

발간등록번호

11-1541000-000364-10

<http://rri.ekr.or.kr>

# 농업용저수지 유역내 오염발생원 입지에 관한 연구(최종)

A study on the plant establishment limitation  
in the agricultural reservoir watershed

2009. 12

농림수산식품자료실



0006648



농림수산식품부



한국농어촌공사

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000364-10

<http://rri.ekr.or.kr>

# **농업용저수지 유역내 오염발생원 입지에 관한 연구(최종)**

**A study on the plant establishment limitation  
in the agricultural reservoir watershed**

**2009. 12.**



# 한국농어촌공사 농어촌연구원



# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용저수지 유역내 오염발생원 입지에 관한 연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009 년 12 월 일

주관연구기관명 : 한국농어촌공사  
농어촌연구원

연구 책임자 : 홍대벽

연구 원 : 함종화

김형중

김영경

공동연구기관 :

(주)창대종합기술단

연구 책임자 : 이재욱

연구 원 : 이상헌

윤연택

정승권

이경도

박종표

주성식

임성빈

위촉 연구원 : 전재경

황은주



# 요 약 문

1. 연구과제명 : 농업용저수지 유역내 오염발생원 입지에 관한 연구

2. 연구기간 : 2009년 1월 ~ 2009년 12월(총 1년)

## 3. 연구의 필요성 및 목적

### 3.1 연구배경 및 필요성

- 지금까지 농업용수 관리는 질적 관리보다는 양적 관리에 치중하여 왔으나, 최근 들어 안전농산물 생산과 농촌자원의 효율적인 이용을 위한 수질관리의 중요성을 재인식하면서 수량확보와 함께 효율적인 물배분과 생·공용수, 환경용수를 포함한 농촌용수로서 안정적인 물공급과 깨끗한 수자원 확보에 주안점을 두고 있음
- 그 동안 농촌지역은 도시화와 산업화에 따른 생활하수 및 공장폐수의 발생량 증가, 축산시설 및 각종 위락시설의 증가, 환경기초시설의 부족 등에 의하여 유입하천의 수질이 점차 나빠지고 있음
- 그러나 저수지 유역의 관리주체가 모호하여, 실제 저수지가 감당할 수 없을 정도의 오염물질이 유입될 수 있는 개발행위(농공단지, 군부대, 병원, 관광단지, 축산단지 등)를 억제하지 못하여 공익적인 저수지의 기능을 상실한 저수지도 발생
- 따라서 합리적인 절차를 통해 농업용저수지를 보호할 수 있도록 유역내 개발행위를 제한할 수 있는 과학적 근거마련 필요
- 최근 사회경제적 활동의 증가에 따라 저수지에 유입되는 오염물질 부하가 증대되어 저수지 물 이용과 수역 이용상 다양한 장애가 발생되고 있음
- 저수지주변과 그 유역에 있는 사람들의 여러 활동에 기인하는 오염이 최근에 심화되었고 그 대책의 수립이 각계에서 강하게 요구되고 있음
- 오염원(축산폐수, 비료, 닭시떡밥 등) 유입이 가중되어 부영양화가 심화되고 있으므로, 정체수역 관리를 위해 개발행위 규제 및 행정규제 등 저수지 수질 개선을 위한 적극적 관리가 요망됨.
- 농업용수원의 수질을 보전하여 국민의 안전한 먹거리 생산기반 및 농

- 업인의 안정적인 생산활동 보장장치 구축 필요
- 「산업입지의 개발에 관한 통합지침」에 따라 농업용저수지로부터 일정거리(2~5km)내에서 산업단지 및 개별공장입지 지정승인을 제한(제7조, 36조)하고 있음
  - 법제처는 일부사항(36조7호)에 대하여 정당성을 인정하지 않는 등 법적근거가 미약한 상태에서 지침의 형태로 시행되고 있어 법적정비가 시급함
  - 따라서 명확한 법령의 바탕아래 합리적인 절차를 통해 농업용수원을 보호할 수 있도록 농업용저수지 유역내 오염발생원 입지를 제한 할 수 있는 과학적 근거마련 필요

### 3.2 목 적

- 오염발생원 입지 제한에 관한 제도 조사
- 농업용저수지의 환경요인 검토
- 유입하천 수질조사, 반응상수 도출 및 모델구축
- 오염원 발생원 입지제한 방안 연구

### 3.3 연구범위 및 내용

#### 1) 오염발생원 입지에 관한 제도 조사

- 국내의 관련 관계법령 내 오염발생원 입지에 관한 제도 조사
- 입지제한 현황 및 문제점 조사

#### 2) 농업용저수지의 환경요인 검토

- 농업용저수지의 물리·화학적 인자 조사
  - 저수지 및 유역의 물리·화학적 인자 조사
  - 유입하천의 길이, 폭, 유속, 유량, 수질 등 현장조사
    - 대상 : 경기도내 수질측정망 대상 저수지
    - 방법 : 현장조사, GIS자료, 유입하천 수질조사 보고서
- 농업용저수지의 오염도 조사
  - 농업용저수지 수질측정망 자료를 이용한 부영양화 단계 분류



- 부영양화단계별 유역내 오염원 및 부하량 비교·분석
  - 부영양화단계별 주 오염원 분석
- 유역오염원부하량과 수질간의 상관관계 분석
  - 유역오염부하량-하천수질-저수지수질 간의 상관관계 분석
  - 유역오염부하량과 저수지수질간의 상관관계를 통한 유역오염부하량 규제 필요성 도출
- 농업용저수지의 수질변화율 조사
  - 유입하천 및 저수지 수질을 이용한 저수지의 수질변화율 조사
  - 저수지 목표수질 유지를 위한 유입하천의 적정 수질농도 검토

### 3) 유입하천 수질조사, 반응상수 도출 및 모델구축

- 유하시간 및 거리에 따른 수질변화조사 및 반응상수 도출
  - 유하시간 및 거리에 따른 수질변화 조사
    - 대상하천 : 오염원 유입 후 일정구간(500m이상) 외부 유입이 없는 농업용저수지 유입하천 (5지점 이상)
    - 조사방법 : 일정 거리 간격으로 물리적 인자 및 수질조사
  - 오염물질별 시간 및 거리에 따른 1차반응식 도출

$$C = C_0 e^{-kt}, \quad C = C_0 e^{-kl}$$

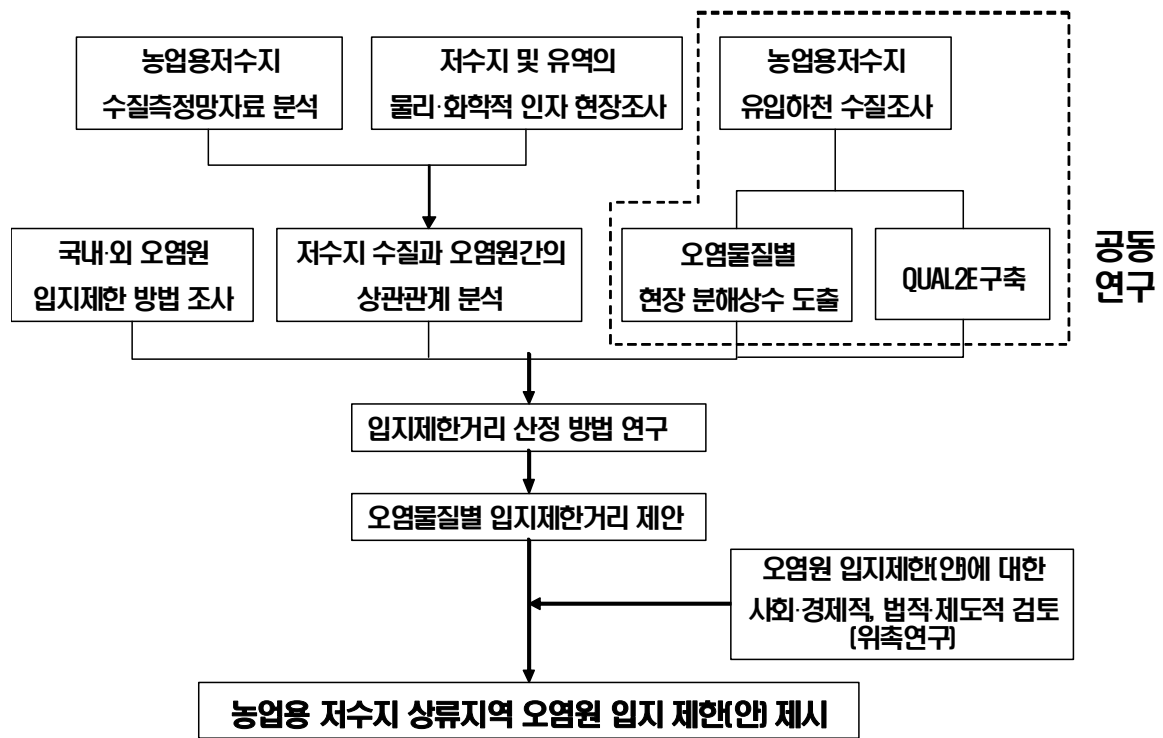
- 유입하천 수질모델(QUAL2E) 구축
  - QUAL2E구축을 위한 수질변화 조사
    - 대상하천 : 유입하천 중 하천길이 3km이상, BOD 5~30mg/L 지천에 의한 오염원 유입이 상류에 비해 적은 하천 3지점 이상의 유입하천 선정
    - 조사횟수 : 년 3회 이상(여름철 강우기 제외)
  - QUAL2E 모델 구축
    - 선정된 하천에 대해 QUAL2E 구축(BOD, T-N, T-P)
    - 실측한 자료를 이용해 구축된 모델 보정·검정

### 4) 오염원 발생원 입지제한 방안 연구

- 입지제한거리 산정방법 연구
  - 기존 연구자료를 이용한 산정방법 연구
- 오염물질별 입지제한거리 산정

- 도출된 1차반응식, 구축된 모델 이용
- 입지제한거리 산정 기준 설정
- 산정기준을 고려한 입지제한 거리 산정
- 농업용저수지 상류지역 오염원입지 제한 방안
  - 4-5개의 오염원입지제한(안) 설정
  - 오염원입지제한(안)에 대한 사회·경제적 검토
  - 오염원입지제한(안)에 대한 법적 제도적 검토
  - 입지제한 방안(안)별 비교·검토

### 3.4. 연구진행방법



### 3.5. 기대효과 및 실용화 계획

#### 1) 기대성과

##### 가) 기술적 측면

- 오염물질별 입지제한거리 결정방법 제시
- 농업용저수지 수질보전을 위한 농업용저수지 상류지역 오염 발생원 입지를 제한 할 수 있는 합리적인 오염발생원입지 제한구역 가이드라인 제시

##### 나) 경제·산업적 측면

- 농업용수보호구역 가이드라인을 근거로 관련 법령을 정비하는 등 농업용수원 보호를 위한 적극적인 수단 마련

#### 2) 실용화계획

##### 가) 활용 정책명(또는 사업명)

- “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역” 설정

##### 나) 활용 주관부서(또는 농림부 담당과)

- 농업기반과

##### 다) 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

- 「농어촌정비법」에 “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역”을 설정할 수 있는 법안 마련

##### 라) 사업부서 교육, 기술지원 계획 등 기타활용 방안

- 농업용 저수지 수질 보전을 위해 상류유역의 공장과 같은 오염발생원을 제안하는 법적·과학적 근거 지원

## 4. 연구결과

### □ 오염원입지 제한 제도 연구

- 입지를 제한하는 제도들을 입지제한 방법별로 다음과 같이 분류할 수 있음. 용도지역별 입지제한, 개별법에 의한 입지제한, 변경 또는 전용의 제한, 수도권정비계획법에 의한 제한

### □ 오염원입지 제한을 위한 표준거리 산정방법 연구

- 오염원입지 제한거리 산정관련 연구로는 환경부에서 2003년과 2008년 상수원보호구역 지정 기준 정립을 위해 수행된 연구로서 현 상수원보호구역 규정의 과학적·이론적 근거를 살펴 볼 수 있음.
- 환경부에서 2003년에 수행한 「상수원 보호구역 표준거리 산정을 위한 연구」에서 상수원보호구역 설정을 위한 표준거리 산정을 위한 방법으로 실험실규모의 하천모형 반응조를 제작하여 오염원이 지속적으로 유입될 때 온도 및 유속에 따른 반응상수(20℃, 0.1m/s 일때 0.8968)를 도출하였으며, 이 값과 하천의 갈수기 평균유속(0.1m/s)을 이용해 오염원의 반감거리(약 6km)를 도출 함.

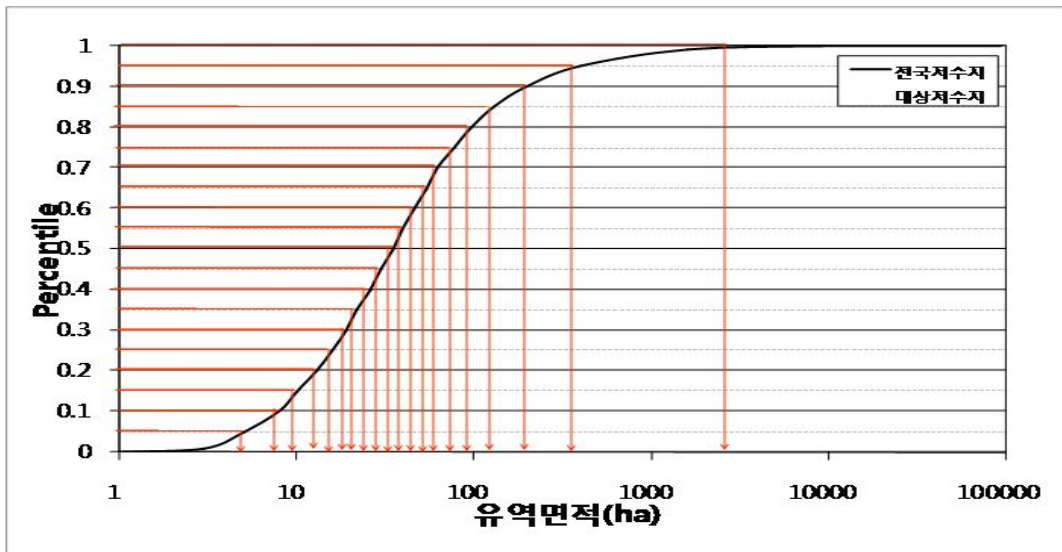
$$t_d = -\frac{1}{k} \ln\left(\frac{C_d}{C_0}\right) \quad (\text{식 1})$$

$$D = t_d \cdot V \quad (\text{식 2})$$

- 환경부에서 2008년에 수행한 「상수원 상류지역 공장입지구제의 적정성에 대한 연구」에서 상수원보호구역 설정을 위해 하천수질을 이용함. 하천길이 20km 이상인 표준유역을 선정하여 수질모형을 구축 후 최상류의 농도가 일정 농도만큼 증가할 경우 유하거리에 따른 최상류농도 대비 비율을 산정한 후 이를 바탕으로 오염물질이 일정 비율 감소하는데 필요한 유하거리를 산정함(50%감소: 9.4km, 40%감소: 3km).
- 본 연구에서 표준거리를 산정하기 위해 일차반응식을 이용하는 방법과 하천수질모형을 이용하는 방법을 적용함. 실측을 통해 현실적인 반응상수값과 평균유속을 도출하여 표준거리를 산정하였으며, 저수지유입하천을 선정하여 하천수질모형을 적용하여 일정비율 감소하는데 필요한 표준거리를 산정함.

### □ 농업용저수지 환경요인 검토

- 국내 농업용저수지의 물리·화학적 특성을 분석하기 위해 국내에 존재하는 18,000개의 농업용저수지 중 대표저수지를 선정하기 위해 유역면적을 기준으로 누적분포를 그린 후, 누적분포를 0.05 percentile 간격으로 총 20개로 나누어 각각의 percentile에 해당되는 유역면적을 누적분포를 이용해 도출함. 선정된 20개의 저수지면적을 이용해 누적분포를 그린 결과 전국저수지의 누적분포와 유사하게 나타나 20개의 저수지가 전국 농업용저수지의 면적분포를 대변한다고 할 수 있음.



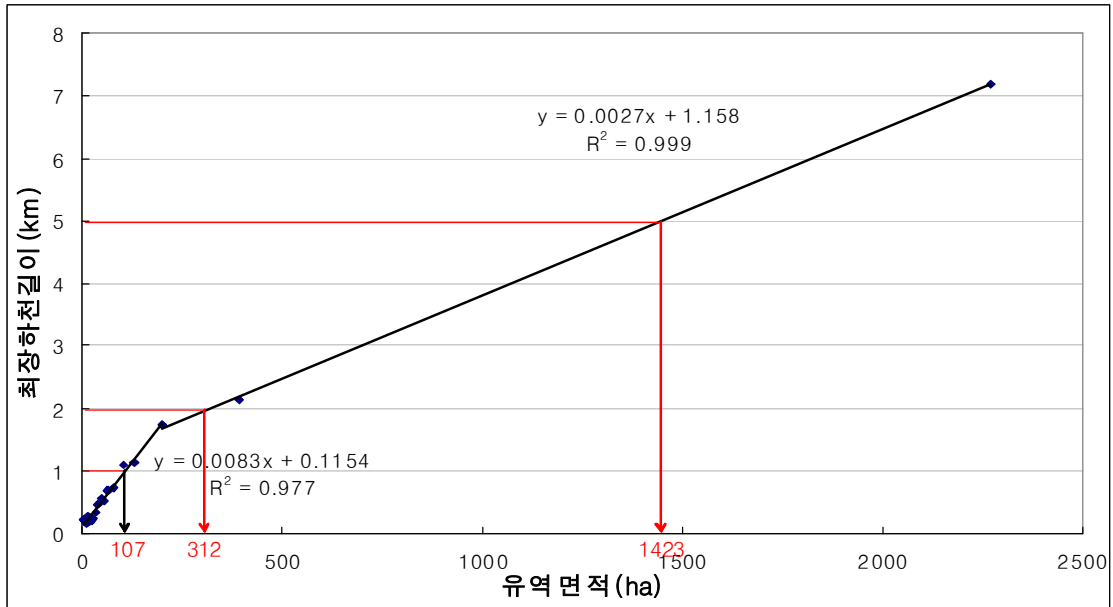
<그림 1> 전국 농업용저수지의 유역면적 누적분포



<그림 2> 대상 농업용저수지의 위치도

- 현행 오염원입지 제한은 하천유하거리를 기준으로 상류방향으로 5km, 2km

를 제한하고 있으므로, 유역면적과 최장하천길이는 매우 상관관계가 높다는 것을 이용해 대표저수지의 유역면적과 최장하천길이와의 상관관계를 도출하여 하천길이가 일정값 이상인 저수지의 비율을 산정함



<그림 3> 유역면적과 최장하천길이와의 관계

- 하천길이가 5km 이상인 저수지의 개소수 비율, 유역면적비율 및 설립가능 지역 면적비율은 각각 1.2%, 41%, 24% 였으며, 2km 이상인 것은 6.4%, 65%, 50% 인 것으로 나타남. 즉, 오염원입지를 5km로 제한할 경우 전체 농업용 저수지 유역 중 24%에만 공장 및 산업단지를 조성할 수 있음.

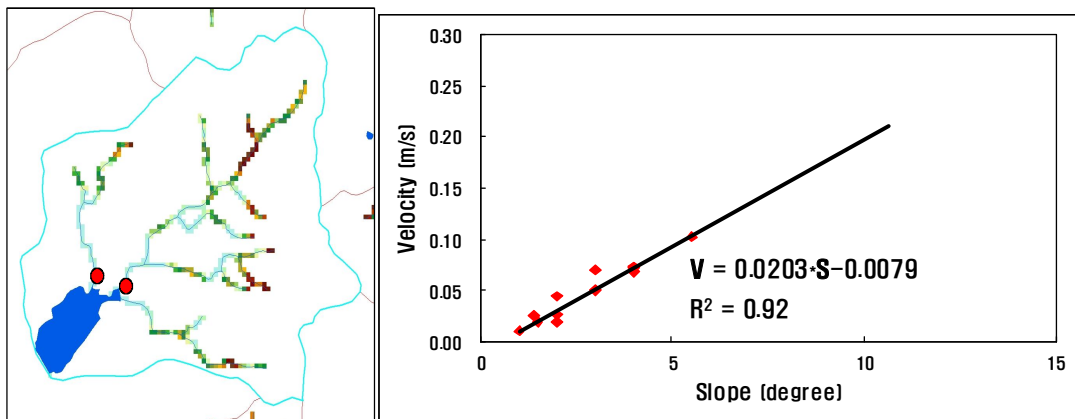
(표 1) 특정 하천길이 이상을 보유하는 전국 농업용저수지 비율

| 하천길이 기준     | 해당 유역면적    | 전국저수지 개소수 및 비율  | 전국저수지 유역면적 및 비율    |
|-------------|------------|-----------------|--------------------|
| 하천길이 5km 이상 | 1,423ha 이상 | 210개소 (1.2%)    | 1,008,246ha (41%)  |
| 하천길이 2km 이상 | 312ha 이상   | 1,133개소 (6.4%)  | 1,583,423ha (65%)  |
| 전체 농업용저수지   |            | 17,825개소 (100%) | 2,439,135ha (100%) |

- 대표저수지에서 실측한 유량과 유역면적과의 관계를 이용해 일정한 유역 면적을 갖는 저수지의 유입하천 유량을 도출할 수 있도록 함. 유역면적과

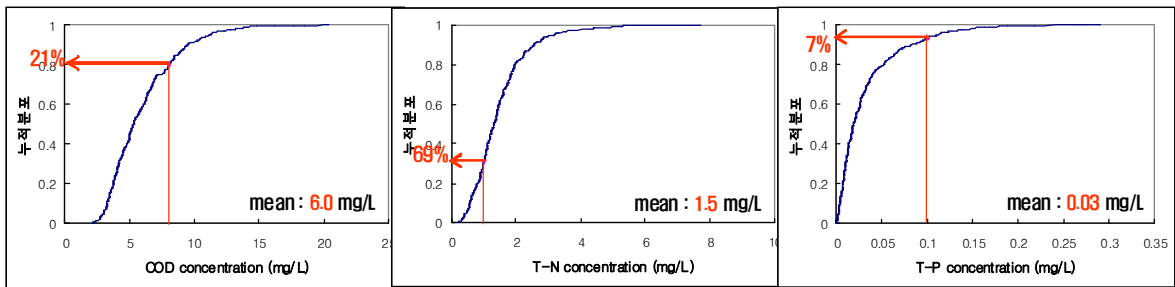
최장하천길이 관계로부터 오염원입지 제한거리 2km인 경우 해당 유역면적은 312ha 이상인 저수지가 이에 해당되며, <그림3-6>에서 유역면적 312ha인 저수지의 5월과 6월의 유입하천 유량은 253m<sup>3</sup>/day인 것으로 나타남. 화용간척지 유역의 폐수배출시설별 평균 배출유량(16m<sup>3</sup>/day/시설)을 이용하면, 유역에 16개의 폐수배출시설이 설립될 경우 공장방류수 유량과 하천유량이 동일해지며, 방류수 수질이 40mg/L(방류수수질기준)일 경우 방류지점의 하천수질은 최소 20mg/L가 됨. 그러므로 오염발생원 입지 제한시 그 기준을 거리뿐만 아니라 폐수배출업소의 수나 유역의 총 폐수배출량 등으로 제한할 필요가 있음.

- 20개의 대상저수지에서 실측한 유속자료와 GIS 자료 중 경사도로부터 측정지점의 경사를 추출한 후 유속과 경사와의 상관관계를 구한 다음 전국 농업용저수지 유입하천의 평균 경사를 도출하고, 이를 통해 유속과 경사와의 상관관계로부터 평균 유속을 도출함. 평균 경사는 9.5였으며, 평균 유속은 0.18m/s임.



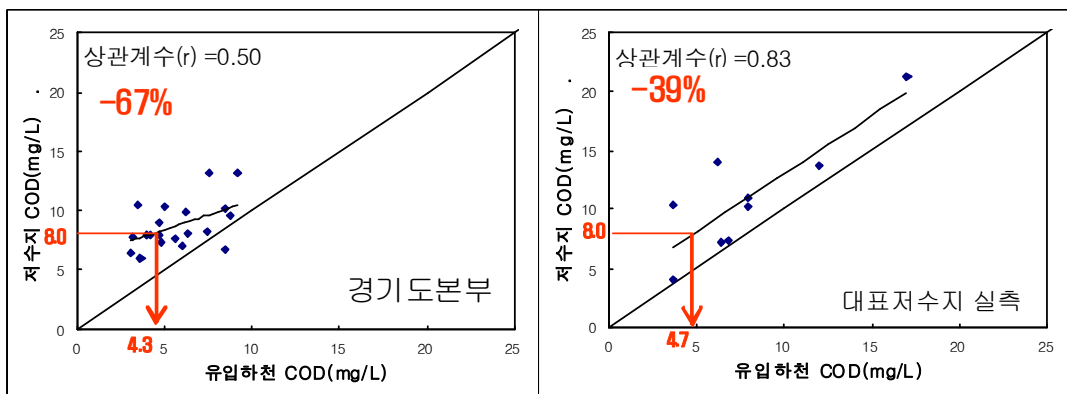
<그림 4> 경사도와 유속과의 상관관계

- 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지의 오염도를 조사한 결과 COD, T-N, T-P의 평균은 각각 6.0mg/L, 1.5mg/L, 0.03mg/L로 나타났으며, 각각의 수질기준(COD: 8.0mg/L, T-N: 1.0mg/L, T-P: 0.1mg/L)을 초과하는 저수지 비율은 21%, 69%, 7%로 나타나, 전체적으로 농업용저수지는 유기물과 질소에 의해 오염되어 있으며, 농업용저수지의 수질보전이 필요함



<그림 5> 수질측정망 대상저수지의 수질항목별 누적분포도

- 유역오염부하량과 하천 및 저수지 수질간의 상관관계를 조사한 결과 유역 BOD부하량과 하천의 COD농도 및 저수지의 COD농도 사이에는 양의 상관관계(상관계수 0.33, 0.64)가 나타났으며, 저수지 수질보전을 위해 유역의 오염부하량을 제한할 필요가 있음.
- 한국농어촌공사 경기도본부에서 경기도내 주요 저수지에 대해 유입하천 및 저수지의 수질을 조사한 결과와 본 연구에서 대표저수지의 유입하천 및 저수지에서 실측한 수질자료를 이용해 농업용저수지 유입하천과 저수지수질간의 상관관계를 분석한 결과 COD의 경우 양의 상관관계(상관계수0.5 (경기도본부자료), 0.83(대표저수지 실측자료))가 나타났으며, 이들 관계로부터 저수지의 수질이 8.0mg/L가 되기 위해서는 유입하천의 수질이 최소 4.5mg/L 이하를 유지해야 하는 것으로 나타남.



<그림 6> 농업용저수지 유입하천 및 저수지 수질 사이의 상관관계

□ 반응상수 도출 및 수질모델 구축

- 농업용저수지 유입하천 중 일정구간(500m이상) 외부유입이 없는 하천에 대해 하폭, 수심, 유속, 유량 및 수질조사를 실시함



- 수질조사 결과를 이용해 1차반응식의 반응상수를 도출한 결과 20℃ 기준으로 평균 0.98로 국내외 유기물의 반응상수의 평균값(0.84, 0.96)과 비슷한 범위를 나타냈으며, 그때의 유속은 0.05m/s임.
- 환경부(2003)의 연구결과에 의하면 유속이 증가함에 따라 반응상수도 증가한다고 하였으며, 그 결과를 바탕으로 전국 농업용저수지 평균 유속인 0.18m/s로 환산하면 유기물의 일차반응상수는 1.61로 나타남.
- 이동저수지 유입하천인 송전천 5.2km에 대해 실측한 유량 및 수질자료를 이용해 하천수질모델인 QUAL2E 모델을 구축 및 보정 함.

(표 2) 유기물(COD) 반응상수 산정

| 하천    | 구간     | 구간거리 (km) | 시작농도 (mg/L) | 중점농도 (mg/L) | 평균수온 (°C) | 평균유속 (m/s)  | 유하시간 (day) | k <sub>t</sub> | k <sub>20</sub> |
|-------|--------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|------------|----------------|-----------------|
| 이동    | 3~4    | 0.939     | 3.6         | 3.4         | 27        | 0.275       | 0.039      | 1.45           | 1.05            |
| 만수    | 3~4    | 0.241     | 39          | 38          | 33        | 0.090       | 0.031      | 0.84           | 0.46            |
| 쌍지1차  | sj8~9  | 0.35      | 2.4         | 2.3         | 22        | 0.030       | 0.135      | 0.32           | 0.29            |
| 쌍지3차  | sj7~9  | 1.032     | 2.6         | 2.2         | 18        | 0.021       | 0.569      | 0.29           | 0.33            |
| 쌍지2차  | sj7~8  | 0.682     | 2.7         | 2.4         | 21        | 0.038       | 0.210      | 0.56           | 0.52            |
| 쌍지3차  | sj7~8  | 0.682     | 2.6         | 2.3         | 18        | 0.038       | 0.210      | 0.58           | 0.64            |
| 면천A3차 | MCA1~3 | 0.5       | 5.7         | 3.8         | 25        | 0.012       | 0.503      | 0.81           | 0.64            |
| 면천A2차 | MCA1~3 | 0.5       | 5.5         | 3.5         | 23        | 0.010       | 0.559      | 0.81           | 0.72            |
| 면천A3차 | MCA1~2 | 0.25      | 5.7         | 4.4         | 24        | 0.013       | 0.223      | 1.16           | 0.96            |
| 면천B2차 | MCB1~2 | 0.25      | 14.5        | 11.6        | 28        | 0.026       | 0.113      | 1.97           | 1.36            |
| 면천A2차 | MCA1~2 | 0.25      | 5.5         | 3.5         | 22        | 0.012       | 0.234      | 1.93           | 1.73            |
| 면천B3차 | MCB2~3 | 0.25      | 4.6         | 3.1         | 28        | 0.019       | 0.152      | 2.59           | 1.83            |
| 면천B1차 | MCB1~3 | 0.5       | 9           | 8.6         | 25        | 0.123       | 0.047      | 0.96           | 0.75            |
| 면천B3차 | MCB1~3 | 0.5       | 10.1        | 3.1         | 27        | 0.016       | 0.362      | 3.27           | 2.42            |
| 평균    |        | 0.49      | 8.11        | 6.59        | 24.34     | <b>0.05</b> | 0.24       | 1.25           | <b>0.98</b>     |

□ 농업용저수지 유역내 오염원입지 제한 방안

- 1차반응식을 이용해 공장 및 산업단지로부터 배출된 방류수가 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10% 감소되는데 필요한 거리는 각각 15.5km, 11.6km, 8.9km, 6.7km, 4.9km, 3.4km, 2.2km, 1.0km인 것으로 나타남. 방류수의 농도(COD, 40mg/L)가 수질기준(8mg/L) 이하로 감소하는데 필요한 이격거리는 15.5km인 것으로 나타남.
- 구축된 수질모델을 이용해 공장 및 산업단지로부터 배출된 방류수가 50%, 40%, 30%, 20%, 10% 감소되는데 필요한 거리는 각각 5.7km, 4.4km, 3.2km, 2.0km, 1.0km인 것으로 나타남.

- 농업용저수지 상류지역의 오염원 규모 및 하천의 현재 수질을 반영하여 필요한 이격거리를 산정하기 위해, 공장 방류수가 하천수와 혼합된 후의 유량 및 농도를 기존의 1차반응식에 대입하여 정리하면 (식 3)과 같다.

$$D = -9.66 \ln \left( \frac{C_d(r+1)}{C_p r + C_s} \right) \quad (\text{식 3})$$

- (식 3)을 이용할 경우 공장방류수와 현재의 하천 수질상태를 반영해 실질적인 오염원 입지제한 거리 산정이 가능하지만, 농업용저수지 유역마다 필요한 이격거리가 다르게 산정되어 법적용이 약간 복잡해 짐.
- 공장 및 산업단지가 농업용저수지의 상류유역에 설립되는 것을 규제하는 방안을 수립하기 위해서는 공공/공동처리시설 처리여부, 낮은 오염부하량 배출 또는 비배출 여부, 유역의 배출여부 등과 같은 배출특성에 따라 입지를 규제하여야 함. 또한 오염물질의 유달시간 및 수질오염사고 대응시간, 유출차단시설 설치여부 및 강우유출(비점오염)에 의한 수질영향을 고려하여 공장 및 산업단지의 입지를 규제해야 함.
- 오염물질의 유달시간 및 수질오염사고 대응시간을 고려할 경우 12시간 또는 24시간의 유달시간이 필요하며 평균유속(0.18m/s)을 적용할 경우 7.8km 또는 15.6km의 안전거리가 필요하지만, 폐수배출시설이 유해물질취급시설을 포함하므로 폐수배출시설과 동일한 이격거리를 적용하는 것이 적당함. 폐수배출시설이 아닌 유해물질 취급시설은 유출차단시설을 설치하였을 경우 입지규제기준을 완화하여 안전거리를 1/2 감소시키는 것이 적당함. 비록 유해물질을 배출하지 않더라도 비점오염에 의한 농업용저수지가 오염되는 것을 방지하기 위해 최소 1km까지는 입지를 제한 할 필요가 있음.
- 이상의 결과를 바탕으로 (표 3)과 같이 4가지 오염원입지 제한(안)을 작성하였음. 제1안과 제2안은 오염물질 저감효과와 규제에 따른 사회경제적 비용을 적정하게 고려하여 입지규제거리 설정기준을 반감기(50%감기)와 40%감기로 상이하게 적용함. 제3안과 제4안은 입지규제거리 기준이 공장 및 산업단지의 방류수가 농업용저수지 유입하천과 혼합 후 저수지 유입직전(유입하천 말단부) 목표COD농도가 10mg/L와 8mg/L로 상이하게 설정된 안으로 제3안과 제4안은 입지예정인 공장 및 산업단지의 폐수 배출량별 입지규제거리가 다르게 계산되도록 설정되어 제1안과 제2안에 비해 현실적임.

(표 3) 농업용저수지 상류지역 입지규제 개선방안(안)

|                   | 입지규제<br>기준거리 | 기준거리<br>설정기준           | 규제 대상 시설   | 비고  |
|-------------------|--------------|------------------------|--|---|
| 대안1               | 6.5km        | 반감기                    | · 폐수배출시설   | · 기존과 동일한 기준거리<br>설정기준 이용                             |
| 대안2               | 5.0km        | 40% 감기 및<br>기존 규제거리    | · 폐수배출시설   | · 규제의 완화(40%감기)<br>· 기존 규제거리 유지                       |
| 대안3               | 계산식<br>이용    | 유입하천 말단<br>부 농도 10mg/L | · 폐수배출시설   | · 방류수 및 하천의 유량과<br>농도 고려<br>· 하천말단부 농도 10mg/L         |
| 대안4               | 계산식<br>이용    | 유입하천 말단<br>부 농도 8mg/L  | · 폐수배출시설   | · 방류수 및 하천의 유량과<br>농도 고려<br>· 하천말단부 농도 8mg/L          |
| 개정안<br>추가공<br>동사항 | 기준거리         | 수질사고대비                 | · 유해물질 취급시설                                      | · 수질사고 대비를 위한 최<br>소 거리 확보                            |
|                   | 2.0km        | 수질사고대비                 | · 유출차단시설을 갖춘 유<br>해물질 취급시설 중 폐수<br>비배출 또는 유역외 배출 | · 수질사고 대비를 위한 최<br>소 거리 확보<br>· 유출차단시설을 이용<br>수질사고 대비 |
|                   | 2.0km        | 약 20% 감기               | 유해물질취급하지 않는 시<br>설 중 폐수비배출 또는 유<br>역외 배출         | · 낮은 배출 부하량 시설에<br>대한 제한거리 완화                         |
|                   | 1.0km        | 강우유출 등<br>(비점오염고려)     | · 모든 시설 규제                                       | · 저수지 수질보전을 위한<br>최소거리 확보                             |

○ 모든 대안에서 농업용저수지 상류지역 공장 및 산업단지의 오염사고를 대비하여 비록 폐수를 방류하지 않더라도 공정상 유해물질을 사용하는 경우 폐수배출시설과 동일한 이격거리를 확보하도록 하였으며, 유출차단시설 설치 시 안전거리를 1/2 경감하도록 함. 비록 폐수도 방류하지 않고 공정상 유해물

질을 사용하지 않더라도 강우시 유출되는 비점오염에 의해 저수지가 오염되는 것을 방지하기 위해 1km이내에는 모든 시설이 설립될 수 없도록 함.

## 5. 연구결과의 실용화 방안

- 활용 정책명(또는 사업명)

  - “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역” 설정

- 활용 주관부서(또는 농림부 담당과)

  - 시설안전과

- 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

  - 「농어촌정비법」에 “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역”을 설정할 수 있는 법안 마련

- 사업부서 교육, 기술지원 계획 등 기타활용 방안

  - 농업용 저수지 수질 보전을 위해 상류유역의 공장과 같은 오염발생원을 제한하는 법적·과학적 근거 지원

# SUMMARY

**1. Title : A study on the plant establishment limitation in the agricultural reservoir watershed**

**2. Research period : Jan. 2009 ~ Dec. 2009 (1year)**

## **3. Necessity and objectives**

### **3.1 Background and necessity**

- Stream water quality become worse because of municipal and industrial sewage increase, livestock facilities and entertainment facilities increase, waste water treatment facilities lack, etc.
- There are several agricultural reservoir which are lost their own public function because there is no law to prohibit watershed development such as agricultural industry complex, hospital, livestock complex.
- Scientific measures are needed to prohibit plant establishment in agricultural reservoir watershed to preserve agricultural reservoir.

### **3.2 Objectives**

- Review of plant establishment limitation law
- Investigation of environmental factors in agricultural reservoirs
- Water quality investigation of stream, determination of reaction parameter and development of water quality model
- Study on the measures of plant establishment limitation

### **3.3 Contents and scope**

#### **1) Review of plant establishment limitation law**

- Review of plant establishment limitation law in Korea
- Review of plant establishment limitation status and issues

#### **2) Investigation of environmental factors in agricultural reservoirs**

- Investigation of physical and chemical factor in agricultural reservoirs
  - Investigation of physical and chemical factors in reservoir and watershed
  - Field research : length, width, velocity, flow rate, water quality in stream
    - Target : water quality monitoring reservoirs in Gyeonggi province
    - Measure : field research, GIS data, water quality report of stream
- Investigation of pollution level in agricultural reservoirs
  - Categories of eutrophication level using water quality monitoring data from agricultural reservoirs
  - Correlation analysis between plants and pollutant loading within watershed in each eutrophication level
    - Analysis of main pollutant in each eutrophication level
- Correlation analysis between watershed pollutant loading and water quality
  - Correlation analysis among watershed pollutant loading, stream water quality, and reservoir water quality
  - Necessity of watershed pollutant loading control from correlation between watershed pollutant loading and reservoir water quality
- Research of water quality variation in agricultural reservoir
  - Calculation of water quality variation rate in reservoir using stream and reservoir water quality data
  - Determination of optimal water quality at the end of the stream for maintaining target water quality in reservoir

### **3) Water quality investigation of river, determination of reaction parameter and development of water quality model**

- Investigation of water quality variation depending delivery time and distance, and determination of reaction parameters
  - Investigation of water quality variation depending delivery time

and distance

- Determination of first order reaction parameter

$$C = C_0 e^{-k_i t}, \quad C = C_0 e^{-k_i l}$$

- Development of stream water quality model (QUAL2E)
  - Water quality monitoring for QUAL2E model development
  - Development of QUAL2E model
    - Development of QUAL2E for target stream(BOD, T-N, T-P)
    - Calibration of QUAL2E model using observed data

#### **4) Study on the measures of plant establishment limitation**

- Study on the calculation measure for plant establishment limitation distance
  - Study on the calculation measure using other research report
- Calculation of plant establishment limitation distance
  - Using first order equation and water quality model
  - Development of determination rule for plant establishment limitation distance
  - Calculation plant establishment limitation distance considering determination rule
- Proposition of plant establishment limitation measures for agricultural reservoir watershed
  - 4 to 5 proposition of plant establishment limitation measures
  - Legal review for plant establishment limitation measures
  - Comparison of plant establishment limitation measures

### **3.4. Utilization of the results**

#### **1) Expectation**

##### **a) Technical aspects**

- Proposition of calculation measure for plant establishment limitation distance
- Proposition of guideline for reasonable plant establishment limitation

**b) Economical and industrial aspects**

- Maintenance of related law using guideline for agricultural water protection area

**2) Utilization plan**

**a) Utilization policy title (or project title)**

- Development of plant establishment limitation area for agricultural reservoir watershed

**b) Utilization division (or department of MIFAFF )**

- Department of agricultural infrastructure

**c) Policy (or project) development plan**

- maintenance of 「maintenance law for rural area」 for plant establishment limitation area in agricultural reservoir watershed

**d) Other utilization plan such as education and technical support**

- Support of legal and scientific evidence for plant establishment limitation to preserve agricultural reservoir water quality

**4. Results**

**4.1 Review of plant establishment limitation law**

- There are several categories for establishment limitation law in the watershed: landuse base law, each law base law, metropolitan management plan law
- We considered two calculation methods for establishment limitation distance: first order reaction equation and water quality modeling. Reasonable plant establishment limitation distance was determined using observed average flow velocity and first order reaction parameter from observed water quality data. We determined required distance for decrease stream water quality concentration to certain percentile. after selecting agricultural reservoir stream and applying QUAL2E model.

**4.2 Review of environmental factor in agricultural reservoirs**

- The rate of number, watershed area, and plant establishment area in agricultural reservoir which is stream length larger than 5km was 1.2%, 41%, and 24%, respectively. Only 24% of total agricultural reservoir watershed area



can be permitted for plant establishment.

- We can easily estimate stream flow in certain agricultural reservoir watershed from the correlation between watershed area and observed flow rate. If agricultural reservoir watershed area is 312ha, expected stream flow rate is 253m<sup>3</sup>/day. When we determine plant establishment limitation distance, stream flow rate should be considered.
- We determined correlation between slope and water velocity in stream from GIS slope data and observed water velocity in 20 agricultural reservoir. We determined average stream slope(9.5) of 18,000 agricultural reservoir from GIS slope data and average water velocity(0.18m/s) from correlation between slope and water velocity.
- Average COD, T-N, and T-P concentration in agricultural reservoir was 6.0mg/L, 1.5mg/L, and 0.03mg/L, respectively. The rate of agricultural reservoir which is larger than water quality standard (COD: 8.0mg/L, T-N: 1.0mg/L, T-P: 0.1mg/L) was 21%, 69%, and 7%, respectively. Agricultural reservoir in Korea are suffering from organics and nitrogen, and agricultural reservoirs need water quality improvement plan.
- There was high positive correlation between watershed BOD loading and stream and reservoir COD concentration ( $r=0.33, 0.64$ ). Watershed pollutant loading should be controlled for agricultural reservoir water quality improvement.
- There was positive correlation between stream water quality and reservoir water quality from monitoring data. To maintain 8.0mg/L COD concentration in agricultural reservoir, stream COD concentration should be lower than 4.5mg/L.

