

물환경 개선을 위한 농업용수 관리방안 연구
(A Practical Research of Agricultural Water Management
for the Improvement of Water Environment)

분과위원장 : 박 승 우
(서울대학교 농업생명과학대학 교수)
간 사 : 서 영 제
(농어촌진흥공사 조사설계처 과장)
위 원 : 박 창 언
(신구전문대학 토목과 교수)

1. 서론.

농업용수라 함은 농사에 필요한 모든 수량을 말한다. 그 중에서도 본 연구의 범주에 속하는 농업용수는 일반적으로 논(畓)에 필요한 용수를 대상으로 하였으며 이는 벼 생육과 직접 관련되는 수량이다.

1994년 현재 우리나라의 용수수요량 약 300억m³ 중 농업용수가 차지하는 수량은 약 150억m³으로 거의 절반을 차지하고 있으므로 효율적인 농업용수 관리는 우리나라의 수자원관리 측면에서 큰 비중을 차지하고 있다고 해도 과언이 아니다(건교부, 1996).

그러므로 농업용수에 대한 수량 및 수질관리 그리고 지속가능한 농업을 위한 효율적인 물관리는 결국 벼 생육의 증진 뿐만 아니라 양질의 쌀 생산 및 토양의 오염방지, 더 나아가 우리나라 전 농경지의 생태환경 복원을 통하여 친화적인 수변공간 조성과 직결되므로 이에 대한 연구는 매우 뜻있는 일이라 사료된다.

2. 관개(Irrigation)

관개는 인위적으로 작물에 물을 공급하는 것을 말하며 일반적으로 작물의 성장을 위한 목적으로 세계 여러 곳에서 실시하고 있다. 중동, 인도, 미국 서부 지역, 그리고 호주의 일부 지역에는 연중 비가 전혀 없거나 또는 있더라도 그 양이 매우 적어 작물에 필요한 전체 수량을 관개에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 동남아시아, 유럽 혹은 아프리카의 일부지역은 자연강우를 용수로 이용할 수 있으며 용수가 불충분 하거나 고르지 못한 지역은 관개를 실시하기도 한다. 따라서 이들 지역은 작물의 생산량과 질을 높이기 위하여 관개는 강우의 보충급수가 필요할 때만 실시하기도 한다.

최근에는 스프링클러 및 물방울 관개 등이 보급되고 있으나 이는 발농사를 위한 것이 대부분이며 벼농사의 경우 모두 담수관개를 실시하고 있다. 지표수 관개를 위한 한 필지당 크기는 영농방식과 기타조건에 따라 다양하며 매우 작

은 구역부터 크게는 수십, 수백ha가 되는 구역도 있다. 일반적으로 관개구역 설정은 다음과 같은 요소에 의하여 결정된다.

- 관개방법,
- 관개조직,
- 배수조직,
- 1필지 구획단위 및 기타.

3. 농업용수 필요수량

물은 농작물의 성장에서 필요한 요소이지만 그 필요량의 정도는 작물의 종류, 재배목적, 재배양식, 생육시기, 기상조건 및 토양조건 등에 따라 달라진다. 관개를 하기 위하여 그 필요한 시기와 수량을 정확히 파악할 수 있다는 것은 농업용수의 개발과 물의 효율적인 관리계획 수립에 있어 대단히 중요한 사항이다.

벼는 반 수생식물로서 벼농사에 대한 필요수량의 구성인자는 벼의 증발산량, 토양의 삼투량, 수로 및 논에서의 재배관리수량 및 시설관리수량으로 구분할 수 있다. 증발산량은 논의 지표면 수면증발량과 논벼의 엽면증산량을 합하여 구할 수 있는데 이와같은 증발산량은 작물의 종류, 작부시기, 당시의 기상상황 등 여러 요인에 의하여 변화가 많으므로 실제 증발산량을 이와같은 요인에 의하여 정량적으로 계측하는 것은 어려우므로 일반적으로 기상조건 및 작부시기 등에 따른 잠재증발산량을 산정한 후 실제증발량과의 차이를 작물계수로 조정하므로써 추정하는 방법이 사용되고 있다.

한편 삼투량은 토양의 종류와 지하수위에 따라 큰 차이가 있으며 작물의 생육상태에 따라서도 다소 영향을 받게 된다. 여러 가지 농작물에 필요한 수량중에서 삼투량은 작물의 생육기간을 통하여 볼 때 비교적 안정된 값을 갖지만, 증발산량은 삼투량에 비하여 그 변화의 폭이 대단히 크다. 증발산량과 삼투량

은 답에서 직접 소비되는 수량으로 일반적으로 작물소비수량으로 불리워진다.

실제 논에서 벼 재배환경을 개선시키는데 소비되는 수량에는 증발산량 및 침투량 뿐만 아니라 논에서의 여러가지 재배기술상의 물관리를 가능토록 하기 위하여 소비되는 수량도 필요하게 된다. 논에서 벼 재배관리를 위하여 필요한 수량을 재배관리수량이라고 할 수 있다. 논의 답수심을 일정하게 유지하기 위하여 심수, 천수등 답수심을 변화시키고 또는 일정한 기간 비답수상태로 하든지 혹은 간단적으로 단수시킨다든지 더 나아가서 고온장애의 방지를 목적으로 한 내리홀림식 관개등을 실시하기도 한다. 이와같은 물관리 방법은 저온장애나 고온장애 방지등을 비롯해서 생산량의 증대, 품질개선, 농작업의 효율향상 및 병충해 방지 등을 목적으로 하는 물관리다. 따라서 상기 방법에 의한 물관리는 강제적 낙수 또는 내리홀림식 관개에 의한 표면유출의 형태로 포장밖으로 유출되는 필요수량이 발생할 수도 있다.

