

631.5
L2938
V.21

96 - 05 - 15

영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구(Ⅱ)

A study on the Water Requirement Variation with the
Farming Conditions in the Paddy Field (Ⅱ)

1996. 12

농 립 부
농 어 촌 진 흥 공 사

제 출 문

농어촌진흥공사 사장 귀하

본 보고서를 “영농방식변화에 따른 필요수량 변화 연구”의 제 2차년도
보고서로 제출합니다.

1996년 12월

연구기관명 : 농어촌진흥공사 조사설계처

책임연구원 : 2급 김 현 영

연 구 원 : 3급 서 영 제

공동연구자 : 서울대 농업개발연구소

책임연구원 : 교수 정 하 우

연 구 원 : 교수 정 상 욱

SUMMARY

1. TITLE : *A STUDY ON THE WATER REQUIREMENT VARIATION
WITH THE FARMING CONDITIONS IN PADDY FIELD.*

2. RESEARCH PERIOD : March ~ December, 1996.

(2nd year for total 3 years)

3. BACKGROUND AND OBJECTIVES

<BACKGROUND>

- For the reduction of labor force as well as for the enhancement of international competitiveness of rice in the world market, the rice cultural method is going to be replaced by direct seeding cultivation.
- Management of reservoir storage fluctuation and control of water requirement in the paddy field are changed by the rice cultural system.
- The problems of water supply for canal system and existing water resources structures should be evaluated due to changing of rice cultural method.
- Water requirement variation causing direct seeding and design criterion for water resources structures should be considered the water management technique for direct seeding cultivation.

<OBJECTIVES>

- Observation of consumptive use for rice crop by direct seeding method in the test-plot.
- Research of water management measures in the given paddy field for direct seeding method.
- Evaluation of effective storage volume for the existing reservoir due to the direct seeding for rice crop.

- Development of simulation models for operation of water resources structures depending on the variations of farming conditions.

4. RESEARCH CONTENTS AND RESULTS

<RESEARCH CONTENTS>

- Theoretical research of water requirement for various rice cultivation methods.
- Experimental test of consumptive use for direct seeding method.
- Experimental test for the irrigation water management in paddy field with direct seeded rice over the national wide.
- Investigation and analysis of water management characteristics which concerned in direct seeding cultivation for rice.
- Development of various computer models for water resources structures such as water requirement, inflow, water balance in a reservoir, determination of the required storage, etc.

<RESULTS>

1) Evapotranspiration is showed 4.8mm per day in average value on direct seeded rice in Suwoen station, key station for middle part of Korea, and 5.0mm at Taeku station, key station of southern part of Korea(for early harvest variety).

2) Potential evapotranspiration is estimated 4.3mm per day in average value in Suwoen and 4.9mm in Taeku station(in case of modified Penman formular).

3) Crop Coefficients are represented in range of 0.55~1.50 at Suwoen and 0.70~1.41 at Taeku station(for early harvest variety).

4) In the experiment test for irrigation water of paddy field, total irrigation water was measured 930.1mm in case of transplanting, 1,029.3mm in case of watered direct seeding, and 1,015.7mm in dry direct seeding cultivation method during the whole irrigation period.

5) Total Irrigation area of direct seeding cultivation was investigated about 110,000ha on the 1996 in Korea. Unit area per farm household was represented to 2.7ha for direct seeding in watered paddy(watered direct seeding) and 2.4ha for direct seeding in dry paddy(dry direct seeding) cultivation. These above values are represented more increased pattern comparing with average rice cultivation area per farm household of transplanting method.

6) According to the investigated results, the actual seeding date is showed on 23~27, April in case of dry direct seeding, and 1~16, May in case of watered direct seeding method at the middle part of Korea. In the southern part of Korea, the actual seeding date is showed on 16~28, April in case of dry direct seeding, 10~20, May in case watered direct seeding method.

7) Estimated values of water requirment in rice cultivation, which were based on the potential evapotranspiration by modified Penman formula, are increased 5% for dry direct seeding and 28% for watered direct seeding comparing with the transplanting method. The ratio of applied area for direct seeding cultivation in above calculation is 10% of total irrigation area and also the ratio of dry and watered direct seeding area is assumed 6 : 4. This increased values are also identified by the required storage resulting from the water balance simulation for example study of Banweol reservoir.

8) Using the developed simulation models in this study for the operation of water resources structures, the required storage is increased 10% for dry direct seeding comparing with transplanting method at the Banweol reservoir in which 10-year drought frequency. In case of watered direct seeding method, the required storage is increased 17% at the same condition. These results were assumed that the total cultivation area was converted from transplanting to direct seeding method.

5. APPLICATIONS

- Establishment of methodology for calculation of water requirement in direct seeding cultivation.
- Developed simulation models for the operation of water resources structures in this study will be used for the drought effect assesement for existing and new design water resources structures.
- Establishment of design criterions for the direct seeding cultivation which are concerned with design of reservoirs and water resources structures in the furture.

요 약

1. **과제명** : 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구(II)
2. **연구기간** : 1996년 3월 ~ 1996년 12월(총 3년중 2년차)
3. **연구의 필요성 및 목적**

가. 배경 및 필요성

- 1) 우리나라 쌀의 국제경쟁력을 높이기 위한 쌀 생산비 절감방안의 하나로 벼 재배방식이 이앙에서 직파로 전환 추세에 있음.
- 2) 직파재배에 따른 농업용수의 필요수량 및 수원공의 저수량변화 예상
- 3) 시설 수리시설물의 용수공급 및 내한능력에 대한 영향검토의 필요성 대두
- 4) 향후 수리시설물 설계기준에 직파재배에 따른 필요수량 변화 반영

나. 목 적

- 1) 직파재배에 따른 농업용수 물관리 변화 연구
- 2) 직파재배에 따른 작물의 필요수량 변화 연구
- 3) 직파재배에 따른 저수지의 필요저수량 변화 검토
- 4) 직파재배를 고려한 수리시설물 모의조작 모형 개발

4. 연구내용 및 결과

가. 연구내용

- 1) 벼 재배방식별 필요수량 변화 연구
- 2) 직파재배에 대한 작물의 소비수량 시험
- 3) 직파재배에 대한 포장 관개수량 시험
- 4) 직파관련 물관리 특성 조사 분석

5) 수리시설물 모의조작 모형 개발

- 직파재배에 따른 필요수량, 유입량, 물수지, 저수용량, 단위용수량 산정 모형 개발

나. 연구결과

- 1) 직파재배에 따른 증발산량 시험 결과 중부지방의 경우 일 평균 4.8mm, 남부지방의 경우 5.0mm(조생종 벼)로 나타났다.
- 2) 잠재증발산량 산정에서는 중부지방의 경우 일 평균 4.2mm, 남부지방의 경우 3.8mm로 나타났다(Penman공식)
- 3) 작물계수는 중부지방의 경우 관개시기에 따라 0.71~1.86의 범위로, 남부지방의 경우 0.96~1.67의 범위로 나타났다(조생종의 경우).
- 4) 포장용수량 시험에서 측정된 벼 재배방식별 관개용수는 전체 관개 기간동안 이앙재배의 경우 930.1mm, 답수직파는1,029.3mm, 그리고 건답직파의 경우 1,015.7mm로 나타났다.
- 5) 1996년도 조사된 우리나라의 직파 재배면적은 약 11만ha이며 단위 농가당 직파면적은 답수직파의 경우 평균 2.7ha, 건답직파의 경우 2.4ha로서 우리나라 호당 평균 벼 경작면적 0.8ha를 크게 상회하고 있는 것으로 나타났다.
- 6) 실제 파종시기를 조사한 결과 중부지방은 건답의 경우 4.23~4.27일, 답수직파의 경우 5.1~5.16일로 나타났고 남부지방에서는 건답의 경우 4.16~4.28일, 답수의 경우 5.10~5.20일 사이로 나타났다.
- 7) 금회 개발된 벼 재배방식별 필요수량 산정 모형을 이용하여 계산한 결과 건답직파의 경우 이앙재배시 보다 5%, 답수직파의 경우 28%의 필요수량이 증가하였다. 이 값은 직파 재배면적이 이앙재배 면적의

10%일 경우이며 또 직파면적중 건답과 담수직파 비율을 6:4로 고정
한 경우이다. 이와같은 변화는 저수지 물수지 모형의 필요저수량
결정에서도 비슷한 비율로 증가하였다.

- 8) 금회 개발된 수리시설물 모의조작 모형을 이용하여 반월저수지에
대한 내한능력을 분석한 결과 현재 관개면적이 이양재에서 모두
직파로 전환될 경우 10년 빈도 한발에 견딜 수 있는 필요저수량의
증가율이 건답직파의 경우 10%, 담수직파의 경우 17% 정도로 나타났다.

5. 연구성과의 실용화 방안

- 가. 직파재배에 따른 필요수량 산정 방법 정립
- 나. 수리시설물 모의조작 모형을 이용하여 기설 및 신규 시설물 설계의
가뭄 영향 평가에 이용
- 다. 향후 수리시설물 및 저수지 설계시 직파재배를 고려한 설계기준 정립

목 차

제 1 장 서 론	17
1.1 연구배경	19
1.2 연구목적	20
1.3 연구내용 및 실적	21
1.4 기대효과	23
1.5 연구진 및 연구내용	23
제 2 장 벼 재배방식과 작물의 필요수량	25
2.1 벼 재배방식의 변화	27
2.2 작물의 필요수량	30
2.3 필요수량의 변화	32
2.4 재배방식별 물관리	36
2.5 수리시설물에 미치는 영향	41
제 3 장 직파재배 소비수량 시험	45
3.1 작물계수 시험	47
3.2 포장용수량 시험	84
3.3 문제점 및 대책	99
제 4 장 직파현황 및 물관리 특성 조사	101
4.1 개 요	103
4.2 일반현황 조사	104
4.3 직파재배 현황 조사	117
4.4 물관리 특성 조사	128
4.5 외국의 사례	139

제 5 장 수리시설물 모의조작 모형 개발	151
5.1 개 요	153
5.2 모형의 구성	154
5.3 필요수량 산정 모형	157
5.4 유입량 모형	171
5.5 물수지 모형	178
5.6 필요저수량 결정 모형	185
5.7 단위용수량 산정 모형	189
5.8 통합시스템의 개발	199
제 6 장 수리시설물 영향 평가	209
6.1 개 요	211
6.2 필요수량 변화 검토	215
6.3 필요저수량 변화 검토	218
6.4 문제점	223
제 7 장 요약 및 결론	225
제 8 장 향후 연구계획	233
참고문헌	237
부 록	243

표 목 차

<표 2-1> 연도별 직파 재배면적 현황	27
<표 2-2> 벼 직파재배 유형별 장단점	29
<표 2-3> 작물 용수의 필요도	31
<표 2-4> 벼 재배방법별 용수사용량	38
<표 2-5> 전국 수리시설 현황	42
<표 2-6> 직파재배 현황 및 목표	42
<표 3-1> 시험포장의 토양특성	48
<표 3-2> 지역별 품종 및 재배방식	58
<표 3-3(a)> 시험포장 처리 내역(수원)	58
<표 3-3(b)> 시험포장 처리내역(대구)	59
<표 3-4(a)> 품종별 초장조사(수원)	60
<표 3-4(b)> 품종별 초장조사(대구)	60
<표 3-5(a)> 품종별 분얼수 조사(수원)	62
<표 3-5(b)> 품종별 분얼수 조사(대구)	62
<표 3-6(a)> 수확량 조사(수원)	62
<표 3-6(b)> 수확량 조사(대구)	62
<표 3-7> 농촌진흥원 시험포 생육조사 결과	63
<표 3-8> 증발산량 측정 결과(순별평균)	66
<표 3-9> 위도별 년주간시간 백분율	72
<표 3-10> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(수정 Penman식)	73
<표 3-11> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(Blaney-Criddle식)	73
<표 3-12> 지역별 순별 작물계수(수정 Penman식)	77
<표 3-13> 지역별 순별 작물계수(Blaney-Criddle식)	77
<표 3-14> 담수심 측정용 수위센서의 제원 및 특징	87
<표 3-15(a)> 영농방식별 본답 관개전 용수량	94
<표 3-15(b)> 영농방식별 본답 용수량	95

<표 3-15(c)> 영농방식별 생육기간 총소비수량	95
<표 3-16(a)> 출수기 생육 및 수량 구성요소 조사결과	95
<표 3-16(b)> 생육조사	96
<표 4-1> 조사대상 및 주요 조사내역	104
<표 4-2> 경작자 직파 일반현황 조사양식	105
<표 4-3> 건답직파 물관리 체계 조사항목	105
<표 4-4> 담수직파 물관리 체계 조사항목	105
<표 4-5> 직파재배 주요 실패 원인	109
<표 4-6> 중, 남부별, 품종별 파종시기	110
<표 4-7> 실제파종 및 적합시기 조사	111
<표 4-8> 생육기별 생육일수	112
<표 4-9> 초기 생육기간 조사	113
<표 4-10> 시도별 논벼 생산량	115
<표 4-11> 중모 및 직파재배 수량 비교	116
<표 4-12> 연도별 벼 재배유형의 변화	117
<표 4-13> 재배방식별 노력시간	118
<표 4-14> 일본의 연도별 직파면적 추이	119
<표 4-15> 전국 벼 재배방법별 면적	122
<표 4-16> 직파재배지 구분(중, 남부)	124
<표 4-17> 직파재배 양식별 토성조건 및 적지면적	125
<표 4-18> 도별 직파 적지면적에 대한 직파실시 면적 비율	126
<표 4-19> 기호농조 수원공별 직파재배 현황	127
<표 4-20> 생육과정별 물관리 요령	128
<표 4-21> 초기 담수시 일 감수심	132
<표 4-22> 용설저수지 현황	138
<표 4-23> 월별강우량(데이비스 관측소)	141
<표 4-24> 관개기간중 증발산량	145
<표 4-25> 루이지애나 월별강우량	147

<표 4-26> 물관리 시험결과	149
<표 5-1> 초지위에서 관측된 복사량 변화치	163
<표 5-2> 필요수량 모형의 부프로그램	168
<표 5-3> 필요수량 모형의 입력자료	169
<표 5-4> 필요수량 모형의 출력파일	170
<표 5-5> 유입량 모형의 부프로그램	176
<표 5-6> 유입량 모형의 입력자료	177
<표 5-7> 유입량 모형의 출력 파일	177
<표 5-8> 물수지 모형의 부프로그램	182
<표 5-9> 물수지 모형의 입력 파일	183
<표 5-10> 물수지 모형의 입력자료	183
<표 5-11> 물수지 모형의 출력 파일	184
<표 5-12> 필요저수량 결정 모형의 부프로그램	187
<표 5-13> 필요저수량 결정 모형의 입력자료	188
<표 5-14> 필요저수량 결정 모형의 출력자료	189
<표 5-15> 토양특성에 따른 이양용수량	192
<표 5-16> 단위용수량 산정 모형의 부프로그램	197
<표 5-17> 단위용수량 산정 모형의 입력자료	198
<표 5-18> 기상관측소 일람표	207
<표 6-1> 이양재배 영농계획	212
<표 6-2> 직파재배 영농계획	212
<표 6-3> 수정 Penman공식에 적용된 작물계수	213
<표 6-4> B-C식에 적용된 작물계수	213
<표 6-5> 반월저수지 제원	214
<표 6-6> 재배방식별 필요수량 변화(Penman)	215
<표 6-7> 재배방식별 필요수량 변화(B-C)	215
<표 6-8> 직파면적에 따른 필요수량 변화	217
<표 6-9> 재배방식별 저수지 모의조작 결과	219
<표 6-10> 시설저수지 설계용량 비교 검토	222

그림 목 차

<그림 3-1> 시험포장별 라이시메타 배치현황	49
<그림 3-2(a)> 시험포장 전경(수원지역)	50
<그림 3-2(b)> 시험포장 전경(대구지역)	50
<그림 3-3(a)> 강우량의 일별 변화(수원)	52
<그림 3-3(b)> 최고, 평균, 최저기온의 일별변화(수원)	52
<그림 3-3(c)> 상대습도의 일별변화(수원)	53
<그림 3-3(d)> 일사량, 일조시간의 일별변화(수원)	53
<그림 3-3(e)> 평균풍속의 일별변화(수원)	54
<그림 3-4(a)> 강우량의 일별 변화(대구)	55
<그림 3-4(b)> 최고, 평균, 최저기온의 일별변화(대구)	55
<그림 3-4(c)> 상대습도의 일별변화(대구)	56
<그림 3-4(d)> 일사량, 일조시간의 일별변화(대구)	56
<그림 3-4(e)> 평균풍속의 일별변화(대구)	57
<그림 3-5(a)> 벼 초장 변화(수원)	61
<그림 3-5(b)> 벼 초장 변화(대구)	61
<그림 3-6> 라이시메타 구조도	64
<그림 3-7(a)> 순별 평균 증발산량(수원)	67
<그림 3-7(d)> 순별 평균 증발산량(대구)	68
<그림 3-8(a)> 순별 평균 잠재증발산량(Penman, 수원)	74
<그림 3-8(b)> 순별 평균 잠재증발산량(Penman, 대구)	74
<그림 3-9(a)> 수정 Penman식에 의한 품종별, 순별 작물계수(수원)	78
<그림 3-9(d)> 수정 Penman식에 의한 품종별, 순별 작물계수(대구)	79
<그림 3-10(a)> Blaney-Criddle식 의한 품종별, 순별 작물계수(수원)	81
<그림 3-10(d)> Blaney-Criddle식 의한 품종별, 순별 작물계수(대구)	82
<그림 3-11> 시험포장의 전경	85
<그림 3-12> 포장의 배치	85
<그림 3-13> 담수심 측정용 자료수집 장치	86
<그림 3-14> 관개수량 측정용 유량계	87

<그림 3-15> 담수심 측정용 센서의 설치 전경	88
<그림 3-16> 물꼬의 형태	89
<그림 3-17> 물꼬의 설치 전경	89
<그림 3-18> 영농방식별 물관리 기준	90
<그림 3-19> 영농방식별 초기 물관리 개념도	92
<그림 3-20> 담수심 변화(담수직파, 포장 7-9)	96
<그림 3-21> 담수심 변화(건담직파, 포장 3-5)	97
<그림 3-22(a)> 담수심 변화(이앙재배, 포장1)	97
<그림 3-22(b)> 담수심 변화(이앙재배, 포장 2)	98
<그림 3-22(c)> 담수심 변화(이앙재배, 포장 6)	98
<그림 4-1> 연도별 재배유형의 변화	119
<그림 4-2> 직파재배면적 변화 추이	120
<그림 4-3> 지방별 직파재배 현황	121
<그림 4-4> '96 벼 재배유형별 분포도	123
<그림 4-5> 도별 적지면적대 직파시행면적 비율	125
<그림 4-6> 항공직파에 이용되는 경비행기	140
<그림 4-7> 내리흘림식 관개를 위한 관개조작도	142
<그림 4-8> 경지간 논둑에 설치된 나무문비	143
<그림 4-9> 비행기로 직파된 어린모(루이지애나)	147
<그림 5-1> 순복사량의 각 요소	162
<그림 5-2> 장파와 단파복사량의 일별변화	162
<그림 5-3> 필요수량 모형의 구조도	167
<그림 5-4> 수정 탱크모형의 구조도	173
<그림 5-5> 유입량 모형의 구조도	175
<그림 5-6> 물수지 모형의 구조도	181
<그림 5-7> 필요저수량 결정 모형의 구조도	187
<그림 5-8> 단위용수량 산정 모형의 구조도	197
<그림 5-9> 수리시설물 모의조작 시스템의 Logo화면	200
<그림 5-10> 수리시설물 모의조작 시스템의 Main menu 초기화면	200

<그림 5-11> 모형간 연계 및 데이터 흐름도	204
<그림 6-1> 반월저수지 내용적도	214
<그림 6-2> 재배방식별 필요수량 변화도	216
<그림 6-3> 직파면적 증가율에 대한 필요수량 증가율	218
<그림 6-4> 재배방식별 필요저수량의 일별 변화도	220
<그림 6-5> 재배방식별 일별 저수지 수위 변화도	221

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

1.2 연구목적

1.3 연구내용 및 실적

1.4 기대효과

1.5 연구진 및 연구내용

여 백

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

세계의 약 절반에 해당되는 인구가 그들의 식량으로 쌀을 이용하고 있다. 우리나라에서도 쌀은 국민의 주식이며 농가의 가장 안전한 소득원일 뿐만 아니라 우리의 식량안보를 지탱하고 있는 농산물로서 사회안전을 담보로 하는 기초산업이다. UR협상에 따른 쌀시장 개방에 위기감을 느끼는 것과 함께 쌀 생산비를 낮추려는 노력도 바로 이와같은 점을 반영 한다고 볼 수 있다.

즉 세계적으로 급변하고 있는 쌀시장에 적극 대응하기 위해서는 쌀의 생산비와 함께 일손을 더욱 줄여야 하는 것이 현실이다. 이에 대응하기 위한 벼 경작 방법의 하나로 직파재배가 절실했고 다양한 재배기술의 발달로 말미암아 현실적으로 가능하게 되었다.

그러나 1993년 부터 본격적으로 시작된 직파재배는 이앙기때 부족한 일손 문제는 어느 정도 해결할 수 있지만 입묘, 잡초방제, 도복 등 안정적인 재배 기술의 확립까지는 아직도 해결해야 할 문제점들이 많이 남아 있다. 이곳 저곳에서 독농가들에 의해 현장경험을 바탕으로 직파 재배기술이 빠른 속도로 발전되고 있으며 농촌진흥청이나 다른 정부기관에서도 직파재배에 대한 연구와 기술보급에 대하여 집중적인 노력을 기울이고 있다.

그러나 정작 벼재배에 있어 가장 중요한 것은 물관리이다. 효율적인 물관리는 벼 수확량을 증대시키는 반면 물관리를 소홀히 할 경우 수확량이 감소하게 된다. 따라서 직파로 인한 필요수량 변화를 이앙과 비교하여 실험하고 규명할 필요가 있으며 본 연구도 이러한 목적을 달성하기 위하여 시작하게 되었다. 벼 재배방식이 직파재배로 변화됨에 따른 필요한 시기에 필요한 물의 양을 정확

히 파악하여 적기에 적량의 물을 공급할 수 있는 물관리 계획을 수립하는 것은 벼 농사 작업체계 중 생력화가 가장 뒤떨어진 부분을 개선하는 것이므로 쌀농사의 경쟁력 제고에 기여함과 동시에 직파재배의 안정적 보급 및 벼의 다수확에도 기여하게 될 것이다.

1.2 연구목적

벼 농사를 위한 논에서 작물에 대한 소비수량 구조는 크게 나누어 삼투량과 작물의 증발산량으로 구분된다. 이중 삼투량은 작물의 생육기간을 통하여 볼 때 비교적 안정된 값을 갖지만 증발산량은 기상조건, 작물의 품종, 생육상태, 경작방법 및 물관리방법에 따라 다양하게 나타난다.

이와같은 소비수량은 논에서의 관개계획을 수립하는데 필요한 용수량이 되며 또한 수원공이나 수로공등 관·배수조직 설계에 이용되는 중요한 기초자료로 활용된다. 따라서 작물의 필요수량 및 필요한 시기를 정량적으로 분석하기 위하여 많은 연구가 수행되었고 그 결실로 지금까지 이앙 재배방식에 따른 관개계획 수립체계가 확립된 것이다.

그러나 직파재배는 기존의 이앙 재배방식과는 다른 별도의 물관리 방법을 고려해야 하며 직파 재배방법별로 물관리 방법이 서로 다르기 때문에 물이 필요한 시기와 그 양도 변하게 된다. 특히 답수직파는 답수상태의 본논기간이 길어진 관계로 기존의 이앙재배방식보다 많은 용수량을 필요로 할 수도 있으며 건답직파에서도 못자리용수는 필요없지만 답수상태의 써레질한 작도와는 다른 건토상태이므로 관개를 시작했을 때 수직 침투가 심하여 초기에 습윤경지 조성을 위한 용수손실이 많을 것으로 예상된다. 또한 도복의 방지나 분얼을 조절하기 위해 정밀한 물관리가 요구되므로 결국 직파재배를 실시한 논에서의

물수지에 대한 면밀한 측정을 통하여 소비수량의 재조정이 필요하게 되었고 이와 같은 요인이 기존의 수리시설물에 미치는 영향에 대한 분석도 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 직파재배에 의한 품종별, 생육기별 일별 증발산량을 측정하고 그에 따른 작물계수를 산정하여 작물의 필요수량 변화를 연구하며
- 2) 직파재배의 물관리 특성을 조사분석하여 수리시설물 모의조작에 필요한 여러가지 요소들을 정립하고 산정된 작물계수에 의한 재배유형별 필요수량 산정모형 및 물수지 모형등을 개발하고
- 3) 변경물관리에 따른 기존 수리시설물의 영향을 검토하여 농업용수개발사업 설계에 반영할 수 있도록 여러가지 제반 설계기준을 정립하는데 그 목적이 있다.

1.3 연구내용 및 실적

본 연구는 이앙재배와 구별하여 직파재배에 따른 물관리 특성을 조사, 분석하고 직파재배에 의한 작물의 소비수량을 실험, 측정하여 작물계수를 유도하며 또 논에서의 직파재배에 따른 물관리 용수량 변화를 관측하여 이를 이용한 일별 물수지 모형등을 구축하므로서 향후 직파를 고려한 농업용 저수지 모의운영등 수리시설물의 영향평가 및 향후 수리시설물 설계기준을 정립하는데 있다.

본 연구에서는 이러한 목적을 달성하기 위하여 '95년도 부터 연구사업을 수행하고 있으며 '95년도 연구실적과 '96년 주요 연구내용을 요약하면 아래와 같다.

1.4 기대효과

「영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구」를 연차별로 수행함으로써 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 1) 직파재배에 따른 작물계수 및 필요수량을 정확히 계측하여 벼 농사의 합리적인 물관리 방법을 제시하고
- 2) 영농방식 변화에 따른 작물의 필요수량을 산정하고 향후 수리시설물의 물관리 모의조작을 위한 통합시스템을 구축하여 신규 및 기설 수원공의 가뭄 평가에 이용할 수 있으며
- 3) 농업용수 공급을 위한 필요저수량 및 설계용수량의 적절한 산정과 설계 기준의 정립을 통하여 신규 시설물의 설계에 활용.

1.5 연구진 및 연구내용

연구기관	성명	직급	소속	연구내용
농어촌진흥공사	김현영	2급	조사설계처	연구총괄(책임연구원)
	서영제	3급	"	필요수량 변화 연구
	장중석	4급	"	시설물 모의조작 모형 개발
	오수훈	4급	"	물관리특성 자료수집 및 분석
	김대의	4급	"	"
	강석만	4급	"	"
서울대 농업개발연구소	정하우	교수	서울대 농생대	소비수량 및 포장용수량 시험
	최진용	연구원		"
	박기욱	연구원		"
	배승중	연구원		"
	정상옥	교수	경북대 농대	소비수량 시험 연구
	유탉상	연구원	"	
	남효식	연구원	"	

여 백

제 2 장 벼 재배방식과 작물의 필요수량

2.1 벼 재배방식의 변화

2.2 작물의 필요수량

2.3 필요수량의 변화

2.4 재배방식별 물관리

2.5 수리시설물에 미치는 영향

여 백

제 2 장 벼 재배방식과 작물의 필요수량

2.1 벼 재배방식의 변화

2.1.1 일반현황

우리나라의 직파재배는 1968년 가뭄대책의 일환으로 약 70천ha 가 시행된 기록이 있으며 그 후 수리시설의 확충과 이앙기의 도입에 따라 재배면적이 급진적으로 감소하였다. 그러나 1990년 초반부터 직파재배 면적이 다시 증가하기 시작하여 1994년에는 72,805ha로 우리나라 전체 논면적의 6.4%에 달하게 되었으며 1995년도에는 우리나라 전체 벼 재배면적의 10.6%, 1996년도에는 10%로 증가하여 직파재배가 점차 중요한 벼 재배방식으로 자리잡게 되었다.

1996년의 경우 쌀 생산량을 증대시키기 위하여 직파를 권장하지 않고 농민이 자율적으로 재배방법을 선택하게 한 결과 '95년에 비하여 다소 그 면적이 줄었으나 금후 재배기술상의 문제점이 보완된다면 직파재배 면적이 늘어날 것은 분명한 사실이다. 직파재배의 작업체계 중 경운정지, 파종 등은 소·중형 기계중심이나 시비, 물관리, 건조 등은 아직도 대부분 인력에 의존하고 있는 실정이며 상기 부분에 대한 기술개발이 시급한 실정이다. 연도별 직파재배 면적 현황은 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 연도별 직파 재배면적 현황

(단위 : ha)

구 분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	비 고
합 계	114	915	2,719	7,553	72,805	117,494	110,365	
건답직파	-	259	1,712	3,551	35,336	67,700	65,163	
답수직파	114	656	1,007	4,002	37,469	49,794	45,202	

2.1.2 직파재배 방식

벼에 대한 영농방식 중 직파재배는 크게 건답직파와 답수직파로 나눌 수 있다. 건답직파는 물이 없는 조건에서 정지, 파종하므로 작업에 용이하고 대형 기계화가 가능한 재배법이다. 또 입모기간중 관개용수를 절감할 수 있으며 육묘이앙 기간 중 가뭄이 들 때에도 재배가 용이하고 도복이 적은 장점이 있다. 반면 발아 및 출아기간이 길고 육묘기간 중 잡초발생이 많으며 비료의 이용효율이 낮다. 또한 생육초기 관개용수의 누수가 크고 발아기간 중 조수의 피해가 우려되며 강우시는 파종이 어려운 단점이 있다. 그리고 건답직파재배 품종에 대하여는 출아, 입모 및 도복은 크게 문제되지 않으나 출아기간이 길어지므로 이에 대응할 수 있도록 숙기가 빠르며 초기 신장성이 좋고 잡초와 경합할 수 있거나 제초제에 대한 선택성이 큰 품종이 적합하며 질소흡수력이 강한 특성이 요구된다.

답수직파는 답수에 의한 야간의 보온효과로 발아가 촉진되며 잡초발생을 억제할 수 있고 비료 이용효율이 높다. 그리고 균일한 포장작업이 요구되므로 정지작업에 대한 노력이 많이 들고 파종때부터 관개하므로 관개용수의 확보 및 관리에 노력을 기울여야 하며, 수리 불안전 답의 경우는 이 방법이 적용이 어렵다. 답수직파에서 가장 큰 문제점은 용존산소의 부족과 불균일한 정지상태에서 부묘의 발생이나 출아 불균일로 입모분포가 일정하지 않고 도복에 약한 것이다. 따라서 답수직파 재배의 품종은 수중이나 토중에서 출아력이 높고 초기 신장성이 좋아야 하며 특히 뿌리 신장성이 커서 도복에 강할 수 있어야 한다. 그러므로 현재 개발된 품종 중 저온발아성이 높은 것은 답수직파에 이용할 수 있으며, 이앙재재와 비교할 때 직파재배는 여러가지의 문제점을 갖고 있으므로 용수량 관리측면에서 답수직파는 반드시 수리안전답에서 재배하여야 한다.

우리나라에서 시행되고 있는 주요 직파재배 유형별 장단점을 비교하면 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 벼 직파재배 유형별 장단점

직파유형	장 점	단 점
건답직파	<ul style="list-style-type: none"> - 육묘, 이앙노력 생략 - 경운파종 작업 용이 - 입모기간 중 관개용수 절약 - 대형기계화 작업 유리 - 후작재배시 쇠토작업 편리 - 생산비용 절감이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> - 출아가 기온, 강수량등 기상조건에 따라 차이가 큼 - 잡초가 다량 발생하며 그 종류가 많고 방제가 힘들 - 파종기에 강우 계속시 적기파종이 곤란 - 입모후 담수시 관개용수 다량 소요 - 잡초성벼 발생이 많고 종자체종이 곤란
담수직파 (무논골뿌림)	<ul style="list-style-type: none"> - 육묘, 이앙노력 생략 - 출아시 물의 보온효과 유리 - 파종골이 물의 유동에 의해 메워져 표면산파보다 도복이 현저히 경감됨 - 생산비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> - 파종시 눈을 알맞게 균히기 불편 - 괴불과 뜬모 발생이 많아 적정 입모수 확보가 어려움. - 잡초방제와 눈그누기 시기가 겹쳐 잡초방제가 어려움 - 본답기간 연장으로 관개수 다량 소모
담수직파 (표면산파)	<ul style="list-style-type: none"> - 육묘, 이앙노력 절감 - 출아시 보온효과가 큼 - 파종작업이 간단 - 평야지 대규모 단지에서 항공 직파 가능 - 생산비 절감 	<ul style="list-style-type: none"> - 도복이 심하여 수량 안정성 결여 - 괴불과 뜬모 발생으로 적정 입모수 확보가 어려움. - 편리한 농법이나 재배관리 소홀우려 - 포장에서의 비배, 물관리가 힘들 - 관개용수가 많이들

2.2 작물의 필요수량

물은 농작물의 성장에 있어 필요 불가결한 요소이지만 그 필요량의 정도는 작물의 종류, 재배목적, 재배양식, 생육시기, 기상조건 및 토양조건 등에 따라 달라진다. 관개는 농작물의 생산을 목적으로 경지에 인공적으로 물을 공급하는 것이므로 그 필요한 시기와 수량을 정확히 파악할 수 있다는 것은 농업용수의 개발과 물의 효율적인 관리계획 수립에 있어 대단히 중요한 사항이다.

작물의 필요수량은 영농에서 비롯되는 재배방식, 용수의 이용관리방식 또는 지형, 토양, 지질, 지하수위 등 포장조건의 변화와 기상조건, 수온, 수질등의 변화에 따라 그 값이 변한다. 그리고 또한 수원에서 포장수로에 이르기까지 시설의 형태, 기능, 용수 및 토지이용 등의 변화에 따라 달라질 수도 있다. 그러므로 적정한 작물의 필요수량을 산정하기 위해서는 농업의 형태, 시설형태, 용수이용의 변화 등을 고려하지 않으면 안된다.

벼 농사의 경우 필요수량의 구성인자는 증발산량, 삼투량, 재배관리수량 및 시설관리수량으로 구분할 수 있다. 증발산량은 답면의 수면증발량과 수도의 엽면증발량을 합하여 구할 수 있는데 이와같은 증발산량은 작물의 종류, 작부시기, 당시의 기상상황 등 여러 요인에 의해 많은 변화가 발생하며 실제 증발산량을 이와같은 요인에 의하여 정량화하는 것이 어려우므로 일반적으로 잠재 증발산량을 산정한 후 작물의 종류, 작부시기 등에 따라 실제증발량과의 차이를 현장에서 분석하여 이를 작물계수로 조정하므로써 실제증발산량을 추정하는 방법이 사용되고 있다.

한편 삼투량은 토양의 종류와 지하수위에 따라 큰 차이가 있으며 작물의 생육상태에 따라서도 다소 영향을 받게 된다. 이들 중에서 삼투량은 작물의 생육기간을 통하여 볼 때 비교적 안정된 값을 갖지만, 증발산량은 삼투량에 비하여 그 변화의 폭이 대단히 크다. 증발산량과 삼투량은 답에서 직접 소비

되는 수량으로 일반적으로 작물소비수량으로 불리워진다.

실제 논에서 벼 재배환경을 개선시키는데 소비되는 수량에는 증발산량 및 삼투량 뿐만 아니라 논에서의 여러가지 재배기술상의 물관리를 가능하게 하기 위해 소비되는 수량이 필요하게 된다. 논에 있어서 담수심을 일정하게 유지하기 위하여 심수, 천수 등 담수심을 변화시키고 또는 일정한 기간 비담수상태로 하든지 혹은 간단적으로 단수시킨다든지 더 나아가서 고온장애의 방지를 목적으로 한 내리흘림식 관개 등을 실시하기도 한다. 이와같은 물관리 방법은 저온장애나 고온장애 방지 등을 비롯해서 생산량의 증대, 품질개선, 농작업의 효율향상 등을 목적으로 하는 물관리다. 따라서 상기 방법에 의한 물관리는 강제적 낙수 또는 내리흘림식 관개에 의한 표면유출의 형태로 포장 밖으로 유출되는 필요수량이 발생할 수도 있다.

논에서의 관개기간 중 물관리는 논면의 담수조절과 침투량조절 등 양자를 고려해야 한다. 논면의 담수조절 즉, 담수심 유지는 <표 2-3>과 같이 작물의 생육기별 용수의 필요도에 의해 결정되며 그 밖의 발아촉진, 생육촉진, 냉해방지 등 재배기술상의 필요에 의해서 좌우될 수도 있다.

논 소비수량 및 재배관리용수량은 무엇 보다도 재배양식 변화에 따라 민감하게 변화하게 된다. 담수직파나 건답직파로 재배양식이 변화되었을 경우 재배기간의 변화, 물관리 방법의 변화 등에 기인하는 결과가 바로 이를 증명해 주고 있다.

<표 2-3> 작물 용수의 필요도

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

그 밖의 필요수량으로서는 시설관리수량이 있다. 시설관리용수는 용·배수로 시스템 중에서 손실되거나 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 위한 송수손실수량에 대해서는 지구의 입지조건, 수로의 연장 및 수로의 양식 등을 감안 하여야 하고, 배수관리수량에 대해서는 수로형식의 관리조직, 관리체제, 시설 장치화의 정도, 논의 분산상황 등을 고려해야 한다.

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.

유효수량이란 상기와 같이 논바닥에 도달한 강우중에서 논바닥에 저류되어 벼 생육에 이용되는 수량을 말한다. 그러므로 논 필요수량 산정시에는 작물 소비수량과 강우에 의한 유효수량을 고려하여 실제 필요수량을 산정하여야 한다.

상기 외에 논 또는 포장에서의 보완적 수원 또는 반복이용에 의해 확보되는 수량이 있을 경우 이것 또한 고려해야 한다.

2.3 필요수량의 변화

최근의 영농방식의 변화는 '95년도 본 연구에서와 같이 벼 직파재배 구역의 증가, 어린모 기계이앙의 확대, 발전환 농업, 환경보전을 위한 지속 가능한 농업, 기계화·자동화에 의한 농법, 경지의 대구획화로 구분할 수 있다. 이러한 영농방식의 변화는 필연적으로 재배작물의 변경, 작부시기의 변경, 물 관리 방식의 변화를 수반하게 되어 포장에서의 필요수량 변화를 가져온다.

이와같은 필요수량의 변화요인을 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 재배·물관리 방식에 따른 변화

최근의 기계화, 생력화를 축으로 하는 새로운 재배방식이 각지에서 보급되기 시작하였다. 예를 들어 벼에 대하여 육묘, 이앙 과정을 생략하고 논에 직접 파종하는 건답직파, 또는 답수직파법이 그 대표적인 예이다. 이 새로운 재배방식은 종래와는 전혀 다른 관개기 초기의 물관리를 요구함은 물론 필요수량 자체에도 큰 영향을 미친다. 또 논의 고도이용(논발윤환, 답리작의 실시)에 따른 논 이용체계의 변화라든가 한냉지의 심수관개 실시 등은 토양조건이나 경작기간의 변경, 물관리 방식의 변화를 가져왔고, 생육기별 필요수량에도 변화가 예상되고 있다.

또 집단적으로 실시하는 방제작업도 넓은 면적에 대하여 동시에 배수할 것을 전제로 실시하므로 낙수후 일시에 재답수할 경우 대량의 용수가 필요하게 된다.

가. 직파재배에 따른 변화

건답직파재배는 씨레질을 생략하게 되므로 포장에서의 필요수량에 큰 변화를 가져온다. 일반적으로 사질토나 암거배수 등에 의해 건답화가 진행된 논은 심토층에서 투수성이 커지게 되며, 또한 관개기에도 지하수위가 상승하지 않는 논에서 그 변화가 현저한 것으로 알려지고 있다. 건답직파 재배시 씨레질용수량은 불필요하게 되는데 그 대신 초기관개용수량이 많이 필요하게 된다. 이는 심토층의 투수성이 커지게 되어 침투량이 증가하기 때문이며 관개후 10~20일에서 대체적으로 안정된 값까지 저하하는데 안정된 후에도 보통 이앙재배에 비하여 큰 값을 나타낸다.

그러나 건답직파재배에서는 이앙재배에 비해서 답수기간이 20~30일 정도 짧게 되므로 초기용수량이 증대해도 관개기간 중의 총용수량은 그다지 증가하

지 않는다. 그러므로 저수지 등의 수원계획을 위하여 침투량의 증가와 경작시기의 이동, 담수기간의 단축 등에 따라 시기별 필요수량도 검토해야 한다.

담수직파의 경우는 필요수량의 증가가 현저하다. 이는 육묘, 이앙과정이 생략되고 본답에 즉시 파종하기 때문에 본답에서의 씨레·정지용수와 파종하기 위한 재배관리수량이 증가할 뿐만 아니라 이앙재배에 비해 담수기간이 20~30일 정도 증가하며 이 시기가 일반적으로 비강우기에 속하기 때문에 수원에서 공급해 주어야 할 수량은 더욱 증가하게 된다. 다만 작물 소비수량인 증발산량과 삼투량만을 고려 할 경우에는 이앙재배와 별로 다를 바가 없다.

나. 작부시기의 변경

작부시기 변경의 원인으로서는 논밭윤환 또는 답리작의 도입 및 폐지등에 따른 영농작물의 혼합, 벼품종의 변화, 조기이앙 실시 등을 들 수 있다.

작부시기의 이동에 따라 필요수량에 고려해야 할 점은 물관리에 따른 침투량 변화와 기상조건의 변화에 따른 증발산량을 생각할 수 있으며 증발산량의 변화 보다 물관리의 변화에 따른 침투량 변화가 크다. 침투량은 중간 낙수를 전후하여 크게 달라지므로 관개기간과 관개시기에 있어서 시기별 필요수량을 변경, 공급하여야 한다.

다. 논·밭 전환

밭으로 이용하다가 다시 논으로 전환한 경우에는 밭으로 이용했을 때의 투수성이 논으로 이용하였을 때의 투수성 보다 좋아졌기 때문에 일반적으로 초기용수량 및 중간낙수 후의 침투량이 증가하는 경향이 있다.

라. 물관리 작업의 집산화

집단적으로 병충해 방제나 제초작업을 할 경우 일단 논의 물을 배수 시켜야 하는 경우도 있다. 이와 같은 경우에는 재담수에 일시적으로 논 필요수량이 크게 증가하는 경향이 있다.

2.3.2 포장조건에 의한 변화

경지정리나 용·배수분리 등이 실시되면 논에서 필요수량이 변화하게 된다. 실제로 수원공의 설계에서는 이와 같은 상황을 고려해 주어야 한다.

가. 용·배수의 분리

용·배수 겸용인 논지대 및 내리흘림식 관개지역에서 용·배수조직을 분리시켜 경지정리를 할 경우 논의 필요수량 변화를 수반한다. 일반적으로 용·배수조직이 분리되고 건답화가 진전되면 증발산량 및 침투량의 증가 뿐만 아니라 논에서의 재배관리용수도 증가하게 된다. 이는 반복이용 기회의 상실, 지하수위의 저하에 따른 침투량의 증가 등에 기인한다.

나. 구획의 확대

구획확대에 따른 논 필요수량의 변화는 침투량과 재배관리용수량의 증가를 의미한다. 구획확대에 따라 물꼬에서 취수량이 적을 경우 관개용수는 말단까지 도달할 수 있지만 관개중의 침투량이 증가하게 되고 논의 수평 정밀도가 나빠지는 경우 담수를 확보하기 위해서 평균담수심이 필연적으로 커지므로 필요수량이 증가하게 되어 관개용수의 부족이 발생하게 된다.

2.4 재배방식별 물관리

벼 재배방식별 물관리는 가장 기본적인 사항으로 최근 특히 중요시 되고 있다. 물관리란 개량된 영농과 더불어 농업생산을 증가시키기 위해 경지에 물을 공급함에 있어 운반, 조절, 측정, 분수 및 수량을 적기에 공급토록 하는 종합적인 운영방법을 의미한다<농지개량사업계획 설계기준(관개편)>.

증가하는 물 수요량을 충족하기 위하여는 용수원을 적극적으로 개발하는 것이 1차적인 방법이 되겠지만 이미 확보된 물을 최대한으로 절약하고 효과적으로 사용함으로써 물에 대한 경제적 가치를 더욱 증대 시킬 수 있다.

일반적으로 물관리는 다음과 같은 항목들을 고려해야 한다.

- 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 발아, 벼의 성장, 잡초방지, 해충방지, 냉해예방, 비료효과의 증진, 쌀의 품질 향상에 있으며 특히 직파를 위한 적절한 물관리에 필요한 사항은 다음과 같다.

- 물관리의 방법
- 벼 재배에 필요한 물의 양
- 벼 재배를 위한 효과적인 물관리
- 수확기의 배수

2.4.1 물관리 방법

벼는 다른 농작물과는 달리 반 수생식물에 해당되므로 담수조건에서 생육이 가능하다. 우리나라의 직파재배는 4월에서 10월까지 시행되며 이 기간 중 본답기는 대부분이 담수된 포장에서 재배되고 있다. 계단식 논에서도 논두렁을 조성하므로 논에서의 담수는 필수적이다.

건답직파와 담수직파는 담수관리를 하기 전에 간단관개를 시행하여 발아와 눈그누기를 양호하게 할 필요가 있다. 담수후의 물관리는 벼의 생육에 따라 수심을 서서히 증가시켜 가면서 배수구의 유량을 적당히 조절하는 것이 좋다. 이것은 어떤 재배방식에서도 같다. 포장의 배수구로 부터 배수되는 유량을 검토할 경우 수심도 함께 조절해야만 한다.

담수기간은 파종방법, 기상조건, 파종시기, 품종에 따라 다소 다르지만 담수직파와 건답직파의 경우 120~150일간, 외국의 항공담수 직파의 경우 150~170일 정도가 된다. 벼는 다량의 물이 필요하다. 특히 출수기에는 온도가 매우 높고 증발량이 많아 1~2개월 정도는 많은 물이 필요하다. 모든 작물이 자랄수 있는 조건은 토양의 유효수분함량(함수비)이 약 50% 이상이고 답에서는 출수기간 동안 적어도 약 75% 이상을 유지하여야 한다. 특히 우리나라의 하절기 동안 증발량이 일별 약 5mm 가까이 되므로 답의 포장에 담수할 수 있을 정도의 물을 공급하는 것은 벼의 생육을 촉진시킴과 동시에 잡초성장을 저해하고 질소비료의 효과증진, 냉해방지, 쌀의 질을 향상시키는데 매우 중요하다. 동남아 각국에서는 아직도 천수답이 많이 있지만 이와같은 지역의 수확량은 매우 떨어질 수밖에 없다.

직파재배에 필요한 관개용수를 줄이기 위하여 전체적인 담수기간을 줄이기도 하고 혹은 용수를 필요한 지역에만 스프레이식으로 관개하지만 아직 경제적으로 적당한 방법을 찾지 못하고 있는 실정이다.

2.4.2 직파재배에 필요한 수량

직파재배에 필요한 수량은 다음과 같은 조건에 따라 결정된다.

- 벼의 생육기간(파종시기, 품종, 토양의 비옥도, 온도등)
- 답수 및 건답의 재배기간(파종시기, 재배 관리방법)
- 기상조건(중발량, 강우량에 따라 결정)
- 토양의 침투성(토질, 토양의 습윤상태)
- 용수의 공급관리(답수심, 용수의 공급 및 배수횟수)

상기의 조건에 따라 관개용수의 공급량이 결정되지만 특히 강우량에 의해 그 변동폭이 대단히 크다. 농업과학기술원 자료(1995)에 의하면 우리나라의 경우 이앙재배에서는 관개기간인 약 100일간에 1,420mm가 필요하고 답수직파의 경우 130일간에 1,905mm, 건답의 경우 1,580mm가 필요한 것으로 나타났다.

<표 2-4> 벼 재배방법별 용수사용량

방법별	관 개 기 간	관 개 일 수	관개용수 공급량(mm)					유 효 강 우 (mm)	관 개 용 수 (mm)
			엽 면 중 발	수 면 중 발	침투량	정 지 용 수	계		
이 앙	6.1~9.10	100일간	500	300	500	120	1,420	582	838
답 수	5.1~9.10	130일간	550	390	845	120	1,905	642	1,263
건 답	6.1~9.10	100일간	480	300	800	-	1,580	582	998

외국의 경우 문헌조사에서 ha당 필요한 수량은 약 1,500~1,600mm로 나타났고 그 변화폭은 일반적으로 1,300~1,900mm로서 최고 2,600mm를 기록한 적도 있었다. 일반적으로 벼재배에 필요한 용수량은 크게 다음과 같이 3가지로 나눌 수 있다.

- 중발산
- 침투와 감수심
- 배수

2.4.3 증발산량

물은 논의 포장, 수면에서 증발하고 벼의 잎에서 증산하여 없어진다. 파종 후의 초기단계에서 물소비는 주로 논의 증발량이다. 그러나 벼가 자라서 답면을 모두 덮을 경우 물의 소비는 주로 증산에 의해 없어진다. 이와같은 단계의 물소비를 증발산이라 하며 이 양이 벼재배에 필요한 전체 용수량의 80%를 점한다고 볼 수 있다. 우리나라의 경우 ha당 증발산량은 약 800~900mm 정도이며 호주의 경우 그 변동폭이 1,000~1,400mm로 평균 1,200mm로 나타났다.

증발에 영향을 미치는 기상조건은 기온, 습도, 풍속, 일사량등이며 측정은 증발계를 이용한다. 그러나 증발계로 측정한 증발량과 논에서의 증발산량은 벼의 생육기간에 따라 차이가 있다. 일반적으로 파종한 직후의 증발산량은 대개 증발계 수치의 약 80%에 해당되며 벼가 자라면서 120%까지 증가하다가 수확기에 배수가 시작되면서 그 비율이 90%까지 떨어진다. 따라서 전체 관개기간을 통하여 증발산량과 계기증발량과의 비율은 거의 1에 가깝다고 볼 수 있다.

2.4.4 침투와 감수심

침투는 벼의 뿌리 아래 하층부의 토양으로 침투하는 물의 양을 말한다. 이와같은 물은 지하로 침투하여 최종적으로 지하수가 된다. 어느 정도의 지하침투량이 발생하는가는 토양의 표면에서 볼때 토층의 구조가 물을 쉽게 통수시키지 않는 구조가 바람직 하다. 어떤 작물에서도 지하침투량은 발생하고 최종적으로 지하수위를 상승시키는 역할을 한다. 따라서 벼의 생육을 위하여 담수하는 것은 지하침투량을 증대시키는 잇점이 있다. 그러나 물을 관리하는 사람의 경우 용수댁가의 절감과 지하수 상승의 억제, 또는 하층부에 염분이 있을 경우 염분상승의 억제를 위하여 용수의 지하침투를 최소로 할 필요성이 있다.

벼 생육에 적합한 토양의 종류는 균일한 성분의 점토(회색과 갈색의 중점토 구조)가 적합하다. 먼 옛날 하천이 형성되었던 토지는 사질토 또는 사록토가 하층부에 많이 산재해 있으며 표층부에는 퇴적물들이 많이 있다. 이와같은 토양은 지하침투에 의한 누수량이 많아 벼 재배에 부적합하다.

우리나라의 경우 토양에 따라 그 편차가 대단히 크나 일일 삼투량으로 볼 때 약 3~5mm로 볼 수 있고 심한 경우 7mm까지 나타나기도 한다. 일반적으로 관개기간 동안 전침투량은 약 500~800mm정도로 볼 수 있다(<표 2-4>참조).

외국의 경우도 그 편차가 심하여 작을 경우 100~300mm에서 크게는 1,000mm까지 되는 곳도 있다.

2.4.5 배 수

담수를 유지하고 있는 포장에서 어느 일정 수심을 초과할 경우 공급된 물의 일부는 월류되지만 물 소비량 전체와 비교해 보면 그 양은 매우 적다. 그러나 물관리의 방법에 따라 이 배수량이 전체 공급량의 많은 부분을 점할 때가 가끔 있다. 벼를 재배하는 사람은 일반적으로 논의 수심이 일정하게 유지되도록 원하므로 용수공급은 적당하게 하여야 한다. 즉 원하는 수심을 유지시키기 위하여 증발산에 의해 감소된 물을 공급하여야 한다. 실제 답에서 이와같은 물관리는 매우 어려우므로 강우가 있을 경우 여분의 물이 자연적으로 배수될 수 있도록 한다. 그리고 관개기간 중에 배수되는 물의 양은 강우량에 따라 다르지만 그리 많지는 않다. 결국 물관리의 최대 목적은 배수에 의한 손실량을 최대한 줄이는데 있다. 그러므로 경제적으로 용수공급을 적절히 하여 용수값가를 줄이고 물절약을 하는 것이 배수의 목적이라 할 수 있다.

한편 벼의 생육 특히 벼 뿌리의 생육을 증진시키고, 토양속의 박테리아 증식 및 토양의 단립화를 위해 일정기간 단수를 하여 건조시키는 배수도

있다. 이를 간단관개라 하며 토양의 종류에 따라 3일 담수 2일 낙수, 2일 담수 1일 낙수 등 여러 가지 조합이 있을 수 있다. 여기에 그날의 기상 특히 강우량에 따라 간단 일수가 증가되기도 한다. 어떤 조합의 형식이 타당할 것인지는 해당 농민의 판단이 가장 중요한 것이므로 관개계획 수립에 있어서는 실제 경작자의 의견 수렴이 필수적이라 할 수 있다.

2.5 수리시설물에 미치는 영향

영농방식의 변화에 따른 논 필요수량의 변화는 필연적으로 기존 수리시설물의 용수공급능력 검토의 필요성 및 앞으로 축조해야 할 시설물에 대한 새로운 기준 정립이 요구된다. 이와같은 기준은 합리적이고 체계적인 연구의 바탕 위에서 결정되어야 하며 본 연구의 최종 목적도 이러한 요구를 충족시키는데 중점을 두어야 할 것이다.

일반적으로 논에서의 필요수량 변화는 수리시설물을 설계하는데 있어 다음과 같은 변화를 동반 할 것으로 예상된다.

- 저수지의 필요저수량
- 관개구역의 단위용수량
- 양·배수장의 용수공급량

2.5.1 필요저수량의 변화

필요수량은 작물의 적정 성장을 유지하기 위하여 공급해 주어야 할 수량이다. 이와같은 필요수량은 자연적인 강우에 의존하기도 하며 하천수나 호소 등의 비시설물에서 공급받기도 한다. 그러나 이와같은 비시설적인 것들은 가뭄 등 자연적인 재해에 민감하여 안정적인 용수공급원이라 할 수 없다. 그러므로

농업용저수지 등을 축조하여 부족한 수량을 저류하여 필요시 공급해야 한다.

'94년말 현재 우리나라의 농업용 저수지는 18,179개소에 이르며 여기서 공급하는 농업용수는 전체 담면적의 약 50%에 이르는 510천ha의 몽리구역에 관개하고 있는 실정이다. 그 외에 양수장, 보, 관정 등 수 많은 수리 시설물이 있다. <표 2-5>는 '94년 말 현재 우리나라의 수리시설물 현황을 보여 주고 있다.

<표 2-5> 전국 수리시설 현황

(단위 : 개소)

총 계	저수지	양수장	양배수장	배수장	보	집수거	관정
58,454	18,179	5,376	118	333	18,455	3,970	12,023

※ 자료 : 농림수산 주요 통계(1996, 농림수산부)

상기 시설물들은 보통 영농방식의 변화를 고려하지 않고 과거의 기준에 의해 설계되었으며 또한 운영, 관리되고 있다. 그러나 농림수산부의 '94 식량 생산지침 <농산51210-100('94. 2.16)>에 따르면 생력재배기술 보급 정책을 어린모에서 직파재배 위주로 전환하여 2001년에는 전국 직파적지 면적에 상당하는 700천ha에 대해 직파를 시행할 야심찬 계획을 세우고 있다.

<표 2-6> 직파재배 현황 및 목표

(단위 : 천 ha)

년 도	1993	1994	1997	2001	비 고
직파면적	7.6	70	500	700	

※ 자료 : 농림수산부 '94 식량생산 지침

농림부의 계획대로 2000년대의 한계답 등의 면적 감소를 고려한다면

벼 재배방식은 직파가 주종을 이루게 될 것이며 계획대로 되지 않는다 해도 벼 재배에 있어서 영농방식의 변화는 불가피하다.

그러므로 이와같은 변화가 저수지에서는 필요저수량의 부족 또는 증가의 형태로 나타날 것이며 이에 대한 대비책이 필요한 실정이다.

2.5.2 단위용수량의 변화

용수로 등의 수로구조물을 설계하기 위해서는 최대용수시기와 단위면적에서 단위시간당 필요수량을 산정하여야 한다. 이와같이 용수로 설계의 기준이 되는 용수량을 단위용수량이라 한다(농지개량사업계획 설계기준, 관개편).

작물이 물을 가장 많이 필요로 하는 시기는 일반적으로 작물의 성장이 최고로 왕성하여 증발산량이 최대가 되는 시기가 된다. 그러나 담수를 필요로 하는 벼의 경우에는 영농방식의 변화뿐 만 아니라 이앙기간의 단축, 집단적 중간낙수 또는 집단적 병충해 방제등에 필요한 단시일내의 물수요량에 따라 단위용수량이 증발산량 최대시기의 물수요량을 능가하는 경우가 있다. 이와같이 관개수량이 가장 많이 필요한 시기를 최대용수시기라 하고, 이 최대용수시기에 필요로 하는 용수량을 최대용수량이라 한다.

최대용수량은 일반적으로 유효우량을 고려하지 않고 최대용수시기의 소비수량을 기준으로 하여 산정한다. 전통적인 이앙재배에서는 이앙기의 이앙용수와 증발산량이 가장 많은 시기의 소비수량과 비교하여 최대용수량을 결정한다.

그러나 직파재배에 따라 이러한 물수요 구조가 변하게 되고 용수의 집중도도 달라지게 되므로 최대용수시기와 최대용수량도 변하게 된다. 건답재배에서는 건답상태에서 재배중 최초로 담수관개로 전환시 최대용수시기가 발생할 것이며 담수직파에서는 집단적인 논굳히기 또는 논그누기 중에 최대용수시기가 발생할 것으로 예측된다. 따라서 이와같은 최대용수량 또는 단위용수량의 변화는 용수로의 간선 또는 지선의 규모에 영향을 미치게 될 것이다.

여 백

제 3 장 직파재배 소비수량 시험

3.1 작물계수 시험

3.2 포장용수량 시험

3.3 문제점 및 대책

여 백

제 3 장 직파재배 소비수량 시험

3.1 작물계수 시험

3.1.1 시험목적

벼 재배시 경지 안에서 소비되는 작물의 필요수량은 크게 증발산량과 삼투량으로 나눌 수 있으며 그 중에서 증발산량은 벼 엽면에서 발생하는 증산량과 벼포기 사이 수면에서 발생하는 증발량의 합으로 나타낼 수 있다. 증발산량은 작물의 종류, 생육단계, 생육기간 동안의 기상에 영향을 가장 많이 받으므로 이를 정확하게 산정하거나 예측하는데는 많은 어려움이 있다. 따라서 수많은 연구자들이 증발산량의 산정 방법에 대하여 여러 가지 실험공식들을 발표하게 되었고 주어진 자연환경에서 기준 작물에 대한 잠재증발산량이란 개념을 도입하게 되었다. 그리고 이 잠재증발산량을 산정하기 위하여 증발산량에 가장 영향을 많이 주는 기상자료를 활용한 여러가지 공식을 사용하게 되었으며 또 지역과 작물에 따라 많은 차이가 있는 실제증발산량을 산정하기 위하여 실험에 의하여 잠재증발산량과의 차이를 작물계수를 적용하므로써 이를 해결하여 왔다.

벼의 경우, 국내에서도 이앙재배법에 의한 품종별, 생육기별 작물계수는 전국을 대상으로 연구, 조사한 바 있다(1982-1986, 정 등). 그러나 최근 생산비 절감효과를 꾀하고 노동력의 감소에 대처하기 위하여 벼 재배방식중 직파재배의 면적이 증가하고 있는 바, 이에 따른 작물계수의 정립이 필요하게 되었다.

그러므로 본 시험의 목적은 우리 나라의 중부지역과 남부지역에 대하여 구역을 선정하고 직파재배에 적합한 품종을 선택하여 생육기간별 증발산량을 측정하였으며 이에 따른 여러가지 잠재증발산량 공식의 작물계수를 산정하므로써 필요수량 산정에 이용할 수 있는 기초자료를 마련하는데 있다.

3.1.2 시험포장

가. 기간

1996. 5. 1 ~ 1996. 10. 30일 (5. 21 ~ 10. 11일 : 벼 재배기간)

나. 위치

시험포장은 중부지방에서는 수원, 남부지방에서는 대구지역을 선정하였고 그 위치는 1차년도 시험장소와 동일하다

- 1) 수원 : 경기도 수원시 서둔동 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장
- 2) 대구 : 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 농과대학 부속농장

다. 토양 특성

각 지역의 시험포장에서 채취한 3점의 토양에 대하여 이화학적 성질을 분석하였으며 지역별로 분석한 결과의 평균값은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 시험포장의 토양특성

지역 \ 항목	pH	O. M. (%)	입 도 분 석 (%)			토성
			모래	실트	점토	
중부(수원)	5.3	2.00	70	23	7	사양토
남부(대구)	6.4	1.85	28	34	38	식양토

라. 시험구 배치

시험구 배치는 수원지역의 경우 담수직파의 증발산량을 측정하기 위하여 유저형 라이시미터를 사용하였다. 담수직파의 경우 조생종, 중생종, 만생종에



<그림 3-2(a)> 시험포장 전경(수원지역)



<그림 3-2(b)> 시험포장 전경(대구지역)

3.1.3 기상자료

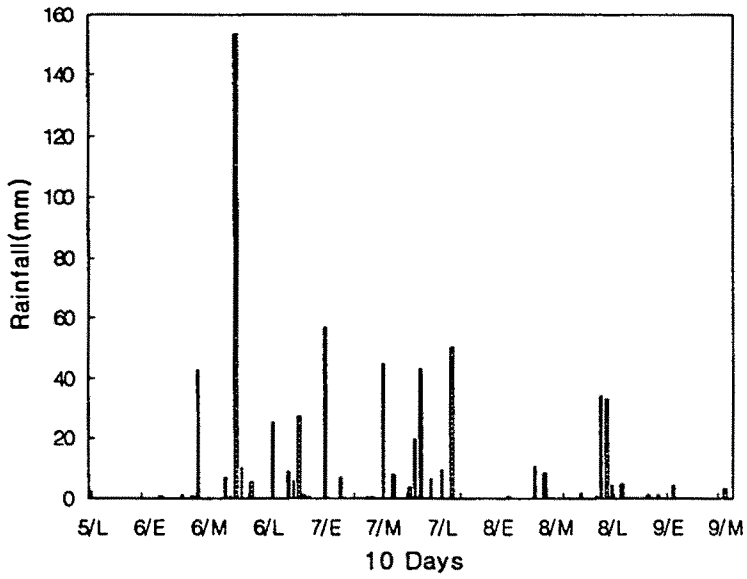
본 연구에서 잠재증발산량의 산정을 위하여 수정 Penman공식과 Blaney-Criddle식을 사용하였다. 수정 Penman식을 사용하기 위한 기상인자로는 평균기온, 최소기온, 상대습도, 평균풍속, 일사량 및 일조시간이 있으며, Blaney-Criddle식을 사용하기 위해서는 평균온도만을 적용하였다.

