격자 일치도를 보였다. 그리고 1등급, 2등급 전체 지역에 대하여는 T-N은 63.2%, T-P는 75.0%의 격자 일치도를 보였다.

5. 본 연구에서 제시하는 AHP 기법에 의한 비점원오염 영향지수 분포와 AGNPS 모형에 의한 비점원오염 부하량 격자별 분포의 유역내 전체에 대한 공간적 상관성을 분석한 결과 Moran's I의 값이 T-N의 경우 0.455 ~ 0.499, T-P의 경우 0.430 ~ 0.459의 범위로 나타나 두 연구방법에 의한 결과는 높은 정적인 상관성을 갖는 것으로 분석되었다.

6. 관리지역의 일치도 비교와 Moran's I를 이용한 공간적 상관성 분석 결과, 본 연구에서 제시된 접근방법은 향후 대규모 유역에서의 비점원오염 제어 및 관리를 위한 관리지역 선정에 사용 가능할 것으로 판단된다.

7. 본 연구의 방법을 이용하여 새만금유역을 대상으로 적용하였으며, 최소단위 구역으로 619개의 리·동을 선정하였다. 각 리·동의 비점원오염 기여인자의 자료를 구축하였으며 리·동별로 비점원오염 영향지수(NPSI)를 산출하였다.

8. T-N, T-P 항목에 대하여 1등급으로 선정된 지역 중에서 중복되는 지역을 최우선적인 비점원오염 관리지역으로 선정하였다. 분석결과 군산시 옥산면과 익산시 왕궁면, 완주군 소양면이 가장 높은 NPSI값을 보였으며, 이를 근거로 시·군 별로 분류하여 비점원오염 관리대책 마련의 필요성을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

1. 강문성, 2002. 인공신경망 원격탐사기법과 비점오염모델을 이용한 오염총량모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위 논문.
2. 강문성, 박승우, 전종안, 2003. RS와 GIS-AGNPS 모델을 이용한 소유역에서의 비점원오염부하량 추정, 한국농공학회지, Vol.45(1):102-114.
3. 국립환경과학원(NIER), 2002. 수계오염총량관리기술지침, NIER.
4. 권순국, 김복영, 김진수, 김태철, 윤춘경, 정재춘, 홍성구, 1998. 지역환경공학, 향문사.
5. 김광중, 1995. 미시설 공원의 조성 및 토지수용방안, 시정개발연구원 연구보고서.
6. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.
7. 김철, 김석규, 2002. GIS를 이용한 주암호 유역의 점 및 비점오염원 부하량 계산, 한국지리정보학회, Vol.5(3):87-98.
8. 김향자, 1998. 분석적 계층과정(AHP)에 의한 관광정책 우선 순위 설정에 관한 연구, 한국관광학회, Vol.22(2):367-374.
9. 노태호, 정인주, 이성록, 2005. 노선 선정에서 계층분석과정을 이용한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지, Vol.8(2):55-67.
10. 노화준, 1996. 정부출연 연구기관 종합평가 모형에 관한연구 : 평가요소의 개발과 가중치 설정, 한국정책학회보.

11. 민재형, 송영민, 2003. PROMETHEE를 이용한 다기준의사결정, 서강경영논총, Vol.14(2):109-127.
12. 박우진, 2006. 다기준 의사결정기법을 이용한 위성영상 산불탐지에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
13. 신사철, 최윤수, 안기원, 1996. NDVI를 이용한 한반도의 피복 분류, 대한토목학회논문집, Vol.16:139-146.
14. 엄명철, 2004. 하구담수호 지역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석, 서울대학교 박사학위논문.
15. 이상일, 2004. A generalized significance testing method for global measures of spatial association: an extension of the Mantel test, Environment and Planning A 2004, Vol.36:1687-1703.
16. 이은정, 조영경, 박승우, 김학관, 2006. 작부체계를 고려한 새만금 지역의 토양유실량 추정, 한국농공학회지, Vol.48(6):101-112.
17. 이창효, 2000. 집단 의사결정론, 세종출판사.
18. 전종안, 2001. GIS-AGNPS 호환모형을 이용한 소유역에서의 직접유출에 의한 오염부하량 추정, 서울대학교 석사학위논문.
19. 전형섭, 김태곤, 조기성, 김환기, 1996. GIS를 이용한 비점오염의 원인지역 추출에 관한연구, 대한환경공학회지, Vol.18(4):451-463.
20. 조근태, 조용곤, 강현수, 2003. 앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정, 동현출판사.
21. 조재필, 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문.
22. 주재호, 2005. AHP를 활용한 공로화물운송수단의 선택 요인에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
23. 최희선, 2006. 물순환형 생태도시를 위한 유역차원의 습지조성 입지선정에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문.
24. 한국개발연구원, 2000. 예비타당성 조사 수행을 위한 다기준 분석 방안 연구.

25. 한국환경·정책평가연구원(KEI), 2006. 비점오염원 관리지역 지정방안 마련을 위한 공청회, KEI.
26. 한국환경·정책평가연구원(KEI), 2006. 비점오염원 관리지역 지정을 위한 공청회, KEI.
27. 한혜진, 2002. GIS와 AHP이론을 이용한 수변구역 설계, 이화여자대학교 석사학위논문.
28. 함광준, 김준현, 허범녕, 최지용, 김영진, 2006. 유역의 불투수성에 따른 강우유출 특성 비교, 환경영향평가, Vol.15(2):157-163.
29. 홍성언, 박수홍, 2003. GIS와 AHP 의사결정 방법을 이용한 도시 근린 공원의 입지 분석, 대한지리학회지, Vol.38(5):849-860.
30. 환경관리공단, 2004. 금강수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업.
31. 환경부, 2005. 주요 비점오염원에 대한 효과적인 관리방안.
32. 환경부, 2007. 비점오염원 관리지역 지정방안 마련을 위한 공청회개최 보도자료.
33. Amanda, R. B. & T. L. Allen, 2006. Evaluating BMPs in a Claypan Watershed, An ASABE Meeting Presentation.
34. Basnet, B. B., A. A. Apan & S. R. Raine, 2001. Selecting suitable sites for animal waste application using a raster GIS, Environmental Management Vol.28(4):519-531.
35. Brent, A. C., D. E. C. Roger, T. S. M. Ramabitsa-Siimane & M. B. Rohwer, 2007. Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimize infection risk in developing countries, European J. of Operation Research, Vol.181:403-424.
36. Cliff A. D. & J. K. Ord, 1973. Spatial Autocorrelation, London : Pion.
37. Hacker, P. T. & I. G. Vargas, 1987. The Theory of Ratio Scale Estimation : Saaty's Analytic Hierarchy Process, Management Science, Vol.33(11): 1383-1403.
38. Heathwaite, A. L., P. F. Quinn & C. J. M. Hewett, 2005. Modelling and



- managing critical source areas of diffuse pollution from agricultural land using flow connectivity simulation, *Journal of Hydrology*, Vol.304:446–461.
39. Michele M., C. Giuliano, B. Fabio & M. Laura, 2005. River pollution from non–point sources: a new simplified method of assessment, *J. of Environmental Management*, Vol.77: pp.93–98.
40. Munafò, M., G. Cecchi, F. Baiocco & L. Mancini, 2005. River pollution from non–point sources: a new simplified method of assessment, *J. of Environmental Management*, Vol.77:93–98.
41. Partovi, Y. F., 2007. An analytical model of process choice in the chemical industry, *Int. J. of Production Economics*, Vol.105:213–227.
42. Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw–Hill.
43. Schueler, T. R., 1994. *Watershed Protection Techniques: A Quarterly Bulletin on Urban Watershed Restoration and Protection Tools*, Center for Watershed Protection.
44. Thirumalaivasan, D., M. Kaemrgam & K. Venugopal, 2003. AHP–DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS, *Environmental Modeling & Software*, Vol.18:645–656.
45. Vaidya, O. S. & S. Kumar, 2006. Analytic hierarchy process: An overview of application, *European J. of Operational Research*, Vol.169:1–29.

