

# 농촌용수 이용량 조사방안 정립 연구

A Study on the investigation measure  
of using water in the rural area



2008. 12

2008-205

농림수산식품자료실

등록번호: 18811

등록일: 2010년 10월 8일

 농림수산식품부  
 한국농촌공사

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 농촌용수 이용량 조사방안 정립 연구의 최종연구 보고서로 제출합니다.

2008년 12월

연구기관명 : 한국농촌공사  
농어촌연구원  
책임연구원 김대의  
연구원 김진택  
박기욱  
김동주

공동연구자 : 전북대학교 산학협력단  
책임연구원 최진규  
연구원 강관주  
김정희

공동연구자 : 환경대학교  
책임연구원 이남호  
연구원 한영실

공동연구자 : 전남대학교  
책임연구원 윤광식

공동연구자 : 서울대학교  
책임연구원 최진용

# 요 약 문

1. 연구과제명 : 농촌용수 이용량 조사방안 정립연구

2. 연구 기간 : 2008. 5 ~ 2008. 12.

## 3. 연구의 필요성 및 목적

- ‘지속위’ 농촌용수 이용량 조사부분은 관련 연구용역 후 세부 추진방안 강구
- 국가 “수자원장기종합계획” 수립시 농촌용수의 수요와 공급량 측정을 통한 체계적인 계획기준 정립 요구 증대('07.05)
- 농촌용수 이용량은 작물/시기별, 기상상태에 따른 변화와 관행수리권, 순환/반복관개 등 수리특성이 복잡하여 이용량에 대한 정립화/조사방안 필요

## 4. 연구성과

### 4.1 농촌용수 이용량 조사 및 연구실적

#### 4.1.1 수자원 관련 추진사항

##### 가. 농업용수(농림부/한국농촌공사)

농촌용수는 1965년 전천후농업용수원개발계획, 1968년 농업용수개발계획, 1980년대 농업용수 10개년계획 수립을 시작으로 1994년 제2차 농촌용수 10개년계획(1995~2004), 2003년 제3차 농촌용수10개년계획(2002~2011) 등의 개발과정을 거치면서 농촌용수의 효율적인 개발, 이용 및 보전 등을 위하여 농업용수 개발사업이 수행되어 왔음

##### 나. 수자원계획(건설교통부/한국수자원공사)

1) 호창기 유역조사 (1960~1990년대), 전국 유역조사(2000~2006) 실시

2) 유역조사 지침

유역조사 지침 제정 : 건교부 훈령 제618호 (2006. 6. 20)

3) 매년 유역조사 실시, 조사항목별로 각각의 조사주기 설정, 기준은 성과활용도와 원기자료의 생성주기 등을 고려하여 설정

- 조사매뉴얼 발간 및 성과검증위원회 운영 등의 방법으로 조사의 표준화
- 조사의 전문화 : 한국수자원공사에서 조사 수행, 하천정보센터는 성과를 정보화 하는 체계 추진, 조사 수행자는 소정의 교육을 이수토록 규정

#### 4.1.2 용어의 정의

- 1) 일반적으로 농업용수는 논 용수, 밭 용수, 축산용수를 더한 용수를 말하며, 농업용수 수요량은 논밭의 작물생육에 필요한 용수, 농약, 비료 살포 등 영농작업을 위한 영농용수 등 농업활동에 필요한 수량으로서 유효수량이 제외된 10년 빈도가목시 경지에서 필요로 하는 수량
- 2) 농업용수 이용량은 농업용수 수요량에 따라 수리시설에서 취수(공급)되는 수량으로 경지에서 이용되는 수량으로 취수량의 개념으로 파악
- 3) 본 보고서에서는 수요량, 이용량, 공급 가능량에 대한 개념을 정립하여 혼용에 대한 부분을 보완하였으며 향후 관계 전문가들의 자문회의를 거쳐 용어 정의가 확정되는 것이 바람직 함

#### 4.1.3 이용량 관련 조사자료

##### 가. 수리권 및 농업용수 이용량 조사

- 1) 농업용수 수리권 조사와 관련 된 조사는 건설교통부 익산지방국토관리청(1999)의 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사로서 유역의 수리허가권과 관행수리권 조사를 실시하였음
- 2) 농업용수 이용현황을 보면 2000년의 농업용수 88.9억m<sup>3</sup>(48%), 생활용수 66.57억m<sup>3</sup>(36%), 공업용수 30.6억m<sup>3</sup>(16%)이며 국외현황에서 「The World's Water 2000」(Peter H. Gleick.) 자료에 의한 주요 국가들의 농업용수 이용율을 보면 아시아 77%, 유럽 26%, 북중미 67%, 남미 75%, 아프리카 71%로 조사됨

##### 나. 관개면적 및 수확량 변화

- 1) 2008년 8월 통계청이 발표한 2008년 벼 재배면적 조사 결과에 따르면 올해 벼 재배면적은 93만5766ha로 지난 2007년 95만250ha보다 1만4484ha(1.5%) 줄어들었으며, 최근 10년 중 벼 면적이 가장 많았던 2001년 1,083천ha에서 △2003년 101만6030ha △2004년 100만1159ha △2005년 97만9717ha △2006년 95만5229ha 등으로 매년 감소 추세임

- 2) 단위면적당 쌀 수확량 변화는 2007년 쌀 생산량은 468만톤, 2005년 500만톤, 2006년 476.8만톤으로 나타났으며, 1990년대 후반부터 2000년대 초반까지 생산량이 늘어나면서 양곡연도말 재고율은 증가 추세를 보였으나 2002년 이후 생산량이 줄면서 다시 감소하고 있음

## 4.2 관개용수량 분석

### 4.2.1 필요수량 및 실제용수공급량

#### 가. 저수지

- 1) 각 저수지의 관개용수량은 2007~2008년도의 관개기간 중 해당 지사의 관개운영 일지를 참고하여 자료를 이용하였으며, 이때 관개용수량은 현장에서 실측된 자료가 아니라 당초 설계시 제시된 용수공급 통관(제수분)에서의 수위별 유량자료로 환산한 조건표를 이용하여 기록된 자료이며, 관개운영일지는 일별 통수시간과 수위에 따른 공급량 자료를 곱하여 일별 관개용수량으로 계산된 자료로 전국 11개 저수지 자료를 이용하였음
- 2) 산정된 연간 조용수량인 필요수량은 2007년에는 567.8mm~843.3mm범위로 산정되었으며 실제용수공급량은 471.3mm에서 1,085.9mm, 2008년의 경우 필요수량은 665.2mm에서 1,103.4mm로 산정되어 지역별 차이를 보이고 있으며 실제공급량은 336.1mm에서 2,424.4mm로 필요수량과 같이 지역별 편차가 상당히 심한 것으로 나타남
- 3) 이러한 결과로 볼 때 논용수 이용량은 지역별, 시기별 편차가 심하여 정량화가 상당히 어려움을 알 수 있으며 본담기의 경우는 산정한 값과 공급량이 유사한 경향을 보여주고 있지만 시기별로 조금씩 차이는 나고 있다. 그리고 묘대기 및 이앙기인 4월 5월은 용수공급량과 필요수량의 차이가 매우 심하게 나타나고 있음을 확인 할 수 있으므로 설계기준 등의 기준을 적용한 물관리 계획수립 등을 하기 위해서는 이러한 차이에 대한 원인 규명이 현실적으로 필요함

#### 나. 양수장

- 1) 각 수계별인 한강, 섬강, 금강, 밀양강, 낙동강, 섬진강, 영산강에 해당하는 17개 지역별 양수장에 대하여 농업용수 공급량과 필요수량을 분석하기 위하여 2007~2008년까지 2개년 자료는 농업기반시설관리시스템(RMIS)의 자료를 이용하였다. 이때 이용한 공급량은 실제 관개량을 실측한 자료가 아니라 양수장 가동기록을 이용하여 양수기 가동시간과 시설용량을 이용하여 산정한 월별 값 이용

- 2) 2007~2008년 전반적인 현상은 4월의 필요수량은 9.0mm~14.1mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 4.8mm~194.9mm로 0.51배에서 20배의 양을 공급하고 있으며 5월은 필요수량이 5.5mm~72.2mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 18.4mm~596.9mm로 0.42배에서 60배 이상의 양을 공급하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 6월~8월 사이는 필요수량에 비해 실제용수공급량이 약간 적게 공급되는 경향을 확인 할 수 있었음

#### 4.2.2 용수량 산정요소 조사

##### 가. 작부시기

저수지의 일별 용수공급량 자료를 이용한 지구별 2007년~2008년 관개기록에서 중간낙수를 시행하고 있는 자료를 중부/남부지방으로 구분하여 분석한 결과 2007년 중부와 남부지방의 중간낙수는 평균 27일, 2008년은 평균 18일로 나타났다. 따라서 중간낙수 기간을 설정하여 현행 설계기준 등에 적용하여 필요수량을 산정하는 것이 합리적이라 판단됨

##### 나. 시설관리손실

- 1) 농업수로 적정 관리기법 연구(농림부, 한국농촌공사, 2006)에서 배분관리 손실의 유형별 분석을 위하여 용수간선 및 지선의 분수공과 말단에서의 유량을 측정하고 배수지거 및 용수지거에서 손실되는 양을 측정한 결과 지구별로 24.9%에서 35.2%까지 차이를 보이고 있으며 평균값은 28.8%에 달하고 있음
- 2) 이러한 결과를 종합하면 송수손실과 배분관리손실을 합한 값인 시설관리손실율은 콘크리트 수로 경우 35%, 토공의 경우 45%에 달하는 것으로 나타남
- 3) 시설관리손실량에 대한 정량적으로 측정된 자료가 부족한 실정이며, 지속적으로 시설관리손실량 측정을 실시하여 손실에 대한 정량적인 근거 자료제시 및 설계기준 등에 반영되도록 노력하여야 할 것임

##### 다. 증발산량

작물계수를 이용하여 증발산량을 비교하기 위하여 산정한 결과, 4월에서 5월까지의 Penman식에 의한 방법이 Penman-Monteith식에 비하여 60%~80%정도로 나타났으며, 나머지 기간은 110%~150%까지 순별로 차이가 나타나고 있다. 증발산량이 농업 관개용수에서 차지하는 비중이 높은 요소임을 감안 할 때 이러한 차이는 규명이 필요하며, 지역적 특성을 반영한 잠재증발산량을 산정하는 적용 방법, 작물계수

적용 등에 있어 심층연구가 필요함

#### 4.2.3 수리시설물의 내한능력 검토

##### 가. 강수량 변화 분석

우리나라 과거 100년간 연강수량의 추이를 보면 최저 754mm(1939년)와 최고치 1,782mm(1998년)로서 2.4배 정도 차이가 나는 것을 알 수 있다. 도서지역을 제외하고 우리나라의 연평균강수량은 1,283mm로 과거 100년에 걸친 추세를 보면 연간 강수량은 약간 증가하는 경향이 있다. 1960년대 이후 연강수량의 변동폭이 커져 가뭄과 홍수가 증가하고 있어 기존 수자원 시설물에 의한 용수공급과 홍수 방어능력을 취약하게 하는 원인으로 작용하고 있음

##### 나. 내한능력 검토

- 1) 저수지 내한능력 검토는 수리 안전 대책의 기본방향을 정립하고 내한 능력 부적 시설에 대한보강 및 재개발 계획과 한해상습지에 대한 용수원개발계획을 수립을 목적으로 기존 수리시설물의 내한능력을 검토할 필요가 있음
- 2) 수리시설물의 내한능력을 검토하기 위한 기본적인 조사항목을 살펴보면 현지 및 청문조사를 통한 수리시설의 실제 관개면적 조사, 현재 수리시설 내한능력별 조사, 10년 빈도 한발에 의한 보강 및 재개발 계획수립, 한해 상습지에 대한 신규 용수원 개발 등 임

### 4.3 농촌용수 이용량 조사방안

#### 4.3.1 농촌용수 이용량 산정방법

수계별, 지역별, 수원공별 관개지구의 대표성과 지역적 특성이 고려될 수 있는 대표지구(구역)를 선정하여 실시함이 요구되며 농업용수의 회귀수량 또는 회귀율을 산정할 수 있는 장점을 지니고 있음

#### 4.3.2 농촌용수 이용량 조사기법 개발

##### 가. 농촌용수 이용량 조사기법

- 1) 농업용수의 효과적인 관리를 위해서는 농촌구역에 대한 공간적인 자료 조사와 물 이용에 대한 조사가 병행 추진되어야 할 것으로 판단되며, 이는 농업수리시설의 구역과 수혜구역, 수리 시설 등을 종합적으로 조사하는 가칭 "농촌 구역

총 조사"를 실시하고 이 조사에서 "농촌용수 유역조사"와 지역별 대표 시험유역에서 실시하는 "농업용수 이용량 조사사업"이 지속적으로 이루어져야 할 것임

- 2) 농촌용수 이용량 조사를 위한 추진 방법은 크게 4 단계로 구분할 수 있으며 1단계는 농촌용수 유역 총조사 계획의 수립과 유역조사 항목을 선정, 조사표를 작성, 조사방법에 대한 매뉴얼 작성과 이용량 조사 모니터링 계획을 수립하는 것이며 2단계는 농촌용수 조사를 위한 업무 분담 및 실행계획을 수립하는 것으로 재정과 조직 및 업무 분담을 실시하고 시험유역 선정과 모니터링 팀을 구성한다. 시험유역 선정을 위해서는 기후대와 수계, 시험유역 선정 기준 그리고 GIS 등을 이용하되 모니터링 방법에 따라 적정 대상지역 개수가 결정되어야함

#### 나. 조사항목의 선정

농업용수 이용량 조사를 위한 조사 항목은 크게 수원공(저수지, 양수장, 취입보, 관정), 송수시설(토공수로, 라이닝수로), 그리고 수혜구역(필지용수량, 순용수량, 조용수량, 배수량)으로 구분할 수 있음

#### 다. 이용량 조사방법

- 1) 측정방법으로 저수지, 양수장 및 취입보에서는 수로가 시작되는 지점에 수위계를 설치하여 관개기간 동안 시간별(일별) 수위를 측정하고 이를 이용하여 유량을 측정할 수 있다. 이는 수위별 유속을 측정하여 얻어진 수위-유량곡선식을 이용하여 유량을 계산할 수 있다. 수위 측정지점에는 별도로 유량측정 장치를 이용하여 유량을 계산할 수 있으며 파샬플름 (Farshall Flume)을 주로 이용하고 있음
- 2) 관정으로부터 공급되고 있는 농업용수 이용량은 한국농촌공사 지사 및 시·군의 과거 운영 자료를 이용하여 간접적으로 조사할 수 있다. 이러한, 관정의 과거 운영 자료는 설계 제원이나 개보수 관련 현황이 대부분이며, 채수기록 등과 같은 사용량 자료는 거의 없는 실정이다. 관정 이용량은 이러한 설계 제원, 필요수량 및 관개급수 패턴 등을 이용하여 간접적으로 추정할 수 있음
- 3) 수혜지역 사용량의 조사에서 용수량은 크게 포장(圃場)단계, 지구(地區)단계 및 광역단계로 나누어 생각할 수 있다. 여기서 지구라고 하면 여러 개의 포장으로 된 논군(群)을 말하며, 광역은 용수의 반복이용이 있는 넓은 지구를 말한다. 시설관리용수량은 3.4에서 언급한 각 용수로 분기지점, 배수로 등에서 용수량을 측정하며 유량계 또는 수위계를 이용한다. 그리고 시기별 용수량을 측정하기 위해서는 필지를 선정한 후 못자리와 씨레질을 하기 위해서 필지로 유입된 유량을



측정함으로써 산정할 수 있으며 N형 감수심, 삼각웨어, 사각웨어 또는 유량계 등을 사용하여 측정할 수 있음

### 4.3.3 농촌용수 이용량 모니터링 조사

#### 가. 농업용수 이용량 측정지역

농업용수 이용량 조사지역 선정을 위한 기초조사 전국적으로 실시하기에는 용수공급 수원공이 너무 많고 관개지역이 방대하여 전수조사를 실시하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 대상지역 선정시 고려사항은 다음과 같다

- 일정규모 이상으로 농업용수 공급이 원활하게 이루어지고 있는 지역
- 중규모 정도의 저수지로서 전형적인 농업용수 공급 모델이 될 수 있는 지역
- 운영 및 관리가 잘 이루어지고 있어 관련 자료의 확보가 원활하게 이루어질 수 있는 지역

#### 나. 농촌용수 이용량 조사지역 선정

##### 1) 선정방법의 기본 전제

- 농촌용수 공급과 이용에 관한 개념에 일치하는 관개조직으로 구성되어 있으며, 물관리가 잘 이루어지고 있는 관개구역 (특이성의 배제)
- 5대강 수계와 농업지대구분 그리고 지역특성을 대표할 수 있다고 판단되는 관개구역 (대표성의 원칙)
- 현재 가용할 수 있는 인력과 비용으로 관개구역 전체에 대한 공간적 범위에서 농촌용수의 조사 항목에 대한 대부분 조사가 가능한 관개구역 (조사 능력)

- ##### 2) 농업용수 이용량 조사 대상지구는 저수지와 양수장 지구를 대상으로 시험 지구를 선정하여 실시하는 것이 좋으며 대상 시험지구에 수문계측망을 구성하고, 현장 자료를 수집 분석하여 농업용수 이용량 계산에 활용

#### 다. GIS를 이용한 가능지역 선정

전국적인 사용량 조사를 위해서는 지역별로 조사 지역을 선정하여 지속적인 모니터링이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 행정구역도와 대권역 수자원 단위도와 유효저수량 50만톤 이상의 저수지 수치지도를 이용하여 도단위 행정구역과 대권역 수분유역에 대한 저수지를 추출하였다. 이와 같은 측정 가능 대상 지역을 선정하기 위하여 행정구역도, 대권역 수문 단위도, 농촌용수 구역도, 50만톤 이상 저수지 위치도, 하천도, 농촌용수 수혜구역도의 수치지도를 이용하였음

#### 4.3.4 밭 용수 이용량 조사

##### 가. 밭작물의 필요수량 결정 방법

밭 용수 수요량은 관개 대상지의 기상, 작부체계와 토양특성을 시기별로 파악하여 반영하여야 하며, 현재 밭관개 계획수립시 잠재증발산량 계산을 FAO에서 추천하고 있는 Penman-Monteith법을 이용하고 있음

##### 나. 밭관개 계획상의 문제점과 개선방안

- 1) 일 강우의 80%가 무조건 토양으로 침투된다는 가정하에 유도된 것으로 수문학적 신뢰성이 결여되고 토양에 따라 측정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 일반적으로 적용하기 곤란한 점이 있어 이를 보완하기 위하여 토양의 유효수량을 고려한 일별 토양수분추적법으로 유효수량을 산정하는 방법이 제시됨
- 2) 밭용수 수요량을 산정하기 위하여 일별 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석하기 위한 것으로 물수지를 고려한 밭의 유효수량 산정식을 이용한다. 그러나 실제 밭의 토양수분 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분 최대저류량(Dmax) 및 위조점(Dmin)에 의해 제한할 수 있음

##### 다. 밭 용수 이용량 산정

- 1) 밭작물의 소비수량을 측정하기 위해서는 우선 지역별로 주요작물의 재배면적을 검토하여 대상작물을 선정하여야 하며, 이를 대상으로 작부체계, 토성을 고려하여 시험계획을 수립하여 측정하여야 함
- 2) 작물의 소비수량은 작물이 성장하기 위해 흡수하는 수량과 표면에서 증산하는 수량 및 토양 면에서 증발하는 수량 및 지하로 침투하는 수량의 합계이다. 그리고 작물의 종류, 생육시기, 기상조건, 토양조건 등에 의하여 변화하기 때문에 밭관개 계획시 지구마다 별도로 필요수량을 산정하여 시설계획에 이용

##### 라. 실제 이용량 조사

- 1) 관개면적, 양수기제원, 대당 양수량, 양수기 가동시간, 전력사용량 자료수집
- 2) 대당 양수량, 관개면적, 마력, 대수, 펌프구경 등을 정리된 양식에 기입하고 양수시간 입력
- 3) 시험농가나 시험 밭 관개지구를 대상으로 계량기 이용 조사기간 전체의 사용량 산정

- 4) 수개의 시험지구 조사 값으로 면적과 관개량 관계식을 유도
- 5) 시범농가를 대상으로 계량기 읽음을 일별로 실시 조사기간 일별 급수 패턴을 작성
- 6) 미계측지역의 조사기간 전체 사용량을 면적-관개량 공식에서 유도하고 이를 유도된 급수 패턴을 이용 일별 사용량으로 변환
- 7) 개별 농가의 사용량을 합산하여 전체지구의 일별, 월별, 연간 사용량으로 산정

#### 4.3.5 조사관련 법 검토

- 1) 하천법 유역조사 및 수문조사에 대한 사항이 있으며 유역조사는 조사항목의 생성주기, 자료의 변동성 및 활용빈도 등을 고려한 조사주기, 수자원 정보체계 구축·운영 등에 관한 규정이 있으며, 환경부 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서는 전국적인 수질/수생태계에 대한 실태파악 실시 및 측정망을 설치하여 수질오염도 상시측정과 수질/수생태계에 대한 전국조사를 항목별, 조사주기 등을 명시하여 실시토록 규정하고 있음
- 2) 따라서, 농업용수 이용량 조사에 대하여 조사방안 및 자료의 정보화 추진을 위해서 4.3.2에서 언급한 가칭 “농촌용수 유역 총조사”에 대한 내용을 포함한 규정 또는 지침 등이 조속히 마련되어야 할 것으로 판단됨

### 4.4 하천수 이용에 대한 문제점 및 대책

#### 4.4.1 하천수의 수리특성

##### 가. 자연적·수문학적 특성

계절적 불안정 요인으로 하천 유량을 결정하는 가장 중요한 인자는 강우이기 때문에 이의 영향이 크다. 따라서 하천 유량은 강우량의 계절적 변화에 따라 좌우되기 때문에 우리나라의 경우 강우의 계절적 편중이 심하여 하천의 유량도 그 변화 폭이 크다. 이에 따라 계획적인 급수가 곤란하고 작물의 생육시기 별로 충분한 수량의 확보가 어려운 경우가 발생할 수 있음

##### 나. 농업용수 수리특성

물리 소비기간이 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등의 원인에 영향을 받고 있으며, 강우를 유효수량으로 이용하는 측면에서 보면 지역, 문화적행 수리관행에 따라 공공성이 강함

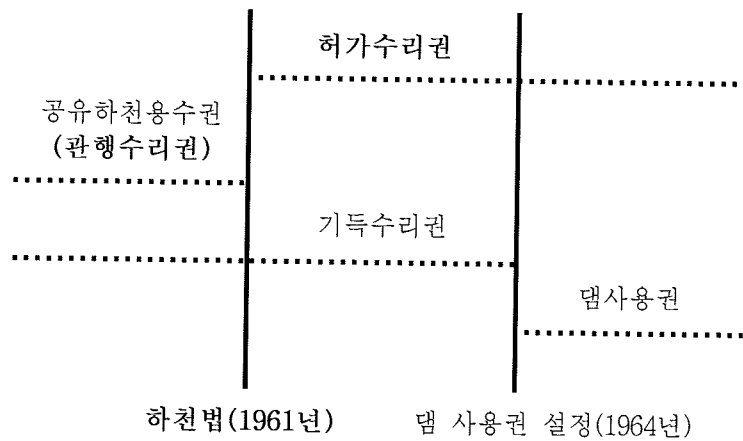
#### 4.4.2 하도 물수지분석의 복잡성

유출량의 경우 하천 유출량은 수위관측소에서 관측된 값을 사용하여 결정하거나, 잘 보정된 강우-유출모형을 사용할 수도 있고, 시설용량 또는 관개면적을 이용하여 추정된 값을 사용하기도 하며, 공급량에 대한 비율로써 추정을 하기도 하나 필요한 입력 자료의 대부분이 추정되거나 일부만이 측정된 부정확한 값이기 때문에 실제 하천관리를 위한 적용에 있어서 정확한 물수지를 기대하기는 어렵다

#### 4.4.3 수리권 검토

##### 가. 수리권

우리나라의 수리권은 하천법 설정을 전/후로 관행수리권, 허가수리권으로 나뉘고 댐사용권을 기준으로 다시 기득수리권과 댐 사용권으로 구분할 수 있다.



##### 나. 개선사항

- 1) 관행(기득)수리권의 보호 범위의 불명확성 문제는 수리시설의 농업용수 수리권 문제가 아니라 농업용수 수리권 보호 대상인 양적인 농업용수의 특수성, 즉 사용된 물의 상당량이 하천으로 환원, 시기별 사용량의 변동성, 기후에 민감한 부분 등 다양한 특성을 다각적인 측면에서 고려하는 법률 규정이 마련되어야 할 것임
- 2) 최근 농업용수 사용 그 자체가 생태적 기능, 경관보전 기능 다원적 기능을 수행하고 있을 뿐 아니라 방재용수, 지역문화 축제 용수 등 다양한 용도로 사용되고 있으며 이러한 용수를 농업용수의 개념을 넘어서 '지역용수' 개념을 포함하는 '농어촌용수'에 대한 제도적 뒷받침이 마련되어야 할 것으로 판단됨

#### 4.4.4 문제점 및 대책

##### 가. 하천수 사용에 따른 이용료 부과

하천법에 의하면 하천수를 농업용으로 사용하기 위해서는 하천수의 사용허가를 받아야 하고, 하천수 사용에 따른 이용료를 부담하게 되어 있으며 또한, 하천수 사용자는 그 사용량을 확인할 수 있는 계측시설을 설치하고 관련사항을 기록 보관하여야 하며, 하천수 사용량의 계측방법에 관한 사항에 대하여 기록 보관을 요구 및 하천수 사용실적을 홍수통제소장에게 보고토록하고 있음

##### 나. 문제점

###### 1) 하천의 이용량 정량화 곤란

작물재배의 시기적 차이와 관개방식 차이, 중간낙수 적용여부, 시설관리 손실의 차이, 적용 작물계수의 차이 등이 원인이기 때문에 농업용수 이용량을 실측이 아닌 이론적인 방법으로 정량화 또는 계량화 하기는 상당한 어려움이 따르고 농업용수는 물의 소비구조가 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등의 인자에 영향을 받고 있기 때문임

###### 2) 반복이용/회귀율 산정 곤란

농업용수의 회귀수량은 수문기작이 대단히 복잡하고, 기상, 작물, 토양, 등의 물리적인 요소와 물 관리 등의 인위적인 요소 등이 작용하고 있기 때문에 정확한 양을 추정하기가 어렵다. 따라서 논 관개지구의 수문특성을 파악 할 수 있는 모니터링 시스템의 구축이 절대적으로 필요한 실정임

###### 3) 이용량 평가/이용료 부과

용수이용료 부과는 오래 전부터 하천연안권의 형태로 물 사용 권리가 주어져 온 관행수리권에는 불합리하며, 또한 물 사용량 평가에 따라 허가된 수리권을 이용하지 않는다는 이유만으로 무조건 허가수리권 허가량을 제한하는 것은 바람직 않음

##### 다. 대책

###### 1) 농업용수 정량화

앞에서 살펴본 농업용수의 이용량에 대한 변화 요인을 고려하여 어떻게 용수이용량을 추정하느냐가 문제이다. 따라서 제4장에서 살펴본 농촌용수 조사기법에 따른 관개지구의 수문특성을 파악 할 수 있는 모니터링 시스템의 구축이 절대적으로 요구되고, 또한 이 지역의 수문특성을 모의할 수 있는 수학적 모형을 구성

하여, 실제 여러 지구에 적용하여 신뢰성 있는 자료의 구축 및 적용성을 평가하고, 이로부터 여러 가지 조건에 대한 반복이용수량, 회귀수량 등의 변화를 산정하여야 할 것임

## 2) 이용료/사용량 평가

시스템의 부재에 따른 관행수리권의 보호 범위의 불명확성 문제는 수리시설의 농업용수 수리권 문제가 아니라 농업용수 수리권 보호 대상인 양적인 농업용수의 특수성, 즉 사용된 물의 상당량이 하천으로 환원, 지하수 함양 보충, 시기별 사용량의 변동성, 기후에 민감한 부분 등 다양한 특성을 다각적인 측면에서 고려하는 방안이 마련되어야 할 것임

## 5. 실용화 방안

### 5.1 최종목표

- 1) 농촌용수의 민법상 문제 등 관련법 검토, 관행수리권(기존연구 자료이용), 반복이용(회귀수)에 따른 하천수 이용에 대한 정량화 또는 계량화에 따른 지속가능발전위원회, 건설교통부 등 하천수 이용에 따른 농촌용수 이용료 부과에 대한 체계적/지속적인 방안 마련
- 2) 국내 수자원의 최대 이용부문인 농촌용수의 이용량조사를 통하여 효율적인 농촌용수 이용과 국가 불부족 대처 방안 제시
- 3) 국내·외 기준 및 관련 지침을 고려한 농촌용수 조사기법 기준 틀 마련, 평가기법 제시를 통한 “농촌용수 이용량 산정/조사사업” 방안 정립

### 5.2. 기대성과

#### 가. 기술적 측면

- 1) FAO 등 국제기구의 관개용수 산정기준에 적정한 농촌용수 관리계획 제시
- 2) 국내 실정에 맞는 농업용수 이용량 조사 기법 및 측정 방안을 제시함으로써 향후 효율적인 농촌용수 이용 및 관리와 물 부족에 대처

#### 나. 경제·산업적 측면

- 1) 국토균형 발전 일환으로 국가 수자원계획에 부합되는 일관성 있고 공통된 농촌용수 이용량 조사기준 정립
- 2) 향후 농림부 이용량 조사 사업 시행시 체계적인 사업추진 지원

## 5.3 활용방안

### 가. 활용 정책명(또는 사업명)

- 1) 농촌용수 이용량 조사 사업에 활용
- 2) 농촌용수 개발/관리 사업 기준에 활용

### 나. 활용 주관부서(또는 농림부 담당과)

- 1) 농림부 시설관리과 및 한국농촌공사 사업계획처
- 2) 시군 농촌용수 담당 부서 및 한국농촌공사 수자원관리처

### 다. 정책(또는 사업) 반영내역 및 계획

- 1) 국가 물 현황 조사의 농촌용수 이용량 파악 및 관리를 위한 정책 자료로 활용
- 2) 시·군 및 한국농촌공사 현장의 효율적인 농촌용수 관리를 위한 기초자료로 활용

### 라. 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안

농업용수 이용량 조사 방안 확정 후 관련 부서에 지침 자료 배부 및 교육 실시

# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	<b>3</b>
1.1 연구배경 .....	3
1.2 연구의 필요성 .....	4
1.3 연구목적 .....	4
1.4 연구내용 및 범위 .....	4
<b>제2장 농촌용수 이용량 조사 및 연구실적</b> .....	<b>9</b>
2.1 수자원관련 추진사항 .....	9
2.1.1 농업용수(농림부/한국농촌공사) .....	9
2.1.2 수자원계획(건설교통부/한국수자원공사) .....	10
2.2 용어의 개념 및 정의 .....	14
2.2.1 농촌용수 .....	14
2.2.2 기 타 .....	15
2.2.3 농촌용수 수요량/공급량/이용량 .....	18
2.3 이용량 관련 조사자료 .....	19
2.3.1 연구논문 및 보고서 .....	19
2.3.2 농업용수 수요량 산정 .....	21
2.3.3 농업용수 공급량 추정 .....	23
2.3.4 농업용수 이용량 조사 .....	24
2.3.5 농업용수 회귀수량 조사 .....	25
2.3.6 농업용수 수리권 조사 .....	26
2.3.7 국외 농업용수 현황 .....	27
2.4 관개면적 및 수확량 변화 .....	30
2.4.1 관개면적의 변화 .....	30
2.4.2 수확량 변화 추이 .....	36
<b>제3장 관개용수량 분석</b> .....	<b>45</b>
3.1 저수지 .....	45



3.2 양수장 .....	47
3.3 필요수량 및 실제공급량 비교 .....	48
3.3.1 필요수량 산정조건 .....	48
3.3.2 저수지 .....	48
3.3.3 양수장 .....	61
3.4 용수량 산정요소 조사 .....	75
3.4.1 작부시기 .....	75
3.4.2 시설관리손실 .....	82
3.4.3 증발산량 .....	86
3.5 수리시설물의 내한능력 검토 .....	90
3.5.1 강우량 변화 분석 .....	90
3.5.2 수리시설의 내한능력 현황 .....	93
3.5.3 물수지 분석 .....	94
3.5.4 수리시설의 내한능력 검토 .....	103

**제4장 농촌용수 이용량 조사방안 ..... 109**

4.1 농촌용수 산정방법 .....	109
4.1.1 농촌용수 .....	109
4.1.2 수요량 산정 문제점 및 개선방향 .....	115
4.1.3 농업용수 이용량 산정방법 .....	117
4.2 농촌용수 이용량 조사기법 개발 .....	119
4.2.1 농촌용수 이용량 조사기법 제시 .....	119
4.2.2 논관개 개념 및 이용량 .....	124
4.2.3 조사항목의 선정 .....	128
4.2.4 이용량 조사방법 .....	132
4.2.5 수리불안전도에 대한 이용량 산정 .....	142
4.3 농촌용수 이용량 모니터링 조사 .....	144
4.3.1 농업용수 이용량 측정지역 .....	144
4.3.2 GIS를 이용한 가능지역 선정 .....	149
4.4 밭 용수 이용량 조사 .....	150

4.4.1	밭작물의 필요수량 결정 방법	150
4.4.2	밭 용수 이용량 산정	180
4.4.3	실제이용량 조사	195
<b>제5장</b>	<b>하천수 이용에 대한 문제점 및 대책</b>	<b>205</b>
5.1	하천수의 수리 특성	205
5.1.1	자연적·수문학적 특성	205
5.1.2	농업용수 수리특성	207
5.1.3	사회·경제적 특성	208
5.2	하천수의 이용현황	209
5.3	하도 물수지분석의 복잡성	212
5.3.1	하도물수지 특성	212
5.3.2	물수지 분석 방법	213
5.3.3	하도물수지 모형	214
5.4	수리권 검토	215
5.4.1	수리권	215
5.4.2	개선사항	219
5.5	문제점 및 대책	222
5.5.1	법적 특성	222
5.5.2	문제점	223
5.5.3	대책	225
<b>제6장</b>	<b>종합결론</b>	<b>231</b>
<b>참고문헌</b>		<b>255</b>
<b>부 표</b>		<b>261</b>
<b>부 도</b>		<b>281</b>

## 〈표 차례〉

〈표 2-1〉 유역조사 현황 .....	11
〈표 2-2〉 전국 유역조사(2000~2006) 현황 .....	11
〈표 2-3〉 전국 유역조사(2000~2006)의 주요 성과 .....	21
〈표 2-4〉 유역조사 지침의 주요 내용 .....	13
〈표 2-5〉 유역조사 지속시행 연도별 추진계획 .....	13
〈표 2-6〉 조사주기의 구분 (유역조사 지침) .....	13
〈표 2-7〉 2007년도 조사계획 .....	11
〈표 2-8〉 수자원 장기종합계획 연혁 .....	14
〈표 2-9〉 농촌용수의 구분 .....	15
〈표 2-10〉 유역별 관개전의 단위용수량 .....	20
〈표 2-11〉 농업용수 산정방법들의 비교 .....	22
〈표 2-12〉 농업용수 시설공급량 추정(2004년) .....	2
〈표 2-13〉 농촌용수 개발 현황 .....	24
〈표 2-14〉 농업용수 회귀율 연구 사례 .....	26
〈표 2-15〉 영산강 유역 수리권 현황 .....	27
〈표 2-16〉 섬진강 유역 수리권 현황 .....	27
〈표 2-17〉 일본의 하천수 및 지하수 이용 (2000년) .....	8
〈표 2-18〉 일본의 물 사용 현황 (2000년) .....	8
〈표 2-19〉 일본 농업용수의 용도별 사용(추정)량 변화 .....	28
〈표 2-20〉 대만의 연간 물 사용량(2001년) .....	9
〈표 2-21〉 중국의 연간 물 사용량(2001년) .....	9
〈표 2-22〉 세계 주요국가의 하천수 이용현황 .....	30
〈표 2-23〉 국토 이용면적 현황 .....	31
〈표 2-24〉 연도별 경지면적 변화 .....	31
〈표 2-25〉 시도별 경지면적 변화 .....	32
〈표 2-26〉 최근 20년간의 경지면적 증감 현황(1984~2003) .....	33
〈표 2-27〉 수요량 산정을 위한 검토(안)별 경지면적의 적용 .....	34
〈표 2-28〉 주요 농업용수 수요지표의 변화 전망 .....	34

<표 2-29> 수리상태별 담면적 변화 .....	35
<표 2-30> 수리시설 및 한밭빈도별 관개면적 (2006) .....	5
<표 2-31> 시나리오별 벼 재배면적 전망 .....	36
<표 2-32> 주요 작물의 연도별 재배면적 변화 .....	37
<표 2-33> 연도별 벼 재배면적 및 쌀 수확량 비교 .....	38
<표 2-34> 시도별 벼 재배면적 현황 (2008. 1) .....	9
<표 2-35> 전체 쌀 수급 현황 .....	40
<표 2-36> 연도별 쌀 재배면적 및 생산량 .....	41
<표 2-37> 연대별 단위면적당 수확량 증가에 따른 증발산량 변화 .....	42
<표 3-1> 저수지현황 .....	45
<표 3-2> 수위관측내역 .....	46
<표 3-3> 지점별 수위-유량 관계식 .....	46
<표 3-4> 양수장현황 .....	47
<표 3-5> 저수지지구 실제공급량/필요수량 비교(연도별) .....	49
<표 3-6> 저수지지구 실제공급량/필요수량 비교(월별) .....	50
<표 3-7> 양수장지구 실제공급량/필요수량 비교(연도별) .....	62
<표 3-8> 양수장지구 실제공급량/필요수량 비교(월별) .....	64
<표 3-9> 작부시기 적용값 .....	75
<표 3-10> 이양기간 및 이양시기 조정 .....	76
<표 3-11> 지대별 이양시기 기준 및 최적 이양시기 .....	76
<표 3-12> 지대별 못자리 설치적기 .....	77
<표 3-13> 각 도별 이양일수 및 논 물잡이 일수 .....	78
<표 3-14> 이동 시험지구 낙수현황(2007~2008년) .....	08
<표 3-15> 저수지 지구별 중간낙수 기간(2007~2008년) .....	18
<표 3-16> 토질에 따른 수로별 손실률 .....	83
<표 3-17> 송수손실율 측정결과 .....	83
<표 3-18> 배분관리용수량의 조사(예) .....	84
<표 3-19> 배분관리 손실량 측정결과 .....	85
<표 3-20> B-C공식의 생육기별 작물계수( $K_c$ ) .....	86

<표 3-21> Penman 공식 작물계수('82~'86) .....	8
<표 3-22> 생육기별 수정 Penman식과 B-C공식의 작물계수( $K_c$ ) .....	8
<표 3-23> 연농방식 적용 작물계수와 FAO제시값(중부) .....	88
<표 3-24> 잠재증발산량 비교(순별) .....	88
<표 3-25> 증발산량 산정결과 비교(순별) .....	89
<표 3-26> 한발빈도별 관개면적 .....	94
<표 3-27> 유역물수지 모형의 입력자료 .....	102
<표 3-28> 수리시설 내한능력 조사항목 및 내용 .....	103
<표 4-1> 농업용수 조사인자 결정 .....	111
<표 4-2> 농업용수 이용량 산정 방안 (맹승진, 2006) .....	111
<표 4-3> 농업용수 조사인자 조사기준 .....	112
<표 4-4> 축종별 가축사육의 물 수요량 기준 .....	113
<표 4-5> 조사유형별 대상 작물 .....	114
<표 4-6> 연도별 및 작물별 재배면적 .....	114
<표 4-7> 작물별 재배면적 추이와 전망 .....	115
<표 4-8> 농업용수 유역 조사의 이수, 치수부문 조사 항목 .....	122
<표 4-9> 물사용량 조사 방법 .....	127
<표 4-10> 농업용수 이용량 조사를 위한 조사 대상별 조사 항목 .....	128
<표 4-11> 사용량 조사를 위한 용수량의 종류(정하우 등, 2006) .....	128
<표 4-12> 수리불안전답의 이용량 계산 방법 .....	142
<표 4-13> 농업용수 조사를 위한 수치기초자료 .....	144
<표 4-14> 수계별 유효 저수량 50 만톤 이상 저수지 현황 .....	149
<표 4-15> 잠재증발산량 산정식들의 비교 .....	151
<표 4-16> 발관개 계획상의 문제점 및 개선방향 .....	152
<표 4-17> 소비수량 산정예 .....	153
<표 4-18> 작물계수와 Dual 작물계수의 비교 .....	155
<표 4-19> FAO에서 제시한 작물계수 .....	157
<표 4-20> FAO에서 제시한 기본 작물계수 .....	159
<표 4-21> 콩의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	161

<표 4-22> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉑
<표 4-23> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'89, 대구) .....	㉑
<표 4-24> 참깨의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉑
<표 4-25> 배추의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'89, 수원) .....	㉑
<표 4-26> 오이의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 대구) .....	㉑
<표 4-27> 오이의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사토) .....	㉒
<표 4-28> 오이의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사양토) .....	㉒
<표 4-29> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) .....	㉒
<표 4-30> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) .....	㉒
<표 4-31> 콩의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉒
<표 4-32> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉒
<표 4-33> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) .....	㉓
<표 4-34> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) .....	㉓
<표 4-35> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('88~'89, 대구) .....	㉓
<표 4-36> 참깨의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉓
<표 4-37> 배추의 반순별 실측 증발산량 ('88~'89, 수원) .....	㉔
<표 4-38> 오이의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 대구) .....	㉔
<표 4-39> 오이의 반순별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사토) .....	㉔
<표 4-40> 오이의 반순별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사양토) .....	㉔
<표 4-41> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) .....	㉔
<표 4-42> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) .....	㉕
<표 4-43> 콩의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉕
<표 4-44> 고추의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉕
<표 4-45> 고추의 순별 실측 증발산량 ('88~'89, 대구) .....	㉕
<표 4-46> 참깨의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) .....	㉕
<표 4-47> 배추의 순별 실측 증발산량 ('88~'89, 수원) .....	㉖
<표 4-48> 오이의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 대구) .....	㉖
<표 4-49> 오이의 순별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사토) .....	㉖
<표 4-50> 오이의 순별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사양토) .....	㉖
<표 4-51> 고추의 순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) .....	㉖

<표 4-52> 고추의 순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) .....	16
<표 4-53> 콩의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	17
<표 4-54> 고추의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	17
<표 4-55> 고추의 생육기간별 작물계수 ('88~'89, 대구) .....	17
<표 4-56> 참깨의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	17
<표 4-57> 배추의 생육기간별 작물계수 ('88~'89, 수원) .....	17
<표 4-58> 오이의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 대구) .....	18
<표 4-59> 오이의 생육기간별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사토) .....	18
<표 4-60> 오이의 생육기간별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사양토) .....	18
<표 4-61> 고추의 생육기간별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사토) .....	18
<표 4-62> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) .....	18
<표 4-63> 콩의 반순별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	18
<표 4-64> 고추의 반순별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	19
<표 4-65> 고추의 반순별 작물계수 ('88~'89, 대구) .....	19
<표 4-66> 참깨의 반순별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	19
<표 4-67> 배추의 반순별 작물계수 ('88~'89, 수원) .....	19
<표 4-68> 오이의 반순별 작물계수 ('88~'90, 대구) .....	19
<표 4-69> 오이의 반순별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사토) .....	19
<표 4-70> 오이의 반순별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사양토) .....	19
<표 4-71> 고추의 반순별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사토) .....	19
<표 4-72> 고추의 반순별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사양토) .....	19
<표 4-73> 콩의 순별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	11
<표 4-74> 고추의 순별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	11
<표 4-75> 고추의 순별 작물계수 ('88~'89, 대구) .....	11
<표 4-76> 참깨의 순별 작물계수 ('88~'90, 수원) .....	11
<표 4-77> 배추의 순별 작물계수 ('88~'89, 수원) .....	11
<표 4-78> 오이의 순별 작물계수 ('88~'90, 대구) .....	12
<표 4-79> 오이의 순별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사토) .....	12
<표 4-80> 오이의 순별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사양토) .....	12
<표 4-81> 고추의 순별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사토) .....	12

<표 4-82> 고추의 순별 작물계수 ('87 ~ '88, 청주, 사양토) .....	172
<표 4-83> 작물별 최대뿌리 깊이와 토양수분 감소율 .....	175
<표 4-84> 선행 토양함수조건의 분류 .....	175
<표 4-85> 토양형의 분류 .....	176
<표 4-86> 관개효율 .....	178
<표 4-87> 밭의 다목적 용수량 .....	178
<표 4-88> 설문조사내용 .....	195
<표 4-89> 계절별 작물 재배 현황 .....	195
<표 4-90> 지역별 관개방법 .....	196
<표 4-91> 관개간격과 관개 시간대 .....	196
<표 4-92> 1회 관개시 소요되는 시간 .....	196
<표 4-93> 여름·겨울에 관개하는 횟수 .....	197
<표 4-94> 재배현황 조사 야장 .....	197
<표 4-95> 밭 농업용수 사용량 조사 야장 .....	198
<표 4-96> 조사관련 법 검토 .....	201
<표 5-1> 벼의 생육에 대한 최저, 최적, 최고수온(℃) .....	206
<표 5-2> 하천수이용 수원공별 관개면적(2006년) .....	210
<표 5-3> 수리시설 설치연도별 현황 .....	210
<표 5-4> 연도별 수리시설 현황 .....	211
<표 5-5> 수리시설별 수혜면적 현황(2006) .....	211
<표 5-6> 각종 용수량의 연도별 변화와 전망 .....	211
<표 5-7> 하천수 이용에 따른 이용료 부과내역 .....	222



## 〈그림 차례〉

〈그림 2-1〉 연도별 벼 재배면적 변화 (통계청, 2008. 8) .....	9
〈그림 2-2〉 지역별 벼 재배면적 변화 (통계청, 2008. 8) .....	4
〈그림 2-3〉 단위면적당 수확량과 증발산량 .....	42
〈그림 3-1〉 경천댐 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	45
〈그림 3-2〉 백곡저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	45
〈그림 3-3〉 담양호 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	55
〈그림 3-4〉 성주댐 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	65
〈그림 3-5〉 하동호 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	65
〈그림 3-6〉 가산저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	75
〈그림 3-7〉 봉의저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	85
〈그림 3-8〉 문수저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2007, 2008년) .....	85
〈그림 3-9〉 미산저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2006, 2007년) .....	95
〈그림 3-10〉 용덕저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2005, 2007년) .....	06
〈그림 3-11〉 이동저수지 실제용수량 및 필요수량 비교(2006, 2007년) .....	16
〈그림 3-12〉 능서3지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	68
〈그림 3-13〉 대신지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	68
〈그림 3-14〉 행주지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	68
〈그림 3-15〉 백암지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	69
〈그림 3-16〉 주성지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	69
〈그림 3-17〉 내월지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	69
〈그림 3-18〉 점촌지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	70
〈그림 3-19〉 동강지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	70
〈그림 3-20〉 시종지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	70
〈그림 3-21〉 군서지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	71
〈그림 3-22〉 내촌지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	71
〈그림 3-23〉 주암지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	71
〈그림 3-24〉 부림지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	72

<그림 3-25> 길곡지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	72
<그림 3-26> 용산지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	72
<그림 3-27> 후용지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	73
<그림 3-28> 섬강지구 실제용수량 및 필요수량 비교 .....	73
<그림 3-29> 일별 담수심 변화(담수심-1) .....	79
<그림 3-30> 일별 담수심 변화(담수심-2) .....	79
<그림 3-31> 일별 담수심 변화(담수심-3) .....	79
<그림 3-32> 일별 담수심 변화(담수심-1, 2008년) .....	8
<그림 3-33> 우리나라 연평균 강수량의 갱년 변화(수자원장기종합계획, 2006) .....	9
<그림 3-34> 연강수량 변화(서울) .....	92
<그림 3-35> 연강수량 변화(전주) .....	92
<그림 3-36> 한발빈도별 수리답 .....	93
<그림 3-37> 저수지에서의 물수지 모식도 .....	95
<그림 3-38> 분석계획에 따른 하위 모형간 연계도 .....	98
<그림 3-39> 농촌용수개발사업지구 모식도 .....	99
<그림 3-40> 저수지 없는 상류 .....	100
<그림 3-41> 저수지 있는 상류 .....	100
<그림 3-42> 저수지 없는 중류 .....	101
<그림 3-43> 저수지 있는 중류 .....	101
<그림 4-1> 논용수 수요량 산정 .....	110
<그림 4-2> 합리적인 농촌용수 구역 관리와 농촌용수 이용량 산정 달성 모식도 .....	120
<그림 4-3> 농촌용수 이용량 조사 추진 방법 .....	121
<그림 4-4> 논관개 모식도 .....	125
<그림 4-5> 저수지 조사항목 선정을 위한 저수지 물수지 개념도 .....	131
<그림 4-6> 통관취수량 측정장치 설치 장소 .....	133
<그림 4-7> 양수장 사용량 계산 흐름도( 한강유역 농업용수 실제사용량 조사 및 회귀 수량 조사 보고서, 1998) .....	134
<그림 4-8> 논에서의 물수지 .....	136
<그림 4-9> N형 감수심 측정장치 .....	137

<그림 4-10> 벼 소비수량 측정을 위한 소형 라이시메타 .....	141
<그림 4-11> 벼 소비수량 측정을 위한 Weighing 라이시메타 .....	141
<그림 4-12> 수문단위도 대권역과 유효저수량 50 만톤 이상의 저수지 위치도 .....	145
<그림 4-13> 행정구역별 유효저수량 50만톤 이상 저수지 위치도 .....	145
<그림 4-14> 안성천 유역의 저수지 수혜지역과 저수지 위치도 .....	146
<그림 4-15> 농업용수 측정을 위한 측정 장치 설치 모식도 .....	148
<그림 4-16> 작물의 생육단계 .....	156
<그림 4-17> Dual 작물계수와 생육단계 .....	158
<그림 4-18> 증발산량 계산과정 .....	160
<그림 4-19> Gypsum block에 의한 방법 .....	182
<그림 4-20> Tensionmeter measured by handheld transducer .....	41
<그림 4-21> Gauge-type Tensiometer .....	41
<그림 4-22> Gypsum blocks .....	15
<그림 4-23> Granular matrix sensor heat sensor .....	8
<그림 4-24> Soil matric potential thermal .....	5
<그림 4-25> Equitensiometer .....	15
<그림 4-26> Frequency domain reflectometry .....	8
<그림 4-27> Diviner 2000 .....	16
<그림 4-28> C-Probe .....	16
<그림 4-29> Gopher .....	16
<그림 4-30> Buddy .....	187
<그림 4-31> Aquaterr .....	187
<그림 4-32> Thetaprobe .....	18
<그림 4-33> Netafim soil moisture data collector .....	8
<그림 4-34> Tektronix TDR .....	188
<그림 4-35> TRACE <sup>®</sup> TDR .....	188
<그림 4-36> Campbell Scientific TDR .....	19
<그림 4-37> Water content .....	10
<그림 4-38> Aquaflex .....	190
<그림 4-39> Gropoint reflectometer .....	0

<그림 4-40> Neutron moderation .....	10
<그림 4-41> AquaSensor .....	190
<그림 4-42> Chamber법에 의한 증발산량 측정 개략도 .....	191
<그림 4-43> 지하급수법에 의한 측정 개략도 .....	192
<그림 4-44> 비가림 하우스 시설 .....	194
<그림 4-45> TDR 관측공 전경 .....	194
<그림 4-46> TDR관측공 타설 전경 .....	194
<그림 4-47> 현장 기상계측시설 .....	194
<그림 4-48> TDR 관측공 설치 및 관수전경 .....	194
<그림 4-49> TDR 관측 전경 .....	194
<그림 4-50> 농가 실제 사용량 조사(예) .....	198
<그림 4-51> 농가 실제 사용량 조사(예) .....	198
<그림 4-52> 밭 용수 사용량 조사 과정 .....	199
<그림 5-1> 수원공별 관개면적 .....	209
<그림 5-2> 우리나라의 법적 수리권 구분 .....	219

# 제1장 서론

1.1 연구배경

1.2 연구의 필요성

1.3 연구목적

1.4 연구내용 및 범위

# 제1장 서론

## 1.1 연구배경

우리나라는 UN에서 정한 물 부족 국가에 속해 있으며 앞으로도 물 부족 현상은 더욱 심화될 전망이다. 국내 전체 수자원의 약 47%를 이용하고 있는 농촌용수의 정확한 이용량 파악과 이를 위한 조사기법 개발, 용수 절약 등으로 농촌지역의 효율적인 수자원 관리에 적극적으로 대비해야 할 필요가 있다.

- 농촌용수 이용량은 크게 논관개량, 밭 관개량, 그리고 축산용수로 구분되나 농업용수의 대부분인 83%가 논 관개에 사용되는 양으로서 논 관개의 공급량은 증발산량(소비수량)과 침투량 그리고 관리손실 및 수로손실량으로 구성된다. 여기서 침투량과 손실량은 반복이용이 가능한 양으로서 일부는 하천으로 회귀하거나 지하수 보충에 이용된다.
- 논 관개는 홍수조절과 경관 조성, 지하수 충전, 하천수 환원 등 다원적 기능이 있을 뿐 아니라 사용되어 회귀되는 수량은 바로 다른 용수로 활용할 수 있어 공급량 또는 필요수량이 실제 이용량이라고 하기에는 논란의 여지가 있다..
- 농업용수 이용량 조사는 증발산량, 침투량, 유효수량, 회귀수량 조사를 포함해야 하며, 반복이용수량을 고려하여 물 사용량을 계산해야만 정확한 사용량의 산정이 가능할 것이다. 농업용수는 작물의 재배시기에 따라 물이 필요한 양과 사용량이 변화하므로 시간적인 변화에 따른 사용량의 변화도 고려해야 할 것이다.
- 한편 밭 이용량은 논과 달리 담수재배를 하지 않고 토양에 저장된 물을 사용하므로 보다 복잡하며, 토양의 종류, 작물과 재배시기에 따른 근근역과 작물계수, 토양 수분소비형태 등을 고려하여 계산될 수 있다.
- 농업용수 이용량 산정을 위한 기초 자료는 "작물소비수량 산정 방법 정립 연구" 이후에 전국적인 조사가 이루어진 바가 거의 없으므로 전국적인 측정망을 구축하여 지속적인 이용량 측정으로 국가 수자원의 중추적인 역할을 하는 농업용수의 이용량 산정이 확립될 수 있도록 해야 할 것이다.
- 현재 농업용수 개발사업에는 앞의 내용을 기반으로 설계기준에 제시된 방법에 의해 필요수량을 산정하고 있으며, 수리시설을 운영하는 실제 물 관리에 있어서는 대부분 관행적인 방법에 의해 공급량을 정하여 관리하고 있다.
- 실제 농업용수 이용량을 조사하기 위해서는 농업용수 공급량이 실제 경지에서 어떻게 활용되는가를 항목별로 조사해야만 보다 현실에 가까운 이용량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 농업용수 이용량은 경작방법, 시기, 지역, 토양 그리고 기후에 따라 차이가 나

므로 전국을 대상으로 농업용수 이용량을 산정하기 위해서는 권역별로 나누어 장기적으로 측정할 필요가 필요하다.

## 1.2 연구의 필요성

- 현재 수자원의 약 47%를 차지하고 있는 농촌용수는 관행수리권, 반복/순환 관개 등 복잡한 수리특성 등으로 정확한 농촌용수 이용실태의 정량화가 어려운 실정이다.
- 또한, 지속가능발전위원회의 “지속가능한 하천·하구역 통합관리체계 구축방안” 관련 세부 실행계획 및 국가 “수자원장기종합계획” 수립시 농촌용수의 수요와 이용량 측정을 통한 체계적인 계획기준 정립 요구 증대되고 있다.
- 따라서, 농촌용수 이용량은 작물/시기별, 기상상태에 따른 변화와 관행수리권, 순환/반복관개 등 수리특성이 복잡하여 이용량에 대한 정립화/조사기법 개발이 필요하다.

## 1.3 연구 목적

- 농촌용수 이용량에 대한 조사기법 개발
- 전국적인 농촌용수 이용량을 산정하기 위하여
  - 농촌용수 이용량 측정 방법과 내용을 표준화하고,
  - 농촌용수 이용량 산정 방법을 재정립하며,
  - 표준화된 방법에 의한 조사항목, 내용, 시기, 방법 등의 일관성 및 활용성을 고려하여 수계별/권역별 농촌용수 이용량을 측정하여 합리적이고 지속적인 농촌용수 이용과 국가 물 현황 조사 및 관리기반구축이 가능하도록 하는데 있다.
- 또한, 농촌용수의 민법상 문제 등 관련법 검토, 관행수리권, 반복이용(회귀수) 등 농업용수의 수리특성을 파악하여 하천수 이용에 따른 농업용수 이용료 부과에 대한 체계적/지속적인 방안을 마련에 있다.

## 1.4 연구내용 및 범위

### 가. 국내의 농촌용수 이용량 관련 자료조사

- 농촌용수 수요량/이용량 관련 문헌조사 및 검토
  - 연구논문 및 연구보고서
  - 농림부(한국농촌공사)

- 건설교통부(한국건설기술연구원, 한국수자원공사)
- 용어의 개념 및 정의
  - 농촌용수, 농업용수 수요량, 농업용수 이용량 등
- 관개면적 및 수확량 변화 추이
  - 지역별 관개면적의 변화 조사
  - 수확량 조사방법, 수확량 변화 추이
  - 단위면적당 수확량

## 나. 관개용수량 분석

- 저수지 및 양수장지구의 실제 이용량 조사
- 현행 설계기준에 의한 필요수량 산정 및 실제 관개용수량 비교
- 용수량 산정 요소 조사
  - 이양일수 및 물가두기 일수, 중간낙수 일수
  - 시설관리손실 : 송수손실량, 배분관리용수량
  - 소비수량 : 증발산량 방법별 비교 산정

## 다. 농촌용수 이용량 조사기법 개발

- 농촌용수 조사 항목별 조사주기/방법 등 조사기법
  - 조사목적의 수립, 조사항목의 설정, 조사기법의 제시
- 농촌용수 이용량 조사기법 개발
  - 논 용수 이용량 조사
  - 이용량 산정과 모델링을 고려한 측정항목 선정
  - 측정 항목별 대상 지역 선정방법, 측정 항목별 사용기기 설치 및 운영방법
  - 측정 항목별 측정 내용 및 자료 관리
- 밭 용수 사용량 조사
  - 지역별/시기별 조사대상 밭작물의 선정
  - 밭작물의 생육시기별 필요수량의 결정 방법
  - 지역별 밭작물의 필요수량 결정 방법
  - 밭 이용량 측정 방법 조사 및 이용량 산정 방법
- 최근 이상기후에 따른 수원공별(하천수 포함) 이수안전도 검토
  - 강우량 변화 분석
  - 저수지의 내한능력 검토를 위한 일별 물수지 모형의 선정 및 분석기법



(계수, 매개변수 등 산정)

- 하천 일 유출량 산정 방법의 선정 및 분석기법
- 내한능력검토 방법 및 조사 항목

## 라. 모니터링 조사

- 수원공 현황
  - 수원공(저수지, 양수장, 보 등) 현황
  - 수원공에서의 용수 공급량 측정
  - 공급횟수와 공급시기, 기간 및 공급량 측정 (모니터링)
- 수계별 농촌용수 이용량 모니터링 조사
  - 농촌용수 이용량 조사 구역 선정
  - 농촌용수 이용량 산정을 위한 대상작물 및 기초자료 조사
  - 수계별/시기별/작물별 논관개량 이용량 조사
  - 측정주기 및 방법
- 관련 법령 검토에 따른 체계적인 법적 추진방안

## 마. 하천수 이용에 대한 문제점 및 대책

- 하천수의 수리특성
  - 농촌용수의 수리특성
  - 농촌용수의 이용의 특성 분석
  - 하천수 이용현황
- 법·규정/제도 등 관련 법령 검토
  - 수리권(농업수리권) 관련 법·규정/제도 등 관련 법령 검토
  - 수리권 관련 법적 개선방안
- 문제점 및 대책
  - 하천수 이용 및 이용료 관련 법적검토
  - 하천수 이용의 정량화, 반복이용/회귀수량 산정 문제점
  - 이용료 부가 문제 체계적/지속적 방안 마련

## 제2장 농촌용수 이용량 조사 및 연구실적

2.1 수자원 관련 추진사항

2.2 용어의 개념 및 정의

2.3 이용량 관련 조사자료

2.4 관계면적 및 수확량 변화

## 제2장 농촌용수 이용량 조사 및 연구실적

### 2.1 수자원 관련 추진사항

#### 2.1.1 농업용수 (농림부/한국농촌공사)

- 1965년 전천후농업용수원개발계획(7개년 계획)
- 1968년 농업용수개발계획
- 1980년대 농업용수 10개년계획 수립
- 1980년 10월 수리시설 내한능력조사
- 1990년 4월 제정 농어촌발전특별조치법(농어촌용수이용합리화계획 수립 추진)
- 1994년 제2차 농촌용수10개년계획(1995~2004)
- 1999년 농업·농촌용수 종합이용계획(농촌용수이용합리화계획)
  - 1) 계획수립 배경
    - 21세기 농촌용수 수요량 증가에 대비, 한정된 수자원을 가장 효율적으로 활용,
    - 농촌용수의 합리적인 개발/보전/관리
  - 2) 추진경위
    - '89 농촌용수 종합발전기획단 설치, '90 농어촌 발전 특별조치법 제정/공포
    - '91 농촌용수구역 설정(464개 용수구역), '98 농촌용수구역 자원기초조사 완료
    - '99. 1. 농업·농촌용수 종합이용계획 수립 기획단 설치
    - '99. 10. 관련부처 협의/계획(안) 보완, '99. 11. 종합이용계획 확정
    - '99. 11. 이후 지자체별 용수구역 설정 및 고시
  - 3) 추진사항
    - 농촌용수구역 설정, 농촌용수 수요량 예측(농업용수, 축산용수, 생활/공업/하천 유지용수), 농촌용수 공급현황, 농촌용수공급시설 및 배분계획, 농촌용수구역 관리/보전 계획, 농촌용수 D/B자료 관리 및 활용(지표수 : 문자/도형 DB, 응용 프로그램 등)
- 1999년 농촌용수 수요량조사
  - 1) 추진배경
    - '98. 5.22 : 국무조정실 수질개선기획단의 “물관리종합대책” 중 『농촌용수 수요량 추정 및 공급방안』 과제 채택
    - '98. 9.16 : 농림부/농진공 합동 『농촌용수 수요량 추정 신기법』 정립/제출
    - '99. 1. : 신기법에 의한 전국 농촌용수 수요량조사 실시

- '99. 5. : 대표용수구역 유량측정 및 수위관측 개시
  - '99. 7. 2 ~ 12. 1. : 농촌용수 수요량 조사 1~2차 자문회의
- 2) 2001년 수자원장기종합계획(건교부) 농업용수 수요량 자료제공

○ 2003년 농촌용수공급체계재편계획 종합보고서

농촌용수의 다양한 용수수요 증대에 대처하기 위해 현행지구별, 단일 목적 용수개발체계에서 수계별 용수수급을 고려한 다목적 용수종합개발방향으로 전환하여 부족한 수자원을 체계적으로 개발하고 기 개발된 용수를 효율적으로 활용하며 기존 중/소규모 시설을 통합 재편하여 용수이용의 효율성 제고 계획

○ 2003년 제3차 농촌용수10개년계획(2002~2011)

1) 배경

- 기상이변에 따른 가뭄의 상습화와 농촌용수 수요증가에 대비할 수있는 항구적인 가뭄대책 필요
- 2001년 가뭄시 나타난 문제점에 대한 근본적인 해소 대책 필요

2) 기본방향

- 식량의 자급기반과 농지의 다면적/공익적 기능 유지를 위해 우량농지 중심으로 재해예방과 안전 영농 도모
- 환경보전과 개발이 조화될 수 있는 미래 지향적인 사업추진

3) 추진전략

- 우량농지에 대한 농촌용수개발사업 조기 완료, 시설유지관리 강화
- 기존시설 보강 등을 통한 논/밭 용수의 안정적인 개발/이용 보전체계 구축
- 친환경 농촌용수개발사업 추진 등

## 2.1.2 수자원계획 (건설교통부/한국수자원공사)

### 가. 유역조사

1) 초창기 유역조사 (1960~1990년대)

한강, 낙동강, 금강 및 영산강 등 우리나라의 4대강 유역에 대한 조사사업으로 1966년 3월 한강유역 조사사업의 착수를 시작으로 하여 5년에 걸쳐 4대강 유역에 대해 광범위한 조사를 실시하였다. 또한 4대강 유역 조사 이후 유역별 종합개발 계획을 구체화하기 위한 보완 및 지원조사와 기타 유역에 대한 조사를 1972년부터 1990년까지 유역별로 실시하였는데, 이는 주로 용수수요 추정, 물수지 분석 및 용수수급계획 수립 등 개발 위주의 부분적인 조사였다.

<표 2-1> 유역조사 현황

유역	1 차	2차 보완조사	3차 보완조사
한강	1966 ~ 1971 (USBR, 수공)	1978 (수공)	1989 ~ 1990 (수공)
낙동강	1966 ~ 1971 (UNDP, FAO, 건설부, 수공)	1973 ~ 1974 (수공)	1989 ~ 1990 (수공)
금강	1968 ~ 1972 (일본공영, 건설부, 수공)	1986 (수공)	1995 (수공)
섬진강	1979 ~ 1980 (건설부, 수공)	1987 (수공)	
영산강	1968 ~ 1973 (건설부, 수공)	1988 (수공)	

2) 전국 유역조사(2000 ~ 2006)의 실시

전국 유역조사(2000 ~ 2006)는 수자원장기종합계획, 댐건설장기계획, 유역종합치수계획 등이 법정계획으로 별도 추진됨을 고려하여 기초자료 조사 중심으로 수행되었다. 조사는 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강(제주 포함) 4개 권역으로 구분하여 수행하였으며, 조사 내용은 기본현황조사, 수리·수문조사, 이수조사, 치수조사, 환경생태조사 분야에 대한 조사항목으로 이루어져 있다.

<표 2-2> 전국 유역조사(2000 ~ 2006) 현황

범위구분	내 용
시간적	자료기간 : 1965 ~ 2001년
공간적	수자원단위지도 적용 대권역 21, 중권역 117, 단위유역 143, 표준유역 840
자료항목	기본현황, 이·치수, 환경, 생태 등 1,229개 항목(DB)

<표 2-3> 전국 유역조사(2000~2006)의 주요 성과

구 분	주요 조사 성과
기본현황조사	·전국 DEM(수치표고지도), 하천망, 토지피복분류도, 토양도 등 다양한 수치주제도 제작 ·전국 주요하천(3,749km) 항공촬영조사(동영상, 정지영상) ·1960년부터 2001년까지의 인구, 산업, 경제, 토지, 산림, 광물, 골재 등 자원자료 조사
수리수문조사	·수문관측소 제원 및 일자료 수집(검보정) ·과거 유량·유사량 성과, 하천단면, 유출량 등 조사 ·유량-유사량 상관관계 규명을 위한 동시 조사(792회) ·지하수 이용현황, 지하수 특성조사(행정구역, 유역별)
이수조사	·용수이용량(생·공·농), 이수시설물 현황조사(36년) ·유역내외 물이동 현황, 가뭄, 수리권조사 ·저수지 증발량에 대한 현장조사(증발량계 2지점 설치·운영) ·회귀수 비율 추정을 위한 현장표본조사(생·공·농 50개소)
치수조사	·치수시설 및 치수사업실적 현황조사 ·홍수피해조사 및 주요 홍수사상별 피해 현황 ·수해상습지, 재해위험지구, 홍수범람구역 현황 ·국가 및 지방1급 하천의 댐, 제방, 수문 등 치수시설물의 운영, 유지, 관리 실태 현장조사
환경생태조사	·환경기초시설 제원, 운영현황 DB화 ·유역별 수질, 오염발생원, 부하량 DB 구축 ·생물상 조사 및 DB 구축, 생태현황도 작성 ·토양오염측정망 현황 및 위치도 DB 구축 ·국가하천, 지방하천 하천공간활용 현황조사(현장조사)

## 나. 유역조사 지침

유역조사 지침 제정 : 건교부 훈령 제618호 (2006. 6. 20)

- 매년 유역조사 실시, 조사항목별로 각각의 조사주기 설정, 기준은 성과활용도와 근거자료의 생성주기 등을 고려하여 설정
- 조사매뉴얼 발간 및 성과검증위원회 운영 등의 방법으로 조사의 표준화
- 조사의 전문화 : 한국수자원공사에서 조사 수행, 하천정보센터는 성과를 정보화 하는 체계 추진, 조사 수행자는 소정의 교육을 이수토록 규정

<표 2-4> 유역조사 지침의 주요 내용

구 분	주 요 내 용
조사 유형	·기본현황, 이수, 치수, 환경생태조사 - 4개 분류 : 1,100여개 항목
조사 주기	·1년, 5년, 10년, 수시조사, 특별조사 - 조사항목의 생성과 활용빈도 고려
조사 방법	·문헌, 현장, GIS/RS(지리정보/원격탐사)조사 - 조사항목별 표준조사 방법 설정
성과 검증	·성과검증위원회의 검토 승인 절차
정보화	·DB 구축 및 WAMIS를 통한 성과 제공
교육·훈련	·유역조사 업무수행자의 교육의무

<표 2-5> 유역조사 지속시행 연도별 추진계획

구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
조사 항목	1년주기, 특별조사	1년주기, 5년주기	1년주기	1년주기	1년주기, 특별조사	1년주기	1년, 5년, 10년주기

<표 2-6> 조사주기의 구분 (유역조사 지침)

조사주기	내 용
1년	상시 활용성과 변동성이 높은 항목
5년	유역의 중·장기 변동특성을 나타내는 항목
10년	유역특성 등 장기적으로 변동성이 적은 항목
수시	시설제원 현황 등과 같이 시설추가로 인한 자료의 갱신이 필요한 항목
특별	사용자의 의견수렴 결과와 조사 성과의 활용성을 고려하여 특별히 조사가 필요한 항목

<표 2-7> 2007년도 조사계획

구 분	주 요 내 용		비 고
1년 주기, 수시조사	기본현황	행정구역, 인구, 기후기상 등	수자원공사 직접 조사
	이 수	용수이용량, 이수시설현황 등	
	치 수	홍수피해현황, 치수기초시설 현황 등	
	환경생태	수질측정망, 환경기초시설 현황 등	
특별조사	2002 ~ 2005년 기준 조사자료 업데이트		용역수행

<표 2-8> 수자원 장기종합계획 연혁

구 분	계획기간	수립년도	계획기조
수자원개발10개년계획	1970 ~ 1980	1965	다목적댐 개발
수자원장기종합개발계획	1981 ~ 2001	1980	댐개발 및 치수사업
수자원장기종합계획	1991 ~ 2011	1990	수자원 개발 및 관리
수자원장기종합계획·수정보완	1997 ~ 2011	1996	환경친화적 수자원 개발 및 관리
수자원장기종합계획	2001 ~ 2020	2001	건전한 물활용과 안전하 고 친근한 물환경 조성

(자료) 건설교통부(2006) 수자원장기종합계획(2006 ~ 2020)

## 2.2 용어의 개념 및 정의

### 2.2.1 농촌용수

- 농어촌용수구역 (농어촌정비법 시행령 제26조)

농지, 농어촌의 취락과 그 밖에 농어촌용수계획의 수립이 필요하다고 인정되는 농어촌지역과 관련된 소규모의 유역과 소하천으로서 수질의 관리 및 보전이 필요하다고 인정되는 유역

- 농업용수

- 농업용수는 논 용수, 밭 용수, 축산용수를 더한 용수 (건설교통부, 2006 수자원 장기종합계획)



- 농업용수는 일반적으로 농업 및 축산업 등을 영위하기 위하여 사용되는 용수로, 논 및 밭 용수로 사용되는 경우 화훼단지, 원예단지, 축산 및 수산 등을 포함한다. (건설교통부, 2006, 지하수 수행업무지침)

○ 농어촌용수

농어촌용수는 농어촌지역에 필요한 생활용수, 농업용수, 공업용수, 수산용수와 환경오염을 방지하기 위한 용수를 말한다. (농어촌정비법 제2조 3항)

○ 농촌용수

- 농촌용수는 농촌지역에 필요한 농업용수, 생활용수, 공업용수와 환경오염의 방지를 위한 용수를 말한다. (농어촌정비법 제2조 1항)

- 농촌용수는 농촌지역에 필요한 생활용수, 농업용수, 공업용수와 환경오염방지를 위한 용수로 정의(농어촌발전특별조치법 제2조 8항)

- 농촌용수는 농업용수와 축산용수를 더한 값(농림부·농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합 보고서)

○ 축산용수

가축 음용수량, 축사 및 기계기구 청소에 필요한 세정수량과 초지 조성 에 필요한 용수 및 축산물 가공에 필요한 용수

<표 2-9> 농촌용수의 구분

구분	종류	용도
농업용수 (협의)	관개용수	논, 밭관개, 하우스 등
	수로유지용수	취수위 유지, 잡초방지 등
	영농용수	토양침투, 냉해 및 풍해방지, 방재, 시비용수 등
지역용수 (광의)	지역사회 활동용수	생활용수, 소방, 양어, 수차 및 소수력 발전 등
	레크레이션 용수	경관보전, 공원용수, 친수, 수영, 물놀이 등
	환경용수	생물 및 수질 보전, 지하수 함양 등

2.2.2 기타

가. 농촌용수 수요량조사 종합 보고서(농림부·농어촌진흥공사, 1999)

농촌용수 수요량 조사 종합보고서(농림부·농어촌진흥공사, 1999)에서 정의한 각종 용어들 중에서 농촌용수와 관련된 주요 용어를 보면 다음과 같다.

- 농촌용수구역 : 농지·농촌의 취락 기타 용수계획의 수립이 필요하다고 인정하는 농촌지역과 관련된 소규모의 유역과 소하천으로서 수질의 관리 및 보전이 필요하다고 인정되는 유역(농어촌발전특별조치법 시행령 제 532조)
- 농촌용수 : 농촌지역에 필요한 생활용수, 농업용수, 공업용수와 환경오염방지를 위한 용수로 정의(농어촌발전특별조치법 제 2조 8항)됨
- 농업용수 수요량 : 논밭의 작물생육에 필요한 용수, 농약, 비료 살포 등 영농작업을 위한 영농용수 등 농업활동에 필요한 수량으로서 유효수량이 제외된 10년 빈도 가뭄 시 경지에서 필요로 하는 수량
- 소비수량 : 포장에서 증발산량과 침투량으로 소비되는 수량에 포장 물 관리와 재배관리용수량을 고려한 수량
- 순용수량 : 순전히 경지 안에서 관개 용수량으로 소비수량에서 유효수량을 제외한 수량
- 조용수량 : 순용수량에 용수원으로부터 경지까지 물을 끌어 오는 도중에 손실되는 물 관리에서 손실되는 제반관리 손실 수량을 더한 수량
- 축산용수 수요량 : 가축 음용수량, 축사 및 기계·기구 청소에 필요한 세정수량과 초지 조성에는 필요한 용수 및 축산물 가공에 필요한 용수를 더한 수량
- 공급량 : 자연 상태에서 공급되는 수량(유효수량 등)을 제외하고 물 부족이 발생할 때 수리시설물에서 공급하는 수량
- 농업용수이용량 : 농업용수 수요량에 자연 상태에서 공급되는 유효수량을 더한 수량으로 경지에서 이용되는 수량
- 회귀수량 : 조용수량 중 논으로부터 침투하여 배수로에 흘러나오거나 물 관리상 사용되지 않고 배수로에 흘러버린 물 등이 회귀되어 확보되는 수량
- 반복이용수량 : 회귀수량이 재이용 시설에 의해 사용되는 수량

#### **나. 농공기술용어사전(농림부·농업기반공사, 2003)**

농림부·농업기반공사(2003)의 농공기술용어사전에서 기술한 주요 용어를 보면 다음과 같다.

- 관개면적 : 관개수가 공급되고 있는 면적
- 순용수량 : 경지 내에서 소비되는 수량 중 보급해 주어야 할 용수의 양, 즉 증발산량에 침투손실량을 더한 값에서 유효수량을 제외한 용수량
- 조용수량 : 구역 내의 전 농지에 순용수량을 공급하기 위해 간선 또는 지선용수로에서 취수하여야 할 수량으로, 순용수량에 시설관리용수를 더하여 얻는다. 용

수계획에서는 조용수량 = 순용수량 / (1-시설관리용수율)로 표시된다.

- 관개용수량 : 정상적인 작물생육에 필요한 관개수량으로 강우에 의한 공급량을 제외한 것이다. 증발산량과 일정 조건에서의 불가피한 손실을 더한 값이며, 보통 단위시간당 수심, 또는 단위면적당 및 단위시간당의 수량으로 표시한다. 시간적 단위는 월, 계절, 생육기간이 사용된다. 관개필요량이라고도 한다.
- 총필요수량 : 필요수량, 즉 물의 공급원에 관계없이 작물이 필요로 하는 수량과 관개로 공급되는 수량에 대한 수로손실을 더한 값이다.
- 필요수량 : 주어진 기간에 물의 공급원에 관계없이 정상적인 작물생육에 필요한 수량으로 증발산량과 손실을 포함한다. 관개로 공급되는 물의 수로손실을 포함하지 않으면 순필요수량, 포함하면 총필요수량이라고 한다.
- 수혜면적 : 관개나 배수사업지구에서 관개 또는 배수사업으로부터 혜택을 받는 면적
- 유효우량 : 관개기간 중에 눈에 내린 강우 중 작물재배에 이용될 수 있는 양으로, 눈 용수량 계획에서는 5~80mm 강우량의 80% 정도를 유효우량으로 이용한다.
- 소비수량 : 작물의 증발산 때문에 유효토층에서 손실된 토양수분 감소량으로 기상조건, 토양조건, 작물의 종류와 생육시기 등에 따라 달라진다.

#### **다. 농업생산기반정비사업통계연보(농림부·한국농촌공사, 2007)**

- 관개면적 : 토지의 생산력을 증진시킬 목적으로 토지에 조직적으로 인공에 의하여 물의 공급, 분배를 받는 면적

#### **라. 2007년 작물통계(통계청, 2008)**

- 재배면적 : 작물의 실제 재배면적으로 두렁에 작물을 재배한 경우에는 그 재배 면적을 포함
- 경지 이용률(%) :  $\text{당년 경지이용면적} / \text{전년 말 경지면적} \times 100$

#### **마. 지하수 업무수행지침(건설교통부, 2006)**

- 농업용수 : 일반적으로 농업 및 축산업 등을 영위하기 위하여 사용되는 경우로서 농업용 세부용도(전작용, 답작용, 원예용, 수산업용, 축산업용, 양어장용, 기타)에 해당하는 경우이다. 눈 및 빙용수로 사용되는 경우 화훼단지, 원예단지, 축산 및 수산 등을 포함한다.

### 2.2.3 농업용수 수요량/공급량/이용량

농업용수 용수수요량 산정과 관련된 각 기관 또는 전문연구자들 사이에 통용되고 있는 농업용수 관련 용어들이 개념상의 혼란을 초래하고 있는 실정이다. 예를 들면 ‘수요량’이라는 용어는 ‘사용량’ 또는 ‘이용량’, ‘공급량’ 등 다양하게 사용됨으로서 사용자들의 혼란에 따른 문제 및 오용에 의한 여러 문제점을 발생시킬 수 있다. 국가 수자원장기종합계획에서도 농업용수 수요량, 용수이용량 및 용수공급량에 대한 명확한 정의가 부족한 실정이다. 따라서 본 보고서에서는 수요량, 이용량, 공급 가능량에 대한 개념을 정립하여 혼용에 대한 부분을 보완하였으며 향후 관계 전문가들의 자문회의를 거쳐 용어 정의가 확정되는 것이 바람직 할 것이다.

- **농업용수 수요량** : 논/밭의 작물생육에 필요한 용수, 농약/비료살포 등 영농작업을 위한 영농용수 등 농업활동에 필요한 수량으로서 유효수량이 제외된 10년 빈도 가뭄시 경지에서 필요로 하는 수량과 가축 음용수량, 축사 및 기계/기구청소에 필요한 세정수량과 초지조성에 필요한 용수 및 축산물 가공에 필요한 용수를 더한 수량(축산용수 수요량)
- **농업용수 이용량(사용량)** : 수리시설물에서 공급되는 농업용수 수요에 의해 공급되는 용수량으로 강우에 의해 농경지에 작물재배기간 중 이용되는 수량(유효수량)을 제외한 실제 농경지(논/밭)에서 작물재배를 위해 이용되는 수량 및 수리불안전답, 비관개전에 이용되는 용수(매년 실제 이용량으로 평년개념 도입)로 판단
- **농업용수 공급 가능량** : 자연상태에서 공급되는 수량(유효수량 등)을 제외하고 작물생육에 물 부족이 발생할 때 또는, 작물생육에 필요한 수량을 10년 빈도 한발시 용수공급이 가능한 수리시설물의 관개용수 공급 가능량(수리시설물의 내한능력이 10년빈도 한발 보다 부족할 경우 공급 가능량 산정에서 제외, 수리시설물의 10년 빈도 필요저수량)
- **이수안전도** : 통상 “이수에 대한 안전도”라고 하며 수자원개발시설의 계획 기준년 가뭄의 연 생기확률(발생빈도 10년)로 표현

## 2.3 이용량 관련 조사 자료

### 2.3.1 연구논문 및 보고서

#### 가. 연구논문

이용직(2005) 논 관개용수량 산정을 위한 실증적 연구, 건국대학교대학원  
박사학위 논문, 2005. 8.

- 설계시 필요수량과 실제 공급량과의 비교
- 논 관개용수량의 산정의 재정립 도모

#### 나. 농림부(한국농촌공사) 보고서

- 1) 농림부, 농어촌진흥공사(1999) 농촌용수 수요량 조사 종합보고서, 1999. 12.
  - 용수구역의 구분은 종합이용계획 수립을 위하여 설정한 463개의 농촌용수구역과 농촌용수구역에서 제외된 특별시, 광역시 및 기타 시·군 52개 구역을 포함하여 전체 515개 구역을 기본용수구역으로 선정
  - 기본 용수구역의 기초 자료는 면단위를 기본으로 하여 515개 기본용수구역을 1,767개의 소단위 용수구역으로 세분
  - 수요량 추정을 위하여 기상청 산하 66개 관측소를 대상으로 Thiessen Network를 구축하여 용수구역별 지배관측소를 선정하고 1970~1998년(29개년)의 기상자료를 이용
  - 용수 수요량 추정은 1997년을 기준으로 산정하고, 목표연도별 수요량은 2001년부터 5년 단위로 추정
  - 논용수 수요량 산정은 수정 Penman식을 적용하고, 밭용수 수요량은 FAO 추천의 Penman-Monteith 식을 적용하였다.
  - 수리답과 관개전은 10년 빈도 조용수량, 수리불안전답과 비관개전은 10년 빈도 순용수량을 농업용수 수요량으로 산정하였고, 축산용수는 축종별 일일 물소비량을 원단위로 적용
  - 밭 용수 수요량 산정을 위한 밭 작물 재배형태는 노지재배 작부체계로 수요량을 산정
- 2) 농수산부, 농업진흥공사(1982) 농업용수개발시험연구, 1982. 12.
- 3) 농수산부, 농업진흥공사(1982) 수리시설내한능력별관개면적조사 및 신규개발예정지조사요령, 1982.
- 4) 농림부, 농어촌진흥공사(1987~1990) 밭작물 소비수량 산정방법정립 연구(I~IV).

## 다. 건설교통부(한국건설기술연구원, 한국수자원공사) 보고서

### 1) 농업용수 수요량 조사

- 건설교통부, 한국수자원공사(1997) 수자원계획의 최적화 연구(I) (용수수요 추정시스템 개발 연구), 1997. 3.

#### ① 이론 정립

- 순용수량 = 증발산량 + 침투량 - 유효우량
- 조용수량 = 순용수량 / (1 - 관리용수율)
- 증발산량 : Penman FAO-24 공식
- 침투량 : 5.0 mm/day 적용
- 유효우량 = 현재 담수심 + 필요수량 - 전일 담수심
- 관리용수량 : 재배관리용수량(20%) + 시설관리용수량(10~20%)

#### ② 농업용수 원단위 산정

- 수리안전담 : 10년 빈도 조용수량
- 수리불안전담 : 수리안전담 단위용수량의 65% 적용
- 관개전 : 과수를 대표작물로 하여 산정
- 총수량 = 수리안전담 면적 × 수리담 단위용수량 + 수리불안전담 면적 × 수리불안전담 단위용수량 + 관개전 면적 × 관개전 단위용수량

<표 2-10> 유역별 관개전의 단위용수량

유역명	한강	낙동강	금강	영산강	섬진강	만경강	동진강
단위용수량 (mm)	508	491	474	551	514	459	542

- 건설교통부, 한국건설기술연구원(2001) 물관리 효율성 제고기술 연구보고서
  - 물관리 효율 평가를 통한 2% 이상의 물절약 유도
  - 양수장에 대한 취수량과 필요수량 자료를 이용
  - 농업용수 공급량 : 양수장의 측정자료 또는 양수장의 펌프 가동시간과 시설용량을 이용한 간접적인 방법으로 추정
  - 농업용수 필요수량 : 이양재배를 대상으로 산정
  - 물관리 효율 = 필요수량 / 공급량 × 100(%)

## 2) 하천수 사용량 조사

- 건설교통부 대전지방국토관리청(1999) 금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 1999. 12.
- 건설교통부 부산지방국토관리청(1997) 낙동강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 1997. 12.
- 건설교통부 서울지방국토관리청(1998) 한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 1998. 12.
- 건설교통부 익산지방국토관리청(1999) 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 1999. 12.

## 2.3.2 농업용수 수요량 산정

### 가. 농업용수 수요량 산정(농촌용수 수요량 조사)

1998년 물관리 종합대책 중 물 수요량 추정 및 용수공급방안을 10대 관제로 선정하여 추진키로 하고, 농촌용수는 농림부와 농어촌진흥공사가 주관하여 산정키로 하였으며, 농촌용수의 산정 범위는 농업용수와 축산용수로 결정하였다. 농촌용수 수요량 조사 종합보고서(농림부, 농어촌진흥공사, 1999)는 이 과제의 보고서로서 농업용수 수요량에 대한 방법과 각종 관련 용어들을 정리하였고, 전국적인 조사과정을 거쳐 기본방향에 따라 수요량을 산정하였다.