한편, 강우량은 일별 증발산량에 가장 큰 영향을 미치는 기상요소라고 볼 수 있으므로 기상인자의 분석과 함께 강우량의 분석도 실시하였다. 강우시에는 태양의 복사열이 구름과 강우에 의해 차단되어 기온이 낮아지며 습도가 상승하게 되므로 공기중의 포화증기압이 증가하게 된다. 이와 같은 기상변화는 증발산량을 감소시키는 반면 이와 반대로 맑은 날의 경우는 증발산량을 증가시키는 좋은 조건이 된다.

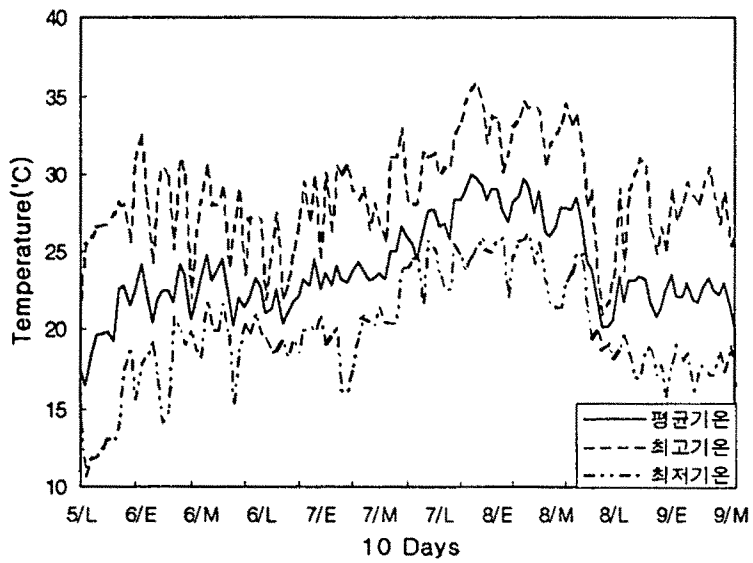
가. 수원지역

수원지역의 잠재증발산량 산정을 위한 일별 기상자료는 시험포장에서 약 1km 떨어진 곳에 위치한 수원측후소의 기상자료를 이용하였다. 잠재증발산량 계산에 이용된 기상인자와 강우량의 일별 변화는 <그림 3-3(a)>~<그림 3-3(e)>와 같다.

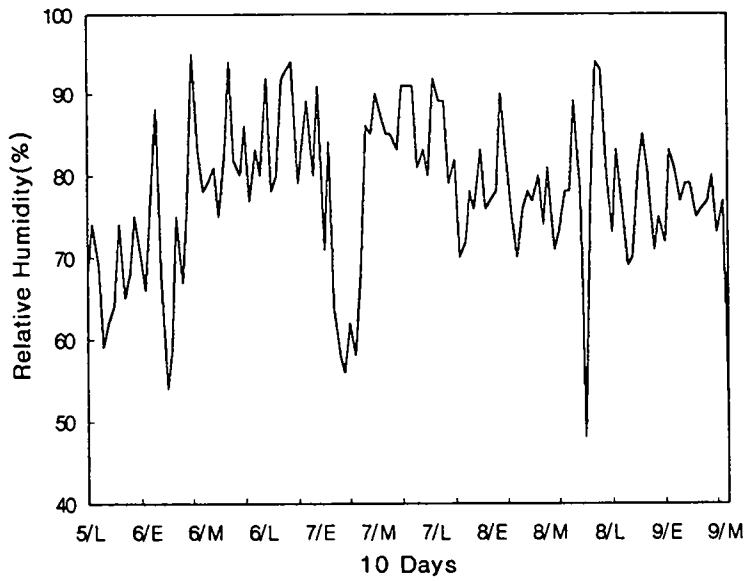
벼 재배기간중 강우량은 생육초기, 즉 6월에는 평년에 비해 많은 강우가 발생하였으나 생육중기 이후에는 평년보다 적은 강우가 발생하였다. 특히, 6월 중순에는 평년의 29.6mm 보다 145.2mm 많은 174.8mm의 강우가 내려 벼 재배기간중 순별 최대강우량을 나타내었다. 기상자료만을 가지고 증발산량을 추정하여 보면 평균기온이 높고 일사량 및 일조시간, 평균풍속이 큰 값을 가지는 8월 초순, 중순이 가장 큰 값을 나타낼 것으로 판단된다.



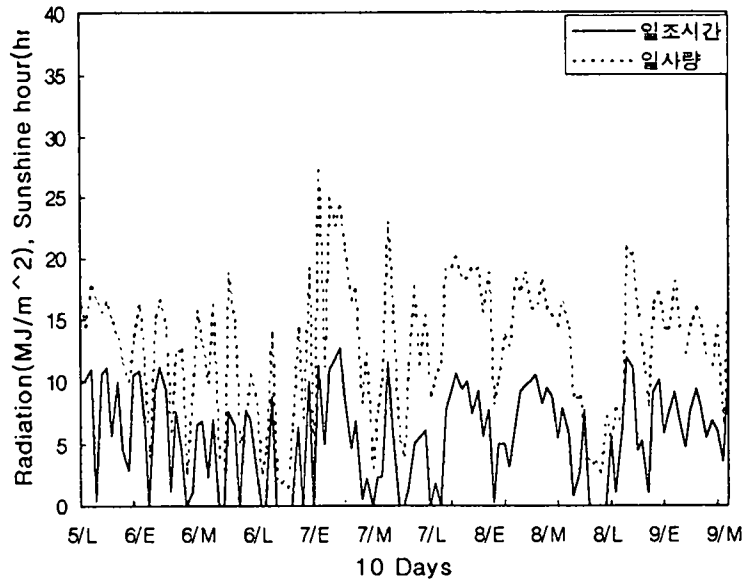
<그림 3-3(a)> 강우량의 일별 변화(수원)



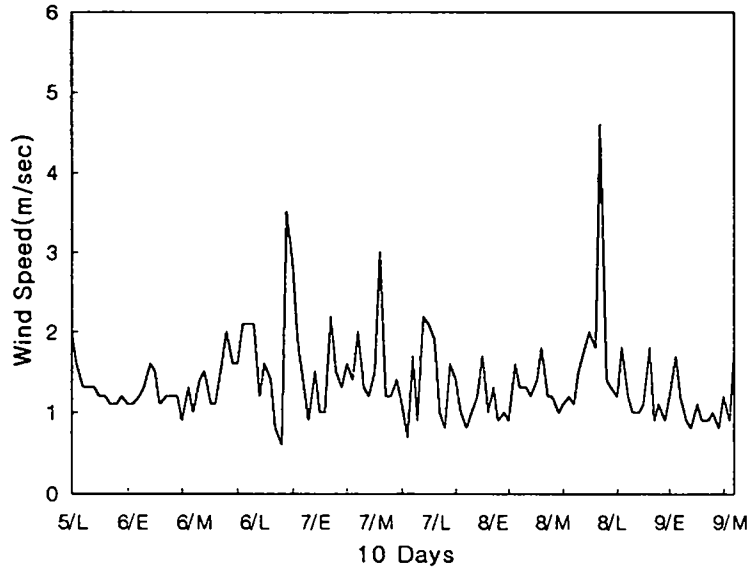
<그림 3-3(b)> 최고, 평균, 최저기온의 일별 변화(수원)



<그림 3-3(c)> 상대습도의 일별 변화(수원)



<그림 3-3(d)> 일사량, 일조시간의 일별 변화(수원)

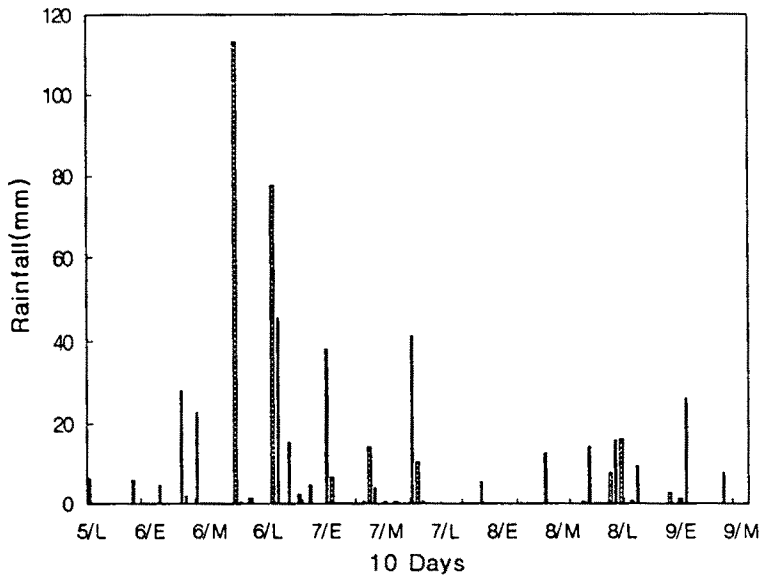


<그림 3-3(e)> 평균풍속의 일별 변화(수원)

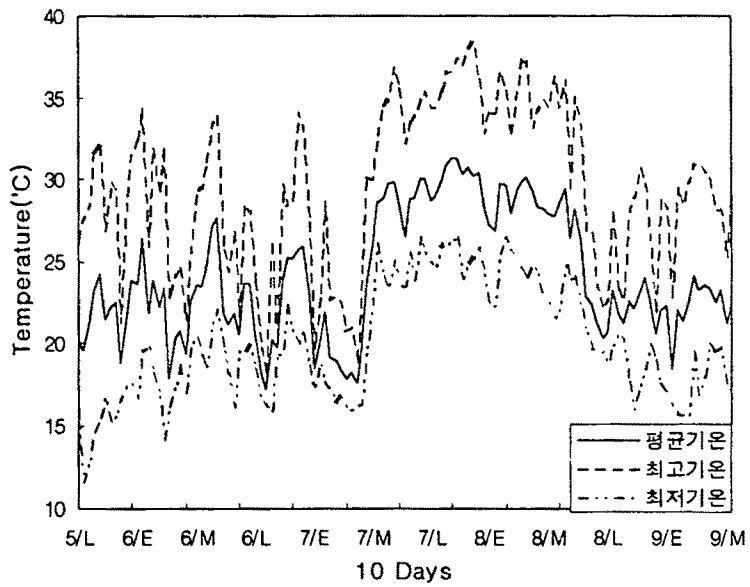
나. 대구지역

대구지역의 잠재증발산량을 산정하기 위한 기상자료는 시험포장에서 약 700m 떨어진 대구측후소의 자료를 이용하였다. 기상인자와 강우량의 일별변화는 <그림 3-4(a)>~<그림 3-4(e)>와 같다. 대구지역도 수원지역과 마찬가지로 생육초기에 강우가 집중적으로 분포하였으며, 생육후기에는 평년보다 훨씬 적은 강우가 발생하였다. 기상인자를 이용하여 잠재증발산량을 추정하면 7월말이 가장 큰 값을 가질 것으로 예상된다.

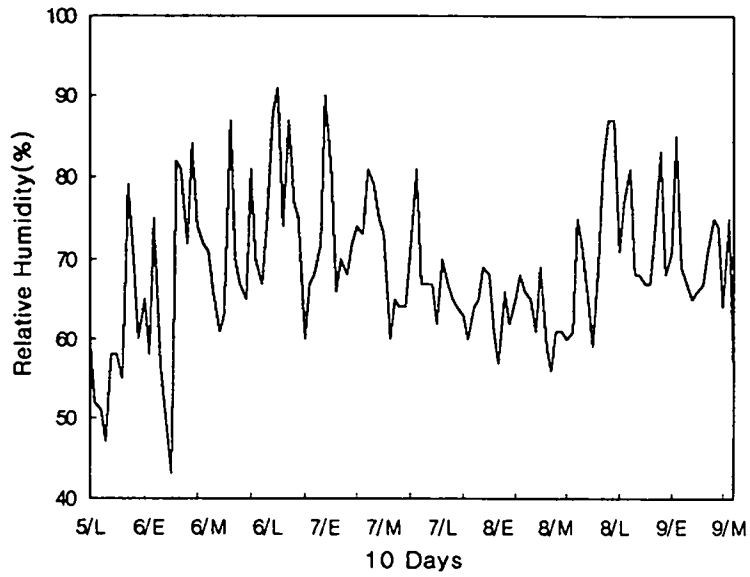
수원지역과 대구지역의 일별 기상자료는 <부록 I>에 첨부하였다.



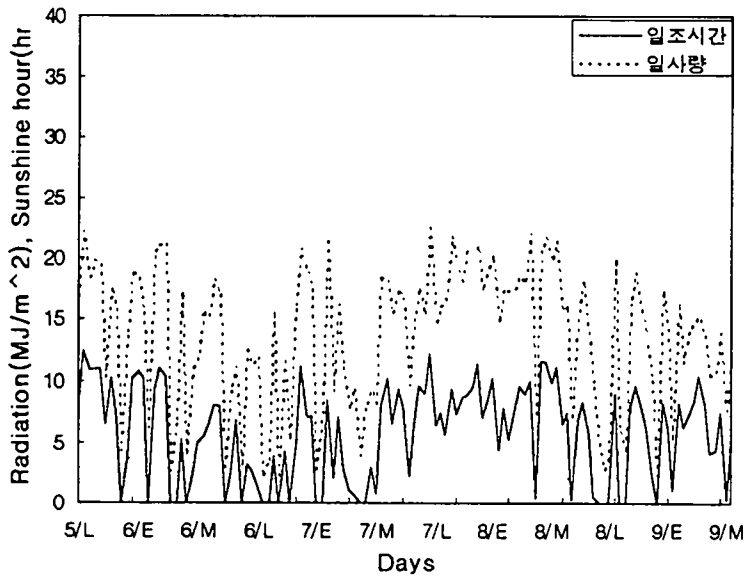
<그림 3-4(a)> 강우량의 일별 변화(대구)



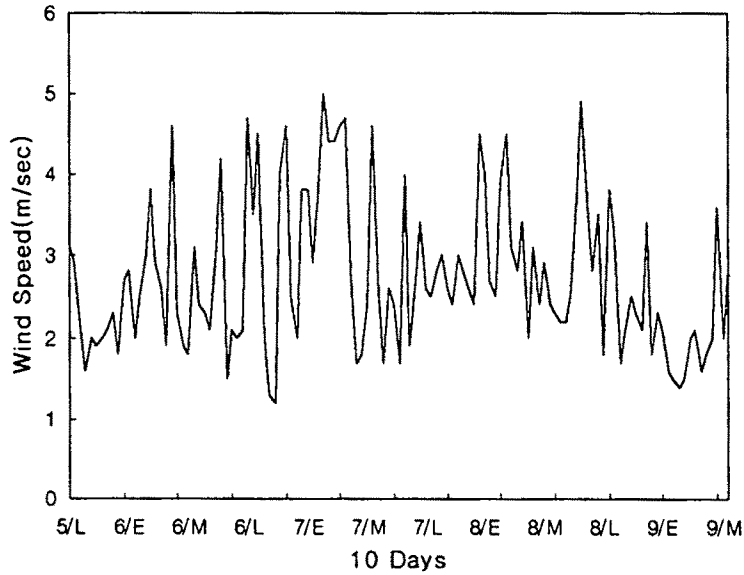
<그림 3-4(b)> 최고, 평균, 최저기온의 일별 변화(대구)



<그림 3-4(c)> 상대습도의 일별 변화(대구)



<그림 3-4(d)> 일사량, 일조시간의 일별 변화(대구)



<그림 3-4(e)> 평균풍속의 일별 변화(대구)

3.1.4 생육자료 조사

가. 품종 및 재배방식

직파재배에 알맞는 품종은 저온 발아성이 좋고, 담수나 토중에서 발아성이 높으며 초기 신장성이 우수한 단간·내도복성인 품종 중에서 각 지역에 알맞는 품종을 선택하였으며 미질이 낮은 비장려 품종의 재배는 지양하였다. 특히, 조생종은 8월 하순부터 불어오는 태풍 발생시기와 이삭이 무거워지는 시기가 일치하므로 도복피해가 발생하기 쉽기 때문에 도복에 강한 품종의 선택이 필요하며, 만생종은 출수가 늦어 등숙불량이 우려되므로 유의해야 한다.

본 시험에 선택한 공시품종은 직파재배 장려 품종 중 각 지역에 적합한 품종을 <표 3-2>와 같이 선택하였다. 또, 재배방식은 수원지역과 대구지역에서 모두 연구 주제인 담수직파에 대하여 실시하였다. 파종시기는 지역에 따라

다르며, 주로 기후와 파종전 재배한 작물과의 관계에 의하여 결정된다. 대체로, 일평균 기온이 13℃~15℃이상이 되면 실용적인 재배가 가능하며, 본 시험은 농촌진흥청의 “파종적기 기준”에 따라 실시하였다.

<표 3-2> 지역별 품종 및 재배방식

구 분	파종시기	시험품종			직파종류
		조생종	중생종	만생종	
중부(수원)	5.25	설악	화성	동진	담수직파
남부(대구)	5.21	상주	일품	영남	담수직파

나. 시험포장의 처리

직파재배의 단점으로 여러 가지를 들 수 있으나, 그 중 하나가 잡초의 다량 발생이다. 1차년도 시험에서는 잡초의 발생을 억제하지 못하였으나, 금년도 시험에서는 적기에 제초제를 살포하여 잡초 발생이 대부분 억제되었다. <표 3-3(a)>~<표 3-3(b)>은 제초제와 약·비료의 살포, 낙수 및 기타 시험포장 처리 내역이다.

<표 3-3(a)> 시험포장 처리내역(수원)

일 시	처리 내역	효 과	비 고
5.25	라이시미터 방조망 설치	범씨 손실 방지	
6. 3	복합비료 살포	기비	
6. 9	제초제 살포	잡초 발생 억제	
7.25	중간 낙수		7일간
8.10	시험포장 전체에 방조망 설치	조류에 의한 이삭손실 방지	

<표 3-3(b)> 시험포장 처리내역(대구)

일 시	처리 내역	효 과	비 고
5. 23	복합비료 살포	기 비	
6. 4	제초제 살포	잡초 발생 억제	
6. 15	제초제 살포	"	
6. 22	비료 살포		
7. 10	비료 살포		
7. 11	흰잎 마름병약 살포	병충해 발생 억제	
7. 27	도열병약 살포	"	
7. 30	살충제 살포	"	
8. 1	중간 낙수		10일간
8. 8	살충제 살포	병충해 발생 억제	

다. 생육조사 및 수확량 조사

벼 생육조사 결과는 작물계수 산정을 위한 소비수량 시험에서 벼 재배방법 또는 시험방법의 적정성을 판단하는데 중요한 기준을 제공한다. 생육조사는 파종량, 입묘수, 파종기, 시비량, 제초제 살포, 물관리 등에 있어서 표준재배법에 준한 관리를 하였는지를 판단할 수 있으며 측정된 증발산량이 어떠한 오차를 가질 수 있는지를 추정하여 볼 수도 있다. 생육조사는 일반적으로 작물의 초장, 간장, 엽수, 지엽의 장폭비, 분얼수, 중량조사, 엽면적지수(LAI)조사 등이 있다. 본 시험에서는 생육정도를 알아보기 위하여 수원지역은 초장을 7일 단위로 조사하였고, 분얼수는 수확기에 조사하였으며, 대구지역에서는 10일 단위로 초장과 분얼수를 조사하였다. 그리고 두지역 모두 6개 항목에 걸쳐 수확량 조사를 실시하였다.

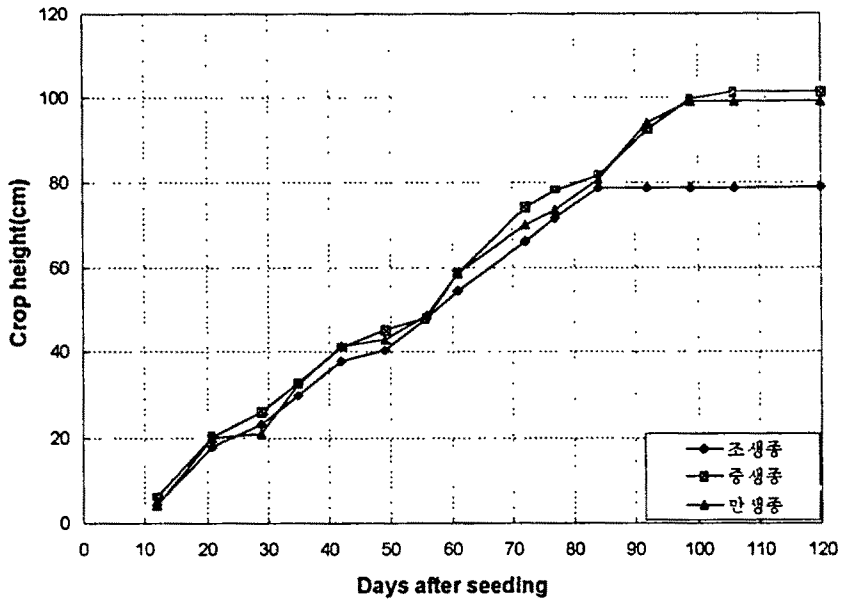
수원과 대구지역의 초장 조사 결과는 <표 3-4(a)(b)>, <그림 3-5(a)(b)>와 같으며 분얼수 조사 결과는 <표 3-5(a)(b)>에 나타내었고 수확량을 조사한 결과는 <표 3-6(a)(b)>에 수록하였다.

<표 3-4(a)> 품종별 초장조사(수원)

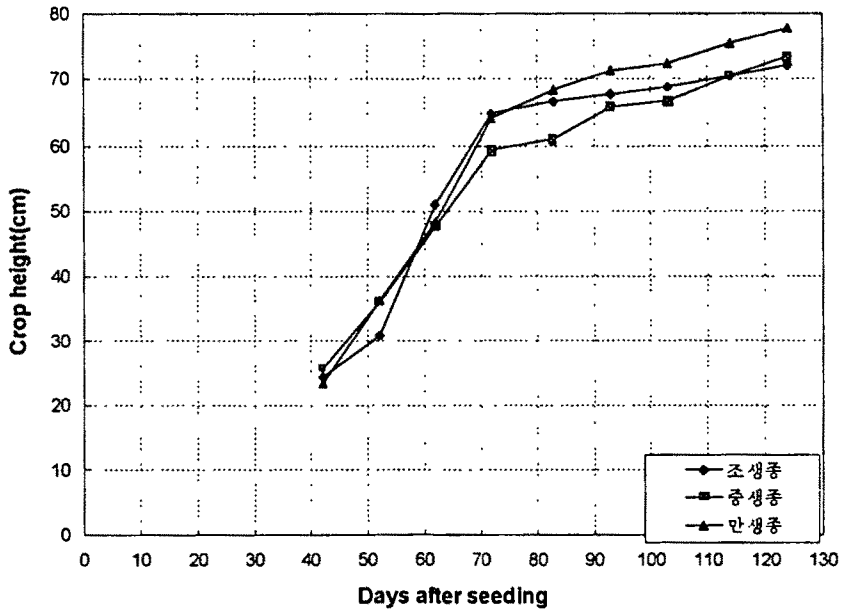
생육시기		초 장(cm)			비 고
날 짜	경과일수	조 생 종	중 생 종	만 생 종	
6. 6	12	4.5	6.2	4.2	
6. 15	21	18.0	20.3	20.0	
6. 23	29	23.3	26.0	20.8	
6. 29	35	29.8	32.8	32.4	
7. 6	42	37.8	41.0	41.5	
7. 13	49	40.4	45.3	43.0	
7. 20	56	48.3	48.3	48.9	
7. 25	61	54.5	58.8	58.9	
8. 5	72	66.0	74.0	70.0	
8. 10	77	71.5	78.0	73.6	
8. 17	84	78.5	81.6	80.4	
8. 25	92	78.5	92.3	94.0	
8. 31	99	78.6	99.8	99.0	
9. 7	106	78.6	101.3	99.3	
9. 21	120	79.0	101.3	99.3	

<표 3-4(b)> 품종별 초장조사(대구)

생육시기		초 장 (cm)			비 고
날 짜	경과일수	조 생 종	중 생 종	만 생 종	
6. 30	42	24.3	25.6	23.2	
7. 10	52	30.7	36.0	36.3	
7. 20	62	51.0	48.3	44.7	
7. 30	72	64.7	59.3	64.0	
8. 10	83	66.7	61.0	68.3	
8. 20	93	67.7	65.7	71.3	
8. 30	103	68.7	66.7	72.3	
9. 10	114	70.3	70.3	75.3	
9. 20	124	72.0	73.3	77.7	



<그림 3-5(a)> 벼 초장 변화(수원)



<그림 3-5(b)> 벼 초장 변화(대구)

<표 3-5(a)> 품종별 분얼수 조사(수원)

생육시기		분얼수 (개)			비 고
날 짜	경과일수	조 생 종	중 생 종	만 생 종	
10. 11	수확시	27.0	20.75	21.75	

<표 3-5(b)> 품종별 분얼수 조사(대구)

생육시기		분얼수 (개)			비 고
날 짜	경과일수	조 생 종	중 생 종	만 생 종	
6. 30	42	5.5	6.5	6.0	
7. 10	52	13.0	12.5	18.0	
7. 20	62	17.0	22.7	19.7	
7. 30	72	27.0	33.3	31.0	
8. 10	82	30.7	37.0	33.3	
8. 20	92	33.7	39.3	36.3	
8. 30	102	35.7	41.0	40.3	
9. 10	112	39.0	44.7	42.7	
9. 20	122	44.0	47.0	45.3	

<표 3-6(a)> 수확량 조사(수원)

구 분	조 생 종	중 생 종	만 생 종	비 고
간 장	58.6cm	75.9cm	70.8cm	
수 장	18.1cm	19.7cm	19.4cm	
이 삭 수	92.3개	95.8개	97.3개	
이삭줄기수	14.3개	14.8개	12.5개	
이삭수(주당)	1320개	1418개	1216개	
천 립 중	26.7g	29.0g	28.3g	

<표 3-6(b)> 수확량 조사(대구)

구 분	조 생 종	중 생 종	만 생 종	비 고
간 장	63.0cm	71.6cm	56.8cm	
이 삭 수	94개	121개	115개	
이삭줄기수	17.0개	16.4개	13.8개	
이삭수(주당)	1,598개	1,984개	1,587개	
등 속 율	98%	94%	98%	
천 립 중	30g	32g	32g	

생육정도를 판별하는데 있어 초장을 기준으로 하면 수원지역은 중생종의 성장이 가장 좋았으며, 대구지역은 생육초기에는 조생종의 성장이 가장 좋았으나 생육후기에는 만생종의 성장 정도가 가장 우수하였다.

금회 실시된 시험포장의 벼 재배 및 시험방법의 적정성을 검토하기 위하여 전남 농촌진흥원의 “벼 담수직파 적정 파종기 구명시험”(박홍규, 신해중, 1993)의 생육조사 자료와 비교하여 보았다. 상기 시험은 적정파종기를 알기 위하여 4월20일 부터 6월 20일에 까지 5회에 걸쳐 조 , 중 , 만생종을 각각 파종하여 생육 및 수확량 조사를 실시한 것이며 파종시기가 금회 작물계수 시험과 동일한 5월 20일에 파종한 시험포의 생육조사 결과는 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> 농촌진흥원 시험포 생육조사 결과

구 분	조 생 종 (신운봉벼)	중 생 종 (화성벼)	중. 만생종 (동진벼)	평 균
초장(8/20일, cm)	87	99	100	95.3
간 장(cm)	68	73	76	72.3
수 장(cm)	20	19	19	19.3
이삭수(개)	79.9	72.8	78.1	76.9

동일 날짜(8월 20일)의 초장을 비교한 결과 수원에서는 평균 7.1cm가 낮게 나타났으며 대구에서는 무려 27.1cm나 낮게 나타나고 있다. 한편 간장에서는 각각 3.9cm와 8.5cm가 적게 나타났으나 이삭수에서는 오히려 높게 나타났다.

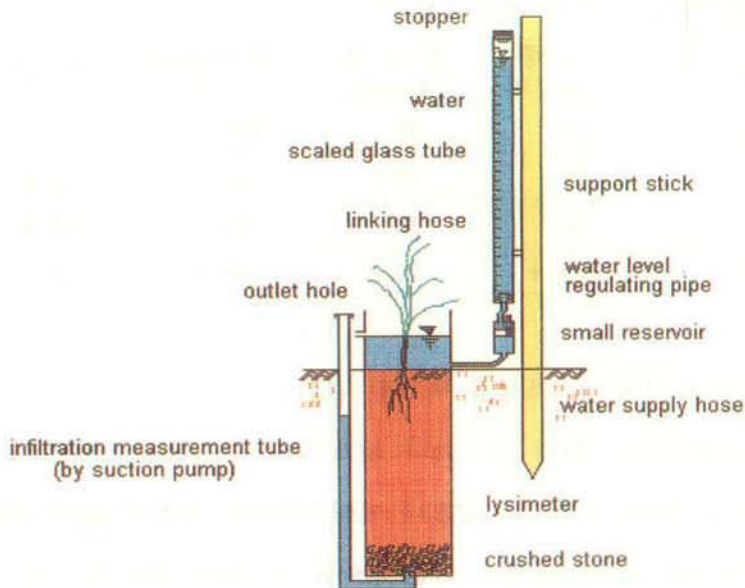
이와같은 결과로 볼 때 품종에 의한 차이를 감안해도 수원 및 대구 시험포장 모두 초기 시비, 제초관리가 원만하지 못하여 생육이 부진한 것을 알 수 있으며, 출수기에는 생육이 정상상태에 도달 했음을 알 수 있다. 따라서 실제 증발산량의 측정결과가 생육초기에 작물의 발육부진으로 많은 오차를 포함할 개연성이 높으므로 시험 포장에서는 생육초기 시비 및 제초관리에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

3.1.5 작물계수

가. 증발산량 측정

1) 증발산량 측정장치

증발산량의 측정에 이용된 소형 라이시메타는 <그림 3-6> 에서 보는 바와 같이 설치하였다. 본 장치는 물 공급장치인 Mariotte Tube와 재배수조인 라이시미터(Lysimeter)로 구분되어 있으며, 삼투량을 제외시키고 실제 증발산량을 측정하기 위하여 바닥이 있는 유저형 라이시메타를 사용하였다.



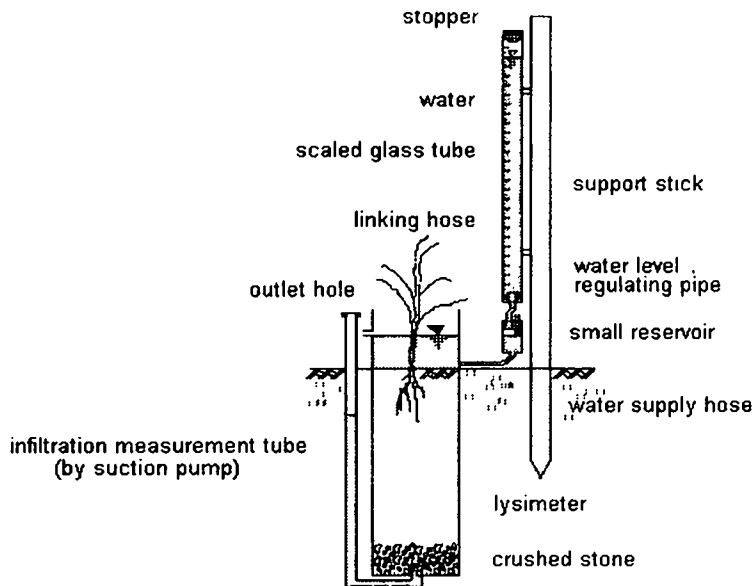
<그림 3-6> 라이시메타 구조도

3.1.5 작물계수

가. 증발산량 측정

1) 증발산량 측정장치

증발산량의 측정에 이용된 소형 라이시메타는 <그림 3-6> 에서 보는 바와 같이 설치하였다. 본 장치는 물 공급장치인 Mariotte Tube와 재배수조인 라이시미터(Lysimeter)로 구분되어 있으며, 삼투량을 제외시키고 실제 증발산량을 측정하기 위하여 바닥이 있는 유저형 라이시메타를 사용하였다.



<그림 3-6> 라이시메타 구조도

2) 측정방법

라이시미터를 시험포장에 매설하고 범씨의 발아 후 초기에는 눈금자로써 담수심을 측정하여 조사하고 초장이 15-20cm 이상 되었을 때부터 담수를 시작하여 오전 10시를 기준으로 Mariotte Tube에 물을 채우고 다음날 오전 10시에 Mariotte Tube의 수위 강하량을 측정하여 증발산량을 측정하였다.

증발산량 측정은 유저형 라이시미터에서 조생종, 중생종, 만생종 3개품종에 대하여 수원지역은 4반복으로 대구지역은 3반복으로 측정하였으며 이때 라이시미터의 담수심은 6cm로 하였다. 수원지역의 경우 교차검증을 위하여 사각형 유저 라이시미터를 설치하여 담수심의 강하량을 측정하였다.

3) 측정결과

유저형 라이시미터를 이용하여 수원지역과 대구지역에서 측정한 순별 평균 증발산량은 <표 3-8>과 <그림 3-7>과 같다. 수원지역에서는 7월 하순에 7일간에 걸쳐 중간낙수를 실시하였으며 대구지역에서는 8월 초순에 10일간의 중간낙수를 실시하였다. 측정한 일별 증발산량값을 각 품종별로 비교하여 관측자의 실수 및 Marriote Tube에 문제가 발생하여 오류가 있는 데이터로 판단되는 날짜의 측정값은 제외하였다. 수원지역과 대구지역의 일별 증발산량측정 결과는 <부록 II>에 수록하였다.

측정결과를 살펴보면 생육기간 동안의 평균 증발산량이 수원지역에서는 조생종 4.8mm, 중생종과 만생종이 5.8mm, 5.5mm로 측정되어 중생종, 만생종, 조생종의 순으로 크게 나타났으며 대구지역에서는 조생종 4.8mm, 중생종 5.0mm, 만생종 4.8mm로 중생종, 조생종, 만생종의 순으로 크게 나타났다. 또한 수원지역의 평균 증발산량이 대구지역의 평균 증발산량보다 조생종은 동일하게 나타났으나 중생종과 만생종은 16%, 15%로 크게 나타났다. 생육기간동안 순별 평균 최대

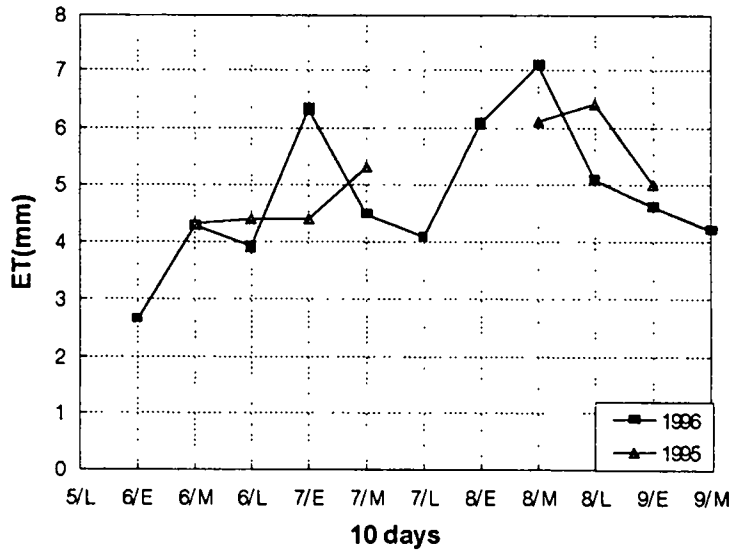
증발산량은 수원에서는 8월 중순에 7.9mm로 나타났으며 대구에서는 7월 하순에 8.1mm로 나타났다.

한편, '95년도 평균증발산량과 '96년도 평균증발산량을 비교하면 수원에서는 조생종은 0.3mm 작게, 중·만생종은 0.4, 0.3mm 크게 나타났으며, 대구에서는 조, 중, 만생종 모두 작게 나타났는데 이는 기상조건 등의 변화에 기인한 것으로 사료된다.

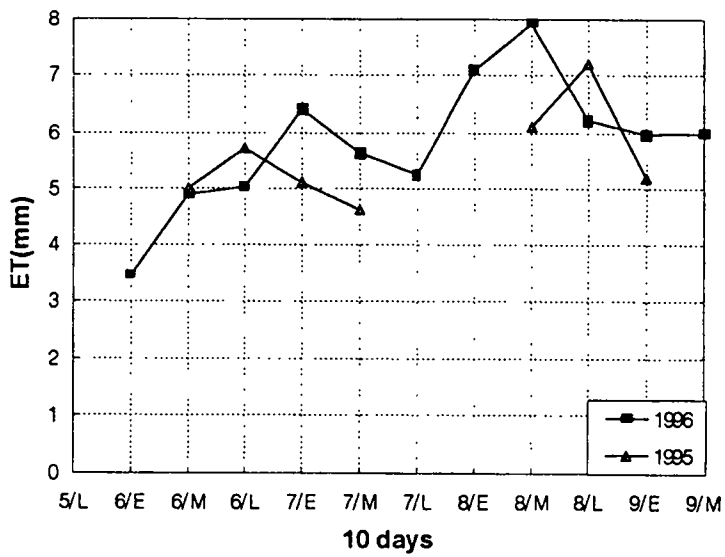
<표 3-8> 증발산량 측정 결과(순별 평균)

(단위 : mm/day)

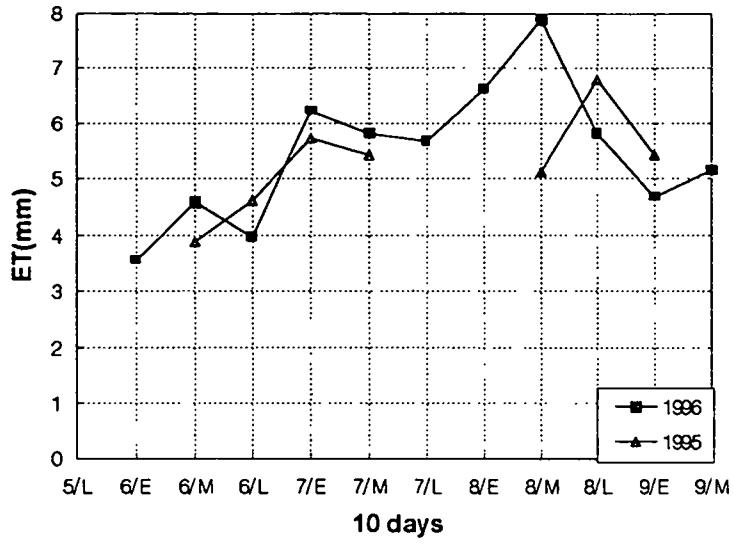
지역	구분	년도	5월	6월		7월			8월			9월		평균	
			하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상		중
수원	조생종	95	-	-	4.3	4.4	4.4	5.3	-	-	6.1	6.4	5.0	-	5.1
		96	-	2.7	4.3	3.9	6.3	4.5	4.1	6.1	7.1	5.1	4.6	4.2	4.8
	중생종	95	-	-	5.0	5.7	5.1	4.6	-	-	6.1	7.2	5.2	-	5.4
		96	-	3.5	4.9	5.0	6.4	5.6	5.2	7.1	7.9	6.2	6.0	6.0	5.8
	만생종	95	-	-	3.9	4.6	5.7	5.4	-	-	5.1	6.8	5.4	-	5.2
		96	-	3.6	4.6	4.0	6.2	5.8	5.7	6.6	7.9	5.8	4.7	5.1	5.5
대구	조생종	95	-	5.3	4.9	5.1	4.6	7.4	6.5	4.2	7.8	4.8	2.2	-	5.3
		96	3.9	3.7	3.4	3.3	4.4	4.6	7.3	-	7.2	4.7	5.4	4.3	4.8
	중생종	95	-	5.3	4.9	5.2	4.6	8.1	6.9	4.2	8.2	5.0	2.4	-	5.5
		96	3.9	3.7	3.3	3.2	4.2	4.8	8.1	-	8.0	5.1	5.9	4.3	5.0
	만생종	95	-	5.1	4.8	5.0	4.8	7.7	6.7	4.4	8.0	5.0	4.3	-	5.6
		96	3.9	3.7	3.3	3.2	4.1	4.3	7.4	-	7.4	4.9	5.7	4.2	4.8



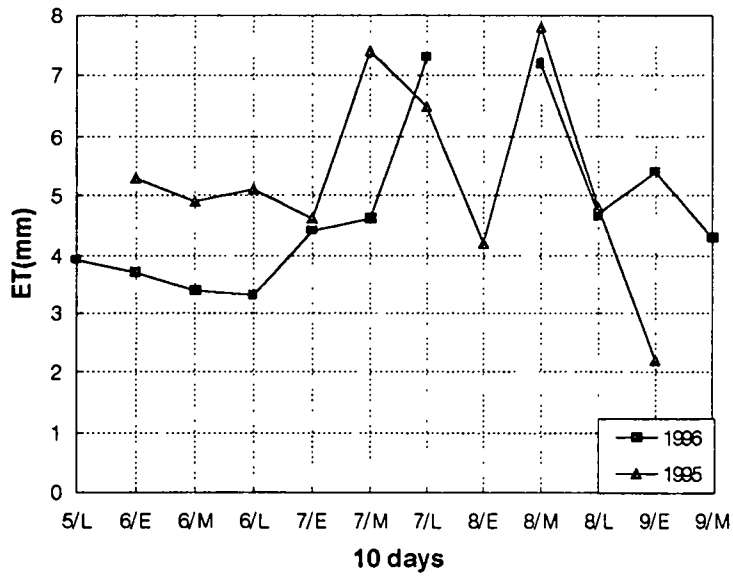
<그림 3.7(a)> 순별 평균 증발산량(수원, 조생종)



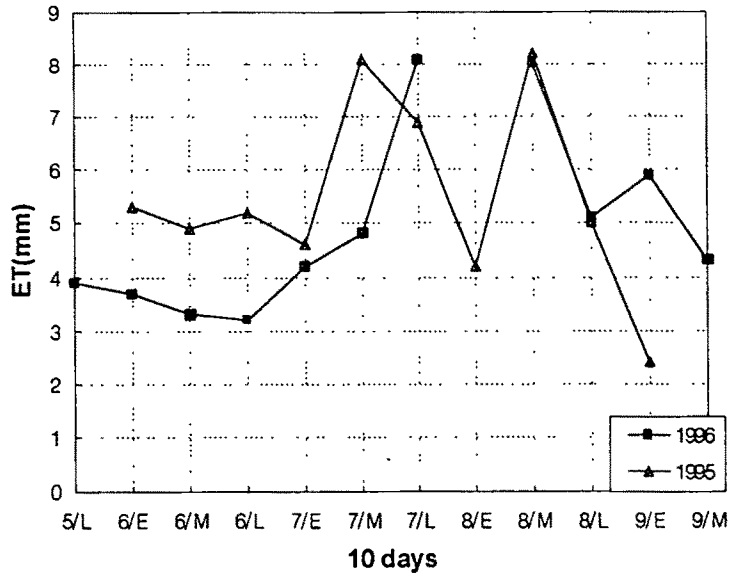
<그림 3-7(b)> 순별 평균 증발산량(수원, 중생종)



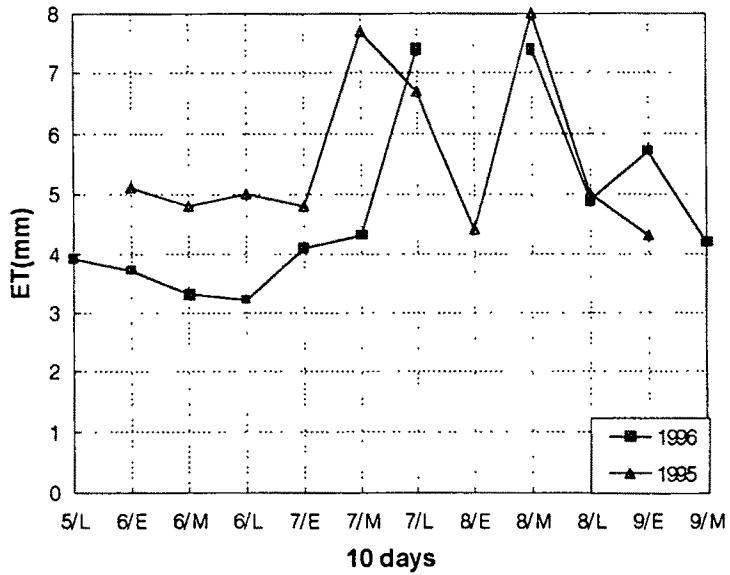
<그림 3-7(c)> 순별 평균 증발산량(수원, 만생종)



<그림 3-7(d)> 순별 평균 증발산량(대구, 조생종)



<그림 3-7(e)> 순별 평균 증발산량(대구, 중생중)



<그림 3-7(f)> 순별 평균 증발산량(대구, 만생중)

나. 잠재증발산량의 산정방법

본 시험연구에서는 우리나라에 소개된 잠재증발산량 산정 공식들 중 수정 Penman식과 Blaney-Criddle식을 이용하여 잠재증발산량을 계산하였다.

1) 수정 Penman식

이 공식은 원래 Penman(1948)이 발표한 것이지만 그동안 많이 수정시켜 왔으며 복합적 기상요인을 많이 포함하고 있기 때문에 정확성이 높고 일 단위 잠재증발산량을 산정할 수 있어 관개계획 수립(Irrigation Scheduling), 수문모형 운용 등에 많이 이용하고 있다. Penman이 1948년에 발표한 식은 식(3-1)과 같다.

$$ET_o = C [W(R_n - G) + (1 - W)f(u)(e_a - e_d)] \quad (3-1)$$

여기서, C : 상대습도, 일사량, 밤과 낮의 풍속차에 따라 결정되는 보정계수

$$W: \text{온도에 관한 계수} (= \frac{\Delta}{\Delta + r})$$

R_n : Net Radiation

G : 토양열전달량(mm/일)

r : 건습구계수(mb/°C)

$$r = 0.386P/L$$

P : 평균기압(Average Station Barometric Pressure: mb)

L : 기화잠열(Latent heat of vaporization: Cal/g)

Δ : 증기압의 기온에 대한 기울기(mb/°C)

$$f(u) = 0.27(1 + u/100)$$

u : 풍속(km/day)

e_a : 평균기온에서의 포화증기압(mbar)

e_d : 실제 대기의 평균 증기압(mbar)

등으로 나타낼 수 있다.

Penman공식 중 토양열전달량은 고려하기 힘들 뿐만 아니라 그 양이 미소 하므로 본 연구에서는 Doorenbos & Pruitt(1977)가 수정하여 FAO Paper Vol. 24에 발표한 식(3-2)를 사용하였다.

$$ET_0 = C [W \cdot R_n + (1 - W)f(u)(e_a - e_d)] \quad (3-2)$$

$$C = 0.6817006 + 0.0027864 \times RHmax + 0.0181768 \times rs \\ - 0.0682501 \times vday + 0.0126514 \times vratio + 0.0097297 \times vday \times vratio \\ + 0.043025 \times 10^{-4} \times RHmax \times rs \times vday \\ - 0.92118 \times 10^{-7} \times RHmax \times vratio \times rs \quad (Frevert, 1982)$$

여기서, $RHmax$ = 최대상대습도

$vday$ = 낮기간의평균풍속

$vratio$ = 낮과밤의풍속비

rs = 태양 복사열 이다.

2) Blaney-Criddle(B-C)식

이 방법은 우리 나라에서 농업용수 개발계획 설계시의 증발산량 산정공식으로 널리 알려져 있으며, 온도와 주간시간 백분율 자료만 있으면 잠재증발산량을 쉽게 계산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 순 또는 월단위의 잠재증발산량 산정에는 적합하나 일 단위의 증발산량 산정에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

여기에 사용된 공식은 Doorenbos & Pruitt(1977)가 연구 발표한 FAO Paper Vol. 24에 발표한 식이다.

$$ET_0 = a + b [P (0.46T + 8.13)] \quad (3-3)$$

여기서 ET_0 : 잠재증발산량(mm/일)

P : 주간시간백분율(%)

T : 평균기온(°C)

$$a : 0.043RH_{\min} - \frac{n}{N} - 1.41$$

$$b : 0.81917 - 0.0040922RH_{\min} + 1.0705 \frac{n}{N} + 0.065649U_d - 0.0059684RH_{\min} \frac{n}{N} - 0.0005967RH_{\min} U_d$$

n/N : 가능최대일조시간과 실제일조시간비

RH_{\min} : 최저 일상대습도

U_d : 지상 2m의 주간풍속(m/sec)을 나타낸다.

다만, 본 연구에서는 U_d 의 값을 얻을 수가 없었으므로, a와 b의 값을 사용하지 않는 식을 사용하였다.

<표 3-9> 위도별 년주간시간 백분율(P)

월 위도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30°	0.239	0.253	0.268	0.286	0.303	0.316	0.313	0.300	0.281	0.258	0.240	0.232
35°	0.231	0.248	0.268	0.291	0.312	0.328	0.321	0.304	0.281	0.254	0.231	0.221
40°	0.220	0.243	0.268	0.297	0.322	0.341	0.330	0.309	0.281	0.250	0.222	0.209

다. 잠재증발산량의 산정

잠재증발산량의 산정은 앞에서 제시한 수정 Penman공식과 Blaney-Criddle공식을 사용하여 산정하였다. 두 식에 대해서 각각 수원지역과 대구지역의 해당 측후소의 기상자료로 부터 순별 평균 잠재증발산량을 산정한 결과는 <표 3-10>, <표 3-11> 및 <그림 3-8>과 같다.

한편, '95년도 평균 잠재증발산량과 '96년도 평균 잠재증발산량을 비교하면 Penman식에 의한 잠재증발산량의 값은 수원에서는 '96년도 값이 크게 나타났으며,

대구에서는 '96년도 값이 작게 나타나 실측한 증발산량과 비슷한 경향을 나타내었다. Blaney-Criddle식에 의한 잠재증발산량은 '95년도와 '96년도의 평균 잠재증발산량이 수원지역과 대구지역에서 거의 같은 값을 나타내어 Penman 잠재증발산량 공식보다 기상조건에 민감하지 못함을 알 수 있다.

<표 3-10> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(수정 Penman式)

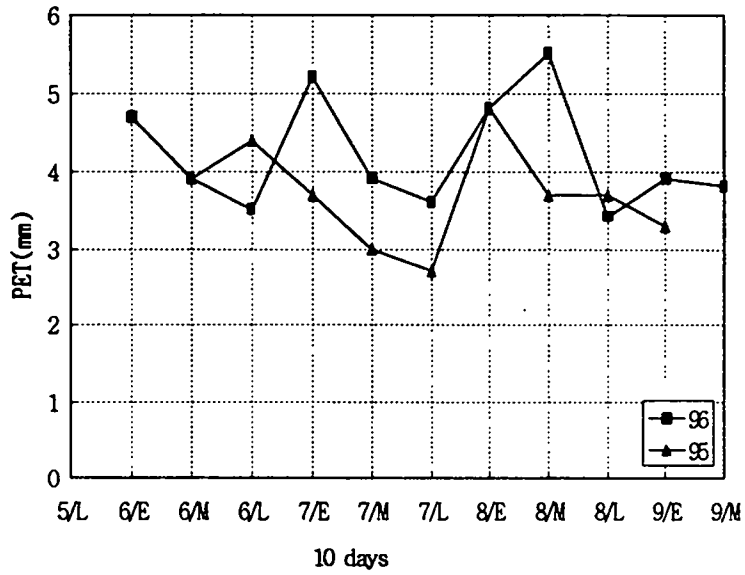
(단위: mm)

지역	년도	5월	6월		7월			8월			9월		평균	
		하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상		중
수원	95	-	-	3.9	4.4	3.7	3.0	2.7	4.8	3.7	3.7	3.3	-	3.7
	96		4.7	3.9	3.5	5.2	3.9	3.6	4.8	5.5	3.4	3.9	3.8	4.2
대구	95	-	4.7	4.7	4.9	3.7	4.5	5.2	6.4	4.2	3.2	2.7	-	4.4
	96	4.1	3.7	3.2	2.7	3.5	3.7	4.9	5.5	5.2	2.8	3.2	3.1	3.8

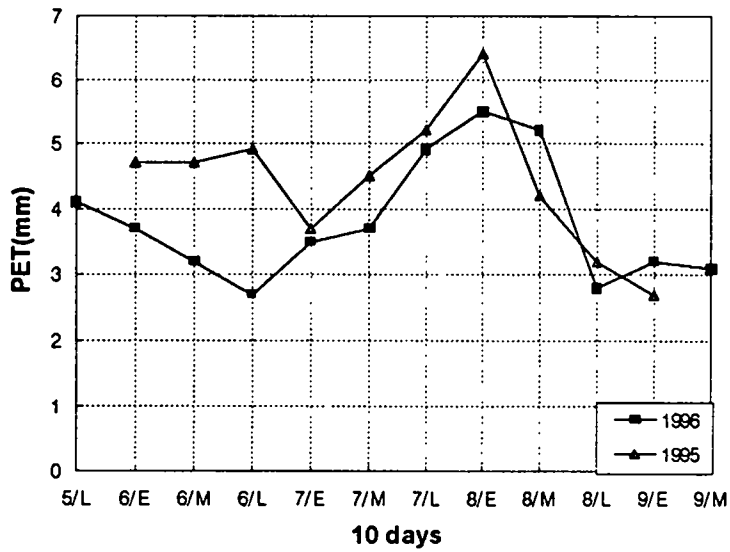
<표 3-11> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(Blaney-Criddle식)

(단위: mm)

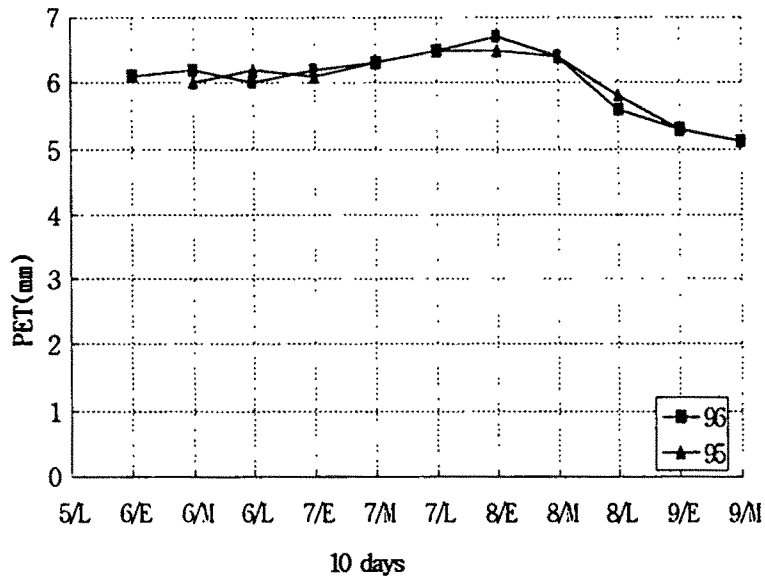
지역	년도	5월	6월		7월			8월			9월		평균	
		하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상		중
수원	95	-	-	6.0	6.2	6.1	6.3	6.5	6.5	6.4	5.8	5.3	-	6.1
	96		6.1	6.2	6.0	6.2	6.3	6.5	6.7	6.4	5.6	5.3	5.1	6.0
대구	95	-	5.6	5.6	6.1	6.3	6.6	6.6	6.9	6.6	6.0	5.4	-	6.2
	96	5.8	5.9	6.2	5.9	5.8	6.3	6.9	6.7	6.5	5.6	5.3	5.2	6.2



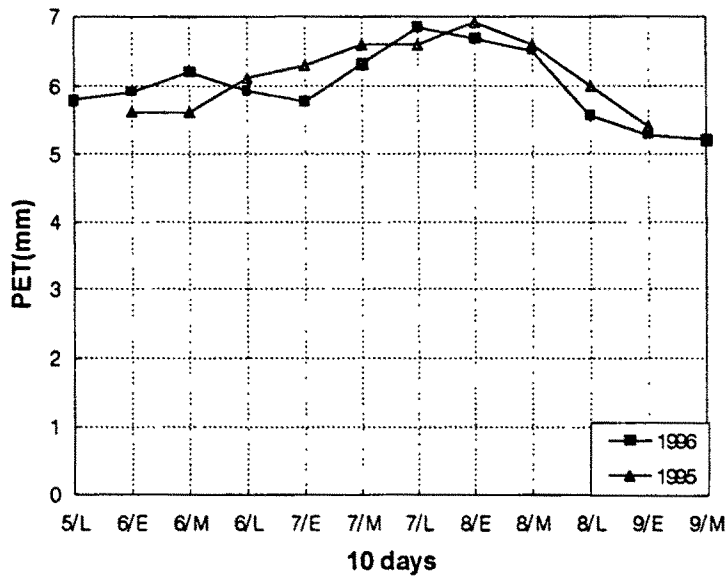
<그림 3-8(a)> 순별 평균 잠재증발산량(Penman, 수원)



<그림 3-8(b)> 순별 평균 잠재증발산량(Penman, 대구)



<그림 3-8(c)> 순별 평균 잠재증발산량(B-C, 수원)



<그림 3-8(d)> 순별 평균 잠재증발산량(B-C, 대구)

라. 작물계수

수정Penman공식에 의한 생육기간 동안의 평균 작물계수는 수원이 조생종은 1.47, 중생종이 1.78, 만생종이 1.66이었고, 대구에서는 각각 1.30, 1.35, 1.30이었다. 이는 '95년도 수정 Penman 공식의 작물계수 보다 조, 중, 만생종 모두 수원지역에서는 0.03, 0.27, 0.18 증가하였고, 대구지역에서는 0.15, 0.15, 0.16 감소한 것으로 나타났다. 이는 기상요인의 변화와 측정오차 등에 기인한 것으로 사료되며, 작물계수의 순별 변화를 살펴보면 <그림 3-9(a)~(f)>에서 보는 바와 같이 변화되는 경향이 '95년도와 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

Blaney-Criddle 공식에 의한 생육기간 동안의 평균 작물계수는 수원에서는 조생종이 0.79, 중생종이 0.97, 만생종이 0.90이었고, 대구에서는 각각 0.79, 0.82, 0.79이었다. '95년도의 작물계수와 비교하면 수원지역에서 조생종은 0.07 감소하였으며 중, 만생종은 0.06, 0.03 증가한 값을 나타냈다. 대구지역에서는 조, 중생종은 0.15, 만생종은 0.16 작게 나타나 Penman 공식에 의한 작물계수와 같은 경향을 나타내었다. 작물계수의 순별 변화를 살펴보면 <그림 3-10(a)~(f)> 에서 보는 바와 같이 수원지역은 '95년도 작물계수 순별 변화와 '96년도의 변화가 비슷한 양상으로 나타났으나, 대구지역은 생육초기에 '95년도 보다 작게 나타났음을 알 수 있으며 이는 파종시기의 조정에 따른 생육환경의 변화와 기상요인의 변화에 의한 것으로 사료된다. 이와같은 변화의 요인들은 기상요인에 의한 것처럼 불가피한 경우도 있지만 파종시기의 조정, 생육환경의 변화 등은 인위적으로 극복될 수 있는 것이다. 파종시기를 동일하게 하고 생육환경을 일정하게 유지하기 위하여 표준적인 재배방법을 설정하여 매년 동일하게 적용해야 한다. 작물계수 시험의 최종 년도에는 이와 같은 변화요인들을 연도별로 분석하여 자료에 대한 보정을 해주어야 할 것이다.

수정 Penman공식에 의한 순별 최대 작물계수는 수원지역에서는 2.27로 8월 하순 중생종의 경우에 나타났으며, 대구지역도 수원지역과 마찬가지로 8월 하순 및 9월 초순 중생종의 경우에 1.81로 나타났다. 수정 Penman공식과

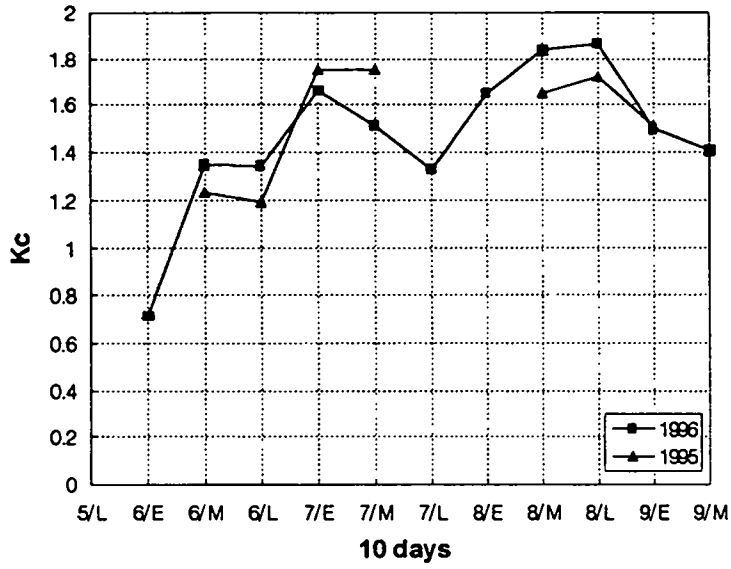
Blaney-Criddle공식에 의한 각 품종별 작물계수를 순별로 정리한 결과는 <표 3-12>, <표 3-13> 및 <그림 3-9>, <그림 3-10>과 같다.