논에서 관개기간중 물관리는 논면의 답수조절과 침투량 조절등 양자를 고려해야 한다. 논면의 답수조절 즉 답수심 유지는 표 1과 같이 작물의 생육기별 용수의 필요도에 의해 결정되며 그 밖의 발아촉진, 생육촉진, 냉해방지등 재배 기술상의 필요에 의해서 좌우될 수도 있다.

논 소비수량 및 재배관리용수량은 무엇 보다도 재배양식변화에 따라 민감하게 변화하게 된다. 답수나 건답직파로 재배양식이 변화되었을 경우 재배기간의 변화, 물관리 방법의 변화등에 기인하는 결과가 바로 이를 증명해 주고 있다.

그 밖의 필요수량으로는 시설관리수량이 있다. 시설관리용수는 용·배수로 조직에서 손실되거나 운영에 필요한 수량으로서 송수손실, 용수의 분수, 배수(配水)를 확실하고도 용이하게 하는 배수관리수량 및 수로등의 기능을 유지, 보전하기 위한 용수로 구분할 수 있다. 이와같은 수량의 결정을 위하여 송수손실수량에 대해서는 지구의 입지조건, 수로의 연장 및 수로의 종류등을 감안함과 동시에 배수관리수량에 대해서는 수로형식의 관리조직, 관리체제, 시설 장치화의 정도, 논외 분산상황 등을 고려해야 한다.

표 1. 벼에 대한 용수의 필요성

생육과정	용수의 필요성	생육과정	용수의 필요성
1. 착근기	가장 필요	6. 수잉기	가장 필요
2. 1차분얼기	필요	7. 출수개화기	필요
3. 2차분얼기	필요	8. 호숙기	소량 필요
4. 최고분얼기	극소량 필요	9. 황숙기	소량 필요
5. 유수형성기	가장 필요	10. 완숙기	극소량 필요

* 자료출처 : 농업생산기반정비사업설계기준, 경지정리편, p. 132, 1984년

그러나 작물의 소비수량 및 재배관리수량, 시설관리수량의 합으로 표시되는 작물의 필요수량이 실제 용수원에서 공급 할 수량을 의미하는 것은 아니다. 논에 떨어지는 강우의 일부가 벼잎에 차단되는 것과 함께 논바닥에 도달하여 벼 생육에 직접 이용될 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 이와 같은 우량을 유효수량이라 하며 홍수량 산정에 이용되는 유효수량과 다른점을 인지하여야 한다.

4. 벼 재배방식에 따른 물관리

벼 재배를 위한 물관리가 최근 가뭄이 자주 발생하면서 중요시 되고 있다. 효과적인 물관리란 개량된 영농과 더불어 농업생산을 증가시키기 위해 경지에 물을 공급함에 있어 운반, 조절, 측정, 분수 및 수량을 적기에 공급토록 하는 종합적인 운영방법을 의미한다. 증가하는 물 수요량을 충족하기 위해서는 용수원을 적극적으로 개발하는 것이 일차적인 방법이 되겠지만 이미 확보된 물을 최대한으로 절약하고 효과적으로 사용함으로써 물에 대한 경제적 가치를 더욱 증대시킬 수 있다. 일반적으로 물관리는 다음과 같은 항목들을 고려해야 한다.

- 쌀 다수확을 위한 적정 물관리
- 용수절약을 위한 물관리
- 용수의 균등배분을 위한 물관리
- 수질, 수온 등 용수의 질을 고려한 물관리
- 물관리 시설비를 절감하기 위한 물관리
- 농작업 기계화를 위한 물관리

양호한 물관리는 벼 수확량을 증대시키는 반면 물관리를 소홀히 할 경우 수확량이 감소한다. 물관리의 역할은 벼씨의 발아, 벼의 성장, 잡초방지, 해충방지, 냉해예방, 비료효과의 증진, 쌀의 품질 향상등에 있으며 특히 최근 성행하고 있는 적절한 물관리 사항을 열거하면 다음과 같다.

- 시기별 물관리 방법
- 벼 성장에 따른 필요한 물의 양
- 벼 재배를 위한 효과적인 물관리
- 수확기의 배수

5. 농업용수 관리현황

맑은 물 공급은 벼 병충해를 방지하고 쌀의 질을 높힐 수 있으며 배수나 하천수의 수질을 개선시킴으로서 결국은 하천수의 정화 및 국토 전체의 친수환경을 유도할 수 있다. 다수확을 위한 1970년대 통일벼 재배방식은 최근 일반벼 중심으로 바뀌었고 해마다 거듭되는 벼 농사 연작으로 인한 농지의 지력저하 및 농약 남용은 향후 우리나라의 식량사정에 위협을 줄 뿐만 아니라 국민들의 건강은 물론 자연 생태계에도 치명적인 영향을 줄 수 있다.

