

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000713-01

범용농지조성 기반기술 개발(Ⅱ)
Development of Technology for Multipurpose
Utilization of Paddy Field (Ⅱ)

2014. 12.



농림축산식품부



한국농어촌공사

제 출 문

농림축산식품부 귀하

본 보고서를 “범용농지조성 기반기술 개발” 과제의 2차년도 보고서로 제출합니다.

2014년 12월

주관연구기관명 : 농어촌연구원

연구책임자 : 이준구

연구원 : 손옥용, 김영화
서동욱, 지달남
조재용, 허지선
전택기

공동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단

연구책임자 : 김성필

연구원 : 서일환, 박재성
배승중, 배연정
김학관, 이상현

위촉연구원 : 조인상, 박승기

요 약

1. 연구과제명 : 범용농지 조성 기반기술 개발

2. 연구기간 : 2013. 8 ~ 2015. 12.(총 3년 중 2차년도)

3. 연구의 목적

- 본 연구는 국내 농지이용 여건과 식량자급률 등 농업환경변화를 분석하여 식량자급률을 높일 수 있는 논외 범용화를 검토하고 관련된 국내 농지정비사업, 범용화를 위한 범용농지정비 대상면적 등을 검토하여 향후정비가 예상되는 범용농지조성 사업내용을 정립하고 관련 기술을 제시하는 데 목적이 있음

4. 연구내용 및 방법

4.1 연구내용

- 배수가 토양에 미치는 영향
- 국내외 농지범용화 사례
- 발작물 논재배 현황분석
- 범용농지 시험포 운영
- 범용화 사업을 위한 제안

4.2 연구방법

- 산학연 전문가 그룹 연계를 통한 협업연구
- 시험포 운영을 통한 실증실험 및 사업화를 위한 설계제안사항 도출
- 타사업 연계 방안 검토를 통한 범용화 사업의 지속가능성 도출

5. 연구결과

- 농산업분야 세계시장은 타산업과 연계되어 급격하게 변해가고 있다. 굳이 FTA, DDA를 언급하지 않더라도 우리 실생활의 주변에서 피부로 느낄 수 있다. 글로벌화, 세계경제발전의 협력구도에서 우리나라 농업은 항상 어려운 상황에 직면하곤 함
- 농업분야의 경쟁력강화로 이 상황을 극복해 가야하고, 중장기적 전략에 의해 세계농업시장의 변화에 적응해가야 한다. 논에 벼를 재배하기 위해 생산기반정비사업에 주력했던 시기에서 힘들었던 밭농사를 기계화로 극복하여 농가소득을 올리는 변화가 대표적인 적응 사례가 아닌가 함
- 목표 식량자급률 달성과 농가소득 증진을 위해 논에 밭작물의 재배가 가능하도록 경작로, 지하배수시설, 급수시설, 배수로 등을 새로이 정비하는 사업과 집단화된 밭농업단지의 농기계, 종자, 육묘 등 영농지원의 정책이 필요한 시점이라 할 수 있음

가. 배수가 토양에 미치는 영향

- 집중호우시 배수불량 지역에서 시설재배농가에서 피해가 큰 것으로 조사되었으며, 노지재배농가의 경우 배수가 비교적 양호한 지형이나 토양을 갖춘 농지에는 이랑을 높게 하여 습해를 피해가며 논에 밭농사를 짓고 있으며, 아예 습한 지형에서는 청보리 등을 심어 이 모작을 하고 있는 것으로 조사됨
- 토양에 배수가 불량할 경우 토양공극 내 산소가 부족하여 아미노산 등이 여러 가지 화학반응을 거쳐 식물의 생육을 저해하는 물질로 변하는 것으로 분석됨
- 목화, 콩, 유채 등의 작물로 침수에 대한 피해를 분석하기 위해 다양한 실험을 수행한 자료를 분석한 결과 일정 기간이상 침수시 성장저해, 수확량 감소 등의 피해가 있는 것으로 분석됨
- 배수처리는 생산성을 높이고, 봄 토양온도를 향상시켜 화학반응을 촉진, 양분흡수가 향상되며, 농기계의 경운, 파종, 수확작업의 효율성을 향상시키는 장점이 있음

- 논토양에서는 담수 시에 미생물이나 식물 뿌리에 의하여 산소를 소모하고 탄산가스를 방출하여 질소는 환원상태로 변하고 있으며 항상 산소는 부족한 상태이나 밭토양은 건조상태이고 강우 시 유실이 심하여 염기가 용탈되므로 산성화가 촉진되어 토양퇴화가 촉진되는 차이가 있음 따라서 작물생산의 측면에서 보면 논은 지력의존도가 큰 반면 밭은 비료의존도가 높은 특징이 있음
- 최적경작지 기준을 보면, 유효토심이 논 50~100cm, 밭 100cm 이상. 지하수위는 일본 밭토양 60cm, 우리나라와 중국 100cm 이상을 제시하고 있음. 논에서의 밭작물재배를 위해서는 배수암거 깊이를 1m가량으로 계획하고 그에 따른 간격을 정하여 배수시설을 설치해야 할 것으로 판단됨

나. 국내외 농지범용화 사례

- 경남 밀양의 농촌진흥청 국립식량과학원 정기열 박사 논토양의 배수방법 개선연구로서 암거배수를 연구하였으며, 미래농촌연구소 김현태박사는 간척지 제염을 위해 자체개발한 장치를 이용하여 유공관을 매설하는 시험시공을 한 사례가 있는 것으로 조사됨
- 또한 나주시 원예연구소에서는 유공관을 깊이 1m에 매설하여 대조구에 비해 당도나 과중이 증가함을 확인한 것으로 조사됨
- 네덜란드의 암거시공사례, 맨홀설치사례, 지하배수된 물을 경작지의 부로 배제하는 방식 등을 조사하였음
- 일본의 범용화 사업추진현황, 범용화 관련 신기술 및 네덜란드 범용화 단지내 수위관리 사례를 조사함
- 범용농지조성에 사용되는 일본, 네덜란드 등 국외 장비의 현황을 조사하고, 범용화단지의 효율적 발농사를 위한 발농업기계화의 현황을 분석함

다. 밭작물 논 재배현황 분석

- 논밭의 전환비율, 경지이용율, 작물별 재배면적의 변화, 세계콩생산량의 예측, 콩 및 양파의 가격과 재배면적, 생산량의 관계, 원인에 대한 분석자료 조사. 향후 범용화사업지구에 밭작물의 재배시 검토하여야 할 사항 파악가능토록 함

라. 범용농지 시험포 운영

- 범용화농지조성 기술개발을 위해 경북상주에 시험포를 조성하고 설계기법 분석, 설계, 시공, 토양물리성 모니터링, 증수량분석, 설계시 제안사항 등을 제시하였음
- 지하급배수의 설계는 기본적으로 지표에서 유출·입되는 수량(Rain fall, evapotranspiration)과 지하시설을 통한 유출·입되는 수량(Irrigation, Drainage)과의 관계에서 적절한 지하수위 또는 토양함수량을 확보하기 위한 지하시설의 심도와 간격을 결정하는 문제로 요약할 수 있음
- 설계에서 중요한 흡수거의 간격을 결정하기 위한 정류방정식, 부정류방정식의 특징을 분석하고, 이들 식에 가장 민감하게 영향을 끼치는 민감도분석을 실시하였음
- 민감도해석결과 가장 큰 영향을 주는 투수계수의 측정에 대한 논의, 유효공극률에 대한 논의 다루었으며, 암거간격이 10m이내여야 한다는 규정에 대한 검토의 필요성을 제기하였음
- 지하관개 급수장치의 계획안을 제시하였음
- 강우량에 따른 지하수위의 변화, 토양함수비의 변화를 분석하고, 시뮬레이션 프로그램인 DRAINMOD의 적용결과와의 비교를 실시함

마. 범용화 사업을 위한 제안

- 범용화 사업을 위한 작물별 적정지하수위 분석, 범용화사업 대상지의 제시, 설계기준에 대한 검토사항을 제시하였음
- 향후 범용화사업 대상지 선정시 고려해야할 사항으로 단지운영에 관한 사항 및 타 사업과의 연계성을 제시함

목 차

제1장 서론	1
1.1 연구의 배경	3
1.2 연구의 필요성	5
1.3 연구목표	5
1.4 주요 연구내용	6
제2장 배수가 토양에 미치는 영향	7
2.1 농경지 침수사례	9
2.1.1 시설농경지 침수사례	9
2.2 배수가 토양의 물리화학성에 미치는 효과	10
2.2.1 침수가 작물에 미치는 영향	10
2.2.2 배수처리의 효과	16
2.2.3 배수에 의한 피해	19
2.3 논토양과 밭토양의 차이점	22
2.3.1 환경적인 차이점	22
2.3.2 배수등급별 토양화학성	27
2.3.3 콩 재배적지	28
2.3.4 양파 재배적지	36
2.4 적정 배수시설	41
제3장 국내외 농지범용화 사례	51
3.1 국내 연구사례	53
3.1.1 밀양	53
3.2 국내 사업화 사례	54
3.2.1 범용화 관련 사업	54
3.2.2 인삼재배단지	54
3.2.3 과수재배단지	55
3.2.4 간척지 제염암거 시공사례	56
3.3 국외 연구사례	56
3.4 국외 사업화 사례	62
3.4.1 일본 범용농지 활용기술	62
3.4.2 네덜란드 범용농지 활용기술	68
3.5 범용농지 기계화	69
3.5.1 배수암거 매설 장치	69
3.5.2 발농업기계화	72

제4장 밭작물 논 재배현황 분석	77
4.1 국내의 작목별 현황	79
4.1.1 논·밭전환 현황	79
4.1.2 식량작물(콩)	80
4.1.3 양파	86
4.1.4 밭작물 재배 면적 증감 분석	88
4.2 작목별 가격 및 수급 동향 분석	91
4.2.1 일반작물	91
4.2.2 콩	96
4.2.3 주요 채소(양파)	103
4.2.4 서류	105
제5장 범용농지 시험포 운영	107
5.1 설계기법 분석	109
5.1.1 개요	109
5.1.2 암거의 매설깊이	110
5.1.3 암거의 매설간격	113
5.1.4 암거의 관경 및 기울기	122
5.1.5 암거의 구조 및 재료	126
5.2 설계인자 분석	130
5.2.1 단위계획배수량 및 지하수위	130
5.2.2 투수계수(Permeability coefficient)	138
5.2.3 배수에 대한 유효간극률(Drainable porosity)	146
5.2.4 암거의 유효반경(Effective radius of drains)	148
5.2.5 「배수편」에 의한 제약사항	149
5.3 지하관개를 위한 급수장치	150
5.3.1 지하관개용 급수장치 개념	150
5.3.2 수위제어시설	151
5.3.3 수위관리시설	151
5.3.4 시험포 수위조절장치 설계	153
5.4 시험포 설계	154
5.4.1 개요	154
5.4.2 시험포 평면 계획	156
5.4.3 모니터링 설계	159
5.4.4 시험포 토양특성	161
5.4.5 현장 시공시 조사내용	163

5.5 시험포 시공	168
5.5.1 암거 시공	168
5.5.2 집수거 시공	173
5.5.3 암거와 집수거 연결 및 배수확인	177
5.5.4 부대공	181
5.5.5 모니터링 장치 설치	182
5.6 시험포 모니터링	192
5.6.1 강우량	192
5.6.2 지하수위	192
5.6.3 토양수분	196
5.6.4 배수량	199
5.6.5 DRAINMOD Simulation	200
5.7 증수효과 분석	224
5.7.1 시험포 하계작물식재 및 관리	224
5.7.2 증수량 분석	225
5.7.3 동계작물의 모종이식 및 토양함수비 모니터링	227
제6장 범용화 사업을 위한 제안	231
6.1 적정 지하수위	233
6.1.1 미국	233
6.1.2 네덜란드	234
6.1.3 우리나라	235
6.2 사업대상지	243
6.3 설계기준 검토사항	250
6.3.1 개요	250
6.3.2 여과재(Filter envelope)	251
6.3.3 투수계수	259
6.3.4 암거 내의 최소 유속과 최대유속	278
6.3.5 유효간극률(Drainable porosity)	279
6.4 범용화 단지 운영	282
6.4.1 범용화 시장여건 SWOT분석	282
6.4.2 국내 관련사업 조사	283
6.4.3 범용화 사업 지구선정 기준	285
제7장 요약 및 결론	287
7.1 배수가 토양에 미치는 영향	289
7.2 국내의 농지범용화 사례	292

7.3 밭작물 논 재배현황 분석	296
7.4 범용농지 시험포 운영	299
7.5 범용화 사업을 위한 제안	305
참 고 문 헌	309

< 표 목 차 >

<표 2.1> 유체의 침수처리(개화기)에 의한 생육과 수량 비교	16
<표 2.2> 배수방법별 표토의 수분함량	20
<표 2.3> 배수처리 후 토양수분 변화	21
<표 2.4> 배수처리에 따른 시금치 뿌리분포 및 표층 EC 변화	21
<표 2.5> 수도작 지대에서 논과 밭의 차이점	23
<표 2.6> 토양성분의 밭(산화) 및 논(환원) 형태	23
<표 2.7> 논 및 밭토양의 특성비교	24
<표 2.8> 논 작부체계별 홍수조절과 지하수함양 기능	25
<표 2.9> 토양유실 저감 기능	26
<표 2.10> 논 작부체계별 대기정화, 기후순화 및 가축분 소화 기능 비교	26
<표 2.11> 논토양 배수등급별 화학성	27
<표 2.12> 밭토양 배수등급별 화학성	27
<표 2.13> 과수원토양 배수등급별 화학성	28
<표 2.14> 시설재배지토양 배수등급별 화학성	28
<표 2.15> 토양물리성과 대두 수량	34
<표 2.16> 양과 재배지 토양의 토양특성 요인강도	37
<표 2.17> 양과 재배지 지형 및 토양 적성 등급기준	38
<표 2.18> 우리나라 양과(마늘) 재배포장의 적성등급 구분	39
<표 2.19> 인경채류 재배지 토양화학성	40
<표 2.20> 화훼류 재배지 토양화학성	40
<표 2.21> 양과 비대기에 급변 온도처리가 생육특성과 수량에 미치는 영향	41
<표 2.22> 점토함량에 따른 투수성 평점	41
<표 2.23> 토층의 점토함량에 따른 투수성평가	42
<표 2.24> 배수불량지에서 토양과 지형에 따른 적정 배수방법	43
<표 2.25> 배수형태에 따른 공학적 요소	45
<표 2.26> 토성별 투수계수와 소배수로 깊이와 간격	45
<표 2.27> 투수계수와 암거깊이에 따른 암거간격(m)	46
<표 2.28> 암거관 내경에 따른 배수경사도	46
<표 2.29> 배수처리 후 토양수분 변화	46
<표 2.30> 논토양의 토성과 배수등급에 따른 수분침투율 비교	47
<표 2.31> 토성에 따른 배수간격 및 깊이	47
<표 2.32> 작물별 적정 토양 물리성	48
<표 2.33> 작물별 재배지의 토양깊이 기준	49
<표 2.34> 토지 생산성과 관련된 물리성 기준	49
<표 3.1> 암거간격별 지하수위 비교	55

<표 3.2> 암거에 따른 효과비교	55
<표 3.3> 주요 작물별 재배면적의 변화(단위 : 천 ha)	73
<표 3.4> 주요 작물의 생산액 변화(단위:10억원)	73
<표 3.5> 주요 작물의 10a당 생산비 (2013년)(단위: 천원)	73
<표 3.6> 밭농사 작업공정별 기계화율	75
<표 3.7> 주요 작물별 기계화율	75
<표 3.8> 영농규모별 밭농사 기계화율	75
<표 4.1> 연도별 논·밭 전환현황(ha)	79
<표 4.2> 최근 논 재배작물 동향(2010-2013)(단위 : ha)	81
<표 4.3> 연도별 콩 재배면적(논, 밭 구분) 변화	83
<표 4.4> 최근 주요 콩 생산국가의 재배면적 변화	84
<표 4.5> 주요 콩 재배국가의 최근 생산량 변화	85
<표 4.6> 콩의 재배면적 및 생산 추정	85
<표 4.7> 우리나라의 양과재배 현황	87
<표 4.8> 주요채소류 생산량 변화	87
<표 4.9> 논에서 재배되는 작물의 면적 증감	89
<표 4.10> 재배면적이 증가되는 작목을 선택한 이유	90
<표 4.11> 경기지역 벼 대체작물 정착사례	91
<표 4.12> 강원지역 벼 대체작물 정착사례	91
<표 4.13> 전체 곡물 자급률(단위 : %)	92
<표 4.14> 식량 자급률(사료용 제외)(단위 : %)	92
<표 4.15> 주요 식량작물 식량자급률 목표치 재설정(단위 : %)	93
<표 4.16> 식량자급률 목표치(단위 : %)	94
<표 4.17> 국제곡물가격동향(단위 : \$/톤)	95
<표 4.18> 연도별 의무수입물량(MMA) 도입현황 및 계획(단위:천톤)	95
<표 4.19> 쌀의 생산, 수급 및 소득 변화	96
<표 4.20> 콩의 생산, 수입 및 소비실적	97
<표 4.21> 최근 10년간 재배면적, 단위수량 및 생산량 변화	97
<표 4.22> 2014년 콩 재배면적 추정 (단위 : ha)	97
<표 4.23> 콩 용도별 소비량(단위 : 천톤)	98
<표 4.24> 논 콩 이용 작부체계별 경제성 비교 ('06~'08, 식량원 농가실증시험)	99
<표 4.25> 월별 콩 도매가격 동향 (백태)	99
<표 4.26> 식용 콩 수입실적	100
<표 4.27> 주요 콩 생산국가의 유통(백만 t)	102
<표 4.28> 주요 콩 수입국가의 수입량 변화	102
<표 4.29> 주요 콩 수출국 별 무역 현황	103
<표 4.30> 주요채소류 생산량 변화	104

<표 4.31> 양과 수급실적(천t)	104
<표 4.32> 양과 도매가격 동향 (상품)	105
<표 4.33> 우리나라의 고구마 생산 추이	106
<표 4.34> 우리나라의 감자 생산 추이	106
<표 5.1> 암거배수 기준치	110
<표 5.2> 동결심 계산 예(삽교천 1953년~1972년 평균)	111
<표 5.3> 파이프암거의 일반적인 매설깊이와 간격	113
<표 5.4> 민감도 분석의 종류	118
<표 5.5> 민감도 분석을 위한 입력변수 조건 (정류방정식)	119
<표 5.6> 민감도 분석을 위한 입력변수 조건 (부정류 시)	121
<표 5.7> 흡수거의 조도계수	123
<표 5.8> 흡수거의 유량, 유속계산표	124
<표 5.9> 암거의 최소 기울기(ASAE, 1998)	125
<표 5.10> 흡수관의 종류와 장·단점 비교	127
<표 5.11> 논 지표잔류수의 허용일수	135
<표 5.12> 토양의 종류에 따른 암거배수량	136
<표 5.13> 지하수위 및 저하일수	137
<표 5.14> 배수시스템에서 일반적인 배수계수의 값(ASAE, 1998)	138
<표 5.15> 강우에 따른 배수계수	138
<표 5.16> 흙의 종류별 대표적인 투수계수의 범위	139
<표 5.17> 토양특성에 따른 유효간극률	147
<표 5.18> 암거의 유효반경	149
<표 5.19> 모니터링 계획	159
<표 5.20> 시험토 토양의 물리적 특성	161
<표 5.21> 심도별 현장단위중량	163
<표 5.22> 압력식 수위자동기록기 재원	184
<표 5.23> 강우량계 재원	189
<표 5.24> 포화 시 체적 함수비	197
<표 5.25> 콩 수량 및 수량구성요소	225
<표 6.1> 유기질토에서 고품질 다수확을 위한 채소작물의 지하수위(cm)	233
<표 6.2> 지하수위에 따른 작물의 수량지수 차이	234
<표 6.3> 지하수위별 작물의 질소비료 시용효과	234
<표 6.4> 우리나라 농경지 토양 물리성 개량 기준	235
<표 6.5> 논토양의 유형별 분류 기준	236
<표 6.6> 밭토양 적성등급 구분 기준	237
<표 6.7> 논토양의 시설재배적지 추천기준	237
<표 6.8> 작물별 재배에 필요한 지하수위	239

<표 6.9> 작물별 최적 입단 크기 분포	239
<표 6.10> 작물별 뿌리의 호흡에 영향을 미치는 산소농도	240
<표 6.11> 작물별 뿌리생육을 장애하는 토양경도	240
<표 6.12> 윤회전에 대한 작물 적응성	241
<표 6.13> 토성과 답전윤회지의 작황지수 비교	242
<표 6.14> 경사별 답전윤회지의 작황비교	242
<표 6.15> 지하수위와 작황비교	242
<표 6.16> 지형과 답전윤회지의 작황지수 비교	243
<표 6.17> 논토양 A경사(0~2%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위:ha)	245
<표 6.18> 평야지와 산가지의 특징	246
<표 6.19> 논토양 B경사(2~7%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위 : ha)	248
<표 6.20> 밭작물 안전재배를 위하여 배수시설 필요에 따른 논 면적 (단위 : ha)	248
<표 6.21> 밭토양 A경사(0~2%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위 : ha)	249
<표 6.22> 밭토양 B경사(2~7%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위 : ha)	249
<표 6.23> 밭작물 안전재배를 위하여 배수시설 필요에 따른 농경지 면적 (단위 : ha)	250
<표 6.24> 흙과 여과재의 입도분포 관계(USBR, 1978, 1993)	256
<표 6.25> 투수계수에 따른 최대 허용 동수경사	274
<표 6.26> 흙의 종류별 최대 허용유속	279
<표 6.27> 논벼 대체작목 개발을 위한 시장여건(SWOT 분석)	283

< 그림 목 차 >

[그림 2.1] 침수사례	9
[그림 2.2] 토양배수여건을 고려한 영농 형태(전북김제)	10
[그림 2.3] 목화의 침수 10일간의 초장 변화	11
[그림 2.4] 목화의 생육초기 10일간의 침수처리 후 지하부(B)와 자상부(C)의 건물중 비교	11
[그림 2.5] 단기간 침수처리가 목화 생육에 미치는 영향	12
[그림 2.6] 콩의 수경재배에서 용액의 산소농도와 온도에 따른 콩의 생존율 비교	13
[그림 2.7] 콩 수경재배에서 온도와 용액의 산소농도에 따른 협중과 건물중과의 관계	13
[그림 2.8] 콩의 관행구에 대한 침수처리구의 생체중과 질소함량비율 분포	14
[그림 2.9] 개화기 침수일수와 유채생육(A), 침수일수 0(B)와 6(C)의 비교	15
[그림 2.10] 수도 생육기간 중 단수처리에 의한 벼의 As 함량변화	17
[그림 2.11] 배수처리에 의한 토양의 물리, 화학 및 수문학적 변화와 작물생육	18
[그림 2.12] 배수깊이에 따른 토양의 수분과 공기 함량 변화	19
[그림 2.13] 배수방법별 표토의 수분함량(X)와 분포도(Y)	20
[그림 2.14] 지형에 따른 물의 이동	22
[그림 2.15] 논토양에서 무기 질소의 산화와 환원	24
[그림 2.16] 콩의 발아	29
[그림 2.17] 콩의 뿌리	29
[그림 2.18] 생육시기 별 콩의 총 건물 중 변화	30
[그림 2.19] 생육시기별 콩의 질소 흡수	30
[그림 2.20] 생육시기별 콩의 칼리 흡수	30
[그림 2.21] 작토심과 콩의 수량과의 관계	31
[그림 2.22] 토양의 가비중과 경도에 따른 콩 생육적지와 부적지 분포	31
[그림 2.23] 작물생육에 적정 삼상분포 (DAIKI, 2003)	32
[그림 2.24] 토양물리성과 콩 수량 (조인상, 1991)	33
[그림 2.25] 유효토심별 토층에 보유 물량 변화 (조인상 등, 1989)	33
[그림 2.26] 파종 후 토양의 수분함량과 지하수위 변동	34
[그림 2.27] 지하수를 조절하는 시험장치	35
[그림 2.28] 지하수위별 토심별 콩의 생육시기별 토양수분함량.	35
[그림 2.29] 깊고 넓은 배수관과 얇고 좁은 배수관 설치	42
[그림 2.30] 루안다-우간다 국경지대에서 침수에 대비한 두류의 고품 재배	43
[그림 2.31] 지하배수 물의 이동	44
[그림 2.32] 지형에 따른 배수체계	44
[그림 2.33] 1열 암거시설 모형	45
[그림 3.1] 수갑 설치사례	53
[그림 3.2] 시험포 유품관 설치 단면 개념도	53

[그림 3.3] 인삼재배단지에서의 암거배수	55
[그림 3.4] 제염암거 시공사례	56
[그림 3.5] 지하배수암거 개념도	57
[그림 3.6] 암거 세척용 장치	57
[그림 3.7] 유지관리용 맨홀	58
[그림 3.8] 관내세척용 노즐이나 막대 관입구	58
[그림 3.9] 맨홀방식 수갑	59
[그림 3.10] 명거배수 단면도	60
[그림 3.11] 섬프(sump) 설치 사례	60
[그림 3.12] 지구단위 지하배수암거의 다양한 조합 예	61
[그림 3.13] 토양배수를 위한 분야별 전문지식을 다룬 예	61
[그림 3.14] 2011년 일본의 논 현황(平成23년)	62
[그림 3.15] 2012년 일본의 논 현황(平成24년)	62
[그림 3.16] 일본의 FOEAS시스템	63
[그림 3.17] SPIDI 시스템의 평면도	64
[그림 3.18] SPIDI 시스템의 단면도	65
[그림 3.19] 급수제어 메카니즘	65
[그림 3.20] 지표급수 개념도	66
[그림 3.21] 갈수기 때 질수 개념도	66
[그림 3.22] 수도작 간단관계 개념도	67
[그림 3.23] 강우시 여수토에 의한 배수 개념도	67
[그림 3.24] 네덜란드 배수시스템	68
[그림 3.25] 네덜란드 저류형 배수로	68
[그림 3.26] 물 드레인 기술 “Cutdrain”(일본사례)	69
[그림 3.27] 물 드레인 장치(일본 사례)	70
[그림 3.28] 트랜치를 파는 형식의 흡수거 매설 장치	70
[그림 3.29] 수직쟁기날 형식의 흡수거 매설 장치	71
[그림 3.30] V형 쟁기날 방식의 흡수거 매설장치	71
[그림 3.31] 두거지 암거 설치 장치	72
[그림 3.32] 정확한 구배 시공을 위한 레이저 측량	72
[그림 4.1] 연도별 논과 밭 변환 면적 추이	82
[그림 4.2] 연도별 콩 재배면적 추이	82
[그림 4.3] 육류 1kg을 생산하는데 소요되는 콩 소요량	83
[그림 4.4] 콩과 연관된 생산물	84
[그림 4.5] 세계 콩 재배면적 변동추이	86
[그림 4.6] 세계 콩 생산량 변동 추이 (백만t)	86
[그림 4.7] 주요 양과 생산국의 생산량(건물) 비교	88

[그림 4.8] 콩을 기본으로 하는 주요 작부체계	98
[그림 4.9] 일별 콩 도매가격 동향	100
[그림 4.10] 콩과 육류(돼지, 닭)의 생산	101
[그림 4.11] 국가별 콩 소비량	101
[그림 4.12] 세계의 콩의 유통	103
[그림 4.13] 양파의 가격 변동	105
[그림 5.1] 지하관개 및 지하배수 개요	109
[그림 5.2] 정류방정식을 이용한 설계의 설계변수	114
[그림 5.3] 부정류방정식을 이용한 설계의 설계변수	116
[그림 5.4] 지하관개 개요	117
[그림 5.5] 정류방정식에서 변수의 상관계수(정규분포)	120
[그림 5.6] 정류방정식에서 변수의 상관계수(등분포)	120
[그림 5.7] 부정류방정식에서 변수의 상관계수(정규분포)	121
[그림 5.8] 부정류방정식에서 변수의 상관계수(등분포)	122
[그림 5.9] 암거배수량	125
[그림 5.10] 흡수거 피복단면	128
[그림 5.11] 배수기구의 모식도(지표 잔류수 배제(위), 토양수 배제(아래))	131
[그림 5.12] 정수두 투수실험법	141
[그림 5.13] 변수두 투수실험법	142
[그림 5.14] 현장투수실험의 종류	143
[그림 5.15] 시추공법의 개념도(좌 Stage I, 우 Stage II)	145
[그림 5.16] 지하수위 저하에 따른 유효간극률의 이해	146
[그림 5.17] 토양의 투수계수에 따른 유효간극률	148
[그림 5.18] FOEAS 시스템의 지하관개용 급수장치	150
[그림 5.19] FOEAS 시스템 수위제어기의 설정상황	151
[그림 5.20] 수위관리기 장치관	152
[그림 5.21] 수위관리기 각부 기능	152
[그림 5.22] 암거 유출부 수위조절 장치	153
[그림 5.23] 암거 유입부 수위조절 장치	154
[그림 5.24] 시험포 위치 및 주변환경	155
[그림 5.25] 시험포 평면계획	156
[그림 5.26] 집수 및 배수계획	157
[그림 5.27] 시험포 설계인자	158
[그림 5.28] 시험포 모니터링 계획	160
[그림 5.29] 시험포 토양의 입도분포곡선	161
[그림 5.30] 심도별 단위중량 확인	162
[그림 5.31] 흡수거 line별 번호	163

[그림 5.32] Line 1 현장기록 사항	164
[그림 5.33] Line 2 현장기록 사항	164
[그림 5.34] Line 3 현장기록 사항	165
[그림 5.35] Line 4 현장기록 사항	165
[그림 5.36] Line 5 현장기록 사항	166
[그림 5.37] Line 6 현장기록 사항	166
[그림 5.38] Line 7 현장기록 사항	167
[그림 5.39] Line 8 현장기록 사항	167
[그림 5.40] 배수암거 단면도	168
[그림 5.41] 유공관	169
[그림 5.42] 부직포 필터 감싸기	169
[그림 5.43] 터파기	170
[그림 5.44] 소수재 채우기	170
[그림 5.45] 공기변 설치	171
[그림 5.46] 수갑 설치	171
[그림 5.47] 암거 레벨 확인(I)	172
[그림 5.48] 암거 레벨 확인(II)	172
[그림 5.49] 집수거 설치전 표토 모으기	173
[그림 5.50] 집수정 터파기 및 맨홀 거치	174
[그림 5.51] 집수거 터파기	174
[그림 5.52] 집수거 천공	175
[그림 5.53] 집수거 레벨확인	175
[그림 5.54] 집수거 파이프 연결 및 부직포 감싸기	176
[그림 5.55] 집수거 배설후 되메우기	176
[그림 5.56] 집수거 시공후 표토 재시공	177
[그림 5.57] 암거-집수정 T 연결관	178
[그림 5.58] 암거-집수정 L 연결관	178
[그림 5.59] 암거-집수정 연결	179
[그림 5.60] 암거-집수정 전체 연결 완료	179
[그림 5.61] 암거 배수확인	180
[그림 5.62] 암거 배수구 정리	180
[그림 5.63] 물탱크 설치	181
[그림 5.64] 집수정내 배수 펌프 설치	181
[그림 5.65] 지하수위 관측공 천공	182
[그림 5.66] 지하수위 관측공 삽입	183
[그림 5.67] 지하수위 관측공 보호 및 수위계 설치 I	183
[그림 5.68] 지하수위 관측공 보호 및 수위계 설치 II	184

[그림 5.69] 토양수분 자동 모니터링 시스템 구축(예)	185
[그림 5.70] FDR 토양수분 모니터링 장비와 설치	186
[그림 5.71] 강우량계 기초 및 지주대 설치	187
[그림 5.72] 강우량계 수평확인 및 거치	187
[그림 5.73] 강우량계 내부 tipping bucket	188
[그림 5.74] 강우량계 Data logger 함체 설치	188
[그림 5.75] 배수량 모니터링 계획	189
[그림 5.76] 배수량 측정용 강우량계 거치대 설치	190
[그림 5.77] 배수량 측정용 강우량계 거치	190
[그림 5.78] 배수량 측정용 강우량계 Data logger 함체 설치	191
[그림 5.79] 배수량 수동계측	191
[그림 5.80] 시험포 강수량 계측결과	192
[그림 5.81] 구역 1의 지하수위 변화	193
[그림 5.82] 구역 2의 지하수위 변화	193
[그림 5.83] 구역 3의 지하수위 변화	193
[그림 5.84] 시험포 전체 지하수위 변화	194
[그림 5.85] 강우에 따른 구역 1의 지하수위 변화	195
[그림 5.86] 강우에 따른 구역 2의 지하수위 변화	195
[그림 5.87] 강우에 따른 구역 3의 지하수위 변화	195
[그림 5.88] 강우에 따른 시험포 전체 지하수위 변화	196
[그림 5.89] 강우에 따른 구역 1의 토양함수비 변화	198
[그림 5.90] 강우에 따른 구역 3의 토양함수비 변화	198
[그림 5.91] 강우에 따른 구역 1의 배수량 변화	199
[그림 5.92] 강우에 따른 구역 2의 배수량 변화	199
[그림 5.93] 강우에 따른 시험포 전체 배수량 변화	200
[그림 5.94] DRAINMOD 프로그램	201
[그림 5.95] DRAINMOD로 해석되는 지하관개 및 지하배수 개요	201
[그림 5.96] SEW-30의 시뮬레이션 예	204
[그림 5.97] 작물의 수확량과 관계의 예	204
[그림 5.98] System design parameter 입력화면(DRAINMOD)	205
[그림 5.99] System design parameter diagram(DRAINMOD)	205
[그림 5.100] Seepage parameter 입력화면(DRAINMOD)	206
[그림 5.101] Slope seepage diagram(DRAINMOD)	206
[그림 5.102] Soil-Water characteristic 입력화면(DRAINMOD)	207
[그림 5.103] 7종의 흙에 대한 Soil-Water characteristic	207
[그림 5.104] 흙의 종류에 따른 Water table-Upward Flux 관계	208
[그림 5.105] Green-Ampt equation parameter 입력화면(DRAINMOD)	209

[그림 5.106] Green and Ampt 모델(좌 함수분포, 우 매개변수)	209
[그림 5.107] Sprinkler infiltrometer test example	213
[그림 5.108] Green-Ampt equation parameter A, B	213
[그림 5.109] Weather parameter 입력화면(DRAINMOD)	214
[그림 5.110] 강우량 및 기온자료 파일 형식(DRAINMOD)	215
[그림 5.111] DRAINMOD output 텍스트파일	216
[그림 5.112] DRAINMOD Graphing utility	217
[그림 5.113] DRAINMOD output example(Rainfall-Dry zone depth)	217
[그림 5.114] DRAINMOD output example(Rainfall-Water table depth)	218
[그림 5.115] DRAINMOD output example(Rainfall-Drainage)	218
[그림 5.116] DRAINMOD output example(Rainfall-Infiltration)	218
[그림 5.117] 시험포 입력자료(System Design)	219
[그림 5.118] 시험포 입력자료(Soil Water Characteristic)	219
[그림 5.119] 시험포 Soil Water Characteristic 곡선(추정값)	220
[그림 5.120] 시험포 입력자료(Drain Vol-UpFlux)	220
[그림 5.121] 시험포 Drain Vol-UpFlux 곡선(추정값)	221
[그림 5.122] 시험포 입력자료(Infiltration)	221
[그림 5.123] 시험포 입력자료(Weather-rain)	222
[그림 5.124] 구역 1의 지하수위 DRAINMOD Simulation 결과	223
[그림 5.125] 구역 2의 지하수위 DRAINMOD Simulation 결과	223
[그림 5.126] 작물 생육 사진	224
[그림 5.127] 증수량 분석	225
[그림 5.128] 수확기 포장상태	226
[그림 5.129] 토양함수비 센서 튜브 삽입을 위한 오거작업	227
[그림 5.130] 함체 설치 및 토양함수비 센서 연결	228
[그림 5.131] 쏘라판넬 연결	228
[그림 5.132] 토양함수비 센서 설치 완료	229
[그림 6.1] 식물뿌리 발달	238
[그림 6.2] 농경지이용 모식도 (조인상, 김이열, 1999)	243
[그림 6.3] 평탄지(경사 0~2%)에서 토성과 배수등급별의 배수시설 기준	245
[그림 6.4] 매우약한 경사지(경사 2~7%)에서 토성과 배수등급별 배수시설 기준	247
[그림 6.5] 토양의 입경에 따른 구분	253
[그림 6.6] 토양의 입도분포곡선(예)	253
[그림 6.7] 암거 내에 막힘을 유발할 수 있는 토양의 입도분포의 범위	255
[그림 6.8] 변수두 투수실험법(2)	261
[그림 6.9] Mariotte bottle의 개념도	262
[그림 6.10] Constant flowrate/flow pump test	263

[그림 6.11] Falling head - Constant volume	265
[그림 6.12] Constant head - Constant volume	265
[그림 6.13] 다공질 침투법의 개념도(좌 End open, 우 End close)	267
[그림 6.14] 침투법의 종류	268
[그림 6.15] 밀봉형 이중링 침투법 (SDRI)의 개념도	272
[그림 6.16] 동수경사에 따른 투수계수의 변화	273
[그림 6.17] 점토입자의 구조	274
[그림 6.18] 다짐에너지와 함수비가 투수계수에 미치는 영향	275
[그림 6.19] 투수계수의 등방성과 비등방성 및 균질성과 비균질성	276
[그림 6.20] 이질의 토층으로 이루어진 지층에 대한 등가투수계수	276
[그림 6.21] 투수계수와 유효간극률의 관계 1. 점토 2. 점토함량 15% 3. 15% 점토함량 30%	280
[그림 6.22] 대표적인 체적밀도-총간극률-유효간극률 관계	281
[그림 6.23] 쌀 생산조정과 논벼 대체작물의 관계 (박평식 2013)	282
[그림 7.1] 범용화 사업화를 위한 계획단계 검토사항	307

범용농지조성 기반기술 개발(II)

Development of Technology for Multipurpose

Utilization of Paddy Field (II)

제1장 서론

제1장 서론

1.1 연구의 배경

- 지난 40년 동안 우리가 이룩했던 수출주도형 경제개발은 시대적으로 불가피했던 우리나라 경제개발의 한 방편이 되기는 했지만, 상·공업 편향적 개발방식으로 연결되어 지역간, 계층간, 산업간 불균형을 심화시켜 농업과 농어촌에 많은 문제점이 발생하였음
- 2013년 현재 총 답 면적 964천ha의 80.6%에 해당하는 777천ha가 수리답화 되었으며, 그의 65.9%인 636,738 ha가 기계화 영농이 가능한 경지정리가 이루어졌고, 답의 52.8%가 배수개선이 되어 대체적으로 안정적인 미곡생산이 가능하게 되었음
- 그러나, 품목별로 쌀의 자급률은 일정정도 유지가 가능한 실정이나 채소, 과일, 육류의 소요량은 증가하고 있어 발작물 재배가 제한적이어서 사료용을 제외한 밭 곡물 중 보리쌀의 자급률은 25.4%, 밀은 1.7%, 콩은 32.4%, 옥수수는 3.8%등에 이르고 있어 발작물의 대부분을 수입에 의존하고 실정임
 - 국민의 식생활 패턴의 변화로 1995년만 해도 1인당 연간 쌀 소비량이 106.5kg이던 것이 2011년에는 71.2kg에 불과 하는 등 소비량이 크게 감소하게 되었음
 - 사료를 포함한 곡물자급률은 2010년 27.6%이며, 2012년에는 23.6%로 하락하고 있으며, 사료를 포함하지 않은 순수 식량자급률은 2010년 54.1%, 2012년 45.3로 하락되고 있는 실정
 - 우리나라에서는 대표적인 발작물인 밀, 콩, 옥수수의 연간 수입금액이 각각 10%, 3.1%, 13.6%씩 증가하고 있으며 전체 농산물 수입액도 2005년에 7,397백만불, 2010년에는 13,957백만불, 2011년에는 18,362백만불로 증가하는 등 외국으로부터의 농산물 수입금액이 크게 증가하고 실정임

- 개도국의 식량용과 사료용 수요 증가, 바이오에너지용 수요 증가, 곡물 투기와 수출국의 수출제한 조치 등의 요인이 복합적으로 작용 국제곡물가 급등으로 2012년 기준 곡물가격지수가 2004년 대비 2.5배, 농산물 수입단가는 약 2배 상승하고 있는 실정
 - 국제곡물가격지수는 2004년 10월 100.7에서 2008년 4월에는 274.1로 상승한데 이어 2011년 4월 265.4로 상승, 2012년 9월에는 262.9로 지속적인 증가를 보이고 있음
 - 농산물 수입단가에 있어서도 2004년 대비 밀 1.9배, 대두 1.9배, 옥수수 1.7배 상승하고 있어 국내농산물 시장의 불안은 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있음
- 2012년 농림수산물통계연보 기준, 논에서 시설원예, 과채류 등 다양한 타 작물을 재배하기 시작하여 국내 논·밭 전환은 주로 논에서 밭으로 전환되는 면적(20,697ha)이 밭에서 논으로 전환되는 면적(3,600ha)보다 5.7배 높은 수준으로 변화하게 되었음
 - 논에서 밭으로 전환되는 면적은 1991년에 8.5천ha였으나, 2000년에는 7.2천ha 2010년에는 21.8천ha로 증가하였으나, 상대적으로 밭에서 논으로 전환되는 면적은 1991년 3.9천ha에서 2000년 7.6천ha, 2005년 1.7천ha, 2010년에는 4.8천ha수준임
- 또한, 한미, 한EU 발효, 한중 타결, 한일 FTA 협상 등은 우리 농가 경제에 부정적인 영향이 더욱 확대될 전망되며, 식량부족·기후변화가 심화되고 있는 상황에서 시의 적절하게 대비하지 못할 때 농가소득 감소로 농업정책에 대한 신뢰성이 상실될 우려가 있음
- 이러한 국내외 농업현실을 감안하여 정부에서는 쌀과 밭 곡물의 식량수급 불균형에 효과적으로 대처하기 위하여 쌀 생산량의 조정과 수입에 의존하고 있는 밀, 콩, 사료작물 등의 자급율을 높이기 위한 정책을 수립하고 있으나, 밭작물 재배기반은 여전히 취약한 실정
 - 논외 타 작물 재배 시범사업, 쌀을 정부에서 구매하여 농가소득을 보장해 주는 '쌀소득보전직불제', WTO 쌀재해협상의 입지를 강화하고 공급 과잉의 추세를 완화하기 위한 '생산조정제' 등의 다양한

대책을 추진하게 되었음

- 지구 온난화에 따른 이상기상 발생 빈도 및 강도의 증가는 기후 취약산업인 농업의 최대 위협요인으로 대두로 인해 홍수·가뭄 등 빈발에 따른 농업재해 뿐만 아니라 농작물 병충해·가축질병 증가로 농가의 경영위험은 더욱 상승할 전망

1.2 연구의 필요성

- 쌀 소비량 감소, 외국산 쌀 수입증가 및 농가의 고소득 추구 등 사회적인 변화에 의하여 논에서의 밭작물 재배가 증가하고 있어 한정된 농지를 활용하여 농지이용률을 제고하고, 안정적인 곡물 자급을 달성을 위한 대책 수립이 필요
- 현재의 농지 감소추세를 고려할 때 2020년 곡물자급을 32% 달성에 필요한 경작농지가 부족한 실정으로 이에 대한 국민의 먹거리를 담당할 수 있는 최소한의 농지확보가 필요
- 이처럼 식량안보의 농산물의 양적수준확보와 더불어 농산물의 부가가치의 상승, 농산업화를 통한 농업소득수준을 상승을 위한 농경지의 고도이용이 절대적으로 필요
- 그러나, 세계곡물 시장의 변화된 대한 안정적인 생산기반을 사전에 마련할 필요가 있으며, 이에 대한 기술력 확보, 재배기술 등 종합적인 대응책 마련이 요구되고 있음

1.3 연구목표

- 식량자급률을 높이고 농가소득을 증진하기 위하여 논을 대상으로 밭작물 재배가 가능하도록 용·배수시설 등을 정비하여 생산성을 향상시키고, 논·밭 전환이 가능한 고생산성 농지를 조성함으로써 미곡의 안정적 생산을 도모하고 수입 의존도가 높은 밭작물의 자급률을 높임으로써 안정적인 식량공급대책을 마련

1.4 주요 연구내용

- 배수가 토양에 미치는 영향
 - 기상변화에 따른 농경지 침수피해 사례 조사
 - 배수가 토양의 물리화학적 특성에 미치는 효과
 - 논토양과 밭토양의 차이점
 - 적정 배수시설
- 국내외 농지범용화 사례
 - 국내 연구 및 사업화 사례
 - 국외 연구 및 사업화 사례
 - 국내외 범용농지 기계화 동향
- 밭작물 논 재배현황 분석
 - 밭작물 작목별 논 재배 면적 추이 변화
 - 가격 및 수급 동향 분석
- 농지범용화 시험포 운영
 - 설계기법 분석
 - 시험포 설계 및 시공
 - 시험포 모니터링
 - 농작물 증수효과 분석
- 범용화 사업 제안 사항 제시
 - 적정 지하수위, 사업대상지, 설계기준 검토 사항
 - 범용화 사업 단지 운영

범용농지조성 기반기술 개발(II)
Development of Technology for Multipurpose
Utilization of Paddy Field (II)

제2장 배수가 토양에 미치는 영향

제2장 배수가 토양에 미치는 영향

2.1 농경지 침수사례

2.1.1 시설농경지 침수사례

집중강우 시 지표배수가 원활치 않을 경우 침수피해발생, 지하수위상승, 토층배수불량이 초래된다. 전라남도 곡성군에서는 2010. 8. 16~17일 국지성 집중호우로 185mm가 내렸으며, 전라북도 군산산업단지에서는 2012. 8. 13일에 국지성 집중호우로 400mm가 내려 시설하우스 등이 침수되는 피해가 발생하였다. 또한, 2011. 7월, 8월 집중호우로 계룡 219mm, 대전 187.5mm, 금산 146.5mm, 논산 137.5mm 가 내렸다([그림 2.1]). 배수여건이 불량한 지역일 경우 침수현상이 매우 빠르게 진행되어 피해규모가 크다. 지표수 및 지하수 배수불량에 의한 침수피해가 가중된다.

전북 김제지역의 논에서의 발작물 재배패턴을 조사한 결과 봄 감자를 심는 하우스내 이랑은 배수여건을 개선하기 위해 높게 만들고 있었으며 배수가 불량한 지역은 감자대신 청보리를 재배하고 있는 것으로 조사되었다([그림 2.2]).

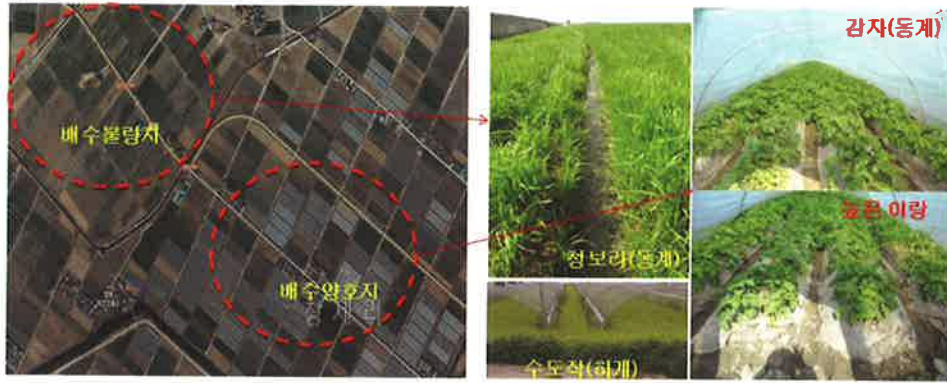


(a) 충남 논산



(b) 전북 익산

[그림 2.1] 침수사례



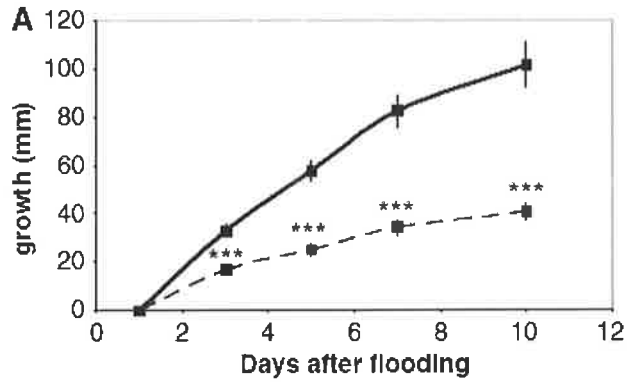
[그림 2.2] 토양배수여건을 고려한 영농 형태(전북김제)

2.2 배수가 토양의 물리화학성에 미치는 효과

2.2.1 침수가 작물에 미치는 영향

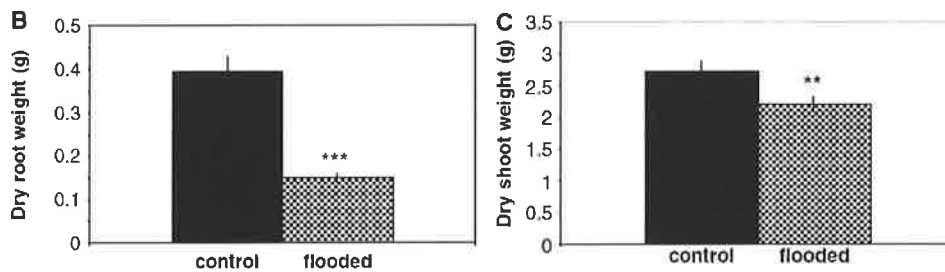
Donahue 등에 따르면 논에서 발작물 재배시 단기간에 많은 양의 강우가 내리거나 물빠짐이 빨리 이루어지지 않을 때 침수가 발생할 수 있는데, 침수에 따른 영향은 주로 토양 공극 내 산소가 부족하여 뿌리에서 메치오닌(아미노산)을 SAM(S-Adenosylmethionine)으로 변화시키고 이 SAM은 효소에 의하여 ACC(1-aminocyclopropane -1-carboxylic acid)로 변하며, 이 ACC는 다시 산소의 존재 하에서 에틸렌($H_2N=NH_2$)으로 변하여 식물생육을 저해한다. 또한, 뿌리로부터 수분의 흡수가 억제되어 증산량에 미치지 못하기 때문에 잎의 위조가 생기며, Gibberellic acid나 낙엽산(abscisic acid)같은 성장호르몬이 식물체의 이동경로에서 감소되어 생육에 장애가 된다. 혐기반응에 의하여 뿌리에서 독성물질이 생성되어 지상부로 이동하며, 혐기성 에너지 반응은 매우 미약하여 생육을 느리게 하고, 탄수화물의 분해로 유화수소, butyric acid, 휘발성 지방산 등 유해물질이 생성된다.

한 예로, 목화 생육초기의 10일간의 침수처리는 줄기신장을 급속히 감소시켜 제2일차부터 신장의 차이를 나타냈으며 침수 10일에는 줄기의 신장은 일반 대조구에 비하여 40% 수준에 머물렀다.



[그림 2.3] 목화의 침수 10일간의 초장 변화

(Jed A. Christianson, Danny J. Llewellyn, Elizabeth S. Dennis and Iain W. Wilson. 2010).

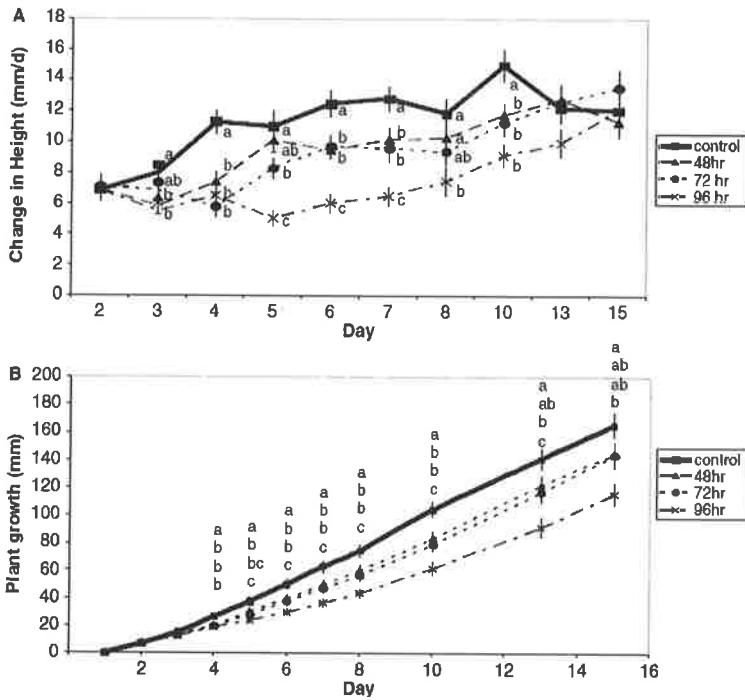


[그림 2.4] 목화의 생육초기 10일간의 침수처리 후 지하부(B)와 지상부(C)의 건물중 비교

(Jed A. Christianson, Danny J. Llewellyn, Elizabeth S. Dennis and Iain W. Wilson. 2010)

침수 처리 시에는 목화의 생장이 억제되는데 특히 뿌리의 발육이 억제되어 뿌리의 건물중은 대조구의 38%로 떨어졌고 지상부는 80%수준이었다.

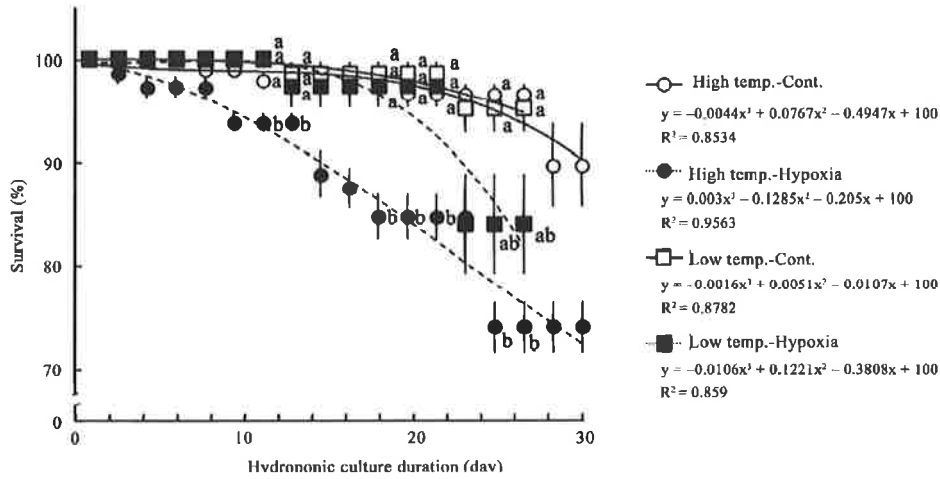
한편 4일 이내의 단기 침수처리도 목화의 신장을 감소시켰는데 특히 4일 침수처리는 다음날 주간의 하루신장속도가 대조구의 27%로 심하게 저해를 받았으며 이러한 피해는 누적되어 침수처리 후 15일 까지 초장에 큰 영향을 주었다.



[그림 2.5] 단기간 침수처리가 목화 생육에 미치는 영향

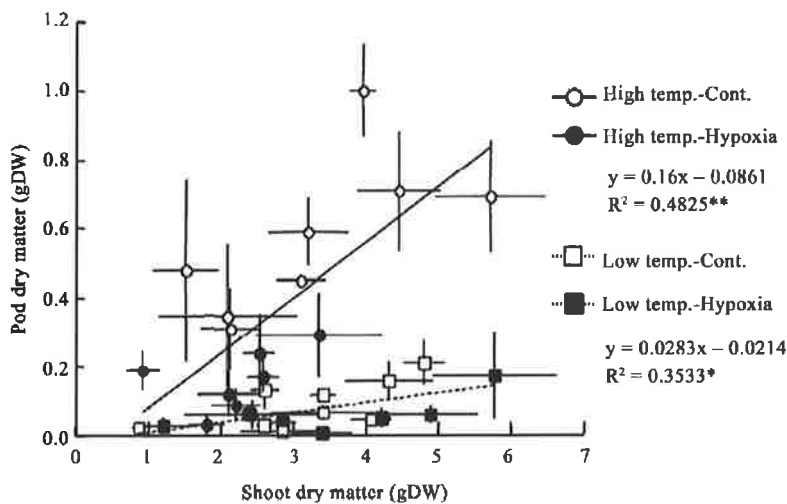
(Ted A. Christianson, Danny J. Llewellyn, Elizabeth S. Dennis and Iain W. Wilson. 2010).

또한, 최근에 Yutaka는 8개 품종의 콩을 수경재배를 통하여 온도와 산소농도에 따른 생육관찰 결과를 보고하였는데, 산소부족에 따른 콩의 생존율을 [그림 2.6]에서 보면 적당한 온도와 산소가 콩의 생존에 꼭 필요하다는 것을 알 수 있었다. 모든 시험구에서 산소부족은 시간이 경과함에 따라 직선적으로 감소하였으며 그 감소 정도는 산소부족 시 현저하였고, 저온 보다는 적온에서 더 빨리 감소되었다.



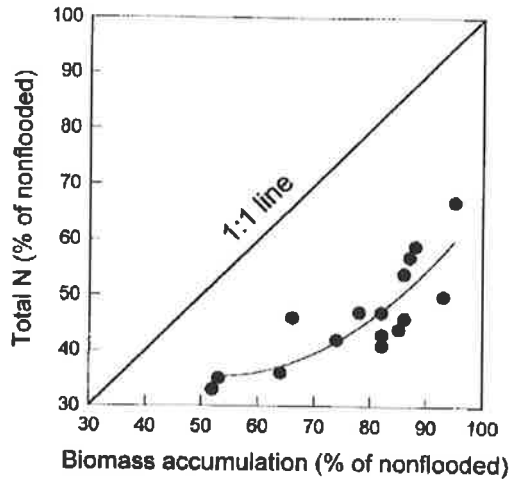
[그림 2.6] 콩의 수경재배(Hydroponic culture)에서 용액의 산소농도와 온도에 따른 콩의 생존을 비교 (Yutaka Jitsuyama. 2013)

한편 지상부 건물중(shoot dry matter) 대비 꼬투리 건물중(pod dry matter) 비율은 적당한 온도, 충분한 산소상태에서 모두 높았고, 산소농도가 낮아지거나 온도가 낮아지면 생존율도 현저히 떨어졌다. 이들 상호관계는 높은 온도($R^2=0.4825$, $N=16$)나 낮은 온도($R^2= 0.3533$, $N=16$)에서는 유의성이 있었으나 전체로는 $R^2= 0.0854$, $N=32$ 로 유의성이 없었다.



[그림 2.7] 콩 수경재배에서 온도와 용액의 산소농도에 따른 협중과 건물중과의 관계 (Yutaka Jitsuyama. 2013).

콩이 침수되었을 때는 전체 건물중의 감소보다 총질소함량의 감소가 더 뚜렷하였다. 즉 침수시의 총건물생산량과 질소함량을 일반구와 비교한 비율을 [그림 2.8]에서 보면 1:1 선에서 아랫부분에 분포하여 총건물중의 비율은 90% 까지 도달하였으나 질소함량은 일반구의 60%수준에 머물렀다.



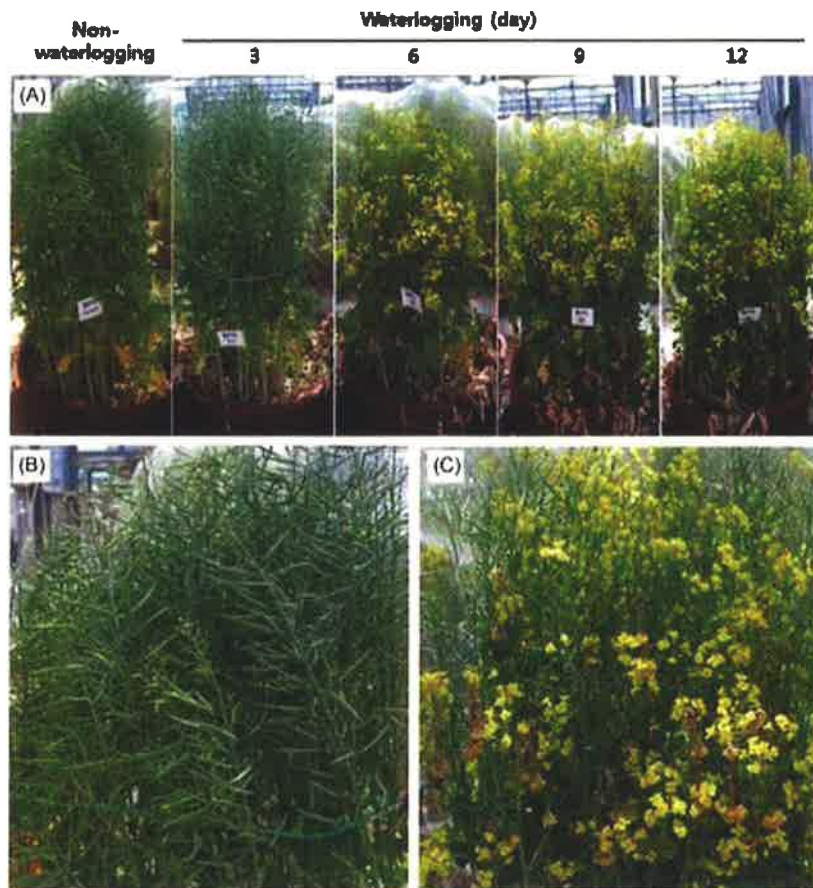
[그림 2.8] 콩의 관행구에 대한 침수처리구의 생체중과 질소함량비율 분포 (Methode Bacanamwo and Larry C. Purcell. 1999).

최경진(1994)은 콩 4개 품종을 가지고 지하수위를 5-6cm로 유지한 후 처리기간을 5, 10, 15일로 하여 습해정도를 관찰한 결과 습해에 의한 지하부 및 지상부 생육은 개화기 처리보다 영양생장기처리에서 현저히 저하되었고, 엽질소, 엽록소 함량 및 근류균 활력 등은 생리적 형질은 영양생장기와 개화기에 모두 민감하게 저하되었다.

우리나라에서 내습성 정도가 다른 콩 5개 품종을 가지고 V5와 R2시기에 10일간 표면 2cm 깊이로 침수처리를 한 결과 건물중의 일당 증가량은 대조구에 비하여 풍산나물콩과 무한콩의 침수구는 46, 51%였으나 장엽콩과 명주나물콩은 9, 18%로 현저히 떨어져서 내습성이 약한 것으로 판단되었다(이재은, 2005).

이영화 등(2014)이 유채 개화기에 침수일수를 달리하여 침수 피해를 본 결과는 <표 2.1>과 [그림 2.9]와 같이 침수3일구는 초세는 큰 차이가 없었으나 침수 6일 이상에서는 생육과 수량이 현저히 떨어졌다. 개화기 6일 침수에 의하여 탐라유채는 수량이 13%로 급감하였으나 같은 처리에서 내

한유채는 수량이 70%선을 유지하고 있어서 침수에 강한 품종으로 선발되었다(이영화, 이태성 등. 2014).



[그림 2.9] 개화기 침수일수와 유채생육(A), 침수일수 0(B)와 6(C)의 비교(이영화 등 2014)

<표 2.1> 유체의 침수처리(개화기)에 의한 생육과 수량 비교

품종	침수 일수	초장 (cm)	협수/주	알수/협	등숙율 (%)	천립중 (g)	수량 (g).
담라	0	142	94	22	88	2.89	150(100)
	3	143	100	25	92	2.91	132(88)
	6	136	94	15	53	2.60	47(31)
	9	139	82	17	67	2.35	42(28)
	12	133	66	22	77	2.46	39(26)
내한	0	155	126	23	91	2.16	239(100)
	3	155	136	23	92	2.58	221(92)
	6	56	111	25	93	2.48	167(70)
	9	154	56	24	84	2.31	111(46)
	12	152	45	21	73	2.44	60(25)

* 이영화, 이태성, 김보빈, 하수옥, 김광수, 장영석, 최인후. 2014

한편 Zhou 등은 목화의 침수처리 이후에는 질소비료를 주는 것이 피해를 감소시키는데 효과가 있다고 보고하였다(Zhigou Zhou, Derrick M. Oosterhuis. 2012).

2.2.2 배수처리의 효과

가) 습토는 대개 식질이나 유기질토로 배수하면 더 생산성을 높인다.

나) 토양수분함량이 적으면 이른 봄에 토양온도를 향상시켜 화학반응이 촉진되고 양분흡수가 향상된다.

다) 배수시키면 큰 포장의 특성이 균일화되어 경운, 파종, 수확작업의 시기를 정하고 작업능률을 높인다.

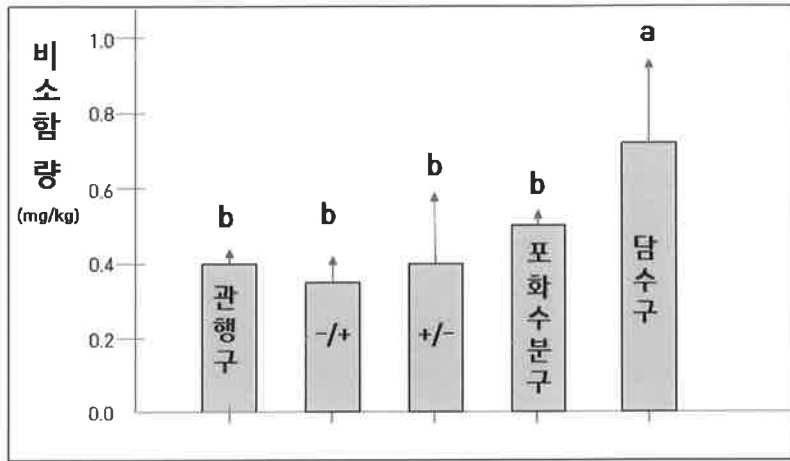
라) 산화조건에서 성장하는 호기성균의 활력을 높여서 유기물의 분해를 촉진하고 유효양분의 함량이 많아진다.

마) 환원상태에서 일어나는 탈질현상을 낮춘다.

바) 무기염류, 에틸렌가스, 메탄가스, 부틸산, 유화물, 철분, 망간 등 독성물질의 생산을 감소시킨다.

대만에서 논토양의 생육시기별로 논을 말려서 산화 상태를 만듦으로써 항상 담수구(Flooding)에 비하여 쌀 중의 As 함량이 유의성 있게 감소하였다. 논토양을 건답상태로 처리한 시기는 유수분화기(관행구), 분얼기-유

수분화기((-1+), 등숙기(+1)이었고, 포화수분(Saturated)구와 전 기간 담수 상태(Flooding)구를 두었다(Lee Chia-Hsing, Chun-Chi Tsui, Hong-Yuh Guo and Zueng-Sang Chen. 2014).



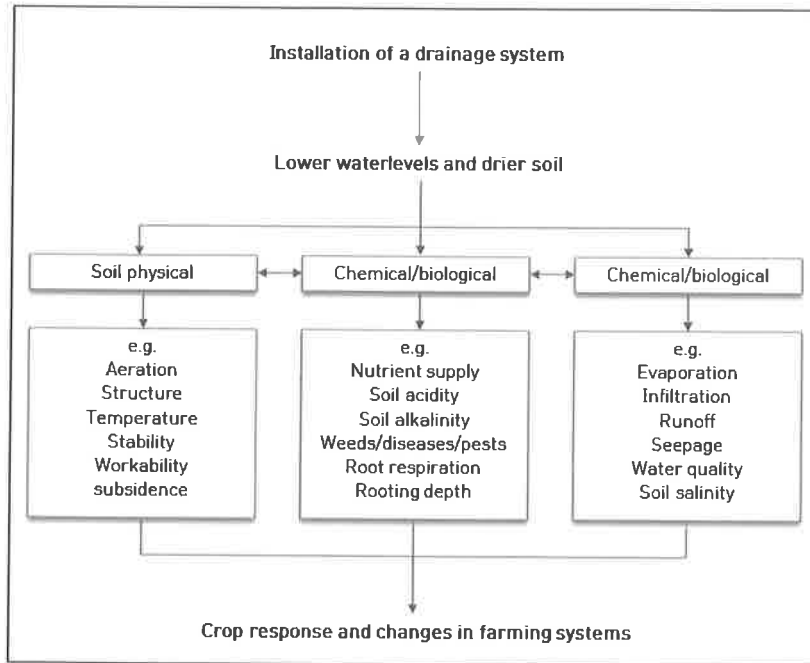
[그림 2.10] 수도 생육기간 중 단수처리에 의한 벼의 As 함량변화

(Lee Chia-Hsing, Chun-Chi Tsui, Hong-Yuh Guo and Zueng-Sang Chen. 2014).

- 사) 배수시키면 더 다양하고 고수익성 작물들을 재배 할 수 있다.
- 아) 배수는 뿌리 신장을 깊게 하여 식물생장에 필요한 유효양분의 흡수를 증가시킨다.
- 자) 배수는 토지에 건물이나 도로 등 시설을 가능하게 한다.
- 차) 정화시설 설치가 가능하고
- 카) 수분의 토양침투를 증가시켜 표면유거를 낮추므로 토양유실도 경감된다.
- 타) 습지에서 모기, 파리 등의 발생도 억제된다.
- 파) 토지의 가격이 상승한다.
- 하) 염류토를 개량하는데 필수적이다.
- 아) 봄철에 서릿발 피해를 줄인다

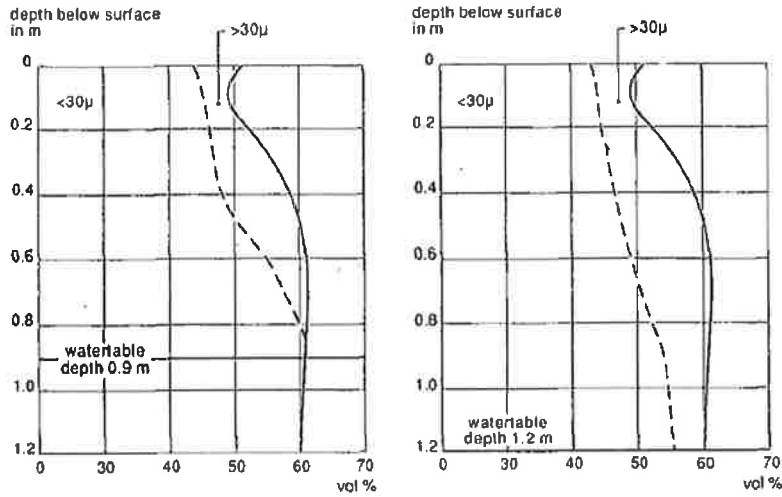
배수처리는 지하수위를 낮추고 토양을 더 건조시킴으로써 토양의 통기성, 구조, 온도, 안정성, 경운성 등 물리성을 개선하고 화학적 및 생물학적으로는 양분공급, 산도, 알카리도, 잡초, 병충해, 뿌리호흡과 뿌리영역을

확장시키고, 수문학적으로는 증발, 침투, 유거, 수질과 염기함량을 좌우한다.



[그림 2.11] 배수처리에 의한 토양의 물리, 화학 및 수문학적 변화와 작물생육 (Wageningen U, 2010)

지하수위가 90cm에서 120cm로 내려가면 직경 30 μ 이하의 공극은 줄어들고 직경 30 μ 상의 대공극 함량이 깊게 많이 증가되어 발작물재배를 좋게 한다.



[그림 2.12] 배수깊이에 따른 토양의 수분과 공기 함량 변화 (Wageningen U, 2010)

2.2.3 배수에 의한 피해

무리한 배수처리는 목적에 따라 다음과 같은 부작용도 생길 수 있다.

가) 사향쥐, 물새 등 수생동물을 감소시켜 토지임대, 사냥, 트레핑 등의 수입을 감소시킨다. 비록 배수로 생산을 증가된다고 할지라도 말이다.

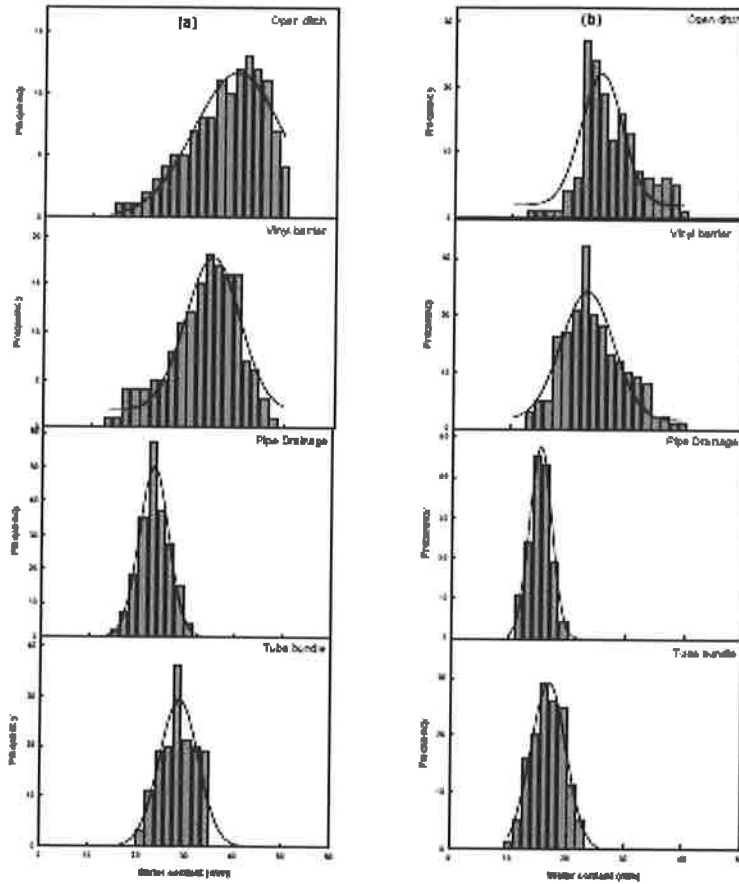
나) 배수처리는 주위의 지하수위를 낮추고 주위의 못이나 하천으로 유입되는 수량을 줄일 수 있다.

다) 사질토양에서 과잉의 배수처리는 모세관상승을 감소시킨다.

라) 과잉의 이황화철(FeS_2 , 황철광)이 함유된 토양에서 배수처리는 유화철과 황산으로 변하여 pH를 2.0 까지 떨어뜨려 강산성이 되므로 배수하지 말아야 한다.

마) 척박지에서는 배수처리비용이 수량증가로 생기는 이익을 초과할 수 있다.

배수불량지와 약간불량지에서 명거, 비닐막차단, 배수관압거와 타일압거를 설치하고 표토의 수분함량을 조사하여 그 빈도수를 정리한 결과를 [그림 2.13]에서보면 표토의 수분함량은 배수관압거구에서 가장 낮았고, 다음으로 타일압거, 비닐막설치, 명거의 순이었으며, 배수불량지 보다 배수 약간불량지의 수분함량이 약간 더 적은 것으로 나타났다.



[그림 2.13] 배수방법별 표토의 수분함량(X)와 분포도(Y)

* (a) 배수불량지, (b) 배수약간불량지

** 배수처리:위로 부터 명거, 비닐막차단, 관, 타일암거

<표 2.2> 배수방법별 표토의 수분함량

배수등급	배수처리	평균	최소값	최대값	표준편차
배수불량	명거	36.17	15.9	49.5	8.48
	비닐막	32.87	13.2	46.8	7.29
	배수관암거	23.21	14.8	30.7	3.03
	타일암거	28.71	15.7	35.1	4.33
약간불량	명거	27.21	10.7	39.3	5.43
	비닐막	23.99	11.2	39.5	5.58
	배수관암거	15.26	10.9	21.2	2.49
	타일암거	16.83	10.7	23.2	2.79

* 정기일, 윤을수, 박기도, 박창영. 2010.

심토파쇄는 토양의 공극을 많이 하여 물이 잘 빠지도록 하는 것으로 현재 폭기식과 견인식 심토파쇄가 있으며 심토파쇄는 30~50cm층위의 수분 함량이 무처리에 비하여 높게 나타났으며 표토에서는 낮아 배수가 잘되어 작물이 잘 자랄 수 있다.

<표 2.3> 배수처리 후 토양수분 변화

토심(cm)	무처리	심토파쇄	견인식파쇄	폭기식파쇄	암거배수
0-10	11.7	13.3	9.7	9.6	8.5
10-20	18.1	14.4	15.4	15.2	15.6
20-30	19.8	21.6	20.2	20.9	22.1
30-40	23.0	26.7	27.3	26.4	28.8
40-50	25.2	33.2	26.8	25.7	27.6
평균	19.6	21.8	19.9	20.0	20.5

* 정기열, 윤율수, 박기도, 박창영. 2010 * 농촌진흥청.2012

시금치의 근권 깊이는 심토파쇄 <견인식심토파쇄 <암거배수 > 폭기식 암거배수의 순으로 증가 되었으며 뿌리의 길이는 폭기식 암거배수처리에 서 가장 많고 토양 중 염농도(EC)는 암거배수에서 현저히 낮아졌고 심 토 파쇄구도 개량되었다.

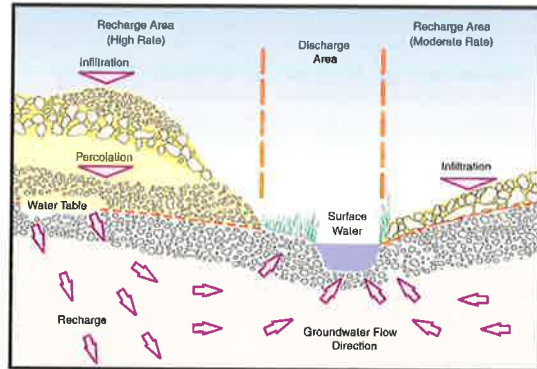
<표 2.4> 배수처리에 따른 시금치 뿌리분포 및 표층 EC 변화

처리	시금치뿌리(cm)		표토의전기전도도(dS/m)		
	근권	간뿌리	'99.4	'00.3	'00.9
무처리	8.0	16.0	1.7	6.5	3.1
심토파쇄	12.0	20.5	0.6	5.7	2.1
견인식파쇄	15.0	23.5	0.6	8.2	2.1
폭기식파쇄	17.0	35.0	1.2	6.7	2.3
암거배수	16.0	23.0	2.7	5.8	2.0

* 정기열, 윤율수, 박기도, 박창영. 2010 * 농촌진흥청.2012

2.3 논토양과 밭토양의 차이점

2.3.1 환경적인 차이점



[그림 2.14] 지형에 따른 물의 이동

우리나라의 논토양은 대부분이 여름철 장마기에 상부로부터 흘러오는 물에 의하여 운반된 토립이 퇴적되어 생긴 충적지이기 때문에 장마가 시작되면 침수의 위험이 있고 땅속으로 체수층이 있어서 배수가 불량하고 오랫동안 담수상태로 있으나 밭토양은 표토가 건조하고 배수가 잘되는 봉적층이나 잔적층에 분포하고 있어서 논토양과 다르다.

우리나라 토양은 오랜 세월을 걸쳐 목적에 따라 특성화되어 이용되어 왔기 때문에 토양특성이 지목에 따라 많은 차이를 나타내고 있다. 특히 논과 밭으로 구분되는 양분법에 의하여 관리되어 오며 따라 다양한 작물 재배에 작목입식의 융통성이 결여되고 생산성에 한계를 표출하게 되었다.

논과 밭토양 간의 가장 큰 차이점은 논은 벼를 담수재배를 계속하여 토층이 환원되었고 밭은 산화상태인 것이 특징이며 밭에서는 경사지가 대부분으로 토양유실이 많이 일어나고 있다는 점이다.

<표 2.5> 수도작 지대에서 논과 밭의 차이점

특성	논	밭
지형	저지	산지, 구릉지
토양유실	약간	높음
토양구조 발달	약 또는 없음	강
토양 중 산소량	약간 또는 없음	많음
산화/환원	환원	산화
pH	높음	낮음
양분의 자연공급	관개수와 유입	없음
질소고정과 유효질소생성	높음 ⁺	나음
유효인산생산	높음	낮음
미량요소 결핍	약간	많음
질소의 안정형태	NH ₄	NO ₂
환원성 유해물질	많음	약간
철의 형태	Fe ⁶	Fe ³
망간의 형태	Mn ²	Mn ⁴ , Mn ³
유환의 형태	H ₂ S, S	SO ₄
연작	가능	불가능

* Eiichi Kohno, Yoshio Ogawa and Shingo Iwata. 1995

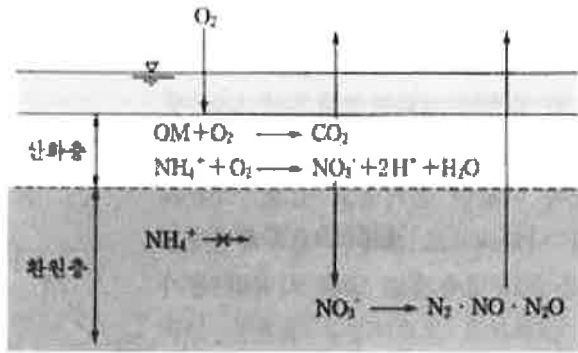
논에서의 철, 망간 등은 환원되어 작물에게 피해를 주고 하층으로 용탈되고 유화수소 같은 유해물질이 생기고, 질소는 용해되어 N₂, NH₂ 등으로 탈질되어 질소의 손실을 준다.

<표 2.6> 토양성분의 밭(산화) 및 논(환원) 형태

성분	산화(밭)형태	환원(논)형태	성분	산화(밭)형태	환원(논)형태
C	CO ₂	CH ₄ , 알데히드	Fe	Fe ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺
N	NO ₃ ⁻	N ₂ , NH ₂	Mn	Mn ⁺⁺⁺⁺	Mn ⁺⁺⁺ , Mn ⁺⁺
S	SO ₄ ⁻²	H ₂ S			

* 조성진 등 2005.

논토양에서는 담수 시에 미생물이나 식물 뿌리에 의하여 산소를 소모하고 탄산가스를 방출하여 질소는 환원상태로 변하고 있으며 항상 산소는 부족한 상태이다.



[그림 2.15] 논토양에서 무기 질소의 산화와 환원 (김계훈 등 2006)

농촌진흥청 자료에 의하면 논에서 pH는 상승하고 환원상태에서 H_2S , Fe^{+2} , 유기산 등의 유해물질이 생기고 유기물 분해는 느리고 인산이 환원으로 유효화가 잘되며 염기와 미량요소를 관개수로부터 공급받아 작물재배에 지력의존도가 크다고 하였다.

밭토양은 건조상태이고 강우 시 유실이 심하여 염기가 용탈되므로 산성화가 촉진되어 토양퇴화가 촉진된다.

<표 2.7> 논 및 밭토양의 특성비교

구 분	논	밭
o 재배조건 - 산소 - 수자원	부족(담수) 관개시설 잘됨	충분(건조) 자연강우 의존
o 토양의 이화학성 변화 - pH - Eh - 유해물질 생성	상승(중성) 환원상태 H_2S , Fe^{+2} , 유기산	산성화 산화상태 Fe^{+3} , Al
o 양분조건 - 유기물 분해 - 지력질소 - 인산 - 염기 - 미량원소	느림 건토효과 큼 환원으로 유효화 관개수에서 공급 관개수에서 공급	빠름 적음 고정으로 유효도 감소 용탈로 감소 용탈로 감소
o 작물생산	지력의존도 큼	비료의존도 높음

* 농촌진흥청. 2013. 토양관리

답전윤환, 전전환에 따른 다원적 기능 변화를 구명하여 농경지의 효율적 관리이용 방안을 수립하기 위한 기초조사 결과에 의하면 수자원함양기능은 논에 담수가 없는 조건에서 가능한 발작물을 재배할 경우 크게 감소되었는데 논은 담수 재배시 홍수조절기능(홍수 시 물보유능)이 연간 237.8mm, 지하수함양기능이 447.7mm로써 발작물 재배시 각각 87.4mm와 9.5mm에 비하여 현저한 물관리 효과가 있었다.

<표 2.8> 논 작부체계별 홍수조절과 지하수함양 기능

경지구조	관리방식	작부체계	홍수조절기능 (mm H ₂ O)	지하수함양기능 (mm H ₂ O)
논형상유지	담수	벼 - 단작	237.8	447.7
		벼 - 맥류	237.8	447.7
		벼 - 원예작물	237.8	447.7
	무담수	발작물/원예작물	289.7*	9.5
논형상붕괴	무성토	발작물/원예작물	87.4 ~ 289.4**	9.5
	성토	발작물/원예작물	87.4	9.5

* 장기경 등 1998.