<표 3-12> 지역별 순별 작물계수(수정 Penman식)

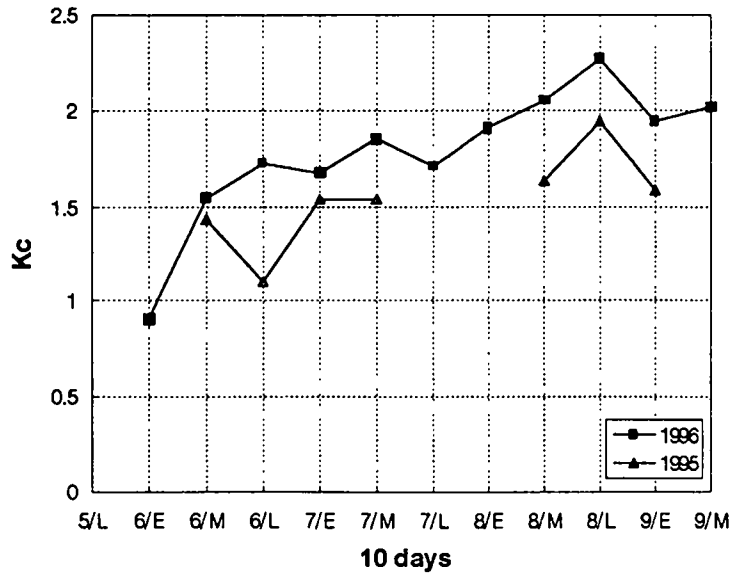
지역	시기 구분	년도	5월		6월		7월			8월			9월		평균
			하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	
수원	조생종	95	-	-	1.23	1.19	1.75	1.75	-	-	1.65	1.72	1.51	-	1.44
		96	-	0.71	1.35	1.34	1.66	1.51	1.33	1.65	1.84	1.86	1.50	1.41	1.47
	중생종	95	-	-	1.43	1.10	1.54	1.54	-	-	1.64	1.95	1.59	-	1.51
		96	-	0.90	1.55	1.73	1.68	1.86	1.71	1.91	2.05	2.27	1.95	2.02	1.78
	만생종	95	-	-	1.12	1.55	1.81	1.81	-	-	1.36	1.84	1.63	-	1.48
		96	-	0.93	1.41	1.37	1.64	1.93	1.85	1.81	2.03	2.01	1.52	1.73	1.66
대구	조생종	95	-	1.11	1.11	1.10	1.41	1.70	1.38	1.70	1.78	1.69	1.22	-	1.42
		96	0.96	1.01	1.04	1.21	1.24	1.25	1.48	-	1.39	1.65	1.67	1.34	1.30
	중생종	95	-	1.11	1.12	1.26	1.41	1.85	1.46	1.70	1.87	1.76	1.33	-	1.49
		96	0.96	1.02	1.03	1.20	1.18	1.31	1.65	-	1.54	1.81	1.81	1.37	1.35
	만생종	95	-	1.08	1.08	1.08	1.48	1.76	1.41	1.79	1.82	1.73	1.60	-	1.48
		96	0.96	1.00	1.03	1.17	1.15	1.18	1.49	-	1.42	1.75	1.76	1.30	1.30

<표 3-13> 지역별 순별 작물계수(Blaney-Criddle식)

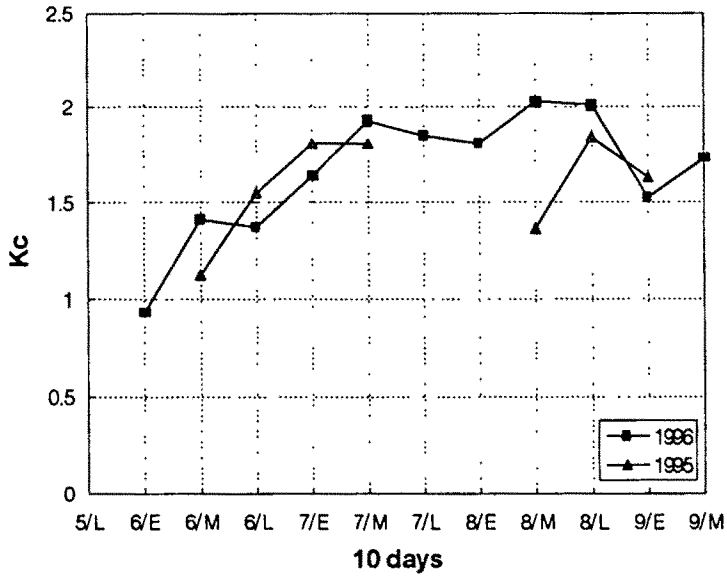
지역	시기 구분	년도	5월		6월		7월			8월			9월		평균
			하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	
수원	조생종	95	-	-	0.72	0.71	0.72	0.83	-	-	0.96	1.10	0.94	-	0.86
		96	-	0.44	0.69	0.65	1.02	0.71	0.62	0.91	1.11	0.91	0.86	0.81	0.79
	중생종	95	-	-	0.84	0.92	0.66	0.74	-	-	0.96	1.24	0.99	-	0.91
		96	-	0.57	0.79	0.84	1.04	0.90	0.80	1.06	1.24	1.11	1.12	1.16	0.97
	만생종	95	-	-	0.66	0.75	0.94	0.86	-	-	0.70	1.17	1.02	-	0.87
		96	-	0.59	0.74	0.66	1.01	0.92	0.87	0.99	1.24	1.04	0.87	1.00	0.90
대구	조생종	95	-	0.94	0.84	0.82	0.72	1.12	0.97	1.22	1.17	0.81	0.78	-	0.94
		96	0.68	0.62	0.53	0.55	0.76	0.72	1.06	-	1.11	0.82	1.02	0.78	0.79
	중생종	95	-	0.94	0.84	0.85	0.72	1.22	1.03	1.22	1.24	0.84	0.84	-	0.97
		96	0.68	0.62	0.53	0.54	0.72	0.70	1.18	-	1.23	0.90	1.11	0.82	0.82
	만생종	95	-	0.92	0.82	0.80	0.75	1.16	0.99	1.28	1.20	0.83	0.79	-	0.95
		96	0.68	0.61	0.53	0.54	0.70	0.68	1.07	-	1.14	0.87	1.08	0.81	0.79



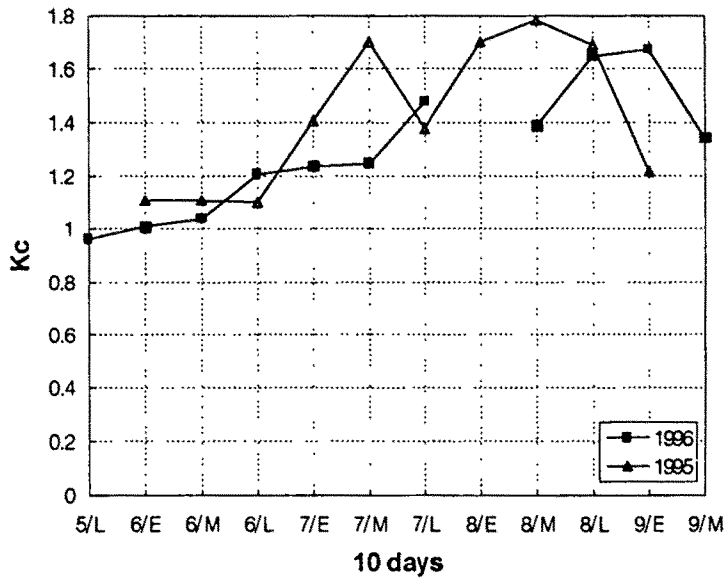
<그림 <3-9(a)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(수원, 조생종)



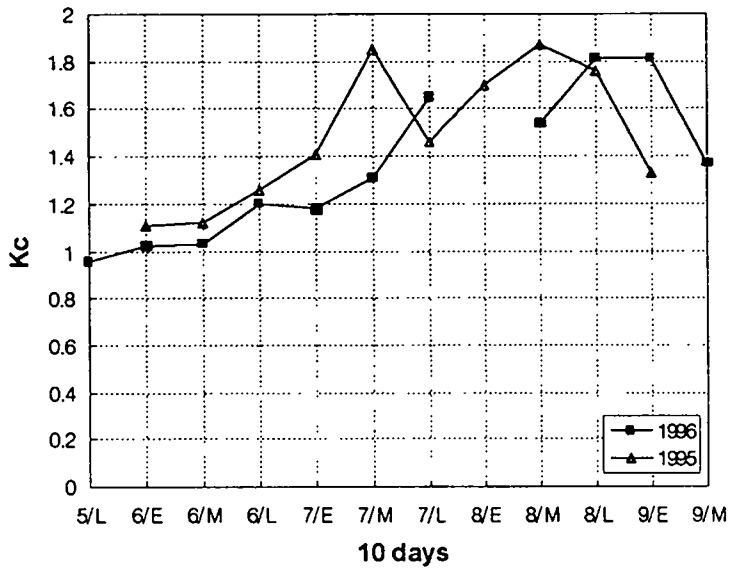
<그림 3-9(b)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(수원, 중생종)



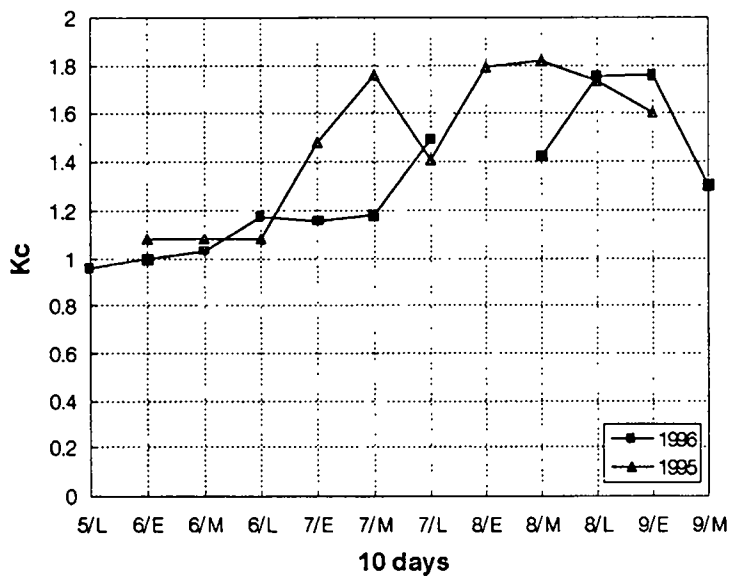
<그림 3-9(c)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(수원, 만생종)



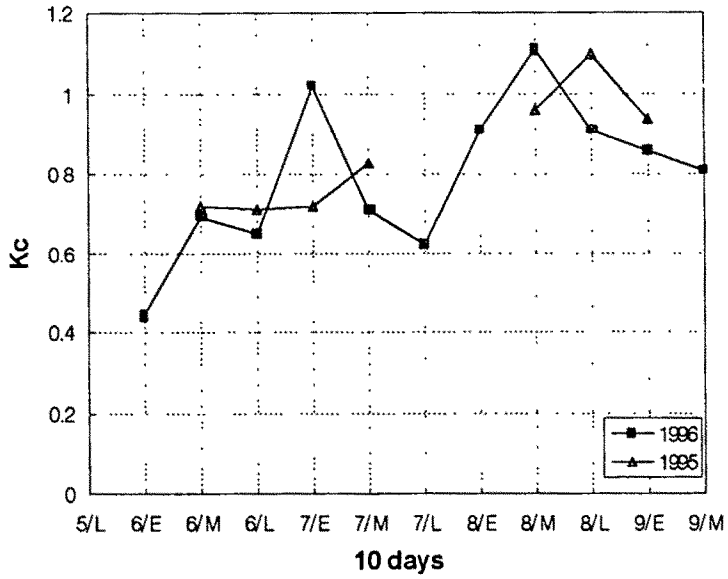
<그림 3-9(d)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(대구, 조생종)



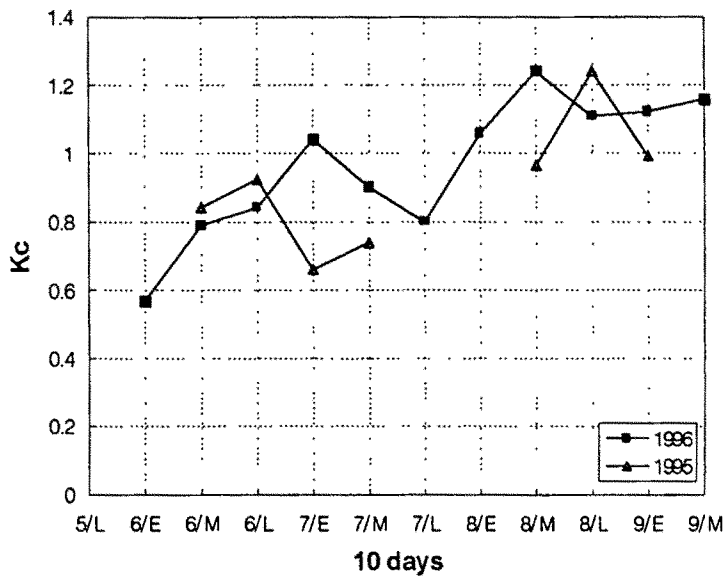
<그림 3-9(e)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(대구, 중생종)



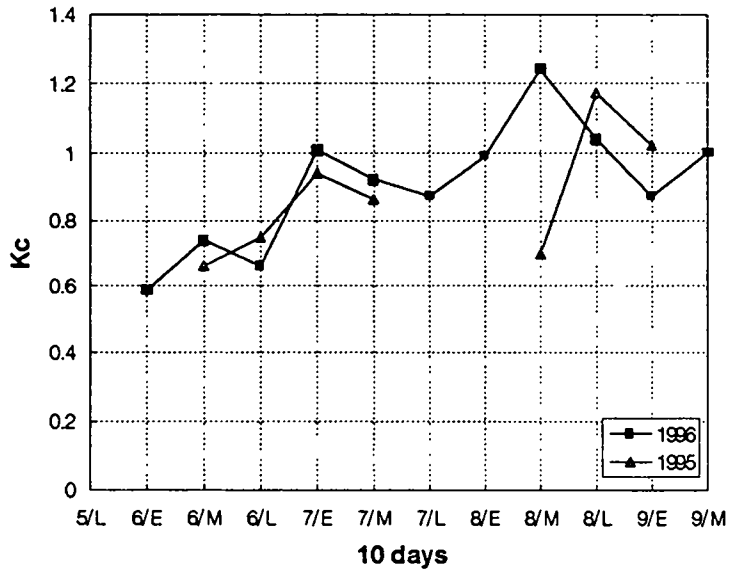
<그림 3-9(f)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(대구, 만생종)



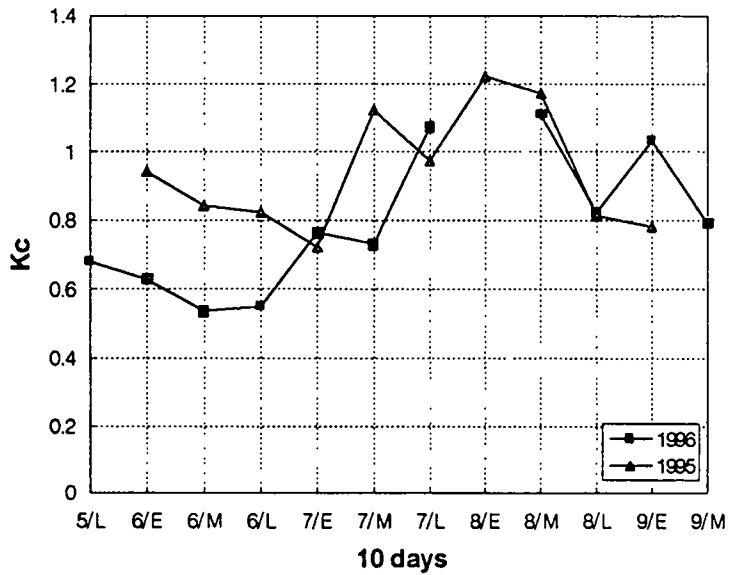
<그림 3-10(a)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(수원, 조생종)



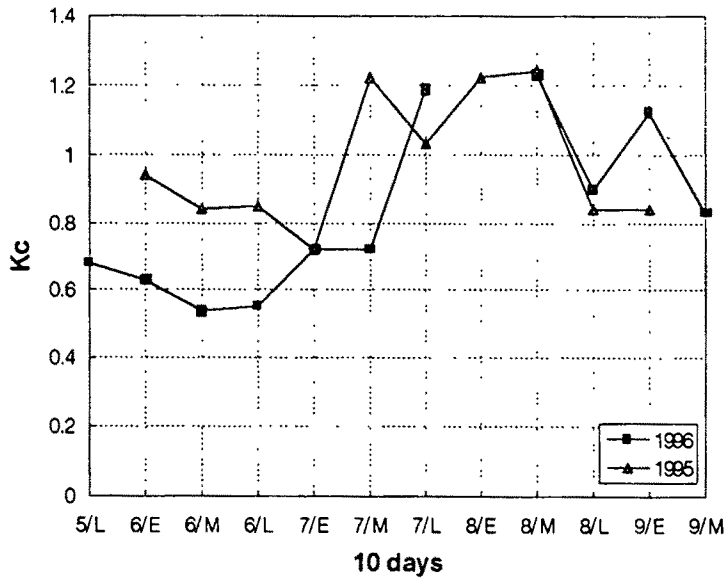
<그림 3-10(b)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(수원, 중생종)



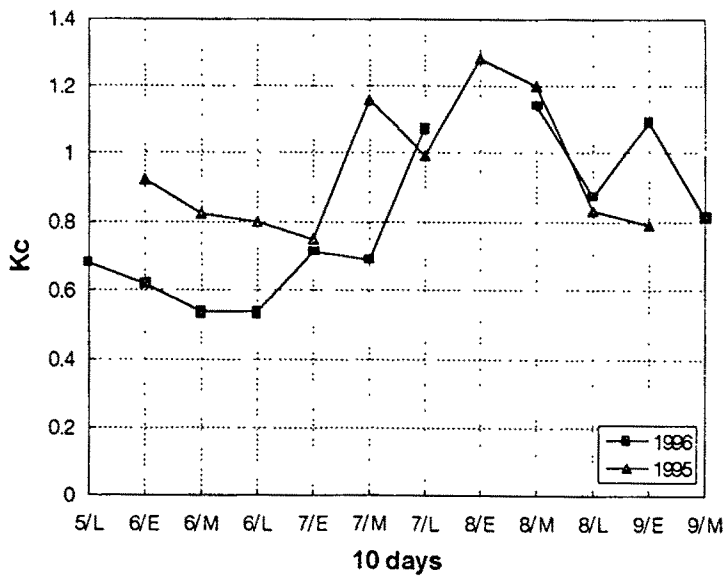
<그림 3-10(c)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(수원, 만생종)



<그림 3-10(d)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(대구, 조생종)



<그림 3-10(e)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(대구, 중생종)



<그림 3-10(f)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(대구, 만생종)

3.2 포장용수량 시험

3.2.1 시험의 목적

본 포장용수량 시험의 목적은 벼의 파종을 위한 정지 작업에서부터 본답 관개기까지 필요한 용수량을 측정하는 것으로서 직파재배는 이앙재배와는 본답 관개기까지의 영농방식이 전혀 다르므로 이에 대한 관개수량의 조사와 계산방법에 대한 정립이 요구된다. 한편 직파재배에서도 건답직파와 답수직파가 파종 방법이 서로 다르고 토양수분의 유지수준 등이 서로 다르므로 이에 대한 고찰 역시 필요할 것이다. 따라서 본 시험은 직파재배의 포장용수량을 산정하기 위한 기초자료를 수집하기 위하여 경기도 농촌진흥원 시험포장에서 직파와 이앙재배를 시행하였다.

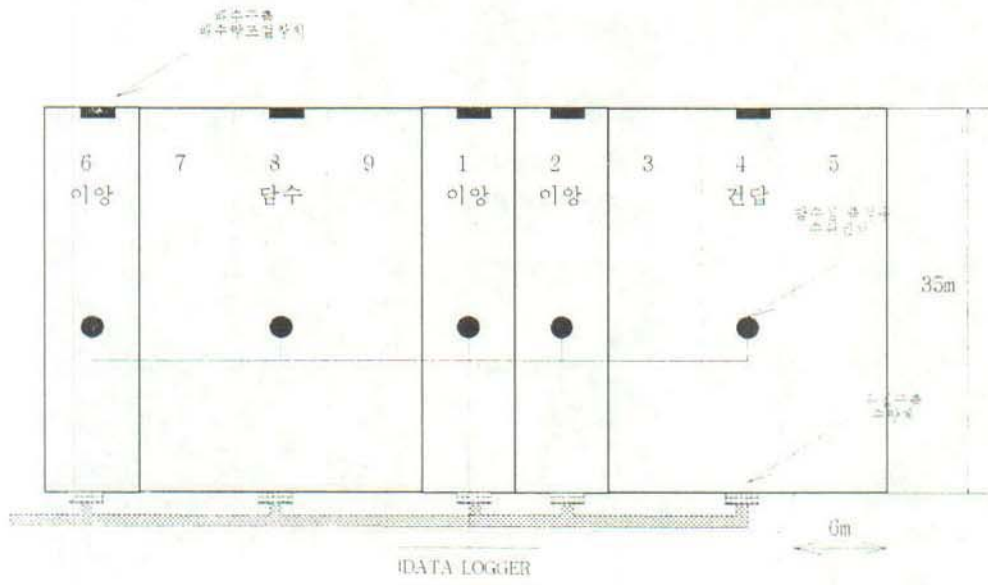
3.2.2 시험포장

가. 시험포장의 배치

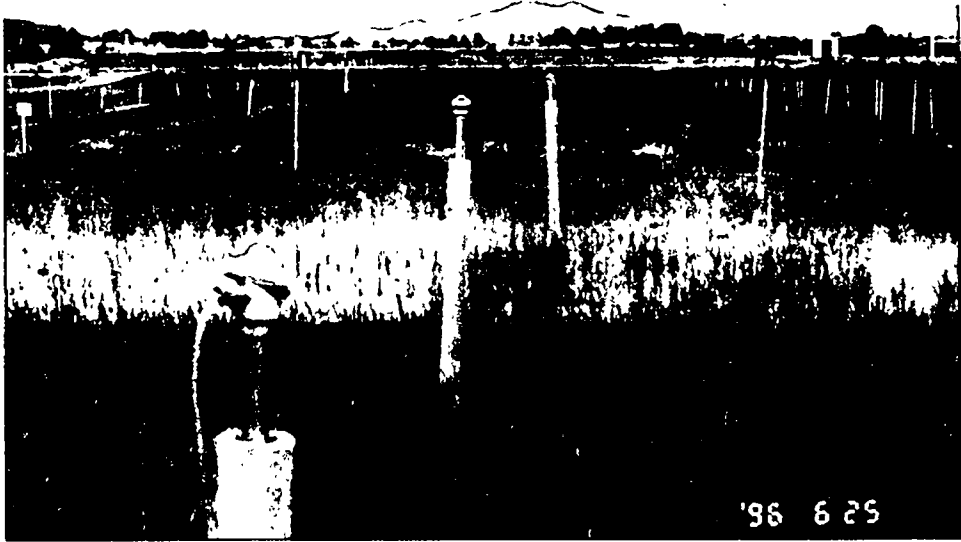
본 시험을 위한 시험포장은 경기도 화성군 태안면에 있는 경기도 농촌진흥원 내에 위치한 답포장의 일부에 설치되었다. 경기도 농촌진흥원은 기상 측정시설이 설치되어 있어 기상자료의 수집과 소비수량의 분석에 용이한 지역이다. 본 시험 포장의 전경과 포장의 배치는 <그림 3-11>, <그림 3-12>와 같다.



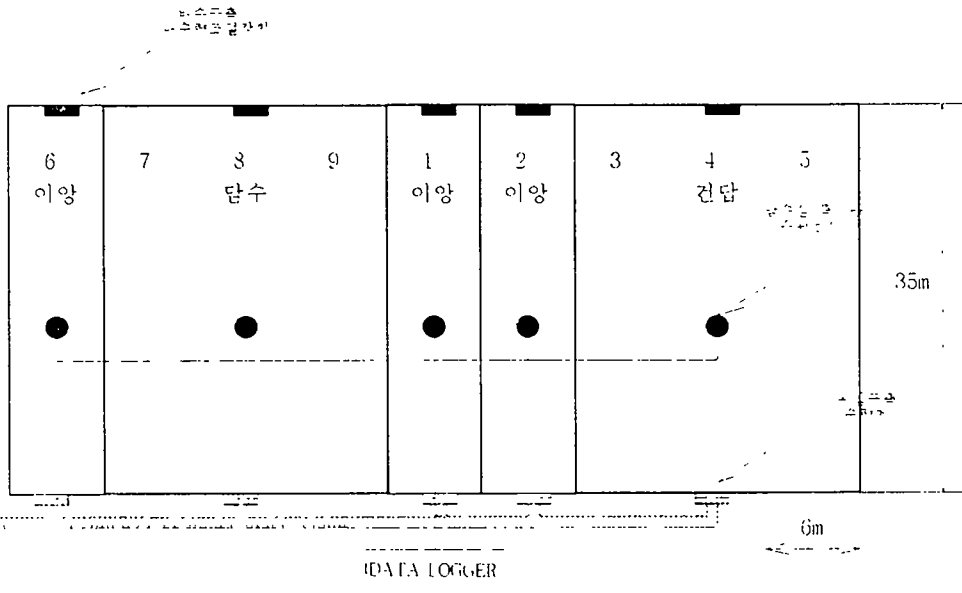
<그림 3-11> 시험 포장의 전경(경기도 농촌진흥원)



<그림 3-12> 포장의 배치



<그림 3-11> 시험 포장의 전경(경기도 농촌진흥원)



<그림 3-12> 포장의 배치

나. 측정장치의 설치

용수량을 측정하기 위해서는 포장에서의 물수지를 파악할 수 있는 각종 측정기구의 설치가 필요하다. 본 시험에서는 유량계, 배수량 측정용 사각 웨어, 담수심 측정용 센서와 <그림 3-13>와 같은 자료 수집장치가 설치되어 운영되었으며, 시험장내 기구설치 배치도는 <그림 3-12>와 같고, 각 측정기구와 그의 용도를 살펴보면 다음과 같다.

1) 관개수량 측정

시험포장의 관개는 직경 25mm의 PVC 파이프 라인을 이용하여 공급하였으며, 각 시험구마다 <그림 3-14>과 같이 유량계를 설치하여 관개수량을 측정하였다.



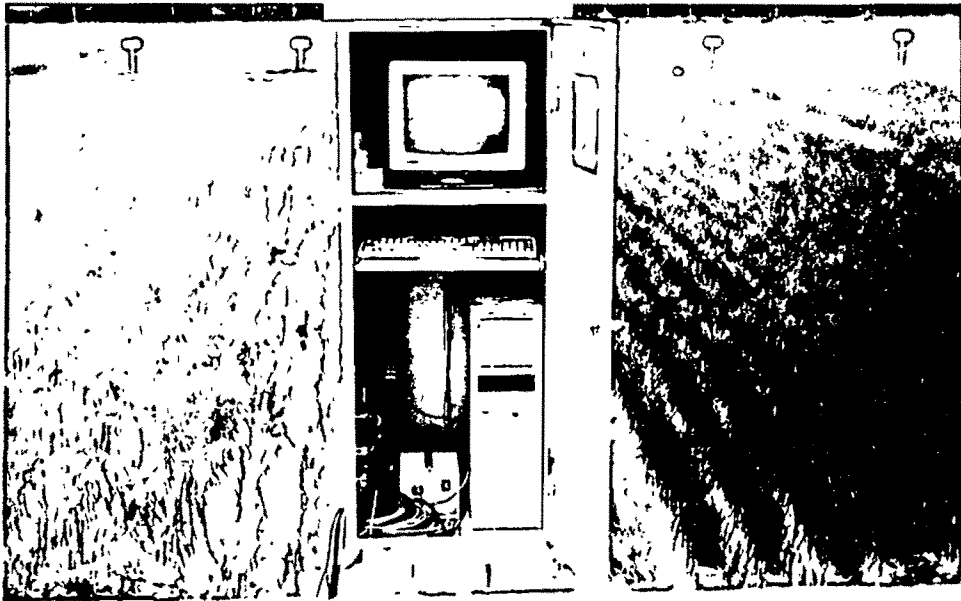
<그림 3-13> 담수심 측정용 자료수집 장치

나. 측정장치의 설치

용수량을 측정하기 위해서는 포장에서의 물수지를 파악할 수 있는 각종 측정기구의 설치가 필요하다. 본 시험에서는 유량계, 배수량 측정용 사각 웨어, 담수심 측정용 센서와 <그림 3-13>와 같은 자료 수집장치가 설치되어 운영되었으며, 시험장내 기구설치 배치도는 <그림 3-12>와 같고, 각 측정기구와 그의 용도를 살펴보면 다음과 같다.

1) 관개수량 측정

시험포장의 관개는 직경 25mm의 PVC 파이프 라인을 이용하여 공급하였으며, 각 시험구마다 <그림 3-14>과 같이 유량계를 설치하여 관개수량을 측정하였다.



<그림 3-13> 담수심 측정용 자료수집 장치



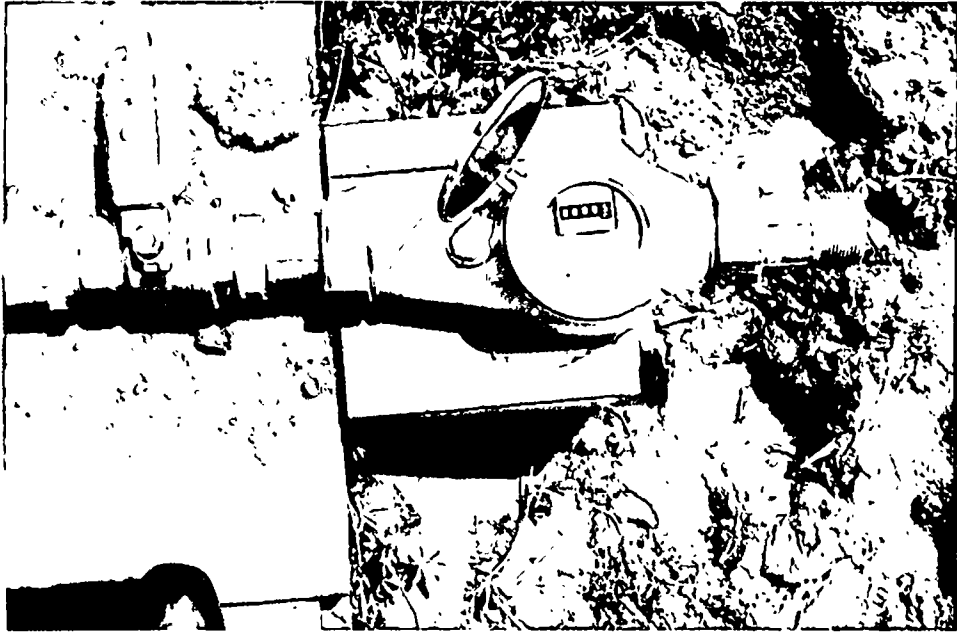
〈그림 3-14〉 관개수량 측정용 유량계

2) 담수심 측정

시험포장에서의 감수심을 측정하기 위하여 시험구마다 압력식 수위 센서를 설치하였으며, 5개 센서로부터 얻어지는 자료는 10분마다 자동으로 자료 수집 장치에 저장될 수 있도록 하였다. 측정에 사용된 센서의 제원 및 특징은 〈표 3-14〉과 같고, 설치 상황은 〈그림 3-15〉와 같다.

〈표 3-14〉 담수심 측정용 수위센서의 제원 및 특징

종 류	압력식 수위센서	비 고
장 점	구조가 간단하고 소형가동부가 없음 파동, 동결에 의한 영향이 작음	
단 점	온도에 민감, 불결해지기 쉬움	
측정범위	0 - 500mm	
입력전압	DC 5V	
출력전압	DC 0.5V - 4.5V	



〈그림 3-14〉 관개수량 측정용 유량계

2) 담수심 측정

시험포장에서 감수심을 측정하기 위하여 시험구마다 압력식 수위 센서를 설치하였으며, 5개 센서로부터 얻어지는 자료는 10분마다 자동으로 자료 수집 장치에 저장될 수 있도록 하였다. 측정에 사용된 센서의 제원 및 특징은 〈표 3-14〉과 같고, 설치 상황은 〈그림 3-15〉와 같다.

〈표 3-14〉 담수심 측정용 수위센서의 제원 및 특징

종 류	압력식 수위센서	비 고
장 점	구조가 간단하고 소형가동부가 없음 파동, 동결에 의한 영향이 작음	
단 점	온도에 민감, 불결해지기 쉬움	
측정범위	0 - 500mm	
입력전압	DC 5V	
출력전압	DC 0.5V - 4.5V	



〈그림 3-15〉 담수심 측정용 센서의 설치 전경

3) 배수량 측정

강우 또는 과다한 관개에 의해 발생하는 배수량을 측정하기 위하여 각 시험구 마다 배수량 측정용 사각 웨어형 물꼬를 아크릴로 제작하여 설치하였으며, 물꼬의 높이와 수위센서에서 얻어지는 수위와의 관계에서 월류 수심을 계산하고, 식(3-4)에 의하여 배수량을 계산하였다. 한편 물꼬의 문비 높이는 2, 4, 6, 8, 10 cm 로 만들어 시기별로 적정 담수심을 유지할 수 있도록 하였다. 물꼬의 형태와 설치상황은 〈그림 3-16〉, 〈그림 3-17〉과 같다.

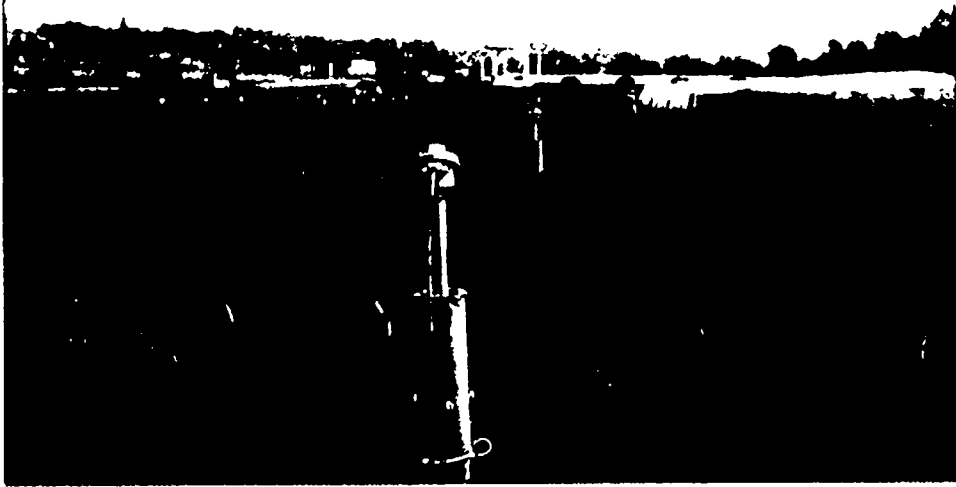
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{2/3} \quad (\text{Rehbock의 실험결과, Henderson 1966}) \quad (3-4)$$

$$C_d = \text{유량계수} (0.611 + 0.08 \frac{H}{P})$$

P : 물꼬높이(m)

L : 폭(m)

H : 월류수심(m)



〈그림 3-15〉 담수심 측정용 센서의 설치 전경

3) 배수량 측정

강우 또는 과다한 관개에 의해 발생하는 배수량을 측정하기 위하여 각 시험구 마다 배수량 측정용 사각 웨어형 물꼬를 아크릴로 제작하여 설치하였으며, 물꼬의 높이와 수위센서에서 얻어지는 수위와의 관계에서 월류 수심을 계산하고, 식(3-4)에 의하여 배수량을 계산하였다. 한편 물꼬의 문비 높이로는 2, 4, 6, 8, 10 cm 로 만들어 시기별로 적정 담수심을 유지할 수 있도록 하였다. 물꼬의 형태와 설치상황은 〈그림 3-16〉, 〈그림 3-17〉과 같다.

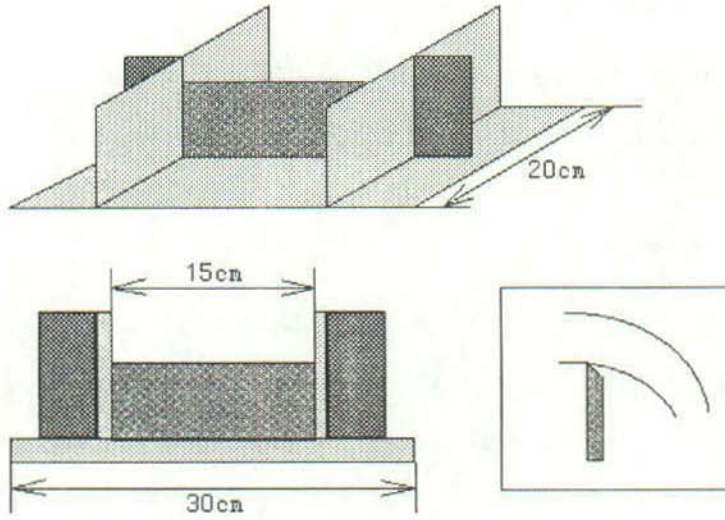
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{2/3} \quad (\text{Rehbock의 실험결과, Henderson 1966}) \quad (3-4)$$

$$C_d = \text{유량계수} (0.611 + 0.08 \frac{H}{P})$$

P : 물꼬높이(m)

L : 폭(m)

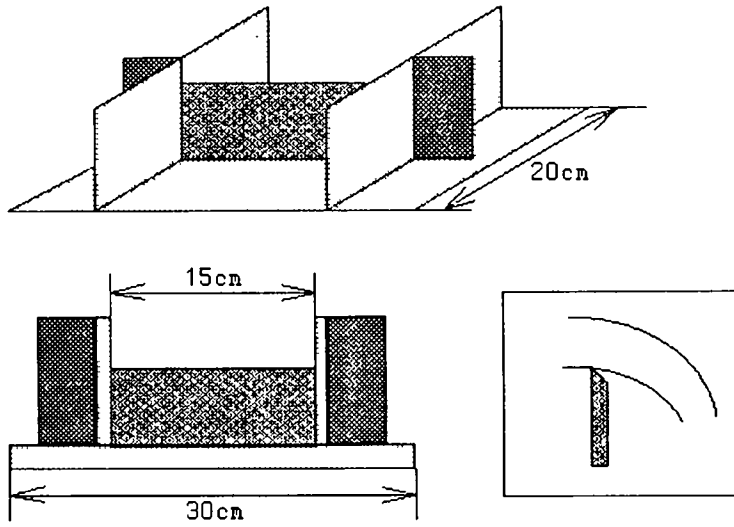
H : 월류수심(m)



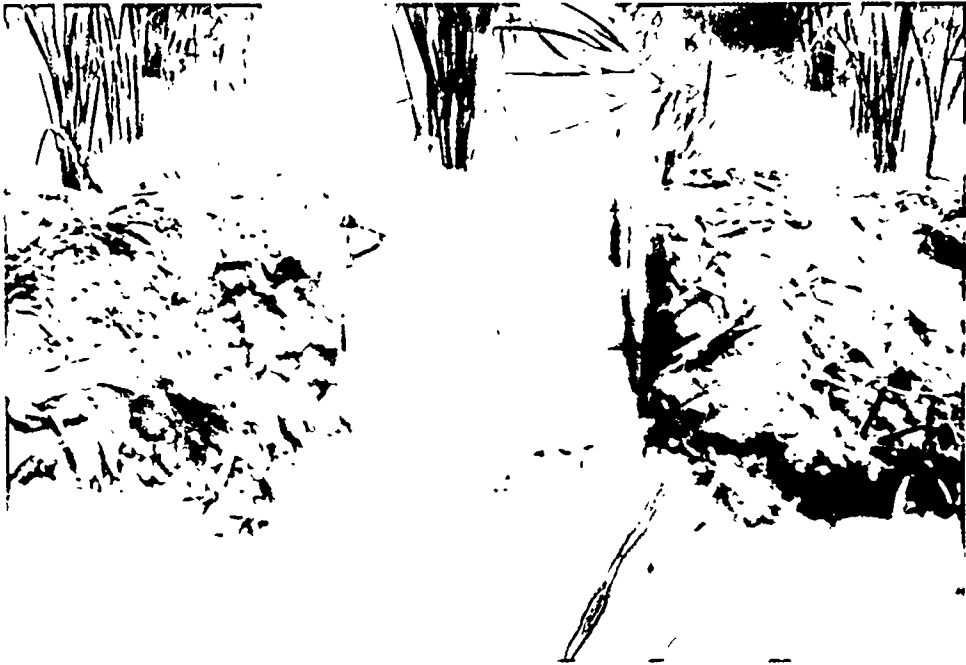
<그림 3-16> 물꼬의 형태



<그림 3-17> 물꼬의 설치 전경



<그림 3-16> 물꼬의 형태



<그림 3-17> 물꼬의 설치 전경

다. 공시품종

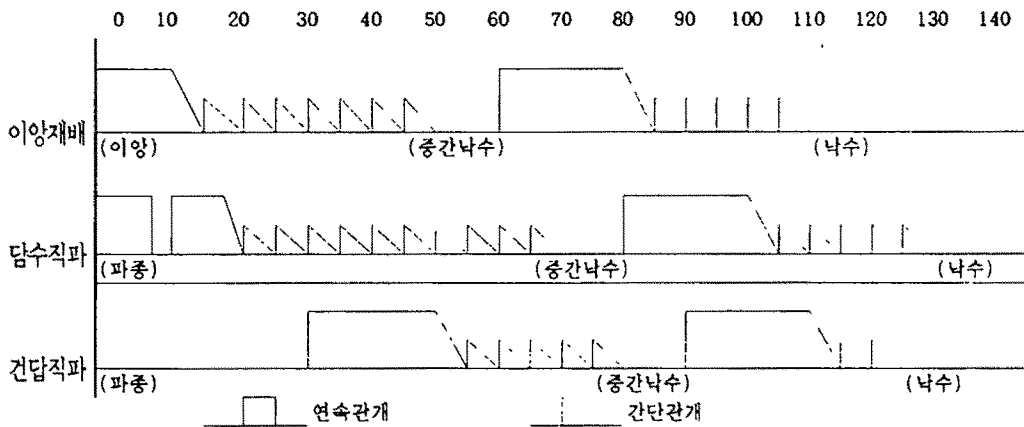
본 시험의 공시품종은 이앙재배, 직파재배 모두 화중벼이며, 이는 농촌진흥청에서 권장한 중부지방 추천품종이다.

3.2.3 용수량 산정

직파재배의 용수량은 건답직파와 답수직파가 파종 방법과 파종시기, 관개 목적과 시기가 서로 상이하여 그 양이 다르게 나타나게 된다. 따라서 직파재배의 용수량은 답수직파와 건답직파로 분리하여 산정하였다.

가. 영농방식별 물관리 방법

농촌진흥청 및 기타 조사를 통하여 영농방식별 물관리 기준을 정리한 결과는 <그림 3-18>과 같다.



<그림 3-18> 영농방식별 물관리 기준

나. 답수직파 용수량

답수직파는 파종하기 전에 답수상태에서 써레질을 하여 논을 정지한 후,

침투에 의해 자연배수를 시키거나 물 빠짐이 좋지 않은 논은 낙수하여 바닥다지기가 이루어지고, 담수심이 0-2mm 정도 되었을 때에 파종하게 된다. 보통 발아 후 3-4엽이 될 때까지 토양의 통기성 향상과 발아 조건을 조절하기 위해 관개를 별도로 시행하지는 않는 것이 보통이지만 조류에 의한 씨앗의 손실 방지, 온도조절 등을 목적으로 관개를 실시하기도 한다. 한편 담수직파의 용수량은 씨레질전의 논의 토양수분 상태와 토양 종류에 따라 용수량의 차이가 있을 수 있으며, 이 시기의 강우는 폭우가 발생하지 않아 대부분 유효수량으로 사용될 수 있음을 볼 때 담수직파의 초기 용수량은 씨레질용수와 증발산량, 유효수량으로 산정한다.

따라서 담수직파에서의 초기 용수량은 식(3-5)와 같이 산정될 수 있다. 이를 이앙재배의 초기용수량과 비교하면 못자리용수량은 필요 없고, 씨레질용수에 있어서도 이앙재배에 비하여 논의 바닥 다지기를 위해 알은 경운과 씨레질을 권장하고 있기 때문에 이앙재배의 이앙용수량보다는 적게 산정될 수 있다. 또한 씨레질 용수량은 토양의 초기 수분 조건, 토양의 종류, 경운 깊이 등을 고려하여 산정되어야 한다. 또한 담수직파는 이앙재배와는 씨레질 시기와 파종시기가 차이가 있어 물관리에 있어서 여러가지 고려 할 점이 많았다.

$$\text{담수직파 초기용수량} = \text{씨레질용수} + \text{증발산량} - \text{유효수량} \quad (3-5)$$

$$\text{이앙재배 초기용수량} = \text{못자리용수} + \text{이앙용수량} + \text{증발산량} - \text{유효수량} \quad (3-6)$$

다. 건답직파 용수량

건답직파의 경우는 일반적인 발작물 처럼 파종하게 되며, 발아후에 3-4엽 정도에서 본답 관개를 실시하게 된다. 건답직파는 담수직파와는 달리 건답 상태에서 경운과 로터리 작업을 하게 되므로 씨레질 용수량과 같은 논의 정지용수는 필요없지만 발아를 위한 토양수분조건을 유지하기 위해 강우가 부족할

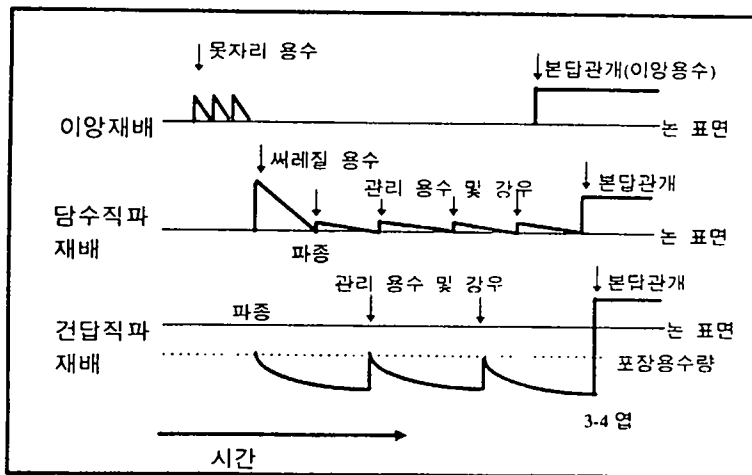
경우에 관개를 실시해야 하고, 본답 관개를 시작하는 시기에 관개용수량을 많이 필요하게 되는 등의 문제가 있으며, 관개시기도 이양재배와는 판이하므로 물관리에 있어서 이에 대한 고려가 필수적이다. 따라서 건답직파의 초기용수량은 식(3-7)과 같이 산정될 수 있을 것이다.

$$\text{건답직파 초기용수량} = \text{중발산량} - \text{유효우량} \quad (3-7)$$

라. 직파재배의 시기별 용수량 변화

이양재배, 답수직파 및 건답직파의 본답 관개전까지의 물관리를 위한 필요한 용수량의 변화를 살펴보면 <그림 3-19>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 초기 용수량에 대해 이양재배는 주로 못자리용수와 써레질 용수 및 본답 관개 용수로 구분되고, 답수직파 재배는 써레질 용수와 본답 관개 용수로, 건답직파에서는 발아를 위한 토양수분 유지를 위한 용수와 3-4엽 이후의 본답 관개 용수로 구분되어 진다.

최대용수량을 비교해 보면 이양재배와 답수직파재배는 써레질 용수량을 공급할 때이고, 건답 직파재배는 3-4 엽때의 최초 본답 관개시 용수량이 큰 것으로 나타났다. 특히 건답직파 재배는 토양을 포화시킨 후에 답수해야 하므로 단기간에 이양재배나 답수직파 재배에 비하여 많은 물량을 필요로 한다.



<그림 3-19> 영농방식별 초기 물관리 개념도

마. 시험 결과

시험포장에서 실시한 용수량의 시험 결과는 <표 3-15(a)(b)(c)>와 같으며 생육조사 결과는 <표 3-16(a)(b)>와 같다. 본 연구에서 정의한 본답기간은 이앙재배시에는 이앙후 완전낙수기간까지이며, 직파재배의 경우에는 담수를 시작한 후부터 완전낙수기간까지로 정의하였다. 유효수량은 5일전부터 내린 강우량을 합산하여 포함시켰다.

각 영농방식별로 본답 초기 용수량을 포함한 재배 초기의 관개량을 살펴보면 이앙재배는 61.7mm였으며, 담수직파재배는 83.3mm, 건답직파 재배는 85.4mm로 나타나 건답직파 재배가 가장 많은 용수량을 사용한 것으로 나타났다. 그러나 본답 전 관개량은 담수직파 재배가 62.3mm, 건답직파 재배가 36.2mm로 나타나 담수직파 재배가 재배관리용수량이 건답직파 재배에 비하여 많이 필요하며, 건답직파는 초기용수량의 소요가 많은 것으로 나타났다. 본답 전 용수량의 내역을 살펴보면 담수직파 재배의 경우에는 썬레질 용수로 대부분이 이용되었으나, 건답직파 재배의 경우에는 발아를 위한 토양수분조절 및 제초제 살포 등을 위한 관리용수로 사용되는 것으로 나타났다.

한편 본답기간의 관개량은 이앙재배는 271.3mm, 담수직파 재배는 263.1mm, 건답직파 재배는 275.6mm로 나타나 건답직파 재배가 담수직파 재배나 이앙재배 보다 다소 많은 본답 용수량을 필요로 하는 것으로 나타났으나 큰 차이는 보이지 않았다. 담수심 측정용 센서의 설치기간인 6월 20일 이후부터의 배수량은 이앙재배 0.9mm, 담수직파 0.2mm, 건답직파 3.4mm로 극히 미소한 것으로 조사되었다. 또, 전 생육기간의 배수량이 없었다고 가정했을 때, 총 소비수량을 살펴보면 <표 3-15(c)>와 같이 담수직파의 경우에 1029.3mm로 가장 크게 나타났으며 건답직파, 이앙재배의 순으로 나타났다. 이앙재배를 기준으로 할 때 소비수량의 차이는 담수직파가 11%, 건답직파가 9% 정도 많은 것으로 조사되었다.

한편 영농방식별 담수심 변화의 측정 결과, 담수직파 재배는 <그림 3-20>, 건답직파 재배는 <그림 3-21>, 이앙 재배는 <그림 3-22(a)(b)(c)>와 같이 나타났다. 한편 본 시험 결과의 감수심은 증발산량에 삼투량이 포함된 것으로 이는 포장의 토양 조건이나 토층 조건에 따라 다르게 나타날 수 있을 것으로 사료되며 향후 논 물수지 모의 조작 모형에 의한 담수심 모의 발생의 검증 자료로 사용될 수 있을 것이다. 본 시험에서의 담수심 측정자료 및 관개량 조사자료, 생육기간 중 유효우량 산정을 위한 빈도별 강우 분석자료는 <부록 III>에 수록하였다.

<표 3-15(a)> 영농방식별 본답 관개전 용수량

(단위 : mm)

영농방식	용수량 특성	관개량	유효우량	합계	관개일	유효우량 산정기간
이앙재배	이앙용수량	61.7	0.7	62.4	5.23(이앙)	5.18~5.22
담수직파 재배	써래질용수량	42.0	30.6	72.6	5.3	4.29~5.3
	재배관리용수량	20.3	14.5	34.8	5.19	5.4~5.18
	본답 초기용수량	21.0	0.7	21.7	5.23(담수)	5.19~5.23
	합 계	83.3	45.8	129.1		4.29~5.23
건답직파 재배	재배관리용수량	36.2	45.1	81.3	5.3(파종) 5.10(관개)	4.29~5.18
	본답 초기용수량	49.2	0.7	49.9	5.23(담수)	5.19~5.23
	합 계	85.4	45.8	131.2		4.29~5.23

<표 3-15(b)> 영농방식별 본답 용수량

(단위: mm)

영농방식	초기 관개량	생육기간 관개량 (초기용수량 제외)	전 관개량	강수량	합계
이앙재배	61.7	209.6	271.3	658.8	930.1
담수직파재배	21.0	242.1	263.1	703.9	967.0
건답직파재배	49.2	226.4	275.6	703.9	979.5

<표 3-15(c)> 영농방식별 생육기간 총소비수량

(단위: mm)

영농방식	본답전 관개량	본답 관개량	강수량	합계
이앙재배	-	271.3	658.8	930.1
담수직파재배	62.3	263.1	703.9	1029.3
건답직파재배	36.2	275.6	703.9	1015.7

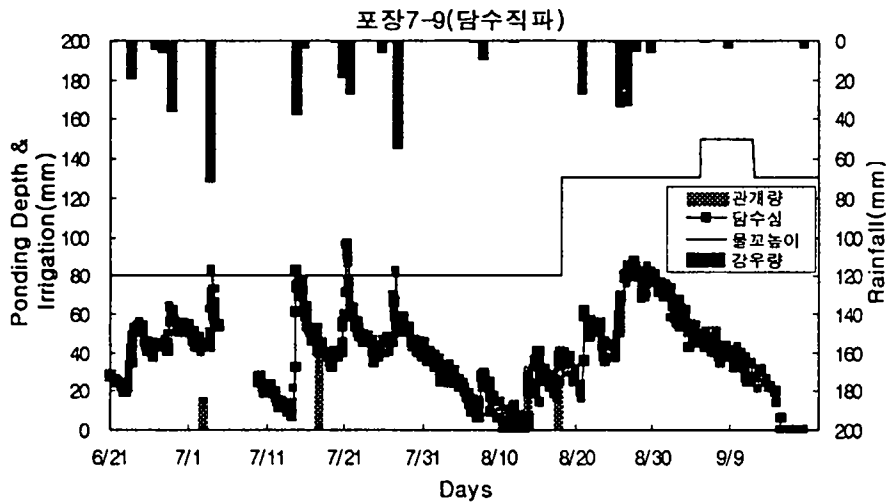
<표 3-16(a)> 출수기 생육 및 수량구성요소 조사 결과

영농방식	출수기				간장 (cm)	수장 (cm)	이삭수 (수당)	등숙 비율(%)	도복 (0~9)	쌀수량 (kg/10a)
	월. 일	수수 (개/ m ²)	건물중 (g/ m ²)	LAI						
이앙재배	8.14	338	810	5.2	93	20	87	91.6	0	516
건답직파	8.19	382	782	4.5	90	20	80	47.1	1	480
담수직파	8.13	397	827	5.3	89	21	85	90.7	0	498

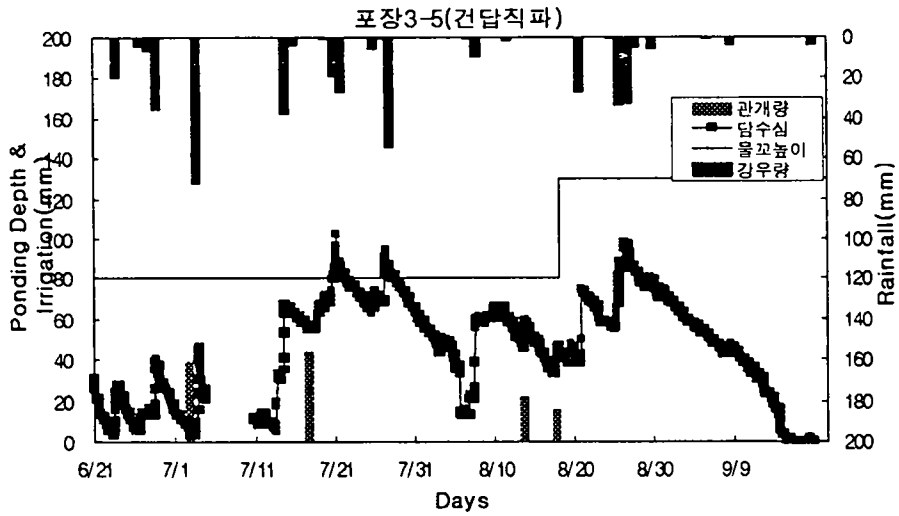
* LAI(Leaf Area Index) : 엽면적지수

<표 3-16(b)> 생육조사

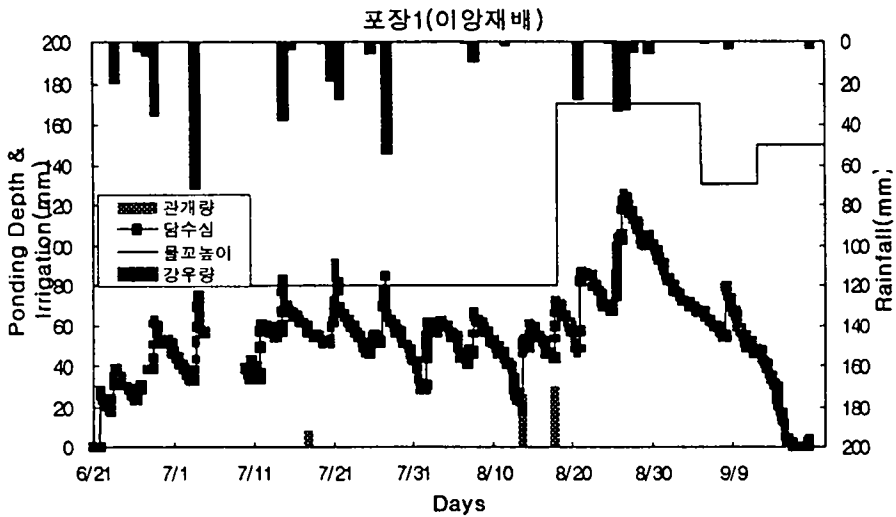
영농방식	입모율 (%)	입모수 (본/ m^2)	최고분얼기 경수(개/ m^2)	유수형성기	
				경수 (개/ m^2)	LAI
이앙재배	-	-	489	422	4.1
건답직파	56.9	144	602	440	3.8
담수직파	62.3	131	626	552	4.3



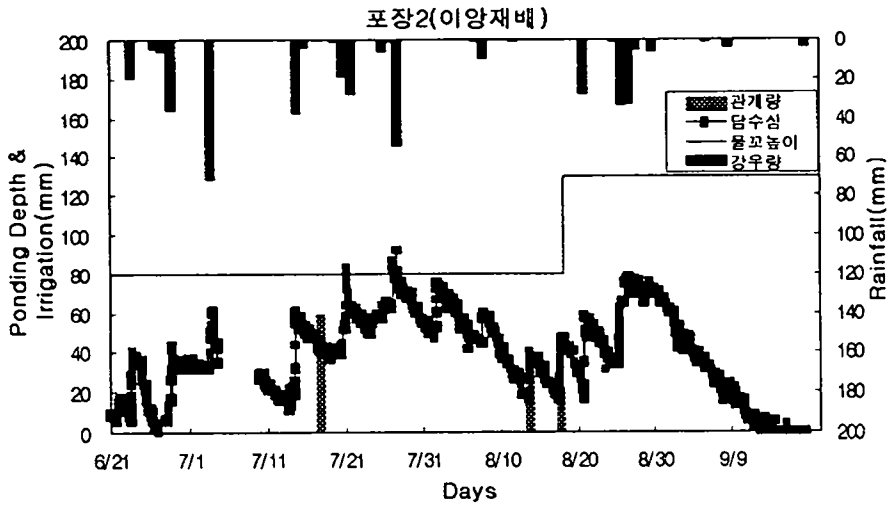
<그림 3-20> 담수심 변화(담수직파)



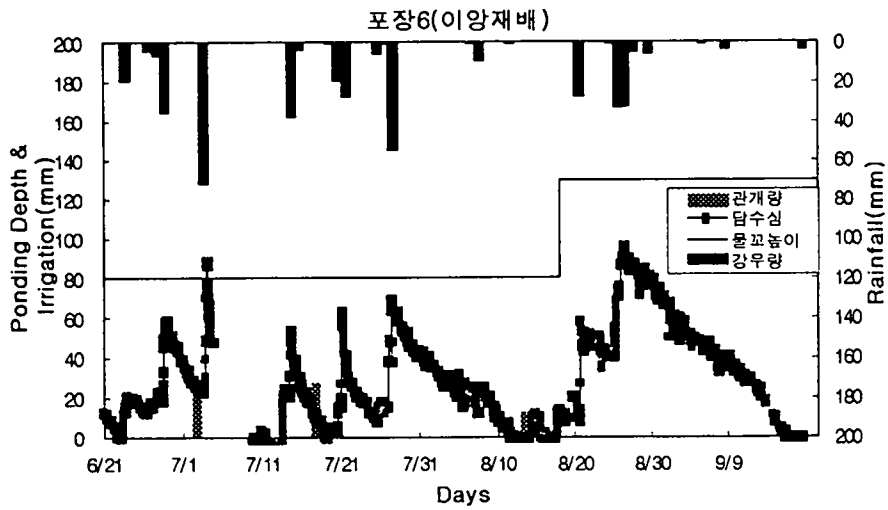
<그림 3-21> 담수심 변화(건답직파)



<그림 3-22(a)> 담수심 변화(이양재배)



<그림 3-22(b)> 담수심 변화(이앙재배)



<그림 3-22(c)> 담수심 변화(이앙재배)

3.3 문제점 및 대책

3.3.1 파종시기

- 파종후 조류에 의한 범씨 손실의 발생 우려 ==> Pot별 방조망 설치
- 포장의 초기 잡초발생에 대한 적극적인 대책의 마련이 요구됨
==> 제초제 처리

3.3.2 포장관리시기

- 직파재배에 따른 생육기별 품종별 증발산량의 측정 및 분석
 - 파종후 2-3엽기까지 답수시키기 곤란하므로 증발산량의 측정이 어려움
 - 생육초기에 효과적인 측정방법의 도입이 요구됨
 - 라이시메타 내부와 외부의 조건 차이로 생육의 차이가 발생
 - 조류에 의한 이삭 손실 발생 ==> 필지 전체에 방조망 설치
- 직파재배에 대한 물관리 특성변화 분석
 - 건답직파의 경우 파종시기에 강우의 발생으로 적기에 파종이 이루어지지 못함
 - 신규포장 선정으로 예년 포장과의 조건이 변화됨

3.3.3 영농방식별 초기 용수량 산정

- 영농방식에 따른 직파재배 벼의 초기 용수량에 미치는 요인이 다양함.
 - 포장조건 : 토양의 종류, 초기 토양수분조건, 지하수위 등
 - 기상조건 : 강우량 등
 - 경종방법 : 파종 시기, 경운 깊이 등

- 물관리 방법 : 담수 깊이, 토양수분유지 수준 등
- 다양한 요인에 의하여 시험에 의한 결과 도출에는 한계가 있음
 - 기상요인의 변화
 - 풍수년과 한발년의 차이 존재
- 모의 조작모형의 개발에 의한 모의 시험
 - 다양한 조건에 대한 모의 조작 및 시험
 - 포장에서의 시험결과를 이용한 모형의 검증
 - 빈도강우와 유효우량에 따른 최대 용수량의 도출

제 4 장 직파현황 및물관리 특성 조사

4.1 개 요

4.2 일반현황 조사

4.3 직파재배 현황 조사

4.4 물관리 특성 조사

4.5 외국의 사례

여 백

제 4 장 직파현황 및 물관리 특성 조사

4.1 개 요

영농방식의 변화에 따른 필요수량의 변화특성을 규명하기 위해서는 지속적으로 영농방식의 변화 추이를 조사하고 분석하여야 하며 그에 따른 물관리 특성조사도 병행하여야 한다.