### **4.3 Determination of reaction parameter and development of water quality model**

- COD first order reaction parameter at 20°C and 0.05m/s was 0.98 from observed monitoring data, it was similar range with domestic and international literature value (0.84, 0.96).
- Reaction parameter depends on water velocity in stream according to MEV research report (MEV, 2003). Reaction parameter determined by monitoring data was converted to reaction parameter at 0.18m/s, converted reaction parameter was 1.61.
- Water quality stream model (QUAL2E) was developed and calibrated using observed flow rate and water quality data at 5.2km Songjeon stream in Idong agricultural reservoir.

### **4.4 Study on the measures of plant establishment limitation**

- To limit plant establishment in agricultural reservoir watershed, required distance for reducing plant effluent concentration to 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, and 10% using first order reaction equation was 15.5km, 11.6km, 8.9km, 6.7km, 4.9km, 3.4km, 2.2km, and 1.0km, respectively. Required distance was 15.5km for reducing plant discharge concentration (40mg/L) to below water quality standard (8.0mg/L).
- To limit plant establishment in agricultural reservoir watershed, required distance for reducing plant effluent concentration to 50%, 40%, 30%, 20%, and 10% using QUAL2E model was 5.7km, 4.4km, 3.2km, 2.0km, and 1.0km, respectively.
- To calculate required distance which is reflected current stream water quality and plant discharge loading, we developed a new equation that was obtained by assigning flow rate and water quality concentration after mixing plant discharge and stream water to first order reaction equation.

- The developed new equation can be used to calculate practical and reasonable required distance, but applying plant establishment limitation law is very difficult because calculated distance is different in all the agricultural reservoir watershed.
- 12 or 24 hours delivery time is needed to cope with chemicals spill, and required safety distance was 7.8 or 15.6km at average water velocity (0.18m/s). But required safety distance should be same with required plant establishment limitation distance because industry sewage discharge plant include dangerous chemicals handling plant. Safety distance should reduce 50% when harmful chemicals blocking facilities are equipped. Although industrial sewage are not discharge to stream, no plant establish within 1km from agricultural reservoir to protect agricultural reservoir pollution by nonpoint source pollutant.
- 4 types plant establishment limitation measures were developed from these result. 1st and 2nd measures are adopted 50% and 40% pollutant reduction concepts considering effect of pollutant reduction and social and economical costs. 3rd and 4th measures are adopted 10mg/L and 8mg/L target COD concentration at the end of the stream after mixing plant discharge sewage and stream water. 3rd and 4th measures are more reasonable then 1st and 2nd, because 3rd and 4th measures can consider plant discharge pollutant loading and stream water quality.
- In all measures, required safety distance should be same with required plant establishment limitation distance to cope with chemicals spill when harmful chemicals are used in the plant although industrial sewage is not discharge to the stream. Safety distance reduce 50% when harmful chemicals blocking facilities are equipped. Although industrial sewage are not discharge to stream, no plant establish within 1km from agricultural reservoir to protect agricultural reservoir pollution by nonpoint source pollutant.



# 목 차

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1장 서론</b> .....                       | <b>2</b>  |
| 1절 연구배경 및 필요성 .....                      | 3         |
| 1. 연구의 배경 .....                          | 3         |
| 2. 연구의 목적 .....                          | 4         |
| 2절 연구범위 및 내용 .....                       | 4         |
| 1. 오염발생원 입지에 관한 제도 조사 .....              | 4         |
| 2. 농업용저수지의 환경요인 검토 .....                 | 4         |
| 3. 유입하천 수질조사, 반응상수 도출 및 모델구축 .....       | 5         |
| 4. 오염원 발생원 입지제한 방안 연구 .....              | 5         |
| 3절 연구진행방법 .....                          | 6         |
| 4절 기대효과 및 실용화 계획 .....                   | 6         |
| 1. 기대성과 .....                            | 6         |
| 2. 실용화계획 .....                           | 7         |
| <br>                                     |           |
| <b>2장 오염원 입지제한 제도 및 제한거리 산정 연구</b> ..... | <b>10</b> |
| 1절 국내 오염원 입지제한 관련 제도 .....               | 11        |
| 1. 용도지역별 입지제한 .....                      | 11        |
| 2. 개별법에 의한 입지제한 .....                    | 13        |
| 3. 변경 또는 전용의 제한 .....                    | 17        |
| 4. 수도권정비계획법에 의한 제한 .....                 | 18        |
| 2절 오염원 입지제한 관련 연구 .....                  | 19        |
| 1. 상수원보호구역의 표준거리에 대한 연구 .....            | 19        |
| 2. 상수원 상류지역 공장입지구제의 적정성에 대한 연구 .....     | 23        |
| 3절 오염원 입지 제한거리 산정 방법 .....               | 27        |
| 1. 일차반응식을 이용한 방법 .....                   | 27        |
| 2. 하천수질모델을 이용한 방법 .....                  | 28        |
| <br>                                     |           |
| <b>3장 농업용저수지 환경요인 검토</b> .....           | <b>33</b> |
| 1절 대상저수지 선정 및 현장조사 .....                 | 33        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2절 농업용저수지의 물리적 특성 분석 .....                  | 37        |
| 1. 하천길이 산정 .....                            | 37        |
| 2. 유입하천 유량 분석 .....                         | 39        |
| 3. 유입하천 평균 유속 .....                         | 41        |
| 3절 농업용저수지의 수질특성 분석 .....                    | 44        |
| 1. 농업용저수지의 오염도 조사 .....                     | 44        |
| 2. 유역오염부하량과 하천 및 저수지 수질간의 상관관계 .....        | 47        |
| 3. 유입 하천수질과 저수지수질 간의 상관관계 .....             | 48        |
| <br>  |           |
| <b>4장 반응상수 도출 및 수질모델 구축 .....</b>           | <b>53</b> |
| 1절 농업용저수지 수질조사 .....                        | 53        |
| 1. 대상하천 선정조건 .....                          | 53        |
| 2. 대상하천 수질조사 .....                          | 54        |
| 2절 농업용저수지 유입하천의 반응상수 도출 .....               | 66        |
| 1. 1차반응식 .....                              | 66        |
| 2. 반응상수 도출 .....                            | 67        |
| 3절 입지제한거리 산정을 위한 모델 구축 .....                | 69        |
| 1. 모형개요 .....                               | 69        |
| 2. 모형 구축 .....                              | 72        |
| 3. 모의결과 .....                               | 75        |
| <br>  |           |
| <b>5장 농업용저수지 유역내 오염원입지 제한 방안 .....</b>      | <b>79</b> |
| 1절 산정 기준별 필요한 이격거리 .....                    | 79        |
| 1. 방류수의 농도가 일정 비율 또는 농도로 감소되는데 필요한 거리 ..... | 79        |
| 2. 유량 및 농도를 고려한 방법 .....                    | 82        |
| 2절 입지구제 개선안 설정을 위한 고려요소 .....               | 87        |
| 1. 배출특성에 따른 입지구제 .....                      | 87        |
| 2. 오염사고 방지를 고려한 입지구제 .....                  | 89        |
| 3절 농업용저수지 오염원입지 제한 개선대안 .....               | 92        |
| 1. 농업용저수지 오염원 입지구제 개선방안(안) .....            | 92        |
| 2. 개정 대안 별 비교 .....                         | 95        |
| 4절 농업용저수지 오염원입지 제한관련 법령 개정(안) .....         | 97        |
| 1. 개정중인 「농어촌정비법」 및 시행령 .....                | 97        |

|  |            |
|--|------------|
| 2. 「농어촌정비법」 시행령 개정(안) .....              | 99         |
| 5절 농업용저수지 보호를 위한 규제와 정책의 방향에 대한 제안 ..... | 107        |
| 1. 부처간 협력에 의한 협동규제 .....                 | 107        |
| 2. 순환규제의 탈피 .....                        | 107        |
| <b>6장 결론</b> .....                       | <b>110</b> |

# 표 목 차

|   |    |
|---|----|
| (표2-1) 상수원 보호구역 제도 개선안 .....                      | 21 |
| (표2-2) 상수원보호구역 및 상류지역 입지규제 개선방안 .....             | 25 |
| (표3-1) 선정된 대상 농업용저수지의 유역면적 및 제원 .....             | 34 |
| (표3-2) 특정 하천길이 이상을 보유하는 전국 농업용저수지 비율 .....        | 38 |
| (표3-3) 전국 저수지 면적대비 공장 및 산업단지 설립가능지역 면적 및 비율 ..... | 39 |
| (표3-4) 농업용저수지의 부영양화 단계 평가 기준 .....                | 46 |
| (표4-1) 농업용저수지 유입하천구간 선정조건 .....                   | 53 |
| (표4-2) 이동저수지 시설현황 .....                           | 54 |
| (표4-3) 송전천 조사지점명 .....                            | 56 |
| (표4-4) 송전천 1차 수질조사 결과 .....                       | 56 |
| (표4-5) 송전천 2차 수질조사 결과 .....                       | 57 |
| (표4-6) 고삼저수지 시설현황 .....                           | 58 |
| (표4-7) 쌍지천 조사지점명 .....                            | 59 |
| (표4-8) 쌍지천 1차 수질조사 결과 .....                       | 59 |
| (표4-9) 쌍지천 2차 수질조사 결과 .....                       | 60 |
| (표4-10) 쌍지천 3차 수질조사 결과 .....                      | 60 |
| (표4-11) 순성(면천)저수지 제원 .....                        | 61 |
| (표4-12) 면천 조사지점명 .....                            | 62 |
| (표4-13) 면천 1차 수질조사 결과 .....                       | 62 |
| (표4-14) 면천 2차 수질조사 결과 .....                       | 63 |
| (표4-15) 면천 3차 수질조사 결과 .....                       | 63 |
| (표4-16) 신희저수지 제원 .....                            | 64 |
| (표4-17) 신희저수지 조사지점명 .....                         | 65 |
| (표4-18) 신희저수지 수질조사 결과 .....                       | 65 |
| (표4-19) 유기물(COD) 반응상수 산정 .....                    | 67 |
| (표4-20) 유속변화에 따른 유기물의 일차반응식 .....                 | 68 |
| (표5-1) 오염물질 감소비율별 필요한 이격거리 .....                  | 80 |
| (표5-2) 송전천 III구간 BOD 농도변화율 .....                  | 81 |
| (표5-3) 오염물질 감소비율별 필요한 이격거리 .....                  | 81 |
| (표5-4) 농업용저수지 상류지역 입지규제 개선방안(안) .....             | 95 |



# 그 립 목 차

|  |    |
|--|----|
| <그림2-1> 시간에 따른 농도변화 .....                      | 27 |
| <그림2-2> 수질모델을 이용한 제한거리 도출 절차 .....             | 29 |
| <그림2-3> 수질모델을 이용한 제한거리 도출 과정별 예시 .....         | 30 |
| <그림3-1> 전국 농업용저수지의 유역면적 누적분포 .....             | 33 |
| <그림3-2> 대상 농업용저수지의 위치도 .....                   | 35 |
| <그림3-3> 전국 농업용저수지 및 선정된 농업용저수지의 유역면적 분포도 ..... | 36 |
| <그림3-4> 유역면적과 최장하천길이와의 관계 .....                | 37 |
| <그림3-5> 공장 및 산업단지 설립가능지역만의 면적 산정 개념도 .....     | 39 |
| <그림3-6> 유역면적과 유입하천유량 관계 .....                  | 40 |
| <그림3-7> GIS자료를 이용한 전국 농업용저수지 평균 유속 도출 .....    | 42 |
| <그림3-8> 유속과 지표면 경사와의 상관관계 .....                | 43 |
| <그림3-9> 수질측정망 대상저수지의 수질항목별 누적분포도 .....         | 44 |
| <그림3-10> 수질측정망 대상저수지의 수질등급별 분포 .....           | 45 |
| <그림3-11> 수질측정망 대상저수지의 부영양화 단계별 분포 .....        | 46 |
| <그림3-12> 유역오염부하량과 유입하천 및 저수지 수질간의 상관관계 .....   | 48 |
| <그림3-13> 농업용저수지 유입하천 및 저수지 수질 사이의 상관관계 .....   | 49 |
| <그림4-1> 이동저수지 유역 수계도 .....                     | 55 |
| <그림4-2 송전천 조사지점 위치> .....                      | 56 |
| <그림4-3> 고삼저수지 유역 수계도 .....                     | 58 |
| <그림4-4> 쌍지천 조사지점 위치 .....                      | 59 |
| <그림4-5> 순성저수지 유역 수계도 .....                     | 61 |
| <그림4-6> 면천(순성저수지 유입하천) 조사지점 위치 .....           | 62 |
| <그림4-7> 신희저수지 유역 수계도 .....                     | 64 |
| <그림4-8> 신희저수지 유입하천 조사지점 위치 .....               | 65 |
| <그림4-9> QUAL2E 모형의 구조 .....                    | 71 |
| <그림4-10> Element 설정 .....                      | 72 |
| <그림4-11> 수원(Headwater) 자료 입력 .....             | 73 |
| <그림4-12> 수리 자료 입력 .....                        | 73 |
| <그림4-13> BOD 및 DO 반응계수 입력 .....                | 74 |
| <그림4-14> 하천 초기상태 입력 .....                      | 74 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <그림4-15> 증가유입유량 입력 .....              | 74 |
| <그림4-16> 송전천 구간별 BOD 모의결과 .....       | 75 |
| <그림4-17> 송전천 구간별 T-N 모의결과 .....       | 76 |
| <그림4-18> 송전천 구간별 T-P 모의결과 .....       | 76 |
| <그림5-1> 송전천 III구간 BOD 농도변화율 .....     | 81 |
| <그림5-2> 목표농도 20mg/L일때 필요한 이격거리 .....  | 83 |
| <그림5-3> 목표농도 10mg/L일때 필요한 이격거리 .....  | 84 |
| <그림5-4> 목표농도 8mg/L일때 필요한 이격거리 .....   | 84 |
| <그림5-5> 목표농도 4.5mg/L일때 필요한 이격거리 ..... | 85 |

# 1. 서론



# 장 서론

## 1절 연구배경 및 필요성

### 1. 연구의 배경

「산업입지의 개발에 관한 통합지침」에 따라 농업용저수지로부터 일정거리(2~5km) 내에서 산업단지 및 개별공장입지 지정승인을 제한(제7조, 36조)하고 있으며 법제처는 일부사항(제36조7호)에 대하여 정당성을 인정하지 않는 등 법적근거가 미약한 상태에서 지침의 형태로 시행되고 있어 법적정비가 시급한 상황이다. 따라서 명확한 법령의 바탕아래 합리적인 절차를 통해 농업용수원을 보호할 수 있도록 농업용저수지 유역 내 오염발생원 입지를 제한 할 수 있는 과학적 근거 마련이 필요하다.

기술적 측면에서 봤을 때 지금까지 농업용수 관리는 질적 관리보다는 양적 관리에 치중하여 왔으나, 최근 들어 안전농산물 생산과 농촌자원의 효율적인 이용을 위한 수질관리의 중요성을 재인식하면서 수량확보와 함께 효율적인 물배분과 생·공용수, 환경용수를 포함한 농촌용수로서 안정적인 물공급과 깨끗한 수자원 확보에 주안점을 두고 있다. 대부분의 농업용저수지는 폐쇄수역이어서 하천을 통해 오염물질이 대량 또는 장기간 유입되었을 경우 오염물질들이 호내에 축적·보존되는 특성이 있으며, 더욱이 그 동안의 농촌지역은 도시화와 산업화에 따른 생활하수 및 공장폐수의 발생량 증가, 축산시설 및 각종 위락시설의 증가, 환경기초시설의 부족 등에 의하여 유입하천의 수질이 점차 나빠지고 있는 상황이다. 하지만 저수지 유역의 관리주체가 모호하여, 실제 저수지가 감당할 수 없을 정도의 오염물질이 유입될 수 있는 개발행위(농공단지, 군부대, 병원, 관광단지, 축산단지 등)를 억제하지 못하여 공익적인 저수지의 기능을 상실한 저수지도 발생하고 있으며 따라서 합리적인 절차를 통해 농업용저수지를 보호할 수 있도록 유역내 개발행위를 제한할 수 있는 과학적 근거마련이 필요하다.

경제·산업적 측면에서 농업용저수지는 농업용수 및 생활용수를 비롯한 귀중한 수자원을 제공하고 있고 수산, 관광, 레크레이션의 장소를 제공함으로써 사람들의 일상생활에 있어서 중요한 국민적 자산이다. 최근 사회경제적 활동의 증가에 따라 저수지에 유입되는 오염물질 부하가 증대되어 저수지 물이용과 수역 이용상 다양한 장애가 발생되고 있고 한 번 기능을 상실한 저수지를 복원하는 데에는 막대한 시간과 재원이 소요되고 있다.

또한 사회·문화적 측면에서는 저수지주변과 그 유역에 있는 사람들의 여러 활동에 기인하는 오염이 최근에 심화되었고 그 대책의 수립이 각계에서 강하게 요구되고 있다. 특히 축산폐수, 비료, 낚시떡밥 등의 오염원 유입이 가중되어 부영양화가 심화되고 있으므로, 정체수역 관리를 위해 개발행위 규제 및 행정규제 등 저수지 수질 개선을 위한 적극적 관리가 요망된다. 국민의 안전한 먹거리 생산기반 및 농업인의 안정적인 생산활동 보장장치 구축을 위해 농업용수원의 수질보전이 선행되어야 한다.

그 동안 「상수원 보호구역 표준거리 산정을 위한 연구(2003, 환경부)」 「관리지역 및 농공단지의 입지제한 업종 실태조사 연구(2007, 환경부)」 「상수원 상류지역 공장입지구제의 적정성에 대한 연구(2008, 환경부)」 등의 연구가 있었지만 농업용저수지 상류지역 오염발생원 입지제한에 관한 연구는 전무한 현실이다.

## 2. 연구의 목적

- 농업용저수지 유역내 오염발생원 입지를 제한 할 수 있는 과학적인 근거 마련
- 농업용저수지 상류유역 오염원입지 제한(안) 제시

## 2절 연구범위 및 내용

### 1. 오염발생원 입지에 관한 제도 조사

- 국내의 관련 관계법령 내 오염발생원 입지에 관한 제도 조사
- 입지제한 현황 및 문제점 조사

### 2. 농업용저수지의 환경요인 검토

- 농업용저수지의 물리·화학적 인자 조사
  - 저수지 및 유역의 물리·화학적 인자 조사
  - 유입하천의 길이, 폭, 유속, 유량, 수질 등 현장조사
  - 대상 : 경기도내 수질측정망 대상 저수지
  - 방법 : 현장조사, GIS자료, 유입하천 수질조사 보고서

- 농업용저수지의 오염도 조사

- 농업용저수지 수질측정망 자료를 이용한 부영양화 단계 분류
- 부영양화단계별 유역내 오염원 및 부하량 비교·분석
  - 부영양화단계별 주 오염원 분석
- 유역오염원부하량과 수질간의 상관관계 분석
  - 유역오염부하량-하천수질-저수지수질 간의 상관관계 분석
  - 유역오염부하량과 저수지수질간의 상관관계를 통한 유역오염부하량 규제 필요성 도출
- 농업용저수지의 수질변화율 조사
  - 유입하천 및 저수지 수질을 이용한 저수지의 수질변화율 조사
  - 저수지 목표수질 유지를 위한 유입하천의 적정 수질농도 검토

### 3. 유입하천 수질조사, 반응상수 도출 및 모델구축

- 유하시간 및 거리에 따른 수질변화조사 및 반응상수 도출
  - 유하시간 및 거리에 따른 수질변화 조사
    - 대상하천 : 오염원 유입 후 일정구간(500m이상) 외부 유입이 없는 농업용저수지 유입하천 (5지점 이상)
    - 조사방법 : 일정 거리 간격으로 물리적 인자 및 수질조사
  - 오염물질별 시간 및 거리에 따른 1차반응식 도출

$$C = C_0 e^{-k_d t}$$

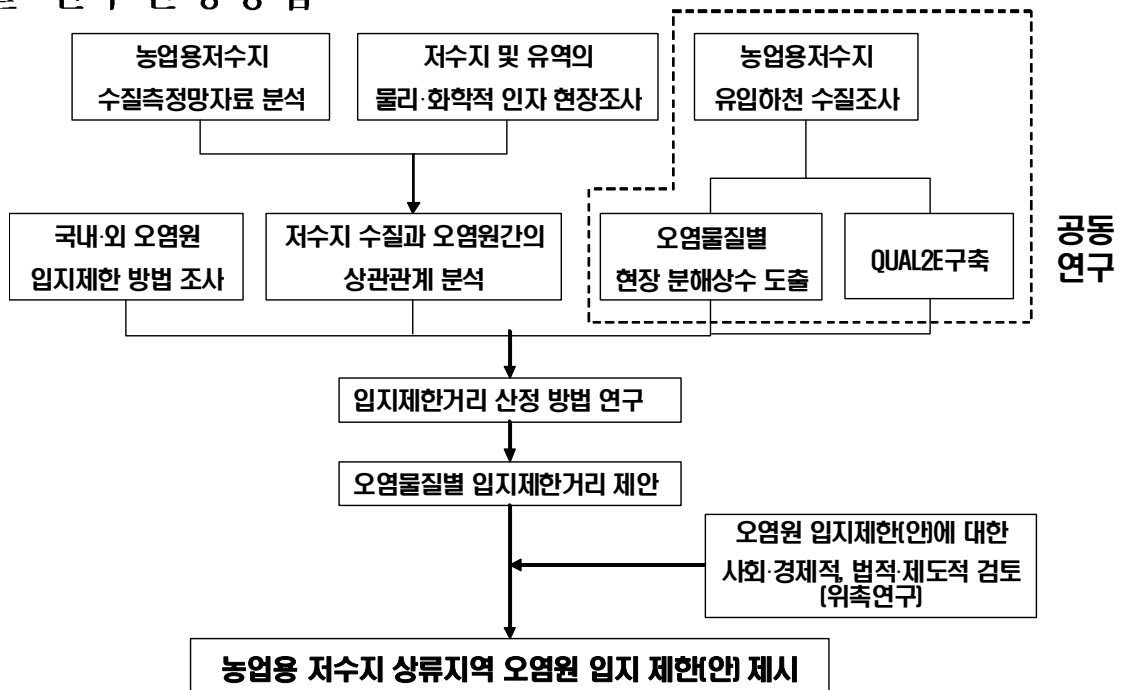
- 유입하천 수질모델(QUAL2E) 구축
  - QUAL2E구축을 위한 수질변화 조사
    - 대상하천 : 유입하천 중 하천길이 3km이상, BOD 5~30mg/L 지천에 의한 오염원 유입이 상류에 비해 적은 하천 3지점 이상의 유입하천 선정
    - 조사횟수 : 년 3회 이상(여름철 강우기 제외)
  - QUAL2E 모델 구축
    - 선정된 하천에 대해 QUAL2E 구축(BOD, T-N, T-P)
    - 실측한 자료를 이용해 구축된 모델 보정·검정

### 4. 오염원 발생원 입지제한 방안 연구

- 입지제한거리 산정방법 연구
  - 기존 연구자료를 이용한 산정방법 연구
- 오염물질별 입지제한거리 산정

- 도출된 1차반응식, 구축된 모델 이용
- 입지제한거리 산정 기준 설정
- 산정기준을 고려한 입지제한 거리 산정
- 농업용저수지 상류지역 오염원입지 제한 방안
  - 4-5개의 오염원입지제한(안) 설정
  - 오염원입지제한(안)에 대한 법적 제도적 검토
  - 입지제한 방안(안)별 비교·검토

### 3절 연구진행방법



### 4절 기대효과 및 실용화 계획

#### 1. 기대성과

##### 가. 기술적 측면

- 오염물질별 입지제한거리 결정방법 제시
- 농업용저수지 수질보전을 위한 농업용저수지 상류지역 오염발생원 입지를 제한 할 수 있는 합리적인 오염발생원입지 제한구역 가이드라인 제시

##### 나. 경제·산업적 측면

- 농업용수보호구역 가이드라인을 근거로 관련 법령을 정비하는



등 농업용수원 보호를 위한 적극적인 수단 마련

## 2. 실용화계획

### 가. 활용 정책명(또는 사업명)

- “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역” 설정

### 나. 활용 주관부서(또는 농림부 담당과)

- 시설안전과

### 다. 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

- 「농어촌정비법」에 “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역”을 설정할 수 있는 법안 마련

### 라. 사업부서 교육, 기술지원 계획 등 기타활용 방안

- 농업용 저수지 수질 보전을 위해 상류유역의 공장과 같은 오염발생원을 제안하는 법적·과학적 근거 지원



2. 오염발생원 입지제한  
제도 및 제한거리  
산정연구



# 장 오염원 입지제한 제도 및 제한거리 산정 연구

## 1절 국내 오염원 입지제한 관련 제도

입지제한이란 입지규제를 말하며 입지규제란 도시계획 차원에서 토지의 효율 또는 이용도를 높이기 위한 계획에 의한 행위제한도 포함하지만 대체적으로 환경규제의 일환으로서 토지이용에 대하여 행해지는 사전적 행정규제를 의미한다. 현대 행정에서는 통합적 오염 예방 및 통제(IPPC)의 수단으로서 오염원에 대한 입지제한이 많이 행해진다.

### 1. 용도지역별 입지제한

각종 건축물이나 시설에 대한 입지제한에는 토지이용에 관한 일반법으로 기능하는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 용도지역별 제한과 「농지법」 등 구체적 사업을 규율하는 개별적 제한이 있다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에서는 도시·관리·농림·자연환경보전지역 등으로 용도지역을 구분하고, 용도지역별로 행위제한을 규정한다. 공장은 자연환경보전지역, 농림지역, 도시지역 중 1, 2종 전용주거지역과 보전녹지, 관리지역 중 보전관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역 등에는 공장의 설립이 허용되지 않는 등 용도지역에 따라 공장 등의 건축이 제한된다.

#### 가. 도시지역

도시지역은 강학상 건설법에서 사용하는 ‘도시’와 다른 개념이다. 도시의 구성요소는 건축물과 토지이다. 한국의 도시계획은 도시의 전체를 대상으로 하는 도시계획을 제정하여 도시를 주거·상업·공업·녹지지역으로 크게 분류하면서 도시내 좁은 공간을 ‘지구’로 다시 구획하여 그 영역 안에서 건축물에 대한 형태나 용도를 제한하는 방식을 취한다. 토지의 계획과 이용을 주로 규율하는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」(제36조)에 따라 안출된 ‘도시지역’은 주거, 상업, 공업, 녹지지역으로 나뉘고, 다시 16개 지역으로 세분화되며, 그에 따라 건축할 수 있는 건축물이 제한된다.

- (1) 주거지역 : 1·2종 전용주거, 1·2·3종 일반주거, 준주거지역으로 세분화되고 주로 단독·공동주택, 초·중·고등학교, 근린생활시설 등을 건축할 수 있다(국토계획법 시행령 별표2~7).

- (2) 상업지역 : 중심상업·일반상업·근린상업·유통상업지역으로 세분화되고, 주로 판매시설, 업무시설, 숙박시설, 근린생활시설 등을 건축할 수 있다(국토계획법 시행령 별표8~11).
- (3) 공업지역 : 전용공업·일반공업·준공업지역으로 세분화되고, 주로 공장, 창고시설, 자동차관련시설, 분뇨 및 쓰레기처리시설, 위험물 저장 및 쓰레기 처리시설 등을 건축할 수 있다(국토이용계획법 시행령 별표 12~14).
- (4) 녹지지역 : 보전녹지·생산녹지·자연녹지지역으로 세분되며, 주로 4층 이하의 초등학교, 창고시설, 단독주택, 수련시설 등의 건축이 가능하다(국토계획법 시행령 별표15~17).

## 나. 관리지역

「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」은 종래 국토이용관리법상의 ‘준농림지역’의 명칭을 관리지역으로 바꾸고 건폐율이나 용적률을 하향조정하는 방법을 이용하여 개발행위를 억제한다. 관리지역은 보전관리, 생산관리, 계획관리 지역으로 나뉘고, 지역별로 건축할 수 있는 건축물이 제한된다.

- (1) 보전관리지역 : 4층 이하의 단독주택과 초등학교, 교정 및 군사시설 등의 건축이 가능하며, 도시계획조례가 정하는 바에 따라 의료시설, 중·고등학교 창고시설, 위험물저장 및 처리시설 등의 건축이 가능하다(국토계획법 시행령 별표18).
- (2) 생산관리지역 : 4층 이하의 단독주택과 초등학교, 창고시설, 교정 및 군사시설, 발전시설 등의 건축이 가능하며, 도시계획조례가 정하는 바에 따라 아파트를 제외한 공동주택, 의료시설, 중·고등학교, 도정공장 과 식품공장, 위험물 저장 및 처리시설, 분뇨 및 쓰레기 처리시설 등의 건축이 가능하다(국토계획법 시행령 별표 19).
- (3) 계획관리지역 : 4층 이하의 단독주택과 일부 1·2층 근린생활시설, 의료 시설, 수련시설, 초·중고·대학 등 학교, 수련시설, 1만㎡ 미만의 공장 등이 건축 가능하며, 도시계획조례에 따라 아파트를 제외한 공동주택, 종교시설, 운수시설, 의료시설, 운동시설, 숙박시설, 1만㎡ 이상의 공장 등의 건축이 가능하다(국토계획법 시행령 별표20).

## 다. 농림지역

농림지역이란 농업진흥지역 및 보전림지역 등으로 농림업의 진흥과 산림의 보전을 목적으로 하는 지역을 말한다. 농림지역은 그 자체가 개별법에 의하여 지정된 지역 또는 구역에 의하여 설정되는 것이므로 개별법상의 행위제한이 건축허가요건을 구성한다. 따라서 농림지역에서는 개별법에 의한 건축허가 요건 외에 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」이 추가하는 일부 요건들이 적용된다. 농림지역에서는 농어가주택, 초등학교, 농림축수산업용 창고시설, 종묘배양시설, 발전시설 등의 건축이 가능하며, 도시계획조례에서 정하는 바에 따라 휴게음식점(300㎡ 미만), 종교시설, 의료시설, 수련시설 등의 건축이 가능하다(국토계획법 시행령 별표21).

## 라. 자연환경보전지역

자연환경보전지역이란 “자연경관·수자원·해안·생태계 및 문화재의 보전과 수산자원의 보호·육성을 위하여 필요한 지역”을 말한다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」은 자연환경보전지역의 지정목적은 구체화시키지 않고 자연환경보전지역 내 행위제한에 관하여 일반조항을 마련하지 못하고 있으며 건폐율, 용적률 및 허용되는 건축물의 용도를 규정함을 핵심내용으로 한다. 자연환경보전지역에서는 농어가주택, 초등학교의 건축이 가능하며, 도시계획조례가 정하는 바에 따라 소매점, 종교시설, 양식장, 묘지관련시설 등의 건축이 가능하다(국토계획이용법 시행령 별표22 참조).

## 2. 개별법에 의한 입지제한

토지이용에 관한 최상위 규범으로 작용하는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 일반적 입지제한 이외에 다수의 중앙행정기관은 고유한 행정 목적을 위한 소관 법률들에 의하여 개별적인 입지제한을 실시한다. 이러한 개별 법률들에는 환경보전, 공원·녹지의 보전, 자연자원관리, 문화재보호, 농지·초지·산지의 보호 또는 특정시설들의 보호를 목적으로 하는 각종 법률들이 존재한다. 농어촌정비법도 농어촌의 정비라는 개별적인 행정목적에 의하여 농지 및 농촌의 토지이용과 건축 등을 제한한다.

### 가. 자연환경/생태계 보호

- (1) 「백두대간 보호법」에 의한 제한 : '백두대간 보호지역'으로 지정된 지역에서는 군사시설, 생태복원시설 등 공공시설과 농가주택 등 지역주

민과 관련된 것을 제외하고는 건축물의 건축 또는 시설물의 설치 등이 금지된다.

- (2) 「야생동식물보호법」에 의한 제한 : '야생동식물 특별보호구역'으로 지정된 지역에서는 건축물의 신·증축, 토지의 형질변경, 토석의 채취 등을 제한한다.
- (3) 「습지보전법」에 의한 제한 : '습지보호지역'으로 지정된 지역에서는 건축물 기타 공작물의 신·증축, 토석의 채취 등이 금지되며, '습지주변 관리지역'에서는 일정규모 이상의 간척사업, 공유수면매립사업 등을 하고자 하는 경우에는 환경부장관·국토해양부장관 또는 시·도지사의 승인을 얻어야 한다.
- (4) 「자연환경보전법」에 의한 제한 : '생태경관보전지역'으로 지정된 지역 안에서는 건축물의 신축 또는 증축을 금지하고 있으며, 생태경관보전지역 중 '완충 또는 전이구역'에서는 지역주민들의 생활을 위한 건축물의 설치를 제한적으로 허용한다.
- (5) 「토양환경보전법」에 의한 제한 : '토양보전대책지역'으로 지정된 지역에서는 환경부장관이 고시하는 시설의 설치가 금지된다. \* 토양보전대책지역으로 지정된 곳은 2007년 4월 현재 없다.
- (6) 「환경정책기본법」에 의한 특별대책지역에서의 제한 : 팔당호, 대청호 상수원 수질보전 특별대책지역(권역 I, II로 구분)에서는 일정한 건축물, 오·폐수 배출시설 등의 입지를 제한하고 있다(「팔당·대청호 상수원 수질보전특별대책지역지정 및 특별종합대책」 환경부 고시 참조).

## 나. 수자원/상수원 보호

- (1) 「수도법」: 상수원보호구역으로 지정된 지역에서는 건축물 및 공작물의 신·증·개축, 이전·변경 또는 제거 등을 위해서는 시장·군수·구청장의 허가를 받아야 한다.
- (2) 「수질환경보전법」: 취수시설이 있는 상수원보호구역 및 특별대책지역, 상수원보호구역이 아닌 지역의 취수시설로부터 상류로 유하거리 15km 이내의 집수구역 등에는 환경부장관이 폐수배출시설의 설치를 제한할 수 있다.
- (3) 「4대강 수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률」에 의한 제한 : 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 수계의 수질개선을 위하여 환경부장관이 지정한 수변구역에서는 폐수배출시설과 가축분뇨 배



출시설, 식품접객업, 숙박업, 목욕장업, 관광숙박업 시설, 공동주택 등의 신축이 금지된다.

- (4) 「하천법」: 하천구역 안에서 공작물의 신축·개축·변경 등을 위해서는 하천관리청의 허가를 받도록 하고 있다.

#### 다. 수산자원보호

수산자원의 보호는 수산자원관리법과 수산업에 의하여 규율된다. 그러나 이러한 법률들은 자원의 감시법 내지 사업법에 해당한다. 수산자원의 보호를 위한 오염의 통제는 해양환경관리법에 따라 이루어지고 입지의 규제는 「공유수면관리법」에 의하여 이루어진다. 공유수면에 건축물 등을 신축, 증축, 개축 등을 하기 위하여서는 공유수면관리법상의 절차에 따라 관리청의 허가를 받아야 한다.

#### 라. 문화재 보호

- (1) 「문화재보호법」: '문화재보호지역'으로 지정된 지역에서 건축물 등 각종 시설물의 신축, 증축, 개축, 이축 또는 용도변경 등을 위해서는 문화재청장의 허가를 받아야 한다.
- (2) 「전통사찰보존법」: '전통사찰보존구역' 내에서는 불교포교, 공익활동 목적 외의 건조물 설치가 금지된다.

#### 마. 공원 관련

- (1) 「자연공원법」: '자연공원'으로 지정된 지역에서는 자연공원법상의 용도지구(자연보존/자연환경/자연마을/밀집마을/집단시설지구 등)에 따라 행위제한을 받는다.
- (2) 「도시공원법」: '도시자연공원'으로 지정된 지역에서는 건축물의 건축 및 용도변경, 공작물의 설치 등이 금지되며, 도로와 철도 등 공공용시설 등이 시·도지사의 허가를 받아 제한적으로 허용되고 있다.

#### 바. 농지,초지,산지 등의 보전

- (1) 「농지법」: 시·도지사가 지정한 '농업진흥구역' 내에서는 온실 및 비닐하우스, 3천㎡ 미만의 농수산물의 가공 처리시설, 마을회관, 보육시설 등 농어업인 공동생활 편의시설, 660㎡ 이하의 농업인 주택(창고, 축사 등 부속시설 포함), 축사나 야생조수의 인공사육시설, 농업인의 소득 증대를 위한 시설(부지 총면적 1만㎡ 미만의 양어장, 양식장, 3만㎡ 미

만의 산지유통시설, 3천㎡ 미만 농업기계수리시설 등) 등이 허용된다. '농업보호구역'에서는 2만㎡ 미만의 관광농원사업 시설, 3천㎡ 미만의 주말농원사업 시설, 생활여건 개선을 위한 시설(부지면적이 1천㎡ 미만의 단독주택, 소매점, 의원 등) 등이 허용된다.

- (2) 「초지법」: 초지법에 의해 조성된 초지에는 공작물 등을 설치할 수 없으며, 농업인주택의 건설, 농수산물의 처리·가공·보관시설의 설치 등을 위한 경우에는 시장·군수의 초지전용허가를 받아야 한다.
- (3) 「산지관리법」: '보전산지(임업용산지)'에서는 임업인이 산림경영을 목적으로 설치하는 임산물 생산 또는 집하시설(부지 1만㎡ 미만), 임산물 가공·건조·보관시설(부지 3천㎡ 미만), 농림어업인의 주택 및 부대시설(부지 660㎡ 미만), 농림어업용 생산·이용·가공시설(3만㎡ 미만 축산시설, 1만㎡ 미만 양어장·양식장·온실, 3천㎡ 미만 농기계창고 농축수산물 집하장 등), 1만㎡ 미만의 농어촌관광휴향단지 및 관광농원, 사찰·교회·성당 등 종교시설(부지 1만5천㎡ 미만), 부지 1만㎡ 미만의 병원·사회복지시설·청소년수련시설 등을 제외하고는 산지를 전용할 수 없다(산지관리법 시행령 12조 참조).
- (4) 「사방사업법」: '사방지' 안에서는 시·도지사 또는 지방산림청장의 허가를 얻어야 임목·죽목의 벌채, 토지의 형질변경 등이 가능하다.

#### 사. 공공시설보호/특정시설보호

- (1) 군사시설 등의 보호 : 「군사시설보호법」에 의해 '통제보호구역' 내에서는 농기계보관창고, 기존주택의 증·개축, 섬의 해안양식장 외에는 주택 기타 구조물의 신축 또는 증축이 금지된다.
- (2) 군용항공기지법상 '비행안전구역' 내에 일정 높이 이상의 건축물 설치가 제한된다.
- (3) 철도보호지구내 제한 : 「철도안전법」에 의해 철도 경계선으로부터 30m 이내의 구역에서는 토지의 형질변경 및 굴착, 토석 등의 채취, 건물의 신축, 증축, 개축 또는 공작물의 설치 등을 제한한다.
- (4) 지하수보전구역 안에서 특정수질유해물질·폐기물, 토양오염물질, 유해화학물질, 오수 또는 분뇨를 배출·제조·저장하는 시설을 설치하려면 시장·군수의 허가를 받아야 한다(지하수법).
- (5) 온천원보호지구, 온천공보호구역에서 토지를 굴착하는 경우, 시장·군수가 기존 온천의 보호를 위하여 필요한 조치를 하도록 명령하는 경

우 이를 이행하여야 한다(온천법 15조).

### 3. 변경 또는 전용의 제한

각종 행정계획이나 토지이용계획은 수립의 경우와 같은 권원과 절차에 따라 변경될 수 있다. 토지의 용도가 행위제한도 바뀔 수 있다. 그러나 빈번한 변경 또는 전용은 법적안정성을 침해하고 우발적 이득을 야기하기 때문에 실정법에서는 도시계획상 용도지역의 변경 또는 농지나 산지 등의 전용을 제한적으로 허용한다.

#### 가. 용도지역 변경제한

용도지역을 변경하는 도시관리계획 결정은 시도지사가 직접 또는 시장군수의 신청에 의해 결정하나, •일정규모 이상의 도시지역, 관리지역, 농림지역 또는 자연환경보전지역간의 용도지역의 지정 및 변경, •녹지지역을 일정규모 이상의 주거지역, 상업지역 또는 공업지역으로 변경하는 경우 등에는 국토해양부 장관이 결정한다(국토계획법 29조).

#### 나. 농지의 전용제한

농지전용을 허가함에 있어 국토계획법상 도시지역, 계획관리지역, 개발진흥지구 안의 농지를 제외하고는 다음의 시설의 부지로 사용하기 위해 농지를 전용할 수 없다(농지법 시행령 49조). : •대기오염배출시설(1~4종 사업장 등), 폐수배출시설(1~4종 사업장 등) •아파트, 휴게음식점, 2종 근린생활시설 일부(일반음식점·단란주점, 제조업소·세탁소등)등 •부지로 사용하고자 하는 농지면적이 1천㎡를 초과하는 단독주택, 1종 근린생활시설 일부(소매점, 이용원, 의원 등), 2종 근린생활시설 일부(서점, 골프연습장, 체력단련장, 공연장 등), 종교시설, 운동시설 등 •부지로 사용하고자 하는 농지면적이 1만5천㎡를 초과하는 연립주택 또는 다세대주택 등 •부지로 사용하고자 하는 농지면적이 3만㎡를 초과하는 도매·소매시장, 공장, 창고시설, 관광농원사업의 시설 등

#### 다. 산지의 전용제한

산지전용제한지역, 보전산지가 아닌 산지의 전용을 위해서는 산림청장의 산지전용허가를 받아야 한다. 이 경우 산지의 평균경사도(25도 이하), 50년생 이상 활엽수림의 비율이 50% 이하일 것 등의 전용허가기준에 적합하여야 한다(산지관리법 시행령 별표4).