### 나. 농업용수 수요량 산정(수자원장기종합계획)

1) 1965년 우리나라 최초의 수자원장기종합개발계획이 1965년 수립된 후 초기에는 매 10년 그리고 최근에는 매 5년마다 보완 작업을 실시하여 왔다. 가장 최근에 보완된 것은 2006년에 수립된 수자원장기종합개발계획(2006~2020)이다. 농업용수 수요량 추정은 그 방법에 있어 많은 변화가 있었는데 1996년에 수립된 수자원장기종합계획과 2001년에 수립된 수자원장기종합계획에서의 농업용수 산정방법을 비교하여 보면 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

1996년 계획에서는 농업용수 범위에 논 용수와 밭 용수만이 포함되어 있었으나 2001년 계획에는 축산용수 수요량이 추가되었다. 논 용수의 경우 수리안전답에 이양재배만이 계상되어 있었으나 2001년에는 이양재배와 직파재배로 나누어 산정하고, 2006년에는 직파재배도 답수직파재배와 건답직파재배로 나누어 산정토록 하고 있다. 또한 밭 용수의 경우 관개전은 밭 기반 정비구역, 과수원, 시설용수 등으로 세분하여 반영토록 하고 있다.

2006년 계획에서 달라진 점은 수요량 추정에 있어 새로운 시나리오 개념이 도입되었

다는 것이다. 생활용수를 비롯한 모든 부문의 물 수요를 고수요, 기준수요, 저수요로 나누어 산정한 것이다. 농업용수의 경우 고수요는 식량안보를 위해 논 면적을 최대로 유지하는 것으로 하여 2013년의 경지면적 소요량이 1,773천ha(논 1,100ha, 밭 673천ha)한 것이다. 기준수요는 현재 농업환경을 고려한 계획을 반영한 것으로 농업농촌종합대책(농림부, 2004)에서 제시한 2014년 경지면적 1,731천 ha(논 1,058천ha, 밭 673천ha)을 적용토록 하였다. 저수요는 쌀 수입개방에 따른 논 면적 감소를 반영한 것으로 농업전망 2005(2005, KERI)추정치를 적용한 것이다. 이에 따라 2013년 경지면적 1,638천 ha(논 1,004천ha, 밭 634천ha)로 추정하여 물 수요를 산정하였다.

<표 2-11> 농업용수 산정방법들의 비교

문헌 자료	산정 방법 및 기준
농촌용수 수요량 조사 종합보고서 (1999. 12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·용수구역 : 515개 기본용수구역 -&gt; 1,767개 소단위 용수구역</li> <li>·농촌용수 수요량 : 논용수 + 밭용수 + 축산용수</li> <li>·논용수 수요량 : Penman공식 적용</li> <li>·밭용수 수요량 : FAO Penman-Monteith 공식 적용</li> <li>·수리답과 관개전 : 10년 빈도 조용수량</li> <li>·수리불안전답과 비관개전 : 10년 빈도 순용수량</li> <li>·축산용수 : 축종별 일 물소비량, 초지수량 및 가공용수 고려</li> <li>·영농방식 : 이앙재배와 직파재배를 구분하여 적용</li> <li>·시설관리용수율 : 논- 송수손실율과 배분관리용수율을 적용 밭- 관개효율 70% 적용</li> <li>·유효수량 : 논 640mm, 밭 303mm, 침투량 5.2mm/day</li> <li>·작물의 종류 : 논- 논벼 단일작물(중부, 남부) 밭- 15개 작물</li> </ul>
수자원 장기종합계획 (1990. 5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·농업용수 : 논용수 수요량 + 밭용수 수요량</li> <li>·논용수 : 수계별 단위용수량 적용, 통일벼의 식부면적비를 고려 논면적을 이앙재배면적으로 산정 (관개답면적 × 농업용수 필요수량(원단위) + 수리불안전답 면적 × 관개답 원단위의 70%)</li> <li>·밭용수 : 전관개용수 필요수량(550mm)을 적용 (관개전(과수원) 면적 × 관개전 원단위)</li> <li>·수리답 : 조용수량, 수리불안전답 : 순용수량</li> <li>·밭용수 : 농촌용수구역별 수요량 산정</li> </ul>
수자원 장기종합계획 (2001. 7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·농업용수 : 논용수 수요량 + 밭용수 수요량 + 축산용수 수요량</li> <li>·논용수 : 농촌용수구역별 수요량 산정, 영농방식별 식부면적을 고려 수리답(이앙재배 + 직파재배) + 수리불안전답 관개전 + 비관개전</li> <li>·관개전 : 조용수량, 비관개전 : 순용수량</li> <li>·축산용수 : 사육두수 × 가축두당 물수요량 (ℓ/두/일)</li> </ul>

(자료) 이용직(2002) 농업용수 수요현황과 예측기법



2) 기존의 일반적인 용수량 산정 방법을 보면 다음과 같다. (류경식, 2006)

- 용수수요량 조사 : 수자원 장기종합계획(2000) 보고서
- 용수공급량 조사 : 기존댐 용수공급능력 조사(1998) 및 하천수 사용실태 조사 보고서(1999)
- 용수량 산정방법 : 생·공용수는 원단위법을 사용하고, 미래 수요량 추정에는 시계열 예측법과 인과 형 예측법 등이 활용되고 있다. 농업용수는 원단위법을 주로 이용, 수요량에 대해서는 단위 경지면적에서의 물소모량을 이용하고 공급량에 대해서는 저수지 및 양수장과 같은 수리시설물의 운영일지나 시설용량 등에 의해 단위면적당 농업용수 공급량을 산정 후 해당유역에 대한 경지면적 비율에 따라 산정하고 있다.

### 2.3.3 농업용수 공급량 추정

농업용수 시설공급량을 보면 101억 ~ 103억 m<sup>3</sup>으로 추정하고 있다. 농업·농촌용수 종합이용계획 보고서 및 수자원장기종합계획의 수요량 추정을 위하여 산정된 추정자료를 보면 저수지(담수호 포함)에서 60억 ~ 68억 m<sup>3</sup>, 양·배수장에서 15억 ~ 20억 m<sup>3</sup>, 취입보에서 8억 ~ 11억 m<sup>3</sup>, 기타 시설에서 10억 m<sup>3</sup> 내외의 용수공급능력이 있는 것으로 분석되고 있다.

<표 2-12> 농업용수 시설공급량 추정(2004년) (단위 : 억 m<sup>3</sup>/년)

구 분	소계	저수지 (담수호)	양·배수장	취입보	집수관거	관정·기타 (지하수)
용수공급량 1)	101	68	15	8	1	9
용수공급량 2)	102	60	20	11	2	9

(자료) 1) 농림부(1999) 농업·농촌용수 종합이용계획

2) 수요공급량 산정시스템(AWDS)에 의하여 산정한 추정치

현재까지 농촌용수 개발현황을 용도별로 구분하면 총 개발량 112억 m<sup>3</sup> 중 농업용수가 101억 m<sup>3</sup>으로 약 90%를 차지하고 있으며, 수요량 대비 개발율을 보면 밭 용수가 17%, 환경용수 16%로 개발 실적이 극히 미비한 실정이다.

<표 2-13> 농촌용수 개발 현황

(단위 : 억m<sup>3</sup>/년)

구 분	계	농업용수			축산 용수	생활 용수	공업 용수	환경 용수
		소계	논용수	밭용수				
기개발량 (A)	112.1	100.8	96.7	4.1	1.4	7.2	1.9	0.9
2011년 수요량 (B)	179.0	154.7	130.5	24.2	6.5	9.7	2.4	5.7
비율 (A/B)	63	65	74	17	22	74	79	16

(자료) 농림부(1999) 농업·농촌용수 종합이용계획

### 2.3.4 농업용수 이용량 조사

하천수의 실제 사용량에 대한 조사는 "낙동강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정(건설교통부 부산지방국토관리청, 1997)" 조사를 시작으로 연차계획에 의하여 "한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정(건설교통부 서울지방국토관리청, 1998)", "영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정(건설교통부 익산지방국토관리청, 1999)", "금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정(건설교통부 대전지방국토관리청, 1998)" 조사 연구가 수행되었다.

특히 농업용수에 대해서는 수리시설물의 시설용량과 관개면적 등만이 조사되어 있을 뿐이지 수리시설물에서 공급되는 실제 관개량에 대한 조사는 미흡한 실정이며, 이는 농업용수 수리시설물의 개소수가 많을 뿐만 아니라 관행적으로 사용해 오는 방법에 따라서 나름대로의 관개를 해 오고 있으므로 실제 관개된 양을 정확히 파악할 필요성이 적었고 계측시설에 대한 투자가 적었기 때문이라고 할 수 있다.

- 건설교통부 대전지방국토관리청, 1999, 금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1999. 12.
- 건설교통부 부산지방국토관리청, 1997, 낙동강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1997. 12.
- 건설교통부 서울지방국토관리청, 1998, 한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1998. 12.
- 건설교통부 익산지방국토관리청(1999) 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 1999. 12.
- 연구 내용 : 일반 현황조사, 생공용수 실제 사용량 조사, 농업용수 실제 사용량 조사, 물수지 분석, 용수 회귀율 조사 및 산정

- 농업용수 실제 사용량 조사 (내용 및 방법)
  - 소유역 구분과 운영자료 조사 : 1994 ~ 1998년의 5개년 자료, 저수지, 양수장, 관정 및 보의 과거 운영자료 조사방법과 조사 내용
  - 저수지 사용량 조사 : 일별 또는 순별 운영자료 수집 (저수량, 저수율등), 물수지 모형을 이용하여 일별 사용량 추정
  - 양수장 지구 : 시설현황 파악, 일별 또는 순별 운영자료 수집(농조/시군별), 양수장 자료(전력량, 양수시간)가 있는 양수장으로부터 사용량 ~ 관개면적의 관계를 유도하여 연간 사용량 추정
  - 관정지구 : 소유역별·행정구역별 필요수량의 급수패턴을 이용하여 일별 채수량을 산정
  - 보 지구 : 수문모형을 이용하여 하천 유출량을 추정, 일별 필요수량과 설계 취입수량을 비교, 적은 값과 하천유량을 제한 조건으로 설정
  - 수리안전답 : 저수지, 양수장, 관정 및 보 등의 수원공 시설
- 수리불안전답 - 수리안전답 사용량의 65%를 적용
- 관개전 : 영산강유역의 경우 단위용수량 551mm, 섬진강유역의 경우 514mm 적용

### 2.3.5 농업용수 회귀수량 조사

수리시설을 통해 공급된 물은 논이나 밭 등의 경지에서 작물의 생육을 위해 소비되는데, 일부는 증발되어 대기 중으로 흡수되기도 한다. 이러한 과정을 거쳐 남는 부분은 배수로나 땅속으로 스며들어 지하수의 형태가 되어 다시 하천으로 유입되게 되는 데 이러한 양을 회귀수량이라고 한다. 그리고 이를 회귀율로서 나타내게 되는데 이에 대한 조사가 부족하고, 또한 지형적 특성, 수원공의 종류, 구획 형태 등에 따라 다르며 농업용수는 35% 정도의 수치를 사용하고 있다.

<표 2-14> 농업용수 회귀율 연구 사례

구 분	수원공	회귀율(반복이용율)
농진공(시험연구사업, 1975 ~ 1977)	저수지, 양수장	24.4%
답지대의 물수지와 용수의 반복이용에 관한 연구(안세영, 1989)	저수지, 보	평야부 22.0% 경사부 4.3% 전체 평균 17.4%
수자원 계획의 최적화 연구(I)(건설교통부·한국수자원공사 1997)	저수지, 양수장, 보	저수지 51.7% 양수장, 보 23 ~ 50%
저수지 농업용수 회귀율 조사 연구(경북대, 1997)	저수지	34.0%
한강유역 농업용수 실제사용량 및 회귀율 조사(서울대, 1998)	저수지	45.4 ~ 45.9%
농촌용수 수요량조사 보고서(농림부·농어촌진흥공사(1999)	용수구역	1.34 ~ 23.47%
영산강·섬진강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서(건설교통부 익산지방국토관리청, 1999)	양수장	40.8 ~ 51.2%

(자료) 1) 농림부·농어촌진흥공사(1999) 농촌용수 수요량조사 보고서

2) 건설교통부 익산지방국토관리청(1999) 영산강·섬진강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서

### 2.3.6 농업용수 수리권 조사

○ 건설교통부 익산지방국토관리청(1999) 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 1999. 12.

관행수리권 조사는 영산강·섬진강 유역 내 국가 및 지방1급 하천 유역의 허가수리권은 익산지방국토관리청에서 관리하고 있는 1997년 당시 관리대장 내에 수록되어 있는 수리시설물과 한국수자원공사에서 계약 체결된 계약분으로 정의하고, 관행수리권은 현지 조사시 관련 시·군 및 농지개량조합에서 수집된 자료와 하천정비기본계획보고서의 자료를 토대로 허가수리권외의 수리시설물로 정의하고 보조수원을 제외한 주수원공을 대상으로 정리하였다.

<표 2-15> 영산강 유역 수리권 현황

(단위 : 개소, m<sup>3</sup>/s)

하천	구분	생활용수	공업용수	농업용수	계
국가하천	허가	4(0.5789)	6(2.002)	117(21.2905)	127(23.8696)
	관행	-	-	46(13.421)	46(13.421)
지방1급하천	허가	1(0.347)	-	1(0.0279)	2(0.3749)
	관행	-	-	19(1.991)	19(1.991)
계		5(0.9259)	6(2.0002)	183(36.7304)	194(39.6835)

<표 2-16> 섬진강 유역 수리권 현황

(단위 : 개소, m<sup>3</sup>/s)

하천	구분	생활용수	공업용수	농업용수	계
국가하천	허가	5(5.8791)	2(2.9009)	39(3.8480)	46(12.628)
	관행	-	-	46(5.6126)	46(5.6126)
지방1급하천	허가	1(0.0185)	-	-	2(0.0185)
	관행	-	-	16(1.437)	16(1.437)
계		6(5.8976)	2(2.9009)	101(10.8975)	109(19.6961)

(자료) 건설교통부 익산지방국토관리청(1999) 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서

### 2.3.7 국외 농업용수 현황

#### 가. 일본 농업용수 현황

일본의 연 강수량은 약 6,500억m<sup>3</sup>(1971~2000년까지의 30년간 평균)이며, 약 2,300억m<sup>3</sup>(35%)는 증발산되고, 나머지인 4,200억m<sup>3</sup>이 이용가능한 수자원 부존량이다. 이중 실제로 사용되는 수량은 2000년의 취수량을 기본으로 연간 약 870억m<sup>3</sup>이며, 이는 평균 수자원부존량의 약 21%에 해당된다. 물의 용도별 사용량(2000년)을 보면 농업용수가 약 572억m<sup>3</sup>(66%), 공업용수가 약 134억m<sup>3</sup>(15%), 생활용수가 164억m<sup>3</sup>(19%)이다. 한편 사용하는 수량 870억m<sup>3</sup> 중 약 760억m<sup>3</sup>(87%)은 하천, 호수, 늪 등으로부터 취수되고, 약 110m<sup>3</sup>(13%)은 지하수로부터 취수되고 있다(김진홍, 2004).

<표 2-17> 일본의 하천수 및 지하수 이용 (2000년)

(단위 : 억m<sup>3</sup>)

구 분	소계	농업용수	공업용수	생활용수	비 고
하천수	760	539	94	127	하천, 호수, 늪
지하수	110	33	40	37	
계 (%)	870 (100)	572 (66)	134 (15)	164 (19)	

<표 2-18> 일본의 물 사용 현황 (2000년)

(단위 : 억m<sup>3</sup>/년)

구 분		1975	1980	1985	1990	1995	2000
농업용수		570	580	585	586	585	572
도시 용수	공업용수	166	152	144	145	140	134
	생활용수	114	128	143	158	163	164
계		850	860	872	889	889	870

<표 2-19> 일본 농업용수의 용도별 사용(추정)량 변화

(단위 : 억m<sup>3</sup>)

구 분	1975	1980	1983	1989	1994	1996	1998	2000
논용수	560	565	562	559	559	559	554	539
밭용수	7	11	18	22	23	26	28	29
축산용수	3	4	5	5	5	5	5	5
합계	570	580	585	586	587	590	586	579

(자료) 김진홍(2004) 일본의 수자원정책, 한국수자원학회지

## 나. 대만 농업용수 현황

대만의 연평균 강수량은 약 2,510mm로 풍부한 편이나 강수량의 78%가 우기철인 5월부터 10월에 편중된다. 대만의 MOEA(Ministry of Economic Affairs)에 의해 발간된 "2001년 대만의 다양한 물소비에 관한 통계보고서"에 의하면 2001년 전체 물소비는 184.8 억m<sup>3</sup>이었으며, 이중 농업용수가 103.1억m<sup>3</sup>(70.4%)로 가장 많고, 가정용수는 37.2억m<sup>3</sup>(20.2%), 공업용수는 17.4억m<sup>3</sup>(9.4%)이 사용되었다. 한편, 1998년부터 2001년까지의 통계 자료는 연간 총 물사용량이 약 180억m<sup>3</sup>이고, 이중 농업용수가 124억m<sup>3</sup>, 가정용수 33억m<sup>3</sup>, 공업용수 18억m<sup>3</sup>, 보존용이 5억m<sup>3</sup>이었다(Chen, Shen-Hsien, 2004).

<표 2-20> 대만의 연간 물 사용량(2001년)

(단위 : 억m<sup>3</sup>, %)

구 분	합계	농업용수				가정 용수	공업 용수
		소계	관개	수산	축산		
사용량	184.8 (100)	130.1 (70.4)	114.8 (62.1)	14.2 (7.7)	1.1 (0.6)	37.2 (20.2)	17.4 (9.4)

(자료) Chen Shen-Hsien(2004) 대만의 지속가능한 수자원 전략, 한국수자원학회지

### 다. 중국의 농업용수 현황

중국의 연평균 강수량은 약 648mm로 그 양은 6.2조m<sup>3</sup>이며, 강수량의 56%는 증발되고 44%가 강으로 흘러 전국 하천 유출은 2.7조m<sup>3</sup>에 이른다. 침투된 물 중 지하수를 이루는 6,780억m<sup>3</sup>와 함께 수자원 총량은 2.8조m<sup>3</sup>이다. 한편, 1980년을 기준으로 농업용수 3,699억m<sup>3</sup>(83.4%), 공업용수 457억m<sup>3</sup>, 생활용수 280억m<sup>3</sup>에서 1997년 농업용수가 3,920억m<sup>3</sup>(70.5%), 공업용수가 1,121억m<sup>3</sup>, 생활용수가 525억m<sup>3</sup>으로 산업의 발달과 소득증대로 산업용수와 생활용수가 크게 늘어난 반면 농업용수의 비중은 상대적으로 낮아졌으며, 이러한 추세로 약간의 관개농업 확대에 따른 농업용수는 1.1배, 산업화와 도시화의 진전과 인구 증가로 공업용수는 2.2배, 생활용수는 1.9배로 증가되었다(김종민, 2002).

<표 2-21> 중국의 연간 물 사용량(2001년)

(단위 : 억m<sup>3</sup>, %)

연도	계	농업용수	공업용수	생활용수
1980	4,436 (100)	3,699 (83.4)	457 (10.3)	280 (6.3)
1997	5,566 (100)	3,920 (70.5)	1,121 (20.1)	525 (9.4)

(자료) 김종민(2002) 중국의 물문제와 대응전략, 수자원환경, 161호, 2002. 5.

### 라. 기타

「The World's Water 2000」(Peter H. Gleick.) 자료에 의한 주요 국가들의 농업용수 이용율을 보면 아시아(36개국) 77%, 유럽(27개국) 26%, 북중미(16개국) 67%, 남미(12개국) 75%, 아프리카(49국) 71% 등이다(박창규, 2008).

<표 2-22> 세계 주요국가의 하천수 이용현황

(단위 : 억m<sup>3</sup>, %)

국가명	기준 년도	하천수 이용량 (억m <sup>3</sup> )	이용율 (%)			이용량 (억m <sup>3</sup> )		
			생활 용수	공업 용수	농업 용수	생활 용수	공업 용수	농업 용수
한국	2000	185.9	36	16	48	66.57	30.6	88.9
일본	2000	884.3	20	18	62	174.2	157.6	552.1
중국	2000	5,497.6	7	26	68	357.3	1,415.9	3,718.6
필리핀	2000	285.2	17	9	74	47.3	26.6	210.9
인도	2000	6,458.4	8	5	86	518.6	353.1	5,583.1
미국	2000	4,770.0	13	46	41	605.4	2,194.8	1,968.2
캐나다	1996	447.2	20	69	12	87.4	307.2	52.6
영국	1994	117.5	22	75	3	25.7	88.3	3.6
프랑스	2000	331.6	16	74	10	52.0	246.8	32.7
네델란드	2001	88.6	6	60	34	5.4	53.1	29.9
호주	2000	240.6	15	10	75	35.5	24.2	181.0

(자료) The World's Water 2006, Peter H. Gleick.

## 2.4 관개면적 및 수확량 변화

### 2.4.1 관개면적의 변화

#### 가. 경지면적

##### 1) 일반 현황

우리나라 남북한 면적은 약 22만 2천km<sup>2</sup>이며, 그 중 남한 면적은 9만 9,899km<sup>2</sup>로서 매년 간척·매립 등을 통해 약간씩 증가해 왔다.(건설교통부, 2006년도 국토의 계획 및 이용에 관한 연차보고서) 한편, 2006년 현재 우리나라의 농경지 면적은 전 국토의 18%인 180만ha이며, 이중 논이 108만4천ha(10.9%), 밭이 71만6천ha(7.2%)이다. 최근 5년간(2001~2006) 농지는 매년 15천ha씩 지속적으로 감소해 왔으며, 시도별 경지면적도 비례하여 줄어들고 있는 추세이다.



<표 2-23> 국토 이용면적 현황

(단위 : 천ha, %)

연도	합 계	농 경 지			임 야	기 타
		계	논	밭		
1981	9,902 (100.0)	2,188 (22.1)	1,308 (13.2)	880 (8.9)	6,563 (66.5)	1,150 (11.6)
1990	9,927 (100.0)	2,109 (21.2)	1,345 (13.5)	764 (7.7)	6,476 (65.3)	1,343 (13.5)
1995	9,927 (100.0)	1,985 (20.0)	1,209 (12.1)	779 (7.9)	6,452 (64.9)	1,490 (15.1)
2000	9,946 (100.0)	1,889 (19.0)	1,149 (11.6)	740 (7.4)	6,442 (64.6)	1,635 (16.4)
2001	9,954 (100.0)	1,876 (18.9)	1,146 (11.5)	730 (7.4)	6,416 (64.4)	1,662 (16.7)
2002	9,959 (100.0)	1,863 (18.7)	1,138 (11.4)	724 (7.3)	6,442 (64.4)	1,684 (16.9)
2003	9,960 (100.0)	1,846 (18.5)	1,127 (11.3)	719 (7.2)	6,406 (64.3)	1,708 (17.2)
2004	9,962 (100.0)	1,846 (18.4)	1,115 (11.2)	721 (7.2)	6,400 (64.2)	1,726 (17.4)
2005	9,964 (100.0)	1,824 (18.3)	1,105 (11.0)	719 (7.3)	6,394 (64.2)	1,747 (17.5)
2006	9,968 (100.0)	1,800 (18.1)	1,084 (10.9)	716 (7.2)	6,389 (64.1)	1,778 (17.8)

(자료) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

<표 2-24> 연도별 경지면적 변화

(단위 : 천ha)

구 분	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
국토면적	9,927	9,927	9,931	9,937	9,941	9,943	9,946
농경지 전년대비	2,109 △18	1,985 △48	1,945 △40	1,924 △21	1,910 △14	1,899 △11	1,889 △10
논	1,345	1,206	1,176	1,163	1,157	1,153	1,149
밭	764	779	769	761	753	746	740
구 분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
국토면적	9,954	9,959	9,960	9,962	9,964	9,968	(9,980)
농경지 전년대비	1,876 △13	1,863 △13	1,846 △17	1,836 △10	1,824 △12	1,800 △24	1,782 △18
논	1,146	1,138	1,127	1,115	1,105	1,084	1,070
밭	730	724	719	721	719	716	712

(자료) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

<표 2-25> 시도별 경지면적 변화

(단위 : ha)

구분	2002			2004			2006		
	소계	논	밭	소계	논	밭	소계	논	밭
전국	1,862,622	1,138,408	724,214	1,835,634	1,114,950	720,684	1,800,470	1,084,024	716,446
서울	2,018	709	1,309	1,843	618	1,221	1,640	568	1,072
부산	9,704	6,575	3,129	9,070	6,011	3,059	8,826	5,756	3,070
대구	11,538	6,567	4,971	11,333	6,370	4,963	11,163	6,286	4,877
인천	24,435	17,814	6,621	23,620	17,167	6,453	23,019	16,647	6,372
광주	13,689	10,231	3,458	12,558	9,354	3,204	12,235	9,040	3,195
대전	6,094	3,186	2,908	5,824	2,782	3,042	5,626	2,528	3,098
울산	14,041	9,452	4,589	13,448	8,737	4,711	13,244	8,556	4,688
경기	205,299	124,364	80,935	200,550	118,831	81,719	193,628	111,004	82,624
강원	116,288	49,938	66,350	117,752	49,998	67,754	115,652	47,751	67,901
충북	132,187	64,084	68,103	129,184	62,128	67,056	125,844	58,498	67,346
충남	253,516	186,249	67,267	250,591	184,030	66,561	247,590	181,897	65,693
전북	215,179	162,926	52,253	213,270	160,927	52,343	211,137	158,839	52,298
전남	328,599	220,771	107,828	324,700	218,512	106,188	316,235	211,740	104,495
경북	293,740	157,598	136,142	289,637	154,189	135,448	286,234	151,855	134,379
경남	177,128	117,750	59,378	173,303	115,125	58,178	170,530	112,958	57,572
제주	59,167	194	58,973	58,951	171	58,780	57,867	101	57,766

(자료) 농림부, 한국농촌공사(2003, 2005, 2007) 농업생산기반정비사업통계연보

## 2) 수요지표의 변화 전망 및 적용

### ○ 경지면적 변화 전망

과거 20년간(1984~2003년) 경지면적은 215만ha에서 185만ha로 30만ha(15%)가 감소하였으며, 그 중 논면적은 132만ha에서 113만ha로 19만ha(14%), 밭면적은 83만ha에서 72만ha로 11만ha(13%)가 감소한 것으로 분석되고 있다. 경지면적은 개간, 간척 등으로 증가하기도 하고, 논·밭 전환, 건물 건축, 공공시설, 유흥지 등으로 감소하기도 하였다.

이와 같은 과거 20년간의 경지면적 변화추세를 토대로 여러 기관에서 향후의 경지면적을 다양하게 추정하고 있으며 2020년에는 146만ha~170만ha로 전망하고 있다.

제4차국토종합계획(2000~2020년)에서는 국민의 영양권장량을 기준으로 해외 농산물 수입을 감안하여 영양자급률 60%를 유지한다는 전제로 170만ha(논 112만ha, 논 이외의 경지 58만ha)의 농지가 필요한 것으로 추정하고 있으며, 농지제도 개선방안연구(2003, 농림부, 국토연구원)에서는 선진국 수준의 관세감축으로 개방하되, 영양자급률 50%를 유지할 경우 146만ha(논 95만ha, 밭 51만ha)의 농지가 필요한 것으로 추정하고 있다.

한편 농업·농촌종합대책(119조 투융자계획)에서는 2003년도 국토연구원 용역결과(2020년 적정 농지면적 146만ha)와 통일을 대비한 농지소요 면적을 감안하여 적정농지면적 160만ha를 보전할 계획을 수립하고 있다.

<표 2-26> 최근 20년간의 경지면적 증감 현황(1984~2003) (단위 : 천ha)

구 분	소 계			논 면적			밭 면적		
	증가	감소	증감	증가	감소	증감	증가	감소	증감
합계	550.9	871.5	△320.6	235.8	425.0	△189.2	315.0	446.4	△131.4
평균	27.5	43.6	△16.0	11.8	21.3	△9.5	15.8	22.3	△6.6

(자료) 농림부, 국립농산물품질관리원(2003) 경지면적통계

○ 작물 재배면적 변화 전망

과거 20년간(1984~2003년) 벼 재배면적은 1,225천ha에서 1,002천ha로 223천ha(18%)가 감소하여 연평균 11천ha(0.9%)의 감소를 나타냈으며, 이는 논면적이 193천ha가 감소한 것과 비교하여 30천ha가 더 감소한 것이다.

반면 밭작물 재배면적은 1,482천ha에서 934천ha로 548천ha(59%)가 감소하여 연평균 27천ha(2.9%) 감소를 나타냈으며, 밭 면적이 113천ha가 감소한 것과 비교하여 5배 이상의 감소율을 나타내고 있다. 밭작물을 논에서 재배하는 면적은 353천ha에서 163천ha 감소하였으며 밭 재배면적은 1,478천ha에서 934천ha로 감소하였다.

- 한국농촌경제연구원의 2005년도 농업전망에서는 WTO 쌀 협상결과를 토대로 수입쌀의 재고관리 여부 및 소득보전직불과의 연계성을 고려하여 벼 재배면적을 추정하고 있으며, 추정결과 시나리오에 따라 다르나 2014년 기준 벼 재배면적은 75만ha~88만ha가 될 것으로 전망하고 있다.
- 한편 농업·농촌 종합대책에서는 2013년도 벼 재배면적을 800천ha로 유지하되 7만호의 전업농에서 450천ha, 일반 자급농 및 겸업농에서 350천ha의 벼를 재배하도록 유도할 계획이다. 밭 작물의 경우 과수재배면적은 수입개방 등으로 점진적으로 감소하지만 시설재배면적은 점진적으로 증가할 것으로 전망되고 있다.

○ 경지면적의 적용

농업용수 수요량 산정을 위한 시나리오별 목표연도의 경지면적을 보면 기준수요 시나리오의 경우 2020년의 경지면적은 1,647천ha, 고수요 시나리오의 경우에는 1,731천ha, 저수요 시나리오의 경우에는 1,638천ha로 추정하였다.

<표 2-27> 수요량 산정을 위한 검토(안)별 경지면적의 적용

구 분	2006년			2013년			2020년		
	소계	논	밭	소계	논	밭	소계	논	밭
기준수요	1,808	1,101	707	1,731	1,058	673	1,647	1,016	631
고 수요	1,808	1,101	707	1,773	1,100	673	1,731	1,100	631
저 수요	1,790	1,094	696	1,638	1,004	634	1,479	910	569

○ 기타 수요지표의 전망 및 적용

경지면적, 밭 작물 재배면적(경지이용율) 이외에도 논외의 경우 수리답을 및 직파재배면적의 변화는 주요한 수요량의 변화요인이 되며, 밭의 경우에는 밭 기반정비 대상면적, 시설재배 및 과수재배면적의 증감에 따라 수요량이 변화하게 된다.

<표 2-28> 주요 농업용수 수요지표의 변화 전망 (단위 : 천ha)

구 분		2006년	2011년	2016년	2020년
수리답율 (%)		80.6	85.4	87.2	89.6
직파재배 면적		88.5	110.6	117.0	123.0
밭작물 재배면적	시설재배	112.0	135.4	137.8	140.0
	과수작물	149.3	131.6	128.4	128.0
밭기반정비 대상면적		72.8	127.0	145.1	166.0

**나. 관개면적**

농업용 수원공 시설에 의한 관개는 주로 논을 대상으로 하고 있으며, 2006년 현재 우리나라 전체 논 면적 108만4천ha 중 수리시설에 의한 수리답은 85만9천ha로서 수리답율은 79.2%를 나타내고 있다.

<표 2-29> 수리상태별 답면적 변화

(면적 : ha, %)

연도	총답면적 (ha)	수리답				수리불안전답	
		계	한국농촌 공사관할	시군 관할	비율 (%)	면적 (ha)	비율 (%)
1990	1,345,280	987,524	512,431	475,094	73.0	357,756	27.0
1995	1,205,867	906,828	504,318	402,510	75.2	299,039	24.8
2000	1,149,041	880,444	520,355	360,089	76.6	268,597	23.4
2005	1,104,811	866,958	527,151	339,807	78.4	237,853	21.6
2006	1,084,024	859,040	532,295	326,745	79.2	224,984	20.8

(자료) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

<표 2-30> 수리시설 및 한발빈도별 관개면적 (2006)

구 분	수원공수(개소)			한발빈도별 관개면적(ha)					
	계	농촌 공사	시군	계	평년	3년	5년	7년	10년 이상
계	68,461	13,056	55,405	859,040 (100)	225,165 (26.2)	86,451 (10.1)	39,317 (4.6)	29,893 (3.5)	478,213 (55.7)
저수지	17,679	3,319	14,360	486,406 (100)	111,900 (23.0)	45,169 (9.3)	17,006 (3.5)	15,420 (3.2)	296,911 (61.0)
양수장	6,314	3,275	3,039	162,555	43,183	11,381	3,340	6,511	98,140
양배수장	120	103	17	30,105	731	-	211	1,878	27,286
배수장	744	583	161	3,056	2,061	499	101	-	395
보	18,115	4,090	14,025	92,243	31,801	16,592	6,128	5,235	32,487
집수암거	2,828	332	2,496	14,378	4,485	3,565	1,075	452	4,800
관정	22,661	1,354	21,307	51,152	13,001	8,944	11,070	397	17,740

(자료) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

## 다. 벼 재배면적 전망

○ 한국농촌경제연구원(2008) 농업전망 2008(II)

중장기 수급 전망을 위하여 시나리오를 설정하였는데, 시나리오 I은 목표가격을 현행수준에서 고정시키고 DDA 개도국 특별품목으로 지정되는 것과 시나리오 II는 규정

대로 목표가격을 변동시키고 DDA 선진국 민간품목으로 지정되는 것으로 구분하였다.

- 시나리오 I : 목표가격 고정 + DDA 개도국 특별품목 지정
- 시나리오 II : 목표가격 변동 + DDA 선진국 민간품목 지정

이러한 2가지 시나리오에 따른 중장기 재배면적의 전망을 보면 시나리오-I의 경우 2013 양곡연도에 89만2천ha, 2018 양곡연도에 83만9천ha로 전망하였다. 시나리오-II의 경우 시나리오-I 보다 2013 양곡연도에 1만6천ha, 2018 양곡연도에 3만1천ha가 추가로 감소할 것으로 전망하였다.

<표 2-31> 시나리오별 벼 재배면적 전망

구 분	단위	2007	2008	2013		2018	
				S-I	S-II	S-I	S-II
재배면적	천ha	955	950	892	876	839	808
단수	kg/10a	490	464	480			
생산량	천톤	4,680	4,408	4,281	4,203	4,029	3,879

(자료) 한국농촌경제연구원(2008) 농업전망 2008(II)

## 2.4.2 수확량 변화 추이

### 가. 수확량 조사 방법(통계청, 2007 작물통계)

#### 1) 작물 통계조사

작물통계 조사는 작물재배면적조사와 작물생산량조사로 이루어지는데 조사는 각 작물별 재배기간 및 실수확기에 실시된다. 2008년 3월 정부조직개편으로 이전 농림부 국립농산물품질관리원에서 통계청으로 주관부처가 변경되고 업무가 이관되었다.

#### 2) 작물 생산량 조사

##### ○ 벼 생산량 조사 방법

재배면적조사는 행정구역인 시군의 지적도, 토지대장 등을 기초로 2ha 크기의 931천개의 모집단 단위구를 설정하고, 논비율과 주요작물을 고려한 층별 표본 추출법으로 추출한 39.3천개의 표본단위구를 대상으로 조사되고 있다.

벼 생산량 조사는 표본조사 방식으로 조사한다. 논벼 생산량은 시·군별 조사된 단위면적(10a)당 생산량에 논벼 재배면적을 곱하여 시·군별 생산량을 구하고, 시·군별 생산량의 합계에 의해 도별 생산량을, 도별 생산량의 합계에 의하여 전국 생산량을 구하게 된다.

한편 현미와 백미(쌀)의 수확량 조사방법을 보면 논벼, 밭벼의 경우 조사포구(3m<sup>2</sup>)의 벼를 예취하여 탈곡, 손질하고 그 시료를 건조시킨 후 제현하여 현미로 단위면적당 수확량을 산출하고 현미 수량에 현백율(92.9%)을 적용, 백미(쌀)로 환산하여 단위면적(10a)당 수확량을 추정한다.

○ 기타 작물

기타 작물도 유사한 방법으로 조사포구(3m<sup>2</sup>)당 생산량을 조사하여 이를 단위면적(10a)당 수확량으로 추정하고 재배면적을 곱하여 추정한다.

3) 주요 작물재배 면적과 생산량

작물 중에서 식량작물(미곡, 맥류, 두류, 서류, 잡곡), 채소류(과채류, 엽채류, 근채류, 조미채소류), 과실류(사과, 배, 기타 과수), 특용작물(참깨, 땅콩, 들깨, 유채)에 대한 연도별 재배면적과 생산량의 변화를 보면 다음과 같다.

<표 2-32> 주요 작물의 연도별 재배면적 변화 (단위 : 천ha, 천톤)

연도	식량작물		채소류		과실류		특용작물	
	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량
1996	1,342	6,145	360	9,403	173	2,207	83	67
1997	1,315	6,143	333	9,030	176	2,452	87	70
1998	1,332	5,759	326	9,247	176	2,153	96	70
1999	1,327	6,000	342	9,477	174	2,385	87	61
2000	1,318	5,911	354	10,483	173	2,429	77	64
2001	1,334	6,200	335	10,496	167	2,488	79	65
2002	1,300	5,596	304	8,984	166	2,500	77	57
2003	1,236	5,004	294	9,191	163	2,275	69	41
2004	1,233	5,669	301	10,062	157	2,411	61	49
2005	1,234	5,520	282	9,097	155	2,593	62	50
2006	1,180	5,300	275	9,445	152	2,504	61	47
2007	1,163	5,304	260	8,829	154	2,750	64	53

(자료) 통계청(2008) 2007년 작물통계

## 나. 벼 재배면적과 수확량 변화

1) 벼 재배면적은 1996년 105만ha에서 2001년 108만3천ha로 증가하여 연평균 0.6%의 꾸준한 증가세를 보였으나 2002년 이후 감소추세로 전환되었다. 2007년 벼 재배 면적은 2006년보다 0.5% 감소한 95만ha로 나타났다. 벼 재배면적은 최근 5년 동안 매년 1.5 ~ 3.5%의 감소율을 보였으나 휴경면적이 감소하고 논 콩에서 벼 재배로 전환되는 면적이 늘어 2007년의 면적 감소율은 0.5%로 크게 둔화되었다.

2007년 벼 지역별 재배면적은 영남을 제외하고 전국적으로 감소하였다. 경기·강원의 2007년 벼 재배면적은 15만8천ha로 전년에 비해 1.8%, 호남과 충청지역은 각각 34만4천ha, 21만5천ha로 전년대비 0.5 ~ 0.8% 감소한 반면, 영남은 전년대비 0.5% 증가한 23만3천ha로 나타났다 (한국농촌경제연구원, 농업전망 2008).

2) 쌀 소비량과 벼농사의 수익성 감소로 벼 재배 면적이 지속적으로 축소되고 있는 것으로 나타났다. 2008년 8월 7일 통계청이 발표한 2008년 벼 재배면적 조사 결과에 따르면 올해 벼 재배면적은 93만5766ha로 지난 2007년 95만250ha보다 1만4484ha (1.5%) 줄어 들었다. 최근 10년 중 벼 면적이 가장 많았던 2001년 1,083천ha에 비해 147천ha(-13.6%) 감소하였으며, 사상 최대였던 1987년 126만 2천ha와 비교하면 25.8%(32만6천ha)나 감소한 수치다. 벼 재배면적은 △2003년 101만6030ha △2004년 100만1159ha △2005년 97만9717ha △2006년 95만5229ha 등으로 매년 감소추세를 이어갔다.

통계청은 "수매물량 감소로 인한 쌀 소득 감소와 수입쌀의 국내 유통량 증가, 핵가족화와 맞벌이 부부 증가로 인한 식생활 변화 등이 복합적으로 영향을 미쳤다"고 분석했다. 지역별 벼 재배면적은 △전남 18만9231ha △충남 16만2439ha △전북 14만1530ha △경북 12만3848ha △경남 9만419ha 등의 순이었다.

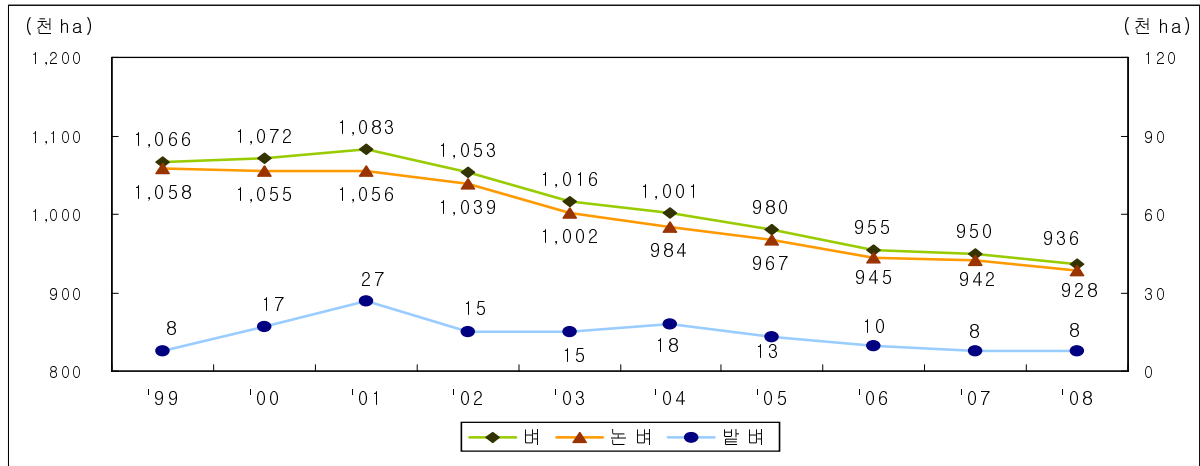
<표 2-33> 연도별 벼 재배면적 및 쌀 수확량 비교

구분	재배면적 (천ha)			10a당 수량 (kg)		생산량 (천톤)	
	2006	2007	2008	2006	2007	2006	2007
합계	955,229	950,250	935,766	-	-	4,680.0	4,407.7
논벼	945,400	942,223	927,995	493	466	4,658.5	4,388.5
밭벼	9,800	8,027	7,771	218	240	21.5	19.2

(자료) 1) 통계청(2008) 2007년 작물통계

2) 통계청 조사결과 발표 자료(2008. 8. 7)





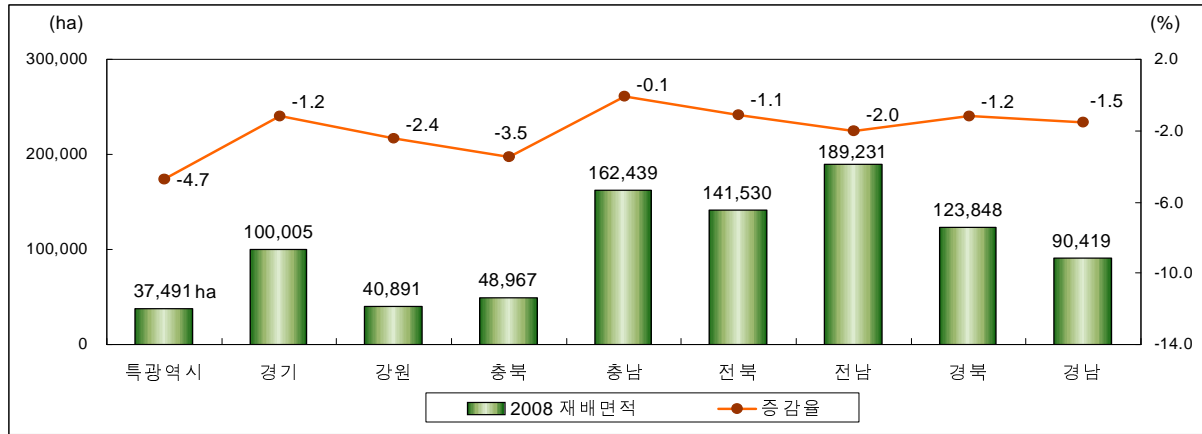
<그림 2-1> 연도별 벼 재배면적 변화(통계청, 2008. 8)

<표 2-34> 시도별 벼 재배면적 현황(2008. 1)

(단위 : ha, %)

구 분	2007 (A)	2008 (B)	증 감	
			(B-A)	(%)
전 국	950,250	935,766	-14,484	-1.5
서 울	482	502	20	4.1
부 산	4,157	4,112	-45	-1.1
대 구	4,601	3,977	-624	-13.6
인 천	14,474	13,778	-696	-4.8
광 주	6,640	6,516	-124	-1.9
대 전	1,939	1,916	-23	-1.2
울 산	7,053	6,690	-363	-5.1
경 기	101,207	100,005	-1,202	-1.2
강 원	41,876	40,891	-985	-2.4
충 북	50,747	48,967	-1,780	-3.5
충 남	162,632	162,439	-193	-0.1
전 북	143,159	141,530	-1,629	-1.1
전 남	193,064	189,231	-3,833	-2.0
경 북	125,335	123,848	-1,487	-1.2
경 남	91,821	90,419	-1,402	-1.5
제 주	1,063	945	-118	-11.1

(자료) 통계청 2008. 8. 발표 자료



<그림 2-2> 지역별 벼 재배면적 변화(통계청, 2008. 8)

## 다. 단위면적당 쌀 수확량 변화

### 1) 쌀 수확량

2007년 양곡연도 생산량은 2006년 보다 8만8천톤이 감소한 468만톤으로 나타났으며, 1990년대 후반부터 2000년대 초반까지 생산량이 늘어나면서 양곡연도말 재고율은 증가 추세를 보였으나 2002년 이후 생산량이 줄면서 다시 감소하였다.

<표 2-35> 전체 쌀 수급 현황

(단위 : 천톤)

양곡연도		2002	2005	2006	2007
공급량	전년이월	1,335	850	832	837
	생산	5,515	5,000	4,768	4,680
	수입	154	192	238	246
	소계	7,004	6,042	5,838	5,763
수요량		5,557	5,210	5,001	5,033
자급율(%)		107.0	102.0	98.9	96.1
재고량		1,447	832	837	837
재고율(%)		26.0	16.0	16.7	14.5

(자료) 한국농촌경제연구원(2007) 농업전망 2008(II)

### 2) 단위면적당 수확량

쌀 논벼 단위면적당 수확량(단수)은 1990년 이후 연평균 1.2% 증가하였으나 2000년대 들어 태풍 등 잦은 기상재해로 작황이 좋지 않아 단수는 감소하였다. 특히

2007년 논벼 단수는 2006년 493kg/10a 보다 5.5% 감소한 466kg/10a로 나타났으며, 이는 8월의 잦은 비와 일조시간 부족, 9월의 태풍 '나리'의 피해와 줄무늬잎마름병 등 병충해의 영향으로 생산량이 감소한 것으로 조사되었다.

<표 2-36> 연도별 쌀 재배면적 및 생산량

연도	재배면적 (ha)	전년대비 (%)	10a당 수량 (kg)	전년 대비(%)	생산량 (톤)	전년 대비(%)
1990	1,244,341	-1.0	451	-4.0	5,605,979	-4.9
1991	1,208,455	-2.9	446	-1.1	5,384,388	-4.0
1992	1,156,885	-4.3	461	3.4	5,330,826	-1.0
1993	1,135,812	-1.8	418	-9.3	4,749,562	-10.9
1994	1,102,608	-2.9	459	9.8	5,059,764	6.5
1995	1,055,868	-4.2	445	-3.1	4,694,956	-7.2
1996	1,049,556	-0.6	507	13.9	5,322,962	13.4
1997	1,052,395	0.3	518	2.2	5,449,561	2.4
1998	1,058,927	0.6	482	-6.9	5,096,879	-6.5
1999	1,066,203	0.7	495	2.5	5,262,700	3.3
2000	1,072,363	0.6	497	0.4	5,290,771	0.5
2001	1,083,125	1.0	516	3.8	5,514,796	4.2
2002	1,053,186	-2.8	471	-8.7	4,926,746	-10.7
2003	1,016,030	-3.5	441	-6.4	4,451,135	-9.7
2004	1,001,159	-1.5	504	14.3	5,000,149	12.3
2005	979,717	-2.1	490	-2.8	4,768,368	-4.6
2006	955,229	-2.5	493	0.6	4,679,991	-1.9
2007	950,250	-0.5	466	-5.5	4,407,743	-5.8
2008	935,766	-1.5				

(자료) 통계청 2008. 8. 7. 발표 자료

#### 라. 단위면적당 수확량에 따른 증발산량 변화

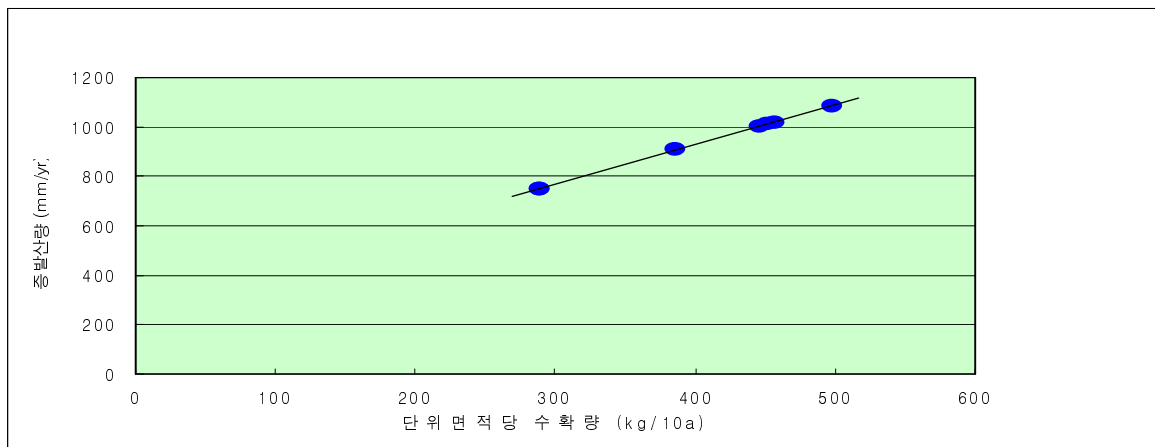
영농기술 발전과 품종개량에 따른 단위면적(10ha)당 생산량이 1980년도 289kg에서 2000년 497kg으로 증가됨에 따라 단위면적당 증발산량이 751mm에서 1,087mm로 약 45% 증가한 것으로 나타나고 있다.

<표 2-37> 연대별 단위면적당 수확량 증가에 따른 증발산량 변화

연도	1965	1975	1980	1985	1990	1995	2000
수확량 (kg/10ha)	289	386	289	456	451	445	497
증발산량 (mm/년)	751	908	751	1,021	1,013	1,003	1,087

○ 수확량 대 증발산량 관계

$$\text{증발산량(mm)} = 0.1614 \times \text{수확량(kg/ha)} + 285$$



<그림 2-3> 단위면적당 수확량과 증발산량

## 제3장 관개용수량 분석

3.1 저수지

3.2 양수장

3.3 필요수량 및 실제용수공급량 비교

3.4 용수량 산정요소 조사

3.5 수리시설 내한능력 검토

## 제3장 관개용수량 분석

### 3.1 저수지

각 저수지의 관개용수량은 2007~2008년도의 관개기간 중 해당 지사의 관개운영 일지를 참고하여 자료를 이용하였으며, 이때 관개용수량은 현장에서 실측된 자료가 아니라 당초 설계시 제시된 용수공급 통관(제수문)에서의 수위별 유량자료로 환산한 조건표를 이용하여 기록된 자료이다. 그리고 관개운영일지는 일별 통수시간과 수위에 따른 공급량 자료를 곱하여 일별 관개용수량으로 계산된 자료이다.

각 도별 11개 지구의 관개용수량 조사내용은 일별 공급용수량, 관개면적, 수로손실 등 조사현황은 <표 3-1>에 정리하여 나타내었으며 도별 현황은 경기 3개소, 충북 1개소, 경북 2개소, 경남 3개소, 전남 2개소이다. 그리고 관개면적이 500ha 이하는 4개소, 500ha~1,000ha 사이는 1개소, 1,000ha~3,000ha 사이는 3개소, 3,000ha 이상은 3개소로 나타났다.

<표 3-1> 저수지 현황

구분	도별	수원공명	유역면적 (ha)	관개면적 (ha)	수로손실 (%)	삼투량 (mm/일)	총저수량 (천m <sup>3</sup> )	단위저수량 (mm)	기상관측소	비고
저수지	경기	미산	442.0	199.0	10.0	4.6	1,826.0	740.0	수원	사통
		용덕	1,250.0	261.0	20.0	5.0	948.0	428.0		취수탑
		이동	9,300.0	2,156.0	15.0	4.6	20,906.0	500.0		"
	충북	백곡	8,479.0	2,613.5	15.0	6.3	21,750.0	633.0	청주	"
	경북	경천	9,150.0	3,107.4	15.0	6.0	28,220.0	660.0	문경	"
		성주	14,960.0	3,231.0	10.0	6.4	47,490.0	1,090.0	구미	"
	경남	하동	5,850.0	2,511.3	15.0	6.0	31,512.9	1,190.0	산청	"
		가산	1,570.0	682.3	15.0	4.2	3,393.0	409.0	밀양	사통
		봉의	700.0	178.6	15.0	4.0	1,492.0	606.0		사통
	전남	문수	2,600.0	332.4	14.0	4.9	1,804.0	590.0	남원	취수탑
담양		6,560.0	6,245.0	15.0	4.8	66,677.1	1,070.0	광주	"	

그리고 이동저수지, 용덕저수지, 미산저수지의 경우 각 저수지에서 관개용수량을 계측하기 위하여 <표 3-2>와 같이 저수지에서 관개용수를 공급하는 용수간선의 시점부에 자동수위계를 측정하여 2006~2007년도의 관개기간 중 운영한 자료를 이용하였으며, 용덕저수지의 경우 2005년, 2007년 자료이다. 수위계는 초음파식으로 수로 상부에 센서를 부착하여 10분단위로 데이터 로거에 기록된 자료를 일별 값으로 변환하였다.

이동저수지 및 미산저수지의 관측지점 수로는 콘크리트 구형개거이며 용덕저수지는 제형단면의 토공수로이다. 용덕저수의 경우 사다리꼴 토공수로 용수 공급시 여름철에는 수초의 영향을 받고 있었다.

각 지점 관측된 수위자료는 각 지점에서 유속계를 이용하여 측정한 유량자료와의 관계식인 <표 3-3>에서 나타낸 수위-유량 관계식을 이용하여 용수 공급량으로 환산/적용하였다.

<표 3-2> 수위관측 내역

지점명	수위계	수로형태	수로제원(cm)	설치지점
이동	초음파식	콘크리트(구형)	B×H = 230×250	진위간선 시점부
용덕	초음파식	토공수로(제형)	B×H = 100×120 사면경사=1:1.5	용덕간선 시점부
미산	초음파식	콘크리트(구형)	B×H = 100×90	미산간선 시점부

<표 3-3> 지점별 수위-유량 관계식

지점명	수위(H)-유량(Q) 관계식	결정계수(R <sup>2</sup> )	비고
이동	$Q = 3.6842 H^{1.1368}$	0.894	
용덕	$Q = 4.2243 H^{1.9606}$	0.9414	
미산	$Q = 1.1084 H^{1.8338}$	0.9221	

### 3.2 양수장

각 수계별인 한강, 섬강, 금강, 밀양강, 낙동강, 섬진강, 영산강에 해당하는 17개 각 지역별 양수장에 대하여 농업용수 공급량과 필요수량을 분석하기 위하여 2007~2008년까지 2개년 자료는 농업기반시설관리시스템(RMIS)의 자료를 이용하였다. 이때 이용한 공급량은 실제 관개량을 실측한 자료가 아니라 양수장 가동기록을 이용하여 양수기 가동시간과 시설용량을 이용하여 산정한 일별이 아닌 월별 값이다.

금회 조사한 양수장에 대하여 수계 및 해당 기상관측소 현황, 수로손실 등 상세현황은 <표 3-4>에 정리하여 나타내었다. 각 도별 현황을 살펴보면 경기 4개소, 강원 2개소, 충북 1개소, 경북 1개소, 경남 3개소, 전북 2개소, 전남 4개소이다. 관개면적에 따른 각 도별 지구에서 200ha 이하는 3개소, 200ha~500ha 사이는 5개지구, 500ha~1,000ha 2개지구, 1,000ha~3,000ha는 4개지구, 3,000ha 이상은 3개지구로 나타났다.

<표 3-4> 양수장 현황

구분	도별	수원공명	수계	관개면적 (ha)	수로손실 (%)	삼투량 (mm/일)	최대양수량 (m <sup>3</sup> /s)	기상관측소	비고
양수장	경기	능서3	한강	730.1	15.0	6.5	1.94	이천	
		대신	"	525.5	15.0	6.5	2.1		
		행주	"	3,002.4	15.0	6.5	618.6	서울	
		백암	"	1,066.0	15.0	6.5	170.4		
	강원	후용	섬강	108.4	10.0	6.0	29.52	원주	
		섬강	"	193.5	10.0	6.0	99.0		
	충북	주성	금강	1,256.0	15.0	5.3	152.56	청주	
	경북	우암	낙동강	237.1	16.0	6.0	1.23	대구	
	경남	부림	밀양강	203.7	16.0	6.6	0.79	밀양	
		길곡	낙동강	224.2	15.0	6.0	0.93		
		용산	낙동강	215.7	15.0	6.0	1.66		
	전북	내월	섬진강	221.4	15.0	5.0	21.78	남원	
		점촌	섬진강	148.0	15.0	5.0	20.94		
	전남	동강	영산강	1,120.0	20.0	3.4	3.333	광주	
		시중	"	4,794.0	15.0	5.0	687.0	목포	
		군서	"	3,727.0	15.0	6.0	354.6		
백운		"	1,004.1	15.0	6.0	171.6			



### 3.3 필요수량 및 실제용수공급량 비교

#### 3.3.1 필요수량 산정 조건

관개특성을 분석하기 위하여 11개 저수지 및 17개 양수장의 관개지구에 대하여 <표 3-1>과 <표 3-4>의 관개면적, 수로손실, 삼투량, 해당 기상관측소 자료를 이용하여 관개용수량을 산정하였으며 관개용수량 산정은 현재 공사에서 설계기준으로 이용하고 있는 방법을 이용하였다. 산정 결과를 현장조사에서 취득한 실제용수공급량과 비교하였다.

설계기준인 증발산량, 작부시기 등을 살펴보면 다음과 같다. 증발산량은 Penman식으로 산정하였고 작물계수는 중부, 남부지방에 해당하는 값을 적용하였다. 작부시기는 설계기준의 중부/남부지역 표준값인 묘대기(중부 : 4월 17일~5월 31일, 남부 : 4월 27일~6월 10일), 이앙기(중부 : 5월 21일~6월 10일, 남부 : 6월 1일~6월 20일), 본답기(중부 : 6월 11일~9월 11일, 남부 : 6월 21일~9월 21일)을 적용하였다.

토양 침투량은 현장자료조사 결과 및 농업기반시설관리시스템(RMIS)의 자료를 값을 적용하였으며 기상자료는 각 지역별 해당 기상관측소를 이용하였다. 유효우량은 60mm 담수심법을 적용하였으며, 묘대면적은 관개면적의 1/20, 씨레용수는 140mm를 적용하였다. 용수로의 시설관리 손실량은 수로손실 값을 이용하였다.

#### 3.3.2 저수지

현행 설계기준을 이용하여 산정한 관개용수량과 저수지에서의 실제공급량을 비교한 결과는 <표 3-5>에서 보는 바와 같다.

각 저수지별 앞에서 설명한 요소를 이용하여 산정된 연간 조용수량인 필요수량은 2007년에는 567.8mm~843.3mm범위로 산정되었으며 실제용수공급량은 471.3mm에서 1,085.9mm까지 산정되었다. 2008년의 경우 필요수량은 665.2mm에서 1,103.4mm로 산정되어 지역별 차이를 보이고 있으며 실제공급량은 336.1mm에서 2,424.4mm로 필요수량과 같이 지역별 편차가 상당히 심한 것으로 나타났다.

각 지구별로 전체적인 용수량 비교에서 경기지역의 용덕/이동저수지의 필요수량 보다 실제공급량이 1.6배에서 3.2배까지 많이 공급하는 것으로 분석되었으며, 경남 가산/봉의 저수지와 전남 담양댐의 경우 실제공급량이 필요수량 보다 0.4~0.7로 적게 공급하고 있는 것으로 나타났다. 나머지 저수지는 실제공급량이 평균 1.2배 정도 많이 공급하고 있는 것으로 분석 결과 나타났다. 월별 상세내역은 <표 3-6>에 정리하여 나타내었으며, <그림 3-1~11>은 일별 공급량과 산정된 필요수량과의 관계를 그림으로 나타낸 결과이다.

<표 3-5> 저수지지구 실제용수공급량/필요수량 비교(연도별)

(단위 : mm)

구 분	도 별	수원 공명	2007년			2008년			비 고
			용수공급량 (A)	필요수량 (B)	A/B	용수공급량 (A)	필요수량 (B)	A/B	
저수지	경기	미산	415.9	627.9	0.7	289.4	758.3	0.4	2006년 4,7월 결측 2007년 4,6,7월 결측
		용덕	1,436.7	843.3	1.7	2,414.4	746.8	3.2	2005년, 2007년자료
		이동	1,574.9	805.4	2.0	1,091.8	665.1	1.6	2006년, 2007년자료
	충북	백곡	1,085.9	815.3	1.3	885.6	1061.8	0.8	
	경북	경천	657.4	633.6	1.0	1,041.3	906.2	1.1	
		성주	841.9	716.6	1.2	1,219.1	1,103.4	1.1	
	경남	하동	1,005.9	800.1	1.3	1,332.6	1,079.3	1.2	
		가산	269.7	689.3	0.4	336.1	846.2	0.4	
		봉의	373.4	668.2	0.6	729.2	834.3	0.9	
	전남	문수	709.2	567.8	1.2	-	-	-	
담양		471.3	675.6	0.7	654.1	910.0	0.7		

각 지구별 월별 실제용수공급과 필요수량의 관계를 살펴보면, 경천댐의 경우 4월에는 실제공급량이 필요수량에 비해 0.02~0.53배로 공급되었지만, 5월에는 약 5배 정도 많이 공급되었다. 6월~8월까지는 평균 0.6배 정도 용수공급이 이루어졌으며 9월에는 2배에서 15배까지 실제용수 공급이 이루어지고 있다.

백곡저수지는 2007년 6월의 0.3배를 제외하고는 1.26배에서 6배 공급하였으며 9월에는 235배까지 공급하고 있는 것으로 나타났다. 2008년 4월~5월은 3배 이상, 6월~8월까지는 약 0.5배, 9월은 1.6배 공급하고 있다. 성주댐은 4월~5월은 6배에서 13배 이상 공급하고 있으며 6월~8월은 평균 0.7배, 9월은 4배, 10월까지 용수공급을 하고 있으며 11.1mm로 11배에 해당된다.

담양호는 설계기준은 4월 말부터 용수공급이 이루어지지만 실제로는 5월부터 용수공급이 이루어지고 있으며 5월의 8배 공급된 것을 제외하고는 전반적으로 0.2배에서 0.6배까지 공급하고 있다. 하동댐은 4월~5월은 9배 이상, 6월~7월은 연도별 차이는 있지만 0.7배 정도 공급하고 있으며 8월 이후 1.2배 이상 공급하고 있는 것으로 나타났다. 가산저수지의 경우 전체적으로 실제용수공급량이 필요수량에 비해 약 0.6배정도 용수공급이 이루어지고 있으며 5월의 3배 이상을 제외하고는 0.2배에서 0.9배의 범위로 용수공급이 이루어졌다.

<표 3-6(1)> 저수지지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

월별	경천댐				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	0.3	14.2	7.5	14.1	0.02	0.53	
5월	306.8	61.7	438.9	91.9	4.97	4.78	
6월	183.1	325.6	165.1	301.1	0.56	0.55	
7월	54.9	101.9	47.1	184.4	0.54	0.26	
8월	97.6	144.4	190.4	242.3	0.68	0.79	
9월	15.0	0.0	199.8	86.5	15.00	2.31	
10월	-	-	-	-			
계					1.01	1.14	
월별	백곡저수지				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	90.0	14.6	74.7	14.7	6.16	5.08	
5월	308.5	90.8	323.9	93.3	3.40	3.47	
6월	135.5	406.2	53.7	355.4	0.33	0.15	
7월	160.8	127.2	149.0	257.0	1.26	0.58	
8월	246.2	191.1	221.5	270.9	1.29	0.82	
9월	235.1	0.0	137.5	85.2	235.06	1.61	
10월	-	-	-	-			
계					1.42	0.89	
월별	성주댐				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
3월			17.7			17.70	
4월	58.4	9.2	104.5	9.2	6.35	11.36	
5월	286.5	21.3	289.0	20.7	13.45	13.98	
6월	180.8	292.0	222.2	259.9	0.62	0.85	
7월	94.0	172.6	258.7	278.0	0.54	0.93	
8월	191.5	210.4	199.8	318.4	0.91	0.63	
9월	82.5	20.3	220.5	226.4	4.06	0.97	
10월	6.5	0.0	11.1	0.0	6.53	11.10	
계					1.24	1.19	

<표 3-6(2)> 저수지지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

월별	담양호				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	0.0	8.9	0.0	9.2	0.11	0.11	
5월	160.2	16.1	140.1	18.0	9.95	7.78	
6월	165.4	348.5	132.0	129.5	0.47	1.02	
7월	49.3	170.4	60.4	221.1	0.29	0.27	
8월	70.9	128.9	182.3	323.3	0.55	0.56	
9월	25.4	11.7	139.3	218.1	2.17	0.64	
10월	-	-	-	-			
계					0.69	0.71	
월별	하동댐				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	90.2	9.6	71.0	9.6	9.39	7.39	
5월	333.6	22.2	326.0	21.2	15.03	15.38	
6월	270.4	354.3	201.5	170.3	0.76	1.18	
7월	75.3	207.3	253.3	303.3	0.36	0.84	
8월	226.5	197.0	367.2	330.9	1.15	1.11	
9월	89.2	19.3	184.6	253.6	4.62	0.73	
10월	-	-	-	-			
계					1.34	1.29	
월별	가산 저수지				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	0.0	8.9	0.0	9.2	0.11	0.11	
5월	97.3	17.9	62.9	15.1	5.44	3.19	
6월	272.2	295.4	79.2	187.1	0.92	0.78	
7월	22.1	166.8	58.4	121.6	0.13	0.05	
8월	70.8	191.4	91.9	299.7	0.37	0.35	
9월	17.7	17.8	43.5	222.7	0.99	1.07	
10월	-	-	-	-			
계					0.69	0.55	

<표 3-6(3)> 저수지지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

월별	봉의 저수지				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	0.0	8.9	0.0	9.2	0.11	0.11	
5월	56.8	17.8	63.4	14.9	3.19	4.25	
6월	227.2	290.3	141.9	182.1	0.78	0.78	
7월	8.1	159.1	150.3	126.8	0.05	1.19	
8월	65.0	185.8	117.8	292.2	0.35	0.40	
9월	16.2	15.2	106.0	218.3	1.07	0.48	
10월	-	-	-	-			
계					0.55	0.69	
월별	문수 저수지				2007년 (A/B)	2008년 (A/B)	비고
	2007년		2008년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	0.0	8.8			0.11		
5월	63.8	16.6			3.84	-	
6월	183.9	309.9			0.59	-	
7월	267.0	139.1			1.92	-	
8월	149.2	96.8			1.54	-	
9월	45.4	5.4			8.4	-	
10월	-	-				-	
계					1.23	-	
월별	미산 저수지				2006년 (A/B)	2007년 (A/B)	비고
	2006년		2007년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	0.0	12.0	0.0	11.8	0.08	0.08	
5월	141.5	25.4	106.8	36.1	5.57	2.96	
6월	38.8	332.8	109.5	240.5	0.12	0.46	
7월	0.0	91.8	40.5	46.8	0.01	0.87	
8월	177.9	177.9	32.6	333.8	1.00	0.10	
9월	57.7	0.0	0.0	101.1	57.72	0.01	
10월	-	-	-	-			
계					0.65	0.38	

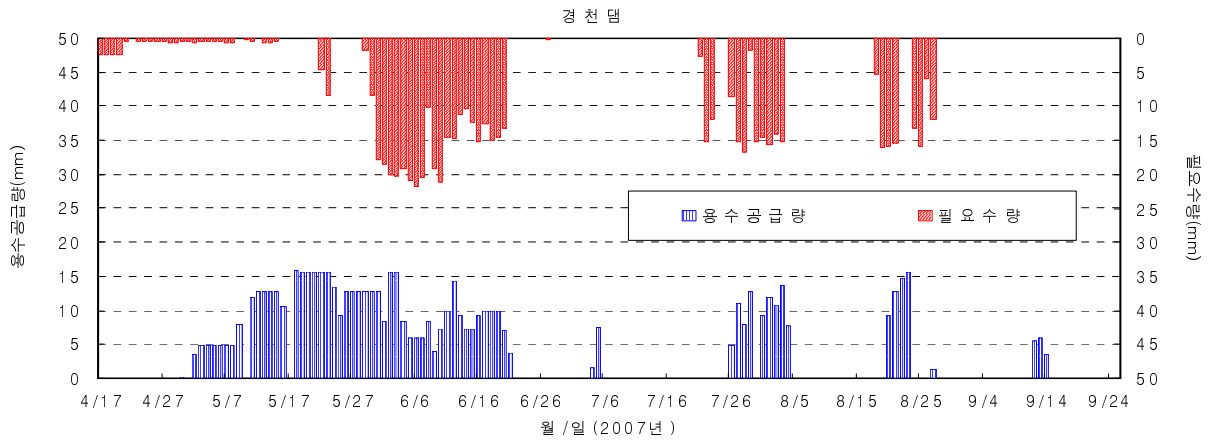
<표 3-6(4)> 저수지지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

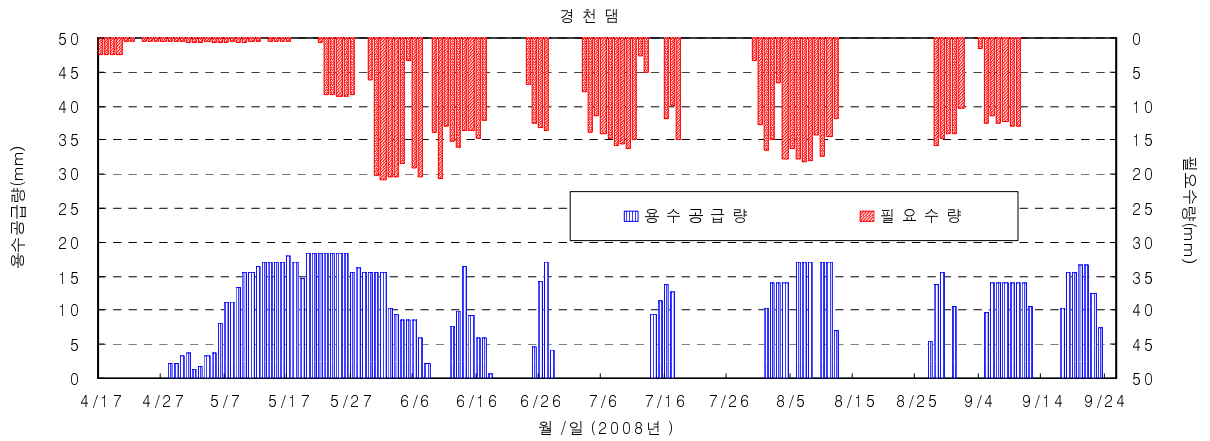
월별	용덕 저수지				2005년 (A/B)	2007년 (A/B)	비고
	2005년		2007년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	129.0	13.9	97.1	14.1	9.28	6.88	
5월	607.8	123.4	635.1	32.9	4.93	19.30	
6월	162.6	364.7	152.2	387.9	0.45	0.39	
7월	308.5	169.8	803.6	114.6	1.82	7.01	
8월	197.3	58.0	618.4	211.4	3.40	2.93	
9월	160.5	127.4	205.2	0.0	1.25	205.2	
10월	-	-	-	-			
계					1.83	3.30	
월별	이동 저수지				2006년 (A/B)	2007년 (A/B)	비고
	2006년		2007년				
	실제공급량	필요수량	실제공급량	필요수량			
4월	243.6	12.3	130.5	12.7	19.80	10.27	
5월	742.9	38.1	489.7	25.5	19.5	19.20	
6월	209.9	257.5	174.8	352.5	0.82	0.50	
7월	22.0	49.5	102.0	97.3	0.44	1.05	
8월	423.6	353.1	244.5	188.4	1.20	1.30	
9월	157.5	107.2	80.9	0.0	1.46	80.88	
10월	-	-	-	-			
계					2.20	1.80	

봉의저수지는 4월은 용수공급이 이루어지지 않고 5월은 용수공급이 3배 이상, 6월~9월까지는 0.3배에서 약 1.1배 정도의 용수공급이 되고 있으며 2007~2008년 2개년 평균 0.6배 정도 용수공급이 행하여졌다. 문수저수지는 4월에는 용수공급이 없으며 5월의 경우 4배, 6월은 0.6배, 7월~9월은 2배에서 8배까지 공급되었다. 미산저수지의 경우 4월과 7월의 자료가 결측되어 비교를 생략하였다.

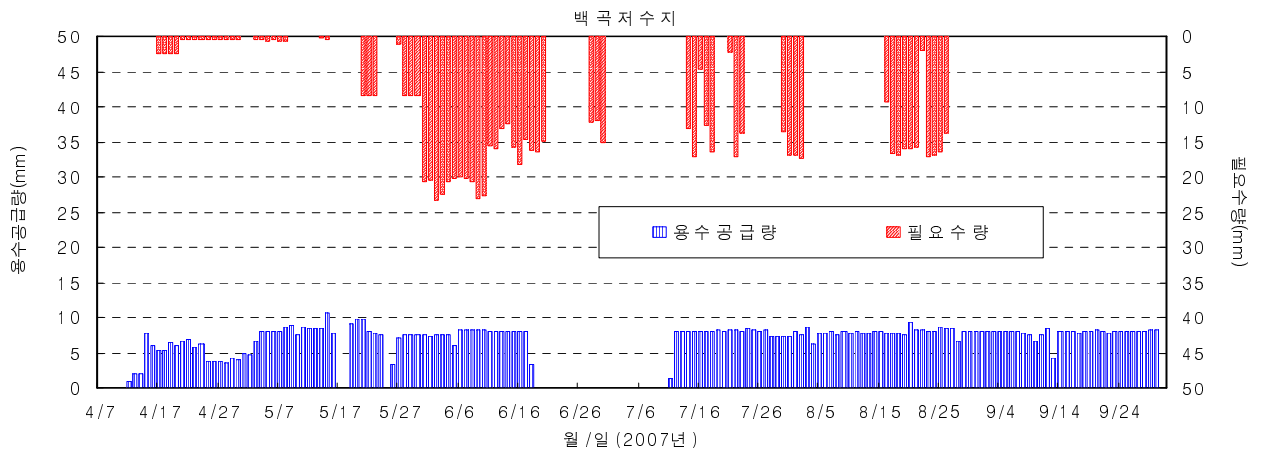
용덕저수지는 6월의 0.4배를 제외하고는 4월의 7.0배 이상에서 9월의 205배까지 용수공급이 되고 있으며 용수공급이 2개년 평균 약 2.0배 이상으로 나타났다. 이동저수지의 경우도 용덕저수지와 동일한 경향을 보이고 있는데 4월은 10배 이상 공급되고 있으며 총공급량이 약 2.0배 이상 공급되고 있는 것으로 분석되었다.