영농방식의 변화는 벼 재배방식에 있어 전통적이고 관행적인 이앙재배방식에서 탈피하여 기계화, 생력화에 적합한 본답 직파방식으로의 변화가 주종을 이루고 있으므로 이에 대한 조사가 무엇 보다도 중요하다.

조사 방법은 두가지 분야에서 이루어져야 한다. 전국적인 직파현황의 파악과 향후 변화의 추이 및 직파재배에 따른 포장 물관리의 변화 형태이다. 직파현황과 직파방식에 따른 물관리 자료를 수집하프로서 변경 물관리에 대한 필요수량 산정모형 구축의 기초자료로 활용할 수 있으며 저수지 등의 수리시설물의 설계기준을 정하는데 이용될 수 있을 것이다.

주요 조사내용은 다음과 같다.

- 1) 파종시기 및 파종기간
- 2) 벼의 생육기간별 생육일수
- 3) 생육기별 관개일수 및 관개방법
- 4) 생육기별 담수심
- 5) 담수직파시의 써레용수량
- 6) 전 생육기간의 물관리 기술체계
- 7) 기타 물관리상의 문제점 등

4.2 일반현황 조사

4.2.1 조사방법

직파현황 및 물관리 특성 조사는 직파시행 형태 및 그에 따른 물관리 실태가 지역적으로 상이하므로 전국에 걸쳐 직파 관련 시험기관, 농업지도기관 그리고 직접 영농에 종사하고 있는 농민을 대상으로 예상 질문 내용을 작성하여 설문지 형태로 조사하였다. 아직도 직파재배가 일반적인 벼 재배방식으로 볼 수 없으므로 직파재배에 대한 문제점과 향후 계획에 대한 조사도 아울러 병행하였다.

조사대상 및 주요 조사내역은 다음과 같다.

<표 4-1> 조사대상 및 주요 조사내역

구 분		개소	주 요 조 사 내 역	비 고
경작자	건답직파	10	일반현황, 직파 물관리 체계, 물관리상의 문제점	
	담수직파	10	"	
작물시험장		2	직파 기술지도 지침, 물관리 시험자료, 표준재배법	
농촌진흥원		9	일반현황, 재배유형 변화, 재배방법별 시행면적	본청 포함
농촌지도소		8	일반현황, 직파재배 지도방안, 재배 기술지침	
농지개량조합		8	용수공급체계, 직파 물관리 방안, 수원공별 직파면적	

조사방법은 대상별로 일정한 조사양식을 작성하여 일관된 조사자료가 되도록 하였다. 직파 경작자는 건답과 담수 경작자로 구분하여 조사하였으며 조사 양식은 <표 4-2>과 같은 일반양식과 <표 4-3> 및 <표 4-4>과 같은 재배양식별 물관리체계 조사양식으로 구분하였다.

<표 4-2> 경작자 직파 일반현황 조사양식

구 분	재배면적	파종방법	재배품종	파 종 량	직파년수	직파동기	기 타

담수직파 및 건담직파는 초기 물관리 체계가 근본적으로 다르므로 물관리체계 조사양식은 구분하였으며 조사항목은 다음 표와 같다.

<표 4-3> 건담직파 물관리 체계 조사항목

구 분	주 요 조 사 항 목	비 고
파종전 준비단계	토양구분, 경운 일수, 관개용수원의 종류, 최초 통수일	
초기 물관리방법	파종일시, 파종시 토양상태, 발아기간중 강우 여부, 최초 발아일, 최초 관개일, 초기용수 담수심, 초기감수심	

<표 4-4> 담수직파 물관리 체계 조사항목

구 분	주 요 조 사 항 목	비 고
파종전 준비단계	토양구분, 경운·씨레질 일수, 씨레 용수심, 논갈이기 기간	
초기 물관리방법	파종일시, 파종후 최초관개일, 최초관개 담수심, 논그누기 기간, 심수관개 시작일, 심수 관개심	

이와같은 직파재배의 물관리 특성조사는 3차에 걸쳐 실시하였으며 8개도의 농촌진흥원에서는 시·군별 직파 적지면적과 '96직파 시행면적 및 지역별 직파 종류에 따른 파종시기와 파종기간 조사와 함께 지역별 직파 재배특성을 파악

하는데 치중하였다. 또한 농지개량조합에서는 수원공별 직파 적지면적 및 '96 직파 시행면적자료를, 영·호남작물시험장에서는 생육기별 생육일수 조사, 농촌지도소와 경작자들에서는 직파재배의 초기물관리 및 생육기별 담수심과 같은 직파 물관리 특성조사에 중점을 두었다.

올해의 자료조사에 이어 연구기간 동안 계속해서 자료를 보완할 예정이다. 따라서 통계자료의 신뢰성과 안정성을 확보할 수 있으며 설계기준의 설정이 가능해지고 필요수량산정 모형에 실제 현장에서의 물관리 과정을 그대로 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

4.2.2 재배농가 조사

경작자의 직파재배 일반현황을 조사하기 위하여 상기 <표 4-1> 과 <표 4-2> 와 같은 조사양식을 활용하였다. 조사인원은 건담 경작자 10인, 담수 경작자 10인이며 각 도 1명씩을 기준으로 하였고 직접 방문하여 대화를 나누고 재배현장도 견학 하였다. 일반 재배농가는 아니지만 항공담수직파를 하는 현대 서산간척지도 방문하여 항공직파에 따른 물관리 방법에 대해서도 심층있게 토론을 하였으며 대호간척지의 가경작지도 방문하여 손산파에 의한 담수직파 현장도 견학하였다.

가. 직파재배 면적

조사대상 경작자의 경영규모는 일반농가에 비해 상대적으로 큰 규모였다. 담수직파 경작자의 직파 면적은 평균 2.7ha 이며 건담직파는 평균 2.4ha 로서 우리나라 호당 평균 벼 경작면적 0.8 ha(농수산주요통계, 1996)를 크게 상회하고 있었다. 이는 농촌지도소를 통해 경작자를 소개받아 이들이 평소에도 선진농법에 관심이 많은 농민일 수도 있겠지만 직파가 대 경작자를 중심으로 노력비

절감 차원에서 시행되고 있음을 알 수 있었다.

나. 파종방법

조사대상자의 파종방법은 직파기를 통한 기계파종이 그 주종을 이루고 있었다. 건답직파의 경우는 대부분 직파기에 의한 파종이었으며 건답의 경우 6조식 승용직파기를 이용하는 경우가 7명, 8조식 직파기가 2명, 개량 12조식을 사용하는 농가도 1명 있었다. 파종방법은 평면줄뿌림은 없었고 모두 휴림줄뿌림을 하여 봄가뭄에 대비 발아용수를 공급할 수 있도록 고랑을 두고 있었다. 답수직파의 조사대상 10개소중 6조식 승용직파기를 사용하는 농가는 7명이었으며 이들은 모두 무논골뿌림 재배방법을 택하고 있었다. 다만 해남의 한 농가는 손산파에 의해 답수직파를 하고 있었는데 이는 간척답으로서 지하수용출이 많아 불가피한 방편으로 경작하고 있었으며 서산 현대간척지는 항공기에 의한 파종을, 대호간척지 가경작지의 경우는 손산파를 많이 하고 있는 것으로 조사되었다.

다. 재배품종

재배품종 조사결과 가장 많이 재배되고 있는 품종은 동진, 일품, 추정벼로 나타났다. 건답의 경우 동진벼가 가장 많았으며 다음으로 일품, 일미, 오대, 금남, 간척, 금남벼 등도 많이 재배되고 있었으며 주로 중만생종을 선호하고 있는 것으로 조사되었다. 답수의 경우 추정벼가 많았으며 일품, 시안, 화성, 남양벼도 조사되었다.

라. 파종량

직파 파종량은 대체적으로 농촌진흥원 등의 기술지침을 준수하고 있는

것으로 나타났으며 권장하는 파종량은 건답의 경우 4~6kg/10a, 담수의 경우는 3~5kg/10a였다(경기 농촌진흥원). 조사 결과 건답의 경우 4~8kg/10a 정도였고 평균 5.5kg/10a로, 담수의 경우는 3~5kg/10a 범위에서 평균 4.0kg/10a 였다. 다만 서산 간척지의 경우 항공직파를 하는 관계로 10~13kg/10a가 소요되는 것으로 조사되었다.

마. 직파년수

조사된 경작자의 직파 경력은 보통 3~4년으로 조사되었다. 가장 오래된 경력은 6년으로 건답과 담수재배가 각 1인 이었으며 이들은 선도 농가로서 직파재배를 처음 시작했음을 알 수 있다. 평균경력은 건답 3.4년, 담수 3.6년으로 조사되었다.

바. 직파동기

직파를 하게된 동기는 주로 농촌지도소 또는 선행 직파재배자 등의 권유가 가장 많았으며 주변에서 하는 것을 보고 노력비를 절감하는 차원에서 자발적으로 참여하거나 개인적인 연구목적으로 시작한 곳도 있었다.

사. 직파 물관리의 문제점

응답자중 많은 사람이 배수처리 문제를 어렵게 생각하고 있었다. 이는 건답과 담수 모두에 적용되는 것으로 건답의 경우 점질토 지역이나 평야지에서 봄강우 또는 주위 못자리 등의 침투수에 의해 배수처리가 어려웠으며 담수직파는 논굴히거나 눈그누기시 배수로나 기타 주위의 여건 때문에 완전배수가 어려워 파종이나 입묘확보에 실패하는 경우도 있었다.

또 다른 한편으로 답의 지균이 고르지 못해 물관리에 어려움을 겪고 있었으며 용수가 부족한 지역도 많아 관정, 하천수에만 의존하는 지역도 있었다.

아. 직파재배 문제점 및 전망

다음으로는 직파에 대한 문제점에 대하여 조사하였으며 직파에 있어서 가장 문제가 되는 것은 잡초제거와 입묘불량을 지적하고 있다. 한 농민은 건답직파의 단점을 다음과 같이 요약하고 있다.(전북 김제 안태홍)

- 1) 용수의 수요 증가
- 2) 잡초방제의 어려움
- 3) 비료, 농약의 소비 증가
- 4) 연작의 경우 앵미 발생, 병충해 증가, 소출감소

많은 경작자가 3년이상 연작시 예상하지 못했던 여러가지 문제점이 발생할 우려가 있다며 병충해 증가, 소출 감소를 지적하고 있었다. 다음으로는 건답의 경우 파종후 일정 입묘가 확보될 때까지의 심리적 불안감을 문제점으로 지적하고 있다. 파종후 발아까지 15~30일 동안 입묘에 실패할 경우에 대한 심리적 압박을 받고 있는 것으로 나타났다.

답수의 경우는 직파기에 대한 문제점을 지적하는 경우가 많았으며 장비를 갖추는데 필요한 비용도 문제로 지적하였다. 파종시의 새피해 문제, 배수불량, 제초제 등의 소모 증가 등도 지적된 것이다.

직파재배의 실패사례도 조사하였는데 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

<표 4-5> 직파재배 주요 실패 원인

주요 요인	건 답 직 파	답 수 직 파
입묘불량	- 입묘 불균일, 유효입묘수 미확보 - 제초제 불량으로 약해 발생 - 인근논의 물이 스며들어 종자 부패	- 눈그누기시 새피해 극심 - 5월 초순 저온으로 발아 부진 - 논 굳히기 실패로 종자 부패
제초실패	- 건답상태 장기화로 잡초 과다 발생 - 제초제 선택 및 살포량 조절 실패	- 제초제 과다사용 으로 인한 고사 - 괴불 발생으로 입묘 저조 - 제초제 선택 및 살포량 조절 실패

직파에 대한 전망은 상반된 의견이 있는 것으로 나타났다. 조사대상 20명중 계속 직파를 하겠다는 응답이 17명으로 대부분이었으나 이중 3명은 연작 피해를 우려 담수에서 건답으로 또는 건답에서 담수로 직파방법을 변경하겠다고 응답하였으며 나머지 3명은 이앙재배 전환을 계획하고 있었다. 이들은 입묘확보 실패와 제초실패의 경험으로 인한 심리적 부담과 경제적 손실 때문인 것으로 나타났다.

4.2.3 파종시기

파종시기는 지역적 기상조건, 선택품종에 따라 달라진다. 대체로 물의 온도가 15℃ 이상이면 논에서 벼씨가 발아하여 자랄 수 있고 수온이 보통의 기온 보다 4℃가 높으므로 그 지역의 평균 온도가 11℃이상이면 담수직파의 경우 파종이 가능하다. 건답인 경우는 기온조건 및 토양수분조건을 동시에 고려하여 결정하여야 한다.

<표 4-6>은 농촌진흥청에서 권장하는 전국 파종시기를 중,남부 권역별로 나누고 품종별 파종시기를 나타낸 것이다.

<표 4-6> 중, 남부별, 품종별 파종시기

구 분	건 답				담 수			
	조생종	중생종	중만생종	전 체	조생종	중생종	중만생종	전 체
중 부	4.20~5.15	4.20~5.10	4.20~5. 5	4.20~5.15	5. 1~5.25	5. 1~5.20	5. 1~5.15	5. 1~5.25
남 부	4.20~5.25	4.20~5.20	4.20~5.15	4.20~5.25	5. 1~6. 5	5. 1~5.30	5. 1~5.25	5. 1~6. 5

상기 표에서 알 수 있는 바와 같이 건답의 경우는 4월 20일 부터 파종을

시작하여 중부의 경우 5월 중순에, 남부의 경우는 5월 하순에 파종을 끝내는 것이 적합한 것으로 나타났다.

금회 현지조사에서는 지방별로 실제 파종시기도 조사하였으며 설문에 의해 파종 적합시기도 조사 하였다. 이를 정리하면 <표 4-7>와 같다.

<표 4-7> 실제 파종 및 적합시기 조사

구 분	건 답		담 수		비 고
	실제 파종기	적합시기	실제 파종기	적합시기	
중 부	4.23 ~4.27	4.20 ~4.30	5. 1 ~5.16	5. 1 ~5.20	
남 부	4/16 ~4/28	4/20~ 5/ 5	5/10 ~5/20	4/10 ~5/25	

직파 경작자들은 농업진흥청의 직파기술지침을 대부분 충실히 따르고 있는 것을 볼 수 있으며 파종시작 시기는 지방별로 대체로 일치하나 파종기간을 앞당겨 실시하고 있었다. 직파기술지침에서는 적정 파종기간을 건답의 경우 4월 20일에서 5월 25일 까지 35일간을, 담수의 경우 5월 1일에서 6월 5일 까지 35일간을 잡고 있으나 실제 조사결과는 지역별로 차이가 있었으며 건답은 4월 25일 전후 15일간을 담수의 경우 5월 11일 전후 15일간에 실제 파종을 하고 있는 것을 알 수 있었다.

조사내용 중 특이한 경우는 건답직파자 중 6월 7일 파종한 기록이 있는데 이는 2모작 때문인 것으로 나타났다.

상기 조사된 자료는 논 필요수량 산정시 재배유형별 파종일시 및 파종기간의 자료로 활용될 수 있을 것이다.

4.2.4 초기 생육일수

일반적으로 생육일수는 지역별 기상조건, 토양종류, 품종, 재배조건 및 물관리 방법에 따라 다르게 나타난다. 다음은 전북 이리 지역에 위치한 호남작물시험장의 직파재배에 대한 생육일수 조사결과이다.

<표 4-8> 생육기별 생육일수

생육기명	발 생 일		생육일수(일)		비 고		
	건 답	답 수	건 답	답 수	건 답	답 수	
파 종	5. 1	5.11	-	-			
출 아 기	5.19	-	18	-	5.29 답수		
유 효 분얼 한 계 기	6.18 ~6.21	6.15 ~6.20	30~33	35~40		6.20(7일) 낙 수	
최고분얼기	-	7.11	-	21~26			
유수형성기	7.26	7.28	35~38	17			
수 잉 기	8. 9	8.11	14	14			
출 수 기	8.19	8.21	10	10			
수 확 기	유숙기	8.19	8.21	-	-		
	호숙기	9. 5	9.15	17	25		
	황숙기	9.20	9.25	15	10	9.20 낙수	9.25 낙수
	완숙기	10. 8	10.10	18	15		
계			161	152			

※ 자 료 : 호남작물시험장

상기 자료를 통해 직파에 대한 일반적인 생육시기와 생육일수 등을 추정해 볼 수 있다. 표에서 보는 바와 같이 건답직파에서는 파종후 18일 후에 출아가 되었으며 최초 답수시기는 파종후 28일, 출수는 파종후 110일에 나타 났다. 한편 답수직파인 경우는 건답 보다 파종이 10여일이 늦었지만 출수기는 8월 21일로 건답재배와 비슷한 시기에 출수되고 있음을 알 수 있었다.

전체적인 생육일수를 산정해 보면 건답의 경우 162일, 답수가 152일로 건답이 10일 정도 길었으며 이는 건답상태에서 발아에 상당한 기간이 소요됨을 나타내 주고 있다.

금번 조사에서는 직파재배에 따른 초기 생육일수와 생육기간을 알기 위해 건답에서는 파종일시 뿐만 아니라 최초 발아일, 최초 관개의 기준이 되는 3엽기 발아때까지의 기간 등에 대하여 조사하였으며, 답수직파에서는 심수관개 시작 의 기준이 되는 3엽기 발아일에 대하여 조사하였다.

파종후 일수(DAS)에 대한 조사결과를 정리하면 <표 4-9>와 같다.

<표 4-9> 초기 생육기간 조사

구 분	건 답		답 수		비 고
	최초 발아일	3엽기 발아일	최초 발아일	3엽기 발아일	
파종후 일수	15 ~ 27일 (21일)	30 ~ 45일 (35일)	-	14 ~ 17일 (15일)	() : 평균일수

조사 결과에 의하면 건답에 있어서는 파종후 21일 전후하여 출아 되었고 35일 전후하여 3엽기 정도가 되었으며 최초 관개는 이때 시작하였다. 답수직파에 있어서는 종자를 1~2mm 정도 발아시켜 파종하는 관계로 본답기로 분류할 수 있는 3엽기에 도달하는 시간이 평균 15일 정도로 나타났다.

상기 자료는 직파재배의 초기 물관리자료에 매우 중요한 자료로서 필요수량 산정 모형에서 초기 관개시기, 본답 관개기로의 전환 등에 대한 중요한 자료로 이용 될 것이다.

4.2.5 수확량 조사

영농방식의 변화에 따른 벼 재배의 성패는 수확량에 따라 판단할 수 있다. 그러나 수확량조사는 통계학적인 전문 지식을 필요로 하고 있어 조사에 어려움이 있고 자료를 구하는데도 쉽지 않았다. 전문조사기관으로서는 농업통계사무소가 있으며 여기에서 작황조사 및 예상량 조사, 실수확량 조사를 실시하고 있다. 또한 농업시험장등 연구기관에서도 시험포에서의 실험성과를 수확량으로 확인하고 있었다.

참고로 농업통계사무소의 <수확량 조사요령>에 따라 논벼 직파필지에 대한 생산량 조사 방법을 개략적으로 정리하면 다음과 같다.

가. 작황조사

1) 조사포구의 설정

줄뿌림 및 점뿌림한 필지는 맥류 생육 상황조사 포구선정 방법에 의하고 그 외의 필지는(산파)는 0.3㎡(가로 50cm×세로 60cm)크기의 포구를 설정한다.

2) 1㎡당 포기수

인근의 조식으로 된 표본 필지의 포기수를 조사한다.

3) 포기당 줄기수

0.3㎡ 포구내에 심겨진 줄기수를 조사하여 1㎡당 포기수에 의하여 환산한다.

나. 예상량 조사

1) 포기당 이삭수

작황조사시 선정한 0.3㎡ 포구내의 이삭수를 조사하여 1㎡당 포기수에

의해 포기당 줄기수와 같이 환산한다.

2) 이삭당 낱알수

0.3㎡ 포구내에서 임의의 20개 이삭을 대상으로 낱알 수를 조사한다.

다. 실수확량 조사

1) 예취포구 선정

포구 기점을 중심으로 3㎡(가로 1m, 세로 3m)의 포구를 선정하여 예취한다.

2) 포기당 이삭수와 이삭당 낱알수를 계산한다.

이후는 일반 벼 수확량 조사와 같으며 시료를 채취하여 15% 정도로 건조시킨후 제현(製玄)하여 현미를 선별하고 10a 당 수확량을 계산한다.

금번 현지조사에서는 직파재배와 이앙재배의 수량성을 비교하기 위하여 농업통계사무소의 공식 통계자료와 각 도 진흥원의 시험포의 수량 비교 자료, 실제 경작자의 청문조사를 통한 수확량 자료를 수집하려고 했으나 원만한 자료 수집이 어려웠다. 경작자의 자료는 조곡에 대한 개략치로서 통계자료로서 사용하기에는 곤란하였으나 일반적인 경향은 파악할 수 있었다.

다음 자료는 '95년도 및 '96년도의 전체 재배면적에 대한 10a당 수량을 나타내고 있다.

<표 4-10> 시도별 논벼 생산량

(단위 : kg, %)

구 분	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	전국
'95	424	376	448	441	484	454	453	444	445
'96	495	456	499	528	535	517	493	495	507
증감	16.7	21.3	11.4	19.7	10.5	13.9	8.8	11.5	13.9

금년도의 쌀생산 수량은 평년 수량을 크게 상회하는 것으로 기상여건의 호조 때문인 것으로 파악되고 있다.

일반적으로 직파재배에 의한 수확량은 기계이앙 보다 약간 저조한 것으로 나타나고 있다. '91년도에서 '95간의 년평균 10a당 수확량은 기계이앙의 경우 466kg, 직파의 경우 459 kg으로 보고되고 있다(농업진흥청 농업경영관실)

이는 평균적인 직파재배 수확량이 일반 이앙재배에 비해 2%정도의 감수가 됨을 나타내고 있다. 그러나 일반 직파 경작자를 대상으로 한 조사에서는 실제 수량이 증가한다고 하는 응답자도 많았다. 그렇지만 이렇게 응답한 경작자도 조곡의 수량은 많지만 현미 수량이 상대적으로 적고 미질에 문제가 있음을 지적하였다.

다음은 경북 농촌진흥원에서 직파 시범단지를 대상으로 인근 중모 기계이앙 답과의 수량성을 비교한 자료이다.

<표 4-11> 중모 및 직파재배 수량 비교

구 분	10a당 수량(kg)		출 수 기		수량 구성 요소			
	직파	중모	직파	중모	1 m ² 당 이삭수		이삭당 완전벼알수	
					직파	중모	직파	중모
건 답	501	506	8.16	8.13	459	443	68.4	71.2
답 수	485	506	8.18	8.13	476	443	64.3	71.2

※ 자료 : 경북 농촌진흥원

이 자료를 보면 10a당 수량에서 건답의 경우 1% 정도, 답수의 경우는 4% 정도 감수의 효과가 있는 것을 알 수 있다. 그러나 수량 구성 요소를 살펴보면 중모 이앙재배 보다 직파재배가 1m²당 이삭수가 3~7%가 증가 되었으나 이삭당

완전 벼알수는 중묘 보다 오히려 4~10 % 가 적게 나타나 경작자를 대상으로 조사한 것과 같이 좋은 미질의 확보에는 미흡함을 알 수 있다.

4.3 직파재배 현황 조사

4.3.1 벼 재배유형의 변화

최근의 농촌노동력 부족에 대처하기 위하여 획기적인 생력화 재배기술이 개발, 보급되고 있는 바 직파, 어린모, 중묘 기계이앙 재배가 그 근간을 이루고 있다. <표 4-12>는 연도별 벼 재배유형별의 변화를 보여주고 있으며 어린모 기계이앙 및 직파재배 기술의 보급추이를 알 수 있다.

<표 4-12> 연도별 벼 재배유형의 변화

(단위 : 천 ha)

구 분		'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	비고
벼 재배면적		1,244	1,208	1,157	1,136	1,103	1,056	1,091	
기 계 이 앙	중 묘	946	794	672	506	474	514	652	
	어린모	17	230	395	573	523	403	312	
	소 계	962	1,024	1,067	1,079	997	917	964	
손 이 앙		282	183	87	49	33	21	17	
직 파 재 배	건 답	-	0.3	2	4	35	68	65	
	담 수	0.1	0.6	1	4	38	50	45	
	소 계	0.1	0.9	3	8	73	118	110	

※ 자료 : 농촌진흥청 기술지도국, 농림부

상기 표에서 알 수 있는 바와 같이 생력재배의 일환으로 '91년 부터 적극 권장되던 어린모 기계이앙은 '94년을 정점으로 점차 감소하고 있으며 중묘

이앙은 어린모 이앙의 증가에 따라 감소하다가 최근에는 다시 증가하는 추세를 보이고 있다. 이는 직파재배의 확대에 따른 영향으로도 볼 수 있으나 전체적인 기계이앙 면적의 변동이 적은 것으로 보아 생력효과가 예상보다 적은 결과로 추정된다. 이와같은 결과는 육묘·이앙에서의 노력시간 비교에서도 알 수 있다.

<표 4-13> 재배방식별 노력시간

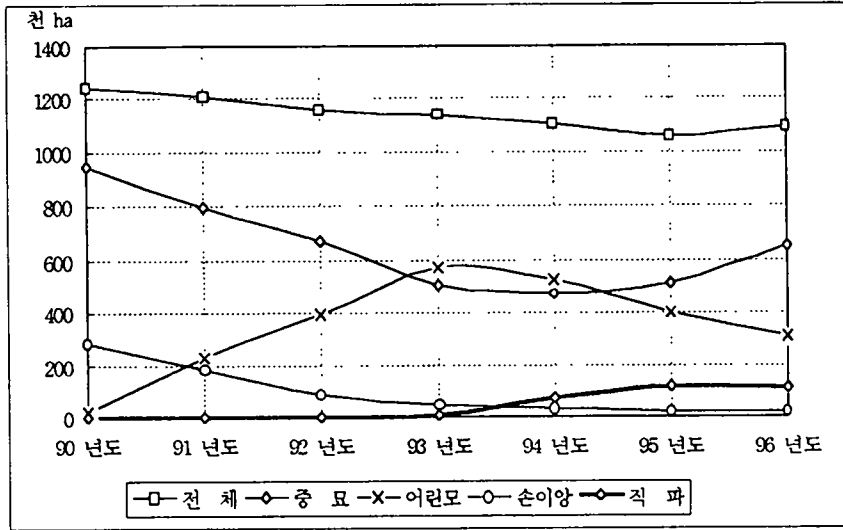
(단위 : hr)

구 분	중묘 기계이앙	어린모 기계이앙	직파재배	비 고
노력시간	183(100%)	122(67%)	57(31%)	중묘에 대한
육 묘	119(100%)	58(49%)	23(19%)	비율(%)
경운·정지	29(100%)	29(100%)	24(83%)	
이앙(파종)	35(100%)	35(100%)	10(29%)	

※ 자료 : '93 농경, 250 농가 조사

즉, 육묘·이앙과정에서 어린모 기계이앙이 중묘·기계이앙에 비해 33%의 노력 절감효과 밖에 없으나 직파재배는 69%의 노력절감을 기할 수 있기 때문에 잡초 및 병충해 방제에 따른 노력시간이 증가(17%)가 예상 되더라도 직파재배를 선택한 결과로 보여진다.

연도별 재배유형의 변화과정을 도시하면 <그림 4-1>과 같다.



<그림 4-1> 연도별 재배유형의 변화

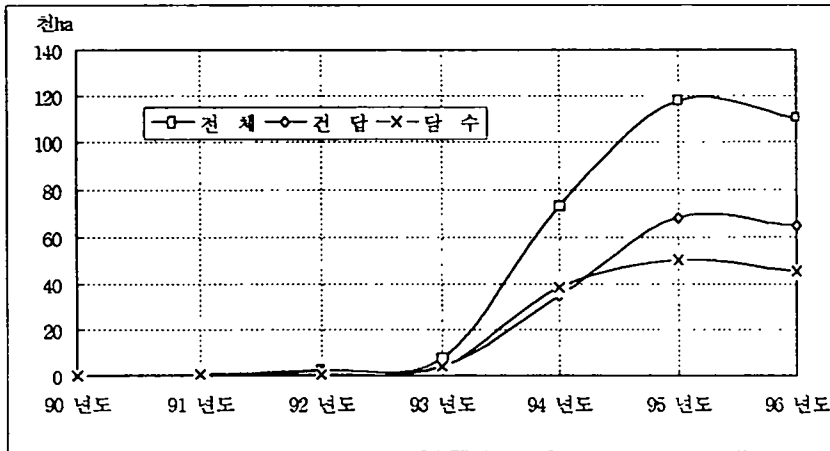
그러나 '96년도의 직파재배 면적의 감소는 정부 쌀 재고의 부족에 따른 증산정책에(농촌진흥청 기술지도국)따른 것이나 하나 눈여겨 볼 만한 가치가 있다. 즉 우리나라와 여건이 다소 다르지만 일본에서 직파재배 면적의 변화와 감소 추세는 직파에 대한 끊임없는 기술개발의 필요성을 일깨워 준다.

<표 4-14> 일본의 연도별 직파면적 추이

년 도	'70	'75	'80	'85	'91	'92
면적(천ha)	30.1	51.4	19.1	12.3	7.4	7.3

직파재배의 유형인 건답과 담수직파를 비교해 볼 때 초기에는 담수직파가 우위를 점하고 있었으나 건답직파가 주류를 형성해 가고 있는 실정이다.

<그림 4-2>는 건답직파와 담수직파의 재배면적 변화추이를 보여주고 있다.



〈그림 4-2〉 직파 재배면적 변화 추이

4.3.2 '96 직파재배 현황

직파재배는 '91년에 건답직파 농가 시범재배가 시작된 이래 '92년 2.7천ha, '93년 7.6천ha, '94년 72.7천ha, '95년 117.5천ha로 급속히 증가하여 왔으나 금년도에는 쌀증산 정책으로 인해 110.4천ha 로서 약간의 감소 추세를 보이고 있다.

벼 재배면적 조사는 일선행정기관을 통한 조사와 농림수산부 농업통계관실의 주도하에 각 시·도 통계사무소에서 실시하는 조사로 나눌 수 있다. 물론 통계로서의 가치는 통계사무소의 자료가 공식자료이나 직파현황에 대한 자료를 구할 수 없어 본 보고서에는 거의 행정기관 조사(7월 18일 현재 기준) 자료를 인용할 수 밖에 없었다. '96년도 벼 재배면적에 있어 농림수산부 공식자료는 총 1,048,987ha 이며 행정조사에 의한 면적은 1,091,296ha로서 42,309ha의 차이를 보이고 있다.

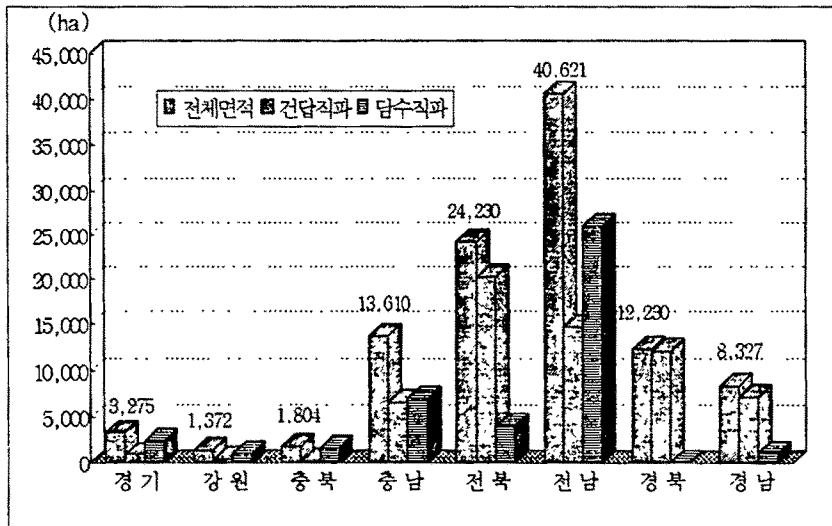
〈표 4-15〉은 금년도 전국의 재배유형별 벼 재배면적을 나타내고 있으며 직파재배는 건답직파와 담수직파로 구분하였고 기계이앙은 중묘와 어린모로

구분하였다. '96년도 전체 벼 식부면적 1,091,296ha 중 직파 재배면적은 110,365ha로 10.1%를 차지하여 '95년도 보다 7,129ha가 감소하였다. 이 중 건답직파는 65,163ha 로서 전체직파면적의 59%이며 답수직파는 45,202ha로서 41%를 차지하고 있다.

도시 지역을 제외한 8개도 중 직파재배 면적이 가장 많은 도는 전남으로서 전체 식부면적 199,274ha의 20.4%인 40,621ha를 차지하고 있으며 다음은 전북으로서 식부면적 165,298ha의 14.7%인 24,230ha 이다.

조사대상 8개 도의 답수, 건답을 구분하여 보면 남부지방으로 분류할 수 있는 전북, 경북, 경남 지역에서는 건답직파가 전체 직파면적의 89%를 차지하여 남부지방에서는 건답직파가 주류를 이루고 있음을 알 수 있다.

지방별 직파재배 현황은 <그림 4-3>에 나타내었다.



<그림 4-3> 지방별 직파재배 현황

<표 4-15> 전국 벼 재배방법별 면적

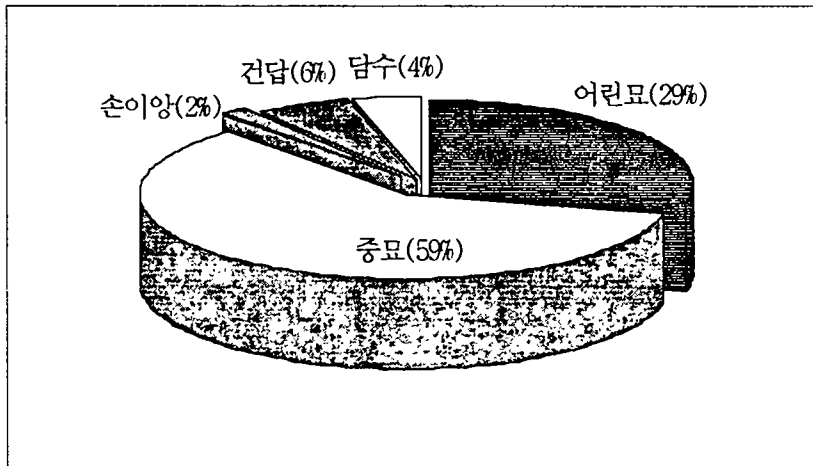
(단위 : ha)

시 도	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손모내기	직 파		
		소계	어린모	중 모		소계	건답	담수
전국	1,091,296	963,658	311,462	652,196	17,273	110,365	65,163	45,202
서울	700	650	325	325	-	50	45	5
부산	6,717	5,997	2,525	3,472	105	615	615	-
대구	6,050	4,569	2,209	2,360	294	1,187	1,187	-
인천	18,944	18,292	670	17,622	74	578	177	401
광주	9,216	6,655	3,994	2,661	142	2,419	722	1,697
대전	3,142	2,944	851	2,093	155	43	20	23
경기	132,120	128,335	19,186	109,149	510	3,275	924	2,351
강원	50,340	48,890	8,370	40,520	78	1,372	346	1,026
충북	61,315	59,072	23,303	35,769	439	1,804	229	1,575
충남	172,925	158,352	75,550	82,802	963	13,610	6,615	6,995
전북	165,298	140,592	35,987	104,605	476	24,230	20,257	3,973
전남	199,274	156,337	77,068	79,269	2,316	40,621	14,705	25,916
경북	139,423	122,392	33,981	88,411	4,801	12,230	12,116	114
경남	125,661	110,513	27,375	83,138	6,821	8,327	7,201	1,126
제주	171	68	68	-	99	4	4	-

남부지방 중 전남의 경우는 특이한 경우로서 담수직파가 64%를 차지하고 있으나 이는 직파재배지가 많은 해남군 및 영암군의 신규 간척지에서 대규모의 손뿌림에 의한 담수표면 직파를 시행하고 있는 결과로 조사되었다.

중부지방의 직파방식은 담수직파가 주류를 이룬다. 경기, 강원, 충청남·북도 등 중부지방의 직파면적은 전체 직파면적의 18%에 불과한 20,061ha에 지나지 않으며 담수직파의 비율은 60%에 달한다.

<그림 4-4>는 전국 벼 재배유형별 분포를 나타낸 것이다.



<그림 4-4> '96 벼 재배유형별 분포도

직파재배 현황을 중부 및 남부 권역으로 구분하여 직파면적 및 전국 면적에 대한 비율 및 권역별 면적에 대한 직파비율을 정리하면 다음과 같다.

<표 4-16> 직파재배지 구분(중, 남부)

구 분		총 면적	직파면적	건답직파	담수직파	비 고
전 국		1,091,296	110,365	65,163	45,202	() : 지방별 총면적 에 대한 직파 비율(%)
중 부	면 적	439,786	20,732	8,356	12,376	
	비 율	40 %	19 %(5%)	13 %(2%)	27 %(3%)	
남 부	면 적	651,510	89,633	56,807	32,826	
	비 율	60 %	79 %(14%)	87 %(9%)	78 %(5%)	

중부지방은 논 면적이 전국 면적의 40%를 차지하고 있으나 전체 직파면적에서 차지하는 비율은 19%에 지나지 않고 있으며 중부지방 논 면적의 5% 만이 직파재배를 하고 있음을 알 수 있다. 남부지방은 전국 직파면적의 79%를 차지하고 있으며 총 논면적에 대한 비율도 14%로 나타났다.

이와같은 자료는 영농방식을 고려한 필요수량 산정 및 수리시설물의 설계에 활용될 수 있을 것이다.

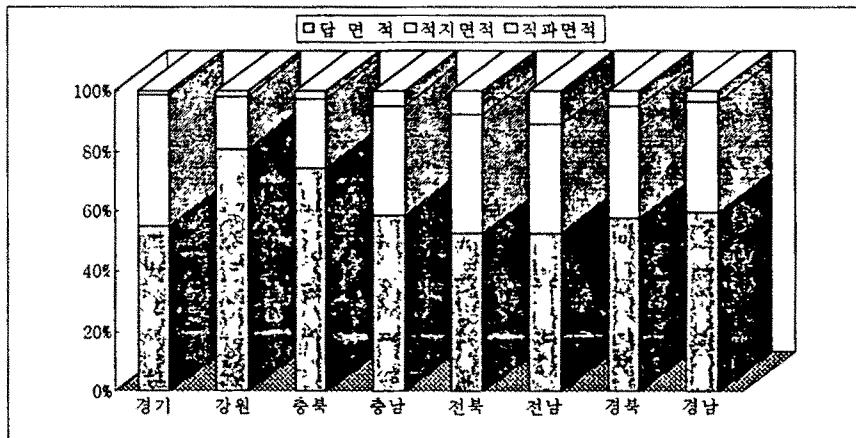
한편 농촌진흥청 농업과학기술원(이하 농과원)에서는 전국의 논을 대상으로 토성 및 배수조건별로 정밀, 분석하여 직파 재배양식별 직파 적지면적을 발표한 바 있다. 농과원 에서 구분한 직파재배에 적합한 토성 및 배수조건은 <표 4-17>과 같다.

농과원에 따르면 전국 총답면적 1,240천ha 중 직파적지 면적은 55.4%인 687.6천ha 이며 이 중 건답과 담수직파 재배가 모두 가능한 지역은 594.3천ha 로 나타났다. 지방별 직파적지 면적에 대한 '96년도 실제 직파시행 면적을 비교해 보면 직파재배의 확대가능성을 알 수 있다.

<표 4-17> 직파 재배양식별 토성조건 및 적지면적

구 분		토 성 및 배 수 조 건	면 적(천ha)
건 답 직 파	최적지	배수가 약간 불량한 사양질 토양	45.5(3.7)
	적 지	배수가 약간 양호, 약간 불량한 사양질, 미사 사양질, 식양질	404.0(32.6)
	가능지	배수불량 식양질, 배수약간 양호, 약간불량 미사식양질, 배수 약간 양호한 식질 토양	190.3(15.3)
	계		639.8(15.3)
담 수 직 파	최적지	배수가 약간 불량한 미사식양질, 식양질 토양	110.4(8.9)
	적 지	배수가 약간 양호, 약간 불량한 식양질, 미사식양질, 식질	346.2(27.9)
	가능지	배수가 약간 양호, 약간 불량한 사양질, 미사식양질, 배수불량한 미사식양질, 식질 토양	230.9(18.6)
	계		687.6(55.4)

도별 직파적지 면적 및 직파실시 면적을 비교해 보면 <표 4-18>과 같으며 이를 비율에 의해 도시하면 <그림 4-5>와 같다.



<그림 4-5> 도별 적지면적대 직파시행면적 비율

<표 4-18> 도별 직파적지면적에 대한 직파실시 면적 비율

구 분		경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
답 면 적		132	50	61	173	165	199	139	126
직 파 적 지	면 적	106	11	19	108	124	137	90	78
	적지면적/ 답 면적	80 (%)	22 (%)	31 (%)	62 (%)	75 (%)	69 (%)	65 (%)	62 (%)
직 파 시 행	면 적	3	1	2	14	24	41	12	8
	시행면적/ 적지면적	3 (%)	9 (%)	10 (%)	13 (%)	19 (%)	30 (%)	13 (%)	10 (%)

한편 직파재배에 따른 기존 수리시설물의 영향을 검토하기 위하여는 수원공별 직파재배 면적을 파악해야 한다. 관개구역의 주수원공 및 수원공별 직파재배 현황을 파악하고 이들의 용수공급체계를 분석함으로써 향후 설계될 수리시설물의 직파재배를 고려한 설계기준을 마련할 수 있기 때문이다.

수원공별 직파면적을 파악하기 위하여 '95년도에 이어 금년도에도 전국 8개 농지개량조합(이하 농조)을 대상으로 조사를 실시하였다. 그러나 조사에 응한 농조는 기호농조 1개에 지나지 않았다. 이와같은 이유는 아직 직파재배가 일반화되지 않았고 특정 지역에 편중되어 있으며 직파재배지가 많은 호남 평야부 등의 용수계통이 복잡하여 수원공별 직파면적을 분리하여 파악하기가 사실상 어렵기 때문인 것으로 나타났다. 금회 조사에 응답한 기호농조의 경우 총 물리구역 15,086ha 중 직파를 실시하는 면적은 763ha로 5%였고, 이중 건답이 2%, 답수직파가 3%였으며 세부내역은 <표 4-19>와 같다.

수원공별 직파면적 비율을 살펴보면 저수지가 521 ha로 68%, 양수장이 243ha로 32% 였다.

<표 4-19> 기호농조 수원공별 직파재배 현황

(단위: ha)

구 분	소 계	저수지	양 수 장	보	관정.기타
담 수	438	314	124	-	-
건 답	325	207	118	-	-
소 계	763	521	242	-	-

이와같은 자료에서 알 수 있는 바와 같이 직파재배지는 용수원이 풍부한 저수지 및 양수장 지구에서 주로 실시되고 있는 것을 알 수 있으며 저수지 지구에서는 담수직파 비율이 건답에 비해 월등히 많았으나 (152%), 양수장 지구에서는 담수와 건답의 비율이 거의 같이 나타났다.

4.4 물관리 특성 조사

4.4.1 벼재배 일반 물관리

벼 농사에 필요한 물의 양은 각 생육시기에 따라 다르며 일반적으로 벼의 생육기간중 물이 가장 많이 필요한 시기는 수잉기 이고, 다음은 수잉전기와 모내기 직후의 착근기이며, 그 다음은 출수개화기 이다. 이에 반하여 분얼기간은 극히 적은 물로 족하고 특히 무효분얼기에는 물이 거의 필요없다.

<표 4-20>는 일반 이앙재배에 대한 생육과정별 표준적인 물관리 요령을 보여주고 있다. <영남농업시험장, 1996년도 시험연구사업 설계서, 벼 표준재배법>

<표 4-20> 생육과정별 물관리 요령

생육시기	물대는 요령	물깊이(cm)	효 과
이 앙 기	얕 게 댈 것	2 ~ 3	모를 얇게 심게됨
활 착 기	깊 이 댈 것	5 ~ 7	증산억제, 활착촉진
분 열 성 기	얕 게 댈 것	2 ~ 3	분얼촉진
무효 분얼기	중 간 물 떼 기 (5 ~ 10 일간)	0	헛가지 억제, 유해물질 제거
생식 생장기	걸 러 대 기 (3일관수, 2일배수)	2 ~ 4	뿌리기능 촉진, 유해물질 제거 촉진
출 수 기	보통으로 댈 것	3 ~ 4	꽃가루 받이 촉진
등 숙 기	걸 러 대 기 (3일관수, 2일배수)	2 ~ 3	등숙양호, 뿌리기능 유지
낙 수 기	출수후 35일 전후	0	품질양호, 농작업 편리

재배방식의 다양성에도 불구하고 벼(水稻)의 초기 물관리 방법을 제외한 본답에서의 일반적인 생육기별 물관리는 특이한 점을 발견할 수 없었다. 다만

담수직파에서는 도복을 방지하고 벼 뿌리의 활착을 돕기 위하여 이앙재배시 보다 가급적 천수(淺水)관개를 지향하고 있는 것으로 나타났다.

본답에서의 일반적인 생육기별 물관리 기법은 다음과 같다.

가. 착근기의 물관리

모내기후 착근될 때까지 7~10일간은 10cm 정도의 심수관개를 하여 모가 쓰러지거나 또는 심하게 동요하지 않도록 하고 옆면중산을 억제하고 뿌리로 부터의 수분흡수를 충분히 하도록 한다.

나. 분얼기의 물관리

분얼기 때는 수심을 3cm 전후로 얇게하여 분얼을 촉진시킨다. 분얼기에 심수관개를 하면 분얼이 억제되거나 늦어지며, 벼가 연약해져 도복 및 병충해에 대한 저항력이 약해진다. 이 시기는 앞장의 <표 2-3>에서 보는 바와 같이 물이 부족하여도 성장에는 지장이 없지만 물이 단수되면 포기 주위의 흙이 굳어져 분얼 발생이 억제되므로 수심을 얇게하여 2~3일에 한 번씩 관개하고, 분얼의 종기까지는 물이 단수되지 않도록 한다. 유효분얼기를 지나 무효분얼기에 이르면 벼 생육에 물을 별도 필요로 하지 않으므로 이 시기에는 생육조건을 개선하기 위하여 중간낙수를 실시한다. 이 시기는 최고분얼기인 출수 35일 전을 중심으로 무효분얼기로 부터 분얼감퇴기에 걸쳐 실시하는 것이 좋으며 이는 출수전 40~30일에 해당한다.

다. 수잉기 전후의 물관리

이 시기는 벼가 일생을 통하여 가장 많은 물을 필요로 하는 시기이며 부족시 유수(幼穗)의 발육 및 개화수정이 저하되어 감수를 초래한다. 벼는

유수분화기로부터 25일 후경에 출수하고 출수와 동시에 개화가 시작되지만, 한 필지 전체의 벼가 개화를 끝내기 위해서는 10~12일이 필요하므로 그동안은 다소 심수 관개하도록 한다.

라. 출수기 전후의 물관리

보통 만생종에 있어서 개화·수정한 벼알이 발육·비대하여 완전미가 되기까지는 약 35일이 소요되므로 등숙기간에 물이 필요한 시기는 출수후 약 30일이다.

이 기간은 잎에서 생성되는 동화전분 또는 체내의 저장전분을 이삭에 이전시키는 등 현미를 생산하기 위한 중요한 생리작용을 영위하므로 물이 필요하게 된다. 그러나 이 시기는 벼의 잎과 줄기가 쇠퇴해져 수분 증산량이 적어지므로 그다지 많은 물을 관개할 필요는 없으나 알게 충분히 관개할 필요가 있다.

마. 낙수

벼의 등숙정도로 보아 낙수의 적기는 보통 만생종의 경우 출수후 30~35일 경이다. 그러나 벼의 등숙정도는 재배방식, 품종, 등숙상태, 기상, 토성, 병충해의 발달상황을 참작하여 낙수기를 정하게 된다. 더불어 답의 토성에 따른 배수특성을 고려하여 낙수시기를 결정하여야 한다.

4.4.2 건답직파 물관리

건답직파재배는 육묘 과정을 생략하고 본답에 직접 파종하여 재배하기 때문에 이앙재배에 비하여 본답에서의 재배기간이 20~30일 더 연장되므로 관개용수도 더 소요되고 물관리 방법도 약간 다르다. 또한 발 상태에서 파종하므로 파종작업이 용이하도록 토양수분의 조절이 필요하며 출아 및 입모을을 높이기 위하여 본답 초기에는 발상태로 재배하고 본엽이 3~4엽 정도 전개되면 답수

하여 일반 논재배와 같이 재배한다.

따라서 건답직파에서의 물관리는 파종후 입묘기간과 담수후 물관리 방법으로 구분하여 시행하여야 한다.

가. 파종기

건답직파재배의 파종방법은 논을 경운 및 쇄토 또는 평탄 작업을 한후는 전면에서 산파하고 트랙터나 경운기로 2~3cm 복토하는 평면파종방법과 파종시 강우가 많은 남부지역에서는 물빠짐을 좋게 하기 위하여 배수 고랑을 설치하는 휴립파종법등으로 나눌 수 있다. 건답직파에서는 보통 파종후 30일 정도 경과하면 2~3엽기가 되며 이때부터 논에 전면 담수를 시작하므로 파종기에서의 물관리는 용수 공급 측면보다 배수의 측면을 고려해야 한다.

파종기간의 적정한 강우는 발아를 촉진시키고 작물의 생육을 좋게하나 과도한 강우로 토양이 과습하면 토양중의 종자가 부패하여 발아력을 상실할 우려가 있으므로 도랑을 내어 배수하도록 해야 하며 휴립파종에서의 고랑은 이같은 점을 고려하여 개발된 재배방식이다.

한편 토양이 건조하여 발아 및 입묘가 부족하게 되면 파종후 고랑에 관개하여 발아에 지장이 없도록 해야 한다. 경작자를 대상으로 조사한 결과 대부분 강우에 의존하여 발아용수를 공급하고 있었으며 토양수분이 과습하여 종자가 썩을 것을 우려하여 고랑관개는 지양하고 있는 것으로 나타났으나 봄가뭄에 대한 대비책으로 대부분이 휴립재배를 하고 있었다.

나. 초기 담수기

건답상태에서 자란 벼가 3엽기가 되면 배유의 저장양분이 소멸되고 이유기로 접어드는 시기이므로 정상적인 생육을 위하여 물이 필요하다. 건답에서 담수

로의 이상적인 전환은 일주일 정도 경과시키면서 뿌리가 담수상태에서 적응하도록 한 후 상면위로 담수시켜 뿌리와 지상부의 생육장애를 최소화 시키도록 해야 한다. 그러나 건답직파재배는 본답기간이 길고 3엽기에 관개할 때 토성에 따라 다르지만 일반적으로 토양공극이 그대로 유지되어 하층으로의 삼투량이 많기 때문에 관개용수가 다량으로 소요된다.

중발과 증산은 기상조건과 작물의 품종 및 재배방식에 의하여 달라지지만 삼투량은 토성, 토양구조, 공극의 크기 및 지하수위의 고저 등에 의하여 달라진다. 실험포장에서의 감수심 측정 결과 포장에서의 일 감수심이 110~240 mm에 달한 경우도 있으며 물관리 특성조사시 실경작자로 부터 조사된 자료에서도 150 ~ 300mm의 감수심을 보이는 경우도 있었다.

다음 표는 개략적이지만 실 경작자로 부터 파종후 최초 관개일 및 초기 관개수심, 초기 관개시 일감수심을 조사하여 정리한 것이다. 일 감수심은 한 번 관개후 몇시간 또는 몇일만에 논 바닥이 들어나는지를 청문조사하여 일 감수심으로 환산한 값이다. 물론 이러한 자료는 토양에 따라 심한 편차를 보이고 있으나 일반적인 경향은 알 수 있을 것이다.

<표 4-21> 초기 담수시 일 감수심

최초 관개일 (파종후 날 수)	초기 담수심 (mm)	일 감수심 (mm)	비 고
30 ~ 45 (35 일)	40 ~ 100 (57 mm)	40 ~ 130 (73 mm)	() : 평균

이와같은 점을 고려할 때 용수공급 측면에서는 담수초기의 용수공급량의 적정관리가 매우 중요하다. 초기 담수시기가 전 관개면적에서 집중될 경우 수원공에서 공급해 주어야 할 수량은 많아지게 되며 용수로의 단기공급능력도

증대되어야 한다. 그러므로 초기담수시 감수심이 많은 사질토 지역에서는 사실상 건답직파재배가 불가능 하다.

다. 심수관개기

건답재배에서 초기담수 후 토양 침투량이 안정되는 시기는 토양에 따라 7~30일 정도이다. 그러므로 이 기간에는 심수관개를 하여 적정담수심을 유지하여야 한다. 적정 담수심이 유지되어야만 쌀 수확량이 증대될 수 있다. 따라서 필요수량 산정시 건답직파재배에서는 적정감수심을 유지하기 위한 물관리 용수량을 별도로 고려해 주어야 한다.

라. 이후의 물관리

심수관개시기 이후의 물관리는 근본적으로 이앙재배의 본답기 물관리와 별 차이가 없다. 다만 잡초방제 및 병충해 방제를 위한 좀더 세심한 물관리가 필요하다.

4.4.3 담수직파 물관리

담수직파는 일반적으로 담수표면직파와 담수토중직파, 무논골뿌림재배로 나눌 수 있다. 그러나 이는 파종방법의 차이에 따른 것으로서 파종하기 전 포장의 처리 방법에 따른 구분일 뿐이며 근본적으로 물관리 방법에서 차이가 나는 것은 아니다.

담수표면직파는 씨레질 후 곧바로 손 또는 산립기를 이용하여 파종을 하기도 하고 서산간척지의 경우처럼 항공기를 이용하여 표면산파를 하기도 한다. 즉 담수표면직파는 파종방법이 간편하고 영농규모의 확대에 유리할 뿐만 아니라 잡초방제가 용이하나 는 표면에 파종하기 때문에 뿌리의 발달이 표면에 많고

뿌리가 지상부를 지지하는 힘이 약하여 도복되기 쉬운 단점이 있기 때문에 이러한 점을 고려한 물관리가 되도록 해야 한다.

담수 토중직파는 전용파종기를 이용하여 CaO_2 와 다찌가렌을 분의한 종자를 1~2cm 깊이에 파종하는 방법이며 수중에서의 발아시 종자의 썩음을 방지하기 위해 종자를 처리하고 전용파종기를 이용 토중에 파종하는 외에 담수표면직파 방법과 별 차이는 없다.

그러나 무논골뿌림재배는 우리나라에서 가장 보편적인 담수직파재배 방식으로 기계이앙을 할 수 있는 정도로 정지를 한 후 완전배수를 하여 담표면의 습윤 상태가 원추관이 6~7cm 들어갈 정도이거나 두부 또는 킷볼 정도로 굳었을 때 전용파종기를 이용하여 3~4cm 깊이로 골을 타면서 파종하는 방법이다. 그러므로 복토가 되지 않는 상태로 파종하기 때문에 출아율이 높고 벼가 자라는 동안 주위의 흙에 물힘으로 배토의 효과가 있어 도복을 경감시키는 등의 효과가 있다. 따라서 무논골뿌림재배에서는 다른 담수직파재배 파종법과는 달리 씨레질 후의 논굳히기에 따른 별도의 물관리가 필요하다.

그러므로 담수직파의 필요수량산정을 위해서는 무논골뿌림재배 방식을 기준으로 하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

무논골뿌림재배에서 일반적인 초기 물관리는 본답 정지기, 정지후 논굳히기, 파종기, 보온 및 입묘율 향상을 위한 심수관개기, 논그누기, 발아촉진을 위한 심수관개기로 나누어 구분할 수 있다.

가. 본답 정지기

본답의 경우, 정지시기에는 다량의 관개수가 필요하다. 이때의 관개필요수량은 토성, 지하수위, 경심 및 토양수분 함량에 따라 최고 164mm, 최소 36mm정도이다. (직파재배기술, p83)

이때의 용수량은 일반적으로 이양용수 또는 씨레질용수라고 하는데 씨레질에 필요한 담수심을 유지하기 위한 담수량 및 작토층과 심토층의 치환용기량 및 강하 또는 논두렁 침투량을 더한 수량을 의미한다. 이와같은 씨레질 용수량은 논의 입지조건이나 물관리 방식 등에 의해 필요수량이 달라지므로 필요수량 산정시 이와같은 점을 고려해야 하며 전체 관개면적에서 씨레질 일수 또는 씨레면적도 필요수량 산정의 주요한 변수가 된다.

경작자를 대상으로 한 조사결과 경운작업은 보통 가을에 한 번 경운한 후 파종 10일전 쯤 담수를 시작하여 1차 씨레질(기계 로타리)작업을 하고 3~4일 후 2차 로타리 작업을 하여 2차 로타리 작업후 4일간 담수를 시키고 부유물질 등이 가라앉은 다음 논굳히기에 들어가는 것으로 조사 되었다.

나. 논 굳히기 및 파종기

무논골뿌림재배에서는 파종전 논굳히기를 실시한다. 논굳히기의 정도는 「직파기술지도지침」에 나타난 기준에 따라 실시하는 것으로 나타났다. 기술지도지침에서는 논굳히기 정도를 원추관입심도가 6~7cm 정도이거나 논의 굳은 정도가 두부모 정도로 되었을 때 적정한 것으로 조사되었다.

현장 조사 결과 논 굳히기의 일수는 2~4 일간으로 조사 되었으며 응답자의 평균 일수는 3.8일 이었다.

논 굳히기는 전용파종기를 이용하여 효과적으로 파종하기 위한 수단이므로 이와같은 과정에 따른 용수 수요량은 증대하게 된다. 파종기간 동안은 논굳히기를 하여 두부모 정도의 무른 상태에서 파종하므로 별도의 용수는 필요가 없다. 배수가 원활 하지 않은 토양 또는 배수 불량지구에서는 적정한 배수를 위한 물관리 기법이 필요하며 배수가 원활하지 못할 경우 담수상태를 유지하여 파종하는 담수표면 직파가 바람직하다.

다. 초기담수와 눈그누기

무논골뿌림재재에서는 일반적으로 파종직후나 파종 후 1~2일 이내에 관개를 시작하는 것이 일반적이다. 이와같은 물관리는 지역 또는 재배시기에 따라 다소 다르지만 일반적으로 파종 후 2~3주 동안은 심수관개를 하는 것이 바람직하여 심수관개를 할 경우 피등의 잡초발생을 억제하고 새의 피해도 줄여 입묘율의 향상을 꾀할 수 있다.

조사결과 초기 담수심은 20~50mm로 나타났으며 평균 40mm로 심수관개는 하지 않는 것으로 나타났다.

그러나 심수관개를 장기간 하게 되면 입묘율이 떨어지므로 따뜻한 날을 골라 반드시 눈그누기를 해야 한다. 눈그누기는 2~3일간의 초기 심수관개를 한 후 출아 및 뿌리의 활착을 돕기 위하여 실시하는 것으로 논바닥에 실금이 갈 정도로 강낙수를 실시한다.

실제 조사결과 눈그누기는 파종후 4~7일에 실시하고 있었으며 기간은 2~4일간으로 평균 3일 이었으며 2일의 경우에는 3~4일을 사이에 두고 담수와 눈그누기를 반복하는 경우도 있었다. 그러나 응답자의 일부는 눈그누기를 별도 실시하지 않고 있었으며 그런 경우는 본엽이 2~3엽기에 5일 낙수 5일 담수를 2회 정도 반복하여 눈그누기를 대신하였다.

실제 포장에서는 용수재이용 시설이 없는 경우 배수를 하고 다시 재담수를 해야 하기 때문에 상당량의 용수가 필요하게 된다.

라. 심수관개기의 물관리

눈그누기를 실시한 후 즉 파종 후 약 10~15일 정도 경과하면 제초방제를 실시하고 약효를 유지시키기 위하여 심수관개를 한다. 담수직파에서 3엽기가 되기 전까지 필요수량은 작물의 증산량 보다도 답에서의 삼투량 및 심수관개

를 유지하기 위한 관리용수량이 보다 큰 비중을 차지한다. 심수관개를 유지함으로써 잡초의 발생을 줄이고 쥐와 새의 피해를 줄일 수 있으며 안정적인 입묘율을 도모할 수 있다.

마. 이후의 물관리

파종후 30~35일 후면 본엽이 3~4엽기에 이르게 된다. 이 때에는 이앙재배와 동일한 물관리 방식이 요구되며 다만 직파재배의 취약점인 도복 및 병충해를 방지하기 위해서는 보다 정밀한 물관리가 필요하며 가급적 담수상태를 오래 유지하지 말고 중간낙수를 실시하는 것이 바람직하다.

4.4.4 저수위 자료 수집

영농방식의 변화에 따른 필요수량 변화와 수원공에서의 필요저수량의 변화를 파악하기 위해서는 필요수량 산정 모형을 개발하고 모형의 적합성을 검증하기 위하여 실측된 저수위 또는 방류량 자료의 수집이 필요하다.

이러한 자료는 여러 대상지구를 선정, 장기간에 걸쳐 방류량 및 저수위의 변화를 추적함으로써 포장용수량 시험 결과에서 나타난 단일 필지에서의 용수량의 변화가 실제 단일 몽리구역을 가지는 수원공에서의 저수위 변화와 어떤 관련이 있는지를 검토하는데 중요한 기초자료로 활용될 것이다.