#### 4. 수도권정비계획법에 의한 제한

수도권정비계획법에 기초한 수도권정비계획은 다중 행정규제 체계의 전형에 해당한다. 수도권정비계획법은 1982년 12월 법률 제3600호로 제정·공포된 뒤, 1994년 1월 7일 법률 제4721호로 전문개정되었다. 동법은 수도권의 정비에 관한 종합적인 계획의 수립과 시행에 관하여 필요한 사항을 정함으로써 수도권에 과도하게 집중된 인구 및 산업의 적정배치를 유도하여 수도권의 질서 있는 정비와 균형 있는 발전을 기함을 목적으로 한다. 동법은 입지제한과 관련하여 수도권지역 입지제한 제도와 수도권 공장총량제를 운용한다.

##### 가. 수도권지역 입지제한

- (1) 과밀억제권역 : 수도권정비계획법(제7조)
- (2) 성장관리권역 : 수도권정비계획법(제8조)
- (3) 자연보전권역 : 수도권정비계획법(제9조)

##### 나. 수도권공장 총량제

- (1) 원 칙 : 수도권공장총량제에 의한 입지제한(수도권정비계획법 제18조)
- (2) 예 외
  - 산업입지 및 개발에 관한 법률 : 산업단지내 200제곱미터미만 건축물
  - 경제자유구역지정 및 운영에 관한 법률 : 아파트형공장

## 2절 오염원 입지제한 관련 연구

기존 관련연구의 연구방법 및 결과를 정리하여 본 연구의 진행에 참고하고자 한다. 수원을 보호할 목적으로 상류 오염원의 입지를 제한하는 연구는 2003년 환경부의 지원을 받아 한국과학기술연구원에서 실시한 ‘상수원보호구역의 표준거리에 대한 연구’와 2008년 환경부의 지원을 받아 한국환경정책·평가연구원에서 연구한 ‘상수원 상류지역 공장입지규제의 적정성에 대한 연구’가 있다.

### 1. 상수원보호구역의 표준거리에 대한 연구(환경부, 2003)

이 연구는 상수원보호구역 지정 기준 정립을 위해 2003년 환경부에서 실시한 연구로 현 상수원보호구역 지정기준과 필요규제 내용을 설정하는데 근거를 제공하였던 연구(상수원관리규칙 제정에 앞서 내부연구로 수행)를 기초로 하여 수행된 연구로서, 현 규정의 과학적·이론적 근거를 살펴볼 수 있다.

이 연구에서는 상수원보호구역 지정의 과학적 근거를 제시하기 위하여 하천모형 반응조 시뮬레이션을 통하여 오염원의 농도에 따른 상수규제 대상인 영양 염류들의 시간(거리)에 따른 농도변화를 측정하고, 환경요인의 변화에 따른 하천의 자정력의 변화에 관한 실험을 수행하였으며, 연구결과에 근거하여 상수원 수질보전을 위한 정책 및 지자체와 상수원 토지이용 규제 및 행위에 관한 분쟁 조절을 위한 합리적 기준 및 지침을 제시하고 있다. 상수원보호구역의 표준거리 대한 연구(환경부, 2003)의 연구결과를 정리하면 아래와 같다.

#### 가. 상수원보호를 위한 반응상수 도출 및 표준거리 산정

상수원 보호구역의 경계는 상수원으로 유입되는 오염물질이 하천의 자정작용을 통해 처리될 수 있는 거리와 시간을 산정함으로써 설정이 가능하다. 오염된 유입하천의 자정작용은 계절적 요인, 오염원의 종류, 하천의 유량, 유속 등에 따라 큰 차이가 나타날 수 있다. 따라서 실험실내에서 가상실험을 통해 얻은 결과를 현장 실험을 실시하기 위한 기준(시험구역, 오염원으로부터의 거리, 오염정도, 유기물의 종류)으로 사용될 수 있도록 하였다.

오염물질의 반응상수를 도출하기 위해 실험실 규모의 하천모형 반응조를 제작하여 오염원이 지속적으로 유입될 경우 BOD, COD, T-N, T-P, 일반세균

수, 대장균수의 시간에 따른 농도변화를 모니터링하였다. 그 결과 유기물과 미생물은 하천의 자정작용에 의해 감소하였으나, T-N과 T-P는 물리화학적 증감요인에 의해 농도감소가 거의 관찰되지 않았다. 하천 모형 반응조 실험을 통하여 일정량의 오염원이 유입될 경우 온도 및 유동성 변화에 따른 유기물의 농도 변화 추이에 대한 실험을 수행한 결과, 수온 20℃, 유속 0.1m/s일 때 COD반응상수가 0.8968이었던 것이 유속이 0.2m/s로 증가하면 반응상수 역시 1.3224로 증가하였으며, 온도가 25℃로 증가할 경우 반응상수 역시 1.0554로 증가하였다. 실내실험에서 얻은 반응상수(20℃, 0.1m/s 일때 0.8968)를 이용해 20℃ 갈수기 유속 0.1m/s에서 오염원의 반감거리가 약 6km 이상인 것으로 나타났다.

#### 나. 상수원 보호구역 제도 개선안

실내실험을 통해 얻은 결과를 바탕으로 상수원 보호구역 제도 개선안을 제안하였다. 상수원 보호구역의 취수원별 적정거리는 전국 모든 상수원에 동일하게 적용하기 보다는 지역특성을 고려하여 범위로 제시되는 것이 합리적이라고 제시하고 있다. 기존의 상수원 보호구역 거리 설정 제도를 검토한 결과 오염원의 반감기 개념을 도입할 경우 현재 설정되어 있는 12시간 이상의 하천 유하시간이 요구되고, 그 이하의 감소나 수질 기준을 적용할 경우 하천의 자연환경 조건 및 수질에 따라 달라질 수 있으나 현재 기준보다는 더 많은 하천 유하시간 확보를 요구하고 있다. 표준거리를 점오염원 개소수, 상수의 원수수질, 취수량 규모, 상류의 개발 잠재력(잠재력이 클수록 보호구역 거리 길어짐), 취수비율(취수량/갈수량), 상류의 점오염원 등을 고려하여 4±3km범위에서 선정하여 상수원보호구역 표준거리에 산정의 대안을 아래의 (표2-1)과 같이 제시하고 있다.

(표2-1) 상수원 보호구역 제도 개선안

|                                       |   |  |
|---------------------------------------|---|--|
| 기존보완안                                 | 4±3km + a·6km (a: 점오염원수에 따른 계수)   |  |
| 표준거리 확대안                              | 6±5km   |  |
| 절대거리 상수원<br>보호구역 지정 기준                | Zone1(4km 이하)   | 오염원 유입 행위 금지 지역  |
|                                       | Zone2(8km 이하)   | 오염원 입주 제한지역  |
|                                       | Zone3(12km 이하)  | 상수 취수 주의 구역(방류수질제한·관리구역)   |
| 2단계 상수원 보호구역<br>설정안                   | $4km \pm 3km + a \cdot 6km$<br><Zone A> <ZoneB><br>Zone A: 현행 상수원 보호구역<br>Zone B: 상수 취수 주의 구역 |  |
| 수질기준 이하 수질확<br>보를 위한 상수원<br>보호구역 거리지정 | 소요시간  | $t_d = -\text{Ln}\left(\frac{C_0}{C_d}\right)/k$ $D = t_d \times V_{flow}$ |

오염원 반감기를 기준으로 도입한 현행 상수원 보호구역 지정기준보다는 유입된 오염원이 수질기준 이하의 농도로 감소될 수 있는 하천 유하거리를 확보하는 것이 이론적으로 보다 타당하므로 수질기준 이하로 오염원의 농도가 감소하기 위하여 요구되는 시간을 (표2-1)의 계산식을 이용하여 표준거리를 산정할 것을 제안하고 있다. 이 방법을 사용하기 위해서는 각 취수장의 특성에 맞는 k값을 산출이 필요하고, 측정값과 자연하천에서의 k값은 상이하며, 지역의 자연환경조건에 맞는 k값을 산출하기 위해서는 다양한 요인에 의한 k값의 모델링 및 현장적용에 관한 추가적 연구의 필요성을 제시하고 있다. 또한, 연구결과를 적용할 경우 상수원 보호구역 거리는 취수구 수질이 취약한 일부 지역에 대하여 비교적 큰 확대가 필요하므로 시행을 위해서는 관리 및 보상에 관한 신중한 고려가 필요하다는 결과도 제시하고 있다.

#### 다. 상수원 보호구역 지정에 관한 제안

상수원보호구역의 표준거리에 대한 연구(2003, 환경부)에서는 이상과 같이 상수원보호를 위한 기준거리를 제시하면서 동시에 아래와 같이 기준거리의 적용에 관하여 제안하고 있다.

자연환경과 이론사이에는 많은 괴리가 있고, 현재 지정되어 있는 다양한 형태와 특성의 상수원 보호구역을 하나의 지정원칙을 일률적으로 적용하여 재

조정하는 일은 현실적으로 많은 한계들을 가지므로 각각의 자연환경에 대한 보다 많은 연구가 필요하다.

상수원의 수질을 결정하는 요인과 오염원이 다양한데도 불구하고 취수구 상류의 일정한 지역만을 보호구역으로 지정하고 신규오염원의 발생행위를 규제하는 상수원 보호구역 제도는 상수도 수질을 보전하는데 제한적 기능만을 수행한다. 유역에서 발생하는 하·폐수의 처리, 그리고 보호구역내 기존 오염원에서 오염물질 발생의 억제가 함께 이루어지지 않으면 수질향상효과는 크지 않다. 상수원 보호구역의 확대와 행위제한 강화보다는 각 상수원 주변지역의 지형적 여건, 오염원의 입지 가능성 및 행위 규제의 필요성 등을 종합적으로 고려하는 종합적 수질관리정책의 수립이 필요하다.

상수원 상류지역을 종합적으로 고려하여 상수원보호구역을 지정하는 것이 타당하고, 하천의 자연환경적 요인 및 오염원의 유입농도 및 가능성에 따라 그 거리의 가감의 범위가 커지므로 최대거리에 대한 기준선을 폐지하는 것이 바람직하다.

수질에 심각한 영향을 미칠 수 있는 점오염원이 있는 경우 상수원보호구역 거리를 확대할 수 있는 기준을 마련할 필요성이 요구된다. 취수구로 유입되는 상류 전 지역에 대하여 수질에 대한 거대한 점오염원이 존재하는 경우 상수원 보호구역을 점오염원으로 포함하도록 확대하거나 그 지역을 특별관리지역으로 설정하여 배출농도제한, 지속적인 모니터링, 행위 및 개발 제한 등의 규제를 강화할 필요가 있다.

하천 및 하천구역 경계로부터 일정한 거리 이내에 있는 지역은 수변구역으로 설정하여 취수구 주위로 오염원의 유입을 원천적으로 차단하는 것이 바람직하다. 하천근접지역에서의 오염원 유입은 토양 및 지하수 흐름에 따른 물리·화학적 자정작용 없이 바로 하천에 곧바로 유입되어 수질에 큰 영향을 준다. 그러므로 수변 1km 이내 지역을 의무적으로 수변구역을 설정하여 주요 오염원의 입지를 제한하고, 인근 200m 지역은 녹지대를 조성하여 유입되는 지표수와 지하수의 상수원에 도달 시 완충거리를 확보할 수 있도록 해야 한다.

취수구 상류에 유입되는 모든 지역에 대하여 상수원 보호구역 지정 및 엄격한 관리가 요구된다. 특히 팔당 상수원의 경우 인근 지역의 난개발로 인하여 취수구 상류로 유입되는 지천의 오염도가 심각하여 문제를 유발시키고 있다. 취수구 주변 지천에 대해서도 상수원 보호구역 지정에 대한 기준 적용이나 특별관리 지역의 지정을 통한 상수원 관리가 필요하다.



## 2. 상수원 상류지역 공장입지규제의 적정성에 대한 연구(환경부, 2008)

이 연구는 상수원보호구역 및 상류지역 공장입지제한의 적정성을 과학적으로 분석하여 상수원의 수질을 보호하면서 입지규제를 합리적으로 개선할 수 있는 방안에 대해 제시할 목적으로 2008년 환경부(한국환경정책·평가연구원)에서 실시한 연구이다.

이 연구에서는 기존 연구(환경부, 2003)와 달리 오염원입지 규제를 위한 표준거리를 산정하기위해 오염물질의 반응상수 및 평균유속을 이용하지 않고 대표유역을 1개 선정하여 하천에 대해 하천수질모델을 적용한 후 모델의 최상류 지점의 수질이 특정 농도까지 증가될 경우 예상되는 하류지역의 수질감소율을 계산하여 농도가 일정비율(50%, 40%) 감소하는데 필요한 거리를 산정하였다. 상수원 상류지역 공장입지규제의 적정성에 대한 연구(환경부, 2003)의 연구결과를 정리하면 아래와 같다.

### 가. 상수원 보호 적정성 검토를 위한 수질 모델링

본 연구에서는 상수원보호구역의 지정과 취수장 상류지역 공장입지규제의 적정성에 대한 검토를 위해 기준 규제거리 설정을 위한 수질예측모델을 구축하여 접근하였다. 상수원보호구역 및 취수장 상류지역의 입지규제의 적정성을 효과적으로 검토하기 위해서는 각각의 유역특징을 반영할 수 있도록 모델을 설정하는 것이 가장 적합하나, 본 연구에서는 상수원 보호를 위한 입지규제의 평균적 기준을 마련하고자 전국 대푯값을 이용하여 수질모델을 구축하였다.

우리나라 평균 갈수량을 얻기 위해서 수질오염총량관리계획의 기준설정보고서에서 한강, 금강, 낙동강, 영산강·섬진강 수계에서의 목표수질 설정을 위해 산출한 기준갈수량 자료를 이용하였다. 각 단위유역별 갈수량을 단위유역면적으로 나눈 면적비 유량을 평균하여 평균 면적비유량( $0.0033\text{m}^3/\text{km}^2/\text{sec}$ )을 산출한 후 대표유역의 유역면적을 곱하여 갈수기 유량을 산출하였다. 수질모델링 대표유역을 선정하기 위해서 하천을 주요 대상으로 상수원보호구역 입지규제지역 거리가 광역상수원인 경우 20km에 대한 영향을 검토할 수 있도록 하천의 길이가 20km 이상인 지역으로 검토한 결과 전국 평균 대표유역으로 경기도 양평의 흑천이 선정되었다. 상수원보호구역 및 상류지역 공장입지규제의 적정성을 검토하기 위한 수질모델링은 양평군 수질오염총량관리계획 수립을 위해 구축되어진 수질 및 유량 측정자료, 하수처리장 방류수 등 실적자료,

오염원자료, 수리학적 특성인자 등을 사용하여 BOD를 대상으로 구축하였다. 구축된 모델을 이용해 최상류의 농도가 일정 농도만큼 증가할 경우 유하거리에 따른 최상류농도 대비 비율을 산정한 후 이를 바탕으로 오염물질이 일정 비율 감소하는데 필요한 유하거리를 산출하도록 하였다.

#### 나. 입지규제 개선안 설정을 위한 고려요소

상수원이 입지한 지역은 유역적 특성 뿐만 아니라 사회·경제적 특성, 오염원 배출 특성, 상수원의 종류나 취수방법에 따라 관리·규제의 필요성이 상이하게 나타난다. 이러한 다양한 특성에 따른 영향과 여건에 적합한 규제대안을 선택적으로 적용할 수 있도록 규제개선 대안을 구성·제시하였다.

폐수를 발생 및 배출하지 않는 단순조립공장에서 종업원의 생활에서 발생되는 생활오수만을 배출하는 폐수비배출공장에 대해서는 입지를 허용하도록 하는 것이 적합하다. 또한 공공처리/공동처리 등으로 안정적으로 오염물질을 저감시켜 배출하고 만약에 발생할 수 있는 오염사고에 대한 대비를 갖춘 사업장에 대해서는 수질에 미치는 영향을 고려하여 입지규제를 완화해야 한다. 소규모 개별공장들이 오수공동처리시설을 마련하여 처리 후 수계로 방류시키는 경우 역시 입지를 허용하는 것이 적합하다.

상수원 규모가 크고, 다수 사용자에게 원수를 공급하는 상수원일수록 만일에 발생할 수 있는 수질오염사고시의 피해비용이나 개선비용이 상대적으로 큰 비용적 측면과 이용자수의 측면을 반영하여 차별규제를 적용할 필요가 있다. 상수원의 종류에 따라 오염이 상수원 수질에 미치는 영향이 상이하므로 상수원보호구역 설정 및 상수원 상류지역 입지규제 차별 적용이 필요하다. 또한 단지화를 통해서 하천으로 유입되는 오염원의 집중현상이 커질 경우 충분한 혼합거리 확보가 중요하므로 하천에서 완전혼합이 이루어지는 거리가 최소한으로 확보되어야 한다.

오염물질 유출에 의한 수질오염사고가 상수원에 미치는 영향을 고려할 때 수질오염사고에 대응할 수 있도록 위기대응시간(약 12시간)을 고려한 위기대응 안전거리를 확보하여야 한다. 사고로 인한 오염물질 유출대응에 필요한 일정시간동안 저류할 수 있는 공간이 마련된 경우 입지규제를 완화하는 것이 바람직하다.

#### 다. 상수원보호구역 및 상류의 입지규제 개선방안

반감기 기준 등 입지규제거리 산정의 기준을 이용하여 오염물질이 저감될

수 있는 일정한 거리를 확보하고, 만약에 발생할 수 있는 수질오염사고에 대비하며, 배출시설의 특성에 따른 수질영향의 차이를 고려할 수 있고, 규제에 따른 사회·경제적 영향도 함께 고려할 수 있는 방안으로 입지규제 개선방안을 구성하였으며, 그 내용은 (표2-2)와 같다.

(표2-2) 상수원보호구역 및 상류지역 입지규제 개선방안

|     | 입지규제<br>기준거리 | 기준거리<br>설정기준       | 대 상   | 비 고  |
|-----|--------------|--------------------|---|--|
| 대안1 | 12km         | 반감기<br>수질사고 대비     | · 폐수미배출업소                                       | · 수질사고 대비를 위한<br>거리 확보                                   |
| 대안2 | 9.4km        | 반감기                | · 폐수미배출업소<br>· 유출차단시설                           | · 유출차단시설을 이용한<br>수질사고 대비                                 |
| 대안3 | 3km          | 40% 감기             | · 폐수미배출업소<br>· 유출차단시설<br>· 오염저감을 위한<br>조치 필요    | · 유출차단시설을 이용한<br>수질사고 대비<br>· 규제의 사회·경제적<br>비용을 고려한 규제완화 |
| 대안4 | 7km          | 기존의<br>상수원보호구역     | · 폐수미배출업소<br>· 유출차단시설<br>· 하수처리장/공동<br>처리장 유입처리 | · 유출차단시설을 이용한<br>수질사고 대비<br>· 공공/공동처리장 유입처리로<br>수질영향 저감  |
| 대안5 | 7km          | 강변여과수에<br>대한 차등 적용 | · 폐수미배출업소                                       | · 수질사고 대비  |

상수원 상류지역 입지규제 개선의 각 대안은 i) 입지규제거리를 통해 오염물질이 저감될 수 있는 적절한 거리를 확보하고, ii) 만약에 발생할 수 있는 수질오염사고에 대비하며, iii) 오염배출저감 등을 통해 수질영향을 감소시킬 수 있도록 함을 기준으로 구성, 제안되었다. 따라서 각 대안은 입지규제 거리 설정의 기준으로 ① 오염사고 대비시간을 확보할 수 있는 유하거리, ② 배출된 오염물질이 적정수준 저감될 수 있는 유하거리 등을 기준으로 설정하고 있으며, 필요한 입지허용 대상의 배출특성(배출시설기준 등) 조건을 부가하여 오염 저감에 따른 수질보호 효과를 가져올 수 있도록 설계되었다.

#### 라. 상수원보호구역 및 상류의 입지규제 개선방안

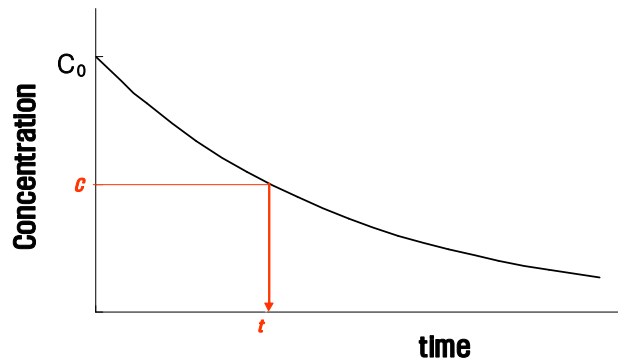
본 연구는 기존의 제도적 기준에 근거하여 유해물질이 아닌 유기오염물질(BOD)의 허용범위를 검토하였으나, 각 유해물질별 인체 및 생태계에 미치는 영향 등에 대한 추가적 검토가 필요하다. 현행 ‘상수원관리규칙’과 ‘산업입지의 개발에 관한 통합지침’에 의해 2단계로 유역을 나눠서 관리하고 있는데, 상수원보호를 위한 일원화된 규정의 마련이 필요하다. 취수원 상류전체 지역을 취수원에 미치는 영향을 고려하여 3개 또는 4개 유역으로 구분하여 토지이용 및 행위 규제하는 방안의 마련이 필요하다. 유기물질의 경우 취수원 상류지역의 허용 가능한 총부하량을 산정하여 이를 초과하지 않도록 관리하는 방법이 필요하다. 취수원별 적정거리 산정시 지역적 특성을 반영하여 지역별로 적절한 보호거리와 관리방법을 마련할 수 있도록 지원해야 한다.

### 3절 오염원 입지 제한거리 산정 방법

농업용저수지의 수질은 상류에 위치한 오염물질의 분포특성, 오염물질의 발생 및 처리경로, 하천의 유속이나 경사 등 하천특성, 하천유량 등에 의해서 결정된다. 특히 이중에서도 상류지역 오염원이 저수지 수질에 가장 큰 영향을 미치는데, 농업용저수지의 수질을 보전하기 위해 농업용저수지 상류의 오염 발생원을 규제할 필요가 있다. 이 경우 오염원 입지를 제한할 입지제한거리는 농업용저수지로 직접 유입되는 유입하천에 오염물질이 유입된 후 자정작용을 통해 처리될 수 있는 시간 및 거리를 산정함으로써 가능하다. 기존 관련연구에서 이용되었던 산정방법에 대해 자세히 검토해 보고자 한다.

#### 1. 일차반응식을 이용한 방법

일반적으로 하천으로 방류된 유기물질 및 영양물질은 <그림2-1>과 같이 시간에 경과함에 따라 농도가 감소되는데, 이러한 현상을 (식2-1)과 같이 일차 반응식으로 표현할 수 있다. (식2-1)을 이용해 오염물질이 하천에 방류된 후 일정한 유하시간 후 농도는 계산할 수 있다.



<그림2-1> 시간에 따른 농도변화

$$C = C_0 \times e^{-kt} \quad (\text{식2-1})$$

여기서,  $C$ :  $t$ 시간후 오염물질농도(mg/L),  $C_0$ : 초기 오염물질 농도(mg/L),  $k$ : 반응상수( $\text{day}^{-1}$ ),  $t$ : 경과시간(day)

(식2-1)을 시간에 대해 정리하면 (식2-2)와 같이 정리할 수 있는데, 이 식을

이용하면 초기농도( $C_0$ )가 특정농도( $C$ )까지 감소되는데 필요한 소요시간을 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 소요시간이 (식2-3)과 같이 평균유속을 곱하면 특정농도까지 감소되는데 필요한 거리를 산출할 수 있다.

$$t = -\frac{1}{k} \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) \quad (\text{식2-2})$$

$$D = t \times V \quad (\text{식2-3})$$

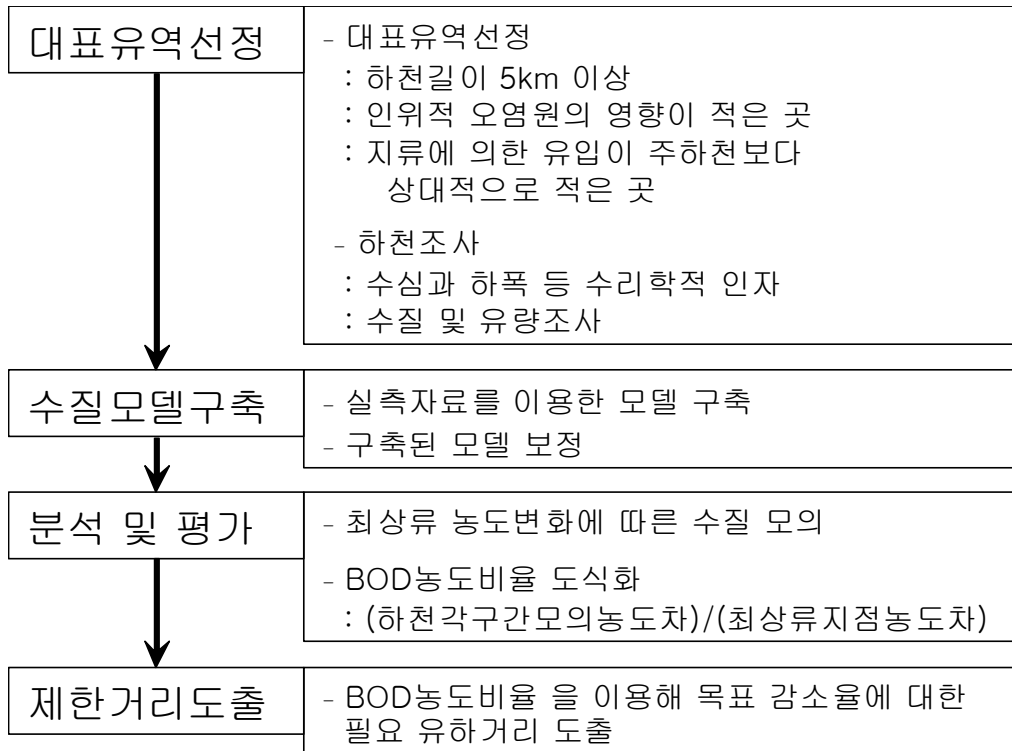
여기서,  $D$ : 필요한 유하거리(km),  $t$ : 필요한 유하시간(day),  $V$ : 하천의 평균유속(km/day)

오염원입지제한 거리를 도출하기 위해 오염물질이 하천으로 유입된 후 일정비율(반감기 또는 40%감기 등) 감소하는데 필요한 거리를 표준거리로 이용할 수 있다. 50% 감소 및 40% 감소하는데 필요한 거리는 (식2-2)에서  $C/C_0$ 에 0.5 또는 0.6을 대입하여 필요한 유하시간을 계산한 후 그 값을 (식2-3)에 대입하여 필요한 유하거리를 산정할 수 있다.

오염물질이 하천으로 유입된 후 특정농도까지 감소하는데 필요한 거리를 도출하기 위해서는 하천의 특성에 맞는 반응상수( $k$ )가 필요하다. 각 하천마다 그리고 각 구간마다 반응상수 값은 상이하며, 자연환경조건에 맞는 반응상수 값을 산출하기 위해서는 다양한 요인에 의한 반응상수값의 변화에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 현장에서 수질변화를 조사한 후 실측된 수질자료를 바탕으로 반응상수를 도출하여 오염원입지 제한을 위한 입지제한거리를 산정하고자한다.

## 2. 하천수질모델을 이용한 방법

농업용저수지 상류지역 오염원입지 제한을 위한 입지제한거리 산정을 위해 일차반응식외에 하천수질모델을 이용하는 방법을 적용하였다. 수질모델을 이용한 입지제한거리 산정 절차는 아래 그림과 같다.

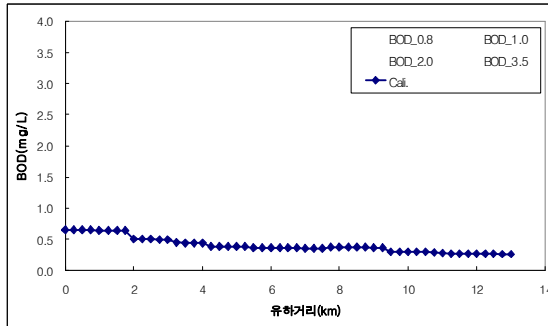


<그림2-2> 수질모델을 이용한 제한거리 도출 절차

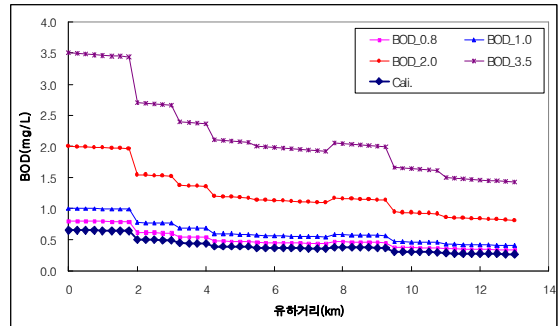
대표유역은 농업용저수지 유역 중 하천길이 최소 5km이상 이며, 인위적인 오염원의 영향이 적고, 지류에 의한 유량 및 오염원이 주하천보다 상대적으로 적은 곳을 선정한다. 선정된 유입하천에 주하천 및 지류에 대해 수심, 하폭, 유속, 유량과 같은 수리학적 특성인자와 BOD, COD, T-N, T-P와 같은 수질인자에 대해 현장조사한다. 현장조사한 결과를 바탕으로 하천수질모델(QUAL-2E)을 구축한 후 보정 및 검정을 실시한다. 구축된 하천수질모델을 이용해 다음의 절차를 거쳐 일정비율 감소하는데 필요한 유하거리를 도출하며, 그 과정은 <그림2-3>과 같다.

- ① 평상시 유량, 농도, 부하량자료를 이용해 수질모델 구축 및 보정
- ② 구축된 모델의 최상류지점 BOD농도를 증가시키면서 하천 수질 예측
- ③ 하천 각 구간의 예측 농도차 = (②결과 - ①결과)
- ④ BOD농도비율 = ③결과 / (최상류지점의 농도차)
- ⑤ 유하거리 vs BOD비율 그림에서 BOD비율이 일정비율(50%, 40%) 감소 되는데 필요한 유하거리 도출

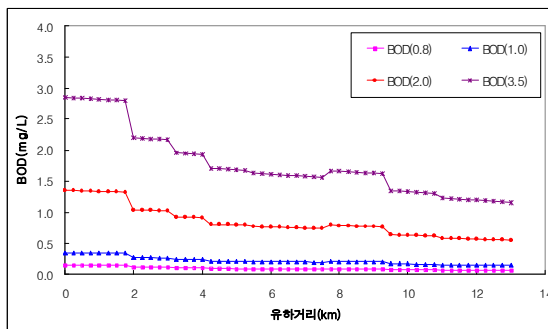
① 수질모델 구축



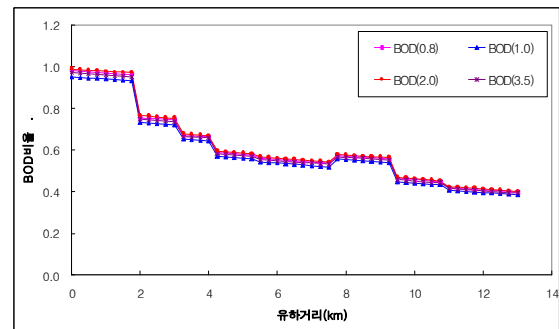
② 최상류 농도변화에 따른 하천 수질 예측



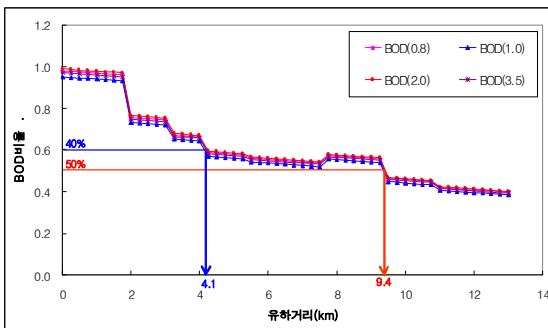
③ 예측 농도차 계산



④ BOD 농도비율 도출



⑤ 일정비율 감소되는데 필요한 유하거리 도출



<그림2-3> 수질모델을 이용한 제한거리 도출 과정별 예시



### 3. 농업용저수지 환경요인 검토

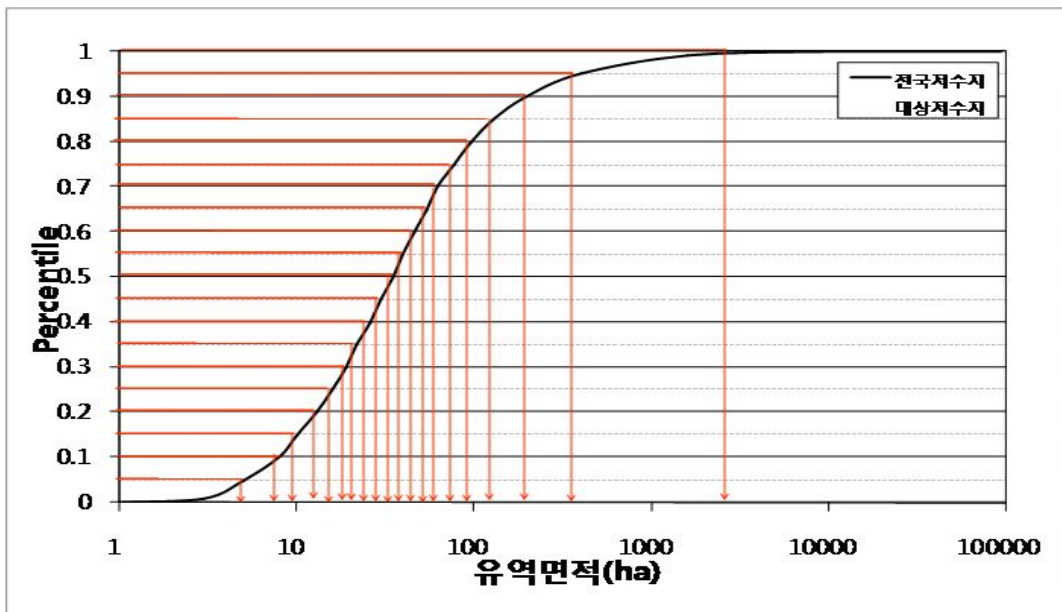


### 3장 농업용저수지 환경요인 검토

#### 1절 대상저수지 선정 및 현장조사

국내 농업용저수지의 물리·화학적인 특성을 분석하기 위해 국내에 존재하는 약 18,000개의 농업용저수지 중 일부를 대상저수지로 선정하여 물리·화학적 특성을 현장조사를 통해 구하고자 한다. 약 18,000개의 농업용저수지를 일정한 기준으로 분류를 한 후 각 그룹별로 대상저수지를 선정하는 방법이 일반적인 대상저수지 선정방법이다. 본 연구는 농업용저수지 상류유역에 공장 및 산업단지의 입지를 하천유하거리를 기준으로 몇 km까지 제한을 해야 하는지에 관한 연구로, 유역면적 및 유입하천 길이와 매우 밀접한 연관이 있다.

현재 농어촌공사에서는 전국 약 18,000개의 농업용저수지에 대한 제원(시설명, 주소, 관리구분, 준공일자, 수혜면적, 만수면적, 유역면적, 총저수량, 제당구조, 제당길이 등)을 DB형태로 보관하고 있으며, 규모가 큰 약 500여개의 농업용저수지에 대해서는 년1회 오염원조사와 년 2~4회 저수지의 수질을 조사하고 있다. 또한 전국 농업용저수지의 저수지 및 유역경계에 관한 GIS자료가 구축되어 있다.



<그림3-1> 전국 농업용저수지의 유역면적 누적분포

기존의 자료를 바탕으로 유역면적과 유입하천길이와 밀접한 상관관계가 있는

점을 이용해 전국 농업용저수지를 유역면적을 기준으로 <그림3-1>과 같이 누적분포를 그린 후 누적분포를 0.05 percentile 간격으로 20개로 나눈 후 각각의 percentile에 해당되는 유역면적을 누적분포를 이용해 도출하였다. 도출된 유역면적과 비슷한 유역면적을 갖은 저수지를 전국 농업용저수지 DB를 이용하여 1개씩 선정하였으며, percentile별 유역면적 및 선정된 저수지의 유역면적을 포함한 제원은 (표3-1)과 같으며, 위치는 <그림3-2>와 같다.

(표3-1) 선정된 대상 농업용저수지의 유역면적 및 제원

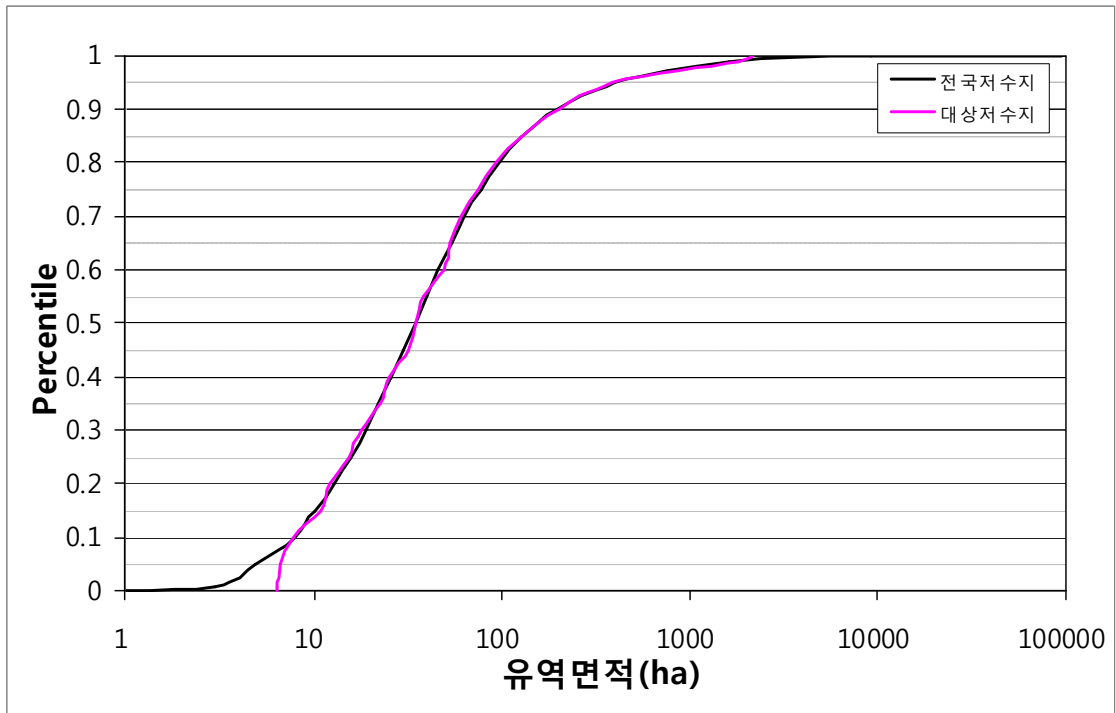
| percentile | 해당 유역면적 (ha) | 시설명 | 관리구분 | 시군  | 면동  | 준공일자 | 유역면적 (ha) | 수혜면적 (ha) | 만수면적 (ha) | 유효저수량 (천 m <sup>3</sup> ) |
|------------|--------------|-----|------|-----|-----|------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|
| 0.999      | 1600         | 덕우  | 공사   | 화성시 | 봉담읍 | 1949 | 2183      | 584.1     | 82.7      | 3546.9                    |
| 0.95       | 402          | 칠곡  | 공사   | 안성시 | 원곡면 | 1958 | 388       | 80.3      | 15.8      | 544                       |
| 0.9        | 198          | 노곡  | 공사   | 안성시 | 양성면 | 1968 | 204       | 0         | 7.1       | 228                       |
| 0.85       | 130          | 중리  | 시군   | 용인시 | 처인구 | 1969 | 129       | 12.5      | 2         | 78.3                      |
| 0.8        | 97           | 소쇄비 | 공사   | 평택시 | 고덕면 | 1945 | 94.2      | 0         | 1         | 6                         |
| 0.75       | 78           | 신기  | 시군   | 용인시 | 처인구 | 1968 | 76        | 5         | 1.6       | 50.9                      |
| 0.7        | 63           | 장율  | 시군   | 용인시 | 처인구 | 1945 | 61        | 5.3       | 1         | 14.9                      |
| 0.65       | 54           | 안악골 | 시군   | 용인시 | 처인구 | 1945 | 50        | 9         | 1         | 6                         |
| 0.6        | 46           | 선남제 | 시군   | 화성시 | 동탄면 | 1945 | 53        | 14        | 1         | 38                        |
| 0.55       | 40           | 동막  | 시군   | 용인시 | 처인구 | 1973 | 39        | 10        | 2         | 24                        |
| 0.5        | 35           | 내리  | 시군   | 평택시 | 도일동 | 1945 | 35        | 3         | 3         | 11.3                      |
| 0.45       | 30           | 자안  | 시군   | 화성시 | 비봉면 | 1945 | 32        | 5.2       | 0.8       | 6.1                       |
| 0.4        | 26           | 방축  | 시군   | 안성시 | 보개면 | 1948 | 26        | 6         | 0.4       | 2                         |
| 0.35       | 22           | 모즐  | 시군   | 화성시 | 송산면 | 1945 | 23        | 5.6       | 1         | 5                         |
| 0.3        | 19           | 삼화  | 시군   | 화성시 | 황계동 | 1945 | 18        | 4.6       | 0.9       | 7.9                       |
| 0.25       | 16           | 광천  | 공사   | 평택시 | 장당동 | 1945 | 16        | 0         | 1         | 1                         |
| 0.2        | 13           | 맹제  | 시군   | 화성시 | 배양동 | 1945 | 12        | 5.3       | 1         | 6.7                       |
| 0.15       | 10           | 도도리 | 시군   | 평택시 | 서탄면 | 1945 | 11        | 7.8       | 2.9       | 6.4                       |
| 0.1        | 8            | 월곡2 | 시군   | 용인시 | 처인구 | 1945 | 7         | 2         | 0.3       | 6.2                       |
| 0.05       | 5            | 황계동 | 시군   | 화성시 | 황계동 | 1945 | 8         | 2.5       | 0.7       | 1.6                       |



<그림3-2> 대상 농업용저수지의 위치도

선정된 20개 저수지의 유역면적에 대한 분포를 전국농업용저수지의 유역면적과 비교하기 위해 <그림3-3>과 같이 전국농업용저수지와 선정된 농업용저수지의 유역면적에 대한 분포를 그래프로 나타내었다. <그림3-3>을 보면, 대부분의 영역에서 전국저수지와 대상저수지가 동일한 분포를 나타내었고, 일부 유역면적인 적은 곳에서는 상이한 분포를 나타내었다. 이는 유역면적인 5ha에 해당되는 농업용저수지를 대상저수지로 선정하였으나, 농업용저수지 DB와 달리 실 유역면적이 대부분 그 보다 큰 유역면적(8ha)를 나타내었기 때문이다. 하지만 전체적으로 선정된 농업용저수지들의 유역면적 분포가 전국 농업용저수지의 유역면적 분포와 유사하기 때문에 선정된 농업용저수지들의 유역면적과 관련된 값들이 전국 농업용저수지의 특성을 대변한다고 할 수 있을 것으로 생각된다.

