

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001624-01

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

농업생산기반정비사업계획설계기준 (배수편) 작성 연구

A Study on Design Standards of Agricultural
Drainage

2012. 12



제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산기반정비사업계획설계기준 (배수편)” 작성 연구
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2012년 12월

농어촌연구원
책임연구원
연구원

김 경 찬
전 건 영
김 영 화
김 정 균
송 재 도

한국농공학회
책임연구원
연구원

정 상 옥
최 경 숙
김 진 수
한 만 용

요 약 문

1. 연구과제명 : 농업생산기반정비사업계획설계기준
(배수편) 작성 연구

2. 연구기간 : 2012. 9. ~ 2012. 12.

3. 연구의 목적

본 연구는 기후변화로 인한 강우패턴의 변화와 원예작물 등 밭작물 재배 증가에 따른 농경지 배수설계 기준 개선을 위해 수행된 선행연구 분석, 기후변화 영향 및 전망, 농경지 침수피해분석, 설계기준 동향 분석 등을 통해 배수개선 설계기준 개정내용을 검토하고 정립하여 기후변화에 대비할 수 있는 강화된 배수설계기준을 제시하는데 그 목적이 있다.

4. 연구범위

가. 기후변화 영향 분석

- 기후변화 추세 및 영향, 기후변화 시나리오
- 전지구 기후모형, 상세화 기법, 기후변화 모형분석

나. 설계기준 동향 분석

- 농업용 배수시설 설계기준, 일본의 배수설계기준
- 하천설계기준 및 하수도시설기준

다. 농경지 침수피해 분석

- 농경지 침수피해 추이
- 농경지 침수피해 사례 및 원인 분석

라. 배수설계기준 주요 개정내용

- 사업관련 법령, 설계강우량, 허용담수 및 침수방지 계획기준
- 논·밭 혼용 지구에서의 배수대책
- 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위 조정

- 친환경 배수로, 하천제방 횡단구조물(토출암거) 설치 개선
- 배수장 펌프형식 개선, 배수장 제진기 및 낙뢰보호 시스템 설치 기준
- 우수지 용량, 배수장 비상전원 확보기준
- 배수장 피난시설 및 대피용 장비, 배수시설 제어시스템 적용
- 사업비와 투자수익(경제성)
- 설계기준 신규대비표

5. 연구결과

가. 기후변화 영향

- 전국 61개 관측소를 대상으로 1991~2010년의 20년동안 관측된 2일 최대강우량에 의한 확률강우량이 1990년 기준 배수개선 설계기준 강우량인 2일 확률강우량을 초과한 관측치를 조사한 결과, 20년빈도 기준 초과 관측우량은 96회, 30년빈도기준 초과 관측우량이 75회, 50년빈도 기준 초과 관측우량은 46회로 조사되어 이상기후 등으로 인한 강수량 증가에 기존 배수시설 및 체계 개선이 필요한 것으로 조사되었다.

<표 5-1> 최근 20년간 확률강우량 초과 관측통계

기 준	전국 평균 확률강우량 (mm)	1991~2010년	
		초과관측소 수	관측강우량 초과횟수
20년빈도	340.9	45	96
30년빈도	370.3	38	75
50년빈도	407.1	26	46

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

- 미래 21세기말의 기후변화에 대한 예측을 위해 기상청(2011)에서 RCP시나리오를 적용하여 1971~2000년 대비 2070~2099년의 기온과 강수량의 변화를 예측해 본 결과, 최악의 경우인 RCP8.5 시나리오 하에서는 21세기말(2070~2099년) 우리나라의 기온이 5.6℃, 강수량은 18.7% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 미래에는 현재보다 집중호우 등의 이상기후 현상이 강도의 증가와 발생빈도의 증가도 예상되어 기후변화에 의한 강수량 증가에 적극 대비하기 위한 농업용 배수시설의 기준강화가 반드시 요구된다.

<표 5-2> RCP시나리오를 이용한 기후변화전망 (기상청, 2011)

	RCP시나리오	2.6	4.5	6.0	8.5
기온(℃)	전지구	1.4	2.4	2.9	4.7
	한반도	-	3.4	-	6.0
강수량(%)	전지구	3.0	4.6	5.0	7.2
	한반도	-	17.3	-	20.4

나. 설계기준 동향

- 우리나라 농업용 배수시설 설계기준 개선

1970년도 『농지개량사업계획설계기준(배수편)』 처음 제정

1983년도 『농지개량사업계획설계기준(배수편)』 1차 개정

2001년도 『농업생산기반정비사업계획설계기준(배수편)』 2차 개정

2003년도 『재해대비 수리시설 설계기준』 개정

2004년도 『재해대비 설계기준 개정 적용 요령』 제시

2010년도 『간척지 받기반 조성을 위한 계획설계 요령』 제시

2012년도 『기후변화에 대응한 배수개선 설계기준』 개정

- 최근까지 우리나라 농업용 배수시설 설계기준은 다양하게 개정되어 왔지만, 지역별 특이성을 가진 강우와 이상호우, 집중호우에 대처할 수 있는 배수시설의 능력에는 한계가 있어 현행의 배수시설 설계기준의 재검토가 필요한 것으로 조사되었다.

- 일본의 배수설계기준은 2004년도 『토지개량사업계획설계기준』에 새로운 유출해석법이 추가되면서 배수설계기준이 “20년 빈도 1~3일 연속강우량”으로 상향조정되었다. 강우자료의 사용기간은 한국은 최근 30년 강우자료를 기본으로 사용하고 있지만 일본의 경우에는 최근 30~50년 강우자료를 사용하도록 한다. 또한 한국은 “20년 빈도 2일 연속강우량”을 설계기준으로 채택하고 있는 반면, 일본은 “20년 빈도 3일 연속강우량”을 기준으로 하되, 지형특성, 기상조건 등의 지구여건을 고려하여 최대 “50년 빈도 3일 연속강우량”까지도 사용가능하다.

- 우리나라 하천설계기준과 하수도시설기준도 최근의 기후변화로 인한 집중호우 등의 재해대비하여 기준을 강화하기 위한 개정을 실시하였다. 2009년도에 개정된 하천설계기준은 설계수문량 산정에서 국내개발 홍수모형을 추가하여 보

다 현실적인 설계홍수량 산정을 도모하고자 하였으며, 2011년도에 개정된 하수 도시설기준에서는 기후변화로 빈발하고 있는 집중호우로 인한 침수피해를 최소화하기 위해 하수관거의 계획확률년수를 기존 5~10년에서 10~30년으로 강화하고 빗물펌프장의 계획확률년수도 30~50년으로 신설하였다.

다. 침수피해 원인 분석

- 최근 기후변화로 인한 집중호우로 강우량이 증가하여 야기된 농경지 침수 피해지역을 조사하고 그 원인을 분석한 결과, 집중호우 등의 이상강우로 외수위 상승에 의한 자연배수가 불가능했던 점과, 시설배수장의 용량부족으로 배수능력 저하 및 배수로 단면 부족, 배수구조물의 불합리한 설치, 토사퇴적 및 수초발생으로 지구내 홍수량 배제시간 지연, 협잡물 과다로 배수장 가동 중단에 의한 범람 등이 주원인이었다. 침수가 발생한 2011년 확률강우량이 배수개선이 실시연도의 확률강우량 보다 20년빈도 기준 15.9~60.9% 증가, 30년빈도 기준 15.8~61.8% 증가를 보여 기존의 배수설계기준의 조정이 필요한 것으로 조사되었다.

<표 5-4> 침수지역의 확률강우량 비교

지구	시군	배수개선시 확률강우량			금회 확률강우량			기배수개선 사업연도
		관측소	20년	30년	관측소	20년	30년	
산서	함안	진주	286.2	307.1	마산	333.3 (16.5% 증)	356.5 (16.1% 증)	1992년
모령	장흥	목포	271.9	294.6	장흥	437.4 (60.9% 증)	476.7 (61.8% 증)	1995년
하기	함안	진주	286.0	307.0	진주	331.5 (15.9% 증)	355.6 (15.8% 증)	1988년
수산	군산	군산	262.5	286.5	군산	324.0 (23.4% 증)	355.7 (24.2% 증)	1987년
평균			276.7	298.8		356.6 (28.9% 증)	386.1 (29.2% 증)	

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

라. 설계기준 (배수편) 주요 개정내용

기후변화에 적극 대처하고 농경지 배수체계개선 및 배수시설물 보강을 위해 배수설계기준의 강화가 필요하여 배수개선 설계기준 개정내용을 검토하여 다음과 같이 수정 보완하였다. 주요 개정 내용은 <표 5-4>와 같다.

- (1) 전문용어를 통일하고, 오자, 문맥상의 오류 등을 수정하였다.
- (2) 관련법령의 제개정에 따른 농지배수 관련 설계기준을 현행 법령체계와 일치시켰다.
- (3) 이상 기후로 인한 국지성 호우에 대응할 수 있도록 설계강우량 결정방법을 강화하였다.
- (4) 논밭 혼용지대에서의 배수대책에 대하여 내용을 추가하였다.
- (5) 친환경적 배수개선 설계 및 시공사례를 수록하여, 배수개선사업의 추진에 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.
- (6) 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위를 수정하였다.
- (7) 유수지 설계기법에 대하여 추가하였다.
- (8) 하천제방 횡단구조물 (토출암거) 설치에 대한 내용을 추가하였다.
- (9) 배수장 제진기 설치기준에 대하여 추가하였다.
- (10) 배수장 비상전원 확보기준에 대하여 추가하였다.
- (11) 배수장 펌프형식 개선과 게이트 펌프에 대하여 추가하였다.
- (12) 배수장 대피시설 및 대피용 장비에 대하여 보완하였다.
- (13) 배수시설 제어시스템 적용에 대한 내용을 추가하였다.

<표 5-1> 설계기준 (배수편) 주요 개정 내용

장	내 용
제1장 총론	(1) 1.2.2 법령의 준수 현행 관련 법령 이름과 설계기준 이름 추가
제2장 조사	(1) 2.2.1 조사단계 내용을 현행 “농림수산사업시행지침서”에 따라 수정
	(2) 2.7.1 기상자료의 수집 기상자료의 수집방법 개선
제3장 계획	아래 3개의 절의 내용을 수정 또는 추가 (1) 3.6.1 설계강우량 산정방법 (2) 3.6.3 허용담수 및 침수방지 계획기준 (3) 3.8 논밭혼용 지구에서의 배수대책
제4장 지표배수계획	아래의 새로운 절을 추가 또는 보완 (1) 4.2.7 친환경 배수로 (2) 4.4.5 배수장 펌프 선정 방법 개선 (3) 4.4.10 배수장 제진기 설치기준 (4) 4.4.11 유수지 (5) 4.4.14 하천제방 횡단구조물 설치 (6) 4.4.15 배수장 비상전원 확보기준 (7) 4.4.16 배수장 낙뢰보호 시스템 설치기준 (8) 4.4.17 배수장 대피시설 및 장비
제7장 관리운영계획	아래의 새로운 절을 추가 (1) 7.5.2 배수시설 제어시스템 적용
제8장 배수효과	아래 절의 내용에 경제성 분석 방안에 대하여 추가 (1) 8.3 사업비와 투자수익

라. 결론 및 요약

본 연구는 기후변화로 인한 강우패턴의 변화와 원예작물 등 밭작물 재배 증가에 따른 농경지 배수설계 기준 개선의 필요성에 따라 배수설계기준 개선을 위한 관련분야 수행된 연구와 침수피해 사례조사, 타기관 배수시설 설계기준 조사 등을 토대로 기상이변에 대응할 수 있는 설계기준 개정안을 제시함으로써 향후 농업수리시설물 보강 등을 위한 배수개선사업의 추진 및 재해취약지구의 재해예방 사전계획수립, 기후변화 대비 농업기반시설 관리대책 수립 및 시설물 유지관리 방안 마련 등 농지배수 설계기준으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

SUMMARY

A Study on Design Standards of Agricultural Drainage

Climate change significantly have impacted on weather systems with increase in frequency and intensity of precipitation, and have caused adverse effects on existing agricultural drainage facilities in Korea.

The analysis and comparison of precipitation based on 20 years data from 1973 to 2010 for 61 raingage stations, revealed significant changes in the precipitation intensity with 32% increase in the one-hour precipitation, 156% increase in the daily precipitation, 112% increase in the two-day precipitation between before and after time periods of 1980 baseline. Also, 96, 75, 46 excess rain storms were observed based on 20, 30, 50-year return period compared to the design storms of the drainage design standards of 1990 during 20 years from 1991 to 2010.

Korea Meteorological Administration (KMA) predicted future effects of climate change : temperature will rise between 1.1°C and 4.7, and precipitation will increase 3.0~7.2% in the world, while those will be 3.4°C and 6.0°C and 17.3~20.4%, respectively in the Korean peninsula by 2100 depending on the Representative Concentration Pathways (RCP) climate change scenarios.

Besides cultivation changes in paddy fields from rice to upland crops are increased trend thesedays. The upland crop adaptation in the paddy fields possibly have problems of waterlogging because of poor drainage soil and insufficient drainage systems especially for the occurrence of heave storms.

Actually 257 agricultural areas estimated to be inundated from the heavy storm occurred during July 2011. They were mainly caused by failure to natural drainage because of increase of river water level, insufficient capacity of existing drainage pump station and drainage channel, inappropriate drainage structures and locations, excessive sedimentations and aquatic plants reducing channel flow velocity and capacity, and stoping pump operations due to blocking by trashes.

The flood inundation problems and waterlogging from the excess water in the root zone can be minimized through drainage management. Hence there has been a need of improvements of the existing agricultural drainage systems to account for the changing climate conditions and avoid an increase in the risk of failure of the drainage conditions of upland fields which were transferred from the paddy fields.

The Korean agricultural drainage design standards has been updated in 1983 and 2001, since it was first published in 1970. There have been making efforts to revise existing drainage design criteria to reduce vulnerability of drainage systems. However, it was found to be not enough especially for dealing with the recent local or regional heavy storm events with high intensity.

In the case of Japan, the revised standards was introduced in 2004, which includes addition of new runoff analysis method and strength criteria including 1~3 day duration of rain events with 20 year return period and usage of 30~50 years of recent data. Even this criteria could be increased up to 50-year return period of 3 day duration depending on topographical and meteorological situations while Korean standards fixed to apply 2 day duration of rainfall with 20-year return period and set to apply at least 30 years data.

Korean river design standards and sewer systems criteria have been also updated lately to increase adaptive capacity to the adverse effects of recent climate change such as dramatic changes of frequency and intensity of rain storms as well as temporal and spatial unevenness. They include more specific and strong criteria with addition of FFC2Q model developed in Korea for realistic estimation of flood discharge, and enhanced standard for the design storms by changing from 5~10 year return period to 10~30 year return period for sewer systems as well as new addition criteria of 30~50 year return period for pump stations.

In this study, the agricultural drainage design standards was revised to include the effects of climate change and cultivation crop changes in the paddy fields, and to provide improved existing design standards so as to maintain the safe level of operational capability and avoid an increase in the risk of failure. The details of the revisions are as follows:

- (1) Reworded and corrected typos and contents

- (2) Updated criteria of agricultural drainage systems for adapting to the revised related law and standards lately
- (3) Updated the estimation method of design storms to account for the changing climate conditions such as the recent local or regional heavy events.
- (4) Added drainage schemes for the multi purpose paddy fields
- (5) Added cases of environment-friendly drainage designs and constructions in order to utilize them in drainage improvement projects effectively
- (6) Modified river flood level based on the river grade for the decision of head of pump stations
- (7) Added design schemes for retarding basins
- (8) Added design schemes for installation river bank crossing structures such as closed discharge conduits
- (9) Added design standards for installation of trash screen of pump stations
- (10) Added design standards for emergency power supply to pump stations
- (11) Added improved selection method of pump types and added a new gate pump type for pump stations
- (12) Modified regarding evacuation shelters and evacuation equipments of pump stations
- (13) Added application contents for control systems of drainage structures

Key words: Agricultural drainage systems, Design and planning standards, Climate change, Cropland inundation damage, Standard revision

< 목 차 >

제 1 장 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구 범위	1
1.3 기대성과 및 활용방안	2
제 2 장 기후변화 영향 분석	4
2.1 기후변화 추이 및 영향	4
2.2 기후변화 시나리오	6
2.3 전지구 기후모형	12
2.4 상세화 기법	15
2.5 기후변화 모형분석	17
제 3 장 설계기준 동향 분석	22
3.1 농업용 배수시설 설계기준	22
3.2 일본의 배수설계기준	24
3.3 하천설계기준의 배수설계기준	26
3.4 하수도시설기준의 배수설계기준	32
제 4 장 농경지 침수피해 분석	35
4.1 농경지 침수피해 추이	35
4.2 농경지 침수피해 사례 및 원인 분석	37
제 5 장 배수설계기준 주요 개정내용	40
5.1 사업관련 법령	42
5.2 설계강우량	43
5.3 허용담수 및 침수방지 계획기준	48
5.4 논·밭혼용 지구에서의 배수대책	52
5.5 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위 조정	52
5.6 친환경 배수로	57
5.7 하천제방 횡단구조물 (토출암거) 설치	59

5.8 배수장 펌프형식 개선	61
5.9 배수장 체진기 설치기준	67
5.10 유수지	71
5.11 배수장 비상전원 확보기준	74
5.12 배수장 낙뢰보호 시스템 설치기준	75
5.13 배수장 대피시설 및 장비	77
5.14 배수시설 제어시스템 적용	78
5.15 사업비와 투자수익	79
제 6 장 결론 및 요약	80
참 고 문 헌	82
부 록	86
별 책 : 농업생산기반정비사업계획설계기준 (배수편)	

< 표 차 례 >

<표 2-1> SRES 시나리오	8
<표 2-2> RCP 시나리오	10
<표 2-3> RCP시나리오와 SRES 시나리오 비교	11
<표 2-4> 기후변화정보센터에서 제공하는 RCP 시나리오 정보	12
<표 2-5> IPCC에서 제공하는 GCM 모형	14
<표 2-6> RCP시나리오를 이용한 기후변화전망 (기상청, 2011)	20
<표 3-1> 현행 농경지 배수시설물 설계 강우빈도 (2001년)	22
<표 3-2> 최근 20년간 확률강우량 초과 관측통계	23
<표 3-3> 2011년 7월~8월 관측최대강우와 설계강우량 비교	24
<표 3-4> 고정시간 확률강우량과 임의지속시간 확률강우량의 평균값의 비교	24
<표 3-5> 한국과 일본의 설계기준 비교	26
<표 3-6> 하천설계기준(2009) 배수관련 개편내용	27
<표 3-7> 주요 수공조물의 설계빈도	29
<표 3-8> 저류시설에 따른 저류한계수심(일본의 예)	31
<표 3-9> 하수도 시설물 설계기준 (2011)	32
<표 3-10> 현행 농경지와 도시지역 배수펌프장 설계기준 비교	32
<표 4-1> 최근 5년간의 농경지 피해 규모	36
<표 4-2> 2011년 7월 집중호우시 농경지 침수피해 규모	36
<표 4-3> 농경지 침수피해 사례	37
<표 4-4> 2011년 7월 집중호우시 농경지 침수피해 규모	38
<표 4-5> 침수지역의 확률강우량 비교	38
<표 5-1> 설계기준 (배수편) 주요 개정 내용	41
<표 5-2> 전체강우자료와 최근 30년 강우자료 사이의 확률강우량 비교	43
<표 5-3> 고정 및 임의 지속시간 사이의 확률강우량 비교	43
<표 5-4> 20년 및 30년 빈도 2일 확률강우량 비교	44
<표 5-5> 주요관측지점별 확률강우강도식	46
<표 5-6> 모노노베(物部)식의 지역에 따른 상수 n값	47
<표 5-7> 비의 생육기별 관수일수와 감수율(흐린 물의 경우)	49
<표 5-8> 밭 작물(토마토, 무, 배추, 고추, 수박, 당근)의 관수기간별 피해율	51
<표 5-9> 유속계수 C의 값	54
<표 5-10> 펌프형식별 장·단점 비교	63
<표 5-11> 펌프의 표준구경과 배출량	66
<표 5-12> 스크린의 유효간격	68
<표 5-13> 제진기의 종류와 장단점	70

<표 5-14> 이중 인입선로 개념도	75
<표 5-15> 피뢰침 개념도	76
<표 5-16> 등전위 본딩 개념도	76
<표 5-17> 배수시설 제어시스템 통합유형별 주요시설	78

< 그림 차례 >

<그림 2-1> SRES 시나리오의 기본 개념도	7
<그림 2-2> SRES시나리오별 미래 온도 및 이산화탄소 농도의 변화	9
<그림 2-3> RCP와 SRES시나리오의 미래 온실가스 농도변화 비교	11
<그림 2-4> 전지구 기후변화 시나리오 산출체계	18
<그림 2-5> 남한 기후변화 시나리오 산출체계	19
<그림 4-1> 최근 10년간 농경지 침수면적 및 피해액	36
<그림 5-1> 벼품종별 생육시기별 초장	50
<그림 5-2> 관수에 의한 논벼의 감수율(일본 예)	50
<그림 5-3> 펌프의 실양정	55
<그림 5-4> Moody도	56
<그림 5-5> 배수물꼬의 등선로화	59
<그림 5-6> 게이트 펌프의 설치방식	62
<그림 5-7> 저양정 입축 및 횡축 사류펌프 적용선도	64
<그림 5-8> 고양정 원심펌프 적용선도(60Hz)	65
<그림 5-9> 고양정 입축사류펌프 적용선도(50Hz, 60Hz 겸용)	66
<그림 5-10> 제진기, 벨트 컨베이어 및 호퍼	69
<그림 5-11> 서지보호장치(SPD)의 개념도	77

제 1 장 서 론

1.1 연구배경과 목적

기후변화로 인한 지구온난화로 국지성 호우, 집중호우 등의 빈번한 발생으로 우리나라의 강우패턴이 크게 변화하고 있고 지역적으로도 변동의 폭이 크며, 미래 강우량의 지역별, 연간 변동 폭도 더욱 극심해질 것으로 예상된다. 실제 기존의 배수설계기준인 20년빈도 고정시간 2일 강우량을 기준으로 설계된 논외 배수체계로는 최근 기후변화로 빈번히 발생하고 있는 집중호우, 국지성 호우 등의 강우 증가분을 감당하지 못해 배수용량 초과로 인한 침수피해가 자주 발생하고 있는 실정이다. 따라서 최근 기상이변에 따른 농경지 침수피해를 줄이기 위해 배수시설기준의 강화가 요구되고 있다. 또한 농경지 작부체계가 논농사 위주에서 원예·특용작물 등의 밭작물 중심으로 변화함에 따라 집중호우시 침수피해 발생 가능성과 배수불량으로 인한 습해피해로 시설채소 재배 및 밭작물 생산에 피해가 야기되고 있어 논에서의 밭작물 재배를 위한 농경지 배수 설계기준 개선의 필요성이 대두되어왔다.

본 연구는 기후변화로 인한 강우패턴의 변화와 원예작물 등 밭작물 재배 증가에 따른 농경지 배수설계 기준 개선을 위해 수행된 선행연구 분석, 기후변화 영향 및 전망, 농경지 침수피해분석, 설계기준 동향 분석 등을 통해 배수개선 설계기준 개정내용을 검토하고 정립하여 강화된 배수설계기준을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구범위

(1) 기후변화 분석

- 기후변화 추세 및 영향, 기후변화 시나리오
- 전지구기후모형, 상세화 기법, 기후변화 모형분석

(2) 설계기준 동향 분석

- 농업용 배수시설 설계기준, 일본의 배수설계기준
- 하천설계기준 및 하수도시설기준의 배수설계기준

(3) 농경지 침수피해 분석

- 농경지 침수피해 추이

- 농경지 침수피해 사례 및 원인 분석
- (4) 배수설계기준 주요 개정내용
 - 사업관련 법령
 - 설계강우량 산정방법
 - 친환경 배수로
 - 허용담수 및 침수방지 계획기준
 - 논·밭 혼용 지구에서의 배수대책
 - 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위 결정
 - 하천제방 횡단구조물(토출암거) 설치 개선
 - 배수장 펌프형식 개선
 - 배수장 제진기
 - 배수장 비상전원 확보
 - 배수장 낙뢰보호 시스템 설치
 - 유수지 용량,
 - 배수장 대피시설 및 장비
 - 배수시설 제어시스템 적용
 - 사업비와 투자수익(경제성)

1.3 기대성과 및 활용방안

본 연구는 기후변화로 인한 강우패턴의 변화와 원예작물 등 밭작물 재배 증가에 따른 농경지 배수설계 기준 개선의 필요성에 따라 기상이변에 대응할 수 있는 설계기준 개정안을 제시함으로써 향후 농업수리시설물 보강 등을 위한 배수개선사업의 추진 및 재해취약지구의 재해예방 사전계획수립, 기후변화 대비 농업기반시설 관리대책 수립 및 시설물 유지관리 방안 마련 등에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구를 통해 다음의 연구성과를 기대할 수 있다.

- (1) 농업생산기반시설의 기후변화에 대비한 방재기준 정립 및 재난관리 체계 정립
- (2) 기후변화 및 기상이변에 대응할 수 있는 수리시설물 구축
- (3) 기후변화 및 재배작물의 다양화 등을 반영한 안전영농기반 도모

본 연구 결과의 활용방안은 다음과 같다.

- (1) 농지배수개선사업 설계시 활용

- (2) 기후변화 등에 대응한 중장기 수리시설 보수 및 보강계획 수립에 활용
- (3) 자연재해에 대비하고 향후 유지관리에 필요한 자료로 활용
- (4) 농지배수 및 새로운 수리시설 정비방향의 중장기적 계획 수립에 활용

제 2 장 기후변화 영향 분석

2.1 기후변화 추이 및 영향

2.1.1 기후변화 원인 및 영향

글로벌 최우선 아젠다로서 세계적인 관심사가 되고 있는 기후변화는 온실가스 등의 증가에 의한 지구온난화에 기인한다(IPCC, 2007). 대기 중의 온실가스 농도는 화석연료, 도시화로 인한 토지이용 변화 등 인간 활동의 영향으로 증가하는데, 최근 6년간(2000~2005년) 이산화탄소의 평균 배출량은 1990년대에 비해 약 12% 증가하였으며, 온실가스 배출량은 당분간 지속적으로 증가할 것으로 예상되어, 이로 인한 지구온난화는 지속될 것으로 전망하고 있다(기상청, 2008). 우리나라의 경우 지난 1990년에서 2001년 동안 CO₂ 배출량이 다른 OECD 국가들과 비교했을 때 10위를 기록하는 등 온실가스 증가 속도가 다른 나라에 비해 훨씬 빠르게 진행되고 있으며, 현재와 같은 에너지 다소비형 산업구조와 소비패턴으로는 온실가스 배출량이 감소할 가능성이 낮은 것으로 분석되고 있다.