본 연구에서는 경기도 안성군의 기호농개량조합 관내 용설저수지를 선정하여 “저수관리 시스템 개발”(1994, 농어촌진흥공사) 연구사업에서 시범 운영되었던 “실시간 저수위 자료수집 시스템”을 이용, 매시 단위의 실시간 저수위 자료를 수집하였다. 또한 용설저수지의 관개기간 동안의 일별 방류량 자료를 수집하여 단일 수원공에서의 생육기별 물관리 과정을 분석하고 필요수량의 변화를 파악하는 자료로 활용하도록 하였다.

용설저수지는 경기도 안성군 이죽면에 위치하며 유역면적 790ha, 관개면적 394ha 인 소규모 농업용 저수지로서 온라인 네트워크를 설치하기에 적당한 제반 조건을 구비하고 있다. 용설저수지의 일반현황은 <표 4-22>과 같다.

<표 4-22> 용설저수지 현황

구 분	유역면적 (ha)	관개면적 (ha)	총 저수량 (천 m ³)	제당길이 (m)	제당높이 (m)	준공년도
현 황	790	395	3,064	459	19	1992.12

가. 실시간 저수위 자료 수집 시스템

용설저수지에 설치된 실시간 저수위 자료수집 네트워크는 저수위의 수위 관측소와 자료전송을 위한 통신선로 및 자료수집과 전송제어를 위한 조사설계처의 컴퓨터 시스템으로 구성된다. 수위관측소에는 수위계와 측정된 수위를 일시 저장하고 전송하는 Logger 및 모뎀이 있으며 통신선로는 한국통신의 전용회선으로 수위관측소와 본사 조사설계처의 PC 및 모뎀과 연결되어 실시간의 자료전송이 가능하도록 구성되어 있다.

나. 시스템의 운영

시스템의 실제조작은 전산에 익숙하지 않을 경우에도 손쉽게 이용할 수 있도록 메뉴화 하였으며 모든 프로그램은 주프로그램을 실행한 다음 주 메뉴에서 필요한 프로그램을 선택함으로써 수행할 수 있도록 되어 있다. 주 메뉴는 도움말, 현재 데이터 표시, 이전 데이터 검색, 시스템 등록, 그래프 표시로 구분되며 현재 데이터 표시 화면에는 시간별 저수위, 저수량, 저수율이 표시된다. 이전 데이터 검색 화면에서는 현재일 이전 30일까지의 수위자료를 검색할 수 있다.

다. 자료의 수집

금회 2차년도 연구에서는 실시간 저수위 자료 수집 시스템을 이용하여 용설저수지의 시간별 저수위 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 <부록VI>에 수록하였으며 부록에는 시간별로 수집된 자료가 방대하므로 오전 8시의 수위와 일평균 수위 기록치 및 그 때의 저수량, 저수율만 나타내도록 하였다.

금회 수집된 자료는 5월 21 부터 12월 4일 까지이며 용설저수지의 관개기간은 5월 1일 부터 9월 16일 까지로 나타났다. 최초 관개시기가 늦은 것은 용설저수지의 저수량이 부족하여 묘대용수를 공급하지 않았기 때문이다.

상기 자료는 본 연구에서 개발된 수리시설물 모의조작 모형의 적합성을 검토하는데 활용할 계획이다.

4.5 외국의 사례

최근 우리나라에서 벼 직파면적이 확대됨에 따라 작물의 필요수량 및 농업용수 물관리 변화가 예상되어 이를 과제로 선정, 연구를 수행하면서 중·대규모 직파가 성행하고 있는 미국을 중심으로 쌀농사 현황과 관개용수 산정을 위한 자료수집차 해외 출장의 기회를 가졌다. 방문기관은 미국의 경우 캘리포니아(California) 대학 데이비스(Davis) 캠퍼스와 루이지애나(Louisiana) 대학 부속 쌀연구소를 그리고 일본의 경우 직파 재배시험을 다년간 시행하고 있는 현립농업시험장 2개소를 방문하였다.

4.5.1 캘리포니아의 직파

벼재배를 위한 이상적인 기후를 가진 캘리포니아에서는 특별한 방법으로 담수직파를 성공시켜 세계에서 가장 높은 연간 쌀 생산율을 자랑하는 독자적인 기술을 가지고 있다. 캘리포니아의 Butte 지방에서 부터 상업적으로 쌀생산을 시작한 것은 1912년이며 현재는 이곳 지방의 가장 중요한 농산물로서 자리를 잡았다.

캘리포니아의 연간 쌀 생산면적은 가격변동과 정부시책, 그리고 사용가능한 수자원량에 따라 좌우된다. 예를 들면 1975년의 경작면적이 525,000에이커(214,200 ha)에 달했는데 이는 정부가 벼 재배를 권장했기 때문이며 반대로 1977년의 경우 2년 연속 가뭄으로 수자원이 부족하여 경작면적이 300,000에이커(122,400 ha)로 줄었다. 또 상대적으로 쌀 가격은 1981년 경작면적이 608,000에이커(248,100ha)에 달하였을때 최고를 기록하였으며 쌀가격이 떨어질 경우 미국 농무부(USDA : U.S. Department of Agriculture)에서 벼 경작면적을 줄이도록 조정하며 1983년의 경우 재배면적을 50%까지 줄인적도 있다. 최근의 벼 재배면적은 350,000~450,000에이커(142,800~183,600ha) 범위이다.

캘리포니아의 벼 재배면적 중 약 90%가 사크라멘토(Sacramento) 계곡에 위치하고 있으며 나머지는 북쪽 San Joaquin 계곡 중심부에서 재배하고 있다. 파종은 대부분 경비행기를 이용하고 있었으며 <그림 4-6>은 캘리포니아 데이비스 근교에서 찍은 직파용 경비행기를 보여주고 있다.



<그림 4-6> 항공직파에 이용되는 경비행기

캘리포니아의 연간 쌀 생산면적은 가격변동과 정부시책, 그리고 사용가능한 수자원량에 따라 좌우된다. 예를 들면 1975년의 경작면적이 525,000에이커(214,200 ha)에 달했는데 이는 정부가 벼 재배를 권장했기 때문이며 반대로 1977년의 경우 2년 연속 가뭄으로 수자원이 부족하여 경작면적이 300,000에이커(122,400 ha)로 줄었다. 또 상대적으로 쌀 가격은 1981년 경작면적이 608,000에이커(248,100ha)에 달하였을때 최고를 기록하였으며 쌀가격이 떨어질 경우 미국 농무부(USDA : U.S. Department of Agriculture)에서 벼 경작면적을 줄이도록 조정하며 1983년의 경우 재배면적을 50%까지 줄인적도 있다. 최근의 벼 재배면적은 350,000~450,000에이커(142,800~183,600ha) 범위이다.

캘리포니아의 벼 재배면적 중 약 90%가 사크라멘토(Sacramento) 계곡에 위치하고 있으며 나머지는 북쪽 San Joaquin 계곡 중심부에서 재배하고 있다. 파종은 대부분 경비행기를 이용하고 있었으며 <그림 4-6>은 캘리포니아 데이비스 근교에서 찍은 직파용 경비행기를 보여주고 있다.



<그림 4-6> 항공직파에 이용되는 경비행기

가. 기상

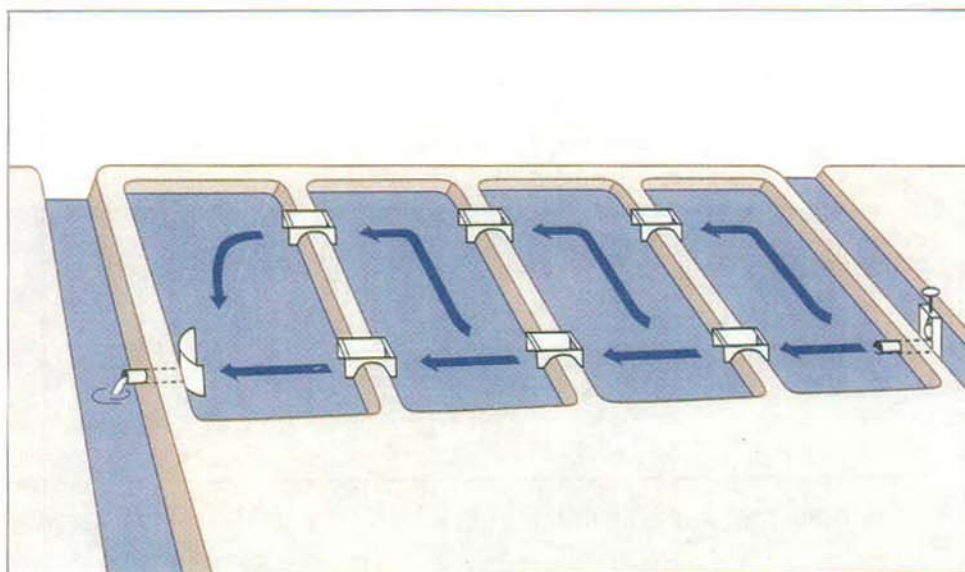
캘리포니아는 태평양 연안에서 불어오는 해양성 기후로 말미암아 벼 재배 기간 중 주간온도가 높고 건조하며 일조량이 많은 편이다. 그 반면 야간온도는 매우 낮아(15~20℃) 냉해방지를 위하여 심수관개(20~30cm)를 하지 않을 수 없으며 강우량은 벼 재배기간인 5~10월 중에는 거의 없고 11~4월 사이에 년평균 약 500mm를 나타내고 있다.

<표 4-23> 월별강우량(데이비스 관측소)

월 별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전 년
강우량 (mm)	95.0	80.5	60.0	29.7	10.4	4.1	0.5	0.5	6.4	21.1	47.5	79.8	435.5

나. 관개조직

캘리포니아에서는 <그림 4-7>에서 보는 바와 같이 연속적인 내리흘림식 관개(연속관개) 조직을 이용하고 있다. 이와같은 관개조직에서 배수되는 용수는 가끔 살충제를 포함하고 있기 때문에 하류부에서 이용되는 물을 오염시키기도 한다. 1984년, 주(州) 정부의 엄격한 규칙에 의해서 벼 재배자들은 그들의 포장용수에 대하여 독극물이 없도록 살충제를 처리하도록 하였다. 이와같이 관개용수에 대한 제약은 벼재배자들로 하여금 벼농사에 어려움을 주었으며 장기간에 걸친 담수는 수질악화와 함께 바람직하지 못하다는 결과를 초래하였다. 따라서 보다 효율적인 물관리를 위한 관개조직이 제시되었으며 이것이 바로 내리흘림식 관개이다. 캘리포니아의 내리흘림식 관개조직도는 <그림 4-7>과 같다.

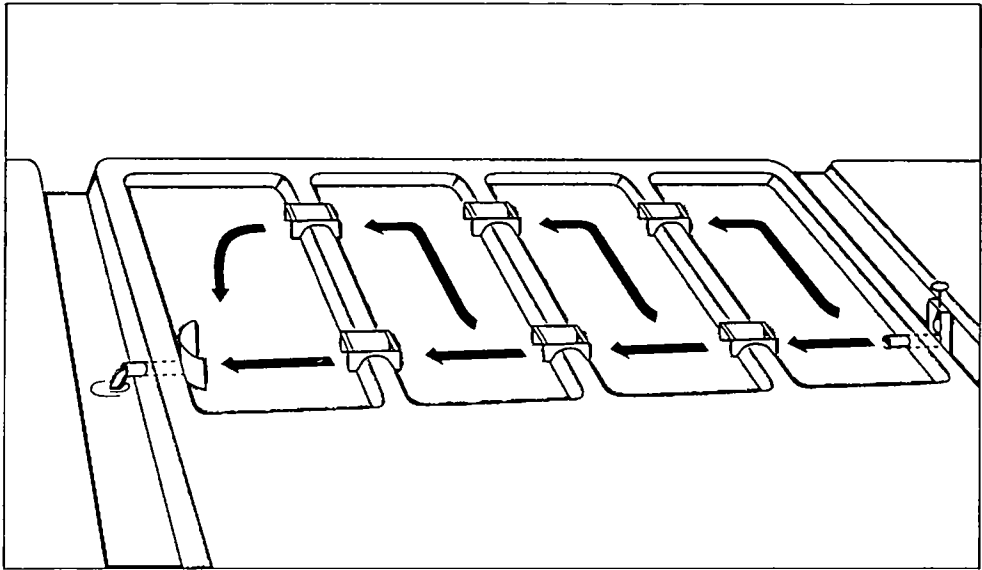


〈그림 4-7〉 내리흘림식 관개를 위한 관개조직도

최근에 관개조직에 있어 벼재배자들을 위한 혁신적인 물관리방법이 3가지가 제시되었으며 이 방법들을 통하여 내리흘림식 관개와 배수되는 용수의 수질을 양호한 상태로 유지할 수 있었다.

- (1) 내리흘림식 관개를 통하여 관개용수를 재순환시키며 한번 이용된 용수는 다시 다른 경지에 몇번 재이용된다.
- (2) 정체된 관개용수 사용조직은 개인적으로 담수심을 유지하기 위하여 이용되며 살충제가 뿌려진 경지에서는 배수시킬 수가 없다.
- (3) 중력에 의해 월담되는 관개용수는 관수로를 통하여 인근의 경지나 혹은 공공의 배수로로 배수시킨다.

순환, 정체, 그리고 중력에 의해서 재이용되는 관개조직은 최근 캘리포니아



〈그림 4-7〉 내리흘림식 관개를 위한 관개조직도

최근에 관개조직에 있어 비재배자들을 위한 혁신적인 물관리방법이 3가지가 제시되었으며 이 방법들을 통하여 내리흘림식 관개와 배수되는 용수의 수질을 양호한 상태로 유지할 수 있었다.

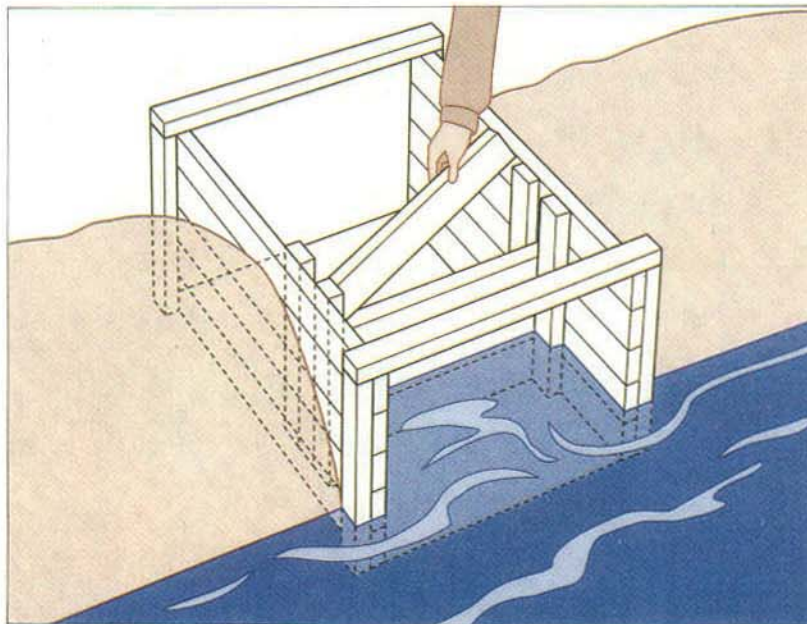
- (1) 내리흘림식 관개를 통하여 관개용수를 재순환시키며 한번 이용된 용수는 다시 다른 경지에 몇번 재이용된다.
- (2) 정체된 관개용수 사용조직은 개인적으로 담수심을 유지하기 위하여 이용되며 살충제가 뿌려진 경지에서는 배수시킬 수가 없다.
- (3) 중력에 의해 월담되는 관개용수는 관수로를 통하여 인근의 경지나 혹은 공공의 배수로로 배수시킨다.

순환, 정체, 그리고 중력에 의해서 재이용되는 관개조직은 최근 캘리포니아

의 벼농장에서 많이 이용되고 있다. 각각의 관개조직에 대한 장·단점 및 수질에 대한 잠재적인 영향은 벼 재배자들의 경작방식에 따라 제각기 어떤 조직을 선택하든지 혹은 병행하여 선택하든지 자유이다.

이와같은 내리흘림식 관개조직은 이상적인 관개방식이다. 왜냐하면 물은 경지의 가장 표고가 가장 높은곳에서 낮은곳으로 자연급수가 가능하기 때문이다. 그러나 이 방법은 수자원면에서 비 경제적이며 비료성분의 용탈 및 유실이 현저하고 한냉지에서는 냉수장애를 일으키는 등 많은 단점도 있다.

경지에서 경지로 이동되는 물은 나무로 만든 웨어나 문비로 조절이 가능하다. 그리고 마지막 웨어를 통하여 월류되는 물은 배수로로 빠져나간다. 경지와 경지 사이의 나무문비는 계단식으로 1개의 크기가 약 4인치(10cm)로서 <그림 4-7>에서 보는 바와 같이 경지의 양끝에 설치되어 있다. 따라서 경지내의 담수심 관리 는 <그림 4-8>과 같이 웨어구조물의 문비(각낙판)를 조절하므로써 가능하다.

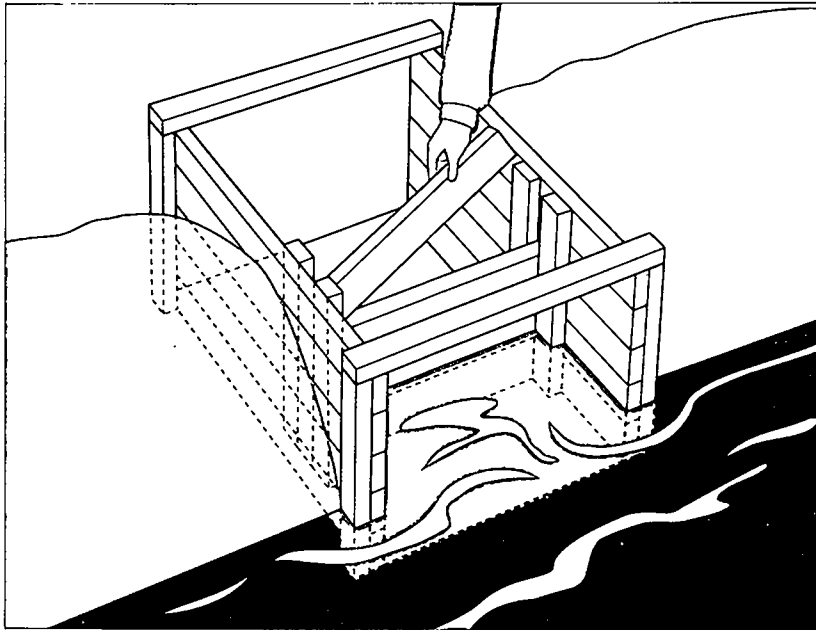


<그림 4-8> 경지간 논둑에 설치된 나무문비

의 벼농장에서 많이 이용되고 있다. 각각의 관개조직에 대한 장·단점 및 수질에 대한 잠정적인 영향은 벼 재배자들의 경작방식에 따라 제각기 어떤 조직을 선택하든지 혹은 병행하여 선택하든지 자유이다.

이와같은 내리흐림식 관개조직은 이상적인 관개방식이다. 왜냐하면 물은 경지의 가장 표고가 가장 높은곳에서 낮은곳으로 자연급수가 가능하기 때문이다. 그러나 이 방법은 수자원면에서 비 경제적이며 비료성분의 용탈 및 유실이 현저하고 한랭지에서는 냉수장애를 일으키는 등 많은 단점도 있다.

경지에서 경지로 이동되는 물은 나무로 만든 웨어나 문비로 조절이 가능하다. 그리고 마지막 웨어를 통하여 월류되는 물은 배수로로 빠져나간다. 경지와 경지 사이의 나무문비는 계단식으로 1개의 크기가 약 4인치(10cm)로서 <그림 4-7>에서 보는 바와 같이 경지의 양끝에 설치되어 있다. 따라서 경지내의 담수심 관리는 <그림 4-8>과 같이 웨어구조물의 문비(각낙판)를 조절하므로써 가능하다.



<그림 4-8> 경지간 논둑에 설치된 나무문비

초기담수는 3~4일간 최대유량으로 유하시키고 그 후부터 헥타당 0.0014~0.00213 m^3/s 의 용수를 공급한다.

다. 필요수량

벼가 자라는데 사용되는 물은 어느 지역에서와 마찬가지로 (1) 작물의 증발산량 (2) 토양을 통한 침투량 (3) 포장에서의 손실량으로 나눌 수 있다.

◎ 증발산량(ET) : 벼재배에 있어 초기의 필요수량은 거의 포장에서의 증발량으로 간주할 수 있다. 그러나 벼가 약 30cm정도 자라게 되면 사용수량의 약 90%가 작물의 생육에 실지로 필요한 증산량으로 이용된다. 작물의 전체 증발산량은 기후의 영향을 가장 많이 받는다(일조시간, 바람, 온도, 습도 등).

최근 사크라멘토(Sacramento) 지역에서 실측된 벼 재배를 위해 필요한 평균수량은 915~1,170mm(36~46inch)정도로 나타났다. 이는 1970년대 중반까지 수학적 모형에 의해서 계산된 필요수량과 비교하여 약 3배에 해당되는 것이며, 최근에는 새로 개발된 품종과 재배기간의 단축으로 감소되는 경향을 보이고 있다. (170일에서 145일로 단축)

◎ 침투량(Deep percolation) : 벼 재배에 필요한 또 다른 용수는 뿌리 이하의 토층으로 침투되는 침투량이다. 통상 벼를 재배하는 경지에서는 관개기간 동안 계속해서 담수를 하므로 수직침투량은 매우 적으며 연간 127~610mm(5~24inch)정도이다. 일반적으로 벼를 재배하는 경지에서는 침투량이 연간 1,200mm를 넘지 않는다. 만약 침투량이 연간 3,000~6,000mm를 넘을 경우 벼외의 다른 작물을 재배하는 것이 타당할 것이다.

◎ 유출(Runoff) : 벼재배에 있어 또 다른 필요수량 요인은 관개기간 동안의 지표유출이다. 물비용도 비싸지 않고 물관리가 가장 용이하므로 연속관개

를 하는 수로조직이 아직까지 보편적으로 많이 이용된다. 이와같은 관개조직은 작물의 최대 수량을 필요로 하는 시기에 맞추어 물을 거의 일정하게 공급하며 또한 담수심 관리를 위해서 배수도 일정하게 조절하여야 한다. 1970년대 레이저 빔을 이용한 경지정리 기술이 도입되고 난후 연속관개조직이 널리 확산되었다. 전형적인 연속관개의 수로조직에서 연간 경지유출은 약 305mm(12inch)이며 그 범위는 230~1,015mm(9~40inch)정도이다.

최근 벼를 재배하는 구역에 공급되고 있는 전체 관개용수량은 약 1,270~2,540mm (50~100inch ; 4.2~8.4 acre-feet)정도이다. 그리고 실제 작물에 필요한 증발산량(ET)은 약 1,067mm(42inch)정도이다.

라. 벼 증발산량

일반적으로 지중해성 기후를 받는 캘리포니아 지역에서 벼에 대한 증발산량은 1,070~1,220mm(3.5~4.0 feet)이다(전 관개기간). 그리고 관리용수를 포함할 경우 1,220~1,520mm(4.0~5.0 acre-feet)이며 과거에는(1985년까지) 약 2,130mm(7.0 acre-feet)였다. 계절별 벼에 대한 증발산량을 나타내면 <표 4-24>과 같다.

<표 4-24> 관개기간중 증발산량

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

마. 잡초방지를 위한 물관리

야간의 심수관개는 잡초방지와 제초제 절약 및 그리고 지속적인 쌀생산을 위하여 매우 바람직한 물관리이다. 지난 10년간 물관리 방법은 최근의

단기적인 벼 재배를 위하여 최고로 발달하였다. 이와같은 관개조직은 정밀한 레벨링, 천수(淺水)관개, 간단관개 그리고 논의 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 캘리포니아의 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 각각 다른 수심에 따른 벼의 성장도등을 연구하였다.

결론적으로 심수관개가 벼성장의 초창기에 잡초억제를 위하여 매우 효과적이었고 이에 반하여 천수관개는 잡초발생의 원인이 되었다. 즉 심수관개시 일반적으로 잡초는 매우 작았으며 또 어떤 경우는 아주 약하였다.

4.5.2 루이지애나 벼농사

가. 쌀 연구소(Rice Research Station)

루이지애나 쌀 연구소는 1972년 루이지애나 주의회에 의해서 설립되었다. 그리고 이 기구는 중앙 정부의 지원을 받으며 13명의 벼 연구가들로 구성되어 있다. 그 중의 6인은 루이지애나 농업연합회에서 선출되었고 2명은 미국 쌀 재배학회에서 그리고 그 외 5명은 루이지애나 쌀 재배학회에서 선출되었다.

루이지애나 쌀 연구소 연구원은 연간 4회의 공식적인 회의를 하며 이회의를 통하여 연구 프로젝트에 대한 기금활용과 연구성과등을 토의한다. 1996년 현재 사용 가능한 연구기금은 약 10억 정도이다. <표 4-25>는 루이지애나의 월별 강우량을 나타낸 것이며 <그림 4-9>는 루이지애나 쌀 연구소 근교에서

항공직파를 시행한 농가의 어린모를 찍은 사진이다.

<표 4-25> 루이지애나 월별 강우량

단위 : mm

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1992	329	96	135	250	121	362	103	36	73	168	218	110	2,001
1993	281	187	52	115	121	163	197	206	120	72	220	101	1,835



<그림 4-9> 비행기로 직파된 어린모(루이지애나)

나. 필요수량시험 결과

루이지애나 대학 소속 쌀연구소의 Robert J. Edling, Malcolm Gaspard

항공직파를 시행한 농가의 어린모를 찍은 사진이다.

<표 4-25> 루이지애나 월별 강우량

단위 : mm

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
1992	329	96	135	250	121	362	103	36	73	168	218	110	2,001
1993	281	187	52	115	121	163	197	206	120	72	220	101	1,835



<그림 4-9> 비행기로 직파된 어린모(루이지애나)

나. 필요수량시험 결과

루이지애나 대학 소속 쌀연구소의 Robert J. Edling, Malcolm Gaspard

그리고 Philip Reeves는 지난 1994~1995년간 논에서 담수를 위한 일별 용수 사용량에 대한 조사를 실시하였다. 측정방법은 2개년간 논에서의 유입량 및 강우량, 침투량, 배수량과 담수심을 관측하므로써 관개수량을 파악하는 것이다.

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 257.7mm(10.14inch)였다. 6월과 7월의 경우 관개구역에 3번의 용수공급량 및 담수심 시험을 하였으며 용수공급시간은 오후 3시에서 다음날 아침 7~8시경까지 계속하였다. 6월 3~4일간 이용된 필요수량 공급량은 26.9mm(1.06inch)였고 수심의 변화량은 27.7mm(1.09inch)였다. 또 6월 11~12일간 이용된 수량은 50.3mm(1.98)와 51.8mm(2.04inch)였고 7월 1~2일간은 38.6mm(1.52)와 39.9mm(1.57inch)였다. 그 결과 1996년 동안 전체 관개용수로 이용된용수량은 373.4mm(14.7)inch이며 1995년의 경우 329.7mm(12.98inch)였다.

그리고 유효강우는 1996년의 경우 318.8mm(12.55inch), 1995년의 경우 416.3mm(16.39inch)였다. 따라서 전체 관개에 이용된 용수량은 1996년의 경우 692.2mm(27.25inch), 1995년의 경우 746.0mm(29.37inch)였다. 또 관개기간중 측정된 배수량은 1995년의 경우 10.9mm(0.48inch)고 나타났고, 1996년의 경우 관측기기의 고장으로 측정되지 않았으나 25.4mm(1inch)미만이였다. 그리고 논에서의 침투량은 2년간에 걸쳐 각각 38.1mm(1.5inch)로 추정되었다. 그리고 기상자료를 이용하여 계산된 잠재증발산량은 1995년의 경우 530.6mm(20.89inch)였다. 1996년의 경우 아직 자료가 정리되지 않아 계산할 수 없었다. 이상의 자료를 정리, 요약하면 다음과 같다.

<표 4-26> 물관리 시험결과

(단위 : mm)

년도	용수공급량	유효우량	배수량	침투량	잠재증발산량	비 고
1995	329.7	416.3	20.0	38.1	530.6	
1996	373.4	318.8	10.9	38.1	-	

4.5.3 일본의 직파

가. 현황

일본의 벼재배 면적 약 230만ha 이며 직파가 가장 많이 시행되었던 해는 1974년으로 약 55,000ha까지 확대되었었다. 그 후 기계이앙을 통한 안정적인 생력화 촉진으로 말미암아 직파면적이 점차 감소하였으며 1990년대 현재는 약 7,980ha, (건답 5,630ha, 답수 2,340ha)경지에 직파를 하고 있는 실정이다. 그러나 아직도 직파에 대한 시험과 연구는 끊임없이 시행하고 있어 1960년대 부터 현재까지 약 2,400여편의 논문이 직파와 관련하여 발표되었다.

일본에서 직파가 확대되지 못한 요인은 기후, 토양, 그리고 중,소규모의 농지면적 등 여러가지가 있겠으나 현지에서 청문한 결과 다음과 같이 요약할 수 있었다.

- 건답 파종기에 장마가 일찍 시작되어(해양성 기후) 파종이 어렵다.
- 출아입묘가 불안정
- 답수표면 산파의 경우 입묘가 불확실하고 지지력 약화로 도복이 심함.
- 답수하 토중직파가 개발되었으나(20년간 연구) 칼파코팅에 대한 비용이 많이 듦.

따라서 상기의 요인과 함께 기계이앙의 경우와 비교하여 직파비용이 크게 개선되지 않았고 결국 이앙재배가 정착되었으며 한편으로 겸업농가가 많아 시간 및 계절적 파종적기를 조절하지 못하는 것도 큰 이유로 생각할 수 있었다.

나. 물관리

건답직파의 경우 씨래질이나 기타 초기 벼 씨앗의 발아를 위하여 관개를 하지 않음으로 용수공급시 침투량이 증가한다. 그러나 심토층의 투수계수가 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 이하의 논에서는 지하침투를 고려하지 않아도 되며 건답의 경우 벼 생육중에 간단관개를 실시하는 것이 유리하다고 하였다.

○ 용수량 : 침투량이 다소 많은 화산토의 직파경지에서 조사된 川田지구의 경우 포장용수량은 건답직파의 경우 ha당 7,300㎡~10,000㎡, 이앙재배에서는 5,600㎡~7,300㎡로 나타났고 포장에서의 증발산량은 1일 약 4mm였다. 그리고 감수심은 건답직파의 경우 1일 60mm까지 나타났으며 이앙직파에서는 30~40mm 정도였다.

최근 논에서의 용수량 변화에 대하여 상세한 조사를 하지 않았고 古木(농공연구소)에서 조사된 건답직파의 경우 씨래질을 하지 않아 침투량이 증가하는 것으로 보고되었으며 심토의 투수계수가 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 이하의 논이나 지하수위가 상승하는 논에서는 용수량의 증가가 필요하지 않았다. 그러나 투수계수가 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이하의 논이라도 지하수위 상승이 없을 경우 이앙배배와 비교하여 약 1.2배 정도 이상의 필요수량이 요구되었으며 시기별 용수량도 이앙재배와 다소 다르다는 점을 유의해야 한다.

특별히 姫田(농사시험연수소)지구의 시험에서 건답직파 보급율이 약 50%일 경우 발아기의 필요수량이 부족하였다고 하였다. 長堀(岡山大農)의 경우 건답직파와 답수직파의 용수량을 비교한 결과 건답직파의 소비수량이 답수직파의 약 3배에 도달한 적이 있다는 기록이 있다.

○ 물관리 : 下村에서는 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 답수후 4일 답수하고 3일 단수한 결과 낙수일수에 비해서 간단관개보다 수확량이 다소 증가하였다고 하였다.

제 5 장 수리시설물 모의조작 모형 개발

5.1 개 요

5.2 모형의 구성

5.3 필요수량 산정 모형

5.4 유입량 모형

5.5 물수지 모형

5.6 필요저수량 결정 모형

5.7 단위용수량 산정 모형

5.8 통합 시스템의 개발

여 백

제 5 장 수리시설물 모의조작 모형 개발

5.1 개 요

필요수량을 추정하는 궁극적인 목적은 답에서의 물 수요를 정확히 예측하고 부족수량을 판단하여 필요한 수량을 적기에 공급하기 위한 물관리 모형을 구축하는데 있다. 이와같은 물관리 모형은 물수요를 시기적으로 유효적절하게 예측하고 공급을 원활하게 함과 동시에 수원공에서 용수의 수급을 직접 통제하는데 필요한 것이다.

수리시설물 모의조작 모형도 물관리 모형의 일종으로 물수지에 영향을 미치는 여러가지 수문인자를 이용하여 저수지의 저수위 및 저수량을 추적하는등 저수지 운영을 모의조작함으로서 수원공을 효율적으로 관리하는데 이용될 수 있다. 또한 모의조작 과정을 통하여 기설수리시설물의 용수공급 능력을 평가하고 신규 저수지의 경우 그 설계규모를 결정하는데 이용할 수도 있다.

수리시설물 모의조작 모형을 개발하기 위해서는 수리시설물을 중심으로 구성되어 있는 여러가지 수문인자를 합리적으로 정의하고 조직화 하여야 한다. 저수지의 경우 유입량, 필요수량, 그리고 발전방류량과 통관방류량 등을 산정하고 또 저수지 수면상의 증발량, 강수량과 여수토 월류량등에 대한 모의조작 규정도 함께 고려하여야 한다. 또한 이와 같은 여러가지 수문학적 인자들의 모의연산 과정을 월별로 할 것인지 순별, 또는 일별로 할 것인지에 대한 방안도 심도있게 고려해야 한다.

본 연구에서는 수리시설물을 중심으로 발생하는 여러가지 수문인자를 정확하게 정의하고 이들을 합리적으로 구성하여 영농방식을 고려한 순별 물수지 및 일별 물수지 분석이 가능한 수리시설물 모의조작 모형을 개발하는데 중점을 두고 있다.

금회 연구에서 개발될 영농방식을 고려한 수리시설물 모의조작 모형은 전통적인 이양재배 뿐만 아니라 담수직파, 건답직파 그리고 혼합재배방식에 따른 필요수량을 순별 또는 일별로 산정 할 수 있으며 수리시설물의 모의조작을 통하여 필요저수량을 산정하여 그 규모를 직접 결정할 수 있도록 하는 통합 시스템을 구축하는데 목표를 두고 있다.

수리시설물 모의조작 모형은 물수지방정식을 기초로 하여 탱크모형, 가지야마 유출량 공식, 수정 Penman식, Blaney-Criddle식을 선택적으로 적용하여 임의 유역의 유출량 및 논 필요수량을 산정할 수 있을 뿐만 아니라 벼 재배방식의 변화에 따른 물관리 체계를 고려한 수리시설물의 일별 또는 순별 물수지를 가능하게 할 것이다.

본 장에서는 현재 개발중에 있는 영농방식을 고려한 수리시설물의 모의조작 모형에 대한 기본이론 및 세부적인 구성에 대하여 기술하였다.

5.2 모형의 구성

5.2.1 개요

영농방식을 고려한 수리시설물 모의조작 모형을 구축하기 위해서는 유입량과 필요수량에 대한 물수지 요소들을 정의하고 조직화하여 물리적인 과정을 개념화 시켜야 한다. 금회 계획중인 수리시설물 모의조작 모형에 대한 세부 모형 요소들은 사업계획, 필요수량, 유입량, 모의조작, 시설계획, 기상자료 항목들로 구분할 수 있으며 각각에 대하여 독립적인 운영이 가능하도록 모형화 (Modeling) 하였다.

사업계획 모형은 본 연구가 범용성 있는 모형이 되도록 필요한 사업지구의

영농계획, 일반 유역현황, 시설물 현황등의 자료를 관리한다. 유입량 모형은 저수지의 순별 또는 일별 유입량을 모의발생하기 위한 것으로 순별 유입량은 梶山(Kajiyama) 공식을 이용하였고, 일별 유입량은 우리나라 유역의 일유출량 계산에 맞도록 수정된 Tank 모형(김,1988)을 적용하였다.

영농방식을 고려한 수리시설물 모의조작 모형에서 가장 중요한 부분은 필요수량 산정 모형이다. 재배방식별 논 필요수량의 변화를 산정하는 것은 연구의 첫째 목표이기 때문이다. 잠재증발산량을 산정하기 위해 F.A.O에서 제시한 수정Penman식 또는 Blaney-Criddle식을 선택적으로 사용할 수 있도록 하였으며 포장에서의 유효수량과 담수심을 산정하기 위해 저수지에서 물 공급량과 포장에서의 수요량을 일별로 물수지 하여 결정할 수 있도록 하였다.

유입량 모형과 필요수량 모형에서 결정된 물수지 요소들은 물수지 모형에서 수리시설물의 설계제원을 가정하여 모의조작하게 되며 이때 논 필요수량을 제외한 생·공업용수등의 필요수량 및 저수지일 경우 수면 강수 및 증발량도 고려하도록 하였다.

영농방식을 고려한 논 필요수량의 산정은 수리시설물 모의조작 모형을 개발하여 시설물의 규모를 결정하고 평가하는데 응용할 수 있을 것이다. 또한 상기 모형은 수리시설물에 대한 물관리를 효율적으로 수행할 수 있을 것이며 저수지의 필요저수량 결정, 포장의 단위용수량등도 산정할 수 있을 것이다.

작물에 필요한 잠재증발산량을 모의발생 시키기 위해서는 일관성 있게 정리된 기상자료가 필요하다. 따라서 기상자료를 효율적으로 관리 할 수 있도록 하기 위해서는 기상자료를 관측소별로 코드화하고 특정 포맷에 맞도록 일괄적으로 정리되거나 DB화 하여야 한다. 앞으로 구축될 시스템에서는 기상자료를 기상요소별, 관측소별로 코드화하고 일괄 정리하여 관리할 수 있도록 할 계획이다.

5.2.2 개발의 기본방향

기존의 우리공사에서 보유하고 있는 저수지 모의조작 프로그램들은 데이터의 작성과 프로그램의 운영이 동일 시스템내에서 가능하지 못함으로써 많은 불편이 있었으나 본 모형에서는 이를 통합하고 사용자 입장에서 데이터의 작성 및 계산, 출력등을 시스템내에서 일괄적으로 처리할 수 있도록 구성할 계획이다.

시스템 개발은 다음과 같이 기본방향을 설정하여 년차적으로 추진할 계획이다.

- 메뉴방식을 채택, 사용자가 필요에 따라 계산과정을 선택하도록 함.
- GUI(Graphic User Interface)환경에서 가동할 수 있도록 하여 사용자의 편의성 증대
- 기상자료의 축후소별 코드화로 자료관리 용이
- 각 모형은 통합환경하에서 운영되며 독립운영도 가능토록 함.
- 각 모형의 계산 결과가 프로그램간 호환성을 유지하도록 함.
- 각 모형별 출력은 그래픽과 텍스트를 병행할 수 있도록 구성

상기 시스템을 개발하기 위한 단계별 계획은 다음과 같다.

○ 1차년도(1995)

- 모형 개발을 위한 기본방향의 설정
- 문헌조사 및 기존모형의 특성분석

○ 2차년도(1996)

- 기상자료의 수집 및 코드화
- 논 필요수량 산정 모형의 개발
- 유입량 산정 모형의 개발
- 필요저수량 결정 모형 개발

- 단위용수량 산정 모형의 개발
- 통합시스템 개발방향 설정

○ 3차년도(1997)

- 통합시스템의 개발완료
- 모형의 적용성 검토
- 사용자 편의시스템 추가 개발 및 사용설명서 작성

이와같은 기본방향하에서 금년도에는 Fortran(Ver 5.1)을 사용하여 기본 모형을 개발하는데 중점을 두었으며 Visual Basic(Ver3.0)을 사용하여 Windows 환경하에서 운영되도록 통합시스템의 기본메뉴를 작성하도록 하였다. 통합 시스템은 원칙적으로 Windows환경하에서 작동되도록 하지만 프로그램 구동 및 관련 기상 데이터의 관리에 많은 메모리가 필요하므로 기본모형이 각각 독립적으로 DOS 상태에서 가동되도록 별도의 실행파일도 제공할 계획이다.

5.3 필요수량 산정 모형

5.3.1 개 요

관개용 저수지에서 공급해 주어야 할 수량은 당일의 기상조건, 포장의 여건 및 영농방식에 따라 달라진다. 또한 수로조직의 형태 및 작물의 생장단계도 중요한 변수가 된다.

기상조건은 관개수량을 결정하는 가장 중요한 변수다. 강우의 유무, 일사량의 정도, 습도, 풍속등은 작물이 필요로 하는 증발산량을 발생시키며 포장에서 유효우량을 제공하기도 한다. 물론 이와같은 기상요소들은 작물의 생육단계에 영향을 미치기도 하고 생육단계가 작물의 필요수량을 결정하기도 한다.

포장조건은 일반적으로 논에서의 삼투량, 물꼬높이에 의한 담수심, 관리손실, 관개면적등을 의미한다. 이와같은 요소들은 포장에서의 물관리에 절대적인 영향을 미치며 물관리 방법에 따라 저수지 공급량도 변하게 된다.

다음으로 중요한 조건은 영농방식 또는 재배방식이라 볼 수 있다. 논에서의 벼 재배방식은 이앙재배, 직파재배, 전·답 유회환재배등을 의미하며 이와같은 재배방식의 변화는 토양공극의 변화, 물관리 방법의 변화를 수반하게 되어 답에서의 필요수량도 변하게 된다.

또한 작물의 성장단계에 따른 물관리 방법도 중요한 변수가 된다. 작물 성장에 따라 심수관개를 해야 하며 때로는 낙수 또는 천수관개를 해야 할 뿐만 아니라 이앙재배의 경우 모내기때 따른 이앙용수등도 별도로 필요하게 된다.

그러나 이와같은 요소들은 자연적인 조건에 의해 선택의 여지가 없는 것과 인위적으로 조작될 수 있는 것이 있다. 자연적인 요소들은 기상요소에 의해 자연 발생될 수 있는 것이며 후자는 적절한 방법을 통하여 보정해 주어야 할 요소들이다.

일반적으로 논벼의 경우 한 필지의 필요수량은 식(5-1)과 같이 나타낼 수 있다. (농지개량사업설계기준, 관개편, 1983)

$$Req(t) = ET(t) + I - Re(t) \quad (5-1)$$

여기서 $Req(t)$ = 논외 필요수량, $ET(t)$ = 증발산량, I = 삼투량, $Re(t)$ = 유효우량을 나타낸다. 기간별 필요수량은 기상상태에 따라 변하는 증발산량과 유효우량의 관계에서 논벼의 생육단계에 따른 시간의 함수로 나타낼 수 있다.

증발산량의 산정은 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration)이 기상조건에 따라 변하기 때문에 작물의 종류에 따라 실제증발산량과 상이하게 된다. 이와같은 차이는 작물계수를 통해 보정해 주어야 하며 기상자료로부터 작물증발산량을 산정하는 방법은 Blaney-Criddle식과 수정Penman식을 이용하였다.

한편, 작물계수에 대하여는 '작물소비수량 산정 방법의 정립' 연구에서

1982년 부터 1986년 까지 5개년에 걸쳐 전국 9개 주요 지점에서 작물소비수량을 측정하여 각 방법별로 작물계수를 산정한 바 있다.

일반적으로 논 필요수량 산정을 모형화하는데 있어 해당 저수지의 관개조직의 특성상 지구 전체를 하나의 필지로 개념화하고 필요수량에 미치는 기타요소를 매개변수로 하는 총괄형 모형이 유리한 것으로 알려져 있다.

본 모형에서는 일별 논 필요수량 산정을 위해 Penman식을 적용하였으며 순별 필요수량은 Blaney-Criddle식을 적용하였다. 그리고 상기 두가지 필요수량 산정 모형은 물수지 분석에 필요한 기간이 설정되면 필요에 따라 선택적으로 적용이 가능하도록 구조화하였다.

5.3.2 일별 필요수량의 산정

영농방식을 고려한 일별 필요수량을 산정하기 위하여 제반 기상자료와 포장조건 및 영농계획에 필요한 조건이 입력변수로 이용될 것이며 1차적으로 기상자료에 의해 잠재증발산량을 산정하고 재배방식에 따른 작물계수를 적용하므로써 작물의 실제증발산량을 산정할 수 있다.

가. 일별 증발산량

농업용수를 산정하기 위한 작물의 필요수량 계산은 우리나라의 경우 현재까지 대부분 Blaney & Criddle 공식이 잠재증발산량을 추정하는데 이용되었으며 이 값에 작물계수를 적용하므로써 작물의 실제 증발산량을 산정하였다. 그러나 1980년 후반부터 우리나라에서도 FAO에서 추천한 수정 Penman공식에 이용할 수 있는 여러가지의 기상자료가 관측되기 시작하였고 농업용수 설계에 종사하는 기술자들을 중심으로 Penman공식의 이론적인 배경에 대한 연구가 활발하게 되었으며 이 공식을 사용하는 기회도 많아지게 되었다. 또한 일단위의

잠재증발산량을 산정하기 위한 Penman공식은 저수지 물관리 연구(Ⅲ)(서울대농업개발연구소, 1987) 및 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량 모의발생(김현영, 1988) 연구 결과에서도 실용성이 입증된 바 있다. 따라서 본 모형에서는 일별 잠재증발산량을 산정하기 위하여 Penman식을 이용하도록 하였다.

상기 공식의 기초가 되는 이론은 지표면의 에너지 평형방정식(Balance equation)과 열 이동방정식(Transport Equation)으로서 이를 정리하면 다음과 같다.

나. 지표면에서 에너지 평형법칙(The energy balance law)

태양열이 지표면에 도달할 경우 지표면의 에너지 평형법칙(Balance law)은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q^* = H + \lambda ET + G \quad (5-2)$$

여기서 Q^* = 순복사열 (Net radiation, $W \cdot m^{-2}$), H = 유동지각열(Sensible heat flux, $W \cdot m^{-2}$), ET =증발산량(Evapotranspiration, $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), λ =수증기로 변환되는 잠재열(Latent heat of vaporisation of water, $J \cdot kg^{-1}$), λET =유동잠재열(Latent heat flux, $W \cdot m^{-2}$), G =토양으로 흡수되는 열 유동량(Heat flux into the soil, $W \cdot m^{-2}$)이다.

열에 대한 유동중 지표면으로 향한 값을 + 값으로 나타낼 경우 순복사열에 대한 복사열 평형방정식을 적용하면 다음 식과 같다.

$$Q^* = K^* + L^* = K^{\downarrow} - K^{\uparrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \quad (5-3)$$

여기서 K =단파, L =장파에 대한 전자기 복사량(Electromagnetic radiation)이고 화살표 \downarrow 는 지표면에 대한 입사량, \uparrow 는 출사 복사량을 나타낸다. 단파는 태양에서 방출되며 파장의 간격은 $0.15 \sim 4.0 \mu m$ ($1 \mu m = 10^{-6} m$)이다. 장파복사량은 지구의 표면에 의해서 방출되며 이것은 대기권의 구름이나 수증기, 또는 탄산가스등으로 구성된다. 장파의 파장 간격은 4.0에서 $50 \mu m$ 의 범

위이고 단파입사량 K^{\downarrow} 을 전 지구적(Global) 복사량이라 하며 이 중 45%는 그 파장이 $0.4\sim 0.74\mu m$ 으로서 눈으로 볼 수 있다. K^{\uparrow} 는 K^{\downarrow} 에 대한 지구 표면에서 반사되는 것으로서 식(5-4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$K^{\uparrow} = \gamma K^{\downarrow} \quad (5-4)$$

여기서 γ =지표면의 반사계수이며 순단파복사량(Net short wave radiation)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K^* = K^{\downarrow}(1 - \gamma) \quad (5-5)$$

또 지구 표면에서 방출되는 장파복사량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

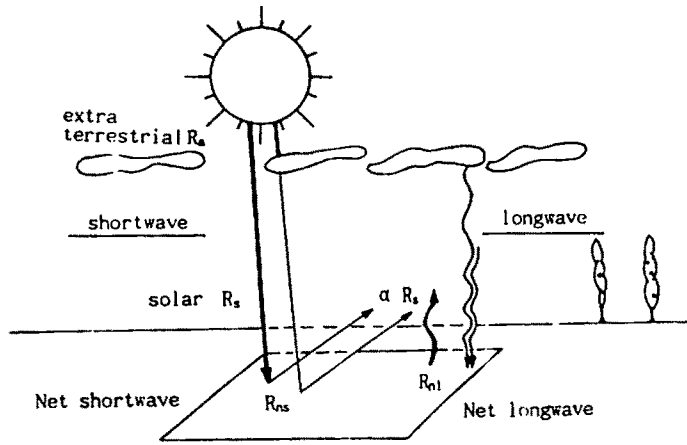
$$L^{\uparrow} = \epsilon \sigma T_0^4 \quad (5-6)$$

여기서 ϵ 는 지표면의 방사율(Emissivity)이고 σ 는 Stefan-Boltzmann의 상수 ($5.67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)이며 T_0 는 지표면의 절대온도($K = ^\circ C + 273$)이다. 일반적으로 지표면의 대부분을 검정체(Black body)로 할 경우 $\epsilon = 1$ 을 적용할 수 있다. 대기권으로부터 방출되는 장파의 입사량 L^{\downarrow} 는 일반적으로 L^{\uparrow} 보다 작다. 이들 두 복사량에 대한 차이를 순 장파복사량이라 하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

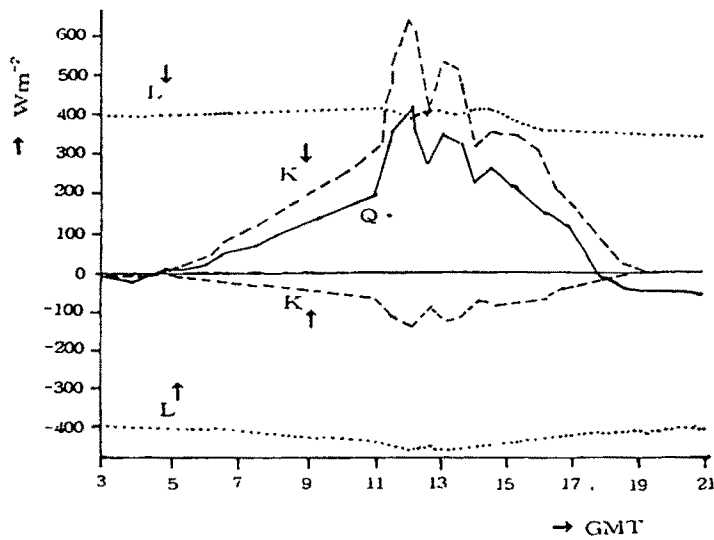
$$L^* = L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \quad (5-7)$$

<그림 5-1>은 상기 복사량에 대한 각 요소를 그림으로 나타낸 것이며 <그림 5-2>는 이들 요소의 일별 변화량을 표시한 것이다. 또 <표 5-1>은 상기 일별 변화량을 주간시간 동안 및 일별로 평균한 것이다. <그림 5-2>에서 보는 바와 같이 장파의 변화량은 매우 작다. L^{\downarrow} 구성요소는 구름이 없어짐에 따라 비례적으로 약간 감소하는 경향을 나타내었다. L^{\uparrow} 는 하루 중의 지표면의 온도가 가장 높을 때인 정오에 최고치를 기록한다. L^{\uparrow} 와 L^{\downarrow} 는 절대온도의 함수로 구성되어 있기 때문에 그 변화량은 매우 적다. 불규칙한 경로를 따라 입력되는 전 지구적 복사량 K^{\downarrow} 는 운량에 따라 변한다. 반사계수 γ 가 낮

동안 어느 범주내에서 거의 일정하다면 K^{\downarrow} 는 K^{\uparrow} 와 같은 경로를 통하여 출력 할 것이다. 순복사량은 순복사 계기로 직접 측정할 수 있다.



<그림 5-1> 순복사량의 각요소



<그림 5-2> 장파와 단파복사량의 일별변화

<표 5-1> 초지위에서 관측된 복사량 변화치(1980. 8월, Cabauw), $K^{\downarrow} > 0$ 경우

요 소 별	주간 평균치	일별 평균치
K^{\downarrow}	214 W.m ⁻²	138 W.m ⁻²
K^{\uparrow}	49 W.m ⁻²	30 W.m ⁻²
L^{\downarrow}	388 W.m ⁻²	378 W.m ⁻²
L^{\uparrow}	422 W.m ⁻²	413 W.m ⁻²
Q^*	131 W.m ⁻²	74 W.m ⁻²

다. 열 이동방정식(Transport Equation)

지각열과 수증기의 이동은 풍속, 온도 그리고 수증기의 공간적 연직분포로 부터 계산할 수 있다. 이들의 경사도는 Monin-Obukhov(1954)의 이론에 기초를 둔 것으로서 다음과 같다.

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \left[\ln\left(\frac{z}{z_{om}}\right) - \Psi_m\left(\frac{z}{L_s}\right) + \Psi_m\left(\frac{z_{om}}{L_s}\right) \right] \quad (5-8)$$

$$\frac{T(z) - T_0}{T_*} = \frac{1}{k} \left[\ln\left(\frac{z}{z_{oh}}\right) - \Psi_h\left(\frac{z}{L_s}\right) + \Psi_h\left(\frac{z_{oh}}{L_s}\right) \right] \quad (5-9)$$

$$\frac{e(z) - e_0}{e_*} = \frac{1}{k} \left[\ln\left(\frac{z}{z_{ov}}\right) - \Psi_v\left(\frac{z}{L_s}\right) + \Psi_v\left(\frac{z_{ov}}{L_s}\right) \right] \quad (5-10)$$

상기 식에서 $U(z)$, $T(z)$ 그리고 $e(z)$ 는 z 높이의 풍속(m/s), 절대온도(K) 그리고 증기압(mbar)을 각각 나타내며 k 는 Von Karman의 상수이고 z_{om} , z_{oh} , 그리고 z_{ov} 는 운동량에 대한 조도길이, 지각열 그리고 수증기에 대한 이동(m)을 각각 나타낸다. 그리고 L_s 는 Obukhov의 길이(m), Ψ_m , Ψ_h 그리고 Ψ_v 는 안정성에 대한 함수이고 U_* , T_* , e_* 그리고 L_s 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_* = \sqrt{(\tau/r)} \quad (5-11)$$

$$T_* = - \frac{H}{\rho \cdot c_p \cdot U_*} \quad (5-12)$$

$$e_* = - \frac{r \cdot \lambda \cdot E}{\rho \cdot c_p \cdot U_*} \quad (5-13)$$

$$L_s = - \frac{T}{g} \frac{U_*^3}{H + 0.61 c_p T E} \quad (5-14)$$

여기서 τ =지표면의 조도($N \cdot m^{-2}$), ρ =공기의 밀도($kg \cdot m^{-3}$), c_p =공기의 비열($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), T =절대온도(K), g =중력가속도($m \cdot s^{-2}$), 그리고 r =개략적인 값으로 해수면에서 $0.66 \text{ mbar } K^{-1}$ 의 값을 가진다.

지표면의 조도길이에 대한 개략적인 값 z_{om} 에 대하여는 여러가지의 참고 자료를 이용할 수 있다. 작물이 재배되고 있는 지표면의 경우 일반적으로 $z_{om} = 0.13h$ 를 적용할 수 있으며 여기서 h 는 작물의 높이이다(Monteith, 1973; Brutsaert, 1975).

라. FAO 수정공식에 의한 잠재증발산량

온도, 습도, 풍속 및 일조시간 또는 일사량 자료를 이용할 수 있을 경우 Penman(1948) 공식에 의한 증발산량을 산정할 수 있다.

당초 Penman(1948) 공식은 넓은 수면에서의 증발손실(E_o)을 추정하기 위하여 유도되었으며 경험적으로 영국의 기후에서 잔디의 증발산량은 수면증발산량(E_o)에 비해 0.6 ~ 0.8배의 값을 보이고 있다.

FAO에서 추천된 수정공식은 일반적으로 다음 (5-15)식과 같이 나타 낼수 있다.

$$ET_o = c [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \quad (5-15)$$

여기서 ET_o = 기준작물(reference crop)의 잠재증발산량(mm/day),
 W = 기온과 관련된 가중계수(weighting factor), R_n = 순 일사량(mm/day),
 $f(u)$ = 풍속과 관련된 함수, $(e_a - e_d)$ = 평균기온에서의 포화수증기압과
공기의 평균 실제수증기압과의 차, c = 주야의 기상조건에 따른 효과를 보정
하기 위한 조정계수 등이다.

마. 실제 증발산량

작물의 실제증발산량은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$ET_{crop} = K_c \times ET_o \quad (5-16)$$

작물의 잠재증발산량은 토양조건에 제한을 받지 않고 토양수분과 비료분이
충분하여 최적의 작물생육환경에서 증발산량을 산정한 것이므로 작물의 성장
정도, 생육환경을 반영할 수 있는 작물계수를 고려해 주어야 한다.

본 연구에서는 소비수량 산정방법의 정립(서울대 농업개발연구소, 1986) 연구
에서 FAO(1977)의 수정공식을 이용하여 작물계수를 보정한 결과와 금회 재배방식
별 작물계수 시험에서 유도된 자료를 이용하였다.

5.3.3 순별 증발산량의 산정

본 모형에 적용된 순별 증발산량은 Blaney & Criddle 식에 의해 산정할
수 있다. 이 식은 기상자료중 기온만으로 계산이 가능하기 때문에 널리 이용
되고 있는 실정이다.

당초 Blaney & Criddle(1950)식은 소비수량 계수(F)를 평균기온과 생육기
간중의 일조시간에 대한 년주간시간 비율로서 산정하도록 유도되었다. 그러나

이는 건조지역에서 사용하기 위해 만들어졌고, 지역성을 고려한 여러 가지 수정식과 상이한 계수들이 발표되었다.

Doorenbos & Pruitt(1977)가 발표한 FAO-24 수정공식이 있으며 이 방법은 단기간의 증발산량 산정에 부정확하며 이 또한 지역성을 고려해야만 신뢰성이 높아진다. 이 공식을 보정한 공식으로 미국 농무성 SCS의 TR-21(1970)에서 발표한 공식이 있으며 온도의 보정을 추가하였다. 상기 공식에서 산정된 증발산량의 값은 월별값을 추정하는데 주로 이용된다.

$$ET_o = K_t (0.46 T + 8.13) P \quad (5-17)$$

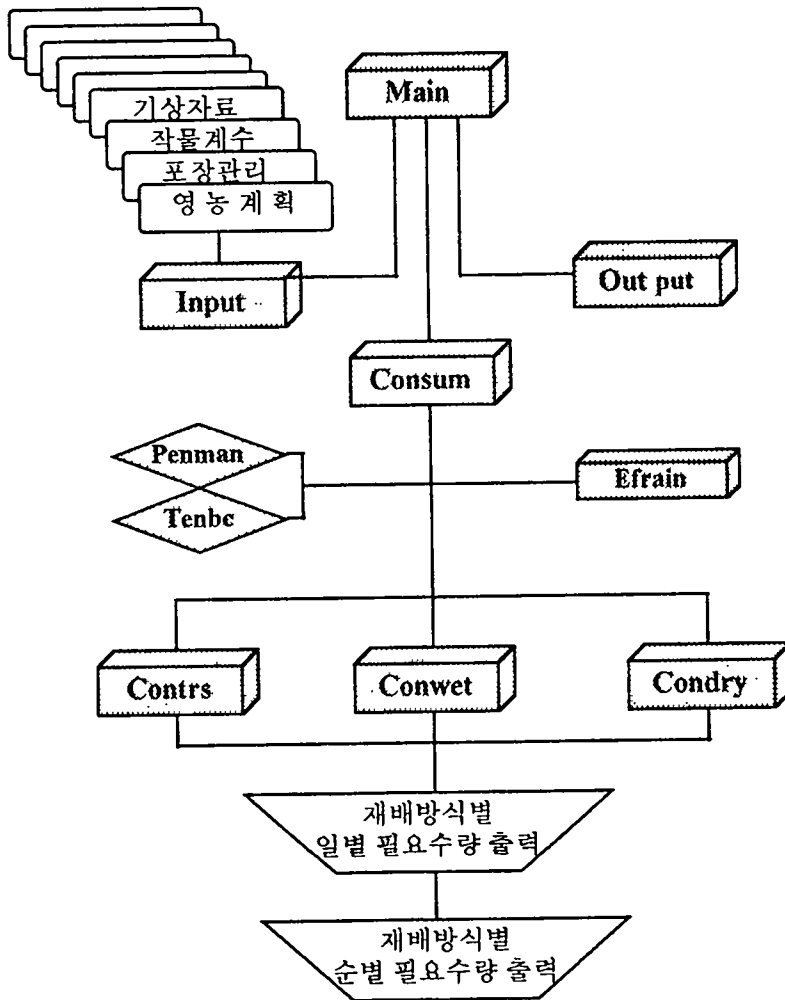
$$K_t = 0.0311 T + 0.240 \quad (5-18)$$

여기서 T = 평균기온(℃), P = 주간시간 백분율, K_t = 온도보정계수 이다.

5.3.4 모형의 구성

가. 모형의 구조

필요수량 모형은 일별 필요수량 추정을 위한 Penman공식과 순별 필요수량 산정을 위한 Blaney-Criddle 식으로 구성되어 있고 입·출력을 위한 Input, Output등 여러 가지 부프로그램이 포함되어 있다. <그림 5-3>은 필요수량 모형의 구조도를 보여주고 있으며 <표 5-2>는 부프로그램에 대한 주요내용을 설명해 주고 있다.