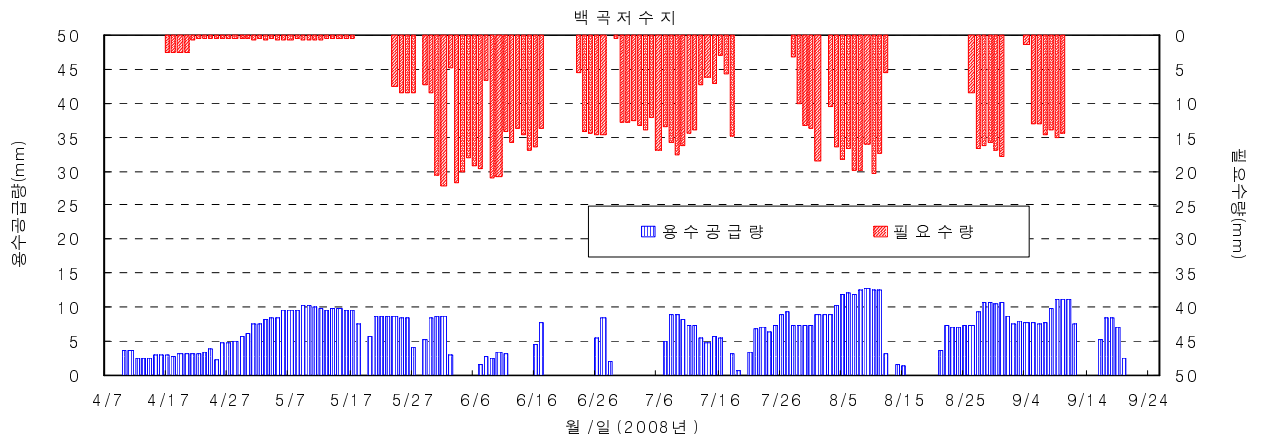
<그림 3-1(1)> 경천댐 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



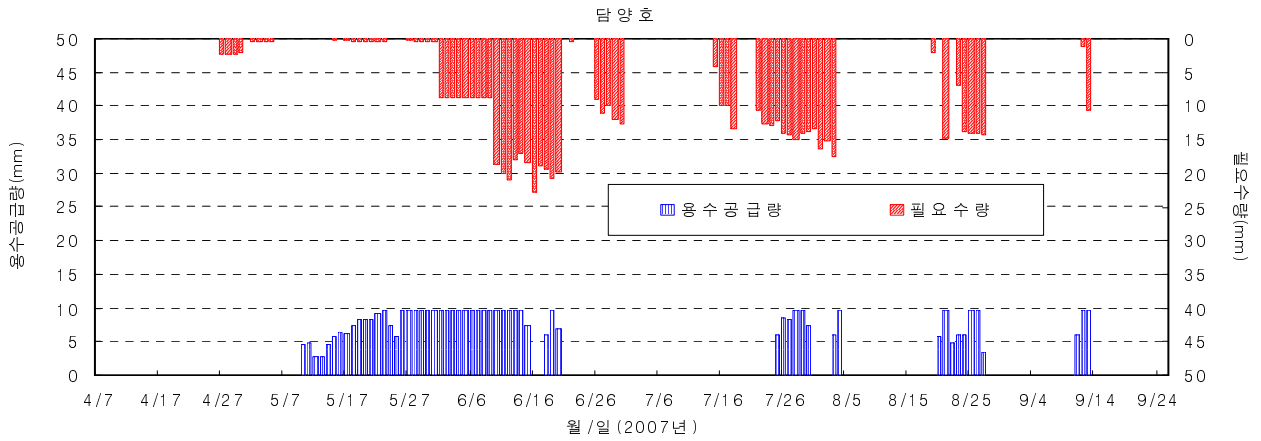
<그림 3-1(2)> 경천댐 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



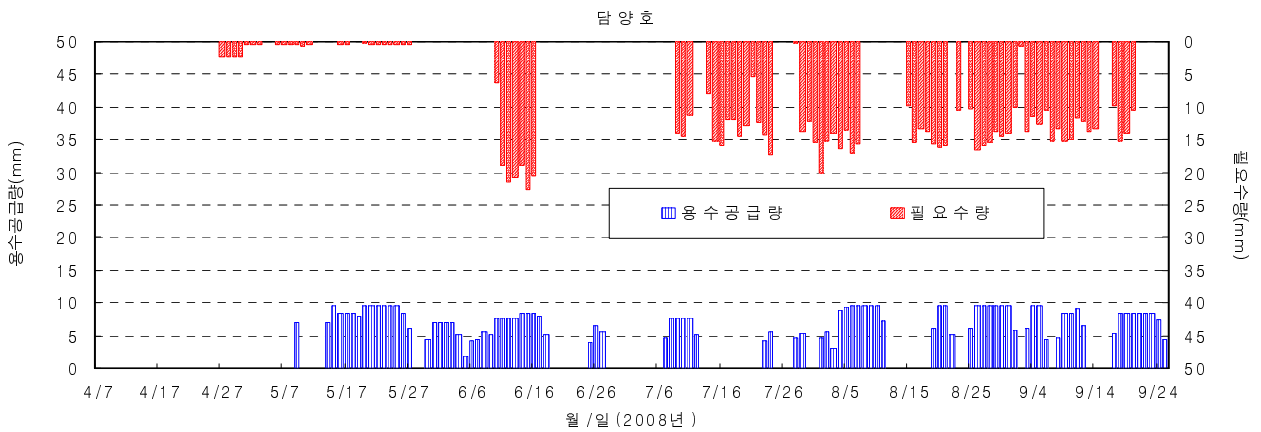
<그림 3-2(1)> 백곡저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



<그림 3-2(2)> 백곡저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)

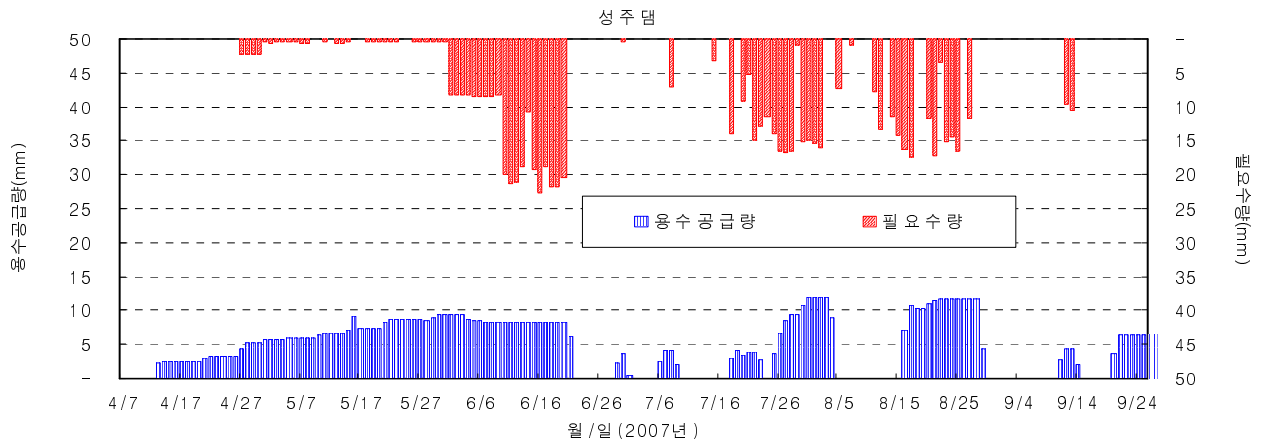


<그림 3-3(1)> 담양호 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)

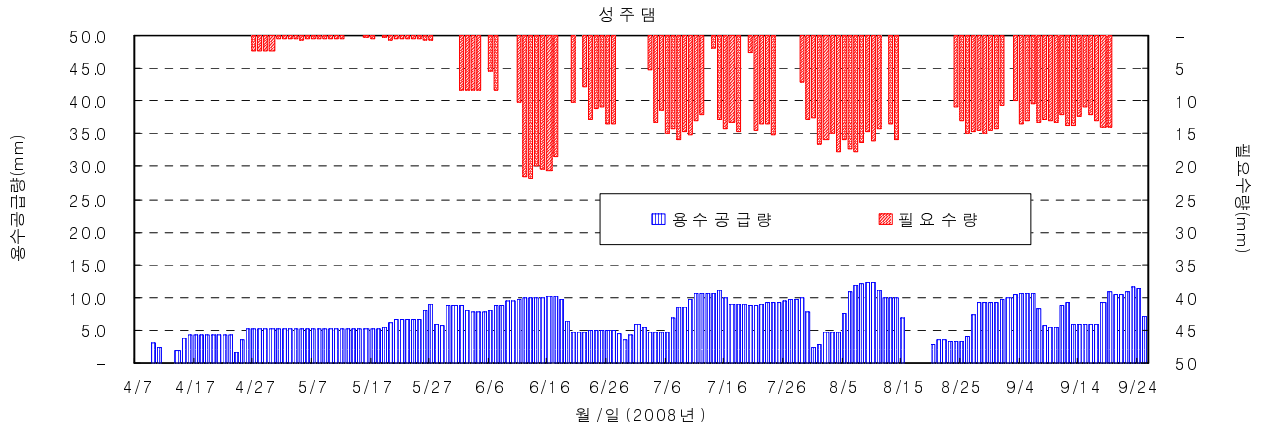


<그림 3-3(2)> 담양호 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)

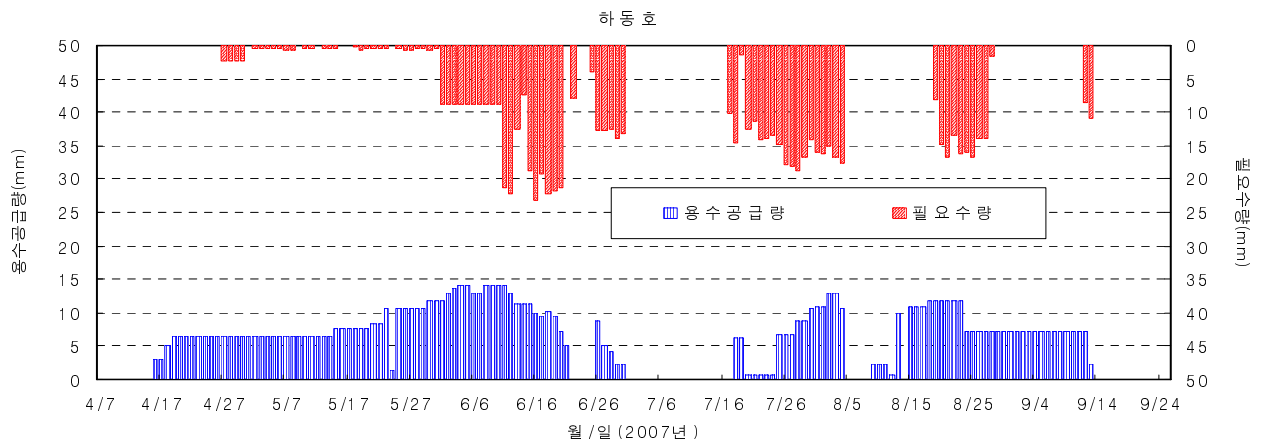




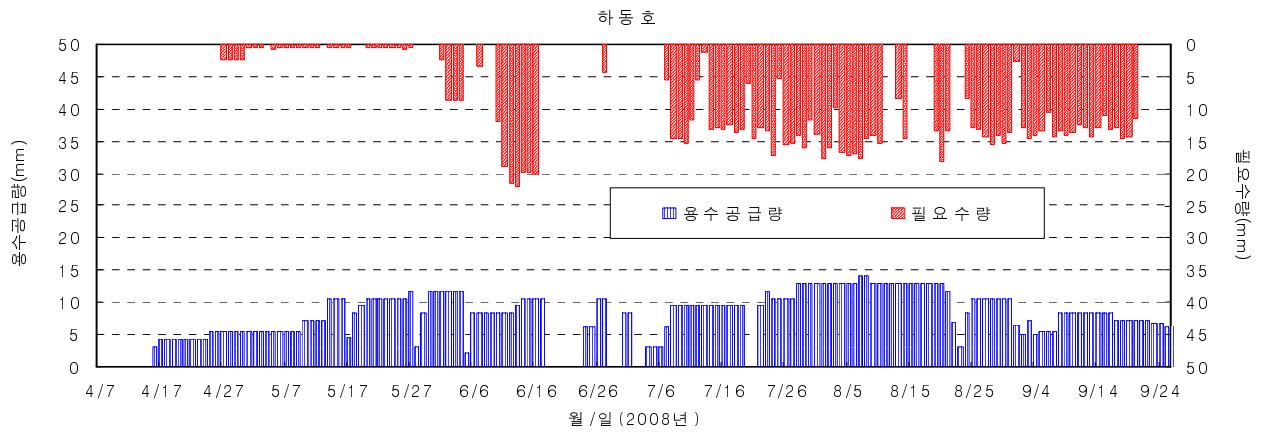
<그림 3-4(1)> 성주댐 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



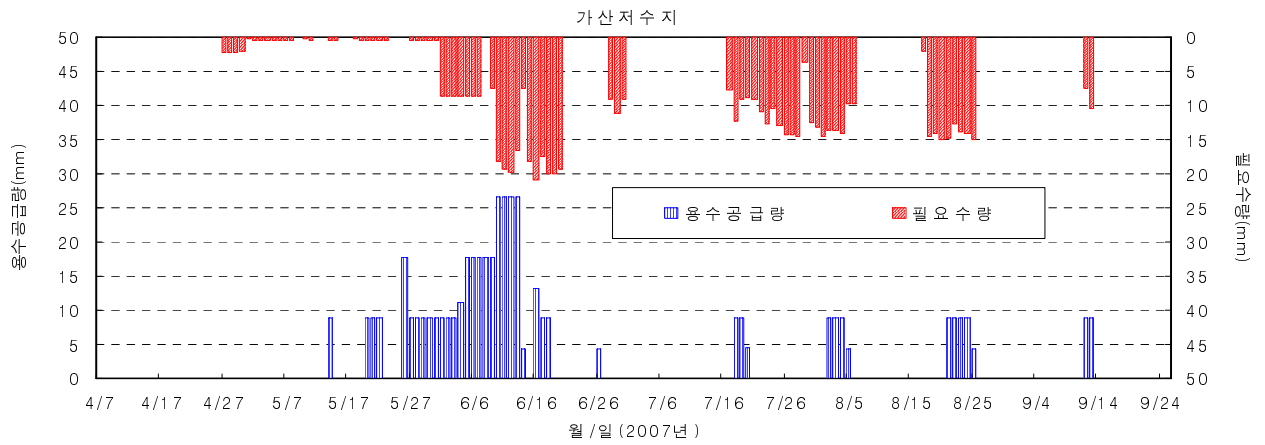
<그림 3-4(2)> 성주댐 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



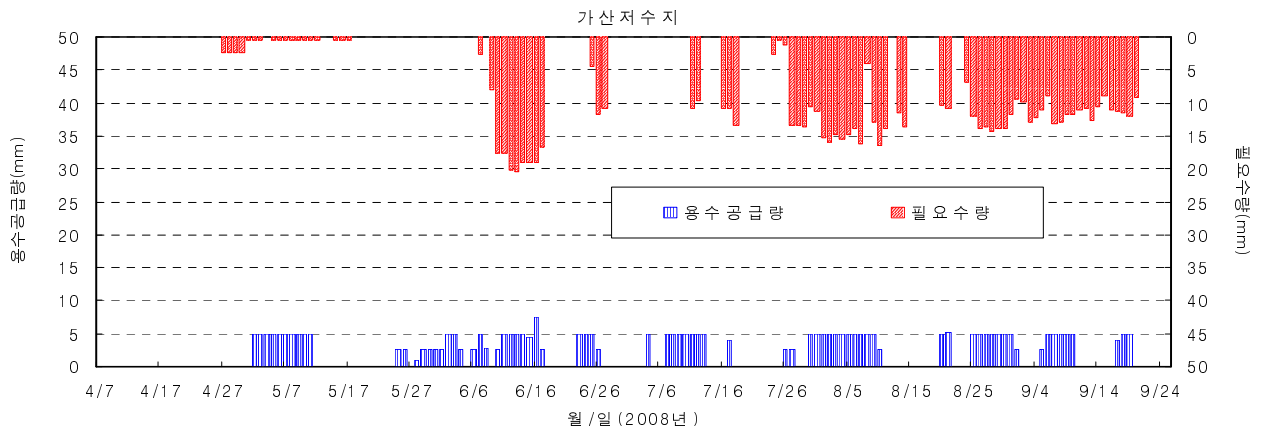
<그림 3-5(1)> 하동호 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



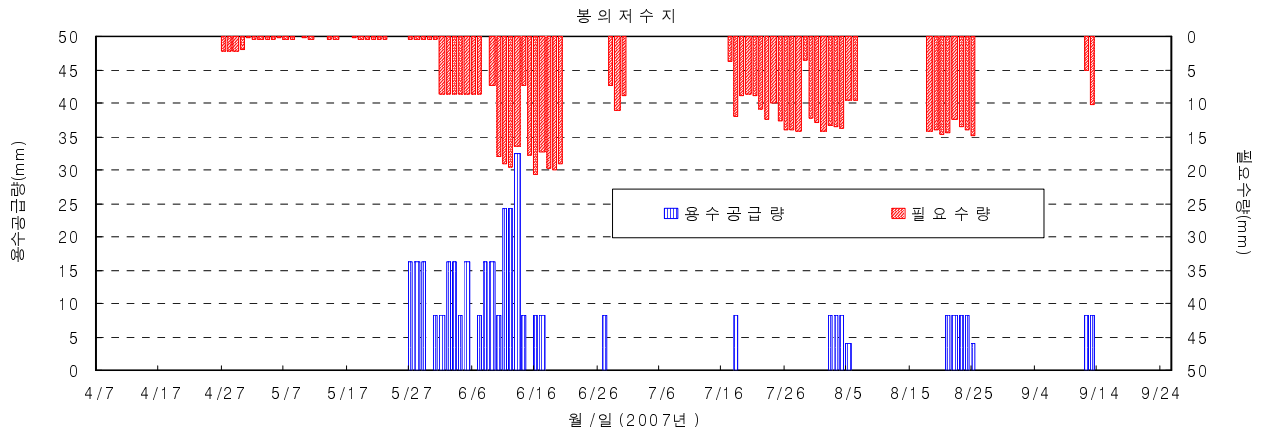
<그림 3-5(2)> 하동호 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



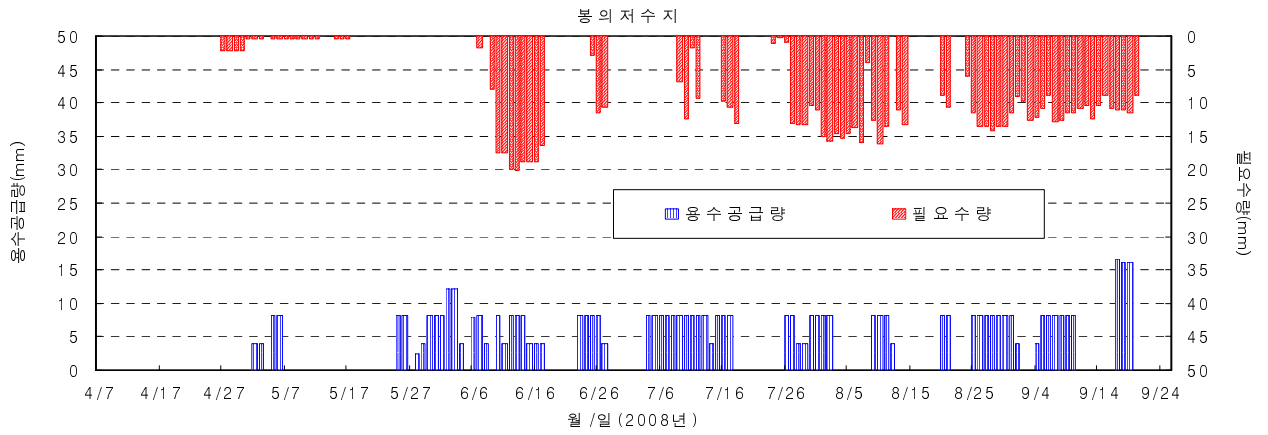
<그림 3-6(1)> 가산저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



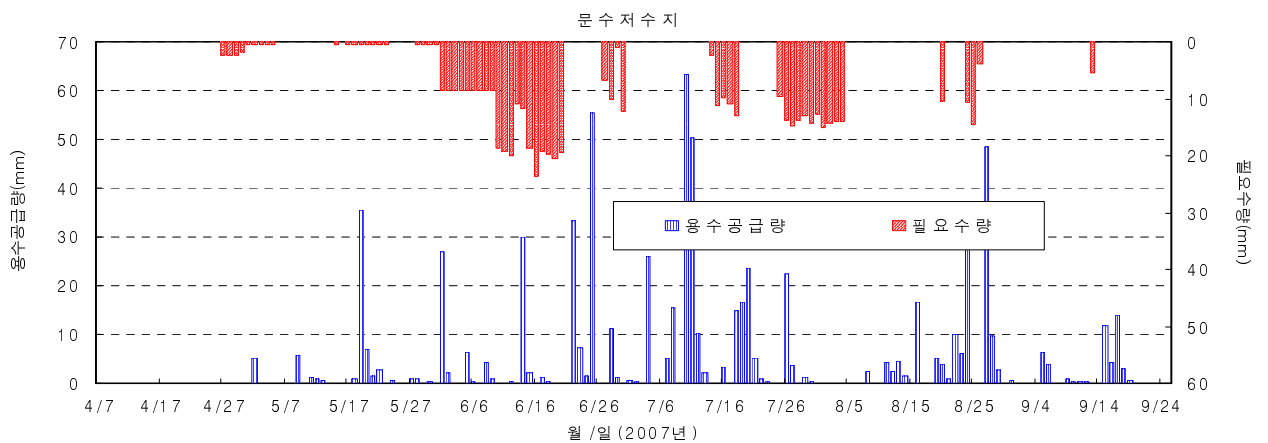
<그림 3-6(2)> 가산저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



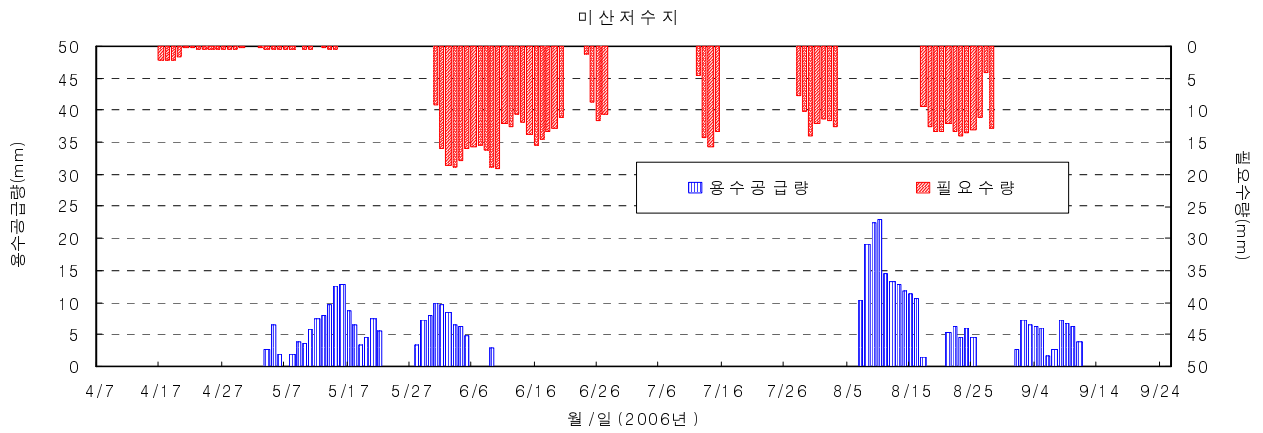
<그림 3-7(1)> 봉의저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



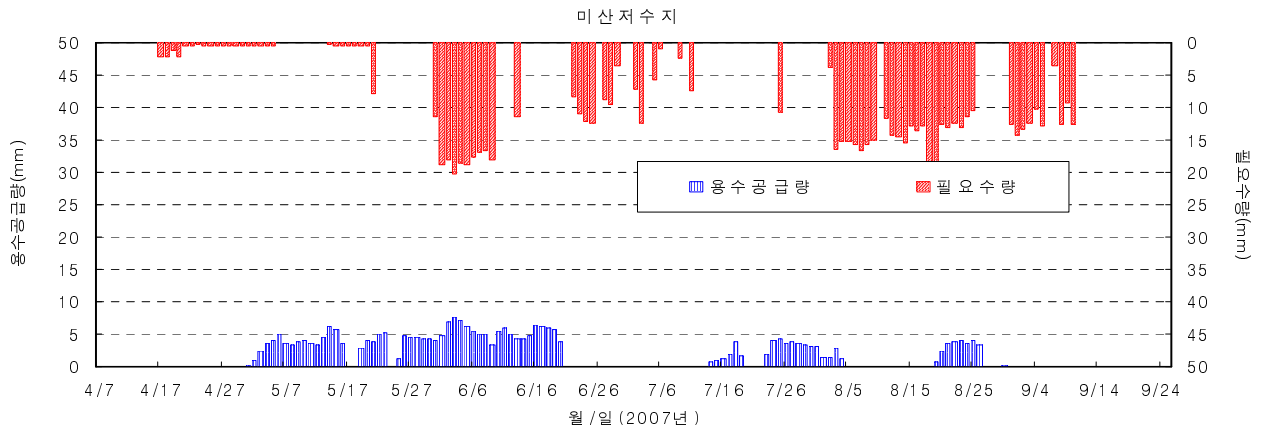
<그림 3-7(2)> 봉의저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



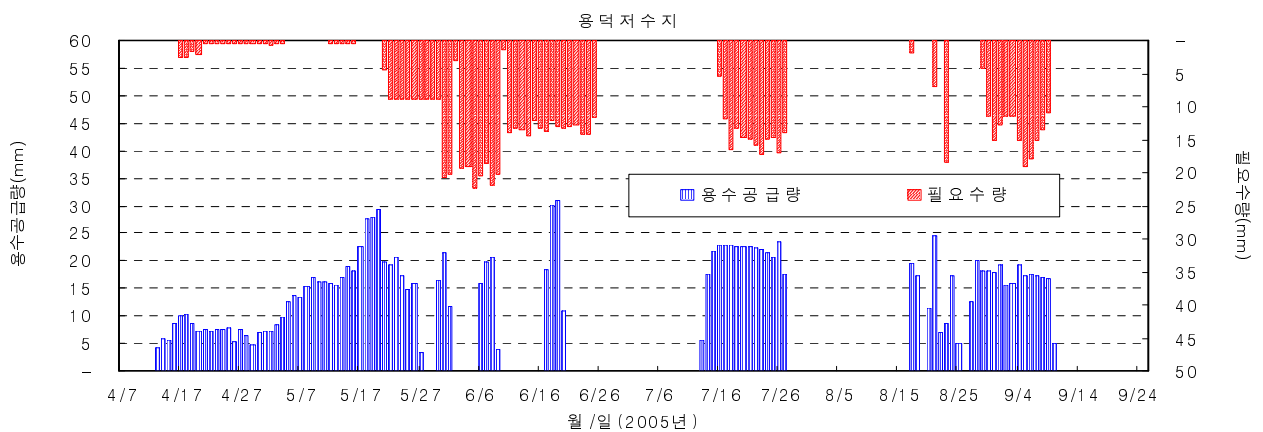
<그림 3-8> 문수저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



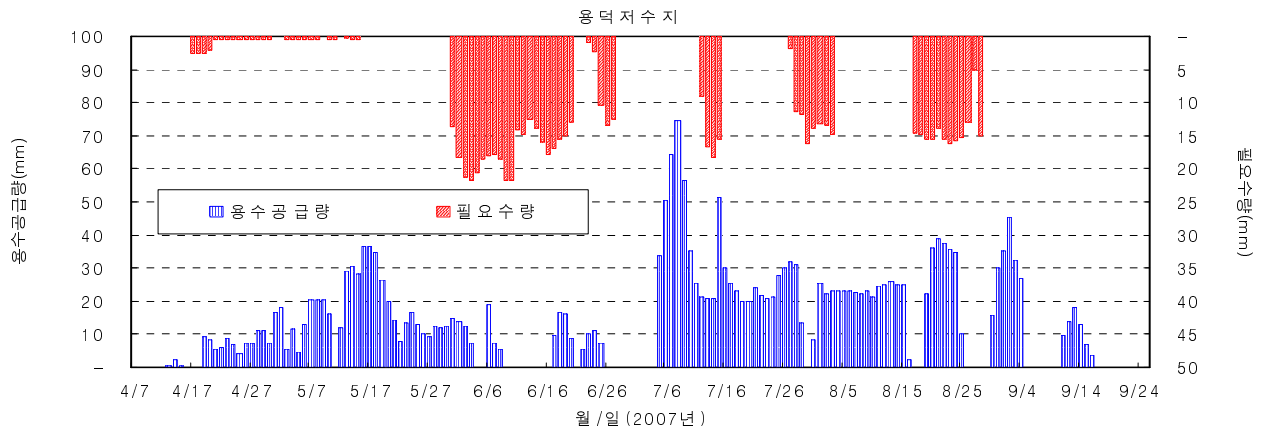
<그림 3-9(1)> 미산저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



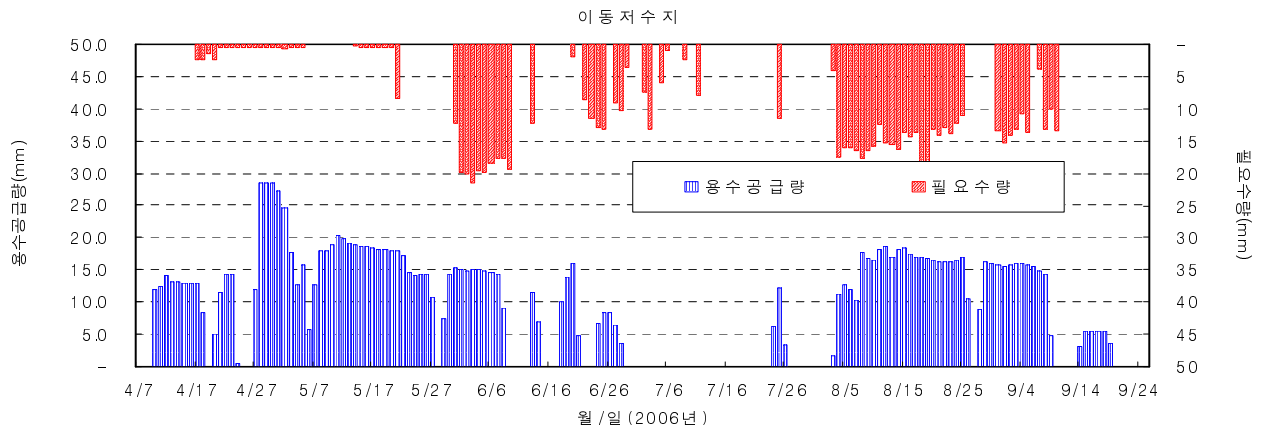
<그림 3-9(2)> 미산저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



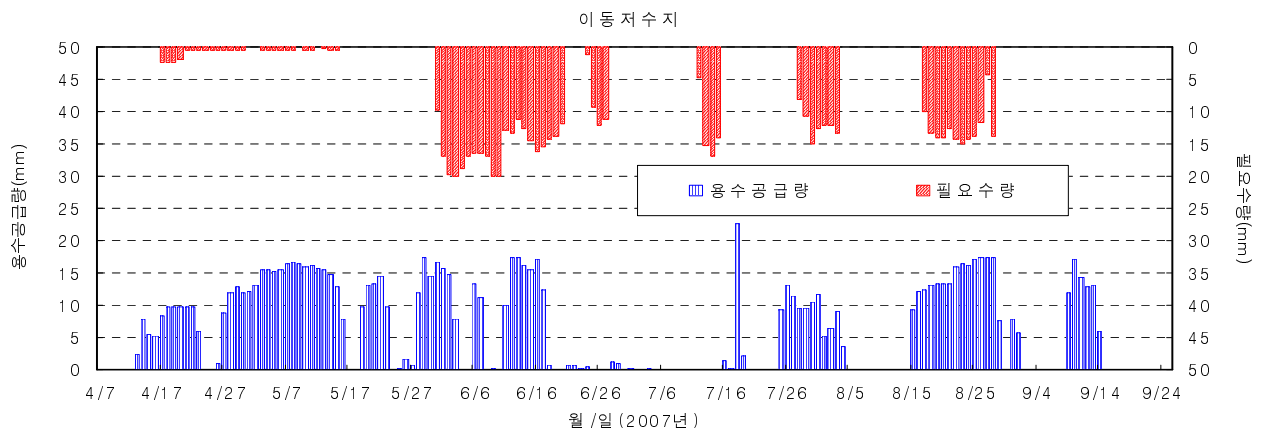
<그림 3-10(1)> 용덕저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



<그림 3-11(2)> 용덕저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)



<그림 3-11(1)> 이동저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2007년)



<그림 3-11(2)> 이동저수지 실제용수공급량 및 필요수량 비교(2008년)

현행 설계기준은 묘대정지기는 못자리의 정지용수량과 묘대정지 기간의 침투량을 공급하는 것이며 순수묘대기는 못자리에서 모가 자라는 기간으로 침투량과 증발산량을 필요로 하는 기간이다. 못자리 면적은 논 면적의 1/20로 나머지 논 면적에는 물을 공급하지 않는 것으로 적용하고 있다. 산정된 필요수량과 실제공급량의 차이를 일별로 분석한 <그림 3-1~11>에서 보듯이 뚜렷한 차이가 난다. 2007~2008년 전반적인 현상은 4월의 필요수량은 9.2mm~14.6mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 7.5mm~243.6mm로 0.8배에서 17배의 양을 공급하고, 5월은 필요수량이 16.0mm~124.0mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 56.8mm~742.9mm로 3배에서 13배 이상의 양을 공급하고 있는 것으로 나타났다.

논벼의 작물재배력에 의하면 4월에는 아직 이앙이 시작되지 않는 시기이므로 실제 소요량의 약 17배를 공급하였다는 것은 묘대면적 외에 나머지 관개면적에도 못자리와 같은 정도의 물을 공급한 것으로 추정된다. 그리고 5월의 경우 실제공급량이 13배 정도 공급되고 있는 것은 이앙시기에 개개 농민들의 물관리에 있어 용수수요가 설계기준 보다 많았음을 알 수 있다.

이러한 결과로 볼 때 논용수 이용량은 지역별, 시기별 편차가 심하여 정량화가 상당히 어려움을 알 수 있다. 본답기의 경우는 산정한 값과 공급량이 유사한 경향을 보여주고 있지만 시기별로 조금씩 차이는 나고 있다. 그리고 묘대기 및 이앙기인 4월 5월은 용수공급량과 필요수량의 차이가 매우 심하게 나타나고 있음을 확인 할 수 있으므로 설계기준 등의 기준을 적용한 물관리 계획수립 등을 하기 위해서는 이러한 차이에 대한 원인 규명이 현실적으로 필요하다.

또한, 묘대기 및 이앙기의 경우 정지식부 용수공급 면적이나 이앙시기가 설계기준과 실제 현장에서 이행되는 것이 다를 수 있는 것으로 추정되며, 그리고 중간낙수 적용여부, 적용 작물계수의 차이, 시설관리손실(수로손실)의 차이 등이 또 다른 형태의 원인이 될 수 있을 것으로 판단해 볼 수 있다.

### 3.3.3 양수장

현행 설계기준을 이용하여 산정한 양수장지구 관개용수량과 저수지에서의 실제 공급량을 비교한 결과는 <표 3-7>에서 보는 바와 같다.

각 양수장별 앞에서 설명한 요소를 이용하여 산정된 연간 필요수량은 2007년에는 582.9mm~1,032.6mm범위로 산정되었으며 실제용수공급량은 427.7mm에서 1,411.9mm까지 산정되었다. 2008년의 경우 필요수량은 832.9mm에서 1,236.5mm로 산정되어 지역별 차이를 보이고 있으며 실제공급량은 688.3mm에서 2,017.3mm로 필요수량과 같이 지역별 편차가 상당히 심한 것으로 나타났다.

<표 3-7> 양수장지구 실제용수공급량/필요수량 비교(연도별)

(단위 : mm)

구 분	도 별	수원 공명	2007년			2008년			비 고
			용수공급량 (A)	필요수량 (B)	A/B	용수공급량 (A)	필요수량 (B)	A/B	
양수장	경기	능서3	1,176.4	745.4	1.6	1,568.3	833.9	1.9	
		대신	1,411.9	745.4	1.9	2,017.3	833.9	2.4	
		행주	759.2	1,006.0	0.8	688.3	832.9	0.8	
		백암	911.1	1,006.6	0.9	811.6	832.9	1.0	
	강원	후용	427.7	653.0	0.7	915.8	904.2	1.0	
		섬강	1,518.2	653.0	2.3	844.7	904.0	0.9	
	충북	주성	475.4	714.5	0.7	600.0	942.1	0.6	
	경북	우암	917.5	1,032.6	0.9	1,620.7	1,236.5	1.3	
	경남	부림	970.1	959.0	1.0	1,065.4	1,170.7	0.9	
		길곡	1,384.3	879.8	1.6	1,731.5	1,081.8	1.6	
		용산	1,296.6	879.8	1.5	1,551.5	1,081.0	1.4	
	전북	내월	983.3	582.9	1.7	1,372.9	855.9	1.6	
		점촌	706.3	582.9	1.2	1,063.7	855.9	1.2	
	전남	동강	1,390.8	707.5	2.0	1,046.4	912.1	1.1	
		시종	1,070.5	814.2	1.3	1,246.9	954.7	1.3	
		군서	724.2	908.4	0.8	813.7	1,064.2	0.8	
백운		1,014.7	908.4	1.1	1,231.0	1,064.2	1.2		

각 지구별로 전체적인 용수량 비교에서는 경기지역의 능서3/대신양수장 지구의 필요수량 보다 실제공급량이 1.6배에서 2.4배까지 많이 공급되고 있으며 행주/백암지구는 0.8배 ~ 1.0배 공급하는 것으로 분석되었으며, 강원 후용지구는 2007년은 0.7배, 2008년은 1.0배 공급, 섬강지구는 2007년 2.3배, 2008년 0.9배 공급한 것으로 분석되었다.

충북 주성지구는 약 0.7배, 경북 우암지구는 2007년 0.9배, 2008년 1.3배 공급되고 있다. 경상남도의 경우 2007년, 2008년 2개년 모두 1.0 ~ 1.6배의 비슷한 경향으로 공급되고 있으며 전북 내월/점촌지구는 1.2 ~ 1.6배 공급되고 있는 것으로 분석되었으며 전남의 경우 군서지구 0.8배를 제외하고는 1.1배에서 2.0배를 공급되고 있는 것으로 나타났다. 월별 상세내역은 <표 3-8>에 정리하여 나타내었으며, <그림 2-2>은 월별 공급량과 산정된 필요수량과의 관계를 그림으로 나타낸 결과이다.

각 지구별 월별 실제용수공급과 필요수량의 관계를 살펴보면, 능서3양수장의 경우 4월에는 실제공급량이 필요수량에 비해 13.04~20.30배로 공급되었으며, 5월에는 약 60배 이상 많이 공급되었다. 6월~9월까지는 평균 0.5배 정도 용수공급이 이루어지고 있다.

대신지구는 2007~2008년 4월~5월 12배 이상, 6월은 1.2배 정도이며 2007년 7월~8월은 0.5배 정도로 공급되고 9월은 공급량이 없는 것으로 나타났으나 2007~2008년 평균 공급량은 2.0배 이상인 것을 알 수 있다. 행주/백암지구는 전체적으로 0.9배 정도로 공급되고 있으나 4월과 5월은 6배 이상 공급되고 있는 것을 알 수 있다.

강원 후용지구는 2007년은 0.7배, 2008년은 1.0배 용수공급이 이루어 졌으나 4월, 5월은 2.0배 이상 공급되었다. 섬강지구 2007년 4월 12배 공급이 되었으며 9월 용수공급량이 없으며 8월 0.9배를 제외하고는 평균 2배 이상 공급이 되었다. 주성 및 우암지구는 2007년 0.8배로 공급 되었으나 5월은 1.6배 이상 공급되었다. 4월의 실제공급량은 시험가동에 의한 용수공급으로 판단되고 본격적인 공급은 5월에 시행된 것으로 추정된다.

전북지역인 내월/점촌지구 또한 4월은 시험가동에 의한 용수량으로 판단되며 5월에 6.90~15배 정도의 용수공급이 이루어진 것으로 보아 묘대기 정지용수 및 이양이 동시에 이루어진 것으로 판단된다. 동강/시중/군서/백운지구는 4월에 1.9배의 동강지구를 제외하고는 0.02~0.94배의 용수공급이 되었으나 5월에는 군서지구 0.9배를 제외하고는 평균 6배의 공급이 이루어졌다. 6월~8월은 0.36~2.68배로 공급이 시기별 차이는 있으나 전체량에서는 공급량과 필요수량이 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다.

경남지역 길곡/용산지구는 4월~5월은 17.9mm~313.1mm로 2.0~40.0배의 공급이 되고 있는 것으로 분석 되었다. 부림지구는 2007년~2008년까지 2개년 동안 시기별 차이는 나지만 실제공급량과 필요수량이 비슷한 결과인 0.96배로 분석되었다. 시기별 차이는 4월에 0.4배 정도, 5월은 11배 이상의 공급 차이를 보이고 있다.



<표 3-8(1)> 양수장지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

년/월별	능서3 양수장			대신 양수장			비 고	
	실제공급량	필요수량	A/B	실제공급량	필요수량	A/B		
2007년 4월	121.2	9.3	13.04	189.1	14.6	12.95		
5월	529.5	8.7	60.86	593.9	54.8	10.84		
6월	312.3	389.9	0.80	489.6	409.6	1.20		
7월	34.0	209.0	0.16	38.9	103.2	0.38		
8월	179.4	268.7	0.67	100.5	163.2	0.62		
9월	1.0	22.8	0.04	-	-			
계			1.30	계			1.89	
2008년 4월	194.9	9.6	20.30	142.0	13.8	10.29		
5월	596.9	9.8	60.91	734.1	45.2	16.24		
6월	307.1	118.9	2.58	390.6	311.1	1.26		
7월	98.3	284.3	0.35	200.3	159.2	1.26		
8월	223.8	388.2	0.58	328.7	239.6	1.37		
9월	147.3	253.4	0.58	221.5	65.0	3.41		
계			1.47	계			2.42	
년/월별	행주 양수장			백암 양수장			비 고	
	실제공급량	필요수량	A/B	실제공급량	필요수량	A/B		
2007년 4월	94.7	13.7	6.91	106.2	13.7	7.75		
5월	259.2	41.5	6.25	315.8	41.5	7.61		
6월	189.9	451.5	0.42	243.0	451.5	0.54		
7월	57.1	186.1	0.31	60.1	186.1	0.32		
8월	96.9	230.9	0.42	119.9	230.9	0.52		
9월	61.4	82.9	0.74	66.1	82.9	0.80		
계			0.75	계			0.91	
2008년 4월	82.1	14.1	5.83	83.7	14.1	5.93		
5월	218.8	64.6	3.39	320.3	64.6	4.96		
6월	116.2	308.3	0.38	114.2	308.3	0.37		
7월	105.6	144.2	0.73	111.4	144.2	0.77		
8월	78.8	248.7	0.32	89.4	248.7	0.36		
9월	86.8	53.0	1.64	92.7	53.0	1.75		
계			0.83	계			0.97	

<표 3-8(2)> 양수장지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

년/월별	후용 양수장			섬강 양수장			비 고	
	실제공급량	필요수량	A/B	실제공급량	필요수량	A/B		
2007년 4월	43.5	13.5	3.22	165.7	13.5	12.27		
5월	79.7	65.0	1.23	191.3	65.0	2.94		
6월	153.9	362.3	0.42	574.2	362.3	1.58		
7월	60.6	27.0	2.24	415.5	27.0	15.39		
8월	55.1	185.2	0.30	171.6	185.2	0.93		
9월	31.9	1.0	31.90	-	-			
계			0.65	계			2.32	
2008년 4월	13.1	12.3	1.06	59.5	12.3	4.84		
5월	139.7	59.7	2.34	203.7	59.7	3.41		
6월	221.4	328.1	0.67	194.4	328.1	0.59		
7월	211.6	139.9	1.51	151.6	139.9	1.08		
8월	178.1	271.4	0.66	110.7	271.4	0.41		
9월	152.0	92.8	1.64	124.7	92.8	1.34		
계			1.01	계			0.88	
년/월별	주성 양수장			우암 양수장			비 고	
	실제공급량	필요수량	A/B	실제공급량	필요수량	A/B		
2007년 4월	2.0	14.1	0.14	6.0	9.8	0.61		
5월	125.6	68.5	1.83	18.4	14.7	1.25		
6월	213.5	370.9	0.58	324.5	351.1	0.92		
7월	47.0	93.6	0.50	284.6	323.4	0.88		
8월	16.2	167.4	0.10	148.6	318.1	0.47		
9월	66.4	1.0	66.43	135.4	15.5	8.73		
10월	4.8	1.0	4.78	-	-			
계			0.66	계			0.89	
2008년 4월	4.6	14.0	0.33	-	9.8	0.98		
5월	170.3	72.2	2.36	18.5	12.9	1.44		
6월	213.1	320.3	0.67	294.9	239.3	1.23		
7월	77.3	223.0	0.35	518.5	334.2	1.55		
8월	67.5	239.3	0.28	397.9	361.7	1.10		
9월	67.2	73.3	0.92	390.8	278.6	1.40		
계			0.64	계			1.32	

<표 3-8(3)> 양수장지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

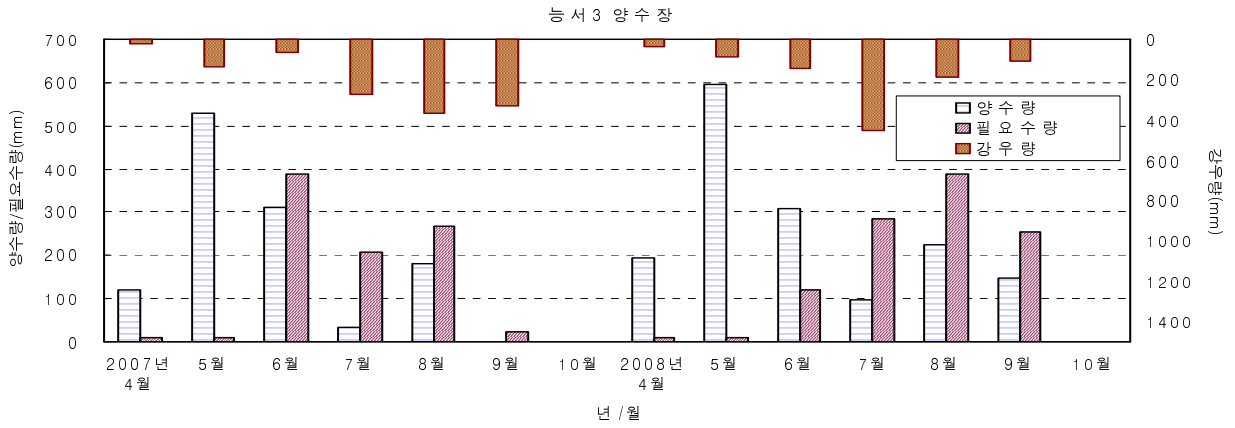
(단위 : mm)

년/월별	내월 양수장			점촌 양수장			비 고	
	실제공급량	필요수량	A/B	실제공급량	필요수량	A/B		
2007년 4월	23.6	9.0	2.62	-	9.0	0.90		
5월	119.2	8.0	14.90	55.2	8.0	6.90		
6월	399.0	315.9	1.26	311.6	315.9	0.99		
7월	121.6	143.9	0.84	100.2	143.9	0.70		
8월	205.4	99.8	2.06	178.3	99.8	1.79		
9월	114.5	6.3	18.18	61.1	6.3	9.70		
계			1.69	계			1.21	
2008년 4월	7.1	9.4	0.75		9.4	0.00		
5월	120.4	8.2	14.68	90.0	8.2	10.97		
6월	461.6	126.9	3.64	377.8	126.9	2.98		
7월	177.1	189.6	0.93	120.5	189.6	0.64		
8월	270.3	285.0	0.95	205.4	285.0	0.72		
9월	336.4	236.8	1.42	270.0	236.8	1.14		
계			1.60	계			1.24	
년/월별	동강 양수장			시종 양수장			비 고	
	실제공급량	필요수량	A/B	실제공급량	필요수량	A/B		
2007년 4월	19.2	10.6	1.81		9.1	0.00		
5월	92.4	5.5	16.80	68.2	6.9	9.89		
6월	685.4	380.2	1.80	505.2	364.7	1.39		
7월	149.4	153.1	0.98	189.3	179.6	1.05		
8월	246.5	158.0	1.56	289.4	239.3	1.21		
9월	197.7	-	197.7	18.3	14.6	1.26		
계			1.97	계			1.31	
2008년 4월	0.3	11.0	0.02		9.4	0.00		
5월	32.9	7.7	4.28	58.2	8.2	7.10		
6월	365.3	136.4	2.68	373.6	105.3	3.55		
7월	75.6	210.8	0.36	138.0	250.2	0.55		
8월	273.5	321.5	0.85	368.9	351.7	1.05		
9월	298.8	224.7	1.33	308.3	229.9	1.34		
계			1.15	계			1.31	

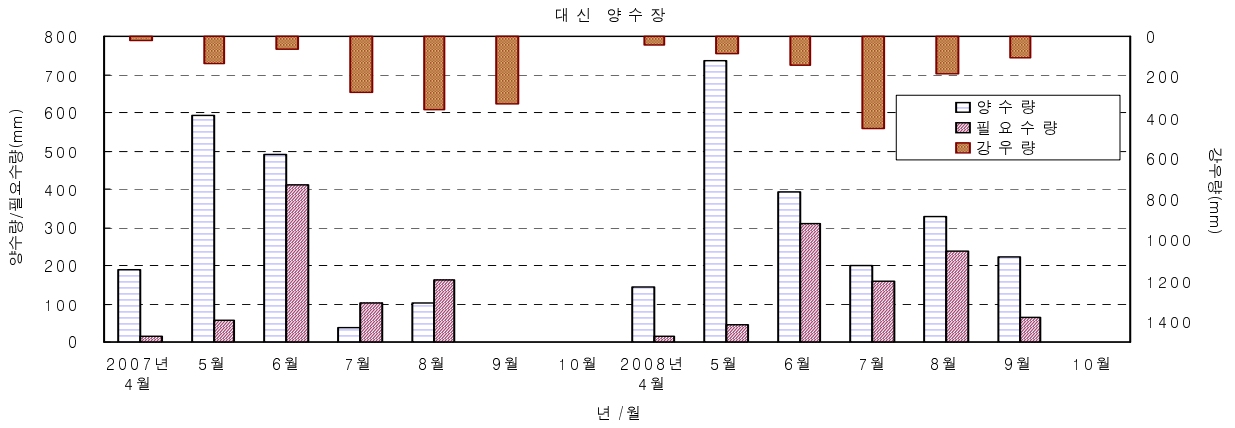
<표 3-8(4)> 양수장지구 실제용수공급량/필요수량 비교(월별)

(단위 : mm)

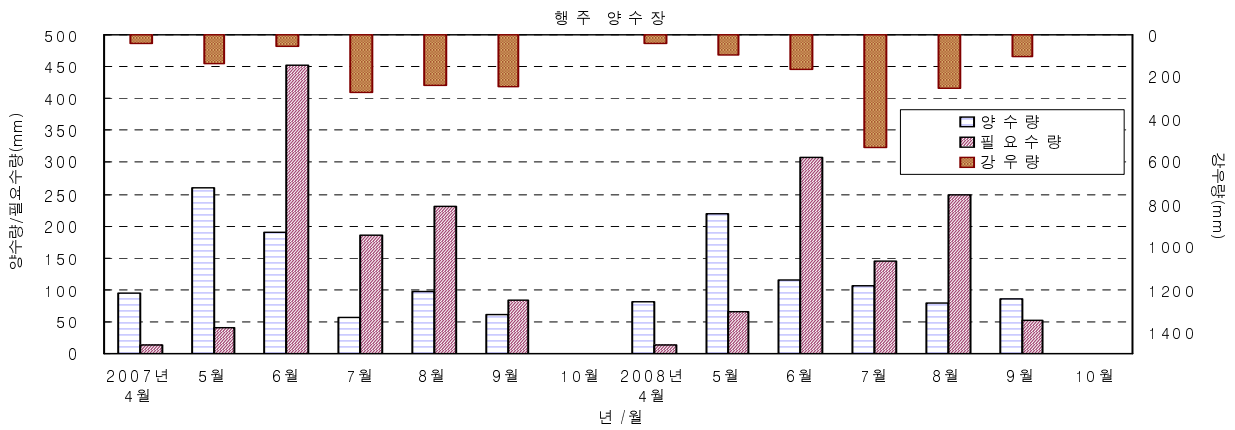
년/월별	군서 양수장			백운 양수장			부림 양수장			비 고
	실제 공급량	필요수량	A/B	실제 공급량	필요수량	A/B	실제 공급량	필요수량	A/B	
2007년 4월	0.2	9.3	0.02	0.0	9.3	0.01	4.8	9.6	0.51	
5월	44.7	8.7	5.14	0.0	8.7	0.00	178.0	13.7	12.99	
6월	295.0	389.9	0.76	417.2	389.9	1.07	378.2	360.1	1.05	
7월	108.9	209.0	0.52	172.5	209.0	0.83	166.9	257.2	0.65	
8월	172.5	268.7	0.64	261.1	268.7	0.97	183.2	259.3	0.71	
9월	103.0	22.8	4.52	163.8	22.8	7.18	58.9	59.1	1.00	
계			0.80	계			1.12	계		1.01
2008년 4월	-	9.6	0.96	-	9.6	0.96	4.2	9.9	0.42	
5월	41.8	9.8	4.26	47.2	9.8	4.81	95.2	8.4	11.34	
6월	247.6	118.9	2.08	392.7	118.9	3.30	250.8	247.6	1.01	
7월	103.1	284.3	0.36	141.0	284.3	0.50	262.9	230.8	1.14	
8월	236.8	388.2	0.61	370.7	388.2	0.95	258.7	391.4	0.66	
9월	184.4	253.4	0.73	279.4	253.4	1.10	193.6	282.6	0.69	
계			0.76	계			1.16	계		0.91
년/월별	길곡 양수장			용산 양수장						비 고
	실제 공급량	필요수량	A/B	실제 공급량	필요수량	A/B				
2007년 4월	20.9	9.4	2.22	54.0	9.4	5.75				
5월	268.8	12.5	21.50	318.6	12.5	25.49				
6월	589.9	340.7	1.73	565.2	340.7	1.66				
7월	271.8	232.2	1.17	174.5	232.2	0.75				
8월	200.1	240.0	0.83	184.2	240.0	0.77				
9월	32.9	45.0	0.73		45.0	0.00				
계			1.57	계			1.47			
2008년 4월	17.9	9.6	1.87	47.1	9.6	4.91				
5월	224.0	7.7	29.09	313.1	7.7	40.66				
6월	391.2	230.3	1.70	281.2	230.3	1.22				
7월	477.9	204.1	2.34	382.3	204.1	1.87				
8월	414.4	364.9	1.14	343.5	364.9	0.94				
9월	206.1	265.2	0.78	184.2	265.2	0.69				
계			1.60	계			1.40			



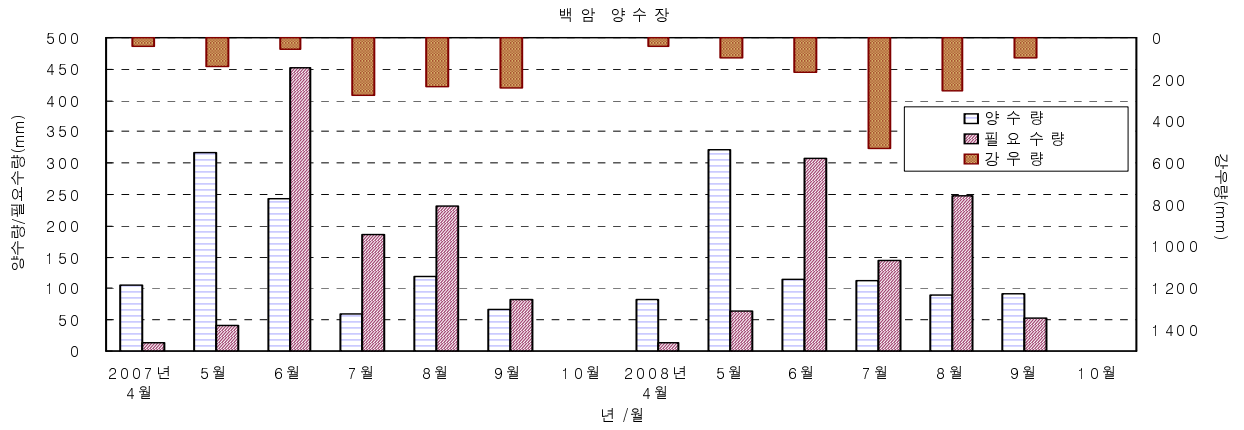
<그림 3-12> 능서3지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



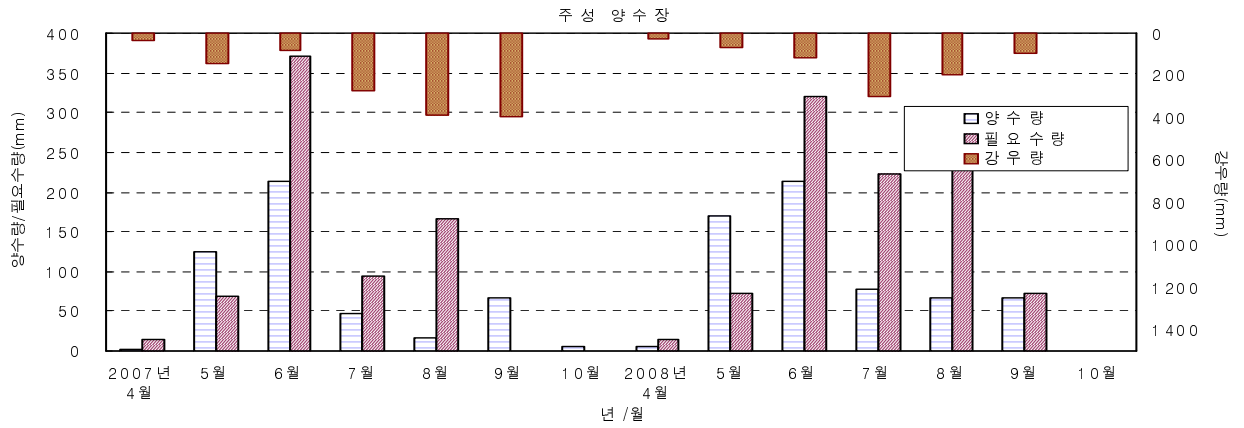
<그림 3-13> 대신지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



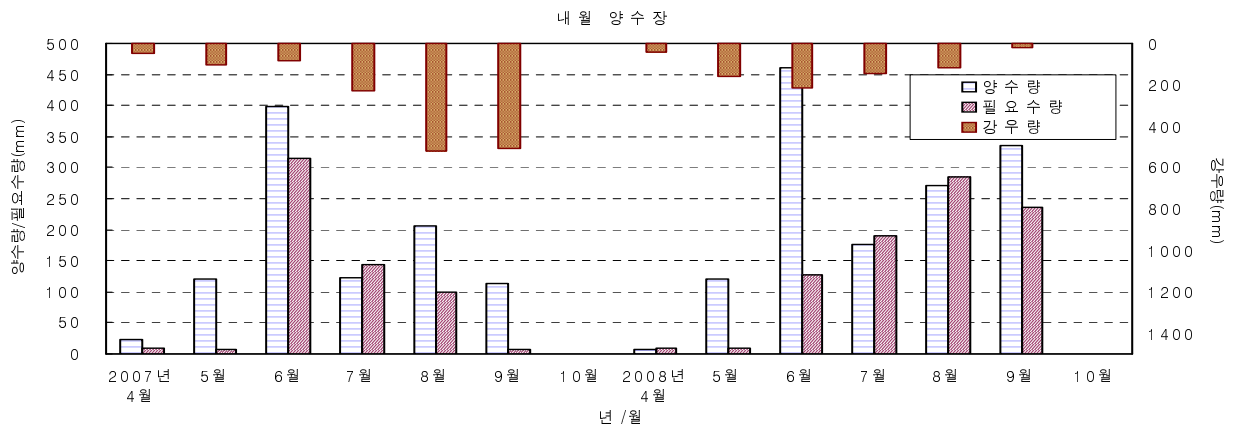
<그림 3-14> 행주지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



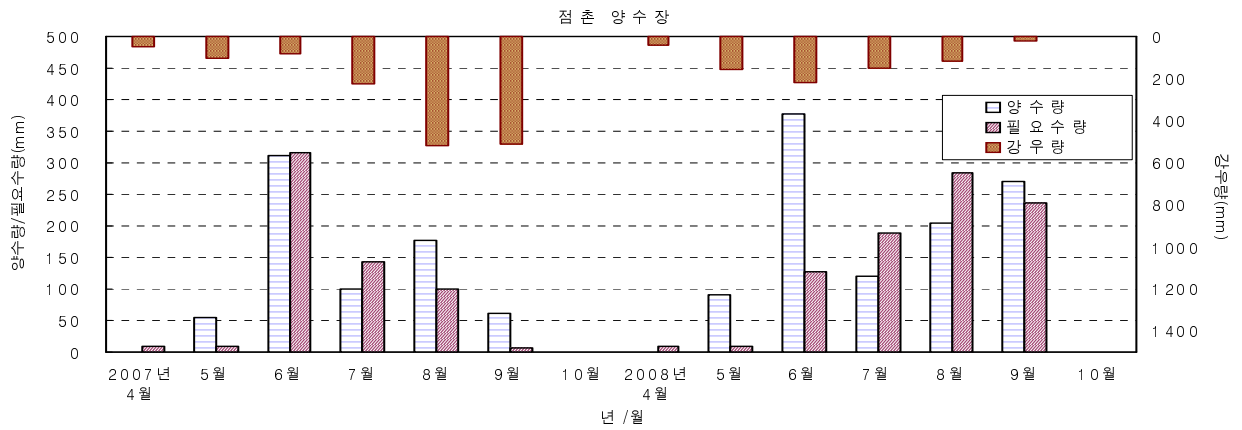
<그림 3-15> 백암지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



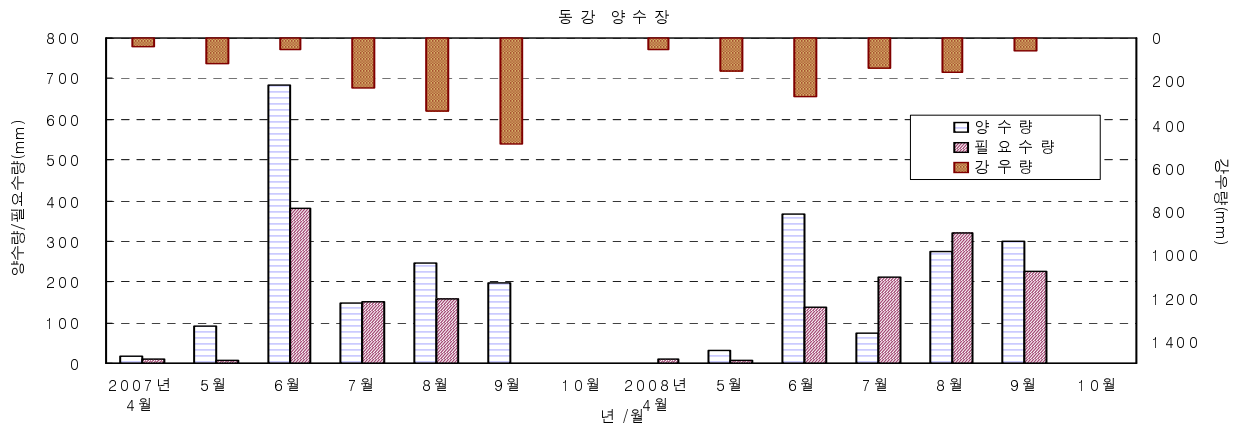
<그림 3-16> 주성지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



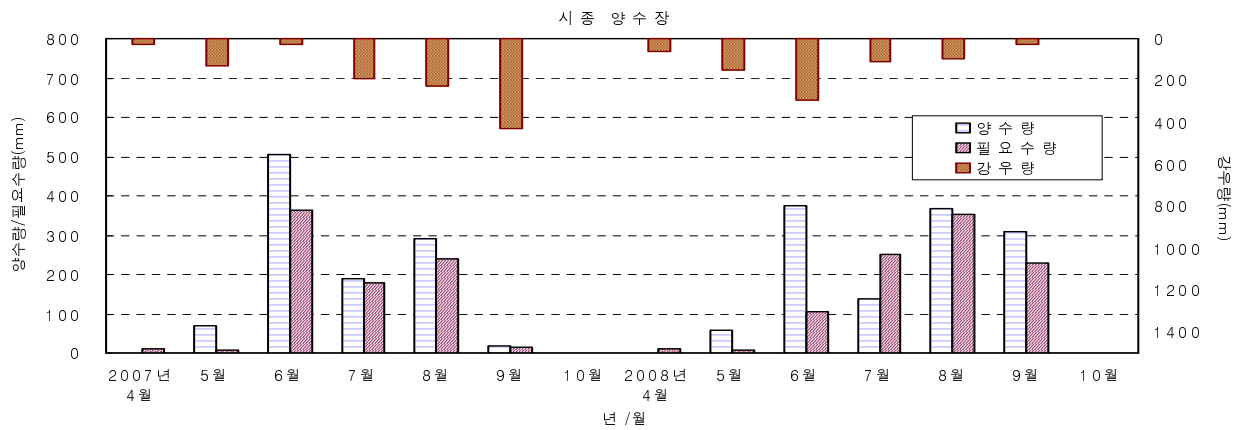
<그림 3-17> 내월지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



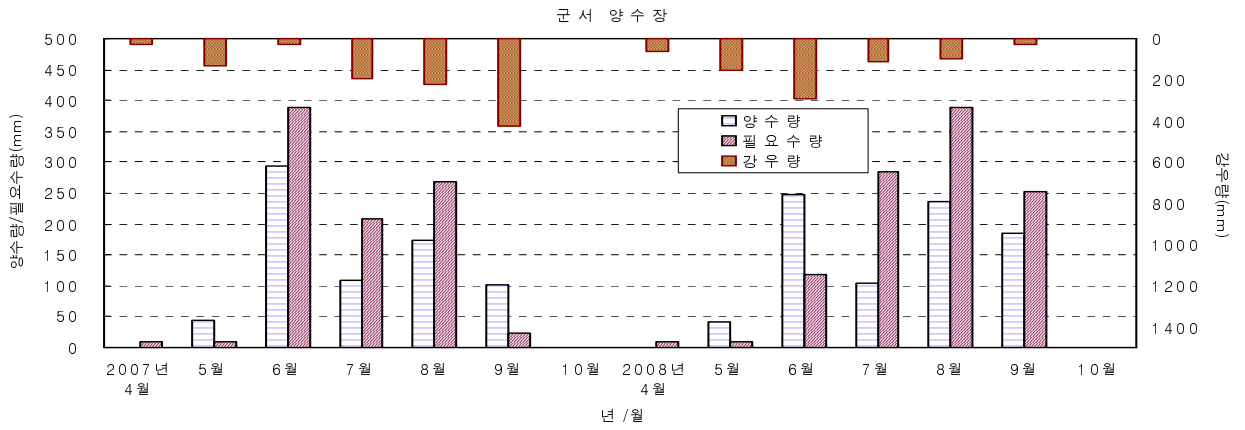
<그림 3-18> 점촌지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



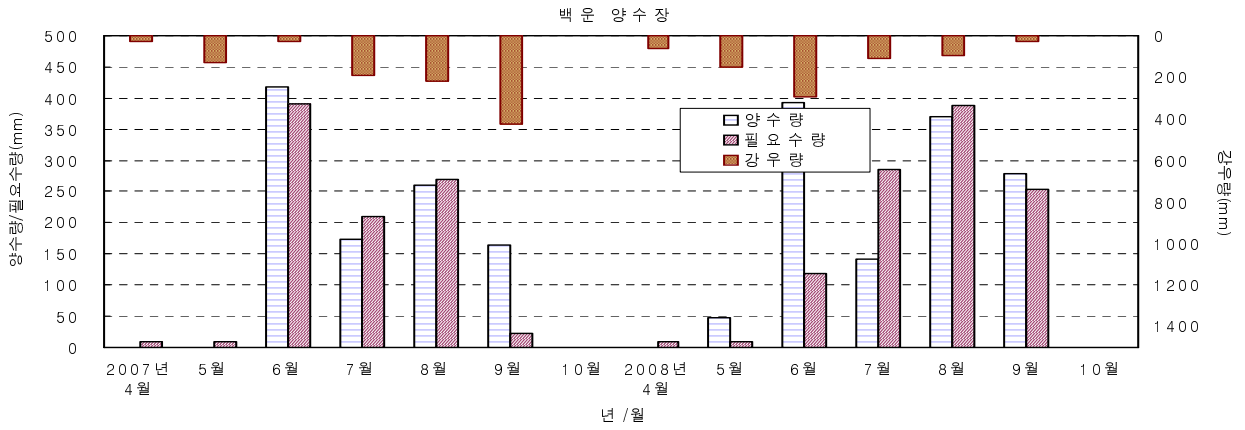
<그림 3-19> 동강지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



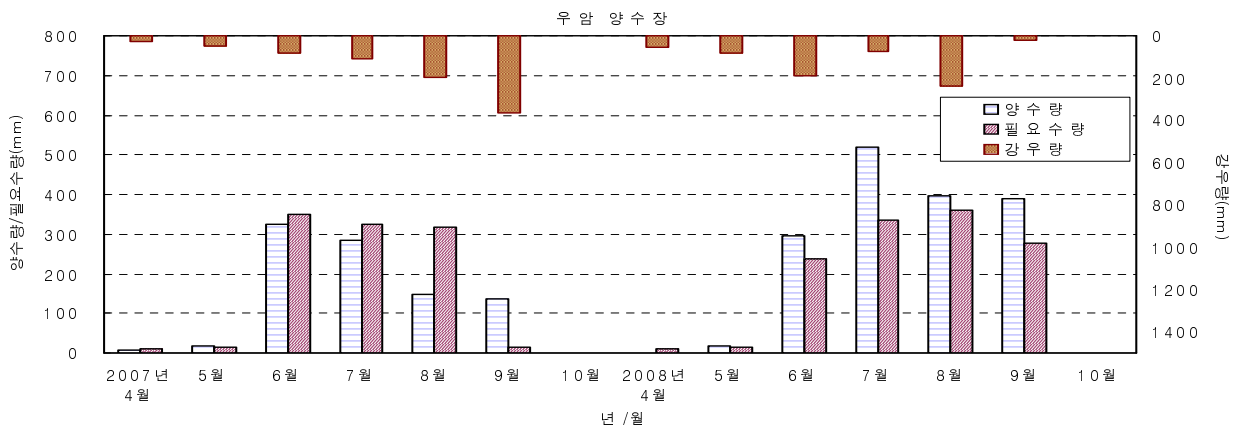
<그림 3-20> 시종지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



<그림 3-21> 군서지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교

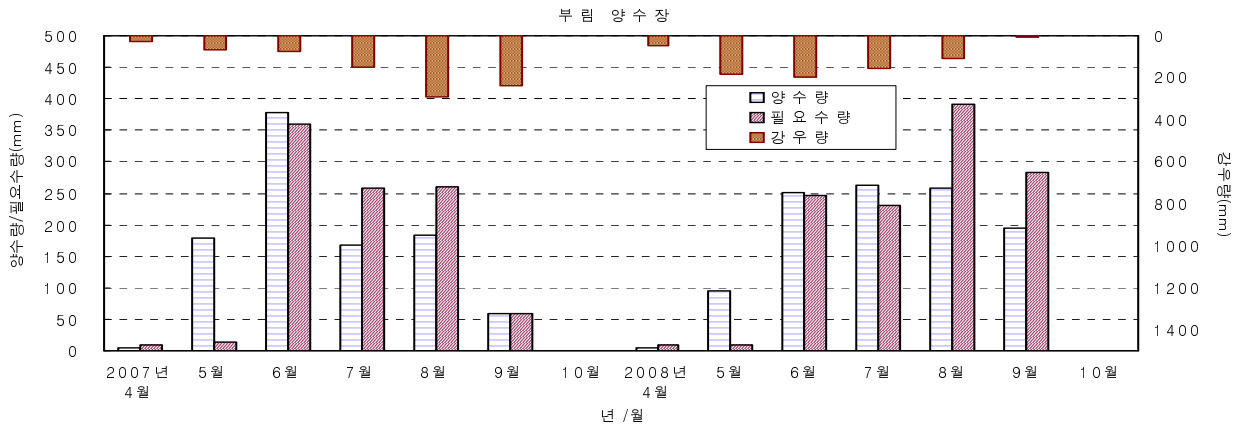


<그림 3-22> 내촌지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교

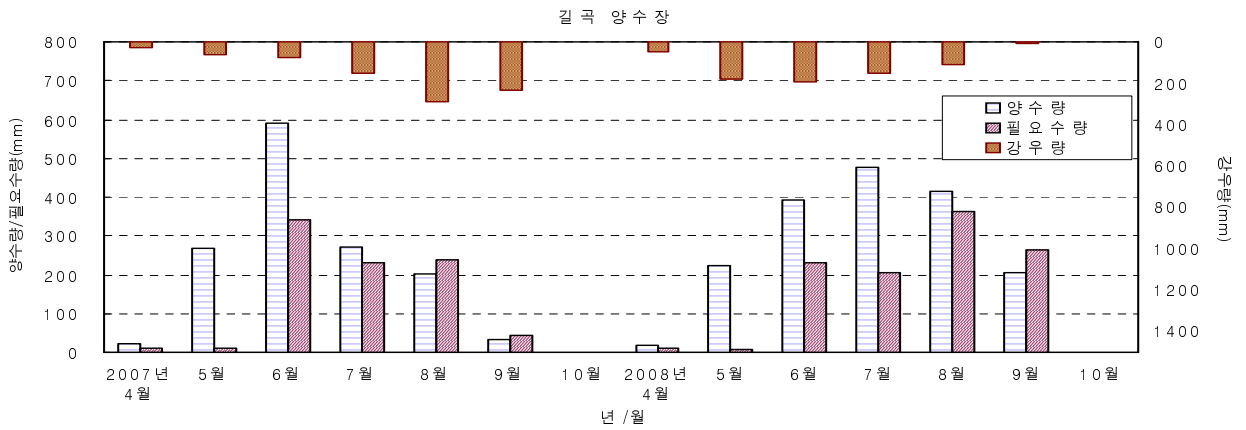


<그림 3-23> 주암지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교

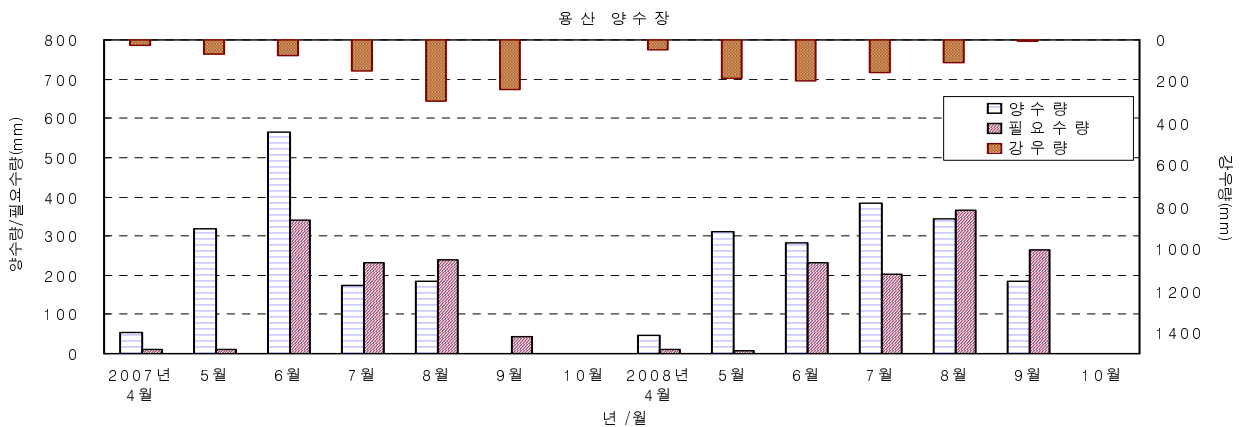




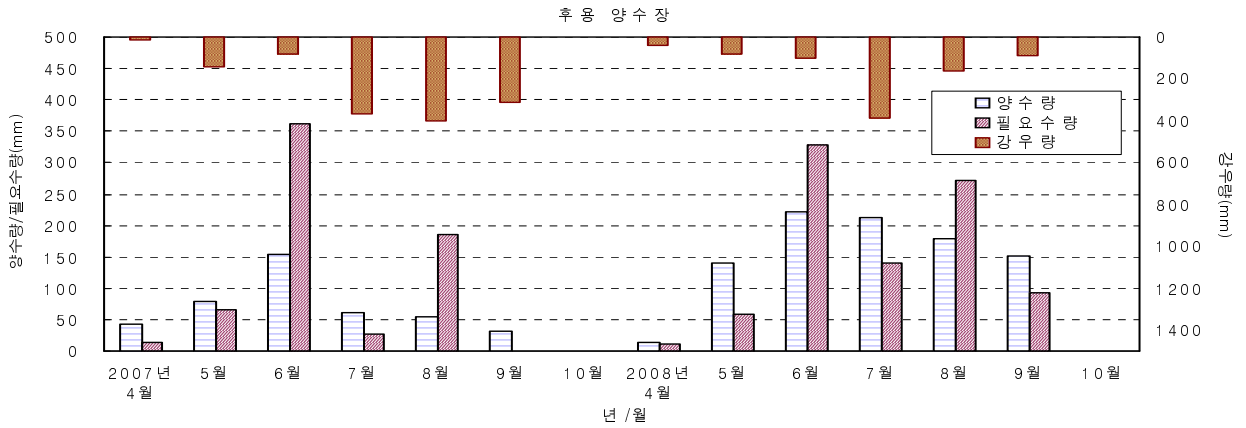
<그림 3-24> 부림지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



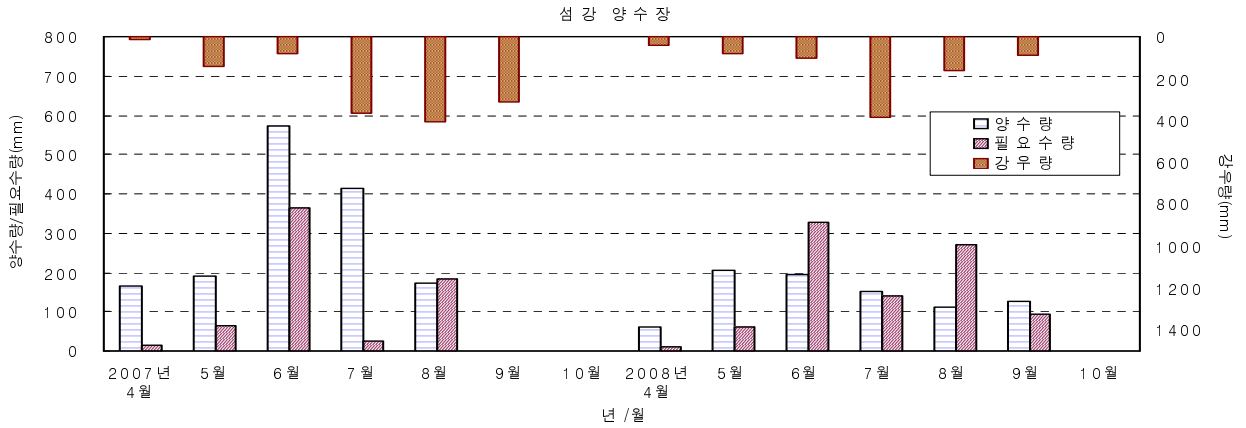
<그림 3-25> 길곡지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



<그림 3-26> 용산지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



<그림 3-27> 후용지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교



<그림 3-28> 섬강지구 실제용수공급량 및 필요수량 비교

2007~2008년 전반적인 현상은 4월의 필요수량은 9.0mm~14.1mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 4.8mm~194.9mm로 0.51배에서 20배의 양을 공급하고 있으며 0.2mm, 0.4mm, 2.0mm 등은 양수장 시험 가동을 위한 양수량으로 추정되는 자료로 판단된다. 5월은 필요수량이 5.5mm~72.2mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 18.4mm~596.9mm로 0.42배에서 60배 이상의 양을 공급하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 6월~8월 사이는 필요수량에 비해 실제용수공급량이 약간 적게 공급되는 경향을 확인 할 수 있었다. 따라서 실제이용량을 이론에 의한 방법을 이용해 정량화하는 방안을 추정하기에는 상당한 어려움이 있을 것으로 보인다.

4월의 못자리 시기는 지역별 차이를 보이고 있으며 못자리 용수 및 이앙기 용수를 동시에 5월에 공급하고 있는 현상을 산정된 필요수량과 실제공급량의 차이를 월별로 분석한 <그림 3-12~28>에서 알 수 있듯이 상당한 차이를 보이고 있다.

양수장의 경우도 앞에서 살펴본 저수지의 경우와 같은 모대기 및 이앙기의 경우 정지 식부 용수공급 면적이나 이앙시기가 설계기준과 실제 현장에서 이행되는 것이 다를 수 있는 것으로 추정되며, 그리고 중간낙수 적용여부, 적용 작물계수의 차이, 시설관리손실(수로손실)의 차이 등이 또 다른 형태의 원인이 될 수 있을 것으로 판단해 볼 수 있다.

### 3.4 용수량 산정요소 조사

#### 3.4.1 작부시기

##### 가. 이앙일수

농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편, 이하 ‘설계기준 관개편’)에서는 적기에 이앙을 하려면 동일 경작시기에도 최대 7~10일간이 되며 경작시기를 달리하는 곳에서는 10~15일로 한다. 그리고 구역면적 크기를 기준으로 50ha 이하이면 50~100ha이면 10일, 100ha 이상 15일취하도록 제시하고 있으며, 묘대기 및 이앙기의 작부시기에 대하여 명확한 기간을 제시하고 않고 있다.

한국농촌공사에서 실무적으로 이용하고 있는 작부 시기는 중부/남부별로 각 재배방식의 값을 적용하며 이앙재배의 경우 농업용수개발 필요수량 산정기준(농어촌진흥공사, 1980)에 나타난 지방별 작부시기를 적용하고 있다. 그리고 직파재배에 따른 작부시기는 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구(농림부, 농어촌진흥공사, 1997, 이하 ‘영농방식’)에서 적용한 값을 이앙재배, 직파재배에 대하여 제시하는 묘대기, 이앙기, 본답기 적용 값은 <표 3-9>와 같다.

<표 3-9> 작부시기 적용값

구분	이앙재배			직파재배 파종기		비 고
	묘대기	이앙기	본답기	담수직파	건답직파	
중부	4월 17일 ~5월 31일	5월 21일 ~6월 10일	6월 11일 ~9월 11일	5월 1일 ~5월 31일	4월 20일 ~5월 20일	
남부	4월 27일 ~6월 10일	6월 1일 ~6월 20일	6월 21일 ~9월 21일	5월 10일 ~6월 10일	5월 1일 ~5월 31일	

또한, 농촌용수공급체계재편계획 종합보고서(농림부, 농업기반공사, 2003)에서 공사 관리 구역인 약 503천ha를 대상으로 2000~2002년 3개년간 자료를 이용하여 중북부지방은 이앙기간이 단축되고 이앙시기가 앞당겨진 반면, 남부지방은 이앙시기만 앞 당겨지고 이앙기간은 오히려 늘어난 것으로 나타나 이앙기간 및 이앙시기 조정의 필요성이 있는 것으로 분석하고 <표 3-10>와 같이 제시하였다.

<표 3-10> 이앙기간 및 이앙시기 조정

구분	묘대기	이앙기	본답기	비 고
중부	4월 17일 ~ 5월 20일 (34일간)	5월 15일 ~ 5월 24일 (10일간)	5월 25일 ~ 9월 11일 (110일간)	
남부	4월 27일 ~ 5월 30일 (34일간)	5월 25일 ~ 6월 3일 (10일간)	6월 4일 ~ 9월 21일 (110일간)	

농촌진흥청에서는 동할미 방지 등 고품질 쌀 생산과 품질관리(2002)를 정상적인 환원 운동 추진계획의 일환으로 지대별 이앙시기 기준과 최적이앙시기를 <표 3-11>에 전국을 11개 지대로 나누어 제시하고 있다. 또한, 못자리는 모내는 날을 미리 정하고 역산(중모 25 ~ 30일 기준)하여 지역실정을 감안, 적기 내 못자리를 설치토록 권고하고 있는데 중모 기계이앙 육묘적기 기준과 최적 못자리 설치시기를 <표 3-12>와 같이 제시하였다.

<표 3-11> 지대별 이앙시기 기준 및 최적 이앙시기

지 대 명	출수기	이앙적기	최적 이앙시기		
			조생종	중생종	중만생종
중서부평야지대	8.17	5.15 ~ 6.10	6. 8	5.29	5.17
중북부내륙지대	8.13	5.15 ~ 6. 5	6. 3	5.23	5.17
태백고냉지대	8.10	5.15 ~ 5.30	5.27	5.15	
동해안냉조풍지대	8.11	5.10 ~ 5.30	5.26	5.14	5.10
소백서부내륙지대	8.16	5.15 ~ 6.10	6. 9	5.30	5.19
중부산간지대	8.12	5.10 ~ 6. 5	6. 1	5.21	5.10
차령남부평야지대	8.20	5.25 ~ 6.15	6.14	6. 4	5.25
노령산간지대	8.17	5.15 ~ 6.10	6. 8	5.29	5.18
영남분지지대	8.18	5.20 ~ 6.15	6.11	6. 2	5.22
영남남부지대	8.21	5.25 ~ 6.15	6.15	6. 5	5.26
호남남부지대	8.24	5.25 ~ 6.20	6.18	6. 8	5.29

<표 3-12> 지대별 못자리 설치적기

지 대 명	중모기계이양육묘 적기(기준)	최적못자리 설치시기		
		조생종	중생종	중만생종
중서부평야지대	4.15 ~ 5.10	5. 8	4.29	4.17
중북부내륙지대	4.15 ~ 5. 5	5. 3	4.23	4.17
태백고냉지대	4.15 ~ 4.30	4.27	4.15	
동해안냉조풍지대	4.10 ~ 4.30	4.26	4.14	4.10
소백서부내륙지대	4.15 ~ 5.10	5. 9	4.30	4.19
중부산간지대	4.10 ~ 5. 5	5. 1	4.21	4.10
차령남부평야지대	4.25 ~ 5.15	5.14	5. 4	4.25
노령산간지대	4.15 ~ 5.10	5. 8	4.29	4.18
영남분지지대	4.20 ~ 5.15	5.11	5. 2	4.22
영남남부지대	4.25 ~ 5.15	5.15	5. 5	4.26
호남남부지대	4.25 ~ 5.20	5.18	5. 8	4.29

## 나. 물가두기 및 이양시기

논 관개용수량 산정을 위한 실증적 연구(이용직 박사학위 논문, 2005, 이하 ‘실증 연구’)에서 2001~2003년까지 3개년 자료를 바탕으로 물가두기 실적을 분석한 결과 이양용수의 공급이 같은 기간에 지속적으로 이루어지는 것으로 판단되며, 이것은 이양용수의 공급을 이양 직전에 시행하여 이양기에 균등하게 소요된다는 기존의 설계요령과는 크게 다른 양상을 보여주고 있음을 제시한 바 있다.

또한, 설계요령에서 제시하고 있는 작부시기인 중부지방 이양시기 5월 21일~6월 10일, 남부지방 이양시기 6월 1일~6월20일 보다 일주일 이상 일찍 시작하고 있는 것으로 분석된바 있다. 그리고 이양기간의 기준은 5월 11일에서 5월 25일까지로 하는 것이 타당하며, 중서부평야지대, 중북부내륙지대, 소백서부내륙지대 등에서 5월 15일에서 6월 10일 정도임을 볼 때 5일정도 일찍 시작하고 15일 정도 일찍 완료되는 것으로 분석하였다.

<표 3-12>에서와 같이 농촌진흥청 지침에서 중서부평야지대, 중북부내륙지대, 소백서부내륙지대 등의 중부지방의 물가두기와 묘대정지는 4월 15일경에 시작하는 것으로 기준을 삼는 것이 타당한 것으로 판단하였다.

영농환경 변화를 고려한 농업요수 적정 공급방안 연구(농업기반공사, 2005, 이하 ‘적정 공급방안’)에서 2001~2003년까지 3개년 자료를 바탕으로 이앙일수 및 논물가두기 일수를 평균하여 각 도별 정리한 자료는 <표 3-13>과 같으며 중부지방인 경기, 강원, 충북, 충남의 이앙일수는 14일정도, 전라남북도 25일, 경상남북도 18일 정도 소요되는 것으로 조사된바 있다. 이앙기간은 중부지방 평균 14일, 남부지방은 22일 정도 소요되는 것으로 나타났다.

<표 3-13> 각 도별 이앙일수 및 논 물잡이 일수

구분	경기	강원	충북	충남	북부 (평균)	전북	전남	경북	경남	남부 (평균)
이앙일수	14	14	14	14	14	26	25	17	18	22
논물가두기 일수	35	31	24	28	30	35	27	18	26	27

#### 다. 중간낙수

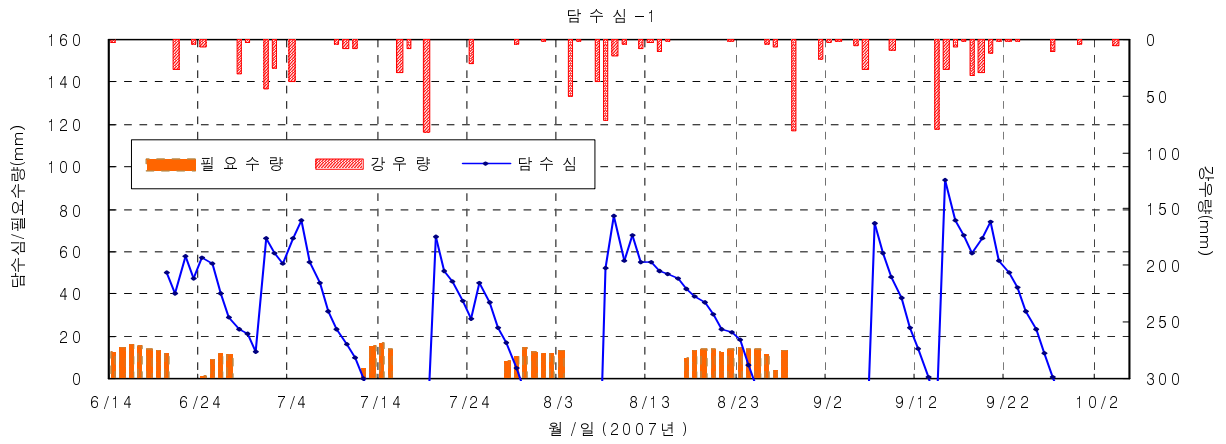
작물재배력을 반영한 농촌진흥청에서는 보통 출수전 25일~45일전 기간을 중간낙수 시기로 권장하고 있으며, 중간낙수는 벼의 무효분얼을 억제하고 도복방지 등의 효과를 위하여 실제 작물배제에서 시행되고 있다. 그러나 현재 설계요령 등에서는 작물 필요수량 분석 시 고려되지 않고 있는 형편이다.

현재 설계기준 등에는 필요수량 산정시 중간낙수에 대하여 특별히 적용 요소가 없다. 따라서, 중간낙수 확인을 위한 담수심 조사는 2007년에서 2008년 이동지구의 말단부 필지에서 담수심 조사 자료를 분석한 결과는 <그림 3-29~32>에서 보는 바와 같이 중간낙수를 실시하고 있다.

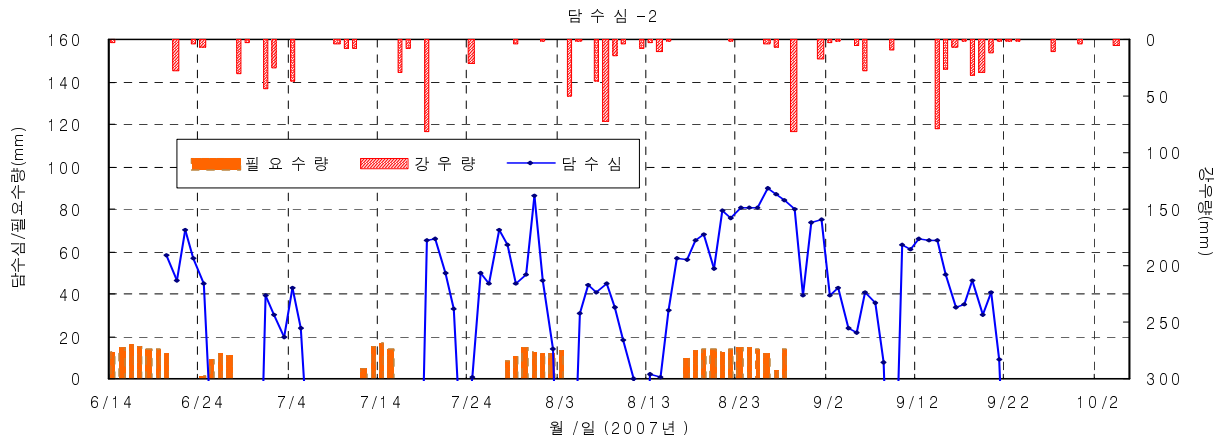
2007년의 경우 6월20일부터, 2008년은 6월 29일부터 담수심 조사가 이루어졌다. 또한 <그림 3-29~32>에서 알 수 있듯이 필요수량은 8월말 정도까지 이지만 담수심 분석에서는 등숙기인 8월말 이후에서 9월 말까지도 담수가 계속 이루어지고 있음을 알 수 있다.

담수심-1은 7월 12일경 낙수를 하고 7월 17일경 담수, 담수심-2는 7월 5일경 낙수하고 7월 21일경 담수, 6월 27일경 낙수 7월 말경 담수를 시작하는 것으로 나타났다. 물론 7월 4일 기준으로 담수심이 증가 하는 현상은 강우에 의한 일시적인 현상으로 판단된다. 그리고 설계기준의 필요수량 시기와 담수심 변화 시기는 상당히 다른 것으로 나타났다.

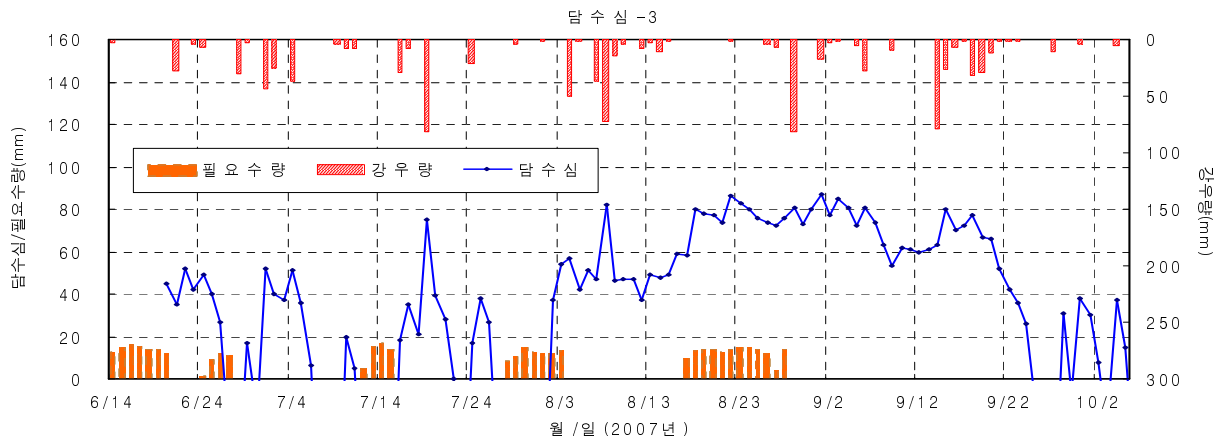
결과를 종합하여 보면 낙수의 시기는 다르지만 실제로 현장에서 중간낙수를 시행하고 있음을 알 수 있다. 또한, 이동저수지 말단부 3개 지점의 필지별 담수 기간과 담수심에서 차이가 나고 있어 농민 개개인의 물관리 성향이 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다.



<그림 3-29> 일별 담수심 변화(담수심-1)

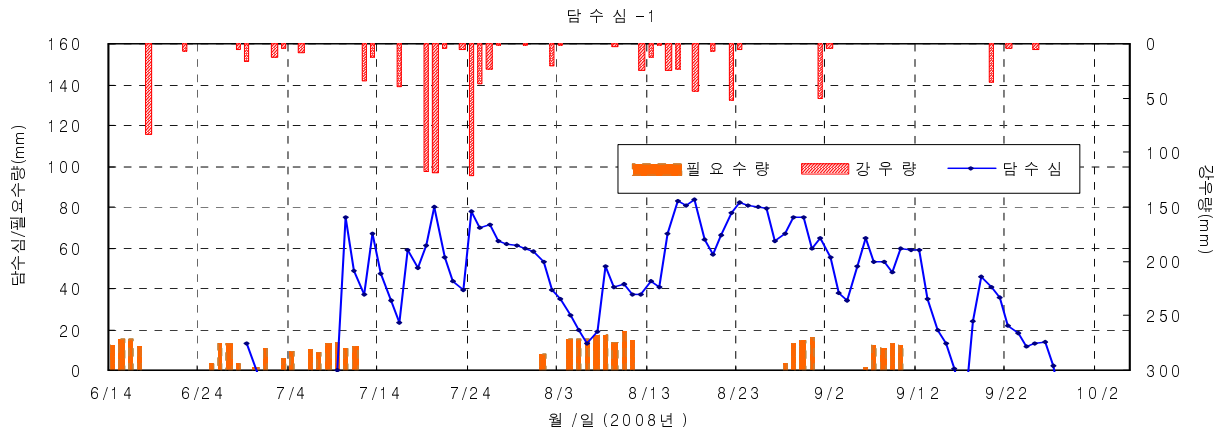


<그림 3-30> 일별 담수심 변화(담수심-2)



<그림 3-31> 일별 담수심 변화(담수심-3)





<그림 3-32> 일별 담수심 변화(담수심-1, 2008년)

담수심의 변화에서는 2007년 담수심-1에서는 20~90mm, 담수심-2는 40~90mm, 담수심-3은 20~80mm, 2008년 담수심-1은 20~80mm으로 나타나 시기별 담수심에도 차이를 보이고 있다. 2007년에서 2008년까지의 종합시험 지구인 이동지구 말단 3개지구에 대한 담수심 측정결과를 이용하여 중간낙수 일수를 산정한 결과는 <표 3-14>에 정리하여 나타내었다. 2007년 필지별 중간낙수 일수는 11일~20일사이로 평균일수는 16일로 나타났으며 2008년은 9일 정도로 분석되었다.