온실가스 배출량의 지속적인 증가는 지구온난화를 가속시키고 이로 인한 기후변화는 지구에 지대한 영향을 미친다. 지구의 평균온도는 지난 100년 동안 0.74℃ 상승하였고 그 중 0.45%는 최근 25년간 상승한 것이며 이것은 지난 100년 보다 2.4배나 빠르게 상승하고 있는 추세이다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC: 기후변화에 관한 정부간 협의체)는 지구의 기온이 매 10년 마다 0.1~0.2℃ 상승할 것이라는 예측하였고(IPCC, 2001), 2100년까지 지역별로 기온은 1.4~5.8℃ 상승하고 평균해수면은 9~88 cm 상승할 것으로 예측하였다(IPCC, 2007). 우리나라의 경우에도 1908년부터 1940년까지 연평균 기온이 10~11℃ 정도였으나 1970년대부터 최근까지는 12~13℃로서 그 상승률이 지구 평균치보다 높게 나타나고 있고, 동해안 지역 평균 해수 온도도 지속적으로 상승하고 있는 추세이다 (기상연구소, 2005).

기후변화는 가뭄과 홍수, 산사태, 질병과 병충해, 농작물, 생태계, 산업시설 등에 대해 피해를 야기한다. 기후변화로 인해 우리나라는 폭염, 폭우, 폭설, 가뭄 등의 극한기후 발생횟수와 강도가 증가하여 그로 인한 피해액이 1990년대에 비해 3배 이상 증가하였다(권영한, 2012). 앞으로 우리나라 기온은 2020년까지 1.1~1.5℃ 상승할 전망이며, 최악의 경우 지난 100년간 일어난 기온상승

인 1.8℃ 상승이 2020년 내에 발생 가능할 것이라는 예견과(권영한, 2012) 기온상승과 더불어 여름철 강수량의 증가도 예견되고 있어(기상연구소, 2005) 기후변화에 적응하고 기후변화로 인한 피해를 최소화하기 위해 대책 수립이 반드시 필요하다.

2.1.2 기후변화에 따른 농업 및 수자원의 영향

농업과 수자원은 기후변화에 가장 민감하게 반응하는 취약한 부문 중 하나이다. 1992년 리우 기후변화 협약(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)에 따라 작성된 기후변화를 가져오는 온실가스 배출통계, 기후변화 영향, 취약성 및 적응 연구와 체계적 관측 등을 담은 우리나라 보고서에 의하면 지구온난화로 한국의 연평균 기온이 현재보다 3~4℃ 정도 상승하면 작물재배 가능 기간이 늘어나고 작물재배 가능지역도 북상하여 확대될 것이며, 또한 재배작목이 다양화되고 작목선택의 폭이 커질 것으로 예측하였다 (에너지경제연구원, 2007). 실제 기후변화로 사과 재배지가 대구에서 평창, 영월지역까지 북상하는 등 작물 재배적지의 북상과 오징어, 자리돔 등 아열대 생물이 빈번히 출현되고 있는 게 사실이다 (권영한, 2012). 또한 기후변화가 농작물 생육환경과 작물 생산에 미치는 영향을 분석한 연구에서는 1971~2000년 동안의 30년간 이양기와 출수기를 1931~1960년 동안의 30년 자료와 비교해 본 결과, 이양기 조한일 (早限日)은 약 4~7일 빨라졌으며, 이양기 만한일 (晚限日)은 약 3일 늦어졌고, 출수기 조한일은 약 1~5일 빨라졌으며, 출수기 만한일은 약 3일 늦어진 것으로 나타났다 (농촌진흥청, 2002). 벼의 경우 호온성 작물로 고온 조건에 대한 적응능력이 뛰어나 한국 전역에서 재배할 수 있겠지만, 적응품종과 재배양식에 상당한 변동을 예상했고, 벼의 생산량도 절대적인 영향을 받을 것으로 나타났다. 벼의 품종도 작물 재배기간이 늘어나면 이양재배에서는 조생종 재배지대가 중생종으로, 중생종 재배지대는 만생종으로 바뀌게 되며, 현재 기온이 낮아 벼농사를 짓지 않고 있는 표고 600m 이상의 산간지대에서 일부 조생종 재배가 가능할 것으로 예견했다 (윤성호, 1998). 벼 재배기간도 기후변화로 인한 온난화로 길어지고 벼 재배의 북방한계선은 현재 보다 북상할 것이며, 대기중 이산화탄소 농도가 증가하여 일단 생산성에 좋은 영향을 미칠 수도 있으나 고온은 임실율의 저하와 생육기간을 단축시켜 수량저하의 원인이 될 수 있음을 나타내었다 (윤성탁, 2005).

기후변화가 수자원에 미치는 영향은 전 지구차원의 지표면 물 순환의 변화와 함께 서로 연동되어 움직인다고 본다 (IPCC, 2001). 지구온난화에 의한 기

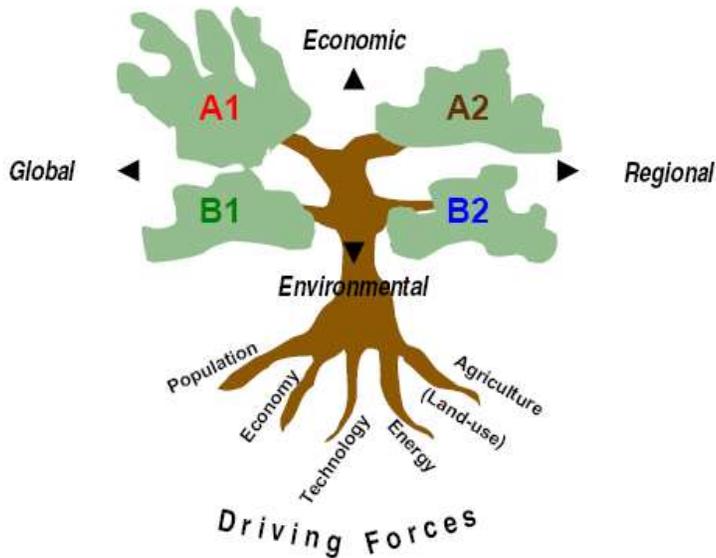
후변화로 우리나라는 연강우량에 큰 변화가 있음을 알 수 있고 지역적으로도 그 변동 폭이 크고 계절적 강우의 편중도 큰 몬순기후의 특징을 지니고 있어 가뭄에 쉽게 노출되어 있는 상황이다. 더욱이 최근 기후변화로 인하여 미래 강우량의 지역별, 연간 변동 폭이 더욱 극심해 질 것으로 예상된다 (윤동균, 2010). 또한 한반도의 미래 지역기후변화로 인하여 이수기의 물 부족, 호우로 인한 재해피해 증가, 개화시기와 식생군의 변화가 야기될 것이라고 보고된 바 있다 (이동규 등, 2006). 관개시설은 농업용수 분야에 있어서 가장 대표적인 기후적응 조치로, 우리나라의 수리안전답 비율만 본다면 농업용수 분야의 기후적응능력은 높다고 판단할 수 있으나 하천의 경사가 급하고 유로가 짧으며 연강수량의 65% 이상이 여름철에 집중되는 특성 때문에 수자원 관리에 주의 및 대처를 강조하였다 (강중원 외, 2008). 박기욱 등(2006)은 가뭄에 따른 농업적 피해현황은 관개시설 확충으로 인해 피해면적은 감소하고 있지만 피해액의 규모로 따지면 풍수해 다음으로 크다는 것을 강조하였으며, 우리나라 가뭄은 주로 모내기철과 5~7월에 큰 피해를 주고, 벼농사의 경우 5~6월 이앙기에 물 수요량이 크기 때문에 5~6월의 강수량에 의해 가뭄피해가 결정된다고 보았다. 유가영 등(2008)은 우리나라는 연강수량이 1905년부터 1991년까지의 기간 중 최저 754mm에서 최고 1,683mm로 약 930mm의 큰 변화를 보이고 있으며, 지역적으로도 변동 폭이 크고 계절적 강우의 편중도 큰 몬순기후의 특징을 지니고 있어 가뭄에 노출에 대한 심각성을 나타내었다.

2.2 기후변화 시나리오

기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸의 변화 등 인위적인 원인에 따른 기후변화를 조사하기 위해 기후변화 모델을 이용하여 계산한 미래기후 예측정보를 나타내며, IPCC에서 개발하여 제공하고 있다. IPCC의 주요 작업 중의 하나가 온실가스 배출 또는 농도 시나리오에 따른 잠재적인 미래 기후변화 시나리오를 개발하고 기후변화 대응 전략을 평가하는 것이다. 우리나라를 포함한 14개국이 국제 공동 전지구 기후변화 시나리오 개발 사업(CMIP5, the phase of the Coupled Model Intercomparison Project)에 참여해 전지구 기후변화 시나리오를 개발하고 있다.

2.2.1 SRES 시나리오

2000년도 IPCC 온실가스 배출에 따른 특별보고서(Special Report Emission Scenario, SRES)는 인구, 기술, 경제성장, 등 미래 배출문제의 원동력이 되는 요소들을 광범위하게 다루며 크게 4개 그룹(A1, A2, B1, B2)의 온실가스 배출 시나리오인 SRES(Special Report on Emissions Scenarios)를 제시하였다 (IPCC, 2000).



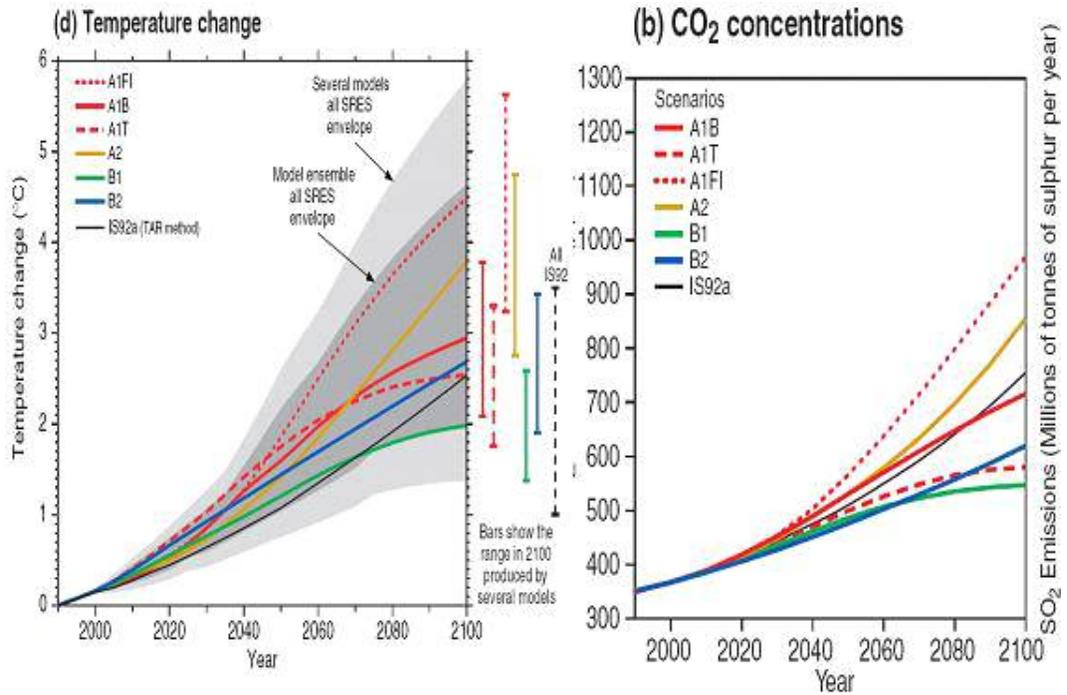
<그림 2-1> SRES 시나리오의 기본 개념도 (IPCC, 2007)

<그림 2-1>은 SRES 특별보고서에서 제시한 SRES 시나리오의 기본 개념도이다. SRES 시나리오 중 A는 경제(Economic)지향, B는 환경(Environmental)지향, 1은 지구적(Global)지향, 2는 지역주의(Regional)지향형으로 구분되어 있다. A1시나리오는 고성장 사회 (시장의 이점을 활용, 전세계의 경제성장, 교육, 기술, 사회제도에 큰 혁신발생), A2시나리오는 다원화 사회(지속적인 인구성장, 낮은 경제성장, 느린 기술변화), B1시나리오는 지속발전형 사회(낮은 인구성장, 고도경제 성장, 자원 소비, Green 에너지의 개발 및 활용 중점, 온실가스 배출량 2100년을 1990년 수준으로 함), B2시나리오는 지역공존형 사회(환경이나 사회에 높은 관심, 지역의 문제와 공평성을 중시, 하부에 기초를 둔 상향식 발전)로 구분된다. A1시나리오는 에너지 소비형태에 따라 C, G, B, T로 세분화되며, 이는 석탄주도형, 가스주도형, 뮐런스형, 고효율에너지 기술 주도형을 각각 의미한다. <표 2-1>은 온실가스 배출시나리오

의 비교를 나타내고 있으며, <그림 2-2>는 IPCC 3차보고서에서 나타낸 이산화탄소의 시나리오를 기준으로 미래의 기온과 이산화탄소 농도의 변화양상을 예측한 그래프로 지구온난화의 가중과 이산화탄소의 증가를 나타내고 있다.

<표 2-1> SRES 시나리오

Driver 구분	A1				A2	B1	B2
	A1C	A1G	A1B	A1T			
Population growth	Low	Low	Low	Low	High	High	Medium
GDP Growth	Very high	Very high	Very high	Very high	Medium	High	Medium
Energy Use	Very high	Very high	Very high	Very high	High	Low	Medium
Land Use Changes	Low-Medium	Low-Medium	Low	Low	Medium/High	High	Medium
Availability of Conventional and Unconventional Oil and Gas	High	High	Medium	Medium	Low	Low	Medium
Pace of Technological Change	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Slow	Medium	Medium
Direction of Technological Change Favoring	Coal 석탄	Oil and Gas	Balance d	Non-fossils	regional	Efficiency and dematerialization	Dynamics as usual



〈그림 2-2〉 SRES시나리오별 미래 온도 및 이산화탄소 농도의 변화
(기후변화정보센터)

2.2.2 RCP 시나리오

IPCC는 5차 평가보고서 작성을 위한 연구에서 새로운 온실가스 시나리오인 대표농도경로(RCP: Representative Concentration Pathways)를 사용하도록 결정하였다. 인간활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정한 RCP는 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회-경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 ‘대표’와 온실가스 배출시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 ‘경로’라는 의미를 포함시켰다. SRES 시나리오는 인위적인 기후 변화 요인 중에서 온실가스와 에어로졸의 영향에 의한 강제력만 포함하였다면, RCP 시나리오는 토지이용변화에 따른 영향까지 포함하고 있다 (기상청, 2011).

〈표 2-2〉는 RCP 시나리오별 비교를 나타낸다. 여기서 RCP 시나리오의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 나타내는 양 (W/m^2)이며, 지상에 도달되는 태양복사가 약 $238W/m^2$ 이므로 RCP 8.5, 6.0, 4.5, 2.6의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 각각 해당된다. RCP8.5는 복사강제력이 계속 증가하여

2100년에 8.5 W/m²에 달한 후에도 계속 증가하는 형태이고, RCP6.0은 2100년에 6.0 W/m²에 달한 후 안정되며, RCP4.5는 2100년에 4.5 W/m²에 달한 후 안정되며, RCP2.6은 2050년경에 최고값 3.0 W/m²에 달한 후에 감소하여 2100년에는 2.6 W/m²가 된다는 의미이다.

<표 2-2> RCP 시나리오 (Moss et al., 2008)

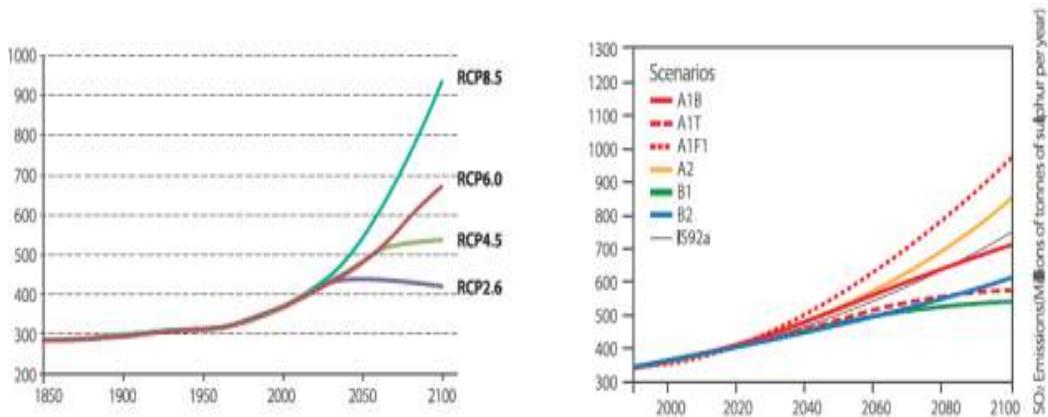
Description	Radiative forcing	Pathway shape	SRES-eq.
RCP 8.5	>8.5W/m ² in 2100	rising	A2
RCP 6.0	~6W/m ² at stabilization after 2100	stabilization without overshoot	A1B
RCP 4.5	~4.5W/m ² at stabilization after 2100	stabilization without overshoot	B1
RCP 2.6	peak at ~3W/m ² before 2100 and then decline	peak and decline	-

<표 2-3>은 RCP 시나리오와 SRES 시나리오를 비교한 것이며, <그림 2-3>은 RCP시나리오와 SRES시나리오의 미래 온실가스 농도의 변화를 비교한 그래프이다. RCP8.5, 6.0, 4.5는 SRES A2, A1B, B1와 비슷하다고 하겠다. SRES시나리오에서는 미래의 사회 경제적 상태가 먼저 결정되고 이에 따른 배출량 시나리오로 온실가스 배출 (즉, CO₂ 농도) 및 복사강제력을 산정하고 기후예측을 하였으나, RCP 시나리오는 먼저 인간활동이 대기에 미치는 복사강제력을 산정하고 그로부터 기후, 대기, 탄소 순환의 예측과 온실가스 배출 (CO₂ 농도) 및 사회 경제적 변화를 동시에 예측한다. SRES 시나리오에서는 분리된 각 시나리오 사이의 정보전달에 시간 지연이 일어나는 문제점이 있었으므로 RCP 시나리오가 훨씬 나은 기후예측을 할 수 있을 것으로 보고 있다 (국립기상연구소, 2011).

기상청에서는 기후변화정보센터(2012)를 통해 기후변화 시나리오를 제공하고 있다. 현재 제공하고 있는 RCP 시나리오의 정보는 <표 2-4>와 같으며, 여기서 응용기후정보 및 각 시나리오별 앙상블 자료는 2013년 초부터 제공할 예정이다.

<표 2-3> RCP시나리오와 SRES 시나리오 비교 (기상청, 2011)

RCP 시나리오 (기후변화 대응정책과 연계하여 선정)		SRES 시나리오 (미래 사회 구조를 중심으로 선정)	
RCP 2.6 (CO ₂ 421ppm)	인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우		
RCP 4.5 (CO ₂ 538ppm)	온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우	B1 (CO ₂ 550ppm)	지속발전형 사회 : 지역간 격차가 적고, 인구감소, 청정자원 절약기술 도입
RCP 6.0 (CO ₂ 670ppm)	온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우	A1B (CO ₂ 720ppm)	고성장 사회: 화석에너지와 비화석에너지원 균형, 신기술, 고효율화 기술도입
RCP 8.5 (CO ₂ 936ppm)	현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오)	A2 (CO ₂ 830ppm)	다원화 사회: 인구증가, 경제성장은 낮고, 환경에의 관심도 상대적으로 낮음



<그림 2-3> RCP와 SRES시나리오의 미래 온실가스 농도변화 비교 (기상청, 2011)

<표 2-4> 기후변화정보센터에서 제공하는 RCP 시나리오 정보

구분	공간범위	시간범위	공간해상도	시간해상도	정보종류
전지구	경도0~360 위도 -90~90	1860~2100	약 135km	월	기온(최고,최저,평균) 강수, 상대습도, 바람 등
한반도	경도:11.0~144.625 위도 26.5~48.875	1950~2100	12.5km	일, 월	기온(최고,최저,평균) 강수, 상대습도, 바람 등
남한상세	남한지역	2000~2100	1km	일, 월	기온(최고,최저,평균) 강수
기후극한지수	남한지역	2000~2100	1km	월, 년	기온지수(11종), 강수량지수(9종)
응용기후정보	73개지점 230개 행정구역	한반도 (1950~2100) 남한상세 (2000~2100)	12.5km, 1km	일, 월	기온(최고,최저,평균) 강수, 상대습도, 현지해면기압, 평균최대풍속 등

2.3 전지구기후모형(GCM)

기후변화 예측은 먼 장래에 대한 추정으로 일반적으로 여러 가지 모형을 이용하게 된다. 기후모형은 기후시스템의 요소, 그들간의 상호 작용 및 되먹임 과정의 물리적, 화학적, 생물학적 특성에 근거하여 기후시스템을 수치적으로 표현한 것으로 기후시스템으로 알려진 특성 중 전부 또는 일부를 고려한다. 기후변화모형은 크게 다음 세 가지로 분류할 수 있다.

- (1) Global climate (or General circulation) model (GCM)
- (2) Climate impact model
- (3) Integrated assessment model

Global climate model은 공기역학과 방사에너지 흐름에 기초한 물리적인 방정식들을 푸는 것으로 일반적으로 전지구기후모형(GCM: General Circulation Model)으로 불리며, 해양 (Oceanic)모형과 대기(Atmospheric)모형으로 구분되며, 이 두 개를 결합한 해양-대기순환모형 (OAGCM)이 주로 이용된다. IPCC 3차 평가보고서에는 31개의 OAGCM이 이용되었고 4차 평가보고서에는 23개의 모형이 이용되었다. OAGCM은 일반적으로 수백 km에 해당하는 격자망을 갖기 때문에 지역적 기후예측에는 한계가 있다. 따라서 상세화 또는 지역화 과정을 거쳐 수십 km의 높은 해상도를 갖는 기후값으로 변환하여야 한다.

Climate impact model은 기후변화가 여러 가지 분야에 미치는 영향을 분석하는 모형으로 근본적으로 경험에 기초한 분석기법이 이용된다. 이 영향은 산림, 생태계, 어업, 농업, 수자원 등 여러 분야에 대하여 고려할 수 있다. 지금까지의 연구를 보면 기후변화의 영향에 대하여 집중적으로 이루어지고 있다고 하겠다. 모든 기후분야 연구는 궁극적으로 저감방안의 제시와 적응 전략의 개발로 연결되어야 한다. Integrated assessment model은 기후변화 영향을 줄이고 이에 대처할 수 있는 방향을 제시한다. 즉, 의사결정자에게 물리적, 생물화학적 모형 결과를 사회적, 정치적, 경제적 측면에서 대처할 수 있는 정보를 제공한다.

미래의 기후변화를 예측하기 위해 흔히 사용되고 있는 모형은 GCM이다. GCM은 기후시스템의 상호작용을 물리적 개념에 근거하여 모의하는 도구이며, 지구를 격자단위로 분할하여 기온 (T), 습도 (q), 기압 (p), 바람 (u,v,w) 등의 시간적 변화를 물리법칙을 기반으로 산출한다. 격자점에서는 평균적인 대기의 특성이 모의되며, 각 격자점의 대기 상태는 인접한 격자점과의 상호작용을 통해 변화된다. <표 2-5>는 IPCC 4차 평가보고서에서 제공하는 GCM의 종류를 나타내며, 이 중에서 기상청 및 국내 연구에서 많이 사용하고 있는 모형은 일본에서 개발한 MIROC3.2와 독일에서 개발한 ECHAM5-OM, 영국에서 개발한 HadCM3 그리고 독일과 한국이 공동으로 개발한 ECHO-G이다 (윤동균, 2010). IPCC 4차 보고서 (IPCC, 2007)에 따르면 1차 보고서에서 적용된 GCM의 해상도는 약 500km 정도였으나 최근에는 약 110km까지 공간해상도가 향상되었다고 한다. 그러나 GCM모형은 종류가 매우 다양할 뿐만 아니라 모형의 특성과 사용된 입력 자료에 따라 모의결과가 상이하게 나올 수 있다. IPCC의 GCM모형 평가결과는 대체로 “현재의 기후모형들은 관측된 대규모(전구 혹은 대륙규모) 기후의 여러 양상들을 비교적 정확히 예측할 수 있지만 지역규모 예측에서는 정확성이 떨어진다고 지적하고 있다 (IPCC, 2001). 따라서 GCM모형에서 예측한 기상자료를 한반도에 적용하기 위해 물리적 과정 또는 통계학적 과정을 이용하여 고해상도 지역기후모형(Regional Climate Model; RCM)을 구축한다. 아직까지 GCM 결과를 유역규모의 수자원 영향평가에 직접 활용하기에는 공간해상도가 낮다는 점과 아격자 규모의 물리과정 묘사에 대한 알고리즘의 개선이 필요하다는 문제점이 남아 있는 실정이다.

<표 2-5> IPCC(2007)에서 제공하는 GCM 모형

No	ID	Model (agency: version)	Country	Resolution	
				Atm	Ocn
1	a	BCC : CM1	China	128×96	128×96
2	b	BCCR : BCM2	Norway	128×64	360×180
3	c	CCCMA : CGCM3.1-T47	Canada	96×48	192×96
4	d	CCCMA : CGCM3.1-T63	Canada	128×64	256×192
5	e	CNRM : CM3	France	128×64	180×170
6	f	CSIRO : MK3	Australia	192×96	192×189
7	g	GFDL : CM2	USA	144×90	360×200
8	h	GFDL : CM2.1	USA	144×90	360×200
9	i	NASA: GISS-AOM	USA	90×60	90×60
10	j	NASA : GISS-EH	USA	72×46	360×180
11	k	NASA : GISS-ER	USA	72×46	72×46
12	l	LASG : GFOALS-G1.0	China	128×60	360×170
13	m	INM : CM3	Russia	72×45	144×84
14	n	IPSL : CM4	France	96×72	180×170
15	o	NIES : MIROC3.2_hires	Japan	320×160	320×320
16	p	NIES : MIROC3.2_medres	Japan	128×64	256×192
17	q	MPIM : ECHAM5	Germany	192×96	360×180
18	r	MRI : CGCM2.3.2	Japan	128×64	144×111
19	s	NCAR : CCSM3	USA	256×128	320×395
20	t	NCAR : PCM	USA	128×64	360×180
21	u	UKMO : HadCM3	UK	96×73	288×144
22	v	UKMO: HadGEM1	UK	192×144	360×216
23	w	METRI : ECHO-G	Germany/Korea	96×48	128×117

2.4 상세화 기법

기후변화모형인 GCM자료는 큰 격자로 구성되어 있어 지역기후를 모의하는데 한계가 있다. 따라서 GCM자료를 지역기후에 맞게 작은 격자 자료로 조정하는 과정이 필요하며 이를 상세화 과정(downscaling)이라 한다. 국지적인 기후를 모의하는데 사용되는 RCM은, GCM에서 계산된 온실가스 농도의 변화 혹은 화산 폭발과 같은 기후에 영향을 주는 결과값들을 RCM 입력자료로 활용하여 원하는 지역의 기후정보를 알아낸다. 전지구자료인 GCM자료를 지역 기후자료인 RCM 규모의 작은 격자 자료로 조정하는 상세화 기법에는 크게 경험적/통계적 방법과 역학적 방법이 있다.