<그림 5-3> 필요수량 모형의 구조도

〈표 5-2〉 필요수량 모형의 부프로그램

부프로그램 명	Call 프로그램	주 요 내 용
Main	-	Input, Output, Inflow 부프로그램 호출 및 통제
Input	Main	프로그램 제어변수, 영농계획, 작부체계 및 기상자료 입력
Output	"	제어변수 및 입력자료 출력
Consum	"	부프로그램의 통제, 년도별 루틴 제어, 년도별 요약 출력
Contrs	Consum	이앙재배 필요수량 계산 및 출력
Conwet	"	답수직파 필요수량 계산 및 출력
Condry	"	건답직파 필요수량 계산 및 출력
Penman	Contrs Conwet Condry	Penman식에 의한 일별 필요수량 계산
Tenbc	"	Blaney-Criddle 식에 의한 순별 필요수량 계산
Efrain	"	포장에서의 유효수량 계산
Block data	"	위도별 일조시간 등 블록화된 데이터

나. 입력자료

일별 및 순별 필요수량을 산정하기 위해서는 입력화면에서 필요한 제어인수 및 데이터를 입력해야 한다. 출력 단위는 천 m^3 단위로 표시되며 일별 및 순별 계산은 제어인수에 의해 통제된다. 프로그램의 실제 실행시 각 제어인수의 조합에 따라 일별 필요수량 또는 순별 필요수량을 산정할 수 있으며 일별 필요수량은 출력 결과가 많아 일괄출력이 어렵기 때문에 출력 옵션에 의해 필요한 년도만 출력할 수 있도록 하였으며 일별 필요수량은 순별로 요약하여 출력이 가능토록 하였다. 필요수량 추정을 위한 입력자료는 〈표 5-3〉과 같다.

<표 5-3> 필요수량 모형의 입력자료

구 분	변수명	내 용	비 고
사 업 명	Proname	사업지구 이름	
지구위치	Location	사업지구 위치	
기상관측소 자 료	Pstation	기상 관측소 이름	
	Slocat	" 위치	
	Slatn	" 북위(°)	
	Slonge	" 동경(°)	
	Selev	" 표고(El.m)	
	Welev	풍속계 지상높이(m)	
관개면적 자 료	Parea	전 체 관개면적	
	Tarea	이양재배 관개면적	
	Warea	담수직파 관개면적	
	Darea	건답직파 관개면적	
포장관리 자 료	Pcol	담 삼투량(mm/day)	
	Plos	수로손실(%)	
	Dtmax	최대 담수심(mm)	
	Dtmin	최소 담수심(mm)	
	Remin	최소 방류량(m ³ /s)	
이양재배 영농계획	Nuim, Nuid	묘대 시작월, 일	
	Nulm, Nuld	묘대 종료월, 일	
	Imtr, Idtr	이양 시작월, 일	
	Lmtr, Ldtr	이양 종료월, 일	
	Lmir, Ldir	관개 종료월, 일	
담수직파 영농계획	Kwsm, Kwsd	파종 시작월, 일	
	Kwlm, Kwld	파종 종료월, 일	
건답직파 영농계획	Kdsm, Kdsd	파종 시작월, 일	
	Kdlm, Kdld	파종 종료월, 일	
작물계수	Cc	재배방식별, 산정방법별 작물계수	
기상자료	Rain	일별, 월별, 년도별 강우자료	
	Evap	" 증발자료	
	Wind	" 풍속자료	
	Rada	" 일조시간	
	Humi	" 습도자료	
	Temp	" 기온자료	

다. 출력자료

출력 자료의 형태는 7가지로 구분된다. 프로그램 제어인수 및 출력 제어 인수에 따라 선택적으로 적용할 수 있으며 출력 파일의 종류는 <표 5-4>과 같다.

<표 5-4> 필요수량 모형의 출력 파일

구 분	파일명	적 용	비 고
일반출력	Tenpen. txt	순별 필요수량 출력	Penman 식
"	Tenbc. txt	순별 필요수량 출력	B-C 공식
"	Dapen. txt	일별 필요수량 출력	Penman
내부파일	Dapen. inp	일별 물수지 입력자료 작성	Penman 식
"	Tenbc. inp	순별 물수지 입력자료 작성	B-C 공식
"	Tenpen. inp	순별 물수지 입력자료 작성	Penman 식
"	Chndan. inp	단위용수량 입력자료 작성	Penman 식 B-C 공식

확장자 *.txt 파일은 일반 Text 출력 파일이며, 확장자 *.inp는 물수지 계산이나 단위용수량 산정에 필요한 자료를 입력자료 Format에 맞게 작성하여 저장하는 파일이다. Dapen.txt 파일은 Penman식에 의한 일별 필요수량 산정 결과를 일별로, Tenpen.txt 파일은 Penman식에 의해 계산된 일별 필요수량 산정 결과를 년도별, 월별, 순별로 요약하여 출력하는 파일이며 계산년 전체에 대한 출력이 가능하다. Tenbc.txt 파일은 Blaney-Ciddle 식에 의해 산정한 년도별, 월별, 순별 필요수량을 출력한다.

반면 Dapen.inp 파일은 일별 물수지를 위한 입력 파일이며 Tenbc.inp 와 Tenpen.inp 파일은 각각 Blaney & Criddle 식 및 Penman식에 의한 필요수량의 요약 파일로서 순별 물수지 입력자료로 이용된다.

5.4 유입량 모형

5.4.1 개요

유역에 대한 강우-유출 현상의 모의발생은 일반적으로 수문모형을 이용하며 이는 임의성(randomness)을 고려하지 않는 확정론적(deterministic)모형과 임의성을 고려하는 추계학적(stochastic) 모형으로 구분할 수 있다. 확정론적 모형은 공간적인 변이를 고려하는 분포형 모형과 총괄형 모형으로 나눌 수 있으며 다시 장기유출모형과 단기유출모형으로 나눌 수 있다.

이 중 농업용 저수지 설계 등 이수적인 측면에서는 장기유출모형이 필요하며 우리나라에서 많이 이용되고 있는 총괄형 장기유출 모형으로 탱크(Suwagara, 1967) 모형과 가지야마 월 수수량 공식이 있다.

탱크(Tank)모형은 Suwagara(1967)에 의하여 단일 탱크의 비선형시스템 모형의 개념에서 출발된 것이다. 이 모형은 탱크를 직렬 또는 병렬로 연결하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 각 성분별로 재현할 수 있도록 개념화한 것이다. 우리나라에서는 관개용 저수지의 일별유입량 모의발생(김현영, 1988) 연구에서 소유역에 적합하도록 3단 직렬 수정탱크모형을 사용하였으며, 실측 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정해야만 사용할 수 있는 매개변수를 유역면적, 토지 이용별 면적등에 의한 회귀식을 유도하여 무계측 유역에서 사용할 수 있도록 하므로서 무계측 유역에서 사용할 수 없는 탱크모형의 단점을 보완하였다.

우리나라에서 많이 이용된 장기유출량 계산 방법은 1929년 가지야마에 의해 개발된 월 수수량 공식이 있다. 이는 우리나라 중·대하천의 24개 지점에서 측정된 1916년 부터 1927년 까지의 유출량 자료로부터 월유출량 추정을 위하여 유도한 공식이다. 이 식은 첫째 우리나라 대부분의 하천에서 유출율은 55%인 것으로 가정하고, 둘째 월 강우의 유무를 막론하고 기저유량은 일률적으로 10.2mm

인 것으로 가정하였다. 따라서 유역내의 수문환경의 특성이나 강우의 양상에 따른 유출변화를 전혀 고려하지 않으므로 추정의 정확성을 기대하기 어려운 모형임에도 불구하고 각종 수자원개발에 이용되고 있는 실정이다.

본 유입량 모형에서는 김(1988)에 의해 수정된 탱크(Tank)모형을 적용, 일별유입량을 산정할 수 있도록 하였을 뿐만 아니라 가지야마 월 수수량 공식의 적용을 통하여 순별 유입량도 산정할 수 있도록 하였다. 즉 순별 물수지를 할 경우 탱크모형을 적용 일별 유입량을 산정한 후 순별로 정리하여 적용할 수도 있고 선택적으로 가지야마 월 수수량 공식을 사용하여 순별 유입량을 산정할 수 있도록 하였다. 다만 일별 물수지를 할 경우에는 수정 탱크모형을 적용 일별 유입량을 산정하여야 한다.

5.4.2 일별 유입량 산정

<그림 5-4>는 탱크모형을 기초로 한 관개용 저수지의 수정된 강우-유출모형을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 1단 탱크는 유출의 성분중 지표유출을 개념화한 것이고 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다.

탱크모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로 부터 다음 식 (5-19)에 의하여 계산한다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (5-19)$$

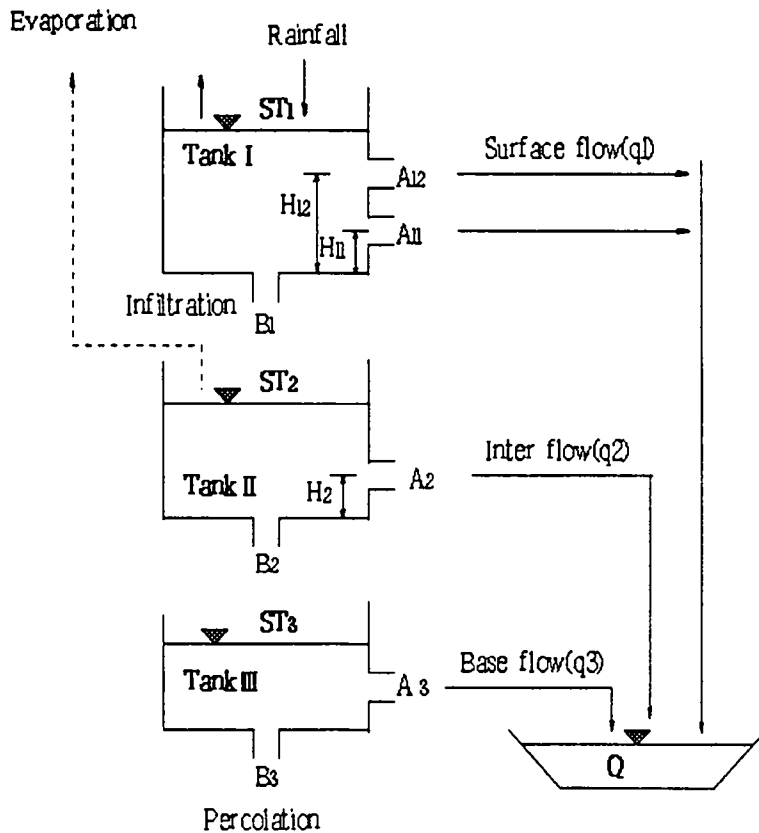
여기서 Q_{ij} = t일의 총유출량(mm), i = 탱크의 번호, j = i 탱크의 유출공의 수, ST_i 는 i 탱크의 저류수심(mm), H_{ij} 는 i 탱크의 j 번째 유출공의 높이(mm) 및 A_{ij} 는 유출공의 단면적(무차원)을 나타낸 것이다. 또한 저류수심 ST_i 는 단위시간 t 에 따라 다음과 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (5-20)$$

여기서 $ST_{i,t-1}$ 는 t-1일의 i 번째 탱크의 수심(mm), R_t 는 t일의 강우량(mm), E_t 는 증발량(mm), $Q_{i,t-1}$ 은 i 번째 탱크의 t-1일의 유출량이다. 침투량 $I_{i,t}$ 는 다음 식 (5-21)과 같이 계산한다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (5-21)$$

여기서 B_i 는 i 번째 탱크 삼투공의 침투계수를 의미한다.



<그림 5-4> 수정 탱크모형의 구조도

5.4.3 순별 유입량 추정

순별 물수지 계산을 위한 유입량 추정은 저수지 상류유역의 유출량을 모의연산하는 가지야마 월 수수량 공식을 적용할 수 있으며 탱크 모형에 의한 일별 유출량을 순 단위로 정리하여 사용할 수도 있다. 본 모형에서는 이 두가지 방법을 적용토록 한다.

가지야마 월 수수량 공식을 간단히 나타내면 식(5-22)와 같다.

$$R = \sqrt{(P^2 + (138.6f + 10.2)^2) - 138.6f + E} \quad (5-22)$$

여기서 R = 월 유출고(mm), P = 월별 강우량(mm), f = 유출계수, E = 월별 갱정계수를 나타낸다. 식(5-22)에 의해 계산된 월별 유출고는 강우량에 의한 비례식으로 순별 유출고를 계산하게 되며 순별 강우량이 없거나 5mm 이하인 경우에는 다음 식 (5-23)에 의하여 유출고를 갱정 산출한다.

$$C_o = \frac{10.2 + E_o}{3} \quad (5-23)$$

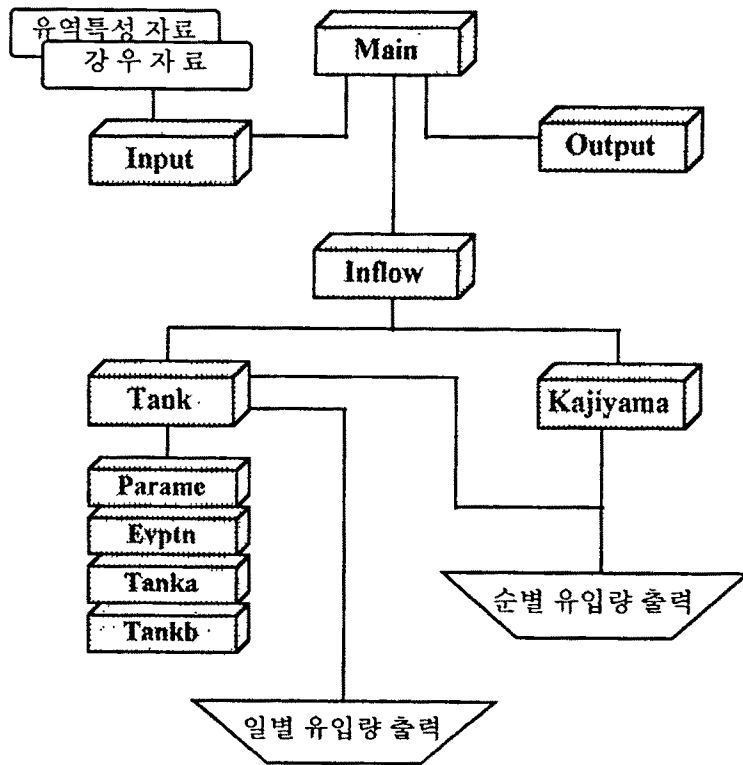
여기서 C_o = 갱정 순별 유출고(mm), E_o = 월 강우량이 0 mm 일때의 월별 갱정계수를 나타낸다. 유출계수 f 는 유역의 임상상태나 유출조건에 따라 결정 된다.

5.4.4 모형의 구성

가. 모형의 구조

유입량 모형은 일별 유입량 산정을 위한 탱크 모형과 순별 유입량 산정을 위한 가지야마 공식으로 구성되어 있으며 입·출력을 위한 Input, Output등 여러가지 부프로그램이 포함되어 있다.

<그림 5-5>은 유출량 모형의 구조도를 보여주고 있으며 <표 5-5>은 각 부 프로그램의 내용을 설명해 주고 있다.



<그림 5-5> 유입량 모형의 구조도

〈표 5-5〉 유입량 모형의 부프로그램

부프로그램 명	Call 프로그램	주 요 내 용
Main	-	Input, Output, Inflow 부프로그램 호출 및 통제
Input	Main	프로그램 제어변수, 유역상황 자료 및 강우량 자료 입력
Output	"	제어변수 및 유역상황 자료 출력
Inflow	"	부프로그램의 통제, 년도별 루틴 제어, 년도별 요약 출력
Tank	Inflow	일별 유입량 계산 및 출력
Kajiyama	"	순별 유입량 계산 및 출력
Parame	Tank	탱크모델 계수 산정
Evptn	"	유역 증발산량 산정
Tanka	"	1단 탱크 유출량 계산
Tankb	"	2,3단 탱크 유출량 계산

나. 입력자료

순별 및 월별 유입량을 산정하기 위해서는 입력화면에서 필요한 자료를 입력 해야 한다. 출력 단위는 mm 또는 천 m^3 단위로 표시될 수 있으며 제어인수에 의해 통제 할 수 있다. 실제 프로그램의 실행시 각 제어인수의 조합에 따라 일별 유입량을 mm로 또는 순별 유입량을 천 m^3 로 나타 낼 수 있다.

유입량 산정을 위한 입력자료는 〈표 5-6〉와 같다.

<표 5-6> 유입량 모형의 입력자료

구 분	변수명	내 용	비 고
사 업 명	Proname	사업지구 이름	
지구위치	Location	사업지구 위치	
관측소명	Pstation	해당 관할 관측소	
유역명	Wsname	유역 이름	
유역면적	Parea	유역면적(ha)	
논, 밭, 산림비율	paddy, Upland Forst	유역내 논, 밭, 산림의 비율(%)	
지체시간	Lag	유역에서의 유출량의 지체 시간	
유역증발	E	월별 유역 증발산 계수	
유역계수	F	가지야마 유출량의 유역계수	
계산년도	Kyear	자료분석 기간	
강 우 량	Rain	년도별, 월별, 일별 강우량	

다. 출력 자료의 구성

출력 자료의 형태는 5가지로 구분 된다. 프로그램 제어인수 및 출력제어 인수에 따라 선택적으로 출력시킬 수 있으며 출력 파일의 이름은 다음의 <표 5-7>과 같다.

<표 5-7> 유입량 모형의 출력 파일

구 분	파일명	내 용	비 고
일반출력	Datank.txt	Tank에 의한 일별 유입량 출력	Tank
"	Tenkaji.txt	가지야마식에 의한 순별 유입량	Kajiyama
내부파일	Datank.inp	일유입량의 내부저장 파일	Tank
"	Tentank.inp	일유입량의 순별 내부저장 파일	Tank
"	Tenkaji.inp	순별 유입량의 내부저장 파일	Kajiyama

Datank.txt 와 Tenkaji.txt는 일반 Text 출력 파일로서 전자는 년도별, 월별, 일별 유입량은 mm 단위 또는 천 m³ 단위로 나타내 주며, 후자는 가지야마 공식에 의한 순별 유입량을 년도별, 월별, 순별로 나타낼 수 있다. 확장자 *.inp`파일은 물수지 분석을 위해 입력 데이터 형식으로 저장되는 파일이며 물수지 분석시 일별 물수지에 Datank.inp 파일을 순별 물수지분석에 Tentank.inp 나 Tenkaji.inp를 입력 데이터로 사용한다.

5.5 물수지 모형

5.5.1 기본이론

수리시설물의 물수지 모형에서는 계산된 유입량 및 필요수량 자료를 이용하여 주어진 시간 단위별로 저수량의 변화를 추정하기 위하여 식 (5-24) 과 같이 연속방정식을 사용하였다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + U_t + P_t - (R_t + O_t + E_t + G_t + D_t) \quad (5-24)$$

여기서 S_{t-1} = t-1 일, 또는 순의 저수량(Storage), I_t = 유입량(Inflow), U_t = 지하수 유입량(Underground Inflow), P_t = 수면강수량(Precipitation), R_t = 방류량(Release), O_t = 여수토 월류량(Overflow), E_t = 수면증발량(Evaporation), G_t = 지중침투량(Percolration), D_t = 제방침투량(Dam seepage) 등이다.

상기의 물수지 인자들 중에서 가장 중요한 요소는 유입량(I_t)과 논에서의 필요수량 및 기타 포장 관리수량에 의해 결정되는 방류량(R_t)이다.

본 모형의 유입량을 산정하기 위하여 관개용 저수지의 일별 모의조작을 위한 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation, 김현영, 1989)모형에 적용된 바 있는 수정탱크 모형과 순별 유입량 산정을 위한 미산(Kajiyama)

유출량 공식을 적용하였다. 방류량(R_t)은 본 모형이 영농방식을 고려한 농업용 저수지 설계가 주목적임을 고려하여 별도로 구성하지 않았으며 답에서의 필요수량 추정 모형 알고리즘 중에 방류량 제한조건이 포함되도록 하였고 생·공업용수 방류량 및 소수력을 위한 발전방류량을 별도의 부프로그램에서 고려할 수 있도록 보완할 예정이다.

실제 물수지 요소들을 모형화 하는데 있어 다음과 같은 조건들을 고려해야 한다. 즉 지하수 유입량(U_t), 지중침투량(G_t) 및 제방침투량(D_t)은 실측이 거의 불가능한 요소들로서 그 양이 매우 적거나 단기간의 물수지에 영향을 미치는 정도가 미미하므로 이를 간략화하거나 무시할 수 있다. 지하수 유입량은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 순 단위 또는 일 단위의 물수지 계산에 있어서는 고려의 대상이 되지 않으며 지중침투량 및 제방침투량은 누수를 방지하기 위하여 지수벽을 설치하는 등의 방법으로 차단 효과를 거둘 수 있다. 따라서 이와같은 물수지 요소들은 무시하거나 기타 손실(Other Loss)의 개념을 도입하여 간략화 할 수 있다. 본 모형에서는 벼재배방식을 고려한 필요수량 산정이 주요 연구 목적이므로 기타 손실은 고려하지 않았다.

수리시설물이 저수지일 경우 수면상에 강하하는 수면강수량(P_t) 및 저수지 수표면으로 부터의 수면 증발량(E_t)도 물수지 모형에 반영하였다. 수면 강수량은 단위 모의조작 기간 동안의 강수량(mm)과 저수지의 수면적에 단위환산 계수를 곱하므로써 계산 할 수 있으며 이를 식으로 나타내면 식(5-25)와 같고 수면 증발량은 인근 기상관측소의 대형 증발계증발량에 Veihmeyer(1964)의 Pan 계수를 적용하여 식 (5-26)과 같이 산정하였다.

$$P_t = C \times R_t \times A_f \quad (5-25)$$

$$E_t = C \times A_f \times E_v \times P_c \quad (5-26)$$

여기서, P_i 및 E_i 는 각각 수면 강수량 및 수면 증발량을 나타내며 C 는 단위환산계수, A_j 는 저수지 수면적, R_i 와 E_j 는 각각 해당 측후소의 강수량 및 증발계 증발량을 P_c 는 증발계의 Pan 계수를 나타내고 있다.

한편 저수지에 대한 여수토 월류량(O_i)은 여수토의 제원에 따른 방류량을 시간적으로 계산하여야 하나 농업용저수지의 일반 여수토가 자연월류식이므로 시간별 변화를 무시하고 저수지의 저수량이 여수토의 제정고 이상일 경우 그 이상되는 저수량은 모두 월류하는 것으로 설정하였다. 즉

$$O_i = S_i - S_f \quad (\text{단, } S_i > S_f) \quad (5-27)$$

여기서, O_i 는 여수토 월류량을, S_i 는 해당 기간의 저수량을, S_f 는 여수토 만수위의 저수량을 나타낸다.

5.5.2 모형의 구성

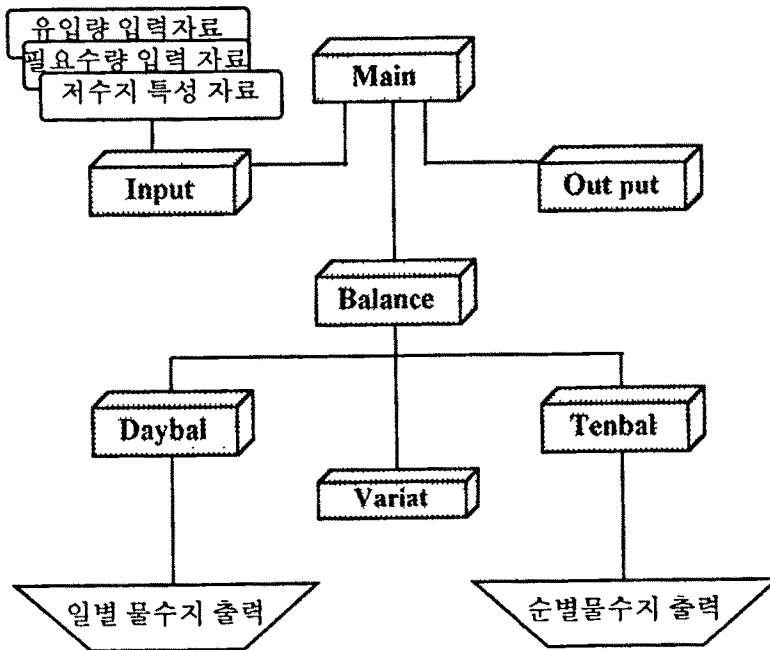
가. 모형의 구조

물수지 모형은 일별 또는 순별로 구분 적용할 수 있도록 하였다. 일별 물수지 모형은 생·공업 용수의 일별 변화가 크고 발전방류량 등을 일별로 고려해야 할 필요성이 있으며 답에서의 보다 정밀한 물관리가 요구될 경우 적용할 수 있을 것이다. 또한 순별 물수지 모형은 생·공업용수 등의 기타 필요수량의 변화폭이 크지 않고 작물의 생육기별 답 필요수량만을 고려할 경우 저수지 모의조작에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

일별과 순별 물수지 모형의 구조적 차이는 있을 수 없다. 다만 수리시설물의 모의조작에 필요한 여러가지 변수들을 일별 모의발생 하든지, 순별로 계산하는 것과의 차이뿐이다. 본 모형에서는 모의조작에 필요한 요소들을 일별, 순별로 선택적으로 모의발생 시킬 수 있도록 하였으며 이는 프로그램과 출력 제어인

수들을 이용하여 통제할 수 있다.

다음 <그림 5-6>은 수리시설물의 물수지 모형에 대한 구조도를 보여주고 있다. 또한 본 모형은 여러가지 부 프로그램과 입력변수들로 구성되어 있으며 모형의 부프로그램 내용은 <표 5-8>과 같다.



<그림 5-6> 물수지 모형의 구조도

〈표 5-8〉 물수지 모형의 부프로그램

부프로그램 명	Call 프로그램	주 요 내 용
Main	-	Input, Output, Inflow 부프로그램 호출, 통제
Input	Main	프로그램 제어변수, 유입량, 필요수량 자료 및 저수지 설계제원 입력
Output	"	제어변수 및 입력자료 출력
Balance	"	부 프로그램의 통제, 년도별 루틴 제어, 년도별 요약 출력
Daybal	Consum	일별 모의조작에 의한 물수지 계산
Tenbal	"	순별 모의조작에 의한 물수지 계산
Variat	-	내용적에 의한 저수위-저수량 변환

나. 입력자료

일별 또는 순별로 저수지 모의조작을 수행하기 위해서는 입력화면에서 저수지의 설계제원 및 입·출력 제어인수를 입력 받아야 한다. 출력 결과는 천㎥ 단위로 되어 있으며 따라서 저수지의 내용적 자료도 동일한 단위로 작성하여야 한다.

실제 프로그램의 실행시 각 제어인수의 조합에 따라 일별 모의조작 또는 순별 모의조작을 수행하게 된다. 일별 물수지의 경우 유입량 및 필요수량이 일별로 계산되어야 하므로 탱크 모형과 Penman 공식을 적용하여야 가능하고, 순별 모의조작은 두가지의 경우를 생각 할 수 있다. 우리공사의 저수지 계획 용량 결정에 주로 이용하였던 ROS(Reservoir Operation Study)모형처럼 가지야마 월 수수량 공식을 순별 유입량 산정에 적용하고 Blaney-Criddle 식을 순

별 필요수량에 적용한 경우와, 탱크 모형에 의한 일별 유입량 및 Penman식에 의한 일별 필요수량을 순별로 정리하여 이를 순별 저수지 모의조작에 적용한 두가지 경우가 모두 가능하다. 물수지 모형의 입력파일은 <표 5-9>와 같고 주요 입력변수들은 <표 5-10>과 같다.

<표 5-9> 물수지 모형의 입력 파일

구 분	파일명	내 용	비 고
일반 입력	-	제어변수 및 저수지 제원	
내부파일	Datank.inp	일별 유입량 입력	Tank 모형
"	Tentank.inp	순별 유입량 입력	"
"	Tenkaji.inp	순별 유입량 입력	가지야마 식
"	Dapen.inp	일별 필요수량 입력	Penman 식
"	Tenpen.inp	순별 필요수량 입력	"
"	Tenbc.inp	순별 필요수량 입력	B-C 공식

<표 5-10> 물수지 모형의 입력자료

구 분	변수명	내 용	비 고
사 업 명	Proname	사업지구 이름	
저수지 명	Resname	설계 저수지 이름	
저 수 지 설계제원	Dwl	저수지 사수위(통관 높이)	
	Fwl	" 만수위(여수토 높이)	
	Parea	" 관개면적	
	Nelv	" 내용적 수	
	Relv	" 표고(EI.m)	
	Rarea	" 표고별 면적(천㎡)	
기상자료	Rain	수면강우 계산을 위한 강우량	
	Evap	수면증발 계산을 위한 증발량	
유 입 량 자 료	Dayin	Tank 모형에 의한 일별 유입량	
	Tenin	Penman식에 의한 일별필요수량	
필요수량 자 료	Dayin	가지야마식에 의한 순별 유입량	
	Tenin	B-C 공식에 의한 순별 필요수량	

다. 출력자료

출력 자료의 형태는 3가지로 구분 된다. 2가지는 일반 출력 파일로서 일별 저수지 모의조작 결과와 순별 저수지 모의조작 결과이며, 나머지는 모의조작 결과를 저수지 계획용량 결정 모형에서 입력자료로 사용할 수 있도록 하는 내부파일이다.

그러나 일별 물수지 결과를 연도별로 모두 출력하는 것은 많은 메모리를 차지하며 실제 화면상에 나타내는 것이 불가능하므로 출력 제어인수에 따라 필요년도만 출력가능 하도록 하였다. 또한 저수지 계획용량 결정은 연도별 필요저수량에 의해 결정될 수 있으므로 이를 위해 연도별 필요저수량이 내부 파일에 저장되도록 하였다.

출력 파일의 구분은 다음 <표 5-11>과 같다.

<표 5-11> 물수지 모형의 출력 파일

구 분	파일명	내 용	비 고
일반출력	Dabal.txt	일별 저수지 모의조작 결과	
"	Tenbal.txt	순별 "	
내부파일	Resin.inp	연도별 필요저수량 입력자료	

확장자 *.txt 파일은 일반 Text 출력 파일이며, 확장자 *.inp는 물수지 모의조작 결과를 필요저수량 결정 모형에서 입력자료로 이용하기 위해 저장하는 파일이다. Dabal.txt 파일은 일별 물수지 모의조작 결과를 나타내는 파일이며 Tenbal.txt 파일은 순별 필요수량 산정 결과를 연도별, 월별, 순별로 요약하여 출력하는 파일이다.

5.6 필요저수량 결정 모형

5.6.1 기본이론

농업용 저수지의 필요저수량은 답에서 부족되는 수량을 저류하였다가 적기에 적당한 수량을 공급할 수 있도록 수자원을 일시 저장, 확보하는 것을 의미한다. 필요저수량은 사업계획지구내의 필요수량과 유입량을 비교하여 구할 수 있으며 시기별 부족수량은 저수지에 저류시켜야 한다.

방법의 다양성에도 불구하고 일반적으로 부족수량을 저류해야 할 저수지 계획용량은 저수지 모의조작 결과로 나타나는 필요저수량(Required Storage)에 대한 연 최대치계열을 확률처리하여 결정할 수 있다. 여기서 확률처리하기 전에 연최대치계열의 독립성 내지 임의성을 검사하여야 한다. 이때 계산된 필요저수량은 Zero Base 방법이 아니라 Carryover 방법일 때만 계산한다. 수문계열의 독립성 검사방법은 주로 자기 상관계수(Auto correlation coefficient)를 구하여 검사한다. 금회 개발된 프로그램에는 상기 처리 루틴이 포함되어 있지 않으나 3차년도에는 이 부분을 보완할 예정이다.

표본수문변량 x 는 일반적으로 변량의 평균치 \bar{x} 에 x 의 편차 Δx 를 더한 것으로 표시할 수 있다. 즉,

$$x = \bar{x} + \Delta x \quad (5-28)$$

여기서 편차 Δx 는 변량 x 의 확률분포가 가지는 분포특성과 변량의 재현기간 (혹은 생기확률) 및 분포형의 매개변수 등과 관계가 있으며 변량 x 의 표준편차 s 에 빈도계수(frequency factor) K 를 곱한 값으로 표시된다. 즉,

$$\Delta X = s \cdot K \text{ 이다.} \quad \text{따라서 } X_T = \bar{x} + s \cdot K_T \quad (5-29)$$

여기서 X_T 는 T 재현기간에 발생할 확률치이며 K_T 는 T년의 빈도계수이다.

통상적으로 저수지 계획결정에 사용되는 확률함수 식은 Gumbel-Chow법을 적용하고 있으며 그 식은 다음과 같다.
$$X_t = X + k \times \delta_{n-1} \quad (5-30)$$

여기서 X_t = 재현기간 t년의 기대치, X = 표본의 평균치, k = 빈도계수, δ_{n-1} = 표본의 표준편차 등이다.

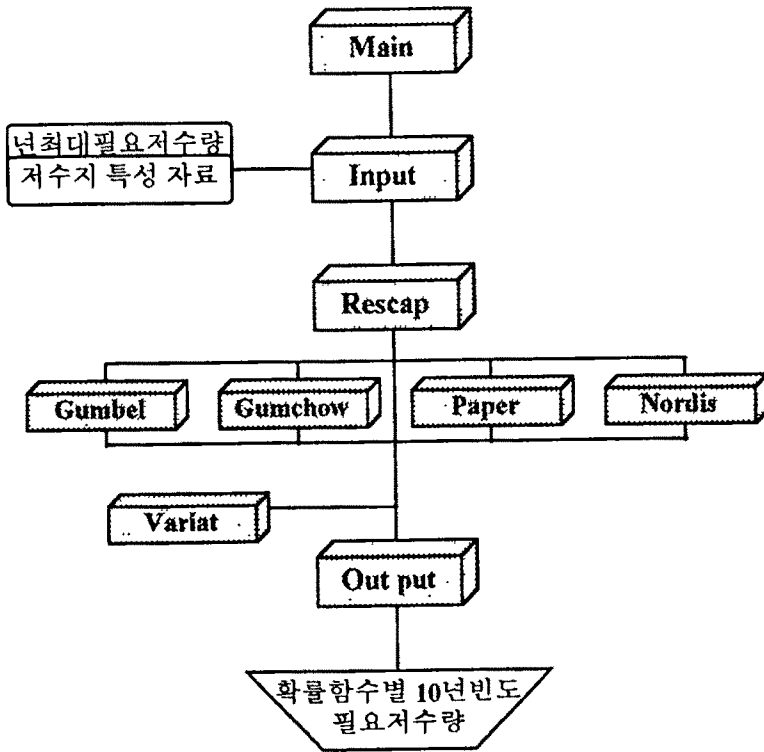
본 모형에서는 4가지의 확률 분포함수를 적용하였으며 각 확률분포 함수에 대한 계산 결과를 비교하여 최적의 값을 선택하도록 모형화 하였다.

저수지의 계획용적은 실제 저수용적(active storage) 또는 유효 저수용적을 의미한다. 즉, 통관 이하의 사수용적(dead storage) 과 홍수위 조절을 목적으로 하는 여수토 제정고 이상의 홍수조절용적(surcharge storage)은 제외되어야 한다. 또한 저수지는 축조후 시일이 경과함에 따라 유역으로부터 토사가 유입, 퇴적하여 그 용적이 감소되므로 감소 정도를 고려해 주어야 한다. 본 모형에서는 저수지의 내구년한내에 총 유효저수용적의 10%가 퇴사에 의해 용적이 감소되는 것으로 보았으며 이를 계상하여 저수지 계획용량을 산정하도록 하였다.

5.6.2 모형의 구성

가. 모형의 구조

본 모형은 확률함수 계산을 위한 여러가지 부 프로그램과 입력변수들로 구성되어 있으며 저수지 모의조작 모형에서 산정한 필요저수량의 년최대치계열을 확률처리하여 10년 한발년에 대한 저수지 용량을 결정한다. 모형의 구조도는 <그림 5-7>과 같으며 <표 5-12>은 모형의 부프로그램의 내용을 설명해 주고 있다.



<그림 5-7> 필요저수량 결정 모형의 구조도

<표 5-12> 필요저수량 결정 모형의 부프로그램

부프로그램 명	Call 프로그램	주요내용
Main	-	Input, Output, Rescap 부 프로그램 호출
Input	Main	년 필요저수량 자료 입력
Output	"	계산 결과의 출력
Rescap	"	프로그램 제어 및 하위 루틴 제어
Gumbel	Rescap	Gumbel 함수에 의한 빈도 해석
Gumchow	"	Gmbel-Chow "
Paper	"	확률지법에 의한 빈도해석
Nordis	"	정규분포법에 의한 "
Variat	"	내용적에 의한 저수위, 저수량 변환

나. 입력자료

저수지의 경우 계획용량을 결정하기 위해서는 저수지의 내용적 자료 및 물수지 모의조작 결과로 인한 연도별 필요저수량 자료가 필요하다. 본 모형에서는 별도의 입력자료 작성없이 저수지 설계제원 및 필요저수량 자료만 입력되면 계산이 가능하도록 하였다.

즉 저수지 모의조작 모형의 프로그램 제어인수에 의해 계산된 결과와 저수지 내용적 자료가 Resin.inp 파일에 기록되도록 하였다.

Resin.inp 에 저장되는 입력자료는 <표 5-13>과 같다.

<표 5-13> 필요저수량 결정 모형의 입력자료

구 분	변수명	내 용	비 고
사 업 명	Proname	사업지구 명칭	
저수지 명	Resname	설계 저수지 이름	
저 수 지 설계제원	Dwl	저수지 사수위(통관 높이)	
	Fwl	" 만수위(여수토 높이)	
	Parea	" 관개면적	
	Nelv	" 내용적 수	
	Relv	" 표고(E1.m)	
	Rarea	" 표고별 면적(천㎡)	
필요저수량 자 료	Resrq	연도별 최대 필요저수량 자료	

다. 출력 자료

출력 자료에는 저수지의 경우 내용적에 대한 자료의 출력 및 10년 빈도 한발년에 대한 저수지 계획용량 결정 결과를 나타내었다. 각 확률함수별 필요저수량, 사수용량, 유사퇴적량 및 총 필요저수량 등이 계산 결과이며

필요저수량은 만수위가 고정되었을 경우는 사수위를, 사수위가 고정되었을 경우는 만수위를 나타내도록 처리하였다.

출력 파일의 내용은 <표 5-14>과 같다.

<표 5-14> 필요저수량 결정 모형의 출력 자료

구 분	변수명	내 용	비 고
사 업 명	Proname	사업지구 이름	
저수지 명	Resname	설계 저수지 이름	
저 수 지 용적현황	Dwl	저수지 사수위	
	Voldwl	" 사수용량	
	Fwl	" 만수위	
	Volfwl	" 만수용량	
	Voleff	" 유효저수량	
10년 빈도 필요저수량	Strag	10년 빈도 필요저수량	
	Voldwl	저수지 사수용적	
	Sed	유사 침전량	
	Tsto	총 필요저수량	
	Fwlt	사수위 고정시 만수위	
	Dwlt	만수위 고장시 사수위	

5.7 단위용수량 산정 모형

5.7.1 개 요

용수로 등의 수로구조물을 설계하기 위해서는 최대용수시기와 단위면적당 단위시간의 필요수량을 산정하여야 한다.

작물이 물을 가장 많이 필요로 하는 시기는 일반적으로 작물의 성장이 최고로 왕성하여 증발산량이 최대가 되는 시기가 된다. 그러나 담수를 필요로 하는

벼의 경우에는 영농방식 뿐만 아니라 이앙기간의 단축, 집단적 중간낙수 또는 집단적 병충해 방제후에 필요한 단시일내의 물공급량에 의하여 단위용수량의 증가가 증발산량의 최대시기의 물수요를 능가하는 경우가 종종 발생한다. 이와 같이 관개수량이 가장 많이 필요한 시기를 최대용수시기라 하고, 이 최대용수시기에 필요로 하는 용수량을 최대용수량이라 한다.

최대용수량은 일반적으로 유효우량을 고려하지 않고 최대용수시기의 소비수량을 기준으로 하여 산정한다. 전통적인 이앙재배에서는 이앙기의 이앙용수와 증발산량이 가장 많은 시기의 소비수량과를 비교하여 최대용수량을 결정한다.

일반적으로 최대용수량의 산정순서는 먼저 단위용수량을 산정하여 이에 관개면적을 고려하여 산정하므로 이 최대용수시기의 최대단위용수량을 특히 단위용수량이라 한다. 다시 말해서 계획기준년의 최대용수시기에 단위면적에 대한 단위시간당 소요되는 계획용수량으로 용수로설계의 기준이 되는 최대용수량을 단위용수량이라고 말할 수 있다.

하나의 사업지구내에 여러 가지 작물이 재배되고 있거나 이앙재배, 직파재배 등의 영농방식이 다양할 경우 최대용수량의 산정은 각 작물의 작부면적이나 재배방식별 면적에 따른 가중편균치를 사용하거나 소비수량이 가장 많이 발생하는 경우의 값을 사용할 수 있다.

본 모형에서는 재배방식별 작물의 생육시기에 따라 물관리기와 본답기로 나누고 이 시기에 대한 작물 증발산량 및 최대용수량을 산정하여 최대용수시기에 따른 단위용수량을 산정하도록 하였다.

5.7.2 단위용수량 산정

가. 증발산량

벼 재배에 있어 이앙재배의 경우 이앙용수량, 답수직파재배의 경우 초기

물관리용수량, 건답직파의 경우 초기관개용수량을 제외하고는 생육단계에 따른 증발산량의 대소가 전체 필요수량에서 차지하는 비율은 매우 크다. 그러므로 단위용수량을 결정하기 위해서는 재배방식별 증발산량의 산정이 우선되어야 한다.

증발량의 산정은 앞장에서 언급된 Penman식 이나 Blaney-Criddle 식을 이용하였으며 재배방식별 작물소비수량 계수를 적용하였다. 본 모형에서는 필요수량 산정 모형에서 재배방식별로 증발산량이 산정되므로 이를 단위용수량 산정에 필요한 입력 자료로 이용할 수 있도록 구조화 하였다.

나. 생육기별 최대용수량

생육기별 최대용수량은 증발산량과 삼투량, 수로손실, 재배관리용수량을 고려하여 계산해야 한다. 재배관리용수량이란 포장에서의 벼 재배방식에 따라 필요한 수량을 말하며 논에서의 담수심을 일정하게 유지시키거나 침수 또는 천수등 담수심을 변화시키든지, 간단관개, 또는 내리흘림식 관개 등을 통하여 생산량 증대, 품질의 개선, 농작업의 효율화를 위하여 필요한 수량을 의미한다.

증발산량과 삼투량은 재배작물이나 답 토양의 특성에 의한 것으로 영농방식의 변화가 미치는 영향은 적다고 볼 수 있으나 재배관리용수량에는 절대적인 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서 직파재배의 경우 육묘과정을 생략하고 본답에 파종을 하게되므로 초기 정밀한 물관리가 요구되며 이에 따른 용수 수요의 변화폭도 커지게 된다.

그러므로 영농방식을 고려한 단위용수량 산정시에는 초기 물관리기와 본답기 또는 보통기로 나누어 최대용수량을 산정하고 최대용수시기를 구하여 단위용수량을 결정하는 것이 타당하다.

벼에 대한 초기 물관리에 필요한 용수는 이앙재배의 경우 못자리용수와 씨레질용수가 있으며 담수직파를 실시하는 경우 씨레질용수, 건답직파를 실시

하는 경우에는 초기관개용수 등을 고려해야 한다.

본답기(보통기)의 경우에는 증발산과 침투량, 재배관리용수량의 합으로 나타낼 수 있다.

1) 이양재배

이양재배에 있어서 초기용수량은 못자리 용수와 씨레질 용수가 있다. 못자리 용수는 육묘방식에 따라 달라지며 육묘방식은 어린묘, 증묘등으로 구분할 수 있으나 전체 관개면적에 비해 묘대면적이 차지하는 비율이 많지 않으므로 단위용수량 결정에는 그리 중요하지 않다.

그러나 이양을 쉽게 하고 누수를 방지할 목적으로 실시되는 씨레질 작업은 단기간에 다량의 용수가 필요하므로 이를 고려하지 않을 수 없다. 씨레질에서 이양때까지의 필요한 용수를 이양용수라 하며 답 토양특성에 따라 다르나 보통 140mm정도를 취하고 있다. 토양 특성에 따른 이양용수를 정리하면 <표 5-15>과 같다.

<표 5-15> 토양특성에 따른 이양용수량 (단위 : mm)

구 분	보 통 답	습 답	건 답	누 수 답
이양용수량	140	80 - 120	100 - 180	150 - 250

본답기에서는 증발산량과 삼투량, 수로손실만을 고려하면 된다. 따라서 단위용수량 산정시 최대용수시기는 다음과 같이 구분, 적용할 수 있다.

- 가) 씨레용수만 필요한 경우
- 나) 이양기 관리용수만 필요한 경우
- 다) 씨레용수 및 관리용수가 필요한 경우
- 라) 본답기 최대 관리용수가 필요한 경우

각각의 경우에 대한 최대단위용수량은 다음식을 이용하여 결정할 수 있다.

가) 씨레용수량(q_1)

$$q_1 = \frac{D_p}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-31)$$

나) 이앙기 관리용수량(q_2)

$$q_2 = \frac{E_t + P_t}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-32)$$

다) 이앙기 최대용수량(q_3)

$$q_3 = \frac{(n-1)/n \times (E_t + P_t) + D_p/n}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-33)$$

라) 본답기 최대 관리용수량(q_4)

$$q_4 = \frac{E_{pt} + P_p}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-34)$$

여기서 D_p = 이앙용수심(mm), E_t = 이앙기의 1일간 증발산량, P_t = 이앙기의 1일간 삼투량, E_{pt} = 본답기 순별 최대증발산량, P_p = 본답기 10일간의 삼투량, L = 수로손실률, n = 이앙일수를 나타낸다.

실제 용수로의 설계에 있어서는 간선과 지선별로 지배면적을 구분해 적용해야 한다. 설계용수량의 적용방법은 다음과 같다.

가) 지배면적이 5ha 미만인 경우

$$Q = A_p \times q_1 \quad (5-35)$$

나) 지배면적이 5ha - 50ha 미만인 경우

$$Q = 5 \times q_1 + (A_p - 5) \times q_2 \quad (5-36)$$

다) 지배면적이 50ha - 100ha 미만인 경우

$$Q = (Q_2 - Q_1) / 50 + (A_p - 50) + Q_1 \quad (5-37)$$

$$\text{단. } Q_2 = 100 \times q_3, \quad Q_1 = 5 \times q_1 + 45 \times q_2 \quad (5-38)$$

라) 지배면적이 100 ha 이상인 경우

$$Q = A_p \times q_3 \quad (5-39)$$

여기서 A_p = 지배면적을 나타내고 있다.

지배면적이 100ha 이상인 간선수로의 경우 이양기 최대용수량(q_3)와 본답기 최대관리용수량(q_4)중 큰 값을 적용함이 타당하다.

2) 담수직파 재배

담수직파의 경우 최대단위용수량은 이양재배시와 큰 차이는 없다. 그러나 담수직파가 지역적으로 편중되어 있어 씨레용수 수요가 집중적으로 발생할 수 있으며 초기 물관리시 눈그누기나 중간낙수를 위해 담수와 배수를 해야하기 때문에 이 기간 동안 파종기와 겹칠 경우의 용수 수요에 대비해야 한다. 그러므로 초기 물관리기 최대용수량 <이양재배의 이양기 최대용수량(q_3)> 산정시 담수직파에 따른 물관리 용수량을 설계에 반영해야 한다.

따라서 식(5-33)은 다음식 (5-40)과 같이 설정함이 바람직하다.

$$q_3 = \frac{(n-1)/n \times (E_t + P_t) + D_p/n + M/n}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-40)$$

여기서 M = 담수직파 초기 물관리 용수량 (mm)를 나타낸다.

지배면적에 따른 설계용수량의 적용은 이양재배와 같다.

3) 건답직파 재배

건답직파는 씨레질을 하지 않기 때문에 씨레질용수 또는 이양용수가 필요없지만, 그 대신 초기 관개수량이 필요하게 된다. 초기 관개수량은 벼의 생육이 소정의 단계에 도달한 시점(일반적으로 3~엽기)에서 최초로 관개를 개시한 후 상시 담수로 전환할 때까지의 기간에 실시된다.

초기관개수량은 씨레질을 하지 않기 때문에 논 바다 및 논둑을 통한 침투수가 많아 다량의 물이 소비되는 것이 특징이다. 그러므로 단위용수량 산정시 초기 용수량의 변화에 대한 고려가 있어야 하며 용수로 설계시 용수의 수요가 가장 집중적으로 발생할 수도 있다.

건답직파에서의 단위용수량의 산정 구분은 다음과 같이 2가지의 용수시기로 구분하여 필요에 따라 적용하는 것이 타당하다.

가) 초기물관리기

나) 본답기(보통기)

각각의 경우에 다음식에 의해 단위용수량을 산정할 수 있다.

가) 초기 물관리기 최대용수량(q_3)

$$q_3 = \frac{(n-1)/n \times (E_t + P_t) + D/n}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-41)$$

나) 본답기 최대 관리용수량(q_4)

$$q_4 = \frac{E_{pt} + P_p}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-42)$$

여기서 D = 초기 관개수심(mm), E_t = 이양기의 1일간 증발산량, P_t = 이

앙기의 1일간 삼투량, E_p = 본답기 순별 최대증발산량, P_p = 본답기 10일간의 삼투량, L = 수로손실률을 나타내며 n = 적용된 물관리 기간을 의미한다.

용수로의 지배면적을 고려한 설계용수량의 산정시 이양재배 때의 면적 구분은 불필요 하나 건답직파의 경우는 직파재배지가 밀집되어 있고 용수 수요가 집중적으로 일어나므로 100ha 미만의 경우는 q3을 기준으로 간선의 경우 q3와 q4를 비교하여 큰 값을 적용함이 타당할 타당할 것이다.

4) 혼합재배

일반적으로 저수지나 양수장 설계지구에서 전체 관개구역이 통일된 재배 방식을 공유하기는 어렵다. 잡초의 방제를 위해서 또는 연작을 할 경우 앵미 (Red rice)가 발생하므로 이의 방지를 위해 일정기간에 따라 재배방식의 변경을 권장할 뿐만 아니라 이모작, 농가의 취향에 따라 재배방식이 다를 수 있으므로 직파, 이양의 혼합재배가 유력하다.

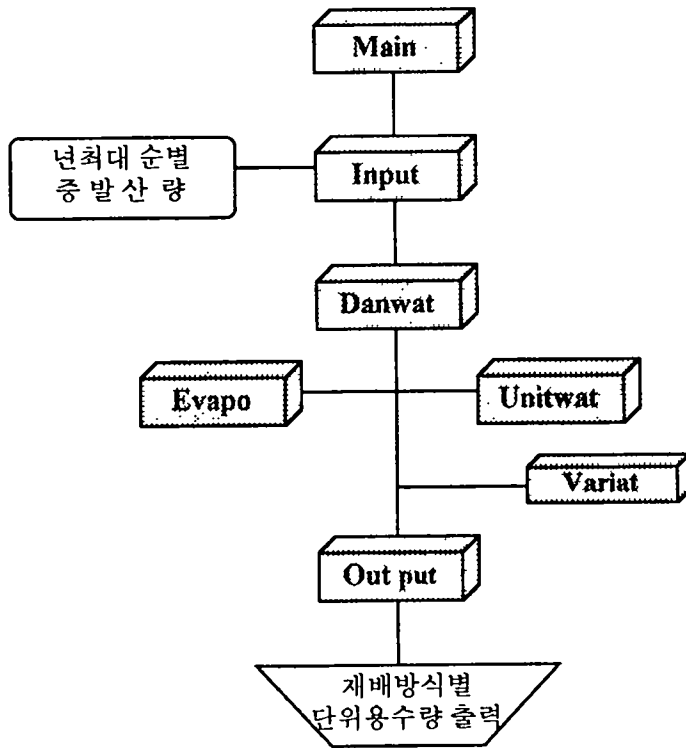
이와같은 경우 단위용수량은 용수수요가 많은 쪽을 기준으로 하여 결정하는 것이 타당하다. 그렇지만 일반적인 경우에는 영농방식에 따른 관개면적의 평균가중치를 사용하여 산정할 수 있다.

5.7.3 모형의 구성

가. 모형의 구조

단위용수량의 산정은 재배양식별로 구분되어야 한다. 이양재배와 건답직파 또는 답수직파별로 증발산량을 산정하고 재배관리용수량, 수로손실, 삼투량 등을 고려하여 결정하여야 한다.

단위용수량 산정 모형의 구조도는 <그림 5-8>과 같으며 각 부프로그램의 내용은 <표 5-16>에서 설명하고 있다.



〈그림 5-8〉 단위용수량 산정 모형 구조도

〈표 5-16〉 단위용수량 산정 모형의 부프로그램

부프로그램 명	Call 프로그램	주요내용
Main	-	Input, Output, Danwat 부 프로그램 호출
Input	Main	재배방식, 연도별 증발산량 입력
Output	"	입력 데이터의 출력
Danwat	"	프로그램 제어 및 연도별 요약 출력
Evapo	Danwat	재배방식별 증발산량 순별 정리, 요약
Unitwat	"	시기별, 재배방식별 단위용수량 산정
Chow1	"	년최대 증발산량 빈도해석

나. 입력자료

관개구역에 대한 단위용수량을 산정하기 위해서는 관개구역 및 삼투량, 수로손실량에 대한 자료와 재배방식별 영농계에 대한 자료가 필요하며 증발산량을 산정하기 위한 기상자료들도 있어야 한다. 본 모형에서는 이러한 자료들이 필요수량 산정 모형에서 자동으로 파일로서 작성되도록 하였다.

주요 입력자료는 <표 5-17>과 같다.

<표 5-17> 단위용수량 산정 모형의 입력자료

구 분	변수명	내 용	비 고
사 업 명	Proname	사업지구 이름	
측후소명	Pstation	사업지구 위치	
관개면적 자 료	Parea Tarea Warea Darea	전 체 관개면적 이양재배 관개면적 담수직파 관개면적 건답직파 관개면적	
포장관리 자 료	Pcol Plos	담 삼투량(mm/day) 수로손실(%)	
이양재배 영농계획	Nuim, Nuid Nulm, Nuld Imtr, Idtr Lmtr, Ldtr Lmir, Ldir	묘대 시작월, 일 묘대 종료월, 일 이양 시작월, 일 이양 종료월, 일 관개 종료월, 일	
담수직파 영농계획	Kwsm, Kwsd Kwlm, Kwld	파종 시작월, 일 파종 종료월, 일	
건답직파 영농계획	Kdsm, Kdsd Kdlm, Kdld	파종 시작월, 일 파종 종료월, 일	
증발산량 자 료	Eto	재배방식별 증발산량	

다. 출력자료

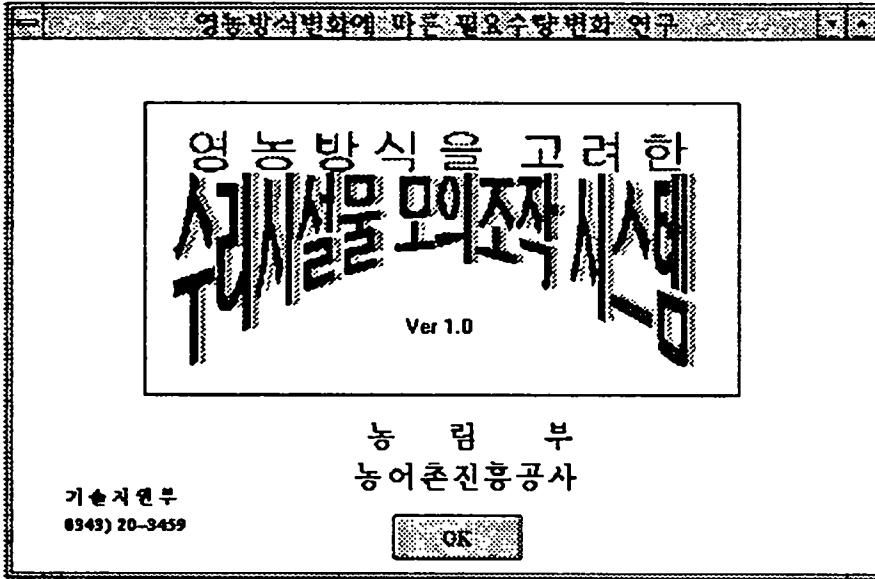
출력 자료에는 연도별, 재배양식별 본답기 및 물관리기에 대한 순별 증발산량 및 이에 대한 연도별 최대치를 나타내 주며 또 상기 자료를 확률처리하여 10년 빈도 한발년에 대한 생육기별 최대단위용수량을 산정하여 보여준다. 또한 실제 용수로 설계에 바로 적용할 수 있도록 용수로 지배면적에 대한 설계용수량을 나타내도록 하였다.

5.8 통합시스템의 개발

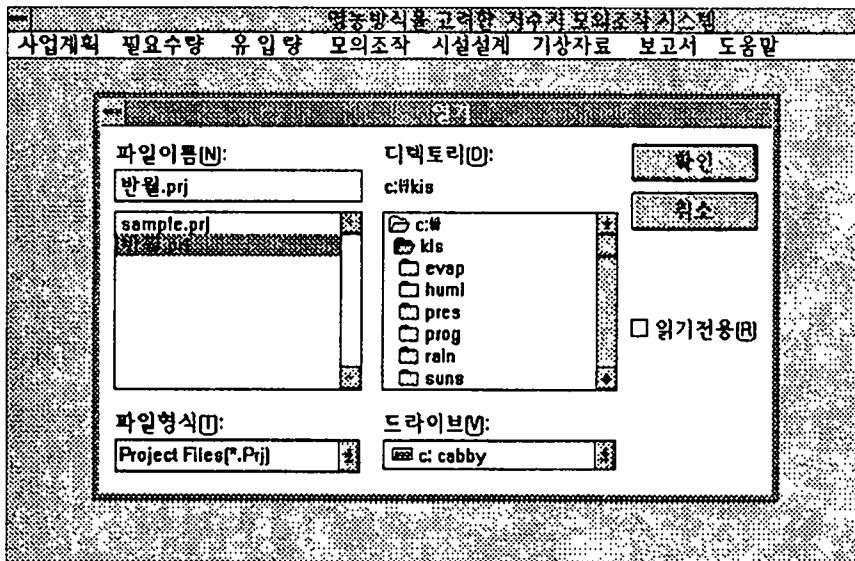
5.8.1 시스템의 기본구성

본 연구의 목적은 벼 재배방식에 따른 필요수량 변화를 추정하고 이 변화가 수리시설물 규모 결정에 어느 정도의 영향을 미치는지를 검토하여 장래 수리시설물의 설계기준을 정립하는데 있다. 따라서 이와같은 목적에 부합되도록 시스템을 구성하여야 한다.

수리시설물 모의조작 시스템은 Windows상에서 구동되는 Logo 화면과 주 메뉴로 되어 있으며 주메뉴에서 하위 메뉴인 각 분석 모형들을 조정할 수 있는 메뉴 방식으로 구성되어 있다. 본 시스템의 Logo 화면 및 Main Menu는 각각 <그림 5-9> 및 <그림 5-10>와 같다.



<그림 5-9> 수리시설물 모의조작 시스템의 Logo 화면



<그림 5-10> 수리시설물 모의조작 시스템의 Main Menu 초기화면

Windows용 프로그램의 장점은 사용자 위주의 환경에 적합하도록 프로그램을 코딩할 수 있다는 것이다. 주요 데이터의 입력과정 및 계산과정을 시각적으로 확인해 갈 수 있으며 출력에 있어서도 다양한 다중 인터페이스(Multi Interface) 기능을 활용하여 그래픽 기능을 다양화 할 수 있으며 데스트의 출력도 훨씬 쉽게 할 수 있다. Window용 프로그램 개발 도구인 Visual Basic은 이와같은 사용자의 요구를 충족시킬 수 있으므로 본 시스템에서는 각 모형을 통합하기 위한 통합시스템을 구축하는데 상기 도구(Tool)를 사용하였다.

본 시스템은 주 메뉴 밑에 7개의 하위 메뉴로 구성되어진다. 각 하위 메뉴는 단일 모형을 나타내며 이들 모형이 실제 계산과정을 수행한다. 하위 메뉴의 주요 항목 및 내용은 다음과 같다.

가. 사업계획

사업계획 메뉴에서는 사업지구 전체의 통합 입력파일을 작성한다. 입력 파일은 사업계획에 대한 일반현황, 재배방식을 포함하는 영농계획, 포장관리 계획, 작부체계 및 작물계수 및 관할 관측소 코드를 자동 또는 수동으로 입력시킬 수 있으며 유입량 산정을 위한 유역현황 자료, 저수지 또는 용수로의 설계기준을 포함한 자료입력 화면을 갖도록 할 계획이다. 기설지구의 경우 저장된 입력파일을 화면에 올릴 수 있으며 수정, 편집이 가능하다.

나. 필요수량

필요수량 메뉴에서는 본 시스템에서 가장 중요한 부분이다. 이 시스템은 영농방식별 답에서의 필요수량을 산정하기 위한 것으로 사업계획 메뉴에서 작성된 데이터를 입력창을 통해 표시해 주며 이를 수정, 편집하고 계산과정을 수행한다. 계산 결과는 화면상에 표시되어 즉시 결과를 확인 할 수 있으며 출력해 볼 수도 있다.

다. 유입량

유입량 메뉴에서는 지구내로 유입되는 유입량을 계산하기 위한 입력데이터를 나타내주고 필요시 수정, 편집이 가능하며 계산과정을 수행한다. 필요시 유입량의 년도별 변화를 그래픽으로 도시할 수 있으며 출력결과의 텍스트 출력이 가능하고 계산된 결과는 물수지분석에 필요한 데이터로 변환, 저장되어 물수지 분석시 자동으로 접속시킬 수 있다.

라. 모의조작

물수지 모의조작 과정은 유입량 및 답의 필요수량 계산결과를 입력 데이터로 이용하고 생.공업용수, 발전방류량, 저수지 수면에서의 강수량, 증발량을 계산하여 일별 또는 순별 물수지를 분석하여 저수량 및 저수위 변화를 함께 계산한다. 또 이와같은 결과를 그래픽으로 출력하여 사용자의 이해를 도울 수 있도록 할 계획이며 모의조작 결과를 텍스트로 출력하고 생육기별, 연도별 필요수량 산정 결과를 단위용수량 산정 및 저수지 용량 결정에 필요한 입력 데이터로 이용할 수 있도록 하였다.

마. 시설계획

시설계획 메뉴는 필요저수량 결정 메뉴와 단위용수량 산정 메뉴를 하위 메뉴로 둔다. 저수지 용량결정 메뉴에서는 확률함수별 10년 한발년에 대한 저수지의 경우 내용적을 추정하여 저수지 설계제원을 결정할 수 있고 시설 저수지의 내한 능력을 평가할 수도 있다. 단위용수량 산정 메뉴에서는 답 필요수량 계산 과정에서 자동 저장된 영농방식별, 생육기별 년최대 증발산량을 입력자료로 하여 포장에서의 단위용수량을 산정한다.