## 제 12 장 GIS를 이용한 새만금유역 오염총량 관리시스템

### 제 1 절 서 론

일반적으로 하구담수호는 상류역의 호소에 비해 넓은 유역을 가지고 있으며 인근 지역에 대규모의 농경지, 축산시설, 도회지, 공업단지 및 양식장이 위치하여 유기오염이나 독성오염은 물론 부영양화에도 취약한 입지적 조건을 가지고 있다. 또한 연안에 인접한 유역은 주로 상수원으로 이용되는 중상류역에 비해 오염원의 관리는 물론 환경기초시설의 투자가 낮아 적절한 처리 없이 오염물질이 유입되고 있으며, 담수화 이후에도 해양과 간석지의 염분침출로 인한 염분성층으로 물의 수직순환이 억제됨에 따라 심층수의 혐기화와 그에 따른 오염물질 용출이 문제가 되고 있다. 이러한 하구 담수호를 수질오염에 안전하게 유지하여 지속적인 용수공급원으로 사용하기 위해서는 호소의 주된 오염원인 상류로부터 유입되는 오염물질에 대한 부하량 삭감이 우선되어야 한다(엄명철, 2004).

국내의 경우 하천 및 호소에 대한 수질관리를 위해 1990년대 말부터 오염총량관리제를 도입하기 시작했다. 오염총량관리제는 개별 오염원에 대한 농도 규제 방식에서 탈피하여 수계전체의 환경용량을 감안하여 원하는 목표수질을 달성하기 위해 허용할 수 있는 오염총량을 해당 배수구역에 할당하고, 이를 초과할 경우 적정 수준으로 삭감하거나 오염원의 신규입지 금지 또는 배수구역이나 지방자치 단체 간 오염권의 거래를 허용하는 등 수계전체를 대상으로 접근해가는 보다 근원적이고 광범위한 수질관리 정책이다(천승규, 2001). 이러한 오염총량관리제의 시행을 위해서는 개별 배수구역에서 배출되는 오염물질의 양을 정확히 산정하는 것이 무엇보다도 중요하다.

그러나 기존에 행하여지고 있는 수계의 분포와 기본적인 토지의 사용 유형만을 이



류부에서 진행된 새만금 간척사업은 군산시에서 고군산군도를 거쳐 변산반도를 잇는 33km의 방조제를 건설하고 방조제 안쪽에 농경지와 담수호를 만드는 대규모 국책사업이다. 그러나 새만금 유역의 주요 하천인 만경강과 동진강의 수질오염으로 인하여, 향후 조성될 새만금 담수호의 수질악화에 대한 우려가 높아, 현재 범정부차원의 수질 개선대책을 수립하여 시행 중에 있다.

새만금 유역은 만경강과 동진강 수계에 포함된 지역과 만경·동진강 수계에 포함되지 않은 서해안 일부지역 및 새만금 간척개발지로 구분할 수 있다. 새만금 유역의 전체 면적은 3,319km<sup>2</sup>로서 만경강 수계가 1,571km<sup>2</sup>, 동진강 수계가 1,004km<sup>2</sup>이며, 하천법의 적용을 받는 만경·동진강 수계는 2,571km<sup>2</sup>로 전체 유역면적의 77.5%이다. 서해안 지역은 347km<sup>2</sup>로 10.4%를 차지하고 있다. 동진·만경강 수계 및 서해안 지역을 포함하는 육지부는 2,918km<sup>2</sup>로 전체 유역면적의 87.9%를 차지하며 나머지는 새만금 간척개발지 401km<sup>2</sup>로서 전체면적의 12.1%를 차지하고 있다. 새만금 유역에 속하는 행정구역은 전라북도의 5개 시, 3개 군이다. 이중 전주시 및 정읍시, 김제시, 완주군은 대부분의 지역이 유역 내에 포함되지만, 군산시, 익산시, 고창군, 부안군은 일부 지역만이 유역으로 포함된다(그림 12-1).

## 2. 오염총량 관리시스템 구축

### 가. 비점오염 배출부하 데이터베이스 구축 및 배출부하 검색모듈

비점오염 배출부하 데이터베이스를 구축하기 위하여 ‘하구담수호 유역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석모형(엄명철, 2004)’의 결과를 적용하였다. 위 모형은 유역에서의 오염총량제 적용을 위한 오염물질량의 합리적인 산정을 위해 점원 및 비점 오염원의 배출특성과 강우유출에 따른 부하량의 시기별 배출특성 등을 모두 고려할 수 있는 오염부하량 산정모형을 구축하였다.

오염부하량 산정모형에서는 오염원을 인구, 축산, 산업체, 토지이용, 양식장, 온천 등으로 분류하고 원단위법을 이용하여 개별 오염원의 발생형태에 따른 발생부하량을 산정하고 개별처리시설 및 환경기초시설에서의 시기별 처리량을 분석하여 유역으로 배출되는 배출부하량을 오염원별, 시기별로 산정할 수 있도록 하였다. 개별 오염원의

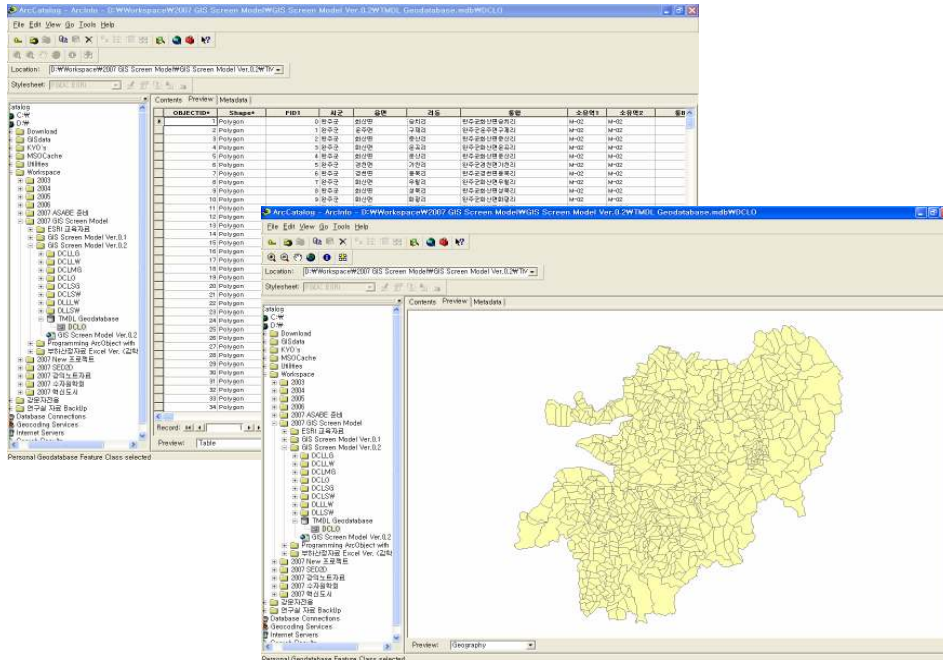
로부터 배출된 오염물질이 수계에 도달하는 동안의 오염물질 변화과정은 소유역별 조정계수를 이용하여 반영하였으며, 이를 통해 최종적으로 수계로 유입되는 유달부하량을 시기별로 산정할 수 있도록 하였다. 오염부하량 산정모형은 기존 원단위모형에서는 고려하지 못했던 세부적인 수질대책에 따른 오염물질 삭감량의 변화를 잘 반영하고 있으며, 강우 유출에 따른 시기별 부하량의 변동에 대해서도 오염원별로 합리적으로 계산하고 있는 것으로 나타났다.