2.4.1 역학적 상세화 기법

역학적 상세화 기법은 지역기후모형을 이용하여 GCM의 결과를 상세화 하는 것으로 대상지역에 대해 공간적으로 자세한 정보를 얻을 수 있다. GCM 결과를 RCM의 경계 자료로 사용하여 고해상도 결과를 생산하는 방법 (Giorgi et al., 1990)이며, 물리적으로 일관된 고해상도의 기후모의 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 지역적인 기후특성을 모의할 수 있는 장점이 있으나 계산시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

역학적 상세화에 이용되는 RCM은 기본적으로 GCM과 동일한 역학적인 구조를 지니고 있다. 그러나 RCM을 이용하여 기후를 모의하기 위해서는 초기 및 바닥 경계조건 이외에 공간차원을 위한 측면 경계조건이 요구된다. RCM의 모의를 위해서는 바닥의 경계조건으로 고해상도 수평 분해능에 적합한 지형 및 지면 자료가 필요하다. 이러한 자료를 이용함으로써 RCM은 지형고도와 해안선이 GCM보다 현실에 가깝게 고려될 수 있다. RCM의 초기 및 경계조건으로는 GCM의 결과인 3차원 수평바람, 온도, 습도, 2차원 해면 기압 및 해면온도 등이 RCM 해상도에 맞게 수평/수직으로 내삽하여 사용된다. 온실가스 농도가 고려된 GCM의 결과는 초기 및 측면 경계조건으로만 사용되므로 RCM에서도 배출 시나리오에 따른 온실가스 농도가 처방되어야 한다.

지역기후모델로 많이 사용되고 있는 MM5 (Mesoscale Model Version 5)는 역학적 상세화 모형이다. MM5는 미국 국립기상연구센터 (National Center for Atmospheric Research, NCAR)의 중규모 예측 그룹과 펜실베이니아 주립대학 (Pennsylvania State University, PSU)에서 공동 개발한 중규모 기후모델로 Anthes and Warner (1978)에 의해 처음 개발되었으며, Dickinson et al

(1989), Giorgi and Bates (1989), Giorgi (1990)에 의해 발전되었다. 처음 개발된 MM5는 등압면과 등밀도 면이 일치하는 정역학 (hydrostatic dynamic) 방정식을 만족하는 모델이었다. 보통 기상현상은 연직 규모보다 수평 규모가 훨씬 더 크기 때문에 기본적으로 정역학 근사 (hydrostatic approximation)를 사용하여 대규모의 대기 운동에 대해서는 대단히 좋은 정밀도를 가진다. 그러나 토네이도와 같은 중규모 기상현상들은 대부분 수평 규모의 힘보다 연직 규모의 힘이 더 중요하기 때문에 비정역학적 현상을 무시할 수 없어 비정역학 모델이 개발되었다(기상연구소, 2002). MM5에서 강우 물리과정은 mixed-phase scheme (Reisner et al., 1998)이 사용되는데 이것은 구름 내에 구름 얼음, 구름 물, 빗물, 눈이 동시에 존재하면서 눈의 녹음, 녹고 있는 눈에 대한 증발의 모수화가 추가된 방법이다. 적운 모수화 과정은 Arakawa-Scubert의 방법을 간략화 시킨 것으로 복잡한 구름 모형들에서 나타나는 오차를 최소화하기 위하여 매우 단순화된 방법을 사용한 Grell scheme을 사용하였다 (Grell et al, 1994). 이는 구름과 주변 환경 간에는 유입과 유출의 과정이 고려되지 않아 상승역과 하강역의 구름 질량 속은 고도에 따라 일정하며 사용되는 방정식도 몇 개에 불과하다. 그리고 형성 경계층 과정은 MRF PBL scheme (Hong and Pan, 1996)이 사용되었다.

2.4.2 경험적/통계적 기법

통계적 상세화 기법은 GCM에 의해 모의된 격자규모의 기후변수와 아격자 규모로 예측되는 값 사이의 경험적 관계를 이용하는 방법이다. (Von Storch, 1999). 대규모의 대기 순환패턴이 지역기후의 대기 순환패턴과 관계가 있다는 것에 착안하여 GCM에서 모의한 값과 지역기후요소 사이의 통계적 관계를 찾아내어 상세화 하는 기법이다 (정일원, 2008). 통계적 상세화 기법은 경제적이고 간편한 방법이나 GCM 결과와 지상 변수들과의 물리적 연관성이 없고 복잡한 지형조건을 가진 지역에서는 변수들 사이의 공간적 상관성을 찾기 어렵다는 단점이 있다. 대표적인 통계적 상세화 방법에는 전이함수 (transfer function)를 이용한 방법과 기상발생기 (weather generator)를 이용한 방법, 최인근 격자법 (nearest grid box method), 보간법, 기상 타이핑 법 (weather typing), 추계학적 기상생성기 (stochastic weather generator) 및 전환함수법 (IPCC-TGICA, 2007; Wilby & Dawson, 2007) 등이 있다. 최인근 격자법과 보간법이 가장 간단하다.

전이함수를 이용하는 방법은 GCM 결과와 관측자료의 통계적 특성을 동일

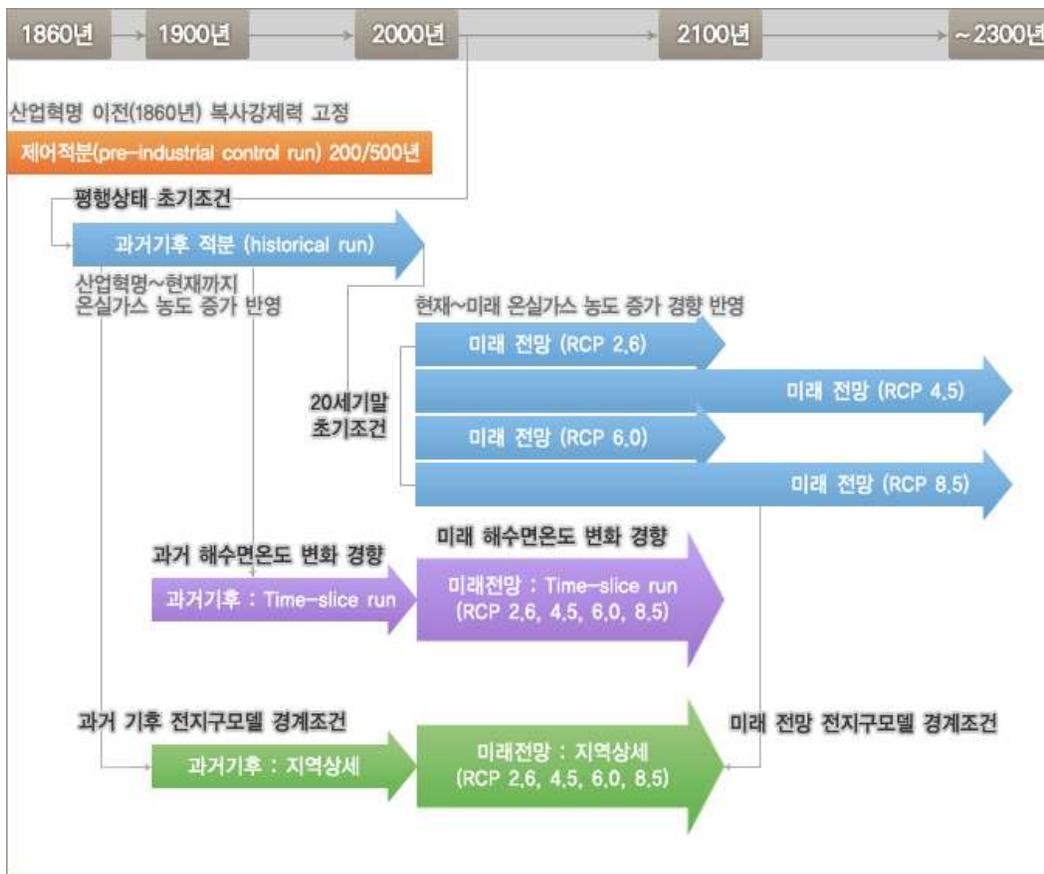
하게 하는 것으로, 회귀식 방법, 인공신경망(artificial neural network)방법, quantile mapping 방법 등이 있다. 이 중에서 quantile mapping 방법(Wood et al., 2002)은 GCM 결과와 관측자료의 비초과확률(non-exceedence probability)에 대한 누가확률분포를 산정한 다음, GCM 결과가 관측치와 동일한 확률 분포형을 가질 수 있도록 전이함수를 통해 조절하는 방법으로, 적용이 쉽고 간편하여 많이 적용되고 있다. 그러나 이 방법은 수자원 측면에서 중요한 강수 특성 중의 하나인 연속적인 강수 및 무강수 기간(wet and dry series)을 반영하지 못하는 단점이 있다.

기상발생기를 이용하는 방법은 관측자료의 통계적 특성을 기반으로 기상변수를 모의발생시키는 방법으로, 미래 기간에 대해 모의할 경우 GCM에서 전망된 변화량을 고려하게 된다. Richardson (1998)는 기후변화 영향평가에 주로 적용되는 LARS-WG와 WGEN (Weather GENERator)의 두개의 기상발생기를 이용하여 유럽, 미국, 아시아등 상이한 기후지역에 적용하여 모의 정확성을 평가한 결과 LARS-WG가 WGEN)에 비해 적용성이 높다고 제시하였다.

2.5 기후변화 모형 분석

기후변화에 대한 영향을 평가하기 위해 GCM자료를 이용하여 많은 연구들이 수행되고 있다. 기상청(2011)에서는 전지구 기후변화 시나리오를 산출하기 위해 영국 기상청 해들리 센터에서 개발한 대기 수평해상도 135 km의 기후변화예측모델인 HadGEM2-AO를 도입하여 1850년부터 2005년까지 관측된 자연과 인위적인 강제력에 대한 과거기후 모의실험 후 RCP 시나리오에 따라 2100년까지 미래 기후변화를 전망하였다. 한반도 지역 기후변화 시나리오 산출하기 위해 CORDEX 국제사업과 연계하여 개발하고 있으며, 국내 기후변화 대응 지원을 위하여 한반도 지역 기후변화 시나리오를 개발하였다. 이러한 지역 기후변화 시나리오 산출에는 영국 기상청 해들리센터 지역기후모델인 HadGEM3-RA가 사용되며, 아시아 영역에 대해서는 50km 해상도, 한반도 영역에 대해서는 12.5km 해상도를 가진다. 1950~2005년동안의 과거기후모의와 RCP 시나리오에 기반한 미래 2100년까지 기후변화를 예측한다. 또한 남한 상세 기후변화 시나리오는 지역기후모델을 통해 생산된 12.5km 해상도의 한반도 기후변화 시나리오를 바탕으로 통계적 상세화 과정을 통해 생산되며, 2000~2010년 동안의 관측자료를 PRIDE모델에 적용하여 1km 해상도의 관측격자 자료를 생산하여 기후변화를 예측한다. 여기서 PRIDE 모델은 PRISM based

Downscaling Estimation Model의 약자이며, 기후를 결정하는데 중요한 역할을 하는 DEM(Digital Elevation Model) 고도, 거리, 지향면(topographic facet), 해양도(coastal proximity)의 영향을 고려하여 고해상도 격자 자료를 산출하는 PRISM (Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model)을 남한 1km 격자에 적합하게 수정한 한국형 PRISM모형을 의미한다 (기후변화정보센터, 2012). <그림 2-4>와 <그림 2-5>는 전지구와 남한의 기후변화 시나리오 산출체계를 각각 나타낸다.



<그림 2-4> 전지구 기후변화 시나리오 산출체계 (기후변화정보센터, 2012)



<그림 2-5> 남한 기후변화 시나리오 산출체계 (기후변화정보센터, 2012)

기상청(2011)은 전지구 기후변화시나리오를 적용해서 미래 전지구 기후의 변화를 예측한 결과 RCP8.5 시나리오 하에서는 21세기말(2070~2099년)에는 평균기온이 4.8℃ 상승, 강수량은 6.0% 증가, 해수면도 90.0cm 증가하는 것으로 나타났다. 우리나라는 RCP8.5 시나리오 하에서는 기온이 5.6℃, 강수량은 18.7% 증가하는 것으로 전망했다. 여기서 강수는 기온과 달리 시공간의 변동성이 크므로 강수의 미래전망은 기온에 비해 불확실성을 많이 내포한다는 사실을 강조하였다. 또한 미래에는 현재보다 폭염, 열대야, 집중호우 등의 극한 기후현상이 강도의 증가뿐만 아니라 발생빈도도 더욱 증가할 것이라 예상하였다. <표 2-6>은 기상청(2011)에서 RCP시나리오를 적용한 전지구 및 한반도 기후변화 전망을 나타낸다. 8개의 전지구 기후변화시나리오 평균값과, 한반도 기후변화 시나리오를 사용하여 전망한 1971~2000년 대비 2070~2099년의 기온과 강수량의 변화치를 각각 나타낸다.

<표 2-6> RCP시나리오를 이용한 기후변화전망 (기상청, 2011)

	RCP시나리오	2.6	4.5	6.0	8.5
기온(℃)	전지구	1.4	2.4	2.9	4.7
	한반도	-	3.4	-	6.0
강수량(%)	전지구	3.0	4.6	5.0	7.2
	한반도	-	17.3	-	20.4

GCM 자료를 수문모형과 연계하여 기후변화로 인한 수자원의 변화에 대한 연구도 꾸준히 수행되고 있다. 과학기술부 (2007)에서는 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축을 위한 연구를 수행하였으며, 기상연구소(2006)에서는 ECHO-G A2/B2 시나리오와 RegCM3 동지격자시스템을 이용하여 1971~2080 (110년) 기간에 대하여 고해상도 (20km) 기후변화 시나리오를 생산하기도 하였다.

정상옥(2010)은 FAO AquaCrop 3.1을 이용하여 기후변화가 벼 증발산량 및 수확량에 미치는 영향을 모의하였으며, 기상연구소(2006)에선 SRES A2 시나리오에 대하여 ECHO-G GCM 결과를 MM5 지역기후모형으로 상세화한 기후 예측결과를 이용하여 이양후의 증발량의 변화를 예측하였다. 그 결과 증발산량은 기준년도(1971~2000)에 비하여 2020s, 2050s 2080s에서 각각 4%, 8%, 14%로 계속적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 벼의 잠재생산량 또한 23%, 55%, 98% 증가하는 것으로 예측하였다. 또한 동일한 SRSS시나리오와 지역기후예측자료를 이용하여 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량을 예측한 결과 2020s, 2050s, 2080s에서 각각 5.3%, 8.1%, 2.2% 증가하는 것으로 예측하였다.

정일원 (2008)은 ECHO-G의 A1B 시나리오를 이용하여 지역기후모의를 위해 NCAR/MM5를 이용하였다. 기상자료를 상세화하는 과정에서는 통계학방법인 LARS-WG를 이용하여 기상자료를 재생성 하였으며, 장기유출모형으로 PRMS를 이용하여 5대강 권역 139개 유역에 대한 수자원의 시공간적 변동성을 평가하였다. 그 결과 기후변화로 인한 국내 유역의 수자원 공급 및 관리가 어려워지며, 홍수피해와 가뭄피해가 동시에 증가될 가능성이 있는 것으로 조사되었다.

유승환 (2009)은 CGCM3.2에서 생성된 B1, A1B, A2 시나리오에 대한 기상자료를 LARS-WG를 이용하여 일자료로 모의·발생하여, 이를 바탕으로 가뭄

지수 등과 같은 가뭄 평가인자를 산정하여 농업가뭄 평가를 실시하였다. 그 결과 각 시나리오별로 가뭄의 양상은 다르게 나타났으나 순관개량이 각 시나리오에서 시간에 따라 계속적으로 증가하는 것으로 분석되었다.

수자원의 기후변화 영향에 대한 추정에는 여러 가지 불확실성을 내포하고 있다. 기후모형 자체의 불확실성과, 온실배출가스 시나리오의 인구증가, 산업발전 등 여러 가지 가정 상의 불확실성 등이 결국은 기후모형의 분석 결과의 신뢰도를 떨어뜨리게 된다. 특히 대부분의 국내의 연구는, 관측자료 및 CO₂ 배출량을 고려한 GCM 결과를 이용한 수문기상인자의 장기변동의 해석과 유출의 영향 평가를 하고 있기 때문에, 이와 같은 기후변화에 대한 영향평가를 위해서는 GCM 및 상세화 과정에서 발생하는 불확실성을 최소화하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

제 3 장 설계기준 동향 분석

3.1 농업용 배수시설 설계기준

우리나라 농업용 배수시설의 설계기준은 1970년도에 『농지개량사업계획설계기준(배수편)』으로 처음 제정된 후 1983년도에 1차로 개정되었으며, 2001년도에 『농업생산기반정비사업계획설계기준(배수편)』으로 2차로 개정되었다. 그 후 최근의 기후변화, 국지성 호우, 집중호우 등 강우패턴의 변화와 논에서 발작물 재배면적이 증가하면서 농경지 배수 설계기준 개선의 필요성이 제기되어 왔다. 또한 국지성 호우, 낙뢰 등으로 배수장 가동 중단을 대비한 비상전원 확보 및 낙뢰보호 시스템 기준 마련과 배수장으로 유입되는 쓰레기 등의 혐잡물 제거를 위한 제진기 설치기준 강화 등의 필요성이 강조되어왔다. 이에 따라 2003년도에 농업기반시설의 재난대응 능력에 대한 실태조사를 수행하고 이상강우에 따른 저수지와 배수장의 설계기준을 개정하는 『재해대비 수리시설 설계기준』이 개정되었다. 또한 2004년도에는 『재해대비 설계기준 개정 적용 요령』이 제시되었으며, 2010년도에는 간척지 받기반 조성에 필요한 설계, 시공, 유지관리를 위한 기준 마련을 위해 『간척지 받기반 조성을 위한 계획설계 요령』이 제시되었고, 영농패턴 변화에 따른 배수개선 사업 방향의 정립을 위한 배수개선사업 추진실태 분석 및 개선방안 수립에 대한 연구(한국농어촌공사, 2010)가 진행되었다. 2012년 3월에는 농경지 침수피해를 예방하기 위한 『기후변화에 대응한 배수개선 설계기준』을 개정하였다. <표 3-1>은 현행 우리나라 농경지 배수시설물의 설계강우시간 및 빈도를 나타낸다

<표 3-1> 현행 농경지 배수시설물 설계 강우빈도 (2001년)

구조물의 종류	설계강우 시간 및 빈도
배수로	20년 1일
배수문	20년 2일
배수펌프	20년 2일
유수지	20년

최근까지 다양하게 설계기준이 강화되어 왔지만, 지역별 특이성을 가진 강우와 이상호우에 대처할 수 있는 배수시설의 능력에는 한계가 있어 현행의 배수시설 설계기준의 재검토가 필요한 것으로 조사되었다(농식품부 한국농어촌공사, 2011b). <표 3-2>는 전국 61개 관측소를 대상으로 최근 20년간 확률강우량이 설계강우량을 초과한 관측통계치를 나타낸다. 1990년 기준 배수개선 설계기준 강우량인 20년 빈도 2일 확률강우량과 1991~2010년동안 관측된 2일 최대 강우량을 비교해 보았을 때 20년빈도를 초과하는 관측우량은 96회, 30년빈도를 초과한 경우는 75회, 50년빈도를 초과한 경우는 46회로 조사되었다. <표 3-3>은 2011년 7~8월 집중호우시 관측된 최대강우량과 설계강우량을 비교한 결과를 나타내며, 관측우량이 설계강우량 20년 빈도를 초과한 경우가 2개소, 30년 빈도를 초과한 경우가 7개소로 조사되었다. 또한 <표 3-4>에서 나타낸 바와 같이 기존의 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필땀편과 배수편 등에서 적용하고 있는 고정시간 강우량 기준 설계강우량은 하천설계기준 등에서 적용하는 임의시간 강우량을 적용할 때보다 강우량이 적게 추정되어 임의시간 강우량을 설계기준에 적용할 것을 제안하였다 (농식품부 한국농어촌공사, 2011b).

<표 3-2> 최근 20년간 확률강우량 초과 관측통계

기 준	전국 평균 확률강우량 (mm)	1991~2010년	
		초과관측소 수	관측강우량 초과횟수
20년빈도	340.9	45	96
30년빈도	370.3	38	75
50년빈도	407.1	26	46

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

<표 3-3> 2011년 7월~8월 관측최대강우와 설계강우량 비교

시도	측후소	기상청(A)	설계강우량(최근 30개년)			비고 (단위:mm)
			20년(B)	A/B(%)	30년	
계	10					
서울	서울	472.5	427.2	111	462.9	30년빈도 초과
강원	춘천	427.0	393.1	109	426.6	“
전북	군산	392.5	304.9	129	331.7	“
	정읍	437.0	255.2	171	274.8	“
전남	순천	501.5	359.1	140	385.6	“
경북	영천	220.0	209.47	105	223.04	20년빈도 초과
	대구	290.0	264.41	110	284.35	30년빈도 초과
경남	밀양	274.0	268.26	102	287.83	20년빈도 초과
	진주	361.0	320.0	113	343.3	30년빈도 초과
	합천	313.5	261.03	120	282.39	“

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

<표 3-4> 고정시간 확률강우량과 임의지속기간 확률강우량의 평균값의 비교

지속시간	1990년 기준			2010년 기준		
	고정	임의	비율	고정	임의	비율
1시간	64.6	72.9	1.1285	66.1	74.7	1.1301
1일	252.1	296.0	1.1741	260.9	297.3	1.1395
2일	340.9	357.3	1.0481	339.9	356.1	1.0477

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

3.2 일본의 배수설계기준

일본의 경우 1923년에 농경지 침수피해방지를 위해 배수개선 사업이 시작된 이후 1978년에 제정한 배수설계기준에 따라 “10년 빈도 1~3일 연속강우량”을 그 동안 배수시설설계에 적용하여 왔다. 최근 2004년 개정된 「기술서」에서는 새로운 유출해석법이 추가되면서 배수설계기준이 “20년 빈도 1~3일 연속강우

량”으로 상향조정되었다. 또한 「기술서」에 기록된 지역특성과 현장조건 등에 따라 실제 적용되고 있는 사례를 살펴보면 현장에서는 “최대 50년 빈도 3일 연속강우량”까지 적용하고 있는 것으로 나타난다. 전체적으로 허용담수심을 30cm, 허용담수시간은 24시간 이내 로 하는 등의 기본적인 사항에 있어서는 한국과 동일하다. 그러나 설계강우를 결정하는 강우자료의 사용기간은 한국은 최근 30년 강우자료를 기본으로 사용하지만 일본은 최근 30~50년 강우자료를 사용한다. 또한 계획기준강우량 산정시 채택하고 있는 빈도기준도 다소 상이하게 설정되어 있다. 한국은 “20년 빈도 2일 연속강우량”을 설계기준으로 채택하고 있는 반면, 일본은 “20년 빈도 3일 연속강우량”을 기준으로 하되, 지형특성, 기상조건 등의 지구여건을 고려하여 최대 “50년 빈도 3일 연속강우량”까지 사용하고 있는 것이 특징이다. 따라서 빈도기준만 비교한다면 2004년 개정된 일본의 설계기준이 한국 보다 약간 강화된 측면도 있다. 그러나 다양한 수문인자를 제외하고 단순히 빈도기준만을 가지고 일본의 설계기준이 단편적으로 높고 낮음을 판단하는 것은 무리가 있다. 일본의 경우 지역의 수문학적 특성과 시설물의 중요도에 따라 「기준서」 이상의 빈도기준 적용도 가능하다는 점에서는 우리나라와는 차별되는 부분이나, 우리나라와 일본의 기본적인 설계기준, 이론체계, 설계방식 등 전체적인 흐름에 있어서는 서로 유사하다. 우리나라의 “20년 빈도 2일 연속강우량”과 일본에서 2004년 개정 이전까지 표준으로 사용하고 있던 “10년 빈도 3일 연속강우량”을 수문분석시 고려되는 다양한 인자를 제외하고 단순히 강우자료만을 기초로 하여 비교한 결과 서로 비슷한 확률강우량이 산출되는 것으로 조사되었다 (농식품부, 한국농어촌공사, 2011b). <표 3-5>는 한국과 일본의 시설설계기준을 비교분석한 내용을 나타낸다.

<표 3-5> 한국과 일본의 설계기준 비교

구분	한 국	일 본
사업의 시작	1975년	1923년 (침수방제사업은 1962년부터)
설계지침	재해대비 수리시설 설계기준(2003.2)	토지개량사업계획설계기준(2004)
계획 기준강우량	20년 빈도 2일 연속강우량	20년 빈도 1~3일 연속강우량 ※ 지역에 따라 기준 이상도 적용 가능
강우자료	최근 30년 강우자료	최근 30~50년 강우자료
계획기준내수위	30cm	30cm
허용침수시간	24시간 이내	24시간 이내

(출처: 농식품부, 한국농어촌공사, 2011b)

3.3 하천설계기준의 배수설계기준

우리나라 하천설계기준이 1980년도에 처음 제정된 후 1998년도에 전면적으로 미비점을 보완하기 위해 1차 개정되었으며, 2000년도에는 물환경에 대한 내용의 보완과 수변공간에 대한 새로운 개념을 도입하였고, 2002년도에는 교량설치에 따른 수리학적 검토 및 현실적인 유출량 산정방법의 도입을 위해 개선되었다. 그 후 치수, 이수 및 하천환경을 고려한 자연친화적인 하천설계 개념을 도입하기 위해 2005년도에 또 다시 개정이 실시되었다. 2009년도에는 기후변화로 인한 집중호우의 발생빈도가 증가하고 하천제방 및 시설물의 피해가 급증함에 따라 대책수립의 일환으로 하천설계기준에 대한 기술적 재검토 및 개편이 수행되었다 (한국수자원학회, 2009). 2009년도에 개정된 배수관련 내용과 배수시설관련 설계기준은 다음과 같다.

3.3.1 배수관련 개편내용

최근 개정된 하천설계기준(2009)은 설계수문량 산정에서 국내개발 홍수모형을 추가하여 보다 현실적인 설계홍수량 산정을 도모하고자 하였으며, 계획홍수

위 결정시 만곡부의 영향 등을 추가적으로 고려하였고, 펌프시설의 설계부분을 구체화 하였다.