<표 3-14> 이동 시험지구 낙수현황(2007~2008년)

구분	2007년		2008년		비고
	기간	일수(일)	기간	일수(일)	
이동저수지	담수심-1	6월20일~7월30일	11	6월29일~7월10일	9
	담수심-2	6월20일~7월30일	20		
	담수심-3	6월20일~7월30일	18		
	평균		16		

그리고 저수지의 일별 용수공급량 자료를 이용한 지구별 2007년~2008년 관개기록에서 중간낙수를 시행하고 있는 자료를 중부/남부지방으로 구분하여 분석한 결과를 <표 3-15>에 정리하였다.

2007년 중부와 남부지방의 중간낙수는 평균 27일, 2008년은 평균 18일로 나타났다. 중부지방은 6월 하순에서 7월 하순사이 21일정도 중간낙수를 시행하고 있으며, 남부지방은

6월 말경에서 7월 말까지 지역별 약간의 시기 차이는 있으나 약23일 정도 중간낙수를 시행하고 있는 것으로 나타났다. 일별 관개기록 자료를 분석한 결과 6월 하순에서 7월 기간 중에 20일 이상 낙수를 하고 있음을 확인 할 수 있었다.

<표 3-15> 저수지 지구별 중간낙수 기간(2007~2008년)

구 분		2007년		2008년		비고
		기간	일수(일)	기간	일수(일)	
중부지방	문경	6월22일 ~ 7월25일	32	6월21일 ~ 7월17일	20	
	백곡	6월21일 ~ 7월10일	20	6월21일 ~ 7월 6일	13	
	용덕	2005년 6월21일 ~ 7월12일	22	2007년 6월21 ~ 7월 5일	10	
	이동	2006년 6월21 ~ 7월24일	27	2007년 6월21일 ~ 7월24일	19	
	평균		25	평균	16	
남부지방	성주댐	6월22일 ~ 7월18일	19	-	-	
	담양	6월21일 ~ 7월24일	34	6월21 ~ 7월22일	23	
	하동	6월22 ~ 7월17일	21	6월18일 ~ 7월20일	12	
	가산	6월27일 ~ 8월 1일	33	6월27일 ~ 7월30일	22	
	봉의	6월21일 ~ 8월 1일	40	6월22일 ~ 7월26일	15	
	문수	6월26일 ~ 7월28일	12	-	-	
	평균		27	평균	18	

또한, 이의 '실증연구'에서 반월, 이동, 건천지구의 3개지구 11개 필지를 대상으로 담수심 조사를 실시한 자료를 살펴보면 반월지구는 6월28일경 낙수 하고 7월 20일경 담수를 시작하는 것으로 나타났으며, 이동 및 건천지구는 6월 30일에서 7월 25일경 까지 낙수를 유지하는 것으로 나타나 중간낙수 기간에는 유동성이 있지만 6월말에서 7월중에 실제로 이루어지는 것으로 분석한 바 있다.

이러한 담수심 실측 결과를 정리하면 각 필지별 개개 농민의 시기별 담수기간, 담수심에서 물관리 성향이 다르게 나타나고 있으나 중간낙수는 실제 이루어지고 있음을 알 수 있다. 시험자료 및 농촌진흥청에서 제시하는 자료를 고려하여 중부지방은 6월 중순에서 7월 중순까지 20일 정도의 기간, 남부지방 또한 6월 말에서 7월 말경 사이의 기간 중에서

약 20일 전/후의 기간을 중간낙수 기간으로 설정하여 현행 설계기준 등의 필요수량을 산정하는 것이 합리적이라 판단된다. 9월 상순 이후의 등숙기 기간의 간단관개에 대하여도 현장 시험이 병행되어 설계기준에 반영되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.4.2 시설관리손실

수로에서의 용수손실은 수리시설의 용수공급량 중 상당히 많은 양이 발생하므로 손실량의 적정한 추정은 물관리 계획 및 설계기준 등에 있어서 아주 중요한 부분이다. 현재 사용되고 있는 설계기준에서는 조용수량 산정시 시설관리용수량 개념을 적용하고 있다.

조용수량 = 순용수량 + 시설관리용수량(송수손실량+ 용수배분관리용수량+ 시설기능유지용수량)

일반적으로 관개용수로를 통하여 포장에 공급되는 과정에서 용수의 일부분이 수로내의 송수손실과 수문조작이나 물꼬관리 등에 의한 배분관리손실을 발생하게 된다.

#### 가. 송수손실수량

‘설계기준 관개편’에서는 송수손실량 중 수면으로부터의 증발에 의한 손실은 일반적으로 용수로의 유하거리가 짧아 무시되며, 주로 침투손실로서 수로의 포장형식 및 상태, 수로주변의 지하수위, 유하거리 등에 의해 좌우 된다. 일반적으로 송수손실률은 흙수로의 경우, 간선용수로 15~25%, 지선용수로 10~20%, 용수지거 10%, 콘크리트 및 아스팔트수로의 경우 5~7%를 적용하고 있다.

그리고 농촌용수계획설계편람에서는 토공의 경우 토질(점토질, 양토, 사질토)과, 수로연장, 간선/지선 여부에 따라 손실률이 다르게 규정하고 있으며, 간선의 경우 15%~25%, 지선의 경우 10%~20%의 손실률을 제시하고 있는 토공수로의 수로별 손실률 자료는 <표 3-16>에 나타내었다.

이의 ‘실증연구’에서 송수손실수량 5회에 걸쳐 유입/유출량법에 의하여 송수손실 측정을 실시한 자료는 <표 3-17>에 정리하여 나타내었다. 콘크리트 수로의 경우 2001년 3회 측정하였으며, 토공수로의 경우 2001~2002년까지 2개년에 걸쳐 5회 측정한 결과이다.

콘크리트 수로에서 송수손실율은 평균 4.8%로 나타났으며 3.4%~5.5%의 평균 송수손실율의 범위를 보이고 있으며 토공수로의 경우 3.4%~36.5%의 범위 및 평균 16.4%의 송수손실율로 나타났다.

<표 3-16> 토질에 따른 수로별 손실률

(단위 : %)

구 분		용수간선	용수지선	평균	비 고
토 질	연 장				
점토질		15	10	13	
양토(보통토사)	2km 이하	16	11	14	
	2~3km	17	12	15	
	3~5km	18	13	16	
	5~10km	19	14	17	
	10~15km	20	15	18	
	15~20km	21	16	19	
	20~25km	22	17	20	
	25~30km	23	18	21	
	30km 이상	24	19	22	
사질토		25	20	23	

※ 용수지선의 면적은 50ha 내외를 기준으로 적용

지구여건이 특별한 경우에는 특별히 가감 적용 가능

<표 3-17> 송수손실율 측정결과

단위(%)

구분	수로명	수원공명	콘크리트수로 (평균)	토공수로 (평균)	비고
간선	진위간선	이동저수지	5.5	3.4	
	고덕간선	고덕저수지	-	6.8	
	안택간선	고삼저수지	-	16.9	
	금광간선	금광저수지	-	19.6	
지선	진위5호	이동저수지	-	17.2	
	방아지선	이동저수지	3.4	36.5	
	고덕2호	고덕저수지	-	17.0	
	안택3호	고삼저수지	-	15.2	
	금광7호	금강저수지	-	15.3	
	남사지선	이동저수지	4.8		
평균			4.8	16.4	

※ 콘크리트수로에서 진위간선1, 진위간선2의 평균값 적용

## 나. 배분관리용수량

넓은 지역 내에 있는 논외의 말단수요 수량에 대해 많으며 또한 많은 분수시설을 갖는 수로시스템을 유하시켜서 조금도 과부족이 없이 용수를 분배하기 위해서는 고도의 시설과 관리체제 및 엄밀한 관리가 필요하나 평상시 관리체제에서는 이상적인 용수배분은 불가능하다. 또한 송수배분조작에 대한 응답의 지연현상이 불가피하며, 말단에서 시시각각 변동하는 물수요에 대응하고, 수로시설과 수혜지구와의 표고분포에 따라 원활히 용수를 배분할 수 있는 수위를 적절히 유지하기 위해서는 지구사정에 상응한 배분관리 용수량이 발생하며 이양의 추정은 <표 3-18>에 나타내었다.

또한 논에서의 중간낙수 등, 논벼의 재배기술, 물관리 측면에서 용수관리손실은 불가피 하며 관개면적의 대소, 논외의 분산도, 수로나 분수시설의 구조와 장치화의 정도, 관리조직 등에 영향을 받는다.

개수로의 경우 배분관리용수량의 조사 예에서 시설관리손실이 36~46%로 나타나고 있다. 반면 농업용수 확보를 위한 수원공 설계 등에 있어서 송수손실률은 앞에서 살펴본 바와 같이 10~20%를 적용하고 배분관리손실률은 별도로 반영하고 있지 않고 있으므로 손실률의 적용에 있어 차이를 보이고 있다. 앞으로 도시화 또는 논외의 발전 등 지구조건외의 변화에 따라 논 면적이 감소하는 경우에는 배분관리용수량이 더욱 커질 것으로 판단된다.

<표 3-18> 배분관리용수량의 조사(예)

수로 형식	조사면적 (ha)	용수량			비 고
		취수량	감수심 또는 계획취수량	손실율(%)	
개수로	106~168	35~36 mm/d	20.0 mm/d	42.9~44.4	
개수로	37.7	0.220 m <sup>3</sup> /s	0.140 m <sup>3</sup> /s	36.4	말단에서 무효방류량 측정
개수로	42.1	0.041 m <sup>3</sup> /s	0.022 m <sup>3</sup> /s	46.4	흡수로말단에서 무효방류량 측정
개수로	22.38	20.0 mm/d	14~18 mm/d	10~30	이양시
관수로	22.38	26.0 mm/d	17~24 mm/d	7.7~34.6	건답직파시
관수로	15.16	11.5 mm/d	9~11 mm/d	4.4~21.7	
개/관수로	4,367.8	80.14~100.26×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	67.97×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	15.2~32.2	유효수량 무시한 경우
개/관수로	4,367.8	80.14~100.26×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	51.91~61.65×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y	38.5~35.2	유효수량 고려한 경우

※ 손실율은 수로송수손실이 포함되어 있으므로 배분관리용수를 분리시키려면 수로의 송수손실을 감함

농업수로 적정 관리기법 연구(농림부, 한국농촌공사, 2006)에서 배분관리 손실을 측정 한 결과는 <표 3-19>에 정리하여 나타내었다. 손실의 유형별 분석을 위하여 용수간선 및 지선의 분수공과 말단에서의 유량을 측정하고 배수지거 및 용수지거에서 손실되는 양을 측정한 결과이다.

<표 3-19> 배분관리 손실량 측정결과

(단위 : m<sup>3</sup>/s, %)

구 분	수원공명	관개면적 (ha)	공급량	배분관리손실				비고
				계	간지/선 말단	용수지거 말단	배수지거 말단	
건천	양수장	200.0	0.242	27.7	14.0	7.5	6.2	
고잔	고산저수지	50.0	0.091	35.2	-	23.1	12.1	
방아	이동저수지	70.0	0.213	24.9	-	2.3	22.6	
5-1		157.0	0.226	27.4	-	0.9	26.5	
평균				28.8	3.5	8.5	16.8	

지구별로 24.9%에서 35.2%까지 차이를 보이고 있으며 평균값은 28.8%에 달하고 있다. 이러한 결과를 종합하면 송수손실과 배분관리손실을 합한 값인 시설관리손실율은 콘크리트수로 경우 35%, 토공의 경우 45%에 달하는 것으로 나타나 앞에서 살펴본 <표 4-8>의 설계기준과 유사한 결과로 나타났다.

시설관리손실량에 대한 정량적으로 측정된 자료가 부족한 실정이며, 지속적으로 시설관리손실량 측정을 실시하여 손실에 대한 정량적인 근거 자료제시 및 설계기준 등에 반영되도록 노력하여야 할 것이다.

2007년 통계자료에 의하면 농업용수 수로 구조물화는 전체적으로 구조물화가 53%, 토공수로가 47.0%, 용수간선/지선의 구조물화가 65.0%이며 토공수가 35.0%를 차지하고 있으며 용수지거의 구조물화는 38.2%, 토공수로가 61.8%로 용수지거에서는 아직 토공수로의 비율이 높게 차지하고 있는 실정이다.

#### 다. 시설유지용수량

비관개기에도 다음 관개기까지 수로시설의 기능을 유지하기 위한 통수를 필요로 하는 일이 있고 이것을 시설유지용수로 취급하게 된다. 비관개기의 개수로에서는 토사퇴적 또는 오수유입에 의한 수로 내 오염 등이 발생하는 경우가 있다. 특히 도시화가 진행된 지역을 수혜지구 내에 갖게 되는 경우에는 이 경향이 두드러진다.

또한 용수로 청소와 통수기능 확보를 위하여 관개용수를 취수하기 전에 통수를 필요

로 하는 지구에서는 그 수량을 확보해야 한다. 이용수량은 수로규모와 통수방식에 따라 다르므로 각 지구의 현실적인 실정을 감안하여 정하여야 한다.

### 3.4.3. 증발산량

증발산량 산정방법으로는 증발산계수에 의한 방법, Blaney & Criddle식(이하 B-C공식), Penman식 등이 있으며 실무에서 어느 공식을 적용하는 하느냐가 문제이며, 품종별, 영농방법별, 생육기별로 정확한 작물계수를 적용 방법이 문제의 핵심이며 실용적인 측면에서 수정 Penman 공식이 이용되고 있는 실정이다.

벼의 작물계수에 대한 주요 연구는 농업용수개발 필요수량 산정 기준연구(농업진흥공사, 1980), 작물 소비수량 산정방법의 정립(농업진흥공사, 서울대 농업개발연구소, 1986), 영농방식변화에 따른 필요수량 변화연구(농어촌진흥공사, 1997)등이 있다. 농업용수개발 필요수량 산정 기준연구에 의해 일반계와 통일계로 분리하여 제시된 작물계수는 수정 B-C공식에 의한 생육기별 작물계수는 <표 3-20>와 같다.

<표 3-20> B-C공식의 생육기별 작물계수(K<sub>c</sub>)

생육기 품종	5월	6월			7월			8월			9월		평균
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	
재래종	0.85	0.87	0.89	0.91	0.95	0.99	1.06	1.18	1.30	1.22	1.11	0.96	1.024
신품종	0.84	0.85	0.86	0.95	1.08	1.22	1.40	1.58	1.68	1.52	1.26	0.96	1.183

※ 5월 하순 및 6월 상순의 값은 추정치임

작물 소비수량 산정방법의 정립연구에서 '82년에서 '86년까지 5개년 동안 증발산량을 실측하여 제시한 작물계수는 <표 3-21>에 나타내었다.

<표 3-21> Penman 공식 작물계수('82~'86)

월 구분	5월	6월			7월			8월			9월	
	상	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	평균
북부	1.13	0.92	0.78	1.23	1.06	1.27	1.12	1.35	1.13	1.12	-	0.89
중부		0.97	1.03	1.27	1.27	1.34	1.47	1.57	1.43	1.41	-	1.18
남부		0.96	0.87	0.94	1.06	1.18	1.10	1.30	1.09	1.10	1.27	1.16

‘영농방식’에서는 '95년부터 '97년까지 3개년 동안 직파재배 소비수량 시험연구를 통해 직파재배 작물계수를 보정 하였으며, 기존의 연구결과와 비교 검토하여 이양재배와 직파재배에 모두 적용할 수 있도록 <표 3-22>와 같이 제시하였다. 현재 한국농촌공사에서 증발산량 산정기준으로 대부분 적용되고 있다.

<표 3-22> 생육기별 수정 Penman 식과 Blaney & Criddle 공식의 작물계수(K<sub>C</sub>)

구 분		4월			5월			6월			7월			8월			9월		
		하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중			
중부	Penman	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32	1.32			
	B-C	0.44	0.44	0.68	0.71	0.89	0.91	0.95	0.99	1.06	1.18	1.30	1.22	1.11	0.96	0.96			
남부	Penman	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42			
	B-C	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.68	0.71	0.72	0.73	0.75	0.77	0.94	1.03	0.9	0.86			

<표 3-20>에서 재래종과 신품종의 경우 최대 작물계수가 8월 중순에 나타나며 각각 1.30, 1.68로서 30%차이를 보이고 있다. Penman 식을 적용한 <표 3-21>에서 북/중/남부 지방의 구분에 따라 평균 작물계수가 0.89 ~ 1.18의 범위로 차이가 30%정도 나고 있으며 남부지방 8월 하순은 1.10으로 <표 3-22>의 8월 하순의 1.58과는 44%정도 차이가 나고 있다.

이러한 차이점들은 작물계수를 정립하기 위해서는 장기간의 시험기간, 정밀도가 높은 시험, 다양한 기후조건에서의 다양한 지점에서 충분한 시험이 이루어지지 않은 원인으로 판단된다. 작물계수의 정확한 산정이 농업용수 필요수량 산정 및 물관리 기본계획 수립, 용수 이용에 있어 합리화에 가장 기본적인 요인임을 감안 할 때 시급히 보완되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 유엔식량농업기구인 FAO에서는 1998년 “Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements”를 발간하였는데 여기서 Penman-Monteith 방법 권고하면서 기상자료와 작물계수를 이용하여 증발산량을 산정하는 절차 제시하고 있다.

증발산량은 작물계수를 잠재증발산량에 곱함으로써 산정되는데 작물계수(K<sub>C</sub>)는 작물의 증산과 토양에서의 증발을 포함하는 계수이다. FAO에서는 생육단계를 4단계로 나누어 작물별로 K<sub>C</sub>값 및 생육 4단계의 기간도 작물별로 제시하고 있으며 이 기간은 지역적인 특성에 맞추어 조정하도록 하고 있다.

FAO제시 작물계수를 보정한 값을 중부지방 생육시기에 따라 조정하여 순별로 그 값을 산정한 값을 정리하여 <표 3-23>에 나타내었다. <표 3-22>와 비교하면 4월과 5월에



는 FAO 값이 높게 나타나고, 7월과 9월은 낮게 나타남을 알 수 있다.

<표 3-23> 영농방식 적용 작물계수와 FAO제시값(중부)

구 분	4월	5월			6월			7월			8월			9월	
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
영농방식	0.56	0.56	0.56	0.75	0.95	1.06	1.09	1.17	1.39	1.53	1.58	1.47	1.42	1.32	1.32
FAO	1.10	1.10	1.10	1.12	1.15	1.18	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.14

이의 ‘실증연구’에서 수원 기상관측소의 1967년에서 2004년까지의 38개년 기상자료를 이용하여 중부지방에 대하여 잠재증발산량을 FAO Penman식과 FAO Penman-Monteith식에 대하여 산정한 결과는 <표 3-24>와 같다. Penman식에 의한 결과가 Penman - Monteith식에 의한 방법보다 1.10~1.26배 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그리고 <표 3-23>의 작물계수를 이용하여 증발산량을 비교하기 위하여 산정한 결과는 <표 3-25>에 나타내었다. 4월에서 5월까지의 Penman식에 의한 방법이 Penman - Monteith식에 비하여 60%~80%정도로 나타났으며, 나머지 기간은 110%~150%까지 순별로 차이가 나타나고 있다. 증발산량이 농업 관개용수에서 차지하는 비중이 높은 요소임을 감안 할 때 이러한 차이는 규명이 필요하다고 제시하고 있다. 지역적 특성을 반영한 잠재증발산량을 산정하는 적용 방법, 작물계수 적용 등에 있어 심층연구가 필요한 부분이다.

<표 3-24> 잠재증발산량 비교(순별)

구분	4월	5월			6월			7월			8월			9월	
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
A	3.8	4.3	4.3	4.6	4.7	4.7	4.5	4.2	4.1	4.5	4.3	4.3	4.0	3.4	3.4
B	3.1	3.4	3.5	3.8	3.9	4.0	3.8	3.7	3.6	3.9	3.8	3.7	3.3	3.1	2.9
A/B	1.23	1.26	1.23	1.21	1.21	1.18	1.18	1.14	1.14	1.15	1.13	1.16	1.21	1.10	1.17

※ A : 순별 평균 잠재증발산량(mm) : FAO Penman식 이용

B : 순별 평균 잠재증발산량(mm) : FAO Penman-Monteith식 이용

<표 3-25> 증발산량 산정결과 비교(순별)

구분	4월	5월			6월			7월			8월			9월	
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
A	2.1	2.4	2.4	3.4	4.4	5.0	4.9	4.9	5.7	6.9	6.8	6.4	5.7	4.5	4.5
B	3.4	3.7	3.9	4.3	4.4	4.7	4.5	4.4	4.3	4.6	4.5	4.5	4.0	3.7	3.3
A/B	0.62	0.65	0.62	0.79	1.00	1.06	1.09	1.11	1.33	1.50	1.51	1.42	1.43	1.22	1.36

※ A : 순별 평균 증발산량(mm) : Penman식 이용

B : 순별 평균 증발산량(mm) : Penman-Monteith식 이용

또한, 제2장에서 살펴본 연도별 단위면적당 수확량 증가에 따른 증발산량 변화에서 작물계수에 대한 연구가 시작되었던 '80년의 단보(10a)당 수확량이 289kg, '85년의 수확량은 456kg인 반면에 2000년 이후에는 단보당 수확량이 500kg을 상회하고 있다. 증발산량에서도 '80년에는 751mm/년, '85년 1,021mm/년, 2000년은 1,087mm/년으로 증가하는 것으로 나타나고 있어 벼 수확량과 증발산량의 차이에서 반영 되듯이 단위면적당 수확량의 증가에 따라 증발산량의 증가는 당연한 결과로 판단되지만, 현재 기후변화에 따른 작물환경도 변화하고 있는 점에 있어서도 지역별 작물계수에 대한 지속적인 연구의 필요성이 요구되고 있는 실정이다.

### 3.5 수리시설물 내한능력 검토

3.3절에서 실제이용량과 이론에 의한 필요수량 비교에서 보듯이 지역별, 시기별, 용수이용량의 차이가 많이 발생하고 있으며, 이에 따른 용수공급원의 능력분석과 더불어 현재 강우량의 변화분석에 대해서도 살펴보고 용수이용량의 변화, 강우량의 시기별, 지역별 발생차이에 따른 수리시설물 내한능력에 대하여 검토할 필요성도 있을 것으로 판단된다. 여기서는 저수지 물수지 방법 및 내한능력 검토에 따른 기본적인 조사항목에 대하여 살펴보고자 한다.

#### 3.5.1 강우량 변화 분석

세계적으로 기후 변화 요인을 보면 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 구분할 수 있다. 자연적 요인으로는 태양에너지의 변화, 천문학적 요소 변화(밀란코비치 이론), 화산활동, 지각활동 등 자연변화, 기후시스템 내의 자연변동성 등과 인위적 요인으로 온실가스, 에어러솔, 오존층 변화와 산림파괴, 환경변화 등을 들고 있다.

기상청에서는 매 10년마다 새로운 평균값을 사용하는 데 한국의 강수량 변화를 보면 1971~2000년까지 30년 동안의 60개 관측지점의 평균으로 연평균 강수량은 1,316mm이며, 강수량은 전반적으로 증가추세로 평가하고 연변화가 심한 것으로 보고 있다. 또한 강수일수는 감소하고 결과적으로 강우강도(집중호우)는 증가하는 것으로 나타나고 있다.

최근 20년간의 1920년대에 대비하여 강수량은 7% 증가, 강수일수는 14% 감소, 강우강도는 18% 증가 추세로 분석하였다(신경섭, 2002).

우리나라 과거 100년간 연강수량의 추이를 보면 최저 754mm(1939년)와 최고치 1,782mm(1998년)로서 2.4배 정도 차이가 나는 것을 알 수 있다. 도서지역을 제외하고 우리나라의 연평균강수량은 1,283mm로 과거 100년에 걸친 추세를 보면 연간 강수량은 약간 증가하는 경향이 있다. 1960년대 이후 연강수량의 변동 폭이 커져 가뭄과 홍수가 증가하고 있어 기존 수자원 시설물에 의한 용수공급과 홍수 방어능력을 취약하게 하는 원인으로 작용하고 있다.

우리나라는 계절별, 연도별, 지역별 강우량의 편차가 심한 동시에 국토의 65%가 산악지형이고, 하천경사가 급한 지리적 특성으로 홍수가 일시에 유출되며, 갈수기에는 유출량이 적어 수질오염을 가중시키고 있다. 동시에 가용 수자원이 지역적으로 편중되어 있고, 대수층의 발달이 빈약하여 대규모의 지하수 개발이 어려운 문제 등 수자원의 이용 측면에서 불리한 자연조건을 가지고 있다(건설교통부, 2001).

강수량은 과거와 비교해 그 형태가 많이 달라지고 있다. 우리나라는 기후적 특성상 여름철 강수량이 연강수량의 약 40~60%를 차지하고 있기 때문에 사실 봄철 가뭄보다 여름철 가뭄이 더욱 큰 영향을 줄 수 있다. 우리나라의 여름철 강수량은 주로 장마기간에

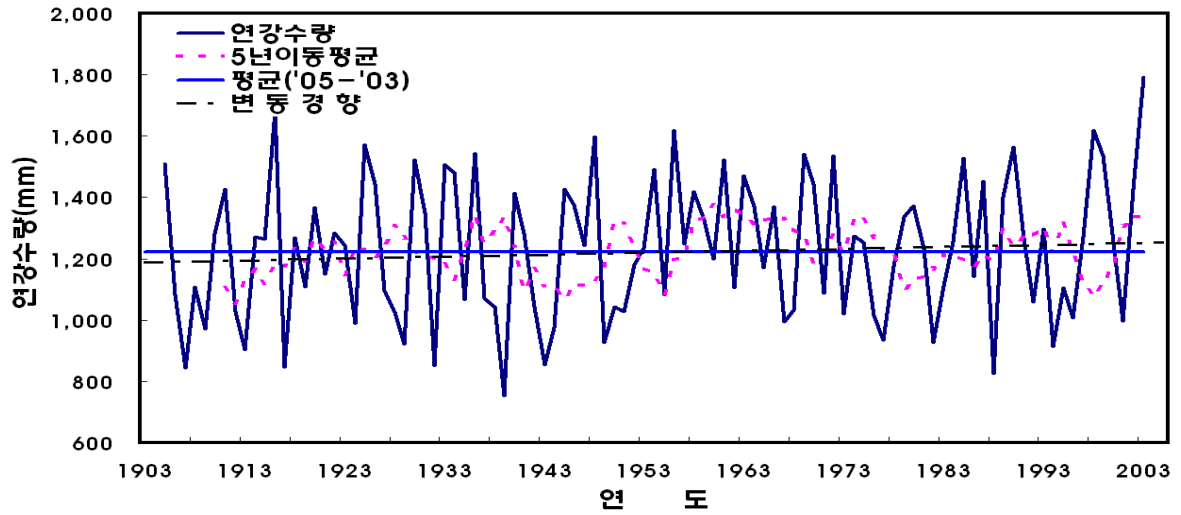
집중되어 있는 것으로 인식되어 왔으나, 최근 들어 장마전선의 활동이 불규칙적이고 장마 기간 동안의 강수량이 감소하는 추세가 나타나고 있으며, 오히려 장마 이후 강수량이 집중호우, 태풍 등의 영향으로 증가하고 있는 것으로 보인다. 이는 1970년대 이전에는 6월 하순~7월 하순의 장마기간에 강수량이 집중되었고, 장마전선에 의한 지속적인 강수 형태가 특징이었으나, 최근에는 장마기간보다 7월 하순부터 8월에 걸쳐 강수량이 증가하였고, 지속적인 강수보다는 국지성 호우 형태가 자주 나타나고 있다. 이러한 강수 형태의 변화는 지난 1971~2000년 평년값과 1961~1990년 평년값의 비교에서도 나타나는데 최근 30년간의 평균적인 한반도의 강수량은 그다지 큰 변동은 없지만 월별 변화를 보면 8월에 강수량이 늘어난 반면 4월과 7월에는 강수량이 줄어든 경향을 보이고 있다.

강수량의 월별 변화와 더불어 강수 형태에서도 총 강수일수는 줄어드는 반면 강한 강우강도를 보이는 날은 증가하여 호우성 강수가 빈번해지는 경향으로 변화하고 있다. 1920년대부터 10년씩 평균된 한반도 강수량의 변화를 보면 먼저 연강수량은 최근 20년 동안 1920년대에 비해 7% 증가한 반면 강수일수는 14% 감소하여 강수강도가 18% 증가한 것으로 조사되고 있다.

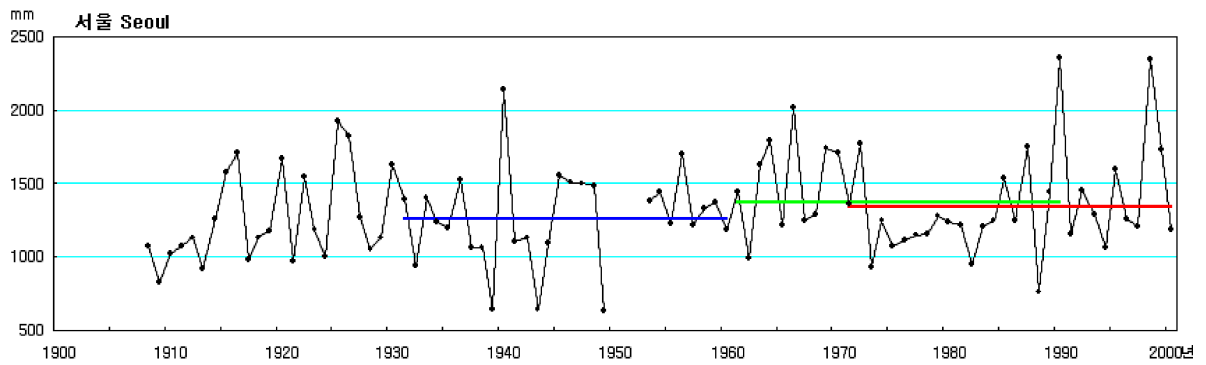
여름철 강수형태의 변화뿐만 아니라 최근에는 가뭄도 심각한 문제로 대두되고 있다. 우리나라에서 봄 가뭄은 계절적인 현상이지만 5월 하순에서 6월 상순 정도에 남쪽에서 접근하는 저기압에 의해 비다운 비가 오지 않는다면 가뭄이 심각해 질 수 있다. 2001년 봄철은 관측 이래 최악의 가뭄을 겪은 시기로 3월 후반부터 5월에 이르는 기간 동안 중국 내륙 지역을 중심으로 상층 고압대가 강하게 발달하여 동아시아 지역 전반에 걸쳐 고온 건조한 현상을 보이는 가운데 우리나라는 주로 중국 내륙에서 다가오는 건조한 성질의 이동성 고기압의 영향을 받아 맑고 건조한 날이 계속되어 강수량이 적었다. 2001년 봄철 가뭄이 최고조에 다다른 6월 초의 전국 주요 댐 저수율 현황을 보면 총 저수량의 약 10~50%의 물만 저장되어 평년에 비해 약 39% 정도로 낮은 저수율을 보였다.

가뭄은 세계 각지에서 발생하는 자연 현상으로 자연생태계를 비롯한 사회경제적으로 심각한 영향을 미친다. 사회경제적인 측면에서는 가뭄이 발생하면 지표수와 지하수 자원이 고갈됨에 따라 용수의 양과 질이 악화되어 작물 생산량 감소, 발전량 감소, 여가활동의 감소 등 사회경제활동이 위축된다.

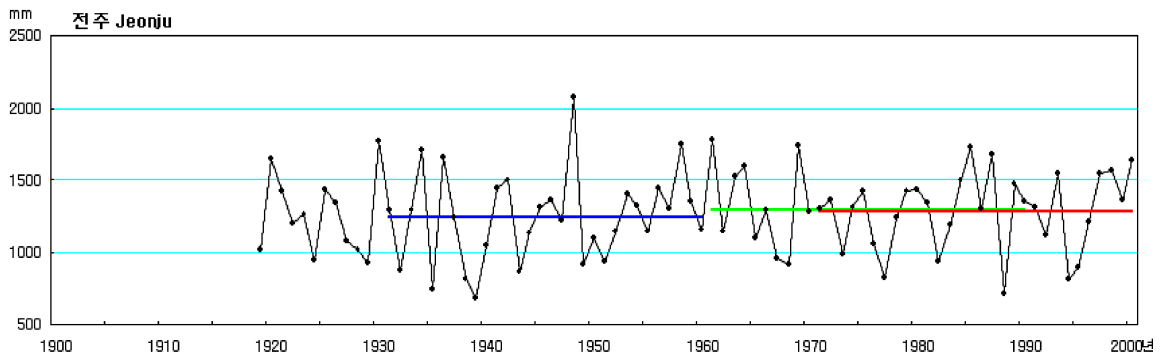
가뭄은 홍수나 태풍을 비롯한 다른 재해와는 달리 서서히 시작되어 광범위한 지역에 영향을 미치므로 이에 대한 대비가 어려우며, 관심을 가지고 적극적으로 대처해 나가야 할 것이다.



<그림 3-33> 우리나라 연평균 강수량의 개년 변화(수자원장기종합계획, 2006)



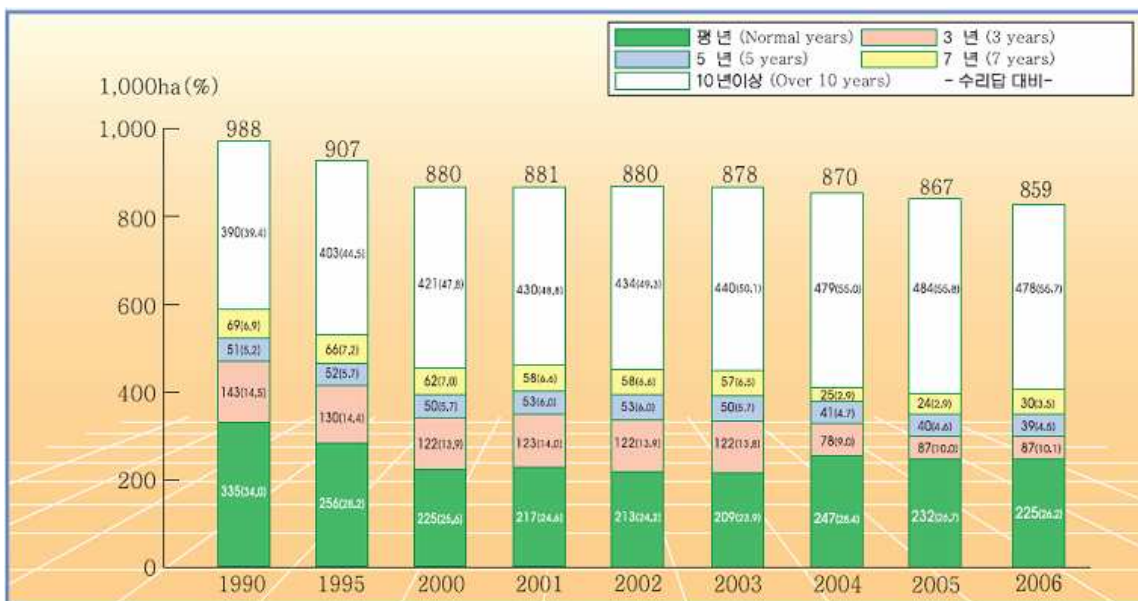
<그림 3-34> 연강수량 변화(서울)



<그림 3-35> 연강수량 변화(전주)

### 3.5.2 수리시설의 내한능력 현황

농업용 수리시설은 대부분 소규모이고 유지관리의 미흡 및 시설물의 노후화로 인하여 가뭄에 대한 내한능력이 크게 감소되고 있는 실정이다. 수리답의 내한능력은 총 답면적 1,084천ha중 859천ha로서 수리답율이 79.2%이며, 이러한 수리답도 농지개량시설의 설계기준년이 10년 빈도를 만족시키는 시설은 약 44%에 불과한 478천ha 정도뿐이며, 특히 29%인 약 312천ha는 평년 3년 빈도의 내한능력 밖에 되지 않아 상습적인 가뭄피해를 당하고 있어 이에 대한 수리시설의 대규모화와 신규개발이 무엇보다도 절실한 실정이다.



<그림 3-36> 한발빈도별 수리답

(자료) 농림부·한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

농업용수 공급을 위하여 설치된 수리시설물은 1945년 이전 일제시대에 시설되어 60년 이상된 저수지가 전국적으로 9,380개소에 달하고 있으며, 이에 대한 관개면적은 122,968ha이고 취입보가 4,720개소에 관개면적 29,484ha, 양수장은 116개소에 관개면적 6,190ha를 차지하고 있다. 따라서 시설물 내용연수(농업토목설계편람, 농림수산부)를 저수지 70년, 양수장 40년, 보 40년으로 판단할 때, 이렇게 노후화된 수리시설물 등에서 관개하고 있는 면적 약 159천ha는 사용정지 대상이라 할 수 있다.

<표 3-36> 한밭빈도별 관개면적

(단위 : ha)

시설별	수리답 면적	가뭄 대비 능력				
		평년	3년	5년	7년	10년 이상
계	859,040 (100)	225,165 (26.2)	86,451 (10.1)	39,317 (4.6)	29,893 (3.5)	478,213 (55.7)
저수지	486,406 (100)	111,900 (23.0)	45,169 (9.3)	17,006 (3.5)	15,420 (3.2)	296,911 (61.0)
양수장	162,555	43,183	11,381	3,340	6,511	98,140
양·배수장	30,105	731	-	211	1,878	27,286
배수장	3,056	2,061	499	101	-	395
보	92,243	31,801	16,592	6,126	5,235	32,487
집수암거	14,378	4,485	3,565	1,075	452	4,800
관정	51,152	13,001	8,944	11,070	397	17,740
기타	19,145	18,004	301	386	-	454

(자료) 농림부·한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

수리시설의 문제점으로는 수리답을 자체가 낮아 한해상습지가 상존한다는 것이다. 아직 전체 논 면적의 20.8%인 225천ha는 비가 오지 않으면 농사를 지을 수 없는 천수답 지경이다. 기존의 수리시설이 되어 있는 지역이라 하더라도 수리시설로 극복할 수 있는 내한능력은 상당히 작다.

또한, 많은 수리시설물들은 소하천을 수원으로 하는 취수시설이 많아 가뭄이 발생하면 하천수가 고갈되어 수리시설로서 기능을 다하지 못하는 경우가 상당히 있다.

### 3.5.3 물수지분석

저수지나 유역에서 일정 기간의 유입량과 유출량을 가지고 저류량의 시간적 변화를 계산하는 것을 물수지분석이라 한다. 저수지 계획용량은 시설물의 일정 크기를 가정하고 과거 기상자료를 이용하여 저수지 모의조작모형을 이용한 유입량과 유출량을 모의 발생시켜 물수지 분석을 실시하여 결정한다.

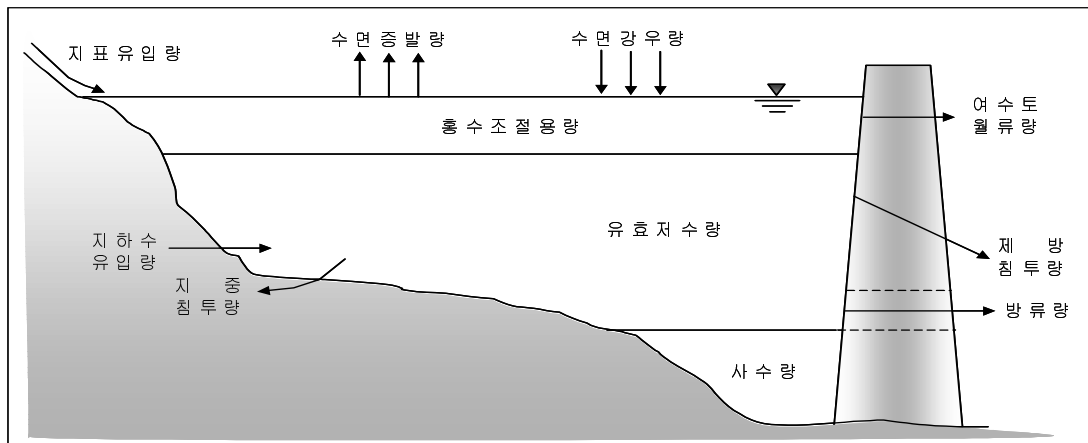
물수지 분석은 주로 저수지 등의 계획용량을 결정하기 위하여 실시하며 시설물의 규모를 가정하고 이 시설물에서의 유입량과 유출량 및 시설물의 특성자료 등의 영향인자를 모형화하여 시설물의 거동을 살펴봄으로서 시설물이 적정하게 운영되고 사용되어질 것인지를 사전에 파악할 수 있으며 예상되는 문제점도 도출해 낼 수 있다. 이와 같은 물 수지

분석 방법을 거동분석 (behaviour analysis) 또는 모의발생 기법(simulation analysis)이라고 물수지분석을 실시할 경우 단일 저수지 뿐 만 아니라, 조위의 영향을 받는 담수호, 상·하류 연계물수지, 양수저류지, 유역물수지 등 다양한 형태의 물수지분석 기법이 필요하게 되므로 지구설계 여건을 고려하여 분석기법을 선정하여야 한다. 수리시설물의 계획용량 결정은 이러한 모의발생 기법이 널리 적용되고 있다.

### 가. 저수지물수지 모형

관개용 저수지의 경우 대부분 규모가 적으며 단일 목적으로 사용하는 경우가 많고 유입량과 방류량의 변화가 당일의 기상에 지배를 받으므로 일별 모의조작이 바람직하다. 일별 저수지 모의조작 분석을 통하여 저수지의 물을 가장 경제적으로 사용할 수 있는 기준을 설정할 수 있으며 저수지 운영조작 기준에 따라 저수지의 거동을 모의조작해 볼 수 있으므로 최적 운영기준의 설정이라든지 관개용 저수지의 경우 최적 용수배분량 및 배분시기 등의 의사결정도 지원할 수 있다.

저수지의 올바른 거동해석을 위해서는 저수지의 유입요소와 유출요소를 정확하게 모형화 할 수 있어야 하며 분석 목적에 맞는 모의 운영기간이 합리적으로 결정되어야 한다. 일반적인 저수지에서의 물수지 모식도는 <그림 3-37>과 같다.



<그림 3-37> 저수지에서의 물수지 모식도

#### 1) 하천유입량

저수지 지점의 하천유입량은 저수지에서 이용가능수량의 대부분을 차지하게 되며 갈수기의 유입량이 중요하다. 하천에서의 유입량은 제4장에서와 같이 계산되며 실측자료가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다. 무계측 유역의 경우 적정한 모형을 선정하고



유역조사를 통하여 유출계수 등 모형의 매개변수를 결정한 후 유출량을 산정한다.

#### 2) 수면 강우량

유역면적에 비하여 수면적이 큰 경우 호수면에 내린 직접강우량은 유입량 요소 중 결코 무시할 수 없다. 호수면에 내린 강우는 전부 유입되는 것으로 처리되며 강우량에 만수면적을 곱하여 산정한다.

#### 3) 도수유입량 및 간접유입량

수혜면적에 비하여 유역면적이 적어 자체유역의 유입량만으로 용수공급이 불가능할 경우 외부유역이나 이용 가능한 간접유역의 유출량을 산정하고 이 중 일부 또는 전부를 계절적으로 또는 제한적인 조건을 적용하여 저수지로 유입시켜 사용하게 된다. 도수유입량이나 간접유역 유입량의 경우 유출량 산정 방법은 동일하지만 물수지 분석시 실제 유입이 가능한지를 신중히 검토하여야 한다.

#### 4) 기타 유입량

특수한 지형으로 인한 지하수의 용출, 해빙기에 눈 녹은 물의 유입 등은 저수지에서 이용가능수량을 증대시킨다. 양수저류지를 설계할 경우는 홍수기나 비관개기의 인근 하천유출수와 인근 수원지의 무효방류량을 이용하므로 실제 이용 가능한 수량의 분석에 신중을 기하여야 한다.

#### 5) 관개수량

관개용 저수지에서 공급해 주어야 할 수량은 당일의 기상조건, 포장의 여건 및 영농방식에 따라 달라진다.

#### 6) 저수지 손실량

저수지 손실량에는 증발에 의한 손실과 제방 및 지중 침투량 등이 있으며 침투 손실량은 시설물의 여건에 따라 고려하여 반영한다. 증발에 따른 손실량은 매우 크기 때문에 반드시 고려하여야 하고 증발량은 계기증발량의 70% 정도에 수면적을 곱하여 총 손실량을 결정한다.

#### 7) 월류량 및 홍수배제량

비관개기나 홍수시는 저수지나 담수호의 잉여수량이 발생하면 자연적 또는 인위적으로 배제시켜야 하는데 이러한 양의 산정방법도 물수지에 영향을 미친다. 일반 저수지의 경우 항시 배제가 가능한 자연월류식이므로 시간별 변화를 무시하고 저수지의 저수량이 여수토의 제정고 이상일 경우 그 이상 되는 저수량은 모두 월류하는 것으로 가정하여 계산한다. 조위의 영향에 의해 방류가 제한되어지는 담수호의 경우 담수호 관리수위와 평균간조위를 비교하여 방류제한이 물수지 시간간격을 초과할 경우에는 이를 고려하여 물수지를 시행하여야 한다.

#### 8) 기타 용수공급량

농업용수 외에 생·공업용수, 환경용수, 구역 외 펌핑유출량, 소수력발전용수 등의 농촌용수를 반영할 경우에는 용수수요조사를 통하여 용수수요량을 추정하고 이를 물수지에 반영한다.

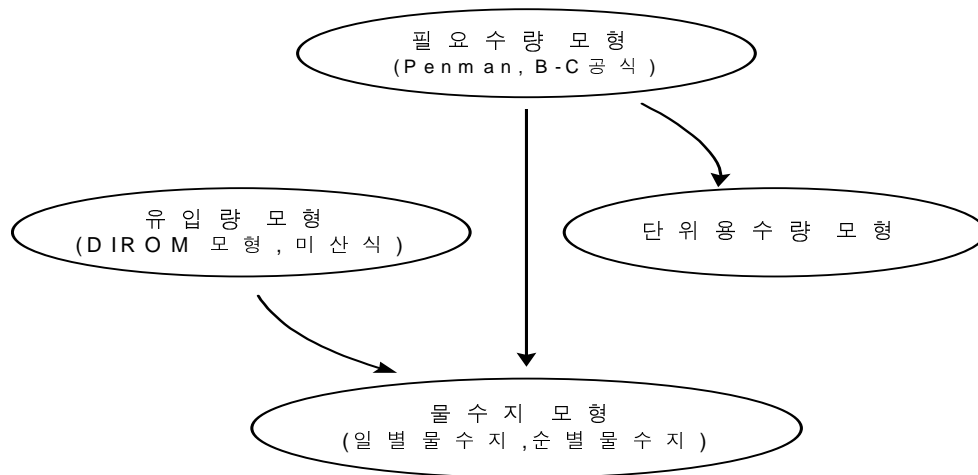
#### 9) 기타 고려하여야 할 사항

담수호의 경우 하절기 홍수예방을 위하여 용수공급의 최대 상한선인 관리수위를 설정하여 운영하게 되는데 홍수기와 비홍수기에 관리수위가 다를 경우 이를 고려하여 물수지 분석을 실시한다. 또한 용수사용의 우선순위 및 특수 목적의 용수사용을 위해 어느 수위 이하로 떨어질 경우에는 용수공급을 제한하게 되는 방류제한수위가 시설물 조작지침 등에 명시되어 있을 경우에도 이를 반영하여야 물수지 분석을 실시한다.

한국농촌공사에서 사용하였던 저수지 모의조작모형인 ROPER(Reservoir Operation Study)는 강우-유출모형으로서 가지야마식을 사용하고 증발산량 추정식으로 Blaney & Criddle식을 사용하여 순단위 모의조작을 하였으나 최근 개발된 HOMWRS는 위에서 설명한 모든 형태의 물수지 분석을 가능하게 한다. HOMWRS 및 물수지 분석에 관한 제반사항은 “HOMWRS 사용자 설명서”(농어촌진흥공사, 1998)을 참조한다.

HOMWRS는 관개계획을 수립하기 위한 유역 유입량 및 관개 필요수량의 산정, 저수지 물수지 분석 및 단위용수량 산정이 일련의 통합된 시스템내에서 구현되도록 한 Windows 95/98/NT/2000용 프로그램 이다. 효율적인 시스템 운영을 위해 기상자료 등의 기초자료를 DB화하고 메뉴방식에 의해 운영된다.

물수지 분석(일별/순별)에서 최적 저수지규모를 결정하기 위해 저수지 모의조작을 시행할 수 있다. 유역유입량 및 필요수량을 산정하고 생·공업용수량 등을 고려하여 물수지를 계산하며 저수지 계획용량을 결정할 수 있다. 물수지 분석은 일별 및 순별 분석이 가능하며, 일별 분석의 경우 Penman식에 의한 필요수량 및 수정 Tank모형에 의한 유입량이 적용되며, 순별 물수지의 경우 梶山식에 의한 유입량 및 Blaney-Criddle식에 의한 필요수량을 적용할 수 있다. 그리고 자료 관리는 기상관측소현황 및 강우량, 온도 등 6개 기상요소와 지역별 작물계수를 DB화하여 관리한다. 이들 DB자료는 유입량 및 필요수량 산정시 기상관측소를 선택함으로써 별도의 입력과정 없이 이용된다.



<그림 3-38> 분석계획에 따른 하위 모형간 연계도

## 나. 유역물수지 모형

하천의 하류부에 제수문 등의 재이용시설이 설치되어 운영되는 등 용수공급 체계가 서로 중복되어 있고, 생·공업용수와 농업용수로 이용하기 위한 유역의 유입량이 많은 경우 이를 모두 고려하여 물수지 분석을 실시하여야 한다. 이와 같이 저수지 유역뿐만 아니라 전체 수계내의 용수이용과 밀접한 관련이 있어 이를 고려하여야 하는 대규모 담수호 등에서 적용하는 물수지 분석기법을 유역물수지라고 한다.

유역물수지는 하천의 임의 지점에서 하천유출의 시간적, 공간적 해석을 위해 대상 하천유역을 여러 개의 소유역으로 구분하고 각 소유역의 유입량과 유출량을 산출하여 전체유역에 걸쳐 순차적으로 물수지 분석을 수행한다.

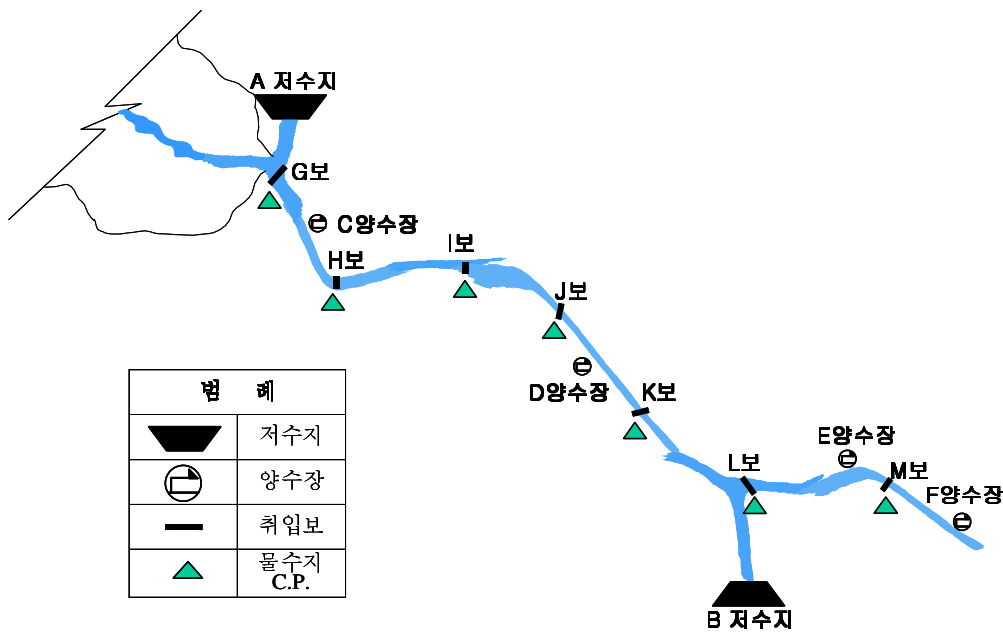
한국농촌공사에서는 전체유역을 여러 개의 물수지 단위 소유역으로 구분하고 각각의 소유역별 수자원의 개발과 이용에 대하여 물수지를 상세 분석할 수 있는 WWASS (Watershed Water balance And Streamflow Simulation), 모형을 개발하여 새만금지구에 적용한 바 있다. 자세한 내용은 “새만금지구 수문조사보고서”(농어촌진흥공사, 1997)를 참조할 수 있다.

<그림 3-39>은 농촌용수개발사업지구의 모식도를 나타낸 것으로 이와 같은 지구는 유역물수지 기법에 의하여 전체수계에 대한 유출량산정과 저수지 물수지를 동시에 수행하여야 한다. 즉, 지구내 A·B저수지에 대한 개별 물수지만 시행하고 유역 전체의 물수지를 하지 않을 경우 유역에서 수요·공급을 적절히 분배하기 위한 개별 저수지의 용량이 최적인지 판단하기 어렵다. 따라서 주요시설물 또는 하천의 분·합류지점에 C.P.(control point)를 선정하여 각 산정지점과 유역전체의 용수 수요·공급을 파악할 수 있는 유역 물수지를 실시함으로써

두 저수지의 최적용량은 물론 유역내 하천에서의 용수 공급능력을 동시에 판단할 수 있다.

이와 같은 유역물수지 기법에서 임의 하천구간의 유입요소는 상류유역으로부터의 유입량, 자체유역으로부터의 횡유입량 및 각종 용수의 회귀수량(return flow)으로 구성되며, 상류유역 유입량은 하천구간의 최상부에서는 0이 되고, 기타 유역에서는 상류유역의 물수지로부터 계산되는 월류량(Overflow)을 의미한다.

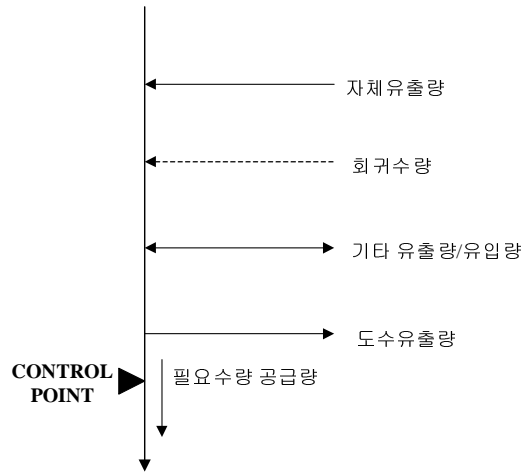
자체유역의 횡유입량은 지류하천의 유입량과 배후유역으로부터의 유입량을 말한다. 한편 각종 용수는 회귀수량이 발생하기 마련이고 회귀수량은 용수이용 방법에 따라 시간적으로 수량에 차이를 보일 수 있으므로 기간별 회귀율을 적용하여 산정한다.



<그림 3-39> 농촌용수개발사업지구 모식도

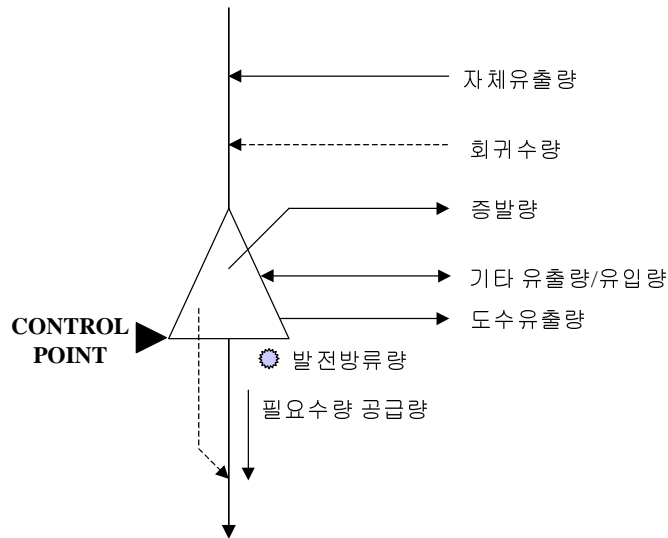
하천의 공급요소는 농업용수, 생·공업용수, 환경을 위한 환경용수 등이 있으며 하천의 저류량은 댐 및 저수지 등에서의 저류량, 보에서의 저류량 및 하도에서의 저류량 등으로 구분할 수 있다. 그러나 보 및 하도의 저류량은 일별 변화가 그렇게 크지 않으므로 무시할 수 있으며 따라서 하천 구간의 저류량은 저수지 등의 대규모 수리시설물에 한해 저류량 변화만을 고려하여도 충분할 것이다.

일반적으로 하천의 임의 지점에 대한 물수지 요소의 형태는 4가지 형태로 구분할 수 있으며, 그 중 첫번째는 저수지가 없는 하천의 상류지점으로서 물수지 요소는 강우에 의한 자체유역의 유출량과 각종 용수의 공급량 또는 회귀수량, 도수유입량과 유출량 및 기타 손실량 등으로 구성된다.

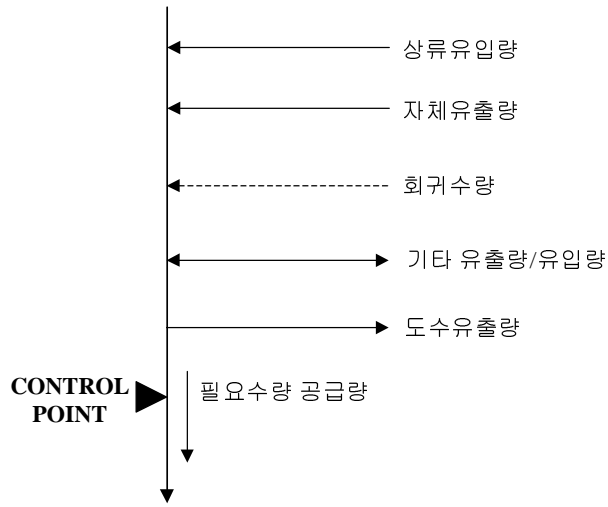


<그림 3-40> 저수지 없는 상류

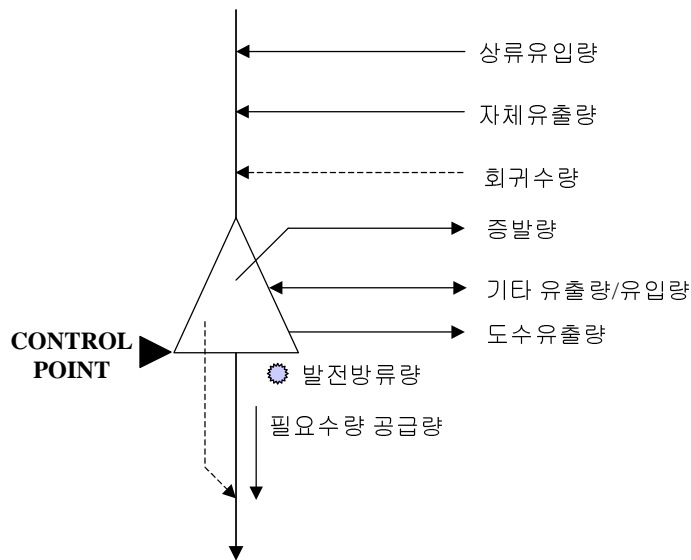
두번째는 저수지가 있는 하천의 상류지점으로서 저수지에서의 저류량을 고려해야 하는 경우이며, 세번째는 저수지가 없는 하천의 중류지점으로서 상류지점의 유입량이 물수지 요소가 되는 경우이고 네번째는 저수지가 있는 중류지점으로서 물수지가 가장 복잡하여 상류유역의 유입량 및 저수지에서의 물수지 요소를 동시에 고려해주어야 하는 경우이다.



<그림 3-41> 저수지 있는 상류



<그림 3-42> 저수지 없는 중류



<그림 3-43> 저수지 있는 중류

<표 3-27> 유역물수지 모형의 입력자료

구 분	세 부 내 용	비 고
전체유역 자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지구명, 위치</li> <li>○ 소유역의 개수, 관할측후소의 수, 도수유입량의 자료수, 유역증발산 계수, 이양용수량, 최대허용담수심, 최소허용담수심, 최소방류량, 팬증발 계수</li> <li>○ 월별 증발계수 : 1 ~ 12월</li> <li>○ 작부시기 : 묘대기 - 이양기 - 단수기</li> <li>○ 논벼의 순별 작물계수</li> </ul>	
소유역 자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소유역명(Control Point Name)</li> <li>○ 소유역 번호, 하류소유역의 번호, 저수지의 유무, 도수유입량 코드, 측후소의 번호, C.P의 결과출력, 연결저수지의 제한수위, 연결저수지의 C.P번호, 공급가능 수위차</li> <li>○ 유역면적, 논면적, 밭면적, 산림면적, 유출량 지체 시간, 수로손실, 기타손실</li> <li>○ 관개면적, 관개면적삼투량, 도수관개면적, 도수면적삼투량, 묘대기의 필요수량 비율 및 단수기</li> <li>○ 생활/공업용수, 축산용수, 환경용수, 월/일별 도수유입량</li> <li>○ 생활, 공업, 축산 용수 및 회귀율</li> <li>○ 회귀관개면적, 회귀면적 삼투량, 회귀시간, 간접 유역의 수급 소유역번호, 공급상/하한량, 수급제한 저수율</li> <li>○ 관개용수의 월별 회귀율</li> <li>&lt;월평균 도수유입량&gt; : 1 ~ 12월</li> <li>&lt;저수지&gt;</li> <li>○ 표고수, 만수위, 사수위, 표고 및 표고별 면적</li> </ul>	
기상자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 측후소명</li> <li>○ 측후소번호, 위도, 노장의 해발높이, 풍속계의, 지상높이</li> <li>○ 기상자료 코드 : 종류, 연도, 시작월일, 종료월일</li> <li>○ 일별 기상자료 : 강수량, 증발량, 풍속, 일조시간, 상대습도, 일평균기온</li> </ul>	
도수 유입량 자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;월별 유입량&gt;</li> <li>○ 유입량자료의 번호, 제한강우량, 공급시설명</li> <li>○ 연도별 월평균 유입량</li> <li>&lt;일별 유입량&gt;</li> <li>○ 공급시설명, 일별 유입량</li> </ul>	
도수 유입량 분배율 자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시작년도, 종료년도, 분배할 소유역의 수, 공급시설명</li> <li>○ 유입 소유역번호 및 소유역명 (1), 월별 분배율 (2)</li> <li>* 분배할 소유역수만큼 (1), (2) 반복</li> </ul>	
실측 유입량 자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실측자료의 소유역번호, 시작년도, 종료년도, 소유역명</li> <li>○ 실측 저수량, 실측 유출량</li> </ul>	

### 3.5.4 수리시설의 내한능력 검토

1990년 이전에 개발된 농업용수개발은 한정된 재정으로 한해응급 조치 사업을 시행한 지구가 많고 이들 지구가 당면 식량난 해결에는 많은 기여를 하였으나 물 수급면에서 볼 때 막심한 한발 시에는 내한 능력이 부족한 실정이다. 설치년도가 오래된 시설은 노후화 기능감퇴 등으로 부분적인 부족지역이 발생하였고 유역 내 생활용수와 공업용수가 개발됨으로 인하여 용수원의 재분배가 불가피하여 용수 부족 현상과 이에 따른 물리 면적 감소와 풍수해로 인한 토사매몰로 용수원시설의 능력감퇴 되었고 다수확 품종개량 보급 등으로 물수요가 증가하고 있다.

수리 안전대책의 기본방향을 정립하고 내한 능력 부적시설에 대한보강 및 재개발 계획과 한해상습지에 대한 용수원개발계획을 수립을 목적으로 기존 수리시설물의 내한능력을 검토할 필요가 있다.

#### 가. 조사내용

수리시설물의 내한능력을 검토하기 위한 기본적인 조사항목과 내용은 다음과 같다.

<표 3-28> 수리시설 내한능력 조사항목 및 내용

항 목	조 사 내 용
1. 수리시설의 실관개 면적 조사	가. 실 관개면적 전수조사 ①계획면적과 준공면적의 차 ②준공면적과 실관개면적의 차 ③실관개면적의 변동 상황 (설치당시와 현재의 비교) 나. 조사방법 ①현지조사 ②청문조사
2. 현 수리시설 내한 능력별 조사	강우량 토양조건 수리시설능력 등을 조합 분석하여 수문상의 물 수급현황을 판단하여 한발빈도별 관개면적조사
3. 보강 및 재개발 계획수립	가. 한발빈도를 고려하지 않는 현 수리 시설의 실관개면적과 한발빈도 10년일 때의 추정 관개면적의 실 조사 나. 10년 빈도 한발시의 물부족지에 대한 보강개발과 재개발 계획 수립
4. 한해 상습지에 대한 신규 용수원 개발	①한해 상습지 상주 용수원 개발계획 보완



## 나. 수리시설별 조사 및 분석

### 1) 저수지

#### 가) 현지조사 항목

- 조사지역의 위치, 몽리지역의 삼투량, 수로손실, 저수지구역의 임상상태

#### 나) 분석내용

- 유효저수량/단위저수량 결정, 용수 재이용율 결정, 한발빈도별 수리답의 면적 결정

### 2) 양수장

#### 가) 현지조사 항목

- 조사지역의 위치, 유역면적, 몽리지역의 삼투량, 유역의 임상상태
- 수로손실, 양수량, 양수기 제원(구경, 마력, 양정, 대수 등)

#### 나) 분석내용

- 단위용수량 결정
- 한발빈도별 수리답의 면적 결정

### 3) 취입보

#### 가) 현지조사 항목

- 조사지역의 위치, 유역면적, 몽리지역의 삼투량, 유역의 임상상태
- 수로손실, 취입수량, 취입보 제원(위치, 설치 년월일, 언체의 길이 및 높이 등)

#### 나) 분석내용

- 단위용수량 결정
- 한발빈도별 수리답의 면적 결정

### 4) 집수암거

#### 가) 현지조사 항목

- 조사지역의 위치, 유역면적, 몽리지역의 삼투량, 유역의 임상상태
- 수로손실, 암거 채수량, 집수암거 제원(위치, 설치 년월일, 암거 구경 등)

#### 나) 분석내용

- 단위용수량 결정
- 한발빈도별 수리답의 면적 결정

## 다. 저수지 한발빈도 계산

일반적으로 저수지 계획용량은 저수지 모의조작 결과로 나타나는 필요저수량 (Required Storage)에 대한 연 최대치계열을 확률 처리하여 결정한다. 그러나 모의발생에 의한 저류량이 매년 말 다음해로 이월(annual carryover)되는 경우에 대해서는 연 최대치계열에 대한 확률처리에는 신중을 기해야 한다.

표본수문변량  $x$  는 일반적으로 변량의 평균치  $\bar{x}$  에  $x$ 의 편차  $\Delta x$  를 더한 것으로 표시 할 수 있다. 즉,

$$x = \bar{x} + \Delta x \quad (3-1)$$

여기서, 편차  $\Delta x$ 는 변량  $x$ 의 확률분포가 가지는 분포특성과 변량의 재현 기간(혹은 생기확률) 및 분포형의 매개변수 등과 관계가 있으며 변량  $x$ 의 표준편차  $s$  에 빈도계수 (frequency factor)  $K_T$ 를 곱한 값으로 표시된다. 즉,  $\Delta x = s \cdot K_T$ 로 나타낼 수 있으며

$$X_T = \bar{x} + s \cdot K_T \quad (3-2)$$

여기서,  $X_T = T$  재현기간에 발생할 확률치,

$K_T = T$ 년의 빈도계수

통상적으로 저수지 계획규모결정에 사용되는 확률함수 식은 Gumbel-Chow법을 적용 하고 있으며 그 식은 다음과 같다.

$$X_t = X + k \times \delta_{n-1} \quad (3-3)$$

여기서,  $X_t =$  재현기간  $t$ 년의 기대치,  $X =$  표본의 평균치

$k =$  빈도계수,  $\delta_{n-1} =$  표본의 표준편차 등이다.

실제 저수지 설계에 있어서는 축조 후 시일이 경과함에 따라 유역으로부터 토사가 유입, 퇴적하여 그 용적이 감소되므로 감소 정도를 고려해 주어야 한다.

## 제4장 농촌용수 이용량 조사방안

4.1 농촌용수 산정방법

4.2 농촌용수 이용량 조사기법 개발

4.3 농촌용수 이용량 모니터링 조사

4.4 밭 용수 이용량 조사

4.5 조사관련 법 검토

## 제4장 농촌용수 이용량 조사방안

### 4.1 농촌용수 산정방법

#### 4.1.1 농촌용수

농촌용수는 기상, 작물의 종류, 토양, 영농방식, 작물계수 및 경지면적 변화추이 등 많은 요소들을 고려하여 수요량을 산정해야 하나 이들 요소들은 시간과 지역환경에 따라 많은 차이가 있기 때문에 지역여건과 작물 및 토양특성을 고려하여 수요량을 합리적으로 산정하기는 쉽지 않다. 현행 농촌용수 수요량 산정은 수문모형에 의한 일별 농업용수 수요량 산정 방법이 이용되고 있다(이근후, 2007).

#### 가. 수요량 산정방법

##### 1) 산정 순서

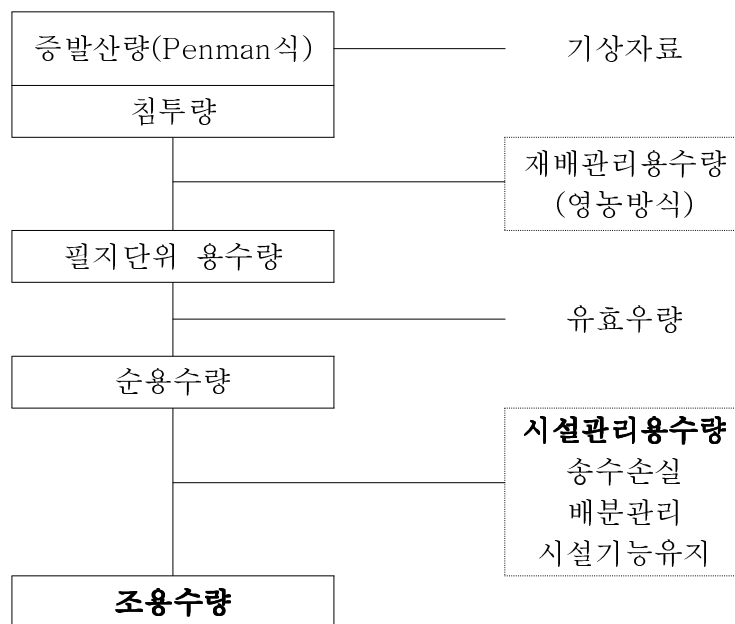
- 자료 수집 : 기상자료(기온, 상대습도, 일조시간 등), 포장관리(토양, 침투량, 담수심 등), 영농방식(이앙, 직파 등), 생육기별 물관리 방식
- 잠재증발산량 산정 : Penman식에 의해 잠재증발산량 산정
- 실제증발산량 산정 : 생육기별, 영농방식별, 중·남부 구분에 따라 작물계수를 적용하여 실제 증발산량 산정
- 작물소비수량 산정 : 실제증발산량에 침투량을 더하여 생육기별 작물소비수량 산정
- 유효수량 산정 : 논에서의 물수지를 통해 일별 담수심을 추적하여 유효수량 산정
- 생육기별 재배관용수량 산정 : 이앙기 등 재배관리 용수량 반영
- 순 관개용수량 산정 : 소비수량에서 유효수량을 제외하고 재배관리용수량을 더하여 산정
- 관개용수량 산정 : 순용수량에 수로손실을 고려하여 관개용수량 산정

##### 2) 농업용수(논, 밭) 용수량 산정요소

- 기상자료 : 시·군별의 대표관측소의 기상자료
- 토양자료 : "한국의 전토양(농업진흥청, 1986)"의 125개 밭 토양통의 자료  
(논)한국농촌공사 농어촌연구원의 토양조사반에서 조사자료
- 작물계수
  - 벼에 대한 작물계수 : "작물 소비수량 산정방법의 정립(농림부, 농업진흥공사,

1986)"에서 연구 자료

- 발작물에 대한 작물계수 : 수정 Penman-Monteith식에 대한 작물계수를 이용
- 면적통계자료
  - 논 및 밭 면적 자료 : "경지면적통계" 자료를 이용
  - 수리답면적 : 한국농촌공사에서 발행되는 “농업생산기반정비사업통계연보”의 자료를 이용
  - 수리불안전답 : 논면적(경지면적통계) - 수리답면적
  - 관개전 면적 : 농림부의 농업생산기반정비사업통계연보”의 밭기반정비사업실적을 이용
  - 비관개면적 : 밭면적 - 관개전 면적
  - 20개 발작물 : 통계청 "작물통계"
- 벼 재배방식별 면적
  - 이앙재배, 건답직파재배, 담수직파재배
  - 지자체의 자료를 이용, "작물통계" 조사 자료
  - 이앙면적 = 수리답면적 - 직파면적
- 작물별 작부체계 : 지자체 및 한국농촌공사의 자료를 이용
- 논 수로손실
  - ‘설계기준 관개편’(농림부, 1988)"의 자료를 이용
  - 밭 다목적용수량(재배관리, 기상재해방지, 관리작업 생력화, 기타)



<그림 4-1> 논 용수 수요량 산정

<표 4-1> 농업용수 조사인자 결정

구분	조사인자
논용수	수리답면적, 수리불안전답 면적, 수리답원단위, 수리불안전답원단위, 이앙 및 직파재배 면적, 작부체계
밭용수	대표작물별 관개전 면적, 비관개전 면적, 관개전 원단위, 비관개전 원단위, 작부체계
단위용수량 산정 인자	기상자료(기상청 위치, 순일사량, 포화수증기압, 상대습도, 절대온도, 풍속, 풍속계 설치높이), 작물계수, 침투량, 토양통, 관리효율
축산용수	축종별 가축사육두수, 가축두수당 원단위

## 나. 이용량 산정방안

<표 4-2> 농업용수 이용량 산정방안 (맹승진, 2006)

구분	방안
산정방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경작지 이용형태를 반영하여 기존의 논용수(수리답/불안전답), 밭용수(관개전/비관개전) 및 가축용수로 구분 산정</li> <li>- 실제 이용량 조사가 불가능하므로 기존과 같이 간접추정으로 산정하되, 농업기반공사 농촌용수 수요량 조사 시 개발된 프로그램 이용</li> <li>- 유효수량 포함 및 미포함 병기</li> <li>- 수요량 및 이용량 산정</li> <li>- 수자원단위지도를 통한 유역단위(중권역) 일관성 있게 함</li> </ul>
논용수 이용량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이용량 산정을 위한 제인자의 실측실험으로 각 지역별 수치 산정(관리효율, 침투량)</li> <li>- 작부체계는 통계청에서 조사하여 "작물통계"에 수록, 단 이전까지는 지자체 자료 이용</li> <li>- 수도작 중 이앙 및 직파재배 면적은 지자체 조사자료 이용</li> <li>- 수리답 : (증발산량 + 침투량 - 유효수량) / (1 - 손실율) × 수리답면적</li> <li>- 수리불안전답 : (증발산량 + 침투량 - 유효수량) × 수리불안전답면적</li> </ul>
밭용수 이용량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대표작물별 시·군별 재배면적 자료는 통계청에서 조사하여 "재배면적 통계"에 수록 (기 발간된 시·도 단위), 단 이전까지는 지자체 자료 이용</li> <li>- 시설재배 이용량 산정 추가 필요(원단위 산정방법 강구)</li> <li>- 이용량 산정을 위한 제인자의 실측 실험으로 각 지역별 수치 산정(각 지역별, 토층별 포장용수량)</li> <li>- 작부체계는 통계청에서 조사한 "작물통계"에 수록되어 있으나 이전에는 지자체 자료를 이용</li> <li>- 관개전 이용량 : (증발산량 - 유효수량) / (1 - 손실율) × 관개전 면적</li> <li>- 비관개전 이용량 : (증발산량 - 유효수량) × 비관개전 면적</li> </ul>
축산용수 이용량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가축의 축종별 사육두수에 축종별 원단위 적용 (축산용수 원단위 산정 방법 지속적 연구 필요)</li> <li>- 축종별 사육두수는 국립농산물품질관리원에서 시·군별로 조사하여 "가축통계"에 수록되어 있으며 이전에는 지자체 자료를 이용</li> </ul>

<표 4-3> 농업용수 조사인자 조사기준

구분	조사인자	조사인자 산정 및 이용 기준
기상자료	기상청 위치	각 시·군별 대표 관측소의 기상자료
	강우	
	최대최소평균온도	
	풍속/풍속계높이	
	평균습도	
	증발량	
	일조시간	
토양자료	포장용수량	한국의 전토양(농업진흥청, 1986)의 125개 밭 토양통의 포장용수량 및 영구위조점 자료
	생장저해수분점	한국농촌공사 농어촌연구원의 토양조사반 조사 자료
	침투량	
작물계수	논 작물의 작물계수	작물소비수량 산정방법의 정립(농림부, 농업진흥공사, 1986) 자료
	밭 작물의 작물계수	FAO에서 추천하는 FAO-56공식(수정 Penman-Monteith공식)에 대한 작물계수를 이용하며, 추후 한국농촌공사에서 작물계수에 대한 신뢰성 있는 연구·조사가 수행되면 그 성과 자료
면적통계자료	논면적	경지면적통계 (국립농산물품질관리원) 자료
	밭면적	
	수리답 면적	농업생산기반정비사업통계연보(한국농촌공사) 자료
	수리불안전답 면적	= 논 면적 - 수리답 면적
	관개전 면적	농업생산기반정비사업통계연보상의밭기반정비사업실적
	비관개전 면적	= 밭 면적 - 관개전 면적
	20개 밭작물 면적	"작물통계"(국립농산물품질관리원) 자료, 단 시·군 단위로 제공 전까지 각 지자체 자료를 이용하여 대표작물별 구성 비율을 적용하여 관개전 면적을 대표작물별 재배면적을 산정하고, 추후 "작물통계" 내에 추가로 조사하여 작성
	- 노지/시설재배	
	- 관개변적	
	- 비관개변적	
	며 재배방식별 면적	지자체 자료 단, "작물통계" 상에 구분하여 추가 조사·기재된 자료
	- 이앙재배면적	
	- 건답직파면적	
- 담수직파면적		
축산자료	가축 원단위량	일본 "축산대백과사전(1994)" 의 "초지개발사업계획설계기준" 자료, 추후 한국농촌공사에서 연구·조사되면 그 성과 자료
	가축사육두수	"가축통계" (국립농산물품질관리원) 자료 단, 시·군 단위로 제공 전까지 각 지자체 자료
기타자료	작물별 작부체계	지자체 및 한국농촌공사 자료
	논의 수로손실	전국 한국농촌공사 각지사별 용수로 현황 자료
	배분관리손실율	농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편(농림부, 1988) 자료
	밭의 다목적용수량	농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편(농림부, 1988) 자료

축산용수는 원단위법을 적용하고 있다. 가축 원단위량은 일본의 “축산대백과사전(1994)”의 “초지개발사업계획설계기준” 자료를 이용하며, 가축사육두수는 통계청의 “가축통계” 자료를 이용한다.

<표 4-4> 축종별 가축사육의 물 수요량 기준 (단위 : l/두/일)

구 분	한우 (비육우)	젖소		돼지	닭
		착유우	건유우		
가축두당 물수요량	50 ~ 60	120 ~ 150	50 ~ 60	20 ~ 30	0.3 ~ 1

(자료) 일본 초지개발사업계획설계기준(1994) (축산환경대책대사전)

#### 다. 일본의 논 용수량 산정방법 예

농업용수의 이용량을 정확하게 추정한다는 것은 매우 어렵다. 이는 농업용수의 이용량은 이용특성의 다양성, 경지면적의 전망의 불확실성, 기후조건 등에 따라 달라지기 때문이다. 일본에서의 농업용수 수요량 산정 예를 보면 다음과 같다.(권성일, 2006)

농업용수는 논에 관개하는 논용수, 밭에 관개하는 밭용수 및 비관개기에 있어서 유지용수와 지역용수 등의 기타 용수로 구분된다. 농업용수의 전체 수요량은 3가지 용수의 합으로 산정된다.

$$1) \text{ 논용수 수요량} = \text{논면적} \times (\text{씨레질 수량} + \text{일감수심} \times \text{관개일수} - \text{유효우량}) \times (1 - \text{관개손실})$$

식에서 관개손실 = 15% 계상 (토지개량사업 표준설계)

$$2) \text{ 밭용수 수요량} = \text{관개면적} \times (\text{일증발산량} \times \text{관개일수} - \text{유효우량}) \times 0.65 + \text{시설밭면적} \times (\text{일증발산량} \times \text{관개일수}) \times 0.65$$

식에서 관개효율 = 0.65 (토지개량사업 표준설계)

$$3) \text{ 기타 용수 수요량} = (\text{논용수} + \text{밭용수}) \times (0.1 \sim 0.2)$$

식에서 0.1 ~ 0.2 = 비관개기에 있어서 유지용수, 지역용수로서 용수량의 10 ~ 20%를 추정한다.

#### 라. 밭작물의 종류 및 재배면적

밭은 식량작물, 과수, 채소, 약초, 화훼, 묘목, 관상수 등의 식물을 주로 재배하는 토지로서 논 이외의 경지를 말한다.

일반적으로 통계청에서 실시하고 있는 통계조사 상의 조사대상 작물을 보면 식량작



물(미곡, 맥류, 두류, 잡곡, 서류), 채소(과채류, 엽채류, 근채류 등), 과수, 특용·약용작물, 수원지(뽕밭, 묘포 등), 기타작물(전매작물 등) 등으로 분류된다(통계청, 2008, 2007년 작물통계). 전체 농경지에 재배되고 있는 작물을 대상으로 하였으며 조사 유형별 대상작물은 <표 4-5>와 같다(통계청, 2008).

한편, 농경지에 재배되고 있는 작물을 대상으로 연도별 재배면적의 변화를 보면 <표 4-6>과 같으며, 재배면적이 점차 감소하는 추세를 나타내고 있다.

<표 4-5> 조사유형별 대상 작물

구분	표본조사	행정조사
두류	콩	
서류	봄감자	고구마, 가을감자
잡곡		옥수수, 조, 수수, 메밀, 기타잡곡
채소	고추, 마늘, 양파, 김장무, 김장배추	봄무, 봄배추, 참외, 오이, 호박, 수박, 토마토, 딸기, 당근, 상추, 시금치, 파, 생강, 양배추, 풋고추
특용	참깨	들깨, 유채, 땅콩
과실	사과, 배	복숭아, 포도, 감귤, 자두, 감, 기타

<표 4-6> 연도별 및 작물별 재배면적 (면적 : 천ha)

연도	식량작물	채소류	과실류	특용작물	시설작물
1997	1,315	333	176	87	
1998	1,332	326	176	96	
1999	1,327	342	174	87	
2000	1,318	354	173	77	
2001	1,334	335	167	79	
2002	1,300	304	166	77	
2003	1,236	294	163	69	
2004	1,233	301	157	61	
2005	1,234	282	155	62	101
2006	1,180	275	152	61	99
2007	1,163	260	154	64	95

경지면적의 감소와 더불어 일부 채소를 제외한 쌀, 곡물류(쌀 제외), 채소류, 과실류 등 대부분의 작물 재배면적이 지속적인 감소 추세를 나타낼 것으로 전망하고 있다. 쌀의 경우 농가판매가격이 전반적으로 하락할 것으로 예상되는 가운데 재배면적이 2007년 95만ha에서 2008년 94만3천ha로, 그리고 2018년에는 86만4천ha로 줄어들 것으로 예상하였다. 반면 봄무, 양파, 토마토 등은 재배면적이 약간 증가할 것으로 전망하고 있다.

<표 4-7> 작물별 재배면적 추이와 전망 (면적 : 천ha)

구 분	2003	2005	2007	2008	2013	2018
쌀	1,016.0	979.7	950.2	943.0	918.0	964.0
곡물류(쌀제외)	339.6	364.8	352.2	337.5	341.9	331.3
채소류	231.6	231.2	217.1	216.9	209.4	203.2
과실류	135.4	124.5	119.1	119.0	114.9	104.0

(자료) 한국농촌경제연구원(2008) 농업전망 2008 (I)

#### 4.1.2 수요량 산정 문제점 및 개선 방향

농업용수 수요량 산정과 관련하여 각 문제점을 고찰하고 개선방향을 정리해 보면 다음과 같다(이근후, 2007).

##### 가. 논 용수 수요량 문제

###### 1) 논 용수 단위면적당 수요량 문제

○ 시설능력별 수요량 산정 필요 : 농촌용수 수요량 조사에서 적용한 방법은 천수답이든 수리안전답이든 모든 논에서 10년 빈도 한발 시에 작물재배에 최적의 필요수량을 수요로 간주하고 있다. 따라서 수리시설의 공급능력을 감안한 수요량 산정을 해줄 필요가 있다.

○ 시설관리 용수량의 적정성 : 현행 방법은 시설관리 용수량으로 송수 손실량과 배분관리 손실량을 적용하고 있다. 이중 손수 손실은 수로의 구조물화에 따른 변화를 반영하여 용수로에 있어서 흙수로와 구조물의 비율을 반영하고 있다. 농업용수의 경우 평상시와 가뭄시의 운용방식이 달라 시설관리 용수량도 달라지는데 이러한 사실이 반영되어 있지 못하고 있다.

## 2) 전체 답/수리답 면적 추정

전체 논 면적 적용이 아닌 실제 벼 재배면적의 수요량 산정, 목표치가 아닌 정확한 수리답율의 적용, 답수직파와 건답직파 등의 직파재배 논 면적의 반영에 따른 추정방법에 대한 재검토가 필요하다.

## 나. 밭 용수 수요량 부문

### 1) 비관개전에 대한 용수 수요량

현행 방법은 논 용수산정과 유사한 방법으로 관개전을 제외한 전체 밭 면적에 순용수량을 적용하는 방법이며, 앞에서 언급한 논 용수의 시설능력에 따른 고려와 마찬가지로의 문제가 발생한다. 비관개전의 용수수요량에 대한 새로운 방식의 산정기법이 필요하다.

### 2) 관개전 대상면적

채소, 화훼, 과수 등 원예작물의 논 재배면적에 대한 반영 및 과수에 대한 관개량의 반영이 필요하다.

### 3) 전체 밭 면적 및 재배작물

작부체계에 따른 경지의 이용률이 반영 되지 않고 있다.

## 다. 모형의 다양화 모색

일반적으로 물 수요 모형들은 단순하고 유연한 형태로 통합될 수도 있고, 지역, 인구, 혹은 장소 별로 분할될 수도 있다. 모형은 또한 사용 자료의 시간단위, 모형화 과정의 복잡성 등에 따라 다양하다. 따라서 농업용수 수요량 산정은 새로운 관점에서 기존 형태의 모형과는 다른 모형도 개발할 필요성이 있다. 현장의 관측 자료를 기초로 한 보다 현실을 잘 재현할 수 있는 산정 모형의 개발로 농업용수 수요에 대한 다양한 측면의 탐구가 가능토록 하기 위하여 동적모형(dynamic model)이나 장기모형(long-term model), 단기모형(short-term model) 등 목적에 알맞은 다양한 형태의 수요량 산정 모형들을 개발해야 할 것이다.