따라서 회복수 또는 퇴수가 약 30~70%나 되는 농업용수의 효율적 관리는 장래 우리나라의 수계 전체에 대한 수자원의 양과 수질 뿐만 아니라 하천환경에

도 지대한 영향을 미치게 됨은 당연하다. 물론 농업용수의 수질개선만으로 하천수가 쉽사리 좋아질 수는 없을 것이다. 그러나 생활 및 공업용수의 하수처리는 중앙 및 지방정부에서 지속적으로 관심을 갖고 추진하고 있지만 농업용수는 그 수량과 지배면적 및 수로조직의 방대함 때문에 전혀 엄두도 내지 못하고 있는 형편이다. 그러므로 현재 농업용수가 배수되어 하천수에 가장 큰 영향을 미치는 것은 병충해 방지를 위하여 농지에서 살포한 농약으로 인한 오염물질의 회석운반 작용이 매우 크다. 현재 대부분 농지구획화를 위한 경지정리 사업에서 용수 및 배수체계는 단위용배수량 개념에서 설계되고 있어 논 1필지당 물의 순환은 거의 찾아 볼 수 없는 형편이다. 따라서 일단 논에 용수개념으로 운반된 용수는 배수과정에서 농약을 다량 함유할 뿐만 아니라 배수될 때까지 논에 정체되어 강우기간을 제외하고는 순환되지 않는다. 옛날 재래식 계단형태의 논인 경우 내리흐림식 관개를 할 수 있으나 현행 경지정리가 완료된 논인 경우 용수 공급은 주기적인 방식에서 탈피하지 못하고 있는 실정이며 필요수량 계산도 엽수면 증발산량에 논의 삼투량과 수로손실을 고려하여 소비수량 개념으로 결정되고 있고 또 수원공 설계시 논에 내리는 유효우량을 고려하여 일별 담수심을 60mm로 계산하고 있다.

그림 1은 현행 우리나라 경지정리를 위한 용수조직의 일부를 나타낸 것으로 1필지당 장변 100m, 단변 50m의 범위내에서 용·배수는 각 필지당 일방향 공급 및 배수하도록 설계되었다. 그러나 실지로 용수 절약 측면에서 강우가 내리지 않을 경우 일반적으로 배수가 없으며 장기간 논에서 정체되어 병충해 발생의 원인이 되곤 한다.

6. 외국의 사례

6.1 캘리포니아 농업용수 관리현황

캘리포니아에서는 연속적인 내리흐림식 관개방식을 이용하고 있다. 논 농사를 위한 관개조직에서 배수되는 용수는 가끔 살충제를 포함하고 있기 때문

에 하류부의 이용수량을 오염시키기도 한다. 1984년, 주 정부의 엄격한 규칙에 따라 벼농사를 위한 영농자들은 그들의 포장용수에 대하여 유독물이 없는 살충제를 처리하도록 하였다. 이와같이 관개용수에 대한 수질감시는 벼농사 관계자들에게 어려움을 주었으며 장기간에 걸친 담수는 수질악화와 함께 바람직하지 못한 결과를 초래하였다. 따라서 보다 효율적인 물관리를 위한 관개조직이 제시되었으며 이것이 바로 내리홀림식 관개이다. 최근의 관개조직에 있어 벼농사 관계자들을 위한 혁신적인 물관리 방법 3가지가 제시되었으며 이를 통하여 내리홀림식 관개와 배수되는 용수의 수질을 양호한 상태로 유지할 수 있었다.

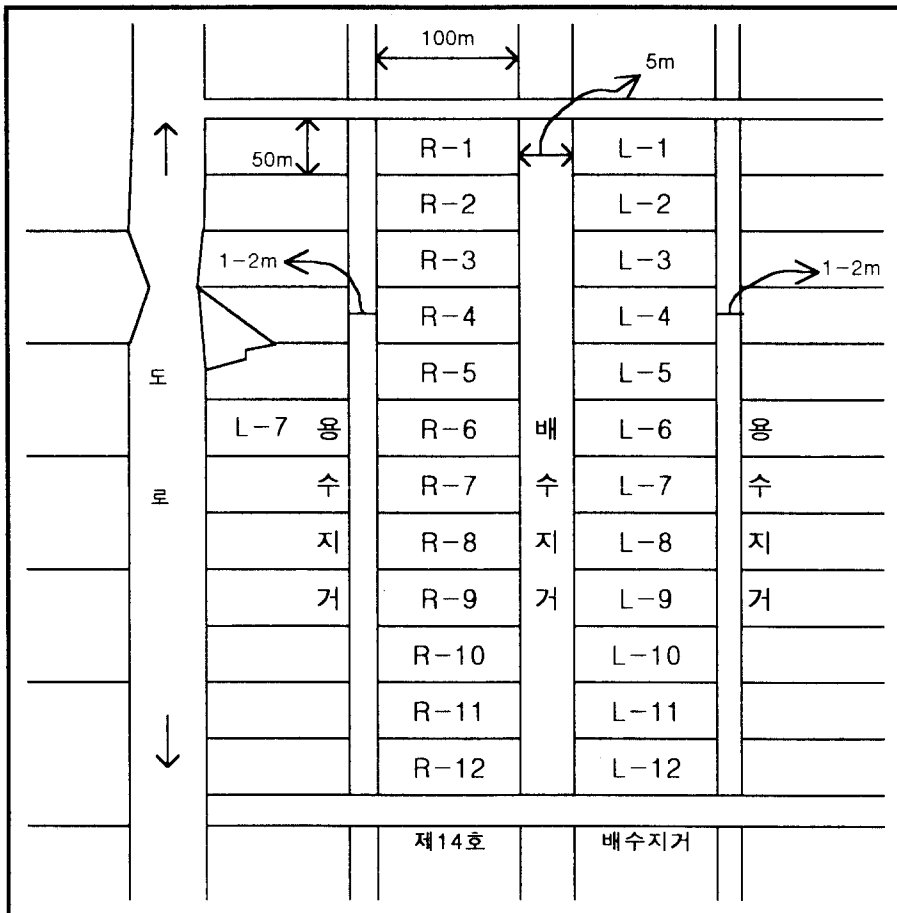


그림 1. 우리나라 현행 용·배수조직도(전북 진안군 마령면)

(1) 내리흐림식 관개를 통하여 관개용수를 재순환시키며 한번 이용된 용수는 다시 다른 경지에 몇번 재이용 되도록 한다.