<표 3-6> 하천설계기준(2009) 배수관련 개편내용

항 목	2005	2009 개정	개정사유
[계획편] 제16장 설계수문량 16.4.5 설계강우에 의한 설계홍수량의 산정	(3) 도시지역 배수구역에 대한 설계홍수량은 유역의 크기에 따라 합리식 또는 수정합리식, 영국 도로연구 소 (B R R L) 방 법 , MOUSE-KOREA모형, SWMM모형 및 ILLUDAS 모형 등을 이용하여 산정한다.	(3) 도시지역 배수구역에 대한 설계홍수량은 유역의 크기에 따라 국내외에서 개발된 모형 등을 이용하여 산정한다. 합리식 또는 수정 합 리 식 , M O U S E - K O R E A , SWMM, 및 FFC2Q 모형 등을 이용하여 산정 한다.	현재 쓰이지 않는 모형을 삭제하고 국내 개발 모형인 FFC2Q 모형을 추가
[계획편] 제18장 하도계획 18.5.1 계획홍수위 결정시 기본방침 [해설]	(1) 계획홍수위 결정시의 고려사항은 아래와 같다.	(1) 계획홍수위 결정시의 고려사항은 아래와 같다. ④ 만곡부등 영향 : 만곡 정도가 심하거나 굴곡이 저서 사수역이 발생하여 수위상승이 우려되는 경우에는 이점을 고려하여 계획홍수위를 결정하며, 다음과 같은 방법을 따른다. $\Delta h = 1.5 \frac{BV_{mean}^2}{gR_c}$ <u>여기서, 여기서 Δh는 편수위이며 B는 하폭, R_c는 하도 중앙의 곡률반경, V_{mean}은 단면평균유속, g는 중력가속도를 의미한다. 보통 부등류계산으로 계산되는 수위는 만곡부 중앙의 수위가 계산된다고 생각하고 만곡부외측에서는 $\Delta h/2$만큼 상승한다고 생각한다</u>	현재 누락되어 있는 만곡부 발생 편수위 산정 공식을 제안

<표 3-6> 계속

항 목	2005	2009 개정	개정사유
		<p><u>⑤ 산정식의 제약조건 : 편수위의 상승($\Delta h/2$)이 여유고의 절반 이하인 경우에는 계산결과를 제방고 결정에 반영하지 않음. 또한, 위 공식에 의하여 만족부 수위차가 1m 이상 산정될 경우에는 참조값으로만 이용하고 양안의 홍수흔적조사, 2차원 이상의 정교한 수치모형 등을 이용한 계산결과를 기준으로 재검토후 결정한다.</u></p>	편수위 산정식의 적용한계 제시
[계획편] 제32장 내수배제 및 우수유출저감 시설 32.4.2 각 시설별 설계기준	(8) 펌프설비	(8) 펌프설비 <u>④ 펌프시설은 진동 영향을 최소화하여 설계하여야 한다.</u>	펌프시설의 설계부분 구체화

3.3.2 배수시설 설계기준

가. 수문설계 빈도

□ 수문설계 빈도의 결정

추정한계치(Estimated Limiting Value : ELV)방법과 <표3-7>의 주요 수공구조물의 설계빈도를 이용하여 결정한다.

- (1) 추정한계치 방법은 수공구조물의 크기를 고려하여 빈도를 설정하거나 설계빈도 이상에 대해서는 과거에 발생한 수문사상을 이용하여 수문기상학적으로 가능한 최대치를 추정하여 이용한다
- (2) 주요 수공구조물의 설계빈도는 구조물의 위치 및 여건, 경제적 상황에 따라 다양하게 변하므로 일률적으로 결정할 수 없으나 ‘제13장 하천치수 경제조사’에서 제시한 방법으로 구조물별 설계빈도를 구할 수 있다.
- (3) 배수시설의 설계빈도는 사업의 특성과 경제성 검토결과에 따라 조정할

수 있다.

□ 수문설계 빈도의 결정

- (1) 수문학적 설계규모는 수문설계자의 공학적 판단과 경험을 바탕으로 결정하는 것이 바람직하다. 특히 극한 수문사상에 대한 추정한계치나 대소 수공구조물의 설계빈도를 결정하기 위해서는 이러한 공학적 판단과 함께 내용년한을 초과하지 않는 설계기간에 닥칠 위험도를 평가하고, 치수경제 분석과 설계 기술자의 설계 경험이나 현장 경험을 바탕으로 구조물의 종류, 중요도, 홍수지역의 개발정도 등을 감안하여 설계빈도를 선택한다.
- (2) 수공구조물의 설계빈도 선택 시 구조물의 중요도, 도시화 등 수문학적인 요소가 가장 중요하나, 사회적, 경제적인 요소에 따라 설계기준이 달라질 수 있다. 따라서 특정 수공구조물의 설계빈도를 일률적으로 100년 또는 200년으로 결정하는 것은 바람직하지 못하다.

<표 3-7> 주요 수공구조물의 설계빈도

구조물의 종류	설계빈도(년)
배수시설	2~50
배수로	20 이상
방수로	20 이상
배수제	20 이상
배수문	20 이상
배수펌프	20 이상
유수지 및 저류지	20 이상
하천제방	
국가하천	100~200
지방하천	50~200
소하천	30~50(소하천정비법)
홍수방어(조절)용	
제수지	50~SPF(표준설계홍수량)
여수로	PMP(가능최대홍수량)
제방	10~SPF(표준설계홍수량)

나. 유수지 시설

□ 유수지 규모 결정

유수지와 펌프장 규모를 결정하기 위해서는 적합한 설계강우를 결정하고 이것을 배수유역에 적용하여 유수지로 유입되는 누가유입수문곡선을 구한

뒤 누가유입량과 누가펌프배출량곡선을 이용한 계산결과로부터 유수지 규모와 펌프장 규모를 구한다.

□ 유수지 계획홍수위와 저수위

- (1) 유수지의 계획홍수위와 저수위는 유수지 규모, 유역의 지형, 배출하도의 계획홍수위, 평수위 등을 고려하여 결정한다
- (2) 유수지는 외수위가 높을 때는 수문을 닫아 계획 내수유입량을 충분히 저류 할 수 있어야 하고 외수위가 낮아진 후에는 수문을 열어 내수유입량을 전량 배제할 수 있어야 한다.
- (3) 유수지 계획홍수위는 보통 주변의 최저 지반고보다 낮게 설정하여야 한다.

□ 유수지 시설설계

(1) 자연방류시설

- 자연방류시설은 평상시의 하수와 홍수시 본류 하천의 수위가 유수지의 계획홍수위에 도달할 때까지 유수지에 저류되지 않고 유수지 유입량을 직접 본류 하천으로 방류하기 위하여 설치하는 시설이며, 방류구의 위치, 배수량, 내외수위 관계 등을 고려하여 충분히 기능을 발휘할 수 있도록 계획한다. 역류방지용 수문은 수문의 설계기준에 의해 설치한다.
- 홍수시 하천의 수위가 내수위보다 높아져서 외수가 제내지로 역류하는 것을 방지하기 위해 수문을 설치한다. 수문은 시설비의 증가나 운영상의 불편이 있다하더라도 침수위험을 줄이기 위해 반드시 제외측에 설치해야 한다.
- 자연방류시설을 효율적으로 운용하기 위해서는 외수위와 내수위를 비교할 수 있는 수위관측시설을 설치해야하고 이 수위기록을 조정실에서 확인할 수 있는 시설도 설치해야 한다

(2) 유수지 호안

- 유수지 제방을 보호하기 위하여 필요한 경우 호안을 설치한다
- 제방을 보호하기 위한 호안은 본 시설시준 호안 규정에 따른다.

- (3) 유수지내 수질개선 시스템이 없는 경우 가능한 한 유수지 바닥이 항상 건조한 상태를 유지할 수 있도록 유수지 바닥을 포장하거나 유수지 바닥에 도수로를 설치한다

다. 펌프장

- (1) 제내지가 특별히 낮고, 방류하천의 고수위의 지속시간이 긴 경우, 통문 등의 자연배수시설에 의한 내수배제의 효과가 기대되지 않는 경우에 기계

배수를 수행하여야 한다.

- (2) 시설이 제방에 접하는 경우는 펌프운전시 진동이 제방에 미치는 영향과 시설이 내수에 의해 침수되는 것을 고려하여 제방으로부터 격리되고 지반고가 충분히 높은 곳에 설치한다
- (3) 토출암거 설치시는 펌프의 운전정지 등 급격한 수류변동에 따른 수격작용을 검토하여야 하며 제방에 미치는 영향들에 대하여도 충분히 검토하여야 한다.
- (4) 대규모 배수 또는 중요지역의 배수의 경우에는 운전의 효율과 예측할수 없는 사태를 고려하여 설비용량을 여러대로 분할하고 방류규모에 따라 적정 가동하도록 하여야 한다
- (5) 배수펌프 시설의 정전사고를 고려하여 2회선 수전을 원칙으로 한다. 시설이 민가에 밀접한 장소에 있을 경우에는 충분한 소음 방지대책이 마련되도록 하여야 한다.

라. 우수유출 저감시설별 설계기준

우수침투·저류시설은 지반조건을 고려하고 배수량이 많은 지역에 접속 가능한 위치에 설치하며 우수 이외 것이 유입되지 않아야 한다. 지역내 저류는 강우의 이용을 최소한으로 억제하고 비가 내린 그 지역에서 우수를 저류하는 방식으로 토지의 이용계획에 있어서 녹지나 시설물 등에 내린 비를 저류하는 기능을 포함한다. 지역 내 저류시설의 종류는 건물간 주차장, 운동장, 공원 및 지붕을 들 수 있다.

<표 3-8> 저류시설에 따른 저류한계수심(일본의 예)

토지이용	저류시설	저류한계수심(cm)
주택단지	건물간 저류	30
주차장	주차장 저류	10
초, 중, 고등학교	운동장 저류	30
아동공원	공원저류	20
근린·지구공원		30
건물간·지붕	지붕저류	10~15

3.4 하수도시설기준의 배수설계기준

하수도시설기준은 1979년도에 처음 제정되었고 1992년도에 1차 개정, 1998년도에 2차 개정, 2005년도에 3차 개정이 실시되었다. 최근에 개정된 2009년도에는 기후변화로 인한 집중호우와 지진 등 재해대비 기준이 강화되었다.(한국상하수도협회, 2011). 배수설계기준관련 주요 개정내용은 기후변화로 빈발하고 있는 집중호우로 인한 침수피해를 최소화하기 위해 하수관거의 계획확률년수를 기존 5~10년에서 10~30년으로 강화하고 빗물펌프장의 계획확률년수도 30~50년으로 신설하였다. <표 3-9>는 개정된 하수시설물 설계기준을 나타낸다. <표 3-10>은 농경지와 도시지역 배수펌프장 설계기준에 대한 비교를 나타낸다.

<표 3-9> 하수도 시설물 설계기준 (2011)

구조물의 종류	설계빈도(년)
하수관거	10~30
빗물펌프장	30~50

<표 3-10> 현행 농경지와 도시지역 배수펌프장 설계기준 비교

구 분	설계빈도	허용담수심	허용침수시간	침사지체류시간
농경지배수장	20년 2일강우	30cm	24시간	30~60초
도시빗물펌프장	30~50년	0cm	0시간	30~60초

3.4.1 하수관거 및 빗물펌프장의 우수배제계획

하수도시설기준에 개정된 배수처리시설 기준은 다음과 같다.

가. 계획우수량 결정

□ 확률년수

『**확률년수**: 하수관거의 확률년수는 10~30년, 빗물펌프장의 확률년수는 30~50년을 원칙으로 하며, 지역의 특성 또는 방재상 필요성에 따라 이보다 크게 또는 작게 정할 수 있다.』

하수관거의 계획우수량 결정을 위한 확률년수는 10~30년, 빗물펌프장의 계획우수량 결정을 위한 확률년수는 30~50년을 적용한다. 그러나 반드시

전지역이 일정할 필요는 없고, 지역의 중요도나 배수구역의 크기 등 여러 가지 여건을 고려하여 확률년수를 다르게 하거나 근간적인 시설에 대해 확률년수를 크게 취하는 것은 방재상 필요하며 가능한 경제적인 면과 방재적인 면을 고려하여 설정하는 것이 바람직하다.

시설의 설치 및 운영의 소요비용에 따르는 경제적 효과와 침수피해에 대응하는 방재적 편익을 편익-비용 분석(BCA) 또는 비용-편익 분석(CBA)을 통하여 편익-비용비(B/C), 순현재가(NPV), 내부수익율(IRR)과 같은 경제성 평가지표로 환산하여 대상지역의 적정 확률년수를 산정함이 가능하다. 특히 확률년수 적용에 대해 최근의 국지성 집중호우에 대처가 어렵고 침수피해를 입는 지역이 증가하고 있으므로 신규개발지역은 합리적인 규모 내에서 확률년수를 상향조정하고 기존의 시설물에 대한 상향조정이 어려운 지역에 대해서는 하천계획을 고려하여 하수도시설만이 아니라 우수유출저감시설을 포함한 도시시설과 일체로 된 우수배제계획이 될 수 있도록 하여야 한다. 방재상 중요도가 낮은 지역 등에 대해서는 과도한 확률년수를 적용하지 않도록 주의하여야 한다.

□ 확률계산법

확률계산법으로서는 Thomas plot법, Hazen plot법 및 이와이(岩井)법 등이 일반적으로 쓰이고 있으나, 어느 방법으로 계산하여도 비슷한 값을 얻을 수 있으므로, 가장 간단한 Thomas plot법의 사용을 원칙으로 한다. 확률계산에는 적어도 20년 이상의 자료가 필요하나 우리나라에서는 전체적으로 자료의 정비가 미흡한 실정이다. 자료정비법에는 매년최대값법(통계기간에서의 연간 최대값을 취하여 모집단으로 하는 방법)과 비매년최대값법(통계기간내에서 최대값순으로 통계년수의 수만큼 취하여 모집단으로 하는 방법)이 있으나, 20년간의 자료가 없는 경우에는 비매년최대값법에 의하는 것을 원칙으로 한다. 비매년최대값법에 의하지 않는 경우에는 확률년수를 1년 증가시킴으로서(즉, 5년인 경우 6년으로 함) 자료부족에 의한 확률년수의 감소를 보완하도록 한다.

나. 우수조정지 계획상우의 확률년수

우수조정지 계획에서 계획우수량의 확률년수는 1.5.1에 기술한 것처럼 10~30년을 원칙으로 하지만, 최근의 도시의 재개발 및 국지성 집중호우에 대한 방재적인 면을 고려하여 확률년수를 보다 크게 취하는 것이 필요하다. 우수배제시설은 관거, 펌프, 저류시설, 토구 등 시스템 전체의 관점에서 고찰하여야 하며, 관거시설의 계획우수량 산정을 위한 확률년수의 상향에 발

맞추어 저류지와 우수지를 포함한 우수조정지의 확률년수는 30년 이상으로 함이 바람직하다.

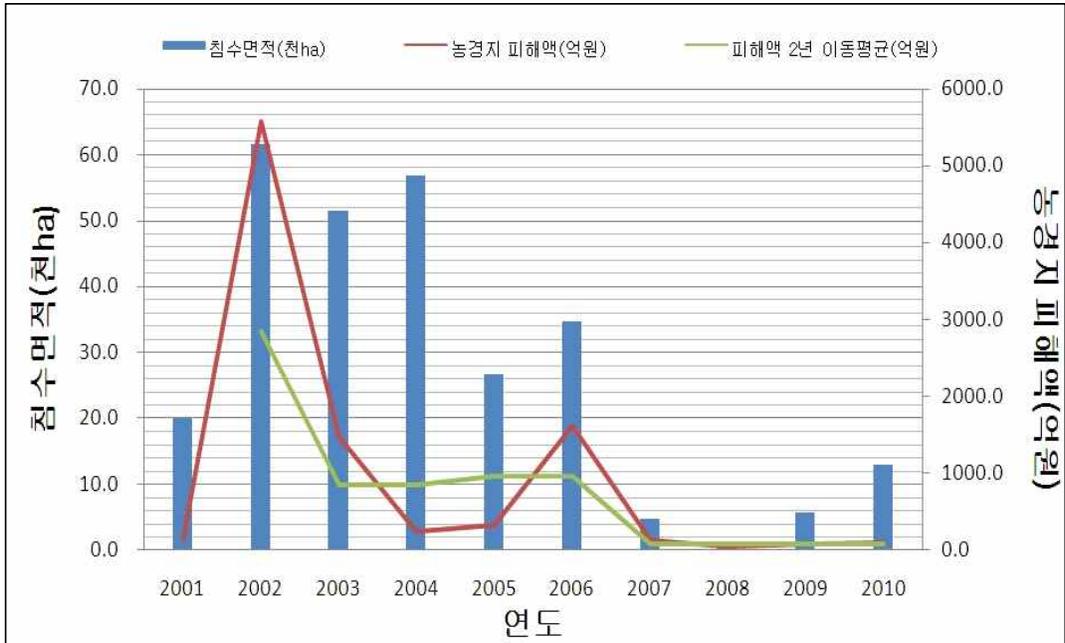
또한 댐식의 우수조정지는 방재상 예외적으로 확률년수를 크게 하는 것이 필요하다. 댐식은 하류에 도시가 형성되어 있고 굴착식에 비해 높은 안전도가 필요하므로 지역의 상황에 따라 확률년수를 30~50년 범위에서 적절한 것으로 한다. 여기서 제시한 범위는 확률년수를 정하는 경우의 대략 값이다. 유역 지형으로 인한 집수의 어려움, 주변 토지이용 상황 및 우수조정지 계획수위와 주변 지반고와의 관계 등을 고려하여 적절한 확률년수를 정한다.

제 4 장 농경지 침수피해 분석

4.1 농경지 침수피해 추이

최근 기후변화로 인한 국지성 호우, 돌발홍수 등이 빈발하여 우리나라 국토 전반에 많은 피해를 초래하고 있다. 최근 10년간 평균 68명의 인명피해와 16,582 억원의 재산 피해를 발생시켰다. 특히 기존 농경지 배수시설은 현행 설계기준의 강우보다 더 많은 강우량의 발생으로 배제능력이 부족하고 이로 인한 침수, 배수불량 등으로 농경지 침수피해가 자주 발생되고 있다. <그림 4-1>은 최근 10년간 집중호우로 인한 침수면적, 농경지 피해액을 나타내며, <표 4-1>는 최근 5년간의 농경지 피해면적과 피해액을 나타낸다. 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미, 2004년 태풍 메기 등으로 인해 피해규모가 상당히 높았으나 이후 감소되는 듯 하다가 다시 2009년부터 피해규모가 증가하는 양상을 보였다. 2011년은 집중호우에 의한 피해가 매우 컸던 한해였으며, 2005년 이후 가장 많은 침수피해가 발생한 것으로 나타났다. <표 4-2>는 농식품부 한국농어촌공사 (2011b)에서 2011년 7월 집중호우시 발생했던 침수피해사례를 조사한 내용이며, 기본조사 및 세부설계 중인 조사설계지구와 배수시설이 준공되어 운영 중인 지구, 그리고 배수개선 사업이 착공되어 사업이 진행중인 지구로 구분하여 침수사례를 각각 나타내고 있다. 2011년 7월 집중호우시 발생했던 벼와 원예작물경지의 침수피해는 벼재배지의 경우 20,513ha와 원예작물재배지의 경우 928ha로 총 21,438ha 규모의 침수피해를 유발했다. 이는 집중호우 등 이상기후에 의한 강우량 증가가 현행 배수시설의 설계기준을 초과하는데 기인하며, 강우강도의 증가와 함께 집중호우의 빈도가 높아질 것이라는 미래 기후전망에 대비하여 배수시설 설계기준 강화 등 기후변화에 대응할 개선책 수립이 반드시 필요한 것으로 판단된다.

<그림 4-1> 최근 10년간 농경지 침수면적 및 피해액



(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

<표 4-1> 최근 5년간의 농경지 피해 규모

구분	계	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	
면적(ha)	53,566	4,858	590	5,331	7,364	35,423	
피해액 (백만원)	2011년도 환산액기준	50,627	13,094	4,213	8,409	9,507	15,404
	당해연도 가격기준	46,809	10,971	3,834	7,638	8,962	15,404

(출처: 소방방재청 중앙재난안전대책본부, 2011)

<표 4-2> 2011년 7월 집중호우시 농경지 침수피해 규모

구분	총계			조사설계중(60지구)			시설운영중(156지구)			시행중(41지구)		
	계	벼	원예	계	벼	원예	소계	벼	원예	소계	벼	원예
침수 면적 (ha)	21,438	20,513	928	4,444	3,942	505	11,824	11,521	303	5,170	5,050	120

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

4.2 농경지 침수 피해사례 및 원인 분석

<표 4-3>은 최근 강우량 증가에 의한 농경지 침수피해 사례를 조사한 내용이며, <표 4-4>과 <표 4-4>는 과거에 배수개선사업이 시행되었지만 2011년에 침수피해가 발생한 지구의 침수원인과, 침수지역의 배수개선사업이 실시된 연도기준 확률강우량과 2011년 기준확률강우량을 비교한 내용을 각각 나타낸다.

<표 4-3> 농경지 침수피해 사례

침수지구	강수종류	침수원인
정연지구 (벼 340.0ha)	2010. 8. 14~15 집중호우 272mm	용배수로 간·지선 토사유입 퇴적
약산지구 (벼 158.6ha)	2010. 8. 11 태풍 덴무 일강우량 111mm, 풍속 14.2m/s	양배수장 수로교 붕괴
고곡지구 (벼 108.0ha)	2010. 7. 11 집중호우	승수로 유실
반계지구 (벼 174.7ha)	2010. 10. 19 집중호우 213mm 최대시우량 75.5mm	배수펌프용량 초과
가려지구 (벼 90.0ha)	2011. 7. 10 집중호우 168mm	제진기 피해 배수장 가동 중단
삼용지구 (벼 25.0ha)	2010. 7. 10 ~ 11 집중호우 324.3mm	제진기 피해 배수장 가동 중단
화상지구 (벼: 100ha, 원예: 90ha)	2011. 7. 10 집중호우 341mm	외수위 상승, 시설용량 부족
흥정지구 (원예 15ha)	2011. 7. 9 집중호우 361mm	기설배수장 용량부족 배수로 단면부족
경포지구 (벼: 50ha, 원예: 10ha)	2011. 6. 25 이상강우 165mm	배수로 단면부족
단목지구 (원예 40ha)	2011. 7. 9 집중호우 361mm	시설용량 부족

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

농경지 침수의 원인은 주로 집중호우 등의 이상강우로 외수위 상승에 의한 자연 배수가 불가능했던 점과, 기설 배수장 용량부족으로 배수능력 저하와 배수로 단면 부족, 배수구조물의 불합리한 설치, 토사퇴적 및 수초발생으로 지구내 홍수량 배제시간 지연, 협잡물 과다로 배수장 가동 중단으로 인한 범람 등이 주원인

이었다. 배수개선이 실시된 연도의 확률강우량을 침수가 발생된 2011년 확률강우량과 비교 검토한 결과, 2011년 확률강우량이 20년빈도 기준 15.9~60.9% 증가를 보였으며, 30년빈도 기준 15.8~61.8%의 증가를 보였다. 따라서 기후변화로 인한 집중호우 등의 강수량 증가는 기존의 배수설계기준이 적용된 지역의 침수피해를 야기할 가능성이 존재함으로 설계기준 개선을 통한 근본적인 대책마련이 필요하다.

<표 4-4> 2011년 7월 집중호우시 농경지 침수피해 규모

구 분	침수지구	침수원인
침수 원인별	산서지구(수도작 153.3ha)	외수위 상승
	모령지구(수도작 147.3ha)	외수위 상승, 토사퇴적 및 식생
	하기지구(수도작 68.6ha)	배수장의 배수능력 저하
영농 조건별	수산지구(수도작 400.0ha)	외수위 상승
	덕곡지구 (수도작 11.4ha+원예작물 64.3ha)	배수본천 수위상승
	단목지구(원예작물 40ha)	시설용량 부족

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

<표 4-5> 침수지역의 확률강우량 비교

지구	시군	배수개선시 확률강우량			금회 확률강우량			기배수개선 사업연도
		관측소	20년	30년	관측소	20년	30년	
산서	함안	진주	286.2	307.1	마산	333.3 (16.5% 증)	356.5 (16.1% 증)	1992년
모령	장흥	목포	271.9	294.6	장흥	437.4 (60.9% 증)	476.7 (61.8% 증)	1995년
하기	함안	진주	286.0	307.0	진주	331.5 (15.9% 증)	355.6 (15.8% 증)	1988년
수산	군산	군산	262.5	286.5	군산	324.0 (23.4% 증)	355.7 (24.2% 증)	1987년
평균			276.7	298.8		356.6 (28.9% 증)	386.1 (29.2% 증)	

(출처: 농식품부 한국농어촌공사, 2011b)

한편 새만금 간척지구에 밭작물, 시설농업, 축산단지를 조성하기 위해 간척농지에 대해 수리수문학적 특성 분석과 침수지역 분석을 토대로 침수안전지역

을 설정하기 위한 연구가 진행되었다(농식품부, 한국농어촌공사 2011a). 그 결과 대상간척지구별 여건조사, 간척농지 침하 및 배수로의 현지확인 수준측량을 위한 지형측량결과, 당초 준공당시 계획표고보다 (+)0.1~(-)0.2cm 차이를 보여, 시설원예 및 농산업단지 등의 배수원활을 위해 적정 계획기준 내수위 이상의 여유고가 필요한 것으로 조사되었다. 침수분석결과를 토대로 살펴본 총 면적 6,657ha중 빈도별 침수면적은 20년빈도 2,942ha(44.2%), 30년 빈도 3,280ha(49.3%), 50년 빈도 3,564ha(53.5%), 80년 빈도 3,806ha(57.2%), 100년 빈도 3,995ha(60.0%)로 분석되었다. 또한, 원예작물의 경우에는 침수피해가 수도작 보다 크기 때문에 2011년 기준 침수피해 현황자료를 검토한 바, 30년빈도에 침수에 안전한 지역은 1,788ha(27%), 50년빈도 안전지역은 1,642ha(25%)로 검토되었다. 간척농지에 밭작물, 시설농업, 축산단지 등을 조성하기 위해서는 밭 및 농산업기반 조성 전에 제염촉진과 재염화 방지대책 수립이 필요하며, 현지여건에 맞는 배수관리계획을 수립한 후 기계배제, 배수시설 확장, 복토 등의 기반조성이 이루어져야 하는 것으로 나타났다.

제 5 장 배수설계기준 주요 개정내용

기후변화에 의한 집중호우, 이상기후로 인한 강우량의 증가는 기존의 강우설계기준을 초과하고 있어 농경지 침수 등의 배수피해가 야기되고 있다. 따라서 기후변화에 대처하고 논에서 발작물 재배면적의 증가에 따른 농경지 배수체계개선 및 배수시설물 보강을 위해 배수설계기준의 강화가 필요하여 이를 위해 기존의 설계기준 내용을 수정 보완하였다. 개정의 주안점은 다음과 같으며, 주요 개정 내용은 <표 5-1>과 같다

- (1) 전문용어를 통일하고, 오자, 문맥상의 오류 등을 수정하였다.
- (2) 관련법령의 제개정에 따른 농지배수 관련 설계기준을 현행 법령체계와 일치시켰다.
- (3) 이상 기후로 인한 국지성 호우에 대응할 수 있도록 설계강우량 결정방법을 강화하였다.
- (4) 논밭 혼용지대에서의 배수대책에 대하여 내용을 추가하였다.
- (5) 친환경적 배수개선 설계 및 시공사례를 수록하여, 배수개선사업의 추진에 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.
- (6) 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위를 수정하였다.
- (7) 유수지 설계기법에 대하여 추가하였다.
- (8) 하천제방 횡단구조물 (토출암거) 설치에 대한 내용을 추가하였다.
- (9) 배수장 제진기 설치기준에 대하여 추가하였다.
- (10) 배수장 비상전원 확보기준에 대하여 추가하였다.
- (11) 배수장 펌프형식 개선과 게이트 펌프에 대하여 추가하였다.
- (12) 배수장 대피시설 및 장비에 대하여 보완하였다.
- (13) 배수시설 제어시스템 적용에 대한 내용을 추가하였다.