토양유실 저감기능은 논둑 유지, 성토 여부 및 재배작물에 따라 달라졌으며, 옥수수, 고추, 참깨를 재배할 경우 토양유실 저감효과가 상대적으로 컸다. 논상태의 토양유실은 둑이 있을 경우 거의 무시할 수 있는데 경사지 발작물 재배지에서는 8.3-38.9t/ha로서 토양척박화의 주요인이 되며 나지는 토양 유실량이 둑 없는 평단지 11.9t/ha, 밭경사지는 82.8t/ha로 높았다. 토양유실은 목초지가 둑 없는 논에서 1.0t/10a, 밭 경사지에서 6.6t/10a로 가장 낮았다.

<표 2.9> 토양유실 저감 기능

재배작물	토양유실량 (ton/ha)			
	논 : 평탄지		밭 : 경사지 (B)	차이(밭-논) (B) - (A)
	둑 유지	둑없음/성토(A)		
콩	0	2.1	14.9	12.8
옥수수	0	5.6	38.9	33.3
고구마	0	1.2	8.3	7.1
고추	0	3.8	26.5	22.7
참깨	0	3.3	23.2	19.8
복초	0	1.0	6.6	5.7
나지	0	11.9	82.8	70.9
평균	0	-	22.4	<22.4
비 고		경사도 (0-2%) 경사장 (20m) 기준	밭 경사도, 경사장 (20m) 기준	

* 강기경 등 1998.

대기정화기능은 옥수수와 고추를 제외하고는 대부분의 작물의 경우 감소되었고, 기후순화기능은 밭작물을 재배할 경우 약 1/3수준으로 감소하였으며 가축분소화능은 작물별 표준질소시비량을 기준으로 사용 가능량으로 평가할 경우 소비 작물인 콩, 고구마 등을 제외한 대부분의 밭작물에서 높았다.

<표 2.10> 논 작부체계별 대기정화, 기후순화 및 가축분 소화 기능 비교

재배작물	대기정화기능 (ton/ha)		기후순화기능 (증발산량, mm)	가축분소화능 (유기물, ton/ha)
	CO ₂ 흡수량	O ₂ 방출량		
벼(단작)	18.3	13.3	450.0	6.0
콩	5.8	4.2	184.5	1.6
옥수수	11.8	8.6	236.6	9.5
고구마	19.5	14.2	185.9	3.0
참깨	10.4	7.6	132.4	1.6
들깨	11.3	8.2	193.0	4.3
배추	12.7	9.3	107.0	12.1
고추	18.9	13.7	149.3	12.2
감자	10.8	7.9	156.3	5.4
토마토	10.8	7.9	178.9	11.0
밭 전국평균	12.6	9.2	167.6	12.6

* 강기경 등 1998.

2.3.2 배수등급별 토양화학성

경지이용에 따라 배수등급별로 토양화학성을 보면, 논토양에서는 배수 불량지에서 EC가 1.26dS m⁻¹로 가장 높고 배수불량지에서 유효인산 함량이 96mg kg⁻¹. Ca이 4.9cmol kg⁻¹로 제일 낮아서 배수불량지 배수개선 시에는 참고로 하여야 할 것이다.

<표 2.11> 논토양 배수등급별 화학성

배수등급	조사 점수	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmolc kg ⁻¹)			Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
매우 양호	1,163	5.9	0.44	24	121	0.32	5.7	1.6	156
양호	2,418	5.9	0.53	22	178	0.38	5.2	1.4	152
약간 양호	17,545	5.8	0.45	26	160	0.32	5.1	1.2	156
약간 불량	26,805	5.9	0.73	24	119	0.35	5.3	1.6	160
불량	2,187	5.9	1.26	24	96	0.39	4.9	2.1	144
매우 불량	6,554	5.8	0.52	22	111	0.29	4.8	1.3	133
평균	56,672	5.9	0.63	24	133	0.33	5.2	1.4	154

* 강성수,김유학,김명숙,송요성.공명석.2013

<표 2.12> 밭토양 배수등급별 화학성

배수등급	조사 점수	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmolc kg ⁻¹)			LR (kg10a ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
매우 양호	2,667	6.0	0.70	25	430	0.73	5.8	1.7	162
양호	27,053	6.2	0.67	26	477	0.76	6.2	1.8	156
약간 양호	9,896	6.2	0.74	25	477	0.73	6.3	1.8	131
약간 불량	4,672	6.2	0.94	24	474	0.78	6.5	2.0	123
불량	72	6.6	0.95	22	342	0.60	7.1	1.7	104
매우 불량	814	6.3	0.84	25	463	0.59	7.2	1.9	111
평균	45,174	6.2	0.72	25	473	0.75	6.3	1.8	147

* 강성수,김유학,김명숙,송요성.공명석.2013

<표 2.13> 과수원토양 배수등급별 화학성

배수등급	조사 접수	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmolc kg ⁻¹)			LR (kg10a ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
매우 양호	337	6.1	0.44	31	436	0.68	5.5	1.7	173
양호	3,137	6.0	0.58	47	575	0.83	6.1	1.7	314
약간 양호	1,913	6.0	0.53	37	521	0.74	5.9	1.7	223
약간 불량	649	6.4	0.78	30	514	0.79	6.7	1.8	202
불량	6	6.3	0.24	20	233	0.31	5.4	1.0	205
매우 불량	186	6.6	1.11	26	390	0.54	6.4	1.8	196
평 균	6,228	6.0	0.59	41	538	0.78	6.1	1.7	265

* 강성수,김유학,김명숙,송요성,공명석.2013

<표 2.14> 시설재배지토양 배수등급별 화학성

배수등급	조사 접수	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmolc kg ⁻¹)			LR (kg10a ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
매우 양호	197	6.6	1.44	29	820	0.93	7.2	2.1	87
양호	824	6.6	1.95	34	830	1.73	8.5	2.4	96
약간 양호	1,784	6.7	2.55	32	885	1.39	9.6	3.1	82
약간 불량	2,138	6.8	2.91	30	881	1.43	9.1	3.2	103
불량	103	6.7	3.36	28	734	1.39	9.3	4.2	50
매우 불량	417	6.8	3.20	23	694	0.98	9.1	2.8	99
평 균	5,463	6.7	2.63	31	855	1.41	9.1	3.0	93

* 강성수,김유학,김명숙,송요성,공명석.2013

2.3.3 콩 재배적지

가. 개요

건전한 콩 씨앗(종자)은 심은 뒤 충분한 물과 적당한 온도와 공기(산소)가 공급되면 싹이 나온다(발아). 콩 파종기의 지온이 15 - 30℃이고, 수분이 적당하면 3 - 5일 정도면 싹이 트기(발아) 시작한다. 콩 종자는 충분한 수분을 흡수한 후에 발아하기 때문에 발아기 동안의 적당한 수분 공급은 무엇보다 중요하다. 보통 콩 종자는 말린 씨앗무게의 130~150%정도까지 수분 흡수가 되지만, 발아하는 데는 100% 정도만 흡수하면 충분하다.

발아기간 동안에는 산소가 반드시 있어야 하는데, 발아에 필요한 수분흡수기간 동안에는 물속에 두어도 상관없으나 그 이상 오랫동안 물속에 두면 산소공급이 원활하지 않아 씨앗의 활력이 급격히 떨어지고 심하면 발아력을 잃어버린다. 실제로 수분이 너무 많은 조건에 콩 종자를 심거나

파종초기에 침수 등으로 뿌려진 종자가 습기가 많은 환경에 오래 노출되면 대부분 썩게 되는데, 이것은 산소부족으로 종자가 죽어버리기 때문이다. 한편 콩을 심고 너무 급속히 수분흡수를 하는 경우에는 씨앗내부의 떡잎이 손상되거나 썩을 우려가 있으므로 파종 후 1~2일쯤 충분한 수분을 공급하는 것이 가장 이상적이다. 토양이 점질토이거나 표층이 각질화되는 토양에서는 배축이 쉽게 부러지거나 뚫고 나오지 못하게 되어 발아율이 크게 저하되기도 한다.



[그림 2.16] 콩의 발아

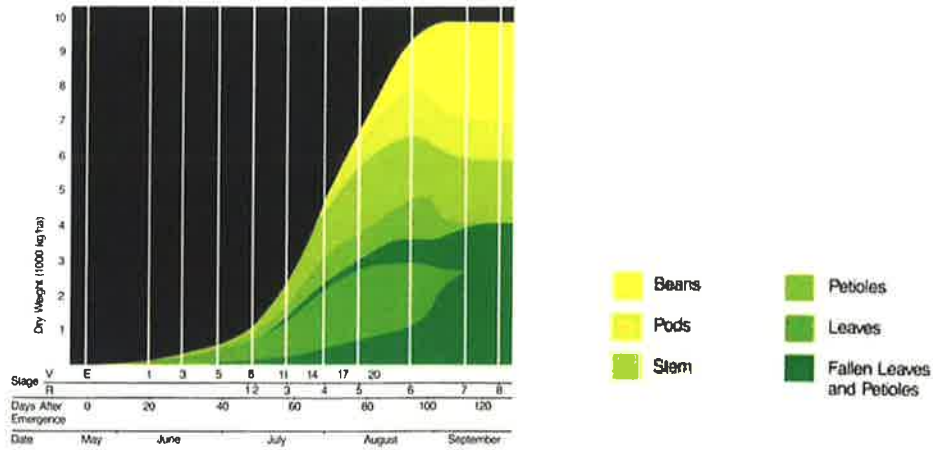


[그림 2.17] 콩의 뿌리

(Iowa State University, 1997)

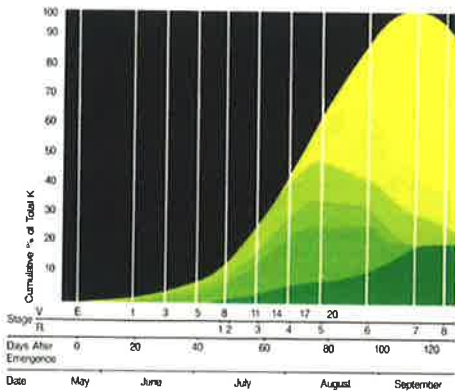
나. 재배적지

일반적으로 논은 낮은 지대의 평야지에 위치하고 대부분 점질성 토양으로서 지하수위가 높고 물 빠짐이 좋지 않기 때문에 적지에 재배하지 않을 경우 과습으로 인한 피해와 병해로 콩 재배를 실패하게 되므로 재배적지 선정이 가장 중요하다. 그러나 재배기술로 과습으로 인한 피해를 사전에 예방할 수 있다면 관수가 용이하므로 오히려 밭 콩 재배보다 더 높은 수량을 올릴 수 있는 유리한 점도 있다.

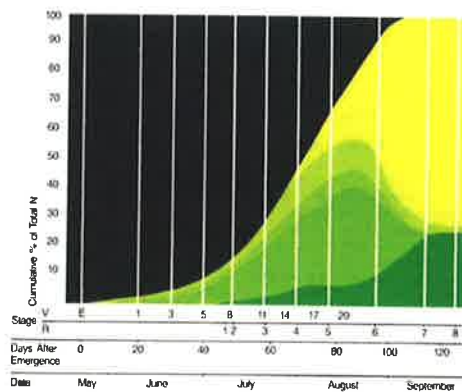


[그림 2.18] 생육시기 별 콩의 총 건물 중 변화 (Iowa State University, 1997)

콩은 파종 후 초기에는 자람이 느리다가 40-50일 후부터 성장속도가 빨라지고 이때에 필요한 양수분을 원활히 흡수하기 때문에 뿌리의 역할이 매우 중요하다. 토양공극이 잘 발달하여 충분한 양수분은 물론 산소의 공급을 원활히 해야 된다.



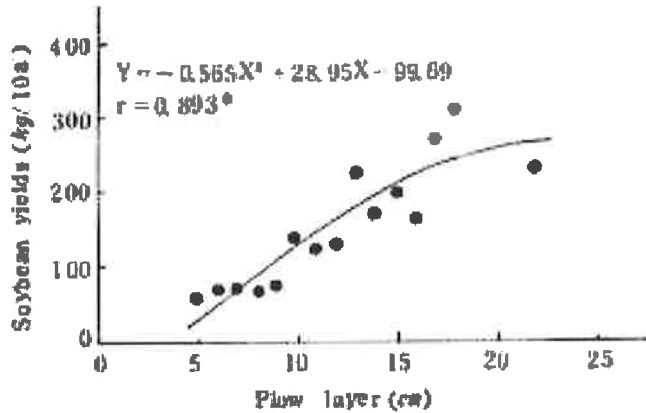
[그림 2.19] 생육시기별 콩의 질소 흡수 (Iowa State University, 1997)



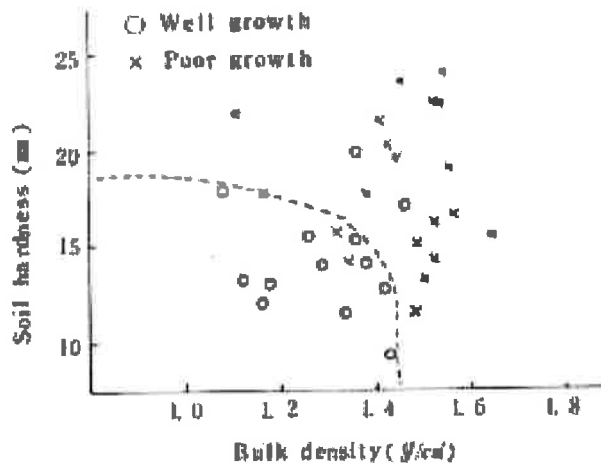
[그림 2.20] 생육시기별 콩의 칼리 흡수 (Iowa State University, 1997)

일반적으로 우리나라 콩 재배지는 밭이 대부분으로 표토 즉 항상 경운하고 유기물이 많은 경작층이 깊을수록 콩의 수량은 증가되었다([그림 2.21]).

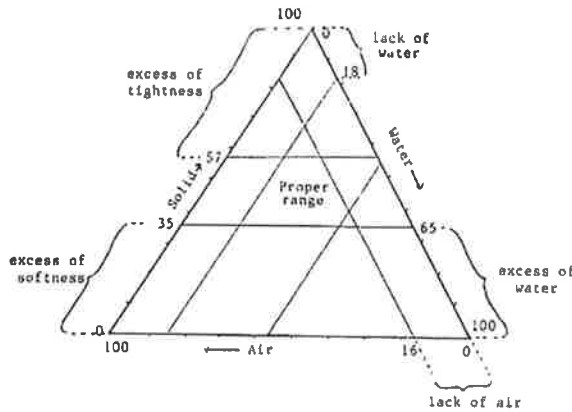
콩의 수량은 또한 가비중이 1.45이하이면 경도가 18mm(Yamanaka경도계)이하인 경우에 콩 생육이 우량한 포장이 분포되어 있었다([그림 2.22]). 또한 토양삼상, 즉 고상, 액상과 기상이 적당해야 작물이 잘 성장할 수 있다.



[그림 2.21] 작토심과 콩의 수량과의 관계 (김이열, 조인상, 엄기태, 1988)



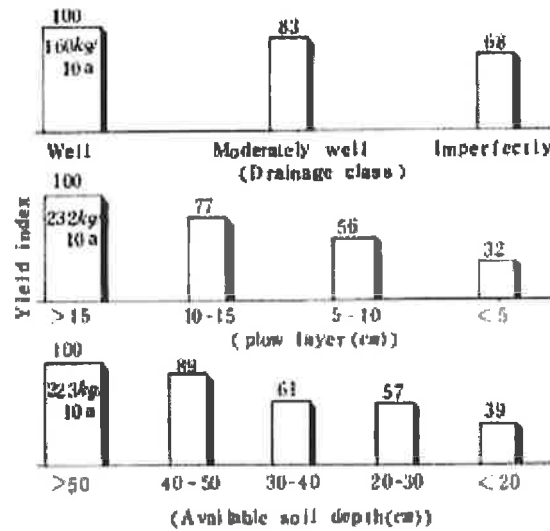
[그림 2.22] 토양의 가비중과 경도에 따른 콩 생육적지와 부적지 분포 (김이열, 조인상, 엄기태, 1988)



[그림 2.23] 작물생육에 적정 삼상분포 (DAIKI, 2003)

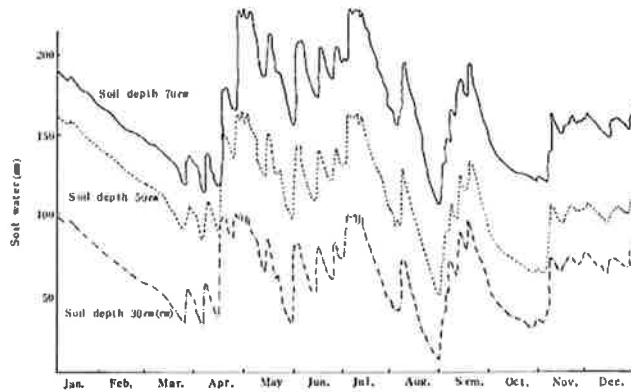
토양삼상에서 액상 18%이하는 수분부족이, 65%이상이면 과잉수로 습해가 우려되고 기상 16%이하는 산소부족이 올 수 있으며, 고상이 35%이하이면 식물을 지탱하기 어렵고 57%이상이면 단단하여 식물 생육을 저해한다.

배수등급별 수량을 보면 배수양호한 토양의 평균수량 160kg/ha를 100으로 하였을 때 배수약간양호한 토양은 83으로 17% 감수되었고 배수약간불량한 토양에서는 32% 감수되었으며, 작토층(경운심, 표토) 15cm이상인 토양의 평균수량 232kg/10a를 100으로 하였을 때 작토층이 10-15cm 토양은 23% 감수되었고 작토층 5-10cm 토양은 44% 감수, 작토층이 5cm이하 토양은 68% 감수되었으며, 유효토심 50cm이상의 콩 평균수량 223kg/10a를 기준으로하면 유효토심이 10cm 씩 감소됨에 따라 평균 콩수량은 11, 39, 43, 61%의 순으로 감수되어 콩포장에서 배수등급, 작토층과 유효토심의 깊이는 콩 수량을 좌우하는 주요 요인이었다.



[그림 2.24] 토양물리성과 콩 수량 (조인상, 1991)

유효토심이 깊으면 강우 시 토양수분을 많이 함유하였다가 건조시에 오랫동안 적정조건으로 수분을 유지시켜 줌으로써 콩 재배에는 유효토심이 특별히 중요하다.



[그림 2.25] 유효토심별 토층에 보유 물량 변화 (조인상 등, 1989)

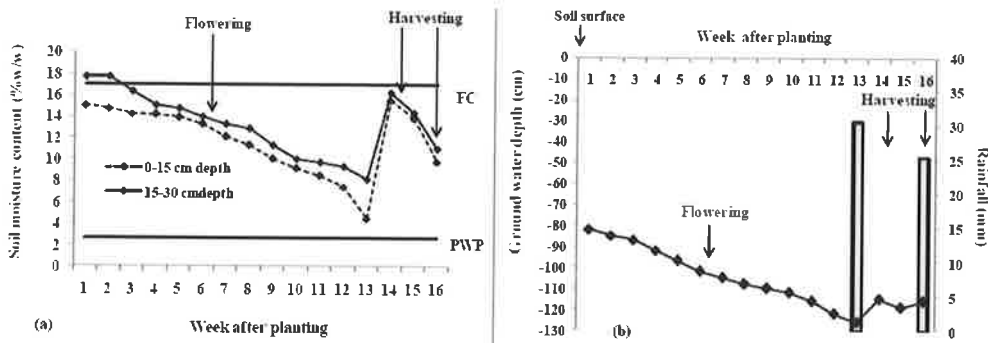
한편 이천 야산개발지에서 심토를 1m까지 가비중을 달리하여 콩을 재배한 결과 가비중이 낮을수록 경도가 낮아지고 수분의 침투속도는 빨라졌으며 액상과 기상이 증가되어 콩수량은 가비중 1.27에서 480kg/10a에 비하여 가비중이 1.46으로 증가하면 콩수량은 1/3로 급격히 떨어지고 가비중이 1.70에서는 콩 수량이 70% 감수되었다.

<표 2.15> 토양물리성과 대두 수량

가비중 (g/cc)	경도 (mm)	침투속도 (mm/hr)	삼상(%)			T/R율	수량	
			고상	액상	기상		kg/10a	지수
1.27	18	52.5	47.9	17.2	34.0	5.4	480	100
1.46	24	30.0	56.0	17.4	27.6	3.0	160	33
1.70	29	16.7	64.5	12.0	23.8	2.8	144	30

* 조영길, 임정남, 조인상. 1977

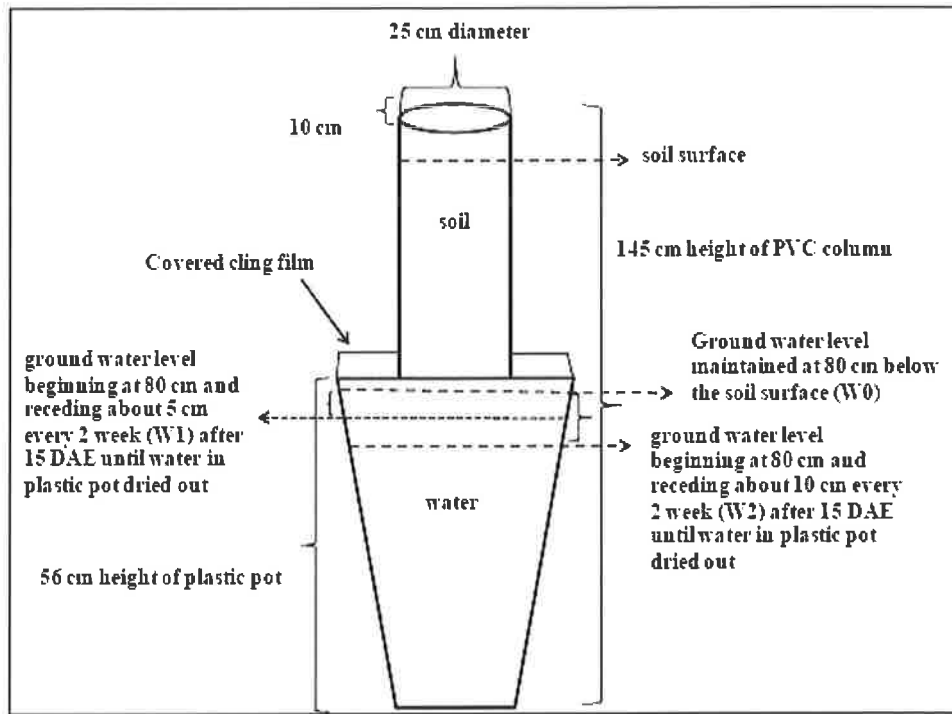
작물이 생육을 잘하기 위해서는 토양수분이 위조계수(PWP: Permanent wilting Point) 이상을 유지하고 포장용수량(FC: Field Capacity) 약 80% 범위에 머무르는 것이 가장 이상적인데 태국의 중부 Khon Kaen에서 조사된 토심 0-15cm와 15-30cm의 파종 후 주간별 토양수분함량 변화를 보면 지하수위가 내려가면서 토양수분이 내려갔을 때 비가 내려 토양이 적습을 유지하여 콩 생산에 적당하였다(Jaidee R., A. Polthanee and P. Saenjan. 2012).



[그림 2.26] 파종 후 토양의 수분함량과 지하수위 변동

(Jaidee R., A. Polthanee and P. Saenjan. 2012).

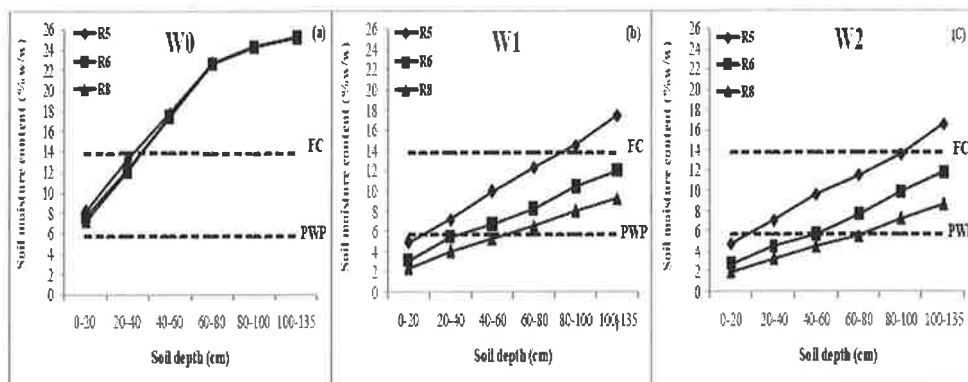
Jaidee 등은 지하수위를 달리하여 콩 재배시험을 하기 위하여 [그림 2.27]와 같이 25cm 직경의 원통에 흙을 채우고, 지하수위를 달리하여 콩을 재배하면서 토양수분과 생육을 조사하였다. 지하수위는 항시 80cm로 유지한 처리(W0), 처음에는 지하수위를 80cm로 시작하여 2주마다 5cm씩 내리는 구(W1)와 매 2주마다 지하수위를 10cm씩 내리는 처리였다.



[그림 2.27] 지하수를 조절하는 시험장치

(운실, Jaidee R., A. Polthanee and P. Saenjan. 2012).

콩은 수분조건에 매우 민감하다. (Jaidee R., A. Polthanee and P. Saenjan. 2012).



[그림 2.28] 지하수위별 토심별 콩의 생육시기별 토양수분함량.

(지하수위 (a) 80cm유지:W0, (b) 지하수위 80cm에서 매2주마다 5cm씩 내림:W1 and (c) 지하수위 80cm에서 시작하여 2주마다 10cm씩 내림:W2, 생육시기R5, R6 and R8, * Jaidee R., A. Polthanee and P. Saenjan. 2012.

지하수위를 80cm로 유지한 포트는 토양수분이 표토 40cm까지 위조계수와 포장용수량 사이에 있었고 40cm 이하의 토양은 포장용수량을 초과하였으나, W1 처리구는 표토가 위조계수 밑으로 내려가서 마지막에는 60cm 이하에서도 위조계수이하가 되었고, W2 처리구는 마지막에는 80cm까지 위조계수 밑으로 내려갔다.

지하수위가 내려갈수록 콩의 근밀도도 하향하는 경향이 뚜렷하여 W0 처리구는 콩의 뿌리가 75-90cm 층위까지 내려갔는데 비하여 W1과 W2구에서는 135cm 토심까지 뿌리가 분포하였고 하층의 근밀도는 W2구에서 높았다.

2.3.4 양과 재배적지

가. 국가별 비교

(1) 일본

일본 토양학회에서는 양과재배적지를 판정하는 여러 항목을 설정하였는데 가장 최적의 요인별 기준은 표토두께가 26cm이상, 유효토심 100cm 이상, 표토의 자갈함량은 10% 이하, 표토토성은 식질, 투수성은 10^{-4} cm/sec, 토심 50cm의 보수력 51mm이상, 반습이고 유효근구역이 31cm 이상으로 정하였다.

<표 2.16> 양파 재배지 토양의 토양특성 요인강도

항목	요인강도			비고
	1	2	3	
표토심(cm)	>26	16-25	<15	
유효토심(cm)	>100	51-100	<50	
표토 자갈(%)	<10	11-20	>21	
표토토성	식질	사양질		
투수성(cm/sec)	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵		
보수력(mm/50cm)	>51	26-50	<25	
습윤도	반습	습, 반건	건, 다습	
보비력(cmol/kg)	>20.1	6.1-20.0	<6.0	
고정력(인산흡수계수)	<700	701-2000	>2001	
pH	6.1-6.5	5.6-6.0, 6.6-7.0	<5.5, >7.1	
석회포화도(%)	70-61	51-60	<50	
석회함량(mg/100g)	221-250	201-220	<200	
고토포화도(%)	>10.1	5.1-10.0	<5.0	
가리포화도(%)	>5.1	3.1-5.0	<3.0	
유효인산(mg/100g)	>50.1	30.1-50.0	<30.0	
유효근균역(cm)	>31	16-30	<15	

* 일본토양협회. 1986. 농작물생육환경지표 총집 249.

(2) 유럽

Sys 교수는 양파재배의 최적조건을 경사 4% 미만, 침수가 없고, 배수등급은 식양질 이상의 세립질은 배수양호, 사질은 배수약간불량으로 정하였고, 토성은 양토에서 사질식토까지 넓은 범위이며, 토심은 75cm 이상으로 정하였다.

재배부적지로는 침수등급이 F2 이상, 배수불량지, 석회함량이 35% 이상, 토심이 30cm 미만인 지역으로 구분하였다.

<표 2.17> 양파 재배지 지형 및 토양 적성 등급기준

토양특성		적성등급				
		1	2	3	4	5
경사 (%)	관개(이랑)기계	0-1	1-2	2-4	4-6	>6
	화재배	0-2	2-4	4-8	8-16	>16
	인축력재배	0-4	4-8	8-16	16-30	>30
침수등급		F ₀	-	F ₁	F ₂	
배수	식양질 사질	양호 약간불량	약간양호 약간양호	약간불량 양호	불량 불량	불량 불량
토성 석력함량(%) 토심(cm)		L-SC 0-3 >75	Si-C 3-15 50-75	FiS-C 15-35 30-50	S-C 35-55 20-30	>55 <20
양이온치환용량 (cmol/kg)		>24	24-16	<16	<16	-
염기포화도(%)		>50	50-35	35-20	<20	-
총염기(cmol/kg)		>2	1.2-2.0	0.8-1.2	<0.8	-
산도(pH H ₂ O)		6.7-6.2 6.7-7.2	6.0-6.2 7.2-7.8	5.8-6.0 7.8-8.0	5.5-5.8 8.0-8.2	<5.5 >8.0
탄소(C)		>2	2-1.2	1.2-0.8	<0.8	-
토양염농도(DS/m)		0-1	1-2	2-3	3-5	>5
치환성나트륨(%)		0-10	10-20	20-35	35-50	>50

* Sys 1993. Land Evaluation III102p

(3) 미국

미국에서의 양파 재배적지는 제6장 6.1절 적정 지하수위편에 수록하였다. 사양질 토양, 지하수위 60~70cm를 적지로 평가하고 있으며, 다수확을 위한 채소작물의 지하수위를 <표 6.1>에 나타내었다.

(4) 우리나라

우리나라에서는 양파 재배적지를 하성평탄지, 곡간지, 선상지, 구릉지로, 토성을 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질 토양, 배수등급은 양호,

약간양호, 약간불량으로 넓게 잡았고 유효토심 20cm 이상, 자갈함량 35% 이하, 경사 7% 이하의 약한 경사지와 평탄지로 정하였다.

<표 2.18> 우리나라 양파(마늘) 재배포장의 적성등급 구분

기준항목	토양요인			구분
	적지	가능지	저위생산지	
지형	하성평탄지, 곡간지, 선상지, 구릉지	산록경사지, 홍적대지, 용암류대지, 용식지	하해혼성평탄지, 산악지, 분석구	1월 최저기온 생육적온
토성	식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질	식질	사질, 역질, 사역질	
배수등급	양호, 약간양호, 약간불량	매우양호	불량, 매우불량	
유효토심(cm)	>20	-	<20	
자갈함량(%)	<35	-	>35	
경사(%)	0-7	7-15	>15	
※제한요인	. 최대 저해인자법 적용 . 협곡침식(gully erosion)과 토지이용추천이 산립, 간이초지인 곳은 기타지역으로 함 . 현토지이용이 묘지(CEN), 도시(U,L), 불모지(X), 인위토(Z), 물(W)인 곳은 기타지역으로 함			

* 농업과학기술원. 2013

우리나라 양파재배지의 토양비옥도 분석치를 보면 노지보다 시설재배지 토양의 화학성이 높아 pH는 노지 6.1에 비하여 시설은 6.5이었고, 유효인산은 노지 444mg kg⁻¹, 시설 1,193mg kg⁻¹으로 차이가 심했고 치환성 양이온도 상당히 높은 수준이었다.

<표 2.19> 인경채류 재배지 토양화학성

작물분류	조사 점수	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmolc kg ⁻¹)			LR (kg10a ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
마늘 (노지)	2,772	6.2	0.76	24	529	0.91	6.9	2.0	91
마늘 (시설)	14	6.3	0.99	30	694	1.09	7.6	2.2	75
양파 (노지)	904	6.1	0.62	22	444	0.65	5.4	1.6	132
양파 (시설)	54	6.5	1.28	20	1,193	0.95	5.7	3.4	7
평 균	3,744	6.2	0.73	23	518	0.85	6.5	1.9	98

* 강성수,김유학,김명숙,송요성.공명석.2013

화훼는 대부분이 논에서 재배되고 있는데 최근의 토양분석치를 보면 대체로 pH는 6.5 내외이고 국화 온실절화재배지의 EC가 5.66dS m⁻¹으로 월등히 높고 K, Ca, Mg 등 양이온 함량이 높아 시비수준을 조정해야 될 필요성이 있었다.

<표 2.20> 화훼류 재배지 토양화학성

작물분류	조사 점수	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmolc kg ⁻¹)			LR (kg10a ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
1년초(노지)	30	6.5	0.39	19	168	0.49	5.6	1.6	109
국화(노지재배)	21	6.5	0.49	20	270	1.08	7.2	1.5	216
국화(온실절화)	28	6.8	5.66	23	924	1.40	13.4	4.8	72
장미	11	6.4	2.27	31	429	1.01	7.7	3.6	158
평 균	90	6.6	2.45	22	459	0.98	8.6	2.8	146

* 강성수,김유학,김명숙,송요성.공명석.2013

나. 답전유회환지에서의 양파의 증수효과

네덜란드의 경우 역시 제6장 6.1절 적정지하수위편에 지하수위에 따른 작물의 수량변화를 조사하였다. 지하수위 100cm에서 수량을 100으로 정할 때 지하수위 변화에 따른 수량지수 차이를 <표 6.2>에 나타내었다.

양파의 비대기인 3-5월에 급격한 온도 변화를 유도시켜 양파의 생육반응과 수량을 조사하였다. 시험품종은 중만생종인 선샤인을 2012년 9월 4일에 파종하여 10월 30일에 정식 하였고 2013년 5월 31일에 수확하였다. 재식거리는 20×15cm 6조식으로 정식하였고, 온도 변화는 3-4-5월 평균온도(T0 대조구: 6.0-10.4-17.2℃, T1: 6.0-5.4(-5)-17.2℃, T2: 6.0-10.4-22.2(+5)℃, T3:6.0-5.4(-5)-22.2(+5)℃)를 기준으로 4월과 5월에 ±5℃씩 온도차

를 두었다.

그 결과, 초장은 +5℃ 상승한 T2처리구가 T0 대조구에 비하여 초장이 유의적으로 증가 하였으나 저온 처리구에서는 오히려 감소하였고, 광합성률은 유의성이 나타나지 않았다. 구중은 5월에 T0처리구의 온도보다 향상된 T2처리구에서 높았으며 구중의 총수량은 T2>T0>T3>T1처리구 순으로 증가하였다. 또한 총 당의 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같이 급변온도에 대한 비대기 양파의 생육과 수량은 저온기간이 길어질수록 크게 달라짐을 알 수 있어 기후변화에 대한 양념 채소류의 품질 및 생산성 변화 추이 등과 같은 기준설정이 필요할 것으로 조사되었다.

<표 2.21> 양파 비대기에 급변 온도처리가 생육특성과 수량에 미치는 영향

온도처리(°C)	초장 (cm)	광합성속도 ($\mu\text{molCO}_2 / \text{m}^2\text{S}$)	구중 (g/구)	수량 (kg/10a)	총당함량 (mg/g, 생체)
6.0-10.4-17.2(T0)	89.4a	13.8	179.2ab	5,110b	57.3
6.0-5.4-17.2(T1)	71.4c	13.4	150.1c	4,286d	60.2
6.0-10.4-22.2(T2)	92.4a	14.5	188.6a	5,383a	55.4
6.0-5.4-22.2(T3)	78.5b	14.2	167.9b	4,795c	56.6

* 이형진, 이천연, 천상욱, 김동관, 이경동. 2013

2.4 적정 배수시설

농촌진흥청에서는 점토함량에 따라 투수성을 구분하여 점토함량이 25% 이하이면 3점, 25-45%이면 2점, 45% 이상이면 1점을 주어, 토층을 0-20, 20-35, 35-50cm의 세 층위로 나누어 세 층위의 점토함량에 따른 투수성 평점을 합하여 투수성평가를 하는데 그 합계가 3-5이면 투수성이 적은 것이고 6-7이면 투수성이 보통이고 8-9이면 투수성이 큰 것이다.

<표 2.22> 점토함량에 따른 투수성 평점

점토함량(%)	>45	25-45	<25
투수성평점	1	2	3

* 농촌진흥청. 2001

몇 가지 논토양의 투수성 평점표를 보면 석천통과 행곡통은 전 층위의 점토함량이 25%를 넘지 못하여 각 층위의 평점이 3점씩 총 9점이므로 투

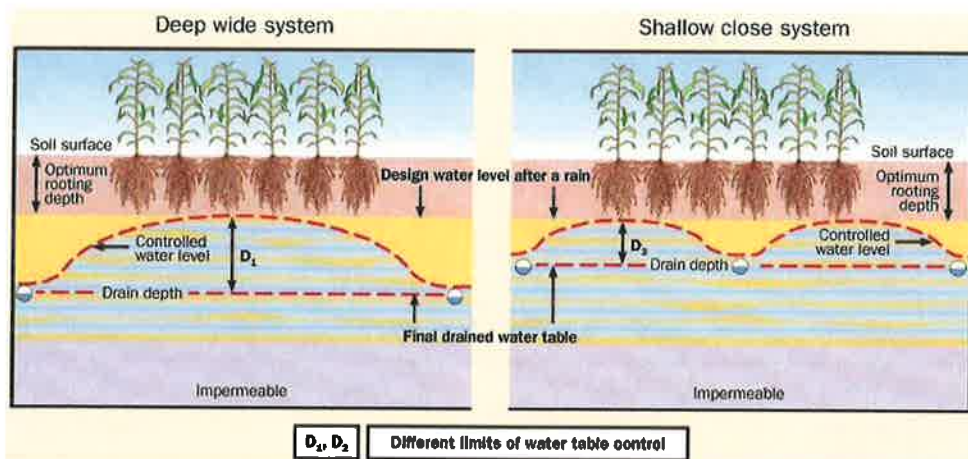
수등급이 “대”이고 청원토는 세층위 모두 점토함량이 25-45%에 있으므로 총점이 6점이고 평택토는 표토의 점토함량이 25%를 넘지 못하여 총점이 7점으로 두 토양은 투수성이 “중” 이고 화동토와 부용토는 평점계가 4-5 이므로 투수성은 “소”로 평가한다.

<표 2.23> 토층의 점토함량에 따른 투수성평가

토양토	점토함량(%)			평점			평점계	투수성
	0-20 cm	20-35 cm	35-50 cm	0-20 cm	20-35 cm	35-50 cm		
석천토	16.6	17.0	15.3	3	3	3	9	대
행곡토	19.8	24.6	20.6	3	3	3	9	대
청원토	28.7	29.5	31.4	2	2	2	6	중
평택토	23.5	27.6	26.1	3	2	2	7	중
화동토	32.0	33.5	49.2	2	2	1	5	소
부용토	27.5	48.0	49.9	2	1	1	4	소

* 농촌진흥청, 2001

배수시에 배수 깊이와 간격은 함께 고려해야할 사항이며, 배수 깊이가 깊으면 더 넓은 간격으로 설치하고, 배수 깊이가 얕으면 더 좁은 간격으로 배수시설을 해야 한다.



[그림 2.29] 깊고 넓은 배수관과 얇고 좁은 배수관 설치

(Simpson H., B. Conant and J. Myslik, 2006)

Donahue 등은 「Soils, an Introduction to soils and plant growth」에서 토양조건에 따라 추천되는 배수방법을 <표 2.24>과 같이 제시하였다. 경사지에서는 저지에 차단선이나 누출구를 설치하고 평지에서는 배출구 문제로 동력배수가 필요하며, 토심이 깊은 투수가 안 되는 식토에서는 천공, 지표, 도랑배수를 실시하고 관개 시 주의가 필요하며, 강우로 수위가 변하는 토양에서는 표면배수를 우선하고 관이나 타일배수를 고려해야 한다고 하였다.

<표 2.24> 배수불량지에서 토양과 지형에 따른 적정 배수방법

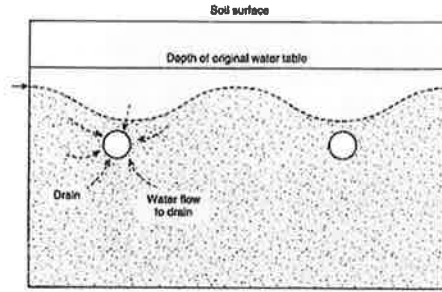
토양조건	배수방법 추천
1. 경사지	- 저지에 차단선이나 누출구
2. 평지	- 배출구 문제로 동력배수
3. 토심이 깊은 투수가 빠른 사질토	- 다양한 방법
4. 토심이 깊은 투수가 안되는 식토	- 관개시 주의, 천공, 지표, 도랑배수
5. 불투수층 위에 얇은 투수층 토양	- 불투수층위에 관이나 타일 배수
6. 식력층위에 깊은(2.7-3.7m)불투수층	- 배수받이, 습윤지역은 표면, 도랑배수
7. 관개로 수위가 변하는 토양	- 격자형 배관시설
8. 강우로 수위가 변하는 토양	- 표면배수 우선, 관이나 타일배수 고려
9. 못	- 표면경사배수

* Donahue R. L., R. W.Miller and J.C. Shickluna. 1983. 497p.

루안다-우간다 접경지대의 침수지역에서 대체방안은 고희채배가 33.8%로 가장 많고, 다음으로 다른작물 대체 13.5%, 비료사용 12.2%, 농약살포와 배수로 설치가 각각 10.8%를 차지하고 있었다.



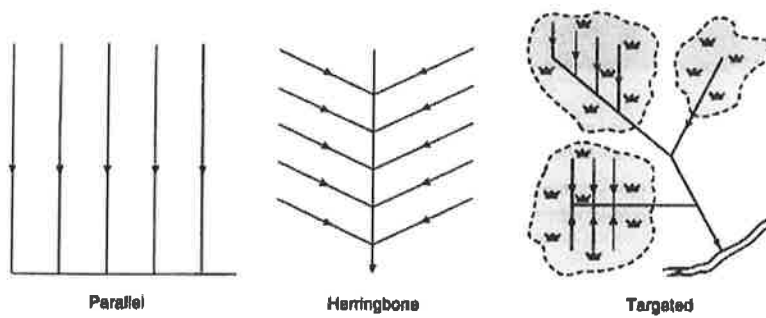
[그림 2.30] 루안다-우간다 국경지대서 침수에 대비한 두류의 고희 재배
(Cyamweshi Rusanganwa Athanase, John Steven Tenywa, Moses Tenywa Makooma, John James Okiror. 2013).



[그림 2.31] 지하배수 물의 이동 (Edward J. Plaster. 2012)

과잉의 물을 제거하기 위하여 배수관을 매설하면 토층의 물이 배수되면서 지하수위가 내려가는데 배수관으로 유입되는 물은 토양에 따라 영향권이 달라진다.

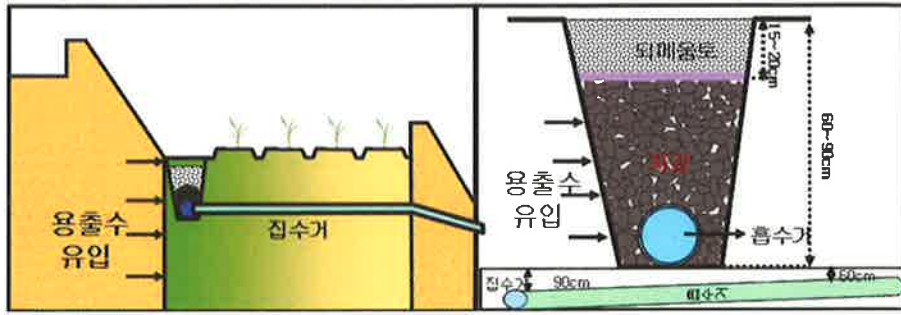
배수시설은 지형에 따라 토층 속의 과잉의 물을 배수시켜 외부로 내보내야 하므로 지형에 따라 집수하여 하천으로 연결하기 위해서는 지형에 맞는 설계가 필요하다.



[그림 2.32] 지형에 따른 배수체계 (Edward J. Plaster. 2012)

암거 배수시설은 다공관인 흡수거 주위에 왕겨나 모래, 나뭇가지 등 여과피복재를 넣고 흘러나오는 물을 집수거로 연결하여 배수시켜야 한다.

미국 오하이오의 농업관개 지도 자료에 의하면 암거배수의 깊이는 30~40inch, 간격은 20~80feet로 지도하고 있다(Zucker L. A. and L. C. Brown. 2013).



[그림 2.33] 1열 암거시설 모형 (작물과학원, 2013)

네덜란드에서는 배수형태를 지하배수, 관정배수, 표면배수, 간선배수로 분류하고 거기에 필요한 공학적 요소들을 <표 2.25>과 같이 정리하였다. 배수시설은 반영구적이기 때문에 그 지역 환경과 토조건들을 두루 고려하여 배수 깊이, 간격, 관 또는 도랑의 규격, 관정과 펌프의 용량, 농장의 경사와 길이, 상반과 고랑의 규격, 넓이, 단면, 배수경사, 격자의 간격 등이 두루 고려되어야 할 것이다.

<표 2.25> 배수형태에 따른 공학적 요소

배수형태	공학적 요소
지하배수	깊이, 간격, 관 또는 도랑의 규격
관정배수	깊이, 간격, 관정과 펌프의 용량
표면배수	농장의 경사와 길이, 상반과 고랑의 규격
간선배수	깊이, 넓이, 단면, 배수경사, 격자의 간격

* Wageningen U, 2010

일본에서는 토성에 따라 배수로와 간격을 정하였는데 식양토는 1.0-1.2m 깊이에 0.5-1.2m 간격을, 양토에는 0.8m 깊이에 1.0-1.5m 간격을, 그리고 사양토에는 0.7-0.8m 깊이에 1.2-2.0m 간격을 제시하였다.

<표 2.26> 토성별 투수계수와 소배수로 깊이와 간격

토 성	투수계수 (cm/sec)	소배수로	
		깊이(m)	간격(m)
식양토	$10^{-4} - 10^{-5}$	1.0-1.2	0.5-1.2
양 토	10^{-4}	0.8-1.0	1.0-1.5
사양토	10^{-3}	0.7-0.8	1.2-2.0

* 山崎不二夫, 1976a, 211p

한편 투수계수별로 압거깊이를 각각 0.9, 1.2와 1.5m로 했을 경우의 압거간격은 <표 2.27>에서와 같다.

<표 2.27> 투수계수와 압거깊이에 따른 압거간격(m)

투수계수(cm/sec)	압거깊이(m)		
	0.9	1.2	1.5
0 ~ 3.5×10^{-5}	0 - 4.5	0 - 6	0 - 7.5
3.5×10^{-5} - 1.4×10^{-4}	4.5 - 9.0	6 - 12	7.5 - 15
1.4×10^{-4} - 5.6×10^{-4}	9.0 - 18	12 - 24	15 - 30
5.6×10^{-4} - 1.7×10^{-3}	18 - 33	24 - 43	30 - 54
1.7×10^{-3} - 3.5×10^{-3}	33 - 46	43 - 61	54 - 76
3.5×10^{-3} - 7.0×10^{-3}	46 - 66	61 - 87	76 - 108

* 山崎不二夫. 1976a. 222p.

배수관의 물이 원활히 흘러나오려면 충분한 경사로 설치해야 되는데 배수관 직경이 작을수록 경사를 더 두어야 한다. 지경 6cm 이상인 관을 매설할 경우에는 최소 구배는 1/1000이며 최대구배는 1/250이다.

<표 2.28> 압거관 내경에 따른 배수경사도

배수관 내경(cm)	최소구배	최대구배
1	1/400	1/125
5	1/500	1/180
6 이상	1/1,000	1/250

* 山崎不二夫. 1976a. 229p

밭토양에서 여러 가지 토양물리성 개량에 의한 토심별 수분함량의 변화를 보면 표토의 수분함량은 물리성 개선으로 감소되었으나 심토의 수분함량은 물리성 개선효과가 있어서 오히려 증가되었다.

<표 2.29> 배수처리 후 토양수분 변화

토심(cm)	무처리	심토반전	견인식파쇄	폭기식파쇄	압거배수
0-10	11.7	13.3	9.7	9.6	8.5
10-20	18.1	14.4	15.4	15.2	15.6
20-30	19.8	21.6	20.2	20.9	22.1
30-40	23.0	26.7	27.3	26.4	28.8
40-50	25.2	33.2	26.8	25.7	27.6
평균	19.6	21.8	19.9	20.0	20.5

* 농촌진흥청. 2012

토성은 물이동과 보수력 등 토양의 물리적 특성에 가장 큰 영향을 나타내며 양이온교환용량이나 완충능 등 화학성에 크게 영향을 준다. 논토양에서 배수등급이 같다고 하더라도 토성이 다르면 수분침투율이 다르다. <표 2.30>은 논토양의 토성과 배수등급에 따른 수분침투율(infiltration rate)을 비교한 것이다.

수분침투율은 배수등급이 약간양호한 경우에 식토에서는 5.8mm/day로 느리나 식양토, 사양토, 시토로 토성이 조립질로 될수록 변함에 따라 각각 7.6, 9.6, 39.7mm/day로 증가하였으며 같은 토성에서도 배수등급이 불량해질수록 수분침투율이 현저히 떨어졌다.

<표 2.30> 논토양의 토성과 배수등급에 따른 수분침투율 비교

배수등급	토성별 수분침투율(mm/day)			
	식토	식양토	사양토	사토
약간 양호	5.8	7.6	9.6	39.7
약간불량	5.8	6.8	9.6	29.7
불량	-	5.3	5.9	15.9
평균	5.8	7.0	8.4	28.5

* 농기연, 1972

한편 Hillel(1980)은 토성별 수리전도도, 배수간격과 배수깊이를 아래 표와 같이 제시하였다. 그는 토성이 세립질일수록 배수간격을 좁혀지고 배수깊이는 거의 1m 이상으로 제시하였다.

<표 2.31> 토성에 따른 배수간격 및 깊이

토양	수리전도도 (cm/day)	배수간격 (m)	배수깊이 (m)
식토	0.15	10~20	1~1.5
식양토	0.15~0.5	15~25	1~1.5
양토	0.5~2.0	20~35	1~1.5
세사양토	2.0~6.5	30~40	1~1.5
사양토	6.5~12.5	30~70	1~2
이탄토	12.5~25	30~100	1~2

* Daniel Hillel. 1980

Sys교수가 제시한 여러 작물들의 유효토심을 종합해 보면 논 작물은 토심 90cm이상, 곡류는 90-120cm 이상, 유지작물 100-150cm 이상, 서류 90-100cm 이상, 채소류 75-150cm, 목초 100cm 범위였다.

<표 2.32> 작물별 적정 토양 물리성

구 분	작 물	배수등급		토 심 (cm)	토 성
		양질, 식양질	사양질		
논 작물	벼(독,천수답)	불 량		-	C
	벼(천수답)	매우불량		>90	C
	벼(관개답)	약간불량		>90	C
곡 류	밭벼	양호	약간불량	120	Si-C
	밀	양호	약간불량	>90	Si-C
	보리	양호	약간불량	>90	Si-C
	옥수수	양호	약간불량	>100	Si-C
유지작물	콩	양호	약간불량	>100	Si-C
	땅콩	양호	약간불량	>100	SL, L, SCL
	해바라기	양호	약간불량	>150	Si-C
	참깨	양호	약간불량	>100	SL-CL
서 류	감자	양호	약간불량	>90	Si-C
	고구마	양호	약간불량	>100	Si-C
채소류	완두	양호	약간불량	>100	Si-C
	토마토	양호	약간불량	>150	Si-C
	당근	양호	약간불량	>100	L, SL, LFS
	양배추	양호	약간불량	>75	L, SCL
	청고추	양호	약간불량	>100	SL-SiCL
	수박	양호	약간불량	>150	L-SiC
목 초	알팔파	양호	약간불량	>100	SL-SC

* Sys et al. 1993. III 정리

그리고 작목별로 재배 적정깊이를 곡류, 목초, 뿌리작물은 90cm로 하고 한계깊이는 곡류와 목초지는 10-20cm, 뿌리작물은 20-40cm로 하였으며 다년생 및 심근성작물은 적정토심을 150cm, 한계치를 30-60cm로 잡았으며 관개농업에서는 훨씬 더 높은 범위로 설정하였다.

<표 2.33> 작물별 재배지의 토양깊이 기준

토지이용	토양깊이(cm)	
	적정	한계
곡류, 목초(노지)	>90	10-20
뿌리작물(일년생)	>90	20-40
다년생, 심근성 작물	>150	30-60
관개농업	>300	50-100

* Sys et al. 1991a

여러 연구결과에 의하여 설정된 토양 물리성의 주요인자를 보면 최적지는 논이 유효토심 50-100cm 범위였고 밭은 100cm 이상이었고 밭토양의 지하수위도 일본에서만 60cm로 잡았을 뿐 우리나라와 중국은 100cm 이상이므로 논에서의 밭작물재배를 위해서는 배수관 깊이를 적어도 1m 이상으로 계획하고 그에 따른 간격을 정하여 배수시설을 설치해야 할 것이다.

<표 2.34> 토지 생산성과 관련된 물리성 기준

국 별	토지 이용	유효토심(cm)		지하수위 (cm)		배수등급	비 고
		최적	한계	최적	한계	최적	
일본	논	>50	<15	>60	-	-	토양협회
	밭	>100	<15	>60	-	-	
미국	밭	>100	<25	>150	-	양호-약간양호	Olson. 1985
중국	논	>100	<30	>100	<30		이경달,
네덜란드	벼	>90	<20	-	-	양호, 약간불량	Sys 등
	콩	>100	<20	-	-	양호, 약간불량	
	양과	>75	<20	-	-	양호, 약간불량	
우리나라	논	>100	<20	>30	-	약간양호, 약간불량	농촌진흥청
	밭	>100	<20	>100	-	양호, 약간양호	

이러한 배수시설이 완료되면 금후 이상기온이 오면 논의 이용률을 증진할 뿐 아니라 토양 및 작물 현장 측정 센서와 GPS를 연계한 기계화정밀 농업으로 농자재 및 농작업의 적기적량 투하로 모든 낭비를 줄이고 효율을 높이는 정밀농업을 달성하는데도 크게 기여할 것이다.

범용농지조성 기반기술 개발(II)
Development of Technology for Multipurpose
Utilization of Paddy Field (II)

제3장 국내외 농지범용화 사례

제3장 국내외 농지범용화 사례

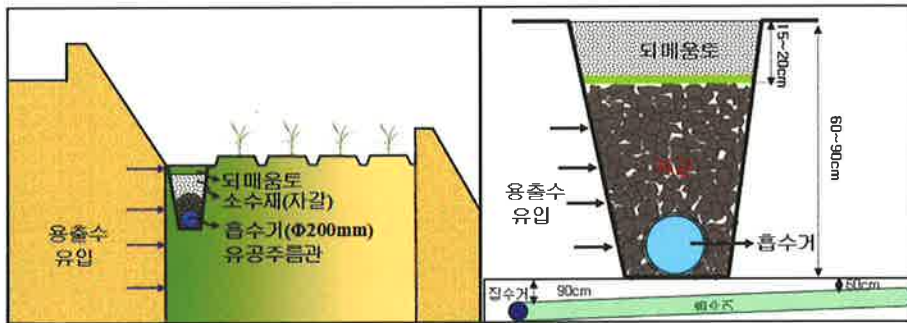
3.1 국내 연구사례

3.1.1 밀양

경남 밀양의 농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 정기열 박사는 밭작물 재배를 위한 경사지 논토양의 배수방법 개선연구에서 200mm유공관, 쇠석 소수재, 수갑, 비닐막 차단설치를 통한 외수유입방지시설을 설치하여 암거배수 연구를 실시하였다. 유공관 매설깊이는 60~90cm, 소수재는 30cm깊이로 충전, 바닥경사는 2~7%로 시험시공하였다. 수갑으로는 사진과 같이 스테인레스 접형변을 집수거 단부에 설치하여 배수를 관리하였다.



[그림 3.1] 수갑 설치사례



[그림 3.2] 시험포 유공관 설치 단면 개념도

3.2 국내 사업화 사례

3.2.1 범용화 관련 사업

농경지의 단위생산량 증대를 위한 습답의 건답화와 농기계 작업능률을 향상시키기 위해 지하배수개선사업의 설계기준을 설정하기 위해 1976~1981년에 국제연합한국배수개선 기구(UNDP)가 10개 지구를 조성하여 많은 연구업적을 이루었고, 현재의 「농지개량사업설계기준(배수편)」을 거쳐 「농업생산기반정비사업 계획설계기준(배수편)」의 토대가 되었다. 본 배수편의 제5장 지하배수계획에서 범용화 사업에서 필요한 암거설계기준 등이 비교적 상세하게 다루어지고 있다. UNDP 사업의 기본계획에 따라 1975년 10월 화란인 지하배수전문가 Mr. J.C. Cavelaars는 시범지구 선정을 위한 용역작업을 위해 한국에 온 것으로 기록되고 있다(김재곤, 1977).

1970년대 후반 이전에는 밭작물 재배보다 쌀 생산이 수익성이 높아 용수가 확보되면 논으로 전환하는 등으로 밭정비사업은 농민들이 선호하지 않았다. 하지만 기상재해 등으로 채소류의 가격 파동, 생활수준향상에 따른 고품질 과일, 채소 수요 급증, 1993년 UR협상타결 등 국내외적 영향에 의해 밭농업의 전망이 불안해지자 국제경쟁력 향상이 절실하게 되어 주산단지 용수개발사업을 중심으로 시작하게 된다. 밭기반정비사업은 본격적으로 시작된 1994년 이래 2012년까지 총투자사업비 2조2천9백억원이 투자되어 총 2,832지구 97,496ha가 정비되었다.

끝으로, 대구회경지정리사업은 재개발형, 집단화형, 시설개량형으로 구분되어 실시되고 있으며, 사업추진 실적은 '94~'12년 기간 중 사업비 24,781억원을 투자하여 1229.9천ha를 완료함으로써 목표면적의 72.5%의 시행율을 보이고 있다.

3.2.2 인삼재배단지

논 인삼재배단지에서 암거배수장치를 이용하여 얇은 깊이로 암거관을 매설하여 배수하는 방식으로 암거깊이 65cm, 간격 5~7m로 시공하였고, 강우기에 배수불량인 논토양의 토양수분 및 지하수위를 제어하여 생육을 촉진할 수 있으며, 인삼 수확 후에는 말단부의 수위조절밸브를 닫아 벼농사 재배가 가능하도록 하였다.



<암거배수 처리구>



<암거배수 무처리구>

[그림 3.3] 인삼재배단지에서의 암거배수

<표 3.1> 암거간격별 지하수위 비교

구분	무처리구	처리구				비 고
		3m 간격	5m 간격	7m 간격	평균	
지하수위(cm)	-5.1	-51.0	-37.9	-35.9	-41.6	

3.2.3 과수재배단지

나주시 원예연구소에서 직경 20-25cm 유공암거배수관을 차광 망으로 둘러 깊이 1m에 설치하고, 암거배수관의 상부에서 하부까지 충분한 구배를 두어 관내에 흠이 쌓이지 않고 지하 정체수가 자연 배수 되도록 하였다. 암거배수관 주위에 흠이 들어가 막히지 않도록 자갈이나 왕겨를 넣어 물빠짐이 좋게 하고 농기계와의 잦은 출입에 의한 유공관의 파손을 방지하였다.

신규 조성 과원은 재식열 하단부에 설치하고 기존 과원은 뿌리가 절단되지 않는 범위에서 열간에 암거배수관을 설치하였다.

<표 3.2> 암거에 따른 효과비교

처리	과중 (g)	당도 (°Bx)	산함량 (%)	신초장 (cm)	신초수 (개/주)	절간장 (cm)	비 고
암거배수	657	12.4	0.09	106	115	5.1	
대조구	595	11.5	0.10	85	87	5.6	

3.2.4 간척지 제염암거 시공사례

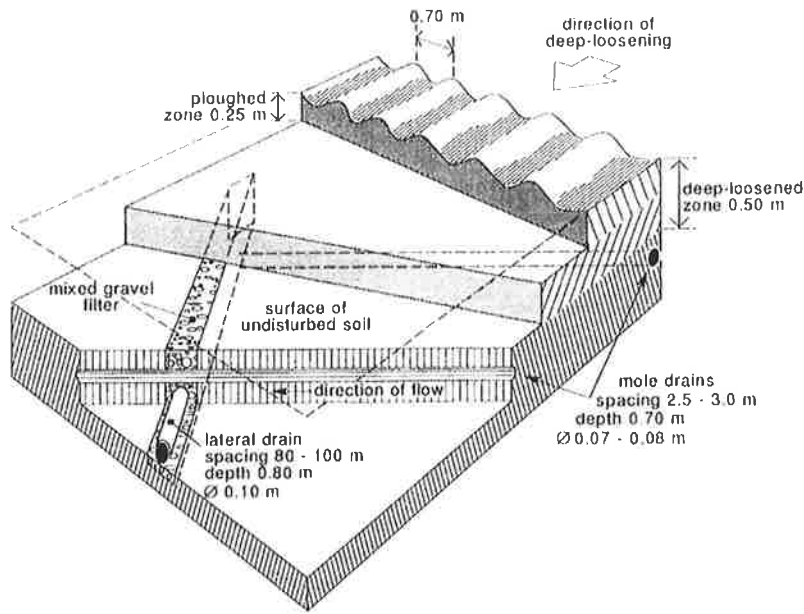
미래농촌연구소 김현태박사는 경기도 화성시 우정읍 화옹간척지에 제염 목적의 암거를 시험시공하였다. 공사비를 절감하기 위해 백호에 장착할 수 있는 반원형 날을 제작하여 깊이 50cm로 파고, 부직포가 덮인 50mm유공판과 폭 50cm의 덮개 부직포를 별도의 장치를 통해 부설하는 공법을 통해 시공하였다. 200mm유공판을 집수거로 시공하여 흡수거와 연결하였다. 간척지 제염의 목적으로 시공하였지만 범용화사업의 공법과 유사하며 제염 및 지하배수기술의 개발을 위해 계속 모니터링하고 있는 것으로 조사되었다.



[그림 3.4] 제염암거 시공사례

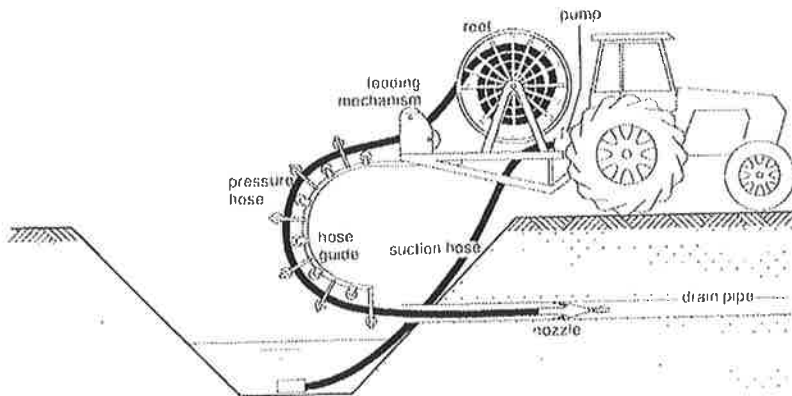
3.3 국외 연구사례

[그림 3.5]에서와 같이 몇몇 국가에서는 80~100m간격, 깊이 80cm, 직경 10cm의 주암거를 설치하고, 트렌치에 채워진 자갈층을 통과하도록 2.5~3.0m간격, 70cm깊이, 7~8cm직경의 두더지 암거를 시공하는 것으로 조사되었다. 경운 심도 25cm, 느슨한 작토층 50cm, 이랑 70cm, 심토파쇄 방향은 보조암거를 횡단하도록 경작지를 조성하는 것으로 나타났다.



[그림 3.5] 지하배수암거 개념도

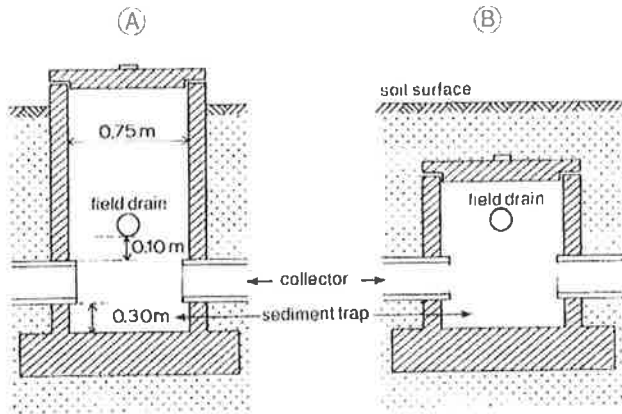
세척장치는 트랙터에 장착하여 사용하며, 저압 2000kPa, 보통압 2000~5000kPa, 고압 5000kPa이상 10,000kPa까지 분류되어 사용된다(Bons and Van Zeijts 1991). 관내마찰손실로 노즐에서는 펌프압의 50%정도 발휘된다.



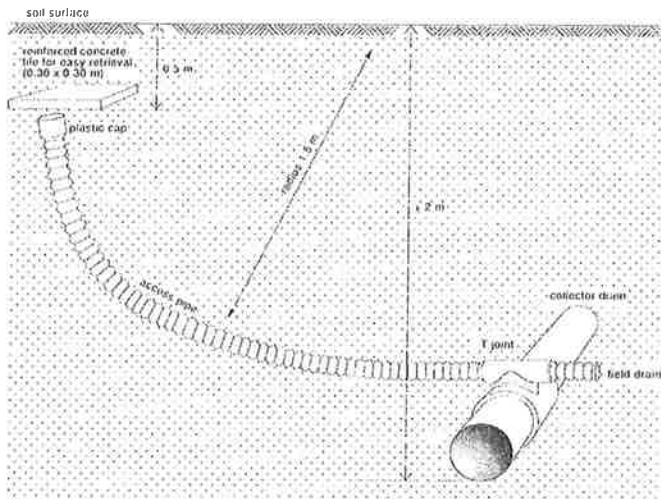
[그림 3.6] 암거 세척용 장치

집수거내 유지관리를 위한 접근호수를 T조인트로 연결하고 경작에 방해받지 않도록 호수의 입구는 지중 50cm 깊이에 30cm×30cm 콘크리트

판을 덮어보호하는 방식을 사용하고 있다. 흡수거와 집수거의 연결에 맨홀을 설치하여 유지관리를 하고 있는데, 경작에 방해되지 않도록 지중에 묻는 방식과 지상으로 뚜껑이 노출되는 방식이 사용되는 것으로 조사되었다.



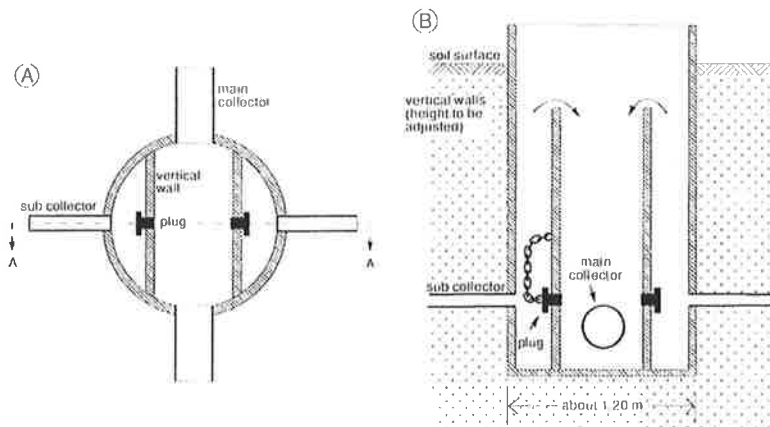
[그림 3.7] 유지관리를 위한 맨홀



[그림 3.8] 관내세척용 노즐이나 막대 관입구

흡수거와 집수거를 연결하는 맨홀을 격벽식으로 제작하여 지하수위를 조절할 수 있도록 하고 있다. 다양한 시도들이 이루어졌던 것으로 조사되었다.

있으나 실용화여부는 불투명하며, 최근 다양한 소재의 수갑들이 고안되어
 실효성이나 시공비 측면에서도 경쟁력이 떨어질 것으로 판단된다.



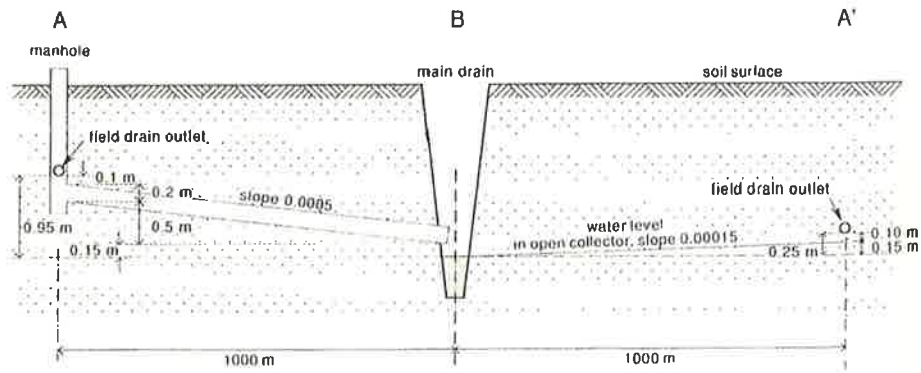
[그림 3.9] 맨홀방식 수갑

논으로 사용하고 있는 경작지의 지하수위를 낮추기 위해서는 흡수거
 인 유공암거를 설치하고 흡수거들을 집수거에 연결하여 경작지 외로 배제
 시켜야 하는데 하천 등 명거로 구배를 맞추어 자연배수시키는 방식과 썸
 프(sump)를 설치하여 집수된 물을 펌핑하여 하천으로 내보내는 방식이
 사용되는 것으로 조사되었다.

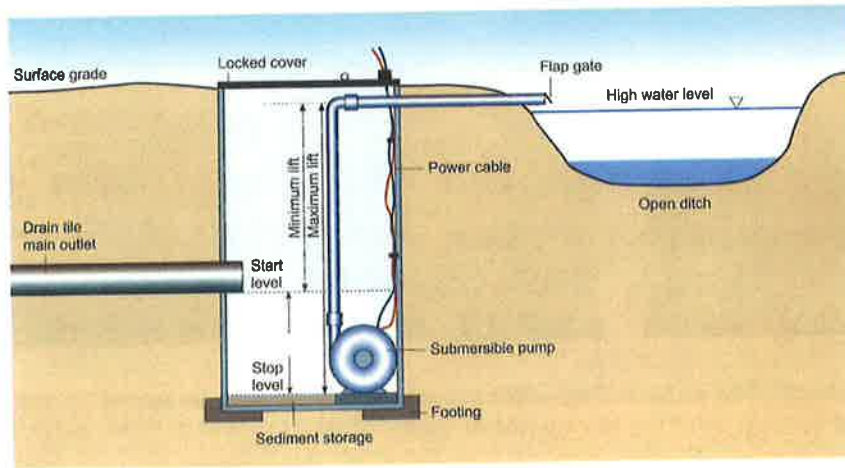
명거방식에서는 [그림 3.10]에서 보는 바와 같이 흡수거와 집수거의 고
 저차를 10cm, 집수거의 관경 20cm, 집수거의 구배0.0005(길이가 1000m이면
 고저차 50cm), 주배수로의 수면과의 여유고는 15cm를 유지하여야 하기에
 흡수거와 배수로의 수면의 고저차는 95cm이 필요하게 된다.

썸프방식은 [그림 3.11]에서와 같이 집수거의 단부에 썸프를 설치하고
 집수된 물을 배제하기 위해 펌프를 설치하여 일정 수위가 되면 펌프가 작
 동하게 하여 썸프내 물을 하천 등으로 배제시키고 있는 것으로 조사되었
 다.

단지의 지형적 구조에 따라 적정 방식을 선택하거나 조합하는 방식이
 사용될 수 있을 것으로 판단되었다.

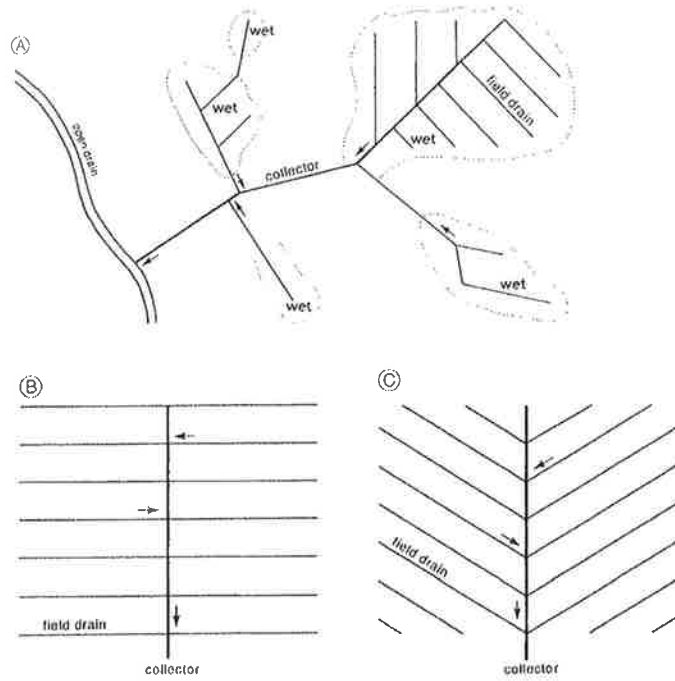


[그림 3.10] 명거배수 단면도



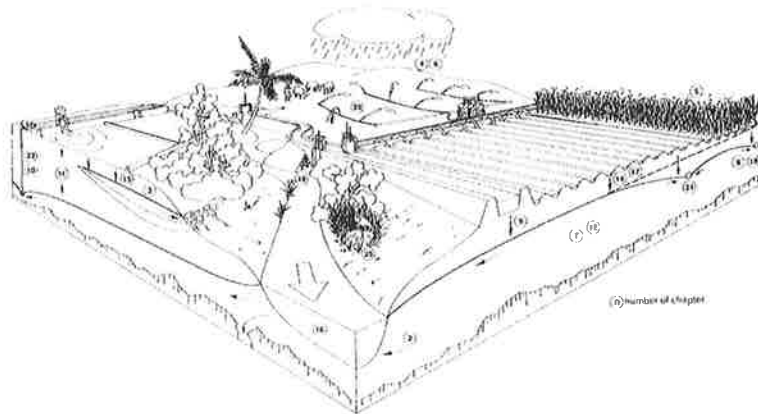
[그림 3.11] 셉프(sump) 설치 사례

단지계획 시 임의 습윤지역들의 집수거 배수라인 구조도와 필지내의 흡수거와 집수거의 연결구조도로 평행격자구조와 어골구조 등이 있는 것으로 조사되었다.



[그림 3.12] 지구단위 지하배수암거의 다양한 조합 예

경작지 토양배수를 위해 강우, 지하수 조사, 토양조건, 증발산, 지하수 흐름 특성, 지표수 흐름특성, 지반공학 등 다양한 분야의 관련 전문지식이 다루어지는 전문서적과 지하배수 시공실무서 등이 작성활용되는 것으로 조사되었다. 즉, 실용화를 위해서는 해당분야의 충분한 검토를 통해 실무 지침서의 작성이 필요할 것으로 판단되었다.



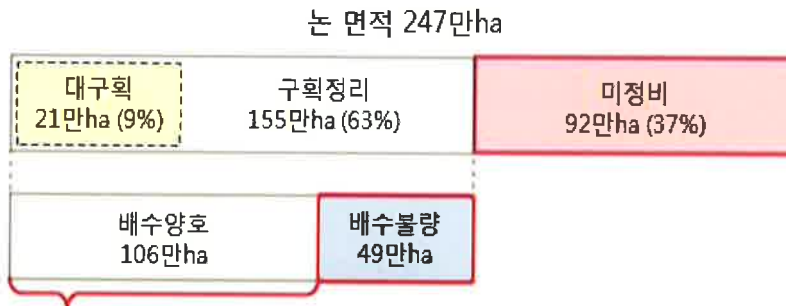
[그림 3.13] 토양배수를 위한 분야별 전문지식을 다룬 예

3.4 국외 사업화 사례

3.4.1 일본 범용농지 활용기술

가. 범용화사업 추진 현황

일본 농림수산성 경지의 작부면적 통계자료 농업기반정보기초조사에 따르면 전체 논 면적 247만ha 중 지하수위가 70cm이상, 담수배제시간 4시간 이하인 배수양호 논이 범용화 논으로서 사업 추진에 따라 그 면적이 2011년 106만ha, 2012년 107만ha로 매년 증가하는 것으로 조사되었다.



범용화논

[그림 3.14] 2011년 일본의 논 현황(平成23년)



범용화논

자료) 농림수산성(경지의 작부면적통계자료, 농업기반정보기초조사)

주:1) 구획정비논, 30a정도 이상구획으로 정비된 논(대구획 1ha정도 이상)

2) 배수양호는 지하수위가 70cm이상, 담수배제시간은 4시간 이하인 논

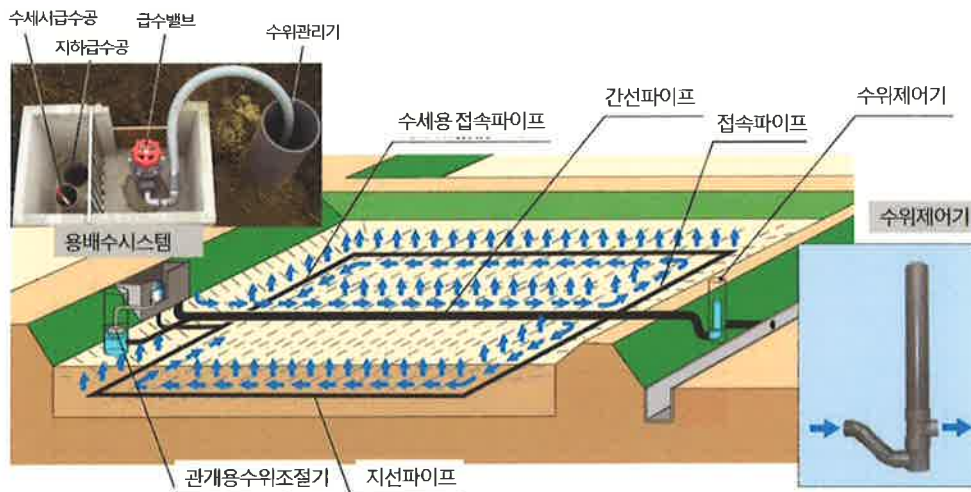
[그림 3.15] 2012년 일본의 논 현황(平成24년)

나. FOEAS시스템

일본의 범용화 기술의 한 예로서 농촌공학연구소와 개인회사에서 개발한 FOEAS시스템이 조사되었다. 그들은 다음과 같이 그 기술을 소개하고 있다.

비로 인한 피해로 수확량이 감소하고, 품질이 저하되는 피해를 받은 발농가에서 배수관 배수 정비에 의해 배수성을 개선하기 위해 지하배수 및 지하관개기술을 도입하고 있다. 이로 인해 농작물의 수량, 품질, 암거배수에 대한 평가결과 강우 후 신속하게 방제와 수확이 가능해졌으며, 잉여수 제거에 의해 생육의 불량을 방지 할 수 있었고, 암거배수 정비에 의해 잉여수의 제거 및 적기 작업이 가능해졌다.

또한, 수압, 관개용 밸브를 통해 지하수위 조절과 관개량을 조절하여 재배작물에 적정 지하수위조절과 관개용수의 공급을 실시하는 FOEAS 시스템을 도입하고 있다.

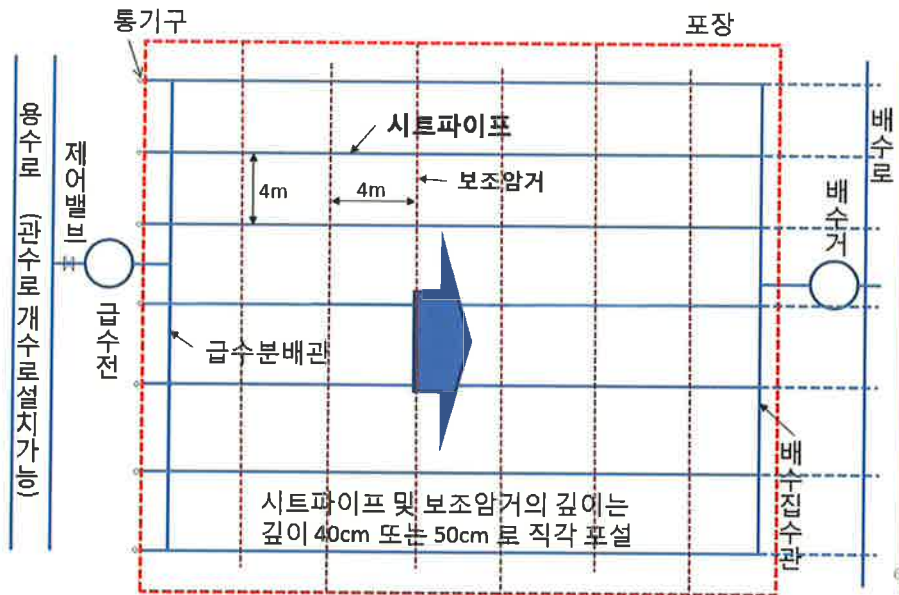


[그림 3.16] 일본의 FOEAS시스템

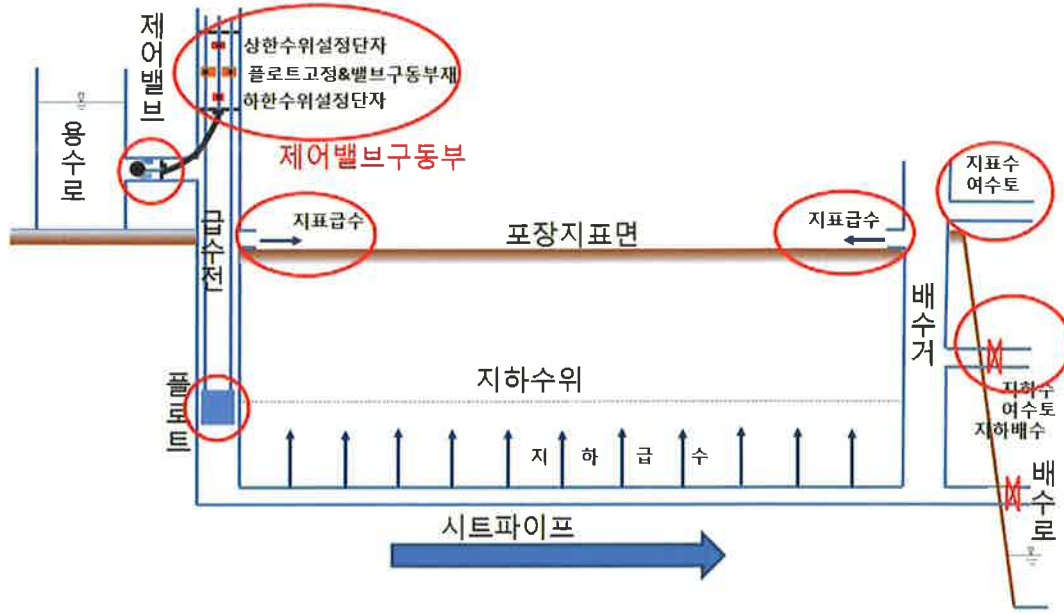
다. 시트파이프 배수·관개시스템

일본 규슈대학교 후쿠다 교수는 협동연구기관들과 함께 시트파이프 배수·관개시스템(Sheet Pipe Drainage and Irrigation System)을 개발한 것으로 조사되었으며, 간략히 요약하면 다음과 같다.