(그림 12-2) ~ (그림 12-4)와 같이 “시공간적 오염물질 배출구조 해석모형”이 Spreadsheet 기반의 모형이므로 이를 본 시스템에 적용하기 위하여 비점오염 배출부하량의 해석결과를 ArcGIS 8.3의 ArcCatalog with VBA를 사용하여 Geodatabase의 형식으로 변환, 구축하였다. (그림 12-5)와 (그림 12-6)은 변환된 Geodatabase를 보여주고 있다.

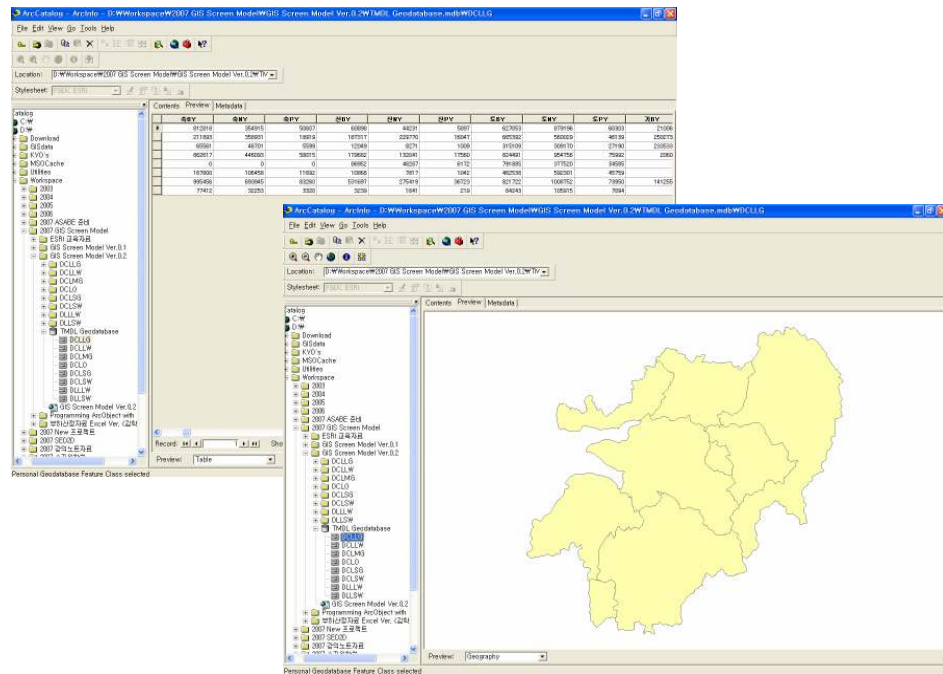
소유역명	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
76. M-07-3	591	391	416	1,101	791	516	394	1,568	522	511	472	523	290	120	183	849	594	
77. M-07-4	188	121	153	396	259	161	323	680	163	163	149	165	72	36	49	194	136	
78. M-08	1,601	1,201	1,333	2,576	2,366	3,441	4,803	6,210	4,691	4,285	3,319	1,761	1,639	1,321	1,513	2,542	2,220	
79. M-09-1-1	16	13	15	34	37	58	35	115	39	89	64	24	5	2	3	14	14	
80. M-09-1-2	131	117	115	65	80	39	89	82	82	101	103	138	31	41	49	11	23	
81. M-09-1-3	1,367	1,228	1,255	1,552	1,464	1,497	1,947	2,340	1,602	1,623	1,571	1,473	965	845	814	1,505	1,269	
82. M-09-2	29	21	25	46	37	26	45	94	25	25	24	26	12	6	8	26	30	
83. M-09-3	248	222	227	262	198	183	183	248	161	167	174	176	201	321	334	280	362	
84. M-09-4	1,001	811	815	1,276	787	562	928	1,738	549	544	520	596	402	344	380	819	639	
85. M-09-1	40	30	36	44	50	37	59	105	36	36	34	37	15	9	11	36	29	
86. M-09-2	102	79	93	195	128	97	150	263	94	93	89	95	38	20	26	97	81	
87. M-09-3	1,164	862	750	3,547	1,964	830	2,637	6,467	936	926	757	551	510	161	294	2,014	1,132	
88. M-09-4	216	120	173	476	323	194	422	891	197	193	169	181	109	28	55	390	257	
89. M-09-5	18	5	15	41	29	18	38	80	18	17	14	14	8	2	4	29	21	
90. M-10-1	3,041	2,596	2,698	2,165	1,901	2,236	2,197	2,424	1,852	2,251	2,269	3,175	702	949	1,170	1,96	457	
91. M-10-2	680	542	592	1,472	1,823	4,239	5,750	6,390	6,399	5,705	4,046	1,278	182	166	207	407	498	
92. M-10-3	62	49	62	599	764	2,201	2,967	3,171	3,407	3,009	2,662	414	14	9	12	111	151	
93. M-10-4	18	11	15	37	27	16	34	73	15	15	14	17	6	1	3	23	19	
94. M-10-5	12	7	9	24	17	10	22	47	10	10	9	11	4	1	2	15	12	
95. M-10-6	26	22	26	72	62	31	56	140	30	30	27	32	12	3	6	44	37	
96. M-10-7	22	18	21	113	161	420	572	618	637	566	389	668	7	4	5	35	49	
97. M-10-8	5,218	4,248	4,567	6,883	5,733	6,223	6,439	11,706	6,732	6,776	5,838	5,539	2,944	2,235	2,681	3,511	3,294	
98. M-10-9	413	395	379	1,011	1,111	2,252	3,125	3,522	3,186	2,894	2,019	744	139	77	101	418	448	
99. M-10-10	6	5	5	19	26	26	64	80	72	50	14	2	1	1	1	8	10	
100. W-01-1	30	56	78	168	129	91	169	324	93	89	78	77	40	13	23	132	101	
101. W-01-2	229	195	213	401	422	589	800	950	695	485	295	711	45	6	51	185	215	
102. W-01-3	43	24	36	89	63	38	80	166	37	36	32	34	18	6	10	58	44	
103. W-01-4	63	52	57	103	97	77	122	166	65	70	56	70	21	11	15	58	63	
104. W-01-5	212	143	192	363	277	239	345	614	210	204	163	178	74	39	48	208	148	
105. W-01-6	73	58	66	163	182	301	429	498	406	372	262	116	24	13	18	76	89	
106. W-01-7	65	41	56	119	95	60	119	242	57	56	51	57	30	10	17	98	87	
107. W-01-8	38	28	34	61	60	36	61	114	34	32	26	14	7	10	40	60	67	
108. W-01-9	32	26	29	69	117	254	350	388	370	332	231	71	10	6	9	35	45	
109. W-01-10	1,088	1,026	1,067	1,544	1,642	2,340	2,974	3,207	2,970	2,780	2,180	1,330	224	206	219	365	411	
110. W-01-11	198	99	106	702	1,069	2,995	4,031	4,907	4,691	4,051	2,794	998	29	18	25	177	225	
111. W-01-12	16	12	14	26	21	15	26	48	15	14	14	15	6	3	4	17	16	
112. W-01-13	78	64	74	325	447	1,134	1,541	1,667	1,713	1,523	1,050	257	24	15	19	101	130	
113. W-01-14	72	53	69	106	91	71	107	190	58	56	61	60	24	12	17	61	55	
114. W-01-15	11	9	10	19	18	14	23	32	11	12	9	12	4	2	3	13	14	
115. W-01-16	62	63	66	122	137	226	313	359	304	279	201	93	21	13	16	56	65	
116. W-01-17	376	340	369	499	485	462	604	731	463	470	406	404	106	81	92	205	209	