<표 5-1> 설계기준 (배수편) 주요 개정 내용

장	내 용
제1장 총 론	(1) 1.2.2 법령의 준수 현행 관련 법령 이름과 설계기준 이름 추가
제2장 조 사	(1) 2.2.1 조사단계 내용을 현행 “농림수산사업시행지침서”에 따라 수정
	(2) 2.7.1 기상자료의 수집 기상자료의 수집방법 개선
제3장 계 획	아래 3개의 절의 내용을 수정 또는 추가 (1) 3.6.1 설계강우량 산정방법 (2) 3.6.3 허용담수 및 침수방지 계획기준 (3) 3.8 논밭혼용 지구에서의 배수대책
제4장 지표배수계획	아래의 새로운 절을 추가 또는 보완 (1) 4.2.7 친환경 배수로 (2) 4.4.5 배수장 펌프 선정 방법 개선 (3) 4.4.10 배수장 제진기 설치기준 (4) 4.4.11 유수지 (5) 4.4.14 하천제방 횡단구조물 설치 (6) 4.4.15 배수장 비상전원 확보기준 (7) 4.4.16 배수장 낙뢰보호 시스템 설치기준 (8) 4.4.17 배수장 대피시설 및 장비
제7장 관리운영계획	아래의 새로운 절을 추가 (1) 7.5.2 배수시설 제어시스템 적용
제8장 배수효과	아래 절의 내용에 경제성 분석 방안에 대하여 추가 (1) 8.3 사업비와 투자수익

5.1 사업관련 법령

농지의 배수개선사업을 하기 위해서는 농어촌정비법과 관계법령의 규제를 받기 때문에 관계기관과 사전에 협의하고, 관계법령의 규정을 기초로 하여 계획을 수립해야 한다. 또한 배수계획지구내의 하천, 도로 등 시설정비계획, 각종 토지이용계획 등과 잘 조화되도록 조정되어야 한다. 농지배수계획과 관련 되는 주요 법령은 다음과 같다.

- ① 농어촌정비법 (2012년 10월 22일 개정 법률 11501호)
- ② 한국농어촌공사 및 농지관리기금법 (2011년 3월 31일 개정 법률 10522호)
- ③ 하천법 (2012년 10월 17일 개정 법률 11194호)
- ④ 도로법 (2012년 6월 1일 개정 법률 11471호)
- ⑤ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률(2012년 2월 1일 개정 법률 11292호)
- ⑥ 건축법 (2011년 7월 21일 개정 법률 10892호)
- ⑦ 전기사업법 (2010년 4월 12일 개정 법률 10253호)
- ⑧ 문화재보호법 (2012년 1월 26일 개정 법률 11228호)
- ⑨ 소음진동관리법 (2011년 4월 28일 개정 법률 10615호)
- ⑩ 환경영향평가법 (2011년 8월 4일 개정 법률 11019호)
- ⑪ 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법 (2011년 11월 22일 개정 법률 11094호)
- ⑫ 자연재해대책법 (2012년 10월 22일 개정 법률 11495호)
- ⑬ 시설물의 안전관리에 관한 특별법 (2011년 5월 24일 개정 법률 10719호)

또한 농림수산식품부는 물론이며 국토해양부, 환경부 등의 관련 고시나 설계기준 등도 참조하여야 한다. 배수사업계획과 관련 있는 대표적인 설계기준은 다음과 같다.

- ① 농업생산기반정비사업계획설계기준 수로편(2004)
- ② 농업생산기반정비사업계획설계기준 양배수장편(2005)
- ③ 농업생산기반정비사업계획설계기준 친환경편(2008)
- ④ 농업생산기반정비사업계획설계기준 취입보편(1996)
- ⑤ 농업생산기반정비사업 조사설계 실무요령 제2편 배수시설 (2011)
- ⑥ 하천설계기준·해설 (한국수자원학회, 2009)
- ⑦ 하수도시설기준 (한국상하수도협회, 2011)

5.2 설계강우량

최근 기상이변, 기상조건의 변화로 과거의 설계기준 강우량보다 많은 강우가 단시간에 내리는 국지적 집중호우가 발생하여 배수시설물의 홍수배제능력 부족으로 인한 농경지 침수피해가 발생하므로 이에 대비하여 설계기준을 수정하였다. 침수분석에서는 2일 연속강우를 임의지속 48시간 연속강우로 바꾸고, 20년 빈도를 원칙으로 하나 원예작물단지 등에서는 경제성 등을 종합 분석 평가하여 필요한 경우 30년 빈도로도 할 수 있도록 하였다. 또한, 지배관측소의 관측개시년도부터 전체 강우자료를 사용함으로써 설계강우량이 작게 나타나고 있으므로, 전체 강우자료와 최근 30개년 이상 강우자료를 빈도 분석하여 비교하여 큰 값을 설계강우량으로 채택한다.

<표 5-2> 전체강우자료와 최근 30년 강우자료 사이의 확률강우량 비교

구 분	확률강우량(mm)			증가율
	현행 (전체 강우자료)	개선 (최근 30년 자료)	차 이	
20년 빈도 2일 강우량 (전국평균)	309	344	35	11%

* 자료: 재해대비 수리시설 설계기준 개정 (2003. 2. 농림부)

전국 도별 11개 측후소 (서울, 부산, 수원, 춘천, 청주, 대전, 전주, 광주, 대구, 진주, 목포) 강우량 분석치

<표 5-3> 고정 및 임의 지속시간 사이의 확률강우량 비교

빈 도	지속시간	확률강우량(mm)		증가율 (%)
		고정시간	임의시간	
20년	1시간(60분)	66.1	74.7	13.0
	1일(1440분)	260.9	297.3	13.9
	2일(2880분)	339.9	356.1	4.8
30년	1시간(60분)	71.0	80.1	12.8
	1일(1440분)	282.3	321.4	13.8
	2일(2880분)	368.1	385.5	4.7

* 자료: 기후변화에 대응한 배수개선 설계기준 개정 (2012. 4. 농림수산식품부) 전국 61개 관측소 대상

<표 5-4> 20년 및 30년 빈도 2일 확률강우량 비교

구 분	20년 빈도	30년 빈도	증가율 (%)
2일 확률강우량(mm)	339.9	368.1	8.3

* 자료: 기후변화에 대응한 배수개선 설계기준 개정 (2012. 4. 농림수산식품부) 전국 61개 관측소 대상

고위부의 빗물을 홍수조절 기능없이 수로로 배수하는 경우는 첨두홍수량의 크기가 배수량계획의 기본이 된다. 첨두홍수량은 홍수지속시간내의 평균 강우강도에 좌우되므로 짧은 시간의 강우강도가 중요하다. 즉 홍수도달시간은 유역의 크기에 따라 다르고 첨두홍수량의 대소에 따라서도 달라지므로 특정한, 한 지속시간을 가진 강우강도만을 고려해서는 안 된다.

한편 홍수조절댐 또는 유수지로 유하량이 조절되거나, 저위부에 홍수량을 일시 담수 시켰다가 펌프나 배수문으로 배수하는 계획에서는 홍수량을 이용하여 내외수위에 대한 수문곡선을 구할 필요가 있다. 이러한 경우는 취하는 연속강우의 지속기간 및 분포형태가 문제가 된다. 일반적으로 소규모 홍수조절 댐에서는 1일 우량을, 대규모 홍수조절 댐에서는 2일 우량을, 기계배수를 하는 낮은 평균배수계획에서는 1~3일 강우량에 대한 확률계산을 하여 확률강우를 정한 후 적당한 단위시간마다 강우량을 배분하여 우량주상도를 결정하는 방법을 취한다. 여기서 적당한 단위시간이라고 하는 것은 경사지 유출량을 대상으로 하는 경우에 홍수도달시간 또는 그것의 1/2 정도의 시간을 정수로 고친 것이고, 기계배수를 하는 낮은 평야지대는 단위유량도로 유출량을 산출하고 최종적으로 수위수문곡선을 구하는 경우로, 3~6시간 정도를 취하면 충분하다.

전술한 연속강우의 우량 배분법은 다음과 같은 3가지 방법이 고려될 수 있다.

- ① 단봉강우(單峰降雨)를 대상으로 하는 적당한 식 또는 그림을 이용하여 첨두강우로부터 순서대로 분포를 합성하는 방법
- ② 과거에 나타났던 하나 내지 여러 호우분포를 고려하여 확률우량/실제우량의 비를 실제강우강도에 곱하여 강우분포를 합성하는 방법
- ③ 과거에 출현한 많은 호우분포의 통계적 특성을 추출하고 난수(Random number)를 이용하여 확률적으로 모의 발생(模擬發生)시키는 방법

실제적으로는 ① 또는 ②의 방법이 주로 이용되고 ③의 방법은 최적계획을 구하는 경우에 사용된다.

농지를 대상으로 한 배수계획에서는 설계강우량을 대부분의 경우 20년에 한 번 정도 기대되는 호우규모가 경제적으로 보아, 적인 경우가 많으므로 배수 펌프장과 배수로는 20년 빈도이상으로 하고, 승수로는 50년 빈도이상의 강우를 적용하되, 국가하천 및 지방하천인 경우에는 하천시설기준을 적용한다. 그리고 배수문은 유역규모, 유역내 취락 등에 따라 규모별로 20~100년 빈도를 사용한다.

가. 강우량 자료의 해석

1) 확률강우 빈도분석

강우량 자료는 시우량 및 일우량으로부터 지구의 배수계획에 필요한 강우를 구한다. 강우의 해석결과는 관측자료가 증가함에 따라 달라지므로 계획수립에는 가장 새로운 자료를 기본으로 해야 한다. 설계강우량은 설계홍수량을 산정하기 위한 기준강우량으로 설계목적에 따라 1시간, 수시간, 1일, 2일 연속, 임의지속 48시간의 강우지속시간에 해당하는 빈도별 확률강우량을 구해야한다. 설계강우량을 구하기 위해서는 우선적으로 몇 개 확률분포형 중에서 χ^2 및 K-S 방법에 의한 적합도 검정에 의해 적정확률분포형을 선정한 다음 이에 의한 빈도분석에 의해 빈도별 설계강우량을 산정한다. 우리나라에서는 제 1형 극치분포(Gumbel법)에 의한 설계강우량이 주로 추천되고 있다(건설부, 1988).

2) 강우강도-지속기간-빈도(IDF)곡선의 활용

지속기간별 확률강우강도를 추정하는 방법은 우선 강우의 자기기록이 있는 경우에는 개략 추정방법인 확률지법을, 그리고 이론적이고 정밀성이 높은 방법으로서 확률분포형에 의한 빈도계수법을 이용할 수 있다. 대상지점의 강우자료를 얻을 수 없는 경우에는 각 지역별 확률강우강도식이나 확률강우량도 등을 이용할 수 있다.

강우강도와 지속기간과의 관계는 식(5.1)에 의해 추정 할 수 있다.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Talbot형} \quad I = \frac{a}{t+b} \\ \text{Sherman형} \quad I = \frac{c}{t^n} \\ \text{Japanese형} \quad I = \frac{d}{\sqrt{t+e}} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(5.1)$$

I : 강우강도 (mm/h)
 t : 지속기간 (min)
 a, b, c, d, e, n : 지역에 따른 상수

우리나라 주요지점에 대한 재현기간별 확률강우강도식은 <표 5-5>와 같다.

<표 5-5> 주요관측지점별 확률강우강도식 (t : min)

관측소	재 현 기 간 (년)					
	5	10	20	30	50	100
서울	$\frac{420}{\sqrt{t+0.34}}$	$\frac{497}{\sqrt{t+0.19}}$	$\frac{569}{\sqrt{t+0.11}}$	$\frac{610}{\sqrt{t+0.09}}$	$\frac{660}{\sqrt{t+0.05}}$	$\frac{727}{\sqrt{t+0.02}}$
대전	$\frac{371}{\sqrt{t+1.02}}$	$\frac{446}{\sqrt{t+0.89}}$	$\frac{518}{\sqrt{t+0.82}}$	$\frac{560}{\sqrt{t+0.78}}$	$\frac{611}{\sqrt{t+0.74}}$	$\frac{711}{\sqrt{t+0.62}}$
청주	$\frac{3,575}{\sqrt{t+37.3}}$	$\frac{4,087}{\sqrt{t+36.7}}$	$\frac{4,902}{\sqrt{t+37.6}}$	$\frac{5,561}{\sqrt{t+45.4}}$	$\frac{5,236}{\sqrt{t+35.3}}$	$\frac{5,720}{\sqrt{t+35.4}}$
인천	$\frac{400}{\sqrt{t+0.39}}$	$\frac{474}{\sqrt{t+0.34}}$	$\frac{529}{\sqrt{t+0.15}}$	$\frac{9,826}{\sqrt{t+60}}$	$\frac{10,504}{\sqrt{t+58}}$	$\frac{11,371}{\sqrt{t+56}}$
강릉	$\frac{211}{t^{0.44}}$	$\frac{246}{t^{0.44}}$	$\frac{279}{t^{0.45}}$	$\frac{297}{t^{0.45}}$	$\frac{320}{t^{0.45}}$	$\frac{349}{t^{0.45}}$
추풍령	$\frac{4,634}{t+39}$	$\frac{5,376}{t+39}$	$\frac{6,064}{t+40}$	$\frac{6,452}{t+40}$	$\frac{6,929}{t+40}$	$\frac{7,559}{t+40}$
포항	$\frac{347}{t^{0.57}}$	$\frac{423}{t^{0.58}}$	$\frac{498}{t^{0.59}}$	$\frac{542}{t^{0.60}}$	$\frac{599}{t^{0.61}}$	$\frac{676}{t^{0.62}}$
대구	$\frac{4,856}{t+43}$	$\frac{5,656}{t+42}$	$\frac{6,394}{t+42}$	$\frac{6,809}{t+41}$	$\frac{7,319}{t+41}$	$\frac{7,988}{t+41}$
울산	$\frac{285}{t^{0.45}}$	$\frac{312}{t^{0.43}}$	$\frac{333}{t^{0.41}}$	$\frac{344}{t^{0.40}}$	$\frac{356}{t^{0.39}}$	$\frac{371}{t^{0.38}}$
부산	$\frac{455}{\sqrt{t+1.11}}$	$\frac{550}{\sqrt{t+1.28}}$	$\frac{641}{\sqrt{t+1.40}}$	$\frac{693}{\sqrt{t+1.46}}$	$\frac{757}{\sqrt{t+1.51}}$	$\frac{843}{\sqrt{t+1.58}}$
여수	$\frac{362}{\sqrt{t+0.27}}$	$\frac{425}{\sqrt{t+0.44}}$	$\frac{486}{\sqrt{t+0.60}}$	$\frac{521}{\sqrt{t+0.69}}$	$\frac{565}{\sqrt{t+0.80}}$	$\frac{625}{\sqrt{t+0.95}}$
목포	$\frac{331}{t^{0.51}}$	$\frac{375}{t^{0.51}}$	$\frac{413}{t^{0.51}}$	$\frac{434}{t^{0.51}}$	$\frac{458}{t^{0.51}}$	$\frac{489}{t^{0.50}}$
광주	$\frac{433}{t^{0.54}}$	$\frac{465}{t^{0.53}}$	$\frac{436}{\sqrt{t-0.21}}$	$\frac{463}{\sqrt{t-0.15}}$	$\frac{496}{\sqrt{t-0.08}}$	$\frac{539}{\sqrt{t}}$
전주	$\frac{416}{\sqrt{t-0.35}}$	$\frac{500}{\sqrt{t-0.18}}$	$\frac{10,069}{t+56}$	$\frac{10,885}{t+57}$	$\frac{11,911}{t+59}$	$\frac{13,300}{t+61}$

(주) 이원환, 도시하천 및 하수도 계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석, 대한토목학회지 28권 4호, 1980년 8월

일강우량 자료를 사용하여 24시간 이내의 지속기간별 강우강도를 추정하는 방법은 다음의 Mononobe의 공식을 이용한다.

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^n \dots\dots\dots(5.2)$$

여기서, R_{24} : 일강우량(mm)

t : 강우지속 기간(h)

n : 지역에 따른 상수

참고로, 우리나라의 지역별 상수인 n 값은 <표 5-6>와 같다.

<표 5-6> 모노노베(物部)식의 지역에 따른 상수 n 값

관측소명	n 값	관측소명	n 값
강릉	0.5008	속초	0.4922
광주	0.5563	수원	0.5977
군산	0.5541	여수	0.5304
대구	0.5570	익산	0.4804
대전	0.5486	인천	0.5863
목포	0.5186	전주	0.6002
서귀포	0.4930	제주	0.5047
서산	0.5722	진주	0.5788
서울	0.5917	춘천	0.5764
추풍령	0.5272		

(주) 신고 응용수문학 (향문사, 권순국의 8인, 2000)

전술한 바와 같이 강우강도-지속기간 관계에 그 강우의 생기빈도를 제3의 변수로 도입하면 지역별 강우강도-지속기간-생기빈도 곡선을 얻을 수 있다. 이 관계곡선은 어떤 지역의 지속기간별 최대강우강도를 기록년한 동안의 자료로부터 추출하여 시계열을 작성한 후 통계학적 처리에 의해 얻을 수 있다. 우리나라의 IDF 곡선은 전국 24개 관측소를 대상으로 작성되어있다.

IDF 곡선은 홍수도달시간이 1시간 미만의 작은 유역의 확률강우량을 구할

시 사용되며, 홍수도달시간이 1시간 이상인 경우에는 지역별 확률강우강도식이나 Mononobe의 공식을 사용하여 강우강도를 구한다.

5.3 허용담수 및 침수방지 계획기준

설계기준 (배수편) (2012) 3.7절에서 구한 계획홍수량과 3.6.4절에서 구한 계획기준 외수위로 부터 구한 내수위가 최저답 표고를 기준면으로 했을 때의 침관수(浸冠水) 기준을 만족하도록 한다. 벼는 생육시기, 침수시간, 수온, 수질, 침수심에 따라서 침수피해 정도가 달라지나 주로 수잉기에 피해가 크며 이 시기에 벼의 길이가 70cm이상 되고, 우리나라는 수해가 7~9월에 많이 발생하는 것을 감안할 때 주로 수잉기의 침수피해를 방지하는 것을 목표로 허용담수심을 30cm로 하고 허용담수를 초과할 경우 담수 계속시간은 24시간을 한도로 하고 관수를 피하는 정도가 좋다.

배수계획구역 중 침수에 의한 피해가 큰 원예작물 등 발작물이 집단화된 지역은 재배작물 유형, 침수피해 정도 및 경제성 등을 종합 분석 평가하여 침수시간이 최소화 되도록 계획하여야 한다.

배수계획구역내 원예작물 등 발작물이 집단화된 지역을 구분하여 배수계획을 수립하는 것이 유리한 지역은 별도로 구분하여 계획할 수 있다. 분할된 구역에 각기 자연배수와 기계배수의 계획방법을 적용하여 어느 정도 그 내용을 고정시킨 후에, 필요하다면 양자를 연결하는 시설과 그 사용방법을 검토한다. 이 경우 수혜지역 전체로서 가장 유리한 계획을 고려해야 하지만, 이와 동시에 자연배수 구역과 기계배수 구역의 배수효과가 크게 불균형하게 되지 않도록 하는 일도 명심해야 한다.

배수계획수립 과정에서 배수개선사업 시행과 관련한 침수여건 변화 등이 포함된 내용을 해당 지역주민들에게 사전에 공지하여 사업시행 중이나 시행 후에 발생할 수 있는 민원을 사전에 방지하여야 한다.

지금까지 논지대의 홍수시 배수에서는 허용담수를 고려한 계획을 하여왔다. 벼의 담수피해가 가장 큰 시기는 수잉기이며 이 시기에 흙탕물이 1~2일 관수(冠水)되면, 70%의 감수피해(減收被害)를 받는다. 우리나라는 각 지방(경기 충남, 전남, 경남)에서 조사된 자료를 종합정리한 벼의 관수일수와 생육시기에 따른 감수피해의 관계는 <표 5-7>과 같으며, 이에 의하면 담수피해는 관수일수 0.5일에서도 수잉기에서 27.0%의 감수를 나타내어, 어떤 일이 있더라도 관수상태를 피해야 한다는 것을 시사하고 있다.

또한 벼 품종별 생육시기와 초장과의 관계는 <그림 5-1>과 같다.

한편 일본에서는 벼의 생육시기, 관수의 청탁(淸濁) 및 담수일수별 피해상황을 조사한 결과는 <그림 5-2>와 같다.

<표 5-7> 벼의 생육기별 관수일수와 감수율 (호린 물의 경우) (단위:%)

관수일수 생육기별	관수일수														비 고
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
이앙직후	4.	7.	10.	13.	16.	19.	22.	25.	28.	31.	34.	37.	39.	42.	$y=6.97x^{0.926}$
분얼기	6.	11.	16.	21.	26.	30.	35.	39.	44.	48.	52.	57.	61.	65.	$y=11.12x^{0.908}$
유수형성기	15.	20.	24.	29.	34.	39.	44.	48.	53.	58.	63.	68.	72.	77.	$y=9.58x+10.01$
수잉기	27.	40.	50.	58.	66.	73.	80.	86.	92.	97.	100.	-	-	-	$y=39.66x^{0.558}$
출수기	28.	42.	53.	63.	72.	80.	88.	95.	100.	-	-	-	-	-	$y=41.94x^{0.589}$

* 비고란의 방정식은 피해율(감수율)계산에 사용된 방정식

<그림 5-2>에 의하면 수잉기에 침수피해가 크며 담수심이 30cm를 넘더라도 수잉기 이외의 1~2일간 담수되면 피해가 5~30% 정도이며 3일 이상 되면 피해가 갑자기 커진다. 그리고 수잉기일 때 벼잎 끝이 수면위로 나와 있으면 1~2일 관수로 20% 정도의 피해를 입으므로 허용담수를 초과할 경우 담수연속시간은 24시간을 한도로 하고, 부득이한 경우를 제외하고 관수를 허용하지 않는다.

담수(침수)시간이 최소화되도록 하는 배수계획이 필요하다. <표 5-8>은 밭 작물의 생육기별, 관수일수별 피해율을 보여주고 있다.

<표 5-8> 밭 작물(토마토, 무, 배추, 고추, 수박, 당근)의 관수기간별 피해율

작물	생육 시기	관수일수 (단위:%)			
		0.5일 이하	1	2	5
토마토	모 기 를 때	20	40	70	100
	아주심은후-생육중기	50	80	100	100
	꽃 필 때	80	100	100	100
	수 확 기	100	100	100	100
무	어 린 모 때	10	20	30	40
	생 육 중 기	20	30	50	80
	수 확 기	30	60	80	100
배 추	어 린 모 때	10	20	30	40
	생 육 중 기	40	60	80	100
	수 확 기	100	100	100	100
고 추	모 기 를 때	20	40	70	100
	아주심은후-생육중기	50	80	100	100
	꽃 필 때	80	100	100	100
	수 확 기	100	100	100	100
수 박	아주심은후-생육초기	50	90-100	100	100
	꽃이피고 익을 때	80	90-100	100	100
	수 확 기	70	90-100	100	100
당 근	어 린 모 때	10	20	30	40
	생 육 중 기	20	30	50	80
	수 확 기	30	60	80	100

<자료: 농림수산식품부 공고 제 2012-396호. 농업재해 피해조사 보고요령 [별표 1] 농작물 피해를 산정기준>

5.4 논밭혼용 지구에서의 배수대책

쌀 수급 대책 및 전작 보상제 도입 등 영농여건의 변화에 따라 논에서의 밭작물 전용 지역 확대와 비닐하우스를 이용한 특수작물 재배면적의 증가에 대응하여 홍수량 및 배수로 단면기준 결정방법의 개선이 필요하다. 논에서 시설채소 및 밭작물 재배지역이 많은 경우 담수 및 침수를 허용치 않는 완전배수가 이상적이나, 배수장의 시설용량 및 사업비가 과다하게 증가하여 현실적으로 도입이 불가하므로 밭작물 침수피해를 최소화 할 수 있는 배수대책을 수립한다. 논과 밭의 유출곡선지수(CN : Curve Number)는 논 78~80, 밭 78~80, 비닐하우스 지역 97~98로 한다.

5.5 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위 조정

펌프양정은 홍수시 배수의 초기흡입수위를 바탕으로 하는 것이 보통이며, 펌프 배출관 출구에서 배수본천의 계획홍수위와 초기흡입수위(흡입수조안의 수위)와의 차를 펌프의 최대실양정으로 한다. 양정에는 실양정과 전양정이 있다. 실양정은 계획내수위(흡입수위)와 계획외수위(배출수위)와의 차로써 이것은 다시 흡입양정과 배출양정으로 구분할 수 있다. 전양정은 실양정에 관로 계통에서 발생하는 각종 손실양정을 가산한 것이다. 즉,

$$\begin{aligned}
 H_t &= H_s + H_d \\
 &= (h_s + h_e) + (h_d + h_l + h_o) \\
 &= h + \text{손실수두의 합} \dots\dots\dots(5.3)
 \end{aligned}$$

여기서, H_t : 전양정, H_s : 흡입전양정, H_d : 배출전양정, h_s : 흡입실양정,

h_e : 흡입측 손실수두, h_d : 배출실양정,

h_l : 배출측 손실수두, h_o : 유출손실수두, h : 실양정

손실수두의 계산은 시공시에 펌프성능을 정확히 조사하여야 하기 때문에 상세한 계산이 필요하나 계획단계에서는 개산치라도 괜찮다. 세부설계 결과를 보면 손실양정의 크기는 실양정에 따라서 다르며 보통 실양정의 10~70%이다.

가. 직관부분의 손실수두(h_1)

① Darcy-Weisbach공식은 비교적 관로가 짧은 경우에 많이 사용하며, 신관일 경우는 장차 녹이 슬 것을 예상하여 50%의 할증치를 채용한다.

$$h_1 = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(5.4)$$

여기서, f : 마찰손실계수로 Moody도 <그림 5-4>에서 구하거나 다음 공식을 이용한다.

$$f = \frac{19.6n^2}{\sqrt[3]{R}} \quad : \text{ 직사각형 단면 } \dots\dots\dots(5.5)$$

$$f = \frac{124.6n^2}{\sqrt[3]{D}} \quad : \text{ 원형 단면 } \dots\dots\dots(5.6)$$

여기서, n은 Manning의 조도계수, R은 경심, D는 관의 직경이다.