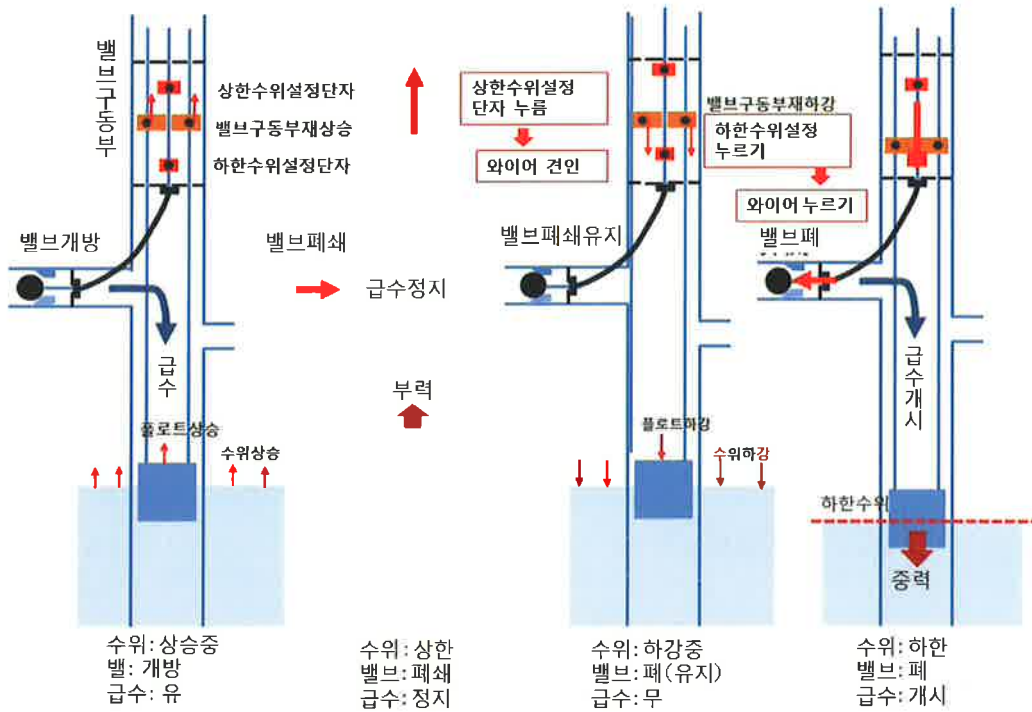
본 기술은 약 40년 전에 개발되어 2001년에 신기술로 인정되어 사용되는 암거배수 장치로서 오이타 현, 나가사키 현, 후쿠오카 현, 가고시마 현 등에 보급되어 있으며, 오이타현 우사시만 1400ha의 시공 실적을 가지고 있다. 시트 파이프 배수관이 시공된 기설 포장에 관개기능을 추가할 수 있다. 신규 부설의 경우, 우선 시트 파이프 배수관만을 부설하고 필요에 따라 나중에 관개 기능을 추가하는 등 단계적인 정비도 가능하다. 용수로는 관수로, 개수로 모두에 대응 가능하다.



[그림 3.17] SPIDI 시스템의 평면도

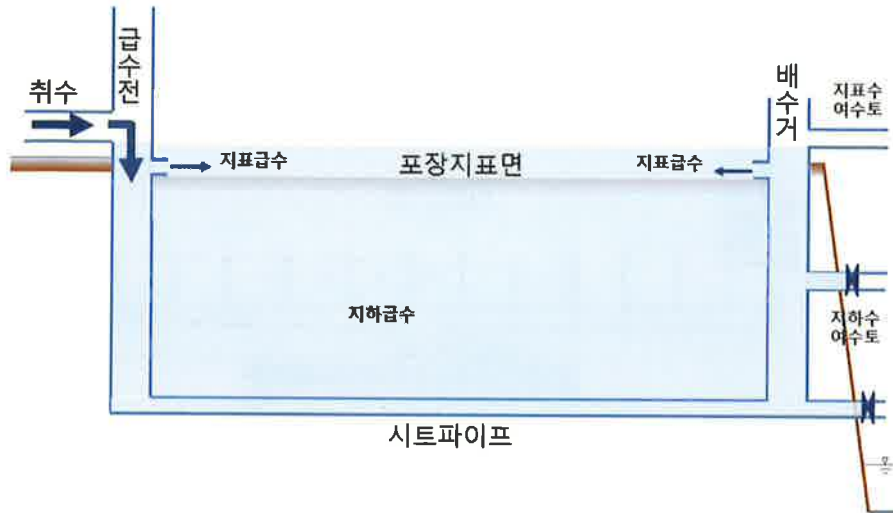


[그림 3.18] SPIDI 시스템의 단면도

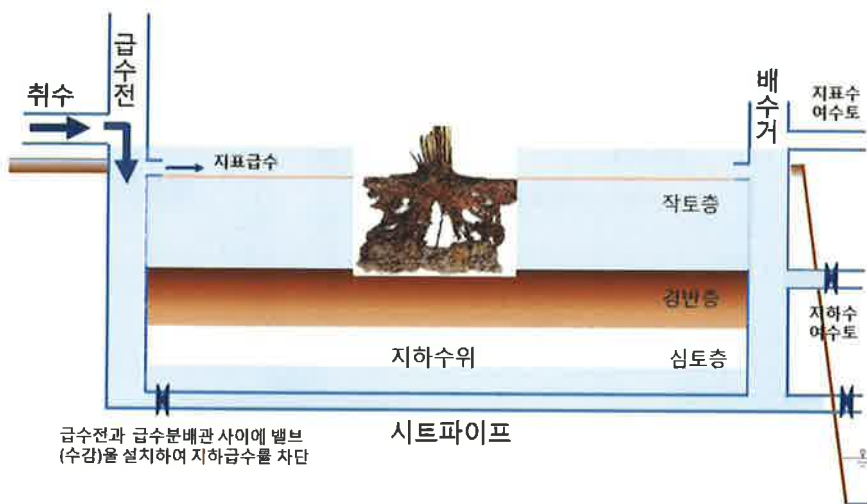


[그림 3.19] 급수제어 메카니즘

본 SPIDI 시스템의 특징은 지표급수가 가능하고 수도작의 경우 지하와 지표 양방향 급수가 가능하기 때문에 이양기 간단관계 시 단시간에 급수할 수 있는 점이다. 또한 갈수 때는 토양 전체를 전부 포화시킬 필요가 없기 때문에 지표관개만 설정하여 절수가 가능하다.

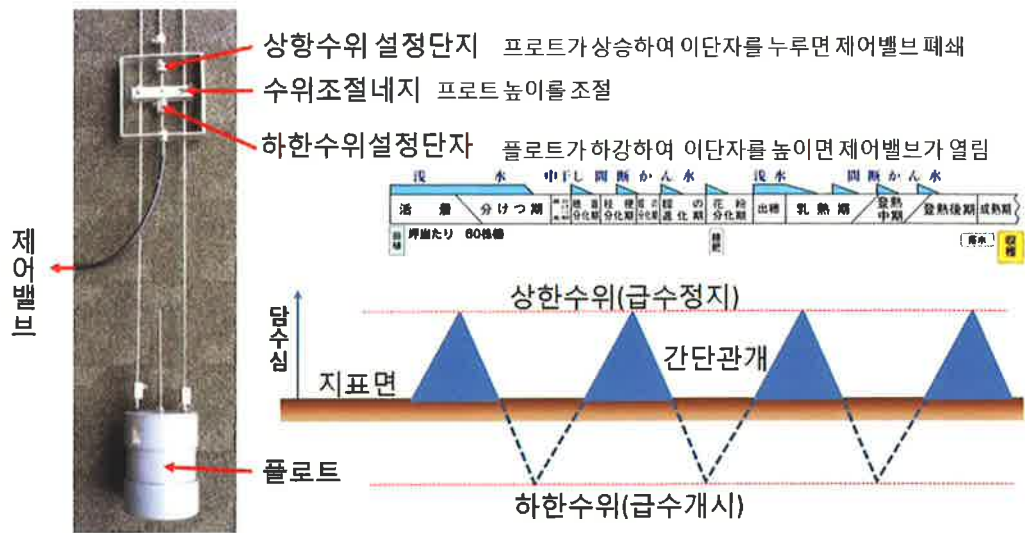


[그림 3.20] 지표급수 개념도



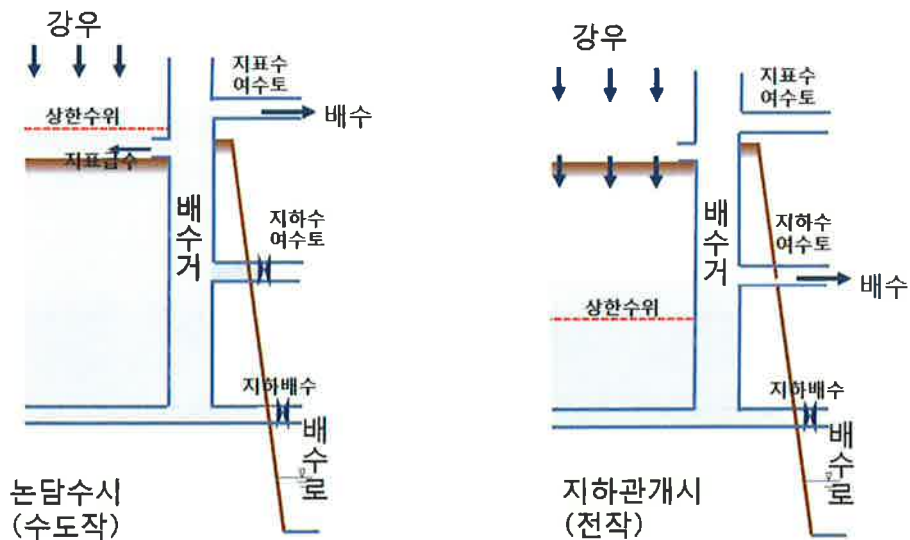
[그림 3.21] 갈수기 때 절수 개념도

또 하나의 특징으로는 수위의 상한과 하한을 설정하여 수도작의 간단관계가 가능하는 점이다.



[그림 3.22] 수도작 간단관개 개념도

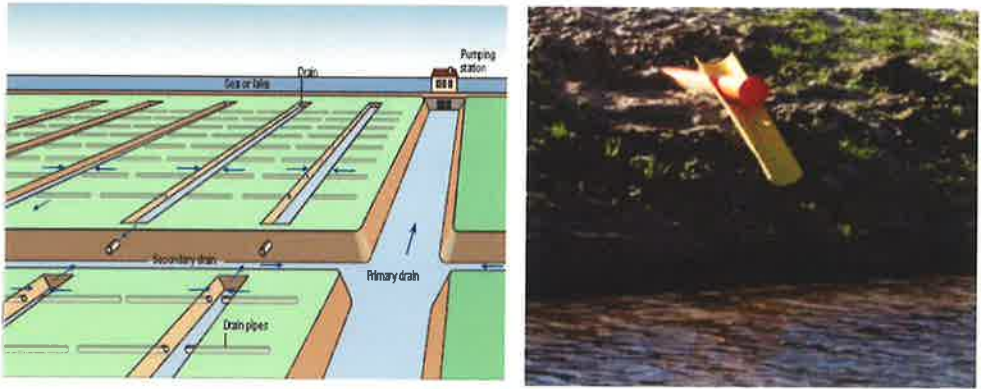
강우시에 수위가 상한수위를 초과한 경우 배수거의 여수토로부터 배수가 가능하다.



[그림 3.23] 강우시 여수토에 의한 배수 개념도

3.4.2 네덜란드 범용농지 활용기술

네덜란드는 토지의 25 %가 해수면 아래에 있어, 약 65 %가 침수지역에 위치하고 있고, 기후는 연평균 강수량이 약 750 mm, 연간 증발량은 약 475 mm로 비교적 온화한 지역이다. 네덜란드의 경우 관개와 배수를 겸용하는 배수시스템을 활용하고 있으며, 작물의 과습을 방지하기 위해 집중적인 배수 시스템을 실시하고 있다. 배수의 경우 기계배수를 통해 적정 수위관리를 하고 있으며, 농지 내에는 암거를 설치하여 배수를 실시하고 있다.



[그림 3.24] 네덜란드 배수시스템

작물생육을 위해 토양의 적정 수분관리, 용수 확보 등을 위해 배수로에 관개수를 저류하고 필요시 고압분사호스를 이용하여 대규모 농지에 용수를 공급하고 있다.



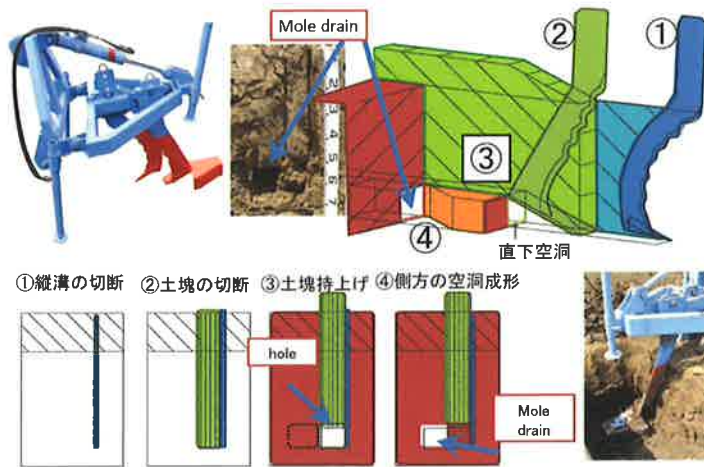
[그림 3.25] 네덜란드 저류형 배수로

3.5 범용농지 기계화

3.5.1 배수암거 매설 장치

가. 일본

일본 국립농촌공학연구소 Iwao KITAGWA는 새로운 “Cut-drain”장치를 배수암거 설치용 기계로 개발하였다. 그는 토양의 투수성을 개선할 수 있는 저비용 배수개선 기술을 소개하였다. 농업에서 경쟁력이 있기 위해서는 배수개선비용이 극도로 낮아야 하므로 파이프 등 재료가 쓰이지 않는 배수개선 방법이 필요하다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 두더지 암거를 이용한 기술을 소개하였다. 이 장치는 깊이 40~70cm에 10~15cm폭의 사각 공동을 만들어주는 장치로 농부들의 트랙터에 부착하여 사용한다. 먼저 공동을 만들고 흙이 오래도록 유지되도록 하기 위해 흙덩이를 이동시켜 두덩을 만들어주는 방식으로 견고한 흙에도 적용이 되며 붕괴에 덜 민감해지도록 하는 방식이다. 시간당 수밀리미터의 강우에도 침투 배수량을 소화할 수 있고, 트랙터의 속도를 2~4km/hr의 속도로 시공할 것을 권고하고 있으며, 간격은 상황에 따라 달라질 수 있지만 2.5~5m를 표준으로 한다. 일본농공학회 기준 토성 S/SL인 모래질 50%이상의 토양에서는 적용할 수 없는 단점이 있다.



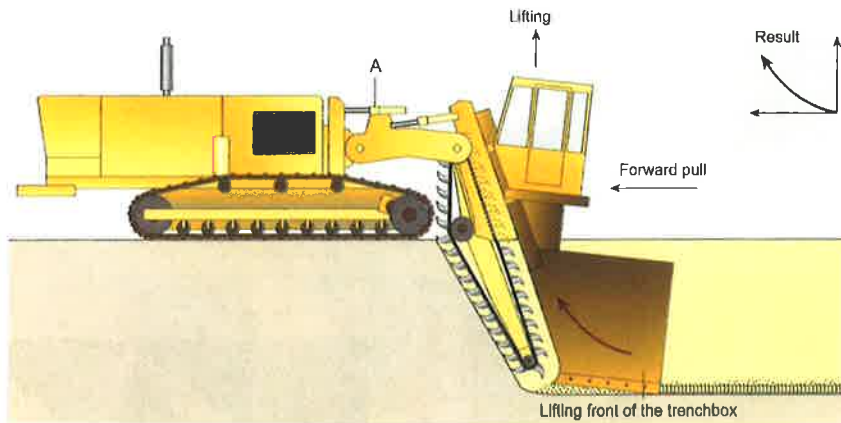
[그림 3.26] 몰 드레인 기술 “Cutdrain”(일본사례)



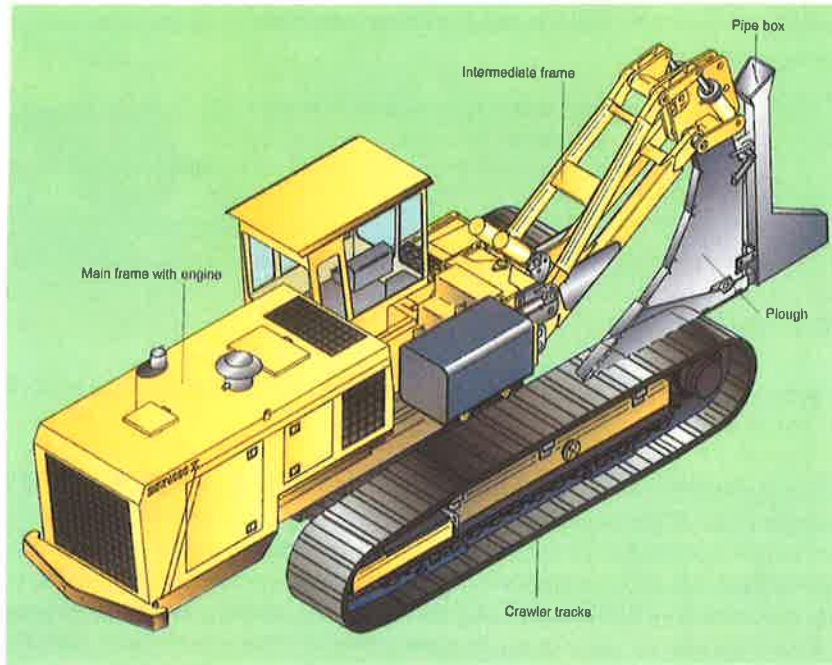
[그림 3.27] 물 드레인 장치(일본 사례)

나. 네덜란드

국가별 토성의 차이가 있지만 네덜란드에서 사용되는 지하배수시설 설치용 장비를 조사한 결과 크게 불도저와 같은 전문 매설장비, 두더지 압거나 심토파쇄용 장치, 배관 구배를 맞추기 위한 측량장비 등이 있는 것으로 조사되었다. 불도우저 형식의 장비에는 트렌치를 파는 방식과 수직형 쟁기날로 땅을 가르는 방식으로 구분되었다. 쟁기날 방식에는 V자형 날을 사용하는 경우도 있었는데 V자형으로 파인 저면에 흡수거를 매설하는 방식이다.



[그림 3.28] 트렌치를 파는 형식의 흡수거 매설 장치



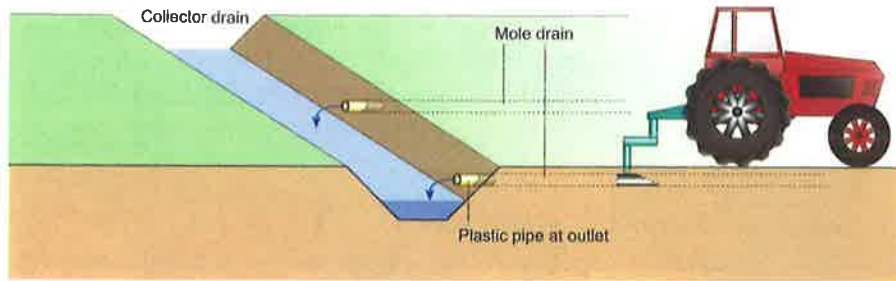
[그림 3.29] 수직쟁기날 형식의 흡수거 매설 장치



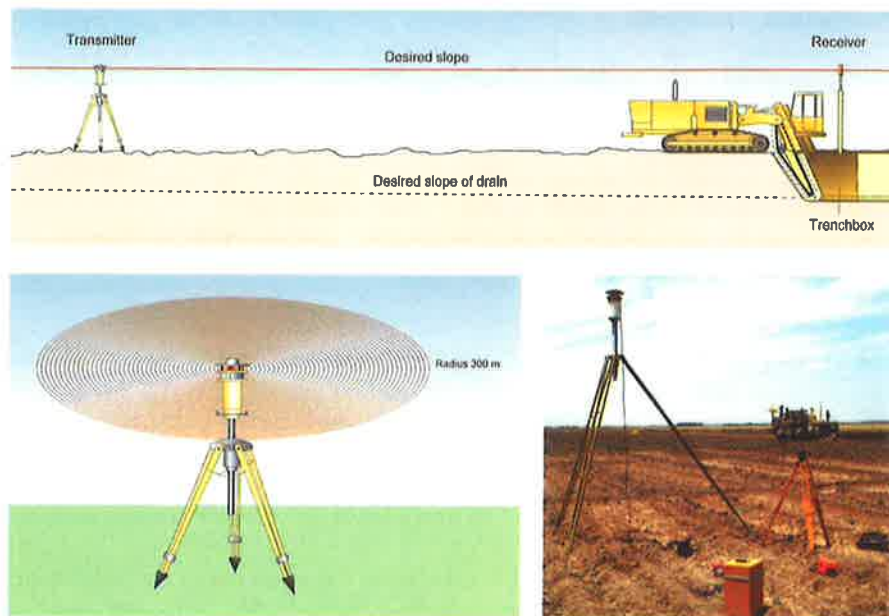
[그림 3.30] V형 쟁기날 방식의 흡수거 매설장치

보조암거로 사용되는 두터지 암거설치용 장치를 트랙터 등에 부착하여 사용하는 것으로 조사되었다. 끝으로, 원활한 배수를 위해서는 흡수거나 집수거의 설치구배를 계획대로 시공하는 것이 무엇보다 중요하다. 정확한 구배로 시공하기 위해 레이저 측량장비를 사용하는 것으로 조사되었으며

매설기계에 타깃을 부착하여 동일 레벨을 포착하는 방식이다.



[그림 3.31] 두꺼지 암거 설치 장치



[그림 3.32] 정확한 구배 시공을 위한 레이저 측량

3.5.2 밭농업기계화

가. 밭농업 비중

국내 전체 경지면적 중에서 밭이 차지하는 비중은 1990년 36.0%에서 2013년 44.0%로 높아졌다. 주요 밭작물의 재배면적은 1990년 이후 양파, 감자, 고구마에서 증가한 반면에, 고추, 마늘, 배추, 무,

콩은 크게 감소하였다. 이 같은 밭작물 재배면적 감소는 농산물 시장개방에 따른 농산물 수입 증가, 농촌의 노동력 부족과 고령화 등 복합적 작용에 기인한 것으로 판단된다.

<표 3.3> 주요 작물별 재배면적의 변화 (단위 : 천 ha)

연도	벼	고추	마늘	양파	배추	무	콩	감자	고구마
1990(A)	1,242	63	44	7.6	44	35	152	21	19
2000	1,055	75	45	17	46	34	86	29	16
2010	887	45	22	22	25	21	71	25	19
2013(B)	833	45	29	20	29	22	80	27	22
B/A(%)	67	71	66	263	66	63	53	129	116

자료 : 농작물생산통계(통계청)

<표 3.4> 주요 작물의 생산액 변화 (단위:10억원)

연도	벼 (A)	주요 밭작물 (B)									B/A (%)
		고추	마늘	양파	배추	무	콩	감자	고구마	잡곡	
2000	10,505	1,044	532	323	521	323	286	218	131	81	32.9
2010	6,787	832	434	497	699	450	476	227	305	71	58.8
2012	8,118	1,597	606	381	946	447	641	244	530	85	67.5

자료: 농림축산식품 주요통계(통계청) 2013년, 2006년

주) 무와 배추는 노지재배만 고려, 잡곡은 팔과 잡곡을 합한 값

<표 3.5> 주요 작물의 10a당 생산비 (2013년) (단위: 천원)

	벼	고추	마늘	양파	콩
총수입	1,074,799	5,349,532	3,645,972	4,364,701	865,445
생산비	725,666	3,038,335	2,879,154	2,157,356	510,933
자가 노동비	162,224	1,790,007	1,095,517	718,513	226,376
고용 노동비	11,017	201,389	86,178	470,654	36,812
대농구비	49,900	50,936	29,968	28,182	18,765
소득(순수익+내급비)	643,360	3,449,374	2,060,844	3,077,914	649,160

자료 : 농산물생산통계 2013 (통계청), 벼 생산비는 조곡생산비

나. 밭농업 기계화 현황

농촌진흥청 국립농업과학원 최규홍박사는 한·중 FTA 대응 밭농업 기계화 사업의 필요성을 제기하면서 밭농업 비중의 증가 추세, 기계화 현황 등을 분석하고, 밭농업 기계화의 제약요건으로 영농규모 등을 제기하고 있다.

밭농사 기계화율은 55.7%로 조사되었으며, 벼농사 기계를 사용할 수 있는 경운·정지, 방제 작업의 높은 기계화율이 반영된 결과이고, 작업시간이 길고 노동 강도가 큰 파종·정식과 수확작업의 기계화율이 각각 4%와 15%로 저조하여 아직 인력 의존도가 높다.

밭작물 농기계는 경운·정지, 방제를 제외하고는 작물 성상이 크게 달라 작물에 따라 기계가 개발되어야 하므로 다품목·소량 기계로서 수요 창출에 어려움이 있다. 농촌진흥청에서 개발된 마늘파종기와 뿌리작물 수확기의 농가 보급이후 감자와 마늘의 기계화율이 타작물에 비해 높아진 반면에, 고추, 양파, 배추, 무 등에 적용할 파종기·이식기·수확기는 아직 미개발되었거나 개발 단계여서 거의 인력에 의존하고 있다. 밭작물 기계화율을 높이기 위해서는 파종기, 이식기, 수확기의 집중적인 개발이 요구된다.

밭농사 기계화율은 영농규모가 클수록 높으며, 농기계 이용형태도 농가 규모에 따라 다르게 나타났다. 즉 0.1ha 미만 농가의 주요 농작업 평균 기계화율은 34.8%이나 2.0ha 이상 농가의 기계화율은 64.5%로 높다. 대규모 농가는 자가 구입을, 소규모 농가는 임대사업 농기계를 선호하는 것으로 나타났다.

<표 3.6> 밭농사 작업공정별 기계화율

연 도	평균	주요 농작업				
		경운·정지	파종·이식	비닐피복	방제	수확
2000	45.9	94.4	0.1	37.0	90.8	7.3
2004	47.2	97.4	2.5	39.6	88.8	7.7
2008	48.4	98.4	3.1	41.2	89.9	9.3
2012	55.7	99.4	3.9	64.1	96.3	14.6

자료: 국립농업과학원 2011, 농업기계 이용실태 및 농작업 기계화율

<표 3.7> 주요 작물별 기계화율

구분	평균	경운·정지	파종·이식	비닐피복	방제	수확
콩	58.2	98.5	7.8	77.0	96.3	11.2
감자	75.3	99.8	2.0	85.1	99.1	90.4
배추	56.0	98.0	-	84.7	97.2	-
고추	50.5	97.8	-	61.7	93.2	-
마늘	63.8	99.7	39.7	44.8	99.4	35.6
양파	55.8	100	-	77.3	99.8	2.1
무	59.6	100	-	98.2	100	-

자료: 국립농업과학원 2011, 농업기계 이용실태 및 농작업 기계화율

<표 3.8> 영농규모별 밭농사 기계화율

구 분	영농규모별 기계화율(%)					
	~0.1ha	0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~
경운·정지	93.1	99.2	99.7	99.8	100	100
파종·이식	1.1	4.2	6.5	3.5	5.3	11.0
비닐피복	12.1	34.0	41.7	46.8	50.7	87.2
방제	66.8	77.1	92.8	94.8	93.3	97.7
수확	0.9	5.4	7.8	12.3	15.6	26.6
평균	34.8	44.0	49.7	45.7	52.9	64.5

자료: 국립농업과학원 2011, 농업기계 이용실태 및 농작업 기계화율

범용농지조성 기반기술 개발(II)

Development of Technology for Multipurpose

Utilization of Paddy Field (II)

제4장 발작물 논 재배현황 분석

제4장 밭작물 논 재배현황 분석

4.1 국내외 작목별 현황

4.1.1 논·밭전환 현황

지난 20년간 우리나라의 논·밭 전환면적은 1991년도에 밭에서 논으로 전환된 면적은 3,905 ha인 반면에, 논에서 밭으로 전환된 면적은 8,488 ha로 나타났다. 이러한 추세는 계속되어 1995년도에는 약 27천 ha의 면적증감차이가 나타났다. 1999~2001년에 밭에서 논으로의 전환이 많았지만, 2002년부터 현재까지는 논에서 밭으로의 전환이 지속적으로 증가하였다.

<표 4.1> 연도별 논·밭 전환현황(ha)*

연 도	밭→논(A)	논면적 증감	논→밭(B)	밭면적 증감	증감(A-B)
1991	3,905	△10,076	8,488	△7,859	-4,583
1992	2,407	△20,477	13,367	△467	-10,960
1993	2,271	△16,404	15,909	1,285	-13,638
1994	1,572	△31,211	19,170	9,103	-17,598
1995	5,658	△61,245	32,766	13,796	-27,108
1996	20,864	△29,719	35,373	△10,058	-14,509
1997	8,758	△13,296	14,858	△8,662	-6,100
1998	8,037	△5,546	9,960	△7,895	-1,923
1999	8,496	△4,727	7,844	△6,429	652
2000	7,566	△3,538	7,224	△6,622	342
2001	7,464	△2,959	6,206	△9,664	1,258
2002	4,113	△7,674	6,859	△5,846	-2,726
2003	3,098	△11,685	8,272	△4,943	-5,174
2004	3,143	△11,773	9,907	1,413	-6,764
2005	1,656	△10,379	7,039	△1,456	-5,383
2006	8,729	△20,787	17,415	△2,782	-8,686
2007	5,497	△14,092	12,625	△4,799	-7,128
2008	5,798	△23,941	21,324	1,157	-15,526
2009	5,876	△35,704	29,218	13,707	-23,342
2010	4,802	△26,147	21,819	4,650	-17,017
2011	3,600		20,697		-20,337

* 자료 :: 농림수산물통계연보(2012)

4.1.2 식량작물(콩)

우리나라 경지이용률은 1970년대 140% 수준이었으나 계속 떨어져 2009~2011년에는 110% 수준, 최근 다시 108.2%로 떨어지고 있으며 논 이용률은 105% 수준이며 논 재배면적이 증가하는 작물은 노지채소, 식량작물 중에서는 두류, 서류, 잡곡이 약간 증가하는 추세이었다.

전체적으로 논에서 작물재배추이를 보면 2010년에서 2013년 사이에 식량작물은 6.9% 감소되었고, 노지채소는 18.7% 증가되었고, 시설작물은 27.9% 감소되고, 특용작물도 21.6% 감소되고 과수는 포도재배면적 증가로 22.5% 증가되었다.

작목별로 재배면적을 보면 논에서 벼재배면적이 825,503ha, 벼를 제외한 식량작물이 45,217ha이었고, 노지채소 면적이 34,000ha, 시설작물이 25,309ha, 특용작물이 2,859ha, 그리고 과수재배가 2,865ha이었다.

논에서의 작물재배 동향을 보면 논에서 벼 재배면적은 2010년에 비하여 6.1% 감소되었으나 같은 기간에 두류재배면적은 43,851ha에서 11,886ha로 59.4% 증가되어 식량작물로는 최고의 증가율을 보였고 다음으로 잡곡이 27.2%, 서류가 26.1% 증가되었다. 노지채소는 과채류 재배면적이 2010년에 282ha 에서 713ha로 151% 가장 크게 증가되었고 다음으로 배추, 시금치 등 엽채류가 153%가 가장 많이 증가되었고 엽채류가 36.6%, 조미채소가 17.0%, 근채류가 15.0% 증가되었으나 시설작물 재배면적은 모두 감소되었고, 특용작물에서는 참깨 면적이 감소되고 들깨와 인삼재배면적이 약간 증가하였고 배와 감의 재배면적은 감소되고 사과와 포도 면적은 증가되었다(표 4.2).

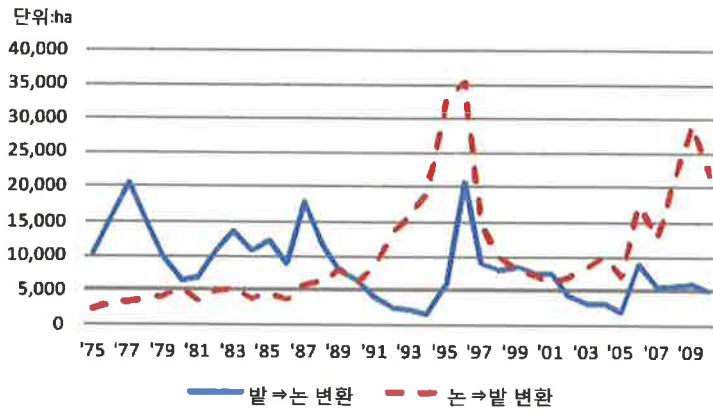
<표 4.2> 최근 논 재배작물 동향(2010-2013)

(단위 : ha)

작물구분	2010	2011	2012	2013	증감(%) 2013/10	
논 면적 (경지이용률)	984,140 (106.2)	959,914 (105.6)	966,076 (105.1)	984,000 (108.2)	▽1.8 (▽1.1)	
식량작물	벼	879,539	845,032	838,367	825,503	▽6.1
	백류(보리, 밀 등)	43,851	36,729	26,238	28,359	▽35.3
	두류(콩, 팥, 녹두)	7,456	13,615	11,813	11,886	59.4
	서류(감자, 고구마)	2,655	3,480	2,686	3,349	26.1
	잡곡(옥수수, 메밀..)	1,276	1,927	2,108	1,623	27.2
	(식량작물 소계)	934,917	900,943	881,212	870,720	▽6.9
노지채소	과채류(호박, 수박)	282	450	672	713	15.3
	근채류(무, 당근)	1,086	1,621	1,158	1,249	15.0
	엽채류(배추, 시금치)	2,925	5,601	3,773	3,995	36.6
	조미채소(마늘, 고추)	20,120	22,876	22,768	23,550	17.0
	기타채소	4,226	4,691	4,157	4,493	6.3
	(노지채소 소계)	28,639	35,239	32,528	34,000	18.7
시설작물	과채류(수박, 참외)	21,070	17,331	16,241	16,369	▽22.3
	엽채류(배추, 상추)	3,146	2,402	1,406	1,223	▽61.1
	근채류(무)	151	314	176	117	▽22.5
	풋고추	2,231	1,607	1,374	1,486	▽33.4
	감자	1,321	873	796	756	▽42.8
	화훼	818	658	408	238	▽70.9
	(시설작물 계)	35,134	29,199	25,727	25,309	▽27.9
특 용 · 약용작물	특용(참깨)	1,230	1,273	1,296	1,044	▽15.1
	(들깨)	1,428	1,704	1,204	1,491	4.8
	약용(인삼)	730	532	604	814	11.5
	(특·약용작물 소계)	3,648	3,327	3,011	2,859	▽21.6
과 수 (시설포함)	사과	174	257	405	523	300
	배	60	21	34	34	▽43.0
	포도	196	176	287	381	94.4
	감	387	428	346	375	▽3.1
	(과수 계)	2,338	2,333	2,196	2,865	22.5

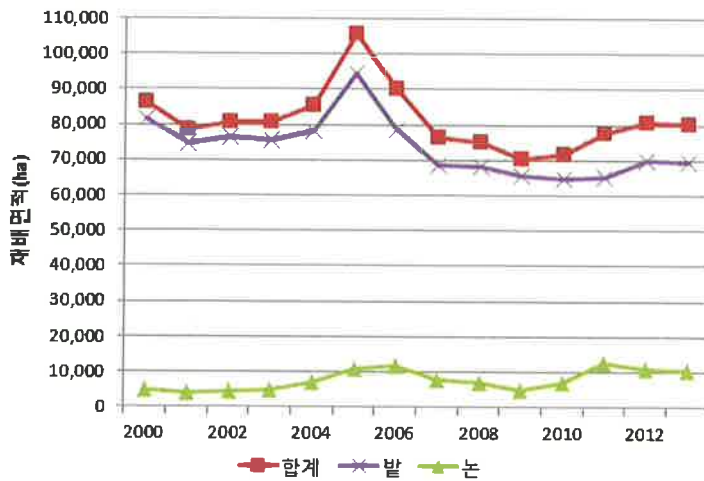
* 자료 : 통계청 국가통계포털, 농업면적조사, 2010-2013, 박평식, 2014.

1990년 이전까지는 밭을 논으로 벼 재배로 사용하는 면적이 논에서 밭작물을 재배하는 면적보다 많았는데 그 이후는 밭작물소득이 높아 논에서 밭작물을 재배하는 면적이 밭을 논으로 사용하는 면적보다 월등히 높은 수준을 유지하고 있다. 금후 농업부문 전망에서 2018년까지 연평균 재배 면적은 쌀 -0.9%, 채소 -1.1%, 과실류 -2.7% 씩 감소되고 사료작물은 2.7% 씩 증가될 것으로 전망하고 있다(김명환 등, 2014).



[그림 4.1] 연도별 논과 밭 변환 면적 추이

(김홍상, 채광석, 2014)



[그림 4.2] 연도별 콩 재배면적 추이

우리나라의 콩 재배면적은 총 80,031ha로 지목별로는 밭 69,625ha와 논 10,406ha로 되어 있으며 2000년도에 비하여 6,145ha가 감소되었으며, 밭에서는 11,676ha가 감소되었으나 논에서는 오히려 5,531ha가 증가되었다.

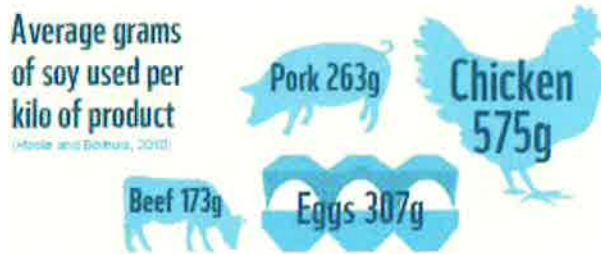
<표 4.3> 연도별 콩 재배면적(논, 밭 구분) 변화

연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
합계	86,176	78,415	80,804	80,447	85,270	105,421	90,248	76,267	75,242	70,265	71,422	77,849	80,842	80,031
논	4,875	3,973	4,481	5,042	7,216	10,867	11,944	7,829	7,042	4,833	6,819	12,809	10,902	10,406
밭	81,301	74,442	76,323	75,405	78,054	94,554	78,304	68,438	68,200	65,432	64,603	65,040	69,940	69,625

재배면적이 감소되는 이유는 수확기 콩 가격 하락으로 타작목 전환이 이루어졌기 때문이다. 특히 참깨, 들깨, 율무 등으로 전환이 많이 이루어진 것으로 보인다.

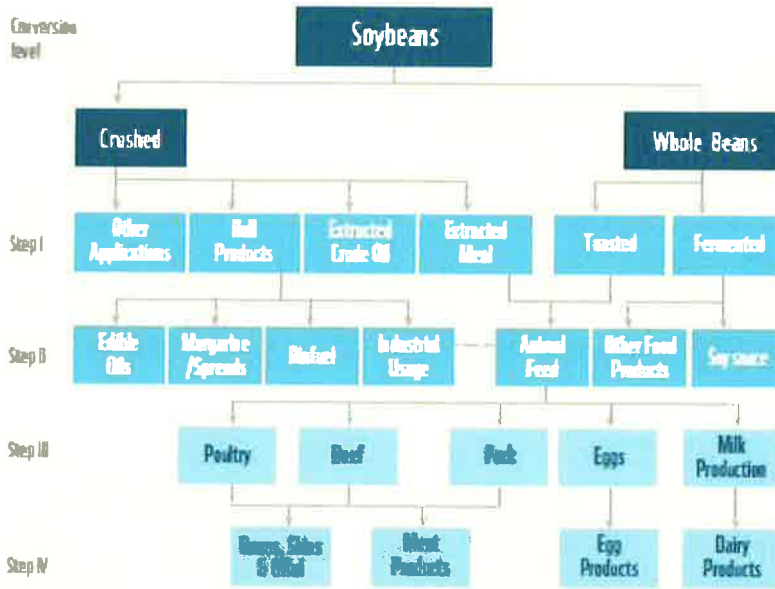
지역별 콩 재배면적을 살펴보면 영남지역이 6.1%로 가장 크게 감소하였으며 다음으로 충청 5.4%, 호남 4.9%, 강원·경기 3.9% 순으로 감소한 것으로 나타났다. 반면, 제주지역은 2.0% 증가한 것으로 조사되었다. 제주와 호남지역이 6월 재배의향면적 조사치보다 감소하였는데 이는 과중기, 개화기 기상악화로 인해 폐작된 농가가 일부 발생하였기 때문인 것으로 보인다

콩은 단백질과 지방을 공급하는 주요 식물자원으로 우리가 섭취하는 육류를 생산하는데 기본이 되며 닭고기 1kg을 생산하기 위해서는 575g의 콩이 소요되며 계란 1kg을 위해서는 콩 307g, 돼지고기 1kg을 위해서는 콩 263g이, 소는 초식동물이므로 173g의 콩을 주어야 한다.



[그림 4.3] 육류 1kg을 생산하는데 소요되는 콩 소요량 (WWF. 2014)

콩을 이용하는 데는 분쇄하여 착유, 침출과정을 거쳐 식용유, 마가린, 생물연료, 식품가공원료나 사료를 생산하고 볶거나 발효시켜 식품이나 사료로 이용하는 대단히 귀중한 농작물이다.



[그림 4.4] 콩과 연관된 생산물 (WWF, 2014)

세계 총 콩 재배면적은 106,625천ha로 1990년도 57,209천ha에 비하여 약 2배로 증가되었는데, 미국이 30,779천ha로 가장 넓고 다음으로 브라질이 24,938천ha, 아르헨티나 19,350천ha, 다음으로 중국이 6,750ha에서 콩을 생산하고 있다. 아르헨티나, 브라질, 파라과이 등 남미에서 콩재배 면적이 급속도로 증가하고 있다.

<표 4.4> 최근 주요 콩 생산국가의 재배면적 변화

국 가	수확면적(천 ha)			
	1990	2000	2010	2012
아르헨티나	4,962	8,638	18,131	19,350
볼리비아	143	617	1,086	1,090
브라질	11,487	13,640	23,293	24,938
파라과이	900	1,176	2,671	3,000
우루과이	29	9	863	1,130
중국	7,564	9,307	8,516	6,750
미국	22,869	29,303	31,003	30,799
기타	9,236	11,673	17,050	19,568
세계 총면적	57,209	74,363	102,613	106,625

* WWF, 2014

한편 세계 콩 생산량은 총 264,414천t 으로, 브라질이 82,500t, 미국이 82,055천t 으로 두 나라가 전체의 61.1%를 차지하고 다음으로 아르헨티나 54,00천t, 중국과 인도가 각각 12,600, 11,500천t으로 뒤를 잇고 있다.

<표 4.5> 주요 콩 재배국가의 최근 생산량 변화

국 가	콩 생산량(천 t)				
	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13
브라질	57,800	69,000	75,300	66,300	82,500
미국	80,749	91,417	90,605	84,192	82,055
아르헨티나	32,000	54,500	49,000	40,100	54,000
중국	15,540	14,980	15,100	14,480	12,600
인도	9,100	9,700	9,800	11,000	11,500
파라과이	3,647	6,462	7,128	4,357	7,750
캐나다	3,336	3,581	4,445	4,298	4,930
기타	9,464	10,605	12,211	13,798	14,079
합 계	211,636	260,245	263,580	238,725	269,414

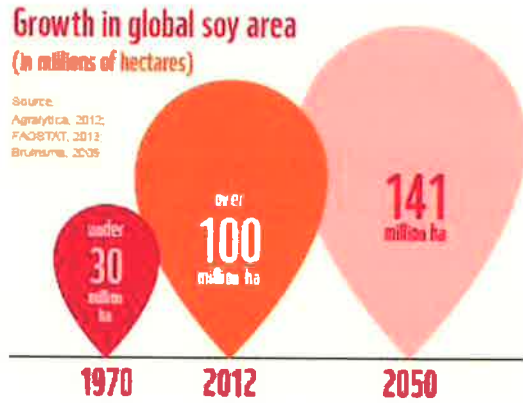
* WWF. 2014

세계야생보호기금에서는 세계 콩생산량을 2050년도에는 141백만ha에 재배하여 514백만t을 생산할 것으로 추정하고 있는데 이는 단위생산량을 현재의 2012년도 기준으로 2.238t/ha의 수량을 5.14t/ha로 올려야 가능하므로 콩재배 기술의 혁신이 매우 필요한 시점이다.

<표 4.6> 콩의 재배면적 및 생산 추정

구 분	1961-63	2003-07	2050
콩생산량(백만 t)	27	218	514
재배면적(백만 ha)	24	95	141
수량(t/ha)	1.14	2.29	3.66

* WWF. 2014



[그림 4.5] 세계 콩 재배면적 변동추이 (WWF, 2014)



[그림 4.6] 세계 콩 생산량 변동 추이 (백만t)

4.1.3 양파

우리나라의 양파재배 면적은 20천ha로 2000년도에 16.8천ha에서 2010년에 22.9ha로 가장 많이 재배하다가 그 이후로는 재배면적이 감소되고 있다. 단위면적당 수량도 2000년도에 5,232kg/10a에서 2009년도에는 7,412kg/10a로 최고 수량을 보이다가 작년에는 6,458kg/10a로 연차 간 작황이 불안정하였다.

수량도 2000년도에 878천t에서 2011년도에 재배면적 증가로 1,520천t을 생산하여 최고치를 보였고 작년에는 1,294천t을 생산하였다.

<표 4.7> 우리나라의 양파재배 현황

구 분	단위	'00	'05	'08	'09	'10	'11	'12	'13
재배면적	천ha	16.8	16.7	15.4	18.5	22.1	22.9	20.9	20.0
생 산 량	천톤	878	1,023	1,035	1,372	1,412	1,520	1,196	1,294
단 수	kg/10a	5,232	6,114	6,725	7,412	6,384	6,616	5,703	6,458
주요육성품종	맷시황, 조은불('05), 영풍황('08), 영보황('09), 경보황, 영미황('11), 엄지나라('12)								

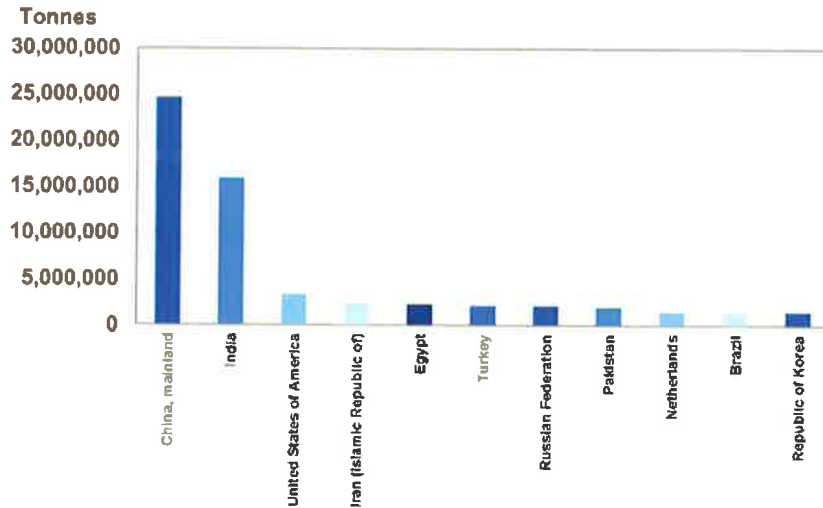
※ 자료출처 : 농수산식품 주요통계, 바이오에너지작물센터(13.10.14)

지난 40여 년간 조미채소인 양파, 마늘 및 고추의 재배면적 변화를 보면 양파면적은 1970년도에 83천ha에서 작년에는 1,294천ha로 약 15배 증가하였으며 마늘 재배면적은 같은 기간에 15천ha에서 29천ha로 약 2배로 증가되었고, 고추는 37천ha에서 21.6% 증가하는데 그쳐서 그동안 양파의 소득이 높았음을 알 수 있었다.

<표 4.8> 주요채소류 생산량 변화

작 물		1970	1980	1990	2000	2010	2013
양파	면적(천ha)	4.0	7.7	7.6	16.8	22	20
	생산량(천t)	83	275	407	878	1,412	1,294
	수량(kg/10a)	2,082	3,551	5,358	2,232	6,384	6,468
마늘	면적(천ha)	15	37	44	45	22	29
	생산량(천t)	78	253	417	474	272	412
	수량(kg/10a)	508	682	955	1,056	1,212	1,405
고추	면적(천ha)	37	138	63	75	45	45
	생산량(천t)	53	125	133	194	95	118
	수량(kg/10a)	145	94	212	260	214	260

* 농림축산식품부, 2014.



[그림 4.7] 주요 양파 생산국의 생산량(건물) 비교 (FAO, 2011)

세계의 양파생산국은 중국과 인도이며 다음으로 아주 적은 비율로 미국, 이란, 이집트, 터키, 러시아, 파키스탄, 네덜란드, 브라질, 우리나라가 양파를 생산하고 있다.

4.1.4 밭작물 재배 면적 증감 분석

최근 논에서 재배면적이 증가하는 작물을 지역별로 보면, 경기·강원 등 중부지역에서는 콩, 노지채소, 옥수수, 감자, 시설채소 등이었고, 경기 지역에서는 인삼 주산지인 점차 북상하는 경향을 보여주고 있으며, 논 소득기반 다양화 사업으로 논에 도입되는 작목은 콩, 감자 등으로 보인다.

중북부 지역에서 논에 재배면적이 감소하는 작물은 벼가 공통적이고 인삼, 청보리, 울무, 조사료 등이 가끔씩 나타나고 있다.

지역별 논 재배면적 증감동향을 분석한 결과, 극히 일부 시군을 제외하고는 공통적으로 벼 재배면적이 감소했고, 대체작목이 다양하게 도입되고 있었다.

<표 4.9> 논에서 재배되는 작물의 면적 증감

지역별	논 재배면적이 증가하는 작물(2010→'12)	감소하는 작물(2010→'12)
경기	인삼(6), 노지채소(6), 콩(5), 감자(2), 시설채소(2) 미나리(2), 사과, 고구마 등	벼, 인삼, 엽채, 청보리, 울무
강원	콩(4), 옥수수(4), 인삼(3), 고추 등	벼, 조사료, 콩
충북	노지채소(10), 과수(6), 콩(4), 료작물(2), 시설채소(4) 인삼(2), 옥수수(2), 감자(2) 등	벼, 콩, 과채류, 엽채류, 조 사료 등
충남	콩(18), 노지채소(13), 사료작물(7), 시설채소(6), 과수(4), 인삼(4), 옥수수(4), 잡곡 등	벼, 감자, 채소, 콩, 조사료 등
전북	사료작물(7), 콩(7), 과수(5), 노지채소(4), 시설채소(4) 감자(3), 벼(20), 맥류(2) 등	벼, 맥류, 사료작물, 콩, 잡곡 등
전남	사료작물(20), 노지채소(13), 시설채소(5), 과수(3), 콩(2), 잔디(2), 잡곡(2) 등	벼, 맥류, 콩, 노지채소, 사료작물 등
경북	과수(10), 노지채소(9), 사료작물(6), 약초(3), 벼(2) 콩(2), 잡곡(2) 등	벼, 콩, 맥류, 사료작물, 수박, 감자 등
경남	노지채소(9), 과수(8), 콩(6), 시설채소(5), 감자(5), 사료작물(5), 연(2) 등	벼, 맥류, 콩, 노지채소, 감자, 잡곡 등

* 박평식 2013, () 안은 시, 군수

작목선택의 이유(근거)는 수익성(72.6%)이 가장 높고, 판로(9.7%), 재배 기술(7.7%), 기타 (10.0%) 등으로 나타났으며 논에 벼 대체작목 도입으로 식량자급률 제고 및 농가소득 안정화에 기여할 것으로 생각된다.

최근 논 소득기반 다양화사업이 제한적으로 도입되어 벼 대체작물에 대한 정책적 지원이 유동적인 상황에서 지역적 여건이나 재배기술, 판로, 수익성 등 시장상황에 대응한 작목전환이 진행되고 있었다.

<표 4.10> 재배면적이 증가되는 작목을 선택한 이유

구 분	주 요 작 물	작목선택의 이유(근거)				
		수익성	판로	기술	기타	소계
경기	인삼, 노지채소, 콩, 감자, 시설채소, 미나리, 사과, 고구마 등	19	1	2	12	34
강원	콩, 옥수수, 인삼, 고추, 과수 등	4	0	0	0	4
충북	노지채소, 과수, 콩, 사료작물, 시설채소, 인삼, 옥수수, 감자 등	30	5	6	4	45
충남	콩, 노지채소, 사료작물, 시설채소, 과수, 인삼, 옥수수, 잡곡 등	31	5	2	3	41
전북	사료작물, 콩, 과수, 노지채소, 시설채소, 감자, 벼, 맥류 등	30	5	7	1	43
전남	사료작물, 노지채소, 시설채소, 과수, 콩, 잔디, 잡곡 등	47	9	3	5	64
경북	과수, 노지채소, 사료작물, 벼, 약초, 콩, 잡곡 등	29	2	3	2	36
경남	노지채소, 과수, 콩, 시설채소, 감자, 사료작물, 연 등	35	3	1	4	43
총 계		225 (72.6)	30 (9.7)	24 (7.7)	31 (10.0)	310 (100)

* 박평식 2013,

지역별로 수익성, 판로, 재배기술 등을 고려할 때 논 재배면적이 증가하거나 현재수준을 유지할 것으로 예상되는 작목을 설문조사한 결과, 논 농업 다양화사업 지원 대상에 해당하는 콩, 감자, 사료작물 등이 많고, 현재수준에서 비교적 수익성이 높은 시설/노지 채소류가 많으며, 그 밖에도 수출 등으로 수요증대가 기대되는 인삼, 동계유희지를 활용하는 청보리, 호밀, 수단그라스 등 사료작물, 그리고 블루베리, 포도, 복분자 등 과수, 약초와 잡곡, 잔디와 연근 등 지역특화작목들이 추천되고 있다.

주요 벼 대체작물의 도입 정착된 사례를 보면 경기, 강원 등 중부권 지역에서 벼 대체작목으로 집단적으로 도입되고 있는 사례를 보면, 콩이 가장 많고(안성, 포천, 연천, 철원 등), 서울 시장이 가까운 지역에서 미나리(시흥), 엽채류(과주) 등을 연중재배하거나 연근(여주), 인삼(홍천), 찰옥수수(삼척), 사료용 옥수수(인제) 등이 희귀하게 나타나고 있다.

<표 4.11> 경기지역 벼 대체작물 정착사례

작목	지역	재배면적 (농가수)	소득 (천원/10a)	판매방법 (판매처)	특징 및 우수요인
미나리	시흥 월곶	70ha (25호)	1,200	공동출하 (직거래)	- 시설재배로 수확기 연장 및 겨울 미나리 재배 - 미나리차 개발 특허 획득
엽채류	파주 파평	25ha (6)	6,750	공동출하 (50%)	- 서울 시장 겨냥 친환경재배로 판로개척 - 재배기술의 공동관리
콩	안성 미양	26ha (39)	945	계약재배 (농협)	- 콩+양파(마늘) 작부체계 개선으로 소득증대 - 기존의 양파, 마늘 생산조직을 통한 재배유도
콩	포천 창수	6ha (1)	657	계약재배 (100%)	- 창수명품잡곡 영농조합법인 전량 납품 판로 재배품종 다양화하여 안정생산
연근	여주 점동	2.7ha (3)	3,000	계약재배 (직거래)	- 젊은 농업인으로 영농조합 조직 - 다양한 상품개발 전략수립과 기술지원
콩	연천 읍	25ha (10)	1,018	계약재배	- 유기농 인증 콩 재배(생협 연계) - 콩 유기농 단지조성 군 특산물 생산

* 박평식, 2014

<표 4.12> 강원지역 벼 대체작물 정착사례

작목	지역	재배면적 (농가수)	소득 (천원/10a)	판매방법	특징 및 우수요인
콩	철원 근남	5ha (40)	1,155	계약재배 (100%)	- 콩 재배 적지 선정(관배수 용이 사질담) - 논콩 재배 집중교육 및 현장기술지도
사료용 옥수수	인제 북면	5ha (6)	552	자급사료	- 한우 농가의 사료비 절감을 위한 조사료 확보 - 해발 400m로 사료용 옥수수+호밀 재배로 전환
인삼	홍천 동면	450ha (640)	18,000	계약재배 (100%)	- 홍삼 원료 6년근 인삼 수요 증가 - 논에 타작물 재배 후 인삼 식재로 품질 우수
찰옥수수	삼척 근덕	5ha (11)	1,418	직거래	- 순기별 과중으로 홍수 출하 방지 - 비닐멀칭으로 제초 노력절감 및 생육촉진

* 박평식 2013,

4.2 작물별 가격 및 수급 동향 분석

4.2.1 일반작물

우리나라의 곡물자급률은 전체로 23.1%로 계속 감소되어 왔으며, 자급도는 쌀 89.1%와 서류의 96.2%를 제외하고는 보리가 19.9%로 두 자리 수일 뿐 두류는 9.7%, 밀과 옥수수는 1% 미만으로 거의 수입에 의존하고 있다.

<표 4.13> 전체 곡물 자급률

(단위 : %)

연 도	계	쌀	보리	밀	옥수수	두 류	서 류	기타
2008	27.8	94.3	38.6	0.4	1.0	8.6	98.3	8.1
2009	29.6	101.1	45.4	0.5	1.2	9.9	98.7	9.6
2010	27.6	104.6	24.3	0.9	0.9	10.1	98.7	9.7
2011	24.3	83.2	22.3	1.0	0.9	7.9	96.9	9.1
2012	22.8	86.6	16.4	0.7	0.9	10.3	95.7	10.6
2013(P)	23.1	89.2	19.9	0.5	1.0	9.7	96.2	8.4

※ 자료출처 : 농림축산식품 주요통계('14), '11년 자료(농식품부 식량정책과, 9.24)

※ 양곡연도(전년 11월 1일부터当年 10월 31일까지) 기준임

수입되는 곡류의 많은 부분은 사료로 이용되기 때문에 사료용을 제외하고 우리나라의 식량 자급도는 47.2%이며 자급도는 콩이 29.1%로 우리가 섭취하는 콩의 70% 이상이 수입에 의존하고 있으며 밀은 98.9%를, 보리는 79%를 수입에 의존하고 있다.

<표 4.14> 식량 자급률(사료용 제외)

(단위 : %)

연 도	계	쌀	보리	밀	옥수수	콩	서 류	기타
2008	51.8	94.3	47.1	0.5	4.9	29.5	109.0	8.6
2009	56.2	101.1	47.9	0.9	5.6	33.8	109.3	10.6
2010	54.0	104.6	25.4	1.7	3.8	32.4	109.4	10.6
2011	45.3	83.3	23.3	1.9	3.6	26.0	107.3	10.1
2012	45.0	86.6	17.2	1.7	3.4	30.8	105.8	11.1
2013(P)	47.2	89.2	21.0	1.1	4.5	29.1	103.5	12.5

※ 자료출처: 농림축산식품 주요통계('14), '11년 자료(농식품부 식량정책과, 9.24)

※ 양곡연도(전년 11월 1일부터当年 10월 31일까지) 기준임, 보리쌀은 백주보리·백아수입량 포함

정부에서는 식량자급률 목표치를 2015년에 57.0%, 2020년에 60%로 설정하였는데 이는 보리의 자급률은 현재 31.0%로 고정시키면서, 밀은 15%, 콩은 40%로 향상시켜야 되는 야심찬 계획이며 이를 달성하기 위해서는 일부 논에서의 발작물 재배가 불가피하고 새로운 농사기술이 요구되는 것이다.

<표 4.15> 주요 식량작물 식량자급률 목표치 재설정 (단위 : %)

연 도	계	쌀	보리	밀	콩	서 류	조사료
'15 기준	-	90.0	31.0	1.0	42.0	99.0	85.0
2015	57.0	98.0	31.0	10.0	36.3	99.0	87.0
2020	60.0	98.0	31.0	15.0	40.0	99.0	90.0

※ 자료출처: 농식품부 식량정책과('11. 7)

식량자급률의 목표치를 재설정하였는데 자세한 사항은 <표 4.16>과 같이 2015년도 목표치를 주식자급률을 기존 54%에서 70%로, 곡물자급률을 기존 25%에서 30%로 상향조정하고 칼로리 자급률을 47%에서 52%로 상향조정하였고, 2020년도에 자급률을 주식자급률 72%, 곡물자급률 32%, 칼로리 자급률을 55%로 정하였다. 콩의 자급률은 2015년도에 36.3%, 2020년도에 40%로 잡아서 금후 논에서 콩재배는 증가 될 것으로 판단된다. 또한 밀의 자급률을 2020년도에 15%로 정했으므로 논에서의 2모작기술개발과 기반조성이 필요할 것이다.

<표 4.16> 식량자급률 목표치 (단위 : %)

품 목	'10년	'15년 목표치			'20년 목표치	
		기존	재설정	일본	농식품부	일본
주식자급률 [쌀+밀(+보리)]	64.6('08년)	54.0	70.0	63	72.0	-
곡물자급률 [사료용 포함]	26.7	25.0	30.0	30	32.0	-
곡물자급률 [조사료포함]	37.6	-	45.0	-	50.0	-
식량자급률 [식용곡물]	54.9	-	57.0	-	60.0	-
곡물자주율 [해외곡물 포함]	27.1	-	55.0	-	65.0	-
칼로리 자급률	50.1('09년)	47.0	52.0	45	55.0	50
쌀	104.6	90.0	98.0	96	98.0	96
보리	27.8	31.0	31.0	15	31.0	16
밀	1.7	1.0	10.0	14	15.0	34
콩	31.7	42.0	36.3	6	40.0	17
서류	98.7	99.0	99.0	-	99.0	-
사료	37.5	-	41.2	35	44.4	38
배합사료	24.7	-	24.2	-	24.6	-
조사료	82.0	85.0	87.0	-	90.0	-
채소류	89.3	85.0	86.0	88	83.0	85
과실류	81.1	66.0	80.0	46	78.0	41
축산물(육류)	72.0	71.0	71.4	62	72.1	59
쇠고기	43.2	46.0	44.8	39	48.0	45
돼지고기	80.9	81.0	80.0	73	80.0	55
닭고기	79.7	80.0	80.0	75	80.0	73
우유 및 유제품	65.4	65.0	65.0	75	64.0	-
계란	99.8	100	99.0	99	99.0	96
수산물(전망치)	85.9	58.0	77.0	-	70.5	-

※ 자료출처: 농식품부 국가참고자료('11. 9)

※ 보리, 밀, 콩은 사료용을 제외한 식용 자급률

※ 주식자급률 재설정 목표치는 보리를 제외한 수치

※ 일본은 '20년 목표치 설정 시 '10년·'15년 목표치에 포함했던 "주곡자급률, 곡물자급률"을 제외 (칼로리자급률을 핵심 지표로 제시)

한편 작년도의 식량작물의 평균소득은 고구마가 1,567,093원/10a로 가장 높고 다음이 봄감자 972,675원/10a, 참깨 868,390원/10a, 노지팥옥수수가 831,745원/10a, 가을감자가 779,390원/10a로 쌀의 643,369원/10a을 초과하였고, 겉보리가 327,216원/10a로 맥류 중에서는 가장 높았으나 다른 맥류는 쌀의 1/3이하 수준이기에 기계화라든가 2모작이 아니면 도입하기가 경제적으로 어려움이 예견된다.

국제 곡물가격의 변화를 보면 미국산 쌀은 2008/2009년도에 1,119\$/톤으로 올라갔다가 작년에 685\$/t으로 떨어졌다가 지난 5월에는 다시

1,050\$/t으로 상승하였으며 태국산도 2008/2009년도에 609\$/t에서 지난 5월에는 385\$/t로 미국산 중립종에 비하여 약 1/3가격으로 떨어졌다.

한편 옥수수 가격은 2012년도에 271\$/t에서 지난5월에는 193\$/t으로 하락하였으나 콩 가격은 2005/2006년도에 208\$/t에서 계속 상승하여 544\$/t으로 태국쌀 가격을 상회하면서 상승세에 있으므로 콩의 국제경쟁력은 앞으로 유리할 것으로 전망된다.

<표 4.17> 국제곡물가격동향 (단위 : \$/톤)

구 분	'05/'06	'06/'07	'07/'08	'08/'09	'09/'10	'10/'11	'12	'13	'14.5
미국쌀(중립)	484	538	694	1,119	791	840	728	685	1,050
태국쌀(장립)	301	320	551	609	532	518	567	542	385
옥수수	105	160	209	173	146	253	272	271	193
콩	208	236	371	366	359	481	537	540	544
밀	126	157	238	249	192	285	287	285	252

※ 자료출처: 농림축산식품 주요통계('10/'11), 한국농수산식품유통공사 해외시장동향('12')
 ※ 쌀-본선인도가격(FOB), 옥수수, 콩, 밀-선물가격

우리나라는 FTA 협정에 의거 올해 409천t의 쌀을 수입해야 되며 앞으로는 관세로 수입을 조정하는 정책을 펴야 할 것이다.

<표 4.18> 연도별 의무수입물량(MMA) 도입현황 및 계획(단위:천톤)

구 분	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14
수입 총량	226	246	266	287	307	327	348	368	388	409
가공용	203	212	218	224	227	229	244	258	271	286
밥쌀용	23	34	48	63	80	98	104	110	117	123
'88~'90 수요량 대비 비중(%)	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0

※ 자료출처: 농식품부 국감참고자료('11. 9)

한편 쌀의 생산과 수급 및 생산비와 소득의 변화를 <표 4.19>에서 보면 2012년도에 소득이 685.3천원/10a로 가장 높았다가 작년에 639.1원/10a로 하락하여 벼농사의 경쟁력이 점점 떨어지므로 영리한 농민들은 수도작에서 고소득 작물재배로 전환하는 것이다.

<표 4.19> 쌀의 생산, 수급 및 소득 변화

구분	단위	'00	'05	'08	'09	'10	'11	'12	'13
재배면적	천ha	86.2	105.4	75.2	70.3	71.4	77.8	80.8	80.0
생산량	천톤	113.2	183.3	132.7	139.3	105.3	129.4	122.5	154.1
도입량(식용)	천톤	1,586 (332)	1,236 (335)	1,262 (305)	1,200 (288)	1,236 (333)	1,212 (300)	1,110 (333)	1,153 (342)
공급량	천톤	1,781	1,493	1,416	1,415	1,448	1,384	1,301	1,330
수요량	천톤	1,694	1,420	1,333	1,342	1,381	1,323	1,248	
정부매입량	천톤	4.1	12.6	2.9	1.3	-	-	-	9.0
재고량	천톤	87	73	83	73	67	62	53-0	61
단수	kg/10a	131	174	176	198	147	166	152	193
1인당 연간소비량	kg	8.5	9.0	7.6	7.6	8.3	7.8	8.8	8.0
자급률(식용)	%	28.2	30.9	29.5	33.8	32.4	26.0	30.8	29.1
(가공용제외)	(%)	118.4	133.7	-	-	-	-	-	-
농업소득	천원/10a	504.6	750.6	-	682.0	807.2	843.9	902.3	865.4
소득	천원/10a	367.7	537.6	427.2	520.2	628.6	647.6	685.3	639.1
생산비	원/10a	109,478	213,067	306,242	348,064	381,698	390,479	499,267	510,933
생산액	억원	2,858	4,791	4,265	4,358	4,761	6,485	6,412	
생산자 가격동향	kg/원	3,295	4,126	4,253	3,671	4,881	4,881	5,560	
보급중 공급실적	톤	500	1,058	1,146	1,162	1,019	1,194	1,305	1,096*
주요육성품종	대풍, 선유, 풍원, 신강, 대흑, 상원, 검정5호, 한울, 혜품								

* 는 7월 기준, 작물과학원 2014.

4.2.2 콩

콩의 생산량은 1970년도에 232천t에서 2010년도에 105천t으로 절반으로 떨어졌다가 작년에는 154천t으로 증가 추세에 있다. 가격도 1970년도에 5,060원/75kg으로 시작하여 작년에 약 50배 증가하여 276,675원/75kg으로 상승세를 멈추지 않고 있다. 작년에 1,153천t이 생산되어 식용으로 421천t 과 사료용으로 848천t이 소비되었다.

<표 4.20> 콩의 생산, 수입 및 소비실적

구분	1970	1980	1990	2000	2010	2013
생산량(천t)	232	216	233	113	105	154
수매량(천t)	2.8	0.04	68.8	4.1	-	8.9
수매가(원/75kg,2등)	5,060	40,500	93,075	156,525	226,575	276,675
수입량(천t)	36	417	1,092	1,567	1,469	1,153
소비 (천t)	계	266	733	1,254	1,687	1,599
	사료	18	33	866	1,254	1,161
	식용	248	400	388	433	438

* 농림수산물부. 2014.

최근 10년간 콩의 재배면적은 2005년도의 105.4천ha를 정점으로 2009년도에 70.3천ha까지 감소되었다가 작년에 80천ha를 유지하고 있으며 단위면적당 수량도 변동이 많아 작년에 193kg/10a로 높은 수준이었다.

<표 4.21> 최근 10년간 재배면적, 단위수량 및 생산량 변화

연도	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13
재배면적(천ha)	80.4	85.3	105.4	90.2	76.3	75.2	70.3	71.4	77.8	80.8	80.0
생산량(천톤)	105.1	138.6	183.3	156.4	114.2	132.7	139.3	105.3	129.4	122.5	154.1
수량(kg/10a)	131	163	174	173	150	176	198	147	166	152	193

※ 자료출처: 농림축산식품 주요통계, 양정자료(2014.3), 두류유지작물과(2014.8)

※ 도입량은 양곡곡종별 수급상황 기준

한편 농업관측센터 콩 표본농가 조사결과에 의하면 2014년 콩 재배면적은 전년대비 4.7% 감소한 7만 6,303ha로 예상된다. 밭 콩은 전년대비 4.1% 감소한 6만 6,779ha, 논 콩은 전년대비 8.5% 감소한 9,525ha로 조사되었다.

<표 4.22> 2014년 콩 재배면적 추정 (단위 : ha)

구분	밭 콩	논 콩	합계
2013	69,625	10,406	80,031
2014	66,779	9,525	76,302
증감률(%)	-4.1	-8.5	-4.7

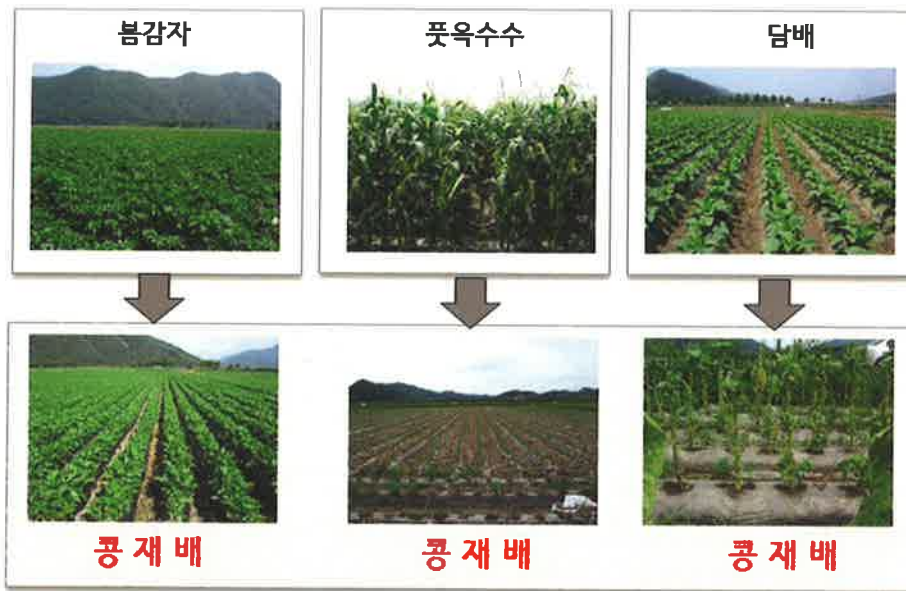
* 한국농촌경제연구원. 2014b.

한편 식용용 콩의 소비량은 2005년도에 523천t으로 가장 많았으며 대체로 400천t 내외로 해마다 변화가 있었고 사료용 수요는 2010년도에 1,161ha로 증가되었다가 2012년도에 828천t으로 감소되는 추세이다.

<표 4.23> 콩 용도별 소비량 (단위 : 천톤)

연도	'80	'90	'00	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12
전체	733	1,254	1,687	1,513	1,270	1,362	1,333	1,342	1,599	1,323	1,248
식용콩	400	388	433	523	409	466	387	392	438	394	408
사료용	33	866	1,254	990	861	896	946	950	1,161	919	828

※ 자료출처: 농림축산식품 주요통계(263p)



[그림 4.8] 콩을 기본으로 하는 주요 작부체계 (작물과학원, 2013)

한편 논 콩 이용 작부체계별 소득을 비교해 보면 담배-콩 작부가 1,351,899원/10a로 쌀 단작 533,518원/10a에 비하여 153% 증가되었고, 감자-콩 작부가 1,120,407원/10a로 소득이 110% 증가되었으며, 옥수수-콩 작부도 소득이 104% 증가되었으나 콩 단작으로는 5%의 소득을 올리는데 그쳤다.

<표 4.24> 논 콩 이용 작부체계별 경제성 비교 ('06~'08, 식량원 농가실증시험)

작부체계	조수입(원)	경영비(원)	소득(원)	소득지수
쌀 단작	871,058	337,540	533,518	100
콩 단작	791,248	231,882	559,366	105
감자-콩	2,047,777	927,370	1,120,407	210
옥수수-콩	1,724,369	638,309	1,086,060	204
담배-콩	2,416,771	1,064,872	1,351,899	253

* 작물과학원. 2013, 쌀, 콩 소득자료 : 농가소득자료(2006, 충북)

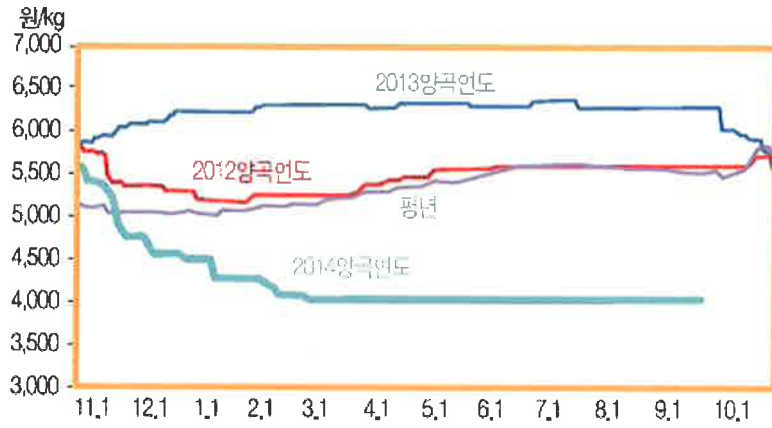
최근의 콩의 원산지별 가격(2014.10)은 국산상품 4,057원/kg으로 가장 높고, 국산 중품이 3,777원/kg이었으며, 수입산은 3,194원/kg으로 작년보다 1/3이상 하락한 상태이었으며 수입산은 국산상품의 78.7% 수준이었다.

국산 콩가격이 2012년도에는 평년값을 유지하다가 작년에는 평년가를 15%상회하다가 올해는 반대로 평년가의 78%범위에 머무르고 있어서 재배면적 확대가 쉽지 않을 전망이다.

<표 4.25> 월별 콩 도매가격 동향 (백태)

양곡연도	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	평균	
2013	국산상품	5,961	6,155	6,229	6,311	6,314	6,314	6,333	6,326	6,338	6,286	6,286	5,885	6,228
	국산중품	5,675	5,869	5,943	6,026	6,029	6,029	6,057	6,069	6,081	6,029	6,029	5,608	5,954
	수입산	3,666	3,715	3,882	3,971	3,936	3,936	3,937	3,914	3,914	3,914	3,786	3,773	3,861
2014	국산상품	5,193	4,594	4,335	4,142	4,057	4,057	4,057	4,057	4,057	4,057	4,057		4,242
	국산중품	4,879	4,280	4,024	3,855	3,777	3,777	3,777	3,777	3,777	3,777	3,777		3,952
	수입산	3,647	3,606	3,536	3,337	3,257	3,257	3,198	3,137	3,177	3,173	3,194		3,320
평년	국산상품	5,578	5,356	5,056	5,133	5,213	5,344	5,446	5,573	5,617	5,573	5,529	5,647	5,422
	국산중품	4,792	4,762	4,772	4,849	4,930	5,065	5,172	5,312	5,362	5,328	5,286	5,386	5,085
	수입산	3,245	3,178	3,260	3,244	3,253	3,279	3,268	3,290	3,307	3,329	3,353	3,362	3,281

* 한국농촌경제연구원. 2014b



[그림 4.9] 일반 콩 도매가격 동향 (백대, 상품, 한국농촌경제연구원, 2014b).

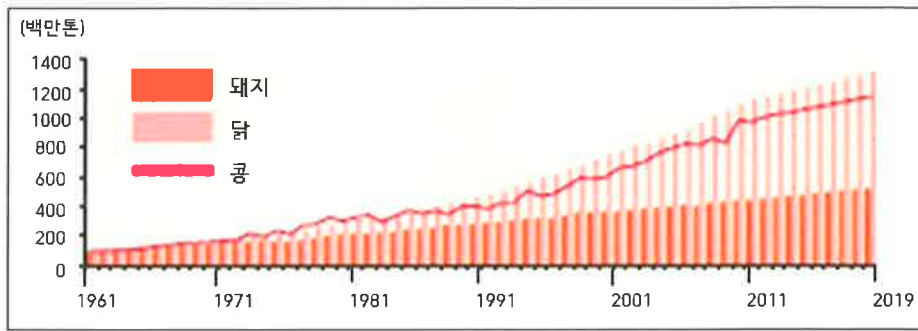
2014 양곡연도에 식용 콩은 전년대비 42.1% 감소한 16만 1,976톤이 수입되었다. 일반 콩은 전년 동기대비 48.9%, 콩나물 콩은 전년 동기대비 10.5% 감소하였는데 이는 2013년산 국산 콩 생산이 증가로 TRQ 증량물량을 줄였기 때문이다

식품의 단백질원으로써 돼지와 닭고기의 소비가 증가되면 콩의 소비량도 필수적으로 증가해야 한다.

<표 4.26> 식용 콩 수입실적

양곡연도	전년 11월	전년 12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	합계	
2013	일반콩	13,752	15,356	42,788	3,479	39,838	39,716	59,515	9,413	5,593	634	4,601	34,641	269,326
	콩나물콩	7,971	9,220	5,926	5,600	4,030	9,020	7,480	9,413	103	91	62	100	295
	합 계	21,723	24,576	48,714	9,079	43,868	48,736	66,995	9,516	5,684	696	4,701	34,936	319,224
2014	일반콩	922	4,695	2,959	8,866	4,299	9,790	14,129	64,897	6,371	756			117,684
	콩나물콩	1,835	6,272	4,540	5,760	5,134	11,456	7,035	1,560	700	-			44,292
	합 계	2,757	10,967	7,499	14,626	9,433	21,246	21,164	66,457	7,071	756			161,976

* 한국농촌경제연구원, 2014b



[그림 4.10] 콩과 육류(돼지, 닭)의 생산 (WWF, 2014)

콩 소비량은 중국이 72.1백만t으로 가장 많고 다음이 미국 37백만t, 유럽 연합이 34.7백만t, 브라질 18.6백만t, 인도 8백만t, 아르헨티나 6.5백만t의 순서이다.



[그림 4.11] 국가별 콩 소비량 (WWF, 2014).

주요 콩 생산 국가의 콩의 유통을 보면 미국은 콩 84.2백만t을 생산하고 0.8백만t을 수입하여 37.0백만t을 소비하고 47.9백만t을 수출하며 브라질은 최대 수출국으로 52.9백만t을 수출하고, 다음으로 아르헨티나 37.8백만t으로 이들 세 나라가 1,386백만t으로 전체의 86.1%를 수출하고 있다.

<표 4.27> 주요 콩 생산국가의 유통(백만 t)

국가	생산	소비	수입	수출
전체	240.0	260.0	161.0	161.0
미국	84.2	37.0	0.8	47.9
브라질	66.8	18.6	0.2	52.9
아르헨티나	40.1	6.5	0.0	37.8
인도	10.6	7.7	1.3	4.1
EU	1.3	34.7	35.1	1.7
중국	13.8	72.1	60.8	2.7

* WWF. 2014

세계 교역량 95,510천t 중에서 중국이 63,000천t, 즉 63.5%를 중국이 수입하고 EU가 11,300천t으로 11.7%으로 다음이고 나머지는 일본, 대만, 인도네시아, 태국 등 동남아시아 국가들이 수입하고 있다.

<표 4.28> 주요 콩 수입국가의 수입량 변화

국 가	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13
중국	41,098	50,338	52,339	59,231	63,000
EU	13,213	12,674	12,474	11,810	11,300
멕시코	3,327	3,523	3,498	3,400	3,350
일본	3,396	3,401	2,917	2,739	2,759
대만	2,216	2,469	2,454	2,285	2,300
인도네시아	1,393	1,620	1,898	1,922	2,000
태국	1,510	1,550	2,139	1,906	1,950
에집트	1,575	1,638	1,644	1,600	1,550
베트남	184	231	924	1,225	1,230
터키	1,076	1,648	1,351	1,057	1,200
기타	8,403	7,636	7,158	5,882	5,880
합계	77,391	86,838	88,796	93,077	96,510

* WWF. 2014

세계의 콩의 유통은 미국과 남미국가들에서 EU와 중국으로 향하는 큰 줄기가 있고 다음으로는 동남아시아로 아주 적은 량이 수입되는 것이다.



[그림 4.12] 세계의 콩의 유통 (WWF, 2014)

미국의 콩의 수출량 47.9백만t은 중국으로 24.2백만t, EU로 1.9백만t이 수출되고, 브라질의 52.9백만t은 EU 16.6백만t, 중국 25.9백만t, 인도로 0.3백만t이 수출되고 아르헨티나의 37.8백만t은 EU로 10.8백만t, 중국으로 7.3백만t, 인도로 0.9백만t이 수출된다.

<표 4.29> 주요 콩 수출국 별 무역 현황

수 출		수 입	
국가	수출량(백만t)	국가	수입량(백만t)
미국	47.9	EU	1.9
		중국	24.2
브라질	52.9	EU	16.6
		중국	25.9
		인도	0.3
아르헨티나	37.8	EU	10.8
		중국	7.3
		인도	0.9

* WWF 2014

4.2.3 주요 채소(양파)

양파의 재배면적은 작년에 20천ha로 1970년도의 4천ha에 비하여 5배로 증가되었고 단위수량도 6,468kg/10a로 3배나 상승하여 생산량은 약 15배로 늘어났는데 이는 양파가 건강식품으로 소비가 촉진되어 소득이 높아졌

기 때문에 판단된다. 마늘 면적은 같은 기간에 2배 증가되어 29천ha이었고 생산량은 2000년도에 474천t에서 하강하여 작년에는 412천t이 생산되었다. 고추는 재배면적이 1980년대에 138천ha을 정점으로 계속 하락하여 작년에는 45천ha에서 118천t을 생산하였다. 채소작물은 그간 품종개선과 시비 및 병충해방제 기술의 발전으로 꾸준히 단위면적당 수량이 향상되어 농가의 주 소득원으로 자리잡고 있다.

<표 4.30> 주요채소류 생산량 변화

작물		1970	1980	1990	2000	2010	2013
양 과	면적(천ha)	4.0	7.7	7.6	16.8	22	20
	생산량(천t)	83	275	407	878	1,412	1,294
	수량(kg/10a)	2,082	3,551	5,358	2,232	6,384	6,468
마 늘	면적(천ha)	15	37	44	45	22	29
	생산량(천t)	78	253	417	474	272	412
	수량(kg/10a)	508	682	955	1,056	1,212	1,405
고 추	면적(천ha)	37	138	63	75	45	45
	생산량(천t)	53	125	133	194	95	118
	수량(kg/10a)	145	94	212	260	214	260

* 농림축산식품부. 2014.

양과는 당년의 작황에 따라 부족분을 수만t 범위에 수입하여 소비를 충족시켜 왔으며 거의 자급하는 실정이었다.