(2) 정체된 관개용수 사용조직은 개인적으로 담수심을 유지하기 위하여 이용될 수 있으며 살충제가 뿌려진 경지에서는 이 용수를 배수시킬 수가 없다.

(3) 중력에 의해 내리흐림식으로 관개한 용수는 관수로를 통하여 인근의 경지나 혹은 공공의 배수로로 배수시킬 수 있다.

순환, 정체, 그리고 중력에 의해서 재이용되는 관개조직은 최근 캘리포니아의 벼농사 경작자들에게 많이 이용되고 있다. 각각의 관개조직에 대한 장·단점 및 수질에 대한 잠정적인 영향은 벼 농사 경작자들의 경작방식에 따라 제각기 어떤 조직을 선택하든지 혹은 병행하여 선택하든지 자유이다.

이와같은 내리흐림식 관개조직은 가장 이상적인 관개방식이다. 왜냐하면 물은 경지의 표고가 가장 높은 곳에서 낮은 곳으로 자연급수가 가능하기 때문이며 경지에서 경지로 이동되는 물은 그림 2에서 보는 바와 같이 나무로 만든 웨어나 문비로 조절이 가능하기 때문이다. 그리고 마지막 웨어를 통하여 율류되는 물은 배수로로 빠져나가 결국은 하천수로 복귀된다.

경지와 경지 사이의 나무문비는 계단식으로 1개의 크기가 약 4인치(10cm)로서 그림 3에서 보는 바와 같이 경지의 양끝에 설치되어 있다. 따라서 경지내의 담수심 관리는 웨어구조물의 문비(각낙판)를 조절하므로써 가능하다.

초기담수는 3~4일간 최대유량으로 유하시키고 그 이 후부터 헥타당 $0.0014 \sim 0.00213 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 용수를 공급한다.

6.2 캘리포니아의 벼농사 필요수량

벼가 자라는데 사용되는 물은 어느 지역도 마찬가지로 (1) 작물의 증발산량 (2) 토양을 통한 침투량 (3) 포장에서의 손실량으로 나눌 수 있다. 벼재배를 위한 초창기의 필요수량은 거의 포장에서의 증발량으로 간주할 수 있다. 그러

나 비가 약 30cm정도 자라게 되면 사용수량의 약 90%가 작물의 생육에 실제로 필요한 증산량으로 이용된다. 작물의 전체 증발산량은 기후의 영향을 가장 많이 받는다(일조시간, 바람, 온도, 습도 등).