## 라. 수요량 산정 요소의 현장 관측/수집

측정 자료를 이용하여 장래의 물 수요를 산정하고자하는 경우, 지역적으로 광범위하고 다양한 위치, 장기간 관측, 다양한 작물의 다양한 생육기간 등에 대응하는 체계적 자료 집적이 필수적이다. 이를 위해서는 계획적으로 다양한 물수요 주체들이 협의하여 장기간에 걸쳐 자료를 집적해야 될 것이다.

## 마. 향후 개선방향

농업용수 수요량 산정에 따른 많은 문제점도 제기되고 있는 실정이므로 농촌용수 구역 단위로 수요·공급량을 정량적으로 파악할 수 있도록 체계화된 조사·연구가 필요하며, 수요량 추정결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 농업용수 이용수량의 지속적인 모니터링과 자료축적이 필요하며, 축적된 실제 사용수량 자료로 농업용수 수요량 추정 방법을 검증 및 보완하여 농업용수 추정방법을 더욱 발전시켜 나가야 할 필요성이 있다.

### 4.1.3 농업용수 이용량 산정방법

농촌용수 이용량을 산정하는 방법에는 수문모형에 의한 일별 농업용수 수요량 산정 방법, 수리시설물의 운영 자료에 의한 산정방법, 수리시설물의 운영 자료와 모형에 의한 산정방법, 현장 모니터링에 의한 실제 이용량 측정방법이 있다.

#### 가. 수문모형에 의한 일별 농업용수 수요량 산정 방법

기존의 방법으로 수문모형에 의한 일별 농업용수 수요량 산정하는 방법으로 주로 수자원계획에 이용된다. 제3절에서 살펴 본 바와 같이 이론에 의한 방법과 실제이용량을 비교한 결과에 알 수 있듯이 필요수량 산정에 의한 방법은 현실성이 부족하다.

#### 나. 수리시설물의 운영 자료에 의한 산정방법

저수지, 양수장, 보 등의 수리시설물의 운영 자료에 의한 산정방법이다.

- 1) 저수지의 운영일지를 중심으로 공급량, 방류량, 저수위 또는 저수율 자료를 이용한 실제 공급량 또는 이용량 산정(일별 산정)
- 2) 양수장의 운영일지를 토대로 양수량, 양수시간, 전력사용량 등의 자료를 이용하여 실제 공급량 또는 이용량 산정(일별 산정)
- 3) 관정, 보 등도 저수지 및 양수장의 운영일지에 의한 방법과 동일하며, 운영일지가 없는 경우 간접적으로 이용량 산정(일별 산정)

#### 다. 수리시설물의 운영 자료와 모형에 의한 산정방법

수리시설물의 운영 자료와 수문모형을 혼합한 방법으로 저수지, 양수장 등의 운영 자료와 수문모형을 이용한 수요량 또는 이용량 산정에 적용된다.

- 1) 저수지 사용량 조사

- 저수지 현황 파악 및 자료 정리 : 시설물 데이터베이스, 시설물 관리대장
- 일별 또는 순별 운영자료 수집 (저수량, 저수율, 관개시간, 공급량 등)
- 물수지 모형을 이용하여 일별 사용량 추정
- 소유역별, 행정구역별, 관리주체별 사용량 자료 정리

#### 2) 양수장 지구

- 양수장 현황 파악 및 자료 정리 : 시설물 데이터베이스, 시설물 관리대장
- 일별 또는 순별 운영자료 수집 (전력량, 양수시간, 공급량 등)
- 양수장 자료로부터 사용량 ~ 관개면적의 관계를 유도
- 물수지 모형을 이용하여 일별 사용량 추정 : 강수량과 사용량 비교
- 소유역별, 행정구역별, 관리주체별 사용량 자료 정리

#### 3) 관정지구

- 관정 현황 파악 : 통계연보, 시설물 데이터베이스, 시설물 관리대장
- 일별 또는 순별 운영자료 수집 (전력량, 양수시간, 채수량 등)
- 채수실적 자료로 부터 채수량 ~ 관개면적의 관계를 유도
- 소유역별, 행정구역별 논벼 필요수량의 양수장 급수패턴을 이용하여 일별 채수량을 산정
- 일별 채수량이 설계 채수량을 초과하지 않도록 가동시간 조정
- 소유역별, 행정구역별, 관리주체별 사용량 자료 정리

#### 4) 보 지구

- 보 현황 파악 : 통계연보, 시설물 데이터베이스, 시설물 관리대장
- 일별 또는 순별 운영자료 수집 (수위, 급수량 등)
- 수문모형을 이용하여 하천 유출량을 추정
- 일별 필요수량과 설계 취입수량 비교하고, 적은 값과 하천유량을 제한 조건으로 설정
- 소유역별, 행정구역별, 관리주체별 사용량 자료 정리

### 라. 현장 모니터링에 의한 실제 이용량 측정

- 1) 각종 수원공 또는 용수로에 수문관측 시설을 설치하고 모니터링을 실시하여 실제 저수지, 양수장 등의 공급량 또는 이용량을 산정하는 방법으로 가장 바람직하지만 시간, 예산, 관리의 어려움이 많다.
- 2) 따라서 수계별, 지역별, 수원공별 관개지구의 대표성과 지역적 특성이 고려될 수 있는 대표지구(구역)를 선정하여 실시함이 요구된다.
- 3) 반면 농업용수의 회귀수량 또는 회귀율을 산정할 수 있는 장점을 지니고 있다.

## 4.2 농촌용수 이용량 조사기법 개발

### 4.2.1 농촌용수 이용량 조사기법 제시

농업용수는 현재 수요량 추정 기법으로 수요량을 산정하여 국가 수자원장기종합 계획에 반영하고 있다. 이는 농업용수 공급을 위한 수리시설의 개소수가 많고 실제 농업용수 공급량에 대한 조사가 이루어지고 있지 않은 상황에서 수자원계획에 반영하기 위한 선택으로 여겨진다. 농업용수 이용을 위한 취수는 하천의 상류에서 하류까지 광범위하게 이루어지고 있으며 이는 수요량 기준으로 국가 수자원의 47%에 해당하는 것으로 보고되고 있는 상황에서 향후 기후변화에 대한 대응 전략 수립과 효과적인 국가 수자원관리를 위하여 농업용수 이용량 조사는 반드시 필요한 국가 정책사업 이라고 할 수 있다. 그리고 지속가능발전위원회에서 2007년 물현황 조사 및 관리기반 구축을 위한 농업용수 이용량 조사에 대한 기법정립 후 체계적인 이용량 조사 추진방안의 요구가 증대되고 있는 실정이다.

한편 농업용수의 효과적인 관리를 위해서는 농촌유역에 대한 공간적인 자료 조사와 물이용에 대한 조사가 병행 추진되어야 할 것으로 판단되며, 이는 농업수리시설의 유역과 수혜구역, 수리시설 등을 종합적으로 조사하는 가칭 “농촌용수 유역 총 조사”를 실시하고 이 조사에서 “농촌용수 유역조사”와 앞 절에서 살펴본 바와 같이 이용량 산정방법 중에서 지역별 대표 시험유역에서 실시하는 농업용수 이용량 모니터링 사업이 지속적으로 이루어져야 하는 절실한 상황이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이를 위한 기본 프레임을 제시하고 향후 사업 추진을 위한 제언을 정리하도록 한다.

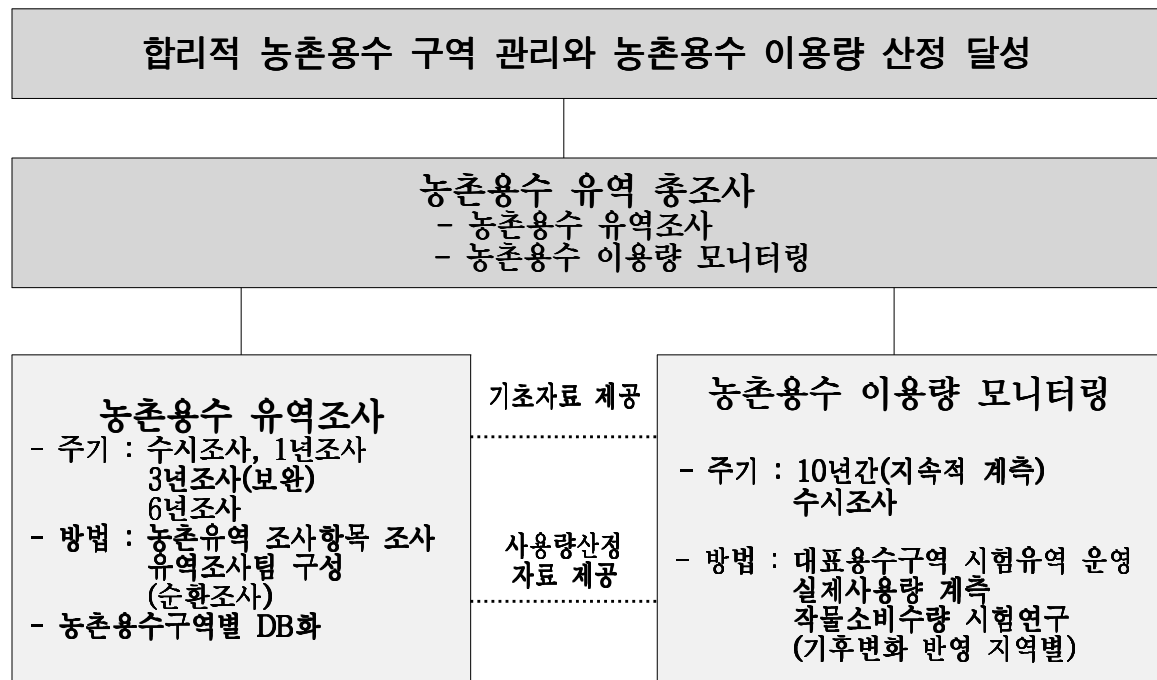
#### 가. 농촌용수 유역 총조사

농촌용수 유역의 합리적 관리와 이용량 산정을 위한 가칭 “농촌용수 유역 총조사”는 “농촌용수 유역 조사”와 “농촌용수 이용량 모니터링”으로 사업을 구분하고 농촌용수 유역 조사는 정해진 주기로 조사하되 6년 주기로 3년 보완조사로 실시하며, 지역별 순환조사를 실시하여 매년 조사팀이 운영될 수 있도록 한다.

“농촌용수 유역조사”의 조사주기는 유역내 토지 이용의 변화 속도, 유역조사 자료의 시간적 현실성, 조사 자료의 활용성을 고려하면 3년 주기로 조사하는 것이 타당하나, 유역조사를 위한 비용과 시간을 고려할 때 6년 주기로 유역조사를 실시하도록 하되, 중간시점인 3년에 보완조사를 하는 것이 현실적으로 효율성을 감안한 조사주기로 판단된다. 그리고 변경 주기가 잦은 항목에 대한 수시조사도 필요할 것이다. 또한, 6년마다 실시하는 유역조사는 전국 464개 농촌용수 구역을 대상으로 실시하되 조사의 표준화, 신뢰성 등

을 고려한 유역조사팀을 구성, 순환하면서 조사하는 것이 조사의 일관성 유지를 위해서 타당한 방법으로 판단된다.

“농촌용수 이용량 모니터링”은 향후 최소 10년 이상 실시하도록 하고 권역별 대학 또는 연구기관도 참여하는 방안에 대하여도 생각 할 수 있을 것이다. 이와 같은 조사를 통하여 “농촌용수 유역조사”는 농촌용수 정책수립에 필요한 자료와 모니터링에 필요한 기초자료를 제공하고 “농촌용수 이용량 모니터링” 사업은 합리적인 농촌용수 이용량 산정에 필요한 기초자료를 제공하여 보다 합리적이고 과학적인 농촌용수 이용량이 산정될 수 있는 기초를 마련할 수 있도록 해야 할 것이다. 이와 같은 것을 모식화한 것이 <그림 4-2>이다.

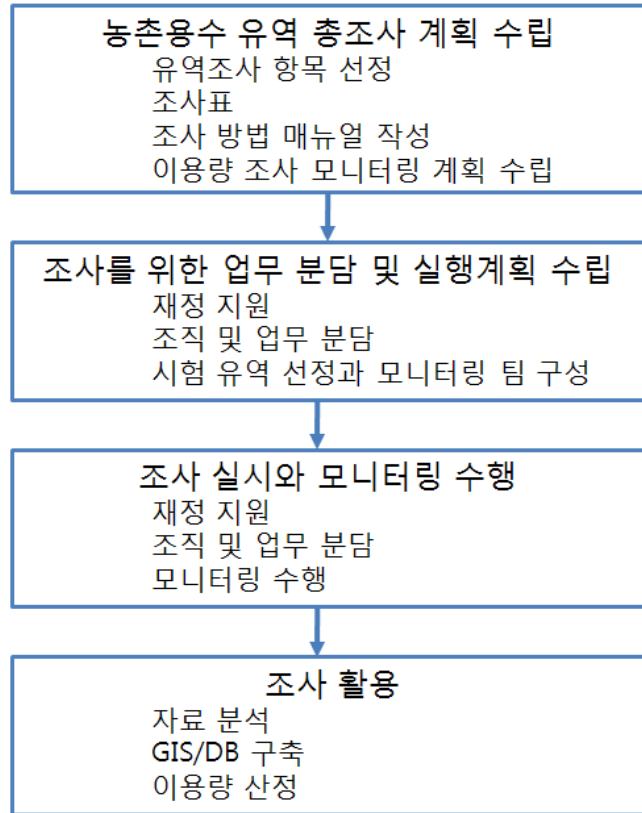


<그림 4-2> 합리적인 농촌용수 구역 관리와 농촌용수 이용량 산정 달성 모식도

### 나. 이용량 조사 단계별 추진방법

농촌용수 이용량 조사를 위한 추진 방법은 크게 4 단계로 구분할 수 있을 것으로 판단된다. 1단계는 농촌용수 유역 총조사 계획을 수립하는 것으로서 유역조사 항목을 선정하고, 조사표를 작성하며, 조사방법에 대한 매뉴얼 작성과 이용량 조사 모니터링 계획을 수립하는 것이다. 2단계는 농촌용수 조사를 위한 업무 분담 및 실행계획을 수립하는 것으로 재정과 조직 및 업무 분담을 실시하고 시험유역 선정과 모니터링 팀을 구성한다.

시험유역 선정을 위해서는 기후대와 수계, 시험유역 선정 기준 그리고 GIS 등을 이용하  
 되 모니터링 방법에 따라 적정 대상지역 개수가 결정되도록 한다.



<그림 4-3> 농촌용수 이용량 조사 추진방법

#### 다. 유역조사 항목

유역 조사 항목은 크게 기본 현황 조사와 이수부분, 치수부분으로 구분할 수 있다. 기본현황 조사는 유역특성조사, 자원조사, 기후 기상, 수문특성, 지하수특성, 수면증발, 항공측량의 항목으로 구성되며, 이와 같은 자료는 국토해양부, 농촌진흥청, 산림청, 기상청, 국립지리정보원 등의 협조를 받아 464개 농촌용수구역 또는 지사 관리구역 단위로 작성하되, 주요 저수지와 양수장 관리에 활용될 수 있도록 수치지도와 데이터베이스화 하도록 한다.

이수 부분와 치수 부분은 현재 국토해양부에서 하천법에 근거하여 작성한 “유역조사” 추진을 위한 지침을 참고하여 농업용수 관련 항목 부분을 취사선택하여 선정하되 추후 이 항목들은 조사표 작성과 조사 매뉴얼 작성시 면밀히 검토되어야 할 것이다. 농촌용수



조사항목과 이용량 모니터링에 대한 조사방법은 본 연구의 항목선정 방안, 수원공별 조사 방안, 모니터링 기법 등에서 상세히 기술하도록 하겠다.

<표 4-8(1)> 농업용수 유역 조사의 이수, 치수부문 조사 항목

조사항목	세부항목	개수	조사 내용	조사 주기
논용수	수리답면적(이양, 직파)	1	농업생산기반정비사업 통계연보상의 시군별 수리답면적, 시군별 직파재배면적을 고려하여 시군별 이양, 직파재배면적 산정, 농업총조사의 시가지·읍·면별 수리답면적 비율을 적용하여 시가지·읍·면별 이양, 직파재배면적 산정	1년
	수리불안전답면적	1	논면적 - 수리답면적	1년
	논용수 단위용수량	1	한국농촌공사 자료를 이용하여 산정	1년
밭용수	관개전, 시설재배, 비관개전 면적	1	경지면적통계상의 시군별 밭면적, 시군별 관개, 비관개, 시설재배면적 비율을 고려하여 시군별 면적 산정 후, 농업총조사의 시가지·읍·면 비율을 적용하여 면적 분류	1년
	과수면적	1	작물통계상의 광역시도별 과수면적에 농업총조사의 시가지·읍·면 비율을 적용하여 면적 분류	1년
	밭용수 단위용수량	1	한국농촌공사 자료 이용하여 산정	1년
축산용수	가축사육두수	1	가축통계상의 광역시도별 과수면적에 농업총조사의 시가지·읍·면 비율을 적용하여 면적 분류	1년
	축종별 원단위	1	일본 초지개발사업계획설계기준상의 축종별 원단위	1년
	가공용수	1	양축용수의 15.6% 적용	1년
농업용댐	농업용댐 제원	1	댐 및 저수지 제원, 용수공급, 물리구역, 수력발전 등 댐 운영정보 수집 정리	수시
저수지	저수지 제원	1	한국농촌공사 자료를 이용하여 용수구역별, 유역별 정리	수시
양수장	양수장 제원	1		수시
양배수장	양배수장 제원	1		수시
보	보 제원	1		수시
집수암거	집수암거 제원	1		수시
관정	관정 제원	1		수시
기타(지하댐 등)	기타(지하댐 등) 제원	1		수시

<표 4-8(2)> 농업용수 유역 조사의 이수, 치수부문 조사 항목

조사항목	세부항목	개수	조사 내용	조사 주기
허가수리권	수리권 허가량, 허가기간	2	하천점용허가대상(홍수통제소, 지자체)상의 허가시설물, 댐용수사용계약(한국수자원공사)상의 허가시설물	1년
관행수리권	관행수리권 용량	1	허가수리권과 이수시설현황조사에서 조사된 농업용 이수시설(양수장, 양배수장, 보)중 주수원공을 비교하여 허가시설물을 제외한 시설물	1년
수리권 이용실태	수리권 이용실태현황	2	홍수통제소, 지자체 등 방문조사를 통한 취수실적자료를 조사하여 허가량대 이용량 실태조사	1년
물이동특성	농업용수리시설	1	수리시설물 등에서 조사된 시설물의 유출입 현황을 파악하고 시설용량기준으로 물이동특성 조사 행정구역별, 유역별 물이동 현황 정리	
하천유지유량	하천유지유량 고시현황	1	하천유지유량의 고시현황을 정리	1년
환경용수공급 조사	수원공별 공급 현황	1	수원공별 환경용수 공급현황, 공급량, 시기, 수요현황을 조사	1년
회귀수량 표본조사	농업용수(신속, 지연)	2	신속: $\frac{\text{백수량}}{\text{관개량}} \times 100$ , 지연: $\frac{\text{취수량}}{\text{관개량}} \times 100$	1년
홍수피해 조사	홍수피해현황	1	재해연보, 시·군별 홍수피해액을 조사하여 유역별 홍수피해액 산정	1년
	홍수피해지역조사	2	재해연보, 수해백서, 홍수범람상황조사 등 자료를 수집하여 침수상황, 홍수흔적을 조사하고, 지도자료를 수집·Digital 화하여 수치지도상에 표시	1년
	주요 홍수사상 현황	1	주요 홍수사상에 대한 수문, 기상, 피해, 원인 등 현황 조사	1년
홍수위험 지역조사	수해상습지	1	수해상습지 보고서에서 제시된 위치, 지구명, 하천등급, 하천명, 사업량, 사업비, 사업효과(농토, 인가)등을 조사	5년
	홍수범람위험구역	1	홍수범람위험구역의 위치, 하천, 범람면적(대지, 농경지, 공장부지, 공공시설물, 도로), 인구, 인구밀도 등을 조사	5년
홍수위험 지역조사	재해위험지역	1	행정안전부에서 선정한 재해위험지구의 위치, 지구명, 유형, 위험등급, 시설명, 총사업규모(사업물량, 사업비), 사업효과(인명, 침수면적), 관리기관 등을 조사	5년
치수시설물 조사	제방, 내수배제시설, 수문, 통문, 통관, 하천부속물	5	치수시설물 현장방문조사(국가하천 등)	수시

## 4.2.2 논관개 개념 및 이용량

현재 농업용수의 사용량은 우리나라 가용 수자원의 47%에 이르는 것으로 되어 있다(수자원장기종합계획, 2006). 하지만 수자원장기종합계획을 살펴보면 이는 수요량 기준(10년 빈도 한발 기준)으로 산정한 것으로 많은 수원공이 산재되어 있는 농업용수의 공급체계 특성상 실제 사용량 매우 제한적으로 조사되었다. 그러나 효율적인 하천관리와 국가 수자원 계획의 수립을 위해서는 실제 사용량의 파악이 절실한 상황이다.

우리나라의 농업용수 이용은 주로 쌀 농사 위주이며, 현재 70% 정도의 수리답에 농업용수를 공급하고 있다. 벼의 재배 방식은 지역에 따라 차이가 있으나, 대략 4월 중에 모판을 마련하여 파종, 육묘하고, 5월 중·하순경에 본답(논)에 이양하는 이양재배법이 대부분을 차지하고 있다.

지금까지 수계 규모에서의 농업용수 사용량은 간접적인 추정방법으로 결정하고 있다. 이는 작물별, 시기별 필요수량을 추정하고, 이를 재배 면적에 대하여 적용하는 소위 원단위 산정 방식을 적용하고 있다. 관개 답의 경우는 관개면적에 필요수량을 곱하고, 수리불안전답의 경우는 관개답의 필요수량의 70%를 적용하며, 밭의 관개량은 필요수량을 추정하여 산정하는 등이 그 예이다(한국수자원공사, 1990). 이와 같은 추정 방법은 개략적인 농업용수 수요량을 의미하며, 실제 사용량과는 차이가 크다.

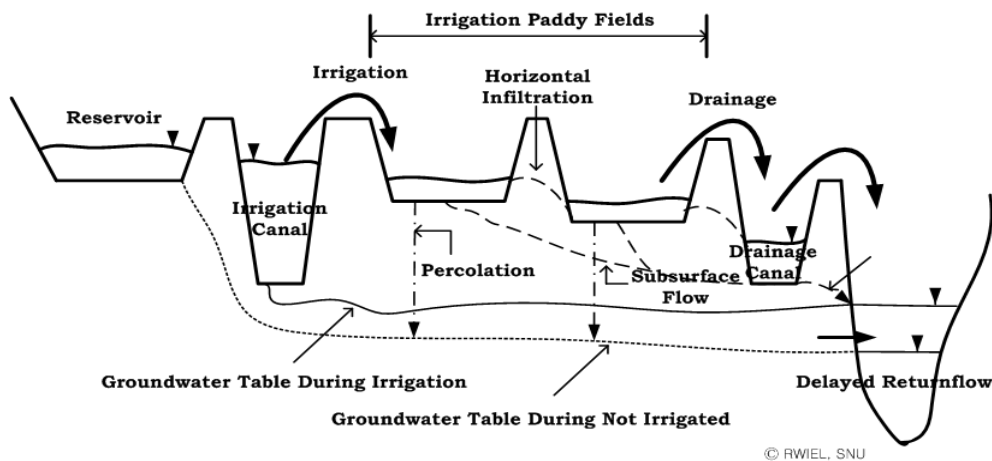
광역 수계의 농업용수의 실제 사용량에 대한 조사는 '96~'97년에 낙동강 수계를 대상으로 하여 실시한 것이 최초이다(한국건설기술연구원, 1997). 여기서는 저수율, 양수기록 등을 근거로 사용량을 추정하여, 이를 바탕으로 농업용수량을 정하고 있다. 현재까지 소규모 라이시메타(lysimeter)를 이용한 논벼의 소비수량 조사(정하우 등, 1984), 포장 단위의 물 사용량 조사(정하우·박승우 1985, 정하우 1996), 포구나 경구 단위(수개의 논으로 구성된 경지의 구획 단위)에서의 물 사용량 조사(박승우 등 1987, 박승우 등 1994, 박승우 등 1996) 등과 소유역 단위의 물 사용량 조사(정하우·박승우 1987, 박승우 등 1997) 등이 수행되었다(한강유역 농업용수 실제 이용량 및 회귀율 조사보고서, 1998).

### 가. 논관개와 물수지

농업용수 이용은 수원공으로서 저수지와 양수장 그리고 보조수원공으로 취입보를 이용한 지표수 취수와 관정을 이용한 지하수 취수로 구분할 수 있으며 이를 송수시설(개수로 및 관수로)를 이용하여 경지에 공급하고 침투 및 배수로를 통하여 하천으로 회귀된 물을 다시 취수하여 사용하는 등 복잡한 양상을 띠고 있어 정확한 사용량의 산정이 쉽지 않다.

농업용수 사용량은 그 목적에 따라 여러 가지로 정의될 수 있다. ① 관개량을 사용량으로 하면 취수량으로 정의된다. ② 논, 밭 등 포장에서 사용되는 관개수량은 취수량 중

배수량을 뺀 양이다. ③ 작물이 소비하는 양을 사용량으로 하는 경우는 증발산량이며, ④ 논벼의 경우와 같이 담수재배의 경우 소비수량은 증발산량과 침투량을 합한 값이다. 그런데, ⑤ 광역 수계의 용수수급해석에서 농업용수 사용량은 취수량과 강수량 중 포장에서 이용되는 양(유효수량)으로 하고 있다.



<그림 4-4> 논관개 모식도

<그림 4-4>에서 취수량 중 송수 시스템을 통해 도수되는 과정에서 누수 손실이나 관리 손실 등으로 논, 밭에 유입되기 전에 손실되어 하천으로 흘러나가는 양 (도수손실량)과 포장에서 침투되어 지하수를 충전하고 하천으로 흘러나오는 양 (침투 손실량)을 회귀수량으로 정의하고 있다. 도수 손실량은 지표유훈 형태로 바로 하천으로 흘러나오기 때문에 신속 회귀수량 (quick return flow)이라 하고, 침투 손실량은 자연 회귀수량 (delayed return flow)으로 구분하기도 한다.

도수 손실량은 관개수량, 수로의 재료 (흙수로, 라이닝 수로, 콘크리트 수로 등), 물관리 방법 등에 의해서 좌우되며, 보통 총 취수량의 약 5~20%에 달한다. 도수된 수량 중, 논, 밭의 담수심 이상의 수량은 배수로를 통해 배제되는 데, 이 양 중의 일부는 논, 밭의 구획 내에서 재이용되거나, 하천으로 흘러나가게 되며, 이를 포장 손실량이라 하며, 그 양은 관개량의 약 10~20% 정도이다.

논에서 침투량은 토양의 종류, 담수심 등에 따라 좌우되는 데, 대략 일 평균 3~10mm 내외의 값을 갖는다. 침투수는 지하수를 충전하므로, 관개기간 중에 논 지역의 지하수위를 상승시키며, 이는 다시 자연 회귀수의 형태로 하천으로 흘러나온다. 자연 회귀수량의 지체 기간을 2~3개월 정도로 가정하여 사용하는 경우도 있으나, 우리나라에서는 아직 실측 자료가 보고된 바 없다.

논의 농업용수 사용량과 관련한 자료는 수원공의 관리 주체에 따라, 수원공의 종류에 따라, 관개지구에 따라 별도의 방법과 기록을 갖고 있다. 농업 용수원은 ① 한국농촌공사 지사 ② 시·군 등 행정기관, 그리고 ③ 개인이나 단체 등이 관리하고 있다. 한국농촌공사의 지사에서는 일정 규모 이상의 수원공을 관리하고 있으며, 시·군 등 행정 기관은 한국농촌공사에서 관리하지 않는 소규모 수원공을 관리하고 있다. 그밖에도, 시설원예단지 등은 개인별로 지하수를 개발하여 이용하는 경우가 많다. 따라서, 광역 수계의 물 사용량을 조사하기 위해서는 이들 관련 기관에서 보유하고 있는 과거의 물관리 자료를 수집하여, 이를 근거로 사용량을 추정하는 방법이 가장 타당하다.

외국의 농업용수 사용량에 관한 조사방법으로 미국 USGS에서는 물 사용량 자료 수집방법에 관한 핸드북(USGS, 1997)을 제정하고, 매년 수문 단위(수자원 단위)별로 하천 내 사용량과 하천외 사용량, 지표수, 지하수 사용량 등을 조사하고 있다. USGS는 물 사용량 조사방법으로 ① 특정 시설과 지역별 물 사용량 조사에서는 취수량, 도수량, 방류량, 회귀수량 등의 자료를 수집하여 산정하도록 하고 있으며, ② 지역이나 광역 물 사용량은 급수 면적과 작물소비계수 등을 이용하여 추정하도록 하고 있다. 관개용수량은 용수원로부터 취수량을 측정하고, 송수 시스템에서의 도수 손실량과 지표수, 지하수로부터의 회귀수량 등을 측정하여 결정하며, 소비수량은 관개중의 소모수량과 작물 소비수량으로 구성되며, 이는 추정법을 적용한다. 농업용수의 사용량 조사 방법은 자료의 수집방법에 따라 ① 현장 조사 자료(주자료)에 의한 방법, ② 여타의 기관 등으로부터 수집된 자료(2차 자료)에 의한 방법, ③ 원단위 자료 등을 근거로 한 추정방법 등으로 구분된다. 또한, 사용량 자료 처리방법에 따라 ① 직접적으로 사용량을 측정한 자료에 의한 방법(직접 측정법), ② 간접적으로 사용량을 추정하는 방법(간접 측정법), ③ 계수나 모델 등을 적용하여 추정하는 방법(추정법) 등이 있다(USGS, 1997, 한강수계 농업용수 실제 이용량 조사 보고서, 1998).

이상과 같은 농업용수 이용량과 관련한 자료를 정리하면 <표 4-9>에서와 같다. 즉, 농업용수의 사용 현황은 일정규모 이상의 수원공 물관리를 담당하고 있는 한국농촌공사의 경우 ① 저수율 기록, ② 취수 관리 기록, ③ 양수일지 등이 있으며, 시·군 관리의 경우는 수원공 시설대장 등 자료를 가지고 있다. 그런데, 간접적 추정방법의 정확도를 보장하기 위해서는 ① 수집된 자료가 적절한 측정방법에 의해 정확하게 기록 유지되어야 하고, ② 자료로부터 물 사용량의 산정방법이 타당해야 하며, ③ 적용된 산정방법이 일관성을 갖추어야 하며, ④ 각 자료 보유 기관 간에 자료가 동일한 정확성을 갖추어야 하며, ⑤ 수원공별, 자료 내용별로 일정한 값을 얻을 수 있어야 하며, 같은 수준의 정도를 유지해야 할 것이다. 이상의 정확도 보장을 위해서는 실제 관개지역을 대상으로 농업용수 사용량을 현장 모니터링 하여 물 사용량을 구하고, 관행 방법에 의한 기록을 바탕으로 사용

량을 추정하여 상호 비교함으로써 얻을 수 있을 것이다. 또한, 관개지구의 수문 순환을 계량적으로 나타낼 수 있는 수학적 모형을 구성하고, 모형의 검정을 실시하며, 모형을 적용함으로써, 일관된 물 사용량 추정방법을 보장할 수 있을 것이다(한강수계 농업용수 실제 이용량 조사 보고서, 1998).

<표 4-9> 물사용량 조사 방법

물사용량 조사방법	최적 정확도를 위한 가정
1차 자료 (조사자료)	
1. 물사용량 측정 - 직접법 a. 적산유량계	○ 최근 보정, 정확한 설계 정확도, 숙련된 계기 관독자
2. 물사용량 측정 - 간접법 a. 시간장치나 자료보관 장치를 갖는 순간 유량계법 (flow meter) b. 전력 기록장치를 통한 시간 장치를 갖는 순간 유량계법 c. 사용자에게 의한 시간 측정을 실시하는 순간 유량계법 d. 포장 관측을 통한 유량 추정 혹은 전력기록을 통하여 시간추정을 실시한 계획 양수율법 e. 포장관측을 통한 유량추정 혹은 사용자에게 의하여 추정된 시간에 대한 양수율법	○ a와 동일함+ 균등 양수율 ○ a와 동일, 전력사용기록과 기간 간의 상관성을 정확하게 계산하여야함 ○ a와 동일, 사용자 추정값의 정확성 ○ 주의깊은 관측과 측정; 펌프의 효율의 손실이 없고, 균등 펌프를, 전력사용기록과 기간 간의 상관성을 정확하게 계산하여야함 ○ 주의깊은 관측과 측정; 펌프의 효율의 손실이 없고, 균등 펌프율; 사용자 추정값의 정확성
2차 자료 (다른 자료로부터 얻는 경우)	
3. 측정된 물사용량 a. 보고된 적산 유량계 값	○ a와 동일
4. 추정된 물사용량 a. 기록된 추정량	○ 서류철은 적절히 시행된 추정값을 갖추도록 함
추정 자료	
5a. 과거의 사용량, 제품 값, 혹은 기타 특성을 근거로 하는 변수에 적용하는 계수를 통해 추정된 사용량 5b. 모형 등을 통해 추정된 사용량	○ 계수는 물사용량과 변수간의 상관성을 정확히 대표해야 함; 개인적 사용자간의 변이가 없고, 변수는 정확하고 최근 값 이어야함 ○ 지역과 적용방법 등에 적당한 모형, 기타 변수의 정확성, 개인별 변화가 없음

(자료) USGS, 1997, 한강유역 농업용수 실제 이용량 조사보고서, 1998)

## 나. 농촌용수 이용량 조사의 내용

농업용수 이용량 조사의 목적은 농업에서 작물의 재배를 위하여 수원공에서 공급된 양 중에서 작물의 재배를 위하여 사용된 양을 말한다. 이는 공급량과 개념적으로 상이한데, 즉 수원공에서 취수하여 공급한 양에서 하천으로 환원된 양과 지하수함양을 제외하면 농업용수의 순이용량으로 정의할 수 있다.

## 다. 논 이용량에 대한 정의

- 1) 시간적 정의 : 최초 시험 방류를 제외하고 용수공급시작부터 용수공급 종료시까지
- 2) 공간적 정의 : 유역과 수혜지역을 포함하여 물수지 분석을 통하여 농촌용수이용량을 계산한다. 단 필지 및 블록단위로 용수사용량을 계산하되 이는 보조 자료로 활용하고 수원공의 유입량과 수혜지역 말단의 하천지점에서의 유출량, 수혜지역 주변의 유역 유출량을 고려하여 물수지 분석한다.

### 4.2.3 조사항목의 선정

농업용수 이용량 조사를 위한 조사 항목은 크게 수원공, 송수시설, 그리고 수혜구역으로 구분하고 각 조사 대상을 다시 세부 구분하고 조사항목을 선정하도록 하며 이는 <표 4-10>와 같다.

<표 4-10(1)> 농업용수 이용량 조사를 위한 조사 대상별 조사 항목

대상구분	대상시설물	조사항목	비고
수원공	저수지	시간(년, 월, 일), 유입량, 통관취수량, 여수토 월류량, 수면증발산량, 제방 침투량, 기타 손실량	
	양수장	시간(년, 월, 일), 사용전력량, 양수기용량, 양수기형식, 양수량, 양수시간	
	취입보	시간(년, 월, 일), 취입수문크기, 설계취입수량, 취입보 높이, 취입보 넓이, 취입보 형식, 취입수문작동일지	
	관정	시간(년, 월, 일), 사용전력량, 양수기용량, 양수기형식, 양수량, 양수시간	
	답수호	시간(년, 월, 일), 유입량, 양수장 이름, 배수갑문 작동일지, 배수갑문형식, 설계배수량	

<표 4-10(2)> 농업용수 이용량 조사를 위한 조사 대상별 조사 항목

대상구분	대상시설물	조사항목	비고
송수시설	토공수로	수로형식, 설계통수용량, 실제통수량, 유속, 수위, 수로경사, 수위-유량관계, 수로일지	
	라이닝수로	수로형식, 설계통수용량, 실제통수량, 유속, 수위, 수로경사, 수위-유량관계, 수로일지	
	플룸 (개거)	수로형식, 설계통수용량, 실제통수량, 유속, 수위, 수로경사, 수위-유량관계, 수로일지	
수혜구역	필지용수량	시간(년, 월, 일), 경위도, 침투량, 증발산량, 유입량, 유출량, 강우량, 재배관리용수량	
	순용수량	시간(년, 월, 일), 유효수량	강우량으로 유효수량 계산
	조용수량	시간(년, 월, 일), 시설관리용수량(송수손실, 배분관리, 시설유지용수량)	
	배수량	시간(년, 월, 일), 배수량	
기상	기상자료	시간(년, 월, 일), 경위도, 기상측정 장치 체원, 강우량, 증발량, 풍속, 풍속계고도	

## 가. 수원공

농업용수를 공급하기 위한 수원공은 크게 주수원공과 보조수원공으로 구분하는데, 주수원공에는 일반적으로 저수지와 양수장 그리고 담수호가 포함되며, 보조수원공으로는 취입보와 관정 등이 포함된다.

### 1) 저수지

저수지는 농업용수를 공급하는 대표적인 수원시설이다. 2008년 현재 전국적으로 18,000여개의 농업용저수지가 운영되고 있는 것으로 조사되고 있으며, 이중 3,200 여개 정도를 한국농촌공사가 관리하고 있으며 나머지는 지방자치단체 및 수리계에서 관리하고 있는 것으로 파악되고 있다. 저수지의 물수지 개념도는 그림과 같고 농업용수 이용량 조사를 위하여 통관취수량의 측정이 특히 중요하다. 저수지의 물수지 분석을 위한 측정항목은 시간(년, 월, 일), 유입량, 통관취수량, 여수토 월류량, 수면증발산량, 제방 침투량, 기타 손실량 등이다.



## 2) 양수장

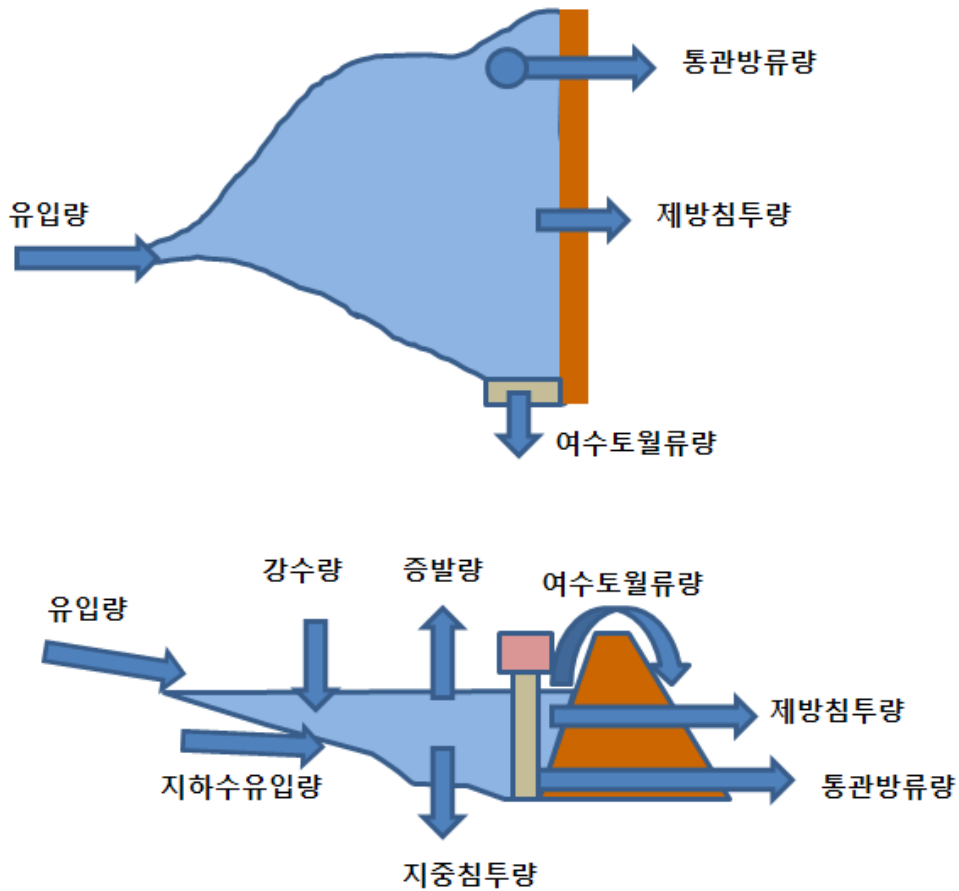
양수장은 저수지와 더불어 하천을 수원으로 하여 농업용수를 공급하는 주요 수원 시설중 하나이다. 양수장에서의 이용량 산정을 위해서는 양수량을 측정하는 것이 중요하며, 이를 위한 측정항목은 시간(년, 월, 일), 사용전력량, 양수기용량, 양수기형식, 양수량, 양수시간 등이다.

## 3) 보조수원공

농업용수 공급과 이용을 위한 보조수원공으로는 취입보와 관정이 많이 활용된다. 취입보와 관정을 통한 관개수량은 저수지와 양수장에 비하여 그 양이 적은 것이 사실이나 취입보의 경우는 관개용수의 반복이용과 관련이 있어 반복이용율을 계산하기 위해서는 필수적으로 조사해야 한다. 하지만 취입보와 관정은 그 개수가 많고 양을 측정하기도 어려우며, 특히 유량측정 및 운영기록을 확보하기 어려운 것이 현실이기도 하다. 보조 수원공의 취입보 측정항목은 시간(년, 월, 일), 취입수문크기, 설계취입수량, 취입보 높이, 취입보 넓이, 취입보 형식, 취입수문 작동일지 등이며, 관정의 경우는 시간(년, 월, 일), 사용전력량, 양수기용량, 양수기형식, 양수량, 양수시간 등이다.

## 나. 송수시설

송수시설은 수원공으로부터 공급된 농업용수를 수혜구역에 배분하는 역할을 한다. 송수시설에는 용수로와 물 배분을 위한 조절장치로 구분되는데, 용수로는 사용재료와 형식에 따라 토공수로, 라이닝수로, 개거로 나눌 수 있다. 송수시설에서의 측정항목은 주로 송수손실량과 배분된 유량을 측정하기 위한 것으로서 수로형식, 설계통수용량, 실제 통수량, 유속, 수위, 수로경사, 수위-유량관계, 수로일지 등이 있다.



<그림 4-5> 저수지 조사항목 선정을 위한 저수지 물수지 개념도

#### 다. 수혜구역

수혜구역에서의 농업용수 사용량은 실제로 작물재배에 사용되는 양으로서 중요한 모니터링 항목이다. 수혜구역에서의 농업용수 사용량은 용수량 개념으로 접근하면 필지용수량, 순용수량 그리고 조용수량으로 구분할 수 있다. 필지용수량을 산정하기 위해서는 시간(년, 월, 일), 경위도, 침투량, 증발산량, 유입량, 유출량, 강수량, 재배관리용수량 등을 측정해야 한다. 순용수량을 계산하기 위해서는 필지용수량에서 유효우량을 계산하여 산정할 수 있으며, 조용수량은 시간(년, 월, 일), 시설관리용수량(송수손실, 배분관리, 시설유지용수량)을 측정하여 계산한다.

## 4.2.4 이용량 조사방법

### 가. 대상수원공의 종류

본 연구에서 농업용수 이용량 조사 대상 수원공은 저수지와 양수장 그리고 취입보와 관정으로 한정하도록 한다. 이는 우리나라 90% 이상의 농업용수 이용량이 위에서 언급한 3가지 수원공으로 공급되기 때문이다.

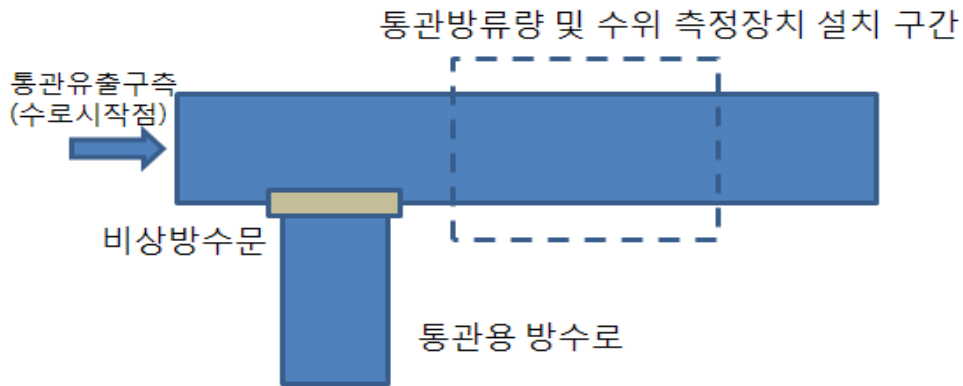
### 나. 수원공별 이용량 조사

#### 1) 저수지

농업용 저수지의 농업용수 이용량은 일별 또는 순별 운영 자료를 이용하여 조사할 수 있다. 한국농촌공사의 지사에서는 관할 저수지의 운영·관리를 위하여 물관리 인원을 배치하고, 저수량, 저수율, 관개시간 등의 자료를 수집하고 있으며, 시설물의 관리대장을 보유하고 있다. 저수율 자료는 저수지 시스템의 입·출력을 추적할 수 있는 기초자료로서, 이용량 조사를 위한 기본 자료로 이용할 수 있다.

저수지의 농업용수 이용량은 관개를 목적으로 급수한 취수량을 조사하여 산정할 수 있다. 농업용 저수지의 저수위는 관개 초기에 대부분 만수위를 유지하며, 관개가 시작되면 용수 공급으로 인하여 수위가 낮아지게 되어 6월 말경에 최저 수위를 보이는 경향이 있다. 7월 이후에는 상대적으로 강우량이 많아지고 용수 공급량이 줄어들어 수위는 다시 상승하고, 다음해의 봄까지 만수위를 유지하게 된다. 위에서 언급한 취수량이란 취수탑에 의해 취수된 물이 통관을 통하여 용수로로 흘러나가는 양으로, 대부분 관개를 위한 관개용수이며, 홍수시에는 저수지 수위조절을 위하여 하천 방류를 실시하는데 이는 <그림 4-6>에서 나타난 것 같이 비상방수문을 통하여 하천으로 방류하게 된다. 통관을 통한 저수지 방류는 물관리 요원의 취수문 조절에 의해 이루어지는 데, 농부들의 영농활동을 위하여 이른 아침부터 저녁까지 관개를 하는 것이 일반적이다.

- 측정내용 : 저수지 취수량
- 측정목적 : 저수지에서 관개를 목적으로 취수하여 통관을 통해 수혜지역에 공급되는 총량을 측정하기 위하여 실시한다.
- 측정주기 : 관개기 동안 시간별, 일별
- 측정방법 : <그림 4-6>에서 보는 바와 같이 비상방수문 하류부에 수위계를 설치하여 유량을 측정하는데, 이는 수위별 유속을 측정하여 얻어진 수위-유량곡선식을 이용하여 유량을 계산할 수 있다. 수위 측정지점에는 별도로 유량측정 장치를 이용하여 유량을 계산할 수 있으며 주로 이용되는 것이 파살플룸 (Farshall Flume)이다.
- 주의사항 : 수위 측정 상하류부에 퇴적 등으로 수위 측정 구간에 영향을 미치지 않도록 관리되어야 한다.



<그림 4-6> 통관취수량 측정장치 설치 장소

## 2) 양수장

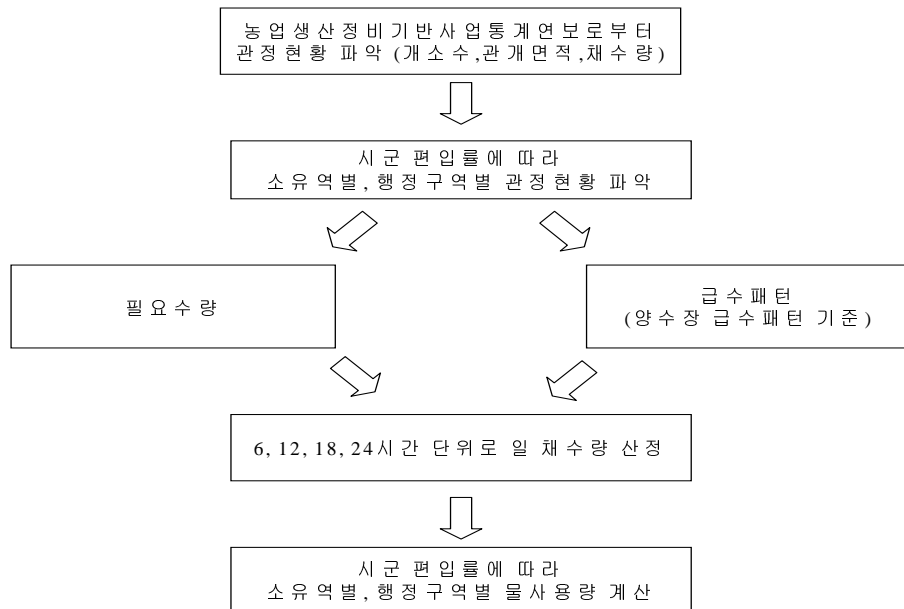
양수장은 하천, 담수호, 저수지 등의 물을 양수하여 공급하는 수원공으로서 지형을 극복하여 수원보다 고지대에 관개를 실시할 수 있으며, 취수량을 자유로이 조절할 수 있다. 농업용수 공급을 위한 양수장은 주 수원공으로 사용되는 대규모 양수장은 대부분 한국농촌공사가 관리하고 있으며, 관개 구역내에서 용수의 재이용을 위하여 소규모 양수장이 이용되고 있는 사례도 있다. 한국농촌공사 지사에서는 양수시간, 전력사용량, 또는 양수량 등을 수집하여 기록한 운영일지를 지사 또는 출장소별로 보관하고 있으며, 이를 이용하여 과거의 사용량을 조사할 수 있다.

- 측정내용 : 양수장 양수량
- 측정목적 : 양수장에서 관개를 목적으로 취수하여 수혜지역에 공급되는 총량을 측정하기 위하여 실시한다.
- 측정주기 : 관개기 동안 시간별, 일별
- 측정방법 : 양수장에서 수로가 시작되는 지점에 저수지의 취수량을 측정하는 방법과 같이 수위계를 설치하여 수위를 측정하고 이를 이용하여 유량을 측정할 수 있다. 이는 수위별 유속을 측정하여 얻어진 수위-유량곡선식을 이용하여 유량을 계산할 수 있다. 수위 측정지점에는 별도로 유량측정장치를 이용하여 유량을 계산할 수 있으며 주로 이용되는 것이 파살플름 (Farshall Flume)이다. 또한 양수량은 양수기의 운전 시간과 양수기의 양수용량을 가지고 추정할 수 있으며, 이 때 계산된 양수량과 수로에서 측정된 유량을 비교하여 정확도를 검증할 필요가 있다.
- 주의사항 : 수위 측정 상하류부에 퇴적 등으로 수위 측정 구간에 영향을 미치지 않도록 관리되어야 한다.

### 3) 관정

관정은 지하수를 양수하여 농업용수로 이용하기 위하여 설치되는 수원공 시설로써, 일반적으로 수 ha미만의 좁은 관개면적에 급수하며, 가뭄 등으로 인하여 지표수의 이용이 불가능한 경우에 많이 설치되고 있다. 관정에 의한 관개면적은 전체 논면적의 2%정도로 매우 적으나, 최근에는 시설원예단지의 용수 공급이나 가뭄대책의 일환으로 그 수가 매년 증가하는 추세에 있다. 따라서 지하수의 관리 및 수자원의 계획, 관리를 위해서는 관정에 의한 사용량의 조사가 필요하다. 조사 자료에 의한 관정의 사용량 산정은 <그림 4-7>을 참고로 한다.

- 측정목적 : 관정에서 관개를 목적으로 취수하여 수혜지역에 공급되는 총량을 측정하기 위하여 실시한다.
- 측정주기 : 관개기 동안 시간별, 일별
- 측정방법 : 관정으로부터 공급되고 있는 농업용수 사용량은 한국농촌공사 지사 및 시·군의 과거 운영 자료를 이용하여 간접적으로 조사할 수 있다. 이러한, 관정의 과거 운영 자료는 설계 제원이나 개보수 관련 현황이 대부분이며, 채수기록 등과 같은 사용량 자료는 거의 없는 실정이다. 관정에 대한 자료는 소재지, 관개면적, 설계 채수량 등의 시설물 관리대장에 의한 수원공 제원 관련 자료가 대부분이며, 채수실적과 같은 사용량 자료는 없는 실정이다. 관정 사용량은 이용 가능한 이러한 설계 제원을 이용하여, 간접적으로 추정할 수 있다. 따라서 관정의 설계제원, 필요수량 및 관개급수패턴을 이용하여 간접적으로 산정하여야 한다.



<그림 4-7> 관정의 사용량 계산 흐름도(한강유역 농업용수 실제사용량 조사 및 회귀수량 조사 보고서, 1998)

#### 4) 취입보

취입보는 하천수나 관개수가 하천으로 회귀한 물을 재이용하기 위해 취수하여 농업용수로 이용하기 위한 수리시설물로, 하천의 수위를 높여 취수문으로 취수 중력수의 형태로 하류의 관개지구로 물을 공급하는 시스템이다. 보는 비교적 건설비가 적게 들고, 시설물의 설치가 용이하기 때문에 오래전부터 소규모 지구의 관개수단으로 많이 이용되어 왔다. 보는 하천의 유량에 따라 취수에 제한을 받게 되는 특징을 가지고 있다. 풍수기와 같이 하천 유량이 풍부한 시기에는 취수에 제한을 받지 않기 때문에 필요한 양보다 많은 양의 물을 취수하며, 갈수기에는 하천 유량이 부족하여 취수를 하지 못하거나 필요한 수량보다 적은 양을 취수하여 한해 피해를 겪기도 한다.

한국농촌공사의 지사 및 시·군에서 관리하고 있는 보의 과거 운영자료는 설계 제원과 개·보수 상황 등 시설물 관리자료가 대부분이며, 하천 취수량등의 자료는 없는 실정이다. 따라서, 하천에서 보에 의한 사용량은 작물의 필요수량과 하천의 수위를 고려하여 산정하여야 한다.

- 측정내용 : 취입보 취수량
- 측정목적 : 취입보에서 관개를 목적으로 취수하여 수혜지역에 공급되는 총량을 측정하기 위하여 실시한다.
- 측정주기: 관개기 동안 시간별, 일별
- 측정방법: 취입보에서 수로가 시작되는 지점에 수위계를 설치하여 수위를 측정하고 이를 이용하여 유량을 측정할 수 있다. 이는 수위별 유속을 측정하여 얻어진 수위-유량곡선식을 이용하여 유량을 계산할 수 있다. 수위 측정지점에는 별도로 유량측정장치를 이용하여 유량을 계산할 수 있으며 주로 이용되는 것이 파샬플럼 (Farshall Flume)이다.
- 주의사항: 수위 측정 상하류부에 퇴적 등으로 수위 측정 구간에 영향을 미치지 않도록 관리되어야 한다.

### 다. 관개지역 이용량 조사

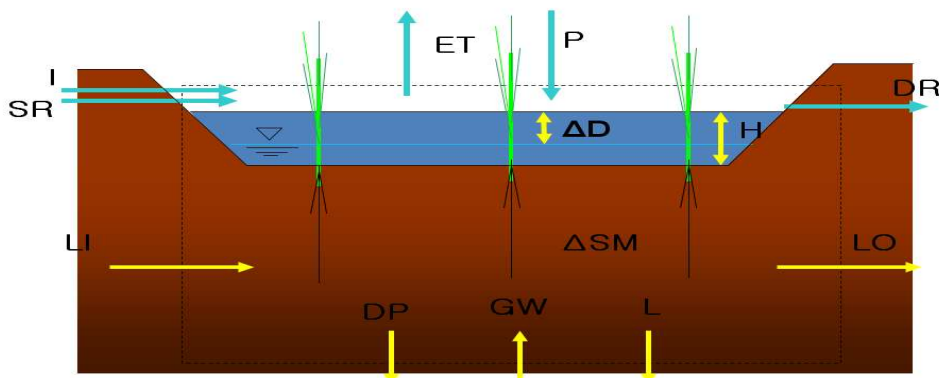
용수량은 크게 포장(圃場)단계, 지구(地區)단계 및 광역단계로 나누어 생각할 수 있다. 여기서 지구라고 하면 여러 개의 포장으로 된 논군(群)을 말하며, 광역은 용수의 반복이용이 있는 넓은 지구를 말한다. 논용수량은 <표 4-11>과 같이 구성되는데 포장단계에서의 포장단위 용수량과 순용수량, 지구단계에서의 조용수량, 광역단계에서의 광역 용수량으로 구성되어 있다. 또한 관리 용수량이 존재하는데, 이것에는 포장단계에서의 재배관리 용수량과 용수로 단계에서의 시설관리 용수량이 있다. 용수량의 종류 및 정의는 <표 4-11>과 같이 정리 할 수 있다. 논에서의 용수량은 이앙기와 이앙기 이후의 관개기인 평상시(본답기)에 있어서 매우 다르게 나타나는데, 필지용수량, 순용수량, 조용수량은 평상시의 용수량에 해당한다(정하우 등, 2006).

<표 4-11> 이용량 조사를 위한 용수량의 종류(정하우 등, 2006)

용수량 명	정 의
필지용수량	단위논(필지)에서 정상적인 벼의 생육에 필요한 수량
순용수량	단위논에서 벼의 재배를 위해 인위적으로 공급할 수량
조용수량	말단포장에 순용수량을 공급하기 위해 수원공에서 취수할 수량
광역 용수량	용수의 반복이 이루어지고 있는 광역의 논지구에서 필요한 수량
재배관리 용수량	단위논에서의 재배관리를 위해 필요한 수량
시설관리 용수량	논지구에서의 송수, 용수의 배분 및 시설유지 등을 위해 필요한 수량

1) 필지용수량

평상시에 있어 서 단위논(筆地)에서 취수된 용수는 <그림 4-8>과 같이 증발산, 침투 및 낙수에 의하여 논으로부터 빠져나간다.



<그림 4-8> 논에서의 물수지

여기서, I : 관개량, ET : 증발산량, P : 강수량, SR : 지표유입량, DR :배수량, H : 물꼬 높이,  $\Delta D$  : 감수심, LI : 지하수유입량, LO : 지하수유출량,  $\Delta SM$  : 토양수분변화량, DP : 지하침투량, GW : 모관상승량, L : 제염용수량

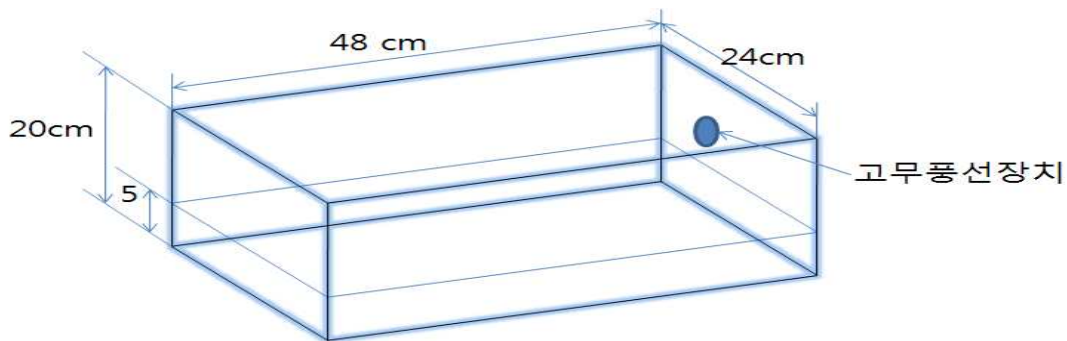
필지용수량(筆地用水量)은 단위논에서 벼의 재배에 필요한 용수량을 말하며 단위면적 당의 유량( $m^3/s/ha$ )이나 1일 수심( $mm/d$ )으로 표시된다. 필지 용수량은 감수심과 재배관리 용수량으로 구성된다.

$$\text{필지 용수량} = \text{감수심(증발산량 + 침투량)} + \text{재배관리 용수량}$$

가) 단위논의 감수심의 측정

논둑으로 둘러싼 한 필지의 논에서 측정된 감수심을 말한다. 측정기간 중에는 시험 논으로의 물의 출입이 있어서는 안 된다. 농가가 아침 또는 저녁에 취수하는 경우에는 하루종일 감수심을 측정하는 것이 아니라 저녁부터 아침까지 혹은 아침부터 저녁까지 반일(半日)간의 감수심을 측정하고 여기에 증발산량의 일변화를 고려하여 일감수심을 산정한다. 측정은 원칙적으로 2년 이상 실시하며 감수심의 측정수는 지구의 면적에 따라 변하나, 100ha당 3~5점 정도가 바람직하다. 예를 들면 100ha 이내인 경우에는 20~30ha당 1점, 100~300ha의 경우에는 50ha당 1점, 300ha 이상의 경우에는 100ha당 1점의 감수심을 측정하도록 한다(정하우 등, 2005).

논에서의 감수심 측정은 <그림 4-9>과 같은 N형 감수심 측정장치를 이용한다. N형 감수심 측정장치는 크기가 24×48cm의 장방형의 바닥이 없는 상자로서 논에 5cm의 깊이로 박아 상자 내의 담수심의 감소를 측정한다. 상자의 측면에는 고무풍선을 설치하여 상자의 내외에 수위차가 생기지 않도록 한다. 한 필지 논의 감수심에 비하여 보다 좁은 면적의 감수심을 측정하는 것이 된다(정하우 등, 2006).



<그림 4-9> N형 감수심 측정장치

- 측정내용 : 감수심
- 측정목적 : 단위논에서 감수심을 측정하기 위하여 실시한다.
- 측정주기 : 관개기 동안 시간별 또는일별
- 측정방법 : 시간별 또는 일별로 감수심 측정장치의 수위를 측정하여 전일 또는 전시간과의 차이를 계산하여 측정한다.
- 주의사항 : 강우 영향을 고려할 수 있도록 강우계와 같이 설치하여 강우량을 제하여 감수심을 측정할 수 있도록 한다.



### 나) 재배관리 용수량의 측정

논에서의 재배관리를 위하여 필요한 용수량을 말하며 이것은 강제낙수와 자연낙수로 구성된다. 강제낙수는 인위적으로 낙수하는 것으로서 여기에는 이앙 후의 낙수, 중간낙수, 시비·제초·약제 살포를 위한 낙수, 냉해방지를 위하여 야간에 침수(深水)한 후 주간에 천수(淺水)하는 경우 발생하는 낙수 등이 있다. 자연낙수에는 담수유지를 위한 내리흘림식 관개나 강우시의 무효방류에 의한 지표유출 등이 있다. 재배관리 용수량은 3.5mm/일 필지 용수량의 약 20%를 차지한다. 이와 같은 재배관리 용수량의 측정은 낙수 직전의 담수심을 측정하여 담수심을 재배관리 용수량으로 산정할 수 있다.

### 2) 순용수량

순용수량은 논에 인위적으로 공급하여야 할 용수량을 말하며 다음과 같이 구성된다.

$$\text{순용수량} = \text{필지 용수량} - \text{유효우량}$$

### 3) 조용수량의 측정

조용수량은 말단포장에 순용수량분의 물을 공급하기 위하여 수원공 지점에서 취수하여야 할 용수량을 말하며, 순용수량에 시설관리 용수량을 더하여 구한다.

$$\begin{aligned} \text{조용수량} &= \text{순용수량} + \text{시설관리 용수량} \\ &= \text{순용수량} + (\text{송수 손실 수량} + \text{배분관리 용수량} + \text{시설유지 용수량}) \\ &= \text{순용수량} / (1 - \text{시설관리 손실률}) \end{aligned}$$

여기서 시설관리 용수량은 송수 손실 수량, 배분관리 용수량 및 시설유지 용수량으로 구성되며, 시설관리 손실률은 조용수량에 대한 시설관리 용수량의 비를 말하며 약 20~30%를 나타낸다. 송수 손실 수량과 배분관리 용수량 및 시설유지 용수량은 용수로의 종류, 노후도 그리고 용수로의 구성에 따라 지역적으로 다른 값을 가질 수 있으며, 이를 측정하기 위해서는 용수로의 구간별 유량과 말단유량 등을 측정하여 산정할 수 있다. 송수 손실수량은 수원으로부터 말단포장까지 용수를 송수하는 과정에서 증발산 및 수로로부터의 침투에 의하여 손실되는 수량을 말한다.

배분관리 용수량은 용수의 원활한 배분관리를 위하여 여분으로 공급하는 수량을 말한다. 배분관리 용수에는 ① 수로수위유지 용수, ② 배분균등화 용수, ③ 수질보전 용수 등이 있는데, 이것은 개수로나 관수로에 관계없이 조용수량의 5~10% 정도로 간주한다. 그러나 수원이 풍부한 대구획의 논지구에서는 30%가 넘는 값도 보고되고 있다. 또한 수로수위 유지용수는 수로수위유지 용수는 수로로부터 각 포장으로 취수하기 위한 수위를 유지하는 데에 필요한 용수를 말한다. 배분균등화 용수는 각 포장의 필요수량을 전부 만족

할 수 있도록 송수하기 위하여 필요한 여유수를 말한다.

#### 4) 시기별 용수량 측정

논에서 사용하는 용수를 시기별로 구분하면 못자리 용수량, 이앙용수량 그리고 본답기 용수량이 있다. 못자리(상자육묘) 용수량은 못자리를 정지하는 기간으로부터 이앙하기 전까지 소모되는 용수량을 말한다. 못자리 육묘방식은 상자육묘와 포장모판육묘인 경우로 구분되는데, 최근 육묘방식은 포장모판육묘로부터 상자육묘로 변경되고 있다. 육묘기간은 어린모는 8~10일, 치묘(稚苗)는 15~20일, 중묘는 30~35일, 성묘는 35~45일로 하는데, 상자육묘에서 20~30일 묘인 경우에 육묘상자(30×60cm) 1개는 본답 10평(33m<sup>2</sup>)에 해당되어 파종면적은 본답면적의 1/180 이하로 작게 된다. 한편, 포장모판육묘에서 성묘이앙인 경우에는 본답면적의 1/20이 된다. 따라서 계획지구의 육묘방식에 적합한 못자리 용수량을 확보할 필요가 있다.

씨레질 용수량은 씨레질로부터 이앙까지 필요한 용수량을 말한다. 씨레질은 수확 후 발상태로 있던 논에 담수하여 토양과 물을 개서 모내기를 용이하게 하고 누수를 방지할 목적으로 실시하는데 단기간에 다량의 물이 필요하게 된다. 씨레질 용수량은 씨레질 후의 평상시 용수량에 비하여 총량은 작지만, 최대 용수량을 나타내기 때문에 용수 계획상 중요한 수량이 된다.

이앙기용수량 산정은 일정 깊이의 토양 중에 포함된 공기를 물로 바꿔 논바닥 위에 담수하기 위해 필요한 수량을 계산하면 된다. 이를 공식으로 나타내면 건조한 논바닥에 처음으로 관개하는 경우의 씨레질 용수량의 내용은 다음과 같이 구성된다.

씨레질 용수량 = 담수심(A) + 작토층의 공기치환량(B) + 심토층의 공기치환량(C) + 수면증발량(D) + 강하침투량(E) + 횡침투량(F)

여기서, A는 논을 씨린 직후의 평균 담수심으로서 그 양은 30~50mm이다. B는 약 3% 정도의 공기를 남기고 포화하는 데 필요한 수량이며 C는 경반을 포함한 심토층 전체의 공기치환량에 해당한다. D는 논을 씨리는 동안의 증발량으로서 5mm 정도이다.

시기별 용수량을 측정하기 위해서는 필지를 선정 후 못자리와 씨레질을 하기 위해 필지로 유입된 유량을 측정함으로써 산정할 수 있다. 필지로 유입되는 유량은 삼각웨어나, 사각웨어나 또는 유량계 등을 사용하여 측정할 수 있다.

## 라. 작물소비수량

### 1) 개념

작물소비수량은 작물이 사용하는 물의 양으로서 증발산량과 작물의 생체에 축적된 수분량을 합쳐서 산정할 수 있으며 대부분 작물의 증발산량을 작물소비수량으로 산정한다.

증발산량(evapotranspiration :  $ET$ )은 증발을 일으키는 기상상태와 물을 소비하는 작물과 포장상태에 따라 결정된다. 논에서의 증발산량은 단위 구획의 논에서 순수히 소비되는 기본적인 양으로 식물체가 체표면으로부터 방출하는 수분량인 증산량과 경지 (혹은 담수)면으로부터 증발하는 수분량인 증발량으로 구성된다. 증발산량은 벼가 성장함에 따라 점점 증가하여 생육단계가 다르더라도 7월 하순~8월 상순에 최대값을 보이고 생육단계의 차이보다는 기상조건에 의해 크게 영향을 받는다. 관개기간의 총 증발산량은 관개기간을 100일로 한 경우 440~550mm 정도이며 1일 평균량은 4~5mm, 1일 최대량은 8.5mm이다.

잠재증발산량(potential evapotranspiration :  $PET$ )은 증발산위(蒸發散位)라고도 하며, 초장(草丈)이 짧은 식물로 완전히 덮은 지표면에 물의 공급이 충분한 경우에 손실되는 증발산량을 말한다. 따라서 잠재 증발산량은 주어진 기상, 지형의 조건 하에서의 증발산량의 최대값을 의미한다. 또한 기준작물증발산량(reference evapotranspiration :  $ET_r$ )은 충분한 물의 공급이 있을 경우에 기준작물(알팔파나 잔디)에 의하여 손실되는 증발산량을 말하며, 일반적으로 잠재 증발산량을 대신하여 사용된다.

작물의 실제증발산량( $ET$ )과 잠재 증발산량( $PET$ ) 및 기준작물증발산량( $ET_r$ ) 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$ET = K_c \times (PET \text{ or } ET_r) \quad (4-1)$$

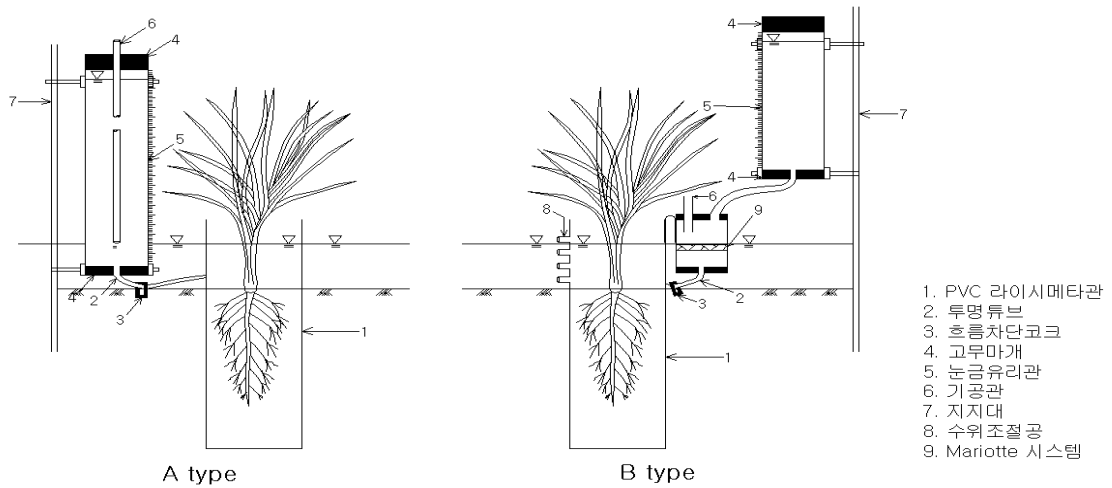
여기서,  $K_c$ 는 주어진 작물의 작물계수(crop coefficient)라고 하며, 잠재 증발산량에 대한 실제증발산량의 비를 나타낸다. 작물계수는 작물의 성장단계에 따라 변하여 초기에는 작으나 중기에 증가했다가 말기에 감소하는 경향이 있다. 또한 작물계수는 일반적으로 기온이 높거나 건조하고 바람이 있는 기후에서는 높고, 기온이 낮거나 습윤한 기후에서는 낮다.

### 2) 증발산량의 산정과 추정

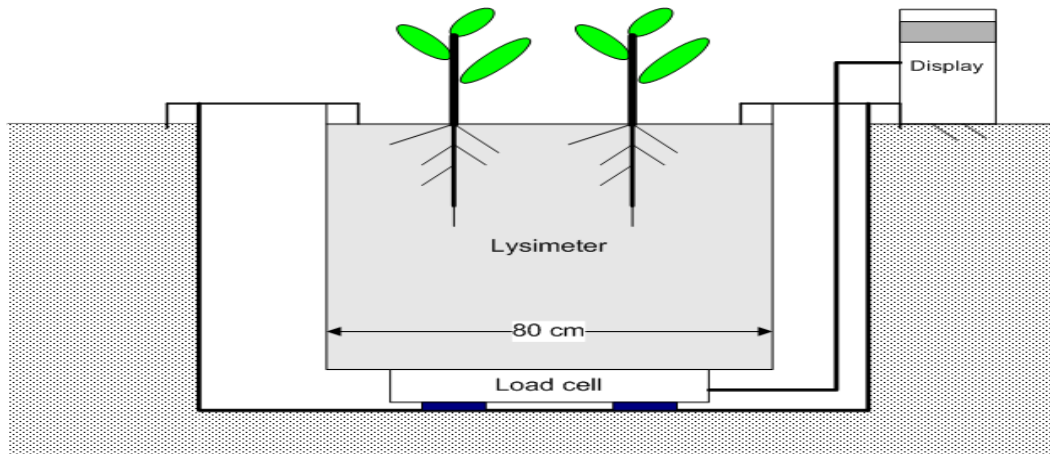
증발산량을 산정하는 방법에는 라이시미터법(lysimeter method), 증발계법, 기상 자료를 이용하는 Blaney-Criddle법, 수정 Penman법, Penman-Monteith 법 등이 있다. 이 중 현장에서 측정가능한 라이시미터법은 다음과 같다.

라이시미터법은 많은 종류가 있는데, 증발산량 측정법으로서는 정확도가 높은 방법이

다. 측정 지역 내에 토양 탱크를 매설하고, 작물을 심어 탱크 내의 물수지를 측정함으로써 직접 증발산량을 측정하는 방법이다. 탱크는 작물의 크기나 식재 방법에 맞는 면적이거나 형태를 갖는 것을 선택한다. 또한 작물의 생육이 가능한 주위와 같게 토양의 수분관리를 할 필요가 있다. 여기에는 부유(floating)식과, <그림 4-10>과 같은 소형라이시메타, 그리고 <그림 4-11>은 같은 저울(weighing)식이 있다.



<그림 4-10> 벼 소비수량 측정을 위한 소형 라이시메타



<그림 4-11> 벼 소비수량 측정을 위한 Weighing 라이시메타

- 측정내용 : 작물 소비수량
- 측정목적 : 벼의 작물 소비수량을 측정하기 위하여 실시한다.
- 측정주기 : 관개기 동안 시간별 또는 일별
- 측정방법 : 물수지 분석법, 라이시미터법이 있으며 시간별 또는 일별로 물수지를 분석하거나 라이시미터의 수위감소나 무게를 측정하여 전일 또는 전시간과의 차이를 계산하여 측정한다.
- 주의사항 : 강우 영향을 고려할 수 있도록 강우계와 같이 설치하여 강우량을 제하여 소비수량을 측정할 수 있도록 한다.

#### 4.2.5 수리불안전답에 대한 이용량 산정

수리불안전답은 관개시설로부터 용수를 공급받지 못하는 논으로서 가뭄에 취약하며 필요수량을 주로 강우나 계곡수, 소류지 등으로부터 공급받는다. 수리불안전답은 수원공으로 부터 용수를 공급받지 않기 때문에 사용량 측정이 어려울 뿐 만 아니라 기상조건 등에 의해 많은 영향을 받으므로 정확한 이용량 산정이 어렵다.

수자원장기 종합계획에서는 당일의 필요수량을 수리불안전답의 수요량으로 산정하였으나 이는 실제 이용량으로 보기는 어려우며, 한강유역 실제 사용량 조사에서는 수리불안전답의 경우 수리안전답 사용량의 65~70%를 적용 전체로 수리답 수요량의 65%를 적용하여 산정하였다. 하지만 수리불안전답의 경우 주로 강우에 의존하고 계곡수나 샘물을 보조적으로 사용한다고 했을 때 강우의 유효수량과 필요수량을 조합한 물수지 분석으로 계산하여 활용하는 것이 합리적인 접근 방법이라고 판단된다.

수리불안전답에서의 용수이용량에 대한 정량화 방법은 또 하나의 과제로 지속적인 연구 및 신뢰성을 확인할 수 있는 검증체계 계획과 병행하여 직접 논에서의 장기적인 계측자료가 필요할 것이다.

<표 4-12> 수리불안전답의 사용량 계산 방법

출처 및 년도	산정방법	비고
수자원 장기 종합계획(2006)	당일의 필요수량	
한강수계 농업용수 실제 사용량 조사(1998)	수리안전답 사용량의 65~70%	
본 연구	유효수량을 고려한 논 물수지	

논의 물꼬 논에서의 유효우량은 포장의 물꼬관리에 따라 변화하는데, 일 강우량이 물꼬높이 이상이면 유효우량은 물꼬높이까지의 강우량이 되나 전일의 담수심이 물꼬높이를 유지하고 있는 경우는 유효우량이 없게 되므로, 유효우량의 산정을 위하여 담수심의 변화를 고려해야 한다.

유효우량 산정을 위한 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서의 물수지식을 이용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Re = D_t - D_{t-1} - REQ(t) + U_t \quad (4-2)$$

여기서,  $D_t$ =t일의 담수심(mm),  $D_{t-1}$ =t-1일의 담수심(mm),  $Re$ =유효우량(mm) 및  $REQ(t)$ =t일의 필요수량(mm)으로서 관계한 수량 등이다. 일일 감수심  $U_t$ 는 다음 식으로 표시된다.

$$U_t = ET_a + I \quad (4-3)$$

여기서,  $ET_a$ =실제 증발산량,  $I$ =일 삼투량(mm) 등이다.

논에서의 담수심의 변화는 물수지식에 의해 다음과 같이 계산할 수 있으며, 가정한 물꼬높이  $D_{max}$  및 관리 담수심  $D_{min}$ 으로부터 당일의 필요수량과 유효우량을 계산한다. 수리불안전답의 관계량  $REQ(t)=0.0$  이므로

$$D_{t-1} + R_t - U_t \geq D_{max} \text{이면, } Re' = D_{max} - D_t + U_t \quad (4-4)$$

여기서,  $R_t$ =t일의 강우량이며,  $Re'$ =유효가능우량(potential effective rainfall)이고, 다음 식에 의해 유효우량으로 변환된다.

$$R_t \geq Re' \text{ 이면 } Re = Re' \quad (4-5)$$

$$R_t < Re' \text{ 이면 } Re = R_t \text{ 이 된다.} \quad (4-6)$$

따라서 수리불안전답에서의 용수 이용량은 벼의 생육기 동안 강우의 유효우량을 고려하여 산정한다.

## 4.3 농촌용수 이용량 모니터링 조사

### 4.3.1 농업용수 이용량 측정지역

#### 가. 기초조사

전국적으로 실시될 농업용수이용량 조사는 대부분 수원공 시설을 운영하고 있는 지역을 대상으로 이루어질 수 있다. 또한 이와 같은 농업용수 이용량 조사는 전국적으로 이루어진다 하더라도 수원공이 너무 많고 관개지역이 방대하여 전수조사를 하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

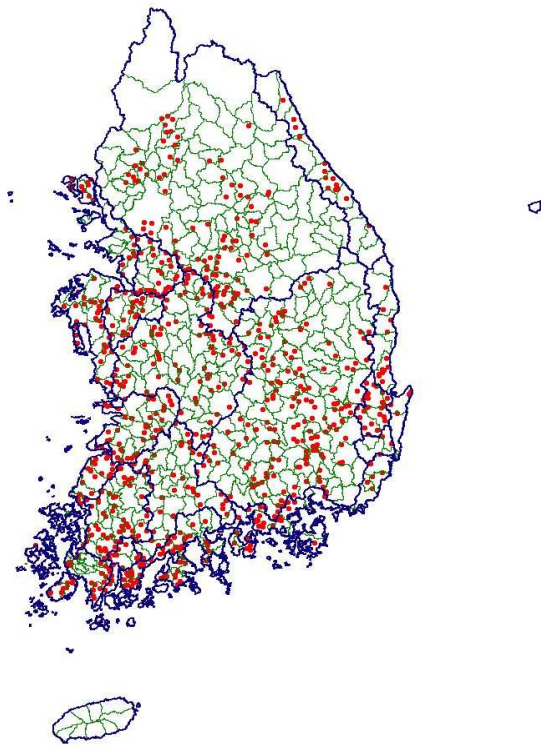
현재 농업용 저수지는 18,000여개에 이르고 있으며, 15,000여개는 유효저수량 100,000 이하의 저수지이며, 농촌공사가 관리하고 있는 저수지는 3,000여개가 되는 것으로 파악되고 있고, 이는 대부분 유효저수량 100,000 톤 이상의 저수지이다. 이중 농업용수 이용량 조사 사업의 대상이 될 수 있는 수원공은 유효저수량이 500,000 톤 이상 되는 저수지가 될 수 있을 것이다. 대상지역 선정시 고려할 사항은 다음과 같다.

- 1) 일정규모 이상으로 농업용수 공급이 원활하게 이루어지고 있는 지역
- 2) 중규모 정도의 저수지로서 전형적인 농업용수 공급 모델이 될 수 있는 지역
- 3) 운영 및 관리가 잘 이루어지고 있어 관련 자료의 확보가 원활하게 이루어질 수 있는 지역

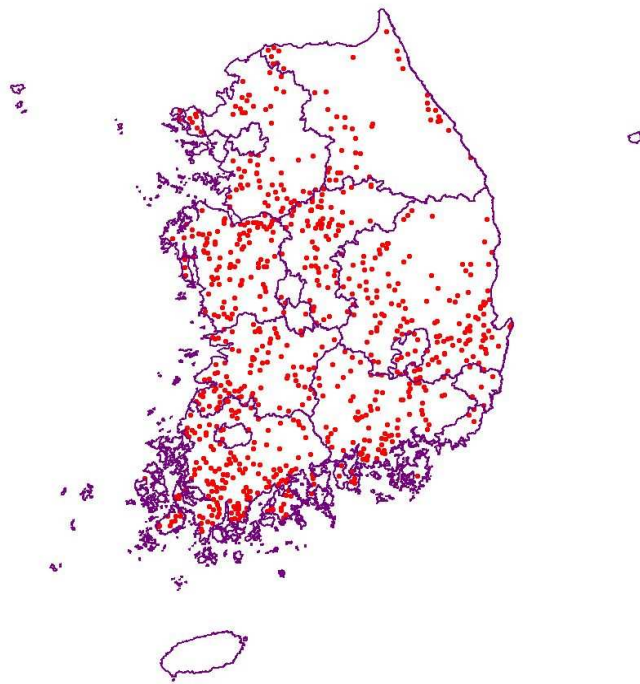
<그림 4-12>은 수문 단위도 대권역에 표시한 유효저수량 50만톤 이상의 저수지 위치도이며 <그림 4-13>는 도별 행정구역에 표시한 유효저수량 50만톤 이상의 저수지 위치도이다. 농업용수 이용량 조사의 기초자료 수집한 수치지도는 다음과 같다.

<표 4-13> 농업용수 조사를 위한 수치기초자료

이름	내용	축척	비고
수혜면적	수원공에 따른 관개지역, 양수량 등	1 : 25,000	
양배수장	양배수장 위치 및 이름, 관개면적, 저수량 등	1 : 25,000	
용수구역	464개 농촌용수 구역	1 : 25,000	
저수지	저수지 위치 및 이름 관개면적 등	1 : 25,000	
집수암거	집수암거 위치 및 이름 관개면적 등	1 : 25,000	
취입보	취입보 위치 및 이름 관개면적 등	1 : 25,000	
토양도	개략 토양도 및 정밀토양도	1 : 50,000, 1 : 25,000	

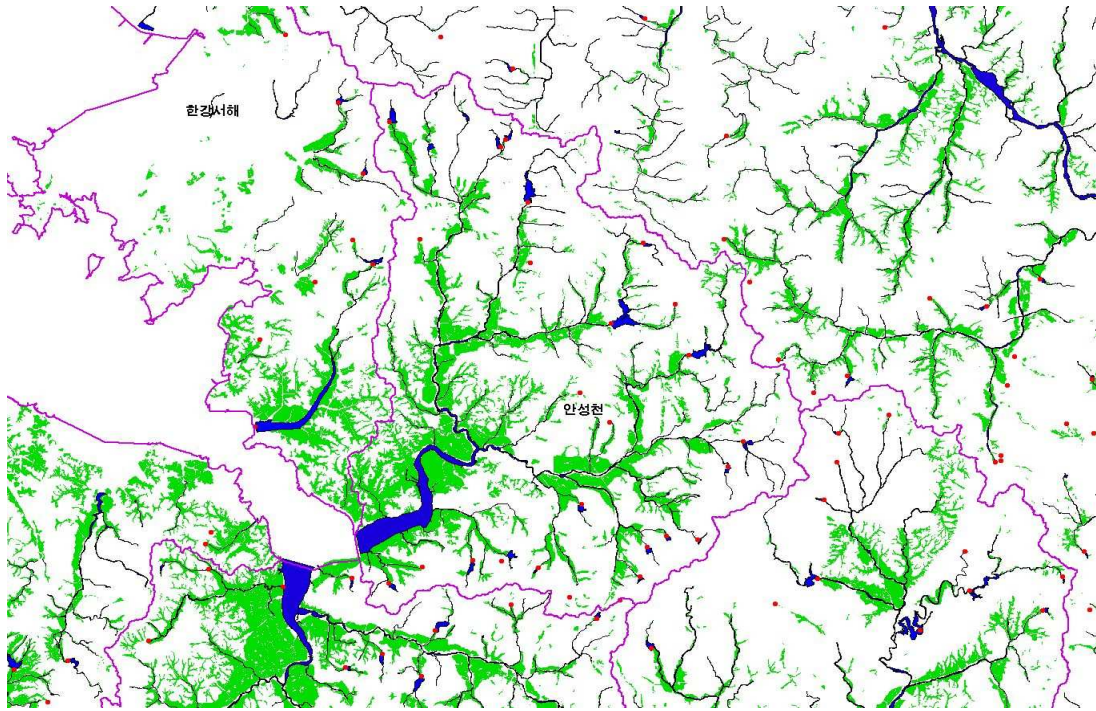


<그림 4-12> 수문단위도 대권역과 저수지 위치도(유효저수량 50 만톤 이상)



<그림 4-13> 행정구역별 저수지 위치도(유효저수량 50만톤 이상)





<그림 4-14> 안성천 유역의 저수지 수혜지역과 저수지 위치도

## 나. 조사지역 선정

### 1) 선정방법의 기본 전제

- 농촌용수 공급과 이용에 관한 개념에 일치하는 관개조직으로 구성되어 있으며, 물관리가 잘 이루어지고 있는 관개구역 (특이성의 배제)
- 5대강 수계와 농업지대구분 그리고 지역특성을 대표할 수 있다고 판단되는 관개구역 (대표성의 원칙)
- 현재 가용할 수 있는 인력과 비용으로 관개구역 전체에 대한 공간적 범위에서 농촌용수의 조사 항목에 대한 대부분 조사가 가능한 관개구역 (조사 능력)

한국농촌공사 지사 또는 시·군에서 관리하고 있는 수원공 관리 자료로부터 과거 농업용수 사용량을 추정하기 위하여 이들 과거 자료의 정확도를 파악하고, 이로부터 과거 운영 자료와 실제 사용량과의 관계를 분석하며, 그 결과로부터 추정된 물 사용량 자료의 질 조절과 확인(quality assurance and quality control, QAQC) 작업이 선행되어야 한다.