<표 4.31> 양과 수급실적(천t)

구분	1985	1990	1995	2000	2010	2013
총공급량	440	425	975	889	1,451	1,341
생산량	440	408	975	878	1,412	1,294
수입량	-	17	-	11	39	47
이월량	-	-	-	-	-	-

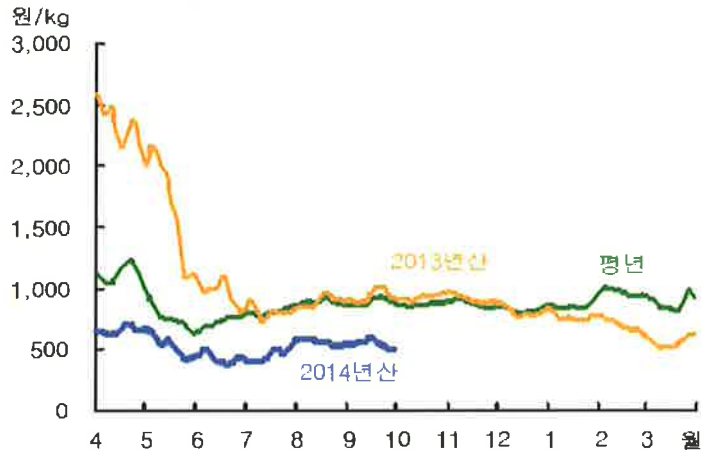
* 농림축산식품부. 2014.

양과의 평년가격은 일반적으로 수확시기인 5-6월에 낮았다가 다음해 수확 직전인 4월에 최고가를 보이거나 작년에는 4-5월에 평년의 두 배가 넘는 높은 가격을 형성하다가 계속 값이 하락하여 지난 9월에는 평년가의 62%를 하회하고 있었다.

<표 4.32> 양파 도매가격 동향 (상품)

연산	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월
2014	658	530	430	456	557	548						
2013	2,342	1,749	967	811	893	929	927	910	810	757	703	558
평년	1,099	762	722	811	885	887	870	876	827	843	955	882

* 농촌경제연구원. 2014.8.



[그림 4.13] 양파의 가격 변동 (농촌경제연구원. 2014.8)

4.2.4 서류

고구마는 옛날에는 구황작물이었으나 지금은 웰빙식품으로 인기가 높아져서 소비가 증가되므로 재배면적이 증가되다가 2012년도에 22,207ha로 재배면적이 증가하였다가 작년에는 22,207ha로 감소되어 현재 329,516t을 생산하고 있으며 가격도 꾸준히 상승하여 논 재배가 증가되고 있다.

<표 4.33> 우리나라의 고구마 생산 추이

구 분	단위	2000	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013
재배면적	ha	16,149	17,178	19,451	20,918	19,200	18,040	22,997	22,207
생산량(생서)	톤	344,881	282,526	329,351	350,661	298,930	255,284	342,668	329,516
단수	kg/10a	2,136	1,645	1,693	1,676	1,557	1,415	1,490	1,484
생산액	억원	1,306	1,525	2,760	3,189	3,045	3,468	5,300	
생산자가격동향	kg/원	516	1,079	1,998	2,241	2,442	2,442		
주요육성품종	신자미·신진미('01), 주황미('02), 연황미('05), 건풍미·대유미('08), 전미('09), 다호미('12)								

※ 농림축산식품 주요통계, 재배면적은 시설포함 면적, 양정자료, 바이오(14.8.11)

감자재배 면적은 2005년도에 32,728ha를 정점으로 증감을 계속하여 작년에 27,430ha에서 727,433t을 생산하고 148,763천t을 수입하여 1,650t을 수출하고 소비하였는데 1인당 소비량이 작년에 17.4kg/인 으로 작년도에 매우 높아졌다.

<표 4.34> 우리나라의 감자 생산 추이

구 분	단위	2000	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013
재배면적	ha	29,415	32,728	20,540	21,396	24,913	26,804	24,930	27,430
생산량(생서)	톤	704,623	894,215	604,592	591,053	616,707	622,202	607,534	727,438
수입량 ^a	톤	61,005	65,868	70,455	69,439	91,054	109,564	128,006	148,763
수출량 ^a	톤	56	24	455	708	569	539	868	1,650
단수	kg/10a	2,395	2,732	2,943	2,762	2,475	2,321	2,437	2,652
1인당 연간 소비량	kg	16.3	19.9	13.9	13.5	14.4	14.7	14.6	17.4
생산액	억원	2,182	2,240	2,283	1,696	2,272	2,314	2,449	-
보급종 공급실적	톤	8,176	8,264	8,322	7,889	8,281	7,794	7,607	7,413
재배면적 상위품종	수미, 대지, 대서, 추백, 조풍								
주요육성품종	하령('05), 고운, 서홍('06), 홍영, 자영('07), 새봉, 방울('10), 홍선, 진선('12)								

※ 자료출처: 농림축산식품 주요통계, ^{a)} 농촌경제연구원 농업진망, 재배면적은 시설포함 면적
고농연(14.8)

범용농지조성 기반기술 개발(II)

Development of Technology for Multipurpose

Utilization of Paddy Field (II)

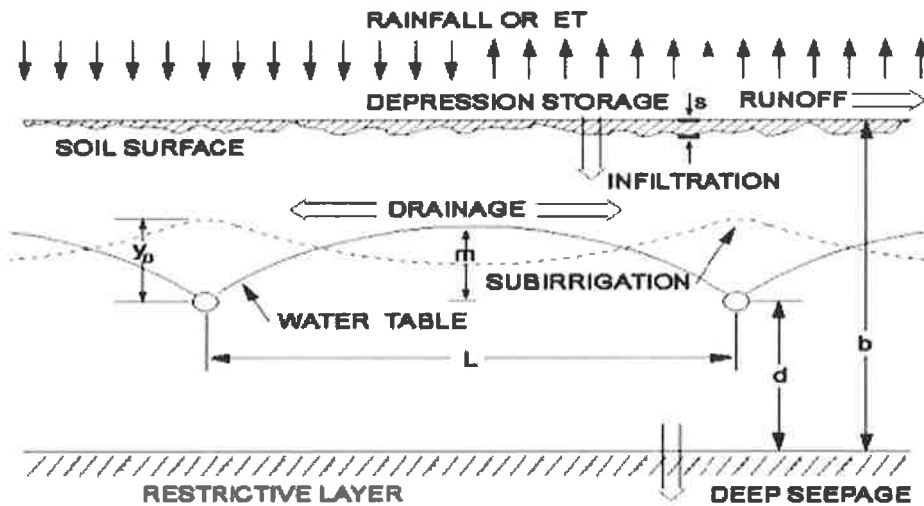
제5장 범용농지 시험포 운영

제5장 범용농지 시험포 운영

5.1 설계기법 분석

5.1.1 개요

지하관개 및 지하배수의 설계는 기본적으로 지표에서 유출·입되는 수량(Rain fall, evapotranspiration)과 지하시설을 통한 유출·입되는 수량(Irrigation, Drainage)과의 관계에서 적절한 지하수위 또는 토양함수량을 확보하기 위한 지하시설의 심도와 간격을 결정하는 문제로 요약할 수 있다.



[그림 5.1] 지하관개 및 지하배수 개요

이러한 설계에서 가장 중요한 부분이 작물에 적용되는 허용침수시간과 최적의 토양함수량이지만 논·밭 전환을 목적으로 하는 범용화 설계에 적합한 기준은 정립되지 않았으며, 발작물 별 허용 범위도 다양하기 때문에 특정의 기준을 제시하기에는 어려움이 있을 수 있다. 여기에서는 지하수위를 기본으로 한 배수시설(이하 암거)의 심도와 간격을 결정하기 위한 기본적인 설계기법을 정리하고 각 설계기법에서 요구하는 설계인자에 대하여 검토한다.

5.1.2 암거의 매설깊이

「배수편」에서 요약하는 암거의 매설깊이는 다음과 같다.

흡수거의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 하며, 일반적으로 흡수거의 상류단에서 0.6m ~1.0m, 하류단에서 0.8m ~ 1.2m로 한다. 다만, 주흡수거의 상단부 매설깊이를 최소한 0.6m 이상으로 해야 한다.

흡수거의 간격은 지형, 토양조건 및 토지이용형태 등에 따라서 결정한다.

계획지하수위

암거배수의 기준치인 계획지하수위는 지구의 토지이용형태, 도입작물의 종류 등을 고려해서 결정한다. 우리나라의 답작지에서 작물생육과 지하수위 관계는 답수상태하에서 수도작과 비답수하에서의 답리작이 반복되는 영농체계이므로 양자를 모두 충족시킬 수 있는 방안을 강구해야 한다. 논과 밭에서 토양과 수분은 상반된 상태로 존재하므로 답리작지대의 습답을 암거배수시설로 개선코져 할 때는 벼 재배와 밭작물 생육에 공통으로 사용될 수 있는 배수조직을 설계해야 한다.

국내외 자료를 분석 정리한 결과 계획지하수위 및 암거배수 기준치는 다음 표와 같다.

<표 5.1> 암거배수 기준치

작 기 배 수 요 인	답 수 기 (수 도)	비 답 수 기 (답 리 작)
· 감 수 심	10~15mm/일	-
· 삼투속도	5~10mm/일	-
· 토양투수계수	10~5cm/s	10~4cm/s
· 지표간류수 허용일수	물떼기후 3~5일	강우후 1~2일
· 강우후 5일째		
- 20cm층위 토양수분	-	pF 2.5
- 계획지하수위	-	지표하 50cm

여유심

여유심(a)은 배수로의 심도, 지하수위의 하강속진과 배수개선에 따른

지반의 수축침하, 영농기계의 주행하중 및 동결 등에 대한 암거 보호를 위한 것으로 대략 (a) = 20cm~50cm로 하는 것이 타당하다.

여유심(a)을 크게 해야 할 조건으로는,

- ① 토양의 투수성이 커서 흡수거의 간격이 넓은 경우
- ② 간척지 주변의 육지부, 경사지 및 인접고지대 등에서 깊은 침투수의 차단이 필요한 경우
- ③ 배수개선에 의해서 토층의 수축이 예상될 경우
- ④ 심근성의 영년생 작물이 도입될 경우 등이다.

어느 경우이건 토양의 투수성, 특히 암거 매설깊이에서 토층의 투수성이 좋아야 하는 것이 필요조건이다. 그리고 한냉지에서는 지반의 동결심보다 암거 매설깊이가 깊어야 한다.

경지의 동결심은 토양의 성질, 토양수분함량에 따라 다르므로 유사지구의 조사자료 등에 의해서 결정한다.

동결심의 최대치는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Z = 2.94\sqrt{\Omega}$$

여기서,

Z : 동결심 (cm)

$\Omega (= \theta \cdot t)$: 동결지수이며 0℃ 이하의 월평균기온(θ : ℃)과 그 연속일수(t : day)와의 곱이다.

<표 5.2> 동결심 계산 예(삼교천 1953년~1972년 평균)

월	11	12	1	2	3	4	계(Ω)
평균기온 ℃	+6.3	-0.9	-4.3	-1.7	+3.8	+11.3	
일 수	30	31	31	28	31	30	
$\theta \cdot t$ (℃·day)	-	27.9	133.3	47.6	-	-	208.8
동 결 심	$Z = 2.94\sqrt{\Omega} = 2.94\sqrt{208.8} = 42.5 \text{ cm}$						

암거의 매설깊이 결정할 때의 유의사항

- 1) 여러 층위로 이루어진 토양은 투수성이 불량한 토층에 암거를 매

설하는 것은 피한다. 암거매설을 계획하는 깊이의 토층이 난투수성일때는 이 층을 피할 수 있도록 여유심(a)을 정한다.

투수성이 낮은 여러 층위로 이루어진 토양은 흡수관의 기능을 촉진하기 위하여 충분한 깊이의 소수재를 투입하고 투수성이 불량한 상층토는 토층의 투수성 개량을 위해 두더지암거, 심토파쇄 등의 방법을 병용하는 것이 좋다.

2) 경지면에 기계가 주행하므로 기계차륜의 침하로 생기는 토양변형이 암거까지 미칠 경우는 암거가 파손될 염려가 있다.

과습답 또는 미성숙 간척지에서 경반이 미발달된 연약한 지반은 토층의 변형이 차륜침하량의 2.0~2.5배의 깊이까지 미친다. 토층의 변형 또는 교란이 암거의 파쇄까지는 일으키지 않더라도 암거 주변의 삼투로를 교란시켜 흡수거의 기능을 저하시키므로 이런 지대는 암거의 피복단면을 충분히 크게 할 필요가 있다.

주암거 깊이와 배수로 깊이와의 관계

주암거의 깊이가 깊어지면 배수로의 깊이가 깊어지거나 또는 별도의 암거배수용 펌프장을 신설해야 하므로 과도한 공사비가 소요되고, 폐쇄(潰廢)농지의 증가, 시설물 유지관리비의 증가 등의 문제점이 발생되므로 경지정리설계때 상기 문제점을 충분히 고려해야 한다.

경지정리가 시행된 지구에서 흡수거 깊이(말단부)를 답면하 1.0m로 하고, 관에서 배수로 바닥까지의 최소 깊이를 0.4m로 하면 배수지거의 깊이는 1.4m가 된다. 따라서 특수한 경우를 제외하고 주암거의 깊이를 논바닥 아래 1.0m이내로 하는 것이 바람직하다.

해외에서 일반적으로 토양특성과 매설장비의 능력을 고려하여 제시하고 있는(Madramootoo, 1999) 암거의 간격과 깊이는 <표 5.3>과 같다.

<표 5.3> 파이프암거의 일반적인 매설깊이와 간격

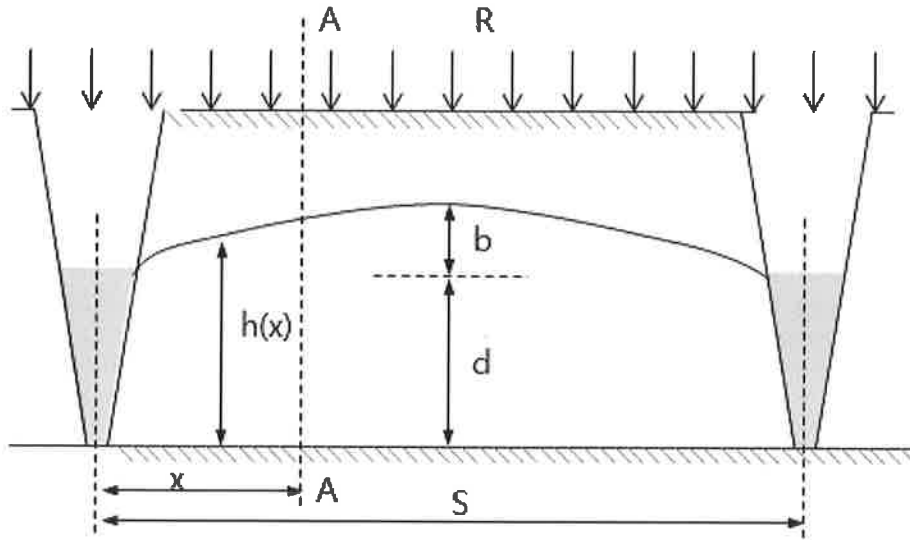
Soil	Hydraulic Class	Conductivity (mm/hr)	Spacing (m)	Depth (m)
Clay	Very slow	0.5-1	3-6	0.9-1.1
Clay Loam	Slow	1-5	5-10	0.9-1.1
Loam	Mod.slow	5-20	10-25	1.1-1.2
Fine, sandy Loam	Moderate	20-65	25-50	1.2-1.4
Sandy loam	Mod.rapid	65-130	50-70	1.2-1.5
Peat and muck	Rapid	130-250	70-100	1.2-1.5

5.1.3 암거의 매설간격

암거의 매설깊이가 목표 지하수위 및 작업의 효율성 등에 의해 결정되는 것과 달리 암거의 매설간격을 결정하기 위해서는 비교적 많은 설계인자를 이용한 계산이 필요하다. 지하수위 조절을 위한 암거의 매설간격을 계산하기 위한 방법은 크게 정류(Steady-state method) 방정식(Hooghoudt, Kirkham equation)과 부정류(Transient method) 방정식(Schilfgaard, Kirkham equation)으로 구분할 수 있다.

가. 정류방정식

다음 [그림 5.2]에서 나타내는 단면 A-A에서 일정한 강우량 R 에 대해서 지하수위 B 를 유지하는 문제가 된다. 이러한 흐름은 Darcy's law로 이해할 수 있다.



[그림 5.2] 정류방정식을 이용한 설계의 설계변수

Darcy's law에서 Hooghoudt는 다음과 같은 식을 유도하였다.

$$R = \frac{8Kdb + 4Kb^2}{S^2} \quad \text{or} \quad S = \left[\frac{8Kdb + 4Kb^2}{R} \right]^{1/2} \quad (5-1)$$

여기에서 K = 투수계수이며 나머지 변수는 [그림 5.3]참조.

이 식의 한계는 흐름이 수평으로 고랑방향으로 향한다는 가정을 하고 있다는 것이다. 암거에 대해서는 연직방향의 성분이 나타나게 되므로 이를 고려할 필요가 있다. 따라서 토층의 두께를 감소시키게 되면 이러한 측면을 고려할 수 있으며 유효깊이(effective depth, d_e)를 고려하게 된다.

$$d_e = \frac{\pi S}{8 \left(\log_e \left(\frac{S}{\pi r_e} \right) + F(x) \right)} \quad \text{for} \quad x = \frac{2\pi d}{S} \quad (5-2)$$

$$F(x) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \log_e [\coth(nx)] \quad (5-3)$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4e^{-2/x}}{i(1-e^{-2/x})} \quad (n=1,2,3,\dots), (i=1,3,5\dots)$$

여기에서 $x < 0.5$ 인 경우에 $F(x)$ 는 다음의 근사식으로 구할 수 있다.

$$F(x) = \frac{\pi^2}{4x} + \log_e \left(\frac{x}{2\pi} \right) \quad (5-4)$$

여기에서 r_e 는 압거 파이프의 유효반경(effective radius)로 유입될 수 있는 파이프 벽의 구멍을 의미한다. 따라서 식 (5-1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S = \left[\frac{8Kd_e b + 4Kb^2}{R} \right]^{1/2} \quad (5-5)$$

설계를 위해서는 먼저 과정은 먼저 설계에 적합한 배수계수(drainage coefficient)를 결정하여야 한다. 배수계수는 「배수편」에서 “계획암거배수량”으로 표현되고 있으며 이는 다음 절에서 다룬다.

설계과정은 먼저 d_e 를 가정하고 식 (5-5)을 이용하여 S 를 구한다. 그리고 식 (5-2), (5-3), (5-4)를 이용하여 d_e 를 구하고 가정한 값과 비교한다. 값이 다른 경우 나중에 구한 d_e 값으로 S 를 다시 구하고 d_e 가 같아질 때까지 반복하고 이때 S 가 설계값이 된다.

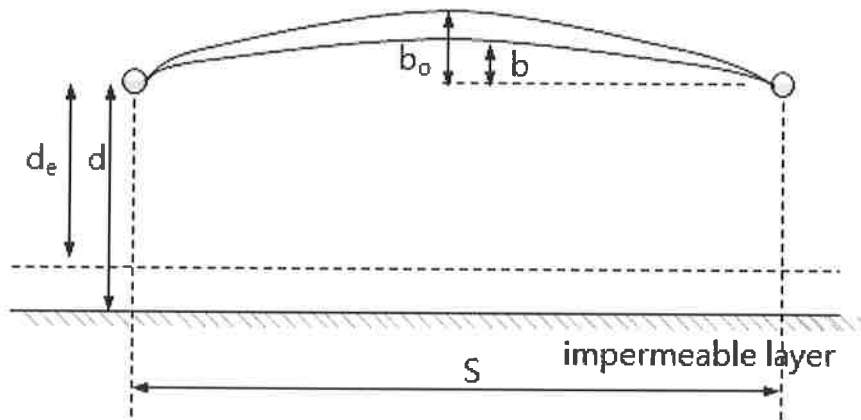
나. 부정류방정식

정류방정식에서는 배수계수를 강우량과 동일하게 설정한다. 그러나 지표유출이 발생하는 강우가 발생하는 환경에서는 적용하기 어렵다. 예를 들어 100mm/day의 강우에 대하여 이를 배제하기 위한 암거 설계를 한다

면 매우 비경제적인 결과가 되며 합리적이지 못하게 된다. 이러한 경우에 대하여 부정류방정식을 적용할 수 있다. van Schilfgaard(1963)은 지하수위를 낮추기 위한 Boussinesq equation의 해로 다음의 식을 제시하였다.

$$S = \left[\frac{9Ktd_e}{f \log_e \left(\frac{b_0[2d_e + b]}{b[2d_e + b_0]} \right)} \right] \quad (5-6)$$

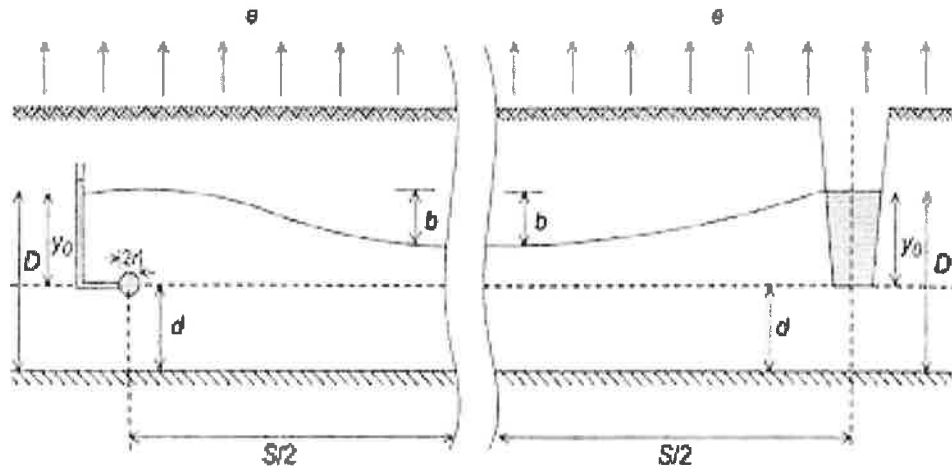
여기에서 t 는 목표하는 지하수위로 낮추기 위해 필요한 시간이다. 이외의 변수는 [그림 5.3]과 같고 계산 순서는 정류방정식과 동일하다.



[그림 5.3] 부정류방정식을 이용한 설계의 설계변수

다. 지하관개 정류방정식

지하관개를 위해서는 다음 그림과 같이 작물이 요구하는 evaporative demand e 를 만족하기 위하여 지하수위가 b 간격을 유지하기 위한 암거의 간격 S 의 결정이 필요하다. 이를 위하여 Ernst(1975)는 다음의 식을 제시하였다.



[그림 5.4] 지하관개 개요

$$S = \left[\frac{4Kbh_0 \left(2 + \frac{b}{D} \right)}{e} \right]^{1/2} \quad (5-7)$$

여기에서 $D = y_0 + d$, $h_0 = y_0 + d_e$, y_0 는 암거의 수두를 나타낸다. 이 식은 앞서의 Hooghoudt equation과 유사하며, 일반적으로 e 는 Drainage coefficient보다 작기 때문에 관개에 필요한 간격 S 는 작아질 수 있다. 그러나 관개에 필요한 간격을 결정하는데 가장 중요한 변수는 b 로, 배수의 경우보다 요구되는 b 가 매우 작아지며 따라서 관개를 위한 암거의 설치간격 S 는 배수의 경우보다 작게 된다.

라. 배수암거 설치간격에 대한 변수의 민감도 분석

암거의 간격은 농지범용화 설계에서 가장 핵심이 되는 부분으로 판단된다. 정류방정식이나 부정류방정식을 사용할 수 있으나 가장 중요한 부분은 항상 설계에 사용되는 변수를 결정하는 부분이다. 민감도 분석을 통해 암거의 설치간격에 가장 큰 영향을 미치는 변수를 고찰하고자 한다.

민감도 분석의 정의는 분야별에 따라 다르게 나타나지만 공통적인 개념은 '특정 모형에서의 입력과 출력 사이의 정보흐름에 관한 분석'이라는 것

이다. 즉 특정변수가 종속변수에 영향을 미치는지 여부에 대한 정성적 분석에서부터 어떠한 변수가 보다 큰 영향을 끼치는지에 대한 정량적 분석을 모두 포함한다. 민감도 분석의 가장 주요한 목적은 도출된 결과에 가장 큰 영향을 주는 데이터 및 가정을 규명하는데 있다. 데이터의 불확실성에 따른 변화를 임의로 정하거나 데이터의 불확실성의 범위를 알고 있다면 이를 적용할 수 있다. 일반적인 민감도 분석의 종류는 <표 5.4>와 같다.

<표 5.4> 민감도 분석의 종류

분석기법	특징
Tornado diagrams	- 투입데이터에 같은 비율을 적용하여 산출값의 변화량을 설명 - 결과값은 막대그래프로 표시되고 민감도가 큰 순서대로 표현
One-way	- 투입 변수가 특정비율로 변경하는데 필요한 변화율을 결정 - 대상변수 외의 다른 독립변수는 일정하게 유지
Scenario analysis	- 가정을 토대로 미래 상황을 기술 - 시스템경계, 할당방법, 기술, 시간, 공간, 특성화방법 및 가중치 방법 등에 이용 - 각각의 산출 결과에 대해 각 가정의 영향을 분석
Ratio sensitivity analysis	- 투입 데이터가 두 대안 사이에 순위를 바꾸는데 필요한 변화율 결정에 이용 - 대안 사이의 비율의 차이로 표현

민감도 분석은 어떤 변수가 결과에 미치는 영향이 큰지를 결정하지 위하여 상관분석이나 회귀분석과 같은 수학적, 통계적 기법을 포함하며, 상관계수는 민감도 분석의 지표로 활용된다. 상관계수는 예측변수와 가정변수 간의 상관관계의 정도를 나타내는 수치로 만약 가정변수와 예측변수가 높은 상관계수를 갖는다면 가정변수가 예측변수에 대해 유의한 영향력을 갖는다는 것을 의미한다. 양의 상관관계는 가정변수가 증가함에 따라 예측값도 증가한다는 것을 의미하며, 반대로 음의 상관관계는 가정변수가 증가함에 따라 예측값이 감소함을 의미한다. 민감도 분석에 사용되는 상관계수의 종류는 다음과 같다.

- Pearson product-moment correlation coefficient (Pearson)

- Spearman's rank correlation coefficient (Spearman)
- Standardized Regression Coefficient (SRC)
- Standardized Rank Regression Coefficient (SRRC)
- Partial Correlation Coefficient (PCC)

대표적으로 많이 활용되는 상관계수는 피어슨의 단순상관계수와 스피어만 순위상관계수이며, 단순상관분석은 두변간의 직접적인 선형관계를 재는 상관성의 측도로 피어슨의 단순상관계수를 구하고, 두 변수간의 상관관계에 대한 유무검정을 실시하는 분석방법을 말한다. 또한 피어슨의 상관계수는 변수들이 연속형이고 확률분포가 정규분포를 따른다고 가정하고 실시하는 상관분석이다. 순위상관분석은 피어슨의 상관계수와는 달리 변수들이 순서척도로 되어 있고 확률분포가 무엇인지 모르는 경우에 사용되는 분석방법이다. 일반적으로 선형모델은 피어슨 상관계수에 의하여 표현되며 비선형모델은 스피어만 순위상관계수에 의하여 표현한다.

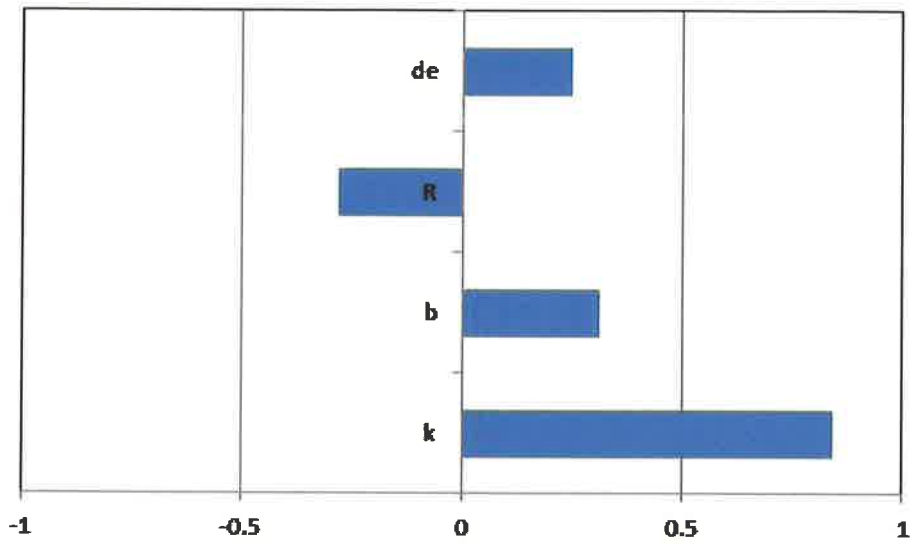
본 연구에서는 배수암거의 설치간격을 산정함에 있어 각 입력변수가 배수암거의 설치간격에 미치는 영향을 분석하고자 각 입력변수에 대한 스피어만 서열상관계수를 산정하여 민감도 분석을 실시하였다.

배수암거의 설치간격 설계에서 정류방정식에 대한 입력변수의 민감도 분석을 수행하기 위한 해석조건은 <표 5.5>와 같다.

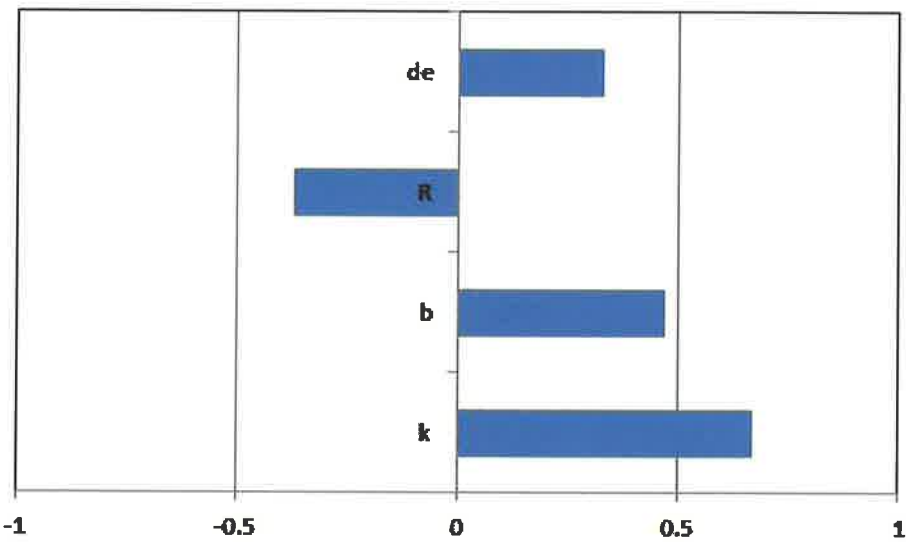
<표 5.5> 민감도 분석을 위한 입력변수 조건 (정류방정식)

변수	하한	상한	평균	표준편차	확률분포형
K (m/day)	0.2	5.0	2.6	2.6	Normal
				-	Uniform
b (m)	1.0	4.0	2.5	0.5	Normal
				-	Uniform
R (m/day)	0.2	1.0	0.6	0.12	Normal
				-	Uniform
d_e (m)	0.01	0.04	0.025	0.005	Normal
				-	Uniform

민감도 분석은 입력변수를 정규분포로 가정한 경우와 등분포로 가정한 경우에 대하여 해석을 수행하였으며 결과는 [그림 5.5]와 같다.



[그림 5.5] 정류방정식에서 변수의 상관계수(정규분포)



[그림 5.6] 정류방정식에서 변수의 상관계수(등분포)

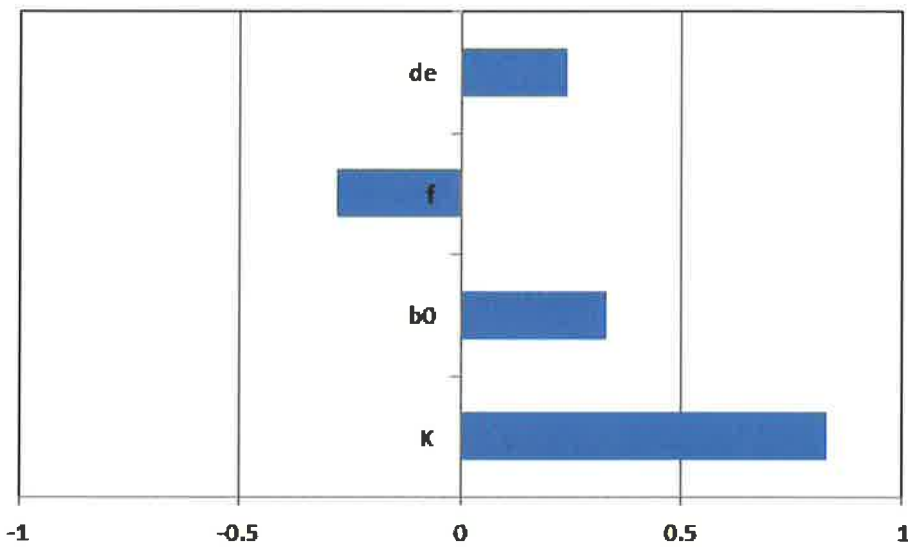
[그림 5.5, 6]에서 보듯이 정류방정식에서 암거의 설치간격에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 역시 토양의 투수계수이다. 다음으로 Drainage

coefficient가 역의 상관관계를 가진다. b 와 d_e 는 설계에서 목적하는 지하 수위와 관계가 있으므로 결국 설계의 가장 중요한 부분은 적절한 투수계수를 결정하고 작물의 특성에 적합한 Drainage coefficient를 결정하는 문제가 된다.

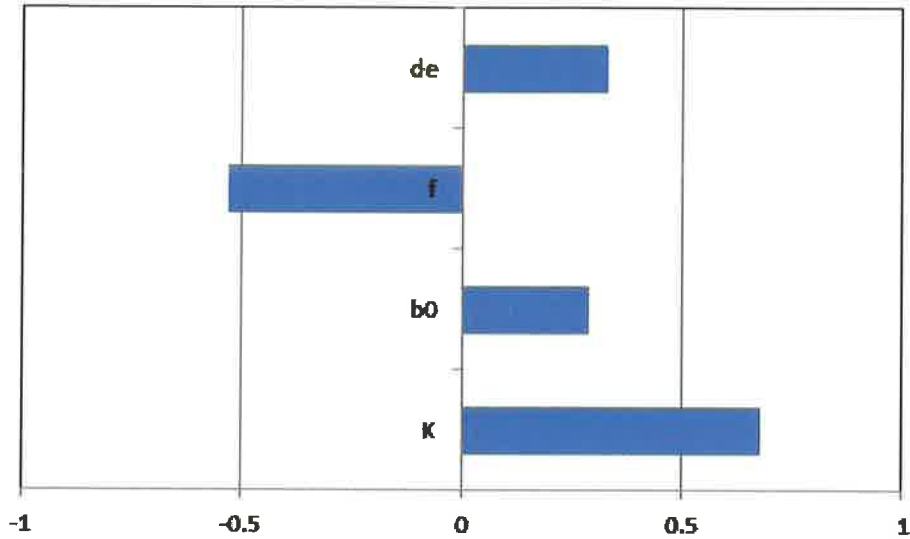
<표 5.6>은 배수암거의 설치간격 설계에서 부정류방정식에 대한 입력 변수의 민감도 분석을 수행하기 위한 해석조건이다.

<표 5.6> 민감도 분석을 위한 입력변수 조건 (부정류 시)

변수	하한	상한	평균	표준편차	확률분포형
K (m/day)	0.2	5.0	2.6	2.6	Normal
				-	Uniform
b_o (m)	0.5	1.0	0.75	0.15	Normal
				-	Uniform
f	0.01	0.08	0.045	0.009	Normal
				-	Uniform
d_e (m)	1.0	4.0	2.5	0.5	Normal
				-	Uniform



[그림 5.7] 부정류방정식에서 변수의 상관계수(정규분포)



[그림 5.8] 부정류방정식에서 변수의 상관계수(등분포)

민감도 분석은 입력변수를 정규분포로 가정한 경우와 등분포로 가정한 경우에 대하여 해석을 수행하였으며 결과는 [그림 5.7, 8]과 같다. 그림에서 보듯이 정류방정식과 마찬가지로 암거의 설치간격에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 역시 토양의 투수계수이다. 다음으로 토양의 Drainable porosity가 역의 상관관계를 가진다. b_0 와 d_e 는 설계에서 목적하는 지하수위와 관계가 있으므로 결국 설계의 가장 중요한 부분은 적절한 투수계수와 Drainable porosity를 결정하는 문제가 된다. 또한 Drainable porosity는 투수계수와의 관계에서 구한다고 하면 암거의 간격을 결정하는 문제에서 가장 중요한 부분이 대상지역 토양의 투수계수를 결정하는 문제가 된다.

5.1.4 암거의 관경 및 기울기

「배수편」에서는 암거의 관경과 기울기에 대하여 다음과 같이 요약하고 있다.

(1) 흡수관의 관경은 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하 할 수 있는 크기로 한다. 그러나 특별한 경우를 제외하고 최소관경은 50mm(A=19.6cm²)로 하며 경지정리답의 배미구 장변(100m인 경우)에 맞추어 흡수관 길이를 95m, 흡수관경을 50mm로 하면 충분하다.

(2) 흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300~1/600, 기계매설 시는 1/500~1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다. 관내 유속은 최대유속 시에 0.3m/s 이상~1.0m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.

압거 내의 유속(V)은 매닝(Manning)공식으로 산출하고 있는데 이때 동수경사는 흡수거의 설치기울기와 같게 한다.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

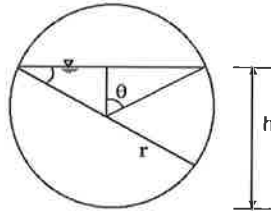
<표 5.7> 흡수거의 조도계수

관 의 종 류	조도계수 n	비 고
흡 관	0.013	+ 연결상태가 불량하면 n치 증가 ┌ └
도 관	0.014	
소 소 토 관	0.013	
경 질 염 화 비 닐 관	0.012	
PVC 유 공 주 림 관	0.016	

(주) : 본 조도계수는 신제품인 경우임.

<표 5.8> 흡수거의 유량, 유속계산표

h/2r	α	β	비 고
0.50	0.9895	0.62996	Q = 유량(m ³ /s) r = 관의 반경(m) n = 조도계수 I = 기울기 V = 유속(m/s)
0.55	1.15917	0.65473	
0.60	1.32962	0.67558	
0.65	1.49699	0.69251	
0.70	1.65696	0.70541	
0.75	1.80486	0.71404	
0.80	1.93448	0.71799	
0.85	2.03932	0.71653	
0.90	2.10929	0.70827	
0.95	2.12655	0.68980	
1.00	1.97907	0.62996	



$$(주) \quad Q = \frac{1}{n} \times r^{8/3} \times I^{1/2} \times \alpha$$

$$V = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times I^{1/2} \times \beta$$

$$\alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin\theta \cdot \cos\theta)^{5/3}}{[2(\pi - \theta)]^{2/3}}, \quad \beta = \left[\frac{(\pi - \theta + \sin\theta \cdot \cos\theta)}{2(\pi - \theta)} \right]^{2/3}$$

관경은 관내에서 토사의 침전, 물양금의 부착 등으로 관단면이 축소되는 것을 고려해서 계획유량을 관경의 70% 정도의 수심으로 유지할 수 있도록 결정하는 것이 바람직하다. 관경 50mm 이하의 암거는 특수한 경우를 제외하고 사용하지 않는다.

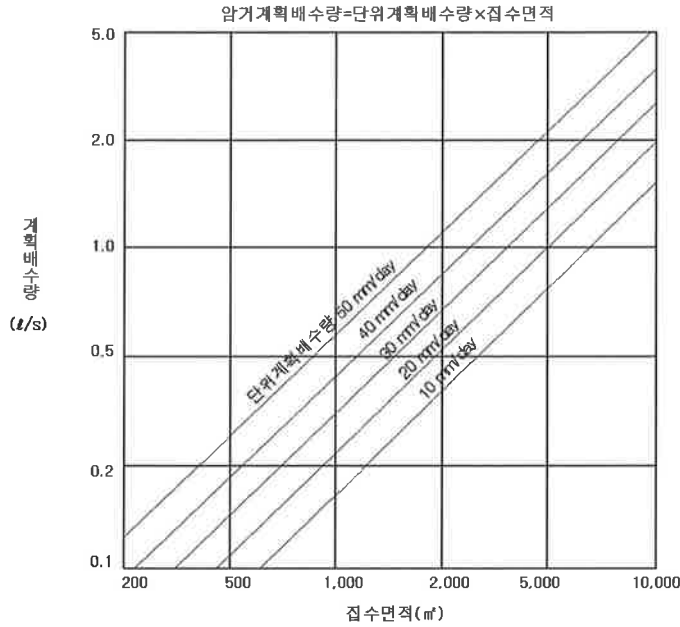
경사지에서 흡수거의 기울기가 1/100 이상이 되는 경우는 접합부의 연결이 완전한 것을 선택하고, 접합부분은 내구성 재료로 보강한다.

라. 평탄지에서 흡수거가 느린 기울기로 부설될 때는 관의 침하로 통수불량이 되는 것을 피하기 위해 피복재의 두께를 크게 하고 시공관리를 철저히 한다.

암거배수량은 점진적인 토양구조의 발달에 의해서 당초의 계획배수량을 초과하는 일이 있다. 이런 경우는 평탄지에서 집수거 상류부의 배수가 늦어지고 경사지에서는 집수거 하류부분의 배수가 늦어진다. 그러

므로 계획배수량에 대해서 평탄지는 집수거의 상류부 여유를 크게 취하고 경사지는 하류부의 여유를 크게 취한다.

암거 계획배수량은 단위계획배수량(10~30mm/day)과 집수면적을 곱하여 계산된다.



[그림 5.9] 암거배수량

ASAE에서 제안하는 최소경사는 다음과 같다.

<표 5.9> 암거의 최소 기울기(ASAE, 1998)

Inside Dia. of Pipe(mm)	Pipes NOT subjected to fine sand or silt		Pipes subjected to fine sand or silt	
	Clay/Concrete	Corrugated	Clay/Concrete	Corrugated
75	0.08	0.10	0.60	0.81
100	0.05	0.07	0.41	0.55
125	0.04	0.05	0.30	0.41
150	0.03	0.04	0.24	0.32

5.1.5 암거의 구조 및 재료

「배수편」에서는 암거, 특히 주암거인 흡수거의 구조 및 재료에 대하여 다음과 같이 제시하고 있다.

(1) 흡수거는 흡수거와 여과재(Filter)나 소수재로 구성되며 석력, 목재, 대나무

및 왕겨 등을 사용하는 간이 암거와 재료를 사용치 않은 무재료 암거로 두더지 암거, 절단 암거 등도 있다.

(2) 흡수관은 필요한 통수단면적, 강도, 내구성 및 흡수성능을 가지고 있어야 한다. 여과재 및 소수재는 토양의 투수성 증진과 토사가 흡수관으로 유입하는 것을 방지하는 기능이 있고, 어느 정도의 내구성이 있어야 한다. 또한, 암거재료는 작물에 유해한 물질이나 수질을 오염시키는 물질을 화학 합성하거나 용출해서는 안 된다.

흡수거의 기능과 재료

흡수거는 토층중의 과잉수를 흡수하여 한데 모아 집수거로 유거시킨다. 구비조건으로는 필요한 통수단면적, 강도, 내구성 및 흡수성능이 있어야 한다.

1971년 12월 미국 시카고시에서 개최된 배수재료 심포지움 보고서에 의하면 PVC유공주름관이 흡수거로서 유입공의 성능, 내구성 및 가격 등에서 대체적으로 유리한 조건을 갖추고 있다고 인정하였다.

그 밖의 흡수관으로 토관, 콘크리트관, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관 등도 많이 사용하고 있으나, 장·단점을 비교하면 <표 5.10>과 같다.

관 이외의 흡수거로는 대나무 마디를 빼낸 죽흡수거, 목재를 조립한 목상자형 흡수거, 나무가지를 엮어 만든 나무썰 흡수거, 석력을 부설한 석력 흡수거 등이 있으나, 현재는 많이 이용하지 않는다.

피복재(Surrounds)

피복재는 관을 덮는 투수성이 양호한 재료로서 사용되는 목적에 따라 여과재와 소수재로 구분한다.

<표 5.10> 흡수관의 종류와 장·단점 비교

종 류	장 점	단 점	고 려 사 항
P.V.C 유공주름관 (내경 50mm 이상)	<ul style="list-style-type: none"> · 합리적인 물유입 · 기계시공이 용이 · 운반이 가볍고 용이 · 길이를 자유롭게 길게 할 수 있음 · 가격이 비교적 저렴함 · 쉽게 부식하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 조도계수가 큼 · 강도가 크지 못함 · 현장작업이 불가능하고 공장에서만 제작함 	<ul style="list-style-type: none"> · 크기와 두께가 균일해야 함 · 외압에 대한 저항성이 있어야 함 · 균열에 대한 내구성 있어야 함
토 관 (내경 50mm ~150mm) ($l = 0.3 \sim 0.6m$)	<ul style="list-style-type: none"> · 견고함 · 현장조달이 가능함 · 내식성, 내압성이 크다. · 적용대상 토양의 범위가 넓다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 중량이 무거워 운반이 불편함 · 정밀한 시공이 필요 · 가격이 고가임 · 물 유입이 이상적이 아님 	<ul style="list-style-type: none"> · 재질의 균일성이 필요함 · 내경의 균일성이 필요함 · 시공기술의 정확성이 필요함
콘크리트관	<ul style="list-style-type: none"> · 제작이 용이함 · 현장조달이 가능함 · 대구경을 제작가능함 · 가격이 비교적 저렴함 · 내압력이 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 염분에 부식되기 쉬움 · 파괴되기 쉬움 · 중량이 무거워 운반이 불편함 · 정밀한 시공이 필요함 · 물 유입이 이상적이 아님 	<ul style="list-style-type: none"> · 강도의 균일성이 필요함 · 재질의 균일성이 필요함 · 내경의 균일성이 필요함 · 시공기술의 정확성이 필요함
경 질 염화비닐관	<ul style="list-style-type: none"> · 경량이므로 1분당 길이를 4.0m까지 제작이 가능하다. · 산, 알카리 등에 어느 정도 내식성이 있다. · 관 내면이 평활해서 조도가 작다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 저온이나 충격에 약하다. · 균열, 파손이 발생할 가능성이 있어 연약지반에는 부적합하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 내외면이 매끄럽게, 유해한 흠집, 줄무늬, 갈라짐, 꼬임, 기타의 결점이 없어야 한다.
폴 리 에틸렌관	<ul style="list-style-type: none"> · 비중이 강관의 1/8이므로 가볍고 취급이 용이하다. · 저온에 강하고, 관강도에의 영향이 적다 · 50mm 정도의 것은장척의 코일권으로 되어 있으므로 장거리 이음이 필요 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 열가소성 수지이므로 강도 측정이 온도변화에 민감하다. · 국부하중이 작용하게 될 때에는 부설을 피해야 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 망상관은 망 구멍의 크기와 토질에 대한 적응성을 검토해야 한다. · 형상은 제조방법에 따라 폴리에틸렌제 망상관, 파형관, 시트파이프형 등이 있다.

1) 여과재(Filter)

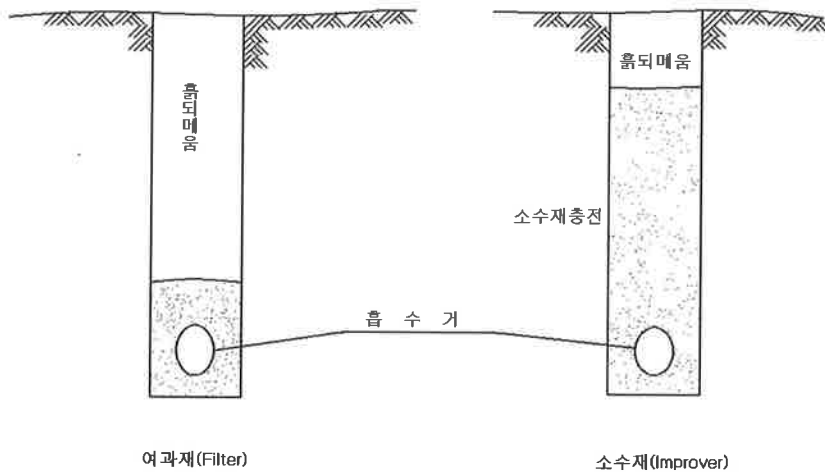
흡수거 내로 토사가 유입하는 것을 막기 위하여 관 둘레를 피복하는 필터이며, 화섬여과재(Synthetic fibre filter), 왕겨, 모래와 자갈 및 벚짚, 갈대, 싼 등이 있다.

2) 소수재(Improver)

토층 중의 물이 필터를 거쳐 흡수관에 유입되는 것을 가일층 촉진시키기 위해 흡수거 상부나 최소한 두께 20cm 이상으로 충전하는 피복재로 물길을 터서 흡수부분을 크게하는 투수성 재료이다. 소수재의 재료로는 왕겨, 자갈과 모래, 벚짚, 목판 및 조개껍질 등이 있으나 농가부산물인 왕겨가 구하기 쉽고, 운반과 조작이 쉽고, 가격이 싸며 토양에 대한 적응성이 좋아서 많이 사용되고 있다.

그런데 왕겨는 유기질이기에 때문에 부식되기 쉬운 단점이 있으나, 외국의 시험결과에 따르면 수분이 많은 토층에서는 10년 이상 그 기능이 유지될 수 있다.

소수재로서 모래 및 자갈이 가장 이상적인 재료이나 공사비가 비싸며 운반과 조작이 불리하고 많을 양을 구하기 어려운 단점이 있다.



[그림 5.10] 흡수거 피복단면

[※참고]

토양의 구조, 조직, 수분함유량에 따라서 크게 영향을 받는다. 그러나 실제 포장에서 지내력이 문제가 되는 것은 주로 점질토양의 논이다. 현재까지의 연구조사결과에 의하면 논 지면하 15cm 까지의 깊이를 5cm 깊이마다 측정한 콘(Cone)지수(단위 kgf/cm²)의 4점 평균치가 4kgf/cm² 이상이라면 기중 및 작업내용에 관계없이 대개 원활한 농작업이 가능하다. 따라서 이러한 정도의 지내력을 가질 수 있도록 암거배수가 되어야 하겠다. 물론 암거배수에 의하여 지하수위를 낮추는 것만으로는 소요 지내력을 얻는 일이 보장되는 것이 아니겠으나, 지하수위를 저하시키지 않는한 토양의 건조는 기대할 수 없으므로 지하수위 저하는 지내력 강화를 위한 필요조건이 된다.

5.2 설계인자 분석

이상에서 살펴본 바와 같이 지하 암거배수 및 지하 암거관개를 위해서는 많은 설계변수가 필요하다. 기본적으로 요구되는 단위계획배수량(배수계수 Drainage coefficient)에서부터 토양 속의 물의 흐름과 관련된 흙의 특성, 매설되는 암거의 특성 등이며 이러한 설계와 관련된 인자에 대한 이해는 설계에 있어서 가장 중요한 부분이다. 여기에서는 설계에 사용되는 변수들에 대하여 고찰하고 「배수편」에서 제시되는 설계변수와 기타 참조할 수 있는 값들을 비교하고 설계인자를 구하는 조사·실험법에 대하여 고찰하고자 한다.

5.2.1 단위계획배수량 및 지하수위

단위계획배수량은 암거배수에서 계획암거배수량과 같은 의미하고, 단위면적에서 일정 시간 동안 배제하는 양으로 암거배수를 설계하는 기본 설계변수이다. 「배수편」에서는 계획 암거배수량에 대해서 다음과 같이 제시하고 있다.

○ 계획 암거 배수량

계획 암거배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용 형태 등에 따라서 10~30mm/day로 정한다.

계획 암거배수량은 계획암거배수량에 대한 접근방법, 암거배수량의 필요성, 지표잔류수가 있는 경우의 계획 암거배수량, 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량을 구분하여 산정하여야 한다.

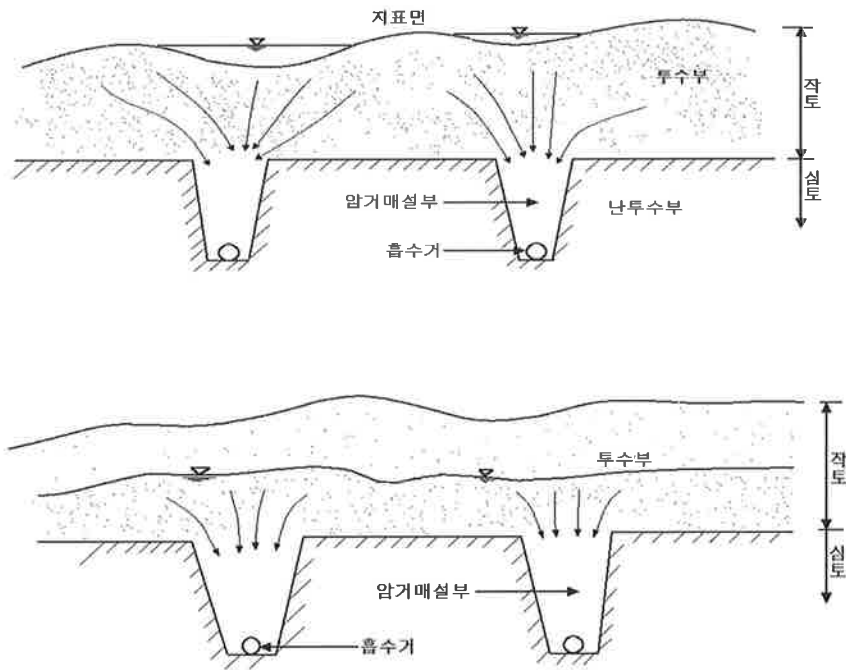
계획 암거배수량에 대한 기본적 접근방법

지하배수로 배제할 수 있는 과잉수를 지표잔류수와 토양중의 중력수의 2종류로 생각한다. 지표잔류수는 지표의 요(凹)부에 담수되어 지표배수가 불가능한 물이고 토양속의 중력수는 지하수위 저하에 따라서 배제되는 지하수면상의 중력수이다(이하 간단히 토양수라고 한다). 이

전의 접근방법에 따르면 지하배수의 중요한 역할은 토양수 배제에 있다고 하였으나, 최근의 조사 연구에 의하면 지표잔류수의 배제가 지하배수의 중요한 역할로서 부각되었다. 특히 점질토양으로 된 논외의 경우는 토양수 배제량이 아주 적고 지하배수량의 대부분은 지표잔류수가 차지하고 있다.

이와 같이 암거로 배제되는 배수가 지표잔류수와 토양수라면 계획 지하배수량은 「지표잔류수가 있는 경우는 토양수와 지표잔류수를, 지표잔류수가 없는 경우는 토양수만을 허용시간내에 배제하는 양」으로 정의한다.

특히 점질토양의 논은 암거 매설부, 작토 또는 심토 균열이 배수효과가 큰 것으로 알려져 있다. 암거 배수기구를 모식적으로 표시하면 [그림 5.11]과 같다.



[그림 5.11] 배수기구의 모식도(지표 잔류수 배제(위), 토양수 배제(아래))

계획 암거배수량의 필요성

지하배수계획에서 계획 암거배수량은 다음 사항의 결정에 중요한 관련성을 가지고 있다.

1) 지표잔류수 또는 토양수를 목표시간 내에 배제하는데 필요한 암거 배수조직을 정할 수 있게 한다.

2) 주어진 암거조직의 범위를 기본으로 하되 계획 배수량을 배제하는데 필요한 토양의 투수성개량 여부를 판정한다.

계획 암거배수량은 암거의 간격 및 깊이, 집수거의 단면 등 암거 배수조직의 결정에 기본이 될 뿐 아니라 조직결정 후에 예상되는 각종 투수성 개량 여부와 그 방법(증발산 촉진에 의한 토양의 건조, 균열의 발생촉진, 두더지 암거, 심토파쇄 등의 보조암거)에도 관계된다.

지표잔류수가 있는 경우의 계획 암거배수량

우리나라와 같은 다우(多雨)지대는 토양의 투수성이 적은 경우에 강우로 지표담수가 생기게 된다. 이 경우에 계획 암거 배수량은 지표잔류수량과 잔류수 배제에 필요한 목표일수에 의하여 결정된다.

1) 지표잔류수의 목표배제 일수

기왕의 시험자료와 경험 등을 종합해 보면 논의 지표잔류수 배제에 소요되는 목표일수는 대체로 다음과 같다.

① 관개기간중

제초제·액비시용시	1~2 일 이내
중간 물빼기 시	2~3 일 "
관개종료시	3~5 일 "

② 비관개기간중

경기, 쇄토작업시기	1~3 일 이내
건답 파종작업시기	1~2 일 "
수확작업시기	1~2 일 "
추경작업시기	3~5 일 "

따라서 비 재배의 경우는 기계의 도입이나 적정한 물 관리를 위해서

논바닥의 물배제는 대개 1~2 일 이내에 가능하도록 해야 한다. 밭작물의 경우는 1일 이내에 배제되도록 한다.

2) 지표잔류수량

어떤 지점의 지표잔류수량은 그 지점의 표고와 그 근방 표고와의 관계에 의해서 정해진다. 문제가 되는 지점의 표고가 그 근방 표고보다 낮으면 지표수가 잔류하게 되고 높으면 잔류되지 않는다. 따라서 한 배미 논외의 지표잔류수량을 구하자면 각 점의 잔류수량을 논 전체에 걸쳐서 합계해야 한다.

우리나라의 경지정리사업에서 논외의 평탄도의 기준은 논외 표고가 대체로 평탄 논외고 $\pm 3\text{cm}$ 이내가 되도록 하고 있다. 따라서 가장 좋은 조건으로 이상적인 경우는 지표잔류수량이 0mm가 되고, 반대로 조건이 나쁜 경우는 평균 30mm의 지표잔류수가 생기게 된다. 따라서 지표잔류수는 최고값을 30mm정도로 취하면 무난할 것이다.

계획 암거배수량

경지정리사업에서 논외의 평탄도나 여러 연구결과를 종합하여 볼 때 지표잔류수량은 10~30mm 정도이다. 전향에서 기술한 바와 같이 잔류수 배제의 목표일수는 1~2일이므로 지표잔류수의 배제를 위한 계획 암거배수량은 평균 10~30mm/day 가 된다. 계획 암거배수량을 배수계수라고도 하며 전작지를 대상으로 하는 경우의 배수계수는 일반작물은 10~20mm/day, 일반 원예작물 같은 고급작물에서는 13~38mm/day를 기준으로 한다. 그러나 우리나라는 밭의 대부분이 경사지이고 토양의 투수성이 좋아서 전지배수는 고려하지 않고 있는 형편이다. 또한 밭만을 대상으로 하는 경우의 토양중력수는 지표잔류수에 비하여 적기 때문에 위에서 언급한 계획배수량 (10~30mm/day)을 그대로 사용해도 좋다.

이상 계획배수량 결정과정에서 확실해진 바와 같이 계획배수량은 지표잔류수의 과다, 토양투수성의 양부 등에 의하여 결정할 수 있다. 즉, 지표잔류수가 많고 투수성이 큰 경우는 큰 배수량을 채택해야 한다.

토양의 투수성이 나쁘면 소정의 암거 간격으로는 계획배수량 10~

30mm/day를 배수하지 못할 경우가 있다. 이러한 경우에는 당연히 목표일수 이상까지도 지표잔류수가 있게 마련이므로 별도의 방법 즉 토양건조를 위한 각종 재배법, 보조암거 등을 사용하여 투수성을 증진시킬 필요가 있다. 특히 경지의 논발윤환을 도모하고자 하는 경우는 계획배수량을 크게 취할 필요가 있다. 앞서서도 언급한 바와 같이 계획배수량(배수계수)에는 논밭의 구분이 없다.

지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량

강우량에 비하여 투수성이 충분히 큰 토양은 암거가 충분한 조직용량만 가지고 있다면 허용시간 내에 지표잔류수는 배제할 수 있다. 다만, 지표잔류수의 허용시간보다 배제시간을 지나치게 단축시킬 필요도 없고 또한 단축시키기 위해서 암거 조직용량을 크게 만들어도 비경제적이므로 계획배수량은 30mm/day 정도가 알맞을 것이다. 그런데 이 경우에 토양수 배제에 직접 관계하는 지하수위 저하속도가 문제가 된다.

○ 계획 암거배수량의 산정

지표잔류수를 대상으로 계획암거배수량을 산정하는 경우 범용농지에서는 발작물을 대상으로 하기 때문에 지표수가 포장 내에 정체하는 것은 습해의 큰 원인이 되므로 이것을 허용시간내에 신속히 배제하는 방법을 채택하여야 한다. 지표잔류수가 없는 경우 또는 지표잔류수를 배제한 후에는 토양중력수를 허용시간 내에 계획지하수위까지 저하시킬 수 있는 양이어야 한다.

지표잔류수를 대상으로 하는 경우

범용농지에서는 발작물을 대상으로 하기 때문에 지표수가 포장 내에 정체하는 것은 습해의 큰 원인이 되며, 신속히 배제하는 방법을 채택하여야 한다. 이를 위해서는 이랑방식에 의하거나 포장내에 배수로를 파서 포장 밖으로 도수하는 방법 등으로 습해의 방지에 노력할 것은 물

론이나, 근본적으로 논이기 때문에 담수를 피할 수 없으며, 이 경우의 계획 암거배수량은 지표잔류량과 잔류 허용일수에 의해 결정된다.

논의 지표 잔류수 배제에 필요한 허용일수는 기존의 시험자료와 경험에서 종합하면 <표 5.11>에서 보는 바와 같이 1~2일 정도라고 할 수 있다. 또, 발작물의 경우에는 침수시간이 최소화되도록 신속히 배제하여야 한다.

따라서, 지표잔류수가 있는 경우의 계획암거배수량은 벼 재배의 경우 기계의 도입이나 적당한 물 관리를 위해서 논바닥의 물 배제는 1~2일 이내에 가능하도록 해야한다. 강우량에 비하여 투수성이 충분히 큰 토양으로서 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량은 지표잔류 허용시간을 단축시키기 위해서 암거 조작용량을 크게 만들어도 비경제적이므로 계획배수량은 30mm/day 정도가 알맞다.

<표 5.11> 논 지표잔류수의 허용일수

기별	기별의 구분	허용일수
관 개 기	제초기·액비시용 시	1~2일 이내
	담수 직파의 아간(牙干) 시	1일 이내
	중간 시	2~3일 이내
	관개종료 시	3~5일 이내
비 관 개 기 (강우시 배제)	경기(耕起)·땅고르기 작업기	1~3일 이내
	건답직파 파종작업기	1~2일 이내
	건답직파 밭아기	1~2일 이내
	수확작업기	1~2일 이내
	이작기(裏作期)	2~3일 이내
	추경작업기	3~5일 이내

[주] 대형기계화영농에 적합한 포장 형태 기준

지표잔류량은 구획정리 후에 측정된 각 포장 평면도의 시공관리 자료에서 실측 또는 계산하면 20~30mm의 범위의 것이 많다. 또 이미 시공되어 양호한 결과를 얻고 있는 암거의 피크(Peak) 배수량은 30mm

전후의 것이 많이 제시되고 있다.

토양의 종류에 따른 계획 암거배수량은 <표 5.12>에 나타난 바와 같고, 단위계획 배수량(q)은 다음 식에 의하여 산정한다.

<표 5.12> 토양의 종류에 따른 암거배수량

구 분	투수계수(cm/s)	암거배수량(mm/day)	비고
사 질 토 양	1×10^{-3} 이상	50	
양 토 질 토 양	$\times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$	20~50	
난 투 수 성 토 양	1×10^{-5} 미만	20~50	
이 탄 토 양	-	30~50	
경 사 지 답	-	20~50	

단위계획배수량($l/s/ha$)

$$q = \frac{D \times 10^{-3} \times 10^4 \times 10^3}{N \times 8.64 \times 10^4} = 0.1157D/N$$

여기서,

- q : 단위계획 배수량($l/s/ha$)
- D : 계획지하배수량(mm/day)
- N : 배제일수(day)

토양 중력수를 대상으로 하는 경우

지표 잔류수가 제거된 후에 강우에 대한 토양 중력수를 관개기 N1 일, 비관개기 N2일로 배제하는 판단법은 다음 식에 의해 구해진다.

$$q = \frac{R \times p \times 10^4 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 86,400} = 0.1157R \times p / N$$

여기서, q : 단위암거 배수량($\ell/s/ha$)

R : 유효토층 두께(mm)

N : 배제일수(day)

p : 유효간극률(Drainable porosity)

○ 계획 지하수위 및 지하수위 저하속도

경지정리 목표의 기본적인 지표가 되는 계획지하수위 및 그 저하속도는 지구의 토지이용형태, 도입작물의 종류 등을 고려하여 결정하여야 한다.

경지정리 목표의 기본적인 지표가 되는 계획지하수위 및 그 저하속도는 토지이용구분에 따라서 <표 5.13>의 값을 표준으로 한다.

<표 5.13> 지하수위 및 저하일수

토 지 이 용 구 분	강우후 2~3일의 지하수위	평상시지하수위(강우후 7일 이내)
벼 1 모 작	지표면하 30~40cm	지표면하 40~50cm
┌ 목 초	" 40~50cm	" 50~60cm
└ 전 답 윤 환	" 50~60cm	" 60~100cm
┌ 일반 전 작 물		
영 년 생 작 물		

단위계획배수량은 암거배수에서 가장 중요한 설계변수 중의 하나이며 작물의 생장에 밀접한 관계를 가지는 설계인자이므로 선택에 있어 신중을 기할 필요가 있다.

ASAE에서 배수계수(Drainage coefficient)로 제시되는 값은 <표 5.14>와 같다.

<표 5.14> 배수시스템에서 일반적인 배수계수의 값(ASAE, 1998)

Soil	No Direct Inlets (mm/day)	Blind Inlets (mm/day)	Open inlets (mm/day)
Mineral			
Field crops	10-13	13-19	13-25
High-value crops	13-19	19-25	25-38
Organics			
Field crops	13-19	19-25	25-38
High-value crops	19-38	38-51	51-102

강우조건에 따라 경험적으로 제안되는 배수계수는 다음과 같다.

<표 5.15> 강우에 따른 배수계수

Mean annual rainfall (mm/yr)	Drainage coefficient(mm/day)	
	Ministry of Agric.	Hudson
2000	25	20
1950	25	19.5
1500	19	15
1000	13	10
875	10	10
<875	7.5	10

5.2.2 투수계수(Permeability coefficient)

투수계수는 지하배수 설계에서 가장 기본적인 물성으로 지하배수 설계에서 배수의 심도 및 간격에 큰 영향을 미친다. 따라서 조사 및 실험을 통해 신중히 결정할 필요가 있다.

가. 투수계수의 정의

흙은 공극이 연결된 유공물질이므로 액체가 압력 또는 위치의 차에 의하여 공극을 투과할 수 있으며 일반적으로 흙 속의 액체는 물의 경우가 많다. 이와 같이 액체가 흙 속을 투과하는 현상을 침투(Seepage)라 하고 침투하는 액체가 물인 경우에는 투수라 한다. 흙 속의 물은 동력, 모관현상, 온도의 차, 전기력 등의 원인으로 침투류를 형성하고 이 때 토립자가 받는 침투방향의 힘을 침투력(Seepage Force)이라 하며 흙의 투수에 대한 성질을 투수성(Permeability)이라 한다.

투수계수의 값은 흙의 입경에 따라 변화되는 범위가 대단히 넓다. 거친 모래나 자갈은 0.01 m/s 이상이 되는 반면, 점토는 10^{-10} m/s 이하가 되기도 한다. 흙의 입경에 따른 투수계수의 변화는 <표 5.16>과 같다.

<표 5.16> 흙의 종류별 대표적인 투수계수의 범위

k (m/s)	흙의 종류		투수 특성
10	굵은 자갈, 옥석, 호박돌		투수 매우 양호
1	깨끗한 자갈		
10^{-1}			
10^{-2}	깨끗한 모래 깨끗한 모래-자갈 혼합층	깨끗한 자갈	투수 양호
10^{-3}			
10^{-4}			
10^{-5}			
10^{-6}	가는 모래 실트질 모래 실트 층상 점토/실트층	균열, 건조, 풍화의 영향을 받은 불투수 흙	투수 불량
10^{-7}			
10^{-8}			
10^{-9}			
	비포화, 비균열 및 균질 점토(점토함유량>20%)		실질적으로 불투수

나. 실내시험

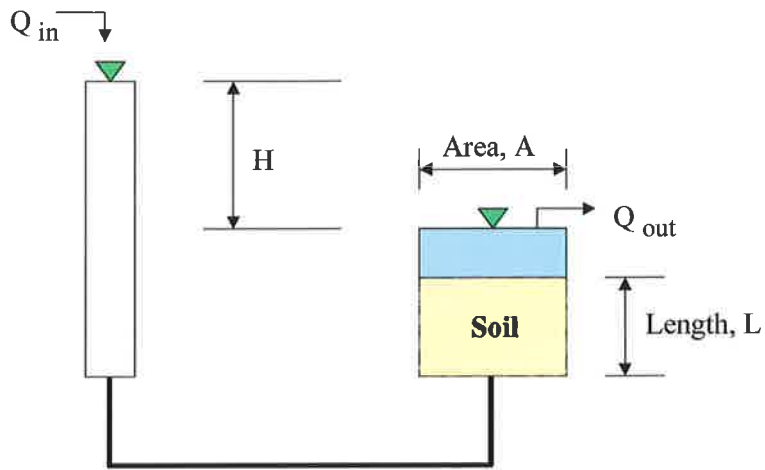
실험실에서 투수계수를 측정하는 방법은 사용된 몰드(mold)에 따라 강성벽체 혹은 고정벽체와 연성벽체 투수시험기법으로 구분된다. 또한, 실험 조건에 따라 open-system과 closed-system으로 나누어지며 실험실에서 일반적으로 이용되고 있는 정수두 투수시험법과 변수두 투수시험법은 open-system의 일종이다 (Wang and Benson, 1999). 유입부와 유출부가 대기에 노출되어 있는 상태로 유입부와 유출부의 수두차에 의해 유체의 흐름이 유지된다. Open-system에서 투수시험을 시행하는 경우, 투수계수의 측정은 정상상태에서 측정하며 정상상태는 유입유량과 유출유량이 같아질 때를 의미한다. 그러나 실제로 실험을 하는 경우 오차가 발생할 수 있으므로 실내실험에서는 10%, 현장실험에서는 25%의 오차를 허용한다.

(1) 정수두 투수시험

정수두 투수시험법은 유입부와 유출부의 수두를 일정하게 유지시키면서 투수계수를 측정하는 방법이다. 사질토와 같이 비교적 큰 투수계수를 측정하는 경우에 쓰인다.

$$K = - \frac{Q \cdot L}{H \cdot A} = - \frac{Q}{i \cdot A} \quad (5-8)$$

여기서, Q 는 유량을 의미하며 유입유량(Q_{in})과 유출유량(Q_{out})의 평균을 사용한다.



[그림 5.12] 정수두 투수실험법

(2) 변수두 투수실험법

유출부의 수위는 일정하게 유지하면서 유입부의 수위변화를 이용하여 투수계수를 측정한다. 정수두 투수실험법에 비해 낮은 투수계수의 측정이 가능하다. Darcy의 법칙에 따라

$$Q = -K \cdot i \cdot A = -K \cdot A \cdot \frac{h}{L} \quad (5-9)$$

또한, 통과한 유량은

$$Q = a \cdot v = a \cdot \frac{dh}{dt} \quad (5-10)$$

따라서,

$$Q = -K \cdot i \cdot A = a \cdot v \quad (5-11)$$

이상의 식을 다시 표현하면,

$$-K \cdot A \cdot \frac{h}{L} = a \cdot \frac{dh}{dt} \quad (5-12)$$

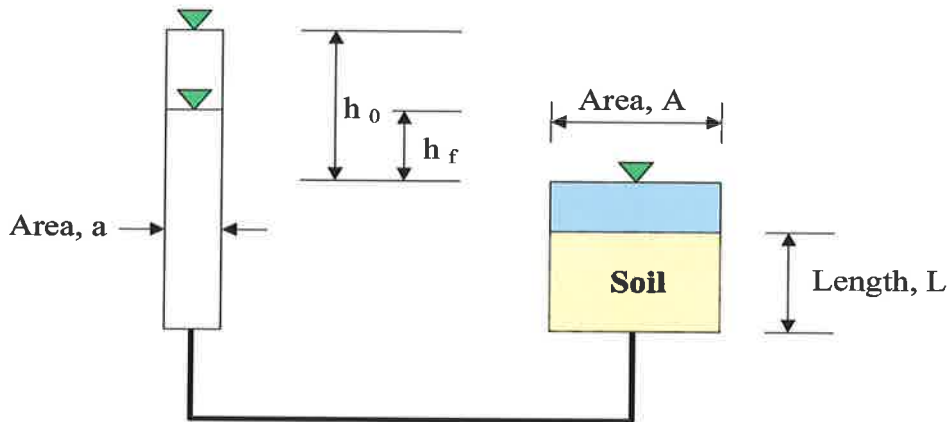
$$K dt = -\frac{a \cdot L}{A} \times \frac{dh}{h}$$

양변을 적분하면,

$$\int_{t_0}^{t_f} K dt = -\frac{a \cdot L}{A} \int_{h_0}^{h_f} \frac{dh}{h} \quad (5-13)$$

따라서, 변수두 투수실험법에 의한 투수계수의 계산은 다음의 식과 같다.

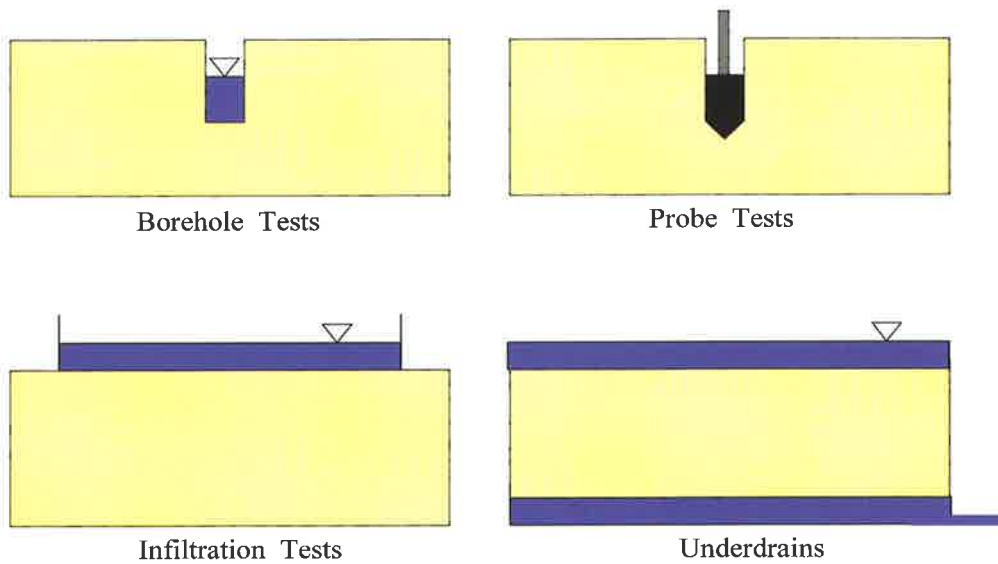
$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot \Delta t} \ln\left(\frac{h_0}{h_f}\right) \quad (5-14)$$



[그림 5.13] 변수두 투수실험법

다. 현장시험

지반의 투수성을 조사하는 방법에는 현장투수시험 외에 실내 투수시험이 있지만, 현장 투수시험에 의하면 흙을 교란시키지 않고 원지반상태 그대로 지반의 거시적인 투수성을 구할 수 있다. 일반적으로 사용되는 현장 투수시험의 방법은 시추공법 (borehole test), 다공성 탐침기법 (porous probe test), 침투법 (infiltration test), 암거배수법 (underdrain) 등 크게 4 가지 종류로 구분할 수 있다. 시추공법과 다공성 탐침기법은 점토 차수층에 시추공을 형성하여 투수시험을 하는 반면, 침투법은 상대적으로 넓은 면적을 대상으로 현장의 투수계수를 구하는 방법이다 (정문경 등, 1998).



[그림 5.14] 현장투수시험의 종류

(1) 시추공법

Boutwell 투수시험기는 시험기를 만들어낸 Gordon Boutwell의 이름을 따서 명명되었으며, 2단계 시추공형 투수시험기라고도 한다. 시험방법은 다음의 순서를 따른다.

- ① 소정의 깊이까지 시추공을 뚫고 바닥을 평평하게 고른다.
- ② 투수기를 시추공에 넣고 바닥에 밀착시킨다.
- ③ 투수기와 시추공 사이를 벤토나이트 등을 이용하여 봉합한다.

- ④ 투수기에 물을 채우고 덮개를 씌운 후, 관측튜브에 물이 찰 때까지 물을 투입한다.
- ⑤ 시험은 2단계로 나누어서 실시되며, [그림 5.15]는 각 과정의 개념을 나타낸 것이다.

Stage I에서의 투수계수 k_1 은

$$k_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{11 \cdot D \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (5-15)$$

- ⑥ Stage I의 투수계수를 구하면 투수시험기내의 물을 빼낸 후, 길이 L만큼 추가로 시추를 하고 ④의 과정을 반복한다.

⑦ Stage II에서의 투수계수 k_2 는

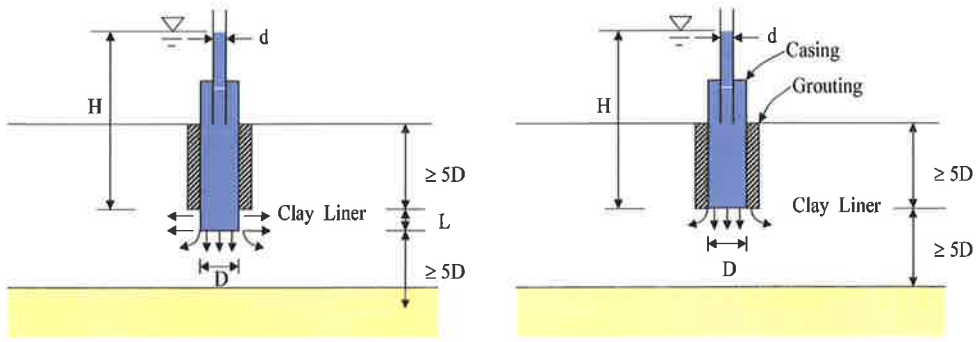
$$k_2 = \frac{A}{B} \cdot \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (5-16)$$

여기서, A와 B는 다음과 같이 정의된다.

$$A = d^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right) \right] \quad (5-17)$$

$$B = 8 \cdot L \cdot \left(\frac{L}{D} \right) (t_2 - t_1) \cdot \left[1 - 0.562 \cdot \exp \left(-1.57 \cdot \frac{L}{D} \right) \right] \quad (5-18)$$

Stage I과 Stage II에서 구한 k_1 과 k_2 를 이용하여 수평방향의 투수계수 k_h 와 수직방향의 투수계수 k_v 를 구할 수 있다. 흙의 비등방성을 고려한 계수 m 을 다음과 같이 정의하면,



[그림 5.15] 시추공법의 개념도(좌 Stage I, 우 Stage II)

$$m = \sqrt{\frac{k_h}{k_v}} \quad (5-19)$$

이때, $\frac{k_2}{k_1}$ 와 m 의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{k_2}{k_1} = m \frac{\ln\left[\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2}\right]}{\ln\left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D}\right)^2}\right]} \quad (5-20)$$

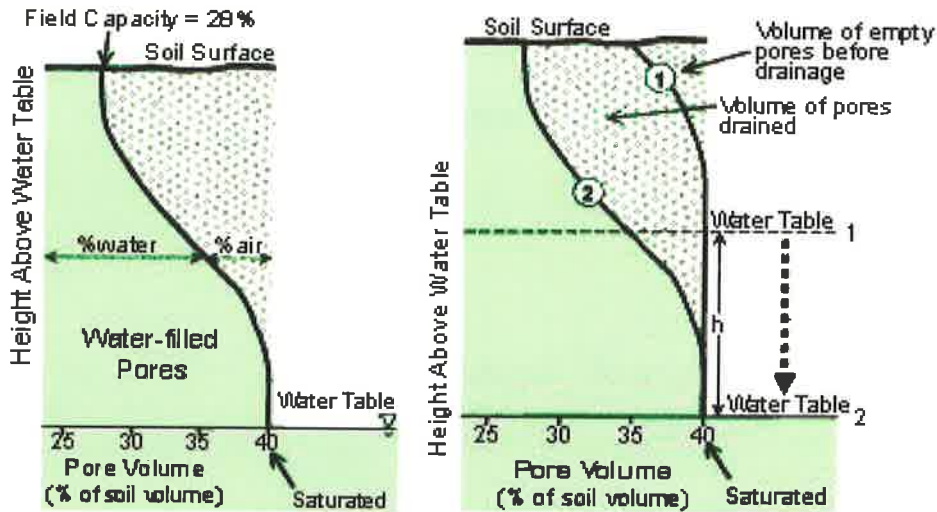
따라서, k_1 과 k_2 를 이용하여 수평방향의 투수계수 k_h 와 수직방향의 투수계수 k_v 를 계산할 수 있으며 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$k_h = mk_1 \quad (5-21)$$

$$k_v = \frac{1}{m}k_1$$

5.2.3 배수에 대한 유효간극률(Drainable porosity)

유효간극률은 부정류방정식으로 지하배수를 설계할 때 필요한 변수로 지하배수에 의해 토층에서 배수되는 수량으로 인해 저하되는 지하수위에 영향을 미치는 변수이다. 이에 대한 이해를 위해서는 [그림 5.16]과 같이 지하수위 저하에 따른 토층에서의 수량 및 공기량의 변화에 대하여 이해하여야 한다.



[그림 5.16] 지하수위 저하에 따른 유효간극률의 이해

지하수위 상부의 토층은 일정량의 물과 공기를 함유하고 있으며 심도에 따라 그림에서와 같은 분포를 형성하고 있으며, 지하배수에 의해 지하수위가 감소하면 그림과 같이 분포가 변하게 된다. 따라서 지하수위의 변화와 토층에서 배수되는 수량의 관계는 흙의 종류와 흙의 특성에 영향을 받는 변수이다. 하지만 유효간극률을 결정하는 시험법에 대해서는 명확하게 제시된 바가 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 일반적으로 제시되는 값을 사용할 수 있고, 투수계수에 따른 값을 사용할 수 있다. 정의에 따르면 유효간극률은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{Drainable porosity}_{\text{depth1} - \text{depth2}} = \frac{\text{Drained volume}_{\text{depth1}} - \text{Drained volume}_{\text{depth2}}}{\text{Depth1} - \text{Depth2}} \quad (5-22)$$

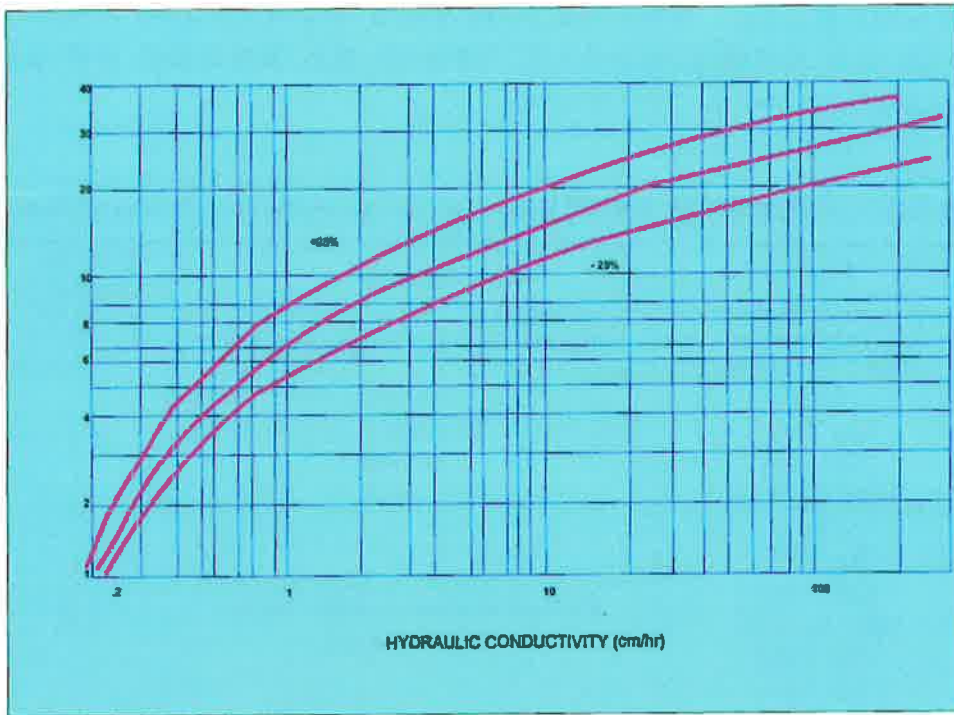
유효간극률 10%는 지하수위를 10cm 낮추면 토층에서 1cm의 물이 배수된다는 것을 의미한다. 일반적으로 사용할 수 있는 토양특성에 따른 유효간극률의 범위는 <표 5.17>과 같다.