바. 기상자료

물수지 및 필요저수량 모의조작에 필요한 기초자료로서 기상자료가 구축되어 있어야 한다. 기상자료의 구축은 자료의 Database화로 가능하며 이용, 수정, 편집이 용이하도록 해야 한다. 본 시스템에서는 관측소를 코드화하고 관측소의 기상요소를 호출하여 사용할 수 있도록 할 계획이다.

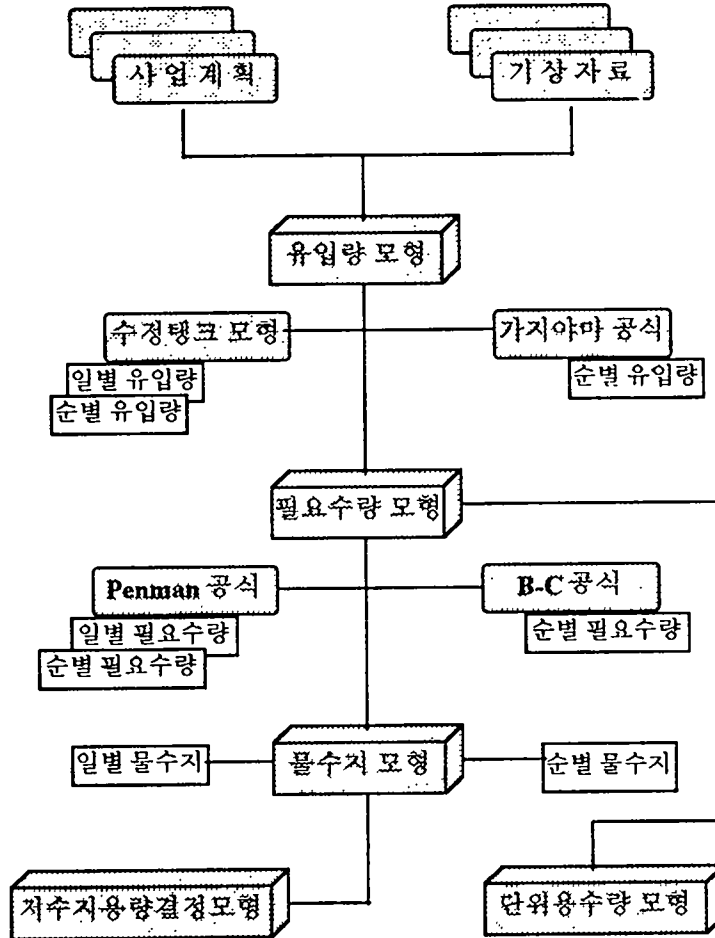
사. 도움말

프로그램의 사용에 익숙하지 않은 사용자에게 사용의 편의성을 제공하기 위해서는 사용자 도움말 기능이 필요하다. 프로그램 구동시 도움말 기능을 제공하여 사용의 편의성을 제공할 계획이다.

5.8.2 모형간 연계 및 데이터 흐름

저수지 모의조작 시스템내의 각 모형은 서로 유기적으로 연계되어 있으며 모형에서의 출력결과는 다른 모형의 입력자료로 이용될 수 있도록 구조화 되어 있다.

<그림 5-11>는 각 모형간의 연계도 및 데이터의 흐름 관계를 보여주고 있다.



<그림 5-11> 모형간 연계 및 데이터 흐름도

5.8.3 기상자료의 관리

가. 개 요

수리시설물의 설계에는 여러가지 자료가 필요하게 되며 이들 자료는 지상학적 자료(physiographic data)와 수문자료(hydrologic data)로 대별할 수 있다. 지상학적 자료는 지형도나 실제 지형측량으로 부터 구할 수 있으며 저수지 설계에 있어서 내용적 자료가 반드시 필요한 것과 같은 경우이다. 그러나 일반적으로 수문모형을 이용한 수공구조물의 설계에 있어 가장 중요한 자료는 수문자료라고 말할 수 있다. 수문자료에는 강수량, 증발량 등의 기상 자료와 침투량, 하천수위, 하천유량 등의 자료가 있으며 검증된 수문모형을 이용한 모의발생 기법에서는 기상자료의 역할이 절대적이다.

답에서의 필요수량을 추정하고 저수지를 모의운영하여 저수지의 계획용량 등을 결정하기 위해서는 많은 기상요소가 필요하며 특히 이들 자료를 일별로 모의연산에 이용하기 위해서는 여러가지 기상요소가 수십개년 필요한 실정이다. 그러므로 이들 기상자료를 관리하고 효율적으로 이용하기 위하여 모형에 적합하도록 체계적인 정리 및 DB화가 필요하다.

나. 기상요소

1) 기상요소의 구분

저수지 모의조작 시스템의 운용에 필요한 기상요소는 6가지이다. 답의 필요수량 추정에 있어 Penman식을 이용하는데 가장 많은 기상요소가 필요하며 그외 유입량 추정이나 저수지 수면증발량을 산정하는데도 기상자료가 필요하다.

본 모형에 필요한 기상요소들은 다음과 같다.

- 평균기온(Mean Air Temperature <℃>)

- 상대습도(Relative Humidity <%))
- 평균풍속(Mean Wind Speed <m/s>)
- 증발량(Evaporatin <mm>)
- 강수량(Precipitation <mm>)
- 일조시간(Duration of Sunshine <hr>)

이 중 유입량 산정에는 강수량 자료만이 필요하며 Blaney-Criddle 식을 이용한 필요수량 산정에는 강수량, 증발량, 평균기온 자료가 필요하고 Penman식을 이용한 일별 필요수량 추정에는 상기 6가지 기상요소 모두가 필요하다.

기상청은 전국에 기상관측망을 설치 운영중에 있으며 규모 및 시설에 따라 측후소(weather forecast offices)와 관측소(weather observation station)로 구분되어 있다. '95년 현재 측후소 32개소, 관측소 38개소를 운영하고 있으며 그외 6개소의 항공기상관측소(airport weather station)가 있다. 측후소의 경우 1908년 이후 관측되고 있는 지점도 있으며 대부분의 관측소 경우는 1972년 이후의 자료가 유용하다.

Penman식을 이용하는데 있어 기상요소별 자료뿐만 아니라 관측소의 경·위도 좌표 자료가 필요하며 관측 노장의 해발높이와 풍속계의 지상높이도 중요하다. 이와 같은 자료는 실제 일사량을 계산하는데 있어 일조시간 및 일조가능시간에 대한 비로서 계산되며 일조가능시간은 지구의 위도에 대한 요소로서, 평균풍속에 있어서도 지상 2m 높이의 평균풍속을 기준으로 계산하기 때문이다.

2) 기상자료의 수집

기상자료는 본 저수지 모의조작 시스템의 통합운영을 위하여 매년 반드시 수집, 정리 되어야 한다. 우리 공사에서 현재 이용되고 있는 기상자료 종류는 기상청에서 수집한 상기 6가지 기상요소를 보유하고 있는 실정이다.

대상 기상 관측소의 현황 자료는 다음과 같다.

<표 5-18(a)> 기상관측소 일람표(1)

코드 Code	지 명 Station	북 위 Lat. (N)	동 경 Long. (E)	H (m)	Ha (m)	이용가능 자료	
						시작년	보유년
090	속 초 Sokcho	38° 15'	128° 34'	17.6	11.9	81	14
095	철 원 Chorwon	38° 09'	127° 19'	154.9	15.0	88	7
100	대관령 Taegwallyong	37° 41'	128° 45'	842.0	10.0	72	23
101	춘 천 Chunchon	37° 54'	127° 44'	74.0	10.0	67	28
105	강 룡 Kangnung	37° 45'	128° 54'	26.0	9.8	67	28
108	서 울 Seoul	37° 34'	126° 58'	85.5	10.6	67	28
112	인 천 Incheon	37° 29'	126° 38'	68.9	11.0	67	28
114	원 주 Wonju	37° 20'	127° 57'	149.8	10.0	86	9
115	울릉도 Ullung-do	37° 29'	130° 54'	221.1	10.3	67	28
119	수 원 Suwon	37° 16'	126° 59'	36.9	10.6	67	28
129	서 산 Sosan	36° 46'	126° 28'	19.7	11.8	68	27
130	울 진 Uichin	36° 59'	129° 25'	49.5	13.6	81	15
131	청 주 Chongju	36° 38'	127° 26'	59.0	11.0	67	28
133	대 전 Taejon	36° 18'	127° 24'	77.1	10.4	69	26
135	추풍령 Chupungnyong	36° 13'	128° 00'	245.9	16.3	67	28
136	안 동 Andong	36° 33'	128° 43'	139.3	15.5	83	12
138	포 항 Pohang	36° 02'	129° 23'	5.6	15.5	67	28
140	군 산 Kunsan	35° 59'	126° 42'	26.3	14.5	68	27
143	대 구 Taegu	35° 53'	128° 37'	57.8	23.6	67	28
146	전 주 Chonju	35° 49'	127° 09'	51.2	8.9	67	28
152	울 산 Ulsan	35° 33'	129° 19'	31.5	10.8	67	28
155	마 산 Masan	35° 11'	128° 34'	4.5	19.5	87	8
156	광 주 Kwangju	35° 08'	126° 55'	70.9	15.4	67	28
159	부 산 Pusan	35° 06'	129° 02'	69.2	17.8	67	28
162	충 무 Chungmu	34° 50'	128° 26'	32.2	11.5	81	14
165	목 포 Mokpo	34° 47'	126° 23'	53.4	15.8	67	28
168	여 수 Yosu	34° 44'	127° 44'	67.0	10.5	67	28
170	완 도 Wando	34° 18'	126° 45'	14.7	15.4	83	12
184	제 주 Cheju	33° 31'	126° 32'	22.0	12.3	67	28
189	서귀포 Sogwipo	33° 14'	126° 34'	51.9	10.0	67	28
192	진 주 Chinju	35° 12'	128° 06'	21.5	10.0	70	25

<표 5-18(b)> 기상 관측소 일람표(2)

코드 Code	지 명 Station	북 위 Lat. (N)	동 경 Long. (E)	H (m)	Ha (m)	이용가능 자료	
						시작년	보유년
201	강 화 Kanghwa	37° 42'	126° 27'	46.4	6.0	74	21
202	양 평 Yangpyong	37° 29'	127° 29'	45.0	6.0	73	22
203	이 천 Ichon	37° 17'	127° 26'	75.0	6.0	73	22
211	인 제 Inje	38° 03'	128° 10'	199.7	6.0	73	22
212	홍 천 Hongchon	37° 41'	127° 53'	141.0	6.0	73	22
214	삼 척 Samchok	37° 22'	129° 13'	3.9	6.0	73	22
216	태 백 Taebaek	37° 10'	128° 59'	710.0	10.0	86	9
221	제 천 Chechen	37° 08'	128° 12'	220.0	6.0	73	22
223	충 주 Chungju	36° 58'	127° 55'	50.0	6.0	73	22
226	보 은 Poun	36° 29'	127° 44'	170.0	6.0	73	22
232	온 양 Onyang	36° 47'	126° 59'	24.5	6.0	73	22
235	대 천 Taechun	36° 20'	126° 36'	33.0	6.0	73	22
236	부 여 Puyo	36° 16'	126° 55'	16.0	6.0	73	22
238	금 산 Kumsan	36° 06'	127° 28'	170.7	6.0	73	22
243	부 안 Puan	35° 43'	126° 42'	7.0	6.0	73	22
244	임 실 Imshil	35° 37'	127° 17'	244.0	6.0	73	22
245	정 주 Chongju	35° 34'	126° 53'	40.5	6.0	73	22
247	남 원 Namwon	35° 25'	127° 25'	115.0	6.0	73	22
248	장 수 Changsu	35° 39'	127° 31'	409.3	6.0	88	7
256	승 주 Sungju	35° 04'	127° 15'	74.0	10.0	73	22
260	장 흥 Changhung	34° 41'	126° 55'	40.0	6.0	73	22
261	해 남 Haenam	34° 33'	126° 35'	37.5	6.0	73	22
262	고 흥 Kohung	34° 36'	127° 18'	32.4	6.0	73	22
265	성산포 Songsanpo	33° 27'	126° 55'	10.7	6.0	73	22
271	춘 양 Chunyang	36° 57'	128° 58'	305.0	6.0	88	7
272	영 주 Yongju	36° 50'	128° 37'	170.0	6.0	73	22
273	점 촌 Chomchon	36° 37'	128° 09'	172.1	6.0	73	22
277	영 덕 Yongdok	36° 32'	129° 25'	55.0	6.0	73	22
278	의 성 Uisong	36° 21'	128° 41'	73.0	6.0	73	22
279	선 산 Sonsan	36° 14'	128° 18'	40.0	6.0	73	22
281	영 천 Yongchon	35° 58'	128° 57'	91.3	6.0	73	22
284	거 창 Kochang	35° 40'	127° 55'	224.9	6.0	86	9
285	합 천 Hapchon	35° 34'	128° 10'	30.9	6.0	73	22
288	밀 양 Miryang	35° 29'	128° 45'	12.5	6.0	73	22
289	산 청 Sanchong	35° 25'	127° 53'	141.8	6.0	73	22
294	거 계 Koje	34° 53'	128° 37'	12.0	9.6	73	22
295	남 해 Namhae	34° 50'	128° 54'	15.0	16.0	73	22

H = 노장의 해발 높이, Ha = 풍속계의 지상 높이

제 6 장 수리시설물 영향 평가

6.1 개 요

6.2 필요수량 변화 검토

6.3 필요저수량 변화 검토

6.4 문제점

여 백

제 6 장 수리시설물 영향 평가

6.1 개 요

금회 개발된 직파재배를 고려한 수리시설물의물관리 통합 시스템모형을 설계 업무에 이용하기 위해서는 현장에서 실측된 자료를 통해 모형의 검정과 여러가지 매개변수에 대한 보정을 거쳐야만 직접 설계에 적용할 수 있다. 모형의 검정과 보정에는 많은 실측자료가 필요하나 금회 2차년도 연구에서는 자료가 축적되지 않는 관계로 영농방식별로 현지, 조사한 결과와 작물의 소비수량 시험 결과만 이용하여 개략적으로 모형의 적용성만을 평가 하였다.

금회 계획, 개발된 모형은 영농방식의 변화에 따라 다양하게 적용할 수 있다. 먼저 본 연구의 주된 목적인 논에서의 필요수량이 영농방식별로 어떻게 변하는지, 시설저수지의 현재 능력이 직파재배로 전환되었을 경우 용수의 공급능력은 충분한지 또는 용수로 설계를 위한 단위용수량의 변화 등을 검토할 수 있어야 한다. 또한 신규 농업용수 공급을 위한 수원공 시설물에 대하여도 직파로 인한 적정한 설계기준 정립도 필요하다. 따라서 본 장에서는 다음과 같은 자료를 이용하여 모형의 적용성을 검토하였다.

가. 영농방식

금회 조사된 직파면적은 총 110천ha로서 전체 식부면적의 10%를 차지하고 있으며 이중 건답직파가 전체면적의 6%를, 답수직파가 4%를 차지하고 있다. 또한 정부에서는 2001년 전체 벼 재배면적 중 70%에 해당하는 700천ha를 직파재배로 전환할 계획을 세우고 있으며(〈표 2-6〉 참조) 이에 대한 필요수량의 변화 및 시설 수리시설물의 용수공급 능력도 검토하여야 한다.

따라서 직파재배가 없을 경우, 직파재배가 현재처럼 10%에 머무를 경우, 30%, 50%, 70%, 100%가 되었을 경우에 대하여 검토하였다.

나. 영농계획

영농계획은 실제 현장조사를 통해 조사된 자료를 기준으로 하였다. 시설 수리시설물은 경기도 화성군에 위치한 반월저수지를 대상으로 하였으며 따라서 영농계획도 증부지방을 기준으로 하였다. 기타 자료는 제 4장의 직파현황 및 물관리 특성조사에 수록된 자료를 이용하였으며 이를 정리하면 다음과 같다. 그리고 이앙재배의 경우 현재 농업용수 설계기준에 적용되고 있는 자료를 그대로 이용하였다.

<표 6-1> 이앙재배 영농계획

구 분	묘대 정지기	못자리 기간	이 앙 기	본 답 기	비 고
시 기	4.17~4.20	4.21~5.31	5.20~6.10	6.20~9.11	

직파 재배방식별 영농계획은 금회 현장에서 조사된 자료와 농업진흥청의 자료를 인용하였으며 이를 정리하면 <표 6-2>와 같다.

<표 6-2> 직파재배 영농계획

구분	건 답 직 파			답 수 직 파			
	파종기	물관리기	본답기	본답정지기	파종기	물관리기	본 답 기
시기	4.20~5.10	5.11~6.10	6.11~9.11	4.20~5.30	5.1~5.20	5.21~6.10	6.11~9.11

다. 작물계수

금회 분석에 이용된 직파재배에 대한 작물계수는 2차년도 작물 소비수량 시험 결과로 나타난 수원지방 중생종의 작물계수를 적용하였다. 직파재배에 대한 작물계수가 건답과 답수로 구분되어 있지 않기 때문에 같은 값을 적용하였다. 그러나 이앙재배에 대한 작물계수값은 우리공사에서 연구사업으로 '82~'86년간 실시된 "작물소비수량 산정기준 정립 연구" 결과에 나타난 작물계수를 이용하였다. 이를 정리하면 <표 6-3>과 <표 6-4>와 같다.

<표 6-3> 수정Penman 공식에 적용된 작물계수

구분	4 월				5 월				6 월				7 월				8 월				9 월	
	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순		
이앙재배	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	1.03	1.27	1.27	1.34	1.47	1.57	1.43	1.41	1.41								
직파재배	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	1.23	1.45	1.24	1.45	1.24	1.47	1.43	1.83	1.52								

<표 6-4> B-C 식에 적용된 작물계수

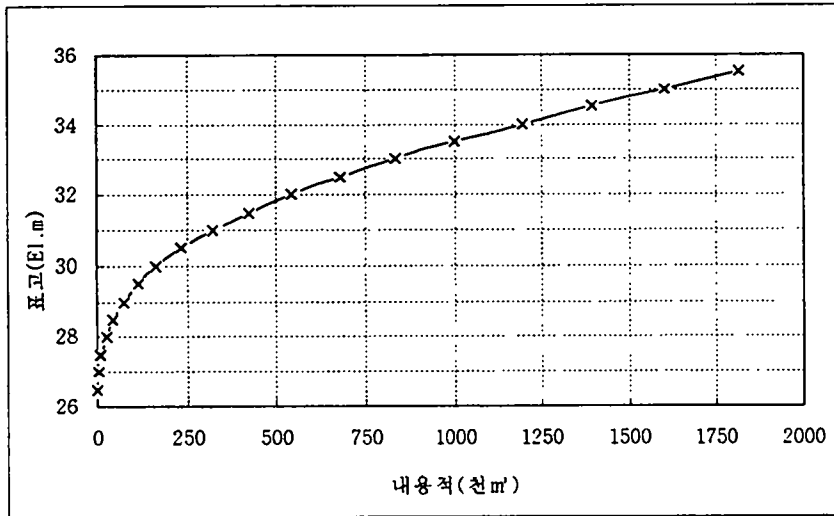
구분	4 월				5 월				6 월				7 월				8 월				9 월	
	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순		
이앙재배	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.76	0.73	0.69	0.76	0.87	1.02	0.86	0.84	0.84								
직파재배	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.79	0.84	1.04	0.90	0.80	1.06	1.24	1.11	1.12								

라. 기상자료

기상자료는 반월지구 인근에 위치한 수원측후소의 기상자료를 이용하였다. 분석기간은 '68 년에서 '95년 까지의 29개년의 자료를 적용하였으며 일별 강우량, 일별 증발량등 6개의 기상요소 자료가 이용되었다.

마. 기설 수리시설물 제원

모형의 적용을 위하여 선정된 반월저수지의 내용적은 <그림 6-1>과 같다.



<그림 6-1> 반월저수지 내용적도

그리고 반월저수지의 만수위등 기타 모의작에 필요한 자료는 <표 6-5>와 같다

<표 6-5> 반월저수지 제원

구 분	유역면적 (ha)	관개면적 (ha)	만수위 (EI.m)	사수위 (EI.m)	총저수량 (천 m³)	유효저수량 (천 m³)
내 용	1,104.0	346.0	35.0	27.0	1,602.1	1,599.8

6.2 필요수량 변화 검토

필요수량의 변화는 금회 개발 완료된 필요수량 산정 모형을 통하여 검토할 수 있다. 작물의 필요수량은 재배 양식별로 수정 Penman공식과 B-C(Blaney & Criddle)공식을 이용하여 작물의 잠재증발산량을 산정하였으며 이에 각 공식별로 작물계수를 적용하여 실제증발산량을 계산하고 삼투량을 고려하여 작물의 소비수량을 일별 또는 순별로 계산하였다. 재배기간중의 유효우량도 함께 계산하였다. 수정 Penman공식을 이용하여 계산된 필요수량의 연도별 평균치는 다음과 같다.

<표 6-6> 재배양식별 필요수량 변화(Penman) (단위 : mm)

구 분	잠재증발산량	실제 증발산량	소비수량	유효우량	순용수량	필요수량
이앙재배	618.1	747.0	1,188.2	520.0	668.2	742.5
건답직파	431.8	581.6	1,133.6	432.6	701.0	778.9
담수직파	603.9	703.8	1,375.4	518.5	857.0	952.2

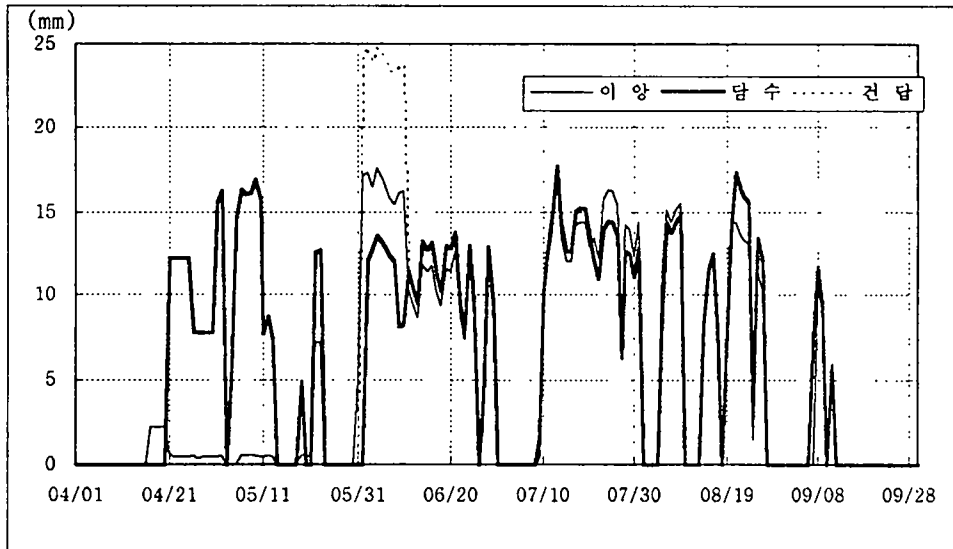
한편 B-C 공식을 이용하여 산정한 연도별 작물의 필요수량은 다음과 같이 요약할 수 있다.

<표 6-7> 재배양식별 필요수량 변화(B-C 공식) (단위 : mm)

구 분	잠재증발산량	실제 증발산량	소비수량	유효우량	순용수량	필요수량
이앙재배	819.8	589.1	1,098.5	519.9	578.6	642.9
건답직파	609.3	564.2	1,116.2	455.5	670.7	745.3
담수직파	804.0	645.6	1,334.2	531.2	803.0	892.3

상기 계산결과에서 보면 수정 Penman공식을 이용하여 계산된 필요수량은 이앙 재배에 비하여 건답직파에서 105%의 결과로 나타났고 답수직파의 경우 128%로 나타났다. B-C공식에 있어서도 건답직파가 16%, 답수직파가 39%의 필요수량이 증가된 것으로 나타났다. 따라서 평균적으로 건답에서는 10% 정도, 답수직파에서는 33% 정도의 필요수량이 이앙재배와 비교하여 더 소요되는 것으로 나타났다.

다음 그림은 각 재배방식별 일별 필요수량 변화를 나타내고 있다.



< 그림 6-2 > 재배방식별 필요수량 변화도

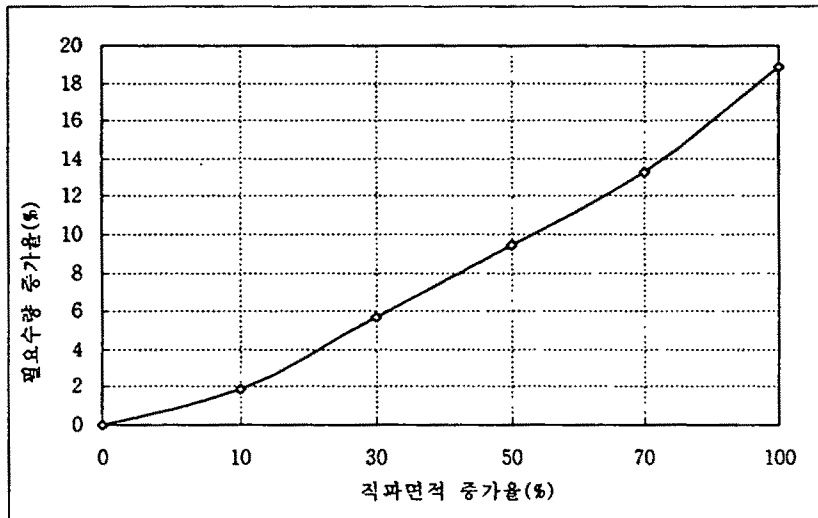
이와같은 경향이 실제 포장에서의 필요수량에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하기 위하여 반월지구 관개면적 346ha에 대하여 이앙재배만 하였을 경우와 직파재배 면적이 점차 증가하였을 경우 필요수량을 산정하여 보았다. 산정 결과는 <표 6-8>과 같다. 이앙재배가 100% 시행되었을 경우의 필요수량 2,569천 m^3 (742.5mm)에 대하여 건답직파가 100% 시행되었을 경우, 필요수량은 2,926.2천 m^3 (778.9mm)로 계산되어 5%의 용수가 더 필요하였으며, 답수직파가

100% 시행되었을 경우 필요수량은 3,294.6천㎡(952.2㎜)로 약 28%의 용수가 더 필요하게 되었다. 따라서 벼 재배방식별 면적비율을 적용하여 계산된 필요수량의 변화 결과는 <표 6-8>에서 보는 바와 같다.

<표 6-8> 직파면적에 따른 필요수량 변화

구 분	유형별 재배면적 (ha)			유형별 필요수량 (천 ㎡)			전체 필요수량	
	이 앙	담 수	건 답	이 앙	담 수	건 답	(천 ㎡)	㎜
이앙재배 100%	346	0	0	2,569.0	-	-	2,569.0	742.5
직파재배 10%	312	20	14	2,316.6	190.4	109.0	2,616.0	756.1
직파재배 30%	242	62	42	1,796.8	590.4	327.1	2,714.3	784.5
직파재배 50%	173	104	69	1,284.5	990.3	537.4	2,812.2	812.8
직파재배 70%	104	145	97	772.2	1,380.7	755.5	2,908.4	840.6
직파재배 100%	0	207	139	-	1,971.0	1,082.7	3,053.7	882.6
"	0	346	0	-	3,294.6	-	3,294.6	952.2
"	0	0	346	-	-	2,695.0	2,695.0	778.9

<그림 6-3>은 직파재배 면적이 점차 확대됨에 따라 필요수량이 증가되는 것을 보여 주는 것으로 이 그림은 현재와 같이 건답과 담수의 직파 비율이 6:4로 유지된다고 가정한 것이다. 물론 건답만 시행할 경우의 증가율은 5%에 그칠것이나 담수직파만 하는 경우의 증가율은 약 30%에 달하게 될 것이다.



〈그림 6-3〉 직파면적 증가율에 따른 필요수량 증가율

6.3 필요저수량 변화 검토

필요저수량은 기설저수지의 용수공급 능력을 평가하고 신규 저수지의 설계기준을 마련하기 위해 반드시 검토되어야 한다. 연평균 필요수량이 30%증가 되었다고 해서 필요저수량을 30% 늘려서 설계할 수는 없을 것이다. 필요저수량은 논에서 필요한 일별 또는 순별 필요수량과 용수공급원인 저수지의 유입량을 모의발생시켜 실제 저수지에 대한 저수위 또는 저수량의 변화를 파악하고 물 부족량은 없는지 등을 심도있게 검토한 후 결정해야 하기 때문이다.

따라서 이와같은 필요저수량 변화를 검토하기 위하여 반월저수지에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

- 1) 직파재배에 따른 저수위 변화
- 2) 연평균 필요저수량의 변화
- 3) 10년 빈도 가뭄년의 설계 필요저수량

분석조건은 필요수량 변화 검토와 동일하며 다만 유입량을 산정하기 위하여 반월저수지 유역 1,104ha에 대해 유입량 산정 모형은 수정 탱크모형을, 필요수량 산정은 수정Penman공식을 적용하여 총 관개면적 346 ha에 대하여 일별로 물수지를 행하였다.

가. 필요저수량의 변화

전체 관개구역에 대하여 이양재배만 할 경우와 100% 건답직파를 할 경우, 또 100% 담수직파만 할 경우를 분석하였다. 분석기간은 29개년 동안 실시하였으며 그 결과는 <표 6-9>에서 보는 바와 같다.

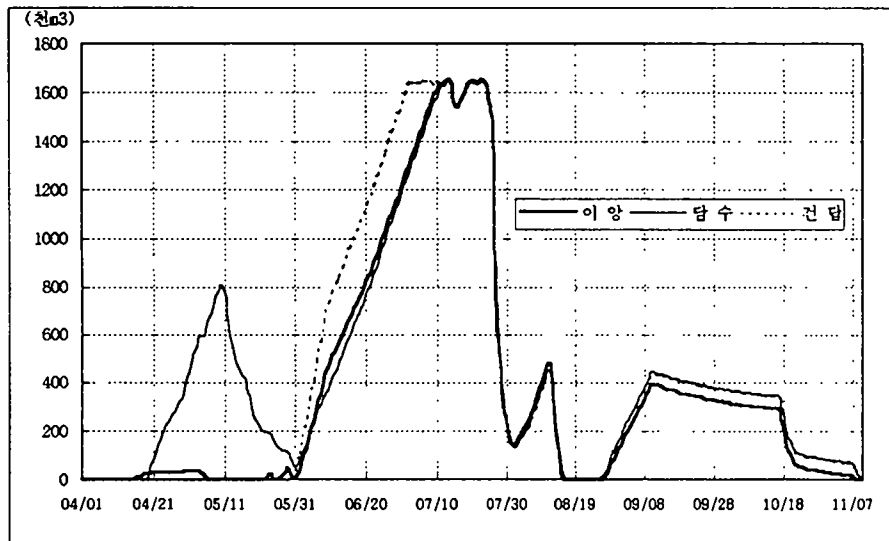
<표 6-9> 재배방식별 저수지 모의조작 결과

구 분	연평균 유입량 (천㎥)	연 평균 필요수량 (천㎥)	연 간 물수지 (천㎥)	연 최 대 필요저수량 (천㎥)	연 최 저 필요저수량 (천 ㎥)	연 최 대 용수부족량 (천 ㎥)
이양재배	7,665.5	2,569.0	5,096.5	1,021.1	591.6	48.2(1개년)
담수직파	7,665.5	3,294.6	4,370.9	1,249.2	364.6	54.9(6개년)
건답직파	7,665.5	2,695.0	4,970.5	1,182.1	422.7	46.0(2개년)

재배방식별로 분석된 반월저수지의 물수지 모의조작 결과에서 나타난 바와 같이 연 최대 필요저수량을 살펴 보면 담수직파 재배의 경우 이양재배와 비교하여 약 23%의 저수량이 더 필요하였으며 건답직파의 경우 약 17%가 증가하였다. 또 연 최저 필요저수량의 경우도 담수직파와 건답직파는 364.6천㎥와 422.7천㎥로서 이양재배 보다 낮게 나타났다. 그리고 용수 부족량이 나타난 횟수도 담수직파가 6개년, 건답직파가 2개년으로서 이양재배시 보다 많이 발생하였다. 그러므로 상기 결과를 토대로 재배방식에 따른 답에서의 필요수량

증가율(담수 : 28%, 건담 : 5%)과 저수지의 필요저수량 변화가 일치하지 않음을 알 수 있었다.

이와 같은 이유는 일별로 필요수량을 산정하고 저수지 모의조작을 하였을 경우 각 재배방식에 따른 물관리 방법이 일별 필요저수량에 많은 영향을 미치고 있기 때문이다. <그림 6-4>는 재배방식별 일별 필요수량의 변화를 나타낸 것이다.



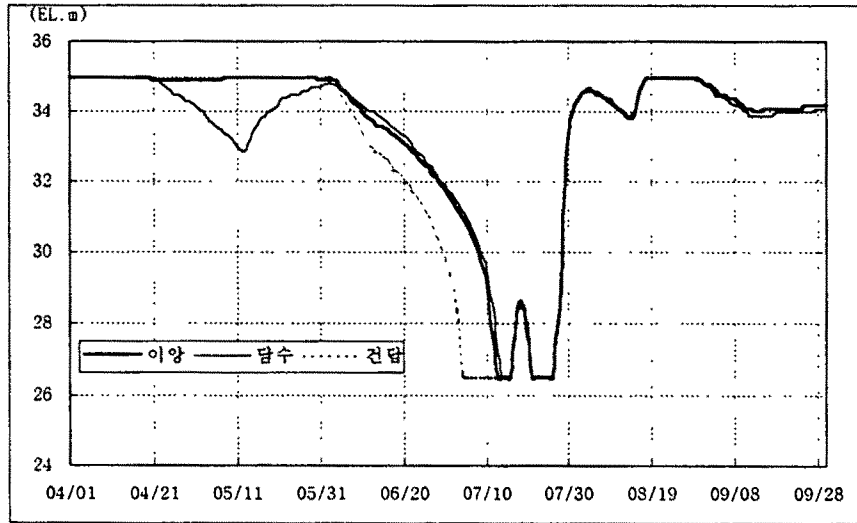
<그림 6-4> 재배양식별 필요저수량의 일별 변화도

상기 그림에서 알수 있듯이 담수직파의 경우 벼를 담수상태에서 본답에 직접 파종하게 되므로 초기용수 수요가 많고 건담의 경우 6월초의 초기 관개용수가 집중적으로 소요되고 있음을 나타내 준다. 본답기 이후의 용수변화는 물관리 방식이 같기 때문에 필요저수량의 변화도 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

나. 저수지 수위 변화 검토

필요수량의 변화는 저수지에서 공급해야 할 수량이 많아짐을 의미한다.

직파재배에 의한 필요수량의 증가가 저수지 수위에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하기 위해 가뭄이 심했던 1982년도에 대하여 분석된 저수지의 일별 수위를 분석하였다. <그림 6-5>은 재배방식별 반월저수지의 일별 변화를 보여주고 있다.



<그림 6-5> 재배방식별 일별 저수지 수위 변화도

상기 그림에서 보는 바와 같이 담수직파의 경우 4월하순에서 5월중순 사이에 논정지 및 논그누기등 초기 물관리로 말미암아 다량의 관개용수를 공급해주어야 하는 관계로 저수지 수위가 많이 떨어지고 있음을 알 수 있다. 만약 봄 가뭄이 계속되었다면 저수위는 더욱 낮아졌을 것이다.

건답직파는 5월 중순까지 건답상태에서 재배하게 되므로 용수 수요가 없으나 6월초 초기관개를 하게 됨에 따라 다량의 용수가 소요되어 저수지 수위가 급격히 낮아지게 되고 봄 가뭄시 가장 먼저 용수부족을 겪게 됨을 보여주고 있다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 필요수량의 연총량에 대한 분석만으로는

저수지 설계에 대한 정확한 설계기준을 확립할 수 없으며 저수지 수위변화 등에 대한 분석도 필요하다.

다. 설계 필요저수량 검토

금회 개발중인 모형에는 저수지의 설계 필요저수량을 결정하기 위한 모형이 포함되어 있다. 따라서 상기 모형을 적용하여 반월저수지의 관개면적 346ha에 직파를 모두 시행한다고 가정하여 설계 필요저수량을 검토하였으며 그 결과는 <표 6-10>과 같다. 분석 방법은 일반 저수지 설계방법과 동일하며 10년 빈도 가뭄에 견딜 수 있는 필요저수량을 결정하였다. 또 저수지의 사수위와 퇴적량(10%)를 감안하여 총 필요저수량을 산출하고 그 때의 저수지 수위로서 시설저수지의 능력을 평가 하였다.

<표 6-10> 시설저수지 설계용량 비교 검토

구 분	필요저수량 (천㎡)	총 필요저수량 (천㎡)	만 수 위 (EL.m)	부족수량 (천㎡)
이양재배	1,450.7	1,598.1	35.0	4.0
담수직파	1,705.3	1,878.1	35.6	△ 176.0(17%)
건답직파	1,596.4	1,758.1	35.4	△ 156.0(10%)

분석결과 시설 반월저수지의 경우 당초 이양재배에 적합하도록 적정하게 설계되어 있음을 알 수 있었으며 전체 관개면적에 대하여 직파재배를 시행 할 경우 담수의 경우 17%의 내용적을, 건답직파의 경우, 10%의 내용적을 증가 시켜야 함을 알수 있다.

6.4 문제점

금회 검토된 필요수량 및 필요저수량의 변화는 벼 직파재배에 따른 일반적인 경향을 파악하기 위하여 개략적으로 분석한 결과이다. 종합적인 검토를 위해서는 재배방식별로 보다 다양한 물관리 자료와 포장시험자료를 수집, 검토하여 각각의 모형에 대한 세부적인 알고리즘을 확정하여야 하며 또 작물의 소비수량 산정 결과로 얻어진 정확한 작물계수 값이 확정된 후 정밀 분석이 가능할 것으로 사료되었다.

따라서 벼 직파를 위한 영농계획은 농촌진흥청이나 직파 관련 시험장에서 벼 생육과 연관시켜 정립되었으나 물관리와 관련된 영농계획은 아직까지 정립되지 않았으며 벼 성장에 따라 시기별 용수량과 유효수량 및 씨레용수, 건답 직파에서의 초기용수 등 복잡한 물 수요량 등이 향후 관개용수 공급 측면에서 검토되어야 할 것이다.

여 백

제 7 장 요약 및 결론

여 백

제 7 장 요약 및 결론

7.1 요약

최근 우리나라에서는 UR대책의 일환으로 쌀의 국제경쟁력을 높이고 생산비를 절감하기 위한 방안의 하나로 벼 재배방식을 이앙재배에서 직파재배로 전환하는 추세에 있다. 따라서 본 연구의 목적은 직파재배에 따른 작물의 소비수량 변화를 규명하는 것이며 아울러 포장에서의 물관리 변화와 함께 시설 수리시설물의 용수공급 및 가뭄극복 능력에 대한 영향검토를 통하여 향후 수리시설물의 설계기준에 대한 직파재배의 필요수량 변화를 반영하는데 있다. 금년은 본 연구의 2차년도에 해당된다. 따라서 금회 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

7.1.1 직파재배 소비수량 시험

직파재배에 의한 작물의 소비수량 시험은 작물계수 산정을 위한 작물의 증발산량 측정 시험과 실제 포장에서 벼 재배방식별 필요한 포장용수량 시험으로 나누어 실시하였다.

작물계수 시험은 중부지역인 수원과 남부지역인 대구에서 실시하였으며 시험방법은 유저형 라이시미터를 사용하여 벼 품종별로 조생종, 중생종, 만생종에 대하여 실제 증발산량을 측정하였다. 측정 결과 생육기간 동안의 평균증발산량은 조생종의 경우 수원에서 4.8mm, 대구에서 5.0mm로 나타났다.

수정 Penman식과 Blaney-Criddle공식을 이용하여 잠재증발산량을 산정한 결과, Penman식의 경우 수원에서 평균 4.2mm, 대구에서 3.8mm로 나타났다. 실측된 증발산량과 잠재증발산량 관계에서 작물계수를 유도하였으며 유도된

평균 작물계수는 수정 Penman식의 경우 수원에서 중생종이 1.78 이었고 대구에서는 1.35 로 나타났다.

포장용수량 시험은 벼 재배방식별로 필요한 용수공급량을 파악하기 위하여 관개수량, 담수심 및 배수량을 측정하여 실시하였다.

시험방법은 경기도, 화성군, 경기농촌진흥원의 시험포장을 이용하였으며 각 시험구 마다 유량계를 설치하여 관개수량을 측정하였고 담수심은 압력식 수위센서를 설치하여 측정하였으며 배수량은 물꼬 높이와 수위센서에서 얻어지는 월류수심을 이용하여 계산하였다.

시험 결과 영농방식별 본답기 관개전까지의 용수량은 유효강우를 제외하고 담수직파에서 83.3mm, 건답직파에서는 85.4mm로 나타났으며 생육기간의 총 소비수량은 유효강우량을 포함하여 이앙재배에서 930.1mm, 담수직파에서 1,029.3mm, 건답직파에서는 1,015.7mm로 나타났다.

7.1.2 직파현황 및 물관리 특성조사

직파재배에 의한 작물의 소비수량 시험 결과와 농업진흥청 등에서 권장하고 있는 표준 물관리 방안들을 실제 영농에 직접 적용하기 위해서는 이를 비교, 분석하여 직파재배에 따른 물관리 기준을 정립시켜야 한다. 따라서 전국적인 직파현황 파악 및 향후 변화추이, 그리고 포장에서의 물관리 변화 등을 파악하기 위해 두가지 분야에 대하여 전국적인 조사를 실시하였다.

그 첫째로 일반적인 현황조사는 파종시기, 생육일수, 수확량 등에 대하여 실시하였고 재배방식별로 중모, 어린모, 건답, 담수직파 등에 대한 연도별 재배유형의 변화를 전국적인 직파 재배면적 조사를 통하여 파악할 수 있었다.

둘째로 물관리 특성조사에서 벼 재배에 대한 일반적인 물관리 방법과 건답 직파에서의 초기관개수량, 초기 담수심에 대한 조사를 실시하였으며 담수직파

에서는 초기담수심 및 논 균히기 방법, 파종시기 및 기간, 초기담수심과 논그
누기 일수 등에 대하여 조사하였다.

7.1.3 수리시설물 모의조작 모형개발

직파재배에 따른 작물의 소비수량 변화를 실제 수리시설물의 설계에 적용
하여 작물의 필요수량 변화, 수원공의 필요저수량 변화를 파악하고 향후 직파
재배를 고려한 수리시설물 설계 기준을 정립하기 위해서는 수원공에 대한
물수지 전산모형의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 수리시설물 모의조작
모형을 개발하여 재배유형에 따른 필요수량의 변화와 수원공의 필요저수량
변화, 포장에서의 단위용수량 변화를 추정하도록 하였다.

개발된 세부 모형은 필요수량 산정 모형, 유입량 모형, 물수지 모형, 필요
저수량 결정 모형, 단위용수량 산정 모형으로 구분 되어 있으며 각 모형은
상호 유기적으로 운영될 수 있도록 구조화 하였으며 통합 시스템의 구축을
통하여 관리할 수 있도록 할 계획이다.

필요수량 산정 모형에서는 이앙재배, 담수재배, 건답재배와 혼합재배 방식
별로 증발산량, 작물소비수량, 조용수량 등을 일별 또는 순별로 산정할 수 있
도록 하였으며 산정 결과는 수원공의 필요저수량 결정 모형, 단위용수량 산정
모형에 연결되어 입력 자료로 활용되도록 하였다. 유입량 모형은 수정 탱크
모형과 가지야마 월 유출량 공식을 적용하여 일별 또는 순별로 모의 발생되도록
하였으며 이는 수리시설물의 물수지 모형에 입력자료로 활용하도록 하였다.

7.1.4 수리시설물 영향평가

수리시설물 모의조작 모형을 이용하여 벼 재배방식별 작물의 필요수량
변화가 수리시설물에 어떤 영향을 미치는지 검토하였다.

검토 대상은 반월저수지를 선정하였으며 작물의 필요수량 검토 결과 Penman 식의 경우 이앙재배에서 742.5mm, 건답직파에서 778.9mm, 담수직파에서는 952.2mm로 나타났으며 이앙재배와 비교하여 건답의 경우 5%, 담수의 경우 28%의 필요수량이 증가 하였다.

필요저수량의 변화 검토 결과에서는 이앙재배와 비교하여 건답의 경우 17%, 담수의 경우 23%가 증가하였고 설계저수량의 검토 결과 이앙재배에 비하여 건답에서는 10%, 담수에서는 17%가 증가한 것으로 나타났다.

7.2 결론

- 1) 직파재배에 의한 작물의 증발산량 시험 결과 중부지방의 경우 일 평균 4.8mm, 남부지방의 경우 5.0mm(조생종 벼)로 나타났다.
- 2) 잠재증발산량 산정에서는 중부지방의 경우 일 평균 4.2mm, 남부지방의 경우 3.8mm로 나타났다(penman공식).
- 3) 작물계수는 중부지방의 경우 관개시기에 따라 0.71~1.86의 범위로, 남부지방의 경우 0.96~1.67의 범위로 나타났다(조생종의 경우).
- 4) 포장용수량 시험에서 측정된 벼 재배방식별 관개용수는 전 기간에 걸쳐 이앙재배의 경우 930.1mm, 담수직파는 1,029.3mm, 그리고 건답직파의 경우 1,015.7mm로 나타났다.
- 5) 1996년도 조사된 우리나라의 직파 재배면적은 약 11만ha이며 단위농가당 직파면적은 담수직파의 경우 평균 2.7ha, 건답직파의 경우 2.4ha로서 우리나라 호당 평균 벼 경작면적 0.8ha를 크게 상회하고 있는 것으로 나타났다.
- 6) 실제 파종시기를 조사한 결과 중부지방은 건답의 경우 4.23~4.27일, 담수직파의 경우 5.1~5.16일로 나타났고 남부지방에서는 건답의 경우

4.16~4.28일, 담수의 경우 5.10~5.20일 사이로 나타났다.

- 7) 금회 개발된 벼 재배방식별 필요수량 산정 모형을 이용하여 계산한 결과 건답직파의 경우 이앙재배시 보다 5%, 담수직파의 경우 28%의 필요수량이 증가하였다. 이 값은 직파 재배면적이 이앙재배 면적의 10%일 경우이며 또 직파면적중 건답과 담수직파 비율을 6:4로 고정한 경우이다. 이와같은 변화는 저수지 물수지 모형에서 필요저수량 결정에서도 비슷한 비율로 증가하였다.
- 8) 금회 개발된 수리시설물 모의조작 통합시스템을 이용하여 반월저수지에 대한 내한능력을 분석한 결과 현재 관개면적이 이앙재배에서 모두 직파로 전환될 경우 10년 빈도 한발에 견딜 수 있는 필요저수량의 증가율이 건답직파의 경우 10%, 담수직파의 경우 17% 정도로 나타났다.

여 백

제 8 장 향후 연구계획

여 백

제 8 장 향후 연구계획

8.1 연구방향

“영농방식변화에 따른 필요수량변화 연구”는 1995년부터 1997년까지 3개년에 걸쳐 연구를 수행하며 1997년인 3차년도에는 최종적인 결과를 도출해 내어야 한다. 이를 위하여는 벼 재배방식별 필요수량을 정량적으로 파악하여 생육시기별 적정한 물관리 방안을 제시하고 시설물 모의조작 모형의 개발을 통하여 시설물의 설계에 활용될 수 있도록 합과 동시에 향후 영농방식을 고려한 농업용 시설물의 설계기준도 정립하여야 한다.

또한 연구결과를 실무에 직접 활용할 수 있도록 사용자 측면을 고려하여 연구결과의 실용화 계획을 보다 면밀히 세워야 한다.

3차년도 “영농방식을 고려한 필요수량 변화연구”에서는 이와같은 기본방향을 설정하고 차질없는 연구가 수행되도록 할 계획이다.

8.2 연구계획

3차년도 주요 연구계획은 벼 직파재배에 따른 작물의 소비수량 및 포장에서의 용수량 산정 시험과 직파재배에 따른 변경된 논 물관리 특성 조사를 완료하여 이를 체계화하고 수리시설물 모의조작 모형의 개발에 응용하므로써 영농방식 변화에 따른 수리시설물 모의조작 모형을 개발, 실용화 시키는 3가지 분야로 요약 할 수 있다. 따라서 그 세부적인 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

- ◎ 벼 직파재배에 따른 소비수량 및 포장용수량 산정시험
 - 재배방식별, 품종별 작물의 소비수량 측정 및 분석

- 재배방식별 포장용수량 산정 시험

○ 연구결과 :

- 재배방식별, 품종별 작물계수의 정립
- 재배방식별 초기 물관리 용수의 변화 정립

◎ 직파재배에 따라 변경되는 물관리 특성조사

- 지역별, 생육기별, 품종별 파종시기 및 기간
- 지역별, 재배방법별 직파재배면적
- 재배방식별 초기 물관리 방법
- 물관리 시험지구의 선정 및 물관리 자료 수집

○ 조사, 분석결과 :

- 직파재배에 따른 초기 물관리 기준 정립
- 직파재배에 따른 작부시기의 정립
- 직파 초기 관개수량의 산정 방법 정립
- 필요수량 산정 모형의 검정 자료로 이용

◎ 영농방식 변화에 따른 수리시설물 영향 분석

- 수리시설물 모의조작 모형 개발
- 수리시설물 물관리 운영 모의조작을 위한 통합시스템 개발
- 직파재배에 따른 수리시설물 영향 평가
- 향후 설계기준에 이용
- 사용자 편의 시스템 개발

참 고 문 헌

여 백

참 고 문 헌

1. Blaine Hanson & Larry Schwankl, 1885, *Surface Irrigation*, University of California, Davis.
2. Louisiana State University, 1995, *87th Annual Research Report*, Rice Research Station, Crowley, Louisiana.
3. M. E. Jensen, 1983, *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, American Society of Agricultural Engineers.
4. Raymond L. anderson and Arthur Maass, 1987, *A simulation of irrigation systems*, Robert E. Krieger Publishing Company
5. State of California, 1982, *Low Applied Water on Rice*, Dep. water Resources.
6. University of california, 1989, *Irrigation Scheduling*, Division of Agriculture and Natural Resources Publication 21454.
7. University of california, 1995, *Rice Irrigation Systems for Tailwater Management*, Division of Agriculture and National Resources.
8. University of California, 1996, *California Agriculture*, Reports of Research and Reviews.
9. 강인식, 1995, *벼의 직파재배와 물관리 대책*, 농지개량
10. 김상수, 백남현, 심순종, 이선용, 김종호, 조동삼 1994, *벼무논골뿌리재배에서 파종후 논굴힘 일수 및 골깊이가 입묘 및 생육에 미치는 영향*, 한국작물학회지, 39(6).
11. 김순철, 1995, *수도작 재배에 있어서 농업용수관리요령*, 농지개량, (30~35).
12. 김시원, 김철기, 이기춘, 1984, *新稿 農業水理學*, 향문사, pp. 64~104
13. 김현영, 1987, *관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생*. 서울대학교 박사학위 논문.

14. 농림수산물기술정보협회, 1995, 직파답작에 도전(1, 2, 3권), 일본어.
15. 농림수산물부, 1986, 작물소비수량 산정방법의 연구, 농업진흥공사.
16. 농림수산물부, 1993, 저수관리시스템 개발(II), 농어촌진흥공사.
17. 농림수산물부, 1994, 경지정리의 최적설계에 관한 연구, 농어촌진흥공사.
18. 농림수산물부, 1996, 농업기반조성사업통계연보.
19. 농업진흥공사, 1975, 물관리의 윤회관계.
20. 농촌진흥청, 1995, 벼의 직파재배 기술지도 지침, 농촌진흥청.
21. 문헌팔, 이문희, 이선용등, 1995, 벼생력재배, 농촌진흥청.
22. 박태경, 1992, 벼 어린모 기계이앙 재배기술, 농촌진흥청 작물시험장.
23. 박석홍등, 1986, 벼 기계이앙 재배 연구 논문집, 농촌진흥청.
24. 박석홍, 이철원, 양원하, 박태경, 1986, 벼 답수토중직파 재배 연구, 한국작물학회지, 31(2).
25. 박은용, 1991, 수도작, 향문사.
26. 박정근, 김진기, 양환승, 정태진, 이증용, 1995, 쌀농사 이렇게 짓자, 농민문화사.
27. 박정운, 1990, 벼 기계이앙재배의 신기술(어린모, 중묘, 성묘), 농촌진흥청 작물시험장.
28. 박창규, 오윤진, 윤용대, 이문희등, 1991, 벼생력재배, 농촌진흥청.
29. 박희윤등, 1995, 한.일벼직파재배세미나, 농촌진흥청 작물시험장.
30. 오윤진, 1991, 벼생력재배 새기술(건답직파, 측조시비), 농촌진흥청.
31. 윤용대, 1993, 직파재배의 발전 과정(쌀 생산비 절감을 위한 벼 직파재배기술), 농촌진흥청.
32. 이남호, 장하우, 박승우, 1988, 반월지구 일별 논 답수심의 특성분석, 한국농공학회지, 30(4).
33. 이병우, 명을재, 1995, 건답직파에서 파종심도와 관개조건에 따른 벼 품종들의 출아특성, 한국작물학회지, 40(1).
34. 이호진, 김수형, 이석순, 1994, 중부와 남부지역 벼 건답직파재배의 생산성과 수익성, 한국작물학회지, 39(5).
35. 이철원, 정기영, 박준택, 1994, 벼 답수직파재배에 있어서 적정입모수 설정,

한국작물학 회지, 39(5).

36. 전병태, 1993, 건답직파 재배기술(쌀 생산비 절감을 위한 벼 직파재배기술), 농촌진흥청
37. 최동현, 1995, 가뭄을 대비한 벼 건답직파 재배기술, 농지개량, P50~38.
38. 허재석, 정하우, 1983, 수도의 증발산량 추정방법에 관한 연구, 한국농공학회지, 25(2).