농업용수 이용량 조사 대상지구는 저수지와 양수장 지구를 대상으로 시험 지구를 선정하여 실시하는 것이 좋으며 대상 시험지구에 수문계측망을 구성하고, 현장 자료를 수집 분석하여 농업용수 이용량 계산에 활용하도록 한다.

시험 지구는 ① 관개 면적 ② 유역 면적 ③ 위치 ④ 용수로 등 주요 수리시설 ⑤ 기존의 관리/운영 실태 등의 제인자를 고려하여 선정할 수 있다. 이중 관개면적은 100ha이하의 소규모 저수지 혹은 소류지가 전체 저수지 중 상당부분(약 80%이상)을 차지하고 있으며, 취수량이 많지 않으며 주로 보조수원공으로 이용되는 경우가 많고, 용수로의 정비나 관리가 미비한 지역은 시험지구로 선정하지 않는 것이 좋다.

따라서 관개면적이 500 ha 내외의 저수지나 양수장 지구로 선정하는 것이 좋을 것이다. 특히 양수장은 ① 관개면적 ② 양수기 제월 ③ 위치 ④ 취입 하천 ⑤ 기존의 관리/운영 실태 등을 고려하여 선정하는 것이 좋다(한강수계 농업용수 실제 사용량 조사, 1998).

## 2) 시험지구의 선정

### 가) 선정기준

농업용수의 사용량 조사를 위한 시험지구는 우리나라의 논 관개지구의 보편적인 특징을 잘 나타낼 수 있으며, 관개면적이 소규모이고 동일한 영농방식과 용수이용 특성을 가지고 있으며, 단일 용수원으로부터 관개수를 취수하고, 용수계통이 단순하여 물이용 현황의 파악이 용이한 곳이어야 한다. 또한, 배수량의 산정을 위하여 하천 유량의 측정이 용이하고, 지구내에 시설원예단지과 집단시설이 존재하지 않는 곳이어야 한다.

그러나, 시험지구의 선정에 있어서 위에서 언급한 여러 가지 조건을 만족하는 지구를 선정하는 것은 매우 어려운 실정이며, 선정기준을 고려하여 가능한 후보지를 몇 군데 선정하고, 선정된 후보지 중에서 현장답사와 기존의 자료를 기초로 하여 사용량 측정 대상 지역을 선정하도록 한다.

### 나) 시험지구의 선정

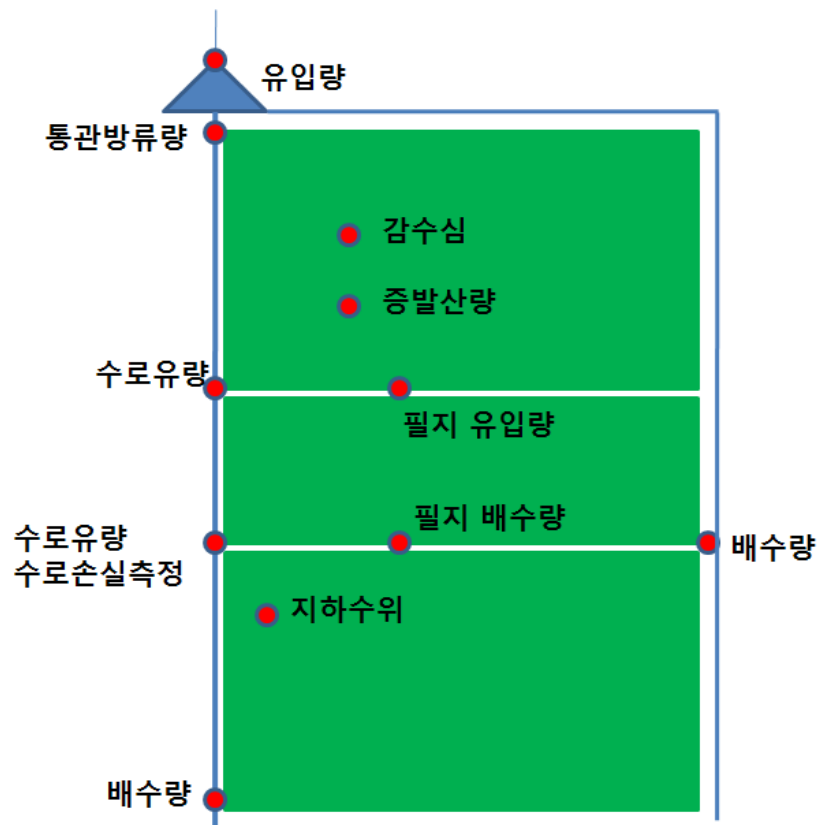
시험지구를 선정하기 위하여 1/50,000, 1/25,000 등의 지형도와 한국농촌공사 관련 자료를 이용하여 후보 지구를 선정한다. 이들 후보 지구는 수원공의 종류, 관개면적, 위치 및 교통적인 접근용이성 등을 기준으로 하여 1차적으로 선정하고, 한국농촌공사의 시설물 관리대장 및 운영일지를 이용하여 대체적으로 관리실태가 양호한 지구를 중심으로 선정한다.

시험지구는 예비조사로부터 선정된 지구에 대한 현장 답사를 통하여 최종적으로 결정한다. 현장답사는 위에서 열거한 시험지구의 선정기준에 대한 평가와 지구내의 시설원예단지나 축사등의 존재 여부 및 계측시설의 설치 등을 고려하였다.

다) 수문계측망의 구성

농업용수의 수문과정은 단순히 유입량에 비례하는 선형적 관계를 가지는 것이 아니라, 시간적, 공간적으로 다양한 수문인자, 지상인자, 용·배수조직, 영농관리인자 등에 의해서 지배되므로 정밀한 계측망을 구성하여야 한다. 수문요소를 모니터링하기 위한 요소를 살펴보면, 수원공 취수량, 배후유역으로부터의 지천유입량, 지표배수량 및 하천의 상·하류 유입량이 있으며, 이외에도 지하수 유출량을 조사하기 위한 지하수위 등이 있다.

그러나, 시험지구에 대하여 모든 수문요소의 입·출입을 조사하기에는 경제적으로나 현실적으로 어려운 실정이므로, 각 수문요소의 연계성과 시간에 따른 변이를 고려하여 최적의 계측망을 구성하여야 한다.



<그림 4-15> 농업용수 측정을 위한 측정 장치 설치 모식도

### 4.3.2 GIS를 이용한 가능지역 선정

전국적인 사용량 조사를 위해서는 지역별로 조사 지역을 선정하여 지속적인 모니터링이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 행정구역도와 중권역 수자원 단위도의 수문유역 이용하여 유효저수량 50만톤 이상의 저수지를 추출하여 정리하였다. 이와 같은 측정 가능 대상지역을 선정하기 위하여 행정구역도, 중권역 수문 단위도, 농촌용수 구역도, 50만톤 이상 저수지 위치도, 하천도, 농촌용수 수혜구역도의 수치지도를 이용하였다. 본 대상지역 선정을 위해서 앞에서 제시한 3가지 조건은 다음과 같다.

- 1) 일정규모 이상으로 농업용수 공급이 원활하게 이루어지고 있는 지역
- 2) 중규모 정도의 저수지로서 전형적인 농업용수 공급 모델이 될 수 있는 지역
- 3) 운영 및 관리가 잘 이루어지고 있어 관련 자료의 확보가 원활하게 이루어질 수 지역

<표 4-14> 수계별 유효 저수량 50 만톤 이상 저수지 현황

대권역	저수지 개수	저수지 이름
한강유역	35개	송면, 신항, 소수, 중산, 무극, 덕산, 두창, 모점, 백마, 용담, 홍업, 반계, 낙생, 백운, 금사, 청계, 오원, 생곡, 오남, 굴운, 대룡, 마장, 고모, 효촌, 월당, 신매, 기산, 조연, 백학, 산정, 용화, 냉정, 월운, 학, 산명호
안성천유역	12개	업성지, 상성, 성내, 신희, 봉재, 청용, 미산, 용덕, 보통, 여천, 신대, 왕송
낙동강유역	67개	갈천, 가천, 진례, 남성, 산남, 주촌, 초동, 벽계, 장척, 봉산, 가회, 천락, 옥천, 향양, 옥계, 감동, 소태, 봉의, 월곡, 박곡, 상천, 하도, 지슬, 죽전, 노홍, 송백, 송내, 덕곡, 도원, 송림, 용성, 용양, 남매, 대송, 단산, 하빈, 소월, 풍락, 지천, 동명, 봉학, 고경, 소성, 임고, 남북, 금화, 당지, 금오, 직지, 오로, 창림, 가음, 무을, 옥성, 청상, 금봉, 개천, 개운, 덕가, 화매, 고현, 지평, 만운, 회룡, 금당, 순흥, 단산
금강유역	25개	천천, 지소, 덕산, 옥곡, 미륵, 축동, 문산, 옥산, 개심, 경천, 장연, 양지, 천장, 적누, 판곡, 우목, 영천, 요룡, 궁, 중흥, 정안, 삼기, 용연, 화산, 무수
삽교천유역	8개	신대, 여래미, 홍양, 방산, 송석, 봉림, 순성, 천호
만경, 동진강유역	15개	용산, 부전, 애당, 만수, 오성, 사산, 광곡, 당월, 대화, 인교, 백석, 대위, 화정, 옥녀, 왕궁
섬진강유역	17개	담안, 유천, 안심, 적량, 효곡, 송단, 문수, 목계, 대지, 구성, 천은, 구만, 금풍, 팔덕, 구림, 노촌, 공정
영산강유역	16개	울치, 학과1, 도감, 성양, 쌍정, 이만, 우치, 감둔, 제2호, 도암, 창치, 금진, 서성, 지정, 송산, 월산2

## 4.4 발 용수 이용량 조사

### 4.4.1 발작물 필요수량 결정 방법

#### 가. 일반사항

발작물에 필요한 수분의 공급은 대부분 강우에 의하여 이루어지지만 자연의 강우만으로는 발작물의 수분요구량을 충분히 충족시킬 수 없다. 발관개의 기본원칙은 유효토층 내에서 소비된 토양수분의 감소량을 공급하는 보급 관개이다. 발은 논에 비하여 작물이 다양하며 토양 및 토심별 물소비 구조가 복잡하므로 합리적인 용수수급 계획을 세우기가 매우 어렵다. 또 현재까지 발관개를 위한 농업용수 개발사업은 제한적으로 시행되었고 주로 논 관개를 위한 수리시설 규모 결정이 중심이 되어 왔다. 이와 같은 이유 때문에 발용수 수요량 추정은 논에 비하여 연구사례가 적고 산정방법과 기준에 대한 참고문헌도 국내에서는 많지 않은 실정이다.

현재, 발관개 용수량은 Braney-Criddle식과 같은 계산식에 의하여 증발산량을 산정하여 사용하고 있으나, 토양내에서는 증발산량 외에 침투량, 모관상승량 등 수분이동이 활발하여 이루어지고 있어 엄밀히 구별하면 증발산량과는 차이가 있다. 작물의 소비수량은 작물이 정상적으로 생육하며 좋은 품질과 수확을 많이 낼 수 있는 상태에서 소비되는 수분량으로 작물에 영향을 미치는 수분량은 증발산량, 침투량, 모관상승량, 유효수량 등 다양한 요소로 구성되어 있으나, 발관개 계획시 이들 요소를 전부 측정할 수 없어 편의상 증발산량만을 계산하여 발관개 계획에 활용하고 있다.

발용수 수요량은 관개 대상지의 기상, 작부체계와 토양특성을 시기별로 파악하여 반영하여야 한다. 지금까지 발작물 증발산량을 산정하기 위하여 실무에서는 주로 SCS의 Blaney-Criddle(이하 B-C)법과 FAO-Penman법 등을 이용하였다.

B-C법은 1970년대 농어촌진흥공사에서 대단위농업종합개발사업부터 적용되었으며 그 후 FAO-Penman법이 1980년대부터 도입되어 활용되고 있다. 그러나 B-C법은 기온자료만을 이용하므로 계산은 간단하지만 우리나라 하절기의 복잡한 기상상황을 고려하지 못하는 단점이 있으며, Penman법은 FAO에서 풍속에 따라 증발산량이 크게 차이가 나는 단점을 확인하였고 이에 반하여 Penman-Monteith법은 기존 Penman법의 단점을 보완하여 토양의 열전달율을 고려함으로써 특히 발작물의 필요수량 산정에 합리적이며 또 세계적으로 작물의 필요수량에 대하여 일관된 값을 제공하고 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. FAO에 의하면 <표 4-15>에서 보는 바와 같이 B-C법이 습윤지역에서 17%, 건조지역에서 -16%의 오차가 발생하나 Penman-Monteith식은 습윤지역에서 4%, 건조한 지역에서 -1%의 오차가 발생하여 Penman-Monteith식이 Blaney-Criddle식에 비하여 훨씬 안정된 값을 나타내고 있다고 소개하였다. 따라서, 발관개 계획수립시 잠재증발산량 계산

을 FAO에서 추천하고 있는 Penman-Monteith법을 사용하여 발판개 계획을 수립하는 것이 합리적이다.

<표 4-15> 잠재증발산량 산정식들의 비교

위 비 교 방 법	습도가 높은 지역			건조지역		
	순위	예측에러	표준편차	순위	예측에러	표준편차
복합기상자료에 의한 방법						
Penman-Monteith	1	+ 4%	0.32	1	- 1%	0.49
FAO-24 Penman (c=1)	14	+ 29%	0.93	6	+ 12%	0.69
FAO-24 Penman (corrected)	19	+ 35%	1.14	10	+ 18%	1.1
FAO -PPP-17 Penman	4	+ 16%	0.67	5	+ 6%	0.68
Penman (1963)	3	+ 14%	0.60	7	- 2%	0.70
Penman 1963, VPD #3	6	+ 20%	0.69	4	+ 6%	0.67
1972 Kimberley Penman	8	+ 18%	0.71	8	+ 6%	0.73
1982 Kimberley Penman	7	+ 10%	0.69	2	+ 3%	0.54
Businger-van Bavel	16	+ 32%	1.03	11	+ 11%	1.12
일사량에 의한 방법						
Priestley Taylor	5	- 3%	0.68	19	- 27%	1.89
FAO-Radiation	11	+ 22%	0.79	3	+ 6%	0.62
온도에 의한 방법						
Jensen-Haise	12	- 18%	0.84	12	- 12%	1.13
Hargreaves	10	+ 25%	0.79	13	- 9%	1.17
Turc	2	+ 5%	0.56	18	- 26%	1.88
SCS Blaney-Criddle	15	+ 17%	1.01	15	- 16%	1.29
FAO Blaney-Criddle	9	+ 16%	0.79	9	0%	0.76
Thornwaite	13	- 4%	0.86	20	- 37%	2.4
증발접시에 의한 방법						
Class A Pan	20	+ 14%	1.29	17	+ 21%	1.54
Christiansen	18	- 10%	1.12	16	- 6%	1.41
FAO Class A	17	- 5%	1.09	14	+ 5%	1.25

## 나. 발관개 계획상의 문제점과 개선방안

현행의 발기반정비사업 조사설계요령(1994, 농업기반공사)에는 단순히 증발산량만을 소비수량 산정에 활용하고, 기타 항목인 유효수량, 다목적용수량 등 발관개 용수량 산정방법이 제시되어 있지 않다. 그러나 1998년도에 발간한 농업생산기반정비사업 계획설계기준(관개편)에는 유효수량 및 발관개 용수량 산정방법이 제시되어 있어 이를 활용하여 발관개 용수량을 산정할 필요가 있다.

발기반 정비사업을 대상으로 소비수량 산정의 문제점을 항목별로 검토하여 보면 <표 4-16>과 같다. 소비수량 산정에 Blaney-Criddle식에 의한 증발산량만을 계산하여 사용하고 있어 침투량, 모관상승량 등 토양내에서의 수분변화를 고려하지 않고 있다.

따라서, 발관개용수량 산정시 토양수분감소법과 같은 토양내의 물수지를 반영한 실측 방법을 사용하여 정확하게 필요수량을 산정할 필요성이 있다. 토양내 유효토층의 총신속 유효수분 TRAM(Total readily available moisture)치를 측정하면 포장용수량에서 생장저해수분점까지 유효토층의 소비수량을 파악할 수 있으며, TRAM치가 측정되면 간단일수(=TRAM/일소비수량)는 용이하게 산정할 수 있다. 간단일수가 산정되면 일소비수량(증발산량)에 간단일수를 곱하여 1회의 관개수량을 산정할 수 있다. 따라서, 토양내의 물수지를 고려하여 적절한 발관개 계획을 수립하기 위해서는 TRAM치 측정이 필수적이라 할 수 있으나 현재 이를 고려하고 있지 않다(김영화, 2001).

<표 4-16> 발관개 계획상의 문제점 및 개선방향(김영화, 2001)

주요항목	세부항목	계산방법(발기반 정비사업 기준)	
		현행	개선방향
소비수량	증발산량	Blaney-Criddle 식 Penman-Monteith식	병행사용 - Blaney-Criddle 식 - Penman-Monteith 식 - 증발산비 토양수분감소법(TRAM치) 도입
	침투량	고려하지 않음	
	모관상승	고려하지 않음	
용수계획	간단일수	고려하지 않음	TRAM치를 측정하여 일소비수량으로 나누어 간단일수 산정
	1회관개수량	고려하지 않음	1회관개수량 산정하여 발관개 계획에 활용
	유효수량	고려하지 않음	유효수량 계산방법 정립 필요
	다목적용수량	고려하지 않음	작물에 공급하는 보급수량이외의 다목적 용수량 파악 활용
	윤환관개	고려하지 않음	시설규모결정시 윤환관개를 반영하여 설계
	단위용수량	증발산량만으로 단위용수량 산정	다목적 용수량을 소비수량에 포함하여 단위용수량 산정
기 타	작물계수	외국자료 등 활용	작물별, 지역별 작물계수 재정립

## 다. 잠재증발산량

### 1) Blaney-Criddle식

밭기반 정비사업지구에서 주로 활용하고 있는 증발산량 계산식은 Blaney-Criddle 식이 사용되고 있다. 이 식의 장점은 일별 온도와 작물계수만 파악하면 작물에 대한 증발산량을 계산할 수 있다는 것이다. 식 (4-7)은 Blaney-Criddle 증발산량 산정식이다.

$$U = K \frac{P(45.7t + 813)}{100} \quad (4-7)$$

여기서, U : 기별증발산량(mm), K : 생육기별 작물계수(K=Kt × Kc)

Kt : 온도에 따라 변하는 보정계수(Kt = 0.0311t + 0.24)

Kc : 생육기별 작물계수

<표 4-17> 소비수량 산정예

지구명		작물명	작물계수	증발산량 (mm/d)	단위용수량 (m <sup>3</sup> /s/ha)
신항	충북 괴산	채소	0.6	3.37	0.000585
칭송	경북 칭송	고추, 담배	0.6	3.20	0.000575
		사과	0.7	3.79	
토교	강원 영월	채소, 고추, 감자 등	0.6	3.21	0.0005694
팔송	충북 제천	-	-	5.07	0.00083
효림	충북 옥천	채소	0.6	3.37	0.000585
원곡	충북 충주	과수	0.7	3.85	0.000669
사안	전북 고창	양파, 마늘, 시금치(9~6월)	0.6	3.30	0.000573
		엽연초, 콩, 고추(2~9월)			
후리	강원 양구	-	-	3.38	0.000622

(주) 밭기반 사업지구의 소비수량 계산치

### 2) Penman-Monteith 식

밭관개에서 말하는 소비수량은 통상 잠재증발산량을 말한다. 잠재증발산량의 계산 방법에 대한 연구결과(발경지정리 방안과 효율적인 관개방법 개발연구, 1997. 농어촌진흥공사)에 의하면 다양한 증발산량 계산식의 계산정도를 비교한 결과를 제시하면서 Penman-Monteith 방법이 가장 좋은 계산정도를 나타낸다고 소개하고 있다. 이에 따



라, 밭기반 정비사업지구의 경우 50ha 이상은 이 계산법을 사용하고 있으나, 50ha 이하의 관개지구에 대해서도 이 방법을 도입하여 계획을 수립할 필요가 있다.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (4-8)$$

여기서,  $ET_o$  : 잠재증발산량(mm/day),  $R_n$  : 순일사량(mm/day)  
 $(e_a - e_d)$  : 증기압차(mbar),  $\Delta$  : 수증기압 곡선,  $\gamma$  : 습도 상수  
 $G$  : 토양으로 흡수되는 열유동량

(가) 수증기압곡선( $\Delta$ )

$$\Delta = \frac{4098 e_a}{(T + 237.3)^2} \quad (4-9)$$

$$e_a = 0.661 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right) \quad (4-10)$$

여기서,  $e_a$  : 포화수증기압,  $T$  : 온도( $^{\circ}C$ )

(나) 습도상수( $\gamma$ )

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (4-11)$$

여기서,  $P$  : 대기압(kPa),  $\lambda$  : 잠열(MJ/kg)

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) T \quad (4-12)$$

(다) 토양으로 흡수되는 열유동량( $G$ )

열은 토양에 저장되기도 하고 방출되기도 한다. 일정 기간 동안의 토양에서의 열량을 추정하기 위하여 다음 식을 사용한다.

$$G = c_s d_s \left( \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta t} \right) \quad (4-13)$$

여기서,  $G$  : 토양으로 흡수되는 열유동량,  $T_n$  : n일(월)의 온도( $^{\circ}C$ )

$T_{n-1}$  : n-1일(월)의 온도( $^{\circ}C$ ),  $\Delta t$  : 시간(일, 월),  $c_s$  : 열용량(MJ/m<sup>3</sup>/ $^{\circ}C$ )

$d_s$  : 예상토양깊이(m)

### 3) 증발산비법

증발산비법은 계기증발량과 소비수량간에 작물생육단계에 따라 일정한 상관성이 있다고 생각하여 소비수량을 구하는 방법이다.

$$ET = a \cdot E \quad (4-14)$$

여기서, ET : 소비수량(mm),  $a$  : 증발산비, E : 계기증발량(mm)

하나의 기상데이터만을 이용하여 잠재증발산량을 구할 수 있어 계산이 간소하여 매력적이나, 그간의 연구결과에 의하면 풍속, 토양, 증발접시 주위의 작물, 스크린, 도색, 관리 조건에 따라 일별 증발량이 민감하게 달라지는 것으로 나타나 적용에는 신중한 검토가 필요하다.

### 라. 작물계수

최근에 발표된 FAO의 논문에 의하면 작물계수를 적용함에 있어 두 가지 작물계수를 제시하였다. 기존의 작물계수( $K_c$ )와 Dual 작물계수( $K_{cb} + K_e$ )로 구분되어지고 있으며 이 두 작물계수의 차이점은 토양의 관계를 적용시켰는가에 따라 분류되어지며, 이 두 작물계수의 비교는 <표 4-18>과 같다.

<표 4-18> 작물계수와 Dual 작물계수의 비교

	작물계수( $K_c$ )	Dual 작물계수( $K_{cb} + K_e$ )
목 적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관개계획과 설계</li> <li>- 관개 관리</li> <li>- 기본관개계획</li> <li>- 비관개기 적용에 대한 실시간 관개 계획(표면, 스프링쿨러)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구목적</li> <li>- 실시간 관개계획</li> <li>- 관개기 적용에 대한 관개계획 (자동 스프링쿨러, 마이크로관개)</li> <li>- 추가적 관개</li> <li>- 토양과 수문학적 관계 연구</li> </ul>
간 격	매일, 순별, 월별	매일
방 법	계산기, 컴퓨터	컴퓨터

작물계수는 작물의 증산과 토양의 증발을 복합적으로 포함하고 있다. 그러나 토양의 증발은 강우나 관개에 의해 매일 변화하기 때문에 단일 작물계수는 단지 다중기간(간단 일수별, 순별, 월별)의 작물 증발산량에 의해 표현되어진다.

#### 1) 작물의 생육단계

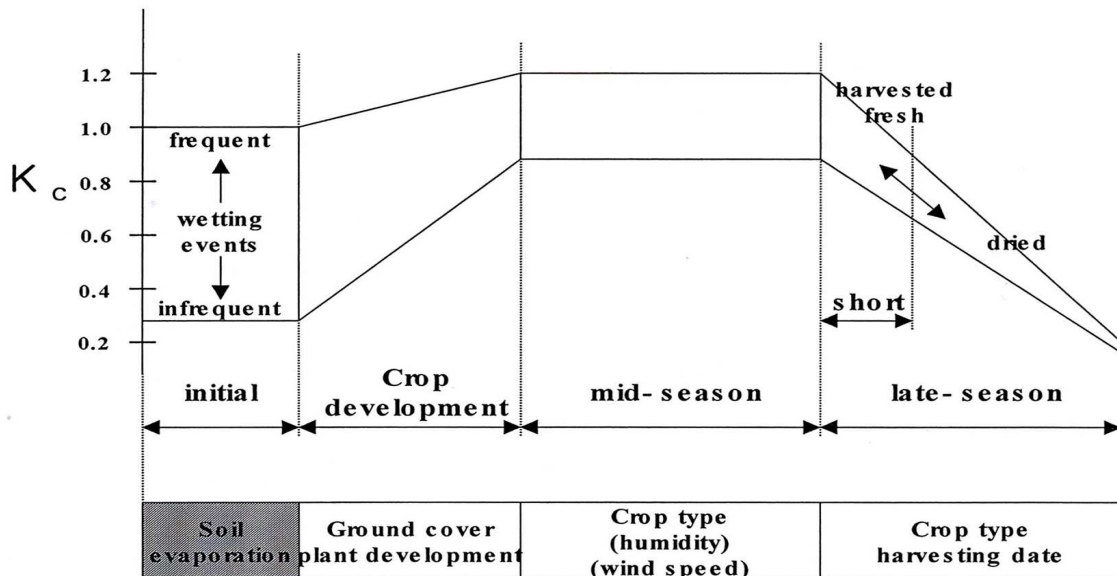
FAO에서 제시한 작물별 생육단계로 유년기(initial), 영양생장기(crop development), 생식생장기(mid-season), 등숙기(late-season)로 구분하였으며, 각 단계의 증발량 차이에 의해 각 단계별로 다양한 작물계수를 나타내었다. <그림 4-16>을 참고하고 각 단계별 내용은 다음과 같다.

(가) 유년기(initial) 단계

유년기(initial) 단계는 파종시기부터 ground cover가 10%정도까지의 시기를 말하며 초기단계의 기간은 작물별, 파종시기별, 기후에 의해 결정되어진다. 초기단계에 있어서의 작물계수는 관개나 강우에 의한 토양표면이 축축할 때는 크며, 토양표면이 건조하면 작물계수는 낮다.

(나) 영양생식기(crop development) 단계

작물의 영양생식기(crop development)는 ground cover가 10%일때부터 유효 full cover까지의 단계를 말한다. 유효 cover란 식물의 잎이 주변의 잎과 섞이기 시작하는 시기, 토양의 전면이 그들로 가려지는 시기로 정의되어진다. 또 다른 방법으로 단위면적당 엽면지수(LAI)를 이용하여 유효 cover를 결정한다. 작물 성장단계에서의 작물계수는 ground cover의 양과 식물성장과 연관되어 있다.



<그림 4-16> 작물의 생육단계별 작물계수

(다) 생식생장기(mid-cover) 단계

생식생장기(mid-cover) 단계는 유효 full cover에서부터 성숙기(maturity)가 시작될 때까지의 단계를 말한다. 여기서 성숙기(maturity)가 시작되는 때란 잎이 노랗게 되거나, 열매를 맺기 시작할 때, 잎이 떨어질 때로 일컬어지며, 일반적으로 생식생장기 (mid-season) 단계는 기간이 길지만, 채소류의 경우 싱싱한 수확을 위해 기간이 짧아지기도 한다. 이 시기에서의 작물계수는 일반적으로 최대값에 도달한다.

(라) 등숙기(late-season) 단계

등숙기(late-season) 단계는 성숙기(maturity)가 시작될 때부터 수확까지의 시기를 말한다. 이 시기에서의 작물계수는 작물과 물 관리의 영향을 받는다.

2) 작물계수(Kc)

<표 4-19>은 FAO에서 제시한 작물계수로 생육단계로는 초기, 중기, 말기 단계로 구분한 것으로 증산과 증발의 영향을 포함한 계수로써 전형적인 성장조건하에 표준작물에 대한 평균 습윤빈도를 재현하여 구한 값이다.

<표 4-19>에서 제시한 생육단계별 작물계수는 위에서 설명한 생육단계와 약간의 차이를 보인다. 작물의 생육단계를 4단계로 구분한 것과 달리 작물계수에서는 3단계로 분리하였으며, 생육단계의 유년기(initial)와 영양생장기(crop development)의 단계를 하나로 묶어 초기단계(K<sub>c ini</sub>)로 생식생장기(mid-season)을 중기단계(K<sub>c mid</sub>)로 등숙기(late-season)를 말기단계(K<sub>c end</sub>)로 구분하였다.

<표 4-19> FAO에서 제시한 작물계수

작물	K <sub>c ini</sub>	K <sub>c mid</sub>	K <sub>c end</sub>
배추	0.7	1.05	0.95
당근	0.7	1.05	0.95
마늘	0.7	1.00	0.70
양파 - dry		1.05	0.75
- green	0.7	1.00	1.00
- seed		1.05	0.80
무우	0.7	0.90	0.85
감자	0.5	1.15	0.75
양배추	0.7	1.05	0.95

유년기(initial)와 영양생장기(crop development)단계에서의 작물계수는 습윤빈도에 따라 크나큰 변동이 있으므로 세밀한 고안이 필요하다. 예를 들어 높은 빈도의 스프링클러 관개나 강우 같은 축축한 상태는 초기작물계수(K<sub>c ini</sub>)에 상당한 증가를 초래한다.

3) Dual 작물계수(K<sub>cb</sub>+K<sub>e</sub>)

Dual 작물계수는 작물 증산과 토양 증발을 서로 다르게 결정하는 방법이며 식물의 증발산에 의한 기본 작물계수(K<sub>cb</sub>)와 토양 표면의 증발계수(K<sub>e</sub>)로 구분된다. 식은

다음과 같다.

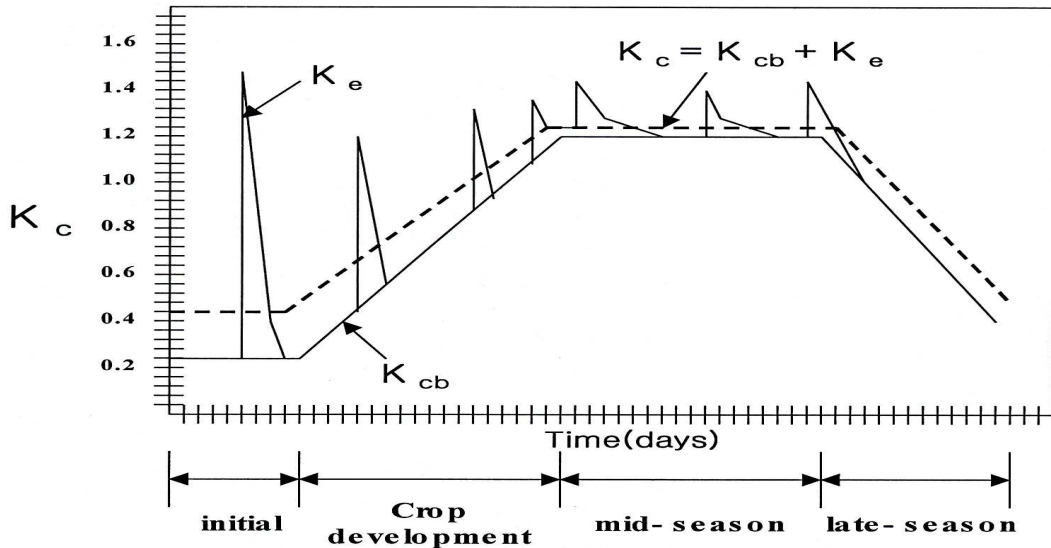
$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (4-15)$$

여기서,  $K_{cb}$  : 기본작물계수,  $K_e$  : 토양 표면 증발계수

위 식에서  $K_{cb}$ 는 증발산량과 잠재증발산량과의 비율로서 결정되어지며  $K_e$ 의 경우 토양 표면에서의 증발성분에 의해 결정되어진다. 토양 표면 증발계수( $K_e$ )는 관개나 강우가 있을 시는 커지며, 토양 표면의 건조상태에 따라 적거나 0까지로 나타내어진다. 토양 표면 증발계수의 경우 일별 변화량의 측정이 필요하다.

(가) 작물의 생육단계

작물계수에서 설명한 생육단계와 같으며, <그림 4-16>에서는 전형적인 형태의  $K_{cb}$ ,  $K_e$ ,  $K_c$ 의 곡선을 나타낸다. 그림에서의  $K_{cb}$ 는 충분한 습윤토양과 건조토양의 조건에 대한 최소의  $K_c$ 로 표현할 수 있다. <그림 4-16>에서 보여진  $K_e$ 의 값은 강우나 관개기에 증가되어진 증발을 표현한 것이다. 반면 토양표면이 건조하면 증발의 감소로  $K_e$ 값에 영향을 주지 않음을 볼 수 있다. <그림 4-16>에서 보는 바와 같이 Dual 작물계수는 기본작물계수 ( $K_{cb}$ )와 토양 표면 증발계수( $K_e$ )의 합으로서 다음 곡선으로 나타내어진다.



<그림 4-17> Dual 작물계수와 생육단계

(나) 기본 작물계수( $K_{cb}$ )

기본 작물계수( $K_{cb}$ )란 토양 표면이 건조상태일때의 작물 증발산량과 잠재증발산량의 비를 말한다. 즉,  $K_{cb} = ET_c / ET_o$ 로 정의되어진다. <표 4-20>는 FAO에서 제시한 기본 작물계수( $K_{cb}$ )이다.

<표 4-20> FAO에서 제시한 기본 작물계수

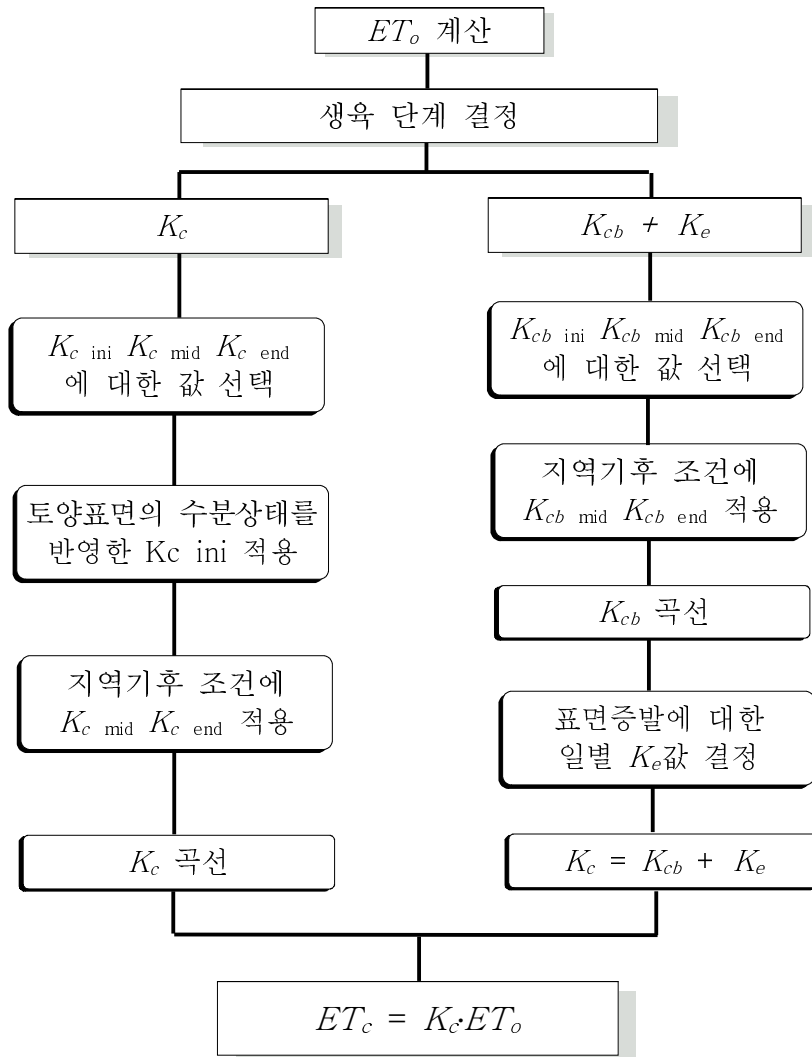
작물	$K_{cb \text{ ini}}$	$K_{cb \text{ mid}}$	$K_{cb \text{ end}}$
배추	0.15	0.95	0.85
당근	0.15	0.95	0.85
마늘	0.15	0.90	0.60
양파 - dry		0.95	0.65
- green	0.15	0.90	0.90
- seed		1.05	0.70
무우	0.15	0.85	0.75
감자	0.15	1.10	0.65
양배추	0.15	0.95	0.85

(다) 토양 표면 증발계수( $K_e$ )

토양 증발계수인  $K_e$ 는 증발산량( $ET_o$ )의 증발요소이며, 강우기나 관개기에 따라 토양표면이 습윤하면 토양 표면 증발계수( $K_e$ )는 최대가 된다. 반면, 토양 표면이 건조하면 토양표면 증발계수( $K_e$ )는 최소가 되며, 토양 표면에 물기가 전혀 없으면 0의 값으로 나타내어진다.

3) 잠재증발산량의 계산과정

<그림 4-18>은 FAO에서 제시한 작물계수를 적용하여 증발산량을 계산하는 과정을 그림으로 나타낸 것이다.



<그림 4-18> 증발산량 계산과정

#### 마. 증발산량과 작물계수 국내 연구결과

##### 1) 실측 증발산량

국내에서 실측된 콩, 고추, 참깨, 배추, 오이에 대한 실측 증발산량을 반순, 순 및 이식 후 일수 및 지역별, 토양별 자료를 정리하면 <표 4-21 ~ 52>과 같다. 실측증발산량 자료를 살펴보면 작물의 종류, 토양특성, 재배시기별, 지역에 따른 증발산량의 차이는 조금씩 나고 있음을 알 수 있다

<표 4-21> 콩의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110
평균	1.7	2.1	2.6	1.8	1.8	3.6	3.7	3.9	5.5	4.1	2.0

<표 4-22> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 10	11 20	21 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80	81 90	91 100	101 110	111 120	121 130
평균		1.5	1.9	2.2	2.1	2.0	2.0	2.7	3.1	2.7	2.4	1.6	1.6

<표 4-23> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'89, 대구) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 10	11 20	21 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80	81 90	91 100	101 110	111 120	121 130
평균	5.0	4.3	4.3	6.0	4.9	6.2	7.3	6.2	6.7	4.9	5.5	4.3	3.1

<표 4-24> 참깨의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 10	11 20	21 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80	81 90	91 100	101 110	111 120	121 130
평균	2.9	1.2	1.6	2.2	2.1	1.8	3.3	3.3	2.7	2.7	4.5	2.8	0.9

<표 4-25> 배추의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'89, 수원) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90
평균	2.9	2.6	2.2	2.2	3.3	4.3	1.8	2.1	1.4

<표 4-26> 오이의 생육기간별 실측 증발산량 ('88~'90, 대구) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90
평균	3.0	3.0	3.2	5.2	5.6	6.4	6.9	4.9	4.6



<표 4-27> 오이의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	평균
평균	4.0	4.5	4.3	5.5	6.0	4.9	2.2	4.5

<표 4-28> 오이의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	평균
평균	4.0	4.4	4.6	6.0	6.6	5.0	2.4	4.7

<표 4-29> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 10	11 20	21 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80	81 90	91 100	101 110	111 120	121 130	131 140	141 150	151 160	평균
평균	3.1	3.8	4.2	4.7	5.8	4.8	3.9	4.0	5.3	5.4	5.3	3.7	3.4	3.4	3.3	1.8	4.2

<표 4-30> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 10	11 20	21 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80	81 90	91 100	101 110	111 120	121 130	131 140	141 150	151 160	평균
평균	3.2	4.0	4.5	4.7	6.1	5.1	3.9	3.5	5.6	5.6	5.2	3.9	3.6	3.5	3.3	1.8	4.3

<표 4-31> 콩의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월						7월						8월				9월						
	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1
평균	2.1	1.6	2.6	1.5	1.7	2.0	2.3	2.3	2.9	2.5	2.2	3.0	3.8	4.3	4.5	6.6	4.7	2.7	4.2	4.8	4.8	4.6	2.9	1.3	0.6

<표 4-32> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월						7월						8월				9월							
	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	2.2	1.4	2.5	1.3	1.6	2.0	2.1	1.9	2.6	2.0	2.4	1.9	1.7	2.8	3.6	4.1	3.0	2.3	3.1	2.5	2.1	2.7	1.3	2.1	1.7	1.4

<표 4-33> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	51 ~ 60	61 ~ 70	71 ~ 80	81 ~ 90	91 ~ 100	101 ~ 110	111 ~ 120	121 ~ 130	131 ~ 140	141 ~ 150	151 ~ 160	평균
평균	3.1	3.8	4.2	4.7	5.8	4.8	3.9	4.0	5.3	5.4	5.3	3.7	3.4	3.4	3.3	1.8	4.2

<표 4-34> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

이식후 일수	1 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	51 ~ 60	61 ~ 70	71 ~ 80	81 ~ 90	91 ~ 100	101 ~ 110	111 ~ 120	121 ~ 130	131 ~ 140	141 ~ 150	151 ~ 160	평균
평균	3.2	4.0	4.5	4.7	6.1	5.1	3.9	3.5	5.6	5.6	5.2	3.9	3.6	3.5	3.3	1.8	4.3

<표 4-35> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('88~'89, 대구) (단위 : mm/day)

구분	6월						7월					
	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	2.1	3.5	3.2	5.9	4.4	3.4	6.3	6.0	5.3	5.0	5.3	5.7

8월						9월						10월					
상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
8.3	9.0	7.2	7.6	7.8	8.0	4.6	6.5	5.8	5.0	4.3	5.2	3.5	4.5	3.9	3.2	1.7	2.1

<표 4-36> 참깨의 반순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월						7월		
	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상	상2	중1
평균	2.8	2.3	4.1	1.6	1.7	1.4	2.0	2.1	2.7	1.8	2.1

7월			8월						9월				
중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1
1.1	1.6	3.2	4.3	4.0	3.5	3.4	3.3	3.5	3.9	2.0	0.9	0.8	

<표 4-37> 배추의 반순별 실측 증발산량 ('88 ~ '89, 수원) (단위 : mm/day)

구분	8월			9월						10월						11월			
	중2	상1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2
평균	4.8	3.1	2.9	2.6	1.8	2.5	3.2	3.0	1.7	3.6	4.1	2.3	2.2	1.8	1.8	2.2	1.3	1.1	1.3

<표 4-38> 오이의 반순별 실측 증발산량 ('88 ~ '90, 대구) (단위 : mm/day)

구분	6월						7월						8월					
	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	2.1	3.5	3.1	3.0	2.7	2.7	4.3	4.7	4.5	4.3	4.8	6.9	9.1	6.7	6.2	5.5	5.4	4.9

<표 4-39> 오이의 반순별 실측 증발산량 ('87 ~ '89, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

구분	5월				6월						7월				평균 증발산량
	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	
평균	3.5	4.6	3.8	5.4	4.0	4.6	6.2	4.7	5.8	6.1	5.4	4.4	1.9	3.2	4.5

<표 4-40> 오이의 반순별 실측 증발산량 ('87 ~ '89, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

구분	5월				6월						7월				평균 증발산량
	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	
평균	3.5	4.5	3.6	5.0	4.3	4.9	6.7	5.3	6.5	6.7	5.2	4.7	1.5	3.5	4.7

<표 4-41> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('87 ~ '88, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

구분	5월				6월						7월					
	상1	상2	중1	중2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	2.8	3.9	3.0	4.4	4.2	4.3	5.0	4.4	5.9	5.7	5.3	4.4	2.8	4.9	3.2	3.4

8월				9월						10월				평균 증발산량		
상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2		중1	중2
5.5	5.1	5.0	5.7	6.1	4.6	4.5	3.0	2.9	3.9	3.8	2.9	3.5	3.1	1.7	2.3	4.2

<표 4-42> 고추의 반순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

구분	5월				6월						7월					
	상1	상2	중1	중2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	2.7	3.7	3.1	4.8	4.8	4.2	4.5	4.9	5.8	6.4	5.8	4.4	3.1	4.7	3.6	3.5

8월						9월						10월				평균 증발 산량
상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	
6.3	4.6	5.2	6.1	6.1	4.3	4.2	3.5	3.2	4.1	3.6	3.4	3.5	3.0	1.7	2.1	4.3

<표 4-43> 콩의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

구분	5월	6월				7월				8월			9월		
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하		
평균	1.9	1.9	2.0	2.2	2.7	2.3	4.0	6.1	3.6	4.5	4.7	2.0			

<표 4-44> 고추의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

구분	5월	6월				7월				8월			9월		
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하		
평균	1.8	1.5	1.7	2.0	2.4	1.8	2.3	3.3	2.8	2.6	2.4	1.6	1.6		

<표 4-45> 고추의 순별 실측 증발산량 ('88~'89, 대구) (단위 : mm/day)

구분	6월			7월			8월			9월			10월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	2.8	5.8	3.9	6.2	5.4	5.5	8.7	7.4	7.9	5.6	5.4	4.8	4.1	3.6	1.9

<표 4-46> 참깨의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 수원) (단위 : mm/day)

구분	5월	6월				7월				8월			9월		
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하		
평균	2.6	2.2	1.4	2.0	2.3	1.5	2.3	4.0	3.3	3.4	2.8	0.9			

<표 4-47> 배추의 순별 실측 증발산량 ('88~'89, 수원) (단위 : mm/day)

구분	8월		9월			10월			11월	
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
평균	4.8	2.9	1.9	2.8	2.8	4.1	2.4	2.0	2.0	1.4

<표 4-48> 오이의 순별 실측 증발산량 ('88~'90, 대구) (단위 : mm/day)

구분	6월			7월			8월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	2.8	3.0	2.7	4.6	4.4	6.0	7.9	5.8	5.1

<표 4-49> 오이의 순별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월			7월		평균 증발산량
	중	하	상	중	하	상	중	
평균	4.0	4.5	4.3	5.5	6.0	4.9	2.5	4.5

<표 4-50> 오이의 순별 실측 증발산량 ('87~'89, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월			7월		평균 증발산량
	중	하	상	중	하	상	중	
평균	4.0	4.4	4.6	6.0	6.6	5.0	2.4	4.7

<표 4-51> 고추의 순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사토) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월			7월			8월			9월			10월		평균 증발산량
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	
평균	3.1	3.8	4.2	4.7	5.8	4.8	3.9	4.0	5.3	5.4	5.3	3.7	3.4	3.4	3.3	1.8	4.2

<표 4-52> 고추의 순별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토) (단위 : mm/day)

구분	5월		6월			7월			8월			9월			10월		평균 증발산량
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	
평균	3.2	4.0	4.5	4.7	6.1	5.1	3.9	3.5	5.6	5.6	5.2	3.9	3.6	3.5	3.3	1.8	4.3

2) 기준작물계수

토양수분이 부족하지 않은 조건( $K_a=1.0$ )에서, Penman식에 의한 각 작물의 작물계수를 반순, 순 및 이식 후 일수로 정리하였으며, 그 결과는 <표 4-53~82>과 같다.

<표 4-53> 콩의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 수원)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110
평균	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	1.0	1.1	1.2	1.5	1.3	0.7

<표 4-54> 고추의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 수원)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120	121~130
평균		0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7

<표 4-55> 고추의 생육기간별 작물계수 ('88~'89, 대구)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120	121~130
평균	0.9	0.7	0.8	1.2	1.1	1.1	1.2	1.5	1.4	1.6	1.4	1.1	0.9

<표 4-56> 참깨의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 수원)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120	121~130
평균	1.0	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	0.7	0.8	1.4	1.0	0.6

<표 4-57> 배추의 생육기간별 작물계수 ('88~'89, 수원)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90
평균	0.9	0.8	0.9	0.9	1.5	1.7	1.1	1.2	1.2

<표 4-58> 오이의 생육기간별 작물계수 ('88~'90, 대구)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90
평균	0.7	0.7	0.7	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2

<표 4-59> 오이의 생육기간별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사토)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70
평균	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1	1.3	0.9

<표 4-60> 오이의 생육기간별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사양토)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70
평균	4.0	4.4	4.6	6.0	6.6	5.0	2.4

<표 4-61> 고추의 생육기간별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사토)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120	121~130	131~140	141~150	151~160
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
평균	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.5	1.3	1.4	1.7	1.3	1.2	1.3	1.3	1.0

<표 4-62> 고추의 생육기간별 실측 증발산량 ('87~'88, 청주, 사양토)

이식후 일수	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120	121~130	131~140	141~150	151~160
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
평균	3.2	4.0	4.5	4.7	6.1	5.1	3.9	3.5	5.6	5.6	5.2	3.9	3.6	3.5	3.3	1.8

<표 4-63> 콩의 반순별 작물계수 ('88~'90, 수원)

구분 년도	5월		6월				7월				8월				9월										
	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1
평균	0.7	0.5	0.9	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9	1.3	1.2	1.2	1.1	1.7	1.3	1.0	1.1	1.8	1.5	1.3	1.1	0.5	0.2

<표 4-64> 고추의 반순별 작물계수 ('88~'90, 수원)

구분 년도	5월		6월				7월				8월				9월											
	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2						
평균	0.7	0.4	0.8	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.7	0.9	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.7	0.9	0.7	0.6

<표 4-65> 고추의 반순별 작물계수 ('88~'89, 대구)

구분	6월						7월					
	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	0.6	0.7	0.6	1.2	1.0	0.9	1.3	1.2	2.2	1.4	1.5	1.5

8월						9월						10월					
상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
1.6	1.9	1.6	1.9	2.3	1.9	1.4	2.2	3.6	1.5	1.4	1.6	1.2	1.4	1.0	1.0	0.7	0.8

<표 4-66> 참깨의 반순별 작물계수 ('88~'90, 수원)

구분	5월		6월						7월		
	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상	상2	중1
평균	0.9	0.6	1.4	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6	0.9

7월			8월						9월				
중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1
0.5	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	1.3	0.7	0.6	0.6	

<표 4-67> 배추의 반순별 작물계수 ('88~'89, 수원)

구분	8월			9월						10월						11월			
	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2
평균	1.5	0.8	1.1	0.9	0.6	1.1	1.2	1.2	1.1	1.6	1.6	1.1	1.2	1.1	1.1	1.5	1.0	0.8	1.3



<표 4-68> 오이의 반순별 작물계수 ('88~'90, 대구)

구분	6월						7월						8월					
	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9	1.0	1.5	1.2	1.4	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3	1.5	1.1

<표 4-69> 오이의 반순별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사토)

구분	5월				6월						7월			
	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2
평균	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.1	1.2	1.5	1.1	0.9	0.9

<표 4-70> 오이의 반순별 작물계수 ('87~'89, 청주, 사양토)

구분	5월				6월						7월			
	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2
평균	0.8	0.9	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.2	0.7	1.0

<표 4-71> 고추의 반순별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사토)

구분	5월				6월						7월					
	상1	상2	중1	중2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3

8월						9월						10월			
상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2
1.2	1.3	1.3	1.6	1.7	1.7	1.4	1.1	1.1	1.4	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1

<표 4-72> 고추의 반순별 작물계수 ('87~'88, 청주, 사양토)

구분	5월				6월						7월					
	상1	상2	중1	중2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2
평균	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.0	1.0	1.2	1.2	1.5	1.4	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3

8월						9월						10월			
상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2	하1	하2	상1	상2	중1	중2
1.4	1.3	1.3	1.7	1.7	1.6	1.2	1.3	1.1	1.3	1.1	1.7	1.3	1.3	1.3	1.0

<표 4-73> 콩의 순별 작물계수 ('88 ~ '90, 수원)

구분	5월	6월			7월			8월			9월		
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9	1.2	1.6	1.1	1.2	1.4	0.7	

<표 4-74> 고추의 순별 작물계수 ('88 ~ '90, 수원)

구분	5월	6월			7월			8월			9월		
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7

<표 4-75> 고추의 순별 작물계수 ('88 ~ '89, 대구)

구분	6월			7월			8월			9월			10월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	0.7	1.2	1.0	1.3	1.7	1.5	1.7	1.8	2.1	1.7	2.2	1.5	1.3	1.0	0.7

<표 4-76> 참깨의 순별 작물계수 ('88 ~ '90, 수원)

구분	5월	6월			7월			8월			9월		
	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	0.8	0.8	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	1.0	1.0	1.1	1.0	0.6	

<표 4-77> 배추의 순별 작물계수 ('88 ~ '89, 수원)

구분	8월		9월			10월			11월	
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
평균	1.5	0.9	0.7	1.1	1.2	1.7	1.2	1.2	1.3	1.0

<표 4-78> 오이의 순별 작물계수 ('88 ~ '90, 대구)

구분	6월			7월			8월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
평균	0.7	0.6	0.7	1.0	1.3	1.4	1.5	1.4	1.2

<표 4-79> 오이의 순별 작물계수 ('87 ~ '89, 청주, 사토)

구분	5월		6월			7월	
	중	하	상	중	하	상	중
평균	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1	1.3	0.9

<표 4-80> 오이의 순별 작물계수 ('87 ~ '89, 청주, 사양토)

구분	5월		6월			7월	
	중	하	상	중	하	상	중
평균	0.8	1.0	1.2	1.3	1.3	1.3	0.9

<표 4-81> 고추의 순별 작물계수 ('87 ~ '88, 청주, 사토)

구분	5월		6월			7월			8월			9월			10월	
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
평균	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.5	1.3	1.4	1.7	1.3	1.2	1.3	1.3	1.0

<표 4-82> 고추의 순별 작물계수 ('87 ~ '88, 청주, 사양토)

구분	5월		6월			7월			8월			9월			10월	
	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
평균	0.8	1.0	1.1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.5	1.7	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3

## 바. 유효수량 산정

강수량 중 작물의 생육에 이용되는 유효수량은 발관개의 공급수량을 결정하는데 중요한 영향인자이며 시기별 그리고 밭 토양 특성에 따라 큰 차이를 나타낸다.

농업생산기반정비사업 계획설계기준(1998, 농림부)에서는 다음과 같은 계산방법을 기준으로 제시하고 있으며, 그 내용은 다음과 같다. 강수량 중 소량(5mm 미만)은 무효로 하고 5mm 이상의 강우에 대하여 밭토양의 총신속유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 유효수량의 상한치와 강우 80%를 비교하여 일 강우의 80%보다 유효수분량이 크면 유효수량은 유효수분량이고 작으면 일강우의 80%를 유효수량으로 계산한다.

① 강수량에 0.8을 곱한다.

$$0.8 \times R \quad (R < 5\text{mm일 때 } R = 0)$$

② 강우직전의 밭의 수분함유량(유효수분량)으로부터 유효수량의 상한치를 산정한다.

$$R_0 = (\text{TRAM} - \text{강우직전의 유효수분량})$$

③ 유효수량의 결정

$$R_0 \geq 0.8 R \quad \text{일때 유효수량} = 0.8 R$$

$$R_0 < 0.8 R \quad \text{일때 유효수량} = R_0$$

단, 시설원예, 멀칭재배는 유효강우를 고려하지 않는다.

그러나 이 방법은 일 강우의 80%가 무조건 토양으로 침투된다는 가정하에 유도된 것으로 수문학적인 신뢰성이 결여되어 있으며 토양에 따라 측정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 일반적으로 적용하기 곤란한 점이 있다. 또한 FAO에서 발간한 전산프로그램(Cropwat4)에서는 4가지 유효수량 산정법을 제시하고 있으며 이는 주로 경험식에 의해 강우량의 일정비율을 유효수량으로 채택하거나 경험적인 계수를 적용하여 유효수량을 산정하고 있다.

따라서 상기에서 언급된 유효수량 산정방법은 토양의 특성과 시간적인 강우의 침투율 변화를 고려할 수 없어 이를 보완하기 위하여 토양의 유효수분량을 고려한 일별 토양수분추적법으로 유효수량을 산정하는 방법을 제시하였다.

### 1) 유효수분량

관개 또는 강우 후 토양의 수분중에서 작물이 이용하는 수분을 유효수분량이라 한다. 유효수분은 토양의 성질, 강우(관개)량, 재배작물에 따라 상이한 수치를 나타낸다. 일반적으로 건조한 지역의 유효수분 상한치(Dmax)로서 포장용수량을 적용하고 있으며 포장용수량은 강우 발생 후 토양의 침투율이 매우 미미한 상태의 토양수분량으로 정의하

거나 토양중 투수계수가 0이 되었을 경우 또는 토양이 유지할 수 있는 현수수의 최대량으로 정의한다. 그러나 일반적으로 시간단위로 포장용수량을 정의하며 충분한 강우 또는 관개후 대략 24시간을 경과한 뒤 토양속에 보류되는 수분을 24시간용수량으로 채택하여 이를 포장용수량으로 적용하고 있다.

포장용수량은 사양토, 양토 그리고 식양토의 경우 토양에 대기의 1/3기압에 상당하는 압력을 가했을 때 토양 중에 남아있는 수분함량으로 표시할 수 있으며 사질토양에서는 1/10기압 하에서의 수분함량으로 표시할 수 있다.

유효수분의 하한치(Dmin)로는 위조점과 생장저해수분점을 고려할 수 있다. 유효수분의 하한치는 위조점이 아니라 식물의 생장에 조금이라도 지장이 있다면 이를 하한으로 선정해야 한다는 견해가 있으나 장기간의 일별 관개계획 수립시에는 유효수분이 하한치에 도달한 즉시 관개가 개시되므로 생장저해수분점보다 위조점을 유효수분의 하한치로 선정하는 것이 보다 합리적이다. 일반적으로 대기의 15기압에 상당하는 압력이 토양중에 작용할 때의 토양수분함량을 위조점으로 표시한다.

한편 유효수분의 토양내 한계인 유효토층은 작물의 뿌리깊이를 적용하였으며 Dmax와 Dmin는 토양별, 심도별 포장용수량과 위조점을 작물과 토양에 따라 적용하였다. 한국의 전토양(농촌진흥청, 1986)에서는 125개 밭 토양통의 토층별 포장용수량과 영구위조점을 조사하였다.

## 2) 토양수분소비형

밭관개에 중요한 것은 토양수분이 위조점에 달하기 직전에 관개하여 근근역의 토양수분을 다시 포장용수량으로 회복시키는 것이다. 이때 보급해야 할 관개량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TAW = (FC - WP) \times Z_r \quad (4-16)$$

여기서, TAW : 근근역의 총이용토양수분량(Total Available Water, mm)

FC : 포장용수량(%), WP : 위조점(%), Z<sub>r</sub> : 작물뿌리깊이(mm)

그러나 이론적으로 작물이 위조점까지 수분량을 고르게 이용할 수 있지만 유효토층내의 수분감소량은 일정하지 않은 경우가 많고 일반적으로 표층에서 하층으로 내려갈수록 감소한다. FAO에서는 작물별로 작물뿌리 깊이내의 감소율을 증발산량이 5mm/d인 경우(표 3-4-69)와 같이 제시하였다. 그러므로 토양수분 감소율을 고려한 신속토양수분이용량(Readily Available Water)은 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$RAW = \bar{P} \times TAW \quad (4-17)$$

여기서, RAW = 신속토양수분이용량(mm),  $\bar{P}$  = 토양수분 감소율

이때 토양수분감소율은 증발산량 5mm/d 기준이므로 일별 증발산량에 따라 다음과 같

이 보정할 수 있다.

$$P = \bar{P} + [ 0.04 \times (5 - ET_c) ] \quad (4-18)$$

$$RAW = P \times TAW \quad (4-19)$$

여기서,  $ET_c$  : 작물별 증발산량(mm)

보정된 계수를 고려한 토양수분이용량이 유효수분량이며 이를 밭 토양의 수분한계로 선정하여 일별 토양수분추적법에 의하여 유효수량과 관개량을 산정한다.

<표 4-83> 작물별 최대뿌리 깊이와 토양수분 감소율

작물명	최대 뿌리깊이 (m)	감소율	작물명	최대 뿌리깊이 (m)	감소율
양배추	0.5 ~ 0.8	0.45	당 근	0.5 ~ 1.0	0.35
샐러리	0.3 ~ 0.5	0.20	마 늘	0.3 ~ 0.5	0.30
상 치	0.3 ~ 0.5	0.30	양 과 (유채, 담배)	0.3 ~ 0.6	0.30
무 우	0.3 ~ 0.5	0.30	고 추	0.5 ~ 1.0	0.30
토마토	0.7 ~ 1.5	0.40	오 이	0.7 ~ 1.2	0.50
메 론	0.8 ~ 1.5	0.40	감 자	0.4 ~ 0.6	0.35
고구마	1.0 ~ 1.5	0.65	시금치	0.3 ~ 0.5	0.30
콩	0.6 ~ 0.8	0.50	참 깨	1.0 ~ 1.5	0.60
보 리	1.0 ~ 1.5	0.55	알파파	1.0 ~ 2.0	0.55
사 과	1.0 ~ 2.0	0.50	포 도	1.0 ~ 2.0	0.35

(자료) Crop evapotranspiration, Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998

### 3) 잠재유효수량

강우로 인하여 토양으로 유입(침투)되는 수량을 잠재유효수량으로 정의하며 밭의 잠재유효수량은 SCS방법에 따라 토양을 4개(A, B, C, D) 그룹으로 나누어 <표 4-84>와 같이 선행강우조건에 따라 유출량을 구하고 강수량으로부터 지표유출량을 제외한 값이 침투량이 되며 이 값이 잠재유효수량이다. 이때 일강우량이 5.0mm 이하인 경우에는 밭의 용수에 기여하지 않는 것으로 간주하였다.

<표 4-84> 선행 토양함수조건 분류

AMC Group	5일 선행 강수량, $P_5$ (mm)	
	비 생 육 기	생 육 기
AMC-1	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
AMC-2	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.3$
AMC-3	$27.94 < P_5$	$53.34 < P_5$

SCS방법에 의한 잠재유효우량의 산정은 작물, 토양특성, 선행강우 습도상태와 강우량에 관한 정보를 필요로 한다. 침투량은 강우량과 유출량을 계산하면 알 수 있다. 잠재유효우량에 영향을 미치는 인자는 토양경사, 토양조직과 구조, 작물, 강우강도와 지속시간 등이다.

강우는 유출, 침투, 차단, 증발산 등으로 구성되어 있으나 차단은 소량이기 때문에 강우는 거의 침투와 유출의 합으로 볼 수 있다. 침투된 물은 토양의 수분을 재충전하거나 근근역 밑으로 침투된다.

토양은 대표용수구역의 유역조사에서 얻어진 토양특성자료와 농촌진흥청에서 전국적으로 조사한 자료를 바탕으로 분류가 가능하며 SCS의 토양분류는 <표 4-85>와 같다.

<표 4-85> 토양형의 분류

토양분류	토 양 의 성 질
A	낮은 유출율
B	침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호
C	침투율이 대체로 작고, 대체로 세사질 토양층, 배수 대체로 불량
D	높은 유출율, 침투율이 대단히 작고, 점토질 종류의 토양으로 거의 불투성, 배수 대단히 불량

### 사. 발용수량 물수지

발용수 수요량을 산정하기 위하여 일별 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석하기 위한 것으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{(t)} = D_{(t-1)} + R_{e(t)} + R_{eq(t)} - U_{(t)} \quad (4-18)$$

여기서,  $D(t)$  : t일의 발 토양수분(mm),  $D(t-1)$  : t-1일의 발 토양수분(mm)

$R_e(t)$  : t일의 유효우량(mm),  $R_{eq}(t)$  : t일의 순관개량(mm)

$U(t)$  : t일의 소비수량(mm),

$U(t) = ET_a(t) = ET_o \times K(\text{작물 계수})$ 이다.

그러므로 물수지를 고려한 발의 유효우량은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{e(t)} = D_{(t)} - D_{(t-1)} - R_{eq(t)} + U_{(t)} \quad (4-19)$$

그러나 실제 발의 토양수분 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분 최대저류량( $D_{max}$ ) 및 위조점( $D_{min}$ )에 의해 제

한할 수 있다.

잠재유효수량은 강수량에서 유출량을 뺀 값이며 침투된 물은 토양을 재충전하거나 근  
 균역 밑으로 침투된다. 만약 잠재유효수량이 근균역이 포함할 수 있는 깊이보다 크면 유효  
 수량은 근균역이 포함할 수 있는 양과 같다. 잠재유효수량이 근균역 깊이보다 큰 경우  
 에 유효수량은 잠재유효수량과 같다.

유효수량을 예측하는데 어려운 점은 지역내의 강우자료, 경사도, 토양의 피복상태, 토  
 성 등의 불균일성을 들 수 있으며 특히 토양의 침투능은 강우강도에 따라 변화하므로 유효  
 수량 산정 결과는 현장측정 자료를 바탕으로 정정할 필요성이 있다. 토양수분, 강수량  
 (잠재유효수량), 필요수량의 관계는 다음과 같이 구분한다.

$$\textcircled{1} D_{\min} \leq D_{(t-1)} + Ra_{(t)} - U_{(t)} \text{ 이면 } Re_{q(t)} = 0$$

$$\textcircled{2} D_{\min} > D_{(t-1)} + Ra_{(t)} - U_{(t)} \text{ 이면}$$

$$Re_{q(t)} = D_{\max} - D_{(t-1)} - Ra_{(t)} + U_{(t)}$$

여기서,  $Ra_{(t)}$  = t일의 잠재유효수량

또한 유효가능수량은 다음 식에 의해 구하며

$$Re_{p(t)} = D_{\max} - D_{(t-1)} + U_{(t)}$$

여기서  $Re_{p(t)}$  = t일의 유효가능수량

(단,  $Re_{p(t)}$ 는 잠재유효수량을 초과할 수 없다)

따라서 유효강수량  $Re(t)$ 는 다음 관계에서 산정한다.

$$Ra_{(t)} \geq Re_{p(t)} \text{ 이면 } Re_{(t)} = Re_{p(t)}$$

$$Ra_{(t)} < Re_{p(t)} \text{ 이면 } Re_{(t)} = Ra_{(t)}$$

### 아. 계획용수량의 결정

계획용수량은 수원에서 포장까지의 용수의 반송, 포장에서의 살포 등에 따른 각종  
 손실을 포함하여 적절하게 결정해야 한다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} - \text{유효수량}$$

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} / \text{관개효율}$$



1) 손실수량

손실수량은 포장내 관개장치의 적용효율과 반송손실을 고려한 관개효율에 의하여 산정할 수 있다. 관개효율은 적용효율에 송수손실을 고려한 것이다. 관개효율은 ‘설계 기준 관개편’에 제시되어 있는 표준치를 사용하는 것을 원칙으로 한다. 표준치 이외를 사용하는 경우는 실측결과 등 근거를 명확히 한다.

<표 4-86> 관개효율

구 분	적용효율(%)	반송 손실율	관개효율
스프링클러관개	80	75	70
물 방울 관 개	85	80	75
지 표 관 개	90	85	80

2) 다목적 용수량

다목적이용계획의 책정에 있어 수혜지구의 이용목적, 필요수량, 필요시간을 명확히 해야 한다. 이용목적에 따라서는 수분보급 용수량을 크게 상회하는 경우가 발생하기 때문에 용수량 책정 시는 시설규모 및 효과를 포함하여 검토해야 한다. 밭의 다목적 용수량은 작물이 생리적으로 요구하는 수분보급량 이외에 필요수량으로 재배관리용수, 기상재해방지용수, 관리 작업의 생력화용수 등이 있다.

‘설계기준 관개편’은 재배관리용수를 파종·정식기의 용수량, 경운작업을 위한 용수량으로 구분하고 있으며 기상재해방지용수는 풍식방지를 위한 용수량, 동상해방지를 위한 용수량, 해풍해 방지를 위한 용수량으로 구분하고 관리 작업의 생력화용수로 액비 용수량, 병충해 방지 용수량, 기타 용수량으로 구분하고 있다.

<표 4-87> 밭의 다목적 용수량

구 분	용수량 (mm)	비 고	
재배관리 용수량	파종·정식기의 용수량	10 ~ 15	
	경운작업을 위한 용수량	20	
기상재해방지 용수량	풍식방지를 위한 용수량	5 ~ 20	
	동상해방지를 위한 용수량	-	일부작물 적용제외
	해풍해방지를 위한 용수량	-	일부지역 적용제외
관리작업의 생력화용수량	액비용수량	20	
	병충해방재용수량	1	
기타용수량	미기상조절용수량	4 ~ 6	

### 3) 관개수량의 결정

관개수량에는 순관개수량 및 손실을 고려한 조관개수량이 있다.

$$\textcircled{1} \text{ 순관개수량} = \text{계획일소비수량} \times \text{간단일수} \quad (4-20)$$

$$\textcircled{2} \text{ 포장관개수량} = \frac{\text{순관개수량}}{\text{적용효율}} \quad (4-21)$$

$$\textcircled{3} \text{ 조관개수량} = \frac{\text{순관개수량}}{\text{관개효율}} \quad (4-22)$$

포장관개수량은 스프링클러 등 살수기에 의해 살수되는 수량으로서 말단 살포기 시설 계획에 사용한다. 조관개수량은 포장관개손실에 반송중의 손실수량을 예상한 것으로 수로의 용량결정에 사용한다.

### 4) 단위용수량 산정

단위용수량은 작물에 대한 증발산량을 산정하고, 이에 배수관로 및 관개장치에 대한 관개효율을 나누어 구하며 시설계획수립시 사용한다.

$$Q = 10 \times \frac{D}{E} \quad (4-23)$$

여기서, Q : 순관개수량(mm/d), D : 증발산량(mm/d), E : 관개효율(%)

$$q = \frac{Q}{86400} \times \frac{24}{T} \quad (4-24)$$

여기서, q : 단위용수량 (m<sup>3</sup>/s/ha), T : 관개시간(h)

### 5) 용수량

지구전체에 필요한 용수량은 다음과 같이 구한다.

$$\textcircled{1} \text{ 순관개수량} = \text{일소비수량} \times \text{관개면적} \quad (4-25)$$

수원으로 저수지를 계획하고 있는 경우, 또는 기별변화를 구하는 경우는 유효우량을 고려하여 일계산 한다. 이 경우 다음의 관수예정일까지 유효강우가 있어도 그 일수는 변경하지 말고 간단일수를 일정하게 두고 관개수량을 수정한다.

$$\textcircled{2} \text{ 조관개수량} = \frac{\text{순관개수량}}{\text{관개효율}} \quad (4-26)$$

조관개수량은 보급관개외에 다목적 관개를 별도로 계산하여 합산하여 산정한다. 다목적관개의 용수량 산정시 관개기간 중에 실시하는 액비방재 등에 필요한 수량이 적은 경우에는 보급관개에 포함된 것으로 보고 무시한다.

### 3.4.2 밭 용수 이용량 산정

#### 가. 측정개요

밭작물의 소비수량을 측정하기 위해서는 우선 지역별로 주요작물의 재배면적을 검토하여 대상작물을 선정하여야 하며, 이를 대상으로 작부체계, 토성을 고려하여 시험계획을 수립하여 측정하여야 한다.

밭작물의 소비수량은 작물의 뿌리가 성장하여 수분을 흡수하는 범위 즉 유효 근근역에서 포장용수량 상태에서 생장저해수분점까지의 토양수분 범위에서 소비된 수량이다.

밭작물의 소비수량을 규명하기 위해서는 토양수분변화에 대한 증발산량을 측정하여야 하며, 노지작물이 강우에 의하여 영향을 받기 때문에 노지의 경우 유효수량에 대해서도 검토할 필요성이 있다.

밭작물 소비수량을 실측하는 방법은 토양수분감소법, 챔버법, 칭량법 등이 있으며 주로 라이시미터와 텐시오미터를 이용하여 측정하는 칭량법을 사용하여 왔다. 밭작물의 소비수량을 결정할 때 관개수준은 토양수분장력(pF) 혹은 압력(Bar)에 의하여 결정하며 토양수분장력은 주로 텐시오미터를 이용하여 측정한다.

작물의 소비수량은 작물이 성장하기 위해 흡수하는 수량과 표면에서 증산하는 수량 및 토양면에서 증발하는 수량 및 지하로 침투하는 수량의 합계이다. 그리고, 작물의 종류, 생육시기, 기상조건, 토양조건 등에 의하여 변화하기 때문에 밭관개 계획시 지구마다 별도로 필요수량을 산정하여 시설계획에 이용한다.

소비수량의 실측방법은 토양수분감소법, 라이시미터법, 챔버법 등이 있으나, 토양수분감소법이 가장 널리 이용되고 있다. 토양수분감소법은 토양내의 수분변화를 현지에서 직접 측정하는 방법이기 때문에 작물의 소비수량을 가장 정밀하게 측정할 수 있다. 그러나, 이 방법은 연중 관측이 곤란하기 때문에 소비수량이 최대가 되는 기간에 중점적으로 실시하여 사용해야 한다.

토양수분감소법은 유효토층을 대상으로 층별 체적함수량을 측정하여 이에 토층의 두께를 곱하여 소비수량을 구하는 방법으로 다음과 같이 계산한다.

$$C_T = \sum_{i=0}^n e_i \quad (4-27)$$
$$e_i = \frac{1}{100} (W_i - W_i) H_i$$

여기서,  $C_T$  : 소비수량(mm),  $e_i$  :  $i$  토층의 수분감소량(mm),  $W_i$  :  $i$  토층의 측정초기 체적함수량(%),  $W_i$  :  $i$  토층의 측정말기 체적함수량(%),  $H_i$  :  $i$  토층의 두께(mm)

TRAM(Total readily available moisture, 전신속유효수분량)은 이론상의 1회 관개수량으로 유효토층 전체에서 소비되는 수분량을 말하며 제한토층의 생장유효수분(RAM)을 제

한토층의 수분소비형(SMEP)으로 나누어 구한다. 제한토층은 유효토층 내에서 수분감소가 심하고 수분상태가 작물의 수량 및 품질에 직접 영향을 미치는 토층이다.

$$TRAM = (f_{24} - M_L) \frac{D}{C_p} \quad (4-28)$$

여기서,  $f_{24}$  : 포장용수량(체적 %),  $M_L$  : 성장저해수분점(체적 %),  $D$  : 제한토층의 두께(mm),  $C_p$  : 제한토층의 토양수분소비형(%)

간단일수는 한 번 관개한 후 다음 관개까지의 일수이며, TRAM을 일소비수량으로 나누어 소숫점 이하는 버리고 정수만을 취하여 얻는다. 또한, 1회 관개수량은 일소비수량에 간단일수를 곱하여 구한다.

## 나. 발작물 소비수량 측정 방법

### 1) 토양수분측정 방법

토양수분을 측정하기 위한 방법은 다양한 방법이 있으며, 가장 기본적인 방법이 토양시료를 채취하여 측정하는 채토법이며 토양중의 장력을 측정하는 텐시오미터법, 전기저항을 측정하여 토양수분을 측정하는 전기저항법, 중성자법, 중량법, TDR법 등이 있다.

#### (가) 채토법

포장의 토양을 직접 채취해서 수분의 변화가 없도록 실험실로 운반하며, 100~110℃로 일정한 중량이 될 때까지 건조시켰을 때 그 감량을 토양수분량으로 한다.

채토에 있어서는 정용적 채토기(100cc)를 사용하면 편리하다. 채토 해야 할 시료용적이 너무 적으면 측정치의 분산(평균치에서 벗어나는 오차)이 커질 염려가 있으므로 주의해야 한다. 시료에 자갈이 함유되고 또 그 크기가 증가할수록 시료용적을 많이 할 필요가 있다. 이 방법은 토양수분의 절대량을 직접 알 수 있으므로 토양수분감소법으로 정확한 소비수량을 구할 때 기본이 되는 측정법이고, 또한 텐시오미터법, 전기저항법에 의한 토양수분의 검증에 쓰이므로 매우 중요하다.

- ㉑ 토양수분의 측정을 위한 채토는 원칙적으로 연속한천시기를 기다렸다가 한다.
- ㉒ 채토개시는 강우가 많이 있었거나 관개를 한 후 토양수분이 포장용수량에 가까운 상태일 때부터 하는 것이 바람직하다.
- ㉓ 채토한 구멍은 나중에 같은 구멍을 파서 측정하기 때문에 채토가 끝난 후에는 그 구멍의 범위와 채토위치를 명확하게 표시한 후 되메운다.
- ㉔ 다음에는 되메운 흙을 다시 파내어 같은 방법으로 채토한다. 채토는 먼저와 같은 위치에서 하는데, 구멍이 단면을 20cm정도 잘라 내려뜨려 새로운 단면

을 만들고 채토한다.

㉓ 채토는 보통 2~3일 간격으로 한다.

㉔ 채토할 때에는 100cc 용적의 원통을 사용하는 것이 편리하다.

어떤 방법을 이용하든 소비수량은 토양수분의 감소량에 의하여 구한다. 이 토양수분의 감소량은 부피단위함수비로 나타내며, 이와 같은 표시방법을 이용하면 1mm의 수량은 토양의 깊이 10cm에 대하여 부피단위함수비는 1%가 된다. 이와 같은 방법으로 소비수량은 다음과 같이 구한다.

$$\text{일소비수량} = \frac{W_1 - W_2}{A\text{일에서 } B\text{일까지에 이르는 일수}} \text{ (mm)} \quad (4-29)$$

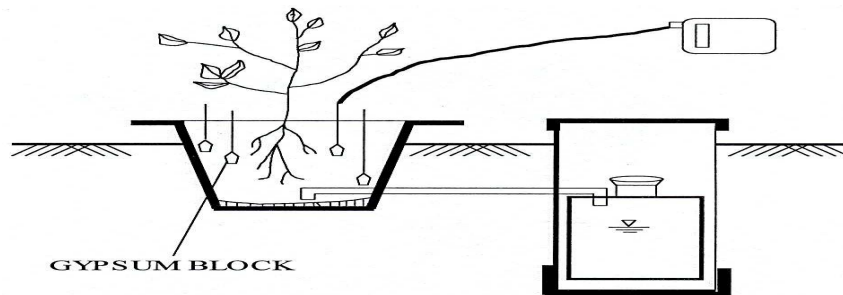
#### (나) 텐시오미터법

토양중의 모관장력을 다공물질체를 매체로 해서 압력계로 유도하여 측정하는 방법으로서, 일반적으로는 다공체로 포러스컵(Porous cup), 압력계로 수은 마노미터가 쓰이고 토양수분량을 미리 준비한 수분장력관계곡선에 의해 구한다.

텐시오미터는 그 기구상 측정범위가 최고 1기압(pF 3.0)까지만, 1기압 가까이 되면 측정기구 속에 공기가 유입되어 기능이 저하하므로, 실제 사용범위는 0.85 기압 정도까지이다. 따라서 비교적 습윤상태(pF 0~2.8)의 토양수분측정에 적합하다.

#### (다) 전기저항법

전극을 장치한 흡습체를 흠속에 매설하고 오옴미터(ohm meter)에 의해 전기저항치의 변화를 측정해서, 미리 준비한 토양수분-전기저항곡선에 의해 토양수분을 측정하는 방법이다. 흡습체로서는 석고블록(block), 나이론 유니트(nylon unit) 또는 유리 필터블록(glass filter block)을 쓰는 것이 좋다. 특히 유리 필터블록은 측정범위가 pF 1.4~4.6 정도로 넓다. 석고블록은 토양염류의 영향을 받는 일이 적지만 내수성이 낮으며, 사용전원으로서의 교류전원을 쓴다.



<그림 4-19> Gypsum block에 의한 방법

(라) 중성자법

라듐(Ra)·베릴륨(Be) 등으로부터 방사되는 빠른 중성자는 물질을 통과할 때 수소원자와 충돌하면 그 속도가 현저하게 감퇴된다. 중성자법은 이것을 이용하는 방법으로서 토양 속의 수소원자는 주로 토양수분 속에 있기 때문에 토양 속에서의 중성자의 감속의 양상을 측정하여 함수량을 구한다.

(마) 중량법

토양을 105℃에서 건조평형에 이를 때까지 건조시켰을 때의 감량을 수분으로 하여 구하는 것이다.

$$\text{수분 함량}(\%, \text{중량}) = \frac{\text{채취한 시료무게} - \text{건조된 시료무게}}{\text{건조된 시료무게}} \quad (4-30)$$

토양시료를 건조할 때 평형에 이르는 시간이 토양에 따라 다르지만 보통 24시간 건조 후 측정한다.

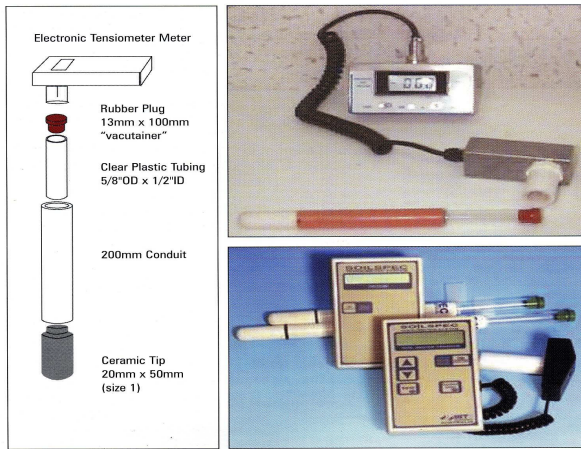
(바) TDR법

가장 최근에 사용화 된 토양수분함량측정법이다. TDR은 Time Domain reflecto-metry의 약자로 이 법의 원리는 계측기(TDR Trace)로부터 고주파를 발생하고 한쌍의 평형막대선으로 구성된 센서막대를 타고 고주파가 흘러갔다가 막대의 끝에서 다시 되돌아오게 되는데 이때의 전파속도를 읽어 토양수분함량을 측정한다. 센서 막대 주위의 토양수분함량에 따라 전파속도가 느리다고 한다. 이 계측기는 측정오차가 상당히 작은 것으로 알려져 있다. 토양수분 측정기 종류와 각각의 장단점을 보면 다음과 같다.

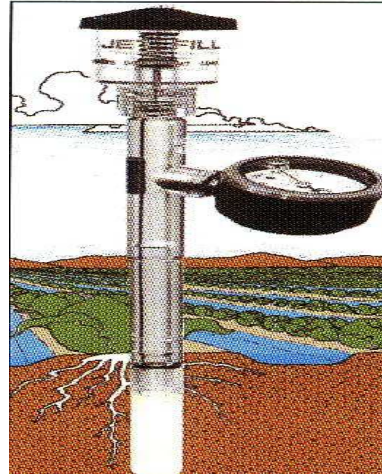
<그림 4-20~24>은 토양수분장력으로 표시되는 토양수분 측정장치를 나타낸다. <그림 4-20>은 Tensiometer measured by handheld transducer의 측정기기로서 측정범위는 토양수분장력 0~80Kpa이다. 장점으로는 ① 토양수분장력 측정, ② 간편하고 저렴, ③ 습윤토양조건에서 석고블럭보다 정확, ④ 염분에 영향을 받지 않는다. 단점으로는 ① 측정시 1m 길이가 필요, ② 0~80Kpa까지 측정이 가능한데 50Kpa가 넘어가면 정확하지 않음, ③ 계기 값을 토양수분함수비로 전환하려면 장력-토양수분함수비 관계를 얻어야 가능하다.

<그림 4-21>은 Gauge-Type Tensiometer로서 측정범위는 토양수분장력 0~80Kpa이다. 장점으로는 ① 계기가 본체에 부착되어 있어 계기와 별도의 선 연결이 필요 없고, ② Meter-Read에 비해 유지관리가 쉽고, ③ 토양수분장력 측정, ④ 습윤토양조건에서 석고블럭보다 정확, ⑤ 염분에 영향을 받지 않는다. 단점으로는 ① 자료취득이 수동식, ② Meter-Read 방식보다 고가, ③ 0~80Kpa까지 측정이 가능한데 50Kpa가 넘어가면 정확하지 않음, ④ 계기 값을 토양수분함수비로 전환하려면 장력-토양수분함수비 관계를 얻

어야 가능하다.



<그림 4-20> Tensionmeter measured by handheld transducer



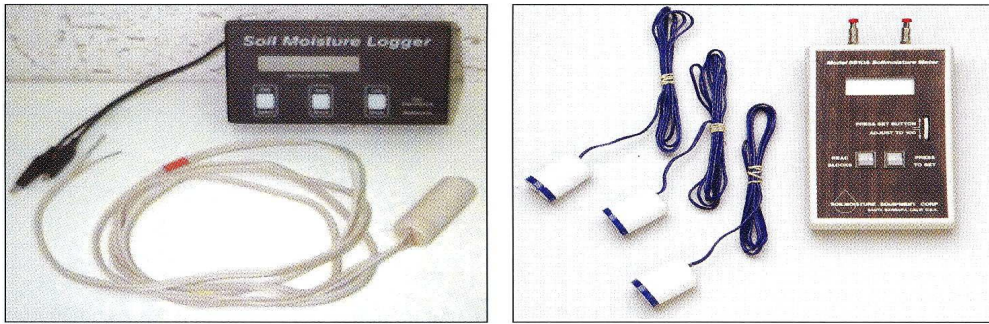
<그림 4-21> Gauge-type Tensiometer

<그림 4-22>은 Gypsum block 측정장치로서 측정범위는 토양수분장력 30~1,500Kpa이다. 장점으로 ① 값싸고 간편, ② 건조한 토양(1,000Kpa)의 토양수분 측정에 적합, ③ 토양수분장력 측정, ④ 염분 6 dS/m까지는 영향을 받지 않는다. 단점으로 ① 젖은 토양수분 측정(30Kpa)에 적합치 않음, ② 석고 블록이 용해됨, ③ 쉽게 배수가 이루어지는 사토에는 적합치 않다.