<표 5.17> 토양특성에 따른 유효간극률(Water and Power Resources Services USBR Drainage Manual)*

Texture	Structure	Drainable porosity(%)
Clay Heavy clay loam	Massive, very fine or fine columnar	1-2
Clay Clay loam Silty clay Sandy clay loam	Very fine or fine prismatic angular blocky or platy	1-3
Clay Silty clay Sandy clay Silty clay loam Clay loam Silty loam Silt	Fine and medium prismatic, angular blocky and platy	3-8
Sandy clay loam Light clay loam Silt Silty loam Very fine sandy loam Loam	Medium prismatic and sub- angular blocky	6-12
Fine sandy loam Sandy loam	Coarse sub-angular blocky and granular, fine crumb	12-18
Loamy sand Fine sand	Medium crumb, single grain	15-22
Medium sand	Single grain	22-26
Coarse sand gravel	Single grain	26-35

*Tile drainage manual(Pakistan Council of Research in Water Resources, 2004)에서 재인용

유효간극률의 정의에 따르면 토양의 투수계수에 영향을 받는 변수임을 알 수 있다. <표 5.17>과 같이 일반적인 투수계수에 따른 유효간극률의 투수계수에 따른 범위는 [그림 5.17]과 같다.



[그림 5.17] 토양의 투수계수에 따른 유효간극률

5.2.4 암거의 유효반경(Effective radius of drains)

설계에 사용하는 방정식의 종류에 따라 암거의 직경을 사용하기도 하지만 중요한 것은 실제 암거 내로 물의 유입될 수 있는 공의 직경이 중요하다. 이때 사용되는 변수가 암거의 유효반경이다. 암거로 사용되는 관의 직경의 유의미하게 크다고 해도 실제로 관내의 유량은 기본적으로 유입될 수 있는 공의 크기에 영향을 받는다.

<표 5.18>은 일반적인 암거에 대한 유효반경을 나타낸다. 하지만 국내에서 생산되는 제품이나 주문 제작되는 제품에 대한 유효반경에 대해서는 추가로 검토할 필요가 있을 것이다.

<표 5.18> 압거의 유효반경

Drain	Outside Dia.(mm)	r_e (mm)
Corrugated plastic	89	3.5
Corrugated plastic	114	5.1
Corrugated plastic with synthetic envelop of filter	114	40.0
Corrugated plastic	140	10.3
Corrugated plastic	165	14.7
Clay with 1.6-mm joints	127	3.0
Clay with 3.2-mm joints	127	4.8
Corrugated plastic surrounded by a gravel envelop*	2a	1.175a

* Cross section of 2a length on each side

5.2.5 「배수편」에 의한 제약사항

지하배수의 설계의 결과 중 특히 압거의 간격에 「배수편」은 다음과 같이 제약사항을 명기하고 있다.

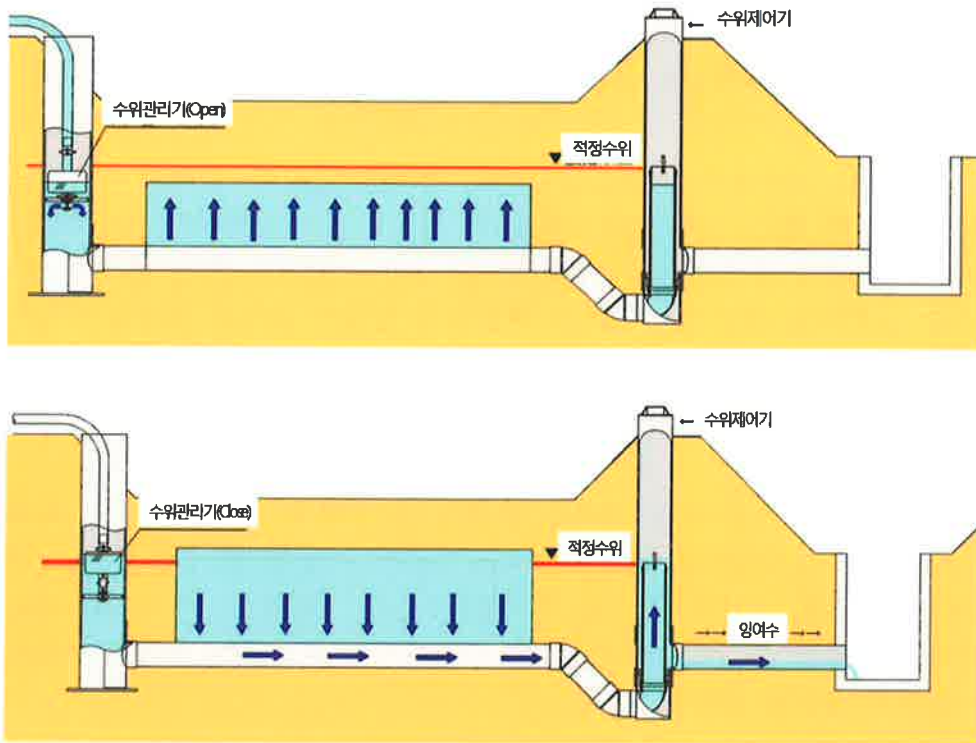
난투수성 지대에서 이론방정식으로 계산된 흡수거 간격이 대부분 10m 이내로 좁은 경우는 공사비의 과다로 경제적 타당성을 기대하기 어렵기 때문에 특별한 경우를 제외하고 흡수거 간격은 최소 10m 이상으로 결정하고 대신 보조압거를 병용해서 압거의 기능을 보강하는 방법이 보다 경제적이며 합리적인 압거배수조직을 계획할 수 있다.

따라서 일반적으로 10m 이내의 설계가 될 수밖에 없는 난투수성 토양에 대해서는 설계변수에 관계없이 10m 간격의 시공이 될 수밖에 없는 실정이며, 범용화 설계에 있어서 이러한 부분이 「배수편」에서 제시하는 “경제적 타당성”을 적용하여야 하는 부분인지에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 보인다.

5.3 지하관개를 위한 급수장치

농지범용화 설계 시에 지하관개를 고려한다면 일정수위를 유지할 수 있도록 조절하기 위한 장치가 필요하다. 국내에서 논을 밭으로 전환하는 경우 논에 사용되는 용수를 그대로 활용할 수 있기 때문에 지하관개의 필요성에 대해서는 충분한 검토가 필요하며 지하배수의 설계와 지하관개의 설계는 기본적으로 다른 설계가 될 수 있으므로 주의가 필요할 것으로 판단된다. 즉, 지하배수를 위한 암거의 설치간격과 지하관개를 위한 암거의 설치간격을 매우 차이가 날 수 있기 때문이다. 여기에서는 설계에 활용할 수 있도록 일본의 FOEAS시스템 중 지하관개용 급수장치의 개념을 소개한다.

5.3.1 지하관개용 급수장치 개념

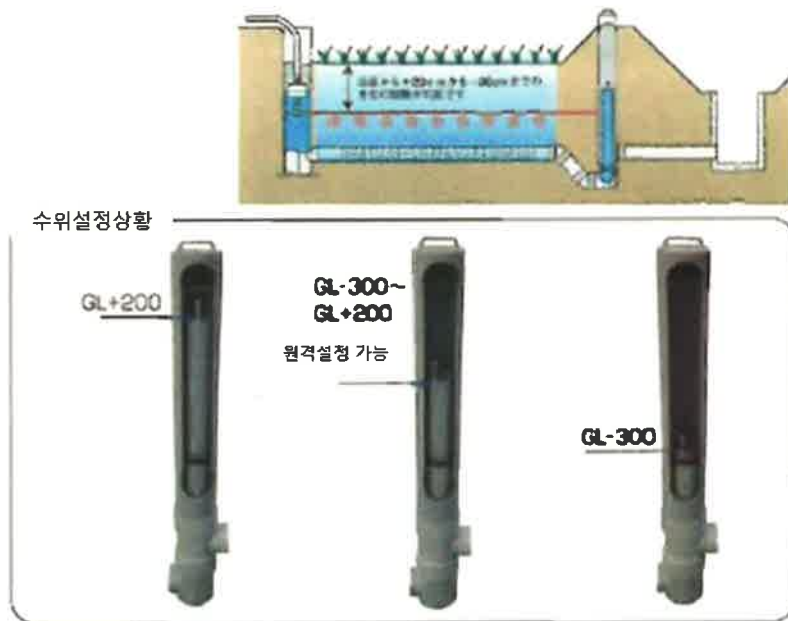


[그림 5.18] FOEAS 시스템의 지하관개용 급수장치

FOEAS 시스템의 급수장치는 설정수위를 이용하여 적정 지하수위를 조절하는 개념으로 일정량의 관개가 가능한 급수장치를 설계하였다. 급수부에서 일정 수위 이상에서 차단하고, 일정 수위 이하에서 공급하는 방식으로 설계되어 활용되고 있다.

5.3.2 수위제어시설

수위제어시설은 2중관으로 되어 있으며, 내관은 슬라이드가 가능한 구조로 되어 있다. 내관을 상하로 움직여 지표면을 기준으로 +20~-30cm의 임의수위를 설정하도록 되어 있다. 또한, 수위제어기를 제거하면 배수밸브를 연 상태로 설정할 수도 있다.

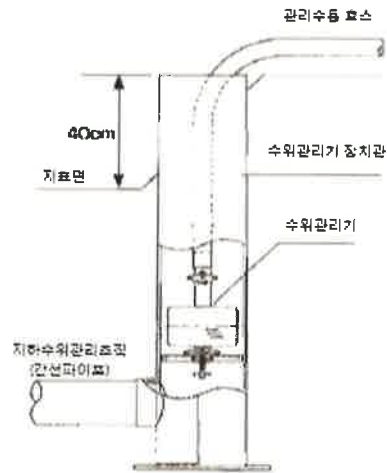


[그림 5.19] FOEAS 시스템 수위제어기의 설정상황

5.3.3 수위관리시설

가. 수위관리기 장치관

수위관리기를 설치하기 위한 관은 FOEAS 시스템부의 외부에 위치하고 있으며, 표준구경은 200mm이다. 하부는 간선파이프와 접속할 수 있으며, 이 관에 설정된 수위에 의해 지하수위를 제어한다. 장치관의 상단부분은 지표면으로부터 40cm위에 설치하는 것이 표준적이다.



[그림 5.20] 수위관리기 장치관

나. 수위관리기의 각부 기능

[그림 5.21]에 제시한 바와 같이 수위관리기는 급수밸브(관리용수용 호스)와 그 접속부, 흔들림방지장치, 부자, 증력링크 등으로 구성되어 있다. 수위관리기를 장치관에 삽입하여 설정수위의 위치에 있는 고정나사로 부착한다. 수면의 변동에 동반하는 부자의 상하움직임에 따라 설정수면으로부터 감소한 수량만을 자동적으로 관계하는 기능을 가지고 있다.



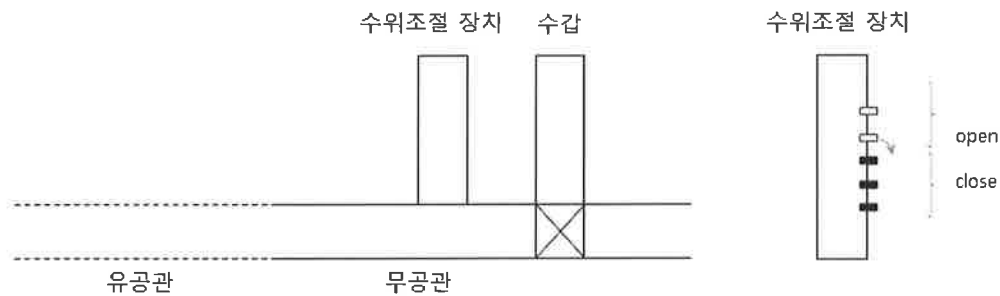
[그림 5.21] 수위관리기 각부 기능

5.3.4 시험포 수위조절장치 설계

위에서 언급한 수위관리 개념의 지하관개 장치는 향후 농지범용화 사업이 지하관개를 고려한 설계가 된다면 도입되어야 할 장치로 판단되어 정리하였다. 여기에서는 시험포에서 지하관개에 의한 지하수위 조절의 타당성과 지하관개의 효율을 분석하기 위한 장치에 대한 설계에 대하여 다룬다. 다음 절에서 언급되겠지만 시험포는 지하수위가 매우 높아 지하관개를 실시하고 효율을 분석하기에 적합한 적지가 아닌 것으로 판단되어 개념적인 설계까지 수행하였다. 향후 연구과정에서 필요하다면 시험포에 설치하여 운영 및 효율분석을 수행하고자 한다.

가. 암거 유출부 수위조절 장치

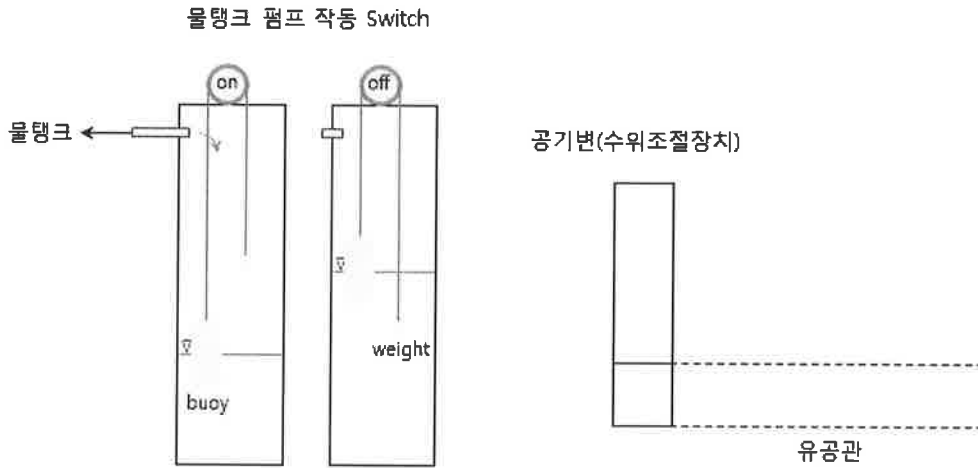
암거의 유출부에 지하수위 조절장치가 필요한 것은 목적으로 하는 지하수위까지 시험포의 수위를 높이기 위해서는 유입부와 유출부에서 지하수위의 조절이 필요하기 때문이다. 암거의 유출부에는 [그림 5.22]에서 보듯이 수갑과 수위조절장치를 함께 매설하였다. 급수부가 아니기 때문에 단순한 수위조절장치는 관내의 물을 유출할 수 있게 천공하고 필요한 수위에 맞게 공을 열고 닫을 수 있는 방식이면 충분할 것으로 판단하였다.



[그림 5.22] 암거 유출부 수위조절 장치

지하관개를 실시하는 경우에는 수갑을 닫고 목표로 하는 지하수위에 적절한 높이까지 천공된 부위를 닫으면 유출부의 수위가 조절이 된다.

나. 암거 유입부 수위조절 장치



[그림 5.23] 암거 유입부 수위조절 장치

암거의 유입부에는 원활한 지하배수를 위한 공기변이 설치되어 있으며 지하관개를 실시하는 경우에는 공기변을 용수의 공급을 위한 유입부로 활용할 수 있다. 시험포에 지하관개용수를 저장할 수 있는 물탱크를 연결하고 물탱크에는 용수(지하관정)를 공급하는 펌프를 연결한다. 공기변 내에는 [그림 5.23]에서 보듯이 부표와 추를 이용하여 물탱크에 용수를 공급하는 펌프의 on/off 스위치를 설치하여 수위가 내려가면 용수를 공급하고 수위가 올라가면 용수공급을 중단하는 방식으로 설계하였다. 목표하는 지하수위의 조절은 on/off를 위한 도르래의 작동 지점을 조절하거나 부표와 추의 길이를 조절하면 가능하다.

5.4 시험포 설계

5.4.1 개요

시험포는 경북 상주시 함창읍 오사리 342번지에 위치하고 미사질 양토로 구성된 100m×43m 면적의 논이다.

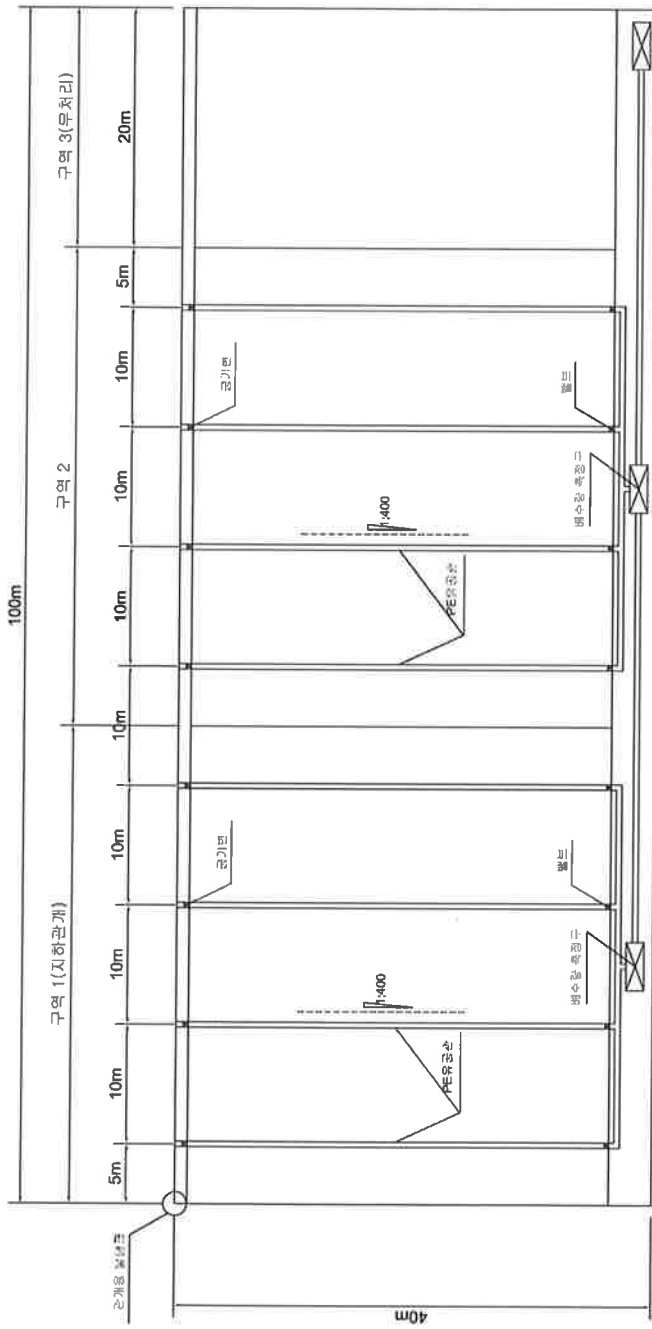


[그림 5.24] 시험포 위치 및 주변환경

두류(논콩)의 재배가 가능하고, 서류(감자, 고구마), 경엽채류, 양배추, 과채류(참외), 근채류(무, 당근)의 최적지, 인경채류(양파, 마늘)의 적지로 구분되어 작물에 대한 사계절 모니터링이 가능하고 관정 및 전기 사용이 가능하며, 기본조사지구로 시험포의 적지로 판단하였다. 하천과의 거리가 가깝고 당초 지하수위가 높은 곳이다. 시험포는 기본적으로 범용화를 위한 관개 및 배수 시스템을 적용한 구간과 무처리 구간으로 구분하여 3개의 구역으로 계획하였다.

5.4.2 시험포 평면 계획

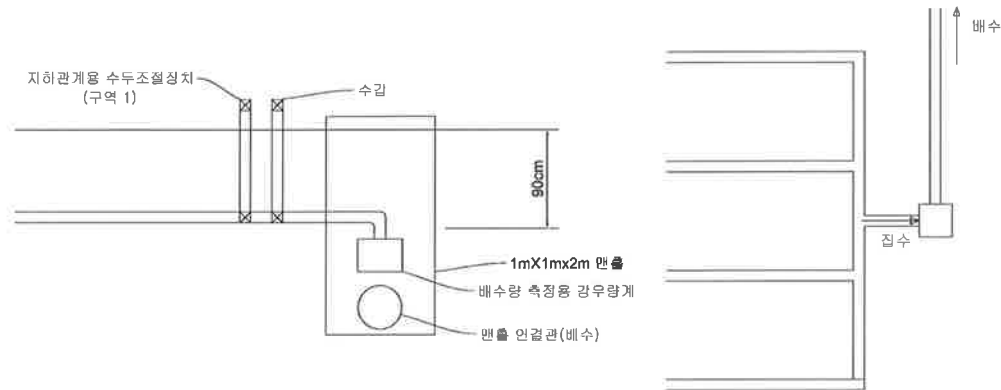
시험포의 평면계획은 [그림 5.25]와 같다.



[그림 5.25] 시험포 평면계획

가. 집수 및 배수계획

시험포 길이 방향에서 35m 구간을 관개 및 배수시스템이 적용된 구간(구역 1) 40m 구간을 배수시스템만 적용된 구간(구역 2), 20m 구간을 무처리 구간(구역 3)으로 하고 배수시스템이 적용되는 구간에는 각 10m 간격으로 4 line의 배수암거를 배치하였다. 구역 1과 구역 2의 흡수거를 통해 배수되는 수량을 측정하기 위하여 배수량 측정구를 배치하였고, 측정구를 통과한 수량을 모아 배수할 수 있도록 하였다. 암거를 통해 배수된 수량의 집수 및 배수계획은 다음과 같다.

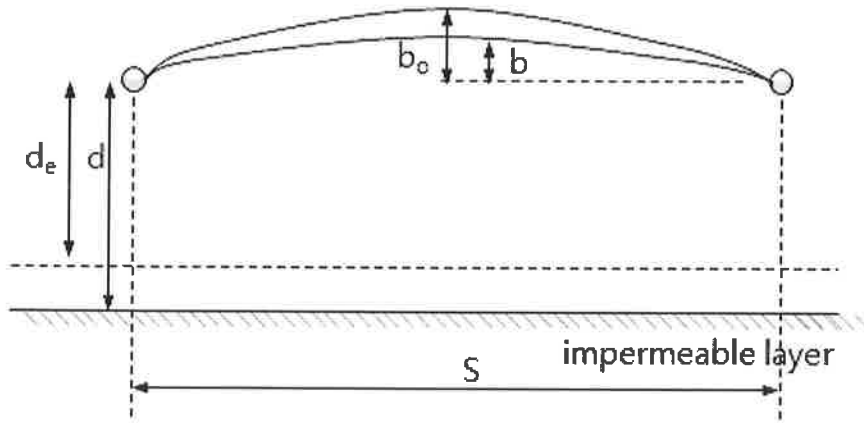


[그림 5.26] 집수 및 배수계획

나. 배수암거 설계

(1) 배수암거의 설치간격

본 연구에서 당초 사용한 설계인자는 다음과 같다.



설계단면

[그림 5.27] 시험포 설계인자

$$S = \left[\frac{9Ktd_e}{f \log_e \left(\frac{b_0[2d_e + b]}{b[2d_e + b_0]} \right)} \right] \quad (5-22)$$

설계인자

- 투수계수 : $K=0.05\text{m/day}$
- 초기 $d_e=1.8\text{m}$
- $r_e=0.0051\text{m}$
- $f= 0.004$
- 지표까지 포화된 상태에서 하루에 지하수위를 심도 0.3m로 낮추는 조건
 - $t=1.0\text{day}$
 - $b=0.7\text{m}$
 - $b_0=1.0\text{m}$,

* 연구의 일정상 필요한 설계인자는 가정하여 검토한 것임

설계과정을 거치면 배수암거의 설치간격은 5.4m로 나타났다. 따라서 「배수편」에서 제시하는 최소 설치간격 이하로 나타나 시험포에서는 간격 10.0m를 적용하였다. 본 시험포의 목적은 설계의 타당성을 검토하고

설계인자를 분석하는 것을 목적으로 하므로 10.0m의 설치간격은 비교분석을 목적으로 하는 본 연구에서 큰 영향이 없을 것으로 판단하였다.

(2) 배수암거의 설치심도

배수암거의 설치심도는 「배수편」에서 제시하는 바와 같이 상류단에서 0.6-1.0m와 하류단에서 0.8-1.2m를 검토하였으며, 배수량 모니터링을 위한 집수정을 고려하여 상류단에서 0.7m, 하류단에서 0.8m를 적용하였으며, 따라서 배수암거의 기울기는 1/400을 적용하였다. 「배수편」에서 제시하는 관련 기준을 만족하도록 하였다.

(3) 암거의 관경

암거의 관경은 앞 절에서 제시한 바와 같이 검토하였으나 시험포에 설치되는 유공관은 기존 제품의 획득성을 고려하여 D 100mm 유공관을 선정하였다.

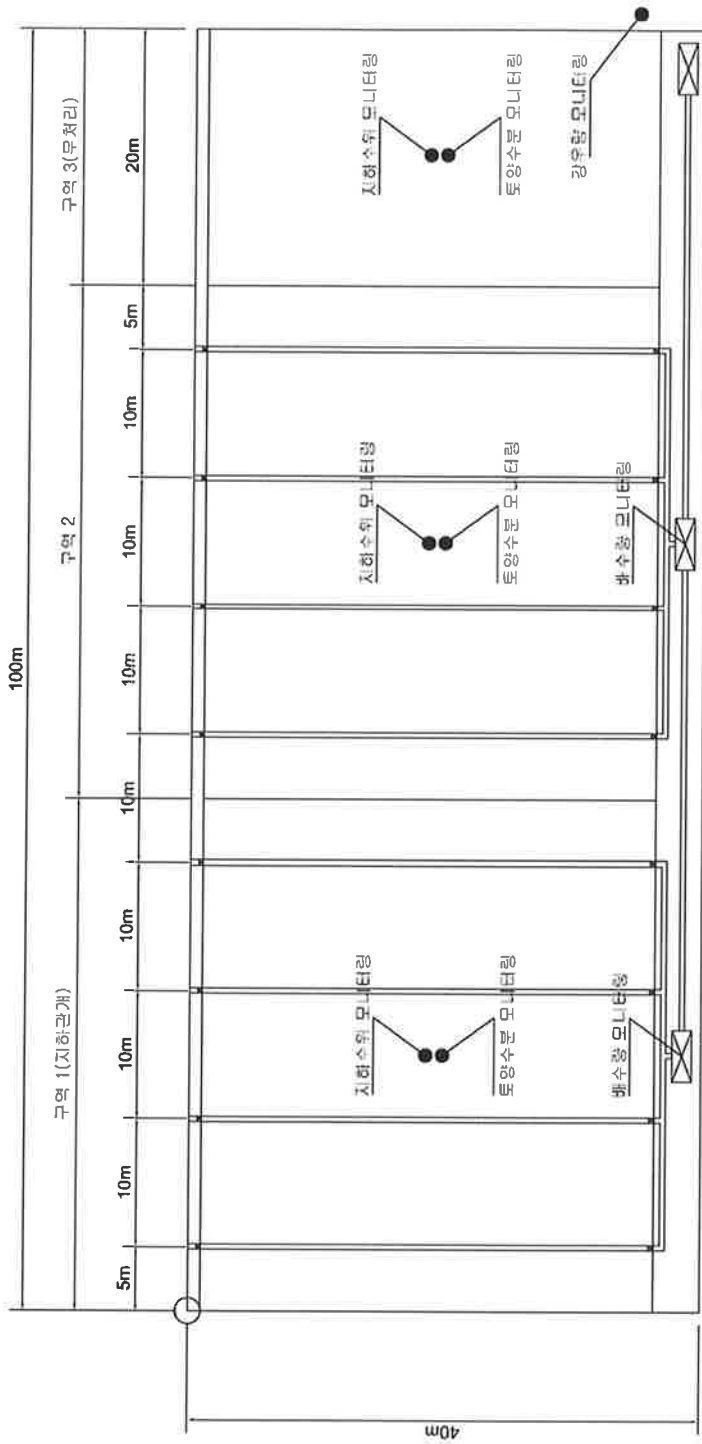
5.4.3 모니터링 설계

가. 모니터링 항목

본 연구에서 계획한 모니터링 항목은 <표 5.19>와 같다. 지표 및 지하개수의 물수지를 고려하여 결정하였으며, 지하수위와 토양함수비는 시험포 내의 암거배수 효과를 검증하기 위하여 계획하였다.

<표 5.19> 모니터링 계획

항목	위치	측정장치	비고
강우량	시험포 외	강우량계	자동
지하수위	시험포 각 구역 중앙	지하수위계	자동
토양함수비	시험포 각 구역 중앙	FDR	자동
배수량	시험포 1, 2구역 집수정	강우량계 수동	자동/수동



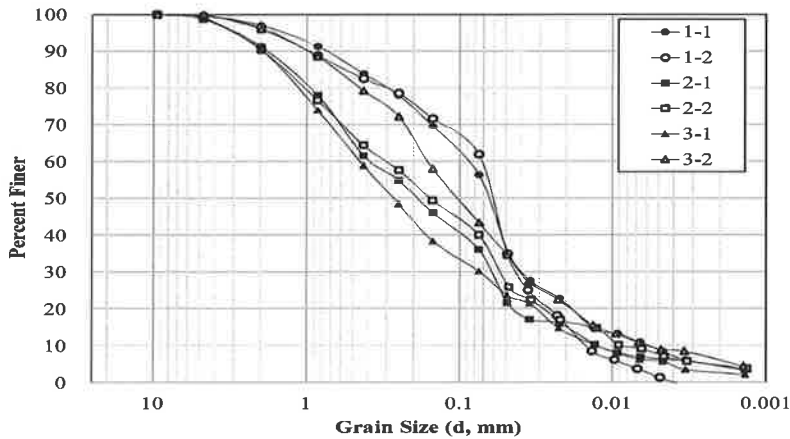
[그림 5.28] 시험포 모니터링 계획

5.4.4 시험포 토양특성

시험포 토양의 물리적 특성을 분석하기 위하여 기초물성시험을 실시하였다. 기초물성시험은 흙의 비중 시험(KS F 2308), 흙의 입도 시험(KS F 2302), 흙의 액성한계·소성한계 시험(KS F 2303)을 수행하였고 시험포의 3 구역에서 대표시료 2종을 채취하여 수행하였다. 기초물성시험결과를 바탕으로 흙의 공학적 분류방법(KS F2324)에 따라 시료를 분류하였으며, 대상 시료는 저소성 실트(ML), 저소성 점토(CL), 실트질 모래(SM)으로 분류되었다. 시료에 대한 변수위 투수시험을 실시한 결과 투수계수는 $1.34 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 로 나타났다.

<표 5.20> 시험포 토양의 물리적 특성

지점	Gs	#4 통과량(%)	#200 통과량(%)	C_u	C_g	PL	LL	통일 분류
1구역	2.63	99.71	56.41	14.87	3.39	26.32	29.48	ML
1구역	2.62	99.61	61.94	4.81	1.76	23.60	33.39	CL
2구역	2.61	98.82	36.06	28.86	0.73	26.32	37.30	SM
2구역	2.61	99.13	40.01	34.27	1.09	29.46	34.24	SM
3구역	2.61	98.66	30.12	36.19	0.96	28.33	33.78	SM
3구역	2.63	99.92	43.35	26.89	1.68	27.27	30.94	SM



[그림 5.29] 시험포 토양의 입도분포곡선

시험포 토양에서 심도별로 샘플러를 이용하여 시료를 채취하고 현장단위중량을 확인하였다.



(a) 현장단위중량 측정용 샘플러



(b) 심도별 시료채취

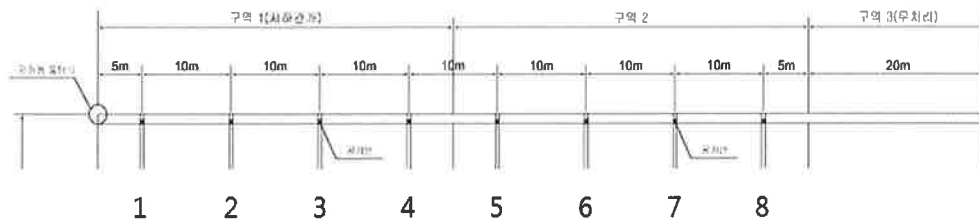
[그림 5.30] 심도별 단위중량 확인

<표 5.21> 심도별 현장단위중량

토심(cm)	50	100	150
함수비(%)	22.1	26.0	20.3
습윤단위중량(t/m^3)	1.94	1.94	1.93
건조단위중량(t/m^3)	1.59	1.54	1.61

5.4.5 현장 시공시 조사내용

흡수거 설치 시 현장에서 기록한 특성 및 지하수위 상황을 요약하면 다음과 같다.



[그림 5.31] 흡수거 line별 번호



- 점토 섞인 사질토양
- 지하수위 지표 -0.7m

[그림 5.32] Line 1 현장기록 사항



- 점토 섞인 사질토양
- 지하수위 지표 -0.8m

[그림 5.33] Line 2 현장기록 사항



- 점토 섞인 사질토양
- 지하수위 지표 -0.8m

[그림 5.34] Line 3 현장기록 사항



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - 상류단 · 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양 · 0.3~0.8m : 사질토양 | <ul style="list-style-type: none"> - 중앙부 · 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양 · 0.3~0.8m : 실트 섞인 점토질 토양 - 지하수위 지표 -0.8m |
|---|--|

[그림 5.35] Line 4 현장기록 사항



- 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양
- 0.3~0.8m : 실트 섞인 점토질토양
- 지하수위 지표 -0.8m

[그림 5.36] Line 5 현장기록 사항



- 상류단
 - 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양
 - 0.3~0.8m : 실트 섞인 사질토 토양
- 중앙부
 - 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양
 - 0.3~0.8m : 실트 섞인 점토질토양
- 지하수위 지표 -0.7m

[그림 5.37] Line 6 현장기록 사항



- 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양
- 0.3~0.8m : 실트 섞인 사질토 토양 - 지하수위 지표 -0.7m

[그림 5.38] Line 7 현장기록 사항



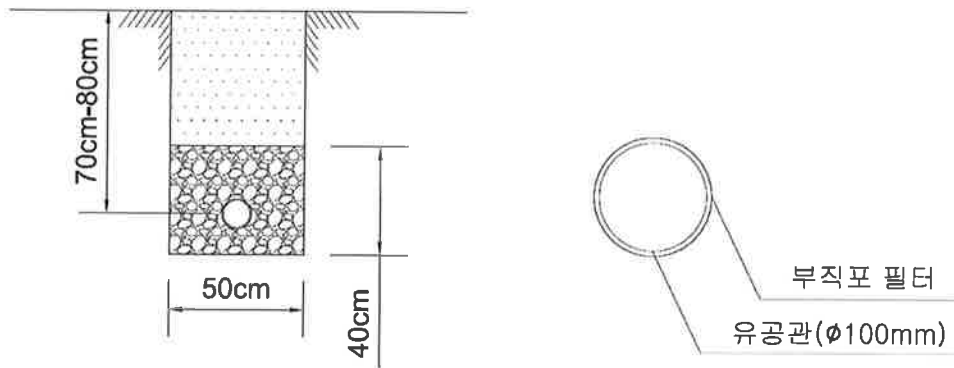
- 0.0~0.3m : 점토 섞인 실트질 토양
- 0.3~0.8m : 실트 섞인 사질토 토양 - 지하수위 지표 -0.7m

[그림 5.39] Line 8 현장기록 사항

5.5 시험포 시공

5.5.1 압거 시공

구역 1과 구역 2의 압거는 $\phi 100\text{mm}$ 의 유공관을 계획하였다. 유공관은 시점에서 70cm, 종점에서 80cm심도로 매설하여 1/400의 경사를 유지하도록 하였으며, 여과재로 부직포 필터, 소수재로 $\phi 20\text{mm}$ 골재층을 [그림 5.40]과 같이 시공하였다.



[그림 5.40] 배수압거 단면도

압거 시공과정은 다음과 같다. $\phi 100\text{mm}$ 유공관을 부직포 필터로 감싸고 터파기 후 자갈 소수재를 10cm 포설 후 유공관을 거치하고 다시 소수재를 10cm 포설하였다. 흡수거 시점부에 공기변을 설치하고 종점부에 수갑을 설치하고 최종적으로 레벨을 확인하였다.



[그림 5.41] 유공관



[그림 5.42] 부식포 필터 감싸기



[그림 5.43] 터파기



[그림 5.44] 소수계 채우기



[그림 5.45] 공기변 설치



[그림 5.46] 수감 설치



[그림 5.47] 압거 레벨 확인(I)



[그림 5.48] 압거 레벨 확인(II)

5.5.2 집수거 시공

암거를 통해 배수된 수량은 집수정 역활의 맨홀에 모이고 각 맨홀을 연결하는 집수거를 통해 시험포 밖으로 배수되도록 하였다. 먼저 표토를 따로 모아 보존하고 터파기 후 1m×1m×1m 맨홀을 두 개 연결하여 하나의 집수정을 시공하고 총 세 개의 집수정을 연결하는 300mm관(집수거)을 시공하였다. 집수정 1은 구역 1의 4개 흡수거에서 배수되는 수량을, 집수정 2는 구역 2의 4개 흡수거에서 배수되는 수량을 각각 모아서 집수정 3으로 집수하여 시험포 외부로 배수하도록 하였다. 300mm관은 상부 지하수의 집수 및 인근 논에서의 침투되는 수량을 차단하는 효과를 위해 천공을 실시하고 부직포를 덮어 흙의 유입을 차단하였다.



[그림 5.49] 집수거 설치전 표토 모으기



[그림 5.50] 집수정 터파기 및 맨홀 거치



[그림 5.51] 집수거 터파기



[그림 5.52] 집수거 천공



[그림 5.53] 집수거 레벨확인



[그림 5.54] 집수기 파이프 연결 및 부직포 감싸기



[그림 5.55] 집수기 배설후 되메우기



[그림 5.56] 집수거 시공후 표토 제시공

5.5.3 암거와 집수거 연결 및 배수확인

집수정1과 구역 1의 4개 흡수거 및 집수정 2와 구역 2의 4개 암거를 연결하고 배수되는 상태를 점검하여 시공의 적정성을 확인하였다.



[그림 5.57] 암거-집수정 T 연결관



[그림 5.58] 암거-집수정 L 연결관



[그림 5.59] 암거-집수정 연결



[그림 5.60] 암거-집수정 전체 연결 완료



[그림 5.61] 압거 배수확인



[그림 5.62] 압거 배수구 정리

5.5.4 부대공

지하관개를 고려한 물탱크와 배수하기 위한 펌프를 설치하였다.



[그림 5.63] 물탱크 설치



[그림 5.64] 집수정내 배수 펌프 설치

5.5.5 모니터링 장치 설치

가. 지하수위 모니터링

각 구역의 중앙에 지하수위 모니터링을 위해 8m 심도까지 천공하고 수위 관측공을 설치하였다.



[그림 5.65] 지하수위 관측공 천공



[그림 5.66] 지하수위 관측공 삽입




[그림 5.67] 지하수위 관측공 보호 및 수위계 설치 I



[그림 5.68] 지하수위 관측공 보호 및 수위계 설치 II

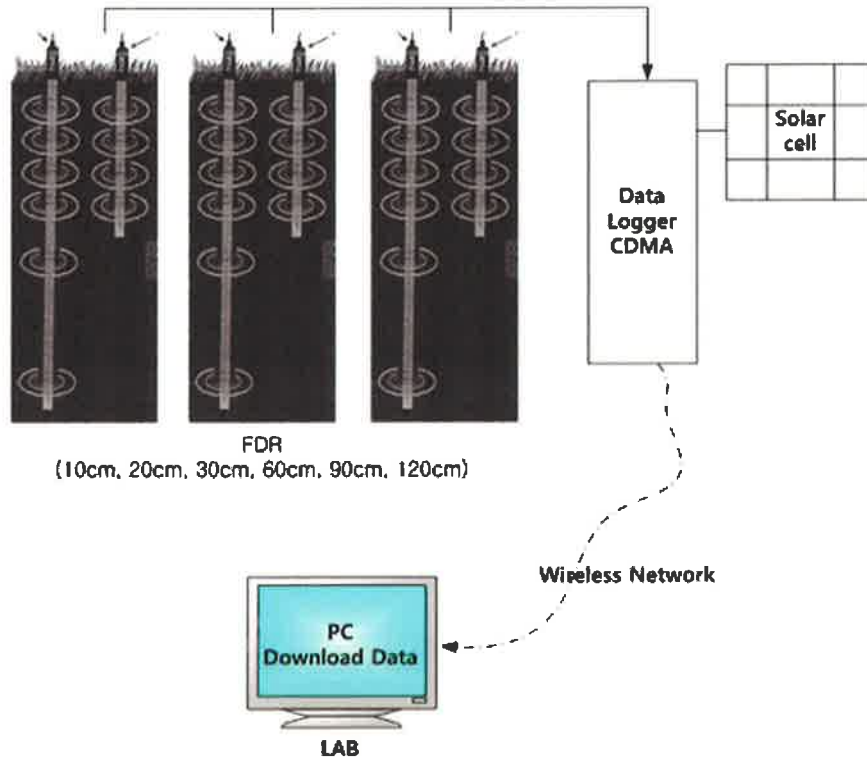
지하수위는 압력식 수위자동기록기(Water Level Recorder)를 이용한다. 직경 22mm, 길이 90mm의 센서로 수위 및 수온을 자동으로 기록할 수 있다.

<표 5.22> 압력식 수위자동기록기 제원

 <p>압력식 수위자동 기록기</p>	측정범위	10m
	메모리	측정치 24,000개
	정밀도	0.05FS이하
	분해능	0.2cm
	재질	스테인레스
	전원	리튬전지(8년)

나. 토양습수비 모니터링

토양수분 장기 모니터링을 위해서는 현장에서 매번 데이터를 샘플링하는 방법 보다 자동 시스템을 구축하여 실시간으로 토양수분을 모니터링하고 확인할 수 있도록 계획하였다.



[그림 5.69] 토양수분 자동 모니터링 시스템 구축(예)

토양수분은 Sentek (Australia)에서 개발한 EnviroSMART FDR (Frequency Domain Reflection)을 이용할 계획이다. FDR은 토양 및 수분 변화에 따른 유전율 변화를 측정회로 내에 걸리는 주파수 세기 변화에 따라 콘덴서에서 정기용량(capacitance)변화 값을 전압차로 읽어 측정하며, 전기전도도(EC, Electronic Conductivity)나 유기물 함량의 영향을 받으나 비교적 오차 없이 토양수분 측정이 가능한 것으로 알려져 있다. 토양수분 변화를 측정하기 위하여 시험포 내의 3개 구역의 중앙부에서 구역 별 3개 (10, 30, 60cm) 층에 센서를 설치하여 심도별 토양수분을 모니터링할 계획이다.

FDR에서 측정된 토양수분 데이터는 일정 시간 간격으로 데이터이력기록기 (Data logger)에 저장되며 태양전지판(Solar Panel) 또는 배터리를 통하여 전력공급이 이루어지고, 토양수분 모니터링 데이터는 PC에서 다운로드 받을 수 있다.



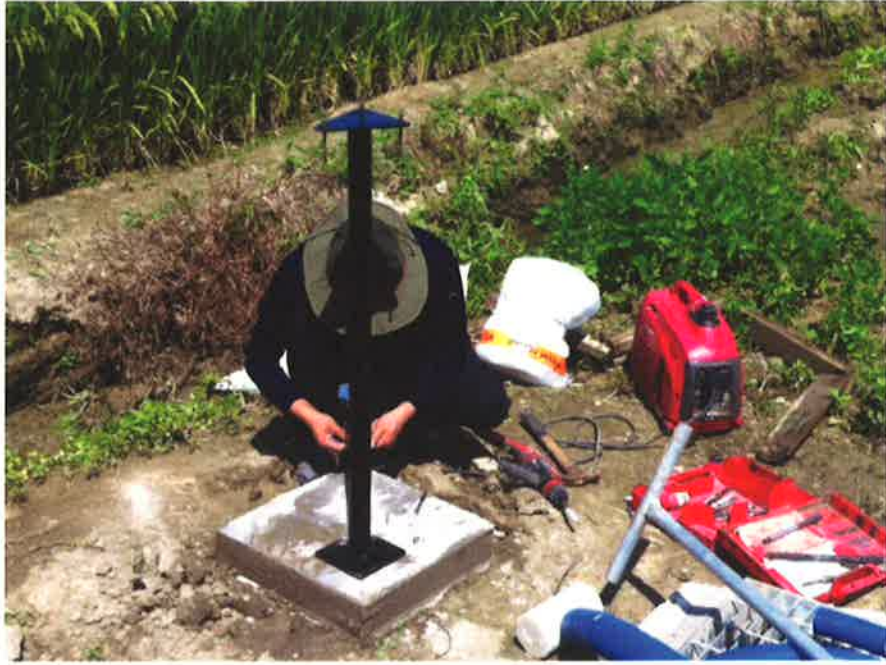
(a) FDR 센서

(b) FDR 합체

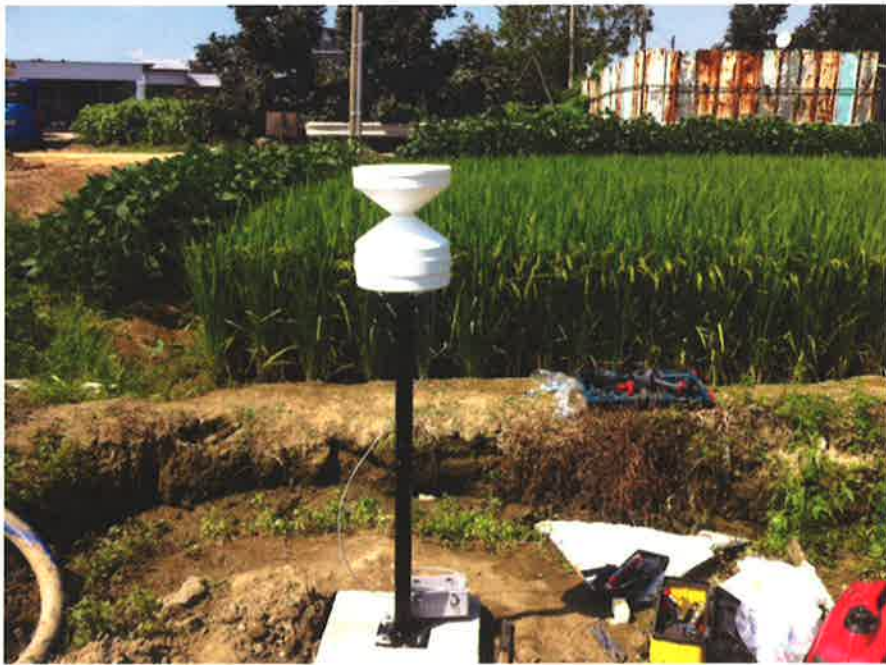
[그림 5.70] FDR 토양수분 모니터링 장비와 설치

다. 강수량 모니터링

강수량은 tipping bucket원리의 센서로 펄스 신호로 출력되어 범용적으로 사용될 수 있는 강수량계를 선택하였다.



[그림 5.71] 강우량계 기초 및 지주대 설치



[그림 5.72] 강우량계 수평확인 및 거치




[그림 5.73] 강우량계 내부 tipping bucket



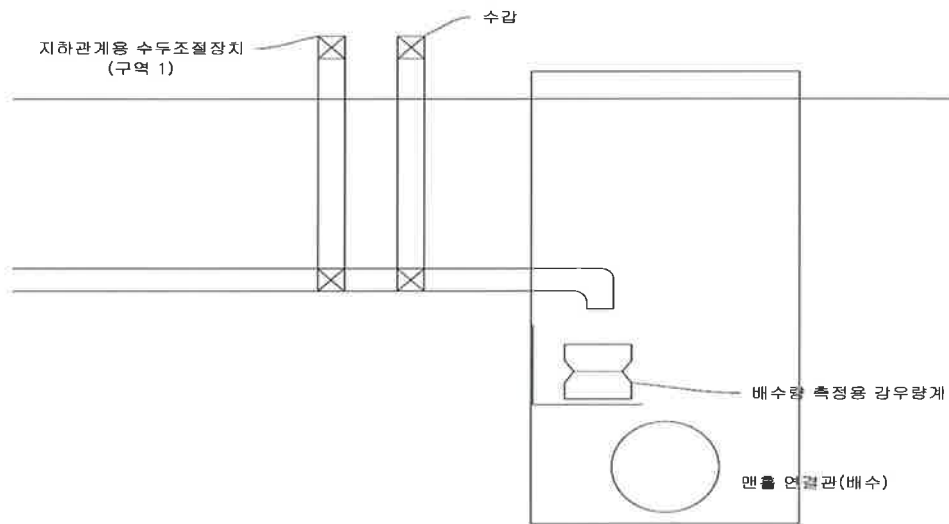
[그림 5.74] 강우량계 Data logger 합체 설치

<표 5.23> 강우량계 제원

 <p>강우량계</p>	sensor output	1pulse/0.2mm rain
	size	254×340mm
	정밀도	±1%
	표면적	507cm ²
	재질	UV resistant 플라스틱
	이벤트로거	리튬배터리 내장형

라. 배수량 모니터링

구역 1과 구역 2에서 배수되는 수량은 각 구역의 집수정에서 [그림 5.75]와 같이 강우량계를 이용하여 측정된다. 배수량이 많은 경우에는 수동계측(일정 수량이 배수되는 시간 계측)을 병행하도록 계획하였다.



[그림 5.75] 배수량 모니터링 계획



[그림 5.76] 배수량 측정용 강우량계 거치대 설치



[그림 5.77] 배수량 측정용 강우량계 거치



[그림 5.78] 배수량 측정용 강우량계 Data logger 함체 설치

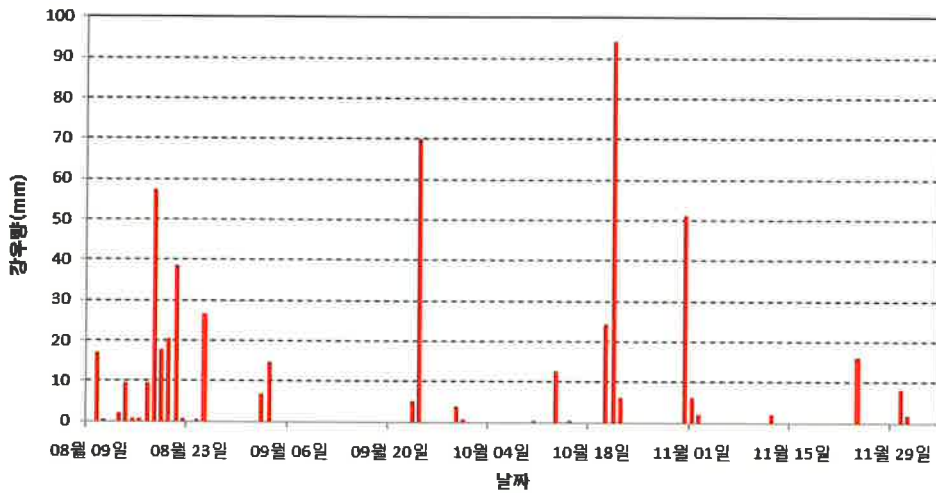


[그림 5.79] 배수량 수동계측

5.6 시험포 모니터링

5.6.1 강수량

시험포 내 배수 시스템 시공이 완료된 이후 시험포의 강수량 현황은 다음과 같다. 9월 1일 이전의 강수량은 가장 인근의 문경관측소의 자료를 활용하였다.



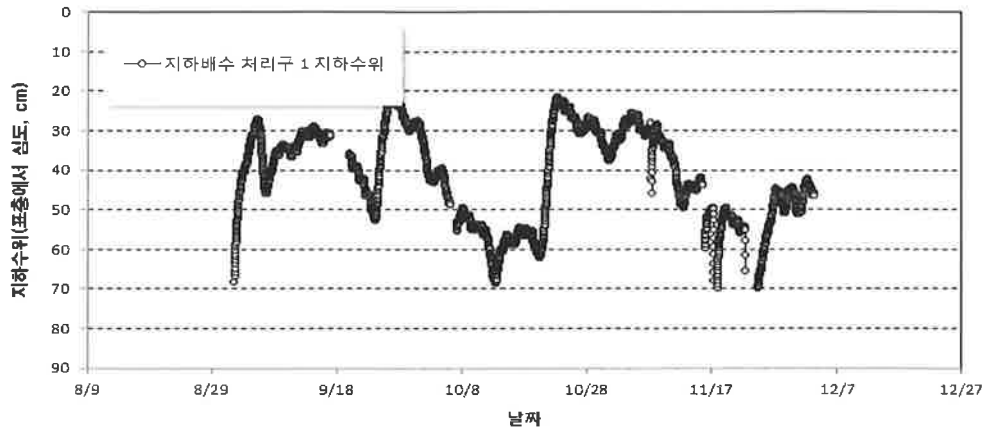
[그림 5.80] 시험포 강수량 측정결과

5.6.2 지하수위

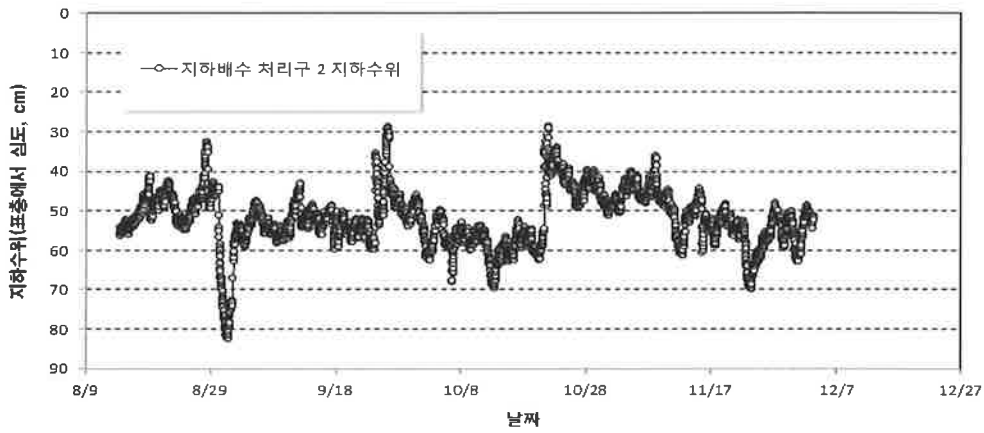
가. 지하수위 변동

구역 1의 지하수위계 설치는 9월 1일 완료되어 현재까지 모니터링된 구역 2와 무처리구인 구역 3의 지하수위 모니터링 결과는 [그림 5.81]과 같다. 전반적으로 구역 1의 지하수위가 높은 상태이고 변동의 폭도 크다. 지표아래 최대 20cm까지 상승한 경우가 있고 현재 모든 구역이 약 40-60cm 심도에서 안정된 상태이다.

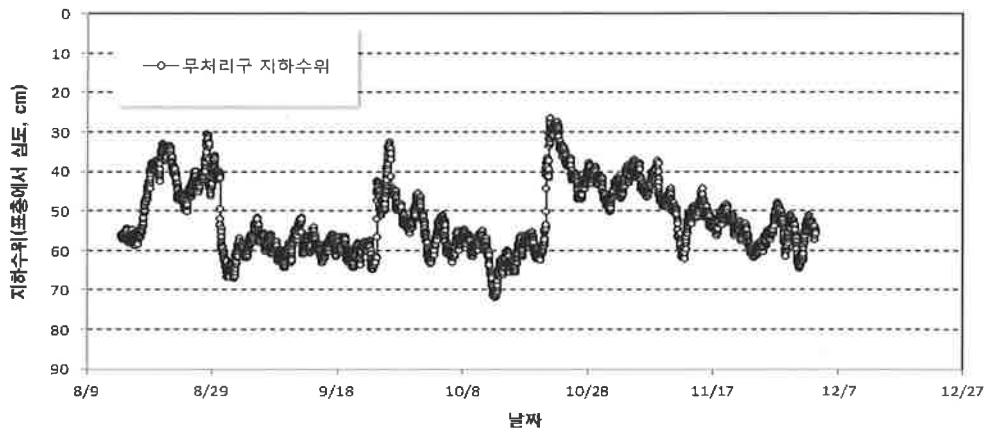
암거의 매설깊이가 평균 약 70cm 인 점을 감안하면 현재 시험포의 지하수위는 암거위 약 10-30cm 상부에 위치하고 있는 것으로 판단된다.



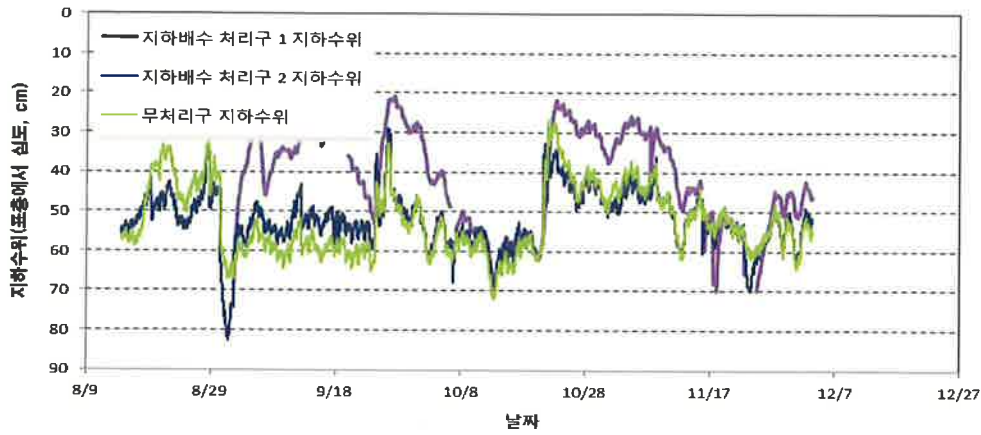
[그림 5.81] 구역 1의 지하수위 변화



[그림 5.82] 구역 2의 지하수위 변화



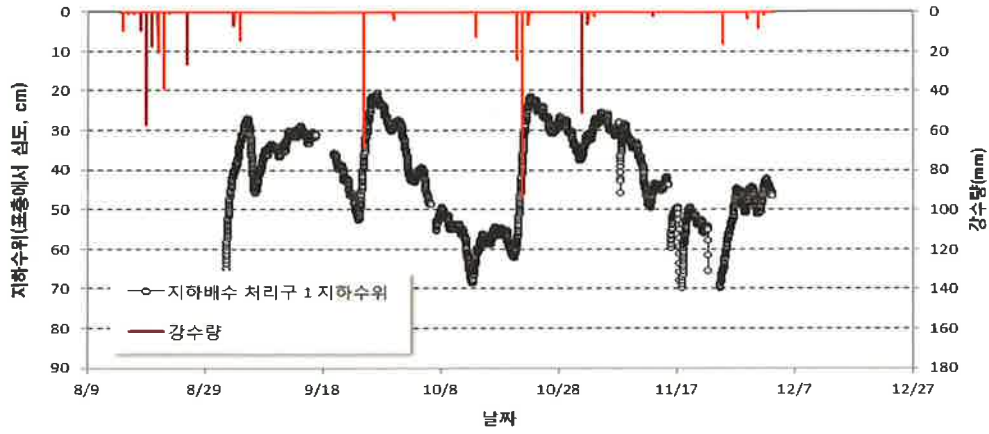
[그림 5.83] 구역 3의 지하수위 변화



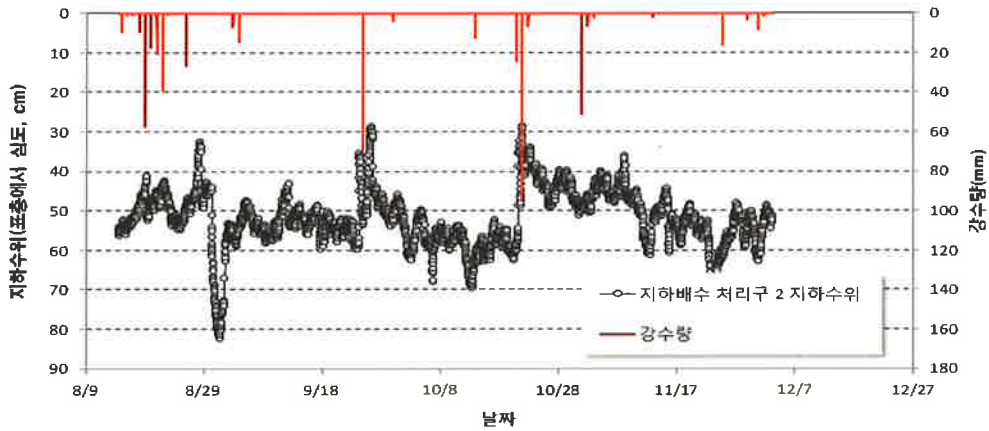
[그림 5.84] 시험포 전체 지하수위 변화

나. 강우에 따른 지하수위 변화

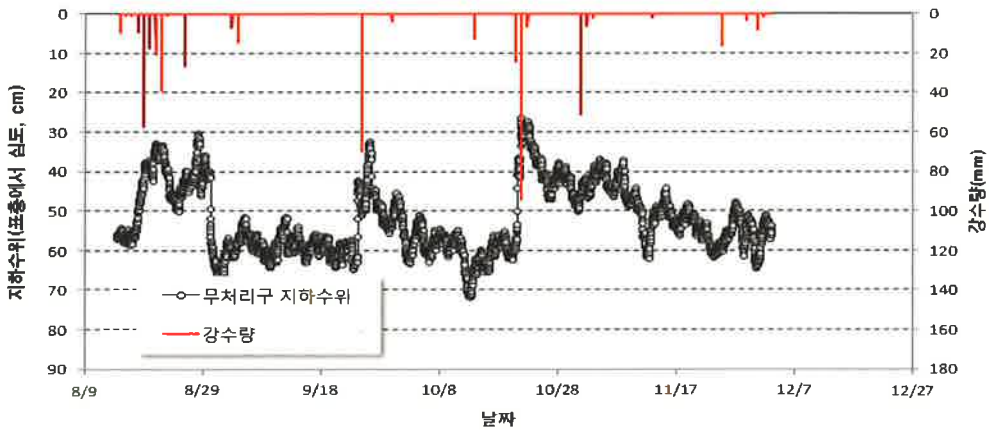
강우량과 함께 지하수위를 나타내면 [그림 5.85~88]과 같다. 지하수위는 강우 시 상승하고 이후 하강하는 정상적인 경향을 보이고 있다. 단지 강우의 영향이 시험포 내에서 침투되는 강우의 영향뿐 아니라 주변의 지하수위 상승에 따른 영향이 클 것으로 판단된다. 이는 당초 예상하지 못할 정도로 시험포의 지하수위가 높은 것이 원인으로 보이며 향후 지속적인 모니터링을 위해서는 시험포 외의 지하수위에 대한 모니터링이 추가로 필요할 것으로 판단된다. 강우에 따른 지하수위의 상승과 하강이 가장 민감한 구역은 1구역으로 나타났다. 이는 인근 지역 및 용수로에 가장 인접하여 영향을 가장 크게 받기 때문으로 판단된다.



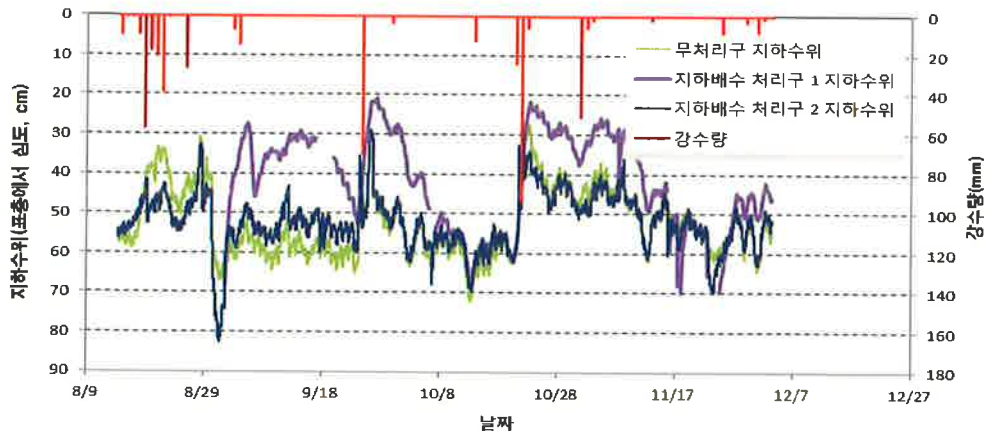
[그림 5.85] 강우에 따른 구역 1의 지하수위 변화



[그림 5.86] 강우에 따른 구역 2의 지하수위 변화



[그림 5.87] 강우에 따른 구역 3의 지하수위 변화



[그림 5.88] 강우에 따른 시험포 전체 지하수위 변화

5.6.3 토양수분

본 시험포에 설치한 FDR 센서는 토양의 수분함량을 체적함수비로 측정한다. 따라서 포화 시 체적함수비를 산정할 필요가 있다.

시험포 토양에서 심도별로 샘플러를 이용하여 시료를 채취하고 각 시료에 대한 현장단위중량과 비중을 확인하여 포화 시 체적함수비를 구했다. 우선 채취한 시료를 건조시킨 뒤 구한 건조단위중량을 이용하여 각 시료에 대한 간극비를 구하게 된다.

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w \quad e = \frac{G_s}{\gamma_d} \gamma_w - 1 \quad (5-23)$$

함수비는 크게 중량함수비와 체적함수비로 나타낼 수 있다. 중량함수비는 흙 속의 흙 입자 무게에 대한 물 무게의 비이며 체적함수비는 흙의 전체 부피에 대한 물의 부피가 차지하는 정도를 백분율로 나타낸 값이다.

$$w = \frac{W_{water}}{W_{soil}} \quad \theta = \frac{V_{water}}{V} \quad (5-24)$$

위 두 식을 이용하여 흙의 간극비와 비중을 이용하여 부피와 중량의 관계를 연결하면 아래와 같이 체적함수비에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\theta = \frac{G_s}{1+e}w \quad (5-25)$$

이 때 함수비, 포화도 및 간극비 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{\rho_w V_w}{\rho_w G_s V_s} = \frac{\rho_w S V_v}{\rho_w G_s V_s} = \frac{Se}{G_s} \quad (5-26)$$

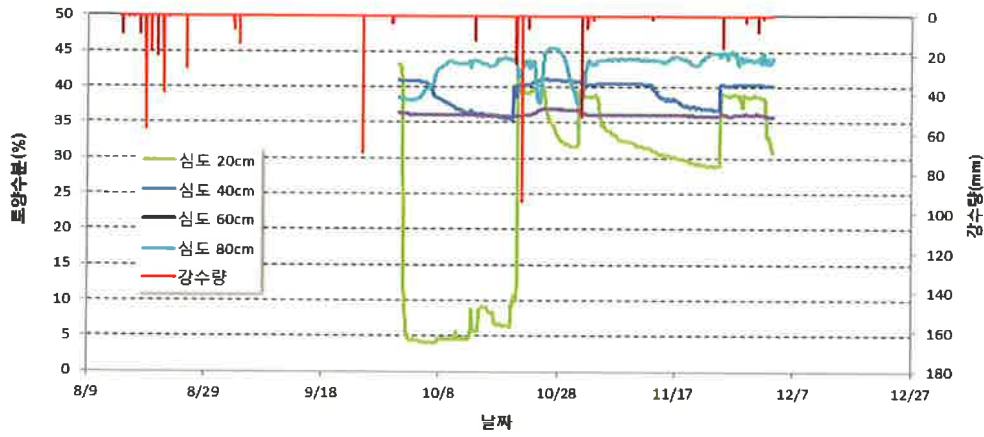
$$G_s w = Se \quad (5-27)$$

식 (5-27)을 이용하여 S (포화도)가 100%일 때 즉 포화 시 중량함수비를 구한 후 식 (5-25)에 대입하여 각 시료에 대해 포화 시 체적함수비를 구하면 다음과 같다.

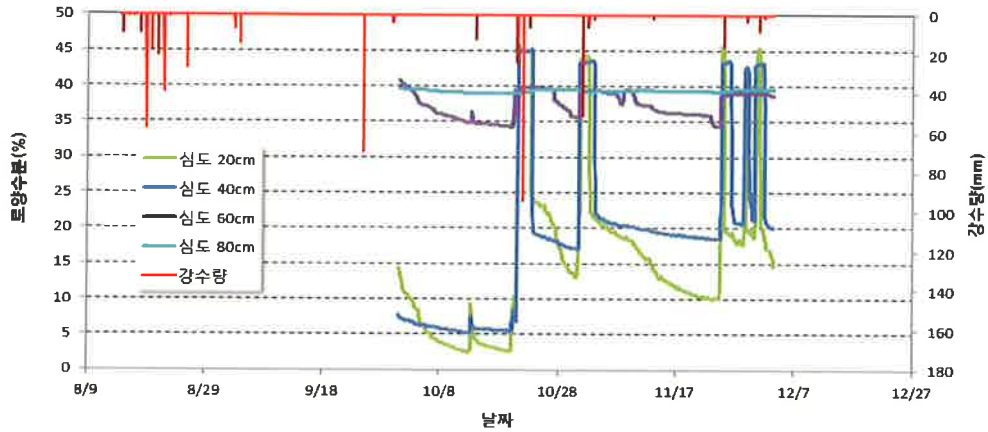
<표 5.24> 포화 시 체적 함수비

비중 (G_s)	토심(cm)	포화시 중량함수비 (ω , %)	건조단위중량 (t/m^3)	간극비(e)	포화시 체적함수비 (θ , %)
2.63	50	24.80	1.59	0.65	39.43
	100	26.84	1.54	0.70	41.33
	150	24.02	1.61	0.63	38.67
	평균	25.20	1.58	0.66	39.81

시험포 내의 토질 특성이 위치와 심도에 따라 조금씩 다를 수 있으나, 체적함수비 약 40%이상은 포화상태, 즉 지하수위 이하의 상태로 판단할 수 있다.



[그림 5.89] 강우에 따른 구역 1의 토양함수비 변화

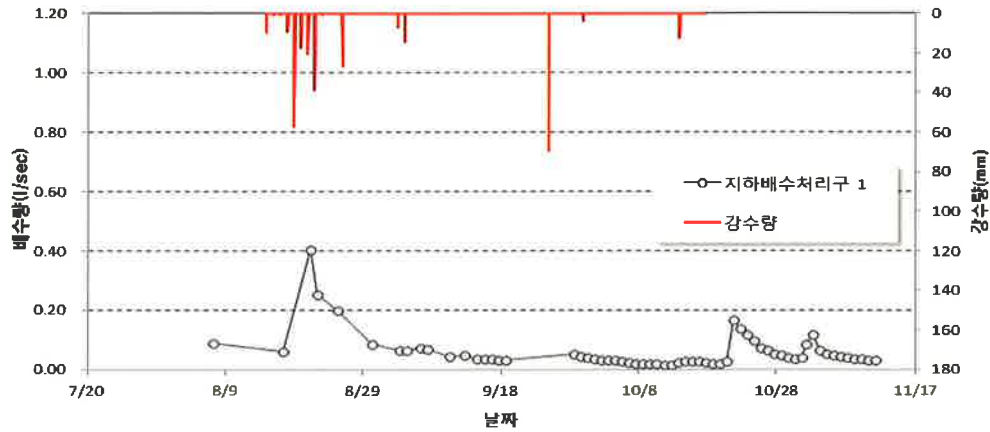


[그림 5.90] 강우에 따른 구역 3의 토양함수비 변화

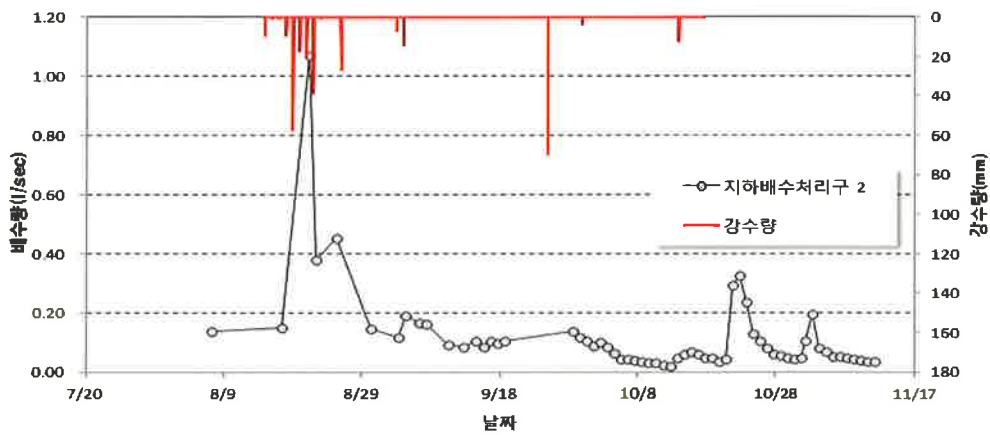
무처리 구역인 구역 3의 상부 40cm까지는 포화되지 않은 상태인 습윤 상태로 변화하고 있고 강우시에는 표면 부근도 포화에 가까운 상태로 변화하고 있다. 그리고 80cm 이하는 포화상태인 것으로 보인다. 이는 지하수위 관측에서 나타난 바와 같다. 구역 1의 경우 지하수위가 상당히 높은 구역으로 현재까지 측정된 바에 의하면 심도 20cm까지는 습윤상태로 변동하고 있으나 40cm 이하에서는 거의 포화된 상태로 변동하고 있다. 상부는 강우의 영향에 크게 영향을 받아 함수비가 변하고 있고, 하부는 지하수위의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다.

5.6.4. 배수량

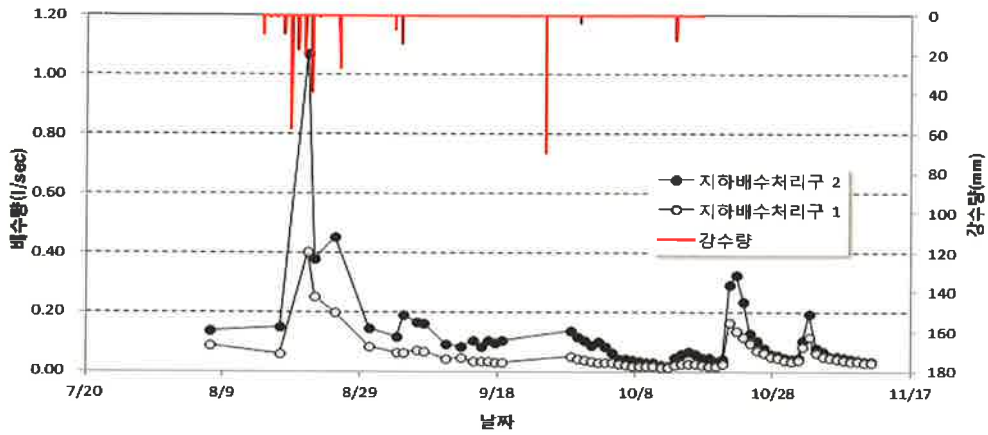
배수암거가 설치된 구역 1과 구역 2에 배수량은 다음과 같다. 강우 이후에 배수량이 증가하고 이후 감소하는 정상적인 거동을 보이고 있다. 단지 시험포의 지하수위가 높아 지속적으로 일정량의 배수량이 발생하고 있다.



[그림 5.91] 강우에 따른 구역 1의 배수량 변화



[그림 5.92] 강우에 따른 구역 2의 배수량 변화



[그림 5.93] 강우에 따른 시험포 전체 배수량 변화

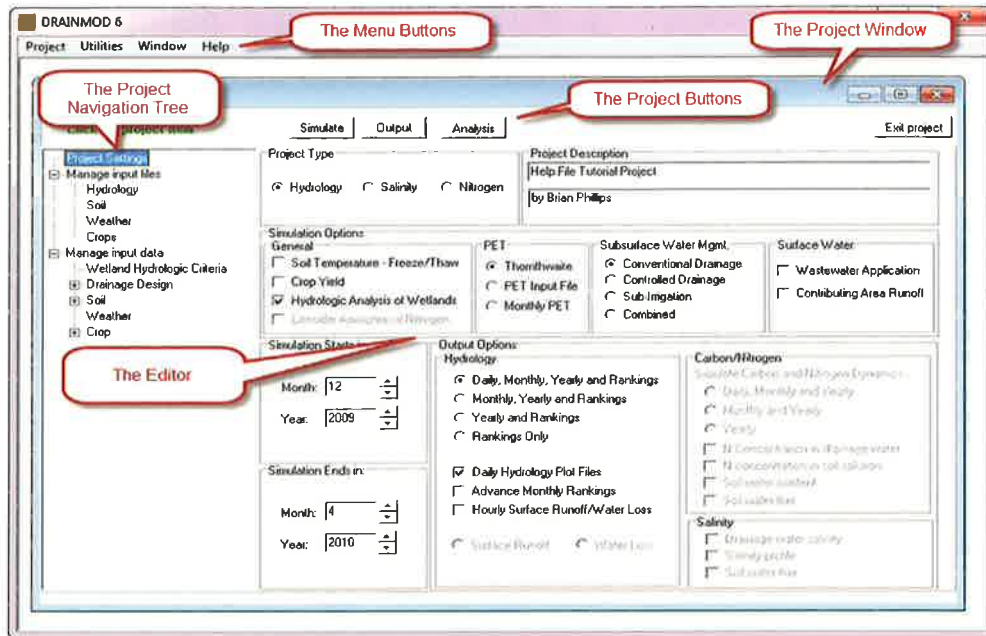
5.6.5 DRAINMOD Simulation

가. 개요

(1) DRAINMOD 기능

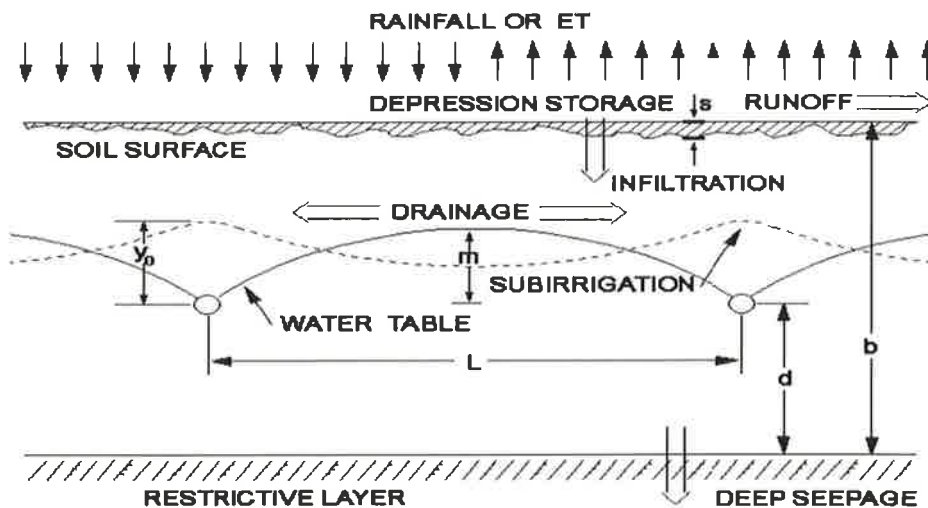
DRAINMOD는 습지 등 배수가 불량한 토양의 수문 및 배수수질을 설명하기 위한 시뮬레이션 프로그램(Skaggs, 1978)이다. 본 과업에서 시뮬레이션 프로그램을 적용하고자 하는 것은 농지 범용화 사업을 수행함에 있어 설계인자에 따른 Simulation 도구로 제안하기 위해서이다.

DRAINMOD 해석에 필요한 데이터는 Soil data(수평투수계수, 함수특성 곡선, Green-Ampt parameter 등), Weather data(시간강우 자료, 온도(일 최고·최저기온), PET 등), Crop data(뿌리심도 등), 배수시스템의 설계인자(암거의 심도, 간격 용량 등)이고 시험포에 프로그램의 적용성을 우선 검토하여 향후 범용화 설계 및 모니터링에 있어서의 적용 가능성을 제시하고자 한다.



[그림 5.94] DRAINMOD 프로그램

DRAINMOD로 해석되는 지하관개 및 지하배수 시스템의 개요는 다음 [그림 5.95]와 같다.



[그림 5.95] DRAINMOD로 해석되는 지하관개 및 지하배수 개요

해석하고자 하는 단면에서 Δt 동안의 물수지는 다음과 같다.

$$\Delta V_a = D + ET + DS - F \quad (5-28)$$

여기에서 ΔV_a 는 공기체적 변화(cm), D 는 단면에서의 수평배수(또는 지하관개)량(cm), ET 는 증발산량(cm), DS 는 심층 침투(deep seepage)(cm) 그리고 F 는 침투량(cm)을 나타낸다.

지표면에서 Δt 동안의 물수지는 다음과 같다.

$$P = F + \Delta S + RO \quad (5-29)$$

여기에서 P 는 강우량(cm), F 는 침투량(cm), ΔS 는 표면에서의 물의 체적변화(cm) 그리고 RO 는 유출량(cm)이다.

이상의 자료와 해석과정을 거쳐 DRAINMOD는 지표 유출, 지하수위 변동, 배수량, 증발산량 등을 모의할 수 있다.

이러한 시뮬레이션을 통하여 설계 내용을 검토하고 향후 지하관개 및 배수시스템의 설계에 활용 가능성을 확인하고자 한다.

(2) DRAINMOD 목적

DRAINMOD의 지하수위관리 시스템(Water table management system)의 주요목적은 다음의 4 가지 이다.