L : 흡입관 계(吸入管系), 배출관 계 중에서 직선부분의 길이 (m)

D : 이들 직선부분의 각 관경 (m)

V : 직선부분에서 관내 평균유속 (m/s)

g : 중력가속도 (9.8m/s²)

② Hazen-Willams 공식은 관로가 긴 경우에 많이 사용한다.

$$h_f = 10.666 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} L \dots\dots\dots(5.7)$$

여기서, h_f : 직관의 마찰손실수두(m), Q : 유량(m³/s)

D : 관경(m), L : 관로길이(m), C : 유속계수 <표 5-9>에 의함.

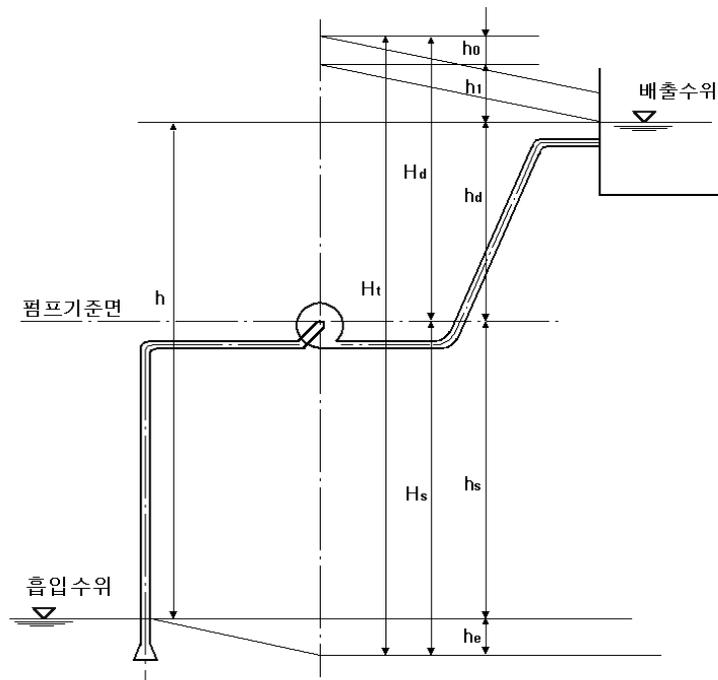
<표 5-9> 유속계수 C의 값

관 종(내면의 상태)	유속계수 C		
	최대치	최소치	표준치
주철관(도장없음) ⁽¹⁾	150	80	100
강 관(도장없음) ⁽¹⁾	150	90	100
콜타르 도장관(주철) ⁽¹⁾	145	80	100
타르에폭시도장관(강) ⁽²⁾	-	-	130
모르터 라이닝관(강·주철)	150	120	130
원심력 철근콘크리트관	140	120	130
롤러전압 철근콘크리트관	140	120	130
프리스트레스트 콘크리트관	140	120	130
석면시멘트관	160	140	140
경질염화비닐관 ⁽³⁾	160	140	150
경질폴리에틸렌관 ⁽³⁾	170	130	150
강화 플라스틱 복합 ⁽³⁾ 관	160	-	150

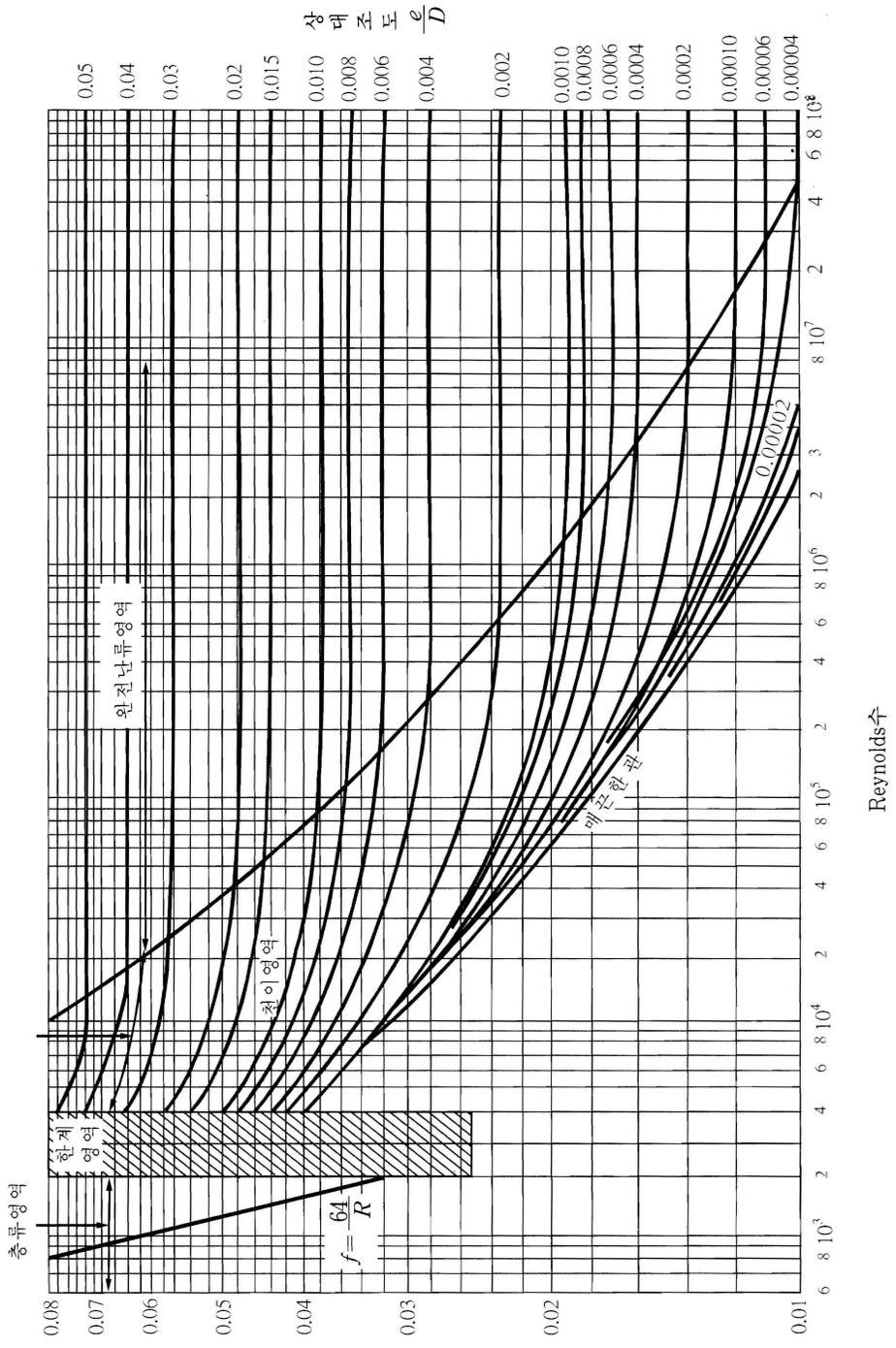
주) (1) 경년변화 고려

(2) 도장방법은 공업규격에 준하고 도장두께 0.5mm 이상으로 함이 바람직 함.
현장도장일 때 시공관리가 충분하지 못할 경우에는 이것을 적용하지 않음.

(3) 직경 150mm 이하인 관에서는 C=140을 적용함.



<그림 5-3> 펌프의 실양정



f 마찰 손실계수

<그림 5-4> Moody도

나. 유입 (bell mouth부) 손실수두

$$h_e = f_e \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(5.8)$$

여기서, V = 흡수관 속의 평균유속 (m/s)

f_e = 유입손실계수로 0.15

다. 유출손실수두(h_o)

배출관 출구에서 방출수가 갖는 속도수두는 모두 손실이 되므로 저양정 대형펌프일 경우는 이 손실을 적게 하기 위하여 관말을 적당히 넓혀서 잔류속도를 1m/s 정도로 만드는 것이 좋다.

$$h_o = f_o \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(5.9)$$

여기서, V : 출구속도(m/s)

f_o : 유출손실계수로 보통 1.0

라. 기타손실

이 밖에 곡관, 밸브 및 단면의 확대 및 축소로 인한 손실수두를 산정한다.

5.6 친환경 배수로

가. 배수간선

배수간선은 그 특성에 따라 단순 농경지 배수뿐만 아니라 거주지의 생활하수까지를 배제하는 시설로 용수로와 차별되고 있으며, 하천변 또는 경지를 통과하는 구간, 마을을 통과하는 구간, 다른 수계와 연결구간을 고려할 수 있다.

1) 하천변 또는 경지를 통과하는 구간 및 마을을 통과하는 구간의 세부 정비방안은 배수로 구간의 특성을 파악하고 그 특성에 따라 각 구간에 맞는 단면형상, 구조, 경관조성, 이용계획 등을 수립하도록 고려한다. 또한 마을을 통과하는 구간의 경우는 효과적인 마을생활하수처리 계획을 함께 고려하여 계획한다. 즉,

① 수서생물의 피난처를 제공하며 논과 수로와 늪지(조절지)를 연결하는 생태환경의 조성을 검토할 수 있다.

② 안전에 유의하여 그에 대한 대책을 계획한다.

③ 경관을 고려한 수로 구조물을 계획한다.

④ 마을의 생활하수 처리계획과 연계하여 수질오염 방지 대책을 계획한다.

2) 다른 수계와 연결구간은 다음 사항을 고려한다.

① 배수로 종점부에서 다른 수계와 구조물 없이 직접 연계(낙차 유무)되는 구간과 배수문, 배수장, 배수갑문을 통해 연계되는 구간으로 구분하여 각 특성에 맞는 정비계획을 고려한다.

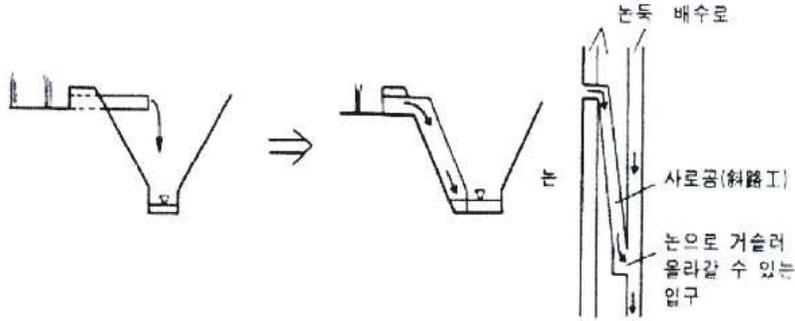
② 상시 흐름이 유지되어 수생 생태계가 양호한 지역의 경우에는 이에 대한 대책을 수립한다(어도 등).

나. 배수지선

1) 생태·환경적 측면에서 볼 때 하천의 생태계가 배수로를 거슬러 올라와 배수지선으로 연결된다고 할 수 있으므로 생태 환경을 고려한 단면으로 계획한다. 그러나 배수지선부터는 치수 목적의 수로이므로 이를 소홀히 할 수도 없다. 그러므로 수로 바닥을 흙으로 하고 가능한 한 갈수기에도 바닥에 물이 있도록 하는 것이 좋다. 또한 계획수위까지는 호안을 하되 콘크리트가 아닌 환경친화적인 재료를 사용토록 계획수위 높이에 소단을 두는 등 이상 수위에 대비토록 계획한다.

2) 배수지선의 종점과 배수로가 만나는 지점에서는 단차(표고차)를 가급적 없도록 계획하고, 수로 바닥의 표고차에 대한 처리는 낙차공이나 어도 구조의 여울공 구조로 계획한다.

3) 배수물꼬에서 흙관에서 콘크리트 수로에 폭포와 같이 떨어지는 접속 형태에서는 양서류의 이동이 불가능하다. 이때에는 수로사면에 경사진 구조물을 설치하여 소규모 어도로서의 기능을 가지게 하는 것이 바람직하다.



<그림 5-5> 배수물꼬의 등선로화

친환경 배수시설 시공사례로는 경기도 송삼지구 경지정리사업에서 자연석 쌓기 배수로 호안공, 150m 구간의 생태공원, 100m 구간의 자연학습장 및 150m 구간의 휴식공원을 시공한 예가 있다. 친환경 배수로 설계에 관한 자세한 내용은 농업생산기반정비사업계획설계기준 수로편(2004) 및 친환경편(2008)을 참고한다.

5.7 하천제방 횡단구조물 (토출암거) 설치

배수장 토출암거는 토공으로 된 하천제방을 횡단하여 설치되는 구조물로서 제방붕괴의 원인이 될 수 있다. 따라서, 배수장 토출부 하천제방 횡단구간에 대한 설계 및 시공관리 강화 대책이 마련되어야 한다. 하천관리청의 하천허가를 얻기 위하여는 다음의 지방국토관리청의 허가 조건을 참고한다.

- 1) 배수장 토출암거의 하천제방 횡단시 압입공법(Jacking)시행
- 2) 토출 Box 암거의 콘크리트 균열방지를 위한 신축이음 철재
- 3) 제방복구시 호안블럭의 강도, 호안의 기초깊이에 대한 하천공사 표준시방서 준수
- 4) 배수장 토출암거 되메움시 원지반상태 이상으로 다짐철저 등

가. 제체의 누수방지 대책

- 1) 제외측으로부터의 침투수 방지를 위하여 호안공 등 적절한 제외측 사면 보호대책을 수립한다.
- 2) 제방복구시 되메움 구간에 대한 제체의 단면을 검토하여 침윤선이 제체 비탈면에 노출되지 않도록 하고, 필요시 제내측 단면보강과 제내 비탈면 돌쌓기 등 비탈면 보호대책을 수립한다.
- 3) 하천제방 복구시 되메움 재료 및 다짐을 저수지 제체 설계 및 시공수준

으로 강화하며, 하천유용토 사용이 어려울 때에는 토질조사를 실시하고 별도의 토취장 선정을 검토한다.

- ① 제방절개 부분에 대한 퇴메움 흙에 대하여 흙담에서와 같이 흙의 분류 또는 입도분포, 투수성, 전단강도, 함수비 등에 대하여 사용한계 기준을 설정한다.
- ② 현장조건에 따라 적절한 다짐율 및 다짐방법을 설정한다.
 - 제방 횡단구조물의 일반토사 퇴메움 구간은 다짐층의 두께를 30cm이하로 95%이상 층다짐을 하되 구조물의 양측을 균등하게 다짐을 실시한다.
 - 토출 Box 구조물의 상단 60cm 높이까지는 소형기계 다짐을, 그 이상은 기계다짐을 실시한다.

나. 토출암거 주변 및 내부의 누수방지대책

- 1) 토출암거 주변에 발생할 수 있는 침투에 대한 안정성 확보와 제체 내부의 유로를 차단할 수 있는 대책 수립한다.
 - ① 제방 중앙부 불투수 점토층을 설치한다.
 - ② 토출암거 주변에 콘크리트 지수벽을 설치하고 간격과 규모를 결정한다.
 - ③ 필요시 제체내 차수를 위한 Sheet pile 설치 등을 검토한다. 단, 지반누수에 의한 파이핑 방지를 위하여 구조물의 모래기초 사용은 지양한다.
- 2) 토출암거 내부의 누수방지를 위하여 계획홍수량에 따른 암거의 형식(관암거, 콘크리트 Box 암거), 관중선정 등을 검토하며, 콘크리트 Box 암거를 사용할 경우 콘크리트 균열 및 이음부 누수방지대책을 수립한다.
 - ① 신축·수축이음부 위치 및 구조를 검토한다.
 - ② 시공이음부에 지수판을 설치한다.
 - ③ 배출수조 및 토출암거에 내부방수 처리 등을 검토한다.

다. 기초지반의 누수방지 대책

- 1) 기초지반이 투수성이 큰 모래층 또는 자갈층인 경우, 기초지반의 누수로 인한 파이핑에 대한 대책을 수립한다.
 - ① 침투수 차단 또는 유로장을 길게 하기 위하여 제방 외제측 연직차수벽 설치를 검토한다.
 - ② 침투압에 의한 파이핑 억제를 위하여 제방 내제측에 압성토를 설치하고 드레인공 설치를 검토한다.
- 2) 기초지반이 연약지반인 경우 연약지반 처리대책을 수립하고, 지지말뚝기초는 지반침하로 인하여 구조물 저면에 공동이 발생할 수 있으므로 누수 및 파이핑 방지를 위한 특별한 대책을 수립할 필요가 있다.

5.8 배수장 펌프형식 개선

가. 펌프의 조합

펌프의 구경과 대수는 배수량에 따라 홍수시 및 평상시로 구분하여 결정한다. 또 최다빈도의 배수량을 기초로 해서 전체의 변동역을 어떻게 분할할 것인가를 검토하여 펌프의 대수를 결정하며 각 분할폭의 양수량에 상응하는 펌프의 구경을 결정한다.

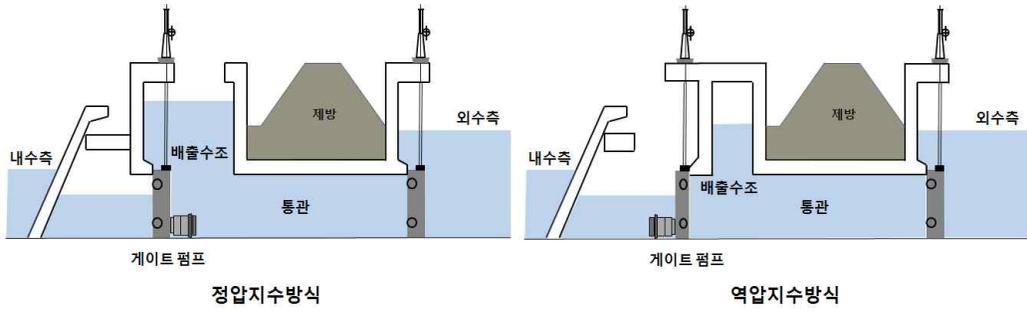
또 양정의 변동이 매우 큰 경우에는 고양정과 저양정 펌프로 나누는 것이 경제적이다. 홍수 때의 펌프 가동은 매년 장기간 연속하여 전체용량으로 운전하는 기회가 반드시 발생한다고 볼 수는 없으므로, 계획홍수량 외에 평상시 배수량에 적합한 펌프의 조합을 검토하여 펌프의 운전효율을 높임과 동시에 배수량의 변화나 고장 등에 대해 탄력적으로 대응할 수 있도록 해야 한다.

따라서 펌프의 구경은 평상시용과 홍수시용 2종류 정도로 구분하는 경우가 많으며, 펌프의 대수는 2대 이상으로 하고 계획배수량의 규모에 따라 대수를 증가시키는 것이 일반적이다. 보통 펌프의 조합은 소량의 강우에도 적용 가능하도록 소형펌프 2대와 대형펌프 2~4대로 한다. 소형펌프는 관개기 평상의 배수량인 $0.2\sim 0.5\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 을 기준으로 한다.

나. 선정방법

현지여건을 고려 이상 홍수에도 시설의 안전을 도모할 수 있는 방안을 최우선으로 하여 자동화의 편리성, 입지조건, 사용조건, 설비목적, 유지관리(운전, 점검, 보수 난이도), 범용성, 경제성 등을 감안하여 펌프형식을 선정해야 한다. 배수펌프는 일반적으로 배수량이 많고 양정이 낮은 경우가 많으므로 축류 또는 사류펌프가 적당하다. 축류펌프는 저양정(1~4m 정도)에서 큰 배수량을 보낼 경우에 가장 적합하며, 사류펌프는 4~10m의 양정에 가장 적합하다. 특히, 배수장 주변에 미치는 소음, 진동 등의 환경조건의 영향도 관계 법령 등을 준수하여 검토하여야 한다. 그리고 튜블러(tubular)펌프는 축류펌프와 사류펌프의 양 형식으로 만들 수 있다.

최근 신기술로 개발된 게이트 펌프는 수문과 펌프를 일체화한 설비로서 여기에는 정압지수(定壓止水) 방식과 역압지수(逆壓止水) 방식이 있다. <그림 5-6>. <표 5-10>은 펌프종류별 장단점을 보여주고 있다.



<그림 5-6> 게이트 펌프의 설치방식

① 펌프의 형식은 유량과 필요 전압정에 의해 결정하며, 일반적인 펌프 선정순서는 횡축축류펌프 → 횡축사류펌프 → 입축축류펌프 → 입축사류펌프 → 수중펌프 순이다.

② 펌프형식 선정시 고려해야 할 각 항목에 대한 펌프형식별 비교는 아래와 같다.

검 토 항 목	수중 펌프	입축 펌프	횡축 펌프	게이트 펌프	비고
이상홍수에 대한 안정성	A	B	C	A	각 항목에 대하여 양호한 순으로 A,B,C로 한다.
자동화(향후 TM/TC에 용이여부)	A	A	C	A	
유지관리(운전방법)	A	A	C	A	
유지관리(점검, 보수)	C	B	A	A	
범용성	C	B	A	A	
경제성	C	B	A	A	

③ 현장조건별 펌프형식 선정기준은 다음과 같다.

횡축펌프	입축펌프	수중펌프	게이트펌프
○ 펌프선정에 감속기가 꼭 필요한 경우	○ 자동운전이 꼭 필요한 지구	○ 펌프장 구조물 설치가 곤란한 지구	○ 펌프장 구조물 설치가 곤란한 지구
○ 해수에 접하여 부식이 우려되는 지구	○ 설치면적을 좁게 할 경우	○ 펌프장의 지반이 연약한 지구	○ 설치면적을 좁게 하거나 지반이 연약한 지구
○ 펌프, 전기설비가 최대홍수위선 위에 설치 가능한 지구	○ 펌프실 침수염려가 있는 지구	○ 홍수위가 높아 배수장이 침수우려가 있는 경우 ○ 자동운전이 꼭 필요한 지구	○ 홍수위가 높아 배수장이 침수우려가 있고, 자동운전이 꼭 필요한 지구 ○ 내수배제능력이 부족하여 증설해야 할 경우

④ 펌프형식별 장·단점 비교표는 <표 5-10>과 같다.

<표 5-10> 펌프형식별 장·단점 비교

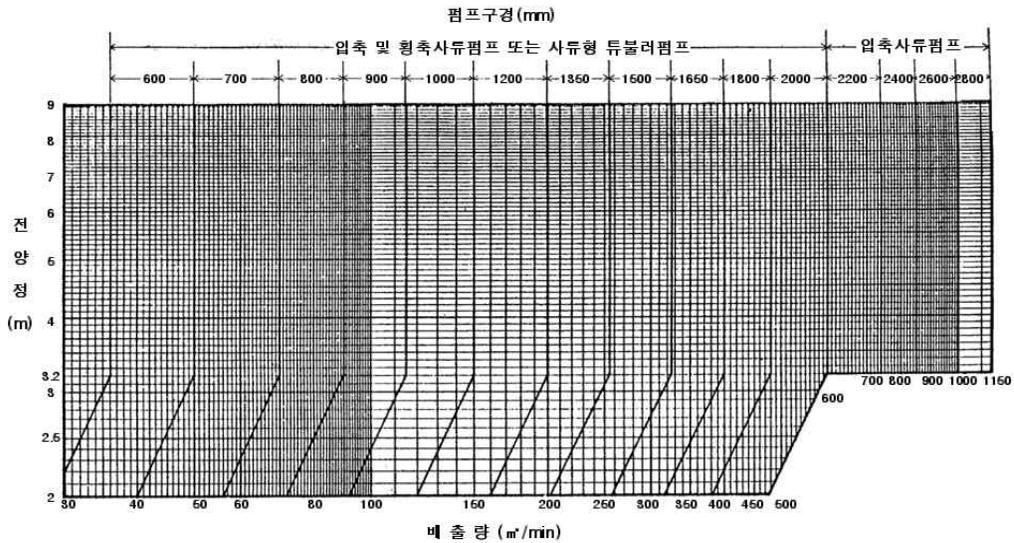
구분	횡축펌프	입축펌프	수중펌프	게이트펌프
장점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요부가 수면위에 있으므로 부식이 적고 보수, 유지관리가 용이하다. ○ 건축물의 높이가 낮다. ○ 분해, 조립 및 유지관리가 용이하다. ○ 펌프가격이 저렴하다. ○ 다른 펌프보다 효율이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적이 적다 ○ 진공이 불필요하고 자동화가 용이하다. ○ 임펠라가 수면하에 있어 공동현상이 발생할 염려가 적다. ○ 원동기 설치 위치가 홍수위보다 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적이 적고 구조가 간단하다. ○ 진공이 불필요하고 공동현상이 발생할 염려가 없어 자동화가 용이하다. ○ 전동기가 수중에 있으므로 소음이 적다 ○ 홍수위에 관계없이 하천부 지내에도 설치가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용지매수가 필요없다. ○ 흡입수조와 배출수조가 하나로 되어 있어 간단한토목구조이다. ○ 배수로상에 기기를 설치하므로 유지관리가 용이하다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설치면적이 넓다. ○ 공동현상이 발생할 염려가 있으므로 흡입양정의 제한을 받는다. ○ 진공이 필요하므로 자동화가 복잡하다. ○ 홍수위가 높을 경우 원동기 보호대책이 필요하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요부가 수중에 있으므로 부식우려 및 보수점검이 불편하다. ○ 건물높이가 높다. ○ 횡축에 비하여 가격이 비싸다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원동기의 수명이 지상용에 비해 짧다. ○ 누전점검 등 보수가 필요하다. ○ 분해점검이 불편하다. ○ 수중모타펌프의 가격이 비싸다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 게이트 차단시에만 펌프가 작동된다.

홍수시 내수위의 증가로 인하여 펌프와 원동기가 침수되어 배수가 불가능하게 되어도 침수피해를 입는 경우를 방지하기 위하여는 보수 점검이 다소 불편하고, 가격이 다소 비싸고 건축비등의 설치비용이 더 증가하여도 입축형 펌프나 수중 펌프를 설치하고 원동기를 최대 홍수위 상에 설치하여 침수에 의한 배수중단 상태가 일어나지 않도록 하여야 한다.