현재 농어촌공사에서 실시중인 500여개의 수질측정망 대상 농업용저수지의 경우 대부분의 유역면적이 200ha 이상으로 전국 농업용저수지 중 상위 10%에 해당되는 큰 저수지들이다. 그러므로 현재 많은 자료가 축적되어 있는 수질측정망 결과만을 이용해 저수지의 물리적·화학적 특성을 분석할 경우 이는 전국 농업용저수지 중 상위 10%에 해당되는 저수들만의 물리·화학적 특성으로 전국 농업용저수지의 특성을 대변한다고 볼 수 없다.



<그림3-3> 전국 농업용저수지 및 선정된 농업용저수지의 유역면적 분포도

## 2절 농업용저수지의 물리적 특성 분석

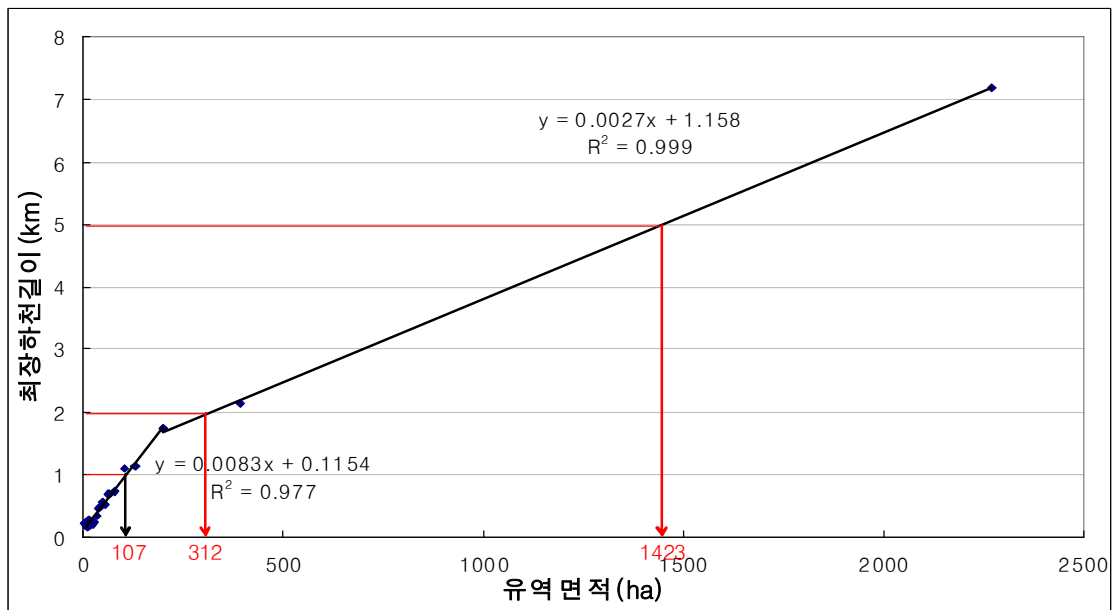
### 1. 하천길이 산정

현행 농업용저수지 상류지역의 공장 및 산업단지의 입지는 폐수배출시설의 경우 하천유하거리를 기준으로 저수지 상류방향으로 5km, 폐수비배출시설의 경우 2km이내에 설립하지 못하도록 하고 있다. 이에 본 연구에서는 현재 전국 농업용저수지의 평균 하천길이와 하천유하거리 2km, 5km의 조건을 만족하는 농업용저수지의 수를 분석하여, 오염원입지를 제한하기 위한 이격거리로 하천유하거리 2km, 5km의 기준이 합리적인지에 대해 분석하고자 한다.

이를 위해 앞에서 선정된 20개의 농업용저수지에 대해 지도 및 GIS자료를 이용해 저수지별 최장 하천길이를 도출하였으며, 유역면적과 최장하천길이를 이용해 그래프로 나타낸 결과는 <그림3-4>와 같다. <그림3-4>에서 유역면적과 최장하천길이는 유역면적 200ha 이상 및 이하에서는 각각 다음과 같은 2개의 회귀식으로 나타낼 수 있는데, 각 회귀식을 적용해 유역면적 200ha 이상 및 이하에서 최장하천길이를 구할 수 있다.

$$\text{유역면적} \geq 200\text{ha}, \text{ 최장하천길이} = 0.0027 \times \text{유역면적} + 1.158 \quad (\text{식3-1})$$

$$\text{유역면적} < 200\text{ha}, \text{ 최장하천길이} = 0.0083 \times \text{유역면적} + 1.1154 \quad (\text{식3-2})$$



<그림3-4> 유역면적과 최장하천길이와의 관계

위의 식들을 이용해 농업용저수지 상류지역 오염원입지 제한거리인 5km,

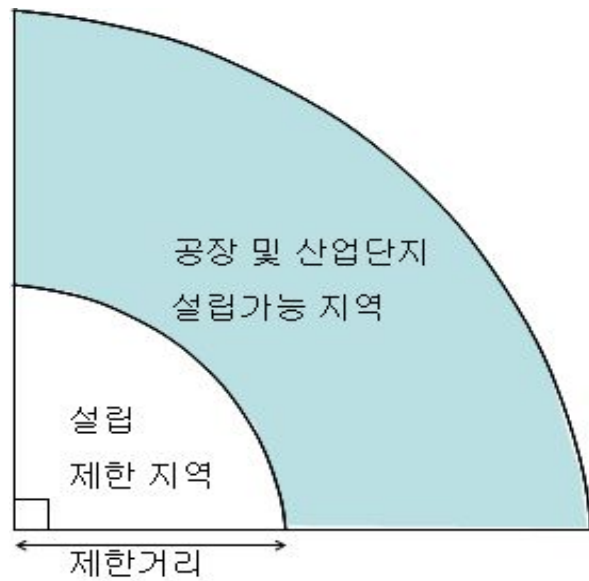
2km 및 1km에 해당되는 유역면적은 각각 1,423ha, 312ha, 107ha로 나타났다. 도출된 결과를 바탕으로 오염원입지를 5km, 2km, 1km로 제한할 경우, 이 기준을 만족하는 농업용저수지의 비율을 도출된 유역면적(1,423ha, 312ha, 107ha)을 이용해 산정하였으며, 그 결과는 (표3-2)와 같다. 이상의 결과로부터 오염원입지 제한거리를 5km로 할 경우 전국 농업용저수지 중 개소수로는 1.2%, 총 저수지유역 대비 41%에 해당되는 저수지만이 이 기준을 만족하여 상류에 공장 및 산업단지가 설립될 수 있는 것으로 나타났다.

(표3-2) 특정 하천길이 이상을 보유하는 전국 농업용저수지 비율

| 하천길이 기준     | 해당 유역면적    | 전국저수지 개소수 및 비율  | 전국저수지 유역면적 및 비율    |
|-------------|------------|-----------------|--------------------|
| 하천길이 5km 이상 | 1,423ha 이상 | 210개소 (1.2%)    | 1,008,246ha (41%)  |
| 하천길이 2km 이상 | 312ha 이상   | 1,133개소 (6.4%)  | 1,583,423ha (65%)  |
| 하천길이 1km 이상 | 107ha 이상   | 3,238개소 (18.2%) | 1,949,960ha (80%)  |
| 전체 농업용저수지   |            | 17,825개소 (100%) | 2,439,135ha (100%) |

물론 최장 하천길이가 5km 이상이 되어 기준을 만족하는 것으로 나타나 총 유역면적 대비 비율 산정시 해당 저수지의 전체 유역면적이 계산에 이용되었지만, 이중 5km이내에 위치한 면적은 추가로 제거해야 되므로, 오염원입지를 5km로 제한할 경우 공장 및 산업단지가 설립될 수 있는 유역면적 비는 41% 보다 훨씬 적을 것으로 판단된다. 이를 반영한 비율을 계산하기 위해 농업용저수지 유역은 <그림3-5>와 같이 부채꼴 형태를 갖는다고 가정할 경우 최장 하천길이가 5km 이상이 되는 저수지 중 공장 및 산업단지 설립가능 지역의 면적은 전체 유역면적에서 설립제한지역의 면적을 뺀 면적이 된다. 최장 하천길이가 5km 이상이 되는 저수지는 총 210개소로 <그림3-5>와 같이 설립제한 지역의 면적을 계산하면 총 412,125ha가 되며, 이 값을 (표3-2)의 5km이상이 되는 저수지 유역면적 1,008,246ha에서 빼면 596,121ha로 전체 유역면적대비 24%에 해당되며, 이 결과를 (표3-3)에 정리하였다.





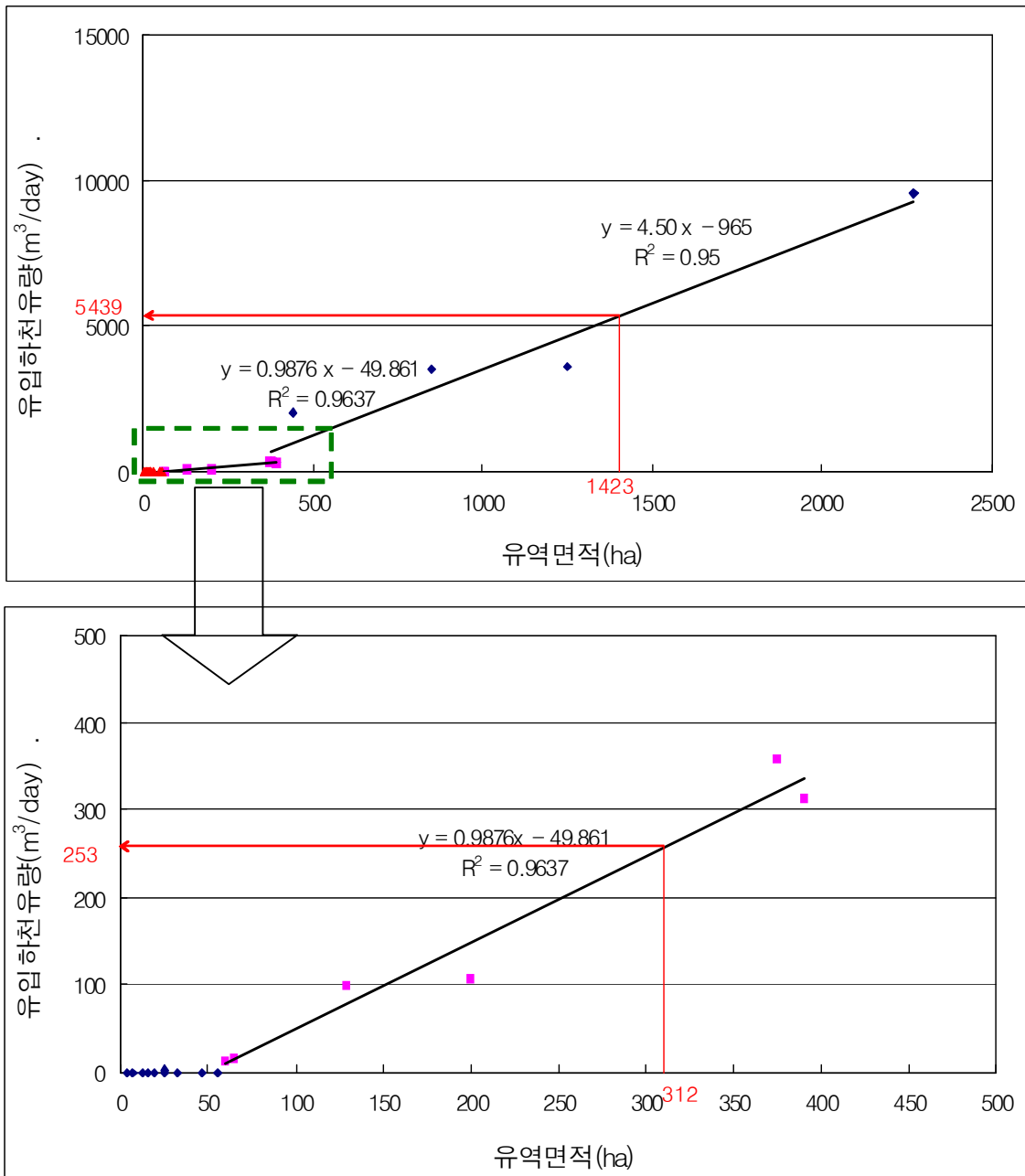
<그림3-5> 공장 및 산업단지 설립가능지역만의 면적 산정 개념도

(표3-3) 전국 저수지 면적대비 공장 및 산업단지 설립가능지역 면적 및 비율

| 입지제한거리 | 입지제한거리 이상인 저수지 총 유역면적(ha) | 설립제한 지역 면적(ha) | 설립 가능지역 면적(ha) | 총 저수지 유역면적 대비 설립가능지역 면적비(%) |
|--------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| 5km    | 1,008,246                 | 412,125        | 596,121        | 24%                         |
| 2km    | 1,583,423                 | 355,762        | 1,227,661      | 50%                         |
| 1km    | 1,949,960                 | 254,183        | 1,695,777      | 70%                         |

## 2. 유입하천 유량 분석

유역에 큰 오염원이 없을 경우 농업용저수지 유역으로부터 저수지로 유출되는 유량은 대부분 강우의 영향을 받기 때문에 유역면적과 유출량 사이에는 큰 상관관계가 있다. 이러한 특징으로부터 20개의 대상저수지에 대해 조사한 실측유량과 유역면적자료를 이용해 유역면적과 유출유량과의 관계를 도출하였으며, 그 결과는 <그림3-6>과 같다.



<그림3-6> 유역면적과 유입하천유량 관계

<그림3-6>에서 유역면적 50ha이하(전체 농업용저수지 중 하위 60%, 최장하천길이 0.5km)의 농업용저수지에서 5~6월 갈수기에 유입하천을 통해 저수지로 유입되는 유량은 거의 없는 것으로 조사되었다. 즉, 유역면적 50ha 이하인 농업용저수지 상류지역에 공장 및 산업단지가 설립될 경우, 여기서 배출되는 방류수가 유입하천수의 대부분을 차지하여 농도가 매우 높게 유지되어 문제가 될 수 있다. 그러므로 50ha이하(최장하천길이 0.5km)의 유역면적을 갖는 농업용저수지는 상류유역에 공장 및 산업단지가 설립되어서는 안 된다. 유역면

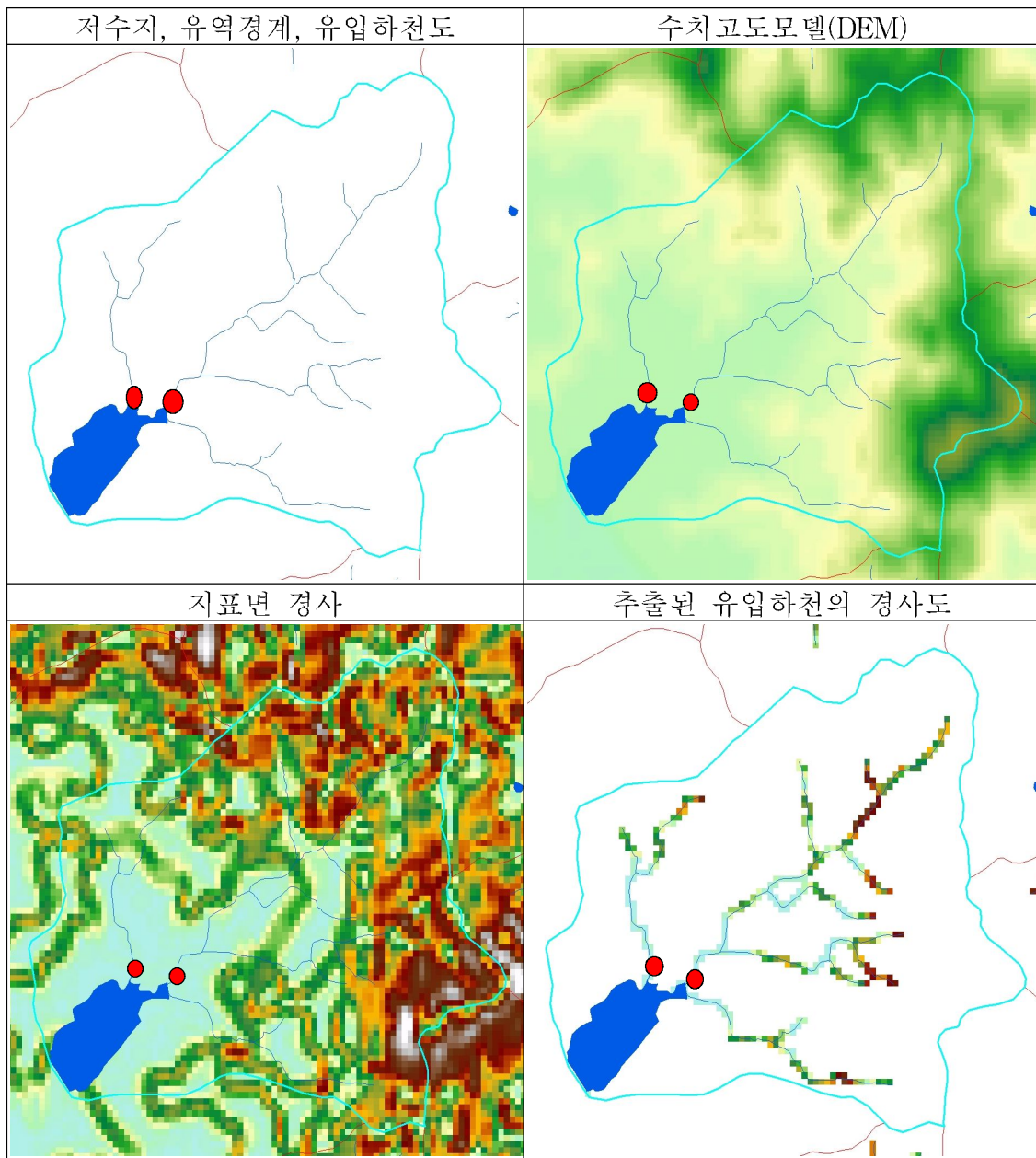
적과 최장하천길이 관계로부터 오염원입지 제한거리 2km인 경우 해당 유역면적은 312ha 이상인 저수지가 이에 해당되며, <그림3-6>에서 유역면적 312ha인 저수지의 5월과 6월의 유입하천 유량은  $253\text{m}^3/\text{day}$ 인 것으로 나타났다. 화용간척지 유역의 오염원조사결과로부터 폐수배출시설별 평균 배출유량은  $16\text{m}^3/\text{day}/\text{시설}$ 로 나타났으며, 이 결과를 이용해 유역면적 312ha 인 저수지의 최상류 지역에 공장 및 산업단지가 설립될 경우 예상되는 방류수 유량 및 하천수의 농도를 분석해 보았다. 약 16개의 공장이 설립되면 하천 유량( $253\text{m}^3/\text{day}$ )과 방류수의 유량( $256\text{m}^3/\text{day}$ )이 동일해져 방류수의 수질이 수질기준인 COD  $40\text{mg}/\text{L}$ 이면 희석작용에 의해 예상되는 하천수의 수질은  $20\text{mg}/\text{L}$  이상이 되어 수질에 문제가 발생할 것으로 생각된다. 그러므로 비록 하천유하거리가 기준을 만족하더라도 설립될 공장 및 산업단지 방류수의 유량과 농도를 고려하여 입지제한거리를 정해야 할 것으로 판단된다.

### 3. 유입하천 평균 유속

2장에서 농업용저수지 상류지역에 공장 및 산업단지가 설립되는것을 제한하는 오염원입지 제한거리 산정방법으로 반응상수를 이용하는 방법과 수질에 측모델을 이용하는 방법이 있다고 하였다. 앞서 설명했듯이 이 중 반응상수를 이용할 경우 반드시 유속자료가 있어야 한다.

20개 대상저수지의 유입하천에서 실측한 유속의 평균값은  $0.052\text{m}/\text{s}$ 로 환경부(2003)보고서에서 제시한 전국 하천의 평균 유속  $0.1\text{m}/\text{s}$ 보다도 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 일반적으로 농업용저수지가 고지대에 존재하여 하천의 경사가 급해 유속이 빠를 것이라는 당초의 예상과 차이가 있었다. 이는 대상저수지 유입하천의 유속을 유입하천의 말단부에서 측정을 하여 상대적으로 지표면 경사가 상류보다 작아 실측된 평균 유속이 작게 나타난 것으로 판단된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 20개의 대상저수지에서 실측한 유속자료와 GIS자료(전국 농업용저수지 유역 경계자료, 유입하천도, 수치고도모델)를 이용해 전국 농업용저수지 유입하천의 평균유속을 도출하였다. 유입하천의 평균 유속을 도출하는 과정은 다음과 같다.



<그림3-7> GIS자료를 이용한 전국 농업용저수지 평균 유속 도출

- ① 전국 수치고도모델(DEM)을 이용해 전국 지표면의 경사를 구한다.
- ② ①에서 구한 경사도에서 유속을 실측한 지점의 경사를 구한다.
- ③ 실측한 유속과 유속을 측정할 지점의 지표면 경사와의 상관관계(회귀식)를 구한다.
- ④ 농업용저수지 유역경계도와 하천도로부터 유입하천을 추출한다.
- ⑤ 경사도와 유입하천도로부터 유입하천만의 경사도를 추출한다.
- ⑥ 추출된 유입하천만의 경사도로부터 전국 저수지 유입하천의 평균경사를

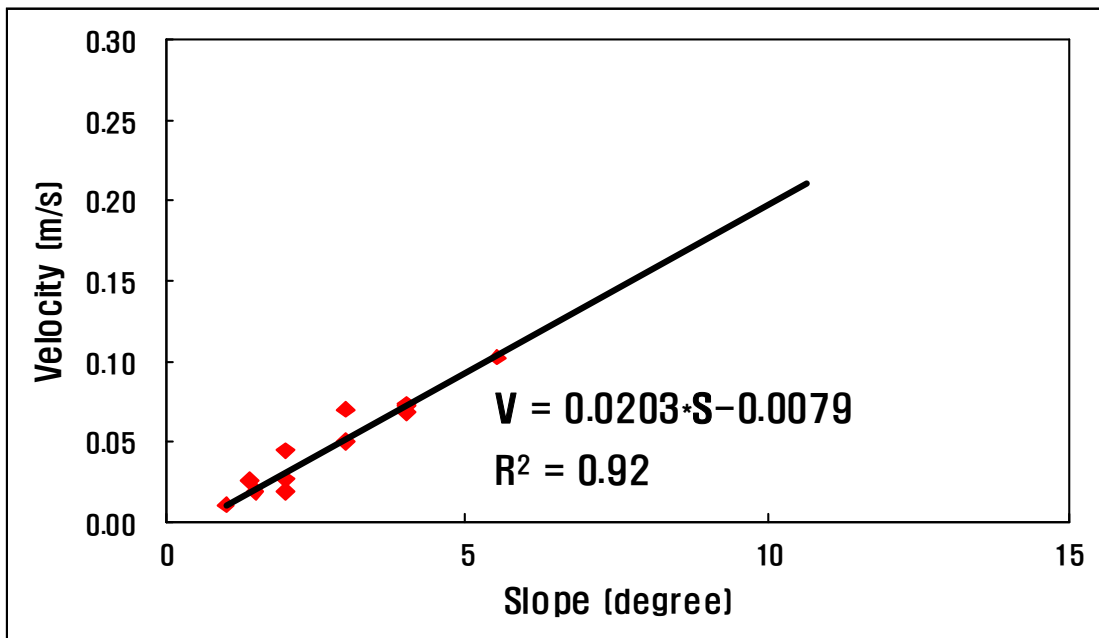
구한다.

- ⑦ ⑥에서 구한 전국 저수지 유입하천의 평균경사와 ③에서 구한 회귀식을 이용해 평균유속을 도출한다.

<그림3-7>은 대상저수지 중 칠곡저수지의 예를 통해 GIS자료를 이용한 농업용저수지 유입하천의 경사도를 추출하는 과정을 나타내고 있다. 추출된 경사도에서 실측한 유속과 실측한 지점의 지표면 경사를 통해 <그림3-8>과 같이 유속과 지표면경사와의 관계를 그래프로 나타내었다. 그래프를 통해 얻은 회귀식은 다음과 같다.

$$\text{유속} = 0.0203 \times \text{지표면경사} - 0.0079 \quad (\text{식3-3})$$

GIS 자료를 이용해 생성한 전국 농업용저수지 유입하천의 평균 경사도를 구한 결과 9.5로 나타났으며, 이를 (식3-3)에 입력하면, 전국농업용저수지의 평균 유속을 구할 수 있으며 그 값은 0.18m/s로 나타났다.



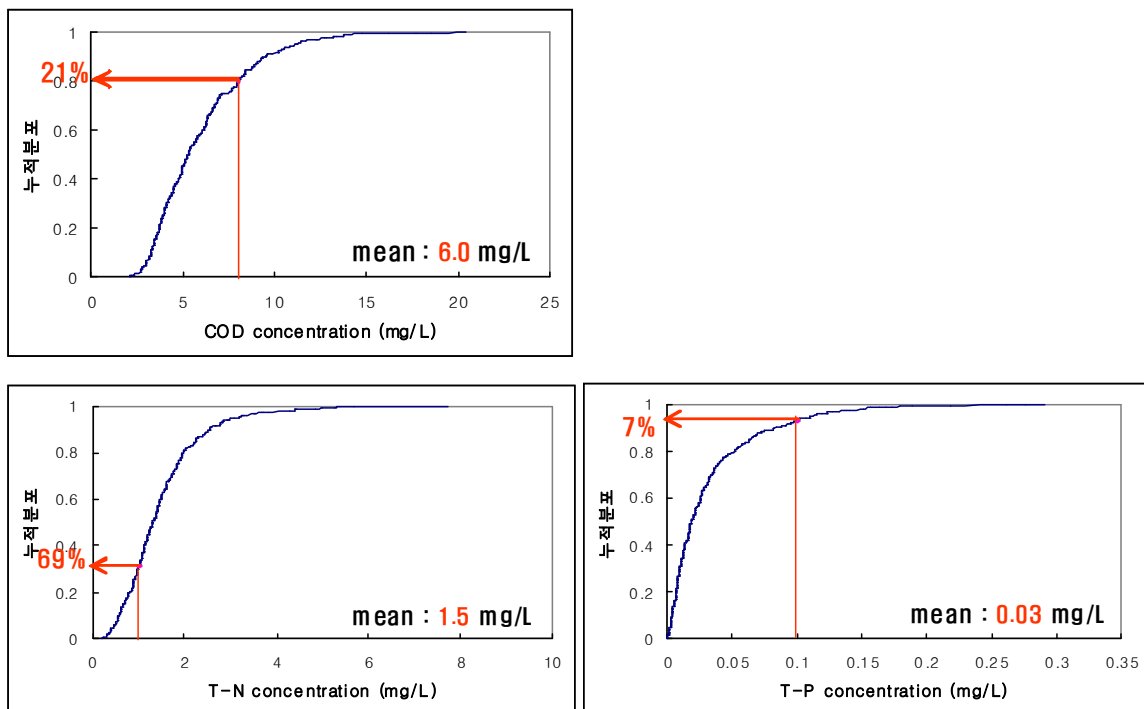
<그림3-8> 유속과 지표면 경사와의 상관관계

### 3절 농업용저수지의 수질특성 분석

#### 1. 농업용저수지의 오염도 조사

현재 농업용저수지의 오염상태를 평가하여 농업용저수지의 수질보전을 해야 할 상태에 놓여 있는지 확인하고자 한다. 농업용저수지의 오염도를 조사하기 위해 한국농어촌공사에서 전국 500여개 농업용저수지에 대해 년 2~4회 저수지의 수질을 조사하여 정리한 2007년 수질측정망 결과를 이용하였다.

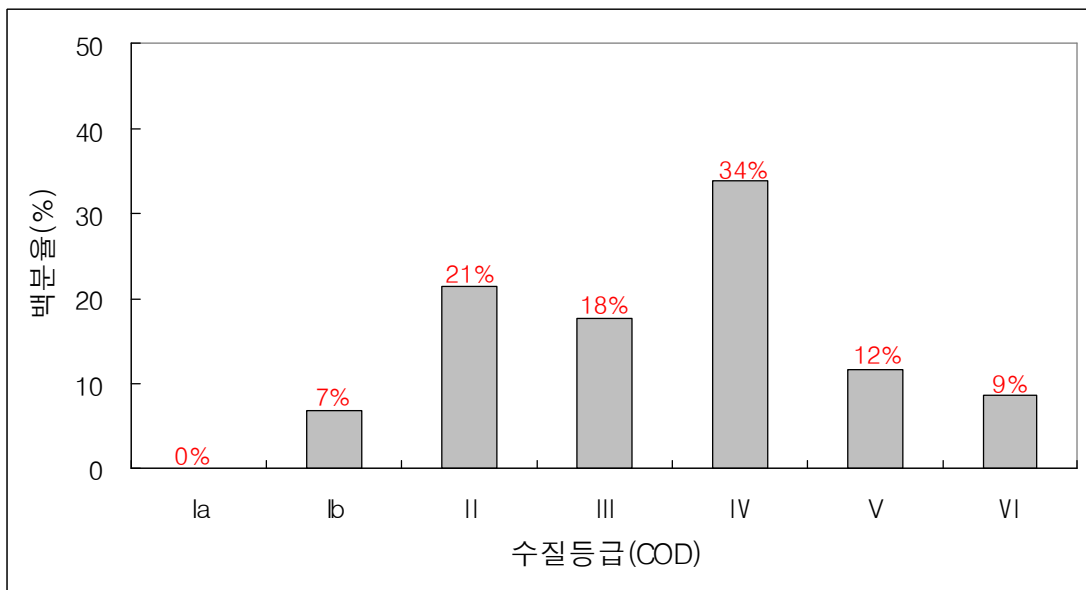
수질측정망 자료를 이용해 COD, T-N, T-P의 누적분포도를 <그림3-9>와 같이 나타내었다. COD, T-N, T-P의 평균 농도는 각각 6.0mg/L, 1.5mg/L, 0.03mg/L로 나타났으며, 농업용저수지의 수질기준(4등급)인 COD 8mg/L, T-N 1mg/L, T-P 0.1mg/L을 기준으로 T-N의 농도가 상대적으로 높게 나타났으며, 그 다음으로 COD의 농도가 높게 나타났다. 또한 COD를 기준으로 21%, T-N을 기준으로 69%, T-P를 기준으로 7%의 측정망 저수지가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. COD와 T-N의 농도에 대해서는 현재 많은 수의 농업용저수지가 수질에 문제가 있는 것으로 나타났고, 농업용저수지의 수질보호를 해야 할 필요성이 있는 것으로 나타났다.



<그림3-9> 수질측정망 대상저수지의 수질항목별 누적분포도

또한 COD를 기준으로 농업용저수지의 수질을 총 7개의 등급(Ia: 2mg/L이

하, I b: 3mg/L이하, II: 4mg/L이하, III: 5mg/L이하, IV: 8mg/L이하, V: 10mg/L이하, VI: 10mg/L초과)으로 나누었으며, COD 수질등급별 수질분포는 <그림 3-10>과 같다. I 등급에 해당되는 저수지는 약 7%로 매우 적게 나타났으며, IV등급에 해당되는 저수지가 34%로 가장 많이 나타났다. IV등급에 해당되는 농업용저수지들은 수질보호가 이루어지지 않을 경우 수질이 악화되어 농업용수로도 부적합한 저수지가 될 가능성이 있으므로, 지속적인 농업용저수지의 수질보호가 이루어져야 한다.

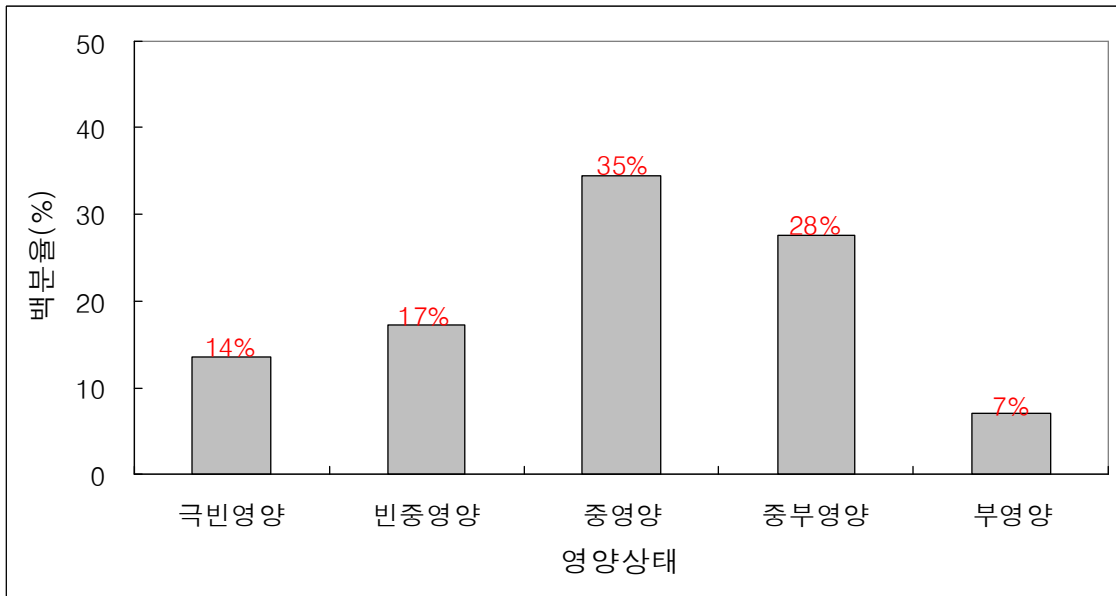


<그림3-10> 수질측정망 대상저수지의 수질등급별 분포

또한 농업용저수지 수질측정망자료의 T-P와 T-N의 수질을 이용해 Vollenweider 분류법으로 농업용저수지의 부영양화단계를 분류하였으며, 그 기준은 (표3-4)와 같다. (표3-4)를 보면 T-P와 T-N을 기준으로 각각 부영양화단계를 5개로 분류하였으며, T-N과 T-P의 비가 16이상이면 T-P기준으로 분류한 부영양화단계를 사용하고, 비가 7이하이면 T-N기준으로 분류한 부영양화단계를 사용한다. T-N과 T-P의 비가 7과 16사이이면, T-N기준과 T-P기준 중 부영양화단계가 높은 것을 사용한다.

(표3-4) 농업용저수지의 부영양화 단계 평가 기준

|                    | 극빈영양   | 빈중영양          | 중영양          | 중부영양        | 부영양    |
|--------------------|--|---------------|--------------|-------------|--------|
| T-P기준              | TP<0.005   | 0.005≤TP<0.01 | 0.01≤TP<0.03 | 0.03≤TP≤0.1 | 0.1<TP |
| T-N기준              | TN<0.2   | 0.2≤TN<0.40   | 0.30≤TN<0.65 | 0.50≤TN≤1.5 | 1.5<TN |
| 최종<br>부영양화<br>정도평가 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· T-N/T-P ≥ 16 : T-P기준 적용</li> <li>· T-N/T-P &lt; 7 : T-N기준 적용</li> <li>· 7≤T-N/T-P &lt; 16 : T-P기준 단계와 T-N기준 단계 중 부영양화단계가 높은 것 이용</li> </ul> |               |              |             |        |



<그림3-11> 수질측정망 대상저수지의 부영양화 단계별 분포

(표3-4)를 이용해 농업용저수지 부영양화단계를 분류한 결과는 <그림3-11>과 같다. 수질측정망 대상 농업용저수지 중 중영양단계인 저수지가 35%로 가장 많았으며, 수질측정망 대상 농업용저수지의 35%가 중부영양 및 부영양단계로 부영양화 정도가 심한 저수지로 나타났다.

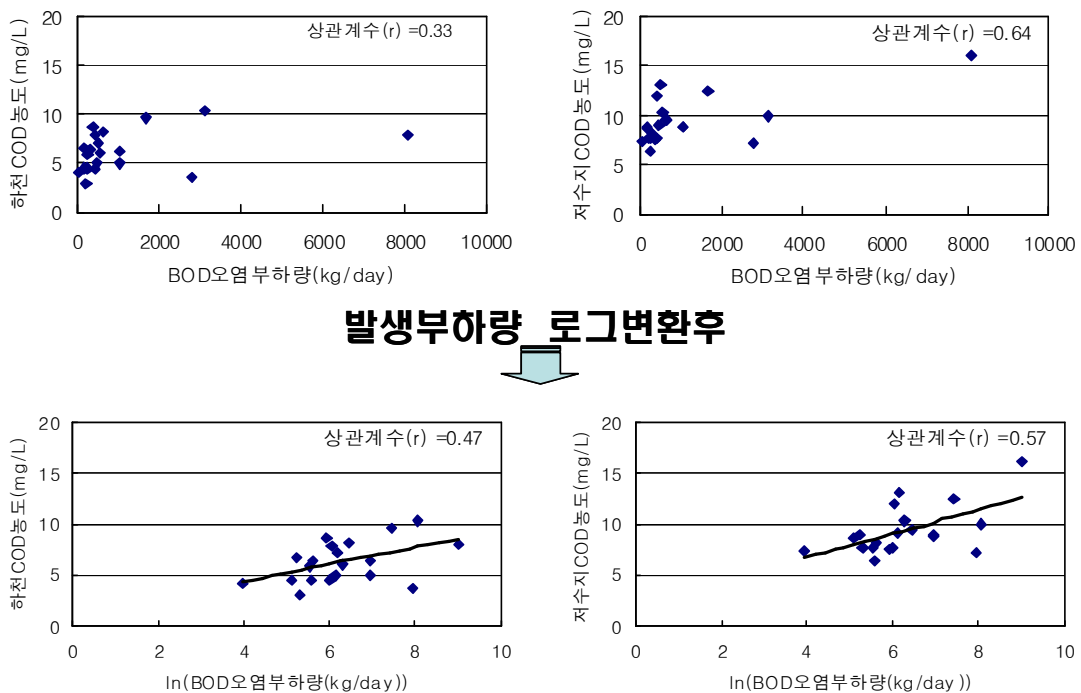
전체적으로 수질측정망 대상 저수지의 수질측정 결과를 바탕으로 분석한 결과 현재 농업용저수지의 수질문제가 발생하고 있으며, 농업용저수지 수질보전을 위한 방안들이 수립되어야 함을 알 수 있었다.

## 2. 유역오염부하량과 하천 및 저수지 수질간의 상관관계

농업용저수지의 수질보전을 위해 상류유역의 오염발생원 입지규제 필요성



을 분석하기 위해 유역오염부하량과 하천 및 저수지의 수질간의 상관관계를 분석하였다. 한국농어촌공사 경기도본부에서 2005년부터 2007년까지 경기도내 주요 농업용저수지의 유역오염부하량 및 유입하천 수질 조사한 결과와 동일 시기에 농업용저수지 수질측정망을 통해 수집된 동일한 저수지의 수질측정결과를 이용해 농업용저수지의 유역오염부하량과 유입하천 및 저수지의 수질관계를 분석하였으며, 그 결과는 <그림3-12>와 같다.



<그림3-12> 유역오염부하량과 유입하천 및 저수지 수질간의 상관관계

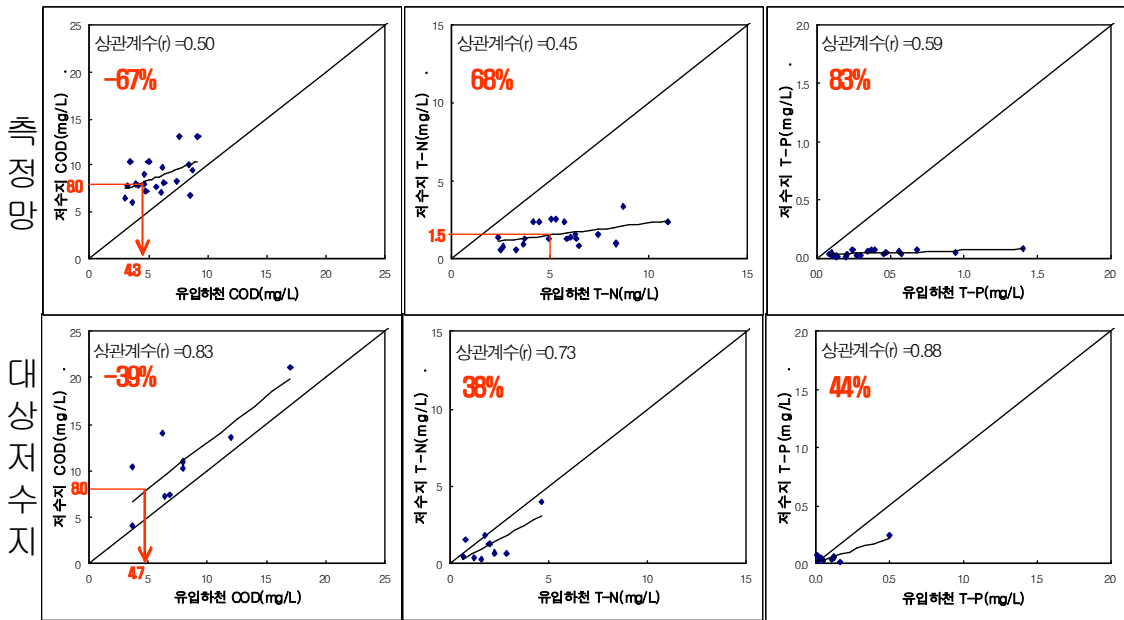
<그림3-12>에서 유역BOD부하량과 하천COD농도 및 유역BOD부하량과 저수지COD농도 사이에는 양의 상관관계가 나타남을 알 수 있으며, 상관계수는 각각 0.33과 0.64를 나타내었다. 특이한 점은 유역BOD부하량과 하천COD농도 사이의 상관관계보다 유역BOD부하량과 저수지COD농도 사이의 상관관계가 더 높은 것으로 나타났으며, 유역의 BOD부하량이 저수지의 COD 농도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 오염부하량의 변화폭이 하천 및 저수지의 COD농도보다 크기 때문에, 오염부하량을 로그변환 후 하천COD 및 저수지COD와의 상관관계를 다시 나타내었으며, 그 결과 육안으로 쉽게 오염부하량과 하천COD농도 및 저수지COD농도 사이에 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과를 바탕으로 농업용저수지의 수질을 보전 및 개선하기 위해서

는 유역의 오염부하량을 관리할 필요가 있음을 알 수 있다.