- Number of working days(특정 기간 동안의 농기계의 주행성)
- SEW-30(경작기간 동안 지하수위가 심도 30cm 이하가 되어 과잉 토양수가 발생하는 기간)
- Number of dry days during growing season(토양수가 부족한 일수)
- Irrigation volume(재활용수를 사용하는 경우 사용가능한 관개용수량)

이 중에서 작물의 생육 및 수확량과 밀접한 관계가 있는 항목은 SEW-30으로 장기간의 Simulation에 가장 필요한 항목으로 판단된다. SEW-30은 경작기간 동안에 토양수가 과잉이 되는 상태를 정량화 한 것

으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$SEW-30 = \sum_{i=1}^n (30 - x_i) \quad (5-30)$$

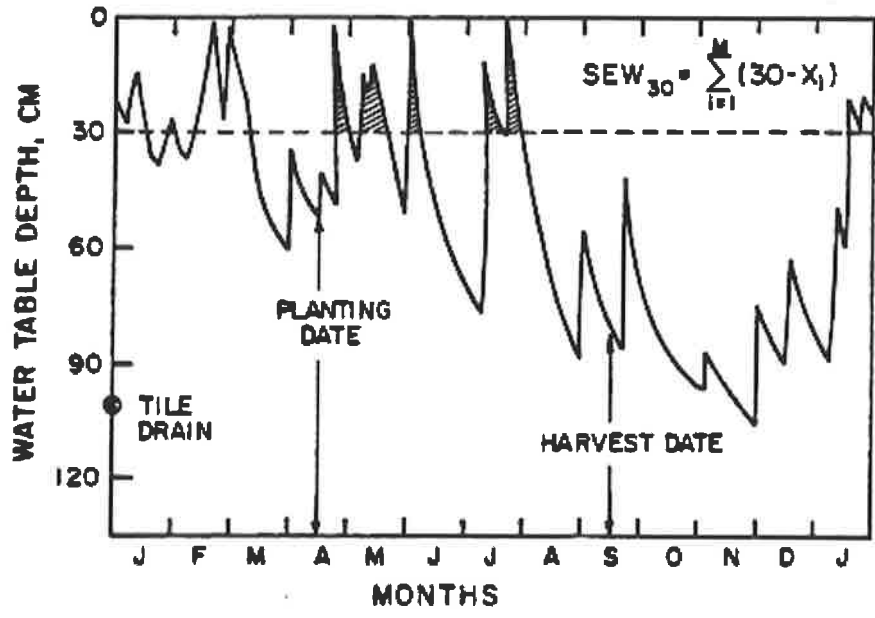
여기에서 x_i 는 i 일에서 지하수위 심도이다. $i=1$ 은 경작 시작일이고 $i=n$ 은 경작이 종료되는 일이 된다. DRAINMOD에서는 일단위가 아닌 시간단위로 해석하게 되어 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SEW-30 = \sum_{j=1}^m (30 - x_j) / 24 \quad (5-31)$$

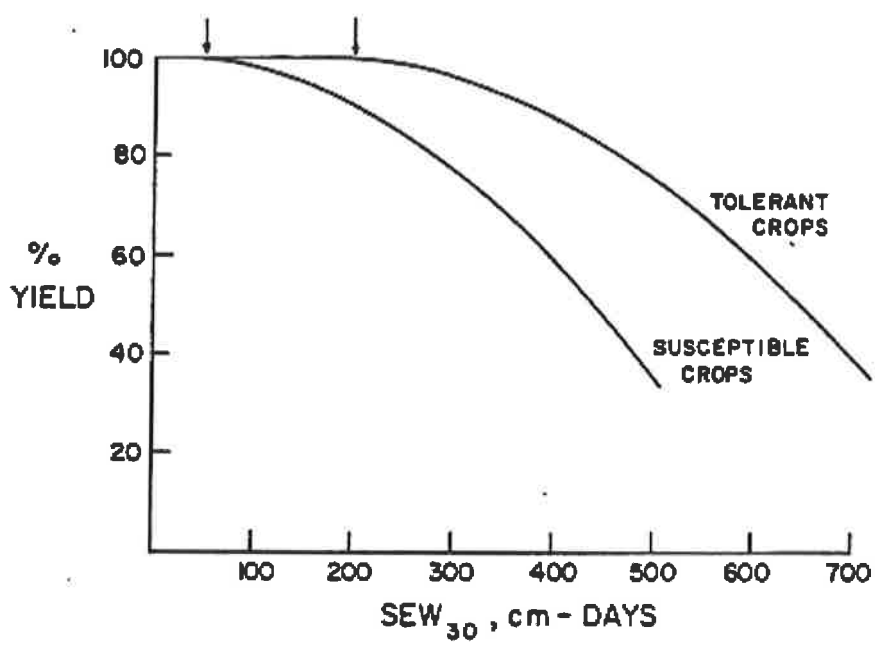
여기에서 x_j 는 각 시간단위에서 지하수위 심도이고 m 은 경작기간의 총 시간이다.

[그림 5.96]에 $SEW-30$ 의 개략적 시뮬레이션 결과와 작물의 수확량과 $SEW-30$ 의 관계를 나타내었다.

그림에서 보면 $SEW-30$ 지하수위 30cm선과 지하수위곡선 사이의 면적을 나타낸다. 만약에서 작물에 대한 수확량과 $SEW-30$ 의 관계를 알 수 있다면 허용될 수 있는 $SEW-30$ 을 만족하도록 지하수위 관리시스템을 설계할 수 있을 것이다. 이러한 시뮬레이션은 설계지구에 대한 장기간의 강우량, 증발산량 및 작물의 종류 등에 대한 자료를 구축하여 수행하여야 할 것이다. 향후 농지범용화 사업에 있어 이러한 시뮬레이션은 설계 및 효과분석에 많은 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 5.96] SEW-30의 시뮬레이션 예

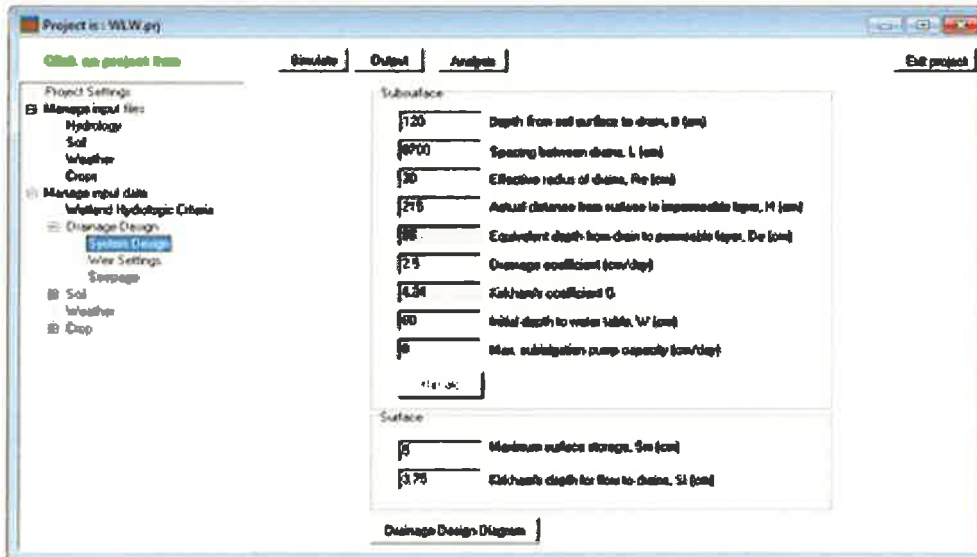


[그림 5.97] 작물의 수확량과 SEW-30관계의 예

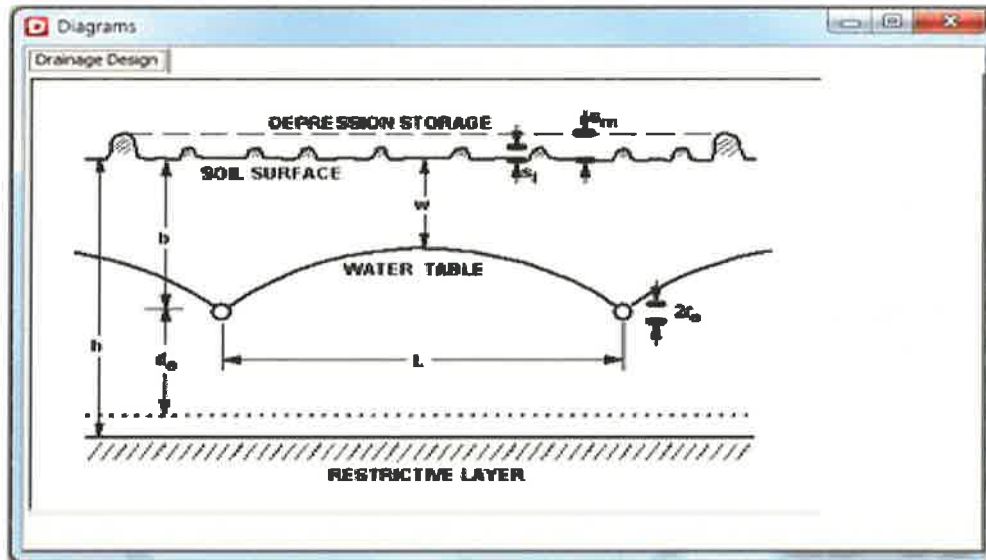
나. DRAINMOD 입력자료

(1) System design parameter

System design parameter는 Drain의 간격, 심도, 관경 등 배수시스템의 일반사항에 대한 것으로 전 절에서 살펴본 Schilfgaard equation의 변수와 동일하다.



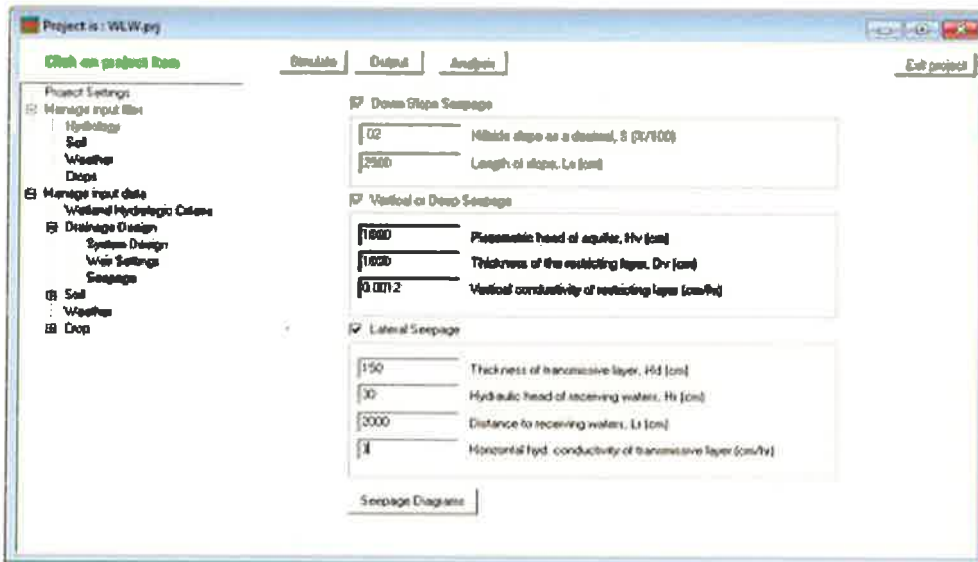
[그림 5.98] System design parameter 입력화면(DRAINMOD)



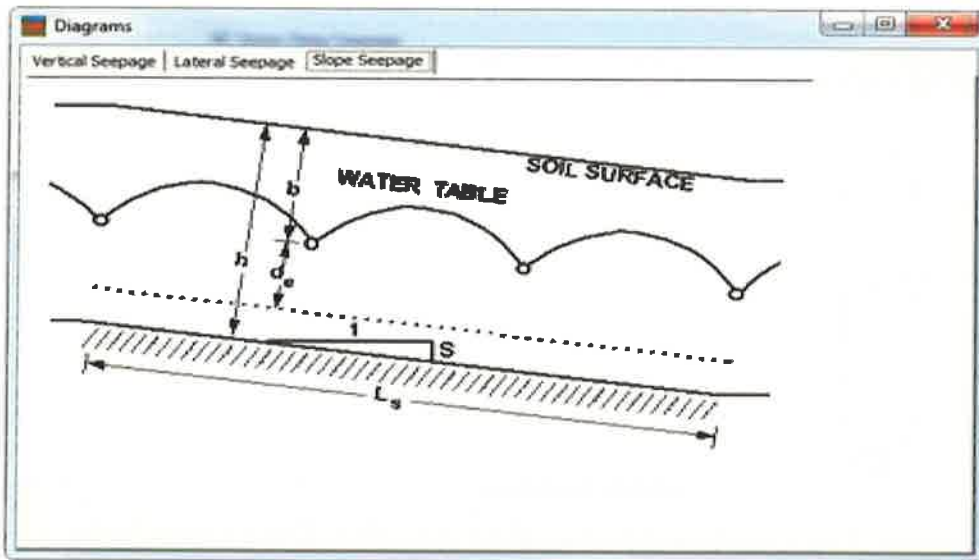
[그림 5.99] System design parameter diagram(DRAINMOD)

(2) Weir 및 Seepage parameter

지표배수를 위한 고랑(Ditch) 및 위어(Weir)의 크기 및 침투조건을 나타낸다.



[그림 5.100] Seepage parameter 입력화면(DRAINMOD)

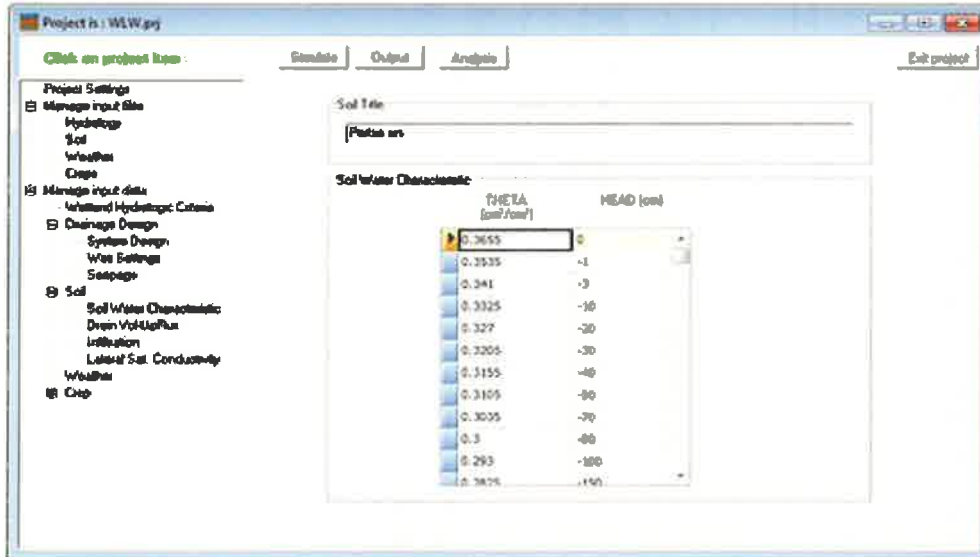


[그림 5.101] Slope seepage diagram(DRAINMOD)

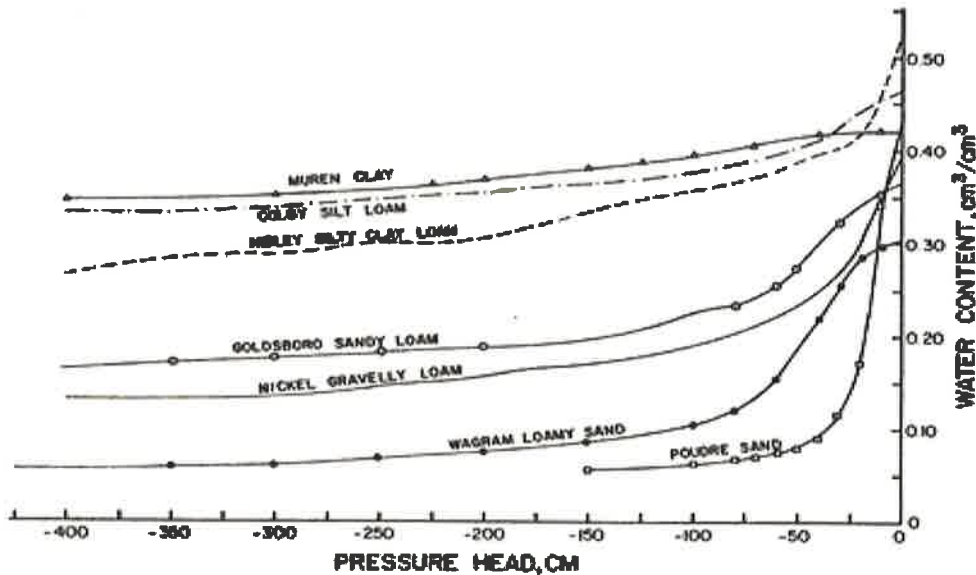
(3) Soil property

(가) Soil-Water characteristic

흙에서의 불포화 흐름특성을 나타내는 흙의 특성으로 실험값 또는 문헌값을 사용할 수 있다. [그림 5.102, 103]는 입력화면과 7종의 토양에 대한 특성을 나타낸다.

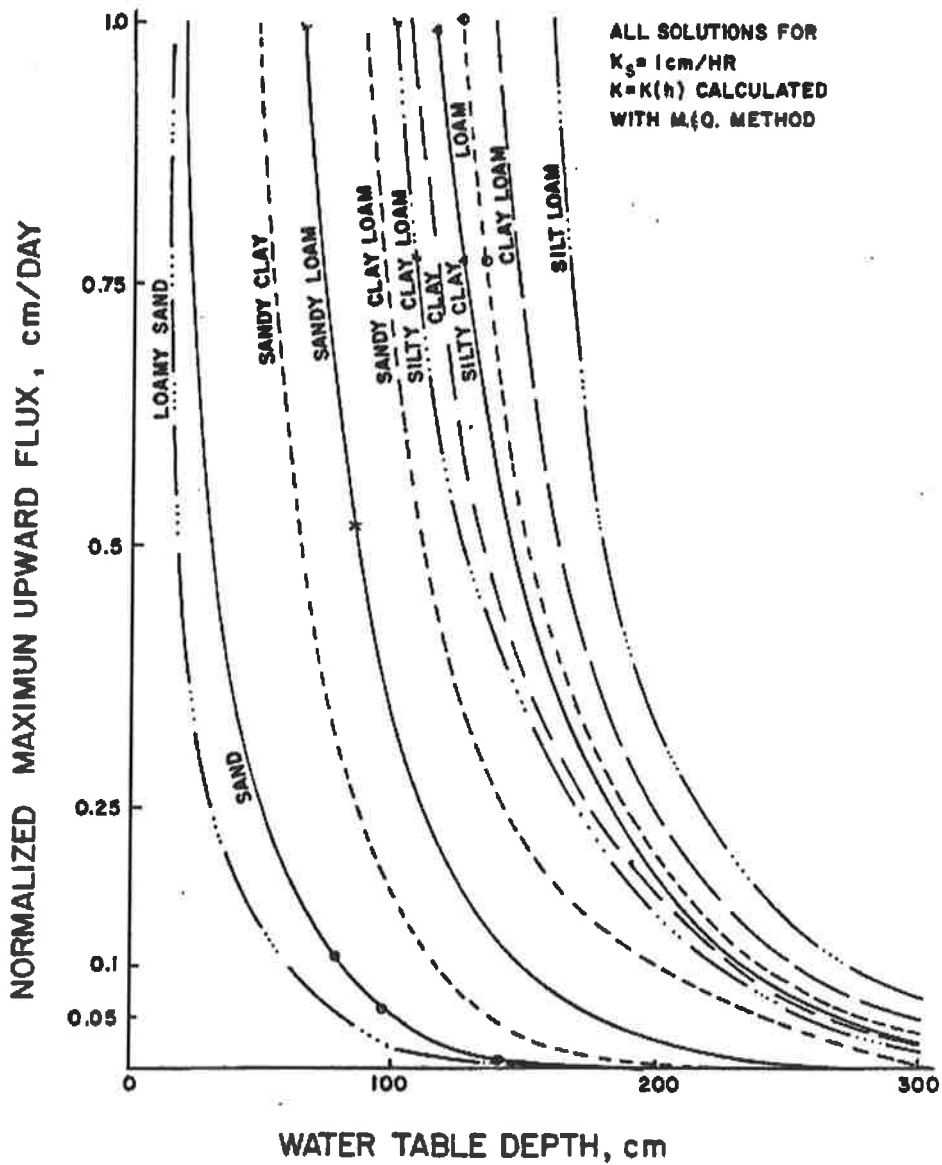


[그림 5.102] Soil-Water characteristic 입력화면(DRAINMOD)



[그림 5.103] 7종의 흙에 대한 Soil-Water characteristic

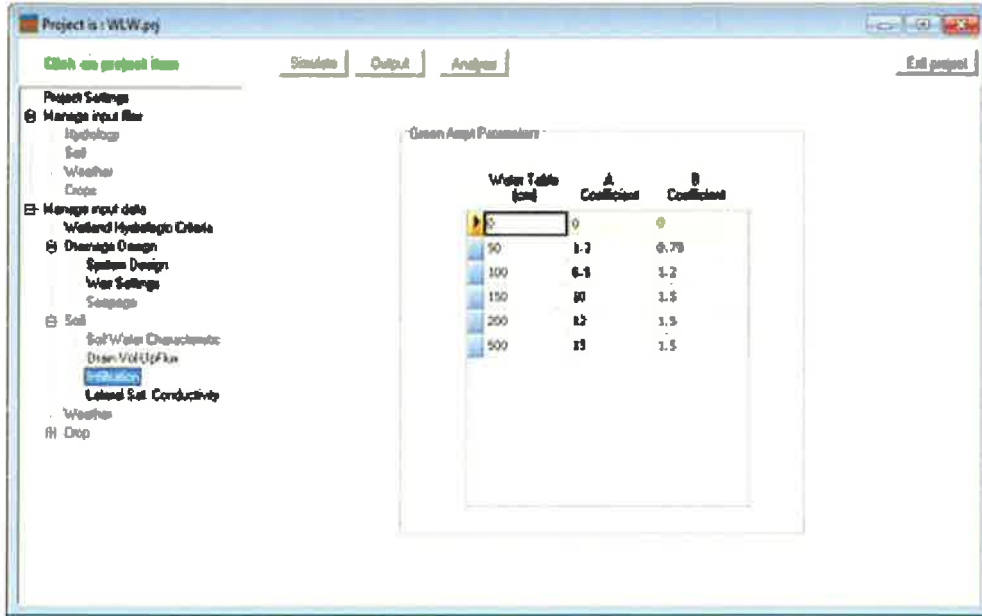
(나) Water table-Volume Drained-Upward Flux



[그림 5.104] 흙의 종류에 따른 Water table-Upward Flux 관계

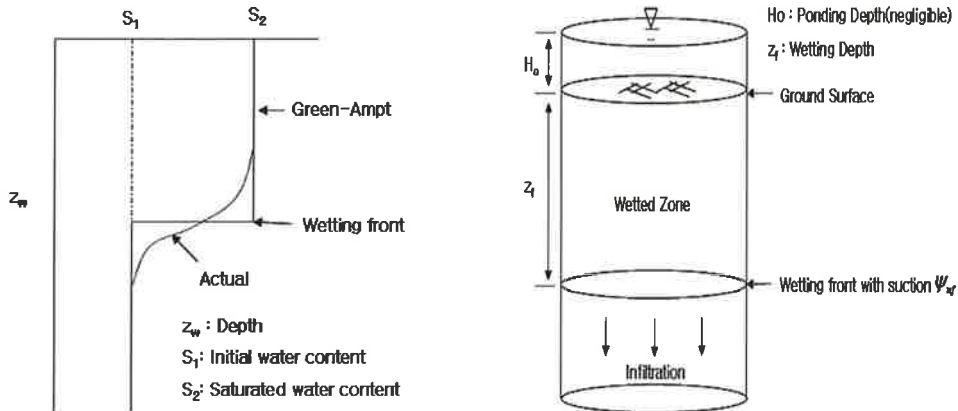
특정량의 수량이 배수되었을 때 지하수위의 변화를 계산하기 위한 특성으로 Soil-Water characteristic 특성에서 구하거나 문헌값을 사용할 수 있다. 위의 그림은 흙의 종류에 따른 Water table-Upward Flux 관계를 나타낸다.

(다) Green-Ampt equation parameter



[그림 5.105] Green-Ampt equation parameter 입력화면(DRAINMOD)

강우침투모형으로 DRAINMOD는 Green-Ampt 모델을 이용한다. 이 모형의 침투식은 Richard's 식의 근사해로부터 발전되었고, Green-Ampt(1911) 침투모델은 [그림 5.106]과 같다.



[그림 5.106] Green and Ampt 모델(좌 함수분포, 우 매개변수)

그림에서 Wetting zone 아래에 경계면은 습윤전선(Wetting front)이고, 습윤전선은 침투가 시작 한 후에 t동안 깊이 L만큼 침투한다. 수위는 흠 표면 위에서 깊이 h_0 만큼 나타난다.

수직 Column의 흠의 단위 수평적인 횡단면을 고려하고, 부피는 깊이 L 과 표면 사이의 습윤 흠 둘레를 경계면으로 습윤전선이 통과 했을 때 함수량은 간극률(Φ)에서 초기 함수량부터 증가 할 것이다. 함수량(θ)은 제한된 표면의 부피 내외의 범위에서 습윤함유량의 부피의 비를 나타낸다.

따라서 증가된 함수량 내에서 제한된 부피 내외에서 축척되고 침투된 결과가 바로 $L(\Phi - \theta_i)$ 이다. 물이 흠 안에 침투되어 축척된 깊이, 즉 누적 침투능(F)은 다음 식으로 구한다.

$$F_t = L(\Phi - \theta_i) = L\Delta\theta \quad (5-32)$$

또한 Darcy's 법칙은 다음 식과 같다.

$$q = -k \frac{\delta h}{\delta z} \quad (5-33)$$

이 경우는 Darcy의 흐름에서 q 는 깊이가 일정하고 침투비(f)도 일정하다. 그 때문에 q 가 위쪽을 흐르는 동안 물의 침투비는 아래쪽을 향한다. 습윤전선의 건조된 면 위쪽에서, 식 (5-32)는 다음과 같이 근사식으로 표현 할 수 있다.

$$f = k \left[\frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2} \right] \quad (5-34)$$

지표면에서 수두 h_1 은 깊이 h_0 와 같다. 수두 h_2 은, 건조한 흠 아래 습윤 전선은 $-\psi - L$ 과 같다. 식(5-34)에 대입하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$f = k \left[\frac{h_1 - (\psi - L)}{L} \right] \approx k \left[\frac{\psi + L}{L} \right] \quad (5-35)$$

만약 깊이 $h_0 = 0$ 이면 ψ 와 L 을 무시해도 좋다. 이 가정은 표면 수위 수문학 문제에 흔히 사용되고 이 가정은 고인 물이 지표수이기 때문이다. 후에, 만약 지표수를 무시한다면, 식 (5-36)과 같다. 습윤전선 깊이 $L = F/\Delta\theta$ 이고 $h_0 = 0$ 을 식 (5-34)에 대입하면, 식 (5-36)과 같다.

$$f = k \left[\frac{\psi\Delta\theta + F}{F} \right] \quad (5-36)$$

그리고 $f = dF/dt$ 이므로 식 (5-33)은 다음 식과 같다.

$$\frac{dF}{dt} = k \left[\frac{\psi\Delta\theta + F}{F} \right] \quad (5-37)$$

이를 정리하면

$$\left[\left(\frac{F}{F + \psi\Delta\theta} \right) \right] dF = k dt \quad (5-38)$$

이 되고, 왼쪽 항을 분할하여 나타내면

$$\left[\left(\frac{F + \psi\Delta\theta}{F + \psi\Delta\theta} \right) - \left(\frac{\psi\Delta\theta}{F + \psi\Delta\theta} \right) \right] dF = k dt \quad (5-39)$$

된다. 이를 다시 적분하면,

$$\int_0^{F_1} \left(1 - \frac{\psi\Delta\theta}{F + \psi\Delta\theta} \right) = \int_0^t k dt \quad (5-40)$$

$$F(t) - \psi\Delta\theta \ln[F(t) + \psi\Delta\theta] - \ln(\psi\Delta\theta) = kt \quad (5-41)$$

또는

$$F(t) - \psi\Delta\theta \left(1 + \frac{F(t)}{\psi\Delta\theta}\right) = kt \quad (5-42)$$

식 (5-41) 또는 식 (5-42)가 구해진다. 이와 같이 구한 Green-Ampt 식은 누적적인 침투식이며 식 (5-44)에서 누적침투능(F)을 알 수 있다. 침투비(f)는 식(5-43)에서 얻을 수 있고, 다음 식 (5-44)에서도 얻을 수 있다.

$$f(t) = k \left(\frac{\psi\Delta\theta}{F(t)} + 1 \right) \quad (5-43)$$

지표수 h_0 를 무시할 수 없을 때, $\psi - h_0$ 값은 식(5-42)와 식(5-41)에서 ψ 의 적당한 값을 구한다. F 는 식(5-44)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F(t) = z_w \Delta\theta = kt + \psi\Delta\theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\psi\Delta\theta} \right) \quad (5-44)$$

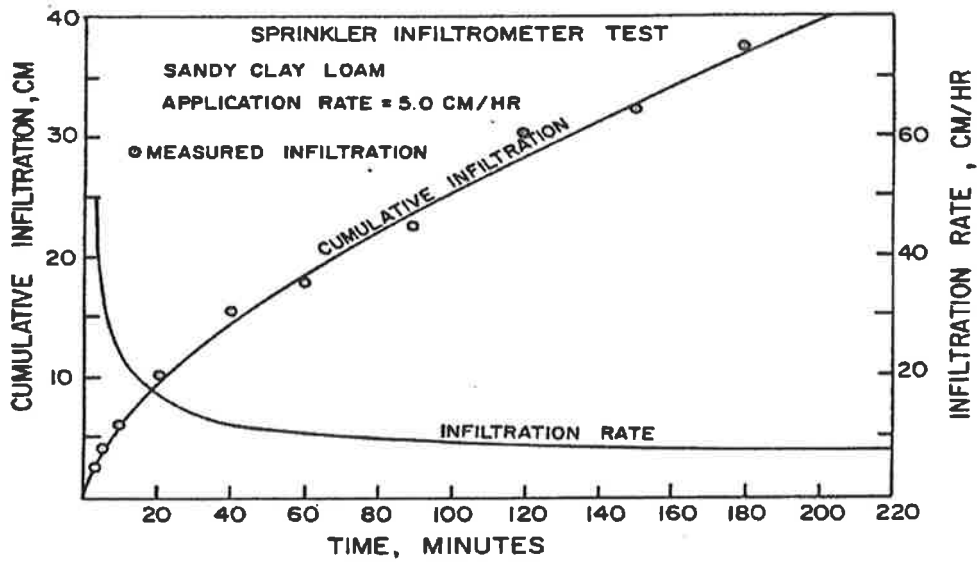
DRAINMOD에서 표현하는 Green-Ampt equation은 다음과 같다.

$$f = A/F + B \quad (5-45)$$

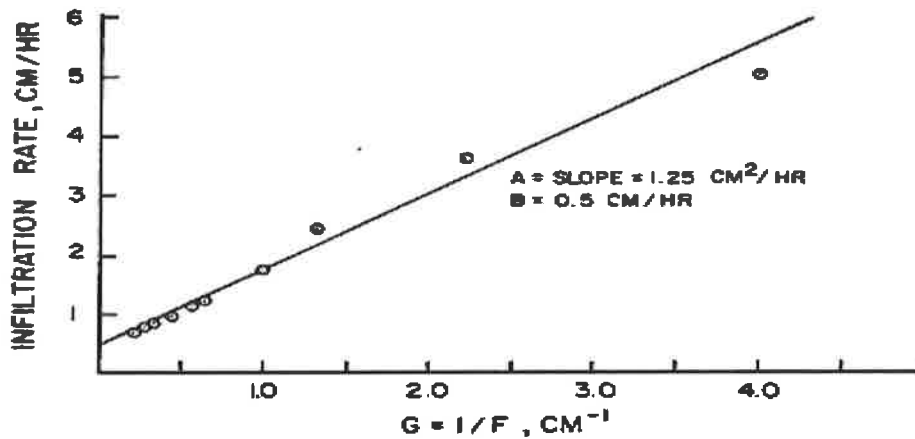
여기에서 f 는 침투율(infiltration rate, cm/hr), $A = K_s M S_{av}$, $B = K_s$ 이다. $G = 1/F$ 로 정의하면 위 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f = AG + B \quad (5-46)$$

예를 들어 sprinkler infiltrometer test의 결과가 다음의 그림과 같다면 Cumulative infiltration F 와 $G=1/F$ 를 계산할 수 있다.



[그림 5.107] Sprinkler infiltrometer test example



[그림 5.108] Green-Ampt equation parameter A, B

마지막으로 infiltration rate f 와 G 의 관계를 위의 그림과 같이 나타내면 Green-Ampt parameter A 와 B 는 각각 그림의 기울기와 절편이 된다.

(4) Weather parameter

Weather parameter에는 강우, 기온, 증발산량 데이터를 입력한다. 증발산량은 Thornthwaite 월별지수법(monthly heat index method)를 사용한다. [그림 5.109]는 입력화면과 강우 및 기온자료의 파일형식이다.

Station ID	Thornthwaite Parameters	PET Factor
Rainfall: 389467	Latitude: 34 0 16 N	<input type="checkbox"/> Daily
Temp: 319457	Heat Index: 65	<input type="checkbox"/> Monthly

Monthly Factors			
January	2.01	July	0.95
February	2.22	August	0.82
March	2.10	September	0.92
April	1.72	October	1.05
May	1.23	November	1.22
June	1.00	December	1.44

[그림 5.109] Weather parameter 입력화면(DRAINMOD)

Example Rainfall File for the month of January, 1959

ID	YR	M	DH	RDH	RDW	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	RDH	R
319476	1959	1	114	9 115	2 114	2 117	3 118	4 119	22 120	4 123	1 124	4 2 1	5 2 2	3 2 3	1		
319476	1959	1	2 4	2 814	6 817	6 818	5 819	8 820	3 821	3 822	1 824	114 8	114 9	114 11	5		
319476	1959	1	1412	11613	11614	422 2	4722 3	1122 4	1222 5	82811	12812	12813	131 2	131 3			
319476	1959	1	31 4	231 5	131 4	131 7	131 6	1									

* ID is station ID, Y is year, M is month, D is day of the month, H is hour and R is rainfall in hundredths of inches

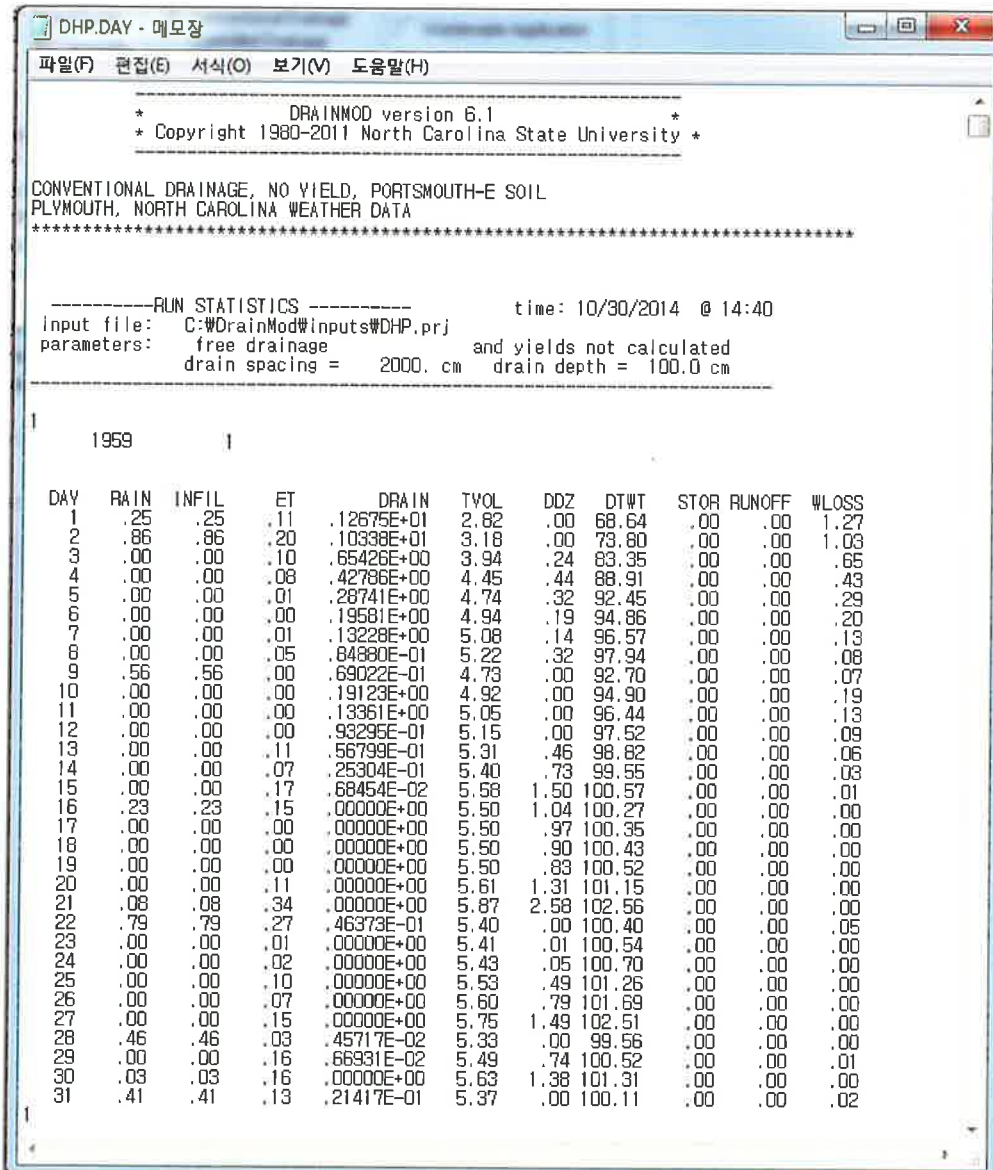
Table 1 Example temperature file

319474	1959	1	41 36	52 39	56 38	60 37	30 37	14 36	23 46	23 33	22 35	17 44	22 48	10 43	35 59	17	
70 40	56 30	31 14	36 12	30 15	46 19	18 32	72 31	42 27	56 23	65 40	65 33	61 39	41 35	38 41	42 44	53 34	
319476	1959	2	45 30	36 35	35 28	47 35	60 36	52 28	33 22	68 41	50 45	74 44	70 35	30 35	49 41	70 44	
48 46	59 33	63 44	62 42	42 27	31 20	11 14	63 27	63 44	35 35	48 29	54 34	34 32	34 43	36 0	0	0	0
319476	1959	2	64 43	47 32	65 30	61 33	60 30	69 47	54 37	56 27	65 31	63 36	34 31	60 36	17 33	49 38	
44 47	58 40	63 40	50 27	64 24	68 34	63 31	57 36	59 22	74 33	61 48	50 56	75 33	34 32	57 25	34 42	65 47	
319476	1959	4	76 47	67 43	72 37	61 38	74 35	79 49	74 61	87 49	54 44	85 60	77 59	59 40	42 16	58 37	
71 41	74 44	81 49	60 53	72 41	83 63	72 53	36 45	59 43	72 59	77 41	79 37	81 62	50 42	79 58	25 39	0	0
319476	1959	5	84 57	84 54	93 63	84 62	79 50	83 48	89 59	82 51	79 49	77 55	84 61	86 63	81 47	78 59	
44 47	72 44	77 51	78 56	87 42	84 68	81 49	89 70	59 68	80 54	84 52	84 58	88 33	61 88	63 88	44 78	46	
319476	1959	6	80 66	82 48	82 66	81 41	82 58	84 58	89 56	89 61	81 60	82 63	92 63	92 63	88 64	48 77	56
82 52	84 60	74 52	76 50	82 52	88 57	90 43	92 68	94 71	90 70	88 70	94 72	94 71	89 74	89 73	102 74	0	0

[그림 5.110] 강우량 및 기온자료 파일 형식(DRAINMOD)

다. DRAINMOD 출력자료

시뮬레이션이 완료되면 해석결과를 텍스트 형태로 출력할 수 있으며 output 파일에는 일별 강우량, 침투량, 증발산량, 배수량 등이 표출된다.

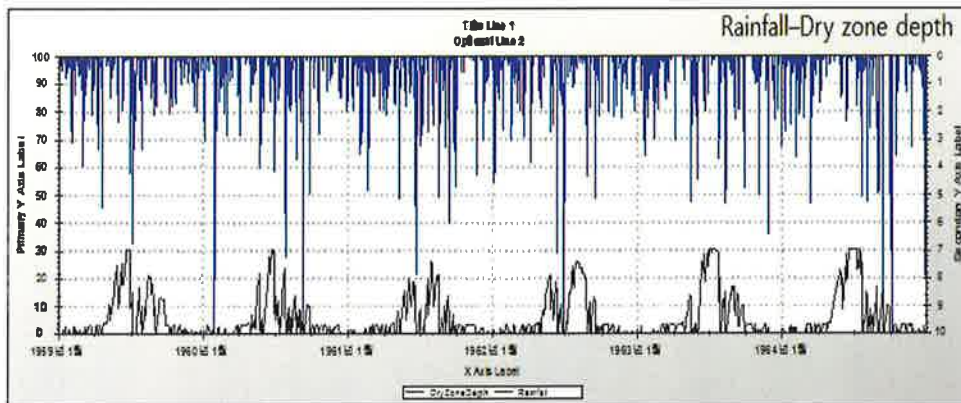


[그림 5.111] DRAINMOD output 텍스트파일

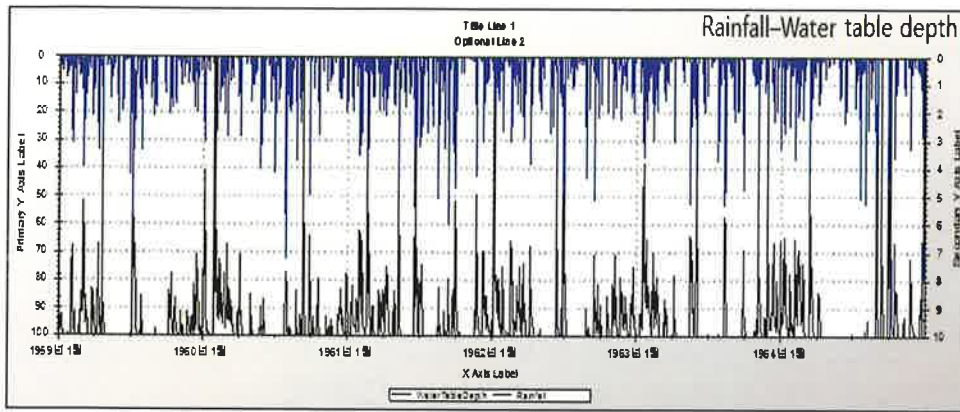
DRAINMOD 결과를 Graphing utility를 이용하여 표출하면 여러 출력 값을 그래프 형태로 나타낼 수 있다.



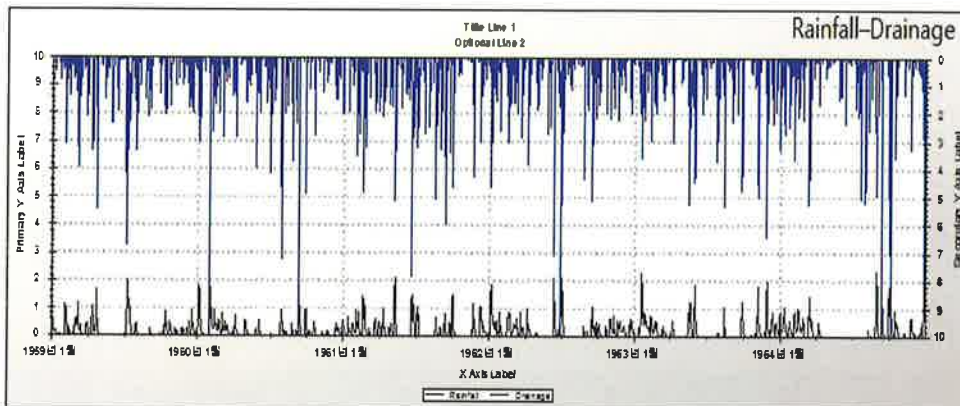
[그림 5.112] DRAINMOD Graphing utility



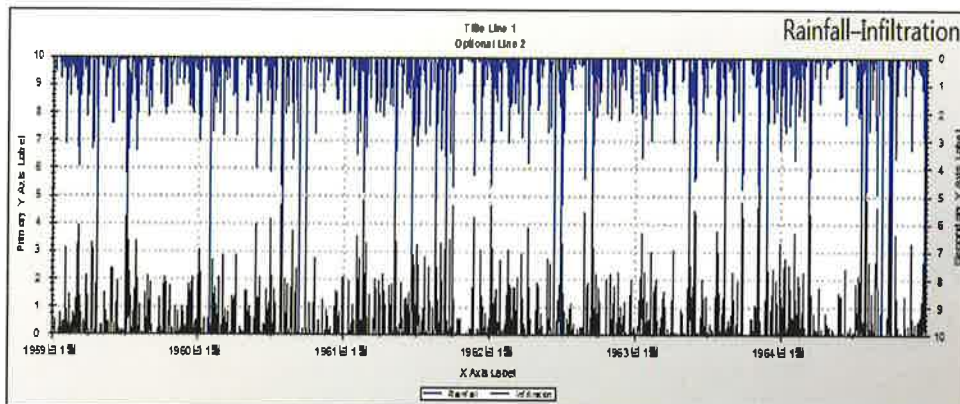
[그림 5.113] DRAINMOD output example(Rainfall-Dry zone depth)



[그림 5.114] DRAINMOD output example(Rainfall-Water table depth)



[그림 5.115] DRAINMOD output example(Rainfall-Drainage)

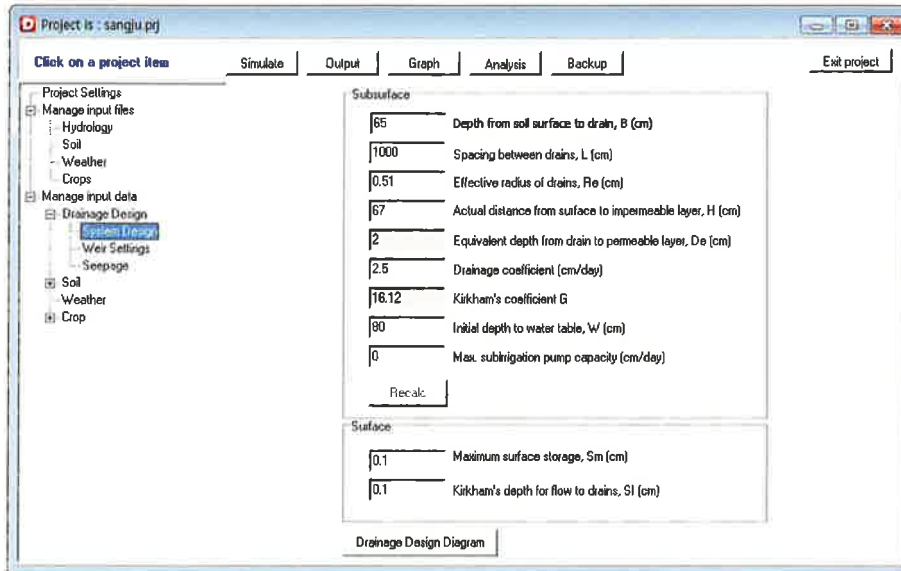


[그림 5.116] DRAINMOD output example(Rainfall-Infiltration)

라. DRAINMOD 해석결과

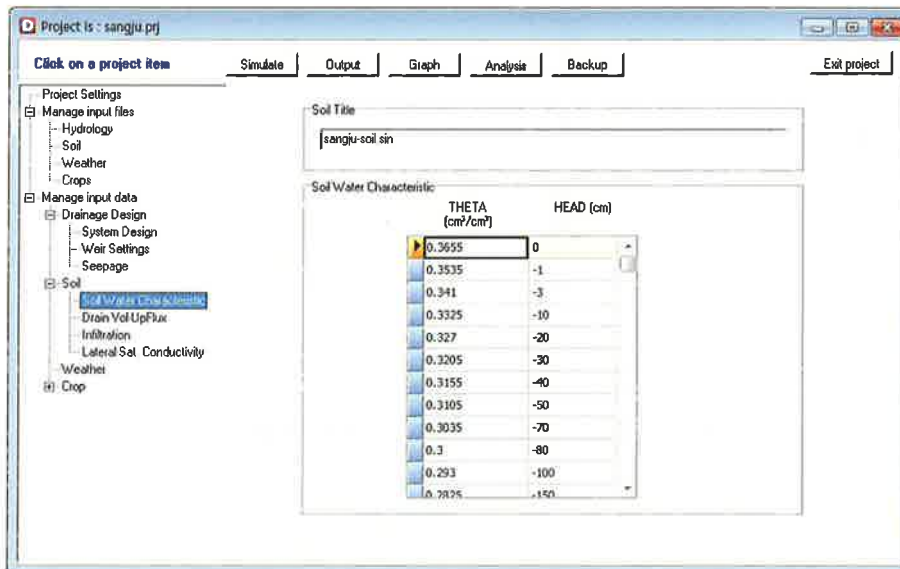
(1) 시험포 입력자료

(가) System Design 입력자료

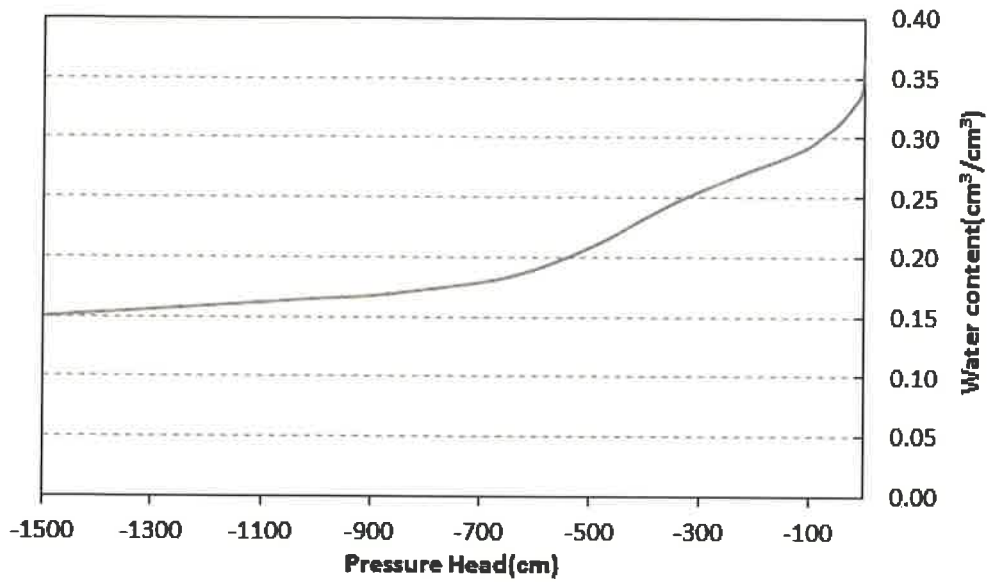


[그림 5.117] 시험포 입력자료(System Design)

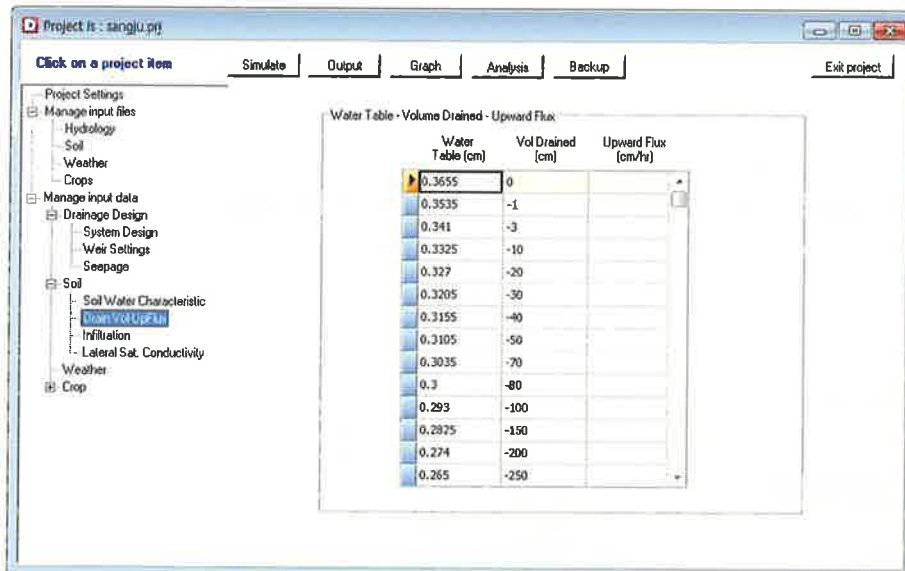
(나) Soil Property



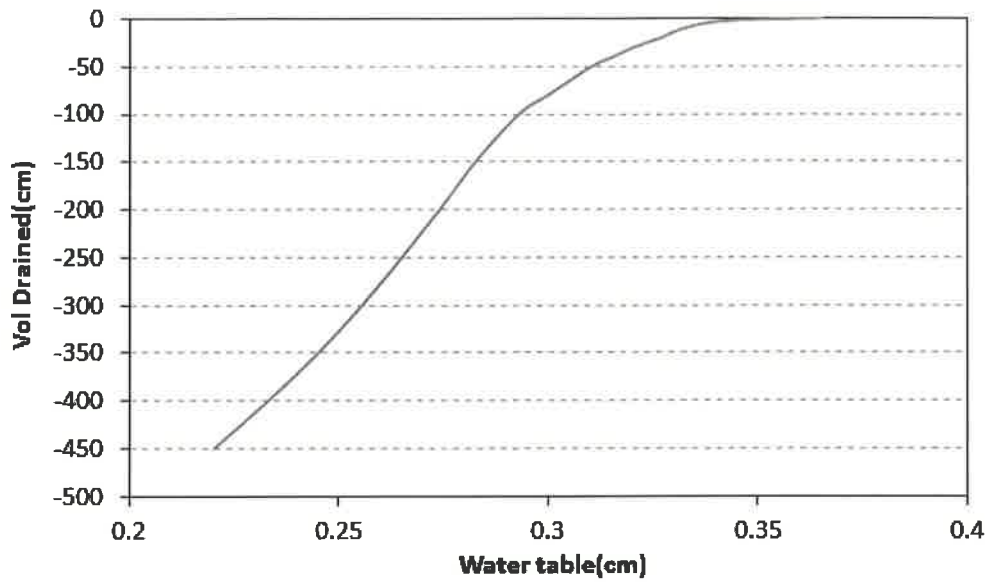
[그림 5.118] 시험포 입력자료(Soil Water Characteristic)



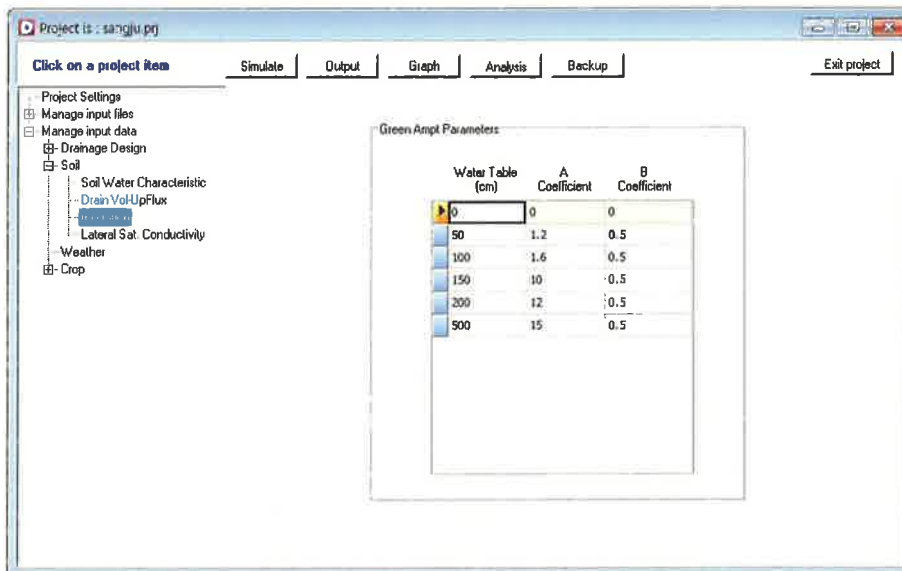
[그림 5.119] 시험포 Soil Water Characteristic 곡선(추정값)



[그림 5.120] 시험포 입력자료(Drain Vol-UpFlux)



[그림 5.121] 시험포 Drain Vol-UpFlux 곡선(추정값)



[그림 5.122] 시험포 입력자료(Infiltration)

(다) Weather

Weather 입력자료는 모니터링결과에서 측정된 시험포의 강우량자료를 이용하였다. 강우량을 DRAINMOD 입력파일의 형태로 나타내면 [그림 5.123]과 같다.



파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)							
2014 8	212	79 312	173 412	41 512	1 712	730812	41012	671312	81412	371612	2
2014 8	1712	371812	2241912	692012	812112	1522512	104				
2014 9	212	26 312	791812	12312	202412	2762912	20				
201410	1312	431612	12012	942112	3703112	201					
201411	112	241212	82412	63							
201412	112	6									

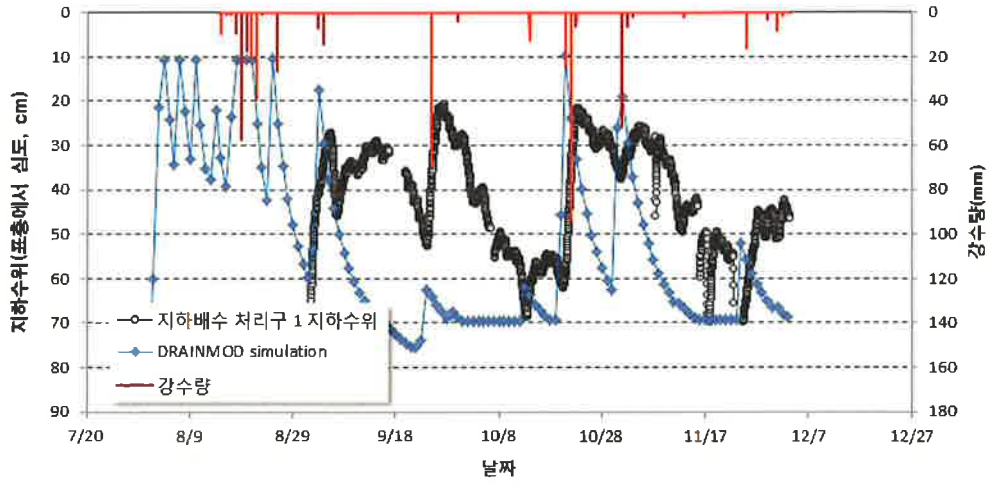
[그림 5.123] 시험포 입력자료(Weather-rain)

(라) 기타

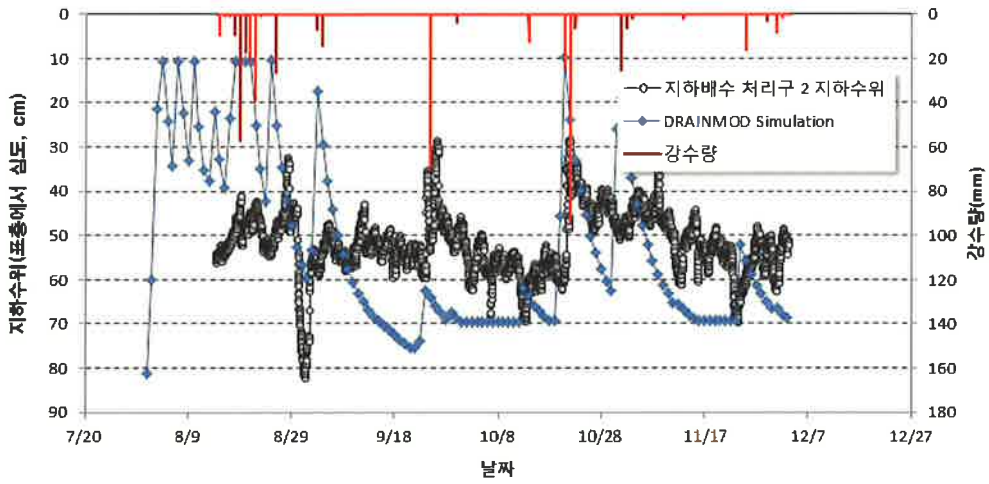
위에서 나타낸 입력자료 이외의 자료는 DRAINMOD에서 기본적으로 제공하는 입력값을 사용하였다. 향후 DRAINMOD를 농지범용화 사업의 설계 및 시뮬레이션 도구로 사용하기 위해서는 우리나라에 적합한 자료를 구축하고 검증절차를 거쳐서 활용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

(2) 시험포 해석결과

현재 시험포의 지하수위는 외부의 영향이 매우 크기 때문에 현재까지는 강우조건과 관계없이 암거 상부에 지하수위가 위치하고 있다. [그림 5.124, 125]에서 보듯이 안정화 단계 이후의 거동을 보면 DRAINMOD의 해석결과는 암거 매설위치에서 강우에 의해서만 변동하는 것으로 나타나지만 실제 계측결과는 이보다 매우 상부에서 변동하고 있다. 또한 향후 농지범용화 사업을 위한 모니터링 및 시뮬레이션을 위해서는 대상지구에 대한 장기간의 강우 및 증발산 데이터, 토양특성 데이터를 축적하여 시뮬레이션을 수행할 필요가 있다.



[그림 5.124] 구역 1의 지하수위 DRAINMOD Simulation 결과



[그림 5.125] 구역 2의 지하수위 DRAINMOD Simulation 결과

5.7 증수효과 분석

5.7.1 시험포 하계작물식재 및 관리

시험포에 파종한 작물은 콩나물용 콩(해품(밀양225호))이다. 과습한 조건에서는 검은뿌리썩음병이 발생할 수 있으므로 배수가 불량한 토양에서의 재배는 피해야 하는 품종이다. 개화기는 7월29일로 표준품종인 풍산나물콩보다 1일 빠른 종인데, 기상조건에 따른 시험포장의 지하배수암거 공사가 지연되는 관계로 7월22일에 파종하게 되었다.



(a) 파종(7월 22일)



(b) 발아(7월 31일)



(c) 우기(8월 중순)



(d) 개화(9월15일)



(e) 결실기(10월13일)



(f) 완숙기(11월20일)

[그림 5.126] 작물 생육 사진

5.7.2 증수량 분석

토양은 황갈색 사양질토양 위에 회색의 미사질식양토가 복토되었으며 복토두께가 20-60cm 범위로 일정치 않으며 유거수가 통과하는 필지로 상부로부터 지하로 수분이 유입되기 쉬운 지형이었다. 토양도상에는 규암통으로 되어 있으나 함창통과 규암통의 경계를 이루는 토양으로 판단되고 과거의 경지정라와 배수관 매설로 작토층의 토양이 균평이 잘 이루어지지 않았고 토층이 균일 하지 못하였다. 표토의 환원된 회색의 미사식양질 토양은 배수를 느리게 하여 발작물재배시 퇴비, 석회 등을 사용하여 구조를 개선하여야 배수효과를 높힐 수 있을 것이라고 판단된다.

<표 5.25> 콩 수량 및 수량구성요소

처리구	경장 (cm)	경직경 (mm)	분지수 (개)	협수	알수 (개/m ²)	100립중 (g)	수량 (kg/10a)	지수
무배수	54.0	2.95	2.2	37.5	2,855.4	8.56	244.4	100
배수(표면관수)	52.6	3.36	3.3	46.6	3,055.4	9.14	279.3	114
배수(지하관수)	55.8	3.48	3.3	47.3	3,072.2	9.07	278.7	114

콩의 생육은 완전하지 못하여 경장이 52.6-55.8cm 로 이 품종의 정상인 61cm 보다 덜 자랐고 협수가 이 품종의 68개 보다 20개 이상 적고, 100립중이 8.56-9.14g으로 정상생육시 10.4g보다 1.3-1.8g 정도 적어서 82-88%의 충실도를 나타내고 있다.

배수구는 무배수구 보다 경직경, 협수, 알수 및 100립중에서도 생육이 양호하여 전체적으로 수량을 14% 증수되었으나 수량이 해풍콩의 생산력 검정시험 수량인 390kg/10a의 62.7-71.6%에 머물렀다.



(a) 포장 전경

(b) 콩 생육 비교(배수(지하관개), 배수(표면관개), 무배수)

[그림 5.127] 증수량 분석



(a) 일반콩(좌측),
해품콩(콩나물용, 우측)



(b) 시험포 심토 사양질



(c) 지표배수가 안된 곳 생육
불량



(d) 배수가 잘된 곳 생육양호

[그림 5.128] 수확기 포장상태

5.7.3 동계작물의 모종이식 및 토양함수비 모니터링

이상에서와 같이 시험포에 대하여 농지범용화를 위한 설계 및 시공을 완료하고 작물(콩)을 재배하고 수확하였다. 현재 시험포에서는 동계작물을 재배하기 위한 준비 중에 있으며 콩의 수확 이후 적절한 작물을 선정하고 재배하기 위한 준비 중에 있다. 동계작물 선정 및 이식 후 모니터링을 위하여 토양함수비 센서를 추가 설치하였다. 추가로 설치된 토양함수비 센서는 시험포의 중앙부 구역 2에 위치하였고 효율적인 모니터링을 위하여 솔라판넬을 이용하여 전원을 공급하는 방식으로 설치하였으며 토양함수비의 측정심도는 구역 1., 구역 3과 동일한 심도에 설치하였다.

2015년 재배작물의 식재와 모니터링 이전에 동계작물에 대한 선정이 완료되면 선정된 작물의 식재 및 시험포에 대한 모니터링 작업을 수행할 계획이다.



[그림 5.129] 토양함수비 센서 튜브 삽입을 위한 오거작업



[그림 5.130] 합체 설치 및 토양함수비 센서 연결



[그림 5.131] 태양판넬 연결



[그림 5.132] 토양함수비 센서 설치 완료

범용농지조성 기반기술 개발(II)

Development of Technology for Multipurpose

Utilization of Paddy Field (II)

제6장 범용화 사업을 위한 제안

제6장 범용화 사업을 위한 제안

6.1 적정 지하수위

6.1.1 미국

미국에서는 양파 재배적지를 배수가 잘되는 사양질 토양으로 추천하고 있으며, 유기질토양에서 고품질 다수확을 위하여 설정한 채소작물의 주별 적정 깊이를 보면 대부분이 60-70cm에 분포하고 있었고 지역의 특성에 따라 달라 양파의 경우 적정 지하수위가 Florida주에서는 45-60cm, Indiana주에서는 75cm, England주에서는 설정되지 않았고 Minnesota주에서는 90cm로 가장 깊게 정하고 있어서 재배환경에 따라 다르게 적정 지하수위 깊이를 정하고 있음을 알 수 있었다.

<표 6.1> 유기질토에서 고품질 다수확을 위한 채소작물의 지하수위(cm)

작물	Florida Everglades ¹	Indiana 2	England 3	Minnesota 4
Beans, snap	45-60	-	-	45
Beets (red)	-	70	-	-
양배추	45-60	65	-	60
당근	-	65	-	60
Cauliflower	60	-	-	30
Celery	45	65	45-55	45
단 옥수수	60-70	75	-	60
Kale	-	-	60 +	-
Lettuce	75-90	-	-	75
양파	45-60	75	-	90
완두	45-60	-	-	-
감자	45-60	65	40-50	60
시금치	-	65	-	-
토마토	45-60	-	-	60
Escarole	60-75 5			-
Endive	60-75 5			-
무	35-40 5			45
Parsley	35-40 5			-

* Andriessse J.P. 1988, Snyder et al. 1978)

6.1.2 네덜란드

최근 네덜란드에서 연구된 지하수위별 작물의 수량지수를 보면 지하수 위 100cm에서의 수량을 100으로 정했을 때, 지하수위가 40cm에서 수량지수는 감자 46, 양파 63, 단옥수수 61, 당근 59로 양파가 가장 높고 감자가 가장 낮았다. 지하수위가 60cm 인 경우에 감자는 94, 당근은 93이었으나 양파는 109로서 지하수위 100cm보다 수량이 높았고 양파는 지하수위 80cm에서 수량지수가 113으로 최고 수량을 보였다.

<표 6.2> 지하수위에 따른 작물의 수량지수 차이

작물	년수	지하수위(cm)			
		40	60	80	100
감자	12	46	94	97	100
양파	11	63	109	113	100
단옥수수	4	61	100	92	100
당근	4	59	93	96	100
평균		63	98	100	100

* Wageningen U, 2010

유기질토양에서는 유효질소함량도 지하수위의 깊이에 따라 크게 영향을 받아서 네덜란드에서는 지하수위 50cm 에서는 질소시용효과가 나타나는데 지하수위가 더 깊은 곳에서는 질소를 주어도 효과가 없다. 미국에서도 깊은 지하수위에서는 질소시용효과가 없었는데 지하수위가 40cm로 얕은 토양에서는 10-67%의 증수를 보였으며, 양파의 질소시용효과는 지하수위 40cm에서 23% 증수되었으나 지하수위가 60cm 이상으로 깊어지면 증수효과는 3% 이하로 떨어졌다.

<표 6.3> 지하수위별 작물의 질소비료 시용효과

작 물	시험 년수	증수율(%)		
		지하수위 40 cm	지하수위 60 cm	지하수위 80 cm
옥수수	7	43	6	2
감자	4	67	9	4
양파	5	23	3	2
페이퍼민트	5	10	6	3

* Andriessse J.P. 1988, Snyder et al. 1978

토양의 공기 중의 최대 호흡과 절반호흡에 상당하는 산소농도는 작물에 따라 매우 차이가 있으며 산소의 높은 농도를 요하는 작물에 대하여는 배수 및 통기성 향상을 게을리 하면 작물수량은 나쁘게 된다.

우리나라의 기온이 최근 이상난동으로 인하여 작물들이 초기생육저하, 동해, 착과율저해 등 성장과 발육에 많은 영향을 주고 있어 관련연구의 필요성이 강조되고 있다. 특히 지구 온난화가 가속되면서 양파와 마늘과 같은 양념 채소류의 생육단계가 전반적으로 빠르게 이루어짐으로서 최종 수확물의 품질이 저하되는 경우가 있고 작물의 안정생산이나 농가의 소득에 직접적인 영향을 주고 있다.

6.1.3 우리나라

우리나라 농경지 토양의 물리성 개량 기준은 논토양에서 가비중을 표토는 1.2-1.25 이하로, 심토는 1.50이하로 부드럽게 만들고, 지하수위는 30cm 밑으로 낮추는 것이며 밭토양은 표토의 가비중을 1.30이하로, 심토는 토성에 따라 사양토 1.55, 양토 1.50, 식양토 1.40 이하로 낮추고 지하수위를 100cm 밑으로 내리는 것이다(<표 6.4>).

<표 6.4> 우리나라 농경지 토양 물리성 개량 기준

토지이용	지표		기준(토성)		
			사양토	양토	식양토
논	가비중(Mg/m ³)	0-20cm	<1.25	<1.20	<1.20
		20cm이상	<1.50		
	지하수위(cm)		>30		
밭	가비중(Mg/m ³)	0-20cm	<1.30		
		20cm이상	<1.55	1.50	<1.40
	지하수위(cm)		>100		

* 농촌진흥청, 2013

우리나라 논토양은 주요 특성에 따라 생산성이 높은 보통논, 모래함량이 많은 사질논, 배수 불량한 습논(고논), 토층의 환원이 덜 된 미숙논, 염분이 많은 간척지의 염해논과 유황함량이 높은 특이산성논 등 6개 유형으로 분류되며(<표 6.5>), 이 중에서 사질논은 오랜 기간에 걸친 객토사업을 통하여 상당히 점토함량이 평준화 되었으나 이제 관심을 끄는 대상은 배수 불량한 습논의 배수개선과 호우기에 침수나 토층의 수분포화상태 지속일수를 단축시킬 수 있는 배수개선과 기반 정비이다.

<표 6.5> 논토양의 유형별 분류 기준

구 분	논 토 양 유 형					
	보통논	사질논	습논	미숙논	염해논	특이산성논
토지생산력	높음	낮음	낮음	보통	매우낮음	매우낮음
지형	평탄 및 곡간지	평탄 및 곡간지	평탄저지 및 곡간저지	곡간 및 대지	하해혼성 평탄저지	하해혼성 평탄지
토양배수	약간불량 약간양호 (단 50cm 이상 회색화토양에 한함)	약간양호 약간불량	불량 매우불량(단 작토 20~50cm하부에 암회색이 나타나는 토야에 한함)	약간양호 (단 표토 50cm이상 회색화된 역질토 포함)	불량 매우불량	불량 매우불량 약간불량
토성	식질 식양질 미사식양질	사양질 미사사양질 사질	토성에 관계 없음	식질 식양질	식질을 제외한 토성	미사식양질 미사사양질
토색	회색 회갈색	회색 회갈색	암회색 청회색	회갈색 황갈색	회색 청회색	회색 청회색
토심(cm)	50 <	20 <	20~50	100 <	20~80	20~70
경사(%)	< 15	< 30	< 15	< 30	< 2	< 2
지하수(cm)	50 <	50 <	< 50	100 <	20~100	20~80
보수일수(일)	4~7	0.5~3.0	7 <	2~7	7 <	7 <
심토 석력 함량(%)	없거나 있음 < 35	없거나 많음 < 35	없음	없거나 많음 < 35	없음	없음
기타	-	감수심이 크고 양분 용탈 심함	습해 및 냉해 유발	지력이 낮음	염농도 16dS/m (25℃)	50cm이하에 황산염의 집적층

* 국립농업과학원, 2011

발 토양으로 1급지는 배수 양호 내지 약간 양호로 유효토심이 암석이나 경반층이 기층을 이룰 때는 100cm 이상, 모래나 석력층이 기층일 때는 50cm 이상의 토심을 갖고 경사 2% 미만인 토양이다(<표 6.6>).

<표 6.6> 밭토양 적성등급 구분 기준

구분	1 급 지	2 급 지	3 급 지	4 급 지
정의	① 밭으로서 생산력이 높음. ② 작물재배에 집약경영이 용이하며 토양관리에 제한을 받지 않음.	① 밭으로서 생산력이 보통임. ② 작물재배에 집약경영이 가능하나 토양관리에 다소 제한을 받음	① 밭으로서 생산력이 낮음 ② 작물재배지로 심한 제한을 받고 있어 특수관리 및 재배기술을 필요로 함.	① 밭으로서 생산력이 매우낮음. ② 작물재배지로 매우 심한 제한을 받고 있어 경제적 이용이 어려운 경우가 있음.
토양배수	양호, 약간양호,	약간불량	불량, 매우불량	-
토성	식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질	식질	사질	-
유효토심(cm) 암석층, 경반층	100 <	100~50	50~20	50~20
석력층, 모래층	50 <	50~25	25~10	25~10
표토의 식력 함량	없음~약간 있음	있음	있음	많음
표층의 암석 노출 (돌, 둥근 바위, 바위)	없음	없음	없음	없음
침식정도	없음~약간 있음	있음	있음	심함
경사(%)	< 2	2~7	7~15	15~30

* 국립농업과학원, 2011

지금까지 논에서 배수처리를 하지 않고 그대로 시설재배로 사용할 경우에 최적지는 사양토 내지 미사질양토, 평탄, 지하수위 100cm 이상의 하성평탄지로 추천하였는데(<표 6.7>), 하성평탄지에서 밭작물이 왕성하게 자라는 호우기에 지하수위가 1m 이상인 논토양의 경우는 흔하지 않을 것으로 판단된다.

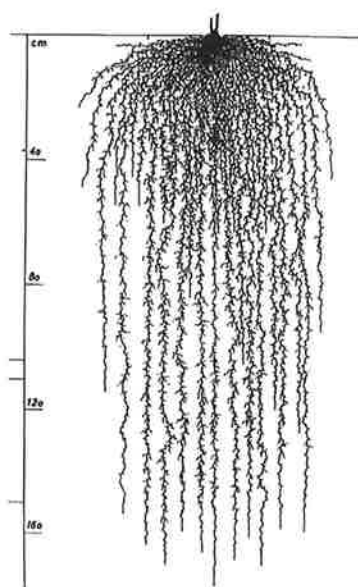
<표 6.7> 논토양의 시설재배적지 추천기준

구분	최적지	적합지	가능지	부적지
토성	사양토 미사질양토	양토, 식양토	모래(자갈)	식토
경사 (%)	평탄 0~2	매우약한 경사 2~7	약한 경사 7~15	경사 >15
물빠짐(투수)	좋음	보통	약간나쁨	나쁨, 매우나쁨
지하수위(cm)	매우깊음 >100	깊음 50~100	보통 20~50	높음 <20
지형	하성평탄지	하해혼성평탄지 대지, 완경사곡간지	좁고 경사진 곡간지, 신록경사	하성저지, 사구지

* 표준교본 84, 배수시설불요조건

가. 작물별 적지

작물마다 뿌리의 생육양상이 다르기 때문에 토지이용 즉 논이나 밭, 시설채소, 과수 등으로 크게 적성등급을 설정하였으나 같은 밭작물도 뿌리가 강하게 신장하는 일반 곡류와 단기간에 자라는 채소작물에 맞는 토양 특성은 차이점이 생기므로 이에 대한 검토가 필요하다.



[그림 6.1] 식물뿌리 발달

지하수위는 여러 가지 작물을 재배하는데 있어서 고려하여야 할 중요한 요인이다. 지하수위가 30-40cm에서도 잘 자라는 작물은 Blueberry, Cranberry, 무, Parsley 등이며 두류는 지하수위 50-60cm 가 요구되고 양파는 지하수위 60-75cm 가 요구된다(<표 6.8>).

<표 6.8> 작물별 제배에 필요한 지하수위

지하수위(cm)	30-40	40-50	50-60	60-75	75-90
적합작물	Blueberry Cranberry 무 Parsley	Celery 잔디 곡류	두류 감자 Cauliflower 양배추	양파 Beet 상치 Mint 옥수수 시금치	당근 Parsnip

* McDonald Revision M.R. 2010

또한 작물은 통기성과 관련하여 작물생육 적합한 입단크기 분포를 조사한 결과에 <표 6.9>에 의하면 전체적으로는 2-4mm 크기의 입단이 가장 빈도가 컸고 다음으로 1-2mm 이었다.

<표 6.9> 작물별 최적 입단 크기 분포

작 물	입단의 직경			
	<1mm	1~2mm	2~4mm	4~8mm
곡 류	2	7	6	-
사탕수수	-	-	1	1
사탕무우	1	-	-	-
수 수	-	3	5	3
콩	-	2	2	-
해바라기	1	1	1	-
토 마 토	-	2	3	-
목 화	1	1	1	1
전 체	5	16	19	5

* 조. 2001

토성, 입단과 함께 토양의 투수, 속도, 경도, 유효토심 등이 작물생육을 좌우하는 주요 물리적 요인이 된다. 우리나라 논토양의 주요 물리성 요인별 적정범위와 그 면적을 보면 점토함량은 18~35%가 적정범위인데 전체 논 면적의 47%가 이 범위에 속하고 44%는 점토함량이 부족하며, 9% 면적의 논이 점토함량이 35%이상인 논이다.

토양의 공기 중의 최대 호흡과 절반호흡에 상당하는 산소농도는 <표 6.10>과 같이 작물에 따라 매우 차이가 있으며 산소의 높은 농도를 요하는 작물에 대하여는 배수 및 통기성 향상을 게을리 하면 작물수량은 나쁘게 된다. (Waisel Y., Eshel A. & Kafkafi U. 1991, 조. 2001)

<표 6.10> 작물별 뿌리의 호흡에 영향을 미치는 산소농도

작물	COC (m ³ m ⁻³)	HRC
양파	0.10-0.50	0.04-0.11
완두	0.20	-
옥수수	0.05-0.16	-
	-	0.07-0.12
벼	0.1	0.02
	-	0.05-0.25
겨자	0.016-0.027	0.001
	0.20	0.005-0.10
목화	0.21	0.01
왜성 완두	0.15	0.02-0.04

* 임계농도(Critical Oxygen Concentration, COC),
호흡이 절반으로 감소되는 농도(Half Respiration Concentration, HRC)

토양의 경도는 뿌리의 신장과 발달을 좌우하며 작물에 따라 다르지만 대개 일반작물은 2.5MPa에서 장애가 심하게 되고 화분류나 목본류는 비교적 치밀한 토양에 견디는 힘이 강하다(<표 6.11>).

<표 6.11> 작물별 뿌리생육을 장애하는 토양경도

작물	토성	경도(MPa)	증상	시험방법	경도측정기
목화	Fine sand, sandy loam, fine sandy loam, loam	1.0-2.5	장애		
		2.5	정지		
	Sandy loam	6.0-7.0	정지	Pot	60°cone, 2.7-to 3.5-mm shaft
옥수수	Loam	5.0	50%	Pot	
	Sandy loam	0.9-1.6	50%	Pot	
겨울보리	Sandy clay loam	1.3-3.7	50%	Field	
수수	Clay-sand mixture	2.0	정지	Pot	6.0-mm-diameterprobe
귀리	silt(tilled)	3.6	정지	Field	60°cone, 11-mm diameter
	silt(untilled)	4.6-5.1	정지	Field	60°cone, 11-mm dia.
벼		0.3-0.5	75%	Green house	30°cone, 3.23-cm ² area
		2.5	47%	Field	30°cone, 3.23-cm ² area
완두	Silt loam	2.0	장애		60°probe, 3.8-mm dia.
	Clay	3.0	정지		

땅콩	Loamy sand	1.9	50%		
연초	Loam	2.5	50%		
토마토	Clay, silt, loam sandy loam	2.0-3.5	장애		
이탈리안 라이그라스	Clay, silt, loam sandy loam	2.0-3.5	장애		
라이그라스	Loam	8.0	80%		

* Waisel et al. 1991

식량과학원에서 논에서 윤환작물로 재배 적응성을 조사한 결과를 <표 6.12>에서 보면 윤환에 적합한 작물은 맥류, 콩, 상치, 파슬리, 오이, 가지, 토란, 양파, 당근, 이탈리안라이그라스, 피, 레드클로버로 밝혀졌으며 땅콩, 고구마, 시금치, 호박과 수박 등은 윤환전에 부적합한 작물로 밝혀졌다.

<표 6.12> 윤환전에 대한 작물 적응성

작물	적응성			작물	적응성		
	적합	보통	부적		적합	보통	부적
맥류	○			프린스벨론			○
콩	○			호박			○
팥		○		수박			○
땅콩			○	오이	○		
감자		○		가지	○		
고구마			○	토마토		○	
사탕무		○		토란	○		
옥수수		○		양파	○		
수수		○		당근	○		
시금치			○	이탈리안라이그라스	○		
양배추		○		피	○		
상치	○			테오신트		○	
배추		○		오차드그라스		○	
파슬리	○			레드클로버	○		

* 서종호. 2012.

* 작물과학원 2013

답전윤환지 619포장을 조사하여 토성별로 작황을 분석한 결과 사양토와 미사질양토의 작황을 100으로 하였을 때, 양토와 식양토는 92.9%의 작황지수를 얻었고 미사질식양토와 사토는 81.1%, 식토는 79.1%의 작황지수를 나타내었다(<표 6.13>).

<표 6.13> 토성과 답전유회환지의 작황지수 비교

토성	구분	작황별 포장수					작황지수
		매우양호(4)	양호(3)	보통(2)	불량(1)	계	
사양토, 미사질양토	최적지	57	262	59	3	381	100.0
양토, 식양토	적합지	14	99	41	5	159	92.9
미사질식양토, 사토	가능지	1	18	29	-	48	81.1
식토	부적지	-	14	14	3	31	79.1

* 정석재 등, 1993.

* 작황지수 = \sum 작황구분 x 포장수 / \sum 포장수

경사별로 답전유회환지의 작황을 분석한 결과는 0-2%를 100으로 하였을 때 2-7% 매우 약한 경사지는 90.5%, 7-15% 약한 경사지는 78.6%의 수량지수를 보였다(<표 6.14>).

<표 6.14> 경사별 답전유회환지의 작황비교

경사 (%)	구분	작황별 포장수					작황지수
		매우양호(4)	양호(3)	보통(2)	불량(1)	계	
0-2 (평탄지)	최적지	73	286	78	5	442	100.0
2-7 (매우 약한 경사)	적합지	3	107	61	3	174	90.5
7-15 (약한 경사)	가능지	-	1	2	-	3	78.6

* 농과원, 90-93

한편 지하수위별 유회환지의 작황지수를 보면 지하수위 100cm를 100으로 하여 지하수위가 50-100cm이면 작황지수는 88.9로, 지하수위가 20-50cm이면 작황지수는 65.9%로, 지하수위가 20cm이내에 있으면 작황지수는 50% 미만으로 감소되어 지하수위와 유회환지의 작물생육과는 가장 밀접한 관계를 보였다(<표 6.15>).

<표 6.15> 지하수위와 작황비교

지하수위(cm)	구분	작황별 포장수					작황지수
		매우양호(4)	양호(3)	보통(2)	불량(1)	계	
>100	최적지	70	240	57	-	367	100.0
50-100	적합지	5	156	72	2	235	88.9
20-50	가능지	-	3	7	3	13	65.9
<20	부적지	-	-	2	2	4	49.4

* 농과원, 90-93

지형별로는 하성평탄지의 작황지수를 100으로 하였을 때 하해혼성평탄지, 대지, 완경사 곡간지의 작황지수는 89.5%, 곡간지(C slop), 산록경사지의 작황지수는 85.9%, 하상저지, 사구지의 작황지수는 78.7%로 지형간의 차이는 다른 인자들 보다 크지 않았다(<표 6.16>).

<표 6.16> 지형과 답전유회지의 작황지수 비교

지형	구분	작황별 포장수					작황지수
		매우양호(4)	양호(3)	보통(2)	불량(1)	계	
하성평탄지	최적지	70	278	62	4	414	100.0
하해혼성평탄지, 대지, 완경사 곡간지	적합지	3	29	19	-	51	89.5
곡간C, 산록경사지	가능지	1	76	49	4	129	85.9
하상저지, 사구지	부적지	-	9	16	-	25	78.7

* 농과원. 90-93

6.2 사업대상지

조와 김은 논과 밭의 특성을 기준으로 농경지 이용 최대화를 모색하여 논인 경우 1,163천ha 중 실제 벼 재배면적은 1,078ha인데 이중에서 이모작이 곤란한 배수불량답 180천ha를 제외한 898천ha에서 이모작이 가능하다고 보고하였다(조인상, 김이열. 1999).