(그림 12-2) 시공간적 오염물질 배출구조 해석모형 (Module - 소유역별 배출부하)





(그림 12-5) 배출부하 Geodatabase - 행정구역(리동) 기반



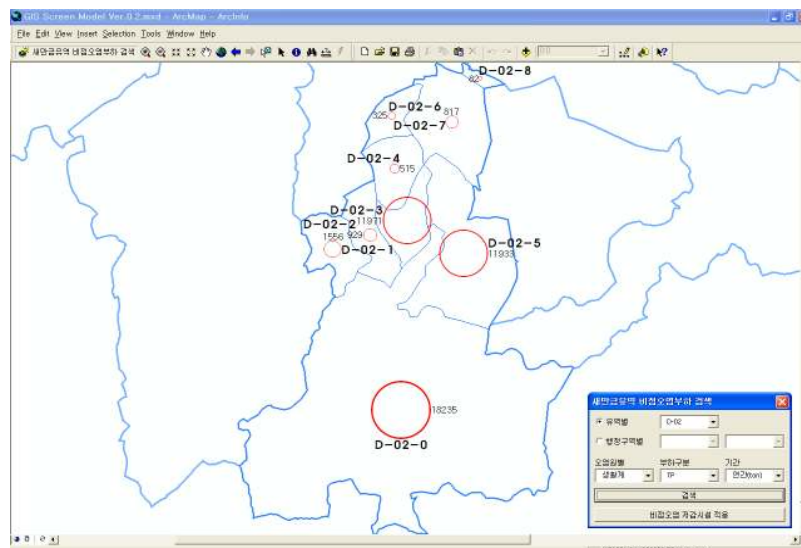
(그림 12-6) 배출부하 Geodatabase - 행정구역(시군) 기반





## 2) 소유역별 조회

소유역별로 구축된 자료 역시 행정구역별 조회와 같이 검색하고자 하는 오염원 및 부하, 시기를 선택하고 소유역도에서 검색하고자하는 지역을 선택하게 되면 각각의 오염원 데이터의 속성에 적합한 포맷으로 해당되는 지역의 오염원 현황을 보여지게 된다. (그림 12-8)의 경우 D-02 소유역의 연간 생활계 TP 배출부하량을 검색한 예를 나타내는데, D-02-0 소유역을 포함한 하위 소유역의 소유역명, 배출부하량, 배출부하량의 상대적인 크기 등이 도시된다.



(그림 12-8) 배출부하 검색모듈(검색 예)  
소유역 D-02, 연간 생활계 TP 배출부하량

### 나. 유달부하 데이터베이스 생성모듈

가. 에서 구축된 배출부하량 DB를 바탕으로 유달부하량을 산정하는 모듈을 개발하였다. 유달부하량을 산정하는 여러 방법 중 실측자료에 의한 유달부하량의 산정이 가장 바람직하나(우효섭, 1995), 대상유역 내의 행정구역이나 소유역의 실측자료가 없는 경우가 대부분이기 때문에, 식(12-1)과 같이 자정계수와 유달거리로 구성된 유달함수를 이용하여 산정하는 방법을 선택하였다.

$$L_{DR} = L_0 \times e^{-kl} \quad (12-1)$$

여기서,  $L_0$ 는 배출부하량(kg/day),  $k$ 는 수질항목별 자정계수,  $l$ 은 유달거리(km)로서 대상지역 중심부에서 출구점까지의 거리이다. 유역의 오염물질 자정은 유역면적과는 정상관이고, 유출량 및 유달거리와는 역상관에 있으므로, 식(12-2)와 같이 회귀식을 구성하여 유역 자정계수를 구하였다.

$$k = \alpha_p \times \sqrt{A/Q} \times F^{\beta_p} \quad (12-2)$$

여기서,  $A$ 는 소유역 면적(ha),  $Q$ 는 소유역 유출량(m<sup>3</sup>/day),  $F(=A/T^2)$ 는 소유역 형상계수,  $T$ 는 소유역 주하천의 길이(km),  $\alpha_p$ ,  $\beta_p$ 는 상수이다.