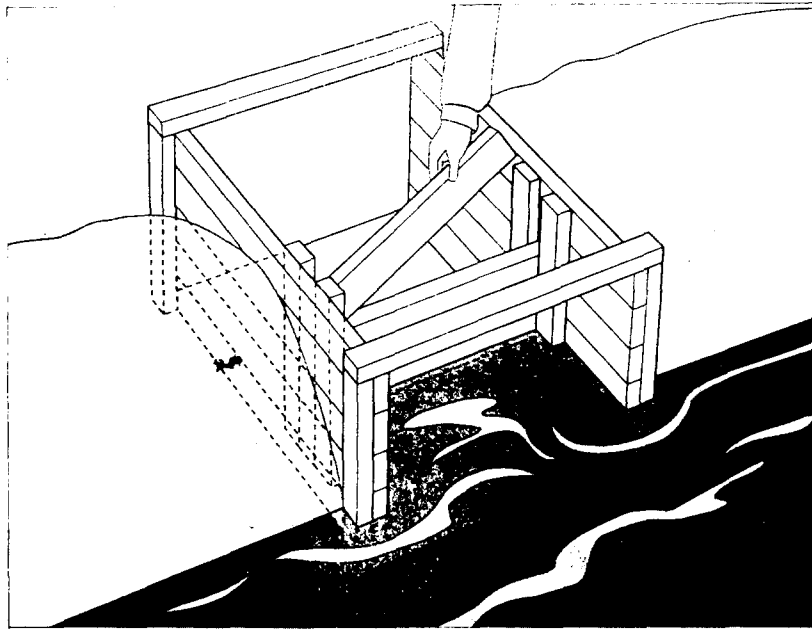


그림 2. 논둑에 설치된 웨어형 수문

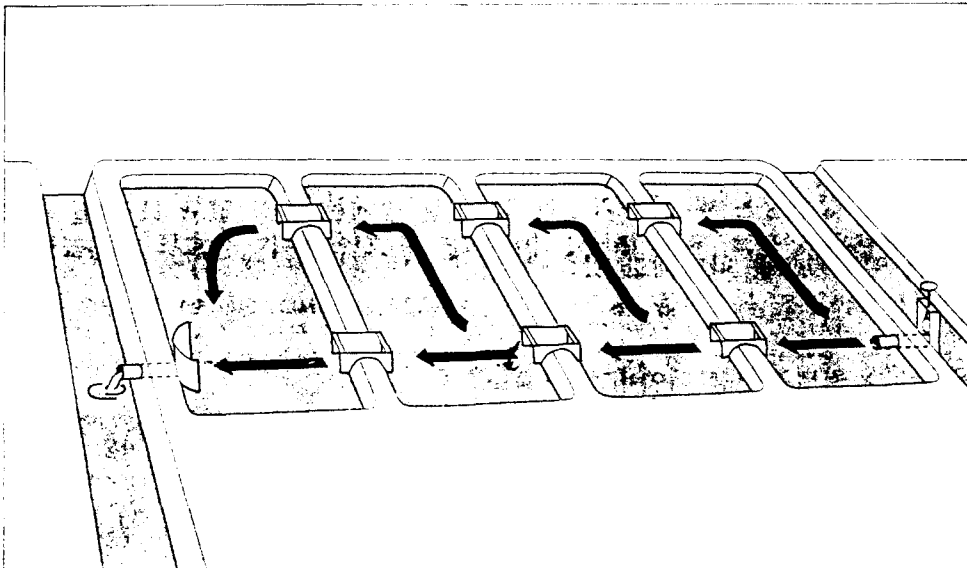


그림 3. 내리홀림식 관개조직

최근 Sacramento 계곡에서 벼 재배에 필요한 평균수량은 연간 915~1,170mm정도이며 또 개략적으로 914~1,220mm정도이다. 그리고 1970년대 중반까지 수확적인 모형에 의해서 계산된 필요수량은 현재와 비교하여 볼때 약 3배에 해당되는 수량이며 이것은 최근에 개발된 새로운 품종과 재배기간이 단축된 결과이다(170일에서 145일로 단축).

벼 재배에 필요한 또 다른 용수는 뿌리 이하의 토층으로 침투되는 침투량이다. 통상 벼를 재배하는 경지에서는 관개기간 동안 계속해서 담수를 하므로 수직침투량은 매우 적으며 연간 127~610mm정도이다. 일반적으로 벼를 재배하는 경지에서는 침투량이 연간 1,200mm를 넘지 않는다. 만약 침투량이 3,000~6,000mm/년을 넘을 경우 벼외의 다른 작물을 재배하는 것이 타당할 것이다.

벼재배를 위한 또 다른 필요수량 요인은 관개기간동안의 지표유출이다. 물비용도 비싸지 않고 물관리가 가장 용이하므로 내리흘림식 관개를 하는 수로조직이 아직까지 보편적으로 많이 이용된다. 이와같은 관개조직은 작물의 최대수량을 필요로 하는 시기에 맞추어 물을 거의 일정하게 공급하며 또한 담수심관리를 위해서 배수도 일정하게 조절하여야 한다. 1970년대 레이저 빔을 이용한 경지정리 기술이 도입되고 난후 내리흘림식 관개조직이 널리 확산되었다. 전형적인 월담관개의 수로조직에서 연간 경지유출은 약 310mm이며 그 범위는 230~1,020mm정도이다. 최근 벼를 재배하는 구역에 공급되고 있는 전체 관개용수량은 약 1,270~2,540mm정도이다. 그리고 실제 작물에 필요한 증발산량은 약 1,067mm정도이다.

6.3 캘리포니아 벼 증발산량

일반적으로 지중해성 기후 영향을 받는 캘리포니아 지역의 벼에 대한 증발산량은 1,070~1,220mm이다(전체 관개기간동안). 그리고 관리용수를 포함할 경우 1,220~1,520mm이며 과거에는(1985년까지) 약 2,130mm였다. 계절별 벼에 대한 증발산량을 나타내면 표 2와 같다.

표 2. 관개기간중 증발산량

월 별	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	합 계
증발산량 (mm)	70	190	240	250	210	145	35	1140

6.4 잡초방지를 위한 물관리

야간의 심수관개는 잡초방지, 제초제 절약, 그리고 지속적인 쌀생산을 위하여 매우 바람직하다. 지난 10년 동안 벼재배를 보다 단기적으로 하기 위하여 많은 노력을 하였으며 그 성과도 거두었다. 이와같은 관개조직은 정밀한 경지 레벨링, 천수관개, 간단관개 그리고 경지의 높은 비옥도 등을 포함하고 있다. 그러나 불행하게도 이와같은 경작시스템은 잡초가 많이 발생되어 제초제를 많이 사용하게 되었고 결국은 벼재배에 있어 사회적, 경제적 그리고 환경에 대한 비용 부담이 증가하게 되었다.

1985~1987년 동안 캘리포니아에서는 벼재배를 위한 물관리 시험을 실시하게 되었으며 작물의 성장을 저해하지 않고 제초제 사용을 줄이는 방법을 강구하게 되었다. 따라서 연구의 특별한 목적은 담수심에 따른 잡초와 벼의 반응을 포함하여 배수, 그리고 변화된 수심에 따른 벼의 성장도 등을 연구하였다.

결론적으로 심수관개가 벼성장의 초창기에 잡초억제를 위하여 매우 효과적이었고 이에 반하여 천수관개는 잡초발생 억제에 그렇게 기여하지 못하였다. 즉 심수관개시 일반적으로 잡초는 적게 발생하였고 또 발생한 약간의 잡초도 매우 허약하였다.

6.5 루이지애나의 벼농사 필요수량

루이지애나 대학 소속 쌀연구소의 Robert J. Edling, Malcolm Gaspard 그리고 Philip Reeves는 지난 1994~1995년간 논에서 담수를 위한 일별 용수 사용량에 대한조사를 실시하였다. 측정방법은 2개년간 논에서의 유입량 및 강수량, 침투량, 배수량과 담수심을 관측하므로써 관개수량을 파악할 수 있었다.