농경지 면적 : 1,924천ha('97)						
논 1,163천ha				밭 761천ha		
과수 기타	시설 면적 (채소)	벼 재배가능 면적 (1,078천ha)		과수 기타	시설 면적 (채소)	밭작물 재배가능 면적 (456천ha)
		배수불량답	맥류, 감자, 마늘, 양파 재배 가능 면적 (898천ha)			
과수 3 기타 32	50	(180천ha)	(충남이남 693, 이북 205)	과수 170 기타 93	42	맥류, 콩, 옥수수, 서류 필수채소 재배가능면적 (456천ha)
85천ha				305천ha		(충남이남 309, 이북 147)

[그림 6.2] 농경지이용 모식도 (조인상, 김이열. 1999)

논은 벼를 재배하기 위한 농지임으로 담수가 필수적임으로 골짜기에 위치한 논토양일지라도 필지 내는 담수를 해야 하기 때문에 평평하게 조성되었다. 그러나 논필지가 여러 개로 연계되어 이루어진 집단화된 논지역의 전체 경사도는 토양의 투수력에 큰 영향을 주기 때문에 범용화 대상지 선정 시 고려하여야 한다. 경사가 있는 지역의 논은 계단식으로 조성되어야 함으로 우리나라 계곡에 조성된 논들은 경사가 급할수록 필지규모가 적은 다락 논으로 조성되었다.

경사지의 논에서 아래논과 윗 논의 위치가 가지는 특성 때문에 수두차가 생기기 때문에 같은 토성을 가진 토양이라 할지라도 다락논은 평야지논에 비하여 물 빠짐이 좋다. 또 평탄지와 경사지는 지하수위의 높이도 다르다. 이러한 지역특성 때문에 경사의 유무는 범용화에 중요한 기준이 된다(박무언, 조인상, 이춘수, 2013).

평탄지의 경우 호우기에 하천수위가 상승하고 상부로부터 유거수가 내려오므로 침수에 유의해야하며 배수양호한 지역은 사양질과 사질, 배수 약간불량한 사질에서는 배수로나 진입로 등으로 발작물재배가 가능하고, 배수 약간양호한 미사사양질보다 세립질토양, 사양질~식양질토양과 배수 불량한 미사사양질~사질토양은 암거시설과 기반정비가 필요하고 그 외 토양은 암거배수시설과 인공펌프로 배수시켜야 호우기에 발작물을 안전하게 재배할 수 있다고 판단된다.

배수약간불량한 사질토양과 배수 약간양호한 사질과 사양질에서는 보수력이 낮으므로 습해의 우려가 적고 토양수분을 작물에 적습조건으로 유지시켜 배수로만 정비된다면 발작물의 연중재배가 가능하다. 그러나 배수 약간양호한 지역에서 미사사양질보다 세립질이면 호우기에 논 표면에 물이 정체되어 발작물이 자라는데 저해를 받게 되므로 배수시설이 꼭 필요하다. 또한 배수약간불량한 사양질 내지 식양질토양과 배수 불량한 사양질내지 사질토양도 어느 정도 투수성이 빠르므로 배수관 설치로 범용화가 가능하고, 나머지 식질이며 배수불량한 토양들에서는 투수성이 아주 느리고 함수율이 아주 높아 호우기에 배수관을 설치하더라도 호우기에 근권에서 용이하게 과잉수를 제거하기가 매우 어려우므로 배수로의 물을 인공적으로 양수할 필요한 경우가 생길 것으로 판단된다.

특히, 호우기에는 수위가 상승하여 쉽게 빠지지 않는 곳은 안전하게 답전윤환을 하기가 어려우므로 지역 선택시 하상과 배수로의 환경을 잘 파

악하여야 할 것이다. 평탄지에서의 토성과 배수등급사이의 범용화기준은 [그림 6.3]과 같다.

구분		배수등급			
		약간 양호	약간 불량	불량	매우 불량
토성	사질	1	1	2	3
	사양질	1	2	3	3
	미사사양질	2	3	3	3
	식양질	2	3	3	3
	미사식양질	2	3	3	3
	식질	2	3	3	3
1	1. 명거배수 : 배수로, 진입로				
2	2. 간이배수시설 : 암거(자연배수), 기반정비 * 간이배수 : 지하암거배수시설 필요				
3	3. 집약배수시설 : 집약암거(인공배수), 기반정비 * 집약배수 : 지표배수시설 및 지하암거배수시설 필요				

[그림 6.3] 평탄지(경사 0~2%)에서 토성과 배수등급별의 배수시설 기준

(박무언, 조인상, 이춘수. 2013)

한편 경사도 0-2% 범위의 평탄지에 분포된 배수등급과 토성별 면적은 다음과 같이 토성으로는 사양질과 미사식양질, 미사사양질 토양순으로 많으며 배수등급별로는 약간양호가 210,817ha로 절반이상을 차지하며 다음으로 약간 양호한 토양이 많았다.

<표 6.17> 논토양 A경사(0~2%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위:ha)

구분	매우양호	양호	약간양호	약간불량	불량	매우불량	계
사력질	1,843	-	15,879	-	-	3,979	21,701
사질	158	-	7,180	-	-	6,334	13,673
사양질	2,948	606	44,929	50,913	5,010	17,414	121,820
미사사양질	-	-	47	45,229	-	17,739	63,015
식양질	-	48	7,597	19,760	1,627	4,374	33,406
미사식양질	-	15	15,659	71,620	9,496	17,446	114,236
식질	-	-	10,557	23,286	7,021	4,244	45,108
계	4,949	670	101,848	210,807	23,154	71,529	412,958

* 자료산출방법 : 정밀토양조사 면적을 농림축산식품통계연보(p. 42~43, 경지면적, 2013)의 통계면적에 논, 밭별 분포비율을 곱하여 산출


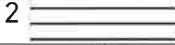

평야지와 산간지는 여러모로 입지환경이 다르기 때문에 같은 기술이라

도 적용 세부기술은 달라야 한다. 따라서 동일한 기술도 지역특성이나 생산하고자하는 작물의 작부체계에 따라 보완·적용되어야 지역환경에 맞는다. 평야지와 산간지의 작물재배환경 특성을 요약하면 <표 6.18>과 같다.

<표 6.18> 평야지와 산간지의 특징

구 분	평 야 지	산 간 지
경사	0-2%이하	2%이상
토성	세립질 토양이 많음	조립질 토양이 많음
배수정도	불량토양이 많음	불량토양이 적음
작물재배	벼재배 중심	밭 작물 중심
수해 및 습해 위험성	높음(범람, 홍수, 침수, 습해)	낮음
풍해 위험성	높음	낮음
침식 위험성	낮음	높음
병해충의 발생·확산	용이(대면적 피해)	지연 또는 차단(소면적 피해)
규모화 가능성	용이	어려움
접근성	편리	어려움

토지의 경사가 2%이상 경사진 곳에서는 배수가 잘되므로 범용화가 평탄지보다 용이하며, 배수 약간양호한 미사사양질~사질토양, 배수약간불량한사양질~사질토양과 배수 불량한 사질토양은 배수로나 진입로 등 기반정비로 밭 전환이 가능하며, 배수 약간양호한 식양질~식질토양, 배수 약간불량한 미사사양질~식질토양과 배수 불량한 사양질~식양질토양은 배수시설로 발전환이 가능할 것이고 나머지 토양은 집약배수 시설이 필요하다. 즉 약한 경사지에서는 호우기에 배수가 훨씬 용이하여 배수가 불량하더라도 사질토양은 유거수를 잘 배수시킨다면 천근성 작물의 생육은 생육에 큰 문제가 생기지 않을 것으로 생각되며 배수 약간불량한 사질이나 사양질은 작물에 따라 1급지에 해당할 수도 있으며 배수약간양호지역에서는 미사사양질까지는 그대로 밭작물재배에 이용될 수 있다(박무언, 조인상, 이춘수. 2013).

구분		배수등급			
		약간 양호	약간불량	불량	매우 불량
토성	사질	1	1	1	3
	사양질			2	
	미사사양질			2	
	식양질	2	2		
	미사식양질	2	3		
	식질	3	3		
1		1. 명거배수:배수로, 진입로			
2		2. 간이배수시설 : 간이암거(자연배수), 기반정비			
3		3. 집약배수시설 : 집약암거(인공배수), 기반정비			

[그림 6.4] 매우약한 경사지(경사 2~7%)에서 토성과 배수등급별 배수시설 기준
(박무연, 조인상, 이춘수, 2013)

배수 약간양호한 경우 식양질 이상으로 세립질이면 호우기에 지표와 토층에 물이 정체되므로 그대로는 안전하게 발작물을 재배하기가 어려워져 반드시 지하에 암거시설을 하여 지하수위가 근권 이상으로 올라오지 못하게 배수시켜야 할 것이다. 배수 약간불량한 경우 미사사양질 보다 세립질 토양과 배수 불량한 식양질 내지 사양질 토양도 배수시설로 경사에 의하여 쉽게 배수될 것으로 판단되나 미사식양질로 배수불량한 경우는 쉽게 배수되지 않는 곳이 있을 것이므로 지역선정에 유의해야 할 것이다.

따라서 범용화농지조성은 우선 간이배수시설, 즉 호우기에 배수관을 통하여 자유로이 낮은 곳으로 유거수가 원활히 배수되는 곳을 우선하여 사업대상지를 선정하여야 사업의 효과와 안전성을 확보할 수 있을 것이다.

한편 논토양 중에서 경사 2~7% 범위에 있는 토양을 배수등급과 토성으로 분류하여 계산된 면적을 보면 식양질토양이 201,681ha로 약 60%를 차지하고 다음으로 사양질이 90,619ha로 많았으며 배수등급별로는 약간불량한 토양이 177,657ha로 가장 많았고 다음으로는 배수약간양호한 논 138,406ha이었고 배수불량과 매우불량은 각각 1,525ha과 34,937ha로 매우 불량한 토양도 많이 있었다.

<표 6.19> 논토양 B경사(2~7%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위 : ha)

구분	매우양호	양호	약간양호	약간불량	불량	매우불량	계
역질	-	3	-	-	-	-	3
사력질	4,073	-	2,302	-	-	-	6,375
사질	13	-	-	-	-	4	17
사양질	-	262	31,213	41,427	-	17,718	90,619
미사사양질	-	-	-	-	-	-	-
식양질	-	200	72,598	110,223	1,525	17,134	201,681
미사식양질	-	2	6,045	25,954	-	81	32,082
식질	-	142	26,248	53	-	-	26,443
계	4,086	609	138,406	177,657	1,525	34,937	357,218

* 자료산출방법 : 정밀토양조사 면적을 농림축산식품통계연보 (p. 42~43, 경지면적, 2013)의 통계면적에 논, 밭별 분포비율을 곱하여 산출

이러한 논면적 분포를 가지고 논토양배수시설 기준에 따라 면적을 계산하여 본 결과 평탄지(경사 2% 이하)에서는 아무 시설 없이 언제나 답전윤환이 가능한 면적이 73,606ha이고 간이배수시설이 필요한 곳은 154,772ha, 집약배수시설은 184,580ha에서 필요한 것으로 계산되었으며, 경사 2~7%의 약한 경사지에서는 총 357,220ha 중에 윤환가능지가 79,637ha로 대부분이고 간이배수 242,593ha, 집약배수 34,990ha로 밝혀졌다. 이와 같이 7%이하 경사지 논에서 밭작물을 안전하게 재배하려면 간이배수 397,365ha와 집약배수시설 219,570ha, 즉 616,935ha를 배수개선목표로 삼아야 할 것이다.

<표 6.20> 밭작물 안전재배를 위하여 배수시설 필요에 따른 논 면적 (단위 : ha)

구분	경사(%)	윤환가능지	간이배수시설	집약배수시설	계
논	0-2	73,606	154,772	184,580	412,958
	2-7	79,637	242,593	34,990	357,220
	계	153,243	397,365	219,570	770,178

밭작물의 안전재배를 하기위하여 논토양에서 배수시설을 하는데 그러면 기존 밭토양은 호우시 습해에서 완전할 수 있을까 생각한 결과 지금까지 주곡작물 위주로 한 영농에서는 호우시 침수해를 어느정도 감수해 왔지만 고소득 원예작물재배나 농작업의 편리성을 위해서는 기존 밭토양에서도 배수를 포함하는 기반정비가 필요하여 우선 논토양에 적용하는 배수등급과 토성과 토지의 경사도를 기준으로 한 분류체제로 대상 면적을 구하였다.

평탄지 밭토양 50,660ha중에도 배수가 불량한 토양이 3,700ha가 되며 약간불량한 토양이 2,957ha이며, 토성별로는 사양토가 26천ha로 많으나 미사식양질이 3,516ha가 있어서 되어 배수가 필요하였다.

<표 6.21> 밭토양 A경사(0~2%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위 : ha)

구분	매우양호	양호	약간양호	약간불량	불량	매우불량	계
사력질	5,421	-	744	-	-	87	6,252
사질	6,741	-	1,190	-	-	70	8,001
사양질	203	20,739	3,852	1,067	57	176	26,094
미사사양질	-	294	906	788	-	2,927	4,915
식양질	-	1,254	127	188	6	26	1,601
미사식양질	-	1,694	773	787	67	195	3,516
식질	-	24	41	127	82	7	281
계	12,365	24,005	7,633	2,957	212	3,488	50,660

* 자료산출방법 : 정밀토양조사 면적을 농림축산식품통계연보(p. 42~43, 경지면적, 2013)의 통계면적에
는, 밭별 분포비율을 곱하여 산출

한편 경사가 2~7%인 밭토양 167,497ha 중에도 배수불량지가 500ha을 넘고 토성이 식양질이상으로 세립질이 100천ha 이상을 차지하여 배수문제가 일어 날 수 있다고 판단된다.

<표 6.22> 밭토양 B경사(2~7%)의 토성별 배수등급별 분포면적 (단위 : ha)

구분	매우양호	양호	약간양호	약간불량	불량	매우불량	계
역질	-	2,289	-	-	-	-	2,289
사력질	488	-	299	-	-	-	787
사질	1,934	-	-	-	-	1	1,935
사양질	-	45,088	9,437	2,155	-	321	57,001
미사사양질	-	3,683	-	-	-	-	3,683
식양질	204	52,934	9,762	4,827	2	179	67,908
미사식양질	236	8,819	4,603	777	-	0	14,435
식질	-	14,175	2,206	3,078	-	-	19,459
계	2,863	126,988	26,307	10,838	2	500	167,497

* 자료산출방법 : 정밀토양조사 면적을 농림축산식품통계연보
(p. 42~43, 경지면적, 2013)의 통계면적에 는, 밭 별 분포비율을 곱하여 산출

밭작물 안전재해를 위한 배수시설기준에 따라 밭에서의 배수시설이 요구되는 면적을 계산한 결과 경사도 2%미만의 밭토양 50,660ha 중에서 3,497ha가 간이배수시설이 요구되고 4,557ha는 집약배수시설이 필요한 것으로 밝혀졌다. 경사 2~7%의 밭은 총 167,497ha인데 간이배수는

22,177ha, 집약배수시설은 3,579ha에서 요구되어 발판개는 총 34,260ha가 필요하였다. 논과 밭을 합친 배수개선 대상면적은 간이배수가 423,489ha, 집약배수가 227,706ha로 총 651,195ha로 추산되었다.

<표 6.23> 발작물 안전제배를 위하여 배수시설 필요에 따른 농경지 면적 (단위 : ha)

구분	경사(%)	유회가능지	간이배수시설	집약배수시설	계
논	0-2	73,606	154,772	184,580	412,958
	2-7	79,637	242,593	34,990	357,220
	계	153,243	397,365	219,570	770,178
밭	0-2	42,156	3,947	4,557	50,660
	2-7	141,741	22,177	3,579	167,497
	계	183,897	26,124	8,136	218,157
총계		337,140	423,489	227,706	988,335

지금 파악된 면적은 경사와 배수등급과 토성을 고려하여 우리나라 호우기에도 습해를 받지 않고 농기계작업도 개선할 수 있는 이상적인 토양관리를 위하여 필요하지만 배수시설은 적정규모와 농민들의 호응 등 여러 가지 요인에 따라 정해지므로 우리나라의 경제발전이나 농민들에게 지속 농업을 위한 영농에 편리한 방향으로 목표는 더욱 높게 잡아야 할 것이다.

6.3 설계기준 검토사항

6.3.1 개요

지금까지 농지범용화를 위한 설계기법과 설계에 필요한 설계인자에 대하여 고찰하고 시험포의 시공 및 모니터링결과를 제시하였다. 그리고 향후 필요할 시뮬레이션 도구로 DRAINMOD를 제안하였다. 본 장에서는 지금까지의 고찰 및 현장시공 과정에서 도출된 문제점 중에서 향후 농지범용화 설계 및 시공과정에 고려가 필요할 것으로 판단된 부분들에 대하여 다루고자 한다. 지하배수 및 지하관개에 대하여 제시된 많은 연구결과 및 지침들이 있으나 실제 현장 조사 및 실험과 설계, 시공과정에서는 이러한 문헌들과 다른 부분 및 적용상의 모호한 부분들이 항상 문제점으로 나타날 수 있다. 연구기간 및 모니터링 기간이 짧고 시험포 설계 및 시공 범위가 제한적일 수 있으나 향후 조사·실험 및 설계, 시공과정에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

6.3.2 여과재(Filter envelope)

여과재는 「배수편」 암거를 덮는 투수성이 양호한 재료로 피복재를 다음과 같이 여과재와 소수재로 나누어 언급하고 있다.

○ 여과재(Filter)

흡수거 내로 토사가 유입하는 것을 막기 위하여 관 둘레를 피복하는 필터이며, 화섬여과재(Synthetic fibre filter), 왕겨, 모래와 자갈 및 벧짚, 갈대, 싼 등이 있다.

○ 소수재(Improver)

토층 중의 물이 필터를 거쳐 흡수관에 유입되는 것을 가일층 촉진시키기 위해 흡수거 상부나 최소한 두께 20cm 이상으로 충전하는 피복재로 물길을 터서 흡수부분을 크게하는 투수성 재료이다.

여과재의 주목적은 관 내로의 토사유입을 막는 것이지만 어떠한 조건에서 사용해야 하는지에 대한 제시는 없다. 따라서 모든 토양조건에 대해서 사용할 것인지 혹은 특별한 경우에 한하여 사용할 것인지를 판단하는 것은 시공 비용 및 시공 기간에 영향을 미치게 된다. 또한 토목섬유 여과재는 토양의 특성에 맞지 않게 사용하여 막힘현상(Clogging)이 발생하면 흡수거의 기능을 상실하게 될 수도 있으므로 주의가 요구되지만 적절한 선택 및 검토에 대해 참조할 만한 자료는 「배수편」에서 제시되지 않고 있다. 본 절에서는 토목섬유 여과재에 대하여 고찰한다.

가. 여과재의 사용여부

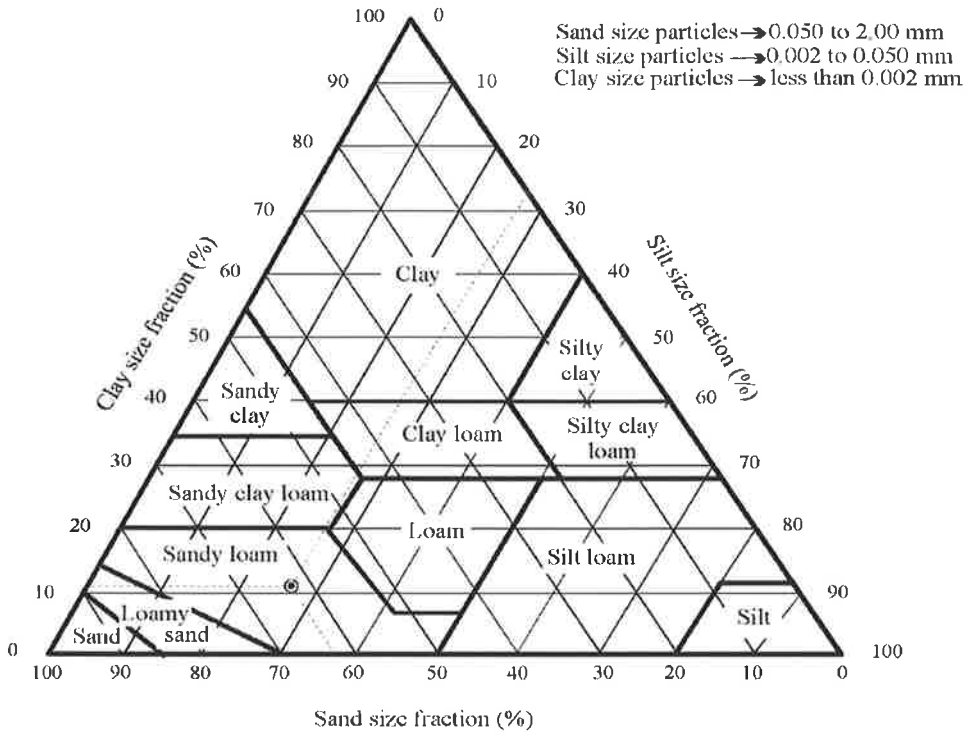
암거 내로 토사가 유입되면 관내의 물의 흐름을 방해하고, 토양의 유실을 발생시키므로 여과재를 사용하게 되지만 모든 경우에 대하여 사용할 필요가 있는지는 검토할 필요가 있다. 해외의 연구자 중에서는 경험적으로 현장 투수시험을 위해 오거홀을 천공했을 때 오거홀이 쉽게 무너지면 향후 암거를 설치할 때 여과재가 필요하다고 언급하기도 한다. 그러나 여과재의 필요성 여부는 토양의 물리·적 특성과 배수되는 물의 화학적 특성에 관계되는 것으로 알려져 있다. 여기에서는 주로 토양의 물리·화학적 특성을 다룬다.

토양은 일반적으로 입자의 크기의 분포에 따라 분류된다. [그림 6.5]는 일반적인 삼각 구분도이다. 이는 토양을 구성하는 점토(<μm), 실트(2-50 μm) 및 모래(50-100μm)의 중량비로 구분하는 방법이다.

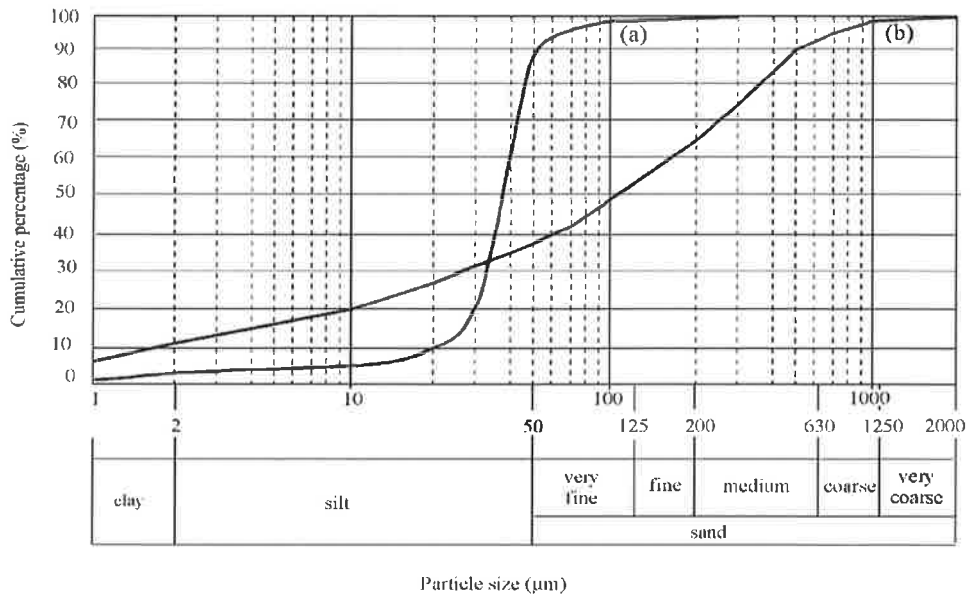
입자의 크기에 의한 구분은 다음과 같이 입경에 따른 누적통과 중량을 나타내는 입도분포곡선(cumulative particle size distribution curve)으로 나타내기도 한다.

입도분포곡선은 흙입자의 크기와 관련하여 많은 정보를 가진다. 균등계수(Coefficient of uniformity, C_u)는 입도의 분포가 균등한지(a), 분포가 양호한지(b)를 나타내는 계수이다.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (6-1)$$



[그림 6.5] 토양의 입경에 따른 구분



[그림 6.6] 토양의 입도분포곡선(예)

d_{60} 은 60% 통과중량에 해당하는 입경, d_{10} 은 10% 통과중량에 해당하는 입경을 말한다.

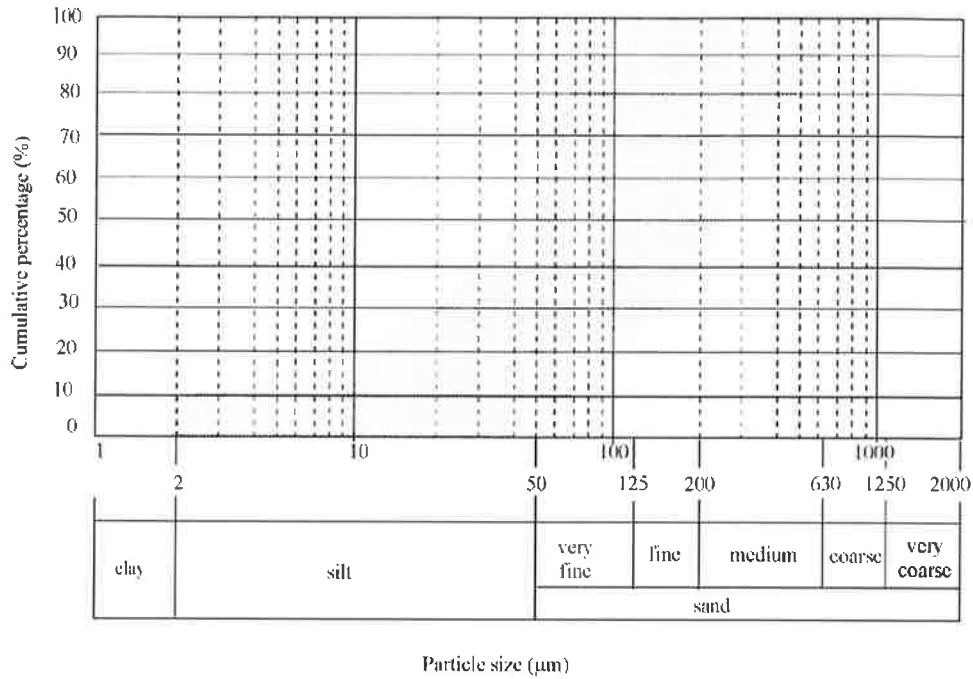
많은 지역에서 여과재의 필요성 여부를 점토의 함량을 기준으로 제시하기도 한다. Quebec에서는 점토함량이 최소 20%(CPVQ, 1989), Netherland에서는 최소 25%(Van Zeijts, 1992), Egypt와 India에서는 최소 30%(Abdel-Dayem, 1992)이상이면 여과재는 필요가 없는 것으로 제시하고 있다.

점성이 없는 세립의 모래질 흙에서는 여과재가 필요한 것으로 알려져 있으나, Quebec(CPVQ, 1989)에서는 암거 관벽의 천공 걱정이 $2d_{85}$ (중량 85% 통과 입경)보다 작으면 여과재는 필요 없다. 비슷한 경우로 $0.5d_{85}$ 에서 $2.0d_{85}$ 까지 사용되기도 한다. 하지만 되도록 모래질 흙에 있어서는 되도록 여과재를 사용하는 것이 좋다. 그리고 d_{50} 값이 사용되기도 하는데 d_{50} 이 50-150 μm 이면 침식에 약하면 되도록 여과재를 사용하는 것이 좋다 (Dierickx and Leyman, 1991).

Olbertz and Press(1965)는 침식에 민감한 정도에 대한 균등계수의 범위를 다음과 같이 제시하였다.

- $1 < C_u < 5$: very uniform and very sensitive to erosion
- $5 \leq C_u \leq 15$: moderately uniform and sensitive to erosion
- $C_u > 15$: no danger of erosion

Stuyt(1982), Veldhuijzen van Zanten(1983)은 다음과 같이 암거 내부의 막힘을 일으킬 수 있는 입도분포의 범위를 [그림 6.7]과 같이 제시하였다.



[그림 6.7] 암거 내에 막힘을 유발할 수 있는 토양의 입도분포의 범위

나. 여과재의 기준

자갈 등의 천연재료를 사용하는 경우 “filter”의 기준으로 제시된 사례들을 적용할 수 있다. 이는 여과재의 입도분포와 토양의 입도분포를 비교하여 자갈 여과재의 적정성을 검토하는 방식이다.

(1) 여과재의 입도기준

여과재가 필터로서 기능을 하기 위한 입도분포의 기준으로 Stuyt and Wilardson (1999)은 다음과 같은 기준을 제시하였다.

$$\frac{D_{15}(\text{filter})}{D_{15}(\text{soil})} \geq 5$$

$$\frac{D_{15}(\text{filter})}{D_{85}(\text{soil})} \leq 5$$

$$\frac{D_{85(\text{filter})}}{\text{Maximum size opening of the pipe}} \geq 2$$

Terzaghi는 위 두 식에서 각각 4의 기준을 제시한 바 있고 ASAE에서는 각각 4와 7을 제시하였다.

그리고 Soil Conservation Service(1988)에서는 여과재로서 다음과 같은 기준을 제시하였다. 위의 두 기준은 세립질의 재료가 과하게 포함되는 것을 방지하기 위한 기준이다.

- $D_{100(\text{filter})} \leq 38\text{mm}$
- $D_{30(\text{filter})} \geq 250\mu\text{m}$
- $D_{5(\text{filter})} \geq 75\mu\text{m}$
- $D_{15(\text{filter})} < 7D_{85(\text{Soil})}$ but $D_{15(\text{filter})} \geq 0.6\text{mm}$
- $D_{15(\text{filter})} > 4D_{15(\text{Soil})}$

그리고 USBR(1978, 1993)에서는 흙과 여과재의 입도분포의 관계를 다음과 같이 제시하였다.

<표 6.24> 흙과 여과재의 입도분포 관계(USBR, 1978, 1993)

Soil, 60% passing (mm)	여과재의 입도한계(mm)											
	Percentage passing 하한						Percentage passing 상한					
	100	60	30	10	5	0	100	60	30	10	5	0
0.02-0.05	9.52	2.0	0.81	0.33	0.3	0.074	38.1	10.0	8.7	2.5	-	0.59
0.05-0.10	9.52	3.0	1.07	0.38	0.3	0.074	38.1	12.0	10.4	3.0	-	0.59
0.10-0.25	9.52	4.0	1.30	0.40	0.3	0.074	38.1	15.0	13.1	3.8	-	0.59
0.25-1.00	9.52	5.0	1.45	0.42	0.3	0.074	38.1	20.0	17.3	5.0	-	0.59


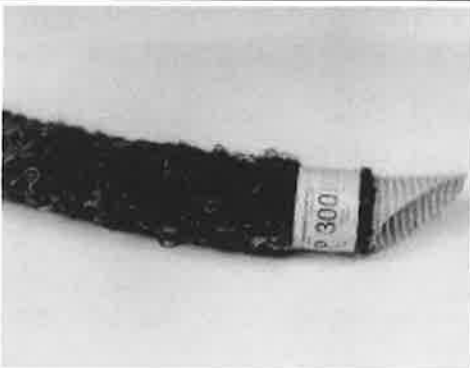


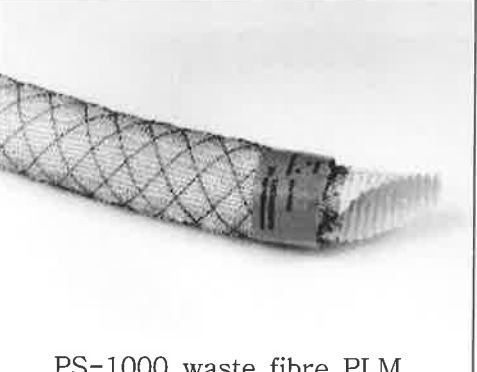
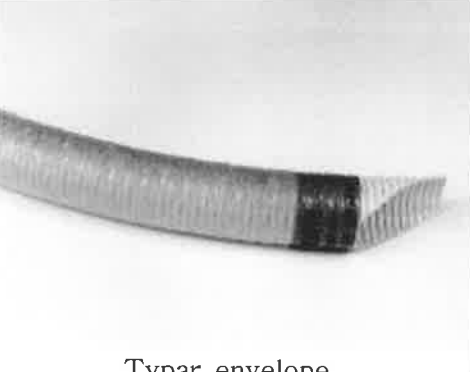
(2) 여과재의 opening size 기준

여과재로는 천연 혹은 합성 섬유 등의 토목섬유가 사용되기도 한다. 이때 중요한 것은 섬유가 흙으로 막히는 clogging이다. 이때 사용되는 토목섬유의 특성이 O_{90} 이다. 이는 섬유를 통과하는 부분의 간극의 90%가 이 값보다 크기가 작다는 것을 의미한다. 이에 대하여 많은 기준들이 제시되고 있으나 PLMs 토목섬유에 대하여 종합하여 정리하면 다음과 같다.

- $1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 2.5$ for envelope thickness $\leq 1\text{mm}$
- $1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 3.0$ for envelope thickness between 1 and 3mm
- $1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 4.0$ for envelope thickness between 3 and 5mm
- $1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 5.0$ for envelope thickness $\geq 5\text{mm}$
- $O_{90} \geq 200\mu\text{m}$

clogging을 방지하기 위해서는 O_{90}/d_{90} 는 최소 1 이상이어야 하며, 각 기준에서 상한값을 되도록 사용하는 것이 좋다.

※참고 : Prewrapped Loose Materials(PLMs)

	
Coconut fibre PLM envelope	PP-300 waste fibre PLM
	
PP-450 waste fibre PLM	PP-700 waste fibre PLM
	
PS-1000 waste fibre PLM	Typar envelope

6.3.3 투수계수

앞장 설계인자 분석에서 소개한 가장 일반적인 투수수계수 실험법 외에도 적용할 수 있는 실내·외 투수시험법을 소개한다. 투수계수는 설계에 민감한 부분이며 최대한 현장의 대푯값을 선정할 필요가 있다.

(1) 실내실험

(가) 변수두 투수실험법(2)

일반적으로 이용되는 변수두 투수실험법과는 달리 유입부와 유출부의 수두가 모두 변화한다. 투수계수의 유도식은 변수두 투수실험법과 유사하다. [그림 6.8]과 같은 장치에서 유입부의 수두를 h_{HW} , 유출부의 수두를 h_{TW} 라 하면,

$$Q = -K \cdot i \cdot A = -K \cdot A \cdot \frac{h_{HW} - h_{TW}}{L} = -K \cdot A \cdot \frac{H}{L} \quad (6-2)$$

또한, 통과한 유량은

$$Q = a_{HW} \cdot v_{HW} = a_{HW} \cdot \frac{dh_{HW}}{dt} \quad (6-3)$$

또는

$$Q = a_{TW} \cdot v_{TW} = a_{TW} \cdot -\frac{dh_{TW}}{dt} \quad (6-4)$$

따라서,

$$\frac{Q}{a_{HW}} = -\frac{K \cdot A}{a_{HW}} = \frac{dh_{TW}}{dt} \quad (6-5)$$

$$\frac{Q}{a_{TW}} = -\frac{K_i A}{a_{TW}} = -\frac{dh_{TW}}{dt} \quad (6-6)$$

이때, 동수경사는 $h_{HW} - h_{TW}$ 의 함수이므로 위의 두 식중 한식을 이용해서는 투수계수를 유도할 수 없다. 위의 두 식을 합하면

$$\left(\frac{1}{a_{HW}} + \frac{1}{a_{TW}} \right) \times Q = \frac{dh_{HW}}{dt} - \frac{dh_{TW}}{dt} \quad (6-7)$$

식을 다시 표현하면,

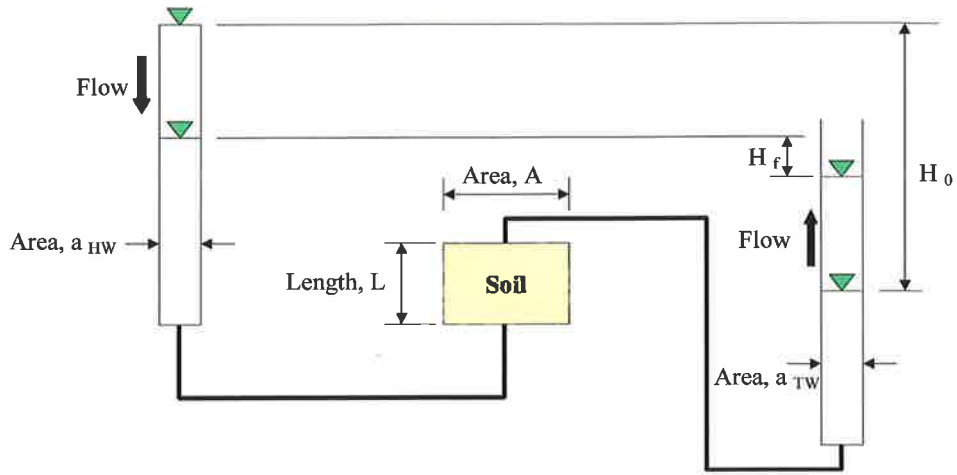
$$\begin{aligned} -K_i A \times \left(\frac{1}{a_{HW}} + \frac{1}{a_{TW}} \right) &= \frac{dh_{HW}}{dt} - \frac{dh_{TW}}{dt} \\ -K \cdot A \cdot \frac{(h_{HW} - h_{TW})}{L} &= \frac{a_{HW} \times a_{TW}}{a_{HW} + a_{TW}} \cdot \frac{d(h_{HW} - h_{TW})}{dt} = \\ K dt &= -\frac{a_{HW} \times a_{TW}}{a_{HW} + a_{TW}} \times \frac{L}{A} \times \frac{d(h_{HW} - h_{TW})}{(h_{HW} - h_{TW})} \end{aligned} \quad (6-8)$$

이때, $H = h_{HW} - h_{TW}$ 이고 양변을 적분하면,

$$\int_{t_0}^{t_f} K dt = -\left[\frac{(a_{HW} \times a_{TW}) \times L}{(a_{HW} + a_{TW}) \times A} \right] \times \int_{H_0}^{H_f} \frac{dH}{H} \quad (6-9)$$

따라서, 투수계수의 계산은 다음의 식과 같다.

$$K = \frac{a_{HW} \times a_{TW}}{a_{HW} + a_{TW}} \times \frac{L}{A \cdot \Delta t} \times \ln\left(\frac{H_0}{H_f}\right) \quad (6-10)$$

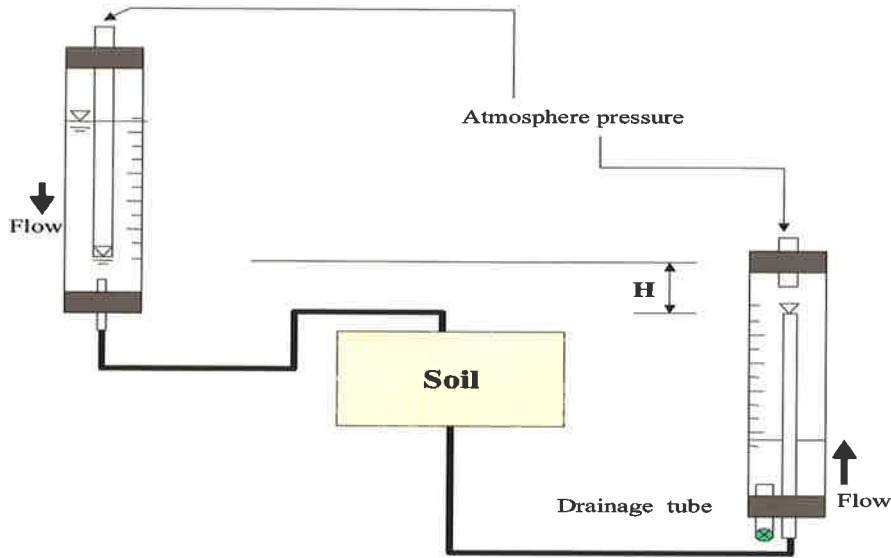


[그림 6.8] 변수두 투수실험법(2)

이상의 조건 이외에도 여러 가지 수두변화를 다르게 적용하여 실험을 실시할 수 있다. 즉, 투수계수의 측정을 위해 유입부의 수두를 일정하게 하고 유출부 수두의 변화를 이용하는 것도 가능하다. 그러나 각 경우에 있어 투수계수의 계산을 위한 식도 독립적으로 유도되어야 한다.

(나) Mariotte bottle

Mariotte bottle은 유체의 유입과 유출이 있더라도 대기압에 의해 항상 수두를 일정하게 유지시켜 주는 장치이다. 정수두 투수실험법과 변수두 투수실험법의 장점을 모두 가지는 것으로 일정한 수두의 유지가 가능하고 정확한 투수계수의 측정이 가능하다.



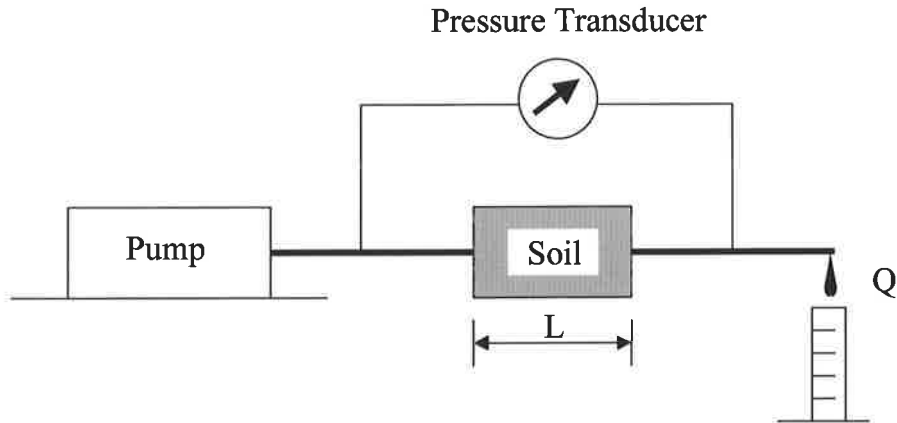
[그림 6.9] Mariotte bottle의 개념도

투수계수는 정수두 투수실험법과 동일한 식으로 계산되며, 마찬가지로 유량 역시 유입유량과 유출유량의 평균을 이용한다.

$$K = - \frac{Q \cdot L}{H \cdot A} = - \frac{Q}{i \cdot A} \quad (6-11)$$

(다) 펌프를 이용한 방법

펌프를 이용하여 시료를 통해 흐르는 물의 유량을 일정하게 유지시켜 주는 방법이다.



[그림 6.10] Constant flowrate/flow pump test

일정한 유량을 흘리면서 압력변화를 살핀다. 유입부와 유출부의 압력차가 일정하게 유지될 때까지 측정한다. 투수계수는 다음의 식으로 계산한다.

$$K = \frac{Q \cdot L \cdot \gamma_w}{A \cdot \Delta u} \quad (6-12)$$

- 여기서,
- K : 투수계수 [L/T]
 - Q : 유량 [L³/T]
 - L : 유체의 흐름 방향에 대한 시료의 두께 [L]
 - γ_w : 물의 단위중량 [M/L².T²]
 - A : 유체 흐름에 수직하는 시료의 단면적 [L²]
 - Δu : 압력차 [M/L.T²]

(라) Closed System

실험실에서 수행하는 투수계수 측정 실험은 실험 초기부터 유입되는 물의 양과 유출되는 물의 양이 근사하게 되는 일종의 평형상태를 기대하기

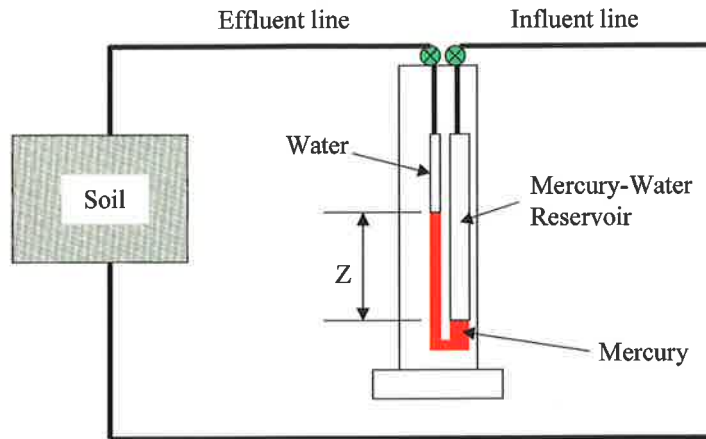
어렵다. 시료에 따라 이 평형상태에 도달하는 데에 오랜 시간이 소요되기도 한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 고안된 것이 closed system이다. 즉, 유출관과 유입관을 연결시킴으로써 유입수와 유출수의 유량을 인위적으로 같게 하는 시스템으로 constant volume (CV) system이라고도 한다. Open system에서와 마찬가지로 정수두법과 변수두법이 있다.

○ **Falling head - Constant volume**

유입부와 유출부가 연결된 상태에서 수은의 수두차를 이용하여 투수계수를 측정한다. [그림 6.11]과 같은 실험장치를 이용하며, 투수계수는 아래 식과 같이 계산된다.

$$K = \left(\frac{a_e a_i}{(a_e + a_i)(G_{Hg} - 1)} \right) \frac{L}{A \Delta t} \ln \left(\frac{Z_1 + R_p}{Z_2 + R_p} \right) \quad (6-13)$$

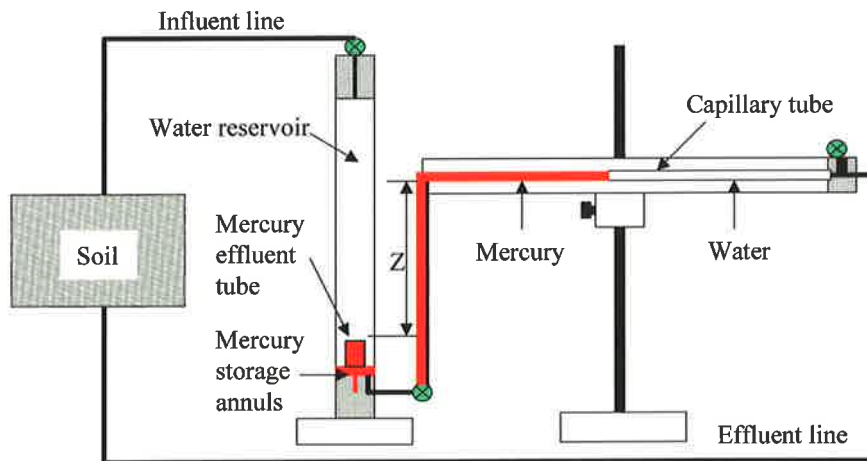
- 여기서,
- a_e : mercury-water reservoir의 단면적
 - a_i : capillary tube의 단면적
 - G_{Hg} : 수은의 비중 (예, 23oC인 경우 13.45)
 - A : 시료의 단면적
 - Z_1, Z_2 : 시간 t_1, t_2 에서 수은-물 계면의 수두차
 - R_p : 모세관 현상에 의한 상승수두 (평형상태에서 3mm of Hg)



[그림 6.11] Falling head - Constant volume

○ Constant head - Constant volume

CV system의 발달된 형태로 Wang과 Benson에 의해 개발되었다 (Wang and Benson, 1999). 수두차가 일정하게 유지되는 CV system으로 수두차의 변화에 의해 생기는 오차를 줄일 수 있다.



[그림 6.12] Constant head - Constant volume

모세관에서의 수두손실을 무시한다면, 시료의 유입부와 유출부에서의 porewater pressure (u_{in} 과 u_{out})는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$u_{in} - u_{out} = Z \cdot (G_{Hg} - 1) \cdot \gamma_w + L \quad (6-14)$$

- 여기서, Z : 수은-물 계면간의 높이차 (constant)
 G_{Hg} : 수은의 비중 (예, 23°C인 경우 13.45)
 γ_w : 물의 비중
 L : 시료의 길이

변수두법에서와 달리, 수은 저장튜브와 capillary tube의 단면적이 같기 때문에 상승수두(Rp)를 고려할 필요는 없다. 따라서, 투수계수는 다음과 같이 계산된다.

$$K = \frac{a_e \cdot L}{A \cdot Z \cdot (G_{Hg} - 1)} \cdot \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \quad (6-15)$$

- 여기서, Δx : Δt 동안에 수은의 이동길이
 A : 시료의 단면적
 Δx : 수은-물 계면의 수평이동 거리
 Δt : 경과시간
 a_e : capillary tube의 단면적

(2) 현장실험

(가) 다공질 탐침법

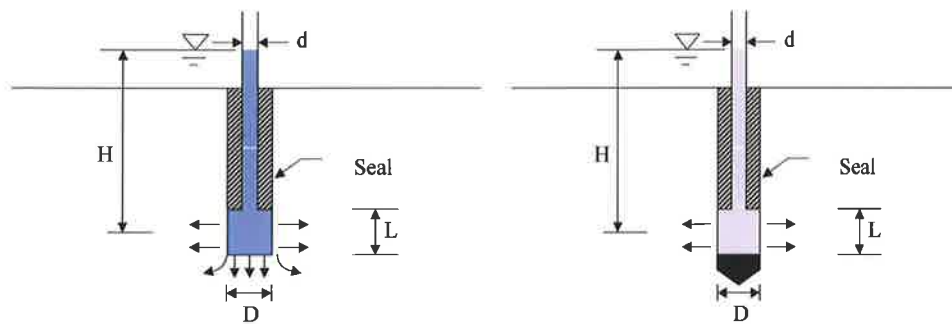
다공질 탐침법은 지반내에 다공질의 탐침을 타설하거나 압입한 다음에 탐침을 통하여 물을 주입해 투수계수를 구하는 것이다. 보통, 시추공의 직경이 작기 때문에 빠른 실험이 가능한 장점이 있지만 투수시험 대상의 부피가 작아 현장 물흐름의 주경로인 대형간극의 영향을 고려하지 못하는 단점이 있다. 투수계수를 구하는 식은 다음과 같다.

정수위 : $K = \frac{q}{F \cdot h}$ (6-16)

변수위 : $K = \frac{(\pi \cdot d^2)/4}{F(t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$ (6-17)

End open : $F = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln\left\{\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2}\right\}}$ (6-18)

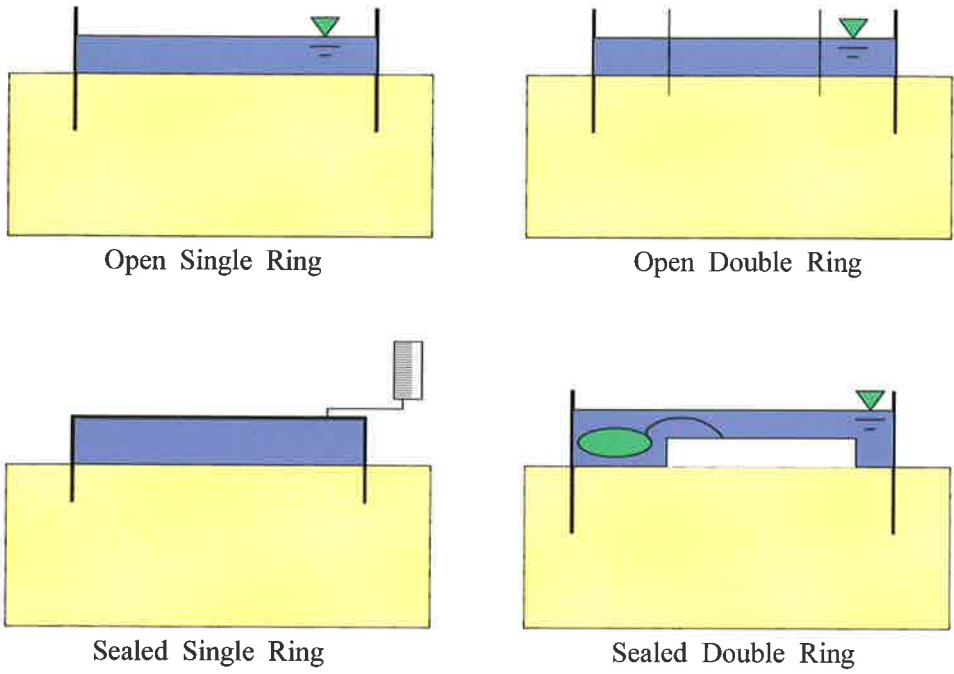
End close : $F = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln\left\{\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2}\right\}} - 2.8 \cdot D$ (6-19)



[그림 6.13] 다공질 침투법의 개념도(좌 End open, 우 End close)

(나) 침투법

침투법은 침투시험기를 이용하여 현장지반의 투수계수를 측정하는 방법으로 대규모 체적의 흙에 적용가능하다. 일반적으로 사용되는 침투시험기는 개방형 (open type)과 밀봉형 (sealed type)으로 나누어지며 시험기에 사용되는 링의 개수에 따라 단일링 (single ring) 및 이중링 (double ring)의 형태로 구분된다.



[그림 6.14] 침투법의 종류

(다) 개방형 단일링 침투법

개방형 단일링 침투법 (OSRI, Open Single Ring Infiltrometer)는 가장 간단하고 널리 알려진 침투법에 의한 투수시험방법이다. 시험대상 차수층에 강관을 설치하기 위해 강관 주변을 따라 적절한 깊이로 흙을 파고 벤토나이트로 그라우팅한 후 강관을 얹힌다. 다음으로 강관을 물로 채운 후, 시간에 따라 수면의 지하 높이를 측정한다.

OSRI로 투수계수를 측정하는 경우 증발량을 보정해야 한다. 강관과 같은 직경의 바닥이 막힌 원통을 준비하여 증발량을 측정하여, 시험중인 강관의 수위저하량에서 을 감함으로써, 침투에 의한 수위저하량을 구한다. 그러나, 매우 작은 값을 구하기 위해 두 개의 큰 값을 빼는 것은 상당한 오차의 가능성을 갖고 있으며, OSRI와 같이 직경이 넓은 원통에서는 물의 표면이 정지 상태가 아니므로 원하는 정도의 정확도를 유지한 채 물표면의 높이를 측정하는 것이 용이하지 않다. 또한, OSRI의 경우, 물의 흐름이 수직, 수평 양 방향으로 일어나는데, 수직 방향 투수계수 k_v 를 따로 분리, 결정할 수 없다.

(라) 밀봉형 단일링 침투시험기

밀봉형 단일링 침투시험기 (SSRI, Sealed Single Ring Infiltrometer)는 현장에서 물의 증발을 막음으로 해서 OSRI보다 정확도가 높은 측정을 위해 고안되었다. 투수계수 $k(\text{cm/s})$ 를 구하는 식은 아래와 같다.

$$k = \frac{I}{i} = \frac{Q/(A \cdot t)}{\frac{(H + L_f + \psi f)}{L_f}} \quad (6-20)$$

여기서, $I(\text{cm/s})$ 는 침투율(infiltration rate), $Q(\text{cm}^3)$ 은 흐름량, $A(\text{m}^2)$ 은 면적, $t(\text{s})$ 는 측정시간, i (무단위)는 동수경사, $H(\text{cm})$ 는 지표면에서 수직관의 수위까지 길이, $L_f(\text{cm})$ 는 지표면에서 물흐름 젖음경계면(wetting front)까지의 거리, $\psi f(\text{cm})$ 는 흡입력의 환산 수두(suction head)이다. ψf 는 불포화된 점토차수층의 흡입을 고려하는 항인데, 현장에서 별도 장비가 없으면 측정이 용이하지 않으므로 점토차수층이 완전 포화된 것으로 가정하고 생략하기도 한다.

물의 흐름방향은 젖음경계면이 강관의 바닥으로 통과할 때까지는 수직방향이다. 저투수성의 지반에서 실험할 경우, 직경이 작고 눈금이 세밀한 수직관을 사용하기 때문에 OSRI에 비해 측정 자체가 정밀하다. 그러나 실제로 점토차수층과 같은 저투수성 지반의 투수계수를 측정하는 경우 시험기내 누수, 강관 침하, 온도 변화 등의 오차로 인해 한계가 있다.

(마) 개방형 이중링 침투법

개방형 이중링 침투법 (ODRI, Open-Double-Ring Infiltrometer)은 횡방향 흐름으로 인한 수직방향 투수계수의 오차를 방지하기 위해서 두 번째 시험강관을 외부 강관 안쪽 가운데 설치한다. 즉, 투수계수는 내부의 강관의 수위변화를 측정하여 구하며, 외부의 강관은 내부 강관에서 하부로 침투하는 물의 흐름을 수직방향으로 유지하기 위한 장치이다. 수직방향 물 흐름을 안전하게 확보하기 위해서는 외부 시험 강관의 직경이 시험대상 두께에 비해 충분히 커야 한다.

두 강관내의 수위차가 발생하면 한쪽에서 다른 쪽으로 물흐름이 유발되

므로, 시험기간동안 외부 및 내부 강관의 수위는 항상 일정하게 유지되어야 한다. 미국의 경우 ASTM D3385에 강관의 크기를 외부 강관의 경우 직경 60cm, 내부 강관의 경우 직경 30cm로 정하고 있으나, 이는 두께 50 혹은 75cm의 점토 차수층에서 수직 방향의 일방향 흐름을 유도하기에는 너무 작다. 이것은 시험법이 제정 당시 관개수로 분야의 투수성이 높은 흙을 대상으로 한 연구 결과에서 파생되었기 때문이다. ODRI 방법으로는 10^{-7} cm/s이하의 투수계수를 가진 지반에 대해서는 정확한 측정값을 얻기 힘들다. ODRI 방법에서도 수위변화에서 물의 증발량은 보정되어야 한다.

(바) 밀봉형 이중링 침투법

침투법에 의한 투수시험에서 대상 점토차수층의 매우 낮은 투수계수로 인한 과소한 물흐름 측정량과 횡방향 흐름의 문제를 해결하는 방안으로 밀봉형 이중링 침투법 (SDRI, Sealed Double Ring Infiltration)이 고안되었으며, SDRI의 개념도는 [그림 6.15]와 같다. SDRI는 점토 차수층과 같이 저투수성의 지반을 대상으로 개발되었으므로, 강관 내 수면의 하강을 측정하는 대신, 지반으로 유입된 물의 양을 직접 측정한다.

내부 시험강관을 물이 들어오지 못하도록 막은 후 외부 시험관에 물을 채운다. 비닐 주머니에 무게를 잰 만큼의 물을 채우고 [그림 6.16]에서와 같이 내부 시험관에 연결한다. 내부 시험강관에서 지반으로 흘러나간 물의 양만큼 비닐 주머니에서 물이 빠져 나오게 된다. 일정시간 후에 비닐 용기를 꺼내 무게를 측정하여, 손실 무게만큼의 지반으로 유입된 물의 부피를 구한다. 다음으로 물의 부피, 내부 시험강관의 면적, 측정시간의 관계에서 침투율을 구한다.

SDRI를 이용한 투수계수 측정에는 보통 수준에서 몇 개월이 소요된다. 시험소요시간은 점토차수층의 소성지수가 작을수록, 다짐된 차수층 내 포화도가 클수록 짧아진다. 만약 시험의 목적이 점토차수층의 투수계수가 기준치를 만족하는지 여부의 결정일 경우, 시험소요시간은 장기적으로 평형상태에 도달했을 때 수직방향 투수계수를 결정할 경우보다 훨씬 짧아진다.

SDRI 투수시험법에서 투수계수를 구하는 식은, 불포화토의 흡입력 수두 ψ_f (cm)를 0으로 가정하면 아래와 같다.

$$k = \frac{I}{i} = \frac{Q / (A \cdot t)}{\left\{ \frac{(H + L_f)}{L_f} \right\}} \quad (6-21)$$

여기서, I(cm/s)는 침투율(infiltration rate), Q(cm³)은 흐름량, A(m²)은 면적, t(s)는 측정시간, i(무단위)는 동수경사, H(cm)는 지표면에서 수직관의 수위까지 길이, L_f(cm)는 지표면에서 물흐름 젖음경계면까지의 거리이다.

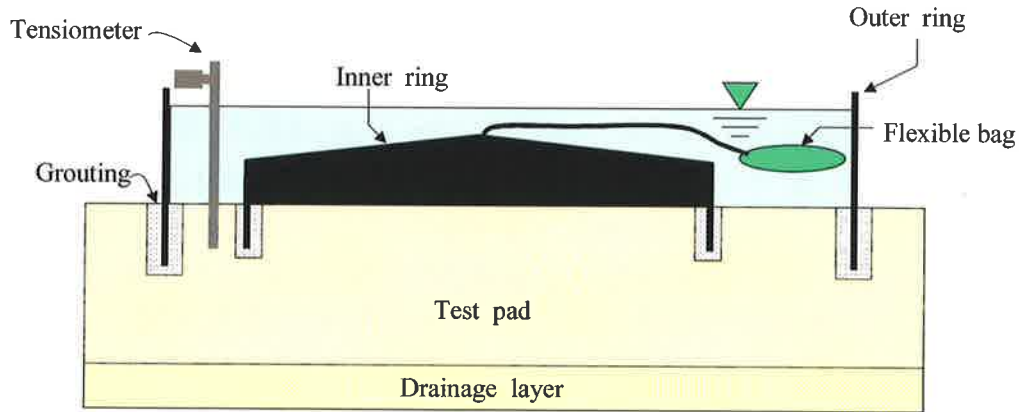
SDRI는 상부가 대기에 노출되어 있는 다른 침투에 의한 투수시험법과 비교하여 몇 가지 장점이 있다. 내부 강관이 폐쇄되어있으므로 증발에 의한 영향이 배제되었고, 내부 시험강관의 수두는 외부 시험강관의 수두와 항상 같으므로, 한쪽 강관에서 다른 쪽 강관으로의 물의 흐름이 없다. 또한, 수두가 같기 때문에 내부강관 벽 주변을 따라 압력 차가 항상 일정하므로, 외부 강관 내의 수위가 변하더라도 내부 강관은 수축되거나 팽창되지 않는다.

두께 90cm의 점토차수층을 시공하는 미국의 경우, 일반적으로 사용되는 SDRI 강관의 크기는 외부 강관이 직경 3.6m, 내부 강관이 직경 1.5m이다. 또한, 시험기 설치시 원형 흙보다는 직선흙을 형성하기 위해 정사각형 시험기를 사용한다. 외부관은 강관을 볼트로 연결하여 제작하고, 내부관은 유리섬유(fiberglass)로 제작한다. 외부관은 일반적으로 46cm 깊이에 설치하고 내부는 10cm 깊이에 설치한다.

침투율로부터 정확한 투수계수를 구하기 위해서는 물흐름 젖음 경계면의 지반 내 위치를 측정하여야 한다. 젖음 경계면 측정을 위해 장력계(tensiometer)를 사용한다. 장력계는 흙의 흡입압(suction pressure)을 측정하는 계측기로서, 한쪽 끝에 다공성 필터가 설치되고 다른 한쪽이 막힌 플라스틱 튜브이다. 다공성 필터가 불포화토에 설치되면, 물이 튜브로부터 나오면서 부착된 계측기가 흡입압을 측정한다. 젖음 경계면이 장력계 선단의 다공성 필터를 통과하면, 흙은 포화되며 따라서 흡입압은 0으로 감소하게된다. 이 원리를 이용하여 장력계의 흡입압 측정치가 0이 되는 순간 젖음 곡선의 위치가 설치 깊이를 알고 있는 장력계 선단지점에 온 것을 알 수 있다.

시험시공 구역에서 SDRI를 이용하여 투수계수를 측정할 때, 15cm 깊이

간격으로 세 개씩의 장력계를 설치한다. 우리나라는 SDRI에 관한 표준 시험법이 없고 따라서, 미국의 ASTM D5093 (Field Measurement of Infiltration using a Double Ring Infiltrometer with A Sealed Inner Ring)을 참조할 수 있다.



[그림 6.15] 밀봉형 이중링 침투법 (SDRI)의 개념도

(3) 투수계수에 측정에 영향을 미치는 인자

(가) 온도

투수실험은 20℃에서 시행하도록 되어있다. 이는 온도변화에 따라 유체의 점성이 변화하여 투수계수에 영향을 끼치기 때문이다. 물을 이용하여 투수실험을 하는 경우 온도가 올라갈수록 점성이 감소하므로, 수리학적 전도도는 증가한다. 온도에 따른 투수계수의 보정식은 다음과 같다.

$$K_{20^{\circ}\text{C}} = R_T \cdot K_{t^{\circ}\text{C}} \quad (6-22)$$

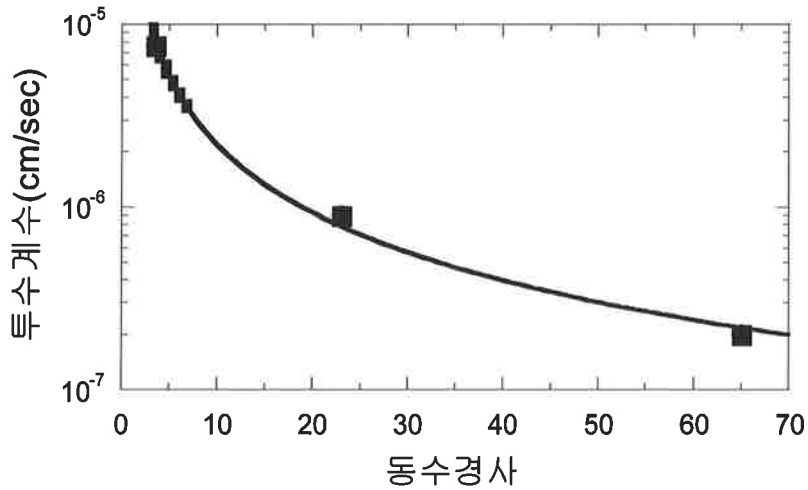
$$R_T = (-0.02452T + 1.495) \quad ; \quad (ASTM D 5084-90)$$

여기서, $K_{20^{\circ}\text{C}}$ = 20℃에서 투수계수

R_T = 온도에 따른 물의 점성계수

(나) 동수경사

투수계수는 유체와 유체가 통과하는 매질의 특성을 반영하는 것으로, 다른 동수경사의 조건에서 측정하더라도 측정되는 투수계수의 값은 일정하여야 한다. 그러나, 실제 실험결과에서는 동수경사가 커질수록 투수계수는 점차 감소하는 경향을 보인다([그림 6.16]). 이런 이유로 투수실험에서는 현장과 동일한 동수경사를 모사하는 것이 가장 좋으나, 작은 동수경사를 적용하여 실험할 경우, 지나치게 많은 실험시간이 소요될 수 있다.



[그림 6.16] 동수경사에 따른 투수계수의 변화

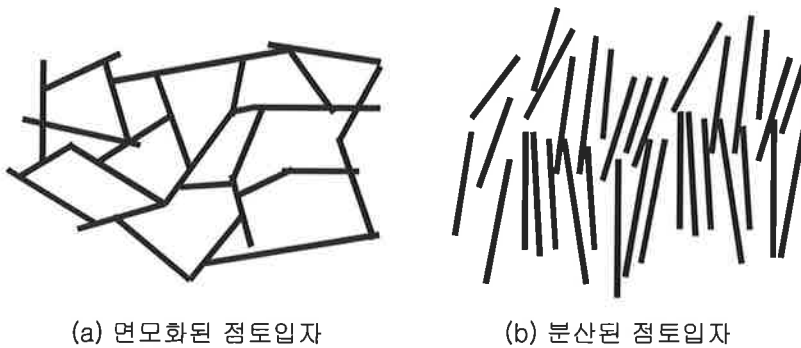
실험실에서 투수실험을 하는 경우, 실험시간을 단축시키기 위해 동수경사를 크게 하는 경우가 있는데, 이런 경우 측정된 투수계수는 현장의 투수계수 보다 낮을 수 있다. ASTM에서는 이를 방지하기 위해 투수계수의 범위에 따라 적용할 수 있는 최고치의 동수경사를 제한하고 있다.

<표 6.25> 투수계수에 따른 최대 허용 동수경사

투수계수 범위	최대허용 동수경사
$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-5}$	5
$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$	10
$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$	20
1×10^{-3} 이하	30

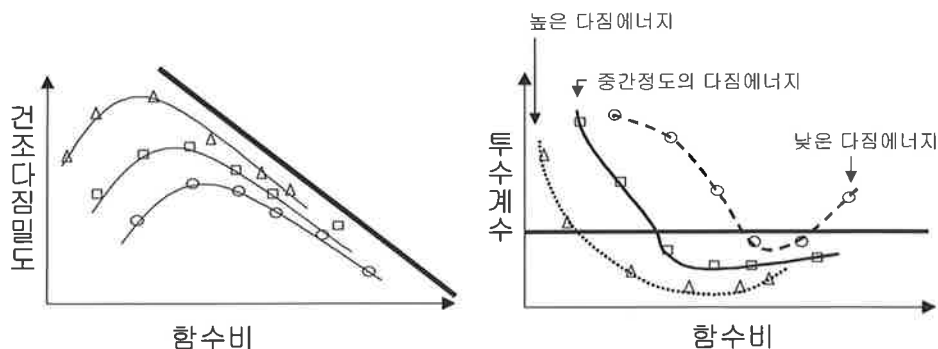
(다) 다짐과 함수비

본 연구의 내용인 농지에서 적용되는 사항은 아닐 수 있으나, 점토 차수층에 있어서 다짐과 함수비는 투수계수에 가장 민감하게 영향을 끼치는 요인이다. 점토질 토양의 투수계수는 점토입자들의 배열과 구조에 영향을 받으며, 점토조직은 함수비에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 최적함수비 (OMC, Optimum Moisture Content)를 중심으로 습윤측의 투수계수가 건조측의 투수계수에 비하여 훨씬 작아지는 경향이 있다. 이는 점토입자의 특성에 의한 것으로 건조상태에서는 점토입자가 면모화(flocculated)된 상태로 존재하여 상대적으로 간극이 큰 반면, 습윤상태에서는 점토입자가 분산(dispersed)되어 있어 간극의 크기가 작아지기 때문이다.



[그림 6.17] 점토입자의 구조

Daniel과 Benson (1990)에 따르면 점토의 투수계수는 다짐에너지가 커질수록 감소하며, 최적함수비에서 습윤쪽으로 약 +2%에서 최소값을 가진다고 한다. 또한, 함수비가 최적함수비보다 낮은 경우 투수계수가 급격히 증가하나 반대로 함수비가 증가하는 경우에는 변화가 심하지 않았다.



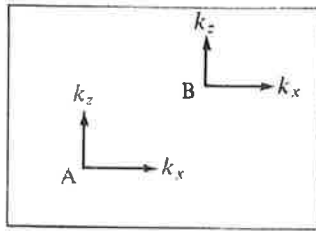
[그림 6.18] 다짐에너지와 함수비가 투수계수에 미치는 영향

(라) 시료의 크기

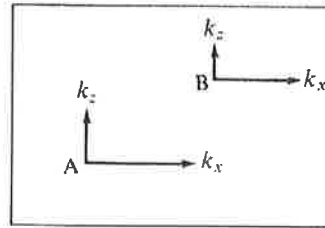
일반적으로 시료의 크기 특히, 단면적이 크면 클수록 실험실에서 측정된 투수계수는 현장 측정값에 가까워진다. 실험실에서 측정된 투수계수는 현장에서의 측정치에 비하여 10배 이상 크게 측정되는 경우도 많다.

(마) 다층 지반의 토층에 대한 등가투수계수

흙이 퇴적되어 자연 지반을 이루었다면 흙 입자의 형상 때문에 대략 평행한 층을 이루면서 퇴적되므로 연직 방향과 수평 방향의 투수계수가 다르다. 다시 말하면, 수평 방향의 투수계수는 연직 방향의 투수계수보다 일반적으로 더 큰 값을 보이며 비가 10:1 이상인 경우도 있다. 흙이 퇴적되는 과정에서 퇴적 환경이 달라졌다면 각 토층의 투수계수는 비균질하다. 엄격히 말하면, 자연 지반의 투수계수는 비등방성이고 비균질성이다.



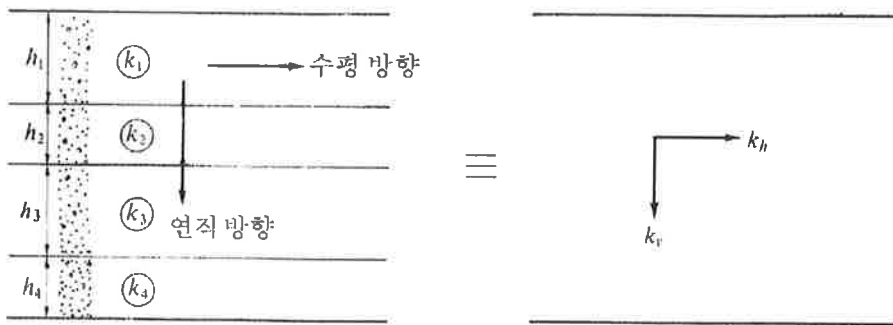
(a) 등방, 균질
 $k_x = k_z, k_x(A) = k_x(B)$
 $k_z(A) = k_z(B)$



(b) 비등방, 비균질
 $k_x \neq k_z, k_x(A) \neq k_x(B)$
 $k_z(A) \neq k_z(B)$

[그림 6.19] 투수계수의 등방성과 비등방성 및 균질성과 비균질성

투수계수가 각각 다른 이질의 토층에 대하여 수평 및 연직 방향의 등가 투수계수를 구해두면 여러 가지 계산을 아주 간소화할 수 있다. 각 토층의 투수계수는 등방성이나 토층마다 각각 다른 투수계수를 가지고 있다고 가정한다.



[그림 6.20] 이질의 토층으로 이루어진 지층에 대한 등가투수계수

이러한 경우에 대한 투수계수를 결정하기 위해서는 각 층으로부터 불교란 시료를 채취하여 각 투수계수를 결정한 후, 다음과 같은 방법으로 등가투수계수를 구하여 침투유량을 산정하여야 한다.

[그림 6.20]은 이층으로 된 자연 지반을 나타낸 것이다. h_1, h_2, \dots, h_n 을 각 토층의 두께라고 하고, 각층에 대응하는 투수계수를 각각 k_1, k_2, \dots, k_n 이라 한다. 그리고 물이 토층에 평행한 방향으로 흐른다고 하면 동수경

사는 각 층마다 동일하므로, Darcy의 법칙에 의하여 유출 속도 v 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} v &= k_h i = \frac{1}{h}(v_1 h_1 + v_2 h_2 + \cdots + v_n h_n) \\ &= \frac{1}{h}(k_1 i h_1 + k_2 i h_2 + \cdots + k_n i h_n) \end{aligned} \quad (6-23)$$

여기서, $h = h_1 + h_2 + \cdots + h_n$ 이고 이것을 정리하면 k_h 즉, 수평방향의 등가투수계수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_h = \frac{1}{h}(k_1 h_1 + k_2 h_2 + \cdots + k_n h_n) = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^n (k_j h_j) \quad (6-24)$$

만일, 토층에 직각 방향으로 물이 흐른다고 하면 각 층을 통해 흐른 침투유량은 동일하나 동수경사는 각 층마다 다르다는 것을 알 수 있다. 각 층의 동수경사를 각각 i_1, i_2, \cdots, i_n 이라고 하고, 전 토층의 두께를 h , 전수두 손실을 Δh 라고 하면,

$$v = k_v \frac{\Delta h}{h} = k_1 i_1 = k_2 i_2 = \cdots = k_n i_n \quad (6-25)$$

$$v = k_1 \frac{\Delta h_1}{h_1} = k_2 \frac{\Delta h_2}{h_2} = k_n \frac{\Delta h_n}{h_n}$$

$$\Delta h_1 = v \frac{h_1}{k_1}$$

$$\Delta h_2 = v \frac{h_2}{k_2}$$

⋮

$$\Delta h_n = v \frac{h_n}{k_n}$$

전수두 손실은

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n = \frac{vh_1}{k_1} + \frac{vh_2}{k_2} + \dots + \frac{vh_n}{k_n} \quad (6-26)$$

$k_v = \frac{h}{\Delta h}v$ 이므로 이 식의 Δh 대신 대입하면 정리하면,

$$k_v = \frac{h}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n}} = \frac{h}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{h_j}{k_j} \right)} \quad (6-27)$$

위와 같이 k_v 즉, 연직 방향의 등가투수계수를 구할 수 있다.

6.3.4 암거 내의 최소 유속과 최대유속

전 절에서 암거의 유속과 관경의 적정성의 검토에 대해서는 언급하였다. 제시된 설계 및 검토방법과 「배수편」에서 제시하는 기울기를 따르면 큰 문제가 없는 정도의 설계가 가능할 것으로 판단되지만 관내의 유속이 너무 느리면 현탁액의 형태 또는 일부에서 유입된 흙입자가 관내에 퇴적되어 관의 막힘을 유발할 수 있고, 유속이 과대하면 주변의 흙에 대하여 파이프 등의 영향을 미칠 수 있다. 일반적인 경우라면 여과재 및 소수재에 의해 관주변이 보호되고 있으나 아래와 같이 최대 유속을 기본적으로 검토할 것을 제시한다. 관내에 퇴적의 위험이 없다고 판단되면 최소 0.5fps, 퇴적의 위험이 있다고 판단되면 최소 1.4fps의 유속을 유지하도록 권장한다.

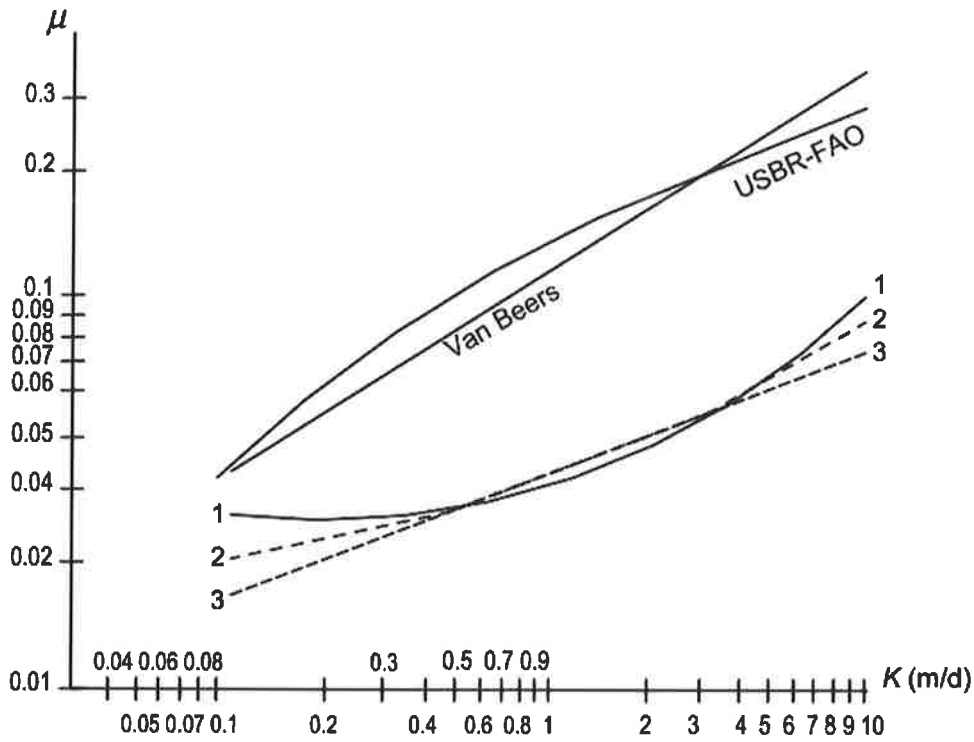
<표 6.26> 흙의 종류별 최대 허용유속

Soil Texture	Max. Allowable Velocity (feet per second)
Sand and sandy loam(non-colloidal)	2.5
Silt loam(also high lime clay)	3.0
Sandy clay loam	3.5
Clay loam	4.0
Stiff clay, fine gravel, graded loam to gravel	5.0
Graded silt to cobbles(colloidal)	5.5
Shale, hardpan and coarse gravel	6.0

※ USDA Natural Resources Conservation Service , Subsurface Drainage

6.3.5 유효간극률(Drainable porosity)

전 장에서 유효간극률에 대하여 언급하였다. 유효간극률은 지하배수의 설계에서 중요한 설계변수 중의 하나이지만 그 값을 결정하는 것은 쉽지 않다. [그림 6.21]은 Chossat and Saugnac(1985)이 제시한 투수계수와 유효간극률의 관계를 나타낸다.



[그림 6.21] 투수계수와 유효간극률의 관계 1. 점토 2. 점토함량<15% 3. 15%<점토함량<30% (Chossat and Saugnac, 1985)

유효간극률의 정의를 이용하여 현장에서 측정하는 방법도 추천할 수 있다. 관측공을 준비하고 단기간에 강우가 발생하는 시기에 관측공의 지하수위 상승을 계측하여 유효간극률의 정의대로 계산하는 방법이다. 즉, 지표유출이 없는 상태에서 20mm의 단기간 강우가 발생했을 때 관측공의 지하수위가 40cm=400mm 상승했다면 유효간극률은 $20/400=0.05(5\%)$ 가 된다.

[그림 6.22]는 문헌상에서 구할 수 있는 흙의 종류별 밀도, 간극률, 유효간극률의 값을 나타낸다.

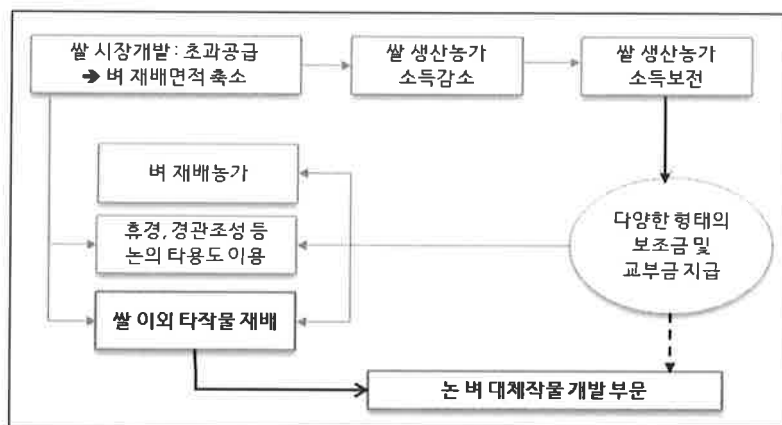
Aquifer Matrix	Dry Bulk Density (gm/cm ³)	Total Porosity	Effective Porosity
Clay	1.00-2.40	0.34-0.60	0.01-0.2
Peat	---	---	0.3-0.5
Glacial Sediments	1.15-2.10	---	0.05-0.2
Sandy Clay	---	---	0.03-0.2
Silt	---	0.34-0.61	0.01-0.3
Loess	0.75-1.60	---	0.15-0.35
Fine Sand	1.37-1.81	0.26-0.53	0.1-0.3
Medium Sand	1.37-1.81	---	0.15-0.3
Coarse Sand	1.37-1.81	0.31-0.46	0.2-0.35
Gravelly Sand	1.37-1.81	---	0.2-0.35
Fine Gravel	1.36-2.19	0.25-0.38	0.2-0.35
Medium Gravel	1.36-2.19	---	0.15-0.25
Coarse Gravel	1.36-2.19	0.24-0.36	0.1-0.25
Sandstone	1.60-2.68	0.05-0.30	0.1-0.4
Siltstone	---	0.21-0.41	0.01-0.35
Shale	1.54-3.17	0.0-0.10	---
Limestone	1.74-2.79	0.0-50	0.01-0.24
Granite	2.24-2.46	---	---
Basalt	2.00-2.70	0.03-0.35	---
Volcanic Tuff	---	---	0.02-0.35

[그림 6.22] 대표적인 체적밀도-총간극률-유효간극률 관계 (Walton, 1988 and Domenico and Schwartz, 1990)

6.4 범용화 단지 운영

6.4.1 범용화 시장여건 SWOT분석

벼 대체작물 및 논 농업 다양화사업의 전개과정을 요약해 보면 2003-2005년 쌀 생산과잉과 DDA 협상시 입지강화를 위해 한시적으로 쌀 생산조정제(목표 25천ha 상업적 작물재배 금지, 휴경 포함, 300만원/ha) 실시하였고, 2008-'09년 연속 풍작에 따른 쌀값하락으로 2010년 논에 타작물재배 사업을 추진하여 논에 타작물 재배(30천ha 목표, 300만원/ha) 사업실적은 9,714ha(콩 32.9%, 사료용 옥수수 10.8%, 채소류 14.7%, 고추 10.0%, 사료용벼 5.3%, 감자 4.2% 등)에 그쳤고, 2011-2012년 논 소득기반 다양화사업으로 전환(40천ha 목표, 300만원/ha)하여 쌀 수급안정은 물론 식량 및 사료작물 자급률 향상을 도모하고자 식량안보 차원에서 논외형상과 기능을 유지하며 벼 재배면적 감축과 조사료, 식용콩 등 자급률 향상에 기여코자 하였으나 2011-12년 쌀 흉작으로 불투명해졌다.