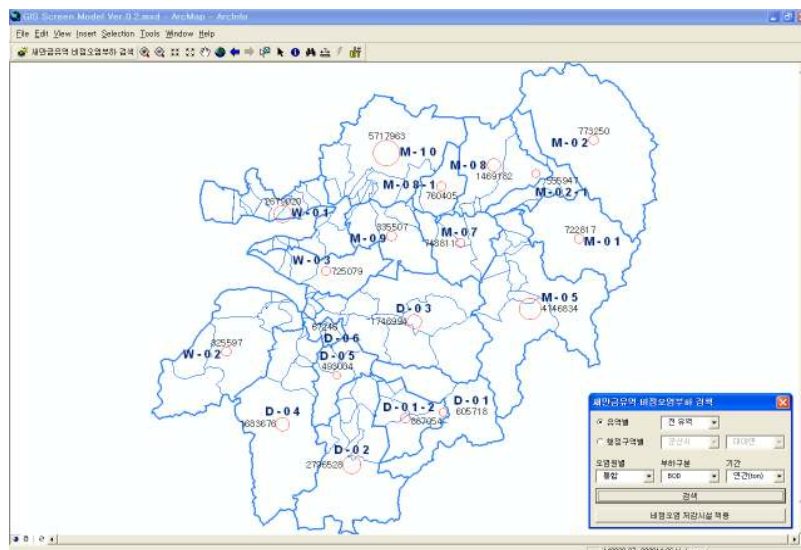
OBJECTID	Shape#	FID#	소유역ID	소유역명	유출량	유출점	자정계수
1	Polygon	52	W-001	W-001-1	1946		86
2	Polygon	53	W-001	W-001-2	2090		17.9
3	Polygon	54	W-001	W-001-3	4133		10.5
4	Polygon	55	W-010	W-010-1	214		1.8
5	Polygon	56	W-001	W-001-4	1025		3.3
6	Polygon	57	W-010	W-010-2	21		0.4
7	Polygon	58	W-010	W-010-3	1170		6.2
8	Polygon	59	W-001	W-001-5	490		3.3
9	Polygon	60	W-010	W-010-4	230		1.3
10	Polygon	61	W-001	W-001-6	30820		22.9
11	Polygon	62	W-001	W-001-7	360		2.7
12	Polygon	63	W-001	W-001-8	1700		10.2
13	Polygon	64	W-001	W-001-9	4390		13.3
14	Polygon	65	W-001	W-001-10	1265		6.1
15	Polygon	66	W-001	W-001-11	770		5.5
16	Polygon	67	W-001	W-001-12	670		4
17	Polygon	68	W-001	W-001-13	660		2.1
18	Polygon	69	W-001	W-001-14	13330		22.3
19	Polygon	70	W-001	W-001-15	410		1.8
20	Polygon	71	W-001	W-001-16	1560		5.2
21	Polygon	72	W-001	W-001-17	520		3.8
22	Polygon	73	W-001	W-001-18	690		4.8
23	Polygon	74	W-001	W-001-19	96		1.5
24	Polygon	75	W-001	W-001-20	2830		6.5
25	Polygon	76	W-001	W-001-21	6675		3
26	Polygon	77	W-001	W-001-22	920		4.3
27	Polygon	78	W-001	W-001-23	510		1.7
28	Polygon	79	W-001	W-001-24	3990		8
29	Polygon	80	W-001	W-001-25	5740		14.3
30	Polygon	81	W-001	W-001-26	321		0.5
31	Polygon	82	W-001	W-001-27	1495		6.2
32	Polygon	83	W-001	W-001-28	730		2
33	Polygon	84	W-001	W-001-29	4670		14.1
34	Polygon	85	W-001	W-001-30	170		0.8

(그림 12-9) 소유역별 유달부하량 산정 매개변수 DB

유달부하량 Geodatabase 구축과정은 다음과 같다. (1) '시공간적 오염물질 배출구조 해석모형'을 바탕으로 각 소유역별 유달거리, 소유역 면적, 주하천의 길이, 유출량 등 유달부하량을 산정하는 데 있어 필요한 매개변수들을 소유역별로 추출한

Geodatabase로 생성하고(그림 12-9) (2) 배출부하량 데이터베이스를 추출하여 (3) 각 단위별로 (소유역 혹은 리동 단위 행정구역별로) 소유역명을 참조하여 유달부하량 데이터베이스로 갱신한다. 이와 같이 생성된 유달부하량 데이터베이스도 가. 에서 개발된 부하량 검색모듈에서 배출부하량과 마찬가지로 검색이 가능하도록 설계되었다.

소유역별로 구축된 유달부하량 자료 역시 소유역별 배출부하량 조회와 같이 검색하고자 하는 오염원 및 부하, 시기를 선택하고 소유역도에서 검색하고자하는 지역을 선택하게 되면 각각의 오염원 데이터의 속성에 적합한 포맷으로 해당되는 지역의 오염원 현황을 보여주게 된다. (그림 12-10)의 경우 전체 새만금유역에 대하여 연간 BOD 유달부하량을 검색한 예를 나타내는데, 하위 소유역의 소유역명, 배출부하량, 배출부하량의 상대적인 크기 등이 도시된다.

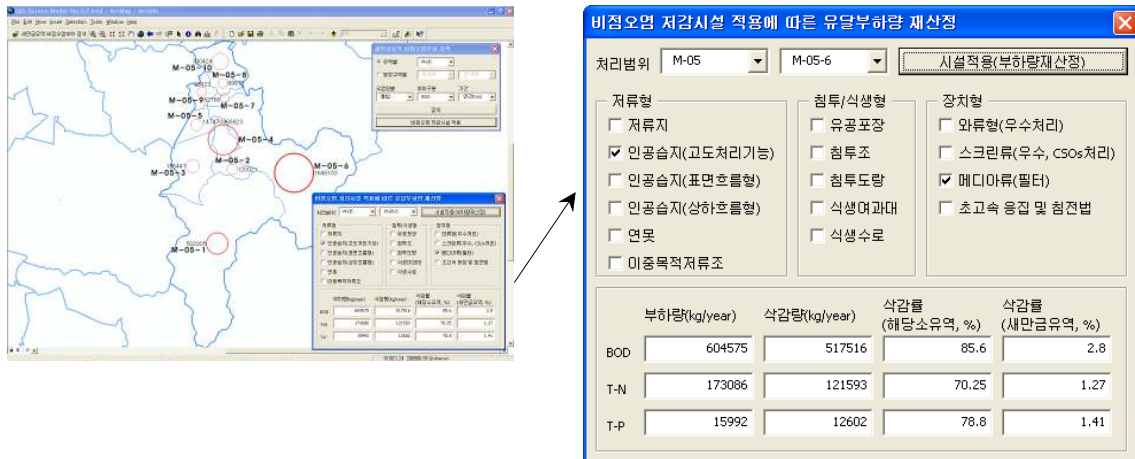


(그림 12-10) 유달부하 산정 및 검색모듈(검색 예)  
새만금 전체유역, 연간 BOD 배출부하량

#### 다. 비점오염 저감시설 적용모듈

마지막으로 각 소유역 말단에 비점오염 저감시설을 설치하였을 경우 부하량 저감효과를 산정할 수 있는 모듈을 개발하였다(그림 12-11). 저류형, 침투형, 식생형, 장치/

하수처리형 등의 비점오염 저감시설을 유역말단에 설치하였을 경우, 소유역 및 새만금 유역전체를 대상으로 부하량 저감효과 및 삭감률이 계산 가능하도록 설계되었으며, 복수의 저감시설에도 적용 가능하도록 구성되었다. 각 저감시설별 BOD, TN, TP 제거율은 “금강 수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업(환경관리공단, 2004)”, “팔당상수원 비점오염원 최적관리사업(환경관리공단, 2000)” 및 “낙동강 수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사(환경관리공단, 2003)”에서 기 제시된 설계기준을 토대로 각 시설의 변경사항을 수정 및 보완하여 적용되었다. 적용된 설계기준은 <표 12-1> ~ <표 12-4>와 같다.