### 3. 유입 하천수질과 저수지수질 간의 상관관계

한국농어촌공사 경기도본부에서 2005년부터 2007년까지 경기도내 주요 농업용저수지의 유입하천 수질 조사한 결과 및 동일시기에 농업용저수지 수질측정망을 통해 수집된 동일한 저수지의 수질측정결과와 20개의 대상저수지에 대해 유입하천수질 및 저수지수질을 실측한 결과를 이용해 농업용저수지의 유입하천 수질과 저수지 수질 사이의 수질관계를 분석하였으며, 그 결과는 <그림3-13>과 같다.



<그림3-13> 농업용저수지 유입하천 및 저수지 수질 사이의 상관관계

<그림3-13>에서 모든 수질항목에서 유입하천수질과 저수지수질사이에 높은 상관관계가 나타났다. 특히, 20개의 대상저수지에 대해 실측한 유입하천수질과 저수지수질 사이에서 더 높은 상관관계가 나타났다. 이는 20개의 대상저수지는 각각의 저수지에 대해 동일한 날 유입하천 및 저수지 수질을 조사한 반면, 한국농어촌공사 경기도본부에서 측정한 자료는 유입하천과 저수지의 수질이 며칠의 차이를 두고 측정되었기 때문이다.

또한 유입하천의 T-N과 T-P 농도는 저수지로 유입된 후 저수지에서 T-N은 68%와 38% 감소하였고, T-P는 83%, 44% 감소한 반면, COD는 -67%, -39%로 오히려 저수지에서 농도가 증가하였다. <그림3-13>에서 저수지의 수질을

IV등급 기준인 COD 8.0mg/L로 유지하고자 한다면, 측정망 자료를 이용할 경우 유입하천 말단부의 COD농도를 4.3mg/L 유지하여야 하며, 대상저수에 대해 실측한 자료를 이용할 경우 COD의 농도를 4.7mg/L를 유지해야 하며, 측정망 및 대상저수지 자료를 모두 이용하면 유입하천 말단부의 평균 COD농도를 4.5mg/L이하를 유지하여야 한다.



## 4. 반응상수 도출 및 수질모델구축



## 4장 반응상수 도출 및 수질모델 구축

### 1절 농업용저수지 수질조사

#### 1. 대상하천 선정조건

농업용저수지 유입하천에서 유기물(COD)에 대한 반응상수도출 및 하천수질 모델 구축을 위해 수질조사를 실시하였으며, 각 목적별 대상하천구간 선정기준은 (표4-1)과 같다.

반응상수도출을 위한 대상하천구간은 농업용저수지 유입하천으로서 반드시 오염원 유입 후 일정구간(500m이상) 외부유입이 없어야 하며, 하천구간의 시작지점의 COD농도가 5~30mg/L 사이인 곳을 대상구간으로 선정하여야 한다. 하천수질모델 구축을 위한 대상하천구간은 하천구간이 3km이상이어야 하고, 지천에 의한 오염원유입이 주하천에 비해 상대적으로 적은곳을 대상하천구간으로 선정하였다.

선정된 하천구간에 대해 수심, 폭, 유속, 유량, 수온, pH, EC, BOD, COD, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P, 대장균과 같은 항목을 조사하였다.

(표4-1) 농업용저수지 유입하천구간 선정조건

| 구 분    | 선정 조건   |
|--------|---|
| 반응상수도출 | <input type="checkbox"/> 오염원 유입 후 일정구간(500m이상) 외부유입이 없는 농업용저수지 유입하천<br><input type="checkbox"/> COD농도 5~30mg/L  |
| 하천모델구축 | <input type="checkbox"/> 하천길이 3km 이상<br><input type="checkbox"/> COD농도 5~30mg/L<br><input type="checkbox"/> 지천에 의한 오염원 유입이 상류 지점에 비해 상대적으로 적은 하천<br><input type="checkbox"/> 최상류, 최하류, 유입지천 및 모델 보정에 필요한 지점 |

## 2. 대상하천 수질조사

### 가. 이동저수지 유입하천

#### (1) 저수지 시설현황

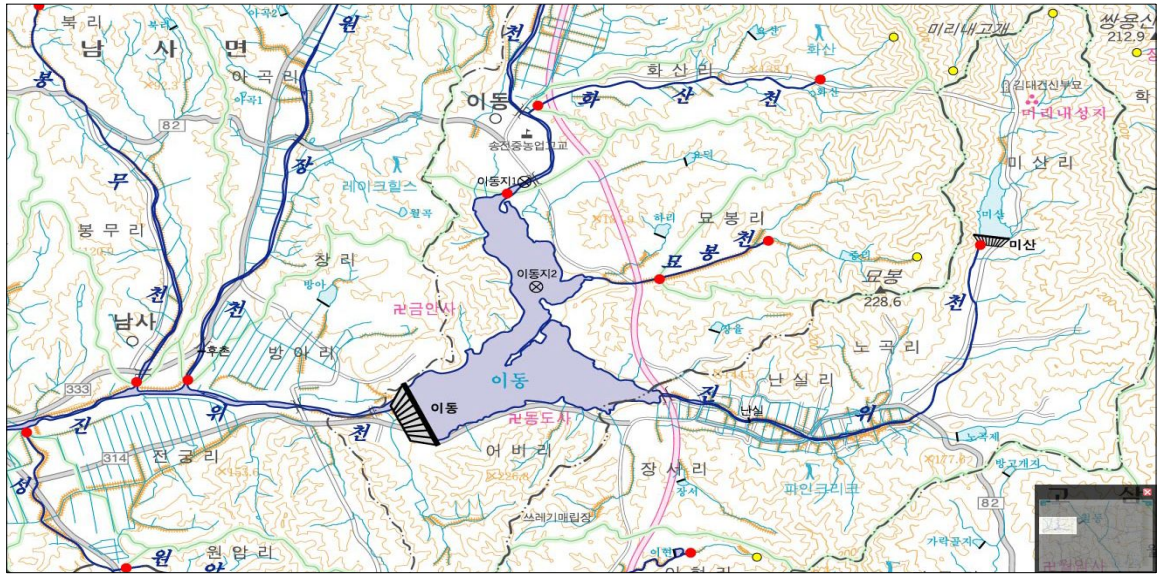
이동저수지는 경기도 용인시 처인구 이동면 어비리에 있는 농업 관개용 저수지로서, 저수지의 북쪽에 위치한 부아산(403.6m)을 정점으로, 함박산(349m), 쌍령산(502m), 달봉산(204m), 함봉산(306m) 등 200~500m 산 능선으로 둘러싸여 있으며, 교통량이 많은 45번 국도변에 대부분의 농경지가 위치하고 있다.

이동면에서 제일 큰 이동저수지는 면 명에서 유래하였으며, 이동면 송전리 앞에 있는 저수지이기에 송전지(松田池)라고도 부른다. 농업 관개를 위해서 1956년에 착공하여 1963년에 축조된 인공저수지이다. 관개 면적 3,152ha, 유효저수량 10,906천톤, 제방 길이 660m, 제방 높이 17.5m로 현재 한국농어촌공사 평택지사가 관리하고 있다. 넓은 분지속에 속해 있는 경기도내 가장 큰 저수지이다. 진위천 최상류인 송전천에 유입되는 원촌천, 용덕사천, 화산천, 묘봉천의 물을 한곳에 저류할 수 있는 곳에 축조된 인공저수지로, 오산천 주변에 펼쳐진 논 지대에 부족한 농업용수 공급을 위해서 만들어졌다. 이동저수지 남쪽에서 흘러나오는 진위천 본류는 오산천을 합류하여 안성천으로 유입된다. 이동면과 양성면 일원에서 발생하는 생활하수가 주요염원이 되고 있으며, 저수지내·외에 많은 유료납시터가 운영되고 있다.

(표4-2) 이동저수지 시설현황

|              |                    |           |            |      |          |       |                       |
|--------------|--------------------|-----------|------------|------|----------|-------|-----------------------|
| 시설명          | 이 동                | 표준코드      | 4149010037 | 제체형식 | 코아형      | 제체체적  | 594,593m <sup>3</sup> |
| 소재지          | -                  |           |            | 제체길이 | 660m     | 제체높이  | 17.5m                 |
| 시 설<br>관 리 자 | 도분부명: 경기도본부        |           |            | 총저수량 | 20,949천톤 | 유효저수량 | 20,906천톤              |
|              | 지 사 명: 평택지사        |           |            | 사수량  | 43천톤     | 취수형식  | 취수탑형                  |
|              | 주 소: 안중읍 안중리 42-60 |           |            | 한발빈도 | 10년      | 홍수빈도  | 200년                  |
| 착공연도         | 1956-08-01         | 준공연도      | 1963-05-31 | 유역면적 | 9,300ha  | 홍수면적  | 352.58ha              |
| 시설구분         | 1종                 | 수원공구<br>분 | 1          | 만수면적 | 305.4ha  | 수해면적  | 2,156ha               |





<그림4-1> 이동저수지 유역 수계도

## (2) 수질모니터링

이동저수지 유입하천 중 송전천의 총 21개 지점에 대해 2회(8/25, 9/15) 유량 및 수질을 조사하였으며, 누적거리는 5.8km이다. 각 지점별 위치는 <그림4-2>와 같으며, 지점번호 및 명칭은 (표4-3)과 같다. 2회 조사한 수질결과는 (표4-4)와 (표4-5)와 같다. 최상류인 S21지점의 COD농도는 6.1mg/L, 5.3mg/L이고, 최하류의 농도는 4.3mg/L, 2.4mg/L로 하류로 이동하면서 농도가 감소되는 현상을 잘 나타내고 있다. 지류는 3곳으로 S15와 S14사이, S10과 S9사이, S7과 S6사이로 유입되고 있다. T-N과 T-P 역시 하류로 이동하면서 농도가 감소되는 현상을 잘 나타내고 있다.



(표4-3) 송전천 조사지점명

| 지점번호 | 지점명         | 비고 |
|------|-------------|----|
| S21  | (주)우전       |    |
| S20  | 덕성2교        |    |
| S19  | 드림베이커리      |    |
| S18  | 덕성1교        |    |
| S17  | 덕성교 상류      |    |
| S16  | 덕성교 하류      |    |
| S15  | 덕성1 압거      |    |
| S01  | 시미곡천        | 지류 |
| S14  | 시미곡마을       |    |
| S13  | 성모성심수녀회     |    |
| S12  | 동인교         |    |
| S11  | 송전탑         |    |
| S10  | 하류보 밑       |    |
| S02  | 농수로 유입수     | 지류 |
| S9   | 송전탑 앞(맨홀부근) |    |
| S8   | 교물상 앞(맨홀부근) |    |
| S7   | 송전2교 상류     |    |
| S03  | 묘봉천         | 지류 |
| S6   | 처인정미소       |    |
| S5   | 큰 옹벽        |    |
| S4   | 작은 콘트리트 옹벽  |    |
| S3   | 아파트앞        |    |
| S2   | 갈매울 옆       |    |
| S1   | 하류 보        |    |

<그림4-2 송전천 조사지점 위치>

(표4-4) 송전천 1차 수질조사 결과

|     | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(°C) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|-----|------------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| S21 | 0.0              | 22.7       | 3.7           | 5.3           | 3.824         | 0.506                        | 1.984                        | 0.082         | 0.028                        | 4.1      | 0.28      | 0.73        | 1.25                    |
| S20 | 0.4              | 23.6       | 4.2           | 6.1           | 4.317         | 0.523                        | 2.526                        | 0.288         | 0.028                        | 12.8     | 0.29      | 0.24        | 1.32                    |
| S19 | 0.8              | 23.5       | 3.9           | 5.5           | 4.220         | 0.488                        | 2.640                        | 0.185         | 0.027                        | 11.4     | 0.32      | 0.32        | 1.34                    |
| S18 | 1.2              | 23.1       | 3.8           | 5.5           | 4.052         | 0.481                        | 2.263                        | 0.147         | 0.024                        | 14.3     | 0.19      | 0.38        | 1.36                    |
| S17 | 1.6              | 24.3       | 4.3           | 6.6           | 4.514         | 0.566                        | 2.435                        | 0.306         | 0.028                        | 17.0     | 0.42      | 0.15        | 1.36                    |
| S16 | 2.0              | 22.8       | 3.7           | 5.3           | 4.911         | 0.473                        | 2.190                        | 0.155         | 0.03                         | 18.7     | 0.10      | 0.66        | 1.41                    |
| S15 | 2.4              | 23.0       | 3.8           | 5.5           | 4.616         | 0.410                        | 2.247                        | 0.236         | 0.027                        | 9.5      | 0.34      | 0.40        | 1.45                    |
| S14 | 2.8              | 24.6       | 3.3           | 4.7           | 3.844         | 0.344                        | 1.926                        | 0.120         | 0.024                        | 27.0     | 0.59      | 0.09        | 1.46                    |
| S13 | 3.2              | 22.8       | 2.9           | 4.1           | 3.137         | 0.277                        | 1.603                        | 0.070         | 0.017                        | 15.8     | 0.28      | 0.25        | 1.45                    |
| S12 | 3.6              | 22.7       | 2.7           | 3.9           | 2.451         | 0.205                        | 1.469                        | 0.042         | 0.01                         | 5.2      | 0.28      | 0.77        | 1.5                     |
| S11 | 4.0              | 22.5       | 3.1           | 4.3           | 3.029         | 0.279                        | 1.848                        | 0.066         | 0.019                        | 20.6     | 0.30      | 0.22        | 1.52                    |
| S10 | 4.4              | 22.1       | 2.5           | 3.9           | 2.371         | 0.217                        | 1.576                        | 0.041         | 0.013                        | 10.2     | 0.19      | 0.48        | 1.57                    |
| S9  | 4.5              | 22.3       | 2.4           | 3.9           | 2.023         | 0.185                        | 1.349                        | 0.055         | 0.018                        | 14.8     | 0.58      | 0.18        | 1.55                    |
| S8  | 4.6              | 23.1       | 2.6           | 4.0           | 2.221         | 0.203                        | 1.481                        | 0.029         | 0.009                        | 20.8     | 0.22      | 0.25        | 1.53                    |
| S7  | 4.8              | 23.4       | 2.8           | 4.1           | 2.845         | 0.239                        | 1.726                        | 0.046         | 0.017                        | 23.2     | 0.31      | 0.23        | 1.58                    |
| S6  | 5.0              | 22.8       | 2.3           | 3.9           | 2.721         | 0.249                        | 1.814                        | 0.071         | 0.023                        | 14.5     | 0.28      | 0.43        | 1.56                    |
| S5  | 5.2              | 22.5       | 2.9           | 4.3           | 2.937         | 0.270                        | 1.809                        | 0.060         | 0.023                        | 10.4     | 0.32      | 0.62        | 1.67                    |
| S4  | 5.3              | 22.7       | 2.4           | 4.2           | 2.611         | 0.239                        | 1.741                        | 0.050         | 0.016                        | 15.8     | 0.41      | 0.20        | 1.65                    |
| S3  | 5.4              | 23.1       | 2.6           | 4.1           | 2.895         | 0.265                        | 1.930                        | 0.080         | 0.026                        | 25.0     | 0.64      | 0.07        | 1.65                    |
| S2  | 5.6              | 24.2       | 3.0           | 4.3           | 2.879         | 0.264                        | 1.843                        | 0.054         | 0.02                         | 31.5     | 0.40      | 0.13        | 1.71                    |
| S1  | 5.8              | 25.4       | 2.8           | 4.3           | 2.654         | 0.243                        | 1.769                        | 0.130         | 0.042                        | 68.5     | 0.26      | 0.88        | 1.8                     |
| S01 |                  | 23.0       | 3.7           | 5.3           | 3.718         | 0.522                        | 2.175                        | 0.130         | 0.026                        | 4.5      | 0.46      | 0.16        | 0.00                    |
| S02 |                  | 21.5       | 3.6           | 5.1           | 3.667         | 0.473                        | 2.114                        | 0.124         | 0.025                        | 2.0      | 0.06      | 0.46        | 0.00                    |
| S03 |                  | 22.8       | 2.4           | 3.5           | 2.156         | 0.196                        | 1.363                        | 0.040         | 0.01                         | 4.2      | 0.08      | 0.46        | 0.00                    |

(표4-5) 송전천 2차 수질조사 결과

|     | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(°C) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|-----|------------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| S21 | 0.0              | 16.9       | 4.4           | 6.3           | 3.854         | 0.404                        | 3.016                        | 0.174         | 0.034                        | 3.7      | 0.17      | 0.54        | 0.97                    |
| S20 | 0.4              | 17.4       | 3.7           | 5.3           | 3.314         | 0.382                        | 2.779                        | 0.149         | 0.028                        | 12.7     | 0.24      | 0.16        | 1.05                    |
| S19 | 0.8              | 17.2       | 3.2           | 4.7           | 3.204         | 0.317                        | 2.681                        | 0.123         | 0.020                        | 8.4      | 0.22      | 0.25        | 1.07                    |
| S18 | 1.2              | 17.0       | 3.3           | 4.7           | 3.070         | 0.386                        | 2.364                        | 0.027         | 0.022                        | 11.6     | 0.14      | 0.35        | 1.09                    |
| S17 | 1.6              | 18.0       | 2.7           | 3.9           | 2.164         | 0.246                        | 1.727                        | 0.064         | 0.016                        | 28.6     | 0.33      | 0.05        | 1.12                    |
| S16 | 2.0              | 16.9       | 1.9           | 2.7           | 1.326         | 0.180                        | 1.063                        | 0.018         | 0.015                        | 17.9     | 0.08      | 0.33        | 1.21                    |
| S15 | 2.4              | 16.6       | 2.3           | 3.3           | 2.538         | 0.209                        | 1.967                        | 0.024         | 0.016                        | 8.2      | 0.24      | 0.29        | 1.19                    |
| S14 | 2.8              | 18.3       | 1.9           | 2.7           | 2.002         | 0.184                        | 1.522                        | 0.055         | 0.014                        | 27.5     | 0.53      | 0.05        | 1.18                    |
| S13 | 3.2              | 17.8       | 1.7           | 2.4           | 1.748         | 0.146                        | 1.308                        | 0.064         | 0.012                        | 12.1     | 0.23      | 0.17        | 1.19                    |
| S12 | 3.6              | 17.4       | 2.3           | 3.3           | 2.827         | 0.221                        | 2.310                        | 0.041         | 0.016                        | 6.0      | 0.21      | 0.46        | 1.17                    |
| S11 | 4.0              | 17.5       | 1.6           | 2.4           | 1.119         | 0.090                        | 0.846                        | 0.030         | 0.010                        | 18.3     | 0.28      | 0.11        | 1.18                    |
| S10 | 4.4              | 17.1       | 1.7           | 2.5           | 1.806         | 0.154                        | 1.468                        | 0.067         | 0.013                        | 6.4      | 0.16      | 0.48        | 1.17                    |
| S9  | 4.5              | 17.2       | 1.6           | 2.6           | 1.659         | 0.142                        | 1.383                        | 0.078         | 0.015                        | 14.8     | 0.58      | 0.18        | 1.14                    |
| S8  | 4.6              | 17.5       | 1.8           | 2.8           | 1.759         | 0.150                        | 1.466                        | 0.045         | 0.009                        | 20.8     | 0.22      | 0.25        | 1.13                    |
| S7  | 4.8              | 17.8       | 2.2           | 3.1           | 2.130         | 0.203                        | 1.175                        | 0.050         | 0.017                        | 23.6     | 0.24      | 0.11        | 1.25                    |
| S6  | 5.0              | 17.4       | 1.7           | 2.8           | 1.890         | 0.161                        | 1.575                        | 0.068         | 0.013                        | 14.5     | 0.28      | 0.43        | 1.23                    |
| S5  | 5.2              | 17.0       | 1.7           | 2.4           | 1.210         | 0.104                        | 1.046                        | 0.050         | 0.012                        | 7.3      | 0.16      | 0.5         | 1.24                    |
| S4  | 5.3              | 17.3       | 1.7           | 2.5           | 1.212         | 0.103                        | 1.010                        | 0.035         | 0.007                        | 15.8     | 0.41      | 0.2         | 1.22                    |
| S3  | 5.4              | 17.5       | 1.6           | 2.3           | 1.355         | 0.116                        | 1.129                        | 0.030         | 0.006                        | 25.0     | 0.64      | 0.07        | 1.22                    |
| S2  | 5.6              | 18.1       | 1.7           | 2.4           | 1.492         | 0.136                        | 1.189                        | 0.030         | 0.013                        | 32.3     | 0.36      | 0.06        | 1.23                    |
| S1  | 5.8              | 25.4       | 1.5           | 2.3           | 1.318         | 0.112                        | 1.098                        | 0.060         | 0.012                        | 68.5     | 0.26      | 0.88        | 1.27                    |
| S01 |                  | 16.8       | 2.3           | 3.3           | 2.542         | 0.136                        | 2.059                        | 0.071         | 0.012                        | 3.2      | 0.03      | 0.15        | 0.00                    |
| S02 |                  | 16.0       | 3.0           | 4.3           | 2.922         | 0.167                        | 2.158                        | 0.090         | 0.017                        | 2.0      | 0.06      | 0.43        | 0.00                    |
| S03 |                  | 16.5       | 1.7           | 2.4           | 1.859         | 0.112                        | 1.214                        | 0.028         | 0.010                        | 4.5      | 0.08      | 0.32        | 0.00                    |

## 나. 고삼저수지 유입하천

### (1) 저수지 시설현황

고삼저수지는 경기도 용인시 원삼면과 안성시 고삼면, 보개면 일원의 3개면 13개리에 해당하며, 유역의 약 45%가 원삼면에 해당하는 안성군 최대의 저수지이다. 저수지 북쪽에 위치한 문수봉(404.2m)을 정점으로, 쌍령산(502m), 구봉산(453m), 보개산(346.9m) 등 해발 300~500m 내외 산들의 능선으로 둘러싸인 7,100ha의 넓은 유역을 가지고 있다. 주유입 하천은 문수봉 능선에서 발원한 목신천이고, 쌍지천과 남풍천, 학일1호지, 2호지 등 보조수원의 역할을 하는 소류지들이 발달되어 있어 유량이 풍부한 편이다. 대·중·소규모로 유역에 산재하여 위치하고 있는 축산시설에서 발생하는 축산폐수가 주요오염원이며, 현재 저수지내 3개의 유료납시터가 운영 중에 있다.

(표4-6) 고삼저수지 시설현황

|           |                   |       |            |      |          |       |                       |
|-----------|-------------------|-------|------------|------|----------|-------|-----------------------|
| 시설명       | 고삼                | 표준코드  | 4155010068 | 제체형식 | 월댐       | 제체체적  | 160,000m <sup>3</sup> |
| 소재지       | 경기도 안성시 고삼면 월향리   |       |            | 제체길이 | 209m     | 제체높이  | 17.1m                 |
| 시설<br>관리자 | 도본부명: 경기도본부       |       |            | 총저수량 | 16,105천톤 | 유효저수량 | 15,217천톤              |
|           | 지사명: 안성지사         |       |            | 사수량  | 888천톤    | 취수형식  | 취수탑형                  |
|           | 주소: 안성시 당왕동 347-1 |       |            | 한발빈도 | 10년      | 홍수빈도  | 200년                  |
| 착공연도      | 1956-08-01        | 준공연도  | 1963-05-31 | 유역면적 | 7,100ha  | 홍수면적  | 310ha                 |
| 시설구분      | 1종                | 수원공구분 | 1          | 만수면적 | 229.9ha  | 수해면적  | 2,969.8ha             |



<그림4-3> 고삼저수지 유역 수계도

## (2) 수질모니터링

고삼저수지 유입하천 중 쌍지천에 대해 2009년 8월 31일, 2009년 9월 3일, 2009년 9월 17일 3회에 걸쳐 수질조사를 실시하였다. 3번 모두 일주일 전까지 선행강우가 없어 강우의 영향이 없는 상태에서 조사되었다. 송전천 중 조사대상 구간은 총 3.1km 구간으로 1개의 지류가 존재하였으며, 총 9개 지점에 대해 수질조사를 실시하였다. 각 지점별 위치는 <그림4-4>와 같으며, 지점번호 및 명칭은 (표4-7)과 같다. 3회 조사한 수질결과는 (표4-8)~ (표4-10)과 같다.

(표4-7) 쌍지천 조사지점명



| 지점번호 | 지 점 명                   | 비 고 |
|------|-------------------------|-----|
| SJ1  | 교량직상류                   |     |
| SJ2  | 교량직하류                   |     |
| SJ3  | 무명교<br>(SJ-2에서 300m 하류) |     |
| SJ4  | 노랑교직상류<br>지류유입전 보 직전    |     |
| SJ5  | 지류                      | 지류  |
| SJ6  | 노랑교<br>직하류 (지류합류후)      |     |
| SJ7  | 비닐하우스앞                  |     |
| SJ8  | 쌍지교 직상류                 |     |
| SJ9  | 쌍지교 하류 300m지점           |     |

<그림4-4> 쌍지천 조사지점 위치

(표4-8) 쌍지천 1차 수질조사 결과

|     | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(℃) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|-----|------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| SJ1 | 0                | 17.55     | 1.4           | 2.0           | 1.736         | 0.268                        | 1.496                        | 0.056         | 0.012                        | 2.8      | 0.09      | 0.073       | 0.018                   |
| SJ2 | 0.276            | 18.18     | 1.0           | 1.4           | 1.213         | 0.190                        | 1.063                        | 0.009         | 0.007                        | 1.7      | 0.3       | 0.039       | 0.019                   |
| SJ3 | 0.864            | 19.14     | 1.4           | 2.0           | 1.610         | 0.275                        | 1.420                        | 0.057         | 0.011                        | 3.0      | 0.15      | 0.042       | 0.021                   |
| SJ4 | 1.131            | 19.90     | 1.7           | 2.4           | 1.890         | 0.271                        | 1.503                        | 0.056         | 0.014                        | 6.0      | 0.15      | 0.027       | 0.024                   |
| SJ5 |                  | 19.45     | 3.0           | 4.3           | 2.196         | 0.463                        | 1.877                        | 0.282         | 0.02                         | 0.5      | 0.17      | 0.325       | 0.027                   |
| SJ6 | 1.211            | 20.58     | 1.7           | 2.5           | 1.892         | 0.307                        | 1.569                        | 0.098         | 0.017                        | 1.7      | 0.39      | 0.080       | 0.051                   |
| SJ7 | 2.071            | 22.10     | 1.8           | 2.5           | 1.654         | 0.309                        | 1.394                        | 0.075         | 0.017                        | 7.5      | 0.2       | 0.034       | 0.051                   |
| SJ8 | 2.753            | 21.81     | 1.6           | 2.4           | 1.450         | 0.285                        | 1.325                        | 0.051         | 0.015                        | 8.0      | 0.16      | 0.041       | 0.052                   |
| SJ9 | 3.103            | 22.30     | 1.5           | 2.3           | 1.430         | 0.275                        | 1.210                        | 0.041         | 0.011                        | 9.0      | 0.45      | 0.019       | 0.053                   |

(표4-9) 쌍지천 2차 수질조사 결과

|     | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(℃) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|-----|------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| SJ1 | 0                | 18.1      | 1.8           | 2.6           | 1.700         | 0.388                        | 1.255                        | 0.054         | 0.018                        | 2.8      | 0.09      | 0.073       | 0.019                   |
| SJ2 | 0.276            | 18.76     | 1.7           | 2.4           | 1.422         | 0.310                        | 1.126                        | 0.047         | 0.012                        | 1.7      | 0.3       | 0.039       | 0.020                   |
| SJ3 | 0.864            | 20.29     | 1.7           | 2.5           | 1.842         | 0.336                        | 1.308                        | 0.050         | 0.013                        | 3.0      | 0.15      | 0.042       | 0.019                   |
| SJ4 | 1.131            | 21.1      | 1.8           | 2.6           | 2.200         | 0.398                        | 1.501                        | 0.048         | 0.012                        | 6.0      | 0.15      | 0.027       | 0.021                   |
| SJ5 |                  | 20.9      | 2.5           | 4.0           | 3.000         | 0.551                        | 1.958                        | 0.080         | 0.024                        | 0.5      | 0.17      | 0.055       | 0.003                   |
| SJ6 | 1.211            | 21.5      | 1.8           | 2.8           | 2.400         | 0.412                        | 1.710                        | 0.090         | 0.025                        | 1.7      | 0.39      | 0.080       | 0.024                   |
| SJ7 | 2.071            | 21.7      | 1.9           | 2.7           | 2.200         | 0.394                        | 1.495                        | 0.071         | 0.019                        | 7.5      | 0.2       | 0.034       | 0.025                   |
| SJ8 | 2.753            | 21.11     | 1.6           | 2.4           | 1.475         | 0.284                        | 1.080                        | 0.068         | 0.009                        | 8.0      | 0.16      | 0.041       | 0.026                   |
| SJ9 | 3.103            | 21.68     | 1.9           | 2.7           | 2.082         | 0.379                        | 1.775                        | 0.083         | 0.016                        | 9.0      | 0.45      | 0.007       | 0.028                   |

(표4-10) 쌍지천 3차 수질조사 결과

|     | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(℃) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|-----|------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| SJ1 | 0                | 17        | 1.5           | 2.5           | 1.811         | 0.384                        | 1.288                        | 0.055         | 0.019                        | 2.8      | 0.09      | 0.073       | 0.019                   |
| SJ2 | 0.276            | 17.5      | 1.1           | 2.2           | 1.482         | 0.325                        | 1.156                        | 0.050         | 0.01                         | 1.7      | 0.3       | 0.039       | 0.020                   |
| SJ3 | 0.864            | 17.9      | 1.6           | 2.4           | 1.811         | 0.366                        | 1.318                        | 0.049         | 0.015                        | 3.0      | 0.15      | 0.042       | 0.019                   |
| SJ4 | 1.131            | 17.6      | 1.9           | 2.6           | 2.055         | 0.411                        | 1.499                        | 0.042         | 0.015                        | 6.0      | 0.15      | 0.027       | 0.021                   |
| SJ5 |                  | 17.4      | 3.2           | 4.1           | 3.520         | 0.558                        | 2.002                        | 0.090         | 0.028                        | 0.5      | 0.17      | 0.068       | 0.005                   |
| SJ6 | 1.211            | 18.1      | 1.9           | 2.7           | 2.302         | 0.481                        | 1.720                        | 0.092         | 0.026                        | 1.7      | 0.39      | 0.080       | 0.026                   |
| SJ7 | 2.071            | 17.9      | 2.0           | 2.6           | 2.255         | 0.422                        | 1.551                        | 0.082         | 0.014                        | 7.5      | 0.2       | 0.034       | 0.027                   |
| SJ8 | 2.753            | 17.8      | 1.8           | 2.3           | 1.367         | 0.325                        | 1.100                        | 0.070         | 0.007                        | 8.0      | 0.16      | 0.041       | 0.028                   |
| SJ9 | 3.103            | 17.5      | 1.7           | 2.2           | 1.334         | 0.399                        | 1.755                        | 0.059         | 0.015                        | 9.0      | 0.45      | 0.008       | 0.029                   |

## 다. 순성(면천)저수지 유입하천

### (1) 저수지 시설현황

순성(면천)저수지는 충남 당진군 면천명 원동리에 위치하고 있으며, 유역은 당진군 면천면 성상리, 성하리, 원동리 3개리가 포함되어 있다. 해발 100~200m 내외의 낮은 구릉성 산들의 능선을 따라 형성되어 있으며, 높이 349.5m의 아미산의 동쪽에 위치하고 있다. 유입하천은 성산리에서 발원한 시내천 및 서문천과 성하리에서 성사리로 흐르는 사동천이 저수지로 유입된다. 용수구역은 남원천의 수원으로 남원천은 신포천, 공포천 등과 합류해 삼교천으로 유입되며 대권역, 중권역 모두 삼교천에 해당된다. 저수지 동쪽 약 2km, 4km 지점

에 면천산업단지와 함덕산업단지가 위치하고 있다. 주요염원은 생활하수로 총 BOD발생부하량의 48.9%이며, 축산계는 39.1%를 차지하고 있다.

(표4-11) 순성(면천)저수지 제원

|           |                       |       |            |      |         |       |                       |
|-----------|-----------------------|-------|------------|------|---------|-------|-----------------------|
| 시설명       | 순 성                   | 표준코드  | 4483010035 | 제체형식 | 중심코어형   | 제체체적  | 103,343m <sup>3</sup> |
| 소재지       | 충청남도 당진군 면천면 원동리      |       |            | 제체길이 | 464m    | 제체높이  | 8.9m                  |
| 시설<br>관리자 | 도본부명: 충남도본부           |       |            | 총저수량 | 1,428천톤 | 유효저수량 | 1,357천톤               |
|           | 지사명: 당진지사             |       |            | 사수량  | 71천톤    | 취수형식  | 사통형                   |
|           | 주소: 당진군 당진읍 읍내리 306-8 |       |            | 한발빈도 | 3년      | 홍수빈도  | 20년                   |
| 착공연도      | 1953-03-01            | 준공연도  | 1959-12-31 | 유역면적 | 850ha   | 홍수면적  | 39.58ha               |
| 시설구분      | 1종                    | 수원공구분 | 1          | 만수면적 | 39.58ha | 수해면적  | 257ha                 |



<그림4-5> 순성저수지 유역 수계도

## (2) 수질모니터링

순성저수지 유입하천 중 2개의 소하천 대해 2009년 8월 31일, 2009년 9월 3일, 2009년 9월 11일 3회에 걸쳐 수질조사를 실시하였다. 3번 모두 일주일 전까지 선행강우가 없어 강우의 영향이 없는 상태에서 조사되었다. 2개의 소하천의 조사대상 구간은 모두 500m로 지류가 없었으며, 각 소하천별 3개 지점에 대해 수질조사를 실시하였다. 각 지점별 위치는 <그림4-6>와 같으며, 지점별

호 및 명칭은 (표4-12)와 같다. 3회 조사한 수질결과는 (표4-13)~ (표4-15)와 같다.

(표4-12) 면천 조사지점명



| 지점번호 | 지점명            |
|------|----------------|
| MCA1 | 교량압거           |
| MCA2 | 300m 하류지점      |
| MCA3 | 저수지유입전 압거앞     |
| MCB1 | 상류 압거<br>노인정 앞 |
| MCB2 | 중간길<br>주황지붕집 옆 |
| MCB3 | 저수지 유입전        |

<그림4-6> 면천(순성저수지 유입하천) 조사지점 위치

(표4-13) 면천 1차 수질조사 결과

|      | 누가거리<br>(km) | 수온<br>(°C) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|------|--------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| MCA1 | 0            | 24.03      | 5.3           | 7.6           | 5.313         | 0.925                        | 3.906                        | 0.706         | 0.05                         | 1.2      | 0.05      | 0.068       | 0.0341                  |
| MCA2 | 0.25         | 23.15      | 4.7           | 6.7           | 4.384         | 0.717                        | 3.122                        | 0.349         | 0.041                        | 2.1      | 0.07      | 0.185       | 0.027                   |
| MCA3 | 0.5          | 23.05      | 5.1           | 7.4           | 3.470         | 0.896                        | 2.241                        | 0.413         | 0.049                        | 2.7      | 0.187     | 0.676       | 0.046                   |
| MCB1 | 0            | 25.23      | 6.3           | 9.0           | 5.765         | 1.118                        | 4.224                        | 0.543         | 0.063                        | 1.1      | 0.03      | 0.538       | 0.018                   |
| MCB2 | 0.25         | 25.89      | 6.7           | 9.6           | 5.542         | 1.325                        | 3.625                        | 0.475         | 0.07                         | 1.3      | 0.055     | 0.248       | 0.018                   |
| MCB3 | 0.5          | 25.59      | 6.0           | 8.6           | 4.476         | 1.066                        | 3.200                        | 0.393         | 0.061                        | 2.2      | 0.125     | 0.107       | 0.030                   |

(표4-14) 면천 2차 수질조사 결과



|      | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(°C) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|------|------------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| MCA1 | 0                | 22.04      | 3.8           | 5.5           | 5.800         | 0.624                        | 3.415                        | 0.443         | 0.043                        | 0.9      | 0.12      | 0.0167      | 0.0018                  |
| MCA2 | 0.25             | 22.7       | 2.5           | 3.5           | 4.877         | 0.492                        | 2.709                        | 0.136         | 0.032                        | 1.5      | 0.15      | 0.008       | 0.0018                  |
| MCA3 | 0.5              | 23.09      | 2.4           | 3.5           | 4.683         | 0.478                        | 2.593                        | 0.213         | 0.030                        | 2.1      | 0.157     | 0.004       | 0.0018                  |
| MCB1 | 0                | 28.88      | 10.1          | 14.5          | 7.716         | 1.774                        | 5.703                        | 0.699         | 0.135                        | 0.8      | 0.07      | 0.023       | 0.0013                  |
| MCB2 | 0.25             | 27.33      | 8.1           | 11.6          | 7.068         | 1.426                        | 5.231                        | 0.704         | 0.120                        | 0.9      | 0.05      | 0.028       | 0.0013                  |
| MCB3 | 0.5              | 25.82      | 1.9           | 2.7           | 2.894         | 0.376                        | 1.510                        | 0.133         | 0.013                        | 1        | 0.08      | 0.016       | 0.001                   |

(표4-15) 면천 3차 수질조사 결과

|      | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(°C) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|------|------------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| MCA1 | 0                | 24.1       | 5.3           | 5.7           | 5.280         | 0.624                        | 3.575                        | 0.550         | 0.049                        | 0.9      | 0.12      | 0.018       | 0.0019                  |
| MCA2 | 0.25             | 24.3       | 4.8           | 4.4           | 4.720         | 0.492                        | 2.911                        | 0.280         | 0.051                        | 1.5      | 0.15      | 0.008       | 0.0018                  |
| MCA3 | 0.5              | 25.7       | 4.4           | 3.8           | 4.380         | 0.478                        | 2.643                        | 0.320         | 0.041                        | 2.1      | 0.157     | 0.005       | 0.0023                  |
| MCB1 | 0                | 25.2       | 11.2          | 10.1          | 7.716         | 1.650                        | 4.411                        | 0.614         | 0.095                        | 0.9      | 0.06      | 0.019       | 0.0011                  |
| MCB2 | 0.25             | 27.2       | 7.5           | 4.6           | 6.120         | 1.155                        | 3.959                        | 0.501         | 0.089                        | 0.9      | 0.05      | 0.025       | 0.0009                  |
| MCB3 | 0.5              | 27.9       | 3.8           | 3.1           | 3.355         | 0.289                        | 2.201                        | 0.158         | 0.022                        | 1        | 0.08      | 0.013       | 0.0008                  |

## 라. 신휴저수지 유입하천

### (1) 저수지 시설현황

아산시 음봉면에 위치한 신휴저수지는 쌍용리, 쌍암리, 의식리 등에 둘러싸인 300m 이내의 구릉지로서 농경지가 잘 발달돼 있고, 남서쪽에 위치한 봉재저수지로부터의 지류와 합류하여 안성천으로 배출된다. 과거 COD가 23mg/L에 이르는 심각한 수질오염을 겪었으나, 최근 다양한 수질개선사업을 통한 정화활동으로 많이 개선되었다.

(표4-16) 신휴저수지 제원

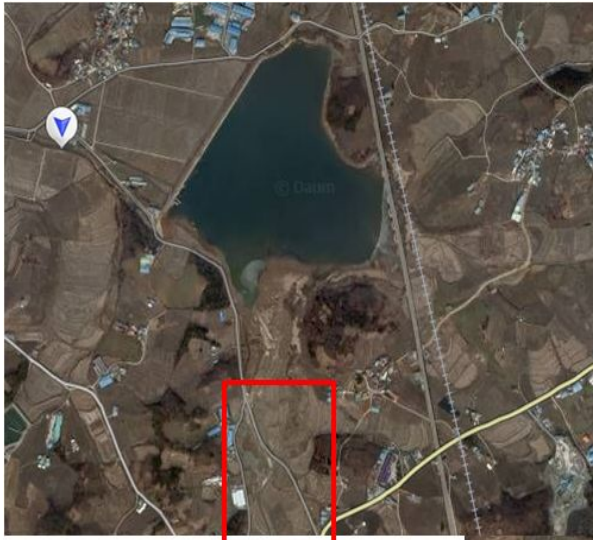
|           |                  |       |            |      |         |       |                      |
|-----------|------------------|-------|------------|------|---------|-------|----------------------|
| 시설명       | 신 휴              | 표준코드  | 4420010029 | 제체형식 | 월땀      | 제체체적  | 45,883m <sup>3</sup> |
| 소재지       | 충청남도 아산시 음봉면 신휴리 |       |            | 제체길이 | 643m    | 제체높이  | 5.8m                 |
| 시설<br>관리자 | 도본부명: 충남도본부      |       |            | 총저수량 | 1,411천톤 | 유효저수량 | 1,317천톤              |
|           | 지사명: 아산지사        |       |            | 사수량  | 94천톤    | 취수형식  | 사통형                  |
|           | 주소: 음봉면 신휴리      |       |            | 한발빈도 | 5년      | 홍수빈도  | 10년                  |
| 착공연도      | 1944-11-01       | 준공연도  | 1954-03-31 | 유역면적 | 842ha   | 홍수면적  | 69.4ha               |
| 시설구분      | 1종               | 수원공구분 | 1          | 만수면적 | 53ha    | 수혜면적  | 218.4ha              |



<그림4-7> 신휴저수지 유역 수계도

## (2) 수질모니터링

고삼저수지 유입하천에 대해 2009년 8월 31일 2개 지점에 대해 수질조사를 실시하였으며, 조사대상 구간은 500m 구간으로 외부 유입이 없었다. 각 지점별 위치는 <그림4-8>과 같으며, 지점번호 및 명칭은 (표4-17)과 같다. 1회 조사한 수질결과는 (표4-18)과 같다.



(표4-17) 신희저수지  
조사지점명

| 지점번호 | 지 점 명         |
|------|---------------|
| SH-1 | 쌍용교<br>쌍용사거리  |
| SH-2 | 저수지 유입전<br>교량 |



<그림4-8> 신희저수지 유입하천  
조사지점 위치

(표4-18) 신희저수지 수질조사 결과

|      | 누가<br>거리<br>(km) | 수온<br>(°C) | BOD<br>(mg/L) | COD<br>(mg/L) | T-N<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | T-P<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | 수면폭<br>m | 평균수심<br>m | 평균유속<br>m/s | 유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|------|------------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------------------|
| SH-1 | 0                | 24.39      | 5.3           | 7.6           | 5.426         | 0.983                        | 4.101                        | 0.706         | 0.05                         | 1.7      | 0.1       | 0.152       | 0.024                   |
| SH-2 | 0.5              | 25.03      | 5.2           | 7.4           | 3.955         | 0.959                        | 2.736                        | 0.557         | 0.045                        | 2.6      | 0.1       | 0.219       | 0.054                   |

## 2절 농업용저수지 유입하천의 반응상수 도출

### 1. 1차반응식

유기물이 농업용저수지 유입하천에 유입될 경우 하류로 이동하면서 어느 정도 감소되는지를 분석하였다. 유기물이 시간에 대해 1차 반응을 하며 감소한다고 가정하여 유기물의 농도변화를 1차반응식을 이용해 분석하였다. 시간에 따른 유기물 농도의 변화는 (식4-1)을 이용해 계산할 수 있으며, 이 식을 반응상수  $k$ 에 대해 정리하면 (식4-2)와 같은 식이 된다.