[그림 6.23] 쌀 생산조정과 논벼 대체작물의 관계 (박평식 2013)

논에서의 벼 대체작물재배는 지자체 지원 및 농가의욕이 있고, 국산농산물에 대한 소비자 신뢰도가 높으며 고품질 소득화 가능 토종작물이 다양하고 전통문화 연계 다양한 식품소재 개발이라는 강점과 세계적으로 식량안보의 중요성이 대두되고 웰빙, 안전식품에 대한 수요증가와 시장개방으로 농산물 수출가능성 커지고 있으며 지역특화 및 산업화를 통한 성장산업이라는 좋은 기회를 맞이하여 여러 가지 약점과 위협을 극복하고 국

민들에게 고품질 식품제공과 농민들의 소득증대는 물론 토양자원의 안전한 보호와 지속이용이라는 목표로 발전해야 할 것이다.

<표 6.27> 논벼 대체작목 개발을 위한 시장여건(SWOT 분석)

강 점 (Strength)	약 점 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 지자체 지원 및 농가의욕 있음. ○ 국산농산물에 대한 소비자 신뢰도 높음 ○ 고품질 소득화 가능 토종작물 다양 - 전통문화 연계 다양한 식품소재 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벼 대체작물의 소득 및 생산성이 낮음 ○ 용도개발을 통한 소득화 노력 미흡 ○ 농산물 유통구조가 취약하여 산지와 소비자 가격차가 큼
기 회 (Opportunity)	위 험 (Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계적으로 식량안보의 중요성 대두 ○ 웰빙, 안전식품에 대한 수요증가 ○ 시장개방으로 농산물 수출가능성 커짐 ○ 지역특화 및 산업화를 통한 성장산업 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 외국산 수입농산물의 국내시판 확대 ○ 수입·국내 농산물 혼합 부정유통 가능 ○ FTA 협상 진전에 따라 농산물 시장개방 가속화

* 박평식 2013.

6.4.2 국내 관련사업 조사

국내 농식품분야 범용화 관련 사업을 조사한 결과 농림축산식품부에서 시행하는 배수개선사업, 농지규모화사업, 들녘경영체육성사업, 주요곡물산업육성지원사업 등이 있는 것으로 조사되었으며, 이들 사업에 대한 내용을 간략히 정리하였다.

가. 배수개선사업(간척지농업과)

(1) 배수개선사업의 목적

- ① 홍수 발생시 침수피해를 겪고 있는 농경지에 배수장, 배수문, 배수로 등 배수시설을 설치하여 농작물 침수피해를 방지하고, 논에서의 원예작물 등 다양한 작물재배 여건을 구축

(2) 배수개선사업의 지원대상

- (가) 홍수 발생시 상습적인 침수피해를 겪고 있고, 농지로의 보전 가능성이 높은 농업진흥지역 내 농경지 배수개선사업을 우선 지원대상으로 선정
- ① 다만, 개발제한구역 및 제주도종합개발계획 등에 포함된 지구로서 사

업 후 장기간 농지활용 전망 시 농업진흥지역 밖의 농경지라도 대상지로 선정

- ② 기타 농업진흥지역 밖의 농경지는 장기간 농지보전 가능성이 높고, 투자되는 사업비 이상의 사업효과를 거둘 수 있는 지구 중에서 사업시행 후 농업진흥지역 편입을 전제로 면밀한 검토·분석을 거쳐 신중하게 선정

(나) 동일 수계에 여러 사업지구가 있는 경우 하류부 지구부터 단계적으로 선정

(다) 사업시행에 대한 주민 호응도가 낮은 지구, 타법·타사업 등으로 사업에 제약이 있는 지구, 배수 본천의 하천정비가 시행되지 않았거나 배수개선과 병행시행이 어려운 지구 등은 지원 대상에서 제외

나. 농지규모화 사업(농지과)

(1) 농지규모화 사업의 목적

- ① 농지의 매매와 장기임대차, 교환 또는 분리·합병을 통하여 규모화·전문화된 전업농 육성 및 경자유전 실현
- ② 주업농가의 영농규모를 확대하고, 경영농지를 집단화함으로써 농업인의 소득증대 및 주곡의 안정적인 생산기반 확보

다. 들녘경영체육성사업(식량산업과)

(가) 들녘경영체육성사업의 목적

- ① 50ha 이상 집단화된 들녘을 공동 생산·관리하는 들녘별경영체를 육성하여 생산비 절감과 함께 고품질 식량작물 생산기반을 구축하는 등 우리 쌀산업의 대내외 경쟁력 향상 도모
- ② 들녘별 경영체 : 집단화된 농지 50ha 이상 육묘·이앙·재배관리·수확 중 일부를 공동으로 수행하는 조직. 단 육묘는 묘종 공급면적이 100ha 이상인 조직

라. 주요곡물산업육성지원사업(식량산업과, 한국농수산식품유통공사)

(가) 주요곡물 : 쌀·식량작물로서 콩, 옥수수, 감자, 고구마, 잡곡류를 말함

(나) 주요곡물산업육성지원사업의 목적 : FTA, DDA 등 시장개방 확대에 대응해 낙후된 주요곡물의 생산·유통·소비를 체계적으로 활성화함으로써 자급기반을 확충하고 경쟁력 향상 도모

- ① 주요곡물 기반조성<기존 발작물 브랜드>은 농가조직화를 통한 생산기반 확보·관리하고 수확 후 건조·저장·가공 등을 일괄 처리토록 해 산업의 경쟁력 제고 도모
- ② 유통시설은 수확 후 건조·저장·처리를 일괄처리해 유통비용 절감과 유통 혁신을 통한 경쟁력 제고 도모

6.4.3 범용화 사업 지구선정 기준

범용농지조성사업은 농업생산기반을 정비하는 사업은 단순하게 농지의 생산성이나 효율성을 높인다는 측면보다는 경영주체의 규모화, 기업화 의 지나 전략 등을 고려하여야 하며, 농지특성이나 지역적 여건 등을 고려하여 식재작물이나 고부가가치화 방안 등이 종합적으로 계획될 수 있는 지원시스템의 일환으로 간주되어야 그 효용을 발휘할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 범용농지를 계획이 종합적으로 이루어진 농업복합단지로 설정하고, 전문가 세미나를 통하여 발전방안을 도출하고 일본의 사례연구를 통하여 시사점을 도출하며, 기존연구를 바탕으로 범용농지지구 설정할 때 고려할 사항들을 간략히 정리하였다.

첫째, 범용농지사업의 목표는 농지이용율을 제고하고 곡물자급율을 높이는 것으로 콩, 옥수수, 감자, 고구마, 잡곡류 등 밭식량작물을 위주로 판단해야 하며, 경제성에 대한 고려가 이루어져야 한다.

둘째, 과거 지하배수사업시행지구에 대한 조사가 필요하며, 배수등급이 약간 양호 또는 약간불량한 논을 대상으로 해야 하고, 배수불량답은 대상에서 제외해야 할 것으로 보인다.

셋째, 범용농지조성사업의 대상 작물, 농민부담율, 지역별 적용모델 등이 도출되어야 하고, 사업대상지, 사업규모, 사업추진체계 등에 대해 고려해야 한다.

넷째, 배수개선사업, 농지규모화사업, 들녘경영체육성사업 등 다양한 정책사업과 연계할 수 있어야 하며, 이를 고려하여 범용농지 조성사업지구 선정 지표를 마련해야 한다.

다섯째, 일본사례의 정리결과 지역개발사업과 연계할 수 있어야 하며, 국내에서는 수리계를 유지발전시켜 범용농지사업의 추진추체와 사업 이후 운영관리주체로 활용할 수 있어야 할 것이다.

끝으로, 사업계획수립 시 밭농업기계화, 직불제 등 관련 사업과 연계하여 추진할 수 있도록 해야 한다.

범용농지조성 기반기술 개발(II)

Development of Technology for Multipurpose

Utilization of Paddy Field (II)

제7장 요약 및 결론

제7장 요약 및 결론

- 농산업분야 세계시장은 타산업과 연계되어 급격하게 변해가고 있다. 굳이 FTA, DDA를 언급하지 않더라도 우리 실생활의 주변에서 피부로 느낄 수 있다. 글로벌화, 세계경제발전의 협력구도에서 우리나라 농업은 항상 어려운 상황에 직면하곤 함
- 농업분야의 경쟁력강화로 이 상황을 극복해 가야하고, 중장기적 전략에 의해 세계농업시장의 변화에 적응해가야 한다. 논에 벼를 재배하기 위해 생산기반정비사업에 주력했던 시기에서 힘들었던 발농사를 기계화로 극복하여 농가소득을 올리는 변화가 대표적인 적응사례가 아닌가 함
- 목표 식량자급률 달성과 농가소득 증진을 위해 논에 발작물의 재배가 가능하도록 경작로, 지하배수시설, 급수시설, 배수로 등을 새로이 정비하는 사업과 집단화된 발농업단지의 농기계, 종자, 육묘 등 영농지원의 정책이 필요한 시점임
- 경제성 등의 논리로 사업의 타당성을 논하는 자가 있을 수 있음. 논이 쌀 생산기능을 유지하면서 발작물을 재배할 수 있는 농업인프라 구축은 경제성의 논리로 평가하기에는 어려운 점이 있음을 수년 전 필리핀의 사태에서 배웠을 것임

7.1 배수가 토양에 미치는 영향

가. 농경지 침수사례

- 집중강우 시 지표배수가 원활치 않을 경우 침수, 지하수위상승, 토층배수불량이 초래되어 피해가 발생하고 있다. 특히, 시설하우스 등의 피해가 큰 것으로 나타났으며, 배수여건이 불량하고, 지표수, 지하수 배수불량에 의한 침수피해가 큰 것으로 조사됨
- 전북 김제지역의 논에서의 발작물 재배패턴을 조사한 결과 봄 감자를 심는 하우스내 이랑은 배수여건을 개선하기 위해 높게 만들고 있었으며 배수가 불량한 지역은 감자대신 청보리를 재배하고 있는 것으로 조사됨

나. 배수가 토양의 물리화학성에 미치는 효과

- Donahue 등에 따르면 침수에 따른 영향은 주로 토양 공극 내 산소가 부족하여 뿌리에서 메치오닌(아미노산)을 SAM(S-Adenosylmethionine)으로 변화시키고 이 SAM은 효소에 의하여 ACC(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid)로 변하며, 이 ACC는 다시 산소의 존재 하에서 에칠렌($H_2N=NH_2$)으로 변하여 식물생육을 저해하는 것으로 분석하고 있음
- 목화, 콩, 유채 등의 침수처리에 따른 성장률변화, 수확량 변화를 관찰한 연구사례를 조사하였음 목화의 경우 4일간의 침수처리는 대조구 대비 27%의 성장저해, 콩의 경우 침수시 적정온도, 산소 조건에 영향을 주고 총질소함량을 감소시켜 생산량 감소, 유채의 경우 침수 6일이상에서 13%의 수량감소를 보인 것으로 연구됨
- 일반적으로 배수처리는 생산성을 높이고, 이른 봄 토양온도를 향상시켜 화학반응이 촉진되고 양분흡수가 향상됨
- 밭농업기계화에 따라 빠른 배수는 경운, 파종, 수확작업의 시기를 정할 수 있으며 작업능률도 향상시킴
- 무리한 배수는 주위의 지하수위를 낮추고 주위의 못이나 하천으로 유입되는 수량을 줄일 수 있다는 단점도 조사됨

다. 논토양과 밭토양의 차이점

- 환경적 측면의 가장 큰 차이점은 논은 벼를 담수재배를 계속하여 토층이 환원되었고 밭은 산화상태인 것이 특징이며 밭에서는 경사지가 대부분으로 토양유실이 많이 일어나고 있다는 점
- 논토양에서는 담수 시에 미생물이나 식물 뿌리에 의하여 산소를 소모하고 탄산가스를 방출하여 질소는 환원상태로 변하고 있으며 항상 산소는 부족한 상태임

- 밭토양은 건조상태이고 강우 시 유실이 심하여 염기가 용탈되므로 산성화가 촉진되어 토양퇴화가 촉진됨
- 작물생산의 측면에서 보면 논은 지력의존도가 큰 반면 밭은 비료의존도가 높은 특징이 있음
- 경지이용에 따라 배수등급별로 토양화학성을 보면, 논토양에서는 배수불량지에서 EC가 1.26dS m^{-1} 로 가장 높고 배수불량지에서 유효인산 함량이 96mg kg^{-1} , Ca이 4.9cmol kg^{-1} 로 제일 낮아서 배수불량지 배수개선 시에는 참고로 하여야 할 것임
- 콩 재배적지와 양파 재배적지를 적정 지하수위를 기준으로 제시함 양파의 재배적지는 일본, 유럽, 미국, 우리나라의 기준을 비교하였으며, 담전유회환지에서의 양파의 증수효과는 네덜란드 경우 예를 제시함

라. 적정 배수시설

- 배수시에 배수 깊이와 간격은 함께 고려해야할 사항이며, 배수 깊이가 깊으면 더 넓은 간격으로 설치하고, 배수 깊이가 얕으면 더 좁은 간격으로 배수시설을 해야 함
- 배수시설은 지형에 따라 토층 속의 과잉의 물을 배수시켜 외부로 내보내야 하므로 지형에 따라 집수하여 하천으로 연결하기 위해서는 지형에 맞는 설계가 필요함
- 네덜란드의 예인 배수형태를 지하배수, 관정배수, 표면배수, 간선배수로 분류하고 거기에 필요한 공학적 요소들을 정리하였다. 배수시설은 반영구적이기 때문에 그 지역 환경과 토양조건들을 두루 고려하여 배수 깊이, 간격, 관 또는 도랑의 규격, 관정과 펌프의 용량, 농장의 경사와 길이, 고랑의 규격, 넓이, 단면, 배수경사, 격자의 간격 등이 두루 고려되어야 한다고 함
- 여러 연구결과에 의하여 설정된 토양 물리성의 주요인자를 보면, 최적지는 논이 유효토심 $50\sim 100\text{cm}$ 범위였고 밭은 100cm 이상이었

다. 밭토양의 지하수위도 일본에서만 60cm로 잡았을 뿐 우리나라와 중국은 100cm 이상이므로 논에서의 밭작물재배를 위해서는 배수암거 깊이를 1m가량으로 계획하고 그에 따른 간격을 정하여 배수시설을 설치해야 할 것으로 판단됨

7.2 국내외 농지범용화 사례

가. 국내 연구 및 사업화사례

- 경남 밀양의 농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 정기열 박사는 밭작물 재배를 위한 경사지 논토양의 배수방법 개선연구에서 200mm 유공관, 쇠석 소수재, 수갑, 비닐막 차단설치를 통한 외수유입방지 시설을 설치하여 암거배수 연구를 실시한 것으로 조사됨
- 국내 범용화와 연관이 있는 사업으로는 1976년 이후 UNDP 사업이었던 습답의 건답화를 위한 지하배수개선사업, 1994년 이후 받기반 정비사업, 대규모경지정리사업 등이 있는 것으로 조사되었음
- 논을 밭으로 사용하고 있는 사례로는 인삼재배단지가 있었으며, 배수방식으로 암거깊이 65cm, 간격 5~7m로 매설하였으며, 말단부에 수위조절밸브를 설치하여 벼농사 재배가 가능하게 하고 있었음
- 또한 나주시 원예연구소에서는 직경 20~25cm 유공관배수관을 차광망으로 둘러 깊이 1m에 매설, 자갈이나 왕겨를 소수재로 사용하여 과수의 당도나 과중이 대조구에 비해 증가하는 것으로 나타남
- 미래농촌연구소 김현태박사는 간척지 제염암거로 50mm유공관과 폭 50cm의 덮개 부직포를 자체개발한 장치를 이용하여 매설하고 토양염도를 모니터링하고 있는 것으로 조사됨

나. 국외 연구사례

- 네덜란드 등 일부 국가에서는 80~100m간격, 깊이 80cm, 직경 10cm의 주암거를 설치하고, 트렌치에 채워진 자갈층을 통과하도록 2.5~3.0m간격, 70cm깊이, 7~8cm직경의 두더지 암거를 시공하는 것

으로 조사되었다. 경운 심도 25cm, 느슨한 작토층 50cm, 이랑 70cm, 심토파쇄 방향은 보조암거를 횡단하도록 경작지를 조성하는 것으로 나타남

- 지하배수암거 시공기술로 흡수거와 집수거의 연결에 맨홀을 설치하여 유지관리를 하고 있는데, 경작에 방해되지 않도록 지중에 묻는 방식과 지상으로 뚜껑이 노출되는 방식이 사용되는 것으로 조사됨
- 지하배수된 물을 경작지 외부로 배제시키는 방식으로는 자연배수 방식과 썸프방식이 있는 것으로 조사되었는데, 썸프방식은 집수거의 단부에 썸프를 설치하고 집수된 물을 배제하기 위해 펌프를 설치하여 일정 수위가 되면 펌프가 작동하게 하여 썸프내 물을 하천 등으로 배제시키고 있는 것으로 조사됨

다. 국외 사업화 사례

- 일본 농림수산성 경지의 작부면적 통계자료 농업기반정보기초조사에 따르면 전체 논 면적 247만ha 중 지하수위가 70cm이상, 담수배제시간 4시간 이하인 배수양호 논이 범용화 논으로서 사업 추진에 따라 그 면적이 2011년 106만ha, 2012년 107만ha로 매년 증가하는 것으로 조사되었음
- 일본의 범용화 기술의 한 예로서 농촌공학연구소와 개인회사에서 개발한 FOEAS시스템이 조사되었는데, 연구단계를 마치고 부품들이 상용화되어 설계도서 및 매뉴얼과 함께 공급되고 있는 것으로 조사됨. 본 시스템은 지하급수 장치 및 수위제어기, 유지관리를 위한 곡선형 배관 등이 특징적임
- 일본 규슈대학교 후쿠다 교수는 협동연구기관들과 함께 시트파이프 배수·관개시스템(Sheet Pipe Drainage and Irrigation System)을 개발한 것으로 조사되었는데, 본 기술은 약 40년 전에 개발되어 2001년에 신기술로 인정되어 사용되는 암거배수 장치로서 오이타현, 나가사키 현, 후쿠오카 현, 가고시마 현 등에 보급되어 있으며, 오이타현 우사시만 1400ha의 시공 실적을 가지고 있음.

- 신규 부설의 경우, 우선 시트 파이프 배수관만을 부설하고 필요에 따라 나중에 관개 기능을 추가하는 등 단계적인 정비도 가능함, 특히 수위조절 장치로 부표식 제어밸브도 함께 개발하였음
- 네덜란드의 경우 관개와 배수를 겸용하는 배수시스템을 활용하고 있으며, 작물의 과습을 방지하기 위해 집중적인 배수 시스템을 가동하고 있다. 배수의 경우 기계배수를 통해 적정 수위관리를 하고 있으며, 농지 내에는 암거를 설치하여 배수를 실시하고 있는 것으로 조사됨

라. 범용농지 기계화

- 일본 국립농촌공학연구소 Iwao KITAGWA는 새로운 “Cut-drain” 장치를 배수암거 설치용 기계로 개발하였다. 그는 토양의 투수성을 개선할 수 있는 저비용 배수개선 기술을 소개하였음
- 이 장치는 깊이 40~70cm에 10~15cm폭의 사각 공동을 만들어주는 장치로 농부들의 트랙터에 부착하여 사용한다. 먼저 공동을 만들고 흙이 오래도록 유지되도록 하기 위해 흙덩이를 이동시켜 두껍을 만들어주는 방식으로 견고한 흙에도 적용이 되며 붕괴에 덜 민감해지도록 하는 방식임
- 네덜란드에서 사용되는 지하배수시설 설치용 장비를 조사한 결과 크게 불도저와 같은 전문 매설장비, 두더지 암거나 심토파쇄용 장치, 배관 구매를 맞추기 위한 측량장비 등이 있는 것으로 조사되었다. 불도우저 형식의 장비에는 트랜치를 파는 방식과 수직형 쟁기날로 땅을 가르는 방식으로 구분되었다. 쟁기날 방식에는 V자형 날을 사용하는 경우도 있었는데 V자형으로 파인 저면에 흡수거를 매설하는 방식임
- 원활한 배수를 위해서는 흡수거나 집수거의 설치구배를 계획대로 시공하는 것이 무엇보다 중요하다. 정확한 구배로 시공하기 위해 레이저 측량장비를 사용하는 것으로 조사되었으며 매설기계에 타깃을 부착하여 동일 레벨을 포착하는 방식이 사용되고 있었음

- 다음은 범용화된 농지의 기계화검토를 위해 현재 밭농업의 기계화 현황을 살펴보았음
- 국내 전체 경지면적 중에서 밭이 차지하는 비중은 1990년 36.0%에서 2013년 44.0%로 높아졌다. 주요 밭작물의 재배면적은 1990년 이후 양파, 감자, 고구마에서 증가한 반면에, 고추, 마늘, 배추, 무, 콩은 크게 감소하였다. 이 같은 밭작물 재배면적 감소는 농산물 시장개방에 따른 농산물 수입 증가, 농촌의 노동력 부족과 고령화 등 복합적 작용에 기인한 것으로 판단됨
- 농촌진흥청 국립농업과학원 최규홍박사는 한·중 FTA대응 밭농업기계화 사업의 필요성을 제기하면서 밭농업 비중의 증가 추세, 기계화 현황 등을 분석하고, 밭농업기계화의 제약요건으로 영농규모 등을 제기하고 있음
- 밭농사 기계화율은 55.7%로 조사되었으며, 벼농사 기계를 사용할 수 있는 경운·정지, 방제 작업의 높은 기계화율이 반영된 결과이고, 작업시간이 길고 노동 강도가 큰 파종·정식과 수확작업의 기계화율이 각각 4%와 15%로 저조하여 아직 인력 의존도가 높은 것으로 집계하였음

7.3 밭작물 논 재배현황 분석

가. 국내외 작목별 현황

- 약 20년 전인 1991년도에 밭에서 논으로 전환된 면적은 3,905 ha인 반면에, 논에서 밭으로 전환된 면적은 8,488 ha로 나타났다. 이러한 추세는 계속되어 대체로 현재까지는 논에서 밭으로의 전환이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타남
- 우리나라 경지이용률은 1970년대 140% 수준이었으나 계속 떨어져 2009~2011년에는 110% 수준, 최근 다시 108.2%로 떨어지고 있으며 논 이용률은 105% 수준이며 논 재배면적이 증가하는 작물은 노지채소, 식량작물 중에서는 두류, 서류, 잡곡이 약간 증가하는 추세임. 전체적으로 논에서 작물재배추이를 보면 2010년에서 2013년 사이에 식량작물은 6.9% 감소, 노지채소는 18.7% 증가, 시설작물은 27.9% 감소, 특용작물도 21.6% 감소, 과수는 포도재배면적 증가로 22.5% 증가되었음
- 2013년 우리나라의 콩 재배면적은 총 80,031ha로 지목별로는 밭 69,625ha와 논 10,406ha로 되어 있으며 2000년도에 비하여 6,145ha가 감소되었으며, 밭에서는 11,676ha가 감소되었으나 논에서는 오히려 5,531ha가 증가되었다. 재배면적이 감소되는 이유는 수확기 콩가격 하락으로 타작목 전환이 이루어졌기 때문이다. 특히, 참깨, 들깨, 율무 등으로 전환이 많이 이루어진 것으로 보임
- 세계야생보호기금(WWF)에서는 세계 콩생산량을 2050년도에는 141백만ha에 재배하여 514백만t을 생산할 것으로 추정하고 있는데 이는 단위생산량을 현재의 2012년도 기준으로 2.238t/ha의 수량을 5.14t/ha로 올려야 가능하므로 콩재배 기술의 혁신이 매우 필요한 시점으로 예견하고 있음
- 지난 40여 년간 조미채소인 양파, 마늘 및 고추의 재배면적 변화를 보면 양파면적은 1970년도에 83천ha에서 작년에는 1,294천ha로 약 15배 증가하였으며 마늘 재배면적은 같은 기간에 15천ha에서 29천ha로 약 2배로 증가되었고, 고추는 37천ha에서 21.6% 증가하는데

그쳐서 그동안 양파의 소득이 높았음을 알 수 있었음

- 세계의 양파생산국은 중국과 인도이며 다음으로 아주 적은 비율로 미국, 이란, 이집트, 터키, 러시아, 파키스탄, 네덜란드, 브라질, 우리나라가 양파를 생산하고 있음
- 최근 논에서 재배면적이 증가하는 작물을 지역별로 보면, 경기·강원 등 중부지역에서는 콩, 노지채소, 옥수수, 감자, 시설채소 등이었고, 경기지역에서는 인삼, 주산지가 점차 북상하는 경향을 보여주고 있으며, 논 소득기반 다양화 사업으로 논에 도입되는 작목은 콩, 감자 등으로 보임. 중북부 지역에서 논에 재배면적이 감소하는 작물은 벼가 공통적이고 인삼, 청보리, 울무, 조사료 등이 가끔씩 나타나고 있음. 지역별 논 재배면적 증감동향을 분석한 결과, 극히 일부 시군을 제외하고는 공통적으로 벼 재배면적이 감소했고, 대체작목이 다양하게 도입되고 있었음
- 작목선택의 이유(근거)는 수익성(72.6%)이 가장 높고, 판로(9.7%), 재배기술(7.7%), 기타 (10.0%) 등으로 나타났으며 논에 벼 대체작목 도입으로 식량자급률 제고 및 농가소득 안정화에 기여할 것으로 판단되었음

나. 작물별 가격 및 수급 동향 분석

- 우리나라의 곡물자급률은 전체로 23.1%로 계속 감소되어 왔으며, 자급도는 쌀 89.1%와 서류의 96.2%를 제외하고는 보리가 19.9%로 두 자리 수 일 뿐 두류는 9.7%, 밀과 옥수수는 1% 미만으로 거의 수입에 의존하고 있음
- 사료용을 제외하고 우리나라의 식량 자급도는 47.2%이며, 자급도는 콩이 29.1%로 우리가 섭취하는 콩의 70% 이상이 수입에 의존하고 있으며, 밀은 98.9%를, 보리는 79%를 수입에 의존하고 있음
- 정부에서는 식량자급률 목표치를 2015년에 57.0%, 2020년에 60%로 설정하였는데 이는 보리의 자급률은 현재 31.0%로 고정시키면서, 밀은 15%, 콩은 40%로 향상시켜야 되는 야심찬 계획이며 이를 달

성하기 위해서는 일부 논에서의 밭작물 재배가 불가피하고 새로운 농사기술이 요구되는 것임

- 콩의 생산량은 1970년도에 232천t에서 2010년도에 105천t으로 절반으로 떨어졌다가 작년에는 154천t으로 증가 추세에 있음. 가격도 1970년도에 5,060원/75kg으로 시작하여 작년에 약 50배 증가하여 276,675원/75kg으로 상승세를 멈추지 않고 있음. 작년에 1,153천t이 생산되어 식용으로 421천t과 사료용으로 848천t이 소비되었음
- 최근의 콩의 원산지별 가격(2014.10)은 국산 상품 4,057원/kg으로 가장 높고, 국산 중품이 3,777원/kg이었으며, 수입산은 3,194원/kg으로 작년보다 1/3이상 하락한 상태이었으며, 수입산은 국산 상품의 78.7% 수준이었다. 국산 콩가격이 2012년도에는 평년값을 유지하다가 작년에는 평년가를 15%상회하다가 올해는 반대로 평년가의 78%범위에 머무르고 있어서 재배면적 확대가 쉽지 않을 전망으로 대책마련 필요
- 양파의 평년가격은 일반적으로 수확시기인 5-6월에 낮았다가 다음 해 수확 직전인 4월에 최고가를 보이나 작년에는 4-5월에 평년의 두 배가 넘는 높은 가격을 형성하다가 계속 값이 하락하여 지난 9월에는 평년가의 62%를 하회하고 있었음
- 감자재배 면적은 2005년도에 32,728ha를 정점으로 증감을 계속하여 작년에 27,430ha에서 727,433t을 생산하고 148,763천t을 수입하여 1,650t을 수출하고 소비하였는데 1인당 소비량이 작년에 17.4kg/인으로 작년도에 매우 높아진 것으로 나타남

7.4 범용농지 시험포 운영

가. 설계기법 분석

- 지하급배수의 설계는 기본적으로 지표에서 유출·입되는 수량(Rain fall, evapotranspiration)과 지하시설을 통한 유출·입되는 수량(Irrigation, Drainage)과의 관계에서 적정한 지하수위 또는 토양함수량을 확보하기 위한 지하시설의 심도와 간격을 결정하는 문제로 요약할 수 있음
- 설계에서 가장 중요한 부분이 작물에 적용되는 허용침수시간과 최적의 토양함수량이지만 논·밭 전환을 목적으로 하는 범용화 설계에 적합한 기준은 정립되지 않았으며, 밭작물 별 허용 범위도 다양하기 때문에 특정의 기준을 제시하기에는 어려움이 있을 수 있음. 따라서 지하수위를 기본으로 한 배수시설(이하 암거)의 심도와 간격을 결정하기 위한 기본적인 설계기법을 정리하고 각 설계기법에서 요구하는 설계인자에 대하여 검토함
- 농업생산기반정비사업계획설계기준 배수편에 따르면 암거의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 정하고 있으며 구체적인 수치범위로 제시하고 있음
- 흡수거의 간격, 계획지하수위, 여유심, 동결심도, 기계차륜 침하에 따른 암거 파손 등을 고려하여 간격, 깊이, 재질 등을 정하도록 규정하고 있음
- 주암거와 배수로의 깊이관계에서 주암거 매설깊이를 1.0m 이내로 하여 배수지거의 바닥고를 1.4m로 유지하는 규정으로 제시하고 있지만 범용화 대상지의 여건상 배수지거의 바닥고가 낮은 경우가 많을 것으로 판단됨 따라서 국외의 사례에서도 언급하였지만 집수거의 연결을 통한 썸프(Sump)방식과 병용하여 설계하는 방안도 필요할 것으로 판단됨
- 암거의 매설깊이가 목표 지하수위 및 작업의 효율성 등에 의해 결정되는 것과 달리 암거의 매설간격을 결정하기 위해서는 비교적 많은 설계인자를 이용한 계산이 필요함

- Hooghoudt는 Darcy's law에서 정류방정식을 유도하였으며, 투수계수, 유효깊이, 고랑간격, 강우강도 등 여러 변수로 구성된 이 식은 먼저 계획암거 배수량에 따라 유효깊이를 가정하고 준 식에서 순서대로 유효깊이를 계산하여 가정한 값과 같아질 때까지 반복하여 간격 S를 구하는 방식임
- 정류방정식에서는 배수계수를 강우량과 동일하게 설정하나 지표유출이 있는 강우가 발생하는 환경에서는 적용하기 어려움. 예를 들어 100mm/day의 강우에 대하여 이를 배제하기 위한 암거 설계를 한다면 매우 비경제적인 결과가 되며 합리적이지 못하게 될 것임
- 이러한 경우에 대하여 van Schilfgaarde(1963)은 지하수위를 낮추기 위한 Boussinesq equation의 해로 부정류방정식을 제시하였는데 이 식의 주요변수는 목표하는 지하수위로 낮추기 위해 필요한 시간이 있고, 강우강도가 없는 점을 제외하고는 정류방정식과 동일함. 계산순서도 동일함
- 배수암거 설치간격에 대한 변수의 민감도 분석 결과 정류방정식에서는 투수계수가 가장 크게 영향을 미치며, 두 번째로 배수계수로 나타났으며, 부정류 방정식에도 역시 투수계가 첫째이며, 두 번째는 유효간극률(drainable porosity)이 역의 상관관계로 나타남
- 흡수거의 관경은 설계기준에서 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하할 수 있는 크기로 할 것을 정하고 있음 흡수거의 기울기는 인력매설, 기계매설에 따라 적정 구배범위를 정하고 있음
- 국내외 문헌상 용어가 상이한 경우가 있으나 배수편을 기준으로 할 때 피복재(Surrounds)는 사용목적에 따라 여과재와 소수재로 구분하고 있음

나. 설계인자 분석

- 지하급배수 설계를 위해서는 많은 설계변수가 필요하다. 기본적으로 요구되는 단위계획배수량(배수계수 Drainage coefficient)에서부터 토양 속의 물의 흐름과 관련된 흙의 특성, 매설되는 암거의 특성 등임

- 「배수편」에서 제시되는 설계변수와 기타 참조할 수 있는 값들을 비교하고 설계인자를 구하는 조사·실험법에 대하여 고찰하고자 함
- 계획 암거배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용 형태 등에 따라서 10~30mm/day로 정한다고 정하고 있음. 일반 원예작물 같은 고급작물에서는 13~38mm/day를 기준으로 함
- 결국 재배하고자 하는 작물을 선정하고 계획배수량과 목표지하수위가 결정되면 이에 따른 암거의 간격, 깊이가 토양의 투수계수 등에 따라 결정되고, 경제성을 따져서 보조암거 등을 사용할 수 있을 것임
- 투수계수는 지하배수 설계에서 가장 기본적인 물성으로 암거의 심도 및 간격에 큰 영향을 미친다. 따라서 조사 및 실험을 통해 신중히 결정할 필요가 있음
- 투수계수를 측정하는 실내시험방법에는 크게 정수두 투수실험과 변수두 투수실험이 있으며, 현장시험방법에는 시추공법이 있음
- 암거 간격결정 부정류방정식의 주요배수인 유효간극률을 정확히 측정하는 시험방법은 제시된 바가 없는 것으로 알려져 있음. 따라서 일반적 제시 값이나 투수계수에 따라 결정되는 값을 사용할 수 있음
- 경제성 측면을 들어 암거간격을 최소 10m이하로 규정하는 기준은 난투수성 토양에 대해서는 추가적 검토의 여지를 마련할 필요할 있을 것으로 판단됨 보강수단으로 사용되는 보조암거의 시공, 배수시설의 유지관리, 목표지하수위, 계획배수량의 달성 여부를 검토할 필요가 있을 것으로 판단됨

다. 지하관개를 위한 급수장치

- 공기변 내에는 부표와 추를 이용하여 물탱크에 용수를 공급하는 펌프의 on/off 스위치를 설치하여 수위가 내려가면 용수를 공급하고 수위가 올라가면 용수공급을 중단하는 방식으로 설계하였음. 목표하는 지하수위의 조절은 on/off를 위한 도르래의 작동 지점을 조절하거나 부표와 추의 길이를 조절하면 가능함
- 현재 시험포의 지하수위가 높아 설치를 보유하고 있으며, 필요 시 설치를 통하여 지하급수에 따른 토양함수비의 변화를 모니터링할 것임

라. 시험포 설계

- 범용화 시험포는 경상북도 상주시 함창읍 오사리 342번지에 위치한 답 100m×43m규모로 대조구와 배수처리구로 구분하였으며, 배수처리구는 다시 지하급배수구간과 지하배수구간으로 구분하였음
- 부정류방정식에 따라 적정 설계인자를 가정하여 간격을 결정한 결과 5.4m로 획득되었으나 설계기준에 준하여 10m간격으로 정하고, 매설심도는 현장여건을 고려하여 상류단에서 0.7m, 하류단에서 0.8m를 적용, 배수암거 기울기는 1/400경사로 설계하였음

마. 시험포 시공

- 배수암거는 폭 50cm가량의 트렌치를 파고 소수재로 쇄석 20mm를, 여과재로 부직포를 시공하였음
- 집수거는 300mm이중관을 사용하였으며, 4개 흡수거마다 1개의 집수정을 설치하였으며 이를 집수거로 연결하여 썸프에 연결하였음. 썸프에서 배수되어 모인 물을 배수지거로 펌핑할 수 있도록 시공하였음
- 흡수거, 집수거, 연결관의 정확한 구배측정을 위해 레벨측량을 병행하며 시공하였음
- 또한 시험포 모니터링을 위해 구간별 지하수위 관측공 천공, 토양

함수비 측정센서 매설, 강우량계 설치, 배수량계 설치, 물탱크, 전기 설비 등을 설치하였음

바. 시험포 모니터링

- 강우량과 함께 지하수위를 모니터링한 결과, 지하수위는 강우시 상승하고 이후 하강하는 정상적인 경향을 보였으며, 단지 강우의 영향이 시험포 내에서 침투되는 강우의 영향뿐 아니라 주변의 지하수위 상승에 따른 영향이 클 것으로 판단되었음. 당초 예상하지 못할 정도로 시험포의 지하수위가 높은 것이 원인으로 보이며 향후 지속적인 모니터링을 위해서는 시험포 외의 지하수위에 대한 모니터링이 추가로 필요할 것으로 판단됨. 강우에 따른 지하수위의 상승과 하강이 가장 민감한 구역은 1구역으로 나타났음. 이는 인근 지역 및 용수로에 가장 인접하여 영향을 가장 크게 받기 때문인 것으로 판단됨
- 대조구인 구역 3의 상부 40cm까지는 포화되지 않은 상태인 습윤상태로 변화하고 있고, 강우시에는 표면 부근도 포화에 가까운 상태로 변화하고 있다. 그리고 80cm 이하는 포화상태인 것으로 보인다. 이는 지하수위 관측에서 나타난 바와 같다. 구역 1의 경우 지하수위가 상당히 높은 구역으로 현재까지 계측된 바에 의하면 심도 20cm 까지는 습윤상태로 변동하고 있으나 40cm 이하에서는 거의 포화된 상태로 변동하고 있다. 상부는 강우의 영향에 크게 영향을 받아 함수비가 변하고 있고, 하부는 지하수위의 영향을 크게 받는 것으로 판단됨
- 배수압거가 설치된 구역 1과 구역 2에 배수량을 살펴보면, 강우 이후에 배수량이 증가하고 이후 감소하는 정상적인 거동을 보이고 있음. 단지 시험포의 지하수위가 높아 지속적으로 일정량의 배수량이 발생하고 있음
- 습지 등 배수가 불량한 토양의 수문 및 배수수질을 설명하기 위한 시뮬레이션 프로그램(Skaggs, 1978)으로 DRAINMOD의 기능을 분석하여 소개함

- 시험포의 지하수위는 외부의 영향이 크기 때문에 현재까지는 강우 조건과 관계없이 압거 상부에 지하수위가 위치하고 있는 것으로 시물레이션 되었음. 즉, 안정화 단계 이후의 거동을 보면 DRAINMOD의 해석결과는 압거 매설위치에서 강우에 의해서만 변동하는 것으로 나타나지만 실제 계측결과는 이보다 매우 상부에서 변동하고 있음
- 또한 향우 농지범용화 사업을 위한 모니터링 및 시물레이션을 위해서는 대상지구에 대한 장기간의 강우 및 증발산 데이터, 토양특성 데이터를 축적하여 시물레이션을 수행할 필요가 있을 것으로 판단됨

사. 증수효과 분석

- 시험포에 파종한 작물은 콩나물용 콩(해품(밀양225호))임. 과습한 조건에서는 검은뿌리썩음병이 발생할 수 있으므로 배수가 불량한 토양에서의 재배는 피해야 하는 품종임
- 개화기는 7월29일로 표준품종인 풍산나물콩보다 1일 빠른 중인데, 기상조건에 따른 시험포장의 지하배수압거 공사가 지연되는 관계로 7월22일에 파종함
- 콩의 생육은 완전하지 못하여 경장이 52.6-55.8cm 로 이 품종의 정상인 61cm 보다 덜 자랐고 협수가 이 품종의 68개 보다 20개 이상 적고, 100립중이 8.56-9.14g으로 정상생육시 10.4g보다 1.3-1.8g 정도 적어서 82-88%의 충실도를 나타내고 있음
- 배수구는 무배수구 보다 경직경, 협수, 알수 및 100립중에서도 생육이 양호하여 전체적으로 수량을 14% 증수되었으나 수량이 해풍콩의 생산력검정시험 수량인 390kg/10a의 62.7-71.6%에 머물렀음

7.5 범용화 사업을 위한 제안

가. 적정지하수위

- 미국에서는 양파 재배적지를 배수가 잘되는 사양질 토양으로 추천하고 있으며, 유기질토양에서 고품질 다수확을 위하여 설정한 채소작물의 주별 적정 깊이를 보면 대부분이 60-70cm에 분포하고 있었고 지역의 특성에 따라 달라 양파의 경우 적정 지하수위가 Florida주에서는 45-60cm, Indiana주에서는 75cm, England주에서는 설정되지 않았고 Minnesota주에서는 90cm로 가장 깊게 정하고 있어서 재배환경에 따라 다르게 적정 지하수위 깊이를 정하고 있음
- 네덜란드에서 연구된 지하수위별 작물의 수량지수를 보면 지하수위 100cm에서의 수량을 100으로 정했을 때, 지하수위가 40cm에서 수량지수는 감자 46, 양파 63, 단옥수수 61, 당근 59로 양파가 가장 높고 감자가 가장 낮았음. 지하수위가 60cm 인 경우에 감자는 94, 당근은 93이었으나 양파는 109로서 지하수위 100cm구보다 수량이 높았고 양파는 지하수위 80cm에서 수량지수가 113으로 최고 수량을 보였음
- 우리나라 농경지 토양의 물리성 개량 기준은 논토양에서 가비중을 표토는 1.2-1.25 이하로, 심토는 1.50이하로 부드럽게 만들고, 지하수위는 30cm 밑으로 낮추는 것이며, 밭토양은 표토의 가비중을 1.30이하로, 심토는 토성에 따라 사양토 1.55, 양토 1.50, 식양토 1.40 이하로 낮추고 지하수위를 100cm 밑으로 내리는 것임

나. 사업대상지

- 평탄지의 경우 호우기에 하천수위가 상승하고 상부로부터 유거수가 내려오므로 침수에 유의해야하며 배수양호한 지역은 사양질과 사질, 배수 약간불량한 사질에서는 배수로나 진입로 등으로 밭작물재배가 가능하고, 배수 약간양호한 미사사양질보다 세립질토양, 사양질~식양질토양과 배수 불량한 미사사양질~사질토양은 암거시설과 기반정비가 필요하고 그 외 토양은 암거배수시설과 인공펌프로 배수시켜야 호우기에 밭작물을 안전하게 재배할 수 있다고 판단됨

- 토성별 배수등급별 분포면적 통계기준에 따라 산출한 범용화 사업 대상면적은 평탄지(경사 2% 이하)에서는 아무 시설 없이 언제나 답전운환이 가능한 면적이 73,606ha이고, 간이배수시설(암거배수시설)이 필요한 곳은 154,772ha, 집약배수시설(지표 및 지하배수시설)은 184,580ha에서 필요한 것으로 계산되었으며, 경사 2-7%의 약한 경사지에서는 총 357,220ha 중에 운환가능지가 79,637ha로 대부분이고 간이배수 242,593ha, 집약배수 34,990ha로 밝혀졌음. 이와 같이 7%이하 경사지에서 발작물을 안전하게 재배하려면 간이배수 397,365ha와 집약배수 시설 219,570ha, 즉, 616,935ha를 배수개선의 목표로 삼아야 할 것임

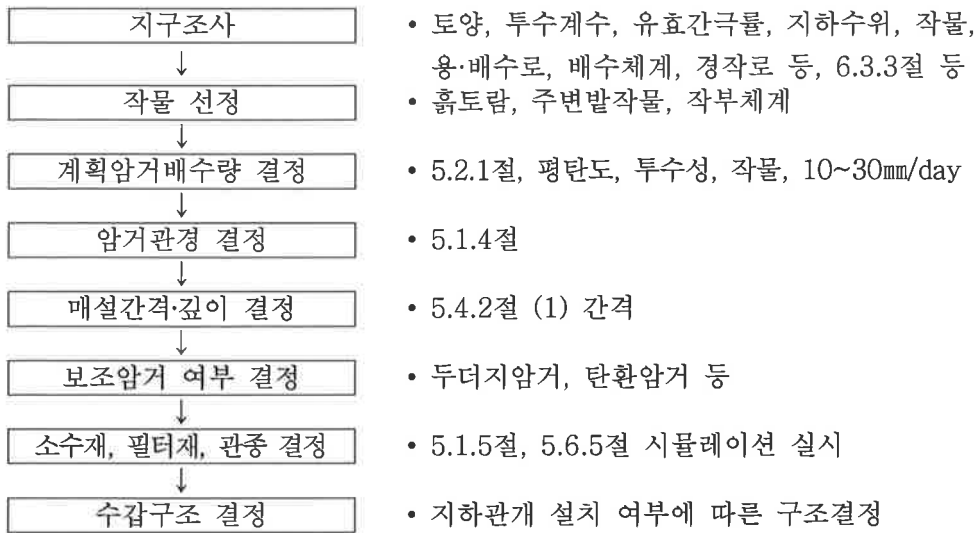
다. 설계기준 검토

- 현행 설계기준을 검토한 결과 몇 가지 제안사항이 있어 정리하였음. 첫째 여과재의 사용여부에 대한 기준 정립 필요, 둘째, 설계에 민감한 투수계수의 적정값 적용을 위한 기준 마련 필요, 관내의 최대유속과 최소유속 및 유효간극률의 결정에 관한 기준 마련 필요임. 실내투수계수 실험법과 현장투수계수실험법을 조사정리하였음

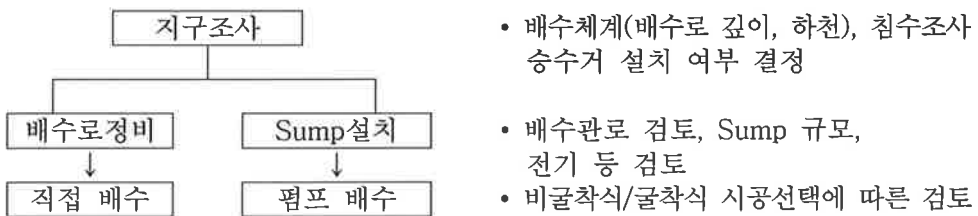
라. 범용화 단지 운영

- 범용농지사업의 목표는 농지이용율을 제고하고, 곡물자급율을 높이는 것으로 콩, 옥수수, 감자, 고구마, 잡곡류 등 밭식량작물을 위주로 판단해야 하며, 경제성에 대한 고려가 이루어져야함
- 범용농지조성사업의 대상 작물, 농민부담율, 지역별 적용모델 등이 도출되어야 하고, 사업대상지, 사업규모, 사업추진체계 등에 대해 고려해야 함
- 배수개선사업, 농지규모화사업, 들녘경영체육성사업 등 다양한 정책사업과 연계할 수 있어야 하며, 이를 고려하여 범용농지 조성사업 지구 선정 지표 마련 필요
- 수리계 등 운영관리주체에 대한 검토, 사업계획수립 시 발농업기계화, 직불제 등 관련 사업과 연계하여 추진필요

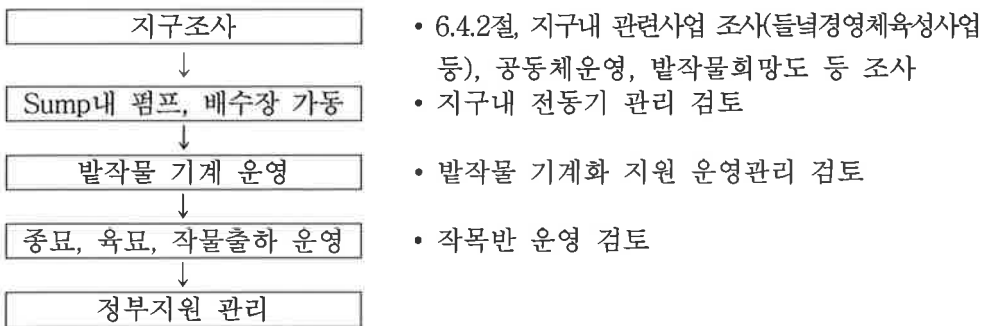
<암거 계획>



<배수 계획>




<단지운영 계획>



※ 3차년 연구에서 설계,시공,유지관리 등 지침 작성계획

[그림 7.1] 범용화 사업화를 위한 계획단계 검토사항



범용농지조성 기반기술 개발(II)

Development of Technology for Multipurpose

Utilization of Paddy Field (II)

참고문헌

참 고 문 헌

1. 강기경, 1998, 답전유환 따른 다원적 변화량 추정, 농업과학연구보고서.
2. 강기경, 김세근, 윤희배, 1989, 답전유환에 따른 다원적 기능의 변화량 추정, 농업과학원 연구보고서.
3. 강성수, 김유학, 김명숙, 송요성, 공명석, 2013, 주요 작물재배지 토양검정, 농업 과학원 시험연구부고서(농업환경부).
4. 강종국, 2014, 영산강간척지 발작물 안정재배를 위한 종합수익모델, 농촌진흥청 국립식량과학원.
5. 고진석, 지홍기, 이순탁, 2009, 행위자기반모형을 이용한 토지이용 변화 분석, 한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집, 한국수자원학회
6. 고희원, 김선주, 김일항 등, 1992, 농지개발공학, 향문사.
7. 구자용, 권순국, 김태철, 남궁달, 엄병현, 유시창, 이희영, 정상욱, 1993, 신고 수리학, 향문사.
8. 국립작물과학원, 2013, 밭농사 핵심 재배기술, 2013.5.
9. 국립작물과학원, 2013, 식량작물
10. 국립작물과학원, 2013, 중부지역 논 감자-콩 재배 기술.
11. 국립작물과학원, 2013, 콩 자급률 제고를 위한 정책방향 및 기술개발 전략 : 심포지엄
12. 권순국, 윤희섭, 1994, 전전환답 포장에서의 지하수위 및 토양수분 변화 특성, 한국농공학회지 36(2):123-131.
13. 김정덕, 김태훈, 전상곤, 이정환, 1999, 농업전망시물레이션모형 KREI-ASMO99, 농촌경제연구원
14. 김관수, 김정호, 안동환, 2012, 농산물 조기에보지수 개발을 위한 위기 구간 추정-양파를 중심으로, 농촌경제 33(4):19-41.
15. 김명환, 이대섭, 김태훈, 김배성, 조영수, 이용호, 윤태연, 2006, 농업부문 전망모형 KREI-ASMO 2006 보완 및 운용에 관한 연구, 농촌경제연구원
16. 김명환, 한석호, 조재성, 김태우, 이창수, 2013, 농업부문 전망모형 KREI-KASMO 2013 운용·개발연구, 한국농촌경제연구원.
17. 김미복, 박성재, 2014, 농업구조변화와 농가건제, 정책적 시사점, 농정포커스 제95호(2014.10.10.) 농촌경제연구원.

18. 김성수, 1991, 농가가 필요로 하는 광범위 지식정보의 수집활용에 관한 연구, 90산학협동용역발표자료
19. 김영화 외, 2012, 발기반정비의 실태분석과 개발기법에 관한 연구, 농림축산식품부, 한국농어촌공사
20. 김유학, 2014, 토양검정과 비료사용량, 토양비료 연구 최근 50년 이야기, 국립농업과학원 토양비료과 85면.
21. 김유학, 2014, 토양비옥도 및 토양개량연구, 토양비료 연구 최근 50년 이야기. 국립농업과학원 토양비료과.
22. 김이열, 민경범, 조인상, 주낙섭, 엄기태, 1985, 관개수온의 차이가 토양 및 수도체내 양분변동에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 18(3):247-251.
23. 김이열, 조인상, 김홍배, 이용환, 조병옥, 1985, 수온차이가 수도생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 18(4):359-365.
24. 김이열, 2003, 배수개선 의 필요성, 농촌진흥청 영농기술.
25. 김이열, 2005, 토양의 물리성과 콩 생육, 작목기술정보, 농촌진흥청.
26. 김이열, 조인상, 1998, 토양의 물리성, 한국토양비료학회지 31(S):7-18.
27. 김이열, 조인상, 엄기태, 1988, 토양의 물리화학성과 대두생육과의 관계, 농시논문집(토양비료) 30(2):1-5.
28. 김이열, 조인상, 엄기태, 1991, 수도중심 작부별 토양환경변화와 작물수량, 한국토양비료학 회지 24(1):22-27.
29. 김이열, 조인상, 엄기태, 민홍식, 1990, 답전윤환 형태별 토양특성 및 작물생산성 변화 1, 토양의 물리성변화, 농시논문집(토양비료편) 32(2):1-7.
30. 김이열, 조인상, 엄기태, 박문희, 1991, 답전윤환 형태별 토양특성 및 작물생산성 변화, 농시논문집(토양비료편) 33(2):18-23.
31. 김정부, 1978, Markov Chain에 의한 경지면적변동 추정, 농촌경제, 1<3>, pp, 136-140.
32. 김정부, 이두순, 김홍상, 1998, 농업생산기반정비사업의 추진체계에 관한 연구, 한국농촌경제연구원
33. 김정호, 2004, 지역농업을 클러스터의 가능성과 과제, 농업경영·정책연구, 31<3>, 514-534
34. 김홍상, 채광석, 2014, 발농업 기반정비 확충방안, 한국농촌경제연구원

35. 김홍상, 채광석, 2014, 밭농업 기반정비 확충 방안, 한국농촌경제연구원.
36. 농림수산식품부, 2012, 농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편
37. 농림축산식품부, 2013, 2012년 농업생산기반정비통계연보.
38. 농림축산식품부, 2014, 농림축산식품 주요통계.
39. 농림축산식품부, 2014, 쌀 관세화 유예종료, Press Kit.
40. 농민신문사, 한국토양비료학회, 2014, 흙을 살리자 심포지엄, 2014, 11.6. 농업중앙회 2층 회의실.
41. 농어촌연구원, 2006 농촌테마공원 조성방안 연구
42. 농어촌연구원, 2009, 시설농업을 위한 기반정비 설계지침, 47-88
43. 농업과학원, 2013, 작물별 토양의 적성등급 기준.
44. 농업기술연구소, 1984, 원색도감, 한국의 답토양, 토양조사자료 10.
45. 농업진흥공사, 1986, 관개배수용어사전.
46. 농촌진흥청, 2006, 녹색농업기술과 4대강 살리기 보고 자료
47. 농촌진흥청, 2008, 토양 및 환경자원정보시스템 활용 교육
48. 농촌진흥청, 2013, 흙토람([//soil.rda.go.kr](http://soil.rda.go.kr))
49. 농촌진흥청, 2001, 논토양 시설원예 기술, 영농기술교본
50. 농촌진흥청, 2001, 콩 재배, 영농기술교본.
51. 농촌진흥청, 2004, 논토양 콩 재배적지 기준 설정, 영농활용기술.
52. 농촌진흥청, 2012, 시설원예 토양관리 기술, 표준영농교본 125.
53. 농촌진흥청, 2012, 콩, 영농기술교본, 농업기술보급 기술서
54. 농촌진흥청, 2013, 농경지 토양 관리기술, 농업기술보급 기술서.
55. 농촌진흥청, 2013, 농경지 토양물리성 개량기준 및 현장 측정법 개발. 국가기초기반연구 개발 주요성과(조희래).
56. 농촌진흥청, 2013, 양파, 영농기술교본, 농업기술보급 기술서
57. 농촌진흥청, 2013, 중부지역 논에서 콩 2모작 시 작기확보를 위한 출현율 향상 방법, 영농활용기술.
58. 농촌진흥청, 2013, 토양관리, 농업기술보급 기술서.
59. 농촌진흥청, 2014, 2013, 농업경영개선을 위한 농축산물 소득 자료집. 농업경영보고 제138호, 2014.8.
60. 농촌진흥청, 2014, 주요 국가별 농축산물 생산비 비교, 농업경영자료 2114-07, [//cbnlibrary.tjstory.com](http://cbnlibrary.tjstory.com)

61. 농촌진흥청, 2014, 콩-기상환경, 재해습해의 경감기술(유용환), 농업기술종합정보.
62. 도치끼현 농무부, 1984, 농작물토양진단기준, 개정판.
63. 문종경, 2013, 침관수 저항성 콩 유전자원 선발, 2013 작물과학원 주요 연구성과 54.
64. 박금용, 김정태, 윤희태 등, 2005, 콩 논 재배 지역별 적응품종 선발. 영농활용기술, 농촌진흥청.
65. 박무언, 조인상, 이춘수, 2013, 국내여건을 고려한 범용농지 조성방안 연구보고서, 농어촌공사 농어촌연구원.
66. 박성호, 2013, 논재배 밭작물 2모작 작부체계별 경영성과 분석, 2013, 작물과학원 주요연구성과 88.
67. 박장환, 김충국, 구자환 등, 2014, 중부지역 울콩 적정 파종기 및 적품종, 영농활용기술.
68. 박장환, 2013, 콩 재배환경 변화에 따른 중부지역 논 콩 파종 적정시기 및 한계기 설정, 2013 작물과학원 주요연구성과 62,
69. 박준기, 이명기, 박기환 등, 2014, 농업은 미래성장산업이다, 한국농촌경제연구원
70. 박평식, 2013, 지역별 주요 벼 대체작목 현황과 선택이유, 2013 작물과학원 주요연구성과 38.
71. 박평식, 2013, 지역별 지역별 논 재배면적 증감작목 실태(2010-2012), 2013 작물과학원 주요연구성과 39
72. 박평식, 2014, 논 농업 다양화를 위한 작부체계별 경영성과 분석, 국립작물과학원 시험연구보고서.
73. 박현진, 백인열, 고종민 등, 2014, 남부지방 콩 재배 시 생태형 별 수량감소율에 따른 파종한계기, 영농활용기술, 농촌진흥청.
74. 북해도농업시험장, 1981, 토양과 작물의 영양진단, 북해도농업시험회의 자료.
75. 서중호, 2012, 작물 윤작 기술론, 노노꾸보 다카히로 저서 번역본.
76. 新潟縣農地部, 2011, 新潟縣 農業農村整備の展開方向
77. 유용환, 2013, 콩 논재배, 농촌진흥청 국립식량과학원
78. 윤광일, 이홍석, 1997, 지하수위에 따른 콩품종의 생육특성 및 수량 반응, 한작지 42(3):367-372.

79. 이경달, 1992, PADDY SOILS OF China, 129p.
80. 이영화, 이태성, 김보빈, 하수옥, 김광수, 장영석, 최인후, 2014, 한국 유채 6품목의 개화기 침수처에 따른 습해반응 분석, 한국국제농업개발학회지 26(3):294-291,
81. 이재은, 2005, 과습에 의한 콩의 생장과 생리적 형질의 변화, 충북대학교 농학박사학위 논문,
82. 이협성, 엄기태, 김이열, 조인상, 조현준, 本松輝久, 1993, 답전윤환토양의 물리성 변화 양상 구명 연구, 답전윤환기반기술에 관한 연구, 농업과학원 시험연구보고서,
83. 이형진, 이천연, 천상욱, 김동관, 이경동, 2013, 급변 온도변화가 전남 지역 양파의 생육과 수량에 미치는 영향, 한국토양비료학회 추계학술발표회 논문 초록집,
84. 일본토양물리연구회, 1975, 토양물리성과 작물생육,
85. 일본토양협회, 1986, 농작물생육환경지표 총집, 제1집 토양환경,
86. 임창수, 정남수, 윤훈주, 2012, 4대강 유역 농업복합단지 계획·운영 모델 개발에 관한 연구, 농촌진흥청
87. 작물과학원, 2012, 작물과학원 연보, 97,
88. 작물과학원, 2013, 이모작과 답전윤환지에서 콩 재배 시 문제점,
89. 전상호, 이예진, 조희래, 강성수, 손연규, 현병근, 정석래, 2008, 양파 재배적지 기준설정을 위한 다변량해석기법의 활용, 한국토양비료학회 2008 학술발표회, PP-30,
90. 정기열, 2013, 밭작물 안정생산을 위한 경사지 논 암거배수 효과, 2013 작물과학원 주요연구 성과 85,
91. 정기열, 윤을수, 박기도, 박창영, 2010, 경사지 배수불량 논에서 배수개선 효과의 지구통계적 기법을 이용한 평가, 한국토양비료학회지 43(6):804-811,
92. 정석재, 임상규, 박창서, 현근수, 1993, 답전윤환의 토양기준설정 및 분포조사, 농업과학기술원 연구보고서,
93. 조성진, 박천서, 엄대익, 2005, 4정 토양학, 향문사,
94. 조영길, 조인상, 엄기태, 1992, 신간척지에서 근권의 염농도 저하 방법이 토양특성과 작물생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 25(2):127-132,

95. 조영길, 임정남, 조인상, 1977, 토양의 가비중이 대두 및 대맥의 수량에 미치는 영향, 농 사시험연구보고(토양비료) 19:63-66,
96. 조인상, 김이열, 민경범, 조영길, 유관식, 엄기태, 1989, 우리나라 주요 토양의 가소성에 대하여, 농시논문집(토양비료편) 31(3):17-21,
97. 조인상, 김이열, 엄기태, 1988, 토양의 물리성과 대두 생육과의 관계, 농시논문집(토양비료편) 30(2):1-5,
98. 조인상, 허봉구, 임상규, 조영길, 엄기태, 김만수, 1986, 전국 벼 다수확답 토양의 물리적 특성, 농시논문집(식황, 균이, 농가) 28(2): 1-5,
99. 조인상, 현병근, 조현준, 장용선, 신제성, 1997, 토성과 용적밀도가 최소생육제한 수분범위에 미치는 영향, 한국 토양비료학회지 30(1): 51-55,
100. 조인상, 1988, 토양물리성, 한국토양비료학회지, 21(S):23-33,
101. 조인상, 1991, 토양물리성과 대두생육, 한국 콩 연구회지 8(2):1-14,
102. 조인상, 1998, 토양조사 및 검정결과의 활용성 제고, 서남부 간척지 토양특성과 생산성 향상, 호남작물시험장,
103. 조인상, 2001, 논토양관리, 2001 토양과 물 관리 국제심포지엄, 2001, 10, 12-13, 수안보 상록호텔, 한국토양비료학회 64-87,
104. 조인상, 2001, 농경지 토양의 친환경 농업을 위한 비옥도 관리 및 향상, 친환경농업을 위한 작물양분종합관리(INM) 심포지엄, 2001년 6월 26일, 농업과학기술원 대강당, 농촌진흥청 UNDP 친환경농업사업단,
105. 조인상, 2001, 토양 유형별 물리적 개량방법, 농촌진흥청, 영농기술,
106. 조인상, 김이열, 1999, 우리나라 농경지 관리 실태와 발전방향, '99 농업과학기술 학술회의, 환경친화형 농경지 고도이용기술, 농촌진흥청, 작물시험장, 1999, 8,10,
107. 조인상, 김이열, 조영길, 임정남, 엄기태, 1984, 논토양의 물리성이 농기계 작업능률에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 17(2):155-160,
108. 조인상, 임정남, 소재돈, 이선용, 최대웅, 1983, 하해혼성 식양질답에서 토양물리성 개선이 수도 수량에 미치는 영향, 한토비지 16(2):92-97,
109. 조인상, 정필균, 정덕영, 하상건, 김이열, 2008, 토양물리, 한국토양비료학회 창립40주년 기념, 한국토양비료 연구 발달 조명, 2008, 5, 22,

110. 조인상, 조영길, 민경범, 엄기태, 조성진, 1989, 토성 및 유효토심의 차이가 토양수분 변화에 미치는 영향, 농시논문집(토양비료편) 31(1);6-13,
111. 조현준, 현병근, 권장식, 연병열, 조인상, 1997, 답전윤환지의 토양특성 변화 연구, 농업과학원 시험연구보고서,
112. 최경진, 1994, 습해처리가 콩품종의 생육 및 수량에 미치는 영향, 서울대학교 농학박사학위논문,
113. 토양물리성측정위원회, 1972, 토양물리성 측정법, 일본 농림수산기술회의 사무국 감수, 양현당,
114. 한국농촌경제연구원, 2014a, 양파, 2014,8
115. 한국농촌경제연구원, 2014b, 콩, 2014,10,
116. 한국농촌경제원, 2014, 농식품 수출의 FTA 활용현황과 과제, 농정포커스 제 96호,
117. 한국농촌경제원, 2014, 농업구조 변화와 농가경제, 정책적 시사점, 농정포커스 제 95호,
118. 한국농촌경제원, 2014, 밭농업의 쟁점과 발전방향, 농정포커스 제 97호,
119. A, Drăgulescu and V,M, Yakovenko, 2000, Statistical mechanics of money, The European Physical Journal B, 17, 723-729
120. Ahn, S, M,, JinMin, S,, DongHoon, S,, KyooSeock, L,, 2002, Urban Land Use Change Detection over Daejeon Metropolitan Area using Bi-Temporal Landsat TM image with the Integration of GIS, Journal of environmental impact assessment, 11<4>, pp, 241-245,
121. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1998a, Design of subsurface drains in humid areas, EP480 MAR98, St, Joseph, MI:Author
122. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1998b, Construction of subsurface drains in humid areas, EP481 MAR98, St, Joseph, MI:Author
123. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1999a, Design of agricultural drainage pumping plants, EP369,1 DEC99, St, Joseph, MI:Author

124. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 1999b, Design, installation and operation of water table management systems for subirrigation/controlled drainage in humid regions, EP479 DEC99, St, Joseph, MI:Author
125. American Society of Agricultural Engineers(ASAE), 2001, Design, construction and maintenance of subsurface drains in arid and semi-arid areas, EP463.1 DEC01. St. Joseph, MI:Author
126. Andriesse J.P. 1988. Nature and management of tropical peat soils. FAO Soils Bull. 59.
127. Antrop Marc. 2000. Background concepts for integrated landscape analysis. in *Agriculture, Ecosystems & Environment* 77 : 17~28
128. Arnold R. W., I. Szabolcs and V. O. Targulian. 1990. Global soil change. HASA. Austria.
129. Barney Jeffries. 2014. The growth of soy-impacts and Solution. WWF report Int 2014.
130. Blum E. H. 1998. Sustainable land use as a basis for soil resource conservation. International symposium on soil, human and environmental interaction. Nanjing. 1997.
131. Board J. E. 2008. Waterlogging Effects on Plant Nutrient Concentrations in Soybean. *Journal of Plant Nutrition*. 31(5) : 828-838.
132. Bohn H.L., B.L.McNeal, G. A. O'Conner. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley & Sons. N.Y.
133. Boonstra, J. and De Ridder, N.A, 1994, Single-well and aquifer tests. In H.P. Ritzema, ed. *Drainage principles and applications*, pp.341 - 375. 2nd edition. ILRI Publication 16. Wageningen, The Netherlands, ILRI.
134. Brinkman. 1994. Recent development in land use planning with special references to FAO. *The future of land : Mobilising and intergrating knowledge for land use options*. John Wiley & Sons Ltd.
135. Buchan, G.D. 1991. Soil temperature regime. In: *Soil Analysis:*

- Physical Methods. Smith, K.A. and Mullins, C.E. (eds.). Marcel Dekker, New York. pp. 551-612.
136. Chossat, J.C. and Saugnac, A.M., 1985, Relation entre conductivite hydraulique et porosite de drainage mesurees par la methode du puits et des piezometres, *Sci. du Sol*, 1985/3
 137. Cyamweshi Rusanganwa Athanase, John Steven Tenywa, Moses Tenywa Makooma, John James Okiror. 2013. Farmers' Coping Mechanisms for Common Bean Production under Water-Logged Soil Conditions in Uganda-Rwanda Boarder Region. *Journal of Environmental Science and Engineering B 2* (2013) : 46-52.
 138. Daiki Rika Co. 2003. Soil Three Phases M0eter.
 139. Delmar D. Fangmeier et. al., Soil and Water conservation Engineering, 5th Edition, Thomson DELMAR LEARNING
 140. Donahue R. L., R. W.Miller and J.C. Shickluna. 1983. Soils, An introduction to soils and plant growth. 489-506.
 141. Donahue R.L., Miller R.W., Shickluna J.C. 1983. An introduction to soiland plant growth. 5th ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
 142. Edward J. Plaster. 2012. Soil Science & Management 5 Edition. DELMAR.
 143. Eiichi Kohno, Yoshio Ogawa and Shingo Iwata. 1995. Productivity of paddy fields. In "Paddy Fields in the World. The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Enineering(JSIDRE).
 144. Ernst, L. F., 1975, Formula for groundwater flow in areas with subirrigation by means of open conduits with a raised water level Misc. Reprint 1978. Wageningen, the Netherlands:Institute of Land Water Management Research.
 145. FAO, 2003, <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv>
 146. Frans R. Moormann and Nico van Breemen. 1978. Classification of soils on which rice is grown. In *Rice Soil, Water, Land*. IRRI.
 147. Frishy J. C. and D. L. Plost. 1992. Soil compaction : The silent

- thief. Agricultural MU Guide. University of Missouri-columbia.
148. Gardner C.M.K., K.B. Laryea and P.W. Unger. 1999. SOIL PHYSICAL CONSTRAINTS TO PLANT GROWTH AND CROP PRODUCTION. LAND AND WATER DEVELOPMENT DIVISION FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, 1999.
 149. Gerald W. Olson. 1980. Field Guide to soil and the Environment application of soil surveys. A Dowden & Culver book.
 150. Glinski J. and J. Lipiec. 1993. Soil physical condition and plant growth. CRC press.
 151. Greenland D. J. 1985. Physical aspects of soil management for rice-based cropping systems. In Soil Physics and rice. IRRI.
 152. Hank Greenway, William Armstrong and Timothy D. Cdlmer. 2006. Conditions Leading to High CO₂ (>5 kPa) in Waterlogged - Flooded Soils and Possible Effects on Root Growth and Metabolism. Annals of Botany 98 : 9 - 32.
 153. Haque, Md.Z., Sasaki, C., Matsuyama, N., Annaka, T. and Kato, C.. 2014. Groundwater Level Effect on Redox Potential, on Cadmium Uptake and Yield of Soybean. American Journal of Plant Sciences, 2014, 5, 3022-3031
 154. Hennebert P. A., E. Tessens, D. Tourenne and B. Delvaux. 1996. Validation of a FAO land evaluation method by comparison of observed and predicted yields of five food crops in Burundi. Soil Use and Management. 12:134-142.
 155. Hooghoudt, S.B., 1940, Algemeene beschouwing van het probleem van de detailontwatering en de infiltratie door middel van parallel loopende drains, greppels, slooten en kanalen. Versl. Landbouwk. Onderz., 46(14)
 156. Iftikhar U. Skikder, 2009, Knowledge-based spatial decision support systems: An assessment of environmental adaptability of crops, Journal of Expert Systems with Applications,36<2009> 5341-5347

157. ILRI, 1972, Fieldbook for land and water management experts, Wageningen, The Netherlands.
158. International Rice Research Institute(IRRI). 1978. Rice: Soil, Water, Land.
159. International Rice Research Institute(IRRI). 1985. Soil Physics and Rice.
160. Iowa State University. 1997. How A soybean Plant Develops. Special Report. No. 53.
161. Jaidee R., A. Polthanee and P. Saenjan. 2012. Growth and yield of soybean cultivars as affected by ground water levels and phosphorus rates grown under greenhouse and field conditions. Australian Journal of Crop Science 6(1):81-92.
162. James C. Fristry and Donald L. Plost. 2001. Soil compaction : The silent thief. MU Guide G1630.
163. James L. Griffin and Arnold M. Saxton.1988. Response of Solid-Seeded Soybean to Flood Irrigation. II. Flood Duration. Agronomy Journal. 80(6):885-888.
164. Janel Beal. 2013. What soil depth for planting vegetables in a raised bed? Demand media.
165. Jayes. E. T, 1957, Information Theory and Statistical Mechanics. II, Volume 108, number2
166. Jed A. Christianson, Danny J. Llewellyn, Elizabeth S. Dennis and Iain W. Wilson. 2010. Global Gene Expression Responses to Waterlogging in Roots and Leaves of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant Cell Physiol. 51(1): 21 - 37.
167. Jo In Sang. 1984. Physical improvement of paddy soil in Korea. International Workshop on Physical Aspects of Soil Measurement in Rice Cropping Systems. IRRI. 10-14, Dec. 1984.
168. Jo In Sang. 1990. Soil Physical Characteristics and Improvement of Paddy Soils. Training on rice production. International Technical Cooperation Center. RDA.
169. Kruseman, G.P. and De Ridder, N.A., 1994, Analysis and

- evaluation of pumping tests data, ILRI Publication 47, 2nd. Wageningen, The Netherlands, ILRI, pp. 377
170. Lal R. 1998 Soil Quality and Sustainability in Advances in Soil Sciences Methods for Assessment of Soil Degradation. CRC. NY.
 171. Lal, R. 1994. Sustainable land use systems and soil resilience. In Soil Resilience and Sustainable Land Use, (Greenland, D.J. and Szabolcs, I. Eds.), CAB International, Wallingford, UK, pp. 41-67.
 172. Land and Improvement Contractors of Ontario(LICO). 1999. No. 7: WATER TABLE MANAGEMENT INCREASES YIELD AND SAVES FERTILIZER.
 173. Lee Chia-Hsing, Chun-Chi Tsui, Hong-Yuh Guo and Zueng-Sang Chen. 2014. Development and Utilization of indicators to manage soil and environmental resources. RDA International Symposium on Developing and Sharing Agricultural Technology for Global Food Security and Welfare. 2014. 6. 9. Jeju ICC. 71-94.
 174. Letey J. 1988. Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production. Advances in Soil Science. 1277-294.
 175. Liniry, L, N., C. L. Scrivner and M. E. Keener. 1983. A soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. Missouri Agri. Exp. Stn. Res. Bull. 1051.
 176. Lucas, R.E. 1982. Organic Soils (Histosols). Formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production. Michigan State University, Research Report No. 435 (Farm Science).
 177. Madramootoo, A. A., 1999, Planning and design of drainage systems, R. W. Skaggs & J. van Schilfgaarde, eds., Agricultural Drainage, pp 971-892
 178. Masahiro Seki. 2014. Development of a seeding and paddy rotation system on heavy clayey soil. National Agriculture and Food Research Organization(NARO).
 179. McDonaldRevision M.R. 2010. Revision of "Management of

- Organic Soils," February 1993. Muck Research Station; J. Chaput
- Minor Use Coordinator/OMAFRA.
180. Methode Bacanamwo and Larry C. Purcell. 1999. Soybean dry matter and N accumulation responses to flooding stress, N sources and hypoxia. *Journal of Experimental Botany*. 50(334):689 - 696.
 181. Mitra B.N. and B.C.guosh. 1789. Irrigation and drainage requirement of rice crop. *Physical environment of rice Eco-systems*. Indian Society of Agrophysics. New Delhi.45-52.
 182. Muhammad, A. K and A. D. Khan, 2004, *Tile drainage manual*, Pakistan Council of Research in Water Resources, Ministry of Science and Technology, Islamabad
 183. National Institute for Rural Engineering. 2014. Making the most of soil and water to build prosperous rural areas. NARO.
 184. Nelson, L. A. et al. 1963. Detailed land classification-Island of Oahu. *Land Study Bureau Bulletin 3*. University of Haeaii. Honolulu. 14pp.
 185. Noburo Haraguchi. 2014. Low-cost subsoil improvement and development of a subsurface irrigation-drainage system for a highly productive rotational paddy field. *National Agriculture and Food Research Organizaion(NARO)*
 186. Ogunkunle A.O. 1993. Soil in land suitability evaluation an example with oil palm in Nigeria. *Soil Use and Management* 9(1):35-40.
 187. Olson G. W. 1981. *Soils and the environment. A guide to soil surveys and their applications*. A Dowden & Culver Book.
 188. Olson G. W. 1985. *Field guide to soils and the environment applications of soil survey*. A Dowden & Culver Book.
 189. Payne, D. and Gregory, P.J. 1988. The temperature of the soil. In: *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*, 11th Ed., Wild, A. (ed.). Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex. pp. 282-297.

190. Poul D. Hallet and A. Glyn Bengough. 2014. Managing the soil physical environment for plants. In "Soil conditions and plant growth. Wiley-Blackwell. 257pp.
191. Rikiya Nira. 2014. Technologies for stable and high productivity of soybean. National Agriculture and Food Research Organizaion(NARO)
192. Sang Beom Lee, Deog Bae Lee, In Sang Jo et al. 2014. Fertilizer recommendation for crop production. RDA.
193. Scott, H. D., J. DeAngulo, M. B. Daniels and L. S. Wood. 1988. Flood Duration Effects on Soybean Growth and Yield. *Agronomy Journal*. 81(4):631-636
194. Scrivner C.L., B. L. Conkling and P. g. Koenig. 1985. Soil productivity indices and soil properties for farm-field sites in Missouri. UMC, SCS USDA.
195. Severin V. Grabski, David Mendez, 1998, Implementation of a knowledge-based aricultural geographic decision-support system in the Dominican Republic: a case study
196. Shannon, C. E, 1948, A Mathematical Theory of Communication, *The Bell System Technical Journal* Vol 27.
197. Simpson H., B. Conant and J. Myslik. 2006. Groundwater - An Important Rural Resource. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
198. Skaggs, R. W., 1999a, Drainage simulation models. In R. W. Skaggs & J. van Schilfgaarde, eds., *Agricultural Drainage*, pp. 469-500
199. Skaggs, R. W., 1999b, Water table management;Subirrigation and controlled drainage. In R. W. Skaggs & van Schilfgaarde, eds., *Agricultural Drainage*, pp. 695-718
200. Skaggs, R.W., 1980, DRAINMOD reference report. Method for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables, Rep. USDA, Soil Conserv. Serv., ch. 5 and pref.

201. Snyder, G.H., Burdine, H.W., Crockett, J.R., Gascho, G.J., Harrison, D.S., Kidder, G., Mishoe, J.W., Myhre, D.L., Pate, F.M. and Shih, S.F. 1978. Water table management for organic soil conservation and crop production in the Florida Everglades. University of Florida, Agricultural Experimental Stations, Bulletin No. 801
202. Statistics Japan. 2011. Soybean Production. * Barney Jeffries. 2014
203. Stuyt, L. C. P. M., 1992b, Mineral clogging of wrapped subsurface drains installed in unstable soils : a field survey, Proc. 5th Internat. Drainage Workshop, W.F. Voltman(ed.). Lahore, Pakistan, Vol.III
204. Stuyt, L. C. P. M., 1992c, Effect of drain envelopes on the water acceptance of wrapped subsurface drains, Proc. 6th Internat. Drainage Workshop, ASAE, St. Joseph, MI, United States
205. Stuyt, L. C. P. M. 1992a, The water acceptance of wrapped subsurface drains, Ph.D. Thesis, Agric. Univ. Wageningen/DLO-Winand Staring Centre(SC-DLO), Wageningen, The Netherlands
206. Stuyt, L. C. P. M. and Oosten, A. J., 1986, A non-destructive morphological study of mineral clogging of drains, Proc. of Internat. Seminar on Land Drainage, J. Saavalainen and P. Vakkilainen(eds.). Helsinki University of Technology, Finland
207. Stuyt, L. C. P. M. and Willardson L. S., 1999, Drain envelopes, Agricultural Drainage, R. W. Skaggs and J. van Schilfgaarde(eds.). Agron. Monogr. 38. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, United States
208. Stuyt, L. C. P. M., 1982, Drainage envelope research in The Netherlands, Proc, 2nd Internat. Drainage Workshop. Washington, DC, pp. 106-123
209. Stuyt, L. C. P. M., W. Dierickx and J. Martinez Beltran, 2005, Materials for subsurface land drainage systems, FAO, Irrigation and Drainage Paper 60 Rev. 1
210. Suat Irmak, 2014. Plant Growth and Yield as Affected by Wet

- Soil Conditions Due to Flooding or Over-Irrigation. Nebraska Uni. NebGuid G1904.
211. Sys C. 1985. Evaluation of the physical environment for rice cultivation. Soil Physics and Rice. IRRI
 212. Sys. c., E. Van Rant, J. Debaveye and F. Beernaert. 1991. Land Evaluation. Part I. Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation. Brussels, Belgium.
 213. Sys. c., E. Van Rant, J. Debaveye and F. Beernaert. 1991. Land Evaluation. Part II. Methods in Land Evaluation. General Administration for Development Cooperation. Brussels, Belgium.
 214. Sys. c., E. Van Rant, J. Debaveye and F. Beernaert. 1993. Land Evaluation. Part III. Crop Requirments. General Administration for Development Cooperation. Brussels, Belgium.
 215. Terry Marsden, Roberta Sonnino, 2008, Rural development and the regional state: Denying multifunctional agriculture in the UK, Journal of Rural Studies 24, 422 - 431
 216. United States Department Of Agriculture. Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. U.S.Government Printing Office, ashington DC.
 217. University of Missouri Extension(UME). 2014. Soybean production in Missouri. G4410.
 218. USBR, 1978, Drainage Manual, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, United States
 219. USBR, 1993, Drainage Manual, 2nd ed. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, Denver, CO, United States.
 220. USDA Foreign Agricultural Service, 2009. Onion market brief-ATO, Seoul. Gloval Agricultural Information network Report. No KS 9045.
 221. van Schilfgaarde, J., 1963, Tile drainage design procedure for falling water tables, American Society for Civil Engineering

- Proceedings, 89, (No. IR)
222. Wageningen U, 2010. Effects of field drainage systems on Agriculture. Wageningen HR/183100.
 223. Waisel Y., Eshel A. & Kafkafi U. 1991. Plant Roots The Hidden Half. Marcel Dekker. Inc.
 224. Worthen E. L. and S. R. Aldrich. 1957. Farm Soils. Their Fertilization and Management. John Wiley & Sons, Inc, NY.
 225. WWF. 2014. The Growth of Soy, Impacts and Solutions. Report. Int. 2014.
 226. Xuegong Xu, Lisheng Hou, Huiping Lin, Wenzheng Liu, 2006, Zoning of sustainable agricultural development in China, Agricultural Systems 87, 38 - 62
 227. Yasuo Ohshita. 2014. Development of a paddy rotation system utilizing a subsurface irrigation-drainage facility in warm lowland regions. National Agriculture and Food Research Organizaion(NARO).
 228. Yutaka Jitsuyama. 2013. Responses of Japanese Soybeans to Hypoxic Condition at Rhizosphere Were Different Depending upon Cultivars and Ambient Temperatures. American Journal of Plant Sciences, 2013, 4, 1297-1308.
 229. Zhigou Zhou, Derrick M. Oosterhuis. 2012. Physiological Mechanism of Nitrogen Mediating Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Seedlings Growth under Water-Stress Conditions. American Journal of Plant Sciences, 2012, 3 : 721-730.
 230. Zongyao Sha, Fuling Bian, 2003, An Intergrated GIS and Knowledge-based Decision support system in assisting farm-level agronomic decision-making
 231. Zucker L. A. and L. C. Brown. 2013. Agricultural Drainage, Water Quality Impacts and Subsurface Drainage Studies in the Midwest. Ohio. Extension Bull. 871-98.
 232. 山崎不二夫. 1976a. 農地工學(上). 東京大學出版會.
산 기 불 이 부 농지 공학 상 동경대학 출판회
 233. 山崎不二夫. 1976b. 農地工學(下). 東京大學出版會.
산 기 불 이 부 농지 공학 하 동경대학 출판회

234. 日本土壤肥料學會. 1986. 水田轉作. 博友社
일본토양비료학회 수전전작박우사
235. <http://eiass.go.kr>, 환경영향평가 정보지원시스템
236. <http://rural.rda.go.kr>, 농촌어메니티 정보시스템
237. <http://soil.rda.go.kr>, 흙토람
238. <http://www.kubota-ci.co.jp/products/agriculture/foeas/character.html>:
FOEAS Homepage,

주 의

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

■ 발 행 처

연구과제명 : 범용농지조성 기반기술 개발(Ⅱ)	
발 행 일	2014. 12
발 행 인	박 정 환
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	