(그림 12-11) 소유역별 비점오염 저감시설 적용모듈

<표 12-1> 저류형 시설의 설계기준

관리기술		수리학적 체류시간	수면적 부하율	BOD 부하율	유효 수심	제거율(%)				
유형	시설명	일/시간	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .일	kg/m <sup>2</sup> .일	m	BOD	COD	SS	T-N	T-P
저류형	저류지	10~12시간	-	-	0.8~2.0	30	30	40	20	10
	인공습지 (고도처리기능)	4~14일	150~500	< 67	0.2~0.6	64~86	20~80	73~93	15~40	47~80
	인공습지 (표면흐름형)	24~48시간	150~500	< 67	0.2~0.3	40~60	10~40	40~60	~25	~12
	인공습지 (상하흐름형)	연속식	-	-	0.8~1.0	70~80	70~80	70~80	70	70
	연못	SS처리용 2일 이상 T-N, T-P용 14일 이상	-	-	1.0~2.0	10~70	10~70	50~70	10~70	20~70
	이중목적 저류조	18~36시간	-	-	0.8~2.0	40~50	40~50	50~70	20	10

<표 13-2> 침투형 시설의 설계기준

관리기술		설 계 기 준	제거율(%)				
유형	시설명		BOD	COD	SS	T-N	T-P
침투형	유공포장	·25~100mm 두께의 상부포장층	60~ 90	60~ 90	60~ 90	60~ 90	60~ 90
		·25~50mm 두께의 굽은모래층					
		·쇄석층은 10mm/hr 초기우수유출량을 저류할 수 있는 용량 ·배수시간은 6hr~72hr					
침투조	침투조	·깊이는 1~3.5m	50~ 80	50~ 80	60~ 90	60~ 90	60~ 90
		·토양의 투과율은 5mm/hr 이상					
		·용량은 10mm/hr 초기우수유출량을 저류할 수 있는 규모 ·조바닥은 지하수위보다 60~120cm 상부에 위치 ·배수시간은 6~12,hr ·표면적과 깊이는 크고 얇게 한다.					
침투도랑	침투도랑	·깊이는 0.3~3m	50~ 90	60~ 90	60~ 90	60~ 90	60~ 90
		·토양의 투과율은 5mm/hr 이상					
		·용량은 10mm/hr 초기우수유출량을 저류할 수 있는 규모 ·깊이는 1~2.5m ·토양의 투과율은 13mm/hr 이상					

<표 12-3> 식생형 시설의 설계기준

관리기술		설 계 기 준	제거율(%)				
유형	시설명		BOD	COD	SS	T-N	T-P
식생형	식생여과대	·여과대길이: 30~120m (최소 6m) ·여과대경사: 5% 미만 ·다단계의 여과대 조성이 효율적 ·식생은 환경정화능력이 우수하여야 함	~50	~50	40~60	20~30	30~60
	식생수로	·수로를 정비하여 환경정화능력이 우수한 식생을 식재	~25	~25	20~40	10~30	20~40

<표 12-4> 장치형/하수처리형 관리시설의 설계기준

관리기술		설 계 기 준	제거율(%)				
유형	시설명		BOD	COD	SS	T-N	T-P
장치형	외류형 (우수처리)	·Precast 제품으로 유출량에 따른 처리용량별 형식을 선정	20	20	50	10	20
	스크린류 (우수, CSOs)	·Precast 제품으로 유출량에 따른 처리용량별 형식을 선정	20	20	60	10	20
	메디아류 (필터)	·Precast 제품으로 유출량에 따른 처리용량별 형식을 선정	60	55	60	65	60
하수 처리형	초고속 응집침전법	·반응시간: 10~12분 ·침전시간: 15~20분 ·침전지 유효수심: 4~5m ·경사판수면적부하: 432m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·일 ·침전조수면적부하: 300m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·일	80	60	85	20	85

### 제 3 절 요약 및 결론

본 연구에서는 새만금 유역을 대상으로 오염물질 배출상황을 보다 세부적인 수계의 분포에 따라 정량적으로 분석하고, 분석결과를 효과적으로 처리할 수 있는, 지리정보 시스템을 이용한 오염총량 관리시스템을 개발하였다. 개발된 시스템에서는 GIS를 기반으로 비점오염 배출부하 및 유달부하 데이터베이스를 구축하고, 부하량의 공간적인 분포상황 및 저감시설의 적용에 따른 부하량 변화를 분석할 수 있도록 설계되었다. 따라서 전문적인 지식이 없는 사용자도 결과의 판독이 가능하며, 대상유역의 부하량

분석 및 저감시설에 따른 부하량 예측을 통하여 수질정책 수립에 매우 유용한 도구로 사용되도록 하였다. 세부적인 사항은 아래와 같다.

- **비점오염 배출부하 데이터베이스 구축 및 검색 모듈** : Spreadsheet 기반의 “시공간적 오염물질 배출구조 해석모형(엄명철, 2004)”의 분석결과를 이용하여 GIS 기반의 배출부하 데이터베이스를 구축하였으며, 배출부하량 및 세부적인 수계별 분포를 확인할 수 있는 검색모듈을 구성하였다.

- **유달부하 데이터베이스 생성 모듈** : 유역특성자료 Geodatabase를 생성하였으며, 자정계수와 유달거리로 구성된 유달함수를 통하여 유달부하 데이터베이스를 생성하는 모듈을 설계하였다. 생성된 유달부하 데이터베이스는 배출부하와 마찬가지로 검색모듈을 통하여 분석가능하다.

- **비점오염 저감시설 적용 모듈** : 저류형, 침투형, 식생형, 장치/하수처리형 등의 비점오염 저감시설을 유역말단에 설치하였을 경우, 소유역 및 새만금 유역전체를 대상으로 부하량 저감효과 및 삭감률이 계산 가능하도록 설계되었으며, 복수의 저감시설에도 적용 가능하도록 구성되었다

## 참 고 문 헌

1. 엄명철. 2004. 하구담수호 유역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석. 서울대학교 박사학위논문.
2. 천승규. 2001. 금강 수계 오염총량관리제 시행방안 연구. 서울대학교 박사학위논문.
3. 우효섭 등. 1995. 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용. 한국수자원공사

4. 환경관리공단. 2004. 금강 수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업.
5. Amir H. Razavi. 2002. ArcGIS Develop's Guide for VBA. OnWord Press.
6. Bruce A. Ralston. 2002. Developing GIS Solutions with MapObjects and Visual Basic. OnWord Press.



여 백

## 제 13 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연구목표 및 평가착안점

#### 1. 연구개발목표

본 연구에서는 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토, 새만금유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링, 최적관리기법(BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석, 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가, 새만금유역 비점오염 제어 관리기술개발, 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석, 새만금 토지이용방법의 개선 등을 통하여 새만금 유역의 비점오염원 제어와 관리기술을 개발하는 것을 최종 목표로 한다. 각 주제별 연구목적은 다음과 같다.

#### 가. 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토

새만금유역의 여건변화 조사 및 분석, 새만금유역의 물수지 분석, 새만금유역의 상류하천 수질예측 및 평가, 새만금 담수호 수질예측 및 평가 등을 통하여 기존 새만금 상류유역의 비점오염 추정결과를 검토하고 새만금 유역의 농업경영현황 조사, 농업경영형태별로 토양관리기법과 가축분뇨 관리방법 등의 농가조사를 실시하여 비점오염 관리 실태를 파악하여 기존 비점오염 삭감대책의 타당성을 검토하도록 한다.

#### 나. 새만금 유역 비점오염 현장조사 및 시험유역 모니터링

새만금 유역 비점오염 현장조사를 위하여 농촌유역과 도시유역 각각에 시험유역을 선정하고 시험유역의 운영을 통해 수문자료를 구축하고 비점오염 부하량 및 유출특성을 파악하도록 하며, 새만금 유역의 작부체계를 고려하여 토양유실량을 추정하고 그 적정성을 평가하도록 한다.