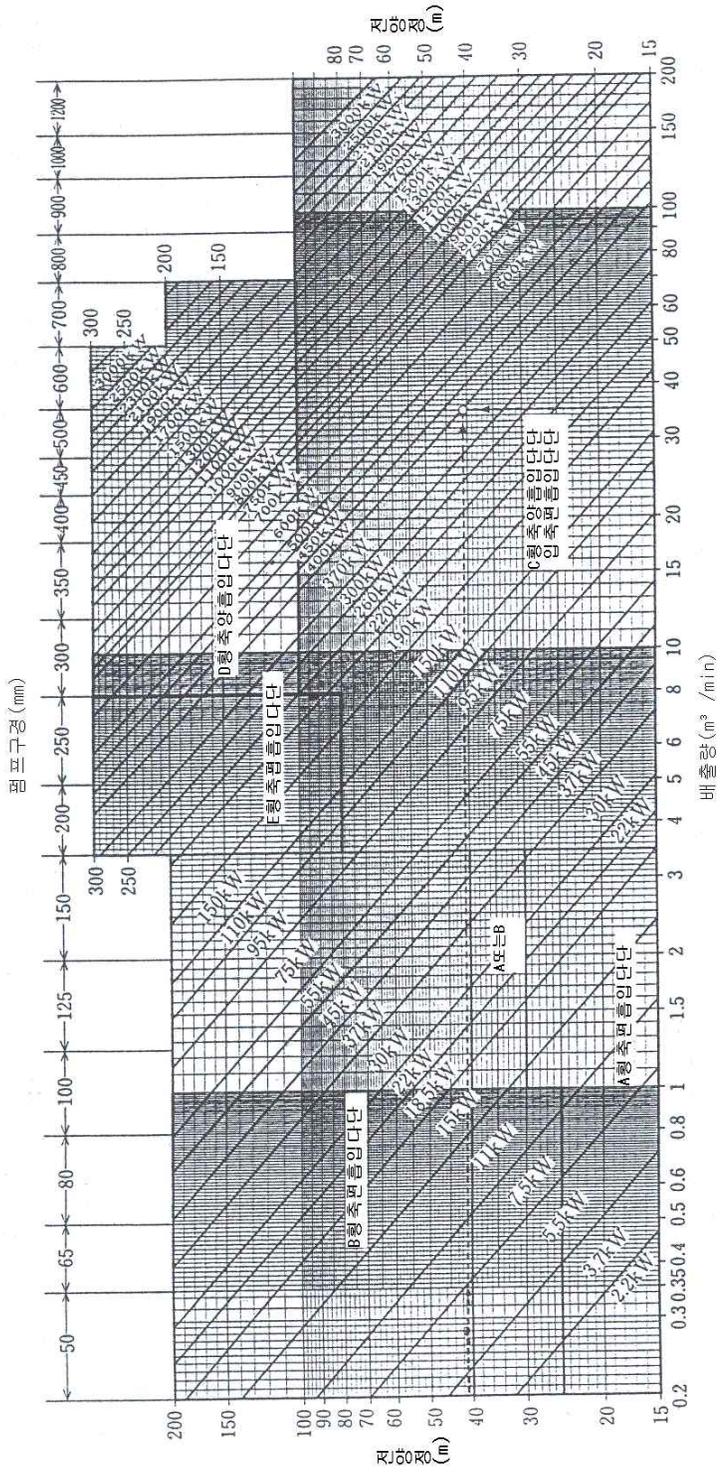
계획점에 대한 배출량과 전양정으로부터 펌프의 종류와 구경을 <그림 5-7> ~ <그림 5-9>에서 선정할 수 있다. <그림 5-7>과 <그림 5-8>에서 저양정은 전양정이 1.5~9.0m이고, 고양정은 전양정이 9.0~300m이다.

<그림 5-8>의 고양정에서 선택할 수 있는 펌프는 구역별로 아래와 같다.

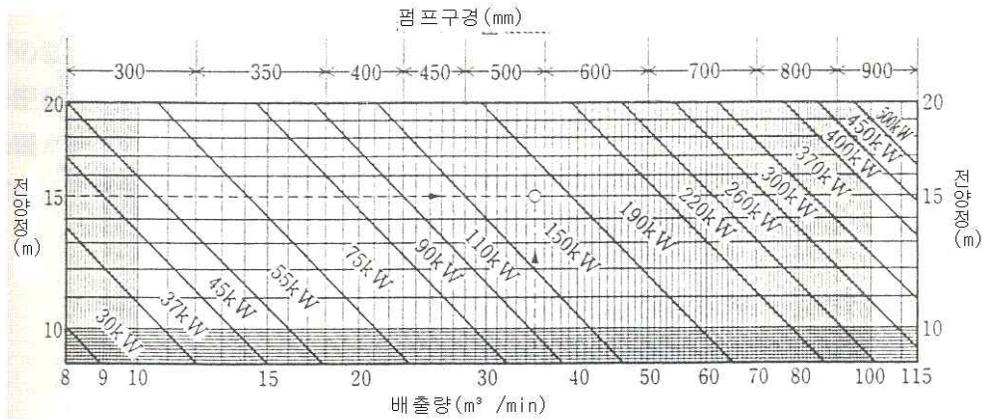
- A: 횡축 편흡입 단단 펌프
- B,E: 횡축 편흡입 다단 펌프
- C: 횡축 양흡입 단단 펌프 또는 입축 편흡입 단단 펌프
- D: 횡축 양흡입 다단 펌프



<그림 5-7> 저양정 입축 및 횡축 사류펌프 적용선도



<그림 5-8> 고양정 원심펌프 적용선도(60Hz)



<그림 5-9> 고양정 입축사류펌프 적용선도(50Hz, 60Hz 겸용)

펌프의 표준구경과 배출량의 일반적인 관계는 <표 5-11>과 같다.

<표 5-11> 펌프의 표준구경과 배출량

구경(mm)	유량(m ³ /min)	구경(mm)	유량(m ³ /min)
200	3.5 ~ 5	800	70 ~ 90
250	5 ~ 8	900	90 ~ 115
300	8 ~ 12	1,000	115 ~ 150
350	12 ~ 18	1,200	150 ~ 200
400	18 ~ 23	1,350	200 ~ 255
450	23 ~ 28	1,500	255 ~ 325
500	28 ~ 36	1,650	325 ~ 400
600	36 ~ 50	1,800	400 ~ 480
700	50 ~ 70	2,000	480 ~ 600

[주] 펌프배출량은 최저보증치이며 정확한 값은 각 시공단계에서 검토해야 하는 것으로 계획단계에서 사용하는 예상치는 이 표에 따른다.

다. 펌프 축방향 선정

펌프의 축 방향은 일반적으로 횡축과 입축으로 구분되는데 어느 것을 선정할 것인가는 장치면적, 공동현상, 보수점검의 용이성, 조작조건 등을 고려하여 결정한다. 횡축과 입축의 특성은 다음과 같다.

① 횡축 : 주요부가 수면상에 있기 때문에 조립, 보수, 점검이 쉽고 부식이 잘 일어나지 않으며, 일반적으로 가격도 입축보다 저렴하다. 단, 넓은 설치면적을 필요로 하고 흡입양정이 높아 공동현상을 일으키기 쉽고, 진공장치가 필요하여 진공 시키는데 시간이 소요되어 가동이 늦는 등의 단점이 있다.

② 입축 : 주요부가 수중에 잠길 수 있기 때문에 부식이 일어나기 쉽고, 조립, 보수, 점검이 불편하다. 반면 낮은 수위 때 양수가 가능하고 공동현상이 잘 일어나지 않으며 진공장치가 불필요하다. 또, 횡축에 비해 설치면적이 좁아도 되며, 진공이 불필요하여 가동소요시간이 빠르고 이상흡수에 의한 침수 위험이 적다.

5.9 배수장 제진기 설치기준

배수장으로 유입되는 협잡물에 의한 배수능력의 저하를 막기 위하여 배수장에 스크린과 제진기를 설치해야 한다. 제진기는 펌프의 운전이 지장이 없도록 설계한다. 배수장에서는 협잡물 처리가 중요하며 특히 수혜지역에 거주지를 포함하는 경우에 펌프장에 집적하는 협잡물량이 많고 성분도 비닐을 포함하는 경우가 많으므로 협잡물의 양 및 질에 맞는 시설을 결정한다.

농촌지역의 도시화, 산업화로 쓰레기 배출량이 늘어나고 농촌인력 부족으로 자동화 시설이 요구되므로 제진기의 설치요구가 증대하고 있다. 배수장으로 유입되는 협잡물에 의한 펌프장의 배수능력의 저하를 막기 위하여 펌프장에 제진기를 설치해야 한다.

가. 스크린

스크린은 배수로 내를 유하하는 각종 찌꺼기가 펌프 안으로 유입하는 것을 방지하기 위하여 설치한다. 스크린의 유효간격은 협잡물의 질이나 양에 따라 20~100 mm의 범위에서 결정한다. 스크린의 표준 유효간격은 펌프구경이 3,000mm 미만인 경우에는 펌프구경의 1/10~1/30을 표준으로 하고, 3,000mm 이상인 경우에는 펌프구경의 1/35~1/40을 표준으로 한다. 펌프구경에 따른 스크린 유효간격의 표준은 <표 5-12>와 같다.

스크린의 경사각도는 기계식 제진방식인 경우 70° 전후로 하고 수동식 제진방식인 경우 45~60° 전후로 한다. 배수장에서 스크린 전면 수로내의 평균 유속은 계획유량 하, 펌프운전 가능 최저수위의 경우에는 0.5 m/s 이하, 최대 배출량의 경우에도 1.0 m/s 이하로 한다. 스크린은 협잡물의 충돌, 수위차에 의한 수압 등에 견딜 수 있는 구조이어야 한다.

<표 5-12> 스크린의 유효간격

[단위 : mm]

펌프구경	스크린 유효간격	펌프구경	스크린 유효간격	펌프구경	스크린 유효간격
200	20	600	60	1,200	80
250	25	700	60	1,350	80
300	30	800	60	1,500	90
350	35	900	70	1,650	90
400	40	1,000	70	1,800	100
500	50	1,100	70	2,000이상	100

나. 제진기

1) 제진기의 개요

제진기는 수거체인에 설치된 갈퀴(rake)가 스크린에 의하여 저지된 협잡물을 연속적으로 수거하여 벨트 콘베이어 위에 낙하시키는 장치이다 <그림 5-10>. 제진기의 기종 및 규모는 유입수로의 폭, 배수구역의 배제량, 유입되는 협잡물량 등을 종합적으로 고려하여 합리적으로 선정한다. 위험방지를 위하여 제진기의 본체에는 비상정지 스위치를 설치한다.

2) 제진기의 종류

우리나라의 농지배수장에서 많이 사용되는 제진기에는 로타리식 제진기와 유압식 제진기가 있으며, 각각의 장단점은 <표 5-13>과 같다.

3) 협잡물 배출량

① 쓰레기 배출량의 산정기준은 관개기는 10.7 kgf/ha/월이고 비관개기는 8.6 kgf/ha/월이다.

② 시간당 최대 협잡물량 (V_g)은 홍수시 모든 제진기의 최대 협잡물량을 운송하는 것으로 설계한다.

$$V_g = KQ \dots\dots\dots(5.10)$$

여기서 V_g : 시간당 최대 협잡물량 (m^3/h), K: 계수 (0.2-0.3), Q: 배수량 (m^3/s)

③ 홍수당 계획 협잡물량 (V)은 식 (5.11)과 같이 산정한다.

$$V = V_g T \dots\dots\dots(5.11)$$

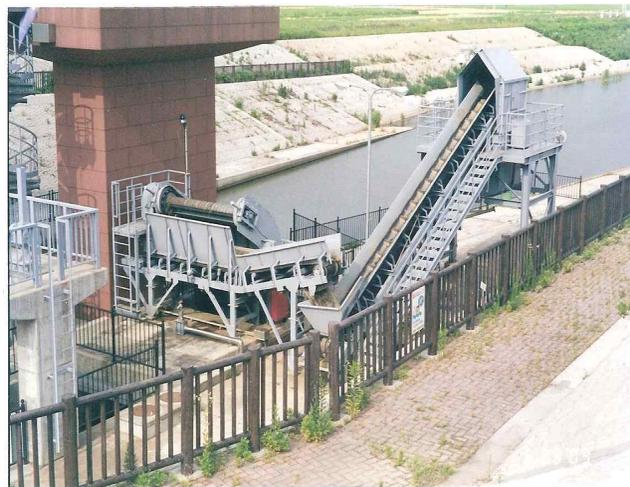
여기서 V_g : 시간당 최대 협잡물량 (m^3/h), T: 시간최대 협잡물량이 계속 되는 펌프 전체의 환산시간(h)

④ 일반적으로 제진기의 1회당 협잡물 수거량은 200-300 kgf 정도로 설계한다.

4) 반출장치

제진기에는 수거된 쓰레기는 펌프장 밖으로 트럭 등으로 반출할 수 있는 장치가 필요하다. 반출장치는 운송시설 및 저류시설로 구분할 수 있으며 운송시설에는 벨트 콘베이어가 있고, 저류시설에는 호퍼(hopper), 콘테이너 등이 있다. 수거된 쓰레기 반출 및 처리방법은 계획단계부터 충분한 대책을 세워야 한다.

수거된 쓰레기를 현장에 소각장을 설치하여 처리하는 방안에도 검토해야 한다.



<그림 5-10> 제진기, 벨트 콘베이어 및 호퍼

<표 5-13> 제진기의 종류와 장단점

기 기	로타리식 제진기	유압식 제진기
구 분		
장 점	<ul style="list-style-type: none"> ◦자동 및 수동운전이 이루어지며 원격조작 가능하다. ◦많은 양의 협잡물이 유입되어도 연속인양제어가 가능하므로 폭우시에도 용이하게 대처할 수 있다. ◦구동장치가 단순하므로 조작이 쉽다. ◦기기고장시 1수로 폐쇄로 다른 수로의 운전에 영향이 없다. ◦비상시에 많은 양의 협잡물 처리가 가능하며 조작이 간단하고 고장시에도 다른 수로의 활용이 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦유압시스템 및 주행전동기 별도구동으로 자동, 수동조작이 가능하다. ◦1대의 제진기로 다수의 수로를 처리할 수 있다. ◦수장부분이 없어 유지관리가 용이하고 부식의 염려가 없다.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> ◦1수로 1대의 설치로 수로가 많으면 비경제적이다 ◦고장수리시 본체 해체 등이 어렵다 	<ul style="list-style-type: none"> ◦1대의 제진기로 다수의 수로를 처리하므로 고장시 다른 수로를 활용할 수 없다 ◦협잡물이 크거나 수심이 깊은 곳에 적용할 수 없다 ◦처리용량이 상대적으로 적다

5.10 유수지

가. 유수지의 역할

일반적으로 농경지 배수를 위한 유수지의 역할은 도시배수를 위한 유수지와 상이하다. 도시배수 유수지는 침투홍수량 조절을 위해 설치하는 것이고, 농지배수 유수지는 배수장 가동의 연속성을 위해 설치한다. 그러므로 도시배수 유수지는 유수지 용량이 증대할수록 배수장의 시설용량이 줄어들며 주위 주택지가 침수되지 않는 한계 수위를 정하고, 이 수위 이하로 유지될 수 있도록 배수장 시설용량과 유수지의 용량을 조합하여 공사비가 가장 저렴한 조합을 선택하는 것이 일반적이다.

이에 비해 농지배수 유수지는 농경지 전체가 도시배수 유수지와 같이 저류지 역할을 하는 것으로 보고 이미 침수분석을 하였으므로, 홍수위 조절을 위한 유수지는 불필요하다. 그러나 농지배수에 있어서는 도시배수와 달리 홍수 집수시간이 느리고 침투홍수유입에 배수장과 연결된 배수로로부터 펌핑에 필요한 홍수유입이 충분하지 않은 경우 배수장 가동이 단속(斷續)되는 경우가 생기므로 이를 방지하기 위해 유수지가 필요하다. 즉 배수장 시설용량과 배수로 통수량의 차이가 나는 시기를 조절하기 위해 유수지가 필요하다.

펌프용량이 배수로의 통수능력보다 큰 경우, 펌프를 운전해도 상류로부터 물이 오지 않으므로 펌프장 부근의 내수위만이 저하하여 운전을 중단하든지 배수량을 감소시켜야 하므로 상류부의 배수를 촉진할 수 없다. 반대로 배수로의 통수능력이 펌프용량보다 큰 경우, 하류에 모여든 배수량이 배수장 저위부를 침수시켜 피해가 커질 위험이 있다. 이와 같이 배수능력의 불균형은 배수로의 자연유하계와 펌프의 기계배수계의 접점에 나타나기가 쉽다. 어느 점을 경계로 유량이 급변할 경우에 조정지가 필요하며, 펌프장의 흡입수조를 가능한 한 크게 하면 조정지의 기능을 갖는 유수지가 된다. 지구 내의 지형에 따라 기존의 연못이나 웅덩이 등을 유수지로 활용할 수도 있다.

나. 유수지 계획시 고려사항

1) 배수개선사업에서의 유수지는 외수위가 높을 때는 수문을 닫아 허용담수심 이내에서 배수장이 펌핑을 계속할 수 있도록 펌핑량에 대비 배수로 유입량을 저류할 수 있어야 하고, 외수위가 낮아진 후에는 수문을 열어 내수유입량을 전량 배제할 수 있어야 한다.

2) 유수지의 계획홍수위가 너무 높으면 유역내에서 배수(背水)가 발생하여

침수가 가중 될 수 있으므로 유수지 용량을 고려하여 유수지 계획홍수위를 결정해야 하는데 보통 배수로 계획 홍수위 이상으로 계획하여서는 안 된다.

3) 일반적으로 내수가 장시간 동안 저류되어 있으면 악취가 발생하고 부유물 제거에 곤란을 야기하므로 홍수가 끝나면 신속히 내수를 배제할 수 있도록 유수지 저수위를 결정하여야 한다.

4) 유수지로 유입되는 홍수는 대부분 간선급 배수로로 유입되며 경우에 따라서 배수로가 소하천급 이상이 되는 경우도 있으므로 어느 일정구간의 배수로를 유수지의 용적으로 감안하여도 된다.

5) 유수지는 침사지 기능도 적정하게 가져야 한다. 여하한 경우라도 설계기준 홍수 발생시 유수지가 붕괴 또는 유실되어서는 안 된다.

다. 유수지 용량 결정

1) 유수지 용량 결정에 미치는 인자

농지배수 유수지는 앞에서 언급한 바와 같이 홍수조절용이 아니고 배수장 펌프용량과 배수로 유입량과의 차이를 조절하기 위한 것이므로 유역의 크기(홍수량, 유달시간)와 배수로의 통수능력에 좌우된다고 볼 수 있다. 배수장의 시설용량도 매우 중요한 인자이기는 하나 이미 허용담수위 이하 수위유지를 위해 배수장 시설용량이 결정되었기 때문에 유수지 용량을 결정할 때에는 변수로 작용하지 않는다.

한편, 배수로의 통수능력은 일반적으로 해당 지배구역으로부터 유출되는 침투 설계홍수량에 대해 배제 가능하도록 배수로 단면이 결정되기 때문에 항상 배수장 시설용량보다는 크다고 할 수 있다. 그러나 이는 자연배제(배수구가 배수문에 의해 장애를 받지 않고 배수로의 수리흐름이 등류일 경우)가 된다고 보고 계획하나 실제 홍수시에는 배수문이 닫히고 배수장에 의해 배제되므로 배수(背水)가 발생하고 배수로의 흐름은 부등류 상태가 되며 이때 배수장시설용량보다 적어 질 수 있고 이로 인해 유수지가 필요하게 된다. 그러므로 배수로의 통수능력은 유수지용량 결정에 중요한 인자이기는 하나 배수구의 조건과 유입량에 따라 무한한 조합으로 변수로 작용하기 때문에 유수지용량 결정 변수로 채택하기가 곤란하다. 또한 배수로의 통수능력은 해당 배수구역의 유달시간이 고려되어 설계홍수량이 결정된다고 보는 것이므로 결국 유달시간의 함수로 유수지 용량을 합리적으로 결정할 수 있을 것이다.

라. 유수지 배치형상 및 위치

1) 배수장 흡입조의 전면에 위치하여 흡입부 및 흡입수조의 수위와의 관계를 고려하여 위치를 결정하여야 한다.

2) 지형적 여건에 따라 배수장으로 유입되는 배수로의 말단부 위치를 고려하여 원활하게 홍수가 유수지로 유입되도록 위치하여야 하며 2개 이상의 배수로가 연결시는 그중 간선급 배수로를 중심으로 와 흡입조가 최단거리가 되어야 한다.

3) 내수가 원활하게 유입될 수 있는 표고라야 한다.

4) 펌프배수에 의한 방류에 문제점이 없어야 한다.

5) 유수지 신설에 필요한 부지가 확보되어야 한다.

6) 유수지 및 배수펌프장 주변의 토지이용을 고려해야 한다.

7) 주변경관과 조화되어야 하고 악취, 소음 등의 피해를 발생시키지 않아야 한다.

8) 경제성의 측면에서 유리해야 한다.

마. 유수지 면적 및 기타 검토사항

1) 원활한 흡입을 위하여 흡입부 앞에는 와류가 발생하지 않아야 하며 흡입부 전면에 설치하는 유수지 길이는 배수장 부지폭 이상으로 함이 바람직하며 불가능한 경우는 배수장 부지의 폭과 같아야 하고, 배수로로부터 배수장까지의 길이는 배수로의 홍수시 최대유속을 고려하여 각종 이물질에 의해 배수장 가동이 중단되지 않도록 침사지의 조건을 같도록 하여 지형적 여건을 고려하여 정한다.

2) 유수지의 수심은 배수로 말단부 계획홍수위로부터 유수지 바닥과 까지의 높이이며 지형적 여건상 면적을 충분히 확보하지 못하는 경우 유수지의 수심은 깊게 정할 수 있으나 자연배제를 고려하여 배수문의 Sill과 배수장 흡입조의 바닥고를 고려하여 수심을 정하여야 한다. 수심을 깊게 한다면 배수로로 배수위가 발생되지 않도록 하여야 한다.

3) 계획대상지역에 필요한 크기의 유수지 용지를 확보할 수 없을 경우에는 주 배수로의 용적을 유수지의 역할을 하고 있다고 고려할 수 있다.

4) 환경에 대한 고려

유수지는 친환경적 설계기법을 적용하여 옹벽 등 콘크리트 구조물은 지양하고 되도록 자연그대로 확보하고 홍수에 의해 사면이 붕괴할 우려가 있거나 유수지의 수심이 깊어 사람의 안전에 문제가 있을 경우 블록 및 펜스를 설치하고 평상시 부유물 등을 제거하기 위하여 장비 진입이 가능하도록 계획설계한다.

5) 유지관리측면

유지관리자는 항상 홍수를 대비하여 유수지의 충분한 용적을 확보하여야 하

고 배수장의 가동에 이상을 가져올 수 있는 각종 쓰레기를 처리하여 우수지를 청결히 하며 특히 이상홍수가 자주 발생하는 기상에 대비하여 배수장이 최대한 원활히 가동되도록 하기 위해 사전예비가동(소형배수기)을 실시한다.

6) 기능적인 면

우수지는 침사지 기능을 포함하므로 펌프에 대한 충분한 공간뿐 아니라 침사지의 역할을 할 수 있도록 유속에 대하여도 고려를 하여야 한다.

바. 우수지 호안

1) 제방을 보호하기 위한 호안의 종류는 여러 가지가 있으나 우수지 호안을 위해 일반적으로 사용되는 호안은 호안블록공과 옹벽공이나, 친환경적으로 호안계획을 검토하여야 한다.

2) 부지확보, 시공, 유지관리, 공사비 등을 고려하여 적절한 호안을 선택해야 하는데, 유효저류량을 증대하기 위해서는 구조물을 사용함이 마땅하나 시대적 요구에 부응하여 환경친화적 설계기법을 사용한다.

5.11 배수장 비상전원 확보기준

비상전원이란 한전으로부터 공급되는 상용전원이 사고 등에 의해 전원공급이 중단된 경우 펌프장 등에서 정전으로 인해 설비가 정지되어 재해사고로 심각한 손실이 발생할 우려가 예상되는 설비 및 장비에 최소한의 예비전원을 확보하여 비상시 전원을 공급하는 것을 말한다. 낙뢰등으로 인한 정전시 배수장 가동중단에 따른 농경지 침수피해가 발생하지 않도록 전기 인입선로를 이중으로 구성하거나 자체비상용 발전기 및 예비변압기 설치 등 비상전원을 확보하여야 한다. 비상전원에는 비상전원용 수전설비, 자체 비상용 발전기 등이 있다.

가. 이중 인입선로

한전 전원의 인입선로를 이중으로 구성하는 것으로 가장 안정적이고 편리한데, 여기에는 별도의 수전설비(ALTS반 등)를 갖추기 위한 공간이 필요하다. 수전설비는 상시전원과는 별도로 비상전원을 수전받기 위한 설비로서 비상전원을 확보해야 하는 펌프장의 위치와 전력회사 변전소의 계통, 비상부하의 용량 등을 감안하여 선택할 수 있으나 객관적으로 비상전원의 공급 신뢰성이 확보되어야 한다. 수전설비에는 고압 수전설비, 저압 수전설비 등이 있다.

나. 자체 비상용 발전기

자체 비상용 발전기에는 디젤엔진, 가스터빈엔진 등이 있다. 가스터빈 엔진은

디젤엔진에 비해 열효율이 떨어지고 가격이 비싼 단점을 가지고 있으나, 소음이 작고, 냉각수가 필요 없으며, 회전속도가 균일해서 발전되는 전기의 품질과 신뢰성이 높은 장점을 가지고 있다.

- ① 발전기 설치에 요하는 면적은 대략 $1.7P \text{ m}^2$ (P는 원동기의 마력수)로 계산하는데 이에 충분한 면적이 확보되어야 한다.
- ② 실내 (지하실 등)에 설치할 때는 유지 보수용 크레인 등을 설치할 수 있도록 층고가 5 m 정도는 돼야 한다.
- ③ 내연기관을 설치하는 경우에는 운전에 필요한 연료를 저장하기 위한 적절한 용량의 연료저장탱크를 설치해야 한다.

<표 5-14> 이중 인입선로 개념도

구분	개념도	특징
2회선 타변전		<p>(특징)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 선로사고에 대비할 수 있다. ② 단독 수전이 가능하다. ③ 시,군 경계에 변전소가 있는 경우 적극 활용 <p>※ 배수장 부지까지 진입도로(농로, 제당길)의 여건으로 동일변전소와 동일한 전진주에 상하로 상시/예비의 전원이 설치되며, 전용선로 요구시 공사비가 높아짐</p>
수전 동일변전		<p>(특징)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 임의의 배전선 또는 타건물 사고에 의하여 Loop가 개로될 뿐이며 정전은 되지 않는다 ② 전압변동률이 적다. <p>※ 동일한 전주에 상하로 상시/예비선로가 구성되는 경우가 많으며, 다른 전주에 배전선로를 구성해야 하는 규정은 없음(동일변전소라 해도 사용 변압기는 별도로 구성하고 있음)</p>

5.12 배수장 낙뢰보호 시스템 설치기준

배수장 원격감시제어설비 등 최근 전기전자시스템이 증가하여 종합적인 서지보호시스템 구축이 필요가 있다. 낙뢰가 우려되는 건축물에는 피뢰설비를 하도록 건축물의 피뢰설비 설치기준이 되어 있다.

낙뢰시에도 배수장의 건축물, 배수기계, 전기설비 및 전자시스템을 보호하여 안정적으로 배수장이 가동될 수 있도록 피뢰침, 등전위 본딩, 서지보호장치 (SPD) 등의 낙뢰보호시설을 설치하여야 한다.

가. 피뢰침

피뢰침은 침단을 뚫도록 한 도체로서 낙뢰가 직격할 때에는 지중으로 대전류를 방전하여 내부의 인명이나 건물의 손상 등을 방지한다.