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (\text{식4-1})$$

$$k = -\frac{1}{t} \text{Ln} \left( \frac{C}{C_0} \right) \quad (\text{식4-2})$$

여기서  $C$ : COD 농도,  $C_0$ : 초기 COD 농도,  $k$ : COD의 반응상수,  $t$ : 시간 (day)

현장에서 반응상수  $k$ 를 도출하기 위해서는 (식4-2)에 초기 COD농도(상류농도), 후기COD농도(하류농도) 및 상류에서 하류까지 유기물이 이동하는데 소요된 시간(유하시간)을 대입해 계산할 수 있다. 유하시간은 두지점사이의 거리와 평균 유속을 이용해 거리를 평균유속으로 나눠 얻을 수 있다.

오염물질의 반응상수는 온도에 큰 영향을 받는다. 대부분의 오염물질은 높은 온도에서 반응이 활발히 일어나 반응상수가 크게 나타나고, 낮은 온도에서는 반응이 느리게 일어나 반응상수가 작게 나타난다. 그러므로 서로 다른 수온조건에서 실측된 자료를 바탕으로 도출된 반응상수는 동일한 온도조건으로 변환하여 비교 및 분석을 해야 한다. 일반적으로 표준온도 20°C로 변환하여 사용하며, 변환을 위해 Arrhenius 식을 많이 이용한다.

$$k_{20} = k_T \times \theta^{(20 - T)} \quad (\text{식4-3})$$

여기서,  $k_{20}$ : 20°C일때의 반응상수,  $k_T$ :  $T$ °C일때의 반응상수,  $\theta$ : 온도보정계수,  $T$ :수온

온도보정계수( $\theta$ )는 환경부(2003)의 연구에서 실내실험을 통해 얻은 온도별 유기물의 일차반응상수를 바탕으로 온도보정계수를 도출하여 사용하였다. 도

출된 온도보정계수는 1.047로 대부분의 수질모델에서 이용하는 범위와 비슷한 값을 나타내었다.

## 2. 반응상수 도출

앞 절에서 실측한 수질조사결과를 바탕으로 각 구간에서 실측한 시작점농도( $C_0$ ), 종점농도( $C$ ), 그리고 평균유속과 구간거리로부터 도출한 유하시간( $t$ )을 (식4-2)에 대입하여 각 구간별 반응상수를 계산하였다. 이렇게 얻은 반응상수를 (식4-3)을 이용해 20°C로 변환하여, 표준온도에서의 반응상수를 최종 도출하였으며, 그 결과는 (표4-19)와 같다. 14개 구간에 대해 실측한 수질자료를 바탕으로 유기물(COD) 반응상수를 도출한 결과 유기물 반응상수가 0.98로 나타났으며, 이 값은 국내 및 국외 유기물의 반응상수 평균값인 0.84 및 0.96과 비슷한 범위를 나타내었다.

(표4-19) 유기물(COD) 반응상수 산정

| 하천    | 구간     | 구간거리 (km) | 시작농도 (mg/L) | 종점농도 (mg/L) | 평균수온 (°C) | 평균유속 (m/s)  | 유하시간 (day) | $k_t$ | $k_{20}$    |
|-------|--------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|------------|-------|-------------|
| 이동    | 3~4    | 0.939     | 3.6         | 3.4         | 27        | 0.275       | 0.039      | 1.45  | 1.05        |
| 만수    | 3~4    | 0.241     | 39          | 38          | 33        | 0.090       | 0.031      | 0.84  | 0.46        |
| 쌍지1차  | sj8~9  | 0.35      | 2.4         | 2.3         | 22        | 0.030       | 0.135      | 0.32  | 0.29        |
| 쌍지3차  | sj7~9  | 1.032     | 2.6         | 2.2         | 18        | 0.021       | 0.569      | 0.29  | 0.33        |
| 쌍지2차  | sj7~8  | 0.682     | 2.7         | 2.4         | 21        | 0.038       | 0.210      | 0.56  | 0.52        |
| 쌍지3차  | sj7~8  | 0.682     | 2.6         | 2.3         | 18        | 0.038       | 0.210      | 0.58  | 0.64        |
| 면천A3차 | MCA1~3 | 0.5       | 5.7         | 3.8         | 25        | 0.012       | 0.503      | 0.81  | 0.64        |
| 면천A2차 | MCA1~3 | 0.5       | 5.5         | 3.5         | 23        | 0.010       | 0.559      | 0.81  | 0.72        |
| 면천A3차 | MCA1~2 | 0.25      | 5.7         | 4.4         | 24        | 0.013       | 0.223      | 1.16  | 0.96        |
| 면천B2차 | MCB1~2 | 0.25      | 14.5        | 11.6        | 28        | 0.026       | 0.113      | 1.97  | 1.36        |
| 면천A2차 | MCA1~2 | 0.25      | 5.5         | 3.5         | 22        | 0.012       | 0.234      | 1.93  | 1.73        |
| 면천B3차 | MCB2~3 | 0.25      | 4.6         | 3.1         | 28        | 0.019       | 0.152      | 2.59  | 1.83        |
| 면천B1차 | MCB1~3 | 0.5       | 9           | 8.6         | 25        | 0.123       | 0.047      | 0.96  | 0.75        |
| 면천B3차 | MCB1~3 | 0.5       | 10.1        | 3.1         | 27        | 0.016       | 0.362      | 3.27  | 2.42        |
| 평균    |        | 0.49      | 8.11        | 6.59        | 24.34     | <b>0.05</b> | 0.24       | 1.25  | <b>0.98</b> |

실내실험을 통한 유기물의 일차반응상수 도출에 관한 연구(환경부, 2003)의 결과를 보면, 유기물 반응상수는 온도의 영향을 크게 받을 뿐만 아니라, 유속의 영향도 크게 받는 것으로 나타났다. 유속변화에 따른 유기물의 일차반응식 및 반응계수는 (표4-20)과 같이 나타났다. (표4-20)에 의하면, 유속 0.1m/s 일 때 반응상수 0.8968이었으나, 유속이 0.2m/s로 증가하면, 반응상수는 1.3224로 약 1.5배 증가하는 것으로 나타났다.

(표4-20) 유속변화에 따른 유기물의 일차반응식

| 유속     | 일차반응식                         | R <sup>2</sup> |
|--------|-------------------------------|----------------|
| 0.1m/s | $C = C_0 \times e^{-0.8968t}$ | 0.95           |
| 0.2m/s | $C = C_0 \times e^{-1.3224t}$ | 0.97           |

출처 : 환경부(2003)

일차반응상수를 도출하기 위해 실측한 하천구간의 평균 유속은 (표4-19)에서와 같이 0.05m/s로 나타났으며, 전국농업용저수지 유입하천의 평균유속은 3장에서와 같이 0.18m/s로 나타났다. 전국농업용저수지 유입하천의 평균 일차반응상수값을 얻기 위해서는 현장에서 실측해 얻은 일차반응상수를 환경부(2003) 연구결과에서와 같이 유속과 반응상수와의 관계를 이용해 평균유속 0.18m/s에 대한 반응상수값을 계산하면 1.61값이 된다. 그러므로 전국농업용저수지 유입하천의 평균유속은 0.18m/s이며, 평균 일차반응상수는 1.61인 것으로 나타났으며, 이 값을 이용해 다음 장에서 농업용저수지 수질보호를 위한 상류유역 오염원입지 제한거리를 산정하는데 이용하였다.

### 3절 입지제한거리 산정을 위한 모델 구축

#### 1. 모형개요

QUAL2E 모델은 미국 EPA에서 QUAL-I 모델에 예측수질항목을 추가하여 발전시킨 QUAL-II 모델을 PC에서 사용가능하도록 만든 것이다. 이 모델은 이전의 모델에 비해 조류와 용존산소와의 상호관계, 온도보정계수, 댐에 의한 하천수의 산소공급 및 비보존성 물질과 3가지의 보존성 물질, 입·출력 방법 개량 등을 보완시킨 1차원 수질 예측 모델로서 1차원 정상상태(Stedy state)에서 예측할 수 있다.

대상하천을 수리학적 특성이 유사한 대구간(Reach)으로 나누고 대구간을 다시 계산이 실제로 이루어지는 소구간(Element)으로 나눈다. 소구간은 특성에 따라 수원 소구간(Headwater element), 표준 소구간(Standard element), 지류 합류점 직상류 본류 소구간(Element just upstream form a junction), 지류 합류점 본류 소구간(Junction element), 최하류 소구간(Last element in system), 점오염원 유입소구간(Input element), 취수 소구간(Withdrawl element)으로 구분한다. 모델에 적용 가능한 대구간(Reach)은 최대 50개 이며 대구간당 소구간(element)수는 20을 넘을 수 없고 소구간은 총 500개를 초과할 수 없다. 또한 합류점 소구간(Junction element)은 9개까지, 수원 소구간(Headwater element)은 10개까지, 점오염원 유입소구간(Input element)과 취수 소구간(Withdrawl element)은 50개까지 사용 가능하다.

#### 가. 수체의 모식화

수질예측 대상하천에 대해 경계구역을 설정한 후 수리학적 특성이 유사한 구간을 Reach로 나누고 Reach를 다시 적당한 길이로 나누어 구체적인 계산이 수행되는 Element(Element의 각각의 길이는 동일하여야 함)를 설정한다. 모식 도상에 오염원의 유입지점, 지류 유입, 댐 등의 하천구조물 및 용수 취수 등의 상황을 표시한다.

#### 나. 자료 입력 file의 작성

QUAL2E 모델의 자료입력 file에 입력되는 사항은 모델 수행제어 관련사항, 입·출력 옵션, 모델수행 전체에 영향을 미치는 하천시스템의 기상, 기후 및 지형, 온도 보정계수, 하천구간 식별 및 위치, 희석유량, Element의 유형식별

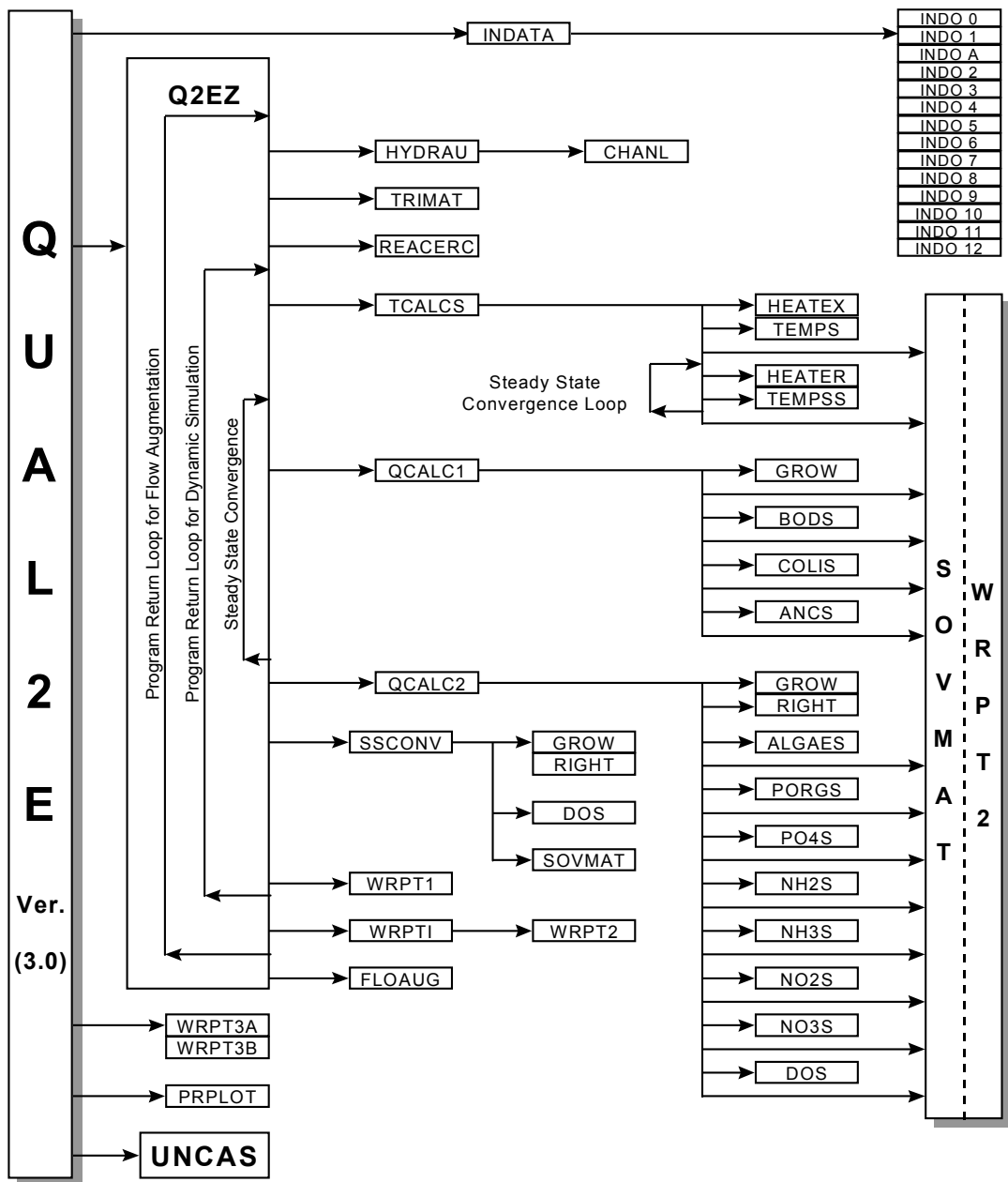
자료, 하도의 수리계수, BOD와 DO의 반응계수, N와 P의 반응계수, 조류와 기타 항목의 반응계수, 비점원의 증분 유입자료, 하천 합류점 자료, 상류 수원자료, 점오염원의 오염부하량 자료, 댐의 재폭기 사항, 하천 경계조건, 기상 자료 및 그림출력 사항 등인데 하도의 수리계수와 수질 관련 반응계수를 제외한 나머지 사항들은 사용자 메뉴얼과 관련보고서 등을 이용하여 설정할 수 있다.

#### 다. 수리 및 수질계수의 결정

QUAL2E 모델에 입력되는 수리계수(유량계수)는 대상 하천의 유량, 유속 및 수심자료를 회귀분석하여 구하게 되며 이러한 수리자료는 실측자료를 이용하거나 수리 모델을 이용하여 구한다. 일반적으로 실측자료는 수질예측구간이 광범위할 때는 거의 얻기가 불가능하므로 수리모델을 이용하여 구한다. 수리모델은 개발된 것이 많이 있으나 그 중에서 미국 공병단 수문연구소에서 개발한 HEC-2 모델을 많이 사용한다. 수리모델을 수행하기 위한 입력자료는 하도의 유하량, 지점수위, 하도의 조도계수, 하도의 종·횡단 측량성과 자료 및 하도상의 수리시설 관련자료 등이다.

수질계수는 BOD와 COD의 관계를 결정하는 계수와 조류와 영양염류와의 관계를 결정하는 계수로 나누어지는데 실제로 수질예측 대상하천에 이와 같은 수질계수를 적용하기 위해서는 직접 실측하여야 한다. 그러나 여기에는 많은 시간과 경비가 소요되므로 실제로는 모델 사용메뉴얼 상에 제시된 범위의 값 중 적당한 값을 가정하여 모델을 수행한 후 실측값과 예측값을 비교하여 잘 일치될 때까지 반복하여 가정한다.





<그림4-9> QUAL2E 모형의 구조

### 라. 모형의 보정 및 검증

입력자료 file이 작성된 후 모델링이 수행되는데 모델링 수행 결과치와 실측치가 일치하지 않으면 수질계수를 재조정하여 예측치와 실측치를 일치시키는 보정작업을 수행하게 된다. 보정작업은 수질계수를 적절히 가정하여 예측값과 실측값을 비교하고, 오차가 발생하면 다시 재조정하는 과정을 반복하여 실측

치와 일치시키는 시행착오법을 이용하게 된다. 보정작업을 수행한 모델은 별도의 조건에서 모델링을 수행한 예측치와 실측치가 잘 맞는지를 파악하는 검증작업을 하게 되며 검증결과 잘 일치하면 비로소 해당 목적의 수질 관리를 위한 수질예측 작업을 수행할 수 있게 된다.

## 2. 모형 구축

### 가. 대상하천의 모형화 구조

하천수질변화 모의를 위한 하천구간의 모형구축을 위해 대상구간을 수리학적 특성 및 자연조건을 고려하여 <그림4-10>와 같이 구간을 분할하였다. 수리계산을 위한 계산요소(computational element)의 길이는 0.4km로 적용하였다.

| Ⅲ구간     | S21       | <table border="1"> <thead> <tr> <th>REACH NO.</th> <th>REACH NAME</th> <th>BEGIN RIVER (km)</th> <th>END RIVER (km)</th> <th>HEADWATER</th> <th>Delta-X (km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>s1</td><td>5.2</td><td>2.8</td><td>√</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>2</td><td>u1</td><td>0.4</td><td>0.0</td><td>√</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>3</td><td>s2</td><td>2.8</td><td>0.8</td><td></td><td>0.2</td></tr> <tr><td>4</td><td>u2</td><td>0.4</td><td>0.0</td><td>√</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>s3</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td></td><td>0.2</td></tr> <tr><td>6</td><td>u3</td><td>0.4</td><td>0.0</td><td>√</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>s4</td><td>0.4</td><td>-0.4</td><td></td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table><br><table border="1"> <thead> <tr> <th>REACH NO.</th> <th>TOTAL ELE</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> <th>16</th> <th>17</th> <th>18</th> <th>19</th> <th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>12</td><td>H</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>U</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>H</td><td>S</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>10</td><td>J</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>S</td><td>U</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>H</td><td>S</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td><td>J</td><td>U</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>H</td><td>S</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>4</td><td>J</td><td>S</td><td>S</td><td>E</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> | REACH NO.  | REACH NAME       | BEGIN RIVER (km) | END RIVER (km) | HEADWATER    | Delta-X (km) | 1 | s1 | 5.2 | 2.8 | √  | 0.2 | 2  | u1 | 0.4 | 0.0 | √  | 0.2 | 3  | s2 | 2.8 | 0.8 |  | 0.2 | 4 | u2 | 0.4 | 0.0 | √ | 0.2 | 5 | s3 | 0.8 | 0.4 |  | 0.2 | 6 | u3 | 0.4 | 0.0 | √ | 0.2 | 7 | s4 | 0.4 | -0.4 |  | 0.2 | REACH NO. | TOTAL ELE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 1 | 12 | H | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | U |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 | 2 | H | S |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 | 10 | J | S | S | S | S | S | S | S | S | U |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4 | 2 | H | S |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5 | 2 | J | U |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6 | 2 | H | S |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 7 | 4 | J | S | S | E |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|-----------|--|------------|------------------|------------------|----------------|--------------|--------------|---|----|-----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|--|-----|---|----|-----|-----|---|-----|---|----|-----|-----|--|-----|---|----|-----|-----|---|-----|---|----|-----|------|--|-----|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|         | REACH NO. |  | REACH NAME | BEGIN RIVER (km) | END RIVER (km)   | HEADWATER      | Delta-X (km) |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 1         |  | s1         | 5.2              | 2.8              | √              | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 2         |  | u1         | 0.4              | 0.0              | √              | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 3         |  | s2         | 2.8              | 0.8              |                | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 4         |  | u2         | 0.4              | 0.0              | √              | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 5         |  | s3         | 0.8              | 0.4              |                | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 6         |  | u3         | 0.4              | 0.0              | √              | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 7         |  | s4         | 0.4              | -0.4             |                | 0.2          |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | REACH NO. |  | TOTAL ELE  | 1                | 2                | 3              | 4            | 5            | 6 | 7  | 8   | 9   | 10 | 11  | 12 | 13 | 14  | 15  | 16 | 17  | 18 | 19 | 20  |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 1         |  | 12         | H                | S                | S              | S            | S            | S | S  | S   | S   | S  | S   | U  |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 2         |  | 2          | H                | S                |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 3         |  | 10         | J                | S                | S              | S            | S            | S | S  | S   | S   | U  |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 4         |  | 2          | H                | S                |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 5         |  | 2          | J                | U                |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 6         |  | 2          | H                | S                |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 7         |  | 4          | J                | S                | S              | E            |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | S19       |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | S18       |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|         | S17       |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S16     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S15     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S14 S01 |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S13     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S12     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S11     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S14     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S13     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S12     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S11     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S10     |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S7 S02  |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S5 S03  |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S2      |           |  |            |                  |                  |                |              |              |   |    |     |     |    |     |    |    |     |     |    |     |    |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |     |  |     |   |    |     |     |   |     |   |    |     |      |  |     |           |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

<그림4-10> Element 설정

### 나. 수원(Headwater) 자료 입력

유역 최상류의 수원 자료를 입력하는 것으로 각 모의구간별 최상류지점 유량 및 수질자료와 합류지류의 유량 및 수질자료를 입력하였다(그림4-11).

| III구간 | HEADWATER NAME | FLOW (m3/s) | TEMP (C) | DO (mg/l) | BOD (mg/l) | CONS #1 | CONS #2 | CONS #3 | NON-CONS | COLIFORM (No./100ml) | CHL-A (ug/l) | ORG-N (mg/l) | NH3-N (mg/l) | NO2-N (mg/l) | NO3-N (mg/l) | ORG-P (mg/l) | DIS-P (mg/l) |
|-------|----------------|-------------|----------|-----------|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       | s1             | 0.93        | 20.5     |           | 4.0        |         |         |         |          |                      |              |              | 0.711        | 0.453        | 0            | 2.653        | 0.191        |
| u1    | 0.07           | 19.9        |          | 3.0       |            |         |         |         |          |                      |              | 0.684        | 0.329        | 0            | 2.117        | 0.082        | 0.019        |
| u2    | 0.05           | 18.8        |          | 3.3       |            |         |         |         |          |                      |              | 0.839        | 0.320        | 0            | 2.136        | 0.086        | 0.021        |
| u3    | 0.12           | 19.7        |          | 2.1       |            |         |         |         |          |                      |              | 0.565        | 0.154        | 0            | 1.289        | 0.024        | 0.010        |

<그림4-11> 수원(Headwater) 자료 입력

#### 다. 수리계수

수리학적 구성자료를 입력하기 위한 것으로 기하학적인 표현을 이용하기 위한 "Trapezoidal channels" 옵션을 선택 적용하게 되면, 각 구간을 사다리꼴 단면으로 표현하여 경사, Manning의 n의 값이 각 구간에 따라 다른 값을 이용하게 된다. 본 연구에서는 송전천 I구간과 II구간 모두 확산상수, 속도계수, 수심 및 깊이 지수 등의 함수적 기법을 이용하여 수리계산을 수행하였다.

**Etc Option**

Flow Augmentation

Trapezoidal channels

| Hydraulic Data |                       |             |           |               |             |         |  |
|----------------|-----------------------|-------------|-----------|---------------|-------------|---------|--|
| REACH NO       | DISPER CONST [m2/day] | Q COEFF VEL | Q EXP VEL | Q COEFF DEPTH | Q EXP DEPTH | MANNING |  |
| 1              | 60                    | 0.25        | 0.3       | 0.44          | 0.55        | 0.04    |  |
| 2              | 60                    | 0.38        | 0.37      | 0.51          | 0.61        | 0.04    |  |
| 3              | 120                   | 0.28        | 0.35      | 0.48          | 0.58        | 0.04    |  |

<그림4-12> 수리 자료 입력

#### 라. BOD 및 DO 반응계수 입력

BOD 및 DO 반응계수를 입력하기 위해 예측 하천의 구간별 BOD 분해율, 침전율, 퇴적물산소요구량(SOD)과 재폭기 계수(K2)를 계산하는 방법을 선택하여 입력하였다. BOD 및 DO 반응계수는 모형의 보정을 위해 활용되는 주요 매개변수 중의 하나이다.

- ▶ BOD DECAY(K1, 1/day) : BOD 분해율 계수
- ▶ BOD SETTLING(K3, 1/day) : 침전에 의한 BOD 제거율
- ▶ SOD RATE(K4, mg O/m<sup>2</sup> day) : Sediment Oxygen Demand
- ▶ TYPE REAERATION(K2) : 재폭기 계수의 선택

| Ⅲ구간       | REACH NO.              | BOD DECAY [1/day]    | BOD SETTLING [1/day]  | SOD RATE [g/m <sup>2</sup> -day]     | TYPE REAERATION       | REAERATION COEFF. | COEFF [1/m]          | EXPONENT                               |
|-----------|------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|--|
|           | 1                      | 0.1                  | 1.2                   |                                      | O'Connor and Dobbins  |                   |                      |  |
|           | 2                      | 0.1                  | 0.3                   |                                      |                       |                   |                      |  |
|           | 3                      | 0.1                  | 1.2                   |                                      |                       |                   |                      |  |
|           | 4                      | 0.1                  | 0.3                   |                                      |                       |                   |                      |  |
|           | 5                      | 0.1                  | 0.3                   |                                      |                       |                   |                      |  |
|           | 6                      | 0.1                  | 0.7                   |                                      |                       |                   |                      |  |
|           | 7                      | 0.1                  | 0.3                   |                                      |                       |                   |                      |  |
| REACH NO. | O-N HYDROLYSIS [1/day] | O-N SETTLING [1/day] | NH3 OXIDATION [1/day] | NH3 BENTHOS [mg/m <sup>2</sup> -day] | NO2 OXIDATION [1/day] | O-P DECAY [1/day] | O-P SETTLING [1/day] | DIS-P BENTHOS [mg/m <sup>2</sup> -day] |
| 1         | 0.4                    | 10                   | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 12                   | 0                                      |
| 2         | 0.4                    | 0.5                  | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 0.1                  | 0                                      |
| 3         | 0.4                    | 10                   | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 10                   | 0                                      |
| 4         | 0.4                    | 0.5                  | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 0.1                  | 0                                      |
| 5         | 0.4                    | 0.1                  | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 0.1                  | 0                                      |
| 6         | 0.4                    | 0.5                  | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 0.5                  | 0                                      |
| 7         | 0.4                    | 10                   | 1                     | 0                                    | 0                     | 0.6               | 5                    | 0                                      |

<그림4-13> BOD 및 DO 반응계수 입력

### 마. 하천의 초기상태 입력

각 구간별 온도, 용존산소, BOD농도, 보전성 물질 등을 입력하여 하천 시스템의 초기조건을 설정하여 준다. 본 연구에서는 각 구간별로 3회에 걸쳐 측정된 수질자료의 평균값을 적용하였다.

| Ⅲ구간 | REACH NO. | TEMP [C] | DO [mg/l] | BOD [mg/l] | CONS #1 | CONS #2 | CONS #3 | NON-CONS | COLIFORM [No./100ml] | CHL-A [ug/l] | ORG-N [mg/l] | NH3-N [mg/l] | NO2-N [mg/l] | NO3-N [mg/l] | ORG-P [mg/l] | DIS-P [mg/l] |
|-----|-----------|----------|-----------|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|     | 1         | 20.3     |           | 3.4        |         |         |         |          |                      |              | 0.892        | 0.388        | 0            | 2.240        | 0.104        | 0.023        |
|     | 2         | 19.9     |           | 3.0        |         |         |         |          |                      |              | 0.684        | 0.329        | 0            | 2.117        | 0.082        | 0.019        |
|     | 3         | 20.3     |           | 2.4        |         |         |         |          |                      |              | 0.634        | 0.212        | 0            | 1.588        | 0.048        | 0.015        |
|     | 4         | 18.0     |           | 3.3        |         |         |         |          |                      |              | 0.839        | 0.320        | 0            | 2.136        | 0.086        | 0.021        |
|     | 5         | 20.6     |           | 2.5        |         |         |         |          |                      |              | 0.816        | 0.221        | 0            | 1.451        | 0.031        | 0.017        |
|     | 6         | 19.7     |           | 2.1        |         |         |         |          |                      |              | 0.565        | 0.154        | 0            | 1.289        | 0.024        | 0.010        |
|     | 7         | 20.5     |           | 2.3        |         |         |         |          |                      |              | 0.464        | 0.194        | 0            | 1.472        | 0.032        | 0.017        |

<그림4-14> 하천 초기상태 입력

### (1) 증가유입유량 입력

각 구간에 있어 추가되는 유량을 입력할 때 활용되며, 점오염 유입 유량과 수원에 의한 것은 설명 되지 않는다. 정상상태에서는 유입 유량이 각 구간에서 일정하다고 가정하며 기본적인 지하수유입과 지표수 유출이 대략 시간이 지남에 따라 일정하다고 가정하지만 특별한 이유 없이 BOD가 높아진 경우에 이 항목을 고려하여 보정하여 준다. 지표수의 유량이 지하수로 변환되어 하류의 유량이 감소하였을 때에는 유량을 “-”로 표현한다. 본 연구에서는 구간별 유량의 증가분을 적용하기 위해 증가유입유량 매개변수를 보정하여 적용하였다.

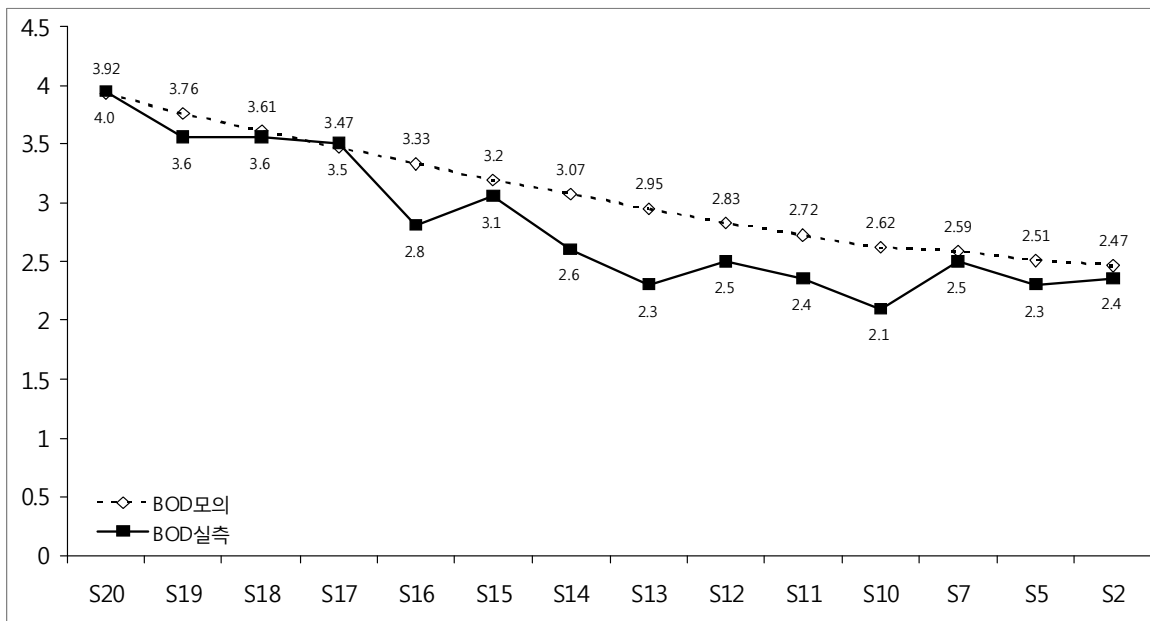
| Ⅲ구간 | REACH NO. | FLOW [m <sup>3</sup> /s] | TEMP [C] | DO [mg/l] | BOD [mg/l] | CONS #1 | CONS #2 | CONS #3 | NON-CONS | COLIFORM [No./100ml] | CHL-A [ug/l] | ORG-N [mg/l] | NH3-N [mg/l] | NO2-N [mg/l] | NO3-N [mg/l] | ORG-P [mg/l] | DIS-P [mg/l] |       |
|-----|-----------|--------------------------|----------|-----------|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
|     | 1         | 0.15                     | 20       |           | 0.25       |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0.046        | 0.001 |
|     | 2         | 0                        | 20       |           | 0          |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0     |
|     | 3         | 0.2                      | 20       |           | 0.2        |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0.008        | 0.002 |
|     | 4         | 0                        | 20       |           | 0          |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0     |
|     | 5         | 0                        | 20       |           | 0          |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0     |
|     | 6         | 0                        | 20       |           | 0          |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0     |
|     | 7         | 0.15                     | 20       |           | 0.05       |         |         |         |          |                      |              |              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0     |

<그림4-15> 증가유입유량 입력

### 3. 모의결과

#### 가. BOD

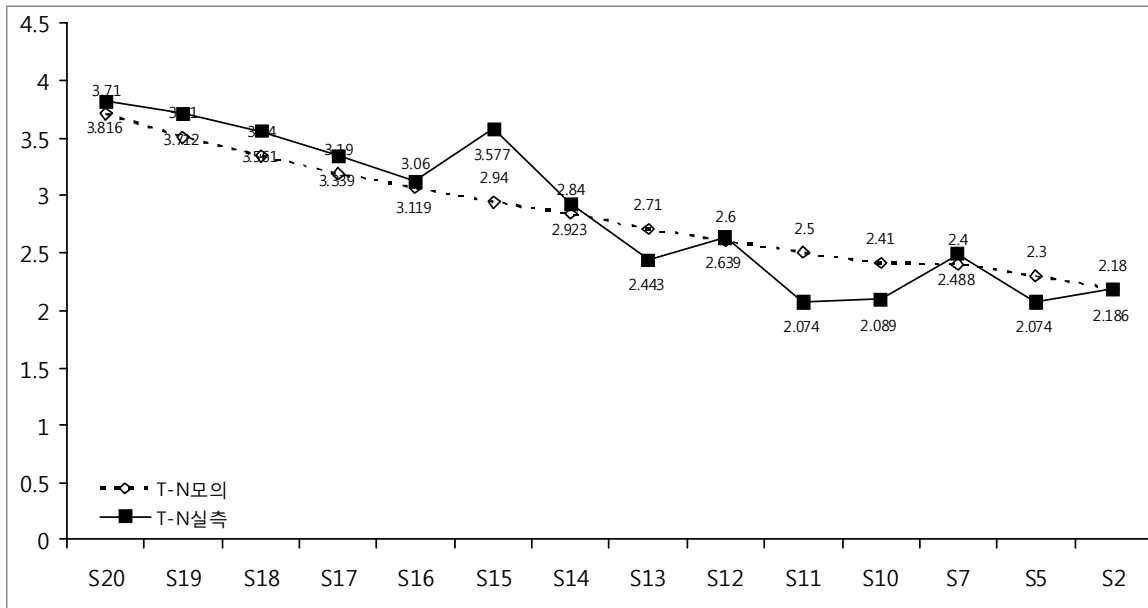
BOD 하천수질변화 모의는 송전천 각 구간에 대하여 <그림4-16>에서 나타내는 바와 같은 결과를 나타내었다. 하천수질모형에서는 각 구간별 실측평균 자료를 이용해 보정하였다. 최상류 농도값을 기준으로 점진적인 농도 감소 현상을 보이다가 S15지점 직후와 S6지점 직후에 유입되는 지류에 의해 큰 폭으로 감소하고, 이후 점진적인 감소현상을 보이고 있다.



<그림4-16> 송전천 구간별 BOD 모의결과

#### 나. T-N

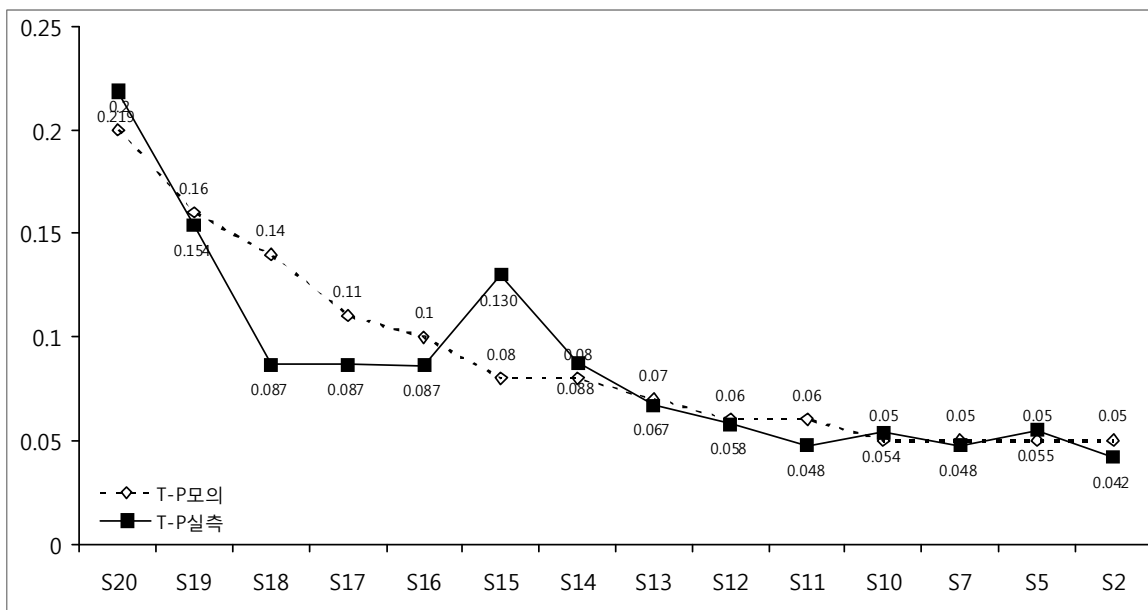
총질소(T-N)는 S15지점 이후 지류 유입에 의한 농도감소 현상이 두드러지게 나타나기 때문에 이를 보정하기 위해서 질소, 인 반응계수를 적용하였고, 모의구간 최하류 S12지점에서의 농도값을 보정하여 모의하였다. 송전천의 경우는 총질소 실측 농도값의 변화가 구간별로 오름, 내림현상이 불규칙적으로 나타났기 때문에 최상류 농도에서 최하류 농도변화폭을 적용하여 매개변수를 적용 모형을 보정하였다. 송전천 각 구간에 대한 모형보정 모의결과는 <그림 4-17>에서 제시하였다.



<그림4-17> 송전천 구간별 T-N 모의결과

#### 다. T-P

총인(T-P)의 수질측정값은 <그림4-18>에서 보는바와 같이 변화폭이 매우 크다. 실측값을 살펴보면 요소구간마다 농도 상승, 하강이 불규칙적으로 반복됨을 알 수 있다. 구간 하단 S15지점에서 최상류 지점의 농도로 안정화 되며, 이후 지류유입에 의한 자연적인 농도변화 양상을 나타내고 있다. 모형에서는 이러한 현상을 최대한 반영하였으며 보정 후 구축하였다. 송전천 요소거리별 농도변화는 매우 불규칙적인 반응을 보이고 있다.



<그림4-18> 송전천 구간별 T-P 모의결과

# 5. 농업용저수지 유역내 오염원입지 제한 방안





## 5장 농업용저수지 유역내 오염원입지 제한 방안

### 1절 산정 기준별 필요한 이격거리

#### 1. 방류수의 농도가 일정 비율 또는 농도로 감소되는데 필요한 거리

##### 가. 일차반응식을 이용하는 방법

오염원입지 관련 타 연구에서는 대부분 일차반응식을 이용해 공장으로부터 배출된 농도가 일정비율(50%) 감소되는데 필요한 거리를 오염원입지 제한 거리로 이용하고 있다. 앞에서 도출된 평균유속(0.18m/s)과 분해상수(1.61/day) 및 일차반응식을 이용해 배출된 유기물이 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10% 감소되는데 필요한 거리는 다음과 같이 산정할 수 있다. 방류수농도가 방류수수질기준(40mg/L)와 동일하다고 가정할 경우, 일정농도로 감소되는데 필요한 거리는 (표5-1)과 같이 일정비율 감소되는데 필요한 거리와 동일하게 된다.

(식5-1)에서 초기 농도가 일정비율 또는 일정농도로 감소되기 위한 시간은  $C_d/C_0$ 의 값으로 1-감소비율(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)을 입력하거나,  $C_d$ 값으로 일정농도 값을 입력하여 계산할 수 있으며, 이 값에 유속을 곱하면 필요한 이격거리를 계산할 수 있다. 도출된 반응상수와 평균유속 및 (식5-1)을 (식5-2)에 대입해 재정리 하면 (식5-3)과 같다.

$$t_d = -\frac{1}{k} \ln\left(\frac{C_d}{C_0}\right) \quad (\text{식5-1})$$

$$D = t_d \cdot V \quad (\text{식5-2})$$

$$D = -9.66 \ln\left(\frac{C_d}{C_0}\right) \quad (\text{식5-3})$$

여기서,  $t_d$ : 소요시간(day),  $C_0$ : 오염원 유입 농도(mg/L),  $C_d$ : 목표 수질농도(mg/L),  $k$ : 오염물질 감소계수(/day),  $V$ : 유속(km/day),  $D$ : 필요한 이격 거리(km)

위의 방법으로 배출된 유기물이 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10% 감소되는데 필요한 거리는 각각 15.5km, 11.6km, 8.9km, 6.7km, 4.9km, 3.4km, 2.2km, 1.0km 이며, 방류수의 농도(COD, 40mg/L)가 수질기준(8mg/L) 이하로 감소하는데 필요한 이격거리는 15.5km이다.

현행의 상수원보호구역 및 오염원입지 제한거리는 오염물질의 반감기를 기준으로 도입된 것이다. 그러나 저수지의 수질은 오염물질의 반감기에 의하여 결정되기 보다는 유입된 오염물질이 수질기준 이하의 농도로 감소될 수 있는 하천 유하거리 확보를 기준으로 하는것이 이론적으로 타당하다.

(표5-1) 오염물질 감소비율별 필요한 이격거리

|              |      |      |     |     |     |     |     |     |
|--------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 감소비율(%)      | 80%  | 70%  | 60% | 50% | 40% | 30% | 20% | 10% |
| 목표농도(mg/L)   | 8    | 12   | 16  | 20  | 24  | 28  | 32  | 36  |
| 필요한 이격거리(km) | 15.5 | 11.6 | 8.9 | 6.7 | 4.9 | 3.4 | 2.2 | 1.0 |

#### 나. 수질 모델을 이용하는 방법

농업용저수지의 수질확보를 위해 상류지역에서의 오염원 유입에 대한 적정 이격거리를 산정하는 또다른 방법으로 수질모델을 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 앞에서 구축 및 보정된 하천수질모형을 이용하여 최상류에서의 유입 농도에 따라 유하거리별 농도변화율을 산정한 후 BOD 농도변화를 통해 상류 유입 BOD 농도 대비 일정비율 농도저감이 나타나는데 필요한 유하거리를 계산할 수 있다. 이 방법은 아래와 같은 절차에 의해 산정된다.