#### **다. BMP의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석**

현장답사와 문헌조사 등을 통해 BMP의 운영실태를 조사하고 비점오염관리를 위한 BMP 설계자료를 수집하며, 비점오염 저감시설의 운영효율 및 저감효과를 분석을 위해 주요 비점오염 저감시설을 선정하고 이에 대한 현장 모니터링을 실시하여 국내 적용 타당성을 분석하도록 한다.

#### **라. 새만금유역 비점오염 모델개발 및 적용성 평가**

새만금 유역 비점오염 모델 개발 및 적용성 평가를 위하여 새만금 유역의 수문자료 및 수질자료, 지형자료 등을 구축하며, 이를 바탕으로 새만금 유역에 적합한 비점오염 모델 개발 및 적용성을 평가하도록 한다.

#### **마. 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발 및 새만금 토지이용방법의 개선**

농경지 및 도시지역의 지점오염을 제어할 수 있는 기술을 개발하고 그 적용성을 평가하며, 새만금 유역 및 새만금 내부에 적용 가능한 BMP를 선정하고 구축된 시스템을 이용하여 선정된 BMP에 의한 비점오염관리 효과를 정량화하고, 이를 이용하여 장래 새만금 유역 비점오염총량을 예측하고 평가하도록 한다.

#### **바. 새만금유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석**

새만금 유역에 포함되는 행정구역을 대상으로 농업경영 형태와 형태별 토양관리방법, 가축분뇨 관리방법 등의 농가조사를 통하여 농업인의 비점오염원 관리 실태를 분석하며, 제작비용 및 연간 유지관리비 등 유역별 연간 소요되는 비점오염 제어관리 비용을 산정하여 비점오염제어 관리 계획에 대한 경제성을 평가하도록 한다.

## 2. 평가착안점

본 연구의 연구계획서에 있는 최종 연구평가 착안점은 다음의 <표 13-1>과 같다.

<표 13-1> 평가의 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척도(점수)
최종평가	○ 연구계획에 따른 추진 여부의 적합성	20
	○ 수문·수질 관측조사의 적정성	20
	○ 새만금 유역 비점오염 모델의 적용성 평가의 적합성	20
	○ 새만금 유역 비점오염 제어관리 기술 개발의 적정성	20
	○ 비점오염 제어관리 기술의 경제성 평가의 적합성	20

## 제 2 절 연구개발목표 달성도

새만금 유역 비점오염원 제어와 관리기술 개발과제를 통해 최종적으로 달성된 내용은 다음과 같다.

### 1. 새만금 유역의 비점오염 부하량 추정 및 기존 삭감대책 타당성 검토

새만금유역의 여건변화 조사 및 분석, 새만금유역의 물수지 분석, 새만금유역의 상류하천 수질예측 및 평가, 새만금 담수호 수질예측 및 평가, 새만금 수질보전대책 개선방향 제시 등의 연구결과를 통하여 기존 새만금 상류유역의 비점오염 추정결과와 평가 및 개선방향이 제시되었으며, 목표연도(2012) 비점오염 배출량 및 부하량 등을 예측하여 새만금호의 수질에 미치는 영향이 분석되었다. 기존 비점오염 삭감대책의 타당성 검토를 위해 새만금 유역의 농업경영현황 조사를 통해 그 형태를 분류하였고, 농업경영형태별로 토양관리기법과 가축분뇨 관리방법 등의 농가조사를 실시하여 비점오염 관리실태를 파악하였다.

### 2. 새만금 유역 비점오염 현장 조사 및 시험유역 모니터링

농촌유역 비점오염 모니터링을 위하여 시험유역 지점을 만경강유역과 동진강유역으로 구분하여 지점을 선정하여 농업유역의 비점오염 모니터링을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 도시지역의 오염부하량 산정을 위해 합류식 지역과 분류식 지역에 각각 지점을 선정하여 비점오염 모니터링을 실시하여 도시지역의 비점오염 유출특성을 분석하였다. 또한 작부체계의 변화에 따른 토양유실량 변화를 추정하기 위해서 새만금 유역 밭토양의 작부체계에 관련된 통계자료를 종합하여 시군별 밭작물의 작물경작인자를 산정하였고, GIS를 연계한 토양유실량 추정모형을 적용하여 새만금 상류유역의 토양유실량을 추정하고 평가하였다. 새만금담수호 퇴적분포 분석을 위해 2차원 수치모형을 이용하여 위치별, 시간별 수위 및 2차원 유속분포, 퇴적량 및 퇴적량의 공간적인 분포를 분석하였다.

### **3. 최적관리기법(BMP)의 현장조사 및 국내 적용 타당성 분석**

현장답사와 문헌조사 등을 통해 BMP의 운영실태를 조사하고 비점오염관리를 위한 BMP 설계자료를 수집하였다. 비점오염 저감시설의 운영효율 및 저감효과를 분석을 위해 주요 비점오염 저감시설을 선정하고 이에 대한 현장 모니터링을 실시하였으며 국내 적용 타당성을 분석하였다.

### **4. 새만금 유역 비점오염 모델 개발 및 적용성 평가**

새만금 유역 비점오염 모델 개발 및 적용성 평가를 위하여 새만금 유역의 수문자료 및 수질자료, 지형자료 등을 구축하였으며, AGNPS, CREAMS-PADDY, SWMM, HSPF 모델을 이용하여 새만금 유역의 비점오염량을 추정하고 저감대책에 따른 효과를 분석할 수 있는 시스템을 구축하고 적용성을 평가하였다.

### **5. 새만금 유역 비점오염 제어 관리기술개발 및 새만금 토지이용방법의 개선**

농경지 및 도시지역의 지점오염을 제어할 수 있는 기술을 개발하고 그 적용성을 평가하였으며, 새만금 유역 및 새만금 내부에 적용 가능한 BMP를 선정하고 구축된 시스템을 이용하여 선정된 BMP에 의한 비점오염관리 효과를 정량화하고, 이를 이용하여 장래 새만금 유역 비점오염총량을 예측하고 평가하였다.

### **6. 새만금 유역 비점오염 제어관리 계획에 대한 사회경제성 타당성 분석**

새만금 유역에 포함되는 행정구역을 대상으로 농업경영 형태와 형태별 토양관리방법, 가축분뇨 관리방법 등의 농가조사를 통하여 농업인의 비점오염원 관리 실태를 분석하였으며, 제작비용 및 연간 유지관리비 등 유역별 연간 소요되는 비점오염 제어관리 비용을 산정하여 비점오염제어 관리 계획에 대한 경제성을 평가하였다.

## 제 3 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

### 1. 기술적 측면

우리나라의 비점오염관리기술은 선진외국에 비하여 현재 기초적인 수준에 머물고 있으나, 논농사 중심의 농업체계로서 조방식 밭작물 위주의 선진농업에 비하여 비점오염 관리에 있어서는 상대적으로 높은 기술수준을 보유하고 있다.