1996년의 경우 5월 12일에서 시작하여 8월 5일까지 지속적으로 담수를 행하였다. 측정된 자료는 6월 1일부터 전기간에 걸쳐 얻을 수 있었으나 배수량 측정기의 문제로 인하여 6월 18~21일까지 그리고 7월 19일은 결측되었다.

5월의 경우 관개를 위하여 지속적으로 공급된 수량은 257.7mm였다. 6월과 7월의 경우 관개구역에 3번의 용수공급량 및 담수심 시험을 하였으며 용수공급 시간은 오후 3시에서 다음날 아침 7~8시경까지 계속하였다. 6월 3~4일간 이용된 필요수량 공급량은 26.9mm였고 수심의 변화량은 27.7mm였다. 또 6월 11~12일간 이용된 수량은 50.3mm와 51.8mm였고 7월 1~2일간은 38.6mm와 39.9mm였다. 그 결과 1996년 동안 전체 관개용수로 이용된용수량은 373.4mm이며 1995년의 경우 329.7mm였다. 그리고 유효강우는 1996년의 경우 318.8mm, 1995년의 경우 416.3mm였다. 따라서 전체 관개에 이용된 용수량은 1996년의 경우 692.2mm, 1995년의 경우 746.0였다. 또 관개기간중 측정된 배수량은 1995년의 경우 10.9mm고 나타났고, 1996년의 경우 관측기기의 고장으로 측정되지 않았으나 25.4mm미만이였다. 그리고 논에서의 침투량은 2년간에 걸쳐 각각 38.1mm로 추정되었다. 그리고 기상자료를 이용하여 계산된 잠재증발산량은 표 2에서 보는 바와 같이 1995년의 경우 530.6mm였다. 표 2에서 보는 바와 같이 1996년의 경우 자료가 정리되지 않아 계산할 수 없었다.

표 3. 물관리 시험결과

년도	용수공급량	유효우량	배수량	침투량	잠재증발산량	비고
1995	329.7	416.3	20.0	38.1	530.6	단위 : mm
1996	373.4	318.8	10.9	38.1	-	-

6.6 일본의 물관리

침투량이 다소 많은 화산토 경지에서 조사된 川田지구의 경우 포장용수량은 이양재배에서는 5,600m³~7,300m³로 나타났고 포장에서의 증발산량은 1일 약 4mm였다. 그리고 감수심은 30~40mm정도였다. 최근 논에서의 용수량 변화

에 대하여 상세한 조사를 하지 않았으며 古木(농공연구소)에서 조사된 건답직파의 경우 씨래질을 하지 않아 침투량이 증가하는 것으로 보고 되었으며 심토의 투수계수가 1×10^{-5} cm/s이하의 논이나 지하수위가 상승하는 논에서는 용수량의 증가가 필요하지 않았다. 그러나 투수계수가 1×10^{-4} cm/s이하의 논이라도 지하수위 상승이 없을 경우 이양배배와 비교하여 약 1.2배 정도 이상의 필요수량이 요구되었으며 시기별 용수량도 이양재재와 다소 다르다는 점을 유의해야 한다. 특별히 姬田(농업시험연수소)지구의 시험에서 건답직파 보급율이 약 50%일 경우 발아기의 필요수량이 부족하였다고 하였다. 長堀(岡山大農)의 경우 건답직파와 담수직파의 용수량을 비교한 결과 건답직파의 소비수량이 담수직파의 약 3배에 도달한 적이 있다는 기록이 있다.

특별히 물관리에 있어 下村지구에서는 건답직파의 경우 감수심이 1일 15mm~20mm정도로 다소 적었다. 또 赤松지구(岡山大農)에서 산파재배를 실시한 경우 출수기 1개월 전에 간단관개를 실시하지 않음으로 수확량이 증가하였고 계량지구 산파에서 담수후 4일 담수하고 3일 단수한 결과 낙수일수에 비해서 간단관개보다 수확량이 다소 증가하였다고 하였다.

7. 농업용수 물관리 개선방향

7.1 내리흘림식 관개방법

논면에 내리는 강우나 혹은 관개용수로 인한 논의 유입량을 내리흘림식으로 순환시킬 경우 정체되는 관개용수의 오염방지 뿐만 아니라 논에서의 생태환경을 복원시키고 잡초 발생을 억제할 수 있으며 지속 가능한 농업을 위한 지력 상승에도 효과를 기할 수 있다. 논 1필지당 웨어를 통한 월류량을 계산할 경우 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = CbH^{3/2} \quad (1)$$

여기서 C는 유량계수, b=웨어 폭, H는 월류수심이다. 상기 식을 이용하여 웨어 월류량을 1필지당 내리흘림식 관리수량으로 계산할 수 있으며 벼 생육상

태에 따른 담수심을 변화시켜 가면서 내리흘림식 관개를 할 수 있다. 이를 위하여 현재 필지단위당 용수공급조직과 용수를 대상으로 한 논 필요수량의 변화는 필연적이며 기존 수리시설물의 공급능력에 대한 검토의 필요성 및 앞으로 축조해야 할 시설물에 대한 새로운 기준을 요구하게 된다. 이러한 기준은 합리적이고 체계적인 연구의 바탕위에서 결정되어야 하며 본 연구의 최종 목적도 이러한 요구를 충족시키는데 중점을 둘 것이다. 일반적으로 논에서 필요수량의 변화는 수리시설물을 설계하는데 있어 다음과 같은 변화를 동반 할 것으로 예상된다.

- 저수지의 필요저수량
- 관개구역의 단위용수량
- 양·배수장의 용수공급량.