여 백

부 록

- I. 주요 기상자료
- II. 일별 증발산량 측정자료
- III. 포장 담수심 측정자료
- IV. 포장 관개량 조사자료
- V. 시군별 직파 시행면적
- VI. 용설저수지 수위 관측자료

여 백

I. 주요 기상자료

여 백

I - 1 수원 측후소의 주요 기상자료(5월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m2)
1										
2										
3										
4										
5										
평균										
6										
7										
8										
9										
10										
평균										
11										
12										
13										
14										
15										
평균										
16										
17										
18										
19										
20										
평균										
21	17.4	21.8	14.1		68	2.0	4.4	1.8	10.0	16.73
22	16.5	25.5	10.7		74	1.6	5.0	0.0	10.1	14.23
23	18.5	25.9	11.8		69	1.3	6.0	0.0	11.1	17.79
24	19.6	26.6	12.0		59	1.3	6.4	0.0	0.4	16.66
25	19.7	26.7	12.5		62	1.3	6.2	0.0	10.7	15.65
평균	18.3	25.3	12.2		66	1.5	5.6	0.4	8.5	16.21
26	19.8	26.8	13.3		64	1.2	5.0	0.0	11.2	16.32
27	19.2	27.4	13.0		74	1.2	4.8	0.0	5.7	14.97
28	22.6	28.1	14.1		65	1.1	4.7	0.0	10.0	13.62
29	22.8	28.0	17.5		68	1.1	5.0	0.0	4.6	11.64
30	21.5	25.5	18.7		75	1.2	3.4	0.0	2.8	9.76
31	22.4	31.0	15.7		70	1.1	5.3	0.0	10.5	13.51
평균	21.4	27.8	15.4		69	1.2	4.7	0.0	7.5	13.30
월평균	20.0	26.7	13.9		68	1.3	5.1	0.2	7.9	14.62

I - 2 수원 측후소의 주요 기상자료(6월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	24.2	32.5	17.8		66	1.1	6.4	0.0	10.9	16.08
2	22.6	28.4	18.1		76	1.2	4.6	0.0	7.1	11.66
3	20.4	24.2	19.1		88	1.3	1.8	0.6	0.0	4.02
4	21.9	29.0	16.9		68	1.6	5.8	0.0	9.4	14.95
5	22.4	30.4	14.2		54	1.5	5.6	0.0	11.2	16.47
평균	22.3	28.9	17.2		70	1.3	4.8	0.0	7.7	12.64
6	22.5	29.8	14.9		59	1.1	5.6	0.0	9.4	14.37
7	21.7	25.2	20.7		75	1.2	2.9	1.0	1.1	6.07
8	24.2	31.0	19.9		67	1.2	5.0	0.0	7.6	12.39
9	23.5	30.0	19.0		77	1.2	4.7	0.5	4.5	12.52
10	20.6	22.0	19.8		95	0.9	0.7	42.1	0.0	2.48
평균	22.5	27.6	18.9		75	1.1	3.8	8.7	4.5	9.57
11	21.8	26.3	18.6		83	1.3	2.8	0.0	1.1	9.77
12	23.1	28.2	18.2		78	1.0	2.5	0.0	6.6	15.67
13	24.8	30.6	21.7		79	1.4	5.4	0.0	6.8	13.13
14	23.1	28.0	21.0		81	1.5	3.0	0.0	2.3	9.98
15	23.9	28.1	19.9		75	1.1	3.5	6.5	7.0	16.36
평균	23.3	28.2	19.9		79	1.3	3.4	1.3	4.8	12.98
16	24.5	29.0	21.5		83	1.1	3.0	0.3	0.0	3.45
17	22.0	24.1	19.5		94	1.6	2.0	153.6	0.0	2.88
18	20.2	26.4	15.3		82	2.0	2.4	9.5	7.6	18.71
19	22.0	29.0	18.6		80	1.6	4.0	0.0	6.5	14.73
20	21.4	23.5	20.2		86	1.6	2.4	4.9	0.0	5.12
평균	22.0	26.4	19.0		85	1.6	2.8	33.7	2.8	8.98
21	22.1	27.0	19.7		77	2.1	1.0	0.0	7.8	7.26
22	23.3	27.3	20.9		83	2.1	3.1	0.1	7.0	10.77
23	22.7	27.0	19.7		80	2.1	2.6	0.0	2.8	8.25
24	21.0	21.9	19.3		92	1.2	1.3	24.9	0.0	2.59
25	21.3	25.1	18.5		78	1.6	1.4	0.0	0.0	4.63
평균	22.1	25.7	19.6		82	1.8	1.9	5.0	3.5	6.70
26	22.3	27.4	18.6		80	1.4	3.7	0.0	8.8	14.0
27	20.3	21.9	19.2		92	0.8	1.6	8.5	0.0	1.99
28	21.0	22.9	18.2		93	0.6	1.6	5.8	0.0	1.86
29	21.8	25.1	19.2		94	3.5	0.8	27.1	0.0	1.17
30	22.1	26.8	18.5		79	2.8	1.8	1.0	0.0	6.35
평균	21.5	24.8	18.7		88	1.8	1.9	8.5	1.8	5.07
월평균	22.3	26.9	18.9		80	1.5	3.1	9.5	4.2	9.32

I - 3 수원 측후소의 주요 기상자료(7월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	23.2	29.4	19.8		84	1.9	3.0	0.4	6.3	14.37
2	22.8	26.8	20.1		89	1.3	1.4	0.0	0.0	7.13
3	24.5	29.8	19.8		80	0.9	2.8	0.0	10.0	19.05
4	22.6	24.4	20.8		91	1.5	0.7	56.6	0.0	2.64
5	23.6	30.0	19.0		71	1.0	2.9	0.1	11.3	27.81
평균	23.3	28.1	19.9		83	1.3	2.2	11.4	5.5	14.20
6	22.8	26.3	19.5		84	1.0	1.9	0.0	4.9	11.24
7	24.1	30.5	20.1		64	2.2	4.9	4.7	11.1	24.83
8	23.2	30.0	16.4		58	1.5	3.9	0.0	11.8	22.73
9	23.0	30.6	16.1		56	1.3	4.7	0.0	12.7	24.38
10	23.7	28.9	17.5		62	1.6	3.3	0.0	8.6	20.68
평균	23.4	29.3	17.9		64	1.5	3.7	0.9	9.8	20.77
11	24.3	28.3	19.5		58	1.4	3.2	0.0	4.6	16.34
12	23.8	29.0	20.8		68	2.0	3.6	0.3	6.9	17.28
13	23.1	26.4	20.5		86	1.3	2.0	0.6	0.5	8.33
14	23.3	28.0	20.3		85	1.2	2.6	0.0	2.1	12.39
15	23.6	26.7	21.3		90	1.5	0.8	44.2	0.0	2.36
평균	23.6	27.7	20.5		77	1.5	2.4	9.0	2.8	11.34
16	23.2	25.6	20.5		87	3.0	0.8	0.0	2.3	7.89
17	25.0	31.2	20.4		85	1.2	0.8	7.7	2.3	10.17
18	25.0	31.2	20.4		85	1.2	3.3	0.0	11.5	22.83
19	26.6	32.9	24.0		83	1.4	2.8	0.0	5.8	15.80
20	25.9	28.2	24.0		91	1.1	0.4	3.6	0.0	5.33
평균	25.1	29.8	21.9		86	1.6	1.6	2.3	4.4	12.40
21	25.5	28.1	24.6		91	0.7	0.7	19.5	0.0	3.96
22	24.5	28.1	24.6		91	1.7	1.5	42.7	1.3	11.28
23	26.2	21.4	21.7		81	0.9	2.6	0.0	5.1	17.53
24	27.6	21.1	25.6		83	2.2	4.5	6.2	5.5	11.44
25	27.7	21.4	25.1		80	2.1	3.0	0.0	6.1	15.45
평균	26.3	24.0	24.3		85	1.5	2.5	13.7	3.6	11.93
26	26.6	30.0	23.5		92	1.9	3.0	9.1	0.0	8.79
27	26.8	30.4	22.6		89	1.0	3.8	0.0	1.8	10.33
28	25.8	30.4	22.6		89	0.8	2.2	50.0	0.0	11.54
29	28.3	32.6	25.4		79	1.6	3.8	0.0	7.8	18.86
30	28.3	33.2	24.8		82	1.4	3.4	0.0	9.3	18.99
31	28.9	34.6	23.8		70	1.0	4.4	0.0	10.7	19.93
평균	27.5	31.9	23.8		84	1.3	3.4	9.9	4.9	14.74
월평균	25.0	28.6	21.5		80	1.4	2.7	7.9	5.2	14.25

I - 4 수원 측후소의 주요 기상자료(8월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	30.0	35.5	24.6		72	0.8	3.0	0.0	9.4	18.17
2	29.8	35.8	25.2		78	1.0	4.5	0.0	10.0	18.31
3	29.3	34.4	25.8		76	1.2	3.8	0.0	7.5	19.10
4	28.3	32.1	25.2		83	1.7	3.9	0.2	9.3	18.99
5	29.0	33.7	25.0		76	1.0	3.6	0.0	5.6	15.57
평균	29.3	34.3	25.2		77	1.1	3.8	0.0	8.4	18.03
6	29.0	33.7	25.7		77	1.3	4.1	0.0	7.8	18.62
7	27.7	30.2	25.8		78	0.9	1.8	0.0	0.3	8.20
8	26.9	21.4	22.1		90	1.0	2.0	0.6	4.9	10.30
9	28.2	33.1	24.7		81	0.9	3.9	0.0	5.0	13.69
10	28.6	33.5	25.7		75	1.6	3.7	0.0	3.1	12.87
평균	28.1	30.4	24.8		80	1.1	3.1	0.1	4.2	12.74
11	29.7	34.6	25.8		70	1.3	3.5	0.0	6.9	18.11
12	29.3	34.3	26.1		76	1.3	3.0	0.2	9.3	17.20
13	27.5	34.4	24.3		78	1.2	4.6	10.1	9.6	18.64
14	28.9	34.0	25.5		77	1.4	3.6	0.0	10.2	15.88
15	26.3	30.5	23.0		80	1.8	4.7	8.3	10.5	15.88
평균	28.3	33.6	24.9		76	1.4	3.88	3.7	9.3	17.14
16	26.0	32.0	21.6		74	1.2	4.0	0.0	8.2	18.21
17	26.6	32.6	21.5		81	1.2	3.2	0.0	9.5	15.93
18	27.8	33.3	21.4		71	1.0	3.8	0.0	8.9	15.18
19	27.8	34.5	22.9		73	1.1	3.9	0.0	5.5	14.51
20	27.7	33.2	23.6		78	1.2	3.9	0.0	7.9	16.34
평균	27.2	33.1	22.2		75	1.1	3.8	0.0	8.0	16.03
21	28.5	33.7	24.8		78	1.1	4.0	0.0	5.9	14.18
22	26.8	31.4	24.8		89	1.5	2.4	1.5	0.7	8.63
23	24.6	28.0	21.4		78	1.8	3.6	0.0	2.7	8.73
24	23.9	28.9	19.4		48	2.0	4.3	0.0	7.8	4.78
25	21.8	23.0	19.8		76	1.8	0.4	0.5	0.0	3.45
평균	25.12	29.0	22.0		74	1.6	2.9	4.0	3.4	7.95
26	20.1	21.0	18.7		94	4.6	0.5	33.5	0.0	3.45
27	20.2	21.7	19.0		93	1.4	0.4	32.4	0.0	2.72
28	20.6	23.2	18.1		80	1.3	0.8	4.1	0.0	7.12
29	23.4	29.2	18.6		73	1.2	1.9	0.0	5.4	5.35
30	21.7	23.8	19.7		83	1.8	1.0	4.5	1.0	8.04
31	23.1	29.0	18.4		75	1.2	2.4	0.0	6.1	5.97
평균	21.5	24.7	18.8		83	1.9	1.2	12.4	2.1	5.44
월평균	26.4	30.6	22.8		78	1.4	3.0	3.1	5.8	12.60

I - 5 수원 측후소의 주요 기상자료(9월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	23.1	30.1	17.2		69	1.0	3.6	0.0	11.9	20.76
2	23.4	31.0	17.0		70	1.0	2.3	0.0	11.2	20.19
3	23.2	30.5	18.6		81	1.1	3.1	0.0	4.4	15.88
4	21.8	26.5	18.9		85	1.8	2.2	0.9	5.2	12.99
5	20.8	24.9	17.2		81	0.9	1.4	0.0	1.0	8.01
평균	22.5	28.6	17.8		77	1.2	2.5	0.2	6.7	15.57
6	21.4	26.5	17.6		71	1.1	3.7	1.0	9.1	16.18
7	22.5	24.9	15.8		75	0.9	2.4	0.0	10.1	17.22
8	23.5	29.0	17.7		72	1.2	3.5	0.2	5.9	14.35
9	22.1	27.0	19.0		83	1.7	2.0	4.1	7.4	14.24
10	22.1	28.2	18.0		81	1.2	2.6	0.0	9.2	17.90
평균	22.3	27.1	17.6		76	1.2	2.8	1.1	8.3	15.98
11	23.0	29.4	18.5		77	0.9	2.8	0.0	7.1	14.37
12	21.9	28.5	16.0		79	0.8	2.4	0.0	4.7	12.36
13	21.7	28.0	17.2		79	1.1	2.7	0.0	7.6	14.61
14	22.7	29.2	17.9		75	0.9	2.7	0.0	9.4	15.74
15	23.3	30.4	17.2		76	0.9	2.5	0.0	7.9	14.38
평균	22.52	29.1	17.4		77	0.9	2.6	0.0	7.3	14.29
16	22.5	28.6	17.2		77	1.0	1.9	0.0	5.4	11.81
17	22.2	26.8	18.5		80	0.8	2.6	0.0	6.8	11.35
18	23.0	28.7	17.4		73	1.2	1.9	0.0	6.1	14.59
19	21.5	25.4	18.8		77	0.9	1.2	3.0	3.6	6.58
20	20.1	25.9	16.5		52	1.8	4.7	0.0	10.5	17.76
평균	21.9	27.1	17.7		72	1.1	2.5	0.6	6.5	12.42
월평균	22.3	28.0	17.6		75.7	1.1	2.6	0.5	7.2	14.56
21										
22										
23										
24										
25										
평균										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
평균										

I - 6 대구 측후소의 주요 기상자료(5월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1										
2										
3										
4										
5										
평균										
6										
7										
8										
9										
10										
평균										
11										
12										
13										
14										
15										
평균										
16										
17										
18										
19										
20										
평균										
21	20.0	26.3	15.9	10.7	60	3.1	0	6.2	8.1	16.74
22	19.5	27.5	11.6	9.2	52	2.9	0	0.0	12.4	22.05
23	21.3	28.4	12.8	10.5	51	2.1	0	0.0	10.9	18.10
24	23.2	31.6	14.6	11.6	47	1.6	0	0.0	10.9	19.80
25	24.2	32.0	15.4	11.7	58	2.0	0	0.0	11.0	19.45
평균	21.6	29.2	14.1	10.7	54	2.3	0	1.2	10.7	19.20
26	21.4	26.9	16.6	12.8	58	1.9	0	0.0	6.5	10.40
27	22.2	29.7	15.1	13.2	55	2.0	0	0.0	10.3	17.41
28	22.5	29.3	15.5	12.3	79	2.1	0	0.0	7.1	15.66
29	18.8	21.2	16.5	15.0	70	2.3	0	5.8	0.0	4.30
30	21.7	28.5	17.3	15.5	60	1.8	0	0.0	3.9	13.69
31	23.8	31.4	17.4	15.1	65	2.7	0	0.0	10.2	18.89
평균	21.7	27.8	16.4	14.0	65	2.1	0	1.0	6.3	13.40
월평균	21.7	28.4	15.3	12.5	60	2.2	0	6.0	8.3	16.00

I - 7 대구 측후소의 주요 기상자료(6월)

날자	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	23.6	21.4	16.7	14.8	58	2.8	0	0.0	10.8	18.20
2	26.4	34.3	19.5	16.7	75	2.0	0	0.0	10.2	15.53
3	21.8	25.9	19.7	17.0	57	2.5	0	4.7	0.0	6.22
4	23.8	31.8	18.2	3.1	51	3.0	0	0.0	9.3	20.35
5	22.2	29.2	16.9	10.8	43	3.8	0	0.0	11.0	21.03
평균	23.6	30.7	18.2	14.5	56	2.8	0	0.9	19.2	10.70
6	23.3	31.9	14.1	9.6	82	2.9	0	0.0	10.4	21.23
7	17.8	22.7	16.0	14.6	81	2.6	0	28.2	0.0	2.65
8	20.3	24.1	17.2	16.7	72	1.9	0	2.0	0.0	6.74
9	20.8	24.6	18.6	15.5	84	4.6	0	0.0	5.2	17.06
10	19.3	21.4	17.0	16.4	74	2.3	0	22.8	0.0	4.02
평균	20.3	24.9	16.6	14.6	79	2.9	0	10.6	3.1	10.34
11	22.6	25.7	19.8	17.6	72	1.9	0	0.0	2.4	11.01
12	23.5	29.1	20.3	17.7	71	1.8	0	0.0	5.0	11.66
13	23.4	29.4	19.2	17.7	66	3.1	0	0.0	5.5	15.44
14	24.6	21.0	18.5	17.3	61	2.4	0	0.0	6.6	15.07
15	27.1	33.4	21.2	18.6	63	2.3	0	0.0	8.1	18.05
평균	24.2	27.7	19.8	17.8	67	2.3	0	0.0	5.5	14.25
16	27.6	33.8	22.0	19.2	87	2.1	0	0.0	8.0	16.93
17	21.9	25.8	19.7	19.7	70	3.1	0	113.0	0.0	2.92
18	21.1	24.4	18.1	14.7	67	4.2	0	0.2	2.6	9.45
19	21.8	26.9	16.1	14.7	65	1.5	0	0.0	6.8	11.01
20	20.5	21.6	19.4	17.1	81	2.1	0	1.2	0.0	3.13
평균	22.6	26.5	19.1	17.1	74	2.6	0	22.9	3.5	8.69
21	23.6	28.4	19.3	17.5	70	2.0	0	0.0	3.2	12.63
22	23.6	28.0	19.8	17.0	67	2.1	0	0.0	2.7	11.26
23	20.6	23.7	18.6	15.7	74	4.7	0	0.0	1.1	11.85
24	18.3	19.6	16.7	16.2	88	3.5	0	77.8	0.0	2.21
25	17.1	18.2	16.2	15.4	91	4.5	0	45.4	0.0	3.50
평균	20.6	23.6	18.1	16.4	78	3.4	0	24.6	1.4	8.29
26	20.2	26.0	15.8	15.2	74	2.0	0	0.0	3.8	15.55
27	19.7	20.3	19.3	17.5	87	1.3	0	15.4	0.0	2.34
28	23.8	29.6	19.3	19.2	77	1.2	0	0.0	4.2	11.76
29	25.2	28.4	22.3	20.3	75	4.0	0	2.5	0.0	5.24
30	25.1	28.6	20.8	16.8	60	4.6	0	0.0	4.7	16.16
평균	22.8	26.6	19.5	17.8	75	2.6	0	3.6	2.5	10.21
월평균	22.4	26.3	18.5	16.0	71	2.8	0	10.4	4.1	11.34

I - 8 대구 측후소의 주요 기상자료(7월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	25.7	34.0	20.0	18.4	67	2.5	0	4.6	11.1	20.60
2	25.9	33.2	20.6	19.1	68	2.0	0	0.0	7.1	18.92
3	22.9	27.4	18.7	14.3	72	3.8	0	0.0	7.2	17.25
4	18.4	19.6	17.2	16.7	90	3.8	0	38.1	0.0	2.52
5	20.3	22.9	18.7	16.5	80	2.9	0	6.5	0.0	7.45
평균	22.6	27.4	19.0	17.0	75	3.0	0	9.8	5.1	13.35
6	21.9	28.6	17.5	14.9	66	3.7	0	0.0	8.5	21.30
7	19.1	22.7	17.2	13.3	70	5.0	0	0.0	2.0	9.17
8	19.0	22.9	16.4	12.7	68	4.4	0	0.0	7.1	16.07
9	18.4	22.5	16.7	13.1	72	4.4	0	0.0	2.8	11.02
10	17.8	20.8	16.0	13.0	74	4.6	0	0.0	1.0	7.77
평균	19.2	23.5	16.8	13.4	70	4.4	0	0.0	4.3	13.07
11	18.2	21.0	15.9	13.3	73	4.7	0	0.3	0.6	9.30
12	17.5	18.8	16.1	14.1	81	2.8	0	14.4	0.0	3.97
13	20.1	24.7	16.3	16.3	79	1.7	0	4.0	0.0	7.83
14	23.5	30.2	19.7	18.7	75	1.8	0	0.0	2.9	9.29
15	26.0	30.0	22.4	20.4	73	2.4	0	0.2	0.8	8.23
평균	21.1	24.9	18.1	16.6	76	2.7	0	3.8	0.9	7.72
16	28.6	32.7	26.0	19.9	60	4.6	0	0.0	8.1	18.58
17	28.9	34.5	24.0	21.4	65	2.7	0	0.3	10.2	18.25
18	29.7	34.8	23.3	21.7	64	1.7	0	0.0	6.5	15.36
19	29.8	36.8	25.0	21.9	64	2.6	0	0.0	9.4	17.29
20	28.5	35.7	23.6	22.3	71	2.4	0	41.0	7.9	16.85
평균	29.1	34.9	24.4	21.4	65	2.8	0	8.3	8.4	17.27
21	26.5	32.2	23.4	22.7	81	1.7	0	10.5	2.2	9.77
22	28.8	33.4	25.4	21.6	67	4.0	0	0.2	6.4	14.81
23	28.9	33.8	23.7	22.0	67	1.9	0	0.0	9.6	17.49
24	30.0	34.9	26.4	22.7	67	2.6	0	0.0	9.0	15.39
25	30.0	35.2	25.4	21.5	62	3.4	0	0.0	12.2	22.63
평균	28.8	33.9	24.9	22.1	69	2.7	0	2.1	7.9	16.02
26	28.7	34.4	24.9	22.4	70	2.6	0	0.0	6.4	14.55
27	29.0	34.4	24.5	21.7	67	2.5	0	0.0	7.5	16.01
28	29.9	35.3	26.0	22.4	65	2.8	0	0.0	5.7	16.10
29	30.9	36.5	25.8	22.9	64	3.0	0	0.0	9.4	21.73
30	31.2	36.6	26.2	22.8	63	2.6	0	0.0	7.3	19.09
31	31.2	37.3	26.4	22.0	60	2.4	0	0.0	8.7	18.07
평균	30.2	35.8	25.6	22.4	65	2.7	0	0.0	7.5	17.59
월평균	25.3	30.1	21.6	18.9	70	3.0	0	3.9	5.7	14.28

I - 9 대구 측후소의 주요 기상자료(8월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	30.3	37.0	23.9	22.2	64	3.0	0	0.0	8.8	20.78
2	30.7	38.0	24.9	22.6	65	2.8	0	5.3	9.5	20.14
3	30.2	38.3	25.1	23.0	69	2.6	0	0.0	11.4	20.86
4	30.4	36.0	25.8	23.5	68	2.4	0	0.0	7.1	17.31
5	28.2	32.8	24.2	19.4	61	4.5	0	0.0	8.6	19.2
평균	30.0	36.42	24.8	22.1	65	3.1	0	1.1	9.1	19.66
6	27.2	34.2	22.4	17.2	57	4.0	0	0.0	10.3	20.08
7	26.9	34.0	22.3	19.5	66	2.7	0	0.0	4.4	14.78
8	29.7	36.5	25.4	21.2	62	2.5	0	0.0	7.8	17.40
9	29.6	35.4	26.5	22.0	65	3.9	0	0.0	5.3	17.25
10	27.9	32.6	25.6	21.3	68	4.5	0	0.0	7.6	17.32
평균	28.3	34.5	24.4	20.2	64	3.5	0	0.0	7.1	17.37
11	29.3	35.2	25.0	21.9	66	3.1	0	0.0	9.6	18.45
12	29.8	37.3	24.5	21.7	65	2.8	0	0.0	9.0	18.22
13	30.1	37.1	24.0	21.2	61	3.4	0	0.0	10.0	21.94
14	29.2	33.1	24.7	23.0	69	2.0	0	12.7	0.4	7.38
15	28.3	34.2	24.2	18.7	59	3.1	0	0.0	11.6	20.77
평균	29.3	35.4	24.5	21.3	64	2.9	0	2.5	6.8	17.35
16	28.2	34.8	22.4	18.3	56	2.4	0	0.0	11.5	21.51
17	27.9	34.4	22.4	18.8	61	2.9	0	0.0	9.9	19.69
18	27.7	36.2	21.5	18.6	61	2.4	0	0.0	11.2	21.29
19	28.5	34.4	22.0	19.5	60	2.3	0	0.0	6.6	15.22
20	29.4	36.0	24.9	20.5	61	2.2	0	0.0	7.5	16.03
평균	28.3	35.2	22.6	19.1	60	2.4	0	0.0	9.3	18.75
21	26.4	29.4	23.9	21.6	75	2.2	0	0.4	0.3	6.55
22	28.2	35.0	24.0	22.1	72	2.5	0	14.3	6.8	14.85
23	26.3	33.2	22.3	18.6	65	3.7	0	0.0	8.3	18.12
24	22.9	26.9	20.9	14.3	59	4.9	0	0.0	5.8	13.89
25	22.4	26.8	19.7	16.0	68	3.6	0	0.0	0.5	9.46
평균	25.2	30.3	22.2	18.5	68	3.4	0	2.9	4.3	12.57
26	21.3	23.4	19.6	18.1	82	2.8	0	7.7	0.0	4.88
27	20.3	22.1	19.4	8.1	87	3.5	0	15.9	0.0	2.76
28	20.7	22.6	18.8	18.4	87	1.8	0	16.2	0.0	3.59
29	23.2	28.1	19.7	17.2	71	3.8	0	0.0	0.0	19.91
30	21.8	23.2	20.6	17.4	77	3.3	0	0.6	0.0	6.01
31	21.2	22.6	20.2	17.8	81	1.7	0	9.4	0.0	4.17
평균	21.4	23.7	19.7	16.2	81	2.8	0	8.3	0.0	6.89
월평균	26.9	38.7	22.9	19.5	67	3.0	0	2.7	5.9	15.16

I - 10 대구 측후소의 주요 기상자료(9월)

날짜	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	노점 온도 (℃)	상대 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	Pan 증발량 (mm)	강우량 (mm)	일조 시간 (hrs)	일사량 (MJ/m ²)
1	22.6	28.2	17.5	15.9	68	2.1	0	0.0	8.1	16.35
2	22.1	28.9	16.0	15.2	68	2.5	0	0.0	9.6	18.66
3	23.1	30.6	17.4	15.2	67	2.3	0	0.0	8.0	15.63
4	24.0	29.6	18.4	17.1	67	2.1	0	0.0	6.2	13.99
5	22.6	26.5	20.0	17.3	73	3.4	0	0.0	2.3	10.05
평균	22.9	28.8	17.9	16.1	69	2.5	0	0.0	6.8	14.94
6	20.6	21.8	18.9	17.6	83	1.8	0	2.6	0.0	2.35
7	22.0	28.8	17.4	15.0	68	2.3	0	0.0	8.2	17.31
8	22.3	28.2	17.0	16.2	71	2.1	0	0.0	6.2	14.13
9	18.4	22.7	16.2	15.7	85	1.6	0	26.3	1.0	5.22
10	22.0	29.4	15.7	15.2	69	1.5	0	0.0	8.2	16.27
평균	21.1	26.2	17.0	15.9	75	1.9	0	5.8	4.7	11.06
11	21.6	28.4	15.6	14.2	67	1.4	0	0.0	6.3	11.53
12	22.5	29.8	15.5	14.6	65	1.5	0	0.0	7.4	14.14
13	24.1	30.9	19.4	17.1	66	2.0	0	0.0	8.4	14.51
14	23.2	31.0	16.9	15.9	67	2.1	0	0.0	10.4	15.16
15	23.5	30.4	17.9	17.1	71	1.6	0	0.0	8.1	13.58
평균	23.0	30.1	17.1	15.8	67	1.7	0	0.0	8.1	13.78
16	23.3	30.1	19.9	18.2	75	1.8	0	7.7	4.1	10.45
17	22.5	28.2	19.5	17.1	74	2.0	0	0.0	4.3	10.53
18	23.2	28.1	19.7	15.7	64	3.6	0	0.0	7.5	13.80
19	21.2	25.2	17.4	16.4	75	2.0	0	0.0	0.3	7.49
20	22.3	28.8	16.7	12.5	56	2.8	0	0.0	5.0	11.68
평균	22.5	28.1	18.6	16.0	69	2.4	0	1.5	4.2	10.79
월평균	22.4	28.3	17.7	16.0	70	2.1	0	1.7	6.0	12.64
21										
22										
23										
24										
25										
평균										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
평균										

II. 일별 증발산량 측정자료

여 백

II-1 일별 증발산량 측정자료(수원)

(단위 : mm/일)

일/월	5 월			6 월			7 월			8 월			9 월		
	조	중	만	조	중	만	조	중	만	조	중	만	조	중	만
1	-	-	-	-	-	-	4.98	4.51	4.06	7.44	-	2.48	3.62	5.59	4.26
2	-	-	-	-	-	-	4.44	3.93	4.84	5.68	-	7.02	6.35	8.07	5.51
3	-	-	-	-	-	-	3.80	5.14	5.19	-	-	9.61	5.63	5.99	6.35
4	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	3.58	7.31	7.27	6.30	3.55	5.28	4.25
5	-	-	-	5.76	6.00	6.41	7.22	6.05	7.49	6.64	8.38	7.79	4.83	5.40	4.53
6	-	-	-	1.00	3.67	3.50	4.09	3.38	3.30	8.73	-	8.69	4.79	5.48	4.54
7	-	-	-	3.00	1.67	2.00	9.26	9.15	8.71	5.65	-	7.76	5.38	7.25	5.49
8	-	-	-	3.67	2.33	3.75	6.68	8.21	7.72	2.42	5.16	4.83	2.94	4.04	2.91
9	-	-	-	1.53	3.60	2.20	6.59	8.17	8.85	5.35	7.72	6.31	4.17	5.61	3.43
10	-	-	-	1.00	-	-	9.93	9.20	8.51	5.39	6.93	5.38	4.77	6.86	5.23
평균	-	-	-	2.66	3.45	3.57	6.33	6.41	6.22	6.07	7.09	6.62	4.60	5.96	4.65
11	-	-	-	3.80	4.50	3.25	5.46	8.57	6.71	5.77	8.06	9.38	4.69	5.72	5.38
12	-	-	-	2.30	2.50	2.00	7.05	5.83	5.94	4.32	7.29	6.22	2.65	2.97	2.85
13	-	-	-	3.00	5.38	4.00	3.16	4.69	7.49	8.64	8.35	-	4.61	6.11	4.91
14	-	-	-	3.50	3.00	2.75	2.58	3.48	8.73	6.51	7.38	8.51	6.29	6.57	6.76
15	-	-	-	2.97	5.31	3.88	1.97	8.93	-	7.16	8.33	9.45	2.47	6.51	4.07
16	-	-	-	2.95	3.49	-	5.05	1.67	2.30	6.86	7.01	7.62	4.06	5.71	4.94
17	-	-	-	4.25	-	6.55	4.19	4.26	4.58	9.23	10.8	8.22	4.60	5.81	6.45
18	-	-	-	6.48	8.19	10.1	6.91	9.00	6.98	8.29	7.79	7.55	2.70	6.20	3.59
19	-	-	-	7.17	8.03	5.01	4.99	4.25	5.06	6.69	6.44	6.70	2.03	4.92	3.10
20	-	-	-	7.88	5.05	4.82	3.20	-	4.24	7.39	7.88	7.48	7.70	9.32	9.13
평균	-	-	-	4.43	5.05	4.70	4.46	5.63	5.78	7.08	7.93	7.90	4.18	5.98	5.12
21	-	-	-	6.93	8.28	6.14	4.39	5.40	1.24	5.97	7.81	7.43			
22	-	-	-	4.02	6.46	8.03	4.52	3.15	5.50	4.50	6.46	4.50			
23	-	-	-	5.83	6.31	1.80	4.21	8.06	7.79	8.52	8.66	9.41			
24	-	-	-	5.13	4.02	2.89	3.16	4.31	8.09	9.68	8.88	6.35			
25	-	-	-	3.87	7.75	6.55	-	-	-	2.41	4.70	2.17			
26	-	-	-	2.58	5.33	3.72	-	-	-	1.80	1.45	-			
27	-	-	-	-	2.88	1.31	-	-	-	2.48	2.44	-			
28	-	-	-	1.21	4.87	4.10	-	-	-	5.90	6.03	4.49			
29	-	-	-	4.13	2.23	3.42	-	-	-	3.89	4.79	4.06			
30	-	-	-	1.67	2.12	1.81	-	-	-	3.67	7.33	3.93			
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.05	9.63	9.78			
평균	-	-	-	3.93	5.02	3.98	4.07	5.23	5.65	5.08	6.20	5.79			

※ - : 결측 및 측정오류(낙수기간 포함)

II-2 일별 증발산량 측정자료(대구)

(단위 : mm/일)

일월	5 월			6 월			7 월			8 월			9 월		
	조	중	만	조	중	만	조	중	만	조	중	만	조	중	만
1	-	-	-	4.6	4.6	4.6	5.2	5.2	5.2	-	-	-	6.8	7.3	7.3
2	-	-	-	4.1	4.1	4.2	5.6	5.1	5.1	-	-	-	7.8	8.5	8.0
3	-	-	-	2.3	2.3	2.3	4.8	4.2	4.4	-	-	-	8.0	8.0	8.0
4	-	-	-	6.0	5.8	5.8	2.0	2.0	2.0	-	-	-	6.9	6.8	6.2
5	-	-	-	5.4	5.5	5.4	2.2	2.4	2.5	-	-	-	5.9	6.0	5.9
6	-	-	-	5.9	6.0	5.8	5.4	5.2	5.2	-	-	-	1.1	2.0	2.0
7	-	-	-	1.5	1.5	1.5	5.4	5.1	4.7	-	-	-	6.2	6.8	6.5
8	-	-	-	1.7	1.8	1.6	6.1	5.2	4.6	-	-	-	5.2	6.8	6.6
9	-	-	-	4.1	4.1	4.0	4.8	4.9	4.8	-	-	-	2.0	2.2	2.2
10	-	-	-	1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.2	-	-	-	4.5	4.5	4.5
평균	-	-	-	3.7	3.7	3.7	4.4	4.2	4.1	-	-	-	5.4	5.9	5.7
11	-	-	-	3.3	3.4	3.3	3.8	3.6	3.7	7.8	8.5	8.1	2.9	4.2	4.2
12	-	-	-	3.4	3.4	3.5	3.0	3.0	3.0	8.3	8.4	8.4	4.5	4.2	4.2
13	-	-	-	3.9	3.9	3.9	3.0	3.0	3.0	8.5	9.4	9.0	4.9	4.7	4.8
14	-	-	-	4.0	4.0	3.9	3.1	2.4	2.1	4.8	5.9	5.0	5.1	5.2	5.1
15	-	-	-	5.1	5.0	5.0	3.3	2.4	3.0	6.5	7.1	7.0	5.0	5.2	5.0
16	-	-	-	4.9	4.8	4.9	6.5	6.5	6.5	6.3	7.5	6.5	3.0	2.9	2.9
17	-	-	-	1.5	1.5	1.5	6.4	6.1	6.0	8.1	8.0	7.8	3.5	4.0	3.5
18	-	-	-	3.2	3.1	3.1	6.1	6.5	6.4	8.2	10.4	8.3	5.4	5.6	5.6
19	-	-	-	2.8	2.8	2.7	5.5	5.9	4.7	6.7	7.1	6.8	3.0	3.2	3.0
20	-	-	-	1.5	1.5	1.5	5.4	5.8	5.0	7.0	7.9	7.0	3.6	3.8	3.8
평균	-	-	-	3.4	3.3	3.3	4.6	4.8	4.3	7.2	8.0	7.4	4.3	4.3	4.2
21	3.9	3.9	3.9	3.7	3.6	3.6	4.3	4.4	3.8	4.3	5.4	5.6			
22	4.9	4.8	4.8	3.0	3.2	3.2	5.7	5.6	5.0	6.4	6.5	6.8			
23	4.5	4.5	4.5	3.5	3.4	3.3	7.8	9.4	8.0	8.4	8.8	8.5			
24	4.6	4.6	4.6	2.4	2.4	2.4	7.5	7.5	7.7	6.0	6.3	6.3			
25	4.8	4.8	4.8	1.5	1.5	1.5	7.2	9.1	7.0	6.5	7.3	6.5			
26	2.8	2.8	2.8	4.0	3.9	4.0	6.5	7.5	7.2	2.8	3.0	2.8			
27	3.9	3.8	3.8	1.5	1.5	1.4	6.4	7.5	6.8	2.0	2.0	2.0			
28	4.0	4.0	4.0	5.5	5.4	5.2	7.8	8.8	7.8	1.5	2.5	2.0			
29	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	9.2	11.0	9.6	7.5	7.6	7.7			
30	3.5	3.5	3.5	5.1	5.0	5.0	9.1	9.5	9.1	3.8	4.3	4.1			
31	4.9	4.9	4.9				9.0	9.3	9.0	2.0	2.5	2.0			
평균	3.9	3.9	3.9	3.3	3.2	3.2	7.3	8.1	7.4	4.7	5.1	4.9			

※ - : 결측 및 측정오류(낙수기간 포함)

Ⅲ. 포장 담수심 측정자료

여 백

Ⅲ-1 담수심 일별변화(6월)

구분 월 일	건담직파	이앙 1	이앙 2	담수직파	이앙 3
6월 1일					
6월 2일					
6월 3일					
6월 4일					
6월 5일					
6월 6일					
6월 7일					
6월 8일					
6월 9일					
6월 10일					
6월 11일					
6월 12일					
6월 13일					
6월 14일					
6월 15일					
6월 16일					
6월 17일					
6월 18일					
6월 19일					
6월 20일					
6월 21일					
6월 22일	23.6	00.0	08.3	27.3	11.2
6월 23일	11.6	24.0	16.4	24.7	06.3
6월 24일	05.5	18.4	09.9	20.4	00.4
6월 25일	25.6	35.3	36.4	51.7	19.4
6월 26일	14.5	29.7	25.4	51.1	17.8
6월 27일	06.7	24.0	08.5	42.8	13.7
6월 28일	-	-	-	-	-
6월 29일	13.8	38.0	06.9	45.1	21.9
6월 30일	31.1	54.1	34.2	56.8	52.8

Ⅲ-2 담수심 일별변화(7월)

구분 월 일	건답직파	이양 1	이양 2	담수직파	이양 3
7월 1일	23.6	51.6	35.3	55.0	45.6
7월 2일	13.5	45.2	36.1	53.4	36.1
7월 3일	10.0	39.4	33.3	44.1	28.2
7월 4일	03.7	32.2	33.4	44.2	23.9
7월 5일	36.2	65.7	47.6	61.6	67.0
7월 6일	-	-	-	-	-
7월 7일	-	-	-	-	-
7월 8일	-	-	-	-	-
7월 9일	-	-	-	-	-
7월 10일	-	-	-	-	-
7월 11일	00.0	37.7	27.9	25.1	00.0
7월 12일	09.9	39.0	20.4	-	00.0
7월 13일	11.7	59.9	18.3	16.8	00.0
7월 14일	08.5	56.8	16.4	13.2	00.0
7월 15일	31.4	57.8	20.0	08.8	20.0
7월 16일	62.5	67.4	53.9	73.1	35.0
7월 17일	61.1	64.4	48.0	53.5	21.0
7월 18일	58.7	61.2	49.3	52.1	19.0
7월 19일	55.3	55.4	39.7	40.7	06.0
7월 20일	67.0	54.5	36.4	33.2	-
7월 21일	70.3	51.4	39.7	38.5	-
7월 22일	101.9	90.1	82.7	95.9	05.0
7월 23일	81.6	65.4	61.9	56.2	02.0
7월 24일	77.2	59.7	54.4	49.5	01.0
7월 25일	71.5	54.6	55.2	46.6	01.0
7월 26일	66.1	47.0	58.7	40.7	01.0
7월 27일	72.8	55.5	63.2	43.0	01.0
7월 28일	87.0	70.0	82.4	66.0	03.0
7월 29일	81.4	62.1	74.5	58.7	06.0
7월 30일	76.7	56.8	69.6	51.6	53.7
7월 31일	70.2	50.1	61.9	43.4	46.1

Ⅲ-3 담수심 일별변화(8월)

구 분 월 일	건답직파	이양 1	이양 2	담수직파	이양 3
8월 1일	63.6	42.3	42.6	42.6	41.3
8월 2일	58.0	30.5	38.8	38.8	40.5
8월 3일	52.9	59.7	33.6	33.6	35.3
8월 4일	46.2	57.2	23.4	23.4	25.1
8월 5일	49.1	59.4	24.8	24.8	26.7
8월 6일	36.0	55.0	23.6	23.6	32.0
8월 7일	14.6	44.2	12.6	12.6	25.4
8월 8일	22.3	47.2	04.9	04.9	19.8
8월 9일	60.4	62.2	28.8	28.8	24.6
8월 10일	61.6	56.8	15.0	15.0	17.9
8월 11일	63.3	52.0	-	06.9	-
8월 12일	65.3	45.0	33.9	07.7	05.6
8월 13일	58.1	40.2	28.0	04.1	00.4
8월 14일	51.0	24.4	19.2	00.5	00.0
8월 15일	56.4	52.9	35.9	20.3	00.0
8월 16일	49.9	58.4	32.4	36.8	09.7
8월 17일	42.4	53.2	23.4	28.6	00.0
8월 18일	34.7	46.2	20.4	20.4	00.0
8월 19일	42.7	70.9	46.3	39.4	12.9
8월 20일	39.5	63.8	39.6	29.1	09.7
8월 21일	43.2	57.0	-	-	-
8월 22일	72.8	86.7	48.0	-	45.4
8월 23일	69.4	84.8	52.1	54.5	50.9
8월 24일	61.3	79.6	46.5	54.4	49.7
8월 25일	58.1	70.1	36.3	44.4	42.8
8월 26일	56.4	67.5	32.5	40.6	40.9
8월 27일	87.5	105.7	65.5	69.3	75.9
8월 28일	86.4	117.5	69.7	81.1	84.1
8월 29일	81.3	109.6	74.1	82.3	84.9
8월 30일	75.7	100.2	70.8	72.1	80.1
8월 31일	74.1	99.3	71.1	80.4	78.9

Ⅲ-4 담수심 일별변화(9월)

구 분 월 일	건담직파	이양 1	이양 2	담수직파	이양 3
9월 1일	7.29	91.4	66.5	75.9	73.4
9월 2일	68.7	82.4	60.9	73.6	67.0
9월 3일	64.1	76.0	48.6	61.8	57.0
9월 4일	59.0	71.5	45.7	59.9	56.8
9월 5일	57.0	69.4	38.4	50.9	49.1
9월 6일	53.6	66.1	-	-	-
9월 7일	50.0	62.8	-	-	-
9월 8일	46.9	59.3	28.0	45.7	43.1
9월 9일	42.8	78.3	-	-	-
9월 10일	44.6	67.2	20.0	-	39.1
9월 11일	39.7	57.0	15.8	41.8	35.7
9월 12일	34.4	51.6	07.8	26.4	28.6
9월 13일	31.6	47.8	06.7	-	28.8
9월 14일	23.0	41.2	00.4	-	24.5
9월 15일	17.1	32.0		-	-
9월 16일	03.6	16.3		13.4	-
9월 17일	01.1	02.7			03.2
9월 18일					
9월 19일					
9월 20일					
9월 21일					

※ - : 결측 및 센서오류

IV. 포장 관개량 조사자료

여 백

IV-1 관개량 조사자료(경기도 농촌진흥원)

(단위:mm)

재배방식 관개일	이앙재배 (포장 1)	이앙재배 (포장 2)	건답직파 (포장3-5)	이앙재배 (포장 6)	담수직파 (포장7-9)
5. 4	-	-	-	-	42.0
5. 10	-	-	36.2	-	-
5. 19	58.6	74.0	-	52.5	20.3
5. 26	-	-	49.2	-	21.0
5. 29	57.6	21.4	29.3	33.6	22.1
6. 2	-	-	-	-	21.3
6. 5	48.1	31.1	17.9	26.1	23.0
6. 8	-	-	23.6	-	13.8
6. 10	-	-	-	-	44.0
6. 12	52.4	41.8	32.9	52.6	-
7. 3	-	-	39.4	26.1	16.8
7. 18	08.3	58.7	43.9	27.3	39.3
8. 14	25.8	38.2	22.1	12.7	32.9
8. 18	30.1	21.6	15.4	15.3	29.1

IV-2 월별 강우빈도분석(수원측후소)

(단위:mm)

생기빈도	분석기간	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
2년	'64-'93	67.0	71.9	89.9	296.6	241.7	109.8	37.1
5년	'64-'93	24.2	44.0	35.8	209.6	157.5	17.5	6.7
10년	'64-'93	12.9	36.4	21.0	186.0	134.2	0	0

여 백

V. 시군별 직파 시행면적

여 백

V-1 벼 재배방법별 시행면적 (경기)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손	직 파		
		소계	어린모	중 모	모내기	소 계	건 답	답 수
합계	132,120	128,335	19,187	109,149	510	3,275	924	2,351
수원시	1,659	1,603	43	1,560	6	50	40	10
성남시	320	292	81	211	12	17	16	1
의정부	429	413	45	368	3	13	10	3
안양시	48	43	5	38	1	4	2	2
부천시	859	850	376	474	-	9	5	4
광명시	439	420	241	179	4	15	-	15
평택시	17,496	17,137	1,651	15,486	48	311	156	155
동두천	292	264	18	246	-	8	1	7
안산시	1,407	1,396	128	1,268	20	31	1	30
고양시	4,339	4,039	410	3,629	3	297	41	256
과천시	160	150	16	134	4	6	3	3
구리시	12	12	-	12	-	-	-	-
남양주	2,185	2,115	170	1,945	45	25	5	20
오산시	992	975	15	960	4	13	-	13
시흥시	2,246	2,220	1,123	1,097	-	26	7	19
군포시	272	260	-	260	5	7	4	3
의왕시	382	363	146	217	6	13	-	13
하남시	525	450	91	359	57	18	-	18
용인시	7,147	7,041	3,077	3,964	-	106	-	106
파주군	9,704	9,157	2,500	6,657	2	545	256	289
이천군	10,535	10,106	683	9,423	14	415	1	414
양주군	3,256	3,165	813	2,352	3	88	28	60
여주군	9,905	9,591	377	9,214	87	227	17	210
화성군	15,635	15,519	795	14,724	19	97	56	41
광주군	2,291	2,094	458	1,636	21	176	15	161
연천군	4,607	4,490	6	4,484	45	72	33	39
포천군	6,474	6,393	242	6,151	4	78	1	77
가평군	2,366	2,321	-	2,321	3	42	8	34
양평군	6,689	6,574	560	6,014	75	40	-	40
안성군	11,336	11,074	5,059	6,015	20	242	16	226
김포군	8,093	7,809	58	7,751	-	284	202	82

V-2 벼 재배방법별 시행면적 (강원)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손	직 파		
		소 계	어 린 모	중 모	모 내 기	소 계	건 답	답 수
합 계	50,340	48,890	8,370	40,520	78	1,372	346	1,026
춘천시	3,079	2,935	1,294	1,641	9	135	87	48
원주시	5,385	5,103	1,870	3,233	11	271	82	189
강릉시	4,560	4,419	1,088	3,331	9	132	41	91
동해시	394	385	168	217	-	9	5	4
속초시	393	348	150	198	-	45	1	44
삼척군	1,175	1,048	268	780	7	120	60	60
홍천군	5,436	5,364	1,582	3,782	-	72	2	70
횡성군	4,780	4,727	360	4,367	2	51	25	26
영월군	1,224	1,194	95	1,099	26	4	-	4
평창군	1,046	1,043	-	1,043	3	-	-	-
정선군	541	541	-	541	-	-	-	-
철원군	11,050	10,945	-	10,945	-	105	-	105
화천군	1,568	1,507	267	1,240	-	61	1	60
양구군	2,426	2,391	200	2,191	10	25	1	24
인제군	1,292	1,292	-	1,292	-	-	-	-
고성군	3,400	3,103	210	2,893	-	297	40	257
양양군	2,591	2,545	818	1,727	1	45	1	44

V-3 벼 재배방법별 시행면적 (충북)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손	직 파		
		소계	어린모	중 모	모내기	소계	건 답	답 수
합 계	61,311	59,082	23,302	35,780	437	1,792	228	1,564
청주시	2,802	2,716	1,108	1,608	6	80	10	70
충주시	8,026	7,729	2,095	5,631	51	249	90	159
제천시	3,729	3,199	434	2,765	56	24	1	23
청원군	11,810	11,278	2,857	8,421	10	522	21	501
보은군	5,449	5,372	2,695	2,677	8	69	10	59
옥천군	4,189	4,103	2,109	1,994	33	53	27	26
영동군	4,050	3,991	2,137	1,854	10	49	23	26
진천군	6,097	5,872	2,359	3,513	15	210	15	195
괴산군	5,362	5,146	1,650	3,496	64	152	10	142
음성군	7,605	7,283	4,833	2,450	22	300	21	279
단양군	1,250	1,094	185	902	156	-	-	-
증평읍	1,392	1,302	840	462	6	84	-	84

V-4 벼 재배방법별 시행면적 (충남)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손	작 파		
		소계	어린모	중 모	모내기	소계	건 답	답 수
합 계	172,925	158,352	75,550	82,802	963	13,610	6,615	6,995
천안시	9,887	9,050	5,396	3,654	7	830	105	725
공주시	11,300	10,375	6,987	3,338	75	850	285	565
보령시	10,347	9,519	3,938	5,581	154	674	552	122
아산시	13,642	12,237	7,572	5,265	-	805	640	165
서산시	14,940	13,706	7,239	6,467	60	1,174	321	853
논산시	16,003	14,725	3,330	11,445	23	1,205	470	715
금산군	4,100	3,622	193	3,429	105	373	125	248
연기군	5,837	5,314	3,528	1,786	13	510	480	30
부여군	14,800	12,782	3,850	8,932	200	1,818	1,518	300
서천군	10,990	9,950	5,768	4,182	40	1,000	902	98
청양군	7,015	6,472	4,690	1,782	40	503	405	98
홍성군	9,561	8,774	3,989	4,785	76	711	425	286
예산군	13,300	12,080	7,667	4,413	-	1,220	150	1,070
태안군	9,267	8,067	4,302	3,765	30	1,770	135	1,035
당진군	21,936	21,029	7,101	13,928	140	767	82	685

V-5 벼 재배방법별 시행면적 (전북)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손	직 파		
		소계	어린모	중 모	모내기	소계	건 답	답 수
합 계	165,298	140,592	35,987	104,605	476	24,230	20,257	3,973
전주시	5,126	4,126	1,960	2,166	20	980	940	40
군산시	14,107	11,457	1,155	10,302	0	2,650	2,650	0
익산시	21,918	16,343	6,920	9,423	25	5,550	4,300	1,250
정읍시	19,614	15,631	3,497	12,134	3	3,980	3,560	420
남원시	13,185	12,404	992	11,412	71	710	643	67
김제시	24,758	22,238	440	21,798	0	2,520	2,480	40
완주군	9,020	5,772	2,357	3,415	10	3,238	2,952	286
진안군	4,623	4,493	152	4,341	60	70	55	15
무주군	2,650	2,580	0	2,580	50	20	2	18
장수군	4,223	4,085	21	4,064	52	86	82	4
임실군	6,526	5,929	1,930	3,999	95	502	305	197
순창군	7,633	6,874	2,589	4,285	53	706	262	444
고창군	15,733	14,087	7,730	6,357	37	1,609	1,149	460
부안군	16,182	14,573	6,244	8,329	0	1,609	877	732

V-6 벼 재배방법별 시행면적 (전남)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손 모 내 기	직 파		
		소 계	어 린 모	중 모		소 계	건 답	담 수
합 계	199,274	156,337	77,068	79,269	2,316	40,621	14,705	25,916
목포시	378					90	23	73
여수시	119					7	0	7
순천시	9,423					862	550	312
나주시	15,252					5,170	3,280	1,890
광양시	4,600					1,010	330	680
담양군	8,020					1,400	250	1,150
곡성군	5,848					1,124	623	501
구례군	3,763					546	450	96
여천군	3,713					569	242	327
고흥군	13,399					1,358	200	1,158
보성군	10,702					2,202	520	1,682
화순군	7,231					1,450	934	516
장흥군	10,313					2,160	322	1,838
강진군	10,657					1,208	275	933
해남군	21,285					6,604	1,286	5,318
영암군	17,726					7,919	2,580	5,339
무안군	9,557					1,756	877	879
함평군	9,132					1,510	510	1,000
영광군	10,493					1,159	742	417
장성군	7,930					1,362	150	1,212
완도군	2,903					115	54	61
진도군	6,270					647	322	325
신안군	10,560					387	185	202

V-7 벼 재배방법별 시행면적 (경북)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손 모내기	직 파		
		소계	어린모	중 모		소계	건 답	답 수
합 계	139,423	122,392	33,981	88,411	4,801	12,230	12,116	114
포항시	9,175	8,231	4,114	4,117	252	692	692	0
경주시	14,201	12,571	1,360	11,211	480	1,150	1,125	25
김천시	7,360	6,080	250	5,830	408	872	872	0
안동시	7,675	6,282	2,823	3,459	453	940	940	0
구미시	8,227	6,848	530	6,318	3	1,426	1,424	2
영주시	6,008	5,667	2,100	3,567	231	110	106	4
영천시	5,636	4,760	1,800	2,950	80	806	806	2
상주군	17,300	16,142	3,855	12,287	90	1,068	1,068	2
문경군	5,900	5,012	2,400	2,612	443	445	435	10
경산군	2,094	2,038	32	2,006	5	51	51	0
군위군	3,068	2,883	547	2,336	27	158	158	0
의성군	11,287	10,413	1,831	8,582	78	796	794	2
청송군	1,984	1,904	80	1,824	60	20	20	0
영양군	1,051	953	45	908	93	5	5	0
영덕군	3,120	2,525	1,481	1,004	145	450	450	0
청도군	4,407	3,697	905	2,792	220	490	490	0
고령군	4,248	3,585	2,448	1,137	75	588	588	0
성주군	4,857	3,638	2,840	798	520	699	640	59
칠곡군	3,435	2,437	2,100	337	214	784	784	0
예천군	11,409	10,579	1,376	9,203	237	593	588	5
봉화군	3,521	3,199	153	3,046	312	10	10	0
울진군	3,410	2,958	911	2,047	375	77	70	7

V-8 벼 재배방법별 시행면적 (경남)

(단위 : ha)

시 군	계	재 배 방 법 별 면 적(ha)						
		기 계 모 내 기			손	직 파		
		소계	어린모	중 모	모내기	소계	건 답	답 수
합 계	125,661	110,513	27,375	83,138	8,328	8,328	7,201	1,127
창원시	3,845	3,504	1,500	2,004	285	285	250	35
울산시	10,011	9,441	2,011	7,430	460	460	460	0
마산시	2,273	2,117	542	1,575	126	126	126	0
진주시	8,915	8,152	1,143	7,009	678	678	539	139
진해시	669	554	210	344	34	34	33	1
통영군	1,194	1,016	386	630	105	105	83	22
사천군	6,197	5,777	422	5,355	405	405	220	185
김해시	8,286	7,270	5,766	1,504	950	950	950	0
밀양시	9,952	7,863	960	6,903	1,820	1,820	1,648	172
거제시	3,075	2,539	1,017	1,522	70	70	4	66
양산군	2,717	2,543	909	1,634	143	143	143	0
의령군	5,118	4,582	1,050	3,532	169	169	164	5
함안군	7,168	6,809	1,651	5,158	343	343	295	48
창녕군	7,818	7,317	657	6,660	363	363	363	0
고성군	8,524	7,987	1,921	6,066	419	419	267	152
남해군	4,200	3,715	1,758	1,957	150	150	80	70
하동군	7,571	7,073	775	6,298	215	215	144	71
산청군	6,480	5,527	2,357	3,170	500	500	434	66
함양군	5,745	4,510	166	4,344	228	228	209	19
거창군	6,355	4,897	15	4,882	168	168	92	76
합천군	9,548	7,320	2,159	5,161	697	697	697	0

VI. 용설저수지 수위 관측자료

여 백

VI-1 용설저수지 수위 관측자료(6월)

구분 일 별	08:00 hr			일 평균			비 고
	저수위 (El.m)	저수량 (ha.m)	저수율 (%)	저수위 (El.m)	저수량 (ha.m)	저수율 (%)	
1	110.69	158.98	53.20	110.67	157.20	52.60	
2	110.61	155.41	52.00	110.61	154.03	51.55	
3	110.54	152.64	51.10	110.53	151.45	50.70	
4	110.47	149.07	49.90	110.46	148.99	49.80	
5	110.44	146.29	48.90	110.45	146.29	48.90	
6	110.34	140.34	47.00	110.34	140.34	47.00	
7	110.19	133.60	44.70	110.18	133.60	44.70	
8	110.00	130.14	43.50	110.02	130.14	43.50	
9	109.99	129.85	43.40	109.99	129.85	43.40	
10	109.97	129.55	43.33	109.97	129.55	43.33	
11	109.96	129.97	43.10	109.96	129.97	43.10	
12	109.96	128.97	43.10	109.96	128.97	43.10	
13	109.95	128.97	43.10	109.95	128.97	43.10	
14	109.82	125.18	41.90	109.82	125.18	41.90	
15	109.73	121.98	40.80	109.72	121.98	40.80	
16	109.71	121.98	40.80	109.71	121.98	40.80	
17	109.71	121.98	40.80	109.71	121.98	40.80	
18	110.78	159.03	53.40	110.78	159.03	53.40	
19	110.78	159.03	53.40	110.78	159.03	53.40	
20	110.78	159.03	53.40	110.78	159.03	53.40	
21	110.78	159.04	53.40	110.78	159.04	53.40	
22	110.78	159.03	53.40	110.78	159.04	53.40	
23	110.78	159.04	53.40	110.78	159.04	53.40	
24	110.78	159.53	53.50	110.78	159.04	53.40	
25	110.83	159.54	53.50	110.83	159.54	53.50	
26	110.85	159.55	53.50	110.85	159.55	53.50	
27	110.95	159.63	53.60	110.95	159.63	53.60	
28	111.00	172.92	57.80	111.98	173.20	57.90	
29	119.56	172.86	63.50	113.56	175.30	59.80	
30	111.08	173.62	58.00	111.09	172.58	58.10	

VI-2 용설저수지 수위 관측자료(7월)

구분 일 별	08:00 hr			일 평균			비 고
	저수위 (El. m)	저수량 (ha. m)	저수율 (%)	저수위 (El. m)	저수량 (ha. m)	저수율 (%)	
1	111.10	175.10	58.20	111.13	175.24	58.60	
2	111.13	175.24	58.60	111.13	175.24	58.60	
3	111.13	175.24	58.60	111.13	175.24	58.60	
4	111.19	178.34	59.80	111.19	178.34	59.80	
5	111.46	188.33	63.00	111.47	188.86	63.10	
6	111.64	195.64	65.40	111.61	194.28	65.00	
7	111.62	195.60	65.20	111.62	195.60	65.20	
8	111.68	197.66	65.90	111.72	198.64	66.50	
9	111.70	197.69	66.10	111.70	197.69	66.10	
10	111.70	197.69	66.10	111.70	197.69	66.10	
11	111.36	184.37	61.70	111.40	186.24	62.20	
12	111.36	184.37	61.70	111.40	186.24	62.20	
13	111.36	184.37	61.70	111.40	186.24	62.20	
14	111.36	184.37	61.70	111.40	186.24	62.20	
15	111.36	184.37	61.70	111.40	186.24	62.20	
16	111.42	186.23	62.30	111.42	186.23	62.30	
17	111.44	187.54	62.70	111.44	187.74	62.80	
18	111.47	188.73	63.10	111.44	187.54	62.70	
19	111.47	188.73	63.10	111.44	187.54	62.70	
20	111.47	188.73	63.10	111.44	187.54	62.70	
21	111.47	188.73	63.10	111.44	187.54	62.70	
22	111.49	189.52	109.3	111.49	189.85	63.50	
23	111.54	191.51	64.10	111.54	191.70	64.10	
24	111.62	195.60	65.20	111.62	195.60	65.20	
25	111.60	193.89	64.90	111.60	194.15	64.90	
26	111.65	195.87	65.50	111.63	195.24	65.30	
27	111.69	196.23	66.20	111.69	196.23	66.20	
28	111.71	198.56	66.70	111.71	198.56	66.70	
29	111.76	200.23	67.00	111.77	200.86	67.20	
30	111.76	200.23	67.00	111.77	200.86	67.20	
31	111.76	200.23	67.00	111.77	200.86	67.20	

VI-3 용설저수지 수위 관측자료(8월)

구 분 일 별	08:00 hr			일 평균			비 고
	저수위 (El. m)	저수량 (ha. m)	저수율 (%)	저수위 (El. m)	저수량 (ha. m)	저수율 (%)	
1	111.85	203.80	68.20	111.87	204.62	68.40	
2	111.90	205.78	68.80	111.85	204.08	68.20	
3	111.90	205.78	68.80	111.85	204.08	68.20	
4	111.70	197.85	66.20	111.68	197.26	66.00	
5	111.62	194.68	65.10	111.59	193.59	64.70	
6	111.46	188.33	63.00	111.46	188.58	63.10	
7	111.45	187.94	62.90	111.42	186.89	62.50	
8	111.45	187.94	62.90	111.42	186.89	62.50	
9	111.21	178.42	59.70	111.19	177.87	59.50	
10	111.10	172.23	58.10	111.10	172.23	58.10	
11	110.98	168.76	56.23	110.98	168.76	56.23	
12	110.84	165.63	55.63	110.84	165.63	55.63	
13	110.75	156.89	53.10	110.75	156.89	53.10	
14	110.57	150.23	51.00	110.57	150.23	51.00	
15	110.44	147.88	49.50	110.42	147.43	50.47	
16	110.34	143.91	48.10	110.35	144.38	48.20	
17	110.34	143.91	48.10	110.35	144.38	48.20	
18	110.34	143.91	48.10	110.35	144.38	48.20	
19	110.34	143.91	48.10	110.35	144.38	48.20	
20	110.34	143.91	48.10	110.35	144.38	48.20	
21	110.34	143.91	48.10	110.35	144.38	48.20	
22	109.54	117.02	39.20	109.54	117.08	39.10	
23	109.48	115.28	38.60	109.47	115.29	38.50	
24	109.48	115.28	38.60	109.47	115.29	38.50	
25	109.48	115.28	38.60	109.47	115.29	38.50	
26	109.57	117.90	39.40	109.58	118.29	39.50	
27	109.71	121.98	40.80	109.73	122.61	41.00	
28	109.71	121.98	40.80	109.73	122.61	41.00	
29	109.93	128.39	43.00	109.92	128.30	42.90	
30	109.93	128.39	43.00	109.92	128.30	42.90	
31	109.93	128.39	43.00	109.92	128.30	42.90	

VI-4 용설저수지 수위 관측자료(9월)

구 분 일 별	08:00 hr			일 평균			비 고
	저수위 (El.m)	저수량 (ha.m)	저수율 (%)	저수위 (El.m)	저수량 (ha.m)	저수율 (%)	
1	109.96	129.26	43.20	109.95	129.09	43.10	
2	109.92	128.10	42.90	109.92	128.33	42.90	
3	109.97	129.55	43.30	109.97	129.79	43.30	
4	110.03	131.62	44.00	110.02	131.29	43.90	
5	110.04	132.02	44.20	110.03	132.00	44.10	
6	110.04	132.02	44.20	110.04	132.02	44.20	
7	109.97	129.55	43.30	109.97	129.55	43.30	
8	109.90	125.98	42.50	109.90	125.98	42.50	
9	109.78	124.02	41.50	109.75	123.30	41.20	
10	109.62	119.36	39.90	109.61	119.32	39.80	
11	109.56	117.61	39.30	109.56	117.61	39.30	
12	109.44	114.11	38.20	109.43	114.04	38.10	
13	109.49	115.57	38.70	109.48	115.55	38.60	
14	109.46	114.69	38.40	109.46	114.69	38.40	
15	109.44	114.11	38.20	109.43	114.04	38.10	
16	109.39	112.65	37.60	109.39	112.65	37.60	
17	109.22	107.70	36.00	109.19	107.02	35.70	
18	109.17	106.24	35.50	109.16	106.05	35.40	
19	109.25	108.57	36.30	109.23	108.01	36.10	
20	109.25	108.57	36.30	109.23	108.01	36.10	
21	109.25	108.57	36.30	109.23	108.01	36.10	
22	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
23	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
24	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
25	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
26	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
27	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
28	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
29	109.24	108.28	36.20	109.24	108.41	36.20	
30	109.21	107.41	35.90	109.21	107.45	35.90	

VI-5 용설저수지 수위 관측자료(10월)

구 분 일 별	08:00 hr			일 평균			비 고
	저수위 (El.m)	저수량 (ha.m)	저수율 (%)	저수위 (El.m)	저수량 (ha.m)	저수율 (%)	
1	109.22	107.70	36.00	109.21	107.65	35.90	
2	109.26	108.60	36.50	109.26	108.60	36.50	
3	109.32	110.61	37.00	109.32	110.70	37.00	
4	109.35	111.49	37.30	109.32	110.76	37.00	
5	109.35	111.49	37.30	109.32	110.76	37.00	
6	109.35	111.49	37.30	109.35	111.49	37.30	
7	109.35	111.49	37.30	109.32	110.84	37.00	
8	109.40	112.94	37.80	109.37	112.35	37.50	
9	109.32	110.61	37.00	109.31	110.38	36.90	
10	109.29	109.74	36.70	109.30	110.28	36.80	
11	109.34	111.20	37.20	109.37	112.07	37.50	
12	109.45	114.40	38.30	109.45	114.40	38.30	
13	109.45	114.40	38.30	109.45	114.40	38.30	
14	109.45	114.40	38.30	109.43	113.87	38.10	
15	109.37	112.07	37.50	109.36	111.78	37.40	
16	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
17	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
18	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
19	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
20	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
21	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
22	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
23	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
24	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
25	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
26	109.37	112.07	37.50	109.36	112.00	37.40	
27	109.39	112.65	37.70	109.42	113.53	38.00	
28	109.47	114.98	38.50	109.47	115.26	38.50	
29	109.54	117.02	39.20	109.55	117.32	39.20	
30	109.53	116.73	39.10	109.53	116.73	39.10	
31	109.55	117.32	39.20	109.55	117.32	39.20	

VI-6 용설저수지 수위 관측자료(11월)

구 분 일 별	08:00 hr			일 평균			비 고
	저수위 (El. m)	저수량 (ha. m)	저수율 (%)	저수위 (El. m)	저수량 (ha. m)	저수율 (%)	
1	109.56	117.61	39.30	109.56	117.61	39.30	
2	109.59	117.90	39.40	109.59	117.90	39.40	
3	109.58	118.20	39.50	109.58	118.20	39.50	
4	109.59	118.48	39.60	109.63	119.65	40.00	
5	109.67	120.81	40.40	109.68	121.10	40.50	
6	109.62	119.36	39.90	109.67	120.81	40.40	
7	109.71	121.98	40.80	109.70	121.95	40.70	
8	109.73	122.56	41.00	109.72	122.50	40.90	
9	109.79	124.31	41.60	109.79	124.31	41.60	
10	109.82	125.18	41.90	109.82	125.18	41.90	
11	109.84	125.77	42.10	109.86	126.35	42.30	
12	109.84	125.77	42.10	109.86	126.35	42.30	
13	109.78	124.02	41.50	109.78	124.02	41.50	
14	109.78	124.02	174.8	109.76	123.62	41.30	
15	109.78	124.02	41.50	109.76	123.45	41.30	
16	109.78	124.02	41.50	109.76	123.45	41.30	
17	109.77	123.73	41.40	109.77	123.97	41.40	
18	109.85	126.06	42.20	109.81	124.94	41.80	
19	109.82	125.18	41.90	109.82	125.26	41.90	
20	109.90	127.51	42.70	109.88	127.07	42.50	
21	109.87	126.64	42.40	109.86	126.43	42.30	
22	109.87	126.64	42.40	109.83	125.54	42.00	
23	109.87	126.64	42.40	109.83	125.54	42.00	
24	109.90	127.51	42.70	109.90	127.67	42.70	
25	109.91	127.81	42.80	109.91	127.90	42.80	
26	109.93	128.39	43.00	109.93	128.49	43.00	
27	109.92	128.10	42.90	109.93	128.39	42.90	
28	109.95	128.97	43.10	109.93	128.50	42.90	
29	109.97	129.55	43.30	109.95	129.23	43.10	
30	109.97	129.55	43.30	109.93	128.39	43.00	

분야별 공동연구 참여내역

연구 항목	용역 기관		농어촌진흥공사	
	기관 명	성 명	부 서 명	성 명
■ 연구총괄(책임연구원) ■ 직파 필요수량변화 연구 및 물관리 특성 조사 분석 - 직파 필요수량 변화 연구 - 시설물 모의조작 모형 개발 - 직파 물관리 특성 조사 분석 " " " "			조사설계처	김현영
			조사설계처	서영제
			"	장중석
			"	오수훈
			"	김대의
			"	강석만
■ 직파재배 소비수량 시험 - 연구총괄 및 보고서 작성 - 남부지방 소비수량 산정 및 분석 - 중부지방 소비수량 산정 및 분석 - 직파 물관리 특성시험 및 분석 - 중부지방 기상자료 분석 및 정리 - 중부지방 증발산량 측정 시험 - 남부지방 기상자료 분석 및 정리 - 남부지방 증발산량 측정 시험	서울대 농생대 경북대 농과대 안성산업대 서울대 농생대 " " 경북대 농과대 "	정하우 정상욱 이남호 최진용 박기욱 배승종 유택상 남효식		

연구보고 96-05-15

영농방식 변화에 따른 필요수량 변화에 관한 연구

발 행 1996. 12.
발행인 황 규 태
발행처 농어촌진흥공사 농어촌연구원
주 소 경기도 안산시 사동 1031-7
전 화 (0345) 400-7113
FAX (0345) 409-6055

-
- 이 책의 내용을 무단 전재 하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.
 - 이 연구는 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은
아닙니다.
-