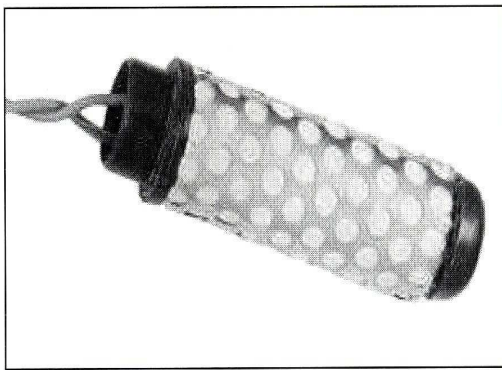
<그림 4-23>는 Granular matrix sensor 측정장치로서 측정범위는 토양수분장력 10~200Kpa이다. 장점으로 ① 값싸고 간편, ② 염분 작용에 완충효과가 있다. 단점으로 ① 수동식, ② 사토에는 적합치 않음, ③ 토양이 너무 건조하면 센서를 꺼내어 젖게 하여야 한다.

<그림 4-24>은 Soil matric potential thermal heat sensor 측정장치로서 측정범위는 토양수분장력 0~1,500Kpa이다. 장점으로 ① 광범위한 범위에 측정 가능, ② 데이터 로거를 통해 자료 자동 수집 가능, ③ 염분에 영향을 받지 않는다. 단점으로 ① 데이터 로거 사용에 필요한 프로그램 능력이 필요, ② 사토에는 적합치 않음, ③ 각 센서로부터 데이터 로거 연결 케이블이 필요하다.

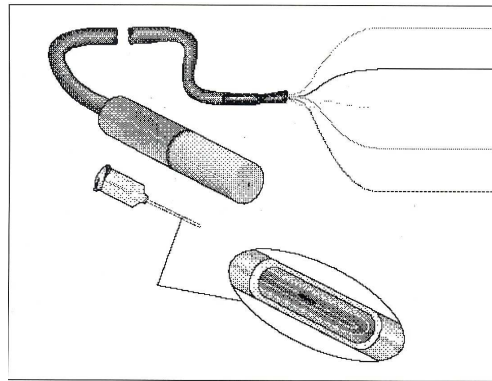
<그림 4-25>은 Equitensiometer 측정장치로서 측정범위는 토양수분장력 0~1,000Kpa이다. 장점으로 ① 유지관리가 필요 없고, ② 광범위한 범위에 측정 가능, ③ 매우 정확함, ④ 건조한 토양에도 적합하다. 단점으로 ① 염분 있는 토양에 적합치 않음, ② 고가, ③ 매 2년마다 제작회사로부터 보정이 필요, ④ 연결 케이블이 필요하다.



<그림 4-22> Gypsum blocks



<그림 4-23> Granular matrix sensor



<그림 4-24> Soil matric potential thermal heat sensor



<그림 4-25> Equitensiometer

<그림 4-26 ~ 41>은 토양수분함수비로 표시되는 토양수분 측정장치를 나타낸다. <그림 4-26>는 Frequency domain reflectometry 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~포화상태까지이다. 장점으로는 ① 다양한 깊이에 대해 동시·연속 측정 가능, ② 침투량, 작물 물소비량 해석이 가능하다. 단점으로는 ① 사용자 교육과 결과 해석 기술이 필요, ② 고정식, ③ 측정 tube 설치 기술에 따라 측정 결과가 민감하게 영향을 받는다.

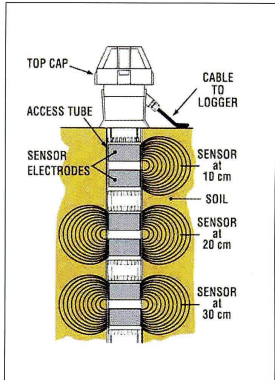
<그림 4-27>은 Diviner 2000 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~포화상태까지이다. 장점으로는 ① 빠르고 쉬운 측정, ② 고가 부품을 현장에 장치할 필요가 없고, ③ neutron-probe와 같은 방사능 위험이 없다. 단점으로는 ① 현장 이동식, ② 데이터 로거



가 안 됨, ③ 결과 해석에 기술이 필요하다.

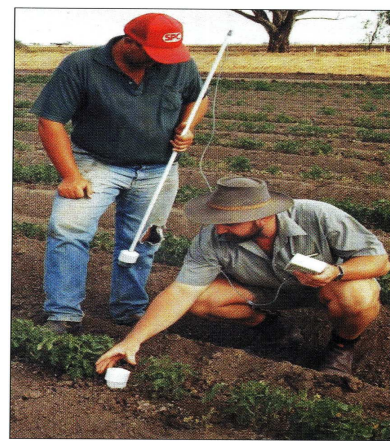
<그림 4-28>는 C-Probe 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~ 포화상태까지이다. 장점으로는 ① 자동 및 연속측정이 가능, ② 침투량, 작물 물소비량 해석 가능, ③ 여러 깊이 동시 측정이 가능하다. 단점으로는 ① 측정 tube 설치기술에 따라 측정결과가 민감하게 영향을 받고, ② 사용자 교육과 해석 기술이 필요, ③ Computer와 Software가 필요하다.

<그림 4-29>는 Gopher 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~ 포화상태까지이다. 장점으로는 ① 저가, ② 빠르고 쉽게 측정되며, ③ 현장에 고가부품을 남겨둘 필요가 없다. 단점으로는 ① 수동식이고 데이터 로거가 안 된다. ② 결과 해석에 기술이 필요, ③ 측정 tube 설치기술에 따라 측정결과가 민감하게 영향을 받고, ④ 장치가 방수가 되지 않아 강우나 관개수에 노출되지 않아야 하고, ⑤ 부품이 취약하여 사용할 때 주의가 필요하다.



<그림 4-26> Frequency domain reflectometry

<그림 4-27> Diviner 2000

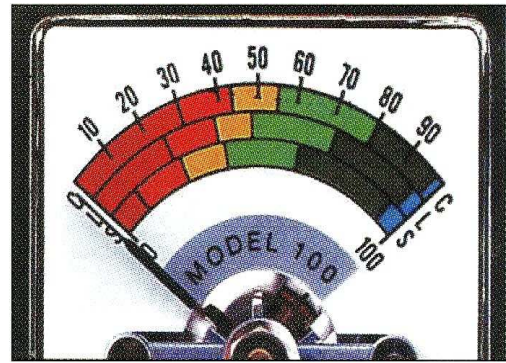


<그림 4-28> C-Probe

<그림 4-29> Gopher

<그림 4-30>는 Buddy 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~포화상태까지이다. 장점으로는 ① 자동 및 연속측정이 가능, ② 여러 깊이를 동시에 측정이 가능하다. 단점으로는 ① 결과 해석에 기술이 필요, ② Computer와 Software가 필요, ③ 센서가 측정 tube에 고정식, ④ 관측공 설치 기술에 따라 측정결과가 민감하게 영향을 받는다.

<그림 4-31>은 Aquaterr 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~포화상태까지이다. 장점으로는 ① 어떠한 깊이든지 탐침을 삽입하여 측정이 가능하다. 단점으로는 ① 건조한 토양에 탐침을 삽입하기가 힘들, ② 자료를 손으로 기록해야 함, ③ 결과 해석을 위해 조사지역 토양 조건에 대한 사전 지식이 필요하다.



<그림 4-30> Buddy

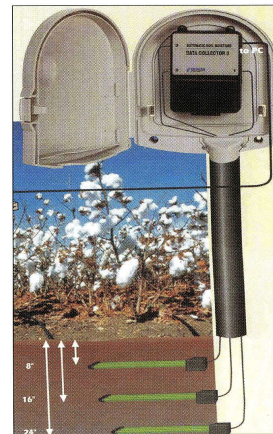
<그림 4-31> Aquaterr

<그림 4-32>은 Thetaprobe 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~포화상태까지이다. 장점으로는 ① 근역의 다양한 깊이에서 측정이 가능하다. 단점으로는 ① 여러 개의 probe를 사용할 때 가격이 상승, ② 수동으로 자료 기록, ③ 건조한 토양에 probe 설치가 어렵고, ④ 염분에 약간 영향을 받는다.

<그림 4-33>는 Netafim soil moisture data collector로서 토양수분함수비 측정범위는 0~포화상태까지이다. 장점으로는 ① 염분에 영향을 받지 않고, ② 간단하고 일체시스템이고, ③ 비교적 가격이 저렴하다. 단점으로는 ① 토양함수비가 높을 때 정확치 않다.



<그림 4-32> Thetaprobe

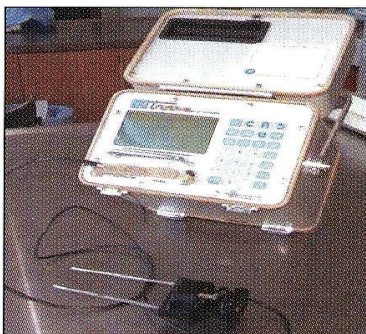


<그림 4-33> Netafim soil moisture data collector

<그림 4-34>은 Tektronix TDR 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~50%까지이다. 장점으로는 정확하다. 단점으로는 ① 고가이고 고도의 훈련이 필요, ② 휴대용이 아니고 크고 무겁다. ③ PC나 laptop이 필요하고, ④ 염분이나 전기전도도가 큰 토양에서는 측정치의 영향을 받는다.

<그림 4-35>은 TRACE<sup>®</sup> TDR 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~50%까지이다. 장점으로는 ① 매우 정확하고, ② 토양함수비 값의 출력이 가능하고, ③ data storage가 가능하다. 단점으로는 ① 휴대용으로 사용하기에는 무겁고, ② 고가, ③ 휴대용으로 사용시 탐침을 건조한 토양에 삽입하기가 어렵고, ④ 용적밀도가 큰 점토질이나 염분 토양에서는 약한 신호를 보낸다.

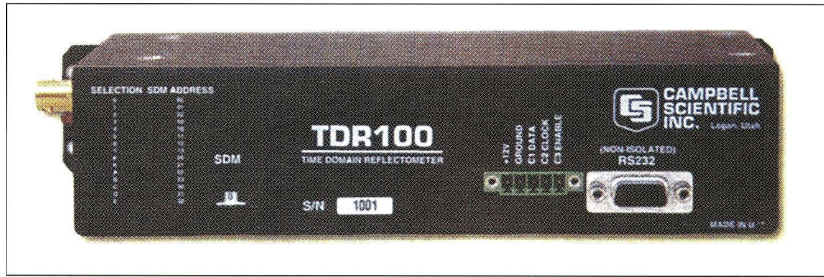
<그림 4-36>는 Campbell Scientific TDR 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~50%까지이다. 장점으로는 ① 작고 가볍고, ② 매우 정확하다. 단점으로는 ① PC나 data logger가 필요하고, ② 염분이나 전기전도도가 높은 토양에서는 부정확할 수 있다.



<그림 4-34> Tektronix TDR



<그림 4-35> TRACE<sup>®</sup> TDR



<그림 4-36> Campbell Scientific TDR

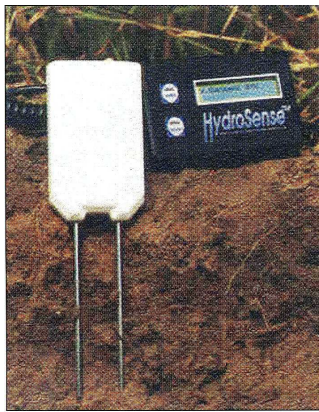
<그림 4-37>은 Water content reflectometer 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~50%까지이다. 장점으로는 휴대용이고 정확하다. 단점으로는 염분이 2 dS/m 이상 일 때 영향을 받는다.

<그림 4-38>은 Aquaflex 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~70%까지이다. 장점으로는 ① 3m 길이의 평균 함수비를 측정하고, ② 지중온도 측정이 가능하며, ③ 토양 전기전도도와 토양내 온도를 상쇄시키고 토양 수분을 측정한다. 단점으로는 ① 설치시 토양이 교란되고, ② Cable이 손상되기가 쉽고, ③ 보정시 여러 샘플을 취해야 한다.

<그림 4-39>은 Gropoint 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 5~50%까지이다. 장점으로는 ① 계기 값을 읽기가 쉽고, ② 센서, logger, software가 비교적 저렴하다. 단점으로는 ① 보정할 수가 없고, ② 염도가 높을 때는 부정확하고, ③ 불교란 토양에 probe를 설치하지 못한다.

<그림 4-40>는 Neutron Moderation 측정장치로서 토양수분함수비 측정범위는 0~60%까지이다. 장점으로는 정확하고, 염분에 영향을 받지 않는다. 단점으로는 ① 수동식, ② 무겁고 설치가 불편하고, ③ 다른 토양조건마다 보정이 필요하고, ④ 표토층은 측정이 어렵고, ⑤ 반응이 느려 측정시간이 오래 걸린다.

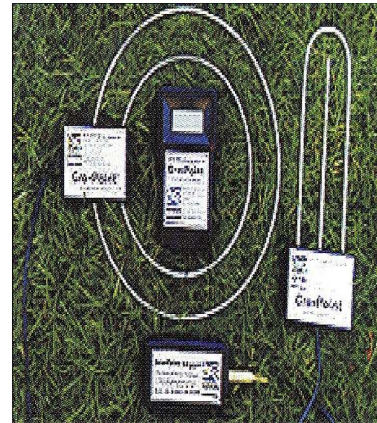
<그림 4-41>은 AquaSensor 측정장치로서 측정범위는 포장용수량 보다 10% 적은 함수비까지이다. 장점으로는 ① 염분에 영향을 받지 않고, ② probe 직경이 작아 토양 교란이 최소화되고, 측정부위 값이 정확히 측정된다. 단점으로는 ① 측정부위가 작아 깊이별 수분변화가 심한 곳은 여러 곳을 측정할 필요가 있고, ② 측정시간이 오래 걸리고(5분), ③ Raw data를 얻을 수 없다.



<그림 4-37> Water content



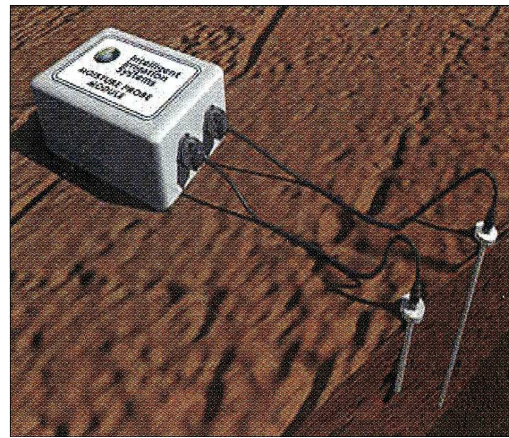
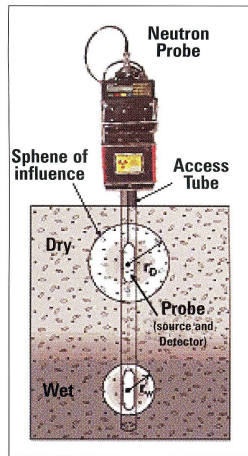
<그림 4-38> quaflex



<그림 4-39> opoint reflectometer



<그림 4-40> Neutron moderation



<그림 4-41> AquaSensor

## 다. 증발산량 측정방법

증발산량 실측방법은 다음과 같이 분류된다.

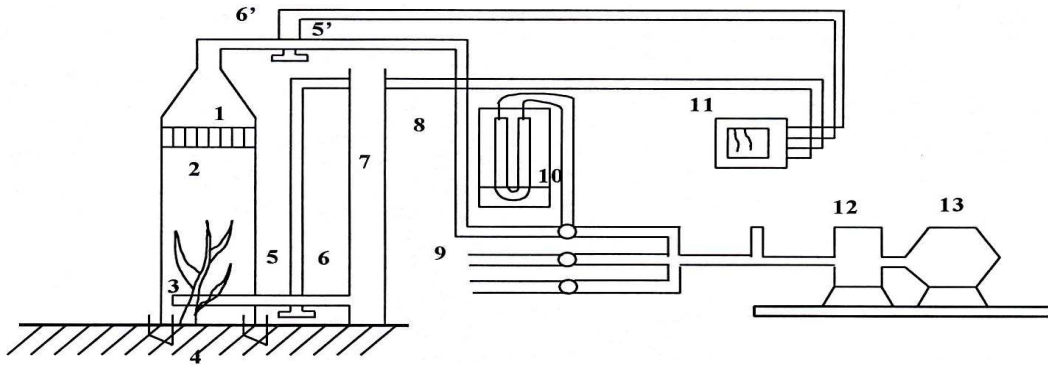
- Chamber법 : 습도측정법, 냉각측정법
- Lysimeter법 : 칭량법, 지하급수법, 수분수지법

### 1) Chamber법

습윤측정법과 냉각측정법이 있으나, 기본원리에 있어서 거의 비슷하며 습윤측정법에 관하여 살펴보면, 그림에서 보는 바와 같이, 작물의 지상부를 투명한 염화비닐재료의 Chamber로 피복하고 공기를 유입시켜 유입 및 유출의 수증기량을 측정하여 그 차에서 증발산량을 측정하는 방법으로 수증기수지법이라고 불리운다.

Chamber는 유입부, 증산부, 유출부, 흡풍기부 및 온도기록부와 유통기량을 측정하는 Orifice부로 구성된다.공시체는 Pot나 Lysimeter에서와 같이 동일체를 계속해서 조사하는 것이 아니고, 조사 측정하고자 할 때의 평균이 되는 작물을 선정하여 측정 24~48시간 전에 토양수분이 포장용수량에 달하도록 공시체 부근에 충분히 관수한 후 측정을 실시한다.

1. 정류격자 2. 증발산실 3. 환상분배관 4. 매설환 5. 습구 6. 건구 7. 흡기통
8. 통기관 9. 유량계 10. 압력계 11. 전기온도기록계 12. 전동기



<그림 4-42> Chamber법에 의한 증발산량 측정 개략도

## 2) Lysimeter법

Lysimeter법은 토양조와 침출수 수수조 등을 설치하고 다음의 물수지 계산식에 의하여 소비수량을 구한다.

$$ET = R + I - S \text{ (mm)} \quad (4-31)$$

여기서, ET : 소비수량(증발산량), R : 강우량, I : 관개량, S : 침출수량

### (가) 칭량법

단위작물로 너무 크지 않은 작물(양배추, 가지, 맥류 등)의 경우에 적합하나 토양수분의 조절칭량에 상당한 노력이 요구된다. 직접칭량은 용량의 한도가 있으므로 부력을 이용한 부유식(floating) Lysimeter를 사용하면 편리하며, 부유식은 공기식을 갖는 토양 TANK를 수조의 중간에 띄우고 수조의 수위변화에 의하여 소비수량을 알 수 있도록 한 것이다. 설치장소는 실제포장의 미기상조건과 비슷한 지점이여야 한다. 소비수량은 다음식으로 계산한다.

$$\text{증발산량(mm)} = \frac{\text{토양 탱크의 감소중량(kg)}}{\text{토양 탱크의 단면적(m}^2\text{)}} \quad (4-32)$$

(나) 지하급수법

토양탱크, 정수두장치, 기록계의 3개 주요부로 구성된다. 그림과 같이 토양탱크 밑에 자유수면을 유지시켜 작물의 증발산에 의해 상호수분이 소비되면 모관상승에 의해 수면이 저하되고 이 수면저하만큼 항상 수분을 보급할 수 있도록 장치를 한 것이다. 이 보급수량이 소비수량이 된다.

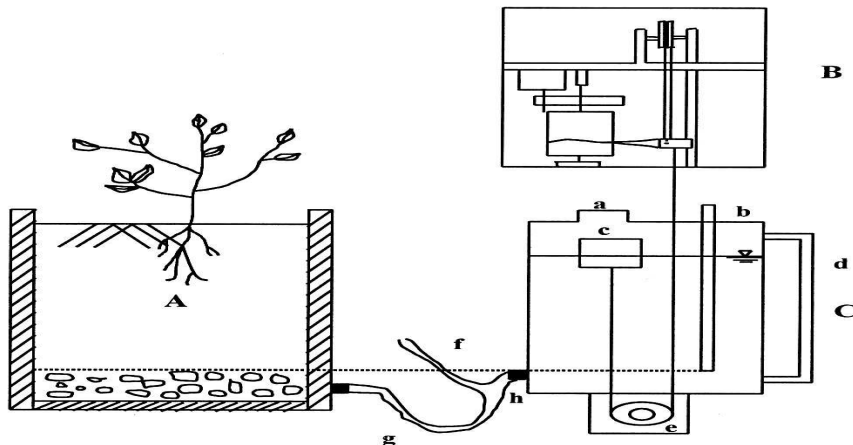
소비수량은 토양탱크의 소비수심과 습수탱크의 감수심과의 관계에서 다음 식과 같이 계산된다.

$$h_1 = \left( \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot h_2 \quad (4-33)$$

여기서,  $A_1$  : 급수탱크 단면적( $\text{cm}^2$ ),  $A_2$  : 토양탱크 단면적( $\text{cm}^2$ ),  $h_1$  : 급수탱크 감수심(mm),  $h_2$  : 토양탱크 소비수량(mm)

$$ET = K \cdot h_1 \quad K = \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \quad (4-34)$$

여기서 ET : 증발산량이다.



- A : 토양탱크    B : 정수두장치    C : 자리기록계  
a : 급수전    b : 수위조절용 파이프    c : 부자    d : 수위관측용 튜브  
e : 도르레    f : 지하수위 검정용 파이프    h : 도수조절밸브

<그림 4-43> 지하급수법에 의한 측정 개략도

#### (다) 물수지법

토양탱크 하단에 메스실린더 등의 집수관을 설치하여 토양용수량 이상의 수분이 자유로이 흘러나오도록 한다. 이 유출량은 메스실린더로 측정해도 되지만, 자기측정계로 측정하면 더욱 편리하다.

측정에 있어서는 포장용수량상태에서 수일 동안 건조시킨 다음 강우(R mm)가 있거나 또는 관개(I mm)했을 때 흠속으로부터의 유출량(d mm)을 측정한다. 여기서 (I-d mm)가 구하고자 하는 증발산량이다.

같은 방법으로 강우가 있는 경우 표면유출(F mm)이 있었다고 하면 증발산량은 [R-(F+d) mm]가 된다. 이 방법은 흠속으로부터 유출이 일어나지 않을 정도의 적은 강우 또는 적은 관수를 할 경우에는 구하고자 하는 기간의 증발산량을 구할 수 없으므로 이와 같은 일이 없도록 하기 위해서는 최초의 토양수분을 포장용수량상태로 만든 후 이에 알맞는 적당한 물관리를 해야 한다. 또한, 엽면이 큰 작물은 우량계로 측정한 우량과 토양탱크에 들어갈 우량과의 사이에는 상당한 차이가 있으므로 주의해야 한다.

#### (라) 증발계법

증발계법(증발산비법)은 잠재증발산량이 증발계 증발량에 비례한다는 사실에 근거하여 증발산비를 이용하여 증발산량을 산정하는 방법이다.

$$ET_o = K_p \cdot E_p \quad (4-35)$$

여기서,  $ET_o$  : 잠재증발산량(mm/d),  $K_p$  : 증발산비(팬계수),  $E_p$  : 증발계 증발량(mm/d)

증발계로서는 소형 증발계(지름 20cm, 깊이 10cm)와 대형 증발계(지름 121cm, 깊이 25cm)가 이용된다. 조사지역의 증발계 증발량의 자료가 입수되면 이것에 증발산비를 곱하여 기준 증발산량을 구할 수 있다.

### 라. 작물 소비수량 산정을 위한 포장실험 사례

#### 1) 측정시설

시험포장에 설치된 측정시설로는 관개량을 측정하기 위해 각 처리구별로 계량기 8조와 깊이별 토양수분함량을 측정하기 위해 TDR 관측공 8조, 표면 토양수분함량을 측정하기 위해 15cm 관측공 8조를 처리구에 설치하였으며, 모든 측정 기기는 2002년 6월 21일부터 2002년 10월 22일까지 운영하였다. 한편, 기상자료는 농촌진흥청 목포시험장에서 자체적으로 온도, 풍속, 강우량, 습도 등을 측정하고 있으므로 현장 측정자료를 이용하였으며, 증발량 자료는 목포기상관측소 자료를 이용하였다.





<그림 4-44> 비가림 하우스 시설



<그림 4-45> TDR 관측공 전경



<그림 4-46> TDR관측공 타설 전경



<그림 4-47> 현장 기상계측시설

## 2) 토양수분 측정

관개량은 처리구별면적 × 처리구별 관수 깊이를 산정하여 관개하였으며, 관개간격은 10일 간격으로 실시하였다. 토양수분 측정을 위해서 TDR(독일 IMKO사 TRIME - FM)을 이용하였으며, 토양수분 관측공을 90cm 깊이까지 매설하여 프로브를 이용 20cm 간격으로 평균 토양 수분을 측정하였다. 토양수분 측정간격은 보통 3~5일 간격으로 실시하였다.



<그림 4-48> TDR 관측공 설치 및 관수전경



<그림 4-49> TDR 관측 전경

### 4.4.3 실제 이용량 조사

#### 가. 밭관개 관행조사

밭작물의 종류, 관개면적, 재배방식 등의 변화에 대해 현지 주민을 대상으로 설문조사를 실시하고, 이를 통해 지역별/시기별 조사 대상 작물을 선정한다. 설문조사 내용은 <표 4-88>과 같은 내용을 포함한다. 또한, 계절별 작물재배 현황을 <표 4-89>와 같이 조사한다.

<표 4-88> 설문조사내용

일반사항	성별, 연령, 학력, 직업	
밭관개 용수량 조사	일반현황	면적, 여름 재배 작물, 겨울 재배 작물
	관개방법	수원공, 물 대주는 방법, 작물에 물주는 시기
	관개량	관개 간격, 관개 시간, 여름·겨울 관개 횟수
재배변화 예측	일반현황	재배 변화 여부
	재배변화	재배 면적, 재배 작물

<표 4-89> 계절별 작물 재배 현황 (단위 : 매수)

마을	구분	설문매수	여름 재배 작물						겨울 재배 작물				
			콩	쪽파	밭벼	고구마	고추	깨	기타	마늘	양파	마늘+양파	대파
밭기반 미정비 지구													
소 계													
밭기반 정비 지구													
소 계													
합 계													

밭에 관개하는 양상을 파악하기 위해 수원공, 관개 형식, 관개시기 등 관개방법에 대한 설문조사를 실시한다. 여기서는 <표 4-90>와 같이 밭관개 관정, 저수탱크 등 수원공 종류와 스프링클러, 비닐호스 등 관개형식과 관개시작 요인을 조사한다. 또한 <표 4-91>과 같이 관개간격과 하루 중 관개시간대, 그리고 <표 4-92> 같이 1회 관개시 소요되는 시간을 조사한다. 아울러 여름과 겨울의 각각 관개횟수도 조사한다.

<표 4-90> 지역별 관개방법

(단위 : 매수)

구분 마을	설문 매수	수원공			관개형식			관개 시작 요인		
		관정	관정 ~ 옹덩이	저수 탱크	스프링 쿨러	비닐구 명호스	조리대	며칠 간격	작물습 기부족	땅에습 기부족
받기반 미정비 지구										
소 계										
받기반 정비 지구										
소 계										
합 계										

<표 4-91> 관개간격과 관개 시간대

(단위 : 매수)

구분 마을	설문 매수	관개간격(일)					하루중 관개시간대(시간)						
		매일	2 ~ 3	3 ~ 7	7 ~ 10	10 ~ 15	6 ~ 9	9 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 18	18 ~ 21	기타	
받기반 미정비 지구													
소 계													
받기반 정비 지구													
소 계													
합 계													

<표 4-92> 1회 관개시 소요되는 시간

(단위 : 매수)

구분 마을	설문 매수	관개하는 시간						
		1시간	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 10	10 ~ 13	하루종일
받기반 정비 미지구								
소 계								
받기반 정비 지구								
소 계								
합 계								

<표 4-93> 여름·겨울에 관개하는 횟수

(단위 : 매수)

마을	구분	설문매수	여름에 관개하는 횟수					겨울에 관개하는 횟수		
			5이하	10이하	15이하	20이하	20이상	5이하	10이하	15이하
밭기반 정비 미지구										
	소 계									
밭기반 정비 지구										
	소 계									
합 계										

### 나. 농가 실제 이용량 조사

대표적인 밭 관개지구를 대상으로 재배작물 종류, 재배면적 작부체계를 조사한다. 이를 위해 설문조사, 농업기술센터 자료, GIS나 원격탐사기법 등을 이용한다. 관개구역에서의 실제 밭관개용수량을 측정하기 위하여 농가를 선정하고 밭에 계량기를 설치하여 관개량을 측정하고, 시기별·작목별 관개실태를 파악한다. 이로부터 대표적인 작부체계의 물 공급량을 조사하고 작물별 작부체계별 급수패턴을 유도한다.

<표 4-94> 재배현황 조사 야장

설문자	성명						전화번호						
재배위치						수원공							
작물별 (최근1~3 년내 재배 작물)	재배 및 생산 현황						농업용수 사용 현황						
	재배 구분	파종	수확	재배 면적	생산량	평균 판매 단가	관수			농약살포 용수		기타 용수	
							횟수	주 사용시기	관수 방법	횟수	1회 사용량	용도	사용량
	(노지, 하우스)	(월, 상중하순)	(평)	(kg/ 10a)	(kg, 박스)	(일)	(9월중순,과 중후,시비후, 가뭍시등)	(스프링 쿨러,점적 관수 등)	(번)	(말)	(식수, 세척등)	전체중 (%)	
기타사항													

사례지역은 마을에서 밭까지의 접근성이 좋고, 어느 정도 재배면적을 가지고 있으며, 지역에서 주로 재배하는 작물을 경작하고 있는 대상지역을 선정한다. 실제 사용량 조사를 위해 농가의 경우 계량기를 설치하고, 밭기반 정비지구의 경우는 공급량을 조사한다.



<그림 4-50> 농가 실제 사용량 조사(예) <그림 4-51> 농가 실제 사용량 조사(예)

<표 4-95> 밭 농업용수 사용량 조사 야장

- 측정시작일시 :

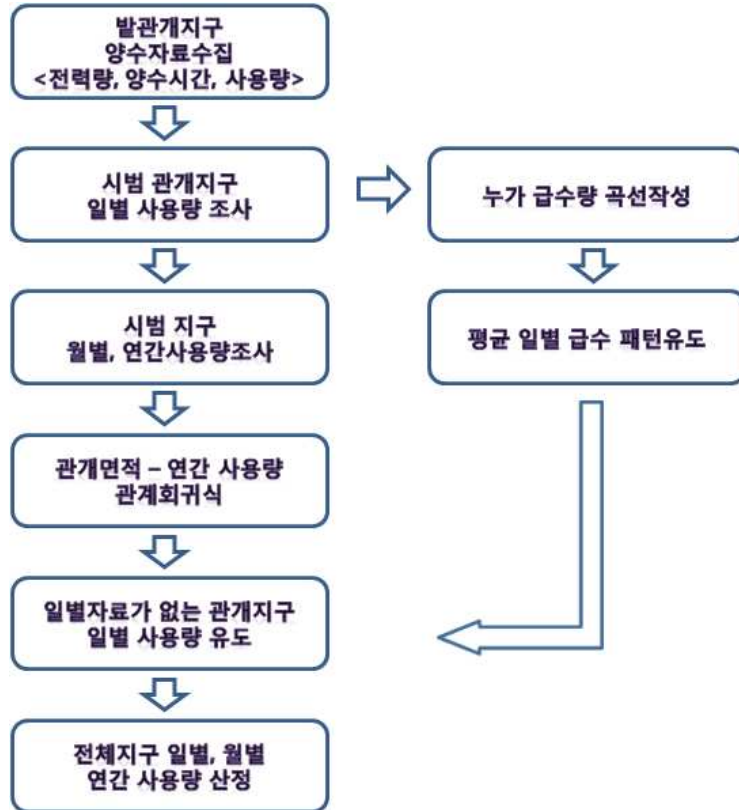
측정자	성명		전화번호	
	주소		핸드폰	
포 장	밭주소		밭면적(평)	
	관정명		관정위치	
재배작물	1차 작물명		과종일	
	2차 작물명		과종일	
	3차 작물명		과종일	
	4차 작물명		과종일	
<b>조 사 대 장</b>				
년 월 일	계량기 유량(m <sup>3</sup> )	사용 용도	특이사항	

밭작물에 대한 실제 용수 이용량 조사 절차는 다음과 같다.

- ① 관개면적, 양수기제원, 대당 양수량, 양수기 가동시간, 전력사용량 자료수집
- ② 대당 양수량, 관개면적, 마력, 대수, 펌프구경 등을 정리된 양식에 기입하고 양수시간 입력
- ③ 시험농가나 시험 밭 관개지구를 대상으로 계량기 이용 조사 기간 전체의 사용량 산정
- ④ 수개의 시험지구 조사 값으로 면적과 관개량 관계식을 유도
- ⑤ 시험 농가를 대상으로 계량기 읽음을 일별로 실시 조사기간 일별 급수 패턴을 작성

- ⑥ 미계측지역의 조사기간 전체 사용량을 면적-관개량 공식에서 유도하고 이를 유도된 급수 패턴을 이용 일별 사용량으로 변환
- ⑦ 개별 농가의 사용량을 합산하여 전체 지구의 일별, 월별, 연간 사용량으로 산정

이상에서 살펴본 밭 용수 이용량 계산 과정을 정리하면 <그림 4-52 >에 나타난 흐름도와 같다.



<그림 4-52> 밭 용수 사용량 조사 과정

## 4.5 조사관련 법 검토

농촌용수 이용량 조사방안 정립에 따른 지속적인 조사 및 IT 기술 발달로 과학적인 실제이용량 조사를 추진하기 위하여 조사와 관련된 법 내용에 대하여 살펴보았다.

조사와 관련된 현행 농어촌정비법, 하천법, 수질 및 수생태계 보전에 관한법률(이하 “수질 및 생태계법”)에 대하여 살펴 본 결과를 정리하여 <표 4-96>에 나타내었다.

현행 농어촌정비법 내용을 살펴보면 법 제19조 및 시행령 제25조에 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전 등을 위하여 농어촌용수 이용 합리화계획을 수립·추진하여야 하며 농어촌용수를 체계적으로 개발하고, 합리적으로 이용하며, 수질을 관리·보전하기 위하여 농어촌용수구역을 설정하여 운용할 수 있다. 그리고 농어촌용수 이용 합리화계획에는 농어촌용수의 수요와 개발에 관한 사항, 농어촌용수의 이용·배분과 보전·관리에 관한 사항, 농어촌용수구역의 범위에 관한 사항과 용수계획이 수립된 후 5년마다 타당성을 검토하여 변경 할 수 있는 규정이 있다.

그러나, 하천법 제16조의 내용에는 하천의 관리 및 국가개발계획의 수립 등에 필요한 하천구역의 기본 현황에 대한 조사와 이수(利水)·치수(治水) 및 하천환경 등 수자원의 이용 및 관리에 대한 조사(이하 “유역조사”)를 실시하며 유역조사는 조사항목의 생성주기, 자료의 변동성 및 활용빈도 등을 고려하여 1년, 5년 또는 10년 주기로 할 수 있으며, 법 제22조는 유역조사의 자료, 법 제17조에 따른 수문조사의 자료 및 그 밖에 필요한 자료의 효율적인 활용을 위하여 수자원 정보체계를 구축·운영을 위하여 중앙행정기관·지방자치단체·정부투자기관 또는 정부출연기관 등 관계 기관의 장에게 필요한 자료의 제출을 요청과 자료 제출의 요청을 받은 관계 기관의 장은 특별한 사유가 없는 한 이에 응하도록 되어있다.

그리고 환경부 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서는 하천/호소 그 밖의 공공수역의 전국적인 수질/수생태계를 파악하기 위하여 실태파악을 실시하고 있으며, 또한 측정망을 설치하여 수질오염도 상시측정과 하천, 호소 등의 수질/수생태계에 대한 전국조사를 항목별, 조사주기 등을 명시하여 실시토록 규정되어 있다.

따라서, 농어촌정비법에는 농어촌용수의 계획수립에 대한 내용만 있을 뿐 농업용수 이용량 조사에 대하여 조사방안 및 자료의 정보화 추진을 위해서 4.2에서 언급한 가칭 “농촌용수 유역 총조사”에 대한 내용을 포함한 규정 또는 지침 등이 조속히 마련되어야 할 것이다. 농업용수 이용량 조사는 농어촌정비법에 근거하여 시설물관리와 각 중 용수계획의 수립에 필요한 유역특성/이수/치수 등과 관련한 기초자료를 조사 정보화 하여야 하며, 이용량 조사는 대표용수구역에 대한 공간적인 자료의 생성주기, 자료의 변동성 및 활용빈도 등을 고려하여 수시조사 또는 특별조사와 병행하여 실제 용수이용량 조사에 대한 지속적인 관측을 실시하여야 효율적이며 과학적인 조사가 가능할 것으로 판단된다.

<표 4-96> 조사관련 법 검토

구 분	법률 주요내용
<p>농어촌정비법 (농림수산식품부)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농어촌용수 이용 합리계획(이하 “용수계획”)의 수립·추진               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농어촌용수의 수요와 개발에 관한 사항</li> <li>- 농어촌용수의 이용·배분과 보전·관리에 관한 사항</li> </ul> </li> <li>○ 농어촌용수구역의 설정 운용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농어촌용수의 체계적 개발, 합리적 이용, 수질 관리·보전</li> </ul> </li> <li>○ 용수계획 변경               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5년마다 타당성 검토 후 변경이 필요하다고 인정되는 경우</li> <li>- 국가계획 또는 공공목적상 용수계획의 변경이 필요하다고 인정되는 경우 등</li> </ul> </li> <li>○ 용수계획의 시행               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농림수산식품부장관의 용수계획 시행을 위한 연차별 투자계획 수립/시행</li> </ul> </li> </ul>
<p>하천법 (국토해양부)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조사 및 계획수립 일환으로 유역조사 및 수문조사 실시</li> <li>○ 유역조사 실시               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천의 관리 및 국가개발계획의 수립 등에 필요한 하천유역의 기본현황에 대한 조사와 이수/치수 및 하천환경 등 수자원 이용/관리에 대한 조사(이하 “유역조사”) 실시</li> </ul> </li> <li>○ 유역조사의 유형·주기·방법               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천유역특성조사, 하천기본/치수현황조사, 하천의 수질 및 생태현황 조사 및 유역조사는 조사항목의 생성주기, 자료의 변동성 및 활용빈도 등을 고려하여 1년, 5년 또는 10년 주기 및 수시조사, 특별조사로 구분</li> </ul> </li> <li>○ 수문조사의 실시               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천유역의 물순환 구조 파악을 위해 하천의 수위/유량/유사량 및 강수량/증발산량 등 과학적인 방법으로 관찰/측정 및 조사 실시</li> </ul> </li> <li>○ 수문조사 계획수립               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수문조사 현황, 기본방향, 조사망의 구축/관리, 조사관련 투자, 자료의 제공/활용</li> </ul> </li> </ul>
<p>수질 및 수생태계 보전에 관한법률 (환경부)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 상시측정 및 수질/수생태계 조사               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하천/호소 그 밖의 공공수역의 전국적인 수질/수생태계 실태파악/측정망 설치하여 수질오염도 상시측정과 하천/호소 등의 수질/수생태계 현황 전국조사</li> </ul> </li> <li>○ 측정망의 종류               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비점오염물질/오염총량목표수질 측정망, 대규모 오염원의 하류지점 측정망, 수질오염 경보를 위한 측정망, 대권역/중권역 관리 측정망 등</li> </ul> </li> <li>○ 측정망 설치 계획 결정고시               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 측정망의 위치/측정항목/조사주기 및 횟수 등을 명시한 측정망 설치계획 고시</li> <li>- 측정망 설치시기, 배치도, 운영기관, 측정자료 확인 방법 등 고시</li> </ul> </li> <li>○ 수질 및 수생태계 정책심의위원회 심의               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 장/단기 정책방향, 관리체계, 수계/호소 등의 관리 우선순위 및 관리대책, 투자 우선순위, 측정/조사에 관한 사항, 정책의 추진상황 점검 및 성과 평가 등</li> </ul> </li> </ul>



## 제5장 하천수 이용에 대한 문제점 및 대책

5.1 하천수의 수리특성

5.2 하천수 이용현황

5.3 하도 물수지분석의 복잡성

5.4 수리권 검토

5.5 문제점 및 대책

## 제5장 하천수 이용에 대한 문제점 및 대책

### 5.1 하천수의 수리(水利) 특성

#### 5.1.1 자연적·수문학적 특성

자연의 현상에 의하여 도는 인위적인 작용에 의하여 지구표면에 만들어진 물의 흐름이 바다로 이어지기 이전까지를 하천이라고 부른다. 하천의 형태가 나타나기 이전의 지표면을 준평원이라고 생각할 때, 강수현상이 발생하여 지표면에 도달하면 중력의 작용으로 높은 곳에서 낮은 곳으로 향하여 강수는 집수되면서 흐름길을 만들게 된다. 이와 같은 유로 형성 과정이 반복됨에 따라 유로의 깊이와 폭은 점점 커지며, 하류 방향으로 감에 따라 하곡이 발달하게 된다.

하천수는 유역으로부터의 유출에 의해 생성된다. 유출은 강수에 의한 지표유출과 지하로 침투된 강수에 의한 지하유출로 구성된다. 지표유출은 강우강도, 강우지속시간, 토양의 종류, 토양수분함량, 토지이용 등에 의해 영향을 받는다.

하천에서 이용할 수 있는 수량은 우선 강우량분포에 의해 결정되는데, 갈수기에는 지하수의 흐름에 의해 결정된다.

#### 가. 계절적으로 불안정

하천 유량을 결정하는 가장 중요한 인자는 강우이기 때문에 이의 영향이 크다. 따라서 하천 유량은 강우량의 계절적 변화에 따라 좌우되기 때문에 우리나라의 경우 강우의 계절적 편중이 심하여 하천의 유량도 그 변화 폭이 크다. 이에 따라 계획적인 급수가 곤란하고 작물의 생육시기 별로 충분한 수량의 확보가 어려운 경우가 생긴다.

#### 나. 우수상태에서의 취수

하천수의 농업용수로의 이용 특성 중의 대표적인 것은 하천 유출수를 저류하여 사용하는 저수지와 달리 우수 상태의 물을 취입해야 하는 특성이 있다. 따라서 양수장의 경우에는 하천의 취수 위치에 따라 취입수량이 변화하게 되고 하천유량의 일부만을 취수하게 된다. 취입보의 경우에는 하천유량의 많은 부분을 취수할 수 있고 유지관리비가 적게 소요된다는 장점이 있으나 홍수기에는 홍수관리에 문제점을 발생시킬 수 있다.

#### 다. 온수 취수가 곤란

##### 1) 벼 생육과 수온

벼 생육과 수확량은 수온에 크게 좌우된다. 최적수온은 생육기간을 통틀어서 주

야간 평균 30~34℃이다. 주야간을 나누어 생각할 때 보통 위험수온이라고 알려진 15~20℃의 저수온과 35℃ 이상의 고수온은 해가 없을 뿐만 아니라 작물생육에 좋은 영향을 줄 수도 있다. 아래 표는 일본에서 연구한 벼 생육의 최저, 최적 및 최고수온을 보여 주고 있다.

유수분화가 시작되면서부터 출수직전까지는 주간 30~35℃, 야간 25~35℃와 같은 고온이 좋다. 이에 반하여 저수온의 악영향이 가장 현저히 나타나는 것도 이 시기이며, 특히 유수 형성기에 20℃ 이하의 주간 저수온에서 피해가 현저하다. 그리고 출수직전(5일 전)부터 그 이후에는 수온의 영향이 거의 나타나지 않는다. 즉, 수온에 대한 고려는 출수기까지로 거의 충분하다.

<표 5-1> 벼의 생육에 대한 최저, 최적, 최고수온(℃)

생육단계	최저온도	최적온도	최고온도
발아기	10~13	30~34	40~44
유묘기	-	32	-
초장신장기	15~16	30~32	40
분얼기	14	28~34	40
수잉기	15	-	40
출수기	17~20	-	-
개화기	15~19	28~40	30~40
성숙기	10~20	30 내외	40

적온으로부터 멀어짐에 따라 생육 및 수량에 나쁜 영향이 나타나며, 고수온 및 저수온에 의한 피해의 출현은 품종의 저항성 크기, 토양의 상태, 시비 방법, 벼의 건강성, 온도 지속기간, 기온의 고저, 생육시기 등에 따라 상당히 달라진다. 대략, 저수온 피해가 나타나는 수온은 21~25℃ 이하이고, 일반적으로는 23℃라고 볼 수 있다. 고수온 피해수온은 35~38℃이며, 일반적으로 36℃이상으로 본다.

## 2) 하천수의 수온

관개용 수원이 되는 자연수는 하천, 저수지, 호소 및 지하수가 있다. 하천의 수온은 하류로 갈수록 상승한다. 산지로부터 평야부로의 이행부에서의 수온은 4월에 8~12℃, 5월에 12~15℃, 6월에 15~20℃, 7월에 18~25℃, 8월에 20~27℃, 9월에 18~20℃이고, 수온의 일변화는 5~10℃ 정도이며 유량, 수심, 기상 등에 따라 다르다.

또한, 하천수의 최고수온은 최고기온보다 1~3시간 후에 나타나고, 최저수온은 최저기온이 나타나는 일출직전과 거의 같은 시각에 나타난다. 그러나 적설지대의 용설기의 수온은 관측지점에 따라 달라진다. 또한, 수로터널에서의 수온은 복사열과 현열전달의 차단에 의하여 터널설치 전의 하천수에 비해 수온상승이 작으며, 유입수의 수온이 높은 경우에는 수온이 오히려 낮아지는 경우도 있다.

### 3) 온수취수 대책

하천수는 일반적으로 벼의 생육초기에 지장을 초래 할 수 있기 때문에 양수장이나 취입보로부터 농지에 물을 공급하는 연결수로의 수심을 가급적 낮게 하거나, 기온이 높은 시간에 취수하는 것이 바람직하다.

## 라. 하류에서 반복이용이 가능

관개의 목적은 작물이 성장하는 데 필요한 수량을 공급하는 것이다. 논벼를 주 작목으로 하고 있는 우리나라에서는 벼의 생육시기에 따라 필요한 수량을 적기에 공급할 수 있도록 물 관리 계획을 수립하며, 이를 위한 수리시설을 개발하고 있다. 논외 관개에 있어서, 관개된 수량은 작물에 의해 모두 소비하는 것이 아니라, 일부는 송수되는 과정에서 침투 등의 손실로 지하로 스며들어 지하수위를 상승시키게 된다. 또한, 논에 공급된 수량이 담수를 위한 물꼬높이보다 많으면 물꼬를 통하여 배수로로 유출되기도 한다.

이러한 농업용수의 순환과정에서 지하수 혹은 지표수의 형태로 배수되어 하천으로 회귀되는 것을 회귀수라 하며, 회귀되는 비율을 회귀율이라 한다.

농업용수 회귀수량은 배수로를 통하여 지표수의 형태로 즉시 배수되는 것과 토양 중으로 침투된 수량이 지하수위를 상승시킨 후, 오랜 시간이 흐른 후에 하천으로 유출되는 것을 모두 고려하여야 한다. 외국의 연구에 의하면 농업용수는 관개 후, 2~3개월의 지체 시간을 가지고 유출되는 경우도 있다.

### 5.1.2 농업용수 수리특성

농업용수는 작물을 주 대상으로 하기 때문에 자연조건, 작물의 종류, 생육조건 등과 매우 밀접한 관계가 있으며 그 성격이 다른 어느 용수보다도 다양한 특징을 가지고 있다.

- 1) 논에서 논으로 내리흐림식 관개를 통하여 관습적으로 흙과 물의 끊임없는 접촉과 함께 기타 생물 및 미생물과 어울려 순환되는 과정에서 친환경성은 어느 용수보다 크다.
- 2) 하나의 수계 및 유역특성에 따른 농업용수 이용 경지면적의 크기 등 지역적 요

건과 기상요인에 의한 계절적 수요 폭과 함께 못자리, 이앙시기 등 작부 체계에 따른 용수이용의 집중도가 매우 높다.

- 3) 수리관행에 의한 취수량과 필요수량과는 다른 것으로 실제로 취수에 있어서는 수리관행에 지배된 경우가 많다.
- 4) 논 관개는 관리손실량이 배수로나 하천으로 회귀되므로 물을 재이용할 수 있는 기회가 많고 용·배수로 겸용 수로나 간단한 수위조절 물막이 등으로 재이용하는데 비용이 적게 들며 이용효율이 높다.
- 5) 물의 소비기구가 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등의 인자에 영향을 받는다.
- 6) 강우를 유효수량으로 이용하는 측면에서 보면 지역, 문화적인 수리관행에 따라 공공성이 강하다.

### 5.1.3 사회·경제적 특성

인간의 고대사회 형성과정은 당초 인구가 극소수이었던 때에는 야생식물이나 동물의 노획으로 식생활을 도모하면서 외적으로부터의 방어에 주된 관심을 쏟으며 살아오다가, 인구의 증가에 따라서 식량부족 문제를 해결하기 위하여 농경사회로 전환하게 되면서 하천변으로 집단 생활체가 이동하여 형성되기에 이른 것이다. 여기에는 인간사회의 성장과 더불어 생활용수만이 아니라 식량조달을 위한 농업용수의 공급원으로 하천수가 필요 불가결하였을 것이다. 더욱이 인간의 행동반경이 하천 주운을 이용하여 더욱 넓혀지고 특히, 고대 사회에서의 물물교역이 활발히 전개되기에는 하천이 더없이 편리하게 이용될 수 있었기 때문이다. 하천수의 사회·경제적 특성은 아래와 같다.

#### 가. 개념 확대에 따른 농촌의 물수요 증가

농촌용수는 농업용수는 물론 농촌지역의 건강과 생활의 질 향상을 위한 생활용수와 농산물관리 및 가공과 농공단지의 공업용수 및 생태계를 보전하기 위한 환경용수를 망라한 지역용수를 포함하는 광의의 개념이다. 이 개념은 농업용수가 식량의 안정공급뿐 아니라 지역사회의 생활 및 자연환경을 보전하고 전통문화를 계승 발전하여 쾌적한 농촌을 유지케 한다. 따라서 농업의 다원적 기능에 대한 재평가가 이루어지듯이 농업용수 이에 따른 수리시설도 수도나 기타 농산물을 위한 관개용수의 확보와 공급을 목적으로 하여 건설되어 왔지만 이 수리시설은 생활용수를 포함하여 공업용수 방화용수 등 다목적으로 이용하기도 하여 지역용수로서 비농가를 포함한 지역주민 전체에게도 이용되어왔고 또한 농업수리시설에 의하여 유지되고 있는 논과 함께 홍수방지나 지하수 함양 등으로

지역 밖까지 넓게 미치는 공익적 기능도 하여왔다.

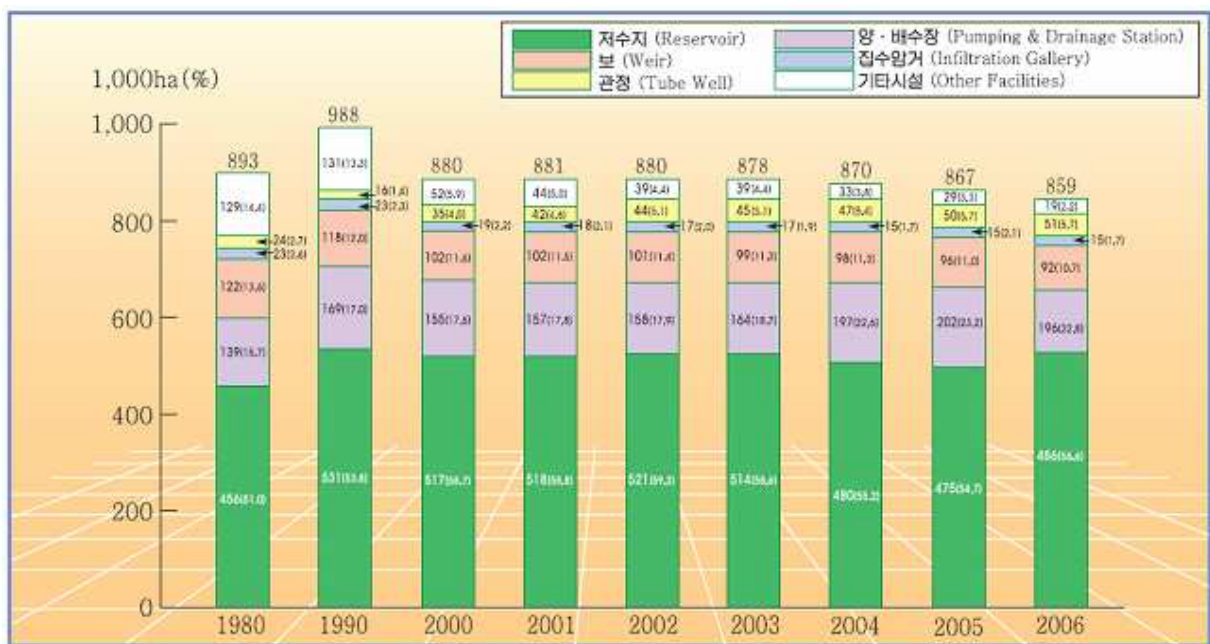
농촌용수는 수요공급의 양적인 측면에서 볼 때 농업용수가 대부분을 차지하고 있으나 다양한 용수수요가 급증하고 있으므로 한정된 수자원을 보다 효율적으로 개발 활용하고 보전 관리해야 할 필요성이 증대되고 있다.

### 나. 인구 증가와 타 산업 발전에 따른 영향

하천수에 대한 수요는 농업용수 뿐 만아니라 생활용수, 공업용수 및 각종 산업용수들로 구성된다. 특히 농업용수를 제외한 기타용수들은 인구가 증가하고 각종 산업이 급속하게 발달함에 따라 농업용수로의 사용 가능한 수량이 점차 감소하고 있어 타용수와의 경합이 불가피하다.

## 5.2 하천수 이용현황

우리나라의 논 면적은 2006년 자료에 의하면 1,084천 ha이고 이 중에서 수리답 면적은 859천 ha로 79.2%에 해당한다. 하천수를 직접 이용하는 수원공은 양수장, 양/배수장, 배수장 및 보가 있으며, 하천수를 이용하는 수원공별 관개면적은 아래 그림과 표에서 보는 것과 같이 총 288천 ha인데 전체 수리답의 33.5%에 해당되며 전체 논 면적의 26%에 해당된다.



<그림 5-1> 수원공별 관개면적

<표 5-2> 하천수이용 수원공별 관개면적(2006년)

수원공	관개면적(1,000ha)									비 고
	1980	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
양배수장	139	169	155	157	158	164	197	202	196	
보	122	118	102	102	101	99	98	96	92	
계	261	287	257	259	259	263	296	298	288	

농촌용수는 농업용수, 생활용수, 공업용수, 축산용수, 수산업용수, 지하수 등으로 구분된다. 여기서는 주로 농경지에 농업용수를 공급하고 있는 수리시설을 조사대상으로 하며, 관할기관으로 한국농촌공사와 지자체가 관리하고 있다.

<표 5-3>은 연도별 수리시설 현황을 정리하여 나타낸 결과이다. 2006년 현재 전체 농업용 수리시설을 보면 저수지 17,679개소, 양배수장이 7,178개소, 보가 18,115개소가 있으며, 이들이 관개면적의 약 92%의 농업용수를 공급하고 있다.

<표 5-3> 수리시설 설치연도별 현황

연 도	합계	저수지	양배수장	보	집수암거	관정
1945년 이전	14,355	9,380	119	4,720	101	35
1946 ~ 1961	4,064	2,559	200	1,266	38	1
1962 ~ 1966	2,462	1,224	137	1,035	50	16
1967 ~ 1971	8,566	2,420	518	2,201	1,300	2,127
1972 ~ 1976	4,806	703	480	3,179	332	112
1977 ~ 1981	6,426	566	1,436	2,666	636	1,122
1982 ~ 1986	4,441	309	979	1,028	195	1,930
1987 ~ 1991	3,233	147	741	775	53	1,517
1992 ~ 1996	8,099	115	824	245	51	6,864
1997 ~ 2001	8,321	160	963	429	50	6,719
2002 ~ 2006	3,688	96	781	571	22	2,218
계	68,461	17,679	7,178	18,115	2,828	22,661

(참고) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

<표 5-4> 연도별 수리시설 현황

연도별	계	저수지	양배수장	보	집수암거	관정
2001	67,582	17,882	6,763	18,370	3,615	20,952
2002	68,018	17,820	6,932	18,113	3,397	21,756
2003	67,481	17,764	6,907	18,064	3,094	21,652
2004	67,897	17,732	7,101	17,983	2,893	22,188
2005	68,306	17,699	7,139	18,005	2,870	22,593
2006	68,461	17,679	7,178	18,115	2,828	22,661

(참고) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

<표 5-5> 수리시설별 수혜면적 현황(2006)

연도별	계	저수지	양배수장	보	집수암거	관정
개소수	68,461	17,679	7,178	18,115	2,828	22,661
수혜면적(ha) (%)	832,044 (100)	482,009 (57.9)	194,938 (23.4)	90,286 (10.9)	14,153 (1.7)	50,659 (6.1)

(참고) 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보

하천수 이용 현황은 전반적으로 생활용수의 이용량이 상대적으로 높은 증가세를 보이고 있으며, 농업용수를 제외한 다른 용도의 수자원 이용량도 꾸준히 증가하는 추세이다.

<표 5-6> 각종 용수량의 연도별 변화와 전망

(단위 : 억 m<sup>3</sup>/년)

연도 구분	1980	1990	1994	1998	2001	2006	2011	2016	2020
합 계	153	249	301	331	340.9	350.7	373.5	377.9	381.5
생활용수	19	42	62	73	73.1	76.4	87.5	89.2	90.2
공업용수	7	24	26	29	33.5	37.1	40.4	43.1	45.7
농업용수	102	147	149	158	158.8	159.9	161.9	161.9	161.9
유지용수	25	36	64	71	75.5	77.4	83.7	83.7	83.7

(자료) 건설교통부(2001) 수자원장기종합계획



## 5.3 하도 물수지분석의 복잡성

### 5.3.1 하도 물수지분석 특성

하도의 물수지 분석이란 하도에서 사용한 물의 총량(유출량)과 그 지역에서 필요로 하는 물의 총량(수요량)을 목적하는 기간별로 비교함으로써 물의 과부족을 판단하는 작업이다. 이러한 물수지는 사용되는 자료와 분석목적에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 가. 계획 측면의 물수지 : 국가 또는 지역의 수자원 개발 계획을 세우기 위한 물수지로서 기준유출량에 대해서 장래의 용수수요를 공급할 수 있는지를 파악한다.
- 나. 허가 측면의 물수지 : 하천관리자의 입장에서 우수점용허가를 판단하기 위해 수행하는 내용으로서 기준갈수량에 대해서 허가량(또는 용수시설용량)의 공급가능성 여부를 판단한다.
- 다. 관리 측면의 물수지 : 하천유출량은 실시간으로 변하는 가변적인 양이며, 취수량 또한 그 목적에 따라 시기별로 다른 양이 되기 때문에 이러한 모든 사항을 고려할 수 있도록 현재의 하천유출량으로 현재의 실제 취수량을 공급할 수 있는 여부를 파악한다.

이처럼 여러 가지 측면에서 물수지를 볼 수 있으나 그 기본 개념은 동일하다. 즉, 주어진 공급량(유출량)으로서 주어진 수요량(취수량)을 만족시킬 수 있느냐 하는 것으로 아래 식과 같이 표현 할 수 있다.

$$S = I + O \quad (5-1)$$

여기서, I : 공급량, O는 수요량, S : 잉여공급량

유출량의 경우 하천 유출량은 수위관측소에서 관측된 값을 사용하여 결정하거나, 잘 보정된 강우-유출모형을 사용할 수도 있다. 하도 구간에 포함된 유역으로부터 유출되는 자연유출량은 측정될 수 있는 값이 아니므로 추정하여 사용할 수밖에 없으며 강우-유출모형이나 유역면적비 등과 같은 간접적인 방법에 의하여 산정한다. 다음으로 물 사용량은 실제 사용량을 조사하기가 쉽지 않기 때문에 보통은 시설용량 또는 관개면적을 이용하여 추정한 값을 쓰기도 한다. 마지막으로, 공급된 물이 하천으로 회귀되는 양을 결정해야 되는데 이 값을 정확히 추정하기는 어려운 일이다. 보통은 공급량에 대한 비율로써 추정을 하고 있다. 이처럼 물수지 분석에 있어서 필요한 입력 자료의 대부분이 추정되거나 일부만이 측정된 부정확한 값이기 때문에 실제 하천관리를 위한 적용에 있어서 정확한 물수지를 기대하기는 어렵다.

### 5.3.2 물수지 분석 방법

1970년대 UNDP/FAO 한강 유역 조사단에 의해 물수지 분석 방법이 소개되었는데, 그동안 이 방법을 모델로 한 각종 수자원계획의 물수지 분석을 실시하여 왔으며 통상 “NEDECO 방법”이라고 부른다. 이 방법은 소유역을 대상으로 소유역내의 총 순물소량과 자연유량을 비교하는 방법이다. 소유역은 지류에 위치한 소유역과 본류에 위치한 소유역으로 구분하는데 본류에 위치한 수유역에서는 상류로부터 유입되는 유량과 그 소유역으로부터 발생하는 자연유량을 가용공급량으로 간주한다. NEDECO 방법에 의한 대표적인 사례로는 수자원장기종합계획(한국수자원공사, 1990)을 꼽을 수 있다. 이 방법에서는 수요량을 처음부터 순물소모량으로 추정을 하였기 때문에 하천으로 회귀되는 양을 고려할 필요가 없다. 즉, 순물소모량만큼을 공급하기 때문에 공급된 양은 100%소모되고 회귀되는 양은 없는 것으로 가정하게 된다. 이러한 가정은 현실과는 다소 거리가 있어 보이지만 회귀되는 가정을 단순화시켜 계산의 편의를 도모하고자 한 것으로 생각된다. 이 방법에 있어서 가장 큰 문제점은 실제 필요한 수요량 보다 작은 순물소모량만을 공급하게 된다는 것이다.

최근에는 실시간으로 하천관리를 하기 위하여 물수지 분석을 하는 사례가 늘고 있다. 최초의 연구는 낙동강저수관리 프로그램 개발(1987, 건설부)로서 낙동강을 대상으로 저수관리 방안을 모색하려는 연구이었다. 이 연구에서는 탱크모형을 이용하여 유역의 자연유출량을 추정하고 하도구간별로 생공용수 및 농업용수의 시설용량을 조사하여 입력 자료로 활용하였다. 또한 취수환원율과 환원배수율이라는 용어를 사용하여 회귀율을 규정하였는데, 취수환원율은 취수한 하도구간으로 회귀되는 경우를 의미하며 환원배수율은 취수한 하도구간을 지나서 회귀되는 경우로 가정하였다. 각각의 값도 다르게 적용하였다. 생공용수의 취수 환원율은 80%, 환원배수율은 60%로 하였고, 농업용수는 성수기(3월~8월)의 취수 배수율은 60%로 가정하였다. 그러나 이러한 수치에 대한근거는 명확하게 밝히지 않고 있다.

낙동강 저수관리 프로그램 개발이후 건설교통부에서는 수자원관리기법개발연구조사(1996, 1997)에서 동 프로그램의 수정을 모색하였으며 최근에 조사된 용수자료를 이용하여 분석을 시도하였다. 하도별 용수 이용량은 농업용수는 월별 일평균 취수량을 추정하여 사용하였고 생/공업용수는 일 취수량(시설용량) 자료를 이용하였으며 회귀율은 종전의 값을 그대로 적용하였다.

한국수자원공사는 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템(한국수자원공사, 1996)을 통하여 낙동강 수계의 다목적 댐 운영을 위한 종합적인 수문예보 방법을 모색하였는데, 여러 가지의 수문모형을 검토하여 최종적으로 SSAR(streamflow synthesis and reservoir regulation) 모형을 선택하였다. 이모형은 물수지 분석만을 위한 것이 아니라 수문예보를

위한 종합적인 예측모델로서 미국 공병단에서 개발하였다 SSARR모형을 적용하여 댐하류측의 예보를 하였는데, 강우량과 취수량이 주요입력 자료이며, 생공용수는 주요취수장의 월별 실적자료를 활용하고 농업용수는 기 조사된 월별 농업용수 이용현황자료(재배면적에 의해 추정된 값)를 사용하였다. 회귀율은 낙동강 저수관리 프로그램에서 사용된 값을 이용하였다.

### 5.3.3 하도 물수지분석 모형

대규모 수자원 시스템의 모의조작에는 통합적인 측면에서 시스템 성분들을 해석하는 효율적인 방법들이 필요하다.

하천유역 네트워크 모형(river basin network model)인 MODSIM은 네트워크 최적화 알고리즘을 도입하여 하천유역관리에 있어서 물리적이고 수문학적이고 제도적인 측면에서 물이 배분될 수 있도록 하는 장점이 있다. 네트워크 유동 최적화를 이용하면 복합 하천 유역 시스템을 모의할 수 있으며 이러한 방법을 채택하고 있는 MODSIM은 여러지역에서 복잡한 하천유역 시스템에 성공적으로 적용되어 왔다.

MODSIM은 미국 텍사스주의 수자원개발부(1972)가 개발한 SIMYLD 네트워크 모의모형을 개선한 것으로 이 때문에 모형 명칭을 MODified SIMYLD(MODSIM)으로 하였다. MODSIM의 주요 특징은 다음과 같다.

- 가. 하천시스템에서 장기 계획 (월단위), 중기 관리 (주단위)와 단기 운영(일단위)을 위해 이용될 수 있다.
- 나. 시스템 운영을 지배하는 복잡한 조건문 규칙을 요구하지 않고 다양한 하천 유역 형상과 운영 조건에 대한 모의조작을 할 수 있다.
- 다. 지표수 및 지하수를 같이 고려하고 하천·대수층 상호작용 모형화가 가능하다.
- 라. 물 배분을 결정하는 제도적이고 법적인 측면을 고려할 수 있다.
- 마. 직접유출 또는 자연유출와 같은 하천수에 대한 권리와 계절적인 저류량에 대한 권리를 분리하여 해석할 수 있으며, 물에 대한 상호 교환 거래와 계획 등을 위한 조항을 포함하고 있다.
- 바. 미리 정해진 운영 계획에 의하지 않고, 시스템 구조 및 운영 요구조건을 나타내는, 네트워크 모형 알고리즘 구조로부터 분리된, 사용자 입력자료에 의하여 좌우된다.
- 사. 복잡하게 순환적이고 지류가 많은 수자원 시스템 형상을 모형화 할 수 있다.
- 아. 유동 제약을 직접적으로 포함하게 한다. 여기서 제약조건은 하한값과 시간 변수 상한 값 모두를 포함한다.

자. 증발손실, 하도손실, 저수지 바닥면의 침투손실, 물 공급상의 손실을 계산할 수 있다.

차. 일 단위 모의조작을 위한 수문학적인 하도추적을 할 수 있다.

## 5.4 수리권 검토

### 5.4.1 수리권

수리권(水利權)이란 그 뜻을 풀이할 경우 물을 사용하는 권리를 의미하며 물에 관한 권리를 의미하는 수리권도 물을 이용할 수는 있으나 처분할 권리는 없는 용익권으로 해석해야 한다. 물권적 소유권을 의미하는 것이 아니다.

과거 관습적으로 사용해 오던 관행수리권, 댐 등의 용수 개발 이전에 하천에서 취수하여온 기득수리권, 특별법인 하천법상의 유수점용허가에 의한 수리권 등 다양한 형태로 발전되어 오고 있다.

물이용의 원칙으로는 공평배분주의, 선점우선주의, 연안우선주의, 수요우선주의, 상류우선주의 등이 상황에 따라 복합적으로 적용되고 있는데 공평배분원칙이 점차 광범위한 지지를 얻어가고 있다.

- 1) 영토주권주의(territorial sovereignty) : 상류지역에 선호, 절대적 영토주권 (absolute territorial sovereignty)
- 2) 연안우선주의(riparian rights) : 하류지역이 주장, 절대적 영토보전원칙(absolute principle of territorial integrity) 또는 평등주권(sovereign equality)
- 3) 선점우선주의(prior appropriation) : 선행된 이용행위가 법적으로 우선권을 가진다는 것으로 제한적 영토주권 또는 영토보전이론(restrictive theory of territorial sovereignty and integrity) 이라고 불린다.
- 4) 공평이용원칙(principle of equitable utilization) : 자신의 영토에서 합리적이고 공평한(reasonable and equitable) 이용권을 가진다. 1966년 국제 수자원이용에 관한 세미나에서 국제법협회(international Law Association; ILA)에 의해 채택된 원칙으로 통상적으로 헬싱키규칙(Helsinki Rule)이라고 불린다.
- 5) 중대피해 방지의 원칙(no substantial harm principle) : 연안 지자체 또는 유역국가는 다른 연안지자체 또는 유역국가들에게 중대한(substantial) 피해를 끼치는 물이용 행위에 대하여 이를 중지 또는 예방하여야 할 적정주의의 의무(due care or due diligence obligation)를 갖는다는 원칙이다.

6) 완화된 중대피해방지의 원칙(mitigated no substantial harm principle) : 유럽지역을 중심으로 광범위하게 적용

### 가. 민법(관행수리권)

우리나라 수리권의 역사는 다른 나라와 마찬가지로 하천연안에 거주하는 자와 토지 소유자가 필요한 물을 인수하여 사용하는 연안권 개념의 관행수리권에서 시작했다고 할 수 있다. 이러한 점에서 민법상의 물 관련 규정인 ‘공유하천용수권’은 종래의 관습법을 기초로 성문화한 권리로 공유하천의 연안에서 오랫동안 관습에 의해 형성된 권리나 판례에 의해 형성된 물 사용권이다.

이에 대한 규정은 민법 제221조부터 제236조의 16개조가 물 배분에 관한 내용으로 제231조, 제234조에서 나타난 ‘공유하천용수권’에 근거하고 있는데, 제231조에서 “공유하천의 연안에서 농/공업을 경영하는 자는 이에 응하기 위하여 타인의 용수를 방해하지 아니하는 범위 내에서 필요한 인수를 할 수 있다.” 라고 규정한 ‘공유하천용수권’은 수리시설을 건설하기 오래전부터 자연하천에서 물을 관습적으로 사용해 왔던 관행수리권을 인정하는 것으로 전통적이고 관행적으로 이루어지고 있는 농업용수 이용권리가 이러한 민법에 기초하고 있다는 것이다.

### 나. 하천법(허가수리권)

사회의 발전에 따라 기존의 관행수리권으로는 합리적 물이용에 한계가 있음을 인식하고 정부는 1961년에 하천법을 제정하면서 유수의 점용허가라는 규정을 명문화했고 정부가 물의 이용을 규율하는 허가수리권도 만들었다. 하천법의 유수사용허가는 하천법 제정 이후 하천용수를 이용하려는 자가 취득하는 물 사용권으로, 하천관리청의 허가를 통해 물이용 권한이 부여되는 일종의 허가수리권이다.

하천법에서의 수리권 조항의 큰 골격은 민법에서 규정하고 있는 ‘공유하천용수권’과는 달리 하천법 제33조에 규정한 ‘하천유수점용권(하천점용허가)’을 나타내고 있다는 점이다. ‘하천유수점용권’이란 자연하천 등에 대한 유수를 행정관청으로부터 허가를 받아 사용할 수 있는 권리를 의미한다 하여 통상 ‘허가수리권’이라 한다.

따라서 유수점용허가를 받는 행위는 물의 이용을 원하는 상대방에 대하여 권리를 설정하는 특허 또는 설권행위라 볼 수 있다. 물의 사용량, 사업목적, 사용시설 구비여부 등이 점용허가의 판단기준이 되며 허가로 주어진 사용 권리는 배타적 성격을 가진다. 유수사용의 경우 하천법에서 규정하는 하천점용허가 기간은 5년 ~ 10년으로 규정하고 있다.

하천법 제34조에 기득하천사용자를 명시함으로 농업용수 이용형태인 관행수리권을 어느 정도 인정해 주고 있음을 알 수 있으며 기득 하천사용자는 하천점용허가를 받은 자,

댐사용권에 의한 권리를 가진 자를 기득 하천사용자로 규정하고 있다.

그리고 하천법 제49조, 시행규칙 제29조에서 수리권의 보장 범위(취수량 등)에 대한 강한 규제가 따르고 있으며 하천유수의 사용/권리에 관한 조항에서 대통령이 정하는 유수사용자는 그 사용량을 확인 할 수 있는 계측시설을 설치하고 국토해양부령이 정하는 사항을 기록하여 보관하도록 규정하는 것으로 되어있으나 이 법규의 시행에 따른 비용에 대한 구체적인 내용은 언급되어 있지 않은 상황이다.

또한 기준지점 하천유지유량 확보 곤란, 가뭄의 장기화 등에 따른 하천수 사용허가량 조정에 위한 용수배분 우선순위는 생활용수, 공업용수, 농업용수 순으로 되어있어 농업용수의 수도작 작물의 재배력에 따른 시기별 필요한 물소비량 기준이 배제되고 있어 용수 배분 우선순위에 대한 불합리한 부분이다.

#### **다. 댐건설 및 주변지역 지원등에 관한법률(기득수리권)**

댐건설법은 기본적으로 다목적댐의 건설과 관리에 관한 하천법의 특례에 관한 사항을 다루고 있다. 댐건설법 제2조에서 “댐사용권”이라함은 다목적댐에 의한 일정량의 저수를 일정한 지역에 확보하고 이를 특정용도에 사용할 수 있는 권리로 규정하여 댐사용권에 대한 특별한 권리를 나타내고 있다.

댐 사용권은 새로운 댐을 건설함에 따라 댐에 저장된 물을 특정용도에 사용할 수 있는 권리를 말한다. 즉 하천유수점용허가를 받고자하는 자가 댐이 있을 경우 댐용수 사용계약을 미리 받도록 하여 물을 사용하고자 하는 자의 신청에 의해 허가되는 권리이다. 댐건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률(이하 댐법)에서는 댐법 제29조에 의하면 댐사용권은 부동산의 물권에 준한다는 규정이 있다.

그러나 이러한 권리도 물의 사용 권리이지 소유할 수 있는 권리는 아니라는 것이 통설이다. 댐법에서는 물 부족시 댐용수의 감량순위가 규정되어 있다. 순서는 발전용수, 하천유지용수, 농업용수, 공업용수, 생활용수 순으로 댐용수 부족시 배분원칙으로 적용하고 있다.

따라서 하천유수사용과 마찬가지로 허가수리권이긴 하지만 물권적 성격을 가지는 수리권으로 볼 수 있다. 그리고 댐을 건설하기 전부터 물을 사용하고 있던 하류의 사용자들은 댐 건설 후에도 기존 사용하던 물은 댐 사용권을 취득하지 않아도 사용할 수 있는 권리가 있는데 이를 기득권리, 즉 기득수리권으로 구분한다. 결론적으로 우리나라의 수리권은 하천법 설정을 전후로 관행수리권, 허가수리권으로 나뉘고 댐사용권을 기준으로 다시 기득수리권과 댐 사용권으로 구분할 수 있다

## 라. 농어촌정비법(농업용수 수리권)

농어촌정비법 제1조(목적)에서 “농업생산기반, 농어촌 생활환경, 농어촌 관광휴양 자원 및 한계농지 등을 종합적·체계적으로 정비·개발하여 농수산업의 경쟁력을 높이고 농어촌 생활환경 개선을 촉진함으로써 현대적인 농어촌 건설과 국가의 균형발전에 이바지하는 것을 목적으로 한다.” 고 규정하였듯이 농업용수 수리권에 대한 직접적인 언급은 찾아 볼 수 없다.

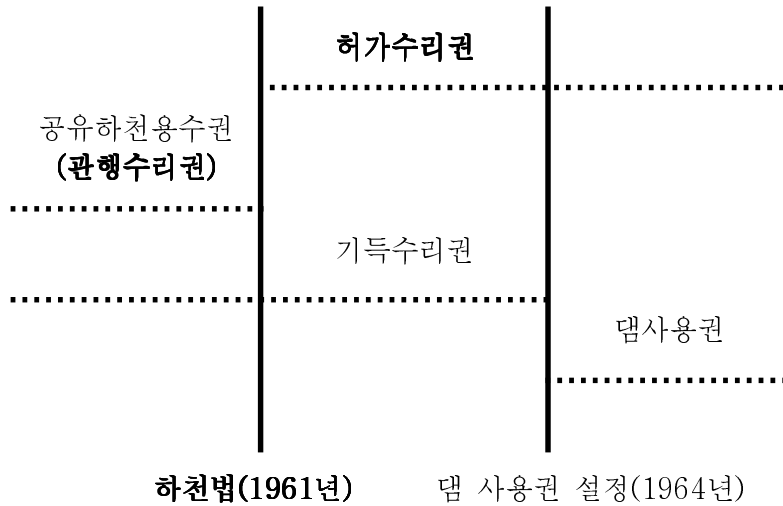
농어촌정비법은 저수지, 양수장, 관정 등 지하수이용시설, 배수장, 취입보, 용/배수로 등 농업용수 이용과 관련된 시설의 설치 등을 포함하는 농업생산기반시설 정비/개발사업(법 제2조 관련), 농업생산기반정비사업 시행으로 조성된 재산의 관리/처분(법 제15조), 국가 등이 시행한 농업기반시설의 관리/이관(법 제16조), 농어촌용수계획(법 제19조의 2), 농업용 수리시설의 용수를 농업목적 이외의 용수사용(법 제22조)과 이에 따른 경비의 징수 원칙(법 제23조의 3항) 등에 대한 규정을 담고 있음으로써 그 내용상 용수의 목적 외 사용 및 농업용수 수리권과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있으나 구체적인 수리권의 범위, 사용량 등은 명시되어 있지 않다.

## 마. 한국농촌공사 및 농지관리기금법

한국농촌공사 및 농지관리기금법 제10조에서 농업기반시설의 유지·관리 및 이용에 관한 사업, 농어촌용수 및 지하수자원의 개발·이용 및 보전·관리에 관한 사업 등을 행하며, 농업기반시설관리권을 가지고 농업기반시설을 유지·관리하고, 당해 시설을 이용하거나 당해시설에 의하여 용수를 공급받는 자로부터 사용료를 징수하는 권리를 갖고 있다. 그러나 법 제14조(농업용수의 공급의무 및 이용료의 징수)에 규정한 농업용수 이용료 징수 제도를 갖추고 있으나, 실제 농업인의 이용료는 면제되고 있다.

## 바. 수리권의 법적구분

우리나라의 수리권은 하천법 설정을 전/후로 관행수리권, 허가수리권으로 나뉘고 댐사용권을 기준으로 다시 기득수리권과 댐 사용권으로 구분할 수 있다.



<그림 5-2> 우리나라의 법적 수리권 구분

#### 5.4.2 개선사항

우리나라는 과거 하천수를 취수하여 불안정한 농업용수를 사용하였으며 근래에는 저수지, 양수장 등의 농업용수 개발을 통하여 용수공급을 하고 있으나, 최근 급속한 경제성장, 인구의 급증, 도시화의 가속화 등으로 물 부족을 해결하기 위해 다양한 공급원의 개발을 통해 물 부족을 해소하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

문제는 변화하는 사회에 걸맞게 물이용에 관한 법률이나 제도가 뒷받침되지 않아 다양한 물 분쟁이 발생할 경우에 신속하고 합리적인 해결책이 현실에 맞게 마련되지 못했다는 점이다. 현재 각 개별법에 의해 물 사용 및 배분이 규정되고 있으나, 개별법간의 연계성이 부족하고 기본원칙이 미흡하기 때문에 제도의 정착, 개별법간의 연계성을 통한 원칙구성이 필요하다.

#### 가. 민법/하천법간의 갈등

수리권 관련 현행제도의 가장 큰 문제점은 관행수리권 즉 농업용수 수리권을 다루고 있는 민법과 하천법의 용수이용 권리 즉 허가수리권간의 인정 방법이 달라 충돌 문제가 있다. 또한, 민법에서 인정하는 ‘공유하천용수권’ 형태의 관행수리권(기득수리권)과 하천법에서의 ‘유수점용허가’로 규정되어 있는 허가수리권간의 상반된 논리는 하천법을 제정할 때 민법과 관습법에 의한 수리권을 정리하지 못한 관계로 농업용수의 안정적인 수리권 확보와 직접 관련되는 중요한 문제로 허가수리권(비농업), 관행수리권(농업용수) 사용자간의 수리권 갈등이 야기될 수 있다.



## 나. 관행(기득)수리권/이용량 범위

기존 농업용수 관행(기득)수리권의 보장은 민법에서의 ‘공유하천용수권’ 규정에 따라서 그 보장범위에 대한 구체적인 법률규정은 없는 실정이다.

하천법에서 수리권이 허가된 기간 동안 물 사용이 과연 초기 신청 목적에 적합하게 쓰이고 있는지, 신청한 양이 타당한 정도인지 그리고 물 사용에 비합법적인 변동사항은 없는지 등에 대한 평가를 시행하고 있다. 이는 농어촌정비법상 농업용으로 사용하고 남은 잉여수가 있는 경우 본래의 목적 또는 사용에 방해가 되지 아니하는 범위 내에서 목적 외 용수로 공급하는 것에 대한 법적 제약이 되고 있다.

따라서 관행(기득)수리권의 보호 범위의 불명확성 문제는 수리시설의 농업용수 수리권 문제가 아니라 농업용수 수리권 보호 대상인 양적인 농업용수의 특수성, 즉 사용된 물의 상당량이 하천으로 환원, 시기별 사용량의 변동성, 기후에 민감한 부분 등 다양한 특성을 다각적인 측면에서 고려하는 법률 규정이 마련되어야 할 것이며 검토사항은 다음과 같다.

- 1) 민법의 관행수리권을 하천법과 댐건설법에서 인정해 주는 방안
- 2) 민법을 잘 복원하여 농업용수 수리권을 보호해 주는 방안
- 3) 농어촌정비법 또는 농업농촌기본법에 농업용수 수리권을 보장하는 신규조항을 포함시키는 방안

## 다. 농어촌용수 수리권 설정

1990년 ‘농어촌발전특별조치법’ 제46조 및 동법 시행령 제53조 내지 제56조에 따라 에서 처음으로 ‘농어촌용수’라는 개념을 도입하여 ‘농어촌용수합리화계획’을 수립하여 수리시설 및 수리답 개발과 현재의 시설을 유지/보전함으로써 지역사회 및 환경을 관리한다는 데 의의가 있다. 즉 지역의 농업뿐만 아니라 농촌의 자원을 보전, 유지시키는 기능을 담당하는 것이다.

최근 농업용수 사용 그 자체가 생태적 기능, 경관보전 기능 다원적 기능을 수행하고 있을 뿐 아니라 방재용수, 지역문화 축제 용수 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 또한 이러한 용수를 농업용수의 개념을 넘어서 ‘지역용수’ 개념을 포함하는 농어촌용수로 법 및 제도의 정비가 시행되어야 할 것이다.

‘농어촌용수’ 개념을 도입하여 수자원장기종합계획 수립과정에 물 수요 추정에 반영되어야 할 것이며 아울러 농어촌용수 개념의 농업용수 범위와 기존 농업용수의 기득권으로 인정되는 물의 양을 추정하는 명확한 기준이 시급히 마련되어야 할 것이다. ‘농어촌용수’란 농어촌지역에 필요한 생활용수, 농업용수, 공업용수, 수산용수와 환경오염을 방지하기 위한 용수를 말한다.

## 라. 농업용수 수리권의 주체

민법에서 주장하고 있는 ‘공유하천점용권(관행수리권)’을 연안 우선주의적 해석으로 본다면 공유하천 주변 농업인(토지소유자)의 관행적 권리에 해당되므로 농업인 보다 토지에 귀속되는 것으로 이해할 수 있다.

그러나 실체는 농어촌정비법 제16조(국가 등이 시행한 농업기반시설의 관리/이관)에 의거 한국농촌공사와 같은 물관리 기관에 수리권이 귀속되어 있다고 보는 것이 타당할 것이다. 따라서 농업용수의 추가적인 용수개발에 따른 수리권 문제는 토지소유권과 사업주체의 수리권을 분리하는 수리권 재조정 등의 법률적 문제를 명확히 하는 제도적 뒷받침이 따라야 할 것이다.

## 마. 물 배분의 우선순위 정립

수리권에 대한 규정은 물 부족시에 누가 우선적으로 얼마의 물을 사용할 수 있는지를 사전적으로 정하는 것이다. 현재 하천법에는 갈수기 기준으로 허가수리권이 배분되고 있지만 실제 물 부족시에는 하천에서 취수행위는 생활용수, 공업용수, 농업용수 순으로 되어있다. 그리고 댐법에서는 물부족시 댐용수의 공급규정에는 물 부족시 제일 먼저 하천유지용수의 공급을 줄이고 다음으로 농업용수, 마지막으로 생/공용수의 순으로 되어 있다.

얼핏 보기에는 합리적인 것 같지만 우리나라의 물 부족이 주로 2/4분기~3/4분기에 발생하는데 이는 농업용수에 대한 수요가 급증하는 시기로서 물 부족시에 하천유지용수와 농업용수를 제일 먼저 공급을 축소하거나 또는 중단하는 것은 불합리하다.

따라서 물 배분과 관련한 수리권 제도의 정착이 필요한 이유는 크게 두가지 측면에서 살펴볼 수 있다. 하나는 빈도개념을 적용한 가뭄이 아닌 평상시의 수리권 관리이며, 다른 하나는 이상기후로 가뭄이 장기화 되어 물 부족이 심각해질 경우에 대비한 수리권의 정립이다.

외국의 경우에는 물 배분을 위한 방법으로 우등수리권(seniorwater right), 열등수리권(junior water right) 등의 구분을 통해 물 부족에 따른 용수 이용 순위를 사전에 정함으로써 물 사용 관련 분쟁을 사전에 예방하고 있다.

## 5.5 문제점 및 대책

### 5.5.1 법적 특성

#### 가. 하천수 사용에 따른 이용료 부과

하천법에 의하면 하천수를 농업용으로 사용하기 위해서는 하천수의 사용허가를 받아야 하고, 하천수 사용에 따른 이용료를 부담하게 되어 있다. 하천수를 농업용수 이용에 따른 하천법 관련 내용은 <표 5-7>에 정리하여 나타내었다.

<표 5-7> 하천수 이용에 따른 이용료 부과내역

구 분	하천법	시행령	시행규칙
하천수의 사용허가	○ 제50조 ○ 생활·공업·농업·환경개선·발전·주운(舟運) 등의 용도로 하천수 사용시 국토해양부장관에 신청	○ 제55조 ○ 하천수의 사용목적/기간, 취수지점 및 취수시설, 취수허가 사용량	○ 제27, 28조 ○ 위치도, 설계서/ 도면, 이해관계인 동의서첨부 ○ 하천수 사용허가의 유효기간은 홍수통제소장이 10년 이내에서 허가
하천수의 사용료 징수	○ 제50조 ○ 시·도지사 사용료를 징수 할 수 있음	○ 제57조 ○ 1천m <sup>3</sup> /일사용에 연간 231원	
하천수 사용자의 범위		○ 제60조 8천m <sup>3</sup> /일 농업용수사용	

또한, 하천법 제52조에 의하면 하천수 사용자는 그 사용량을 확인할 수 있는 계측시설을 설치하고 관련 사항을 기록 보관하여야 하며, 동법 시행규칙 제29조에 의거 하천수 사용량의 계측방법에 관한 사항에 대하여 기록 보관을 요구 및 하천수사용실적을 홍수통제소장에게 보고토록 하고 있다. 그리고 법 제53조에서 하천수 허가수량을 조정을 최근 1년간 평균 사용률이 100분의 40, 최근 3년간 평균 사용률이 100분의 60, 최근 5년간 평균 사용률이 100분의 80 비율 이하로 사용할 경우로 규정되어 있다.