7.2 경지정리 설계기준의 조정

내리흘림식 관개를 위해서는 현재 설계되고 있는 경지정리 사업의 설계 기준을 재조정하여야 할 필요가 있다. 특히 논둑의 높이 및 경지 1필지당 크기와 경사도 등은 내리흘림식 관개를 위하여 어느 정도의 수정이 불가피하다. 현행 논둑의 높이는 담면에서 최고 담수심을 기준으로 약 30~40cm가량이다. 그러나 상기에서 제시된 내리흘림식 관개에 필요한 그리고 심수관개를 위해서는 최소한 50cm 이상은 되어야 한다. 벼의 성장 높이에 따라 담수심을 상향 조정하여야 하며 또 잡초방지 및 기타 수생곤충에 필요한 최소한의 수심이 필요하기 때문이다.

7.3 논면의 정밀한 평탄작업

내리흘림식 관개를 위해서는 유입구에서 송수된 유량이 전체 담면에서 골고루 분포되어 하류부로 흘러갈 수 있도록 섬세한 평탄작업이 가장 중요하다. 평탄작업이 원활하지 않을 경우 논 1필지내 담수심이 각각 달라 벼의 성장

도가 달리 나타날 뿐만 아니라 쌀 수확에도 그 영향이 매우 크다. 따라서 논 1필지당 구획면적이 클수록 세밀한 평탄작업이 필요하다.

7.4 배수로 단면확장과 용수증가량 예상

내리홀림식 관개를 할 경우 우리나라와 같은 하절기 강우패턴에서는 일시 유출량이 많아질 우려가 있으므로 배수로 단면을 크게 할 필요가 있고 작물에 필요한 염수면 증발산량 및 담면의 증발량외에 내리홀림에 필요한 용수가 별도로 필요하다.

7.5 향후 연구과제

그림 4에서 보는 바와 같이 시설 관개구역과 수원공 저수지를 가상으로 설정하여 현행 농업용수 설계방법과 내리홀림식 관개조직에 대한 필요수량을 계산, 물수지를 행하여 수리시설물의 규모평가와 함께 향후 지속가능한 농업용수 관리방안을 제시하고자 하였다.

8. 농업용수 관리개선 효과

8.1 농업 및 생공업용수의 겸용

현행 농업 및 생공업용수 수요에 따른 수원공은 수질 및 관리 운영체계에 따라 각각 별도로 계획되고 있다. 그러나 상기와 같은 내리홀림식 관개를 할 경우 하천의 수질이 현저히 좋아져 논에서 이용된 물을 다시 생활용수나 공업용수로 이용할 수 있으므로 하천의 물환경을 옛날로 다시 환원시킬 수 있을 뿐만 아니라 농업 및 생공업용수 공급을 위한 별도의 수원공을 계획 할 필요가 없다.

8.2 논외 생태계 복원

농업용수 공급을 위한 내리홀림식 관개조직을 활성화시킬 경우 1960년대

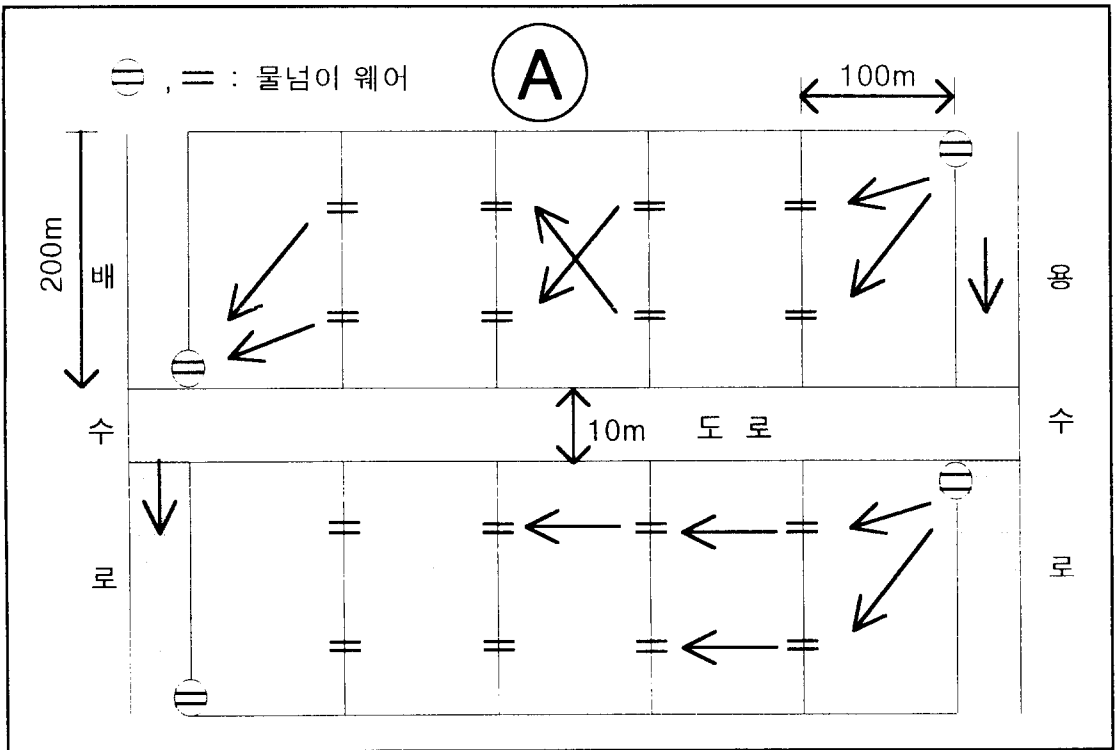
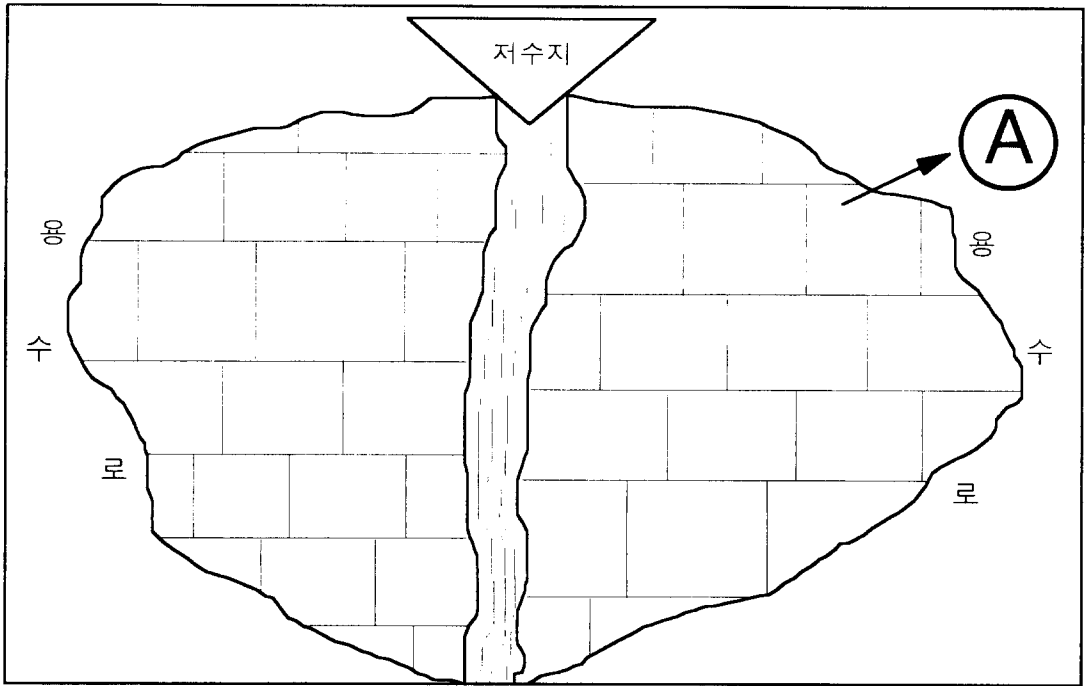