- ① 평시 유량, 농도, 부하량자료를 이용해 수질모델 구축·보정 (BOD)
- ② 구축된 모델의 최상류지점 BOD농도를 증가시키면서 하천 수질 예측
- ③ 하천 각 구간의 예측 농도차 = (②결과 - ①결과)
- ④ BOD농도비율 = ③ / (최상류지점의 농도차)
- ⑤ 유하거리 vs BOD비율 그림에서 BOD비율이 일정비율이 되는 지점의 유하거리

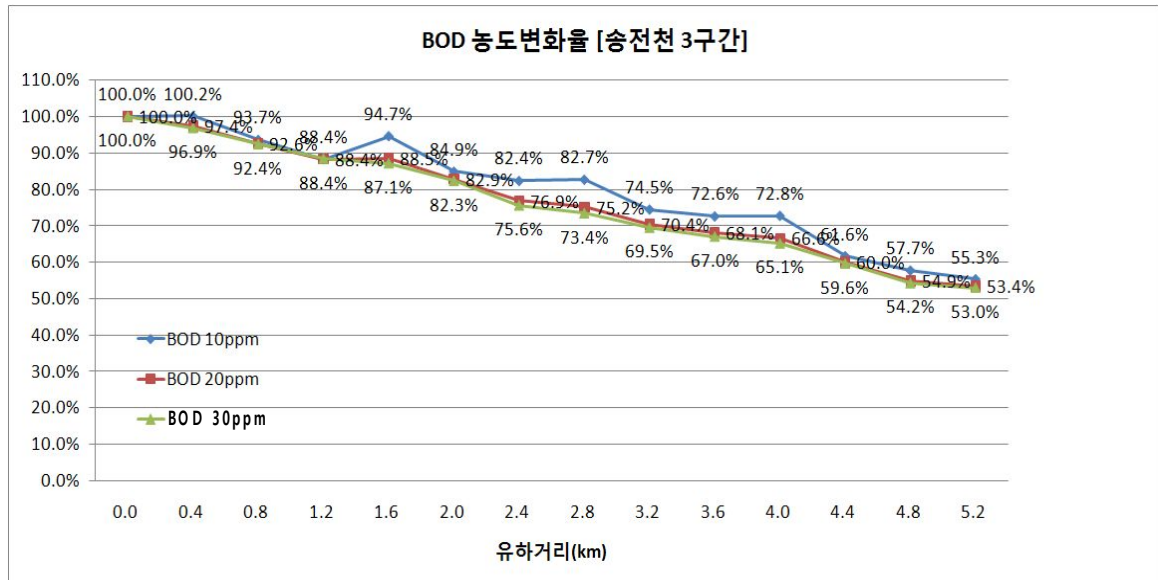
BOD 농도변화율을 모의하기 위하여 최상류의 농도가 보정값인 BOD 농도 4.0mg/L를 기준으로 BOD 10mg/L, 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준인 BOD 20.0mg/L으로 각각 적용하였다. ②식을 적용하기 위해 최상류 유입 BOD 농도 변화에 따른 각 구간별 하천수질을 예측하였고, ③식에 따라 기준 BOD 농도와 의 농도차를 제시하였으며, ④식을 통해 BOD 농도변화율을 산정하였다.

(표5-2) 송전천 III구간 BOD 농도변화율

| 송전선 III | 누적거리<br>(km) | BOD<br>실측값 | 상류유입 BOD농도(ppm) |      |      | 예측농도차(ppm) |      |      | BOD농도변화율(ppm) |        |        |
|---------|--------------|------------|-----------------|------|------|------------|------|------|---------------|--------|--------|
|         |              |            | 10.0            | 20.0 | 30.0 | 10.0       | 20.0 | 30.0 | 10.0          | 20.0   | 30.0   |
| S20     | 0.0          | 4.0        | 9.8             | 19.6 | 29.4 | 5.8        | 15.6 | 25.4 | 100.0%        | 100.0% | 100.0% |
| S19     | 0.4          | 3.6        | 9.4             | 18.8 | 28.2 | 5.9        | 15.2 | 24.6 | 100.2%        | 97.4%  | 96.9%  |
| S18     | 0.8          | 3.6        | 9.0             | 18.0 | 27.0 | 5.5        | 14.5 | 23.5 | 93.7%         | 92.6%  | 92.4%  |
| S17     | 1.2          | 3.5        | 8.7             | 17.3 | 26.0 | 5.2        | 13.8 | 22.5 | 88.4%         | 88.4%  | 88.4%  |
| S16     | 1.6          | 2.8        | 8.3             | 16.6 | 25.0 | 5.5        | 13.8 | 22.2 | 94.7%         | 88.5%  | 87.1%  |
| S15     | 2.0          | 3.1        | 8.0             | 16.0 | 24.0 | 5.0        | 13.0 | 20.9 | 84.9%         | 82.9%  | 82.3%  |
| S14     | 2.4          | 2.6        | 7.4             | 14.6 | 21.8 | 4.8        | 12.0 | 19.2 | 82.4%         | 76.9%  | 75.6%  |
| S13     | 2.8          | 2.3        | 7.1             | 14.1 | 21.0 | 4.8        | 11.8 | 18.7 | 82.7%         | 75.2%  | 73.4%  |
| S12     | 3.2          | 2.5        | 6.9             | 13.5 | 20.2 | 4.4        | 11.0 | 17.7 | 74.5%         | 70.4%  | 69.5%  |
| S11     | 3.6          | 2.4        | 6.6             | 13.0 | 19.4 | 4.2        | 10.6 | 17.0 | 72.6%         | 68.1%  | 67.0%  |
| S10     | 4.0          | 2.1        | 6.4             | 12.5 | 18.7 | 4.3        | 10.4 | 16.6 | 72.8%         | 66.6%  | 65.1%  |
| S7      | 4.4          | 2.5        | 6.1             | 11.9 | 17.7 | 3.6        | 9.4  | 15.2 | 61.6%         | 60.0%  | 59.6%  |
| S5      | 4.8          | 2.3        | 5.7             | 10.9 | 16.1 | 3.4        | 8.6  | 13.8 | 57.7%         | 54.9%  | 54.2%  |
| S2      | 5.2          | 2.4        | 5.6             | 10.7 | 15.8 | 3.2        | 8.4  | 13.5 | 55.3%         | 53.4%  | 53.0%  |

(표5-3) 오염물질 감소비율별 필요한 이격거리

|              |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 감소비율(%)      | 50% | 40% | 30% | 20% | 10% |
| 필요한 이격거리(km) | 5.7 | 4.4 | 3.2 | 2.1 | 1.0 |



<그림5-1> 송전선 III구간 BOD 농도변화율

## 2. 유량 및 농도를 고려한 방법

### 가. 오염원입지 예정지 하류에 큰 오염원이 없을 경우

앞에 서술한 유량을 고려하지 않은 방법은 상당히 간단한 방법으로 얻어진 입지제한 거리를 모든 저수지에 동일하게 적용하여, 법 적용이 매우 쉽다는 장점이 있다. 하지만, 현재 하천의 상태 및 입지 예정 공장의 오염원 규모를 전혀 반영하지 못한다는 단점이 있다. 비록 앞에서 얻어진 이격거리만큼 떨어진 곳에 공장을 설립하더라도, 유량 및 농도가 기존 하천의 유량보다 매우 클 경우 공장방류수의 수질에 의해 하천의 수질이 크게 좌우되며, 저수지 또한 쉽게 오염될 우려가 있다. 또한, 비록 개별 공장이 입지제한 거리를 만족하여 설치되더라도, 지속적으로 공장이 설립될 경우 하천 및 저수지의 수질에 크게 영향을 미칠 수 있으므로, 이 경우는 입지가 제한되는 것이 합리적이다. 이와 반대로 비록 유량을 고려하지 않은 방법에서 얻어진 거리보다는 저수지 가까이에 공장이 들어서더라도 유량 및 농도가 하천의 유량 및 농도보다 크게 낮을 경우 공장의 오염물질 방류에 의해 하천 및 저수지의 수질이 변하지 않을 수 있다. 이와 같은 경우에는 공장입지를 제한하지 않는 것이 합리적일 수 있다. 이와 같이 입지제한거리를 산정할 때 하천의 유량 및 농도, 방류수의 유량 및 농도를 반영하는 것이 합리적이라고 생각된다.

하천의 유량과 농도 및 방류수의 유량과 농도를 고려하여 필요한 이격거리를 산정하는 방법은 공장방류수가 하천수와 완전혼합 후 목표농도까지 감소하는데 필요한 거리를 계산하면 된다. 공장 방류수와 하천수가 완전 혼합된다고 가정하면, 혼합 후 하천의 유량 및 농도는 다음 식을 이용해 계산할 수 있다.

$$Q_m = Q_p + Q_s \quad (\text{식5-4})$$

$$C_m = \frac{C_p \cdot Q_p + C_s \cdot Q_s}{Q_m} \quad (\text{식5-5})$$

여기서,  $Q_m$ : 혼합 후 유량,  $Q_p$ : 방류수 유량,  $Q_s$ : 하천유량,  $C_m$ : 혼합 후 농도,  $C_p$ : 방류수 농도,  $C_s$ : 하천수 농도

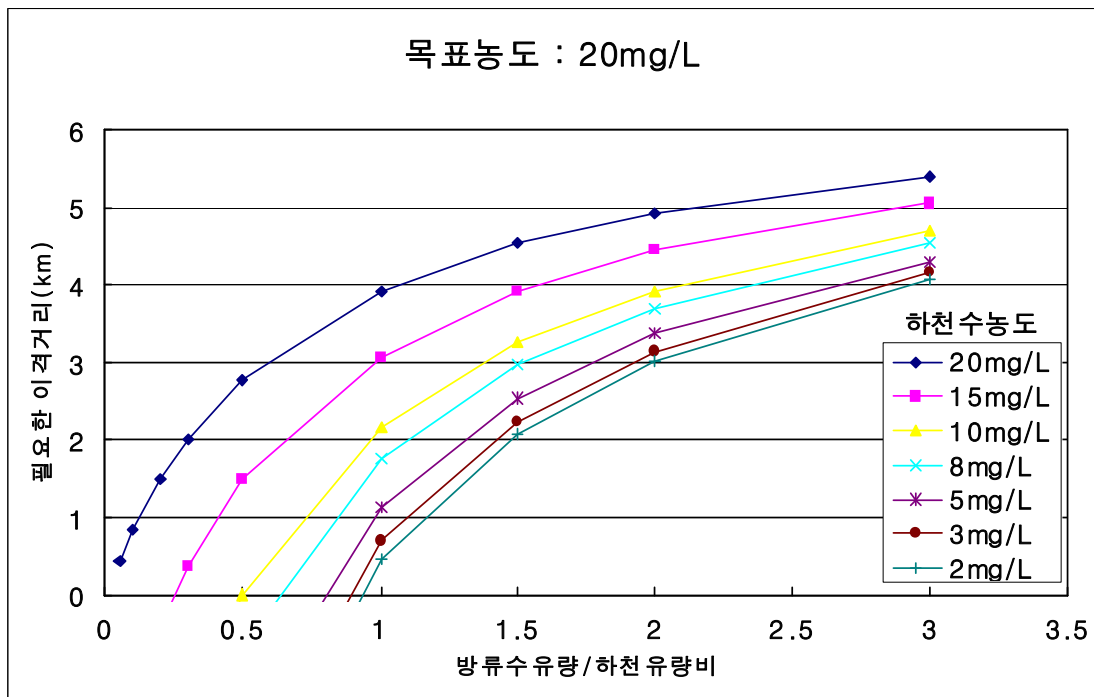
개별공장 방류수가 하천수와 혼합 후 일정농도로 감소되는데 필요한 이격거리는 (식5-5)을 통해 얻은 결과를 (식5-1)과 (식5-2)에 입력하여 계산할 수

있다. 앞서 실측을 통해서 얻은 반응상수( $k=1.61\text{day}^{-1}$ ), 평균유속 ( $V=0.18\text{m/s}=15.552\text{km/day}$ )과 (식5-1)~(식5-5)를 이용해 목표수질에 도달하는데 필요한 이격거리를 계산하는 식을 정리하면 다음과 같다.

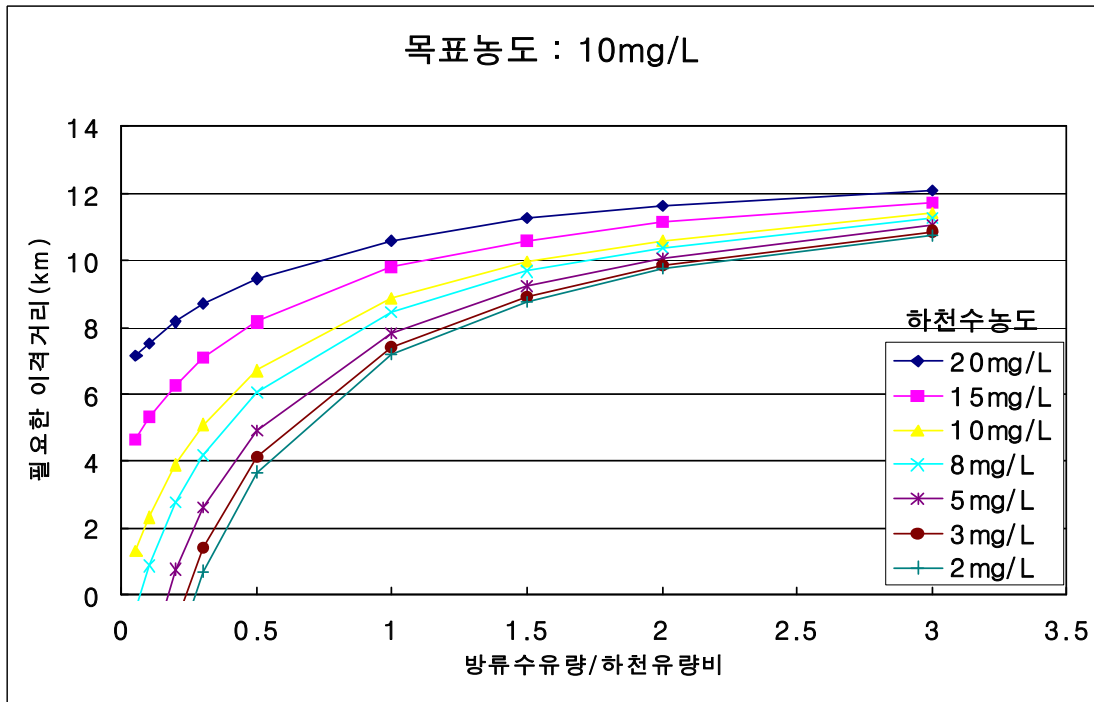
$$D = -9.66 \text{Ln} \left( \frac{C_d(r+1)}{C_p r + C_s} \right) \quad (\text{식5-6})$$

여기서,  $C_d$ : 목표 수질농도(mg/L),  $C_p$ : 개별공장 방류수 농도(mg/L),  $C_s$ : 갈수기 하천수 농도(mg/L),  $r$ : 방류수유량/갈수기 하천수유량 비

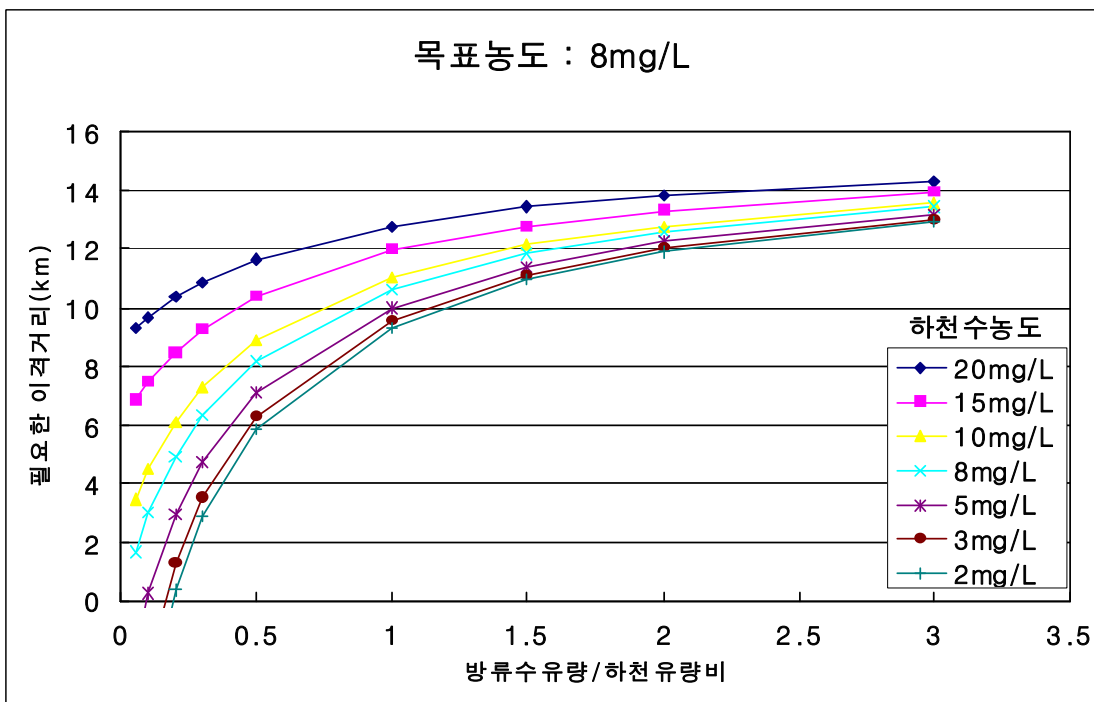
저수지 유입직전 목표농도별 하천수농도 및 방류수유량/하천수유량비에 따른 필요한 이격거리를 계산한 결과는 <그림5-2> ~ <그림5-5>와 같다. 목표농도는 방류수(40mg/L)가 50%(20mg/L) 감소하는데 필요한 거리, 75% 감소하는데 필요한 거리, 80% 및 저수지 수질기준농도(8mg/L)까지 감소하는데 필요한 거리 및 저수지의 수질이 수질기준(8mg/L)를 만족시키기 위해 필요한 하천수의 농도(4.5mg/L)까지 감소하는데 필요한 거리를 계산하였다. 목표농도가 낮을수록, 하천수 농도가 높을수록, 유량비가 클수록 필요한 이격거리는 긴 것으로 나타났다.



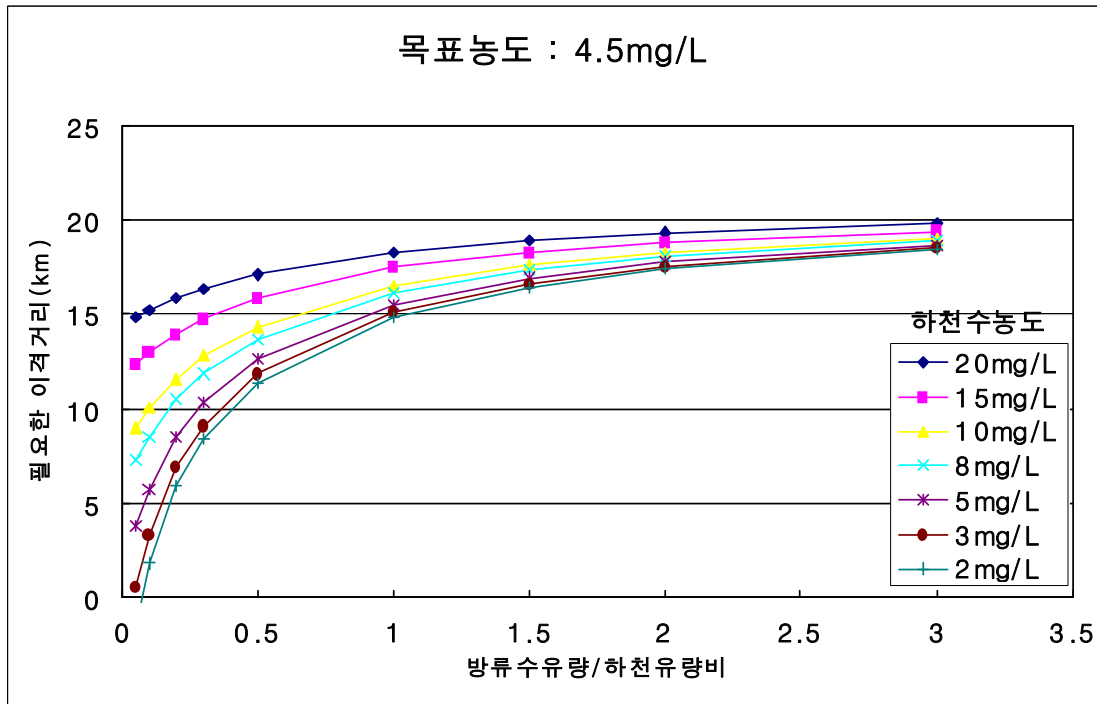
<그림5-2> 목표농도 20mg/L일때 필요한 이격거리



<그림5-3> 목표농도 10mg/L일때 필요한 이격거리



<그림5-4> 목표농도 8mg/L일때 필요한 이격거리



<그림5-5> 목표농도 4.5mg/L일때 필요한 이격거리

이와 같이 방류수와 하천의 유량 및 농도를 이용하는 방법은 농도를 기준으로 계산하는 방법보다 조금 더 합리적이지만, 저수지의 유입하천별로 직접 방류수 및 하천의 유량과 농도를 이용해 이격거리를 계산해야 한다는 불편함이 있다. 4가지 목표수질 농도 중 년 평균 유량이 이격거리를 계산하는데 이용한 갈수기 유량보다 2~3배 많은 것을 고려하면, 목표수질로 10mg/L를 이용하는 것이 적합할 것이라 판단된다.

#### 나. 오염원입지 예정지 하류에 큰 오염원이 있을 경우

비록 상류부터 오염원입지 예정지까지의 수질이 깨끗하더라도 오염원입지 예정지 하류에 큰 오염원이 존재하여 농업용저수지 유입하천의 말단부에서의 수질농도가 높을 경우에는 상류에 추가로 오염원시설이 건설되는 것을 제한해야 한다. 앞에서 이용한 방법을 이용하여 이격거리를 계산할 경우 상류의 깨끗한 하천수의 조건을 이용해 이격거리를 계산하기 때문에 이격거리가 작게 계산될 수 있다. 그러므로 이 경우 유입하천 말단부의 유량 및 농도값을 이용해 오염원입지 예정지 하천의 농도를 추정하여 이 값과 말단부의 유량을 (식5-6)에 대입해 이격거리를 계산할 수 있으며, 오염원입지 예정지의 농도는 (식5-3)을 이용해 구할 수 있다.

$$C_s = C_t e^{(d/9.66)} \quad (\text{식5-7})$$

$$Q_s = Q_t \quad (\text{식5-8})$$

여기서,  $C_t$ : 유입하천 말단부의 농도(mg/L),  $Q_t$ : 유입하천 말단부의 유량,  $d$ : 유입하천 말단부에서 오염원입지 예정지까지의 거리(km)



## 2절 입지규제 개선안 설정을 위한 고려요소

농업용저수지의 유역적 특성 뿐 만 아니라 다양한 오염원의 배출특성이 하천수질에 상이한 영향을 미치므로, 배출특성 및 기타 여건에 따라 관리·규제도 다르게 적용되어야 한다. 이러한 다양한 특성에 따른 영향과 여건에 적합한 규제대안을 선택적으로 적용할 수 있도록 규제개선 대안을 구성·제시하고자 한다. 이러한 입지규제 개선안은 앞서 제시된 기준거리를 중심으로 하며, 특성을 반영한 설정을 위한 고려요소로는 오염원의 배출특성, 오염사고방지 등이 중요하게 고려될 수 있다.

### 1. 배출특성에 따른 입지규제

입지규제 개선안에는 기존 규제의 완화를 고려할 수 있는 대상 사업장의 배출특성 조건과 배출수 처리특성을 고려하여, 수질에 미치는 영향을 최소화하면서 입지를 허용할 수 있는 방안에 대해서 검토하였다.

#### 가. 공공/공동처리시설에 의한 처리

개별공장의 입지 예정지가 하수처리구역에 포함되고 하수처리장의 유입조건을 만족시킬 수 있는 경우, 만약에 발생할 수 있는 오염사고에 대한 대비를 갖춘 사업장에 대해서는 입지를 고려할 수 있다. 개별공장에서 배출되는 폐수가 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률 시행규칙」 별표13의 폐수배출량의 규모와 지역기준을 만족시킬 때 하수처리장으로 연계 처리가 가능한 경우에 대해서 입지를 허용할 수 있다. 일반적으로 하수처리장의 방류수 수질기준이 개별공장에 적용되는 배출수 수질기준보다 낮고 엄격하게 관리되기 때문에 하수처리장으로 유입하여 배출함으로써 수계로 배출되는 오염물질의 양을 감소시킬 수 있고 공공하수처리시스템에 의한 안정적인 관리가 가능하다.

하수처리장의 연계 처리는 하수처리장의 시설용량이 허용하는 범위 내에서 가능하다. 개별공장에서 발생하는 폐수를 하수처리장으로 연계처리하게 되면 하수처리장 시설용량의 증가를 초래할 수 있고 이로 인해 다량의 오염물질이 집중적으로 수계로 유입되는 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 하수처리장을 신설 및 증설할 때 상수원에 미치는 영향에 대한 고려가 선행되어야 한다. 그리고 지역적 특성과 하수관거의 현황에 의해서 하수처리구역의 확대를 위한 추가비용이 발생될 수 있다. 이러한 경우에는 원인자 부담금

원칙에 따라 개별공장이 관거 설치비와 운영비를 부담하도록 한다.

농공단지나 산업단지 이외의 소규모 개별공장들이 산업에서 배출되는 오수 공동처리시설을 마련하여 해당지역의 하수처리장 방류수 수질기준에 준하여 배출할 수 있는 경우에 입지를 허용하는 방안을 고려할 수 있다. 특히, 하수처리장으로의 연계처리가 지역적 특성에 의해서 용이하지 아니하거나 하수처리장으로의 관거 설치비가 과도한 개별 공장들이 공동처리시설을 설치하는 경우에 대해서 입지를 고려할 수 있다. 물론 공동처리시설의 허가 시에는 상수원의 수질에 미치는 영향과 수질오염총량제도에서 배출허용부하량에 대한 검토가 선행되어야 한다.

개별공장들이 단지화를 이루어 공동으로 산업 배출 오수 공동처리시설을 설치하는 경우에는 관리·감독이 책임 있게 이루어지는데 한계가 있을 수 있으므로 처리시설의 체계적 운영 및 배출오수의 안정적 관리에 관한 규정의 강화가 필요하다. 소규모 개별공장의 오수를 공동처리하여 하수처리장의 방류수 수질에 준하는 수질로 방류할 수 있는 경우에 소규모 공동처리시설에 대해서도 하수처리장 유입처리시와 같은 규제거리를 적용받도록 한다.

위에서 설명한 것과 같이 개별공장의 방류수를 유역내에 있는 공공/공동처리시설을 이용해 처리한 후 하천으로 방류하는 경우 유역내 오염원입지 제한을 위한 이격거리 산정 시 공장의 방류수 농도 및 유량을 이용해 이격거리를 계산하는 것 보다는 공공/공동처리시설의 방류수농도와 공장 방류수의 유량을 이용해 이격거리를 산정하는 것이 바람직하다. 개별공장 입지제한거리를 완화하는 효과가 있으며, 개별공장의 방류수 유량과 처리장의 방류수 농도를 이용해 이격거리를 산정하여 보다 합리적인 오염원입지 제한이 가능할 것이라 판단된다.

#### 나. 낮은 오염부하량 배출 및 비배출

폐수를 배출시키지 않고 생활오수만을 배출하는 폐수비배출 공장을 입지규제 완화의 대상으로 설정한다. 이는 현재 입지가 허용되고 있는 오수배출 주거용 시설과의 형평성 특면을 고려한 것이며, 폐수비배출의 경우는 반감기 기준 등의 적용을 통한 규제로서 적정한 유기물 저감을 확보할 수 있기 때문이다.

「산업입지의 개발에 관한 통합지침」에서는 농업용저수지 상류에 대해 모든 개별공장의 입지를 제한하고 있다. 하지만 민원이나 건의 사항들에서도 제안하고 있는 것과 같이 폐수를 발생하지 않는 생활오수만을 배출하는 폐수비

배출 공장에 대해서는 입지를 허용하는 방안을 검토할 필요가 있다. 폐수를 배출하지 않는 단순조립공장에서는 공장에 근무하는 종업원의 생활에서 발생하는 오수와 하수만이 배출되며, 이는 일반가정에서 발생하는 것과 유사하므로 공장이라는 이유로 입지를 불허하는 것은 입지가 허용되는 오수배출 주거용 시설과 형평성 측면에서 합리적이지 못하다.

이를 위해서는 폐수를 발생하지 아니하는 단순조립공장이나 폐수의 성분이 가정에서 배출되는 일반하수와 동일하다고 판단되는 개별공장에 대해서는 「산업입지의 개발에 관한 통합지침」에서 농업용저수지 상류지역의 입지에 대해서 반감기 기준 등의 적용을 통해 적절한 유기물 저감방안을 확보할 수 있는 범위 내에서 예외조항을 둘 필요가 있다.

#### **다. 유역의 배출**

유역이 작은 농업용저수지에 개별공장이 설립될 경우 일부 최종 방류수를 관로를 이용해 농업용저수지 하류 또는 다른 유역으로 배출하는 경우가 있다. 이 경우 이 개별공장은 폐수비배출시설과 마찬가지로 만약에 발생할 수 있는 오염사고에 대한 대비를 갖춘 경우에 한하여 입지를 허용해야 한다. 하지만, 최종방류구 하류에 농업용저수지가 존재할 경우 하류에 존재하는 저수지에 대해 입지제한 거리가 계산되어 적용되는 것이 합리적이다.

### **2. 오염사고 방지를 고려한 입지규제**

#### **가. 수질오염사고 대응시간에 대한 고려**

농업용저수지 상류지역에서의 오염물질 유출에 의한 수질오염사고가 농업용저수지에 미치는 영향을 고려할 때 수질오염사고에 대응할 수 있는 장치를 마련할 필요가 있다.

기존의 여러 사례에서도 볼 수 있듯이 예견하지 못한 수질오염사고가 발생할 수 있으며, 이러한 수질오염사고에 대응할 수 있는 위기대응시간을 고려하여 상류지역 공장입지 규제거리의 설정에 반영될 필요가 있다. 우리나라의 상수원보호구역 지정기준에서는 12시간 유달시간 확보를 전제하고 있으며, 미국의 South Carolina는 유달시간 24시간 이내의 지역을 상수원보호구역으로 지정하여 토지이용을 규제하고 있다. 4장에서 얻은 갈수기 농업용저수지 유입하천의 평균 유속(0.18m/s)을 12시간 및 24시간 유달시간에 적용하면 7.8km, 15.6km의 안전거리가 필요하게 된다.

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률의 폐수배출시설 기준에 의하면 유해물

질이 포함된 폐수를 배출하는 시설은 1일 최대 폐수량이 0.01m<sup>3</sup> 이상인 경우를 폐수배출시설로 정하고 있으며, 일부 시설(출판, 인쇄시설, 사진처리시설 등)의 경우 폐수 방류여부와 상관없이 폐수배출시설에 포함된다.

그러므로 폐수배출시설에 일부 폐수취급시설이 포함되기 때문에 유해물질 취급시설에 대한 입지제한 거리를 7.8km 또는 15.6km로 적용할 경우 폐수배출시설의 입지제한 거리와 충돌하게 된다. 그러므로 오염물질취급시설의 경우 폐수배출시설과 동일하게 입지를 제한해야 할 것으로 생각된다.

#### 나. 유출차단시설 설치시의 수질영향 고려

수질오염사고에 대비하기 위하여 대응 가능한 시간 확보를 위해서는 일정 거리 입지규제가 필요하나, 그에 대한 대안으로 배출원이 유출차단시설을 설치하여 사고로 오염물질 유출시 대응에 필요한 일정시간 동안 저류할 수 있는 공간이 마련된 경우는 공공수역에 영향을 미치지 않고 사고에 대비할 수 있으므로 입지규제를 완화하는 방안을 고려할 수 있다.

「낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 시행규칙」에서는 산업단지에서 발생하는 사고 등으로 인한 유출폐수나, 강우시 도로 등 비점오염원에서 빗물과 함께 유출되는 유해물질의 하천 직유입을 차단하기 위하여 5개 산업단지에 완충저류시설을 연차적으로 설치하도록 하고 있으며, 부지확보 어려움 등 지역 여건상 완충저류시설의 설치가 곤란한 산업단지나 산업단지 바깥의 단독 공장에 대하여는 개별업체별로 유출차단시설 및 집수시설을 설치하도록 하여 수질오염에 대비토록 하고 있다.

개별공장에 대한 형평성과 부지확보에 따른 추가적 경제적 부담을 고려하여 유출차단시설 또는 집수시설을 설치토록하며 그 규모는 「낙동강 수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 시행규칙」의 별표7에서의 기준을 준용할 수 있다. 적용대상 사업장은 「유해화학물질관리법」 제2조에 따른 유해화학물질을 배출하지 않더라도 공정상에 사용하거나 보관·저장 또는 사용하는 자를 대상으로 한다. 유출차단시설, 집수시설의 별도 설치기준은 환경부장관이 정한 고시(환경부고시 제2004-39호)에 따른다. 유출차단시설 및 집수시설의 규모에 대한 별도의 규정이 없을 경우에는 시설의 규모는 최소한 별표7에서 폐수 및 빗물 등(강우량 5밀리미터를 기준으로 한다)을 2일 이상 체류할 수 있는 시설용량을 갖추고, 집수시설은 평상시에는 비워두도록 한다.

기준에 적합한 유출차단시설 또는 집수시설을 설치하였을 경우에는 만약에 발생할 수 있는 수질오염사고에 대비할 수 있는 시간이 확보되므로 수질오염

사고에 대비한 입지규제기준을 완화하여 안전거리를 2km 이상 유지하는 것이 적당하다. 이를 통해 개별공장들이 하나의 공동집수시설을 설치하여 공동으로 관리할 수 있으며, 그 용적량은 개별 시설별로 산정하여 합산한 양 중 최대의 용적량을 기준으로 한다. (「낙동강수계 물관리 및 주민지원등에 관한 법률 시행규칙」 별표7 준용).

#### **다. 강우유출(비점오염)의 수질영향 고려**

비록 폐수 및 오수를 배출하지 않고, 유해물질을 취급하지 않는 개별공장이더라도, 강우에 의해 유출되는 비점오염물질의 영향 등을 고려하여 농업용 저수지로부터 상류방향으로 1km까지는 모든 오염 발생원 시설이 설립되어서는 안 된다고 판단된다.

### 3절 농업용저수지 오염원입지 제한 개선대안

농업용저수지 상류지역 입지규제 개선의 각 대안은 i) 입지규제거리를 통해 오염물질이 저감될 수 있는 적절한 거리를 확보하고, ii) 만약에 발생할 수 있는 수질오염사고에 대비하며, iii) 오염배출저감 등을 통해 수질영향을 감소시킬 수 있도록 함을 기준으로 구성·제안되었다. 따라서 각 대안은 입지규제 거리설정의 기준으로 ①오염사고 대비시간을 확보할 수 있는 유하거리, ②배출된 오염물질이 적정수준 저감될 수 있는 유하거리 등을 기준으로 설정하고 있으며, 필요한 입지허용 대상의 배출특성 조건을 부가하여 오염 저감에 따른 수질보호 효과가 있도록 설계되었다.

각 대안은 위의 개선대안 설정 조건 하에서 서로 다른 적용조건을 가지고 있어 규제에 따른 효과는 일방적이지 않으며 여건에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 4개의 개선안은 지역적 여건에 따라 혹은 정책적 고려에 의해 상이한 조건 하에서 적절하게 적용될 수 있는 선택 가능한 대안이다.

#### 1. 농업용저수지 오염원 입지규제 개선방안(안)

앞서 논의한 반감기 기준 등 입지규제거리 산정의 기준을 이용하여 오염물질이 저감될 수 있는 일정한 거리를 확보하고, 만약에 발생할 수 있는 수질오염사고에 대비가 가능한 입지규제 개선방안을 구성하였다. 이 개선방안들은 배출시설의 특성에 따른 수질영향의 차이와 규제에 따른 사회·경제적 영향도 함께 고려할 수 있는 방안으로 내용은 다음과 같다.

##### 가. 제1안 : 입지규제거리 6.5km

기존의 농업용저수지 오염원입지 규제 및 상수원보호구역 거리 산정에 사용되어진 하천으로 유입된 COD 오염물질이 50% 감소하는 거리를 준용하였으며, 본 연구에서 반응상수를 이용해서 도출된 6.7km와 수질모델링을 통해 도출된 반감거리 5.7km의 평균값인 6.2km에 불확실성을 고려하여 6.5km를 기준거리로 설정한 안이다.

입지규제 개선안에는 기존 규제의 완화를 고려할 수 있는 대상 사업장의 배출특성 조건과 배출수 처리특성을 고려하여 수질에 미치는 영향을 최소화하면서 입지를 허용할 수 있는 방안에 대해서 검토하였다.

#### 나. 제2안 : 입지규제거리 5.0km

농업용저수지 상류지역 입지규제로 인한 수질보호 효과 대비 그에 따른 사회·경제적 비용을 고려하여 하천으로 유입된 COD 오염물질이 40% 감소하는 거리를 반응상수를 이용해 도출된 4.9km와 수질모델링을 통해 도출된 반감거리 4.4km의 평균값인 4.7km에 불확실성을 고려하여 5.0km를 기준거리로 설정한 안으로, 새로 설정된 입지제한 거리가 지금까지 적용되었던 입지제한거리(5.0km)와 차이가 남에 따라 발생할 수 있는 혼돈을 줄이기 위한 안이기도 하다.

#### 다. 제3안 : 유입하천 말단부의 농도가 10mg/L 되는 거리

제1안과 2안은 농도를 기준으로 공장 방류수가 일정농도 또는 일정비율 감소되는데 필요한 거리를 입지제한거리로 정하여 전국의 모든 농업용저수지에 동일하게 적용하는 안이다. 농업용저수지 오염원입지 제한거리는 전국에 적용할 수 있는 고정 값으로서 제시되기보다는 각 농업용저수지의 유역적 특성을 고려하여 각 지역별로 입지제한 거리를 산정하는 것이 적절하다.

이에 제3안은 공장 및 산업단지 방류수의 유량 및 농도와 유입하천의 유량 및 농도를 고려하여 입지제한거리를 산정하는 안으로 공장 및 산업단지 방류수가 유입하천과 혼합된 후 농업용저수지로 유입되기 직전(유입하천의 말단부)의 수질이 COD 10mg/L이하가 되는데 필요한 거리를 입지제한거리로 하는 안이다. 농업용저수지의 COD농도가 8.0mg/L 되기 위해 유입하천 말단부의 농도가 4.5mg/L가 되어야 하는데, 년 평균 유량이 갈수기 유량보다 2~3배 높은 것을 감안하여 유입하천 말단부의 COD 수질이 10.0mg/L를 만족시킬 경우 농업용저수지의 수질 역시 수질기준 8.0mg/L를 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다. 제3안의 경우 입지규제거리가 공장 및 산업단지의 방류수 농도 및 유량, 유입하천의 농도 및 유량에 따라 다르게 나타나는데, 그 거리는 (식5-6)을 통해 얻을 수 있다. 오염원입지 예정지 하류에 큰 오염원이 존재할 경우 (식5-7)과 (식5-8)을 통해 유입하천의 유량 및 농도를 계산한 후 이 값을 (식5-6)에 대입해 입지규제 거리를 계산한다. 제3안을 이용해 오염원 입지규제 거리를 산정할 경우, 공장 및 산업단지의 규모(방류수유량 및 농도)와 현재 하천의 상태(유량 및 농도)를 반영한 합리적인 입지규제 산정이 가능하다.

#### 라. 제4안 : 유입하천 말단부의 농도가 8mg/L 되는 거리

제3안과 거의 동일한 안으로 공장 및 산업단지의 방류수가 유입하천과 혼합된 후 하천 말단부에서 COD 8.0mg/L가 되는데 필요한 거리를 오염원 입지

규제 거리로 하는 안이다. 제3안보다 농업용저수지의 수질을 더 안전하게 유지할 수 있는 반면, 입지규제거리가 길어져 사회·경제적인 비용이 3안에 비해 크게 나타날 수 있다.

#### 마. 개정(안) 공통 추가사항

「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 별표4의 폐수배출시설기준에서 폐수 배출시설이 아닌 공장 및 산업단지 및 방류수를 유역외 지역으로 배출하는 경우에는 2.0km를 입지제한거리로 한다.

유해물질을 취급하는 시설은 폐수배출여부와 상관없이 폐수배출시설과 동일한 입지제한거리를 적용받는다. 하지만, 기준에 적합한 유출차단시설 또는 집수시설을 설치하였을 경우에는 만약에 발생할 수 있는 수질오염사고에 대비할 수 있는 시간이 확보되므로 수질오염사고에 대비한 입지규제기준을 완화하여 2.0km를 입지제한거리로 한다. 유출차단시설의 규모는 「낙동강 수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 시행규칙」의 별표7의 기준을 준용하며, 적용대상 사업장은 「유해화학물질관리법」 제2조에 따른 유해화학물질을 배출하지 않더라도 공정상에 사용하거나 보관·저장 또는 사용하는 자를 대상으로 한다. 유출차단시설, 집수시설의 별도 설치기준은 환경부장관이 정한 고시(환경부고사 제2004-39호)에 따른다. 유출차단시설 및 집수시설의 규모에 대한 별도의 규정이 없을 경우에는 시설의 규모는 최소한 별표7에서 폐수 및 빗물 등 (강우량 5밀리미터를 기준으로 한다)을 2일 이상 체류할 수 있는 시설용량을 갖추고, 집수시설은 평상시에는 비워두도록 한다.

비록 폐수 및 오수를 배출하지 않고, 유해물질을 취급하지 않는 개별공장이더라도, 강우에 의해 유출되는 비점오염물질의 영향 등을 고려하여 농업용저수지로부터 상류방향으로 1km까지는 모든 오염 발생원 시설이 설립을 제한한다.