#### 나. 수리권의 제약 및 타 용수와의 경합

하천의 공수(公水)의 이용관계에는 하천을 일시적·공동적으로 사용하는 일반사용과 계속적·배타적으로 사용하는 특별사용이 있다. 일반사용은 하천을 그 용도에 따라서 자유롭게 사용함으로써 성립하며, 특별사용은 하천법 또는 민법에 의하여 성립한다. 수리

권은 특별사용의 경우에 발생한다.

수리권의 목적은 관계 이외에 발전·수도·유수(流水) 등 다양하다. 수리권은 기본적으로 공권에 속하지만 사법(私法)의 규율을 받기도 한다. 수리권은 재산권인 물권의 일종으로서 거래의 대상이 될 수 있고, 그 침해에 대하여는 방해제거 및 손해배상청구권을 행사할 수 있다.

하천법상 수리권은 관리청의 점용허가에 의하여 발생한다(하천법 제33조). 하천점용허가에 의하여 기득하천사용자가 손실을 받게 될 때에는 그의 동의를 얻고(동법 제34조), 그 손실은 당해 하천점용허가를 받은 자가 보상하여야 한다(동법 제35조). 수리권에 관한 분쟁은 하천관리위원회에 그 조정을 신청할 수 있다(동법 제54조).

민법상 수리권은 상린관계에 의하여 발생한다. 공유하천의 연안에서 농업·공업용을 경영하는 자는 타인의 용수를 방해하지 않는 범위 내에서 필요한 인수(引水)를 하고 그 공작물을 설치할 수 있다(민법 제231조). 이를 공유하천용수권이라고 하며, 판례가 관습법상 인정되는 물권이라고 한 바 있으나, 민법은 이를 명문화하였다. 만약에 상류의 용수권자의 인수나 공작물로 인하여 하류연안의 용수권이 방해를 받는 때에는 하류연안의 용수권자는 방해의 제거 및 손해배상을 청구할 수 있다(동법 제232조). 수리시설의 소유자나 몽리자(蒙利者)의 특별승계인은 용수에 관한 전 소유자나 몽리자의 권리의무를 승계한다(동법 제233조). 용수권에 관하여 다른 관습이 있으면 그 관습이 민법에 우선하여 적용된다(동법 제234조). 그러나 용수권은 종래 관계를 하여온 몽리면적에 대하여 필요한 한도 내에서 인정되는 것이며, 그 취득에 하천법상의 허가를 요하지 않는다. 또한 공유하천용수권은 공수에 대한 사용권을 의미할 뿐이고, 용수를 위한 지역권을 포함하는 것은 아니다. 그리고 사유지소(私有池沼)에 대하여는 공유하천용수권이 성립하지 않으며, 취득시효도 인정되지 않는다는 것이 판례의 태도이다.

## 5.5.2 문제점

### 가. 하천수 이용량의 정량화 곤란

앞에서 언급한 농업용수의 하천수이용에 따른 수리특성 등의 원인으로 농업용수의 하천수 이용에 대한 계량화가 어렵다.

제3장에서 살펴본 바와 같이 단위면적당 실제 용수공급량 및 이론에 근거한 필요수량과의 비교에서 농민 각 개인의 관행적인 물 관리 성향, 지역별, 시기별 또한 토양 특성, 기후변화 등에 따른 원인으로 농업용수의 이용량이 지역별/시기별 차이가 나고 있음을 알 수 있었다.

좀 더 상세한 요인으로 묘대기 및 이앙기의 시기적 차이와 관개방식 차이, 중간낙수 적용여부, 시설관리 손실의 차이, 적용 작물계수의 차이 등이 원인이기 때문에 농업용수 이용량을 실측이 아닌 이론적인 방법으로 정량화 또는 계량화 하기는 상당한 어려움이 따른다. 이와 같이 농업용수는 물의 소비구조가 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육 조건, 수원공의 종류 등의 인자에 영향을 받고 있기 때문이다.

또 다른 정량화가 곤란한 원인으로 계절적 요인을 살펴볼 수 있다. 하천 유량을 결정하는 가장 중요한 인자는 강우이기 때문에 강우량의 계절적 변화에 따라 용수공급량이 좌우되기 때문에 계획적인 농업용수 급수가 곤란하고 작물의 생육시기별로 충분한 수량의 확보가 어려운 경우가 발생하기 때문이다.

## 나. 반복이용/회귀율 산정 곤란

하천수를 취수하는 농업용 수리시설물로는 대표적인 것이 양수장과 취입보가 있다. 양수장으로부터 농업용수를 공급받고 있는 지역의 용수 이용량의 계량화는 양수장 가동일지 등의 기록을 이용하여 용수공급 시설용량, 가동시간, 가동효율 등으로 개략적으로 가능하나 이것만으로 정량화하는 데는 문제가 따른다. 이러한 이유는 <표 5-3>에서 나타난 수리시설물의 설치 연대가 양수장의 경우 1981년 까지 약 40%, 보의 경우 80%가 설치되어 있어 용량과 효율 측면에서 정확하게 용수 이용량을 추정할 수 없기 때문으로 판단된다.

또한, 단일 필지가 아닌 관개구역에서 논 관개는 관리손실량이 배수로나 하천으로 회귀되므로 물을 재이용할 수 있는 기회가 많고 용·배수로 겸용 수로나 간단한 수위조절 물막이 등으로 재이용하기 때문에 반복이용에 대한 정확한 계량화가 어렵다. 그리고 농업용수의 회귀수량은 그 수문기작이 대단히 복잡하고, 기상, 작물, 토양, 등의 물리적인 요소와 물 관리 등의 인위적인 요소 등이 작용하고 있기 때문에 단순한 배수량의 측정만으로는 그 양을 추정하기가 어려운 실정이다.

그리고 하천수 이용에 대한 물수지 분석에 있어 물 사용량은 실제 사용량을 조사하기가 쉽지 않기 때문에 보통은 시설용량 또는 관개면적을 이용하여 추정된 값을 쓰기도 한다. 또한 공급된 물이 하천으로 회귀되는 양을 결정해야 되는데 이 값을 정확히 추정하기는 어려운 일이다. 보통은 공급량에 대한 비율로써 추정을 하고 있다. 이처럼 물수지 분석에 있어서 필요한 입력 자료의 대부분이 추정되거나 일부만이 측정된 부정확한 값이기 때문에 실제 하천관리를 위한 적용에 있어서 정확한 물수지를 기대하기는 어렵다.

## 다. 수요관리 곤란

용수 수요관리정책의 강화와 수자원의 효율적 관리 및 지속가능한 수자원의 이용을

위하여 수요관리 목표의 설정 및 정책의 실효성을 강화하고, 수자원 개발 중심에서 효율적인 활용으로 정책이 전환되고 있다.

따라서 농업용수 수요관리량의 실질적 효과가 실제 이용되고 있는 이용량의 조사에 의해 평가 되지 못하고 사업의 효과 및 통계적인 측면에서 수요량 및 수요관리량을 산출하고 있어 현재 정량적 분석이 미흡한 상황이며 물 수요 예측에 대한 합리적인 개념이 부족하다.

현재까지는 작물 필요수량을 산정하여 10년빈도 한발 개념을 이용하여 농업용수 수요량을 산정하여 왔다. 농업용수 수요량 산정에 의한 농업용수 수요관리는 작물 필요수량에 대하여 어떻게 하면 수자원을 효율적으로 이용할 수 있는 방안을 강구하는 대상에서 잘못된 문제점을 가지고 있는 것 같다. 작물을 대상으로 할 경우 강우에 의한 유효우량이 매년 편차가 크고 예측할 수 없기 때문이다.

농업용수 수요관리는 실제이용량을 중심으로 작물의 필요수량이 아닌 용수공급 시설물을 대상으로 하여야 정량화된 농업용수의 효율적 관리가 가능할 것으로 판단된다. 즉 토공 수로에서 콘크리트 수로 또는 관수로화, 물관리자동화 시설 등이 도입됨에 따른 수로 및 손실수량 감소에 따른 이용량 절감 효과 측면에서는 농업용수 수요관리가 가능할 것이다.

따라서, 농업용수 이용량의 정확한 물 수요 산정 결과에 따라 국가수자원장기종합계획에서 농업용수 이용량에 대한 수요관리 등의 보완도 쉽게 접근할 수 있을 것이다.

## **라. 이용량 평가/이용료 부과**

하천법에서 수리권이 허가된 기간 동안 물 사용이 과연 초기 신청 목적에 적합하게 쓰이고 있는지, 신청한 양이 타당한 정도인지 그리고 물 사용에 비합법적인 변동사항은 없는지 등에 대한 평가를 실시하고 있으며, 하천수 이용에 대한 용수이용료를 부과하도록 하고 있다. 용수이용료 부과는 오래 전부터 하천연안권의 형태로 물 사용 권리가 주어져 온 관행수리권에는 불합리한 부분이며, 또한 물 사용량 평가에 따라 허가된 수리권을 이용하지 않는다는 이유만으로 무조건 허가수리권 허가량을 제한하는 것은 바람직하지 않다.

### **5.5.3 대책**

#### **가. 농업용수 정량화**

하천수 취수에 대한 농업용수의 이용량은 추정은 지역적인 기상현상, 작물의 종류, 토양 및 영농방식, 경지면적의 변화 등 많은 요소가 고려 되어야한다.

농업용수는 생활용수나 공업용수 등과는 다른 특성을 지니고 있어 이용량 추정방법에 있어서도 어려움이 따른다. 농업용수는 이용 측면에서 계절적 변동이 매우 심하고 각 작

물의 생육기간이 한정되어 있어 용수이용의 집중도가 높고, 유역의 기상, 토양의 종류, 작물의 종류 및 생육조건 등 많은 중요 인자들이 수요량 산정 및 이용량 추정에 변수로 작용하기 때문에 다른 부문의 용수이용에 비하여 소비구조가 복잡하다.

또한 농업용수는 유효우량이 많아 강우의 직접이용 정도에 따라 용수 수급에 커다란 변화가 발생한다. 그리고 관개구역에서의 반복이용, 회귀수량의 정확한 산정이 곤란하여 정량화가 어려운 실정이다.

관개용수량의 수요량과 이용량 산정에 대하여는 특별한 고려가 필요하다. 즉 다시 말하면 이용량 추정 및 용수 수요량 산정에 있어 작물재배면적 증감 및 영농방식의 변화, 재배작물의 변화, 지역별 기후변화, 최근 시설재배면적 및 분포 등에 따라 용수 수요량 및 이용량이 변화하게 된다. 이러한 변화 요인을 고려하여 어떻게 용수이용량을 추정하느냐가 문제이다.

따라서 제4장에서 살펴본 농촌용수 조사기법에 따른 관개지구의 수문특성을 파악 할 수 있는 모니터링 시스템의 구축이 절대적으로 요구되고, 또한 이 지역의 수문특성을 모의할 수 있는 수학적 모형을 구성하여, 실제 여러 지구에 적용하여 신뢰성 있는 자료의 구축 및 적용성을 평가하고, 이로부터 여러 가지 조건에 대한 반복이용수량, 회귀수량 등의 변화를 산정하여야 할 것이다.

## 나. 이용료/사용량 평가

우리나라는 민법과 하천법을 제정 할 때 기존의 관행수리권을 인정하였으며 하천법의 허가제에 의한 수리권 도입에 있어서 기존 관행수리권에 대해 아무런 규정이 없는 실정으로 하천수 이용에 따른 이용료 부담은 불합리하며, 근본적으로 민법 규정을 무시한 강제 조항으로 판단된다. 그리고 앞에서 살펴본 바와 같이 기존 관행수리권 이용자들의 용수이용량 현황을 현재 상황으로 정량화하기도 어려운 실정이다.

또한, 다양한 사회/환경변화에 따라 용수이용의 변동 및 농업작물의 변화, 농업기술 발전 등 변화에 따른 용수이용량 평가는 국가 전체적인 물이용의 효율성을 극대화하는 방향에서는 바람직 하지만, 허가수리권의 용수사용량 평가에 따라 허가수리권을 제한하는 강제적인 규정은 바람직하지 않다. 이는 생산성 향상을 위한 양적인 측면을 고려한 효율성의 강조일 뿐 다양한 측면의 농업용수의 공익적 기능을 고려하지 않은 부분으로 판단된다. 그리고 용수사용량 계측에 대한 자원조달/지원방안 등의 규정도 찾아 볼 수 없었다.

따라서 시스템의 부재에 따른 관행수리권의 보호 범위의 불명확성 문제는 수리시설의 농업용수 수리권 문제가 아니라 농업용수 수리권 보호 대상인 양적인 농업용수의 특수성, 즉 사용된 물의 상당량이 하천으로 환원, 지하수 함양 보충, 시기별 사용량의 변동성, 기

후에 민감한 부분 등 다양한 특성을 다각적인 측면에서 고려하는 즉 다시 말하면 5.4.2의 수리권 개선에서 살펴본 바와 같이 가칭 ‘농어촌용수’ 수리권 등과 같은 방안이 마련되어야 할 것이다.



## 제6장 종합결론

6.1 농촌용수 이용량 조사 및 연구실적

6.2 관개용수량 분석

6.3 농촌용수 이용량 조사방안

6.4 하천수 이용에 대한 문제점 및 대책

## 제6장 종합결론

### 6.1 농촌용수 이용량 조사 및 연구실적

#### 6.1.1 수자원 관련 추진사항

##### 가. 농업용수(농림부/한국농촌공사)

- 1) 농촌용수는 1965년 전천후농업용수원개발계획, 1968년 농업용수개발계획, 1980년 대 농업용수 10개년계획 수립을 시작으로 1994년 제2차 농촌용수 10개년계획(1995~2004), 2003년 제3차 농촌용수10개년계획(2002~2011) 등의 개발과정을 거치면서 농촌용수의 효율적인 개발, 이용 및 보전 등을 위하여 농업용수 개발사업이 수행되어 왔음
- 2) 아울러 1990년 제정 농어촌발전특별조치법, 농어촌정비법, 1999년 농업기반공사 및 농지관리기금법, 농지법, 2005년 한국농촌공사 및 농지관리기금법 개정을 통해 농어촌용수를 체계적으로 개발하고, 합리적으로 이용하며, 수질을 관리·보전하기 위하여 농어촌용수구역을 설정하는 등 농어촌용수 이용 합리화 계획이 구체적으로 추진됨

##### 나. 수자원계획(건설교통부/한국수자원공사)

- 1) 초창기 유역조사 (1960~1990년대), 전국 유역조사(2000~2006) 실시
- 2) 유역조사 지침  
유역조사 지침 제정 : 건교부 훈령 제618호 (2006. 6. 20)
  - 매년 유역조사 실시, 조사항목별로 각각의 조사주기 설정, 기준은 성과활용도와 근거자료의 생성주기 등을 고려하여 설정
  - 조사매뉴얼 발간 및 성과검증위원회 운영 등의 방법으로 조사의 표준화
  - 조사의 전문화 : 한국수자원공사에서 조사 수행, 하천정보센터는 성과를 정보화하는 체계 추진, 조사 수행자는 소정의 교육을 이수토록 규정

#### 6.1.2 용어의 정의

- 1) 농촌용수와 관련하여 농어촌정비법, 수자원계획, 용어사전, 농촌용수 수요량 조사 종합 보고서(농림부/농어촌공사, 1999), 농어촌발전특별조치법, 지하수 업무수행지침(건설교통부, 2006) 등에 따른 농업용수, 농촌용수, 농어촌용수, 축산용수, 그리고 농촌용수 수요량, 공급량, 이용량 등에 대한 용어 고찰
- 2) 일반적으로 농업용수는 논 용수, 밭 용수, 축산용수를 더한 용수를 말하며, 농업

용수 수요량은 논밭의 작물생육에 필요한 용수, 농약, 비료 살포 등 영농작업을 위한 영농용수 등 농업활동에 필요한 수량으로서 유효수량이 제외된 10년 빈도 가뭄시 경지에서 필요로 하는 수량

- 3) 농업용수 이용량은 농업용수 수요량에 따라 수리시설에서 취수(공급)되는 수량으로 경지에서 이용되는 수량으로 취수량의 개념으로 파악
- 4) 본 보고서에서는 수요량, 이용량, 공급 가능량에 대한 개념을 정립하여 혼용에 대한 부분을 보완하였으며 향후 관계 전문가들의 자문회의를 거쳐 용어 정의가 확정되는 것이 바람직 함

### 6.1.3 이용량 관련 조사자료

#### 가. 연구논문 및 보고서

- 1) 연구논문으로는 이용직(2005)의 논 관개용수량 산정을 위한 실증적 연구로서 수리시설의 설계 시 필요수량과 실제 공급량과의 비교, 논 관개용수량 산정의 재정립을 도모
- 2) 주요 보고서로서 농림부·농어촌진흥공사(1999)의 농촌용수 수요량 조사 종합보고서의 농업용수 수요량 산정 기본방향을 보면 용수구역의 구분은 463개의 농촌용수구역을 포함하여 전체 515개 구역을 기본용수구역으로 선정하였고, 논용수 수요량 산정은 수정 Penman식을 적용하고, 밭용수 수요량은 FAO 추천의 Penman-Monteith 식을 적용하였다. 수리답과 관개전은 10년 빈도 조용수량, 수리불안전답과 비관개전은 10년 빈도 순용수량을 농업용수 수요량으로 산정하였고, 축산용수는 축종별 일일 물소비량을 원단위로 적용하였음
- 3) 농업용수 수요량 조사를 위한 1997년의 수자원계획의 최적화 연구(I)에서 보면 생·공용수는 원단위법을 사용하고, 농업용수는 원단위법을 주로 이용, 수요량에 대해서는 단위 경지면적에서의 물소모량을 이용하고 공급량에 대해서는 저수지 및 양수장과 같은 수리시설물의 운영일지나 시설용량 등에 의해 단위면적당 농업용수 공급량을 산정 후 해당유역에 대한 경지면적비율에 따라 산정하였음
- 4) 농업용수 이용량 조사와 관련하여 하천수의 실제 사용량에 대한 조사는 낙동강/한강/영산강·섬진강/금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 조사 연구가 수행됨(1997년 ~ 1998년)

#### 나. 수리권 및 농업용수 이용량 조사

- 1) 농업용수 수리권 조사와 관련된 조사는 건설교통부 익산지방국토관리청(1999)

의 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사로서 유역의 수리허가권과 관행수리권 조사를 실시하였음

- 2) 농업용수 이용현황을 보면 2000년의 농업용수 88.9억 $m^3$ (48%), 생활용수 66.57억 $m^3$ (36%), 공업용수 30.6억 $m^3$ (16%)이며 국외현황에서 일본은 취수량을 기본으로 연간 약 870억 $m^3$ 의 사용량 중에서 농업용수가 약 572억 $m^3$ (66%), 공업용수가 약 134억 $m^3$ (15%), 생활용수가 164억 $m^3$ (19%)이며, 대만의 MOEA(Ministry of Economic Affairs)에 의해 발간된 "2001년 대만의 다양한 물소비에 관한 통계보고서"에 의하면 2001년 물소비는 184.8억 $m^3$ 이었으며, 이중 농업용수가 103.1억 $m^3$ (70.4%)로 가장 많고, 가정용수는 37.2억 $m^3$ (20.2%), 공업용수는 17.4억 $m^3$ (9.4%)이 사용되었다.(Chen, Shen-Hsien, 2004) 중국의 경우는 1997년을 기준으로 농업용수가 3,920억 $m^3$ (70.5%), 공업용수가 1,121억 $m^3$ , 생활용수가 525억 $m^3$ 으로 산업의 발달과 소득증대로 산업용수와 생활용수가 크게 늘어난 반면 농업용수의 비중은 상대적으로 낮았으며, 「The World's Water 2000」(Peter H. Gleick.) 자료에 의한 주요 국가들의 농업용수 이용율을 보면 아시아 77%, 유럽 26%, 북중미 67%, 남미 75%, 아프리카 71%로 조사됨

#### 다. 관개면적 및 수확량 변화

- 1) 우리나라의 농경지 면적은 2006년 현재 전 국토의 18%인 180만ha이며, 이중 논이 108만4천ha(10.9%), 밭이 71만6천ha(7.2%)이다. 최근 5년간(2001~2006) 농지는 매년 15천ha씩 지속적으로 감소해 왔으며, 시·도별 경지면적도 비례하여 줄어들고 있는 추세임
- 2) 2008년 8월 통계청이 발표한 2008년 벼 재배면적 조사 결과에 따르면 올해 벼 재배면적은 93만5766ha로 지난 2007년 95만250ha보다 1만4484ha(1.5%) 줄어들었으며, 최근 10년 중 벼 면적이 가장 많았던 2001년 1,083천ha에서 △2003년 101만6030ha △2004년 100만1159ha △2005년 97만9717ha △2006년 95만5229ha 등으로 매년 감소 추세임
- 3) 한편 관개면적을 보면 농업용 수원공 시설에 의한 관개는 주로 논을 대상으로 하고 있으며, 2006년 현재 우리나라 전체 논 면적 108만4천ha 중 수리시설에 의한 수리답은 85만9천ha로서 수리답율은 79.2%를 나타내고 있음
- 4) 작물통계 조사는 작물재배면적조사와 작물생산량조사로 이루어지는데 조사는 각 작물별 재배기간 및 실 수확기에 실시된다. 벼 생산량 조사 방법을 보면 표본단 위구를 대상으로 표본조사 방식으로 이루어지며, 논벼 생산량은 시·군별 조사된 단위면적(10a)당 생산량에 논벼 재배면적을 곱하여 시·군별 생산량을 구하

고, 시군별 생산량의 합계에 의해 도별 생산량을, 도별 생산량의 합계에 의하여 전국 생산량을 구하게 됨

- 5) 단위면적당 쌀 수확량 변화는 2007년 쌀 생산량은 468만톤, 2005년 500만톤, 2006년 476.8만톤으로 나타났으며, 1990년대 후반부터 2000년대 초반까지 생산량이 늘어나면서 양곡연도말 재고율은 증가 추세를 보였으나 2002년 이후 생산량이 줄면서 다시 감소하고 있음
- 6) 쌀 논벼 단위면적당 수확량(단수)은 1990년 이후 연평균 1.2% 증가하였으나, 2000년대 들어 태풍 등 잦은 기상재해로 작황이 좋지 않아 단수는 감소하였으며, 특히 2007년 논벼 단수는 2006년 493kg/10a 보다 감소한 466kg/10a로 나타남
- 7) 단위면적당 수확량에 따른 증발산량 변화에서 영농기술 발전과 품종개량에 따른 단위면적(10ha)당 생산량이 1980년도 289kg에서 2000년 497kg으로 증가됨에 따라 단위면적당 증발산량이 751mm에서 1,087mm로 약 45% 증가한 것으로 나타나고 있음

## 6.2 관개용수량 분석

### 6.2.1 필요수량 및 실제용수공급량

#### 가. 저수지

- 1) 각 저수지의 관개용수량은 2007~2008년도의 관개기간 중 해당 지사의 관개운영 일지를 참고하여 자료를 이용하였으며, 이때 관개용수량은 현장에서 실측된 자료가 아니라 당초 설계시 제시된 용수공급 통관(제수문)에서의 수위별 유량자료로 환산한 조건표를 이용하여 기록된 자료이며, 관개운영일지는 일별 통수시간과 수위에 따른 공급량 자료를 곱하여 일별 관개용수량으로 계산된 자료로 전국 11개 저수지 자료를 이용하였음
- 2) 이중 이동저수지, 용덕저수지, 미산저수지의 경우 각 저수지에서 관개용수량은 관개용수를 공급하는 용수간선의 시점부에 자동수위계를 측정하여 2006~2007년도의 관개기간 중 운영한 자료를 이용하였으며, 용덕저수지의 경우 2005년, 2007년 자료로 수위계는 초음파식으로 수로 상부에 센서를 부착하여 10분단위로 데이터 로거에 기록된 자료를 일별 값으로 변환하였음
- 3) 관개특성을 분석하기 위하여 관개지구에 대하여 관개면적, 수로손실, 삼투량, 해당 기상관측소 자료를 이용하여 관개용수량을 산정하였으며 관개용수량 산정은

현재 공사에서 설계기준으로 이용하고 있는 방법을 이용하였음

- 4) 설계기준인 증발산량은 Penman식으로 산정하였고 작물계수는 중부, 남부지방에 해당하는 값을 적용하였으며, 작부시기는 설계기준의 중부/남부지역 표준값으로 적용 하였으며, 유효우량은 60mm 담수심법, 묘대면적은 관개면적의 1/20, 씨레용수는 140mm, 용수로의 시설관리 손실량은 수로손실 값을 이용하였음
- 5) 산정된 연간 조용수량인 필요수량은 2007년에는 567.8mm ~ 843.3mm범위로 산정되었으며 실제용수공급량은 471.3mm에서 1,085.9mm, 2008년의 경우 필요수량은 665.2mm에서 1,103.4mm로 산정되어 지역별 차이를 보이고 있으며 실제공급량은 336.1mm에서 2,424.4mm로 필요수량과 같이 지역별 편차가 상당히 심한 것으로 나타남
- 6) 이러한 결과로 볼 때 논용수 이용량은 지역별, 시기별 편차가 심하여 정량화가 상당히 어려움을 알 수 있으며 본답기의 경우는 산정한 값과 공급량이 유사한 경향을 보여주고 있지만 시기별로 조금씩 차이는 나고 있다. 그리고 묘대기 및 이앙기인 4월 5월은 용수공급량과 필요수량의 차이가 매우 심하게 나타나고 있음을 확인 할 수 있으므로 설계기준 등의 기준을 적용한 물관리 계획수립 등을 하기 위해서는 이러한 차이에 대한 원인 규명이 현실적으로 필요함
- 7) 묘대기 및 이앙기의 경우 정지식부 용수공급 면적이나 이앙시기가 설계기준과 실제 현장에서 이행되는 것이 다를 수 있는 것으로 추정되며, 그리고 중간낙수 적용여부, 적용 작물계수의 차이, 시설관리손실(수로손실)의 차이 등이 또 다른 형태의 원인이 될 수 있을 것으로 판단됨

## 나. 양수장

- 1) 각 수계별인 한강, 섬강, 금강, 밀양강, 낙동강, 섬진강, 영산강에 해당하는 17개 지역별 양수장에 대하여 농업용수 공급량과 필요수량을 분석하기 위하여 2007 ~ 2008년까지 2개년 자료는 농업기반시설관리시스템(RMIS)의 자료를 이용하였다. 이때 이용한 공급량은 실제 관개량을 실측한 자료가 아니라 양수장 가동기록을 이용하여 양수기 가동시간과 시설용량을 이용하여 산정한 월별 값 이용
- 2) 도별 현황을 살펴보면 경기 4개소, 강원 2개소, 충북 1개소, 경북 1개소, 경남 3개소, 전북 2개소, 전남 4개소이다. 관개면적에 따른 각 도별 지구에서 200ha 이하의 3개소, 200ha ~ 500ha 사이는 5개 지구, 500ha ~ 1,000ha 2개 지구, 1,000ha ~ 3,000ha는 4 개지구, 3,000ha 이상은 3개 지구로 나타남
- 3) 관개특성을 분석하기 위하여 관개용수량 산정은 현재 공사에서 설계기준으로 이용하고 있는 방법을 이용하여 저수지의 경우와 동일한 방법으로 필요수량을 산

정하였음

- 4) 2007~2008년 전반적인 현상은 4월의 필요수량은 9.0mm~14.1mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 4.8mm~194.9mm로 0.51배에서 20배의 양을 공급하고 있으며 5월은 필요수량이 5.5mm~72.2mm가 소요되는 것으로 산정되었으나 실제공급량은 18.4mm~596.9mm로 0.42배에서 60배 이상의 양을 공급하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 6월~8월 사이는 필요수량에 비해 실제용수공급량이 약간 적게 공급되는 경향을 확인 할 수 있었음
- 5) 따라서 실제이용량을 이론에 의한 방법을 이용해 정량화하는 방안을 추정하기에는 지역별, 시기별 편차가 심하여 정량화가 상당히 어려움을 알 수 있었다. 양수장의 경우도 저수지의 경우와 마찬가지로 설계기준 등의 기준을 적용한 물관리 계획수립 등을 하기 위해서는 이러한 차이에 대한 원인 규명이 현실적으로 필요할 것임

## 6.2.2 용수량 산정요소 조사

### 가. 작부시기

- 1) 농촌용수공급체계재편계획 종합보고서(농림부/농업기반공사, 2003)에서 공사 관리 구역인 약 503천ha를 대상으로 2000~2002년 3개년간 자료를 이용하여 중북부지방은 이앙기간이 단축되고 이앙시기가 앞당겨진 반면, 남부지방은 이앙시기만 앞 당겨지고 이앙기간은 오히려 늘어난 것으로 나타나 이앙기간 및 이앙시기 조정의 필요성이 있는 것으로 분석되었음
- 2) 영농환경 변화를 고려한 농업요수 적정 공급방안 연구(농림부/농업기반공사, 2005)에서 2001~2003년까지 3개년 자료를 바탕으로 이앙일수 및 논물가두기 일수를 평균하여 각 도별 정리한 자료에서 중부지방인 경기, 강원, 충북, 충남의 이앙일수는 14일정도, 전라남북도 25일, 경상남북도 18일 정도 소요되는 것으로 조사된바 있으며 이앙기간은 중부지방 평균 14일, 남부지방은 22일 정도 소요되는 것으로 나타남
- 3) 2007~2008년까지의 종합시험 지구인 이동지구 말단 3개 필지에 대한 담수심 측정 결과를 이용하여 중간낙수 일수를 산정한 결과 2007년 필지별 중간낙수 일수는 11~20일사이로 평균일수는 16일로 나타났으며 2008년은 9일 정도 되는 것으로 분석 되었음
- 4) 저수지의 일별 용수공급량 자료를 이용한 지구별 2007년~2008년 관개기록에서 중간낙수를 시행하고 있는 자료를 중부/남부지방으로 구분하여 분석한 결과 2007년 중부와 남부지방의 중간낙수는 평균 27일, 2008년은 평균 18일로 나타났

다. 따라서 중간낙수 기간을 설정하여 현행 설계기준 등에 적용하여 필요수량을 산정하는 것이 합리적이라 판단됨

## 나. 시설관리손실

- 1) 현행 설계기준은 송수손실량 중 수면으로부터의 증발에 의한 손실은 일반적으로 용수로의 유하거리가 짧아 무시되며, 주로 침투손실로서 수로의 포장형식 및 상태, 수로주변의 지하수위, 유하거리 등에 의해 좌우 된다. 일반적으로 송수손실률은 흙수로의 경우, 간선용수로 15~25%, 지선용수로 10~20%, 용수지거 10%, 콘크리트 및 아스팔트수로의 경우 5~7%를 적용하고 있음
- 2) 송수손실 측정을 콘크리트 수로의 경우 2001년 3회 측정하였으며, 토공수로의 경우 2001~2002년까지 2개년에 걸쳐 5회 측정한 결과 콘크리트 수로에서 송수손실율은 평균 4.8%로 나타났으며 토공수로의 경우 3.4%~36.5%의 범위 및 평균 16.4%의 송수손실율로 나타남
- 3) 농업수로 적정 관리기법 연구(농림부, 한국농촌공사, 2006)에서 배분관리 손실의 유형별 분석을 위하여 용수간선 및 지선의 분수공과 말단에서의 유량을 측정하고 배수지거 및 용수지거에서 손실되는 양을 측정한 결과 지구별로 24.9%에서 35.2%까지 차이를 보이고 있으며 평균값은 28.8%에 달하고 있음
- 4) 이러한 결과를 종합하면 송수손실과 배분관리손실을 합한 값인 시설관리손실율은 콘크리트수로 경우 35%, 토공의 경우 45%에 달하는 것으로 나타남
- 5) 시설관리손실량에 대한 정량적으로 측정된 자료가 부족한 실정이며, 지속적으로 시설관리손실량 측정을 실시하여 손실에 대한 정량적인 근거 자료제시 및 설계기준 등에 반영되도록 노력하여야 할 것임

## 다. 증발산량

- 1) 수원 기상관측소의 1967~2004년까지의 38개년 기상자료를 이용하여 중부지방에 대하여 잠재증발산량을 FAO Penman식과 FAO Penman-Monteith식에 대하여 산정한 결과 Penman식에 의한 결과가 Penman - Monteith식에 의한 방법보다 1.10~1.26배 크게 나타나고 있음을 알 수 있었음
- 2) 작물계수를 이용하여 증발산량을 비교하기 위하여 산정한 결과, 4월에서 5월까지 Penman식에 의한 방법이 Penman-Monteith식에 비하여 60%~80%정도로 나타났으며, 나머지 기간은 110%~150%까지 순별로 차이가 나타나고 있다. 증발산량이 농업 관개용수에서 차지하는 비중이 높은 요소임을 감안 할 때 이러한 차이는 규명이 필요하며, 지역적 특성을 반영한 잠재증발산량을 산정하는 적용



방법, 작물계수 적용 등에 있어 심층연구가 필요함

- 3) 제2장에서 살펴본 연도별 단위면적당 수확량 증가에 따른 증발산량 변화에서 작물계수에 대한 연구가 시작되었던 '80년의 단보(10a)당 수확량이 289kg, '85년의 수확량은 456kg인 반면에 2000년 이후에는 단보당 수확량이 500kg을 상회하고 있다. 증발산량에서도 '80년에는 751mm/년, '85년 1,021mm/년, 2000년은 1,087mm/년으로 증가하는 것으로 나타나고 있어 벼 수확량과 증발산량의 차이에서 반영되듯이 단위면적당 수확량의 증가에 따라 증발산량의 증가는 당연한 결과로 판단되지만, 현재 기후변화에 따른 작물환경도 변화하고 있는 점에 있어서도 지역별 작물계수에 대한 지속적인 연구의 필요성이 요구되고 있는 실정임

## 6.2.3 수리시설물의 내한능력 검토

### 가. 강수량 변화 분석

- 1) 기상청에서는 매 10년마다 새로운 평균값을 사용하는 데 한국의 강수량 변화를 보면 1971 ~ 2000년까지 30년 동안의 60개 관측지점의 평균으로 연평균 강수량은 1,316mm이며, 강수량은 전반적으로 증가추세로 평가하고 연변화가 심한 것으로 보고 있다. 또한 강수일수는 감소하고 결과적으로 강우강도(집중호우)는 증가하는 것으로 나타남
- 2) 우리나라 과거 100년간 연강수량의 추이를 보면 최저 754mm(1939년)와 최고치 1,782mm(1998년)로서 2.4배 정도 차이가 나는 것을 알 수 있다. 도서지역을 제외하고 우리나라의 연평균강수량은 1,283mm로 과거 100년에 걸친 추세를 보면 연간 강수량은 약간 증가하는 경향이 있다. 1960년대 이후 연강수량의 변동폭이 커져 가뭃과 홍수가 증가하고 있어 기존 수자원 시설물에 의한 용수공급과 홍수방어능력을 취약하게 하는 원인으로 작용하고 있음
- 3) 강수량의 월별 변화와 더불어 강수 형태에서도 총 강수일수는 줄어드는 반면 강한 강우강도를 보이는 날은 증가하여 호우성 강수가 빈번해지는 경향으로 변화하고 있다. 1920년대부터 10년씩 평균된 한반도 강수량의 변화를 보면 먼저 연강수량은 최근 20년 동안 1920년대에 비해 7% 증가한 반면 강수일수는 14% 감소하여 강우강도가 18% 증가한 것으로 조사되고 있음
- 3) 우리나라는 주로 중국 내륙에서 다가오는 건조한 성질의 이동성 고기압의 영향을 받아 맑고 건조한 날이 계속되어 강수량이 적었다. 2001년 봄철 가뭃이 최고조에 다다른 6월 초의 전국 주요 댐 저수율 현황을 보면 총 저수량의 약 10 ~ 50%의 물만 저장되어 평년에 비해 약 39% 정도로 낮은 저수율을 보였음

## 나. 수리시설의 내한능력 현황

농업용 수리시설은 대부분 소규모이고 유지관리의 미흡 및 시설물의 노후화로 인하여 가뭄에 대한 내한능력이 크게 감소되고 있는 실정이다. 수리답의 내한능력은 총 답면적 1,084천ha중 859천ha로서 수리답율이 79.2%이며, 이러한 수리답도 농지개량 시설의 설계기준년이 10년 빈도를 만족시키는 시설은 약 44%에 불과한 478천ha 정도뿐이며, 특히 29%인 약 312천ha는 평년~3년 빈도의 내한능력 밖에 되지 않아 상습적인 가뭄피해를 당하고 있어 이에 대한 수리시설의 대규모화와 신규개발이 무엇보다도 절실한 실정임

## 다. 물수지분석

- 1) 저수지나 유역에서 일정 기간의 유입량과 유출량을 가지고 저류량의 시간적 변화를 계산하는 것을 물수지분석이라 한다. 저수지 계획용량은 시설물의 일정 크기를 가정하고 과거 기상자료를 이용하여 저수지 모의조작모형을 이용한 유입량과 유출량을 모의발생시켜 물수지 분석을 실시하여 결정함
- 2) 물수지 분석은 주로 저수지 등의 계획용량을 결정하기 위하여 실시하며 시설물의 규모를 가정하고 이 시설물에서의 유입량과 유출량 및 시설물의 특성자료 등의 영향인자를 모형화하여 시설물의 거동을 살펴봄으로서 시설물이 적정하게 운영되고 사용되어질 것인지를 사전에 파악할 수 있으며 예상되는 문제점도 도출해 낼 수 있음
- 3) 이와 같은 물 수지분석 방법은 단일 저수지 뿐 만 아니라, 조위의 영향을 받는 담수호, 상·하류 연계물수지, 양수저류지, 유역물수지 등 다양한 형태의 물수지분석 기법이 필요하게 되므로 제4장에서 제시한 '농촌용수 유역 총조사'에서 농촌용수구역에 대한 여러 형태의 여건을 고려하여 분석기법을 선정하여야 함

## 라. 내한능력 검토

- 1) 저수지 내한능력 검토는 수리 안전 대책의 기본방향을 정립하고 내한 능력 부적 시설에 대한보강 및 재개발 계획과 한해상습지에 대한 용수원개발계획을 수립을 목적으로 기존 수리시설물의 내한능력을 검토할 필요가 있음
- 2) 수리시설물의 내한능력을 검토하기 위한 기본적인 조사항목을 살펴보면 현지 및 청문조사를 통한 수리시설의 실제 관개면적 조사, 현재 수리시설 내한능력별 조사, 10년 빈도 한발에 의한 보강 및 재개발 계획수립, 한해 상습지에 대한 신규 용수원 개발 등 임
- 3) 저수지 한발빈도 계산은 일반적으로 저수지 계획용량은 저수지 모의조작 결과로

나타나는 필요저수량에 대한 연 최대치계열을 확률 처리하여 결정한다. 그러나 모의발생에 의한 저류량이 매년 말 다음해로 이월되는 경우에 대해서는 연 최대치계열에 대한 확률처리에는 신중을 기해야 하며, 통상적으로 저수지 계획규모 결정에 사용되는 확률함수 식은 Gumbel-Chow법을 적용하고 있으며 또한 실제 저수지 설계에 있어서는 축조 후 시일이 경과함에 따라 유역으로부터 토사가 유입, 퇴적하여 그 용적의 감소 정도를 고려 하여야함

## 6.3 농촌용수 이용량 조사방안

### 6.3.1 농촌용수 이용량 산정방법

- 1) 기존의 방법으로 수문모형에 의한 일별 농업용수 수요량 산정하는 방법으로 주로 수자원계획에 이용된다. 제3절에서 살펴 본 바와 같이 이론에 의한 방법과 실제이용량을 비교한 결과에 알 수 있듯이 필요수량 산정에 의한 방법은 현실성이 부족함
- 2) 저수지, 양수장, 보 등의 수리시설물의 운영 자료에 의한 산정방법으로 저수지 및 양수장은 운영일지를 토대로 실제공급량 또는 이용량 산정하고 관정, 보 등도 저수지 및 양수장의 운영일지에 의한 방법과 동일하며, 운영일지가 없는 경우 간접적으로 이용량 산정함(일별 산정)
- 3) 수리시설물의 운영 자료와 수문모형을 혼합한 방법으로 저수지, 양수장 등의 운영 자료와 수문모형을 이용한 수요량 또는 이용량 산정에 적용
- 4) 현장 모니터링에 의한 실제 이용량 측정방법으로 각종 수원공 또는 용수로에 수문관측 시설을 설치하고 모니터링을 실시하여 실제 저수지, 양수장 등의 공급량 또는 이용량을 산정하는 방법으로 가장 바람직하지만 시간, 예산, 관리의 어려움이 많음
- 5) 따라서 수계별, 지역별, 수원공별 관개지구의 대표성과 지역적 특성이 고려될 수 있는 대표지구(유역)를 선정하여 실시함이 요구되며 농업용수의 회귀수량 또는 회귀율을 산정할 수 있는 장점을 지니고 있음

### 6.3.2 농촌용수 이용량 조사기법 개발

#### 가. 농촌용수 이용량 조사기법

- 1) 농업용수의 효과적인 관리를 위해서는 농촌유역에 대한 공간적인 자료 조사와

물 이용에 대한 조사가 병행 추진되어야 할 것으로 판단되며, 이는 농업수리시설의 유역과 수혜구역, 수리 시설 등을 종합적으로 조사하는 가칭 “농촌 유역 총조사”를 실시하고 이 조사에서 “농촌용수 유역조사”와 지역별 대표 시험유역에서 실시하는 “농업용수 이용량 조사사업”이 지속적으로 이루어져야 할 것임

- 2) “농촌용수 유역 조사”는 정해진 주기로 조사하되 6년 주기로 3년 보완조사로 실시하며, 지역별 순환조사를 실시하여 매년 조사팀이 운영될 수 있도록 하며 “농촌용수 이용량 모니터링”은 향후 최소 10년 이상 실시하여야 함
- 3) 이와 같은 조사를 통하여 “농촌용수 유역조사”는 농촌용수 정책수립에 필요한 자료와 모니터링에 필요한 기초 자료를 제공하고 “농촌용수 이용량 조사 모니터링” 사업은 합리적인 농촌용수 이용량 산정에 필요한 기초 자료를 제공하여 보다 합리적이고 과학적인 농촌용수 이용량이 산정될 수 있는 기초 마련
- 4) 농촌용수 이용량 조사를 위한 추진 방법은 크게 4 단계로 구분할 수 있으며 1단계는 농촌용수 유역 총조사 계획의 수립과 유역조사 항목을 선정, 조사표를 작성, 조사방법에 대한 매뉴얼 작성과 이용량 조사 모니터링 계획을 수립하는 것이며 2단계는 농촌용수 조사를 위한 업무 분담 및 실행계획을 수립하는 것으로 재정과 조직 및 업무 분담을 실시하고 시험유역 선정과 모니터링 팀을 구성한다. 시험유역 선정을 위해서는 기후대와 수계, 시험유역 선정 기준 그리고 GIS 등을 이용하되 모니터링 방법에 따라 적정 대상지역 개수가 결정되어야 함
- 5) 유역 조사 항목은 크게 기본 현황 조사와 이수부문, 치수부문으로 구분할 수 있다. 기본현황 조사는 유역특성조사, 자원조사, 기후 기상, 수문특성, 지하수특성, 수면증발, 항공측량의 항목으로 구성되어 있는데, 이와 같은 자료는 국토해양부, 농촌진흥청, 산림청, 기상청 그리고 국립지리정보원 등의 협조를 받아 464개 농촌용수구역 또는 지사 관리 구역 단위로 작성하되, 주요 저수지와 양수장 관리에 활용될 수 있도록 수치지도와 데이터베이스화 하여야 함
- 6) 이수 부분과 치수 부분은 현재 국토해양부에서 하천법에 근거하여 작성한 유역조사 항목에서 농업용수 관련 부분을 취사선택하여 선정하되 추후 이 항목들은 조사표 작성과 조사 매뉴얼 작성 시에 면밀히 검토되어야 할 것임

## 나. 논관개 개념 및 이용량

- 1) 우리나라 농업용수 사용량은 가용 수자원의 47%에 이르지만 수자원장기종합계획을 보면 수요량 기준(10년 빈도 한발)으로 간접적인 추정방법에 의해 산정한 것으로 이는 작물별, 시기별 필요수량을 추정하고, 이를 재배 면적에 대하여 적용하는 소위 원단위 산정 방식을 적용하고 있다. 실제 이용량과는 차이가 있으

며 많은 수원공이 산재되어 있는 농업용수의 공급체계 특성상 실제 이용량은 매우 제한적으로 조사되었음

- 2) 논 관개와 물수지에서 농업용수 이용은 수원공으로서 저수지와 양수장, 그리고 보조수원공으로 취입보를 이용한 지표수 취수와 관정을 이용한 지하수 취수로 구분할 수 있으며 이를 송수시설 (개수로 및 관수로)를 이용하여 경지에 공급하고 침투 및 배수로를 통하여 하천으로 회귀된 물을 다시 취수하여 사용하는 등 복잡한 양상을 띠고 있어 정확한 이용량의 산정이 쉽지 않음
- 3) 농업용수 사용량은 그 목적에 따라 여러 가지로 정의될 수 있다. ① 관개량을 사용량으로 하면 취수량으로 정의된다. ② 논, 밭 등 포장에서 사용되는 관개수량은 취수량 중 배수량을 뺀 양이다. ③ 작물이 소비하는 양을 사용량으로 하는 경우는 증발산량이며, ④ 논벼의 경우와 같이 담수재배의 경우 소비수량은 증발산량과 침투량을 합한 값이다. 또한, ⑤ 광역 수계의 용수수급해석에서 농업용수 사용량은 취수량과 강수량 중 포장에서 이용되는 양으로 하고 있음
- 4) 외국의 농업용수 이용량에 관한 조사방법으로 미국 USGS에서는 물 사용량 자료 수집방법에 관한 핸드북(USGS, 1997)을 제정하고, 매년 수문 단위(수자원 단위)별로 하천내 사용량과 하천외 사용량, 지표수, 지하수 사용량 등을 조사하고 있다. USGS는 물 사용량 조사방법으로 ① 특정 시설과 지역별 물 사용량 조사에서는 취수량, 도수량, 방류량, 회귀수량 등의 자료를 수집하여 산정하도록 하고 있으며, ② 지역이나 광역 물 사용량은 급수 면적과 작물소비계수 등을 이용하여 추정하도록 하고 있음
- 5) 농업용수 이용량 조사 방법은 자료의 수집방법에 따라 ① 현장 조사 자료에 의한 방법, ② 여타의 기관 등으로부터 수집된 자료 (2차 자료)에 의한 방법, ③ 원단위 자료 등을 근거로 한 추정방법 등으로 구분된다. 또한, 사용량 자료 처리 방법에 따라 ① 직접적으로 사용량을 측정된 자료에 의한 방법(직접 측정법), ② 간접적으로 사용량을 추정하는 방법 (간접 측정법), ③ 계수나 모델 등을 적용하여 추정하는 방법 (추정법) 등이 있음

#### 다. 조사항목의 선정

농업용수 이용량 조사를 위한 조사 항목은 크게 수원공(저수지, 양수장, 취입보, 관정), 송수시설(토공수로, 라이닝수로), 그리고 수혜구역(필지용수량, 순용수량, 조용수량, 배수량)으로 구분할 수 있음

## 라. 이용량 조사방법

- 1) 저수지의 경우 이용량은 일별 또는 순별 운영 자료를 이용하여 조사할 수 있다. 한국농촌공사의 지사에서는 관할 저수지의 운영·관리를 위하여 물관리 인원을 배치하고, 저수량, 저수율, 관개시간 등의 자료 및 시설물 관리대장을 보유하고 있으며, 저수율 자료는 저수지 시스템의 입·출력을 추적할 수 있는 기초 자료로서, 이용량 조사를 위한 기본 자료로 이용할 수 있음
- 2) 양수장은 하천, 담수호, 저수지 등의 물을 양수하여 공급하는 수원공으로서 농업용수 공급을 위한 양수장은 주 수원공으로 사용되는 대규모 양수장은 대부분 한국농촌공사가 관리하고 있으며, 한국농촌공사 지사에서는 양수시간, 전력사용량, 또는 양수량 등을 자료 및 운영일지를 지사 또는 출장소별로 보관하고 있으며, 이를 이용하여 과거의 이용량을 조사할 수 있음
- 3) 취입보는 하천수나 관개수가 하천으로 회귀한 물을 재이용하기 위해 취수하여 농업용수로 이용하는 수리시설물로, 하천의 수위를 높여 취수문으로 취수 중력수의 형태로 하류의 관개지구로 물을 공급하는 시스템이다. 한국농촌공사의 지사 및 시·군에서 관리하고 있는 보의 과거 운영 자료는 설계 제원과 개·보수 상황 등 시설물 관리 자료가 대부분이며, 하천 취수량 등의 자료는 없는 실정이다. 따라서 하천에서 보에 의한 사용량은 작물의 필요수량과 하천의 수위를 고려하여 산정하여야 함
- 4) 측정방법으로 저수지, 양수장 및 취입보에서는 수로가 시작되는 지점에 수위계를 설치하여 관개기간 동안 시간별(일별) 수위를 측정하고 이를 이용하여 유량을 측정할 수 있다. 이는 수위별 유속을 측정하여 얻어진 수위-유량곡선식을 이용하여 유량을 계산할 수 있다. 수위 측정지점에는 별도로 유량측정 장치를 이용하여 유량을 계산할 수 있으며 파살폴름 (Farshall Flume)을 주로 이용하고 있음
- 5) 관정으로부터 공급되고 있는 농업용수 이용량은 한국농촌공사 지사 및 시·군의 과거 운영 자료를 이용하여 간접적으로 조사할 수 있다. 이러한, 관정의 과거 운영 자료는 설계 제원이나 개보수 관련 현황이 대부분이며, 채수기록 등과 같은 사용량 자료는 거의 없는 실정이다. 관정 이용량은 이러한 설계 제원, 필요수량 및 관개급수 패턴 등을 이용하여 간접적으로 추정할 수 있음
- 6) 수혜지역 사용량의 조사에서 용수량은 크게 포장(圃場)단계, 지구(地區)단계 및 광역단계로 나누어 생각할 수 있다. 여기서 지구라고 하면 여러 개의 포장으로 된 논군(群)을 말하며, 광역은 용수의 반복이용이 있는 넓은 지구를 말한다. 시설관리용수량은 3.4에서 언급한 각 용수로 분기지점, 배수로 등에서 용수량을 측

정하며 유량계 또는 수위계를 이용한다. 그리고 시기별 용수량을 측정하기 위해서는 필지를 선정 후 못자리와 써레질을 하기 위해서 필지로 유입된 유량을 측정함으로써 산정할 수 있으며 N형 감수심, 삼각웨어, 사각웨어 또는 유량계 등을 사용하여 측정할 수 있음

- 7) 그리고 작물소비수량은 작물이 사용하는 물의 양으로서 증발산량과 작물의 생체에 축적된 수분량을 합쳐서 산정할 수 있으며 대부분 작물의 증발산량을 작물소비수량으로 산정한다. 작물소비수량 측정 방법으로 물수지 분석법, 라이시미터법이 있으며 시간별 또는 일별로 물수지를 분석하거나 라이시미터의 수위감소나 무게를 측정하여 전일 또는 전시간과의 차이를 계산하여 측정할 수 있음

#### 마. 수리불안전답에 대한 이용량 산정

수리불안전답은 수원공으로 부터 용수를 공급받지 않기 때문에 사용량 측정이 어려울 뿐 만 아니라 기상조건 등에 의해 많은 영향을 받으므로 정확한 사용량 산정이 어렵다. 한강유역 실제 사용량 조사에서는 수리불안전답의 경우 수리안전답 사용량의 65~70%를 적용한다고 전제하고 수리답 사용량의 65%를 적용하여 산정하였지만 수리불안전답의 경우 주로 강우에 의존하고 계곡수나 샘물을 보조적으로 사용한다고 했을 때 강우의 유효우량과 필요수량을 조합한 물수지 분석으로 계산하여 활용하는 것이 합리적인 접근 방법이라 판단됨

### 6.3.3 농촌용수 이용량 모니터링 조사

#### 가. 농업용수 이용량 측정지역

농업용수 이용량 조사지역 선정을 위한 기초조사 전국적으로 실시하기에는 용수공급 수원공이 너무 많고 관개지역이 방대하여 전수조사를 실시하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 대상지역 선정시 고려사항은 다음과 같다

- 일정규모 이상으로 농업용수 공급이 원활하게 이루어지고 있는 지역
- 중규모 정도의 저수지로서 전형적인 농업용수 공급 모델이 될 수 있는 지역
- 운영 및 관리가 잘 이루어지고 있어 관련 자료의 확보가 원활하게 이루어질 수 있는 지역

#### 나. 농촌용수 이용량 조사지역 선정

- 1) 선정방법의 기본 전제

- 농촌용수 공급과 이용에 관한 개념에 일치하는 관개조직으로 구성되어 있으며,

- 물관리가 잘 이루어지고 있는 관개구역 (특이성의 배제)
- 5대강 수계와 농업지대구분 그리고 지역특성을 대표할 수 있다고 판단되는 관개구역 (대표성의 원칙)
  - 현재 가용할 수 있는 인력과 비용으로 관개구역 전체에 대한 공간적 범위에서 농촌용수의 조사 항목에 대한 대부분 조사가 가능한 관개구역 (조사 능력)
- 2) 농업용수 이용량 조사 대상지구는 저수지와 양수장 지구를 대상으로 시험 지구를 선정하여 실시하는 것이 좋으며 대상 시험지구에 수문계측망을 구성하고, 현장 자료를 수집 분석하여 농업용수 이용량 계산에 활용
  - 3) 시험지구의 선정은 우리나라의 논 관개지구의 보편적인 특징을 잘 나타낼 수 있으며, 관개면적이 소규모이고 동일한 영농방식과 용수이용 특성을 가지고 있으며, 단일 용수원으로부터 관개수를 취수하고, 용수계통이 단순하여 물이용 현황의 파악이 용이한 곳
  - 4) 수문계측망의 구성에 있어서 농업용수의 수문과정은 단순히 유입량에 비례하는 선형적 관계를 가지는 것이 아니라, 시간적, 공간적으로 다양한 수문인자, 지상인자, 용·배수조직, 영농관리인자 등에 의해서 지배되므로 정밀한 계측망 구성은 <표 4-15>와 같으며 각 수문요소의 연계성과 시간에 따른 변이를 고려하여 최적의 계측망을 구성하여야 함

## 다. GIS를 이용한 가능지역 선정

전국적인 사용량 조사를 위해서는 지역별로 조사 지역을 선정하여 지속적인 모니터링이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 행정구역도와 대권역 수자원 단위도와 유효저수량 50만톤 이상의 저수지 수치지도를 이용하여 도단위 행정구역과 대권역 수문유역에 대한 저수지를 추출하였다. 이와 같은 측정 가능 대상 지역을 선정하기 위하여 행정구역도, 대권역 수문 단위도, 농촌용수 구역도, 50만톤 이상 저수지 위치도, 하천도, 농촌용수 수혜구역도의 수치지도를 이용하였음

### 6.3.4 밭 용수 이용량 조사

#### 가. 밭작물의 필요수량 결정 방법

- 1) 밭작물에 필요한 수분의 공급은 대부분 강우에 의하여 이루어지지만 자연의 강우만으로는 밭작물의 수분요구량을 충분히 충족시킬 수 없다. 밭은 논에 비하여 작물이 다양하며 토양 및 토심별 물소비 구조가 복잡하므로 합리적인 용수수급 계획을 세우기가 매우 어려운 실정임



- 2) 발관개 용수량은 계산식에 의하여 증발산량을 산정하여 사용하고 있으나, 토양 내에서는 증발산량 외에 침투량, 모관상승량 등 수분이동이 활발하여 이루어지고 있어 엄밀히 구별하면 증발산량과는 차이가 있음
- 3) 작물의 소비수량은 작물이 정상적으로 생육하며 좋은 품질과 수확을 많이 낼 수 있는 상태에서 소비되는 수분량으로 작물에 영향을 미치는 수분량은 증발산량, 침투량, 모관상승량, 유효수량 등 다양한 요소로 구성되어 있으나, 발관개 계획시 이들 요소를 전부 측정할 수 없어 편의상 증발산량만을 계산하여 발관개 계획에 활용하고 있음
- 4) 발 용수 수요량은 관개 대상지의 기상, 작부체계와 토양특성을 시기별로 파악하여 반영하여야 하며, 현재 발관개 계획수립시 잠재증발산량 계산을 FAO에서 추천하고 있는 Penman-Monteith법을 이용하고 있음

#### 나. 발관개 계획상의 문제점과 개선방안

- 1) 현행의 1998년에 발간된 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)에는 유효수량 및 발관개 용수량 산정방법이 제시되어 있어 이를 활용하고 있으나, 발관개 용수량 산정시 토양수분감소법과 같은 토양내의 물수지를 반영한 실측방법을 사용하여 정확하게 필요수량을 산정할 필요성이 있음
- 2) 잠재증발산량 산정에는 Blaney-Criddle식, Penman-Monteith식, 증발산비법 등이 있으며 현재 Penman-Monteith 식에 의한 방법을 이용하고 있다. 증발산비법은 기상데이터만을 이용하여 잠재증발산량을 구할 수 있어 계산이 간단하나 적용에는 신중한 검토가 필요하며, 작물계수의 적용함에 있어 기존의 작물계수( $K_c$ )와 Dual 작물계수( $K_{cb} + K_e$ )로 구분되어지고 있으며 이 두 작물계수의 차이점은 작물의 증산과 토양의 증발이 서로 다르게 결정되는 차이점이 있음
- 3) 유효수량 산정에서 강수량 중 소량(5mm 미만)은 무효로 하고, 5mm 이상의 강우에 대하여 발토양의 총신속유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 유효수량의 상한치와 강우 80%를 비교하여 일 강우의 80%보다 유효수분량이 크면 유효수량은 유효수분량이고 작으면 일강우의 80%를 유효수량으로 계산하고 있으나, 이는 일 강우의 80%가 무조건 토양으로 침투된다는 가정하에 유도된 것으로 수문학적인 신뢰성이 결여되고 토양에 따라 측정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 일반적으로 적용하기 곤란한 점이 있어 이를 보완하기 위하여 토양의 유효수분량을 고려한 일별 토양수분추적법으로 유효수량을 산정하는 방법이 제시되고 있음
- 4) 발용수 수요량을 산정하기 위하여 일별 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석

하기 위한 것으로 물수지를 고려한 밭의 유효수량 산정식을 이용한다. 그러나 실제 밭의 토양수분 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분 최대저류량(Dmax) 및 위조점(Dmin)에 의해 제한할 수 있음

#### 다. 밭 용수 이용량 산정

- 1) 밭작물의 소비수량을 측정하기 위해서는 우선 지역별로 주요작물의 재배면적을 검토하여 대상작물을 선정하여야 하며, 이를 대상으로 작부체계, 토성을 고려하여 시험계획을 수립하여 측정하여야 함
- 2) 밭작물의 소비수량을 규명하기 위해서는 토양수분변화에 대한 증발산량을 측정하여야 하며, 노지작물이 강우에 의하여 영향을 받기 때문에 노지의 경우 유효수량에 대해서도 검토할 필요성이 있음
- 3) 작물의 소비수량은 작물이 성장하기 위해 흡수하는 수량과 표면에서 증산하는 수량 및 토양 면에서 증발하는 수량 및 지하로 침투하는 수량의 합계이다. 그리고 작물의 종류, 생육시기, 기상조건, 토양조건 등에 의하여 변화하기 때문에 밭 관개 계획시 지구마다 별도로 필요수량을 산정하여 시설계획에 이용
- 4) 소비수량의 실측방법은 토양수분감소법, 라이시미터법, 챔버법 등이 있으나, 토양수분 감소법이 가장 널리 이용되고 있다. 토양수분감소법은 토양내의 수분변화를 현지에서 직접 측정하는 방법이기 때문에 작물의 소비수량을 가장 정밀하게 측정할 수 있으며 유효토층을 대상으로 층별 체적함수량을 측정하여 이에 토층의 두께를 곱하여 소비수량을 구하는 방법임

#### 라. 실제 이용량 조사

- 1) 밭 관개 관행조사
  - 밭 작물의 종류, 관개면적, 재배방식 등의 변화에 대해 현지 주민을 대상으로 설문조사를 실시하고, 이를 통해 지역별/시기별 조사 대상 작물을 선정하고, 계절별 작물재배 현황을 조사
  - 또한, 관개하는 양상을 파악하기 위해 수원공, 관개 형식, 관개시기 등 관개방법에 대한 설문조사를 실시하며 밭관개 관정, 저수탱크 등 수원공 종류와 스프링클러, 비닐호스 등 관개형식과 관개시작 요인, 관개간격과 하루 중 관개시간대, 1회 관개시 소요되는 시간 및 여름과 겨울의 각각 관개횟수도 조사
- 2) 농가 실제 이용량 조사
  - 대표적인 밭 관개지구를 대상으로 재배작물 종류, 재배면적 작부체계를 조사하

- 며, 이를 위해 설문조사, 농업기술센터 자료, GIS나 원격탐사기법 등을 이용
- 관개구역에서의 실제 밭관개용수량을 측정하기 위하여 농가를 선정하고 밭에 계량기를 설치하여 관개량을 측정하고, 시기별·작목별 관개실태를 파악한다. 이로부터 대표적인 작부체계의 물 공급량을 조사하고 작물별 작부체계별 급수 패턴을 유도
  - 실제 사용량 조사를 위해 농가의 경우 계량기를 설치 및 밭기반 정비지구의 경우는 공급량을 조사하며 실제 이용량 조사 절차는 다음과 같다.
    - 관개면적, 양수기제원, 대당 양수량, 양수기 가동시간, 전력사용량 자료수집
    - 대당 양수량, 관개면적, 마력, 대수, 펌프구경 등을 정리된 양식에 기입하고 양수시간 입력
    - 시험농가나 시험 밭 관개지구를 대상으로 계량기 이용 조사기간 전체의 사용량 산정
    - 수개의 시험지구 조사 값으로 면적과 관개량 관계식을 유도
    - 시범농가를 대상으로 계량기 읽음을 일별로 실시 조사기간 일별 급수 패턴을 작성
    - 미계측지역의 조사기간 전체 사용량을 면적-관개량 공식에서 유도하고 이를 유도된 급수 패턴을 이용 일별 사용량으로 변환
    - 개별 농가의 사용량을 합산하여 전체지구의 일별, 월별, 연간 사용량으로 산정

### 6.3.5 조사관련 법 검토

- 1) 조사와 관련된 현행 농어촌정비법, 하천법, 수질 및 수생태계 보전에 관한법률에 대하여 검토한 결과, 현행 농어촌정비법은 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전 등을 위하여 농어촌용수 이용 합리화계획을 수립·추진 및 농어촌용수구역을 설정/운용, 용수계획을 5년마다 변경 할 수 있는 규정이 있음
- 2) 하천법 유역조사 및 수문조사에 대한 사항이 있으며 유역조사는 조사항목의 생성주기, 자료의 변동성 및 활용빈도 등을 고려한 조사주기, 수자원 정보체계 구축·운영 등에 관한 규정이 있으며, 환경부 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서는 전국적인 수질/수생태계에 대한 실태파악 실시 및 측정망을 설치하여 수질오염도 상시측정과 수질/수생태계에 대한 전국조사를 항목별, 조사주기 등을 명시하여 실시토록 규정하고 있음
- 3) 따라서, 농업용수 이용량 조사에 대하여 조사방안 및 자료의 정보화 추진을 위해서 4.3.2에서 언급한 가칭 “농촌용수 유역 총조사”에 대한 내용을 포함한 규정 또는 지침 등이 조속히 마련되어야 할 것으로 판단됨

## 6.4 하천수 이용에 대한 문제점 및 대책

### 6.4.1 하천수의 수리특성

#### 가. 자연적·수문학적 특성

- 1) 계절적 불안정 요인으로 하천 유량을 결정하는 가장 중요한 인자는 강우이기 때문에 이의 영향이 크다. 따라서 하천 유량은 강우량의 계절적 변화에 따라 좌우되기 때문에 우리나라의 경우 강우의 계절적 편중이 심하여 하천의 유량도 그 변화 폭이 크다. 이에 따라 계획적인 급수가 곤란하고 작물의 생육시기 별로 충분한 수량의 확보가 어려운 경우가 발생할 수 있음
- 2) 하천수의 농업용수 이용 특성 중의 대표적인 것은 하천 유출수를 저류하여 사용하는 저수지와 달리 유수 상태의 물을 취입해야 하는 특성이 있다. 따라서 양수장의 경우에는 하천의 취수 위치에 따라 취입수량이 변화하게 되고 하천유량의 일부만을 취수하게 된다. 취입보의 경우에는 하천유량의 많은 부분을 취수할 수 있고 유지관리비가 적게 소요된다는 장점이 있으나 홍수기에는 홍수관리에 문제점이 있음
- 3) 하류에서 반복이용이 가능하다. 논의 관개에 있어서, 관개된 수량은 작물에 의해 모두 소비하는 것이 아니라, 일부는 송수되는 과정에서 침투 등의 손실로 지하로 스며들어 지하수위를 상승시키게 된다. 또한, 논에 공급된 수량이 담수를 위한 물꼬높이보다 많으면 물꼬를 통하여 배수로로 유출되기도 한다. 이러한 농업용수의 순환과정에서 회귀수량은 배수로를 통하여 지표수의 형태로 즉시 배수되는 것과 토양 중으로 침투된 수량이 지하수위를 상승시킨 후, 오랜 시간이 흐른 후에 하천으로 유출되는 것을 모두 고려하여야 함

#### 나. 농업용수 수리특성

- 1) 지역적 요건과 기상요인에 의한 계절적 수요 폭과 함께 못자리, 이앙시기 등 작부 체계에 따른 용수이용의 집중도가 매우 높으며 수리관행에 의한 취수량과 필요수량과는 다른 것으로 실제로 취수에 있어서는 수리관행에 지배된 경우가 많음
- 2) 논 관개는 관리손실량이 배수로나 하천으로 회귀되므로 물을 재이용할 수 있는 기회가 많고 용·배수로 겸용 수로나 간단한 수위조절 물막이 등으로 재이용하는데 비용이 적게 들며 이용효율이 높음
- 3) 물의 소비기구가 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등의 인자에 영향을 받고 있으며, 강우를 유효수량으로 이용하는 측면에서 보면 지역, 문화적인 수리관행에 따라 공공성이 강함

## 다. 사회·경제적 특성

- 1) 농촌용수 개념 확대에 따른 농촌의 물수요가 증가하고 있다. 농촌용수는 농업용수는 물론 농촌지역의 건강과 생활의 질 향상을 위한 생활수용과 농산물관리 및 가공과 농공단지의 공업용수 및 생태계를 보전하기 위한 환경용수를 망라한 지역용수를 포함하는 광의의 개념이다. 따라서 농업용수 수리시설은 생활용수를 포함하여 공업용수 방화용수 등 다목적으로 이용하기도 하여 지역용수로서 비농가를 포함한 지역주민 전체에게도 이용되어 왔고 또한 농업수리시설에 의하여 유지되고 있는 논과 함께 홍수방이나 지하수 함양 등으로 지역 밖까지 넓게 미치는 공익적 기능을 제공하여 왔음
- 2) 하천수에 대한 수요는 농업용수 뿐 만아니라 생활용수, 공업용수 및 각종 산업용수들로 구성된다. 특히 농업용수를 제외한 기타용수들은 인구가 증가하고 각종 산업이 급속하게 발달함에 따라 농업용수로의 사용 가능한 수량이 점차 감소하고 있어 타용수와의 경합이 불가피함

### 6.4.2 하천수 이용현황

우리나라의 논 면적은 2006년 자료에 의하면 1,084천 ha이고 이 중에서 수리답 면적은 859천 ha로 79.2%에 해당한다. 하천수를 직접 이용하는 수원공은 양수장, 양/배수장, 배수장 및 보가 있으며, 하천수를 이용하는 수원공별 관개면적은 총 288천 ha인데 전체 수리답의 33.5%에 해당되며 전체 논 면적의 26%에 해당됨

### 6.4.3 하도 물수지분석의 복잡성

- 1) 하도의 물수지 분석은 하도에서 사용한 물의 총량(유출량)과 그 지역에서 필요로 하는 물의 총량(수요량)을 목적하는 기간별로 비교함으로써 물의 과부족을 판단하는 작업이다. 이러한 물수지는 사용되는 자료와 분석 목적에 따라 계획측면, 허가측면 및 관리측면에서의 물수지로 분류할 수 있으나, 기본 개념은 주어진 공급량(유출량)으로서 주어진 수요량(취수량)을 만족시킬 수 있느냐 하는 것으로 표현 될 수 있음
- 2) 유출량의 경우 하천 유출량은 수위관측소에서 관측된 값을 사용하여 결정하거나, 잘 보정된 강우-유출모형을 사용할 수도 있고, 시설용량 또는 관개면적을 이용하여 추정한 값을 사용하기도 하며, 공급량에 대한 비율로써 추정을 하기도 하나 필요한 입력 자료의 대부분이 추정되거나 일부만이 측정된 부정확한 값이기 때문에 실제 하천관리를 위한 적용에 있어서 정확한 물수지를 기대하기는 어렵다

#### 6.4.4 수리권 검토

##### 가. 민법(관행수리권)

하천연안에 거주하는 자와 토지 소유자가 필요한 물을 인수하여 사용하는 연안권 개념의 관행수리권에서 시작했다고 할 수 있으며 이러한 점에서 민법상의 물 관련 규정인 ‘공유하천용수권’은 종래의 관습법을 기초로 성문화한 권리로 공유하천의 연안에서 오랫동안 관습에 의해 형성된 권리나 판례에 의해 형성된 물 사용권임

##### 나. 하천법(허가수리권)

- 1) 1961년에 하천법을 제정하면서 유수의 점용허가라는 규정을 명문화하였으며 물의 이용을 규율하는 허가수리권을 만들었다. 하천법의 유수사용허가는 하천법 제정 이후 하천용수를 이용하려는 자가 취득하는 물 사용권으로, 하천관리청의 허가를 통해 물이용 권한이 부여되는 일종의 허가수리권임
- 2) 유수점용허가를 받는 행위는 물의 이용을 원하는 상대방에 대하여 권리를 설정하는 특허 또는 설권행위라 볼 수 있으며 물의 사용량, 사업목적, 사용시설 구비 여부 등이 점용허가의 판단기준이 되며 하천점용허가 기간은 5년 ~ 10년으로 규정하고 있음

##### 다. 댐건설 및 주변지역 지원등에 관한법률(기득수리권)

댐 사용권은 새로운 댐을 건설함에 따라 댐에 저장된 물을 특정용도에 사용할 수 있는 권리를 말한다. 즉 하천유수점용허가를 받고자하는 자가 댐이 있을 경우 댐용수 사용계약을 미리 받도록 하여 물을 사용하고자 하는 자의 신청에 의해 허가되는 권리임

##### 라. 농어촌정비법(농업용수 수리권)

농업용 수리시설의 용수를 농업목적 이외의 용수사용과 이에 따른 경비의 징수 원칙 등에 대한 규정을 담고 있음으로써 그 내용상 용수의 목적 외 사용 및 농업용수 수리권과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있으나, 구체적인 수리권의 범위, 사용량 등은 명시되어 있지 않음

##### 마. 한국농촌공사 및 농지관리기금법

농업기반시설의 유지·관리 및 이용에 관한 사업, 농어촌용수 및 지하수자원의 개발·이용 및 보전·관리에 관한 사업 등을 행하며, 농업기반시설관리권을 가지고 농업기반시설을 유지·관리하고, 당해 시설을 이용하거나 당해시설에 의하여 용수

를 공급받는 자로부터 사용료를 징수하는 권리를 갖고 있다. 그러나 실제 농업인의 이용료는 면제되고 있음

## 바. 개선사항

- 1) 민법에서 인정하는 ‘공유하천용수권’ 형태의 관행수리권(기득수리권)과 하천법에서의 ‘유수점용허가’로 규정되어 있는 허가수리권간의 상반된 논리는 농업용수의 안정적인 수리권 확보와 직접 관련되는 중요한 문제로 허가수리권(비농업), 관행수리권(농업용수) 사용자간의 수리권 갈등이 야기될 수 있음
- 2) 관행(기득)수리권의 보호 범위의 불명확성 문제는 수리시설의 농업용수 수리권 문제가 아니라 농업용수 수리권 보호 대상인 양적인 농업용수의 특수성, 즉 사용된 물의 상당량이 하천으로 환원, 시기별 사용량의 변동성, 기후에 민감한 부분 등 다양한 특성을 다각적인 측면에서 고려하는 법률 규정이 마련되어야 할 것임
- 3) 최근 농업용수 사용 그 자체가 생태적 기능, 경관보전 기능 다원적 기능을 수행하고 있을 뿐 아니라 방재용수, 지역문화 축제 용수 등 다양한 용도로 사용되고 있으며 이러한 용수를 농업용수의 개념을 넘어서 ‘지역용수’ 개념을 포함하는 ‘농어촌용수’에 대한 제도적 뒷받침이 마련되어야 할 것으로 판단됨
- 4) 현재 하천법에는 갈수기 기준으로 허가수리권이 배분되고 있지만 실제 물 부족 시에는 하천에서 취수행위는 생활용수, 공업용수, 농업용수 순으로 되어있어 얼핏 보기에는 합리적인 것 같지만 우리나라의 물 부족이 주로 2/4분기 ~ 3/4분기에 발생하는데 이는 농업용수에 대한 수요가 급증하는 시기임

## 6.4.5 문제점 및 대책

### 가. 하천수 사용에 따른 이용료 부과

하천법에 의하면 하천수를 농업용으로 사용하기 위해서는 하천수의 사용허가를 받아야 하고, 하천수 사용에 따른 이용료를 부담하게 되어 있으며 또한, 하천수 사용자는 그 사용량을 확인할 수 있는 계측시설을 설치하고 관련사항을 기록 보관하여야 하며, 하천수 사용량의 계측방법에 관한 사항에 대하여 기록 보관을 요구 및 하천수 사용실적을 홍수통제소장에게 보고토록 하고 있음

### 나. 수리권의 제약 및 타 용수와의 경합

- 1) 하천의 공수(公水)의 이용관계에는 하천을 일시적·공동적으로 사용하는 일반사

용과 계속적·배타적으로 사용하는 특별사용이 있다. 일반사용은 하천을 그 용도에 따라서 자유롭게 사용함으로써 성립하며, 특별사용은 하천법 또는 민법에 의하여 성립하고 있음

- 2) 수리권의 목적은 관개 이외에 발전·수도·유수(流水) 등 다양하다. 수리권은 기본적으로 공권에 속하지만 사법(私法)의 규율을 받기도 한다. 수리권은 재산권인 물권의 일종으로서 거래의 대상이 될 수 있고, 그 침해에 대하여는 방해제거 및 손해배상청구권을 행사할 수 있다. 하천법상 수리권은 관리청의 점용허가에 의하여 발생하며, 민법상 수리권은 상린관계에 의하여 발생함

## 다. 문제점

### 1) 하천의 이용량 정량화 곤란

- 작물재배의 시기적 차이와 관개방식 차이, 중간낙수 적용여부, 시설관리 손실의 차이, 적용 작물계수의 차이 등이 원인이기 때문에 농업용수 이용량을 실측이 아닌 이론적인 방법으로 정량화 또는 계량화 하기는 상당한 어려움이 따르고 농업용수는 물의 소비구조가 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등의 인자에 영향을 받고 있기 때문임
- 또한 하천 유량을 결정하는 가장 중요한 인자는 강우이기 때문에 강우량의 계절적 변화에 따라 용수공급량이 좌우되기 때문에 계획적인 농업용수 급수가 곤란하고 작물의 생육시기별로 충분한 수량의 확보가 곤란한 경우가 있음

### 2) 반복이용/회귀율 산정 곤란

농업용수의 회귀수량은 수문기작이 대단히 복잡하고, 기상, 작물, 토양, 등의 물리적인 요소와 물 관리 등의 인위적인 요소 등이 작용하고 있기 때문에 정확한 양을 추정하기가 어렵다. 따라서 논 관개지구의 수문특성을 파악 할 수 있는 모니터링 시스템의 구축이 절대적으로 필요한 실정임

### 3) 이용량 평가/이용료 부과

용수이용료 부과는 오래 전부터 하천연안권의 형태로 물 사용 권리가 주어져 온 관행수리권에는 불합리하며, 또한 물 사용량 평가에 따라 허가된 수리권을 이용하지 않는다는 이유만으로 무조건 허가수리권 허가량을 제한하는 것은 바람직 않음



## 라. 대책

### 1) 농업용수 정량화

앞에서 살펴본 농업용수의 이용량에 대한 변화 요인을 고려하여 어떻게 용수이용량을 추정하느냐가 문제이다. 따라서 제4장에서 살펴본 농촌용수 조사기법에 따른 관개지구의 수문특성을 파악 할 수 있는 모니터링 시스템의 구축이 절대적으로 요구되고, 또한 이 지역의 수문특성을 모의할 수 있는 수학적 모형을 구성하여, 실제 여러 지구에 적용하여 신뢰성 있는 자료의 구축 및 적용성을 평가하고, 이로부터 여러 가지 조건에 대한 반복이용수량, 회귀수량 등의 변화를 산정하여야 할 것임

### 2) 이용료/사용량 평가

- 다양한 사회/환경변화에 따라 용수이용의 변동 및 농업작물의 변화, 농업기술 발전 등 변화에 따른 용수이용량 평가는 국가 전체적인 물이용의 효율성을 극대화하는 방향에서는 바람직 하지만, 허가수리권의 용수사용량 평가에 따라 허가수리권을 제한하는 강제적인 규정은 바람직하지 않다. 이는 생산성 향상을 위한 양적인 측면을 고려한 효율성의 강조일 뿐 다양한 측면의 농업용수의 공익적 기능을 고려하지 않은 부분으로 판단됨
- 따라서 시스템의 부재에 따른 관행수리권의 보호 범위의 불명확성 문제는 수리시설의 농업용수 수리권 문제가 아니라 농업용수 수리권 보호 대상인 양적인 농업용수의 특수성, 즉 사용된 물의 상당량이 하천으로 환원, 지하수 함양 보충, 시기별 사용량의 변동성, 기후에 민감한 부분 등 다양한 특성을 다각적인 측면에서 고려하는 즉 다시 말하면 5.4.2의 수리권 개선에서 살펴본 바와 같이 가칭 ‘농어촌용수’ 수리권 등과 같은 방안이 마련되어야 할 것임

## 참 고 문 헌

1. 강민구, 박승우, 임상준(1999) 관개용 저수지의 일별 사용량 조사분석, 1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 : 111-116.
2. 건설교통부, 2006년도 국토의 계획 및 이용에 관한 연차보고서
3. 건설교통부(2006) 수자원장기종합계획(2006 ~ 2020), 2006. 7.
4. 건설교통부 대전지방국토관리청, 1999, 금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1999. 12.
5. 건설교통부 부산지방국토관리청, 1997, 낙동강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1997. 12.
6. 건설교통부 서울지방국토관리청, 1998, 한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1998. 12.
7. 건설교통부 익산지방국토관리청, 1999, 영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서 : 하천수사용실태조사, 1999. 12.
8. 건설교통부, 한국건설기술연구원(2001) 물관리 효율성 제고기술 연구보고서, 2001. 9.
9. 건설교통부, 한국수자원공사(2004) 한강유역 이수조사 보고서(회귀수량 현장표본조사), 2004. 9.
10. 건설교통부, 물관리 어떻게 할 것인가, 2005. 3
11. 건설교통부, 한국수자원공사, 한국건설기술연구원(1997) 수자원계획의 최적화 연구(I) : 용수수요 추정시스템 개발 연구, 1997. 3.
12. 권성일(2006) 일본의 수자원과 농업용수, 전원과 자원, 48(2) : 37-41.
13. 김광섭(2007) 유역관리를 위한 토양수분 분석(I), 한국수자원학회지, 40(1) : 62-71.
14. 김성기(2002) 농업용수의 효율적 이용 및 관리방안, 농어촌과 환경, No.75, 2002. 6. : 14-21.
15. 김시원, 김철기, 이기춘(1996) 신고 농업수리학, 향문사.
16. 김영식, 박정남, 안병기, 김태철(1999) 금강유역 양수장지구의 농업용수 회귀량 산정. 1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 : 105-110.
17. 김정순(1999) 수자원 개발·관리의 법제정비, 한국법제연구원, 1999. 12.
18. 김종민(2002) 중국의 물문제와 대응 전략, 수자원환경, 161호, 2002. 5.
19. 김진홍(2004) 일본의 수자원정책, 한국수자원학회지, 37(6) : 55-69.

20. 김현영(1988) 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
21. 김현준, 김철겸, 김승(2003) 한강 및 낙동강 지역의 양수장 지구 물관리 효율 평가, 한국농공학회지, 45(1) : 23-32.
22. 농림부(1998) 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)
23. 농림부 국립농산물품질관리원(2003) 경지면적통계
24. 농림부, 농어촌진흥공사(1997) 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구.
25. 농림부, 농어촌진흥공사(1990) 발작물 소비수량 산정방법정립 연구(I~IV), '87~1990. 11.
26. 농림부, 농어촌진흥공사(1999) 농촌용수 수요량 조사 종합보고서, 1999. 12.
27. 농림부, 농어촌진흥공사(1998) 농촌용수계획설계편람
28. 농림부, 한국농촌공사 물부족 시대에 대비한 농업수로 적정 관리기법 연구(최종), 2006. 12
29. 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업용수의 효율적 이용 및 배분을 위한 수리권 조정 연구 최종보고서, 2007. 12.
30. 농림부, 한국농촌공사(2007) 농업생산기반정비사업통계연보, 2007. 12.
31. 농수산부, 농업진흥공사(1982) 농업용수개발시험연구, 1982. 12.
32. 농수산부, 농업진흥공사(1982) 수리시설내한능력별관개면적조사 및 신규개발예정지조사요령, 1982.
33. 농림수산부, 농어촌진흥공사(1991) 농업토목핸드북
34. 농어촌진흥공사(1999) 설계계산요령(용수로 및 양배수장).
35. 농업기반공사 농어촌연구원(2002) 용수수급의 안정성 제고 연구 및 종합시험지구 운영, 2002. 12.
36. 맹승진(2006) 농업용수 이용량 산정을 위한 인자 조사, 전원과 자원, 한국농공학회지, 48(2) : 9-14.
37. 박종대(2005) 농촌용수의 효율적인 개발과 이용, 전원과 자원, 한국농공학회지, 47(4) : 20-28.
38. 박창규, 정영국(2008) 2030년까지의 OECD 회원국 농업용수 사용 전망, 농어촌과 환경, No.100, 2008. 9. : 89-103.
39. 박태선(2006) 바람직한 하천관리 방향, 수자원정보, 한국수자원공사, 39 : 16-25.
40. 서기동(2004) 물관리 제도의 개선과제, 물포럼집(VI), 2004. 2. : 85-112.
41. 서승덕외 8인, 2000, 신고 응용수문학, 향문사.
42. 서울대학교 농업개발연구소(1998) 한강유역 농업용수 실제 사용량 및 회귀율 조사, 1998. 12.

43. 신경섭(2002) 기후변화와 강수량 전망, 물포럼집(I), 2002. 8. : 87-101.
44. 안세영, 이근후(1990) 제대천 유역 답지대의 물수지. 한국농공학회지 32(3) : 56-66.
45. 안세영, 이근후(1991) 제대천 유역 답용수의 반복이용. 한국농공학회지 33(3) : 63-72.
46. 유승환, 최진용, 장민원(2006) 논벼에 대한 Penman-Monteith와 FAO Modified Penman 공식의 작물계수 산정, 한국농공학회논문집, 48(1) : 13-23.
47. 오창준, 정상옥, 남효석(1997) 저수지 농업용수 회귀율 조사연구. 1997년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 : 46-51.
48. 이광야, 김선주(2001) 농업용수 수요량 산정 시스템 개발, 한국농공학회지, 43(1) : 53-65.
49. 이근후(2007) 농업용수 수요량 산정 방법과 개선 방안, 전원과 자원, 한국농공학회지, 49(3) : 4-14.
50. 이근후, 정운태, 이인영(1999) 양수장 용수공급 논 지대의 물수지, 한국관개배수, 6(2) : 11-18.
51. 이용직(2005) 논관개용수량 산정을 위한 실증적 연구, 건국대학교 대학원 박사학위 논문.
52. 이용직, 김선주, 김필식, 주옥중, 양용석(2006) 합리적 관개용수량 산정에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 48(3) : 11-20.
53. 임상준(2000) 농업유역의 논 회귀수량 추정모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
54. 임상준, 박승우, 김상민, 김현준(2000) 한강수계의 관개용수 일별 양수량 조사, 한국농공학회지, 42(1) : 57-65.
55. 임상준, 박승우, 김현준(2000) 한강수계의 농업용수 공급량 조사방법의 개발, 한국수자원학회 논문집, 33(6) : 765-774.
56. 임상준, 박승우, 박창언(1998) 논외 농업용수 회귀수량 추정에 관한 연구. 한국농공학회 학술발표회 논문집 : 87-91.
57. 장중석, 2007, 국가 수자원계획에서의 농업용수 수요 전망, 전원과 자원, 한국농공학회지, 49(3) : 20-27.
58. 정상옥(1998) A study on the return flow of irrigation water in paddy fields, Journal of the KSAE, Vol.40 : 1-6.
59. 정상옥, 손성호(2001) 물수지분석 기법에 의한 논에서의 회귀율 조사분석. 한국농공학회지 43(2) : 59-68.
60. 정상옥, 박기중(2004) 소규모 논지대의 관개회귀수량 실측조사 및 분석. 한국수자원학회논문집. 37(7) : 517-526.
61. 정하우, 김선주, 김진수, 안병기, 이근후, 이남호, 정상옥(2000) 관개배수공학, 동명사 : 97-103.

62. 최경숙, 이광야, 김해도(2008) 농업용수 수리권 관련 법 및 제도 정비방안(I),(II), 전원과 자원, 한국농공학회지, 50(1) : 29-46.
63. 최중대, 최예환(2002) 북한강 유역 춘천지역의 논 농업용수 회귀율 산정. 한국관개배수. 9(2) : 68-77.
64. 최진용(2007) 기득수리권 관리를 위한 정량화 방안, 전원과 자원, 한국농공학회지, 49(3) : 28-37.
65. 추태호(2004) 물수지분석 기법에 의한 양수장 몽리구역내 농업용수 회귀율 연구, 한국수자원학회논문집, 37(2) : 249-255.
66. 통계청(2008) 2007년 작물통계.
67. 한국농촌경제연구원(2008) 농업전망 2008(I), (II), 2008. 1.
68. D. D. Fangmeier, W. J. Elliot, S. R. Workman, R. L. Huffman, and G. O. Schwab (2006) Soil and Water Conservation Engineering(5/E), Thomson Delmar Learning.
69. FAO(1998) Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
70. The World's Water 2006, Peter H. Gleick.