그림 4. 내리흘림식 관개를 위한 용수공급 구역도

논, 밭에서 흔히 볼 수 있었던 개구리, 미꾸라지, 물방개, 지렁이 및 메뚜기가 살 수 있는 물환경을 조성할 수 있고 농업을 농약에 의존하지 않고 다양한 종의 개발에 따른 생태계 복원으로 말미암아 천적이 서로 어울려 사는 지속가능한 물환경으로 농사를 할 수 있으며 국토 전체의 맑은 물 공급에 기여하게 될 것이다. 따라서 우리나라 토양의 산성화를 방지함은 물론 모든 농지의 지력 향상과 함께 양질의 쌀 생산, 더 나아가 건강한 식탁을 마련할 수 있을 것이다.

8.3 합리적인 물환경 조성

내리흐림식 관개는 자연으로부터 얻은 농업용수를 이용하고 난 후 다시 자연으로 되돌려 준다는 개념에서 물관리를 계획할 수 있다. 옛날 우리 선조들이 논에 물을 공급할 때는 자연과 함께 더불어 살아가기 위하여 지형적으로 자연 경사에 맞도록 내리흐림식 관개방법을 이용하였고 또 이를 시행하여 왔다. 최근 기계가 발달하고 영농방식이 변화하면서 농약 및 비료의 남용과 쌀 증산을 목표로 무분별하고도 자연의 순환과 섭리를 무시한 농업용수 관리를 하게 되었다. 비록 상기에서 제시된 내리흐림식 관개방식외에도 수많은 인자들이 우리나라의 하천 및 토양의 물환경을 오염시키고 있으나 결국은 다시 옛날의 물환경으로 복원하지 않고는 인간이 살아 갈 수 없기에 차츰 개선되리라 생각한다. 지구상의 물은 양적으로 혹은 질적으로 순환하고 있으며 이 순환의 의미는 주기성을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 우리는 물을 자연으로부터 얻는 것도 중요하지만 물의 주기성을 잘 활용하기 위해서는 되돌려 주는 것도 중요하다고 생각할 때 모든 물문제가 해결될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 농림부·농어촌진흥공사, 1984. 농지개량사업계획설계기준(경지정리편).
2. 농림부·농어촌진흥공사, 1995. 영농방식변화에 따른 필요수량변화연구(I).
3. 농림부·농어촌진흥공사, 1996. 금강(II)지구 수문조사보고서.
4. 농림부, 농어촌진흥공사, 1996. 농어촌용수 10개년계획.
5. 농림부·농어촌진흥공사, 1996. 농업생산기반정비사업통계연보.
6. 농림부·농어촌진흥공사, 1996. 영농방식변화에 따른 필요수량변화연구(II).
7. 농림부·농어촌진흥공사, 1997. 농업생산기반정비사업통계조사요령.
8. A Simulation of irrigation systems, Robert E. Krieger Publishing Company.
9. California Agriculture, University of California
10. Irrigation Scheduling, University of California
11. Soil Plant-Water relationship, SCS.
12. Surface Irrigation, University of California, Davis.