벤치테라스(Bench terrace)형 논 토양유실량은 경사지 밭에서보다 훨씬 작을 뿐만 아니라 비점오염 부하량도 상대적으로 낮아 친환경농업을 유지하는 데 효율적이거나, 화학비료 시비량이 세계적으로 매우 높은 수준이며, 관개면적의 비율이 높아 비료물질의 수체에 흘러들어갈 수 있는 가능성이 높아 효율적인 비점오염 관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 외국의 비점오염추정기술(비점오염모델)은 주로 경사지 밭을 대상으로 하고 있으며 이를 국내 여건에 맞도록 하기 위해 충분한 자료조사 및 모델개발이 이루어져야하나 아직은 제한적인 수준에 머물고 있다.

비점오염제어관리기술은 일본에서는 도시지역 저류시설 확충 등을 통해 광범위하게 실용화되고 있으나 우리나라는 우수배제 등 기초적인 단계에 머물고 있으며, 비점오염에 대한 위험도 인식수준이 매우 낮고, 이제 법제화하는 기초적인 수준에 머물고 있어 비점오염 부하량에 대한 체계적인 조사와 비점오염모델 개발을 통해 새만금 유역 비점오염 총량의 정확한 추정과 효과적이고 경제적인 대책을 제시하는 등 기술적 발전에 기여할 수 있다.

본 연구에서는 수행된 시험포장 및 시험유역에 대한 모니터링을 통해 비점오염에 대한 정량적인 자료를 구축하고, 지형, 토양, 영농방식 등에 따른 농업비점오염총량을 파악할 수 있는 기초적인 자료를 제공함으로써 국내의 비점오염총량 추정기술에 기여할 것으로 생각되며, 우리나라 영농여건에 맞는 비점오염모델을 개발하여 적용성을 평가 분석함으로써 국내여건에 맞는 비점오염모델을 완성하여 유사한 조사연구 등에 활용할 수 있게 될 것이고, 다양한 비점오염 저감대책을 효과적이고 경제적으로 평가 분석함으로써 유역규모 비점오염대책수립의 도구로서 활용될 수 있고, 새만금유역 수질보전대책에 반영함으로써 장래 토지이용여건변화에 관계없이 적정한 비점오염대책을 강구하는 데 활용될 것이며, 새만금 내부 토지이용 친환경개발모델을 제시할 수

있을 것으로 기대된다.

또한, 비점오염대책은 새만금유역 오염배출량의 1/4정도에 해당되며, 이를 효과적으로 제어 관리함으로써 새만금호의 장래수질에 기여할 것으로 평가되고, 새만금 내부 토지이용계획이 확정됨에 따른 친환경개발의 구체적인 계획수립에 활용될 수 있을 것이며, 새만금호 장래수질과 관련한 사회적 갈등을 최소화할 수 있는 보다 정량적으로 타당성 있는 수질보전대책의 제시가 가능하며, 과거 예측결과와 그동안의 실적을 평가함으로써 보다 확실하고 검증된 결과를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 경제적·산업적 측면

보다 정확하고 경제적인 새만금 유역 수질보전대책의 수립에 기여할 것이며, 새만금 유역의 비점오염 총량은 전체 오염물질 배출량의 1/4정도에 해당하며, 비점오염총량을 경제적으로 관리제어할 수 있을 때 수질보전대책의 경제성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 친환경농업 등 기존 유역비점오염관리대책을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 함으로써 경제적인 수질보전대책에 기여할 것이며, 새만금사업의 농업용 토지활용에 대한 대국민 신뢰도 향상, 환경친화적인 비점오염원 관리기술개발로 우리나라 경쟁력 향상, 토양유실과 영양물질의 유출억제를 통한 친환경농업기술의 개발은 국내 농경지 비점오염원 처리기술의 향상을 도모할 것이다.



여 백

## 제 14 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구 결과에 따른 활용 방안을 요약하면 다음과 같다.

### 1. 원단위 비점오염 부하량의 정량화

국내의 토지이용으로부터 비롯되는 비점오염 총량의 추정은 주로 원단위법을 적용한다. 본 연구에서는 농경지의 경사도, 토양, 영농방식 등에 따른 오염부하량을 정량화하고, 도시지역의 우수배수로부터 비롯되는 오염부하량 등 기초자료를 현장조사결과로부터 제시함으로써 비점오염 부하량 추정 기술의 향상에 활용될 것이다.

### 2. 비점오염 모니터링 기술의 활용

비점오염의 관리를 위해서는 정량적인 비점오염 모니터링 기술이 확립되고 이를 바탕으로 BMP 등 저감대책을 마련할 수 있다. 비점오염 모니터링은 점원오염원에 비하여 복잡하고 어려운 것이 사실이며, 우리나라 영농형태 및 토지이용 특성에 맞는 샘플링 주기 및 방법 등에 대한 기술 확보가 필요하며, 본 연구의 결과는 이 분야를 선도하는 기술로 활용할 수 있을 것이다.

### 3. 비점오염 모델링 기술의 확보 및 응용

국내의 유역비점오염의 추정에서 외국에서 개발된 비점오염모델을 활용하는 데 있어서는 1) 논 등의 영농형태에 적합한 모델이 개발되어야 하고, 2) 모형의 매개변수에 대한 정량적인 자료 들이 마련되어야 하며, 3) 벤치테라스나 포장 경계 등 우리나라 농경지 형태에 따른 비점오염 유출기작을 감안할 수 있도록 해야 할 것이다. 본 연구의 결과는 이와 같은 국내 여건에 적용 가능한 비점오염 모델을 개발함으로써 이 분야의 기술발전에 기여하고, 유사한 유역 비점오염관리계획 등에 활용될 수 있을 것이다.

#### 4. 환경친화적 농업을 위한 기술의 활용

국내의 친환경농업에 대한 소비자 수요가 점차 증가하는 추세이며, 환경친화적 농업의 정착도 쾌적한 국토환경조성을 위해 반드시 달성해야할 목표이다. 농경지로부터 오염부하량을 줄이고 배출량을 저감하기 위한 기술개발은 이 분야의 기술에 활용될 수 있을 것이다.

#### 5. 새만금 유역의 수질보전대책에 활용

본 연구의 목표는 새만금 유역의 수질보전대책에서 고려되지 않는 비점오염 제어 및 관리기술을 개발하는 데 있으며, 그 결과는 관련 대책에 반영되어 새만금유역의 수질보전에 기여함은 물론 장래 새만금호 수질을 획기적으로 저감하는 데 활용될 수 있을 것이다. 새만금호의 장래수질이 목표수질에 못 미칠 수 있다는 점은 그동안의 새만금사업 찬반논쟁이라는 사회적 갈등의 중심에 있어 왔다. 따라서 새만금 유역의 비점오염 저감을 위한 제어기술개발은 이와 같은 사회적 불신을 해소하는 데 기여할 수 있을 것이다.

#### 6. 새만금 토지이용계획에의 활용

새만금 토지이용계획이 조기에 확정되고 이에 부응하는 친환경적 농업기술과 비점오염 제어관리기술의 개발은 친환경적 새만금사업의 목표를 실천하는 데 유리한 결과이며 비점오염으로 인한 추가적인 수질악화를 사전에 막을 수 있는 데 활용될 수 있을 것이다.