## 2. 개정 대안 별 비교

4가지 대안별 입지규제 기준거리, 기준거리 설정기준, 대상 등을 비교하여 (표5-4)에 정리하였다. 이중 대안 3과 대안4는 공장 및 산업단지의 방류수 유량 및 농도, 유입하천의 유량 및 농도가 주어져야하기 때문에, 직접적인 비교는 힘들지만, 방류수 및 유입하천의 농도를 40mg/L와 5mg/L로 가정하고, 방류



수의 유량이 하천 유량의 50%라고 가정하여 입지규제거리를 비교해 보았다.

(표5-4) 농업용저수지 상류지역 입지규제 개선방안(안)

|                   | 입지규제<br>기준거리 | 기준거리<br>설정기준           | 규제 대상 시설   | 비고   |
|-------------------|--------------|------------------------|--|--|
| 대안1               | 6.5km        | 반감기                    | · 폐수배출시설   | · 기존과 동일한 기준거리<br>설정기준 이용                              |
| 대안2               | 5.0km        | 40% 감기 및<br>기존 규제거리    | · 폐수배출시설   | · 규제의 완화(40%감기)<br>· 기존 규제거리 유지                        |
| 대안3               | 계산식<br>이용    | 유입하천 말단<br>부 농도 10mg/L | · 폐수배출시설   | · 방류수 및 하천의 유량과<br>농도 고려<br>· 하천말단부 농도 10mg/L          |
| 대안4               | 계산식<br>이용    | 유입하천 말단<br>부 농도 8mg/L  | · 폐수배출시설   | · 방류수 및 하천의 유량과<br>농도 고려<br>· 하천말단부 농도 8mg/L           |
| 개정안<br>추가공<br>동사항 | 기준거리         | 수질사고대비                 | · 유해물질 취급시설                                      | · 수질사고 대비를 위한 최<br>소 거리 확보                             |
|                   | 2.0km        | 수질사고대비                 | · 유출차단시설을 갖춘 유<br>해물질 취급시설 중 폐수<br>미배출 또는 유역외 배출 | · 수질사고 대비를 위한 최<br>소 거리 확보<br>· 유출차단시설을 이용한<br>수질사고 대비 |
|                   | 2.0km        | 약 20% 감기               | 유해물질취급하지 않는 시<br>설 중 폐수미배출 또는 유<br>역외 배출         | · 낮은 배출 부하량 시설에<br>대한 제한거리 완화                          |
|                   | 1.0km        | 강우유출 등<br>(비점오염고려)     | · 모든 시설 규제                                       | · 저수지 수질보전을 위한<br>최소거리 확보                              |

제1안과 제2안은 오염물질 저감효과와 규제에 따른 사회경제적 비용을 적정하게 고려하여 설정되는 입지규제거리 기준이 반감기(50%감기)와 40%감기로 상이하게 설정된 안이다. 제1안이 제2안에 비해 오염물질 저감효과는 더 높은 반면(10%), 규제거리 증가(5km→6km)에 따른 규제대상 면적의 증가(40% 이상) 인해 사회경제적인 비용 역시 상대적으로 더 높게 나타날 수 있다. 규제에 따른 사회경제적인 비용은 지역적인 여건(토지이용, 개발가능성 등)에 따라 상이하게 나타날 수 있으므로, 지역적 여건에 대한 고려와 입지규제거리 기준에 대한 정책적인 수용 등에 따라 선택·적용될 수 있을 것이다.

제3안과 4안은 저수지 유입직전(유입하천 말단부)의 목표 COD 농도를 10mg/L와 8mg/L로 상이하게 설정된 안이다. 제3안과 제4안은 입지예정인 공장 및 산업단지의 폐수 배출량별 입지규제거리가 다르게 계산되도록 설정한 안으로 제1안과 제2안에 비해 현실적인 안이다. 다만, 입지규제거리를 계산하기 위해서는 입지 예정인 공장이나 산업단지의 방류수의 유량 및 농도, 하천의 갈수기 유량 및 농도가 필요하다는 단점이 있다.

모든 대안에서 농업용저수지 상류지역 공장 및 산업단지의 오염사고를 대비하여 비록 폐수를 방류하지 않더라도 공정상 유해물질을 사용하는 경우 폐수배출시설과 동일하게 취급하여 기준거리만큼 확보하도록 하였으며, 유출차단시설 설치시 규제거리를 완화하여 최소 2.0km를 확보하도록 하였다. 또한 비록 폐수 및 오수를 전혀 방류하지 않고 공정상 유해물질을 사용하지 않더라도 강우시 유출되는 비점오염에 의해 저수지가 오염되는 것을 방지하기 위해 1km이내에는 모든 시설이 설립될 수 없도록 하였다.

각 대안은 위에서 정리한 바와 같이 서로 다른 적용 조건을 가지고 있어 규제에 따른 효과나 적용비용 등이 일방적으로 나타나지 않으며 따라서 여건에 따라 적절한 대안의 선택도 상이하게 나타날 수 있다.

## 4절 농업용저수지 오염원입지 제한관련 법령 개정(안)

농업용저수지의 수질을 보전할 목적으로 2005년 12월에 재정되어 운영되어 온 「산업입지의 개발에 관한 통합지침」이 2008년 5월 ‘법제처의 법령해석’ 및 ‘법령정비촉구’에 의하여 제36조 7호는 관련 법률의 구체적인 위임없이 지침으로 국민의 권리를 제한하는 것은 정당성을 인정받을 수 없다는 유권해석이 나와 2008년 12월 관련조항이 삭제가 되었으며, 관련법이 정비될 때까지 한시적으로 「산업입지의 개발에 관한 통합지침」의 제36조 7호를 적용하도록 하였다. 관련법 정비를 위하여 2009년 4월 「농어촌정비법」 개정안이 국회를 통과하였으며, 개정법은 2009년 12월 10일부터 발효한다. 농어촌정비법 개정법은 구체적인 오염원입지 규제를 그 안에 직접 규율하지 아니하고 하부법령인 시행령에 세부적으로 위임하는 방식을 취한다. 그간 농림수산식품부는 개정법의 시행령에 즈음하여 농지법시행령 개정작업을 추진하였다. 본 연구에서는 농어촌정비법 개정법의 시행에 즈음하여 오염원입지 규제를 담고 있는 「농어촌정비법시행령」을 대상으로 재개정(안)을 제시하고자 한다.

### 1. 개정중인 「농어촌정비법」 및 시행령

종래 농림수산식품부가 개정작업을 추진한 「농어촌정비법」과 동법시행령안(2009년 12월 10일 시행)은 모든 저수지 상류 지역에서 유하거리 2km이내에 공장을 설립할 수 없으며, 도시지역·계획관리지역 이외의 지역, 농어촌용수구역 외의 지역, 그리고 수질오염 방지시설 등 환경상 안전한 대책을 수립하여 관할 환경관리청장과 협의한 지역에서는 폐수배출시설이 아닌 공장 및 산업단지를 2km~5km 이내의 위치에 설립할 수 있으며, 유하거리 5km 초과하는 지역에는 모든 공장 및 산업단지가 설립될 수 있다는 취지를 규정하였다.

「농어촌정비법」 제22조(2009.12.10 시행)

제22조(저수지 상류지역에서의 공장 설립 제한) ① 농어촌용수의 수질 보전을 위하여 저수지 상류지역 중 대통령령으로 정하는 지역에서는 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제2조제1호에 따른 공장(이하 이 조에서 “공장”이라 한다) 및 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제2조제5호에 따른 산업단지(이하 이 조에서 “산업단지”라 한다)를 설립할 수 없다.

- ② 시장·군수·구청장은 제1항에도 불구하고 공장 및 산업단지 설립이 제한되는 지역 중 대통령령으로 정하는 지역에는 폐수배출시설이 아닌 공장 및 산업단지 설립을 승인할 수 있다.
- ③ 시장·군수·구청장은 저수지 상류지역에서의 공장 설립과 관련하여 저수지가 다른 시장·군수·구청장의 관할에 속하는 경우에는 해당 시장·군수·구청장과 미리 협의하여야 한다.

|   |
|---|
| 「농어촌정비법」 시행령 개정안 제29조, 제30조   |
| 제29조(공장 등의 설립 제한 지역) 법 제22조제1항에서 “대통령령으로 정하는 지역”이란 다음 각 호의 지역을 말한다.   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조에 따른 용도지역이 도시지역·계획관리지역인 경우로서 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 2킬로미터 이내의 지역</li> <li>2. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조에 따른 용도지역이 도시지역·계획관리지역 외의 경우로서 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 5킬로미터 이내의 지역</li> </ul>  |
| 제30조(공장 등 설립 제한지역의 예외) 법 제22조제2항에서 “대통령령으로 정하는 지역”이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 지역을 말한다.   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조에 따른 용도지역이 도시지역·계획관리지역 외의 경우로서 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 2킬로미터를 초과하는 지역</li> <li>2. 법 제15조에 따른 농어촌용수구역 외의 지역(주택건설사업에 필요한 콘크리트조립구조재 및 강보강제품제조업공장과 기포콘크리트제품제조업공장 및 이들 제품의 제조를 위한 레미콘 공장을 신설·증설하는 경우로서 수질오염방지사설을 설치하여 농업용수 수질기준을 초과하지 않도록 한 경우로 한정한다)</li> <li>3. 수질오염 방지사설 등 환경 상 안전한 대책을 수립하여 관할 환경관리청장과 협의한 지역</li> </ul> |

## 2. 「농어촌정비법」 시행령 개정(안)

본보고서 제5장 제3절에서 제시한 농업용저수지 상류유역 공장 및 산업단지 입지제한 방안에 대하여 법적 제도적 검토를 통하여 다음과 같이 「농어촌정비법」 시행령 재개정(안)을 제시한다. 다만, 모법 즉 농어촌정비법(제22조제1항)은 공장설립의 제한을 “저수지 상류지역 중 대통령령으로 정하는 지역에서는”으로 규정함으로써 금지의 ‘공간적 범위’를 특정하는 입법양식을 취하고 있기 때문에 하위법령[시행령]에서는 이 양식에 기속되어 지역을 하나의 요건으로 특정할 수 있을 뿐이며, 설립 ‘가능’(YES) 또는 설립 ‘불가’(NO)와 같이 적부를 판단하는 입법양식을 취할 수가 없다.

즉 시행령 개정안에서는 “대통령령으로 정하는 지역”을 정의하는 방법으로 모법을 구체화시킬 수 밖에 없다. 그렇지 않고 시행령에서 적부를 판단하는 세부규정을 두면 이른바 ‘위임의 한계’를 벗어나게 된다. 따라서 시행령 개정에서는 우선은 해당 조문 본문 중에서 내용을 한정하는 ‘정의’ 규정과 (…을 …으로 본다는) ‘의제’ 규정을 통하여 금지와 허용의 한계를 정하고 나중에 모법의 표현양식을 개정하여 요건별로 허용한계를 차등화시키는 것이 입법기술상 적절하다.

이 연구에서는 앞 장에서 기술한 바와 같은 과학적 기술조사 결과를 토대로 오염원 입지규제를 위하여 기준거리 1km 이내에서는 환경관리청과 협의한 지역이더라도 모든 시설의 입지를 금지시키고, 1km~2km 에서는 수질오염 방지시설 등 환경 상 안전한 대책을 수립하여 관할 환경관리청장과 협의한 시설만 허용함을 기본원칙으로 설정한다. 폐수배출시설과 유해물질취급시설은 이를 동등하게 취급하고 ‘폐수를 배출하지 않는 시설’과 ‘유역외배출시설’도 동등하게 취급한다.

### 가. 1안

| 개정안 제1안   |
|---|
| 농어촌정비법시행령 제29조(공장 등 설립이 가능한 지역)   |
| ①법 제22조제1항에서 공장 및 산업단지를 <u>설립할 수 없는</u> “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>1km 이내의</u> 지역을 말한다. |
| ②법 제22조제2항에서 공장 및 산업단지(유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배                                      |

출 시설로서 지역환경관리청장과 협의한 시설을 포함하는 것을 말한다)를 설립할 수 있는 “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 1km 초과 2km 이내의 지역을 말한다.

③저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 2km 초과 6.5km 이내의 지역중 1. 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설을 포함하는 지역과 2. 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 포함하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.

④저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 6.5km를 초과하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.

⑤제2항 및 제3항에서 규정하는 폐수배출시설에 관하여서는 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 유해물질 및 유출차단시설에 관하여서는 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용한다. 제2항 및 제3항에서 규정하는 “유역외”의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.

#### [개정이유]

아래에 계기한 개정이유들에 따라 해당 조항을 정리하되 상위법 즉 농어촌정비법(제22조)의 표현양식 즉 위임의 범위와 한계로 인하여 개별 조문상의 표현은 설립‘허용’ 기준이 아니라 상기 법안과 같이 “지역” 중심으로 규정함

- 유하거리 1km 이내의 지역에는 지역환경관리청장과의 협의를 있더라도 어떠한 공장이나 산업단지를 설립할 수 없음을 원칙으로 규정함
- 유하거리 1km 초과 2km 이내의 지역에서는 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출시설중 지역환경관리청장과 협의한 시설의 입지를 허용함.
- ‘폐수배출시설’과 ‘유해물질’에 대하여서는 각각 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」· 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 ‘유역외’의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규

을하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.

- 유하거리 2km 초과 6.5km 이내의 지역에는 1) 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설과 2) 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 허용함.
- 유하거리 6.5km를 초과하는 지역에서는 폐수배출시설 또는 유해물질취급 시설의 설립을 허용함
- 주변 여건에 따라 수질 규제기준을 차등화하기 위하여 다른 법률상의 기준들을 준용하거나 다른 법률에 따라 고시된 기준을 준용함

## 나. 제2안

| 개정안 제2안  |
|--|
| 농어촌정비법시행령 제29조(공장 등 설립이 가능한 지역)  |
| ①법 제22조제1항에서 공장 및 산업단지를 <u>설립할 수 없는</u> “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>1km</u> 이내의 지역을 말한다.  |
| ②법 제22조제2항에서 공장 및 산업단지(유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설로서 지역환경관리청장과 협의한 시설을 포함하는 것을 말한다)를 <u>설립할 수 있는</u> “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>1km 초과 2km</u> 이내의 지역을 말한다.                            |
| ③저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>2km 초과 5km</u> 이내의 지역중 1. 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설을 포함하는 지역과 2. 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 포함하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다. |
| ④저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>5km</u> 를 초과하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.   |

⑤제2항 및 제3항에서 규정하는 폐수배출시설에 관하여서는 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 유해물질 및 유출차단시설에 관하여서는 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용한다. 제2항 및 제3항에서 규정하는 “유역외”의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.

[개정이유]

아래에 계기한 개정이유들에 따라 해당 조항을 정리하되 상위법 즉 농어촌정비법(제22조)의 표현양식 즉 위임의 범위와 한계로 인하여 개별 조문상의 표현은 설립‘허용’ 기준이 아니라 상기 법안과 같이 “지역” 중심으로 규정함

- 유하거리 1km 이내의 지역에는 지역환경관리청장과의 협의가 있더라도 어떠한 공장이나 산업단지를 설립할 수 없음을 원칙으로 규정함
- 유하거리 1km 초과 2km 이내의 지역에서는 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출시설중 지역환경관리청장과 협의한 시설의 입지를 허용함.
- ‘폐수배출시설’과 ‘유해물질’에 대하여서는 각각 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」· 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 ‘유역외’의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.
- 유하거리 2km 초과 5km 이내의 지역에는 1) 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설과 2) 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 허용함.
- 유하거리 5km를 초과하는 지역에서는 폐수배출시설 또는 유해물질취급 시설의 설립을 허용함
- 주변 여건에 따라 수질 규제기준을 차등화하기 위하여 다른 법률상의 기준들을 준용하거나 다른 법률에 따라 고시된 기준을 준용함

다. 제3안

| 개정안 제3안   |
|---|
| 농어촌정비법시행령 제29조(공장 등 설립이 가능한 지역)<br>①법 제22조제1항에서 공장 및 산업단지를 <u>설립할 수 없는</u> “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 |



유하거리 1km 이내의 지역을 말한다.

②법 제22조제2항에서 공장 및 산업단지(유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설로서 지역환경관리청장과 협의한 시설을 포함하는 것을 말한다)를 설립할 수 있는 “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 1km 초과 2km 이내의 지역을 말한다.

③저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 2km를 초과하고 별표 제○호에 규정한 산식에 따라 산출된 거리 이내의 유입하천 말단부 농도가 10mg/L인 지역중 1. 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설을 포함하는 지역과 2. 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단 시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 포함하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.

[별표 제○호] 영 제29조제2항에서 규정한 유하거리는 다음의 산식에 따라 산출한다.

$$D = -9.66 \ln \left( \frac{C_d(r+1)}{C_p r + C_s} \right)$$

(비고)  $C_d$ : 목표 수질농도(mg/L),  $C_p$ : 개별공장 방류수 농도(mg/L),  $C_s$ : 갈수기 하천수 농도(mg/L),  $r$ : 방류수유량/갈수기 하천수유량 비

④저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 별표 제○에 규정한 산식에 따라 산출된 유하거리를 초과하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.

⑤제2항 및 제3항에서 규정하는 폐수배출시설에 관하여서는 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 유해물질 및 유출차단시설에 관하여서는 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용한다. 제2항 및 제3항에서 규정하는 “유역외”의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.

[개정이유]

아래에 계기한 개정이유들에 따라 해당 조항을 정리하되 상위법 즉 농어촌정비법(제22조)의 표현양식 즉 위임의 범위와 한계로 인하여 개별 조문상의 표현은 설립‘허용’ 기준이 아니라 상기 법안과 같이 “지역” 중심으로 규정함

□ 유하거리 1km 이내의 지역에는 지역환경관리청장과의 협의를 있더라도

어떠한 공장이나 산업단지를 설립할 수 없음을 원칙으로 규정함

- 유하거리 1km 초과 2km 이내의 지역에서는 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출시설중 지역환경관리청장과 협의한 시설의 입지를 허용함.
- ‘폐수배출시설’과 ‘유해물질’에 대하여서는 각각 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」·「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 ‘유역외’의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.
- 유하거리 2km를 초과하고 산식에 따라 산출된 거리 이내의 유입하천 말단부 농도가 10mg/L인 지역에는 1) 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설과 2) 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 허용함.
- 별표 산식에 따라 산출된 유하거리를 초과하는 지역에서는 폐수배출시설 또는 유해물질취급시설의 설립을 허용함
- 주변 여건에 따라 수질 규제기준을 차등화하기 위하여 다른 법률상의 기준들을 준용하거나 다른 법률에 따라 고시된 기준을 준용함

#### 라. 제4안

| 개정안 제4안   |
|---|
| 농어촌정비법시행령 제29조(공장 등 설립이 가능한 지역)   |
| ①법 제22조제1항에서 공장 및 산업단지를 <u>설립할 수 없는</u> “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>1km</u> 이내의 지역을 말한다.   |
| ②법 제22조제2항에서 공장 및 산업단지(유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설로서 지역환경관리청장과 협의한 시설을 포함하는 것을 말한다)를 <u>설립할 수 있는</u> “대통령령으로 정하는 지역”이라 함은 저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>1km 초과 2km</u> 이내의 지역을 말한다. |
| ③저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 유하거리 <u>2km를 초과하고</u> 별표 제○호에 규정한 산식에 따라 산출된 거리 이내의 유입하천 말   |

단부 농도가 8mg/L인 지역중 1. 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 구역의 배출 시설을 포함하는 지역과 2. 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 구역의 배출시설을 포함하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.

[별표 제○호] 영 제29조제2항에서 규정한 유하거리는 다음의 산식에 따라 산출한다.

$$D = -9.66 \ln \left( \frac{C_d(r+1)}{C_p r + C_s} \right)$$

(비고)  $C_d$ : 목표 수질농도(mg/L),  $C_p$ : 개별공장 방류수 농도(mg/L),  $C_s$ : 갈수기 하천수 농도(mg/L),  $r$ : 방류수유량/갈수기 하천수유량 비

④저수지 만수위로부터 수계상 상류방향으로 별표 제○에 규정한 산식에 따라 산출된 유하거리를 초과하는 지역은 법 제22조제2항에 따라 공장 및 산업단지를 설립할 수 있는 지역으로 본다.

⑤제2항 및 제3항에서 규정하는 폐수배출시설에 관하여서는 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용하고 유해물질 및 유출차단시설에 관하여서는 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을 준용한다. 제2항 및 제3항에서 규정하는 “구역외”의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.

[개정이유]

아래에 계기한 개정이유들에 따라 해당 조항을 정리하되 상위법 즉 농어촌정비법(제22조)의 표현양식 즉 위임의 범위와 한계로 인하여 개별 조문상의 표현은 설립‘허용’ 기준이 아니라 상기 법안과 같이 “지역” 중심으로 규정함

- 유하거리 1km 이내의 지역에는 지역환경관리청장과의 협의가 있더라도 어떠한 공장이나 산업단지를 설립할 수 없음을 원칙으로 규정함
- 유하거리 1km 초과 2km 이내의 지역에서는 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 구역의 배출시설중 지역환경관리청장과 협의한 시설의 입지를 허용함.
- ‘폐수배출시설’과 ‘유해물질’에 대하여서는 각각 「수질 및 수생태계보전에 관한 법률」· 「유해화학물질관리법」에 따라 제정된 방법 및 기준을

준용하고 ‘유역외’의 기준과 범위에 대하여서는 해당 수계 물관리를 규율하는 법률에 따라 환경부장관이 정하는 고시를 준용한다.

- 유하거리 2km를 초과하고 산식에 따라 산출된 거리 이내의 유입하천 말단부 농도가 8mg/L인 지역에는 1) 유해물질을 취급하지 않고 폐수를 배출하지 않는 시설이거나 유해물질을 취급하지 않는 유역외 배출 시설과 2) 유해물질을 취급하는 시설로서 유출차단시설을 설치하고 폐수를 배출하지 않는 시설 또는 유역외 배출시설을 허용함.
- 별표 산식에 따라 산출된 유하거리를 초과하는 지역에서는 폐수배출시설 또는 유해물질취급시설의 설립을 허용함
- 주변 여건에 따라 수질 규제기준을 차등화하기 위하여 다른 법률상의 기준들을 준용하거나 다른 법률에 따라 고시된 기준을 준용함

## 5절 농업용저수지 보호를 위한 규제와 정책의 방향에 대한 제안

### 1. 부처간 협력에 의한 협동규제

농업용저수지를 보호하기 위한 입법적 접근에는 두 가지 방법이 있다. 하나는 현행과 같이 「농어촌정비법」 및 동법시행령·시행규칙에 따라 별개로 규율하는 방안이고, 다른 하나는 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 및 동법시행령·시행규칙을 준용하는 방안이다. 수계별 관리법은 구역마다 수질기준을 달리 정할 수 있다는 장점이 있으나 경우에 따라 수질관리 기준을 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」상의 기준들과 달리 정하여야 한다는 부담이 따를 수도 있다. 부처간 공동입법을 전제로 한다면, 농어촌정비법은 ‘입지’에 관한 규율을 맡고 그 입지의 수질은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」의 관할에 맡기는 것이 바람직스러우나 공동입법 문화가 미숙한 단계에서는 “다른 법률과의 관계” 또는 “준용”을 통하여 같은 목적을 추구할 수도 있다.

농어촌정비법으로 농업용저수지를 보호하기 위하여서는 구역이나 유해화학물질 또는 유출차단시설 및 집수시설 등에 관하여 독자적인 별개의 규율을 두기보다는 다른 법률과의 관계를 통하여 기준과 방법을 정하여야 한다. 예컨대 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」, 「유해화학물질관리법」 및 각 「수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 등이 농어촌정비법이나 그 하위법령에서 준용하여야 할 법률들이다. 용도지역을 정하는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」과 공장설립을 허가하는 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 그리고 산업단지를 조성하는 「산업입지 및 개발에 관한 법률」과의 관계에 대하여서는 모법(농어촌정비법) 사항이기 때문에 하위 시행령·시행규칙 단계에서 고찰할 필요가 없다.

### 2. 순환규제의 탈피

저수지 상류지역에서의 공장 설립을 제한하는 농어촌정비법(2009년 12월 10일 시행)은 입법기술상 재고를 요한다. 동법 제22조는 “농어촌용수의 수질 보전을 위하여 저수지 상류지역 중 대통령령으로 정하는 지역에서는 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제2조제1호에 따른 공장 및 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제2조제5호에 따른 산업단지를 설립할 수 없다”(제1항)고 규정함으로써 저수지 상류지역에서의 공장 설립을 원칙적으로 제한하면서 “시장·군수·구청장은 제1항에도 불구하고 공장 및 산업단지 설립이 제한

되는 지역 중 대통령령으로 정하는 지역에는 폐수배출시설이 아닌 공장 및 산업단지 설립을 승인할 수 있다(제2항)”고 규정함으로써 지방자치단체장의 재량에 따른 예외를 허용한다.

이러한 입법 구조는 원칙과 예외를 규정하고 구체적인 요건을 대통령령으로 위임하는 방식을 취함으로써 외관상 별 문제가 없는 듯이 보인다. 그러나 하위법령 즉 시행령에 위임하는 범주가 “대통령령으로 정하는 지역”이라는 공간적 한계를 설정하는데 그침으로써 입법기술상 상당한 문제를 낳는다. 이를테면, 종래 농림수산식품부가 추진중인 농어촌정비법시행령 개정안은 대통령령으로 정하는 지역의 개념을 구체화시킴으로써 ‘공장 등 설립 제한지역의 예외’(제30조)를 규정한다. 그러나 이러한 입법양식은 원칙금지→예외허용→허용예외를 넘나들면서 「예외의 예외」를 규정하는 복잡한 규제를 만들고 있다. 저수지 상류지역에서의 입지는 농어촌정비법 이외의 법률들에 의하여 제한되고 있는 상태이기 때문에 농어촌정비법 개정이 다시 그 입지를 제한하거나 허용하는 다중의 규제체계를 형성할 필요가 없다.

행정입법을 통하여 관할 행정청에 위임입법을 통하여 재량의 여지를 부여하는 것은 좋으나 그로 인하여 규제체계를 복잡하고 기교적으로 만드는 것은 ‘규제의 합리화’라는 관점에서 부적절하다. 농어촌정비법 제22조제1항이 저수지 상류지역에서의 공장설립을 제한하는 원칙을 규정하고 동조제2항이 이 제한을 완화시키는 예외를 허용하는 입법구조에서는 예외사유와 요건을 동조제2항에서 구체적으로 열거함이 바람직스럽다. 허용한계를 위임하는 경우에라도 “대통령령으로 정하는 지역”과 같이 다시 ‘입지제한’이라는 ‘순환규제’ 구조로 빠져 들어가기보다는 입지허용 기준과 요건 및 절차를 대통령령으로 정한다는 취지를 간명하게 규정함이 바람직스럽다. 그러나 입지 허용기준과 요건을 하위법령에 위임함은 ‘포괄적’ 위임 금지의 법리에 반하기 때문에 농어촌정비법 제22조제2항은 입지허용의 원칙과 기준 및 요건을 정하고 세부적인 절차와 방법을 시행령에 위임하는 방식이 타당하다고 본다.

## 6. 결론





## 장 결론

### □ 오염원입지 제한 제도 및 표준거리 산정방법 연구

- 입지를 제한하는 제도들의 입지제한 방법별로 다음과 같이 분류할 수 있음. 용도지역별 입지제한, 개별법에 의한 입지제한, 변경 또는 전용의 제한, 수도권정비계획법에 의한 제한.
- 본 연구에서 표준거리를 산정하기 위해 일차반응식을 이용하는 방법과 하천수질모델을 이용하는 방법을 적용함. 실측을 통해 현실적인 반응상수값과 평균유속을 도출하여 표준거리를 산정하였으며, 저수지유입하천을 선정하여 하천수질모델을 적용하여 일정비율 감소하는데 필요한 표준거리를 산정함.

### □ 농업용저수지 환경요인 검토

- 하천길이가 5km 이상인 저수지의 개소수 비율, 유역면적비율 및 설립가능 지역 면적비율은 각각 1.2%, 41%, 24% 였으며, 2km 이상인 것은 6.4%, 65%, 50% 인 것으로 나타남. 즉, 오염원입지를 5km로 제한할 경우 전체 농업용 저수지 유역 중 24%에만 공장 및 산업단지를 조성할 수 있음.
- 대표저수지에서 실측한 유량과 유역면적과의 관계를 이용해 일정한 유역면적을 갖는 저수지의 유입하천 유량을 도출할 수 있도록 함. 유역면적과 최장하천길이 관계로부터 오염원입지 제한거리 2km인 경우 해당 유역면적은 312ha 이상인 저수지가 이에 해당되며, 유역면적 312ha인 저수지의 5월과 6월의 유입하천 유량은 253m<sup>3</sup>/day인 것으로 나타남. 화옹간척지 유역의 폐수배출시설별 평균 배출유량(16m<sup>3</sup>/day/시설)을 이용하면, 유역에 16개의 폐수배출시설이 설립될 경우 공장방류수 유량과 하천유량이 동일해지며, 방류수 수질이 40mg/L(방류수수질기준)일 경우 방류지점의 하천수질은 최소 20mg/L가 됨. 그러므로 오염발생원 입지 제한시 거리뿐만 아니라 폐수배출업소의 수나 유역의 총 폐수배출량 등을 기준으로 제한할 필요가 있음.
- 20개의 대상저수지에서 실측한 유속자료와 GIS 자료 중 경사도로부터 측정지점의 경사를 추출한 후 유속과 경사와의 상관관계를 구하였으며, 그

다음 전국 농업용저수지 유입하천의 평균 경사를 도출하고, 이를 통해 유속과 경사와의 상관관계로부터 평균 유속을 도출함. 평균 경사는 9.5였으며, 평균 유속은 0.18m/s임.

- 농업용저수지 수질측정망 대상 저수지의 오염도를 조사한 결과 COD, T-N, T-P의 평균은 각각 6.0mg/L, 1.5mg/L, 0.03mg/L로 나타났으며, 각각의 수질기준(COD: 8.0mg/L, T-N: 1.0mg/L, T-P: 0.1mg/L)을 초과하는 저수지 비율은 21%, 69%, 7%로 나타나 유기물과 질소에 의한 오염이 심각한 상태로 농업용저수지의 수질보전이 필요함
- 유역오염부하량과 하천 및 저수지 수질간의 상관관계를 조사한 결과 유역 BOD부하량과 하천의 COD농도 및 저수지의 COD농도 사이에는 양의 상관관계(상관계수 0.33, 0.64)가 나타났으며, 저수지 수질보전을 위해 유역의 오염부하량을 제한할 필요가 있음.
- 한국농어촌공사 경기도본부에서 경기도내 주요 저수지에 대해 유입하천 및 저수지의 수질을 조사한 결과와 본 연구에서 대표저수지의 유입하천 및 저수지에서 실측한 수질자료를 이용해 농업용저수지 유입하천과 저수지수질간의 상관관계를 분석한 결과 COD의 경우 양의 상관관계(상관계수 0.5(경기도본부자료), 0.83(대표저수지 실측자료))가 나타났으며, 이들 관계로부터 저수지의 수질이 8.0mg/L가 되기 위해서는 유입하천의 수질이 최소 4.5mg/L 이하를 유지해야 하는 것으로 나타남.

#### □ 반응상수 도출 및 수질모델 구축

- 수질조사 결과를 이용해 1차반응식의 반응상수를 도출한 결과 20℃ 기준으로 평균 0.98로 국내외 유기물의 반응상수의 평균값(0.84, 0.96)과 비슷한 범위를 나타냈으며, 그때의 유속은 0.05m/s임.
- 환경부(2003)의 연구결과에 의하면 유속이 증가함에 따라 반응상수도 증가한다고 하였으며, 그 결과를 바탕으로 전국 농업용저수지 평균 유속인 0.18m/s로 환산하면 유기물의 일차반응상수는 1.61로 나타남.
- 이동저수지 유입하천인 송전천 5.2km에 대해 실측한 유량 및 수질자료를 이용해 하천수질모델인 QUAL2E 모델을 구축 및 보정 함.

#### □ 농업용저수지 유역내 오염원입지 제한 방안

- 1차반응식을 이용해 공장 및 산업단지로부터 배출된 방류수가 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10% 감소되는데 필요한 거리는 각각 15.5km, 11.6km, 8.9km, 6.7km, 4.9km, 3.4km, 2.2km, 1.0km인 것으로 나타남. 방류수의 농도(COD, 40mg/L)가 수질기준(8mg/L) 이하로 감소하는데 필요한 이격거리는 15.5km인 것으로 나타남.
- 구축된 수질모델을 이용해 공장 및 산업단지로부터 배출된 방류수가 50%, 40%, 30%, 20%, 10% 감소되는데 필요한 거리는 각각 5.7km, 4.4km, 3.2km, 2.0km, 1.0km인 것으로 나타남.
- 농업용저수지 상류지역의 오염원 규모 및 하천의 현재 수질을 반영하여 필요한 이격거리를 산정하기 위해 공장 방류수가 하천수와 혼합된 후의 유량 및 농도를 기존의 1차반응식에 대입하여 필요한 거리를 산정할 수 있는 식을 제시함
- 본 연구에서 제시한 식을 이용할 경우 실질적인 하천 및 저수지의 수질이 반영된 필요한 이격거리 산정이 가능하지만, 공장의 방류수 유량 및 농도, 하천수의 유량 및 농도에 따라 필요한 거리가 큰 차이를 나타내 법적용이 약간 복잡해 짐.
- 오염물질의 유달시간 및 수질오염사고 대응시간을 고려할 경우 12시간 또는 24시간의 유달시간이 필요하며 평균유속(0.18m/s)을 적용할 경우 7.8km 또는 15.6km의 안전거리가 필요하지만, 폐수배출시설이 유해물질취급시설을 포함하므로 폐수배출시설과 동일한 이격거리를 적용하는 것이 적당함. 유출차단시설을 설치하였을 경우 입지규제기준을 완화하여 안전거리를 1/2 감소시키는 것이 적당함. 비록 유해물질을 배출하지 않더라도 비점오염에 의한 농업용저수지가 오염되는 것을 방지하기 위해 최소 1km까지는 입지를 제한 할 필요가 있음.
- 이상의 결과를 바탕으로 4가지 오염원입지 제한(안)을 작성하였음. 제1안과 제2안은 오염물질 저감효과와 규제에 따른 사회경제적 비용을 적정하게 고려하여 입지규제거리 설정기준을 반감기(50%감기)와 40%감기로 상이하게 적용함. 제3안과 제4안은 입지규제거리 기준이 공장 및 산업단지의 방류수가 농업용저수지 유입하천과 혼합 후 저수지 유입직전(유입하천 말단부) 목표COD농도가 10mg/L와 8mg/L로 상이하게 설정된 안으로 제3안과 제4안은 입지예정인 공장 및 산업단지의 폐수 배출량별 입지규제거리가

다르게 계산되도록 설정되어 제1안과 제2안에 비해 현실적임.

- 모든 대안에서 농업용저수지 상류지역 공장 및 산업단지의 오염사고를 대비하여 비록 폐수를 방류하지 않더라도 공정상 유해물질을 사용하는 경우 폐수배출시설과 동일한 이격거리를 확보하도록 하였으며, 유출차단시설 설치시 안전거리를 1/2 경감하도록 함. 비록 폐수도 방류하지 않고 공정상 유해물질을 사용하지 않더라도 강우시 유출되는 비점오염에 의해 저수지가 오염되는 것을 방지하기 위해 1km이내에는 모든 시설이 설립될 수 없도록 함.

## 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

| 연구목표                       | 연구목표 달성 실적   | 달성도  | 대외 기여도                                |
|----------------------------|--|------|---------------------------------------|
| 농업용저수지 환경요인 검토             | 1) 국내 농업용저수지의 물리적 특성 분석<br>2) 농업용저수지의 수질특성 분석                                    | 100% | 100%<br>농업용저수지 수질개선 당위성 제공            |
| 반응상수 도출 및 수질모델 구축          | 1) 1차반응식의 반응상수 도출<br>2) 하천수질모델 구축  | 100% | 100%<br>도출된 반응상수 농촌유역 연구에 활용          |
| 농업용저수지 유역내 오염원 입지 제한 방안 연구 | 1) 오염원 입지제한을 위한 표준거리 산정<br>2) 농업용저수지 상류유역의 공장 및 산업단지 입지를 규제할 수 있는 오염원 입지 제한(안)제시 | 100% | 100%<br>농업용저수지 수질보전을 위한 관련 법령 개정 에 활용 |

## 연구개발결과의 활용계획

(1) 활용하고자 하는 사업명(또는 정책명)

- “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역” 설정

(2) 활용 주관부서(공사 부서)

- 농업기반과
- 수자원관리처

(3) 사업(또는 정책) 반영내역 및 계획

- 「농어촌정비법」에 “농업용 저수지 상류지역 공장입지 제한구역”을 설정할 수 있는 법안 마련
- 농업용저수지 수질보전을 위한 관련 법령 개정에 활용

(4) 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안

- 농업용 저수지 수질 보전을 위해 상류유역의 공장과 같은 오염발생원을 제안하는 법적·과학적 근거 지원

## 참 고 문 헌

- 경기개발연구원. 1997. 「수도권 근교개발 촉진방안에 관한 제도연구」
- 경기개발연구원. 1996. 「수도권 정비계획에 관한 연구」
- 경기개발연구원. 1997. 「팔당상수원 수질개선방안에 관한 연구」
- 국립환경과학원. 2006. 「낙동강수계 제2차 수질오염총량관리 기준설정 연구보고서」
- 국립환경과학원. 2006. 「영상강섬진강수계 제2차 수질오염총량관리 기준설정 연구보고서」
- 국립환경과학원. 2007. 「금강수계 제2차 수질오염총량관리 기준설정 연구보고서」
- 국립환경과학원. 2007. 「한강수계 제2차 수질오염총량관리 기준설정 연구보고서」
- 경기개발연구원. 1997. 「팔당상수원 수질개선 방안에 관한 연구」
- 경기도. 1984. 「흑천하천정비기본계획」
- 서울시상수도사업본부. 2006. 「간접취수 도입을 위한 타당성 조사 보고서」
- 창원시. 2004. 「창원시 강변여과수 개발사업(2단계)」
- 창원시 상하수도사업소. 2004. 「강변지하수 개발사업의 추진현황과 개발방향」
- 한국건설기술연구원. 1989. 「상수원 수질개선을 위한 효과적인 조류제어에 관한 연구」
- 한국건설기술연구원. 1996. 「상수도시설의 합리화 방안 연구」
- 환경부. 1992. 「수질오염 공정시험방법」
- 환경부. 2003. 「상수원 보호구역 표준거리 산정을 위한 연구」
- 환경부. 2003. 화학물질 배출량 조사제도에 관한 시민안내서
- 환경부. 2006. 상수도통계
- 환경부. 2006. 환경통계연보
- 환경부. 2006. 환경백서
- 환경부. 2007. 국가하수도종합계획('07~'15)
- 환경부. 2008. 상수원 상류지역 공장입지규제의 적정성에 대한 연구
- 김선기. 1992. 「환경문제의 외부성과 광역적 대응」
- 김이태. 1998. 「상수수요예측의 현실 및 과제」
- 김정호. 1997. 「한국의 토지이용규제」

- 노상환. 1998. 「우리나라 환경법체계 정비에 관한 연구Ⅱ」
- 박인호. 1994. 「상수원 수질오염과 수자원 정책방향」
- 운태훈 외 2인. 1980. 「한강홍수경보 및 상수분석보고서」
- 이병국 외. 2005. 「배출허가체계 개선방안 연구」
- 이병국 외. 2000. 「국제환경규제동향 및 환경규제가 기업경쟁력에 미치는 영향분석」
- 이상훈 외 4인. 1989. 「상수원 보호구역의 지정과 관리에 관한 연구」
- 이정임. 1998. 「팔당상수원 보호를 위한 규제와 지역주민대책」
- 이현동 외 5인. 2000. 「팔당상수원 비점오염원 유출특성과 최적관리방안」
- 최지용. 1998. 「팔당상수원 보호를 위한 토지이용규제방안」
- 황상일 외. 2007. 「관리지역 및 농공단지의 입지제한 업종 실태조사 연구」
- 함세영 등. 2007. 「강변은 깨끗한 물을 보관하는 물탱크」
- U.S.EPA. 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual(EPA/600/3-87/08)
- Robert V. Thomann etc. 1987. Principles of Surface Water Quality Modeling and Control



## 분야별 공동연구 참여자 명단

### □ 공동연구

| 성명  | 소속기관 및 부서        | 직 위 | 연구참여<br>직 급 | 전공 및 학위 |      |      |
|-----|------------------|-----|-------------|---------|------|------|
|     |                  |     |             | 학위      | 년도   | 전공   |
| 이재욱 | 창대종합기술단          | 이사  | 책임연구원       | 공학사     | 1964 | 농공학  |
| 이상현 | 창대종합기술단/<br>구조부  | 부사장 | 연구원         | 공학석사    | 2006 | 구조공학 |
| 연윤택 | 창대종합기술단/<br>토질부  | 부사장 | 연구원         | 공학석사    | 1993 | 건설공학 |
| 정승권 | 창대종합기술단/<br>수자원부 | 이사  | 연구원         | 공학석사    | 2000 | 수공학  |
| 이경도 | 창대종합기술단/<br>수자원부 | 차장  | 연구원         | 공학석사    | 2004 | 수공학  |
| 박종표 | 창대종합기술단/<br>수자원부 | 차장  | 연구원         | 공학석사    | 2004 | 수공학  |
| 주성식 | 창대종합기술단/<br>수자원부 | 과장  | 연구보조원       | 공학사     | 2005 | 토목공학 |
| 임성빈 | 창대종합기술단/<br>수자원부 | 대리  | 연구보조원       | 공학사     | 2005 | 토목공학 |

### □ 위촉연구

| 성명  | 소속기관 및 부서      | 직 위  | 연구참여<br>직 급 | 전공 및 학위 |      |       |
|-----|----------------|------|-------------|---------|------|-------|
|     |                |      |             | 학위      | 년도   | 전공    |
| 전재경 | 수원대학교          | 겸임교수 | 책임연구원       | 법학박사    | 1992 | 법학    |
| 황은주 | 자연환경국민신탁<br>법인 | 홍보실장 | 연구보조원       | 공학사     | 1979 | 식품가공학 |

## 주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

### ■ 발 행 처

|   |  |
|---|--|
| 농업용저수지 유역내 오염발생원 입지에 관한 연구  |  |
| 발행일   | 2009. 12   |
| 발행인   | 박 해 성  |
| 발행처   | 한국농어촌공사 농어촌연구원   |
| 주 소   | 경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지<br>전 화 031 - 400 - 1700<br>FAX 031 - 409 - 6055 |
| ※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.<br>단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다. |  |