<표 5-15> 피뢰침 개념도

구분	개념도	특징
피뢰침		<p>(특징)</p> <p>건축물에 낙뢰(낙뢰)가 유입되면, 그러한 영향을 받는 건축 구조물 내의 금속성 구조체들과 설비 사이에서 발생하는 전위차로 인해 안전사고 발생</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 건축구조물 내에 사람의 감전위험 ② 기기류의 절연과피로 인한 파손위험 <p>※ 피뢰침 및 수평도체 등을 건축물 구조체와 대지에 공용으로 접지시켜 감전 및 기기파손을 방지</p>

나. 등전위 본딩

등전위 본딩은 건물내부의 철근 철골 금속배관 등의 철근 철골, 금속배관 등의 도전(導電)부분을 상호접속하는 것으로 전원선, 통신선의 차단 및 접지선 등도 포함된다. 낙뢰에 대하여 접지를 등전위 본딩을 하면 접지간 전위차가 발생하지 않아 전류도 흐르지 않는다. 등전위 본딩은 뇌 서지를 저감하고 기기의 절연을 보호한다.

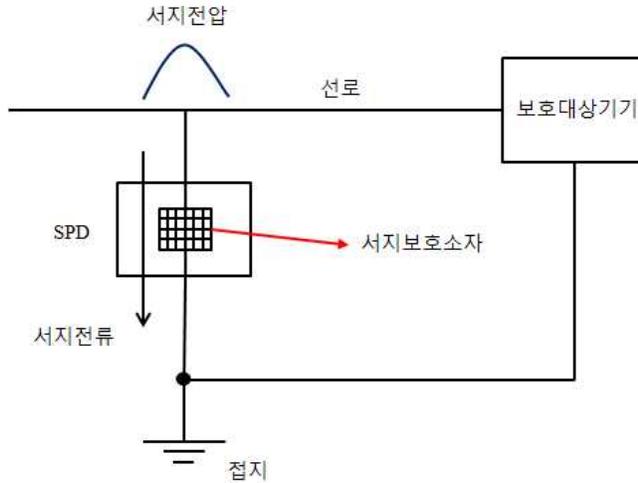
<표 5-16> 등전위 본딩 개념도

구분	개념도	특징
등전위 본딩		<p>(특징)</p> <p>철골, 수도관, 가스관, 전력선, 통신선 등 건축물의 금속체를 단자함에 공용으로 접속하여 대지와 전위가 같아지도록 설비를 구성</p> <p>※ 특히, 전원선과 통신선은 SPD(서지보호기)를 병행하여 설치할 경우 낙뢰 등으로 부터 설비의 보호를 높일 수 있다</p>

다. SPD

서지보호장치(Surge Protective Device: SPD)는 피뢰기(lightning arrester)라고도 하며, 낙뢰나 스위치의 개폐에 의해 발생한 과전압을 제한하고 서지(surge)전류를 분류하는 것을 목적으로 하는 장치를 말한다 <그림 5-11>.

서지는 서지전압(이상 고전압)과 이로 인해 발생하는 서지전류(이상 고전류)를 총칭하며, 낙뢰에 의하여 발생하는 서지를 뇌 서지라고 한다. 서지보호장치는 뇌 서지를 지중으로 방전하여 뇌 서지가 일으키는 건물 내 혹은 주변의 전기설비계의 오작동, 고장을 방지하는 데 효과적이다.



<그림 5-11> 서지보호장치(SPD)의 개념도

5.13 배수장 대피시설 및 장비

가. 필요성

집중호우로 인하여 수위가 급상승하는 경우에도 운전원들은 침수를 최소화하기 위하여 배수장내에서 최종순간까지 배수펌프를 가동하고, 전동기 등을 안전한 위치로 이동시킨 후 철수해야 한다. 따라서, 주변구역이 침수된 상태에서 안전하게 대피하기 위한 시설과 장비를 확보하여야 한다.

나. 장비의 종류

배수펌프장 및 주변 배수로에 수로관리원, 펌프운전원, 주민 등의 안전을 도모하기 위하여 안전관리시설을 설치하고 사고를 방지하여야 한다. 장비의 종류는 다음과 같다.

- (1) 사람에 대한 안전시설 : 울타리, 핸드레일 등
- (2) 피난하기 위한 시설 : 트랩, 사다리, 계단, 난간 등
- (3) 야간운전, 보수관리시설, 또는 도난방지를 위한 : 조명시설
- (4) 대피용 장비 : 구명도구, 구명보트, 로프 등
- (5) 주위 안내 시설 : 안내표지판, 팻말 등
- (6) 기타 안전시설 : 안전모, 누전안전시설, 경보시설 등

5.14 배수시설 제어시스템 적용

다음과 같은 경우에는 배수시설 제어시스템을 적용하면 1~2인의 인력으로 도 여러 개의 배수장 및 수문 등 배수시설을 감시·조작함에 있어 운용능력 및 비상사태시 대처능력을 배가시킬 수 있어 배수개선 사업의 효과를 더욱 향상시킬 수 있으며, 배수시설의 고장에 대해서도 원격감시제어로 즉시 대처가 가능하다.

- 동일지구 및 유역의 배수장을 대상으로 한 장소에서 감시 및 운전을 함으로서 최소인원으로도 운영 및 위기관리가 용이해지는 시설.
- 조수의 특성이나 강우 다발지역으로 관리자의 상주, 간시·운전이 필요함에 따라 인력수급과 긴급운전에 문제가 있어 원격감시·운전을 필요로 하는 시설.
- 단위 배수장에 연계된 시설물로 내·외부 이동거리가 길고 장비 운전상태 파악이 곤란하여 1인 운전이 불가능한 시설.

<표 5-17> 배수시설 제어시스템 통합유형별 주요시설

통합유형별		주요 시설			비고
배수장	배수문	중앙제어장치	FIU*	RTU**	
1개소	1개소	1식	1식	1식	기본
1개소	2개소	1식	1식	2식	
2개소	2개소	1식	1식	4식	
2개소	3개소	1식	1식	5식	

* Fault Indicator Unit (고장표시 장치)

**Remote Terminal Unit (원격제어 장치)

5.15 사업비와 투자수익

배수개선사업의 경제성 분석을 위한 편익과 비용은 앞으로 개선할 필요가 있다. 특히 편익은 농산물 증산, 작부체계개선, 노동력 절감, 자재투입물량 감소 등의 직접적인 편익뿐만 아니라 산소의 증가, 대기정화효과, 및 식량안보 효과 등 간접편익도 고려되어야 할 것이다. 그러나 간접편익에 대한 산정 방법이 명확하게 확립되어 있지 않으므로 앞으로 연구를 통하여 확립하여야 할 것이다.

제 6 장 결 론 및 요 약

기후변화에 따른 아열대성 기후현상과 집중호우, 태풍의 빈번한 발생 등으로 기존 농경지 배수시설이 침수에 매우 불리한 구조이며, 수도작 위주에서 수익성이 높은 밭작물 중심으로 작부체계가 변함에 따라 적절한 배수체계 개선방안이 마련되어야 한다. 본 연구는 기후변화로 인한 강우패턴의 변화와 원예작물 등 밭작물 재배 증가에 따른 농경지 배수설계 기준 개선을 위해 수행된 선행연구 분석, 기후변화 영향 및 전망, 농경지 침수피해분석, 설계기준 동향 분석 등을 통해 배수개선 설계기준 개정내용을 검토하고 정립하여 기후변화에 대비할 수 있는 강화된 배수설계기준을 제시하는데 목적이 있다.

우리나라 농업용 배수설계기준은 1970년도에 처음 개정된 이래 최근까지 다양하게 설계기준이 강화되어 왔지만, 지역별 특이성을 가진 강우와 이상호우, 집중호우에 대처할 수 있는 배수시설의 능력에는 한계가 있어 현행의 배수시설 설계기준의 재검토가 필요한 것으로 조사되었다. 일본은 최근 배수설계기준이 “20년 빈도 1~3일 연속강우량”으로 상향조정되었으며, 강우자료의 사용기간도 한국은 최근 30년 강우자료를 기본으로 사용하고 있지만 일본의 경우에는 최근 30~50년 강우자료를 사용하도록 한다. 또한 한국은 “20년 빈도 2일 연속강우량”을 설계기준으로 채택하고 있는 반면, 일본은 “20년 빈도 3일 연속강우량”을 기준으로 하되, 지형특성, 기상조건 등의 지구여건을 고려하여 최대 “50년 빈도 3일 연속강우량”까지 사용가능하도록 명시하고 있다. 국토해양부와 환경부에서는 최근 기후변화로 인한 집중호우 등의 재해 대비하여 하천설계기준과 하수도시설기준을 개정하였다. 2009년도에 개정된 하천설계기준은 설계수문량 산정에서 국내개발 홍수모형을 추가하여 보다 현실적인 설계홍수량 산정을 도모하고자 하였으며, 2011년도에 개정된 하수도시설기준에서는 기후변화로 빈발하고 있는 집중호우로 인한 침수피해를 최소화하기 위해 하수관거의 계획확률년수를 기존 5~10년에서 10~30년으로 강화하고 빗물펌프장의 계획확률년수도 30~50년으로 신설하였다.

기후변화로 인한 집중호우로 강우량이 증가하여 야기된 농경지 침수피해에 대해서도 조사한 결과, 주 원인은 집중호우 등의 이상강우로 외수위 상승에 의한 자연배수가 불가능했던 점과, 시설배수장 용량부족으로 배수능력 저하와 배수로 단면 부족, 배수구조물의 불합리한 설치, 토사퇴적 및 수초발생으로 지구내 홍수량 배제시간 지연, 협잡물 과다로 배수장 가동 중단으로 인한 범람 등으로 조사되었다. 침수가 발생된 2011년 확률강우량이 배수개선이 실시연도의 확률강

우량 보다 20년빈도 기준으로 15.9~60.9% 증가와 30년빈도 기준으로 15.8~61.8% 증가세를 보여 기존의 배수설계기준의 조정이 필요한 것으로 나타났다.

따라서 기후변화에 대처하고 농경지 배수체계개선 및 배수시설물 보강을 위해 배수설계기준의 강화가 필요하여 배수개선 설계기준 개정내용을 검토하여 수정 보완하였다. 주요 개정 내용은 전문용어 통일, 오자 및 문맥상의 오류 등의 수정, 관련법령의 제개정에 따른 농지배수 관련 설계기준을 현행 법령체계 일치, 이상 기후로 인한 국지성 호우에 대응할 수 있도록 설계강우량 결정방법 강화, 논밭 혼용지대에서의 배수대책 내용 추가, 친환경적 배수개선 설계 및 시공사례 수록, 배수장 양정결정시 하천등급별 계획기준홍수위 수정, 유수지 설계기법 추가, 하천제방 횡단구조물 (토출암거) 설치내용 추가, 배수장 제진기 설치기준 추가, 배수장 비상전원 확보기준 추가, 배수장 펌프형식 개선과 게이트 펌프 추가, 배수장 대피시설 및 대피용 장비 보완, 배수시설 제어시스템 적용에 대한 내용이 추가되었다. 금번에 제시한 설계기준 개정안이 향후 농업수리시설물 보강 등을 위한 배수개선사업의 추진 및 재해취약지구의 재해예방 사전계획수립, 기후변화 대비 농업기반시설 관리대책 수립 및 시설물 유지관리 방안 마련을 위한 계획설계에 유용하게 활용될 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. 강중원, 진상현, 2008. 기후변화 대비 강원도의 농업대책. 강원발전연구원 정책브리프.
2. 과학기술부, 2007. 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계구축, 수자원의 지속적 확보기술개발사업.
3. 권영한, 2012, 기후변화 적응 현황, 전망, 필요. 2012국가 기후변화시나리오 Workshop 발표자료
4. 국립기상연구소, 2011, IPCC 5차 평가보고서에 대한 기후변화시나리오 보고서
5. 기상연구소, 2002. 기후변화협약대응 지역기후시나리오 산출기술개발(I).
6. 기상연구소, 2003. 기후변화협약대응 지역기후시나리오 산출기술개발(II).
7. 기상연구소, 2005. 기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(I).
8. 기상연구소, 2005. 기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(II).
9. 기상청, 2007. 기후변화 2007 과학적 근거.
10. 기상청, 2008. 기후변화 이해와 기후변화 시나리오활용(1), pp.2-8.
11. 기상청, 2011, 기후변화 시나리오 이해 및 활용 사례집
12. 기상청, 2012, 2012 국가기후변화시나리오 워크숍
13. 기후변화정보센터, 2012. Climate change. <http://climate.go.kr>. Accessed on 9 March 2012.
14. 농림부, 2003, 배수계획 설계기준 개정
15. 농림부, 2005, 농업생산기반정비사업 계획설계기준(양배수장편)
16. 농림부, 1996, 농업생산기반정비사업 계획설계기준(취입보편)
17. 농림부, 한국농어촌공사, 2005, 원예작물배수개선 설계기준(안)
18. 농림수산식품부, 2012, 기후변화에 대응한 배수개선 설계기준 개정
19. 농림수산식품부, 한국농어촌공사, 2011a, 간척농지 다각적 활용을 위한 침수안전지역 설정 연구
20. 농림수산식품부, 한국농어촌공사, 2011b, 기후변화에 따른 농경지 배수체계 개선에 관한 연구
21. 농촌진흥청, 2002, 기후변화와 농업생태계변동 연구동향
22. 박기욱, 김진택, 주옥중, 이용직, 2006. 농업 가뭄의 평가를 위한 가뭄지수의 적용성 분석. 한국관개배수학회논문집 13(1), pp.72-81.
23. 소방방재청 중앙재난안전대책본부, 2011 재해연보

24. 에너지경제연구원, 2007. 기후변화 협약에 근거한 제3차 대한민국 국가보고서 작성연구.
25. 유가영, 김진택, 김정은. 2008. 농업용수의 기후변화 적응능력 지표 개발 - 가뭄에 대한 적응을 중심으로-. 환경정책연구 7, pp.35-55.
26. 유승환, 2009. 기후변화에 따른 미래 농업가뭄 특성분석, 서울대학교 박사학위논문.
27. 윤동균, 2010, 기후변화가 논 필요수량에 미치는 영향, 경북대학교 박사학위 논문
28. 윤성탁, 2005. 지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대책, 한국국제농업개발학회지 17(3), pp.199-207.
29. 윤성호, 1998. 기후변화에 따른 농업생태계 변동과 대책, 21세기 한반도 농업전망과 대책, 경상대학교 개교 50주년기념 심포지엄, pp.313-335.
30. 이동규, 차동현, 김추지, 최석진, 진천실, 2006. 한반도 지역기후에 대한 기후변화의 영향평가, 제4차 기후변화 학술대회 발표 자료집.
31. 정상옥, 2006, 기후변화에 대한 연구소개, 한국관개배수
32. 정상옥, 2010. FAO-AquaCrop을 이용한 기후변화가 벼 증발산량 및 수확량에 미치는 영향 모의, 한국농공학회논문집, 52(3), pp.57-64
33. 정상옥, 2011, 기후변화에 따른 농업의 변화 및 대응, 한국농어촌공사 농어촌연구원 위촉연구보고서
34. 정일원, 2008. 혼합 상세화 기법을 적용한 국내 수자원의 기후변화 영향평가, 세종대학교 박사학위논문.
35. 한국농어촌공사, 2004, 재해대비 설계기준 개정 적용요령
36. 한국농어촌공사, 2008, 농업생산기반정비사업 계획설계기준(친환경편)
37. 한국농어촌공사, 2010, 배수개선사업 추진실태 분석 및 개선방안 수립연구
38. 한국농어촌공사, 2011, 농업생산기반정비사업 조사설계 실무요령
39. 한국상하수도협회, 2011, 하수도시설기준
40. 한국수자원학회, 2009, 하천설계기준 및 해설
41. Anthes, R. A. and T. T. Warner, 1978. Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies, *Mon. Wea. Rev.* 106, pp.1045-4078.
42. Dickinson R. E., R. M. Errico, F. Giorgi and G. T. Bates, 1989. A regional climate model for western United States, *Climate Change* 15, pp.383-422.

43. Giorgi, F. and G. T. Bates, 1989. The climatological skill of a regional model over complex terrain, *Mon. Wea. Res.* 117, pp.2325-2347.
44. Giorgi, F., 1990. Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate* 3, pp.941-963.
45. Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer, 1994. A description of the ifith generation Penn State/NCAR Mesoscale Model(MM5). *NCAR Tech. Note* NCAR/TN-398+STR, pp.121-125.
46. Hong, S. Y. and H. L. Pan, 1996. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, *Mon. Wea. Rev.* 124. pp.2322-2339.
47. IPCC. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 570pp.
48. IPCC. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 570pp.
49. IPCC, 2001. Climate change 2001, Impacts, adaptation, and vulnerability, Cambridge University Press, Cambridge.
50. IPCC, 2003. Climate change : The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
51. IPCC, 2007. Climate change 2007: The Physical science basis. Cambridge university press UK.
52. IPCC-TGICA. 2007. General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by Carter, T.R. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66pp.
53. Moss, R. et al., 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132pp.
54. Reisner, J., R. M. Rasmussen and R. Brientjes, 1998. Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 model, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 124(548), pp.1071-1108.
55. Richardson, C. W., 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation, *Water Resources Research* 17,

pp.182-190.

56. Von Storch, H., 1999. On the use of "inflation" in statistical downscaling, *Journal of Climate* 12, pp.3505-3506.
57. Wilby, R.L. & Dawson, C.W., 2007, Statistical Downscaling model SDSM Version 4.2 User manual, 94pp.

부 록 : 설계기준 개정 전후 대비표

구 분		개정 전 (2001년)	개정 후 (2012)	비고
2.7.1 기상자료 수집		<p>(1) 계획대상지구의 기상조사는 계획지구가 포함된 지배구역(Thiessen 망으로 결정)내에 있는 기상대 및 건교부 산하의 기상관측자료를 수집한다.</p> <p>(2) 기상자료는 사업계획지구의 기상개요를 판단하기 위한 일반기상과 유출량계산 등 배수계획 수립에 필요한 특수기상으로 구분하여 조사해야 하며, 이 경우 계획지구를 중심으로 주위의 모든 기상관측소를 대상으로 연 최고치 계열의 강우자료를 수집하고 빈도분석을 하여 최대값을 가지는 관측소의 강우량을 선택한다.</p>	<p>(1) 지배관측소 결정은 대상지구에서 지형상으로 가장 근접하고 수문학적으로 대표값을 나타내는 관측소를 선택하여야 한다.</p> <p>(2) 수문통계적 자료를 사용하므로 30년 이상의 재현기간을 갖는 관측소를 선정하되 자료의 정확성과 일관성 등을 고려하여 최근 30개년 이상의 자료에서 결측치가 발생하지 않고 관측소의 위치변경으로 이전 자료가 일관성이 없어지는 일이 없도록 면밀히 검토하여야 한다.</p> <p>(3) 관측소는 기상청, 국토해양부, 각 지방자치단체 및 연구소 등에서 운영하는 관측소 등 사업지구 주위 관측소를 모두 조사하여 가장 적합한 관측소를 선정한다.</p>	34쪽
3.6.1 설계 강우량	벼	20년 빈도 고정시간 2일 강우량	20년 빈도 이상 임의지속 48시간 강우량	82쪽
	밭,원예	20년 빈도 고정시간 2일 강우량	○재배작물 유형, 침수피해정도 및 경제성 등을 종합 분석·평가하여 필요시 30년 빈도 임의지속 48시간 강우량	82쪽

<표 5-15> 계속

구 분	개정 전 (2001년)	개정 후 (2012)	비고
3.6.4 계획기준 외수위		아래 내용 추가 ○배수펌프장의 계획기준외수위는 배수본천의 하천등급별 계획홍수위를 기준으로 한다. 현행 하천등급별 계획홍수위는 국가하천 : 100~200년 빈도, 지방하천 : 50~100년 빈도, 소하천 : 30년 빈도를 사용하고 있다.	93쪽
3.6.5 계획배수량	다.배수문이나 배수펌프장 설치기 필요한 경우 수혜구역내 배수시설의 용량은 침수분석 결과 결정된 계획배수량의 1.5배로 결정하고, 지류는 비유량(比流量)으로 하며, 수혜구역 외는 경지에 저류현상을 고려하는 계획배수량과 비교하여 이 중 큰 값을 채택하여 사용한다.	○배수문이나 배수펌프장 설치가 필요한 경우, 수혜구역내 배수시설의 용량은 침수분석 결과 결정된 계획배수량의 1.5배로 결정하고, 지류는 비유량(比流量)으로 하며, 수혜구역 외는 경지에 저류현상을 고려하는 계획배수량과 비교하여 이 중 큰 값을 채택하여 사용한다.	95쪽
3.8 논밭 혼용지구에서의 배수대책	-	○논에서의 밭작물 재배 및 논·밭 윤회경지 증가로 인한 영농여건 변화에 대응하여 수혜구역내 밭작물을 많이 재배하는 지구에 대하여는 홍수시 밭작물 침수피해를 최소화하기 위한 배수대책을 수립한다.	145쪽
4.2.7 친환경 배수로	-	○친환경 배수로 계획은 기능 및 경제적 측면, 인문사회적 측면, 주변의 자연생태계 등을 종합적으로 고려하고, 특히 지역의 전통문화, 관광, 친수성, 생태계 보전, 경관, 수질정화 등을 고려하여야 한다.	166쪽
4.3 배수(갑)문		박스 아래에 다음 내용 추가 ○배수본천이 하천법의 적용을 받는 경우에는 배수문 설치는 하천관리청의 하천점용허가를 받아야 한다.	170쪽

<표 5-15> 계속

구 분	개정 전 (2001년)	개정 후 (2012)	비고
4.4.5 펌프의 선정		아래 내용 추가 ○기설배수장 보강시 침수시에 도 배수기능을 유지할 수 있 는 펌프형식으로 검토·적용 하여야 한다. ○게이트 펌프 추가: 게이트 펌프의 그림[4.9] 및 내용 추가	193- 195쪽
4.4.5 펌프의 선정		표 아래 다음 내용 추가 ○홍수시 내수위의 증가로 인하 여 펌프와 원동기가 침수되어 가동중단이 발생하지 않도록 입축형 펌프나 수중 펌프를 설치하고, 원동기를 최대 홍수 위 이상에 설치하여 침수에 의한 배수중단 상태가 일어나 지 않도록 하여야 한다.	196쪽
4.4.6 펌프의 설치높이와 회전수 관계	(나) 배전반실과 변전소는 침수가 되지 않도록 계획 제방고 이상으로 하되 국가 하천은 100년빈도 홍수위 이상으로 하여야 한다.	(나) 배전반실과 변전소는 침수되면 시설전체를 교체 해야 하므로 어떤 경우라 도 전기시설이 침수가 되 지 않도록 계획 제방고 이 상으로 하되 하천등급별 계획홍수위 이상으로 하여 야 한다.	201쪽
4.4.8 부속설비	○ 흡입수조와 흡수관 ○ 배출수조 ○ 스크린과 제진기	<각각을 절로 분리 > 4.4.8 흡입수조와 흡수관 절을 신설하고 내용 수정	211쪽
		4.4.9 배출수조와 배출관 절을 신설하고 내용 수정	215쪽
		4.4.10 스크린과 제진기 절을 신설하고 내용 수정	217쪽

<표 5-15> 계속

구 분	개정 전 (2001년)	개정 후 (2012)	비고
4.4.10 스크린과 제진기	<p>○제진기 설치기준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 배제량 5m³/s미만 : 수동식 스크린 - 배제량 5m³/s~10m³/s : 특수한경우 자동제진기 - 배제량 10m³/s이상 : 자동제진기 	<p>○농촌지역의 복합영농증가, 도시화, 산업화에 따른 비닐, 수초, 생활 및 산업폐기물, 쓰레기 등 협잡물 유입으로 인해 스크린 파손, 펌프고장 및 가동장애가 발생하지 않도록 배수장으로 유입되는 협잡물 제거를 위한 대책(스크린 및 제진기 설치 등)을 마련하여야 한다.</p> <p>○협잡물량 계산식 4.37, 4.38 추가</p> <p>○제진기의 종류와 장단점 추가</p>	217-220쪽
4.4.11 유수지	-	<p>○유수지는 일반적으로 배수장에 유입되는 침투홍수량을 감소시키고 배수로의 통수능력과 펌프용량 사이의 불균형을 완화시키기 위하여 배수로 말단 및 배수장 내측에 설치하며, 그 크기는 배수로의 통수능력, 펌프용량 등에 의해 결정된다.</p> <p>특히 농지배수를 위한 유수지는 배수로로부터 펌핑에 필요한 홍수유입이 충분하지 않아 배수장 가동이 단속(斷續)되는 것을 방지하기 위해 필요하다.</p>	221쪽
4.4.12 침사지	○체류시간은 30~60분을 표준으로 한다.	○체류시간은 30~60초를 표준으로 한다. 침사지 설계에 대한 자세한 내용은 “하수도 시설기준 (한국상하수도협회, 2011)” 및 농업생산기반정비사업계획설계기준 취입보편(농림부, 1996)을 참고한다.	224쪽

<표 5-15> 계속

구 분	개정 전 (2001년)	개정 후 (2012)	비고
4.4.14 하천제방 횡단구조물 (토출암거) 설치	-	○토공으로 된 하천제방을 횡단하여 설치되는 배수장 토출암거는 하천수위 상승시 안정성 확보를 위하여 제체의 누수방지 대책, 토출암거 주변 및 토출암거 내부에 대한 누수방지와 기초지반을 통한 누수 및 침하 등의 발생을 방지하기 위한 대책을 수립하여야 한다.	225쪽
4.4.15 배수장 비상전원 확보	-	○기상이변에 따른 집중호우 및 낙뢰시에도 배수장의 안정적인 가동을 위하여 비상전원을 확보해야 한다.	227쪽
4.4.16 배수장 낙뢰보호시스템	-	○낙뢰시에도 배수장의 안정적인 가동을 위하여 피뢰침, 등전위 본딩, 서지보호장치 (SPD) 등의 낙뢰보호시스템이 설치되어야 한다.	228쪽
4.4.17 배수장 대피 시설 및 장비	-	○배수장 가동 중 갑작스런 수위상승에 대비하여 운전원들의 안전한 대피를 위한 시설과 장비를 확보하여야 한다.	231쪽

<표 5-15> 계속

구 분	개정 전 (2001년)	개정 후 (2012)	비고
7.5.2 배수시설 제어시스템 적용	-	○배수시설물 계획시 배수시설 제어시스템을 적용하여 단위 시설물에 연계된 일정량의 설비를 통합·제어함으로서 평상시에는 관리자의 시설 사용능력을 배가시키고, 배수장 가동시에는 사고예방 및 위기대처 능력을 제공하여야 한다.	411쪽
8.1 배수개선사업의 효과	○배수개선사업은 지표배수와 지하배수로 구분하며, 이에 대한 사업의 효과를 열거하면 다음과 같다. (1) 작물의 감수방지 및 증수 (2) 입지조건의 개선 (가) 농경지의 건토화 (나) 지내력의 증진 (다) 제염효과의 증대 (라) 토지이용률의 확대 (범용화)	○배수개선사업은 지표배수와 지하배수로 구분하며, 이에 대한 사업의 효과를 열거하면 다음과 같다. (1) 파괴적 피해 및 침수피해 방지 (2) 작물의 감수방지 및 증수 (3) 제염효과의 증대 (4) 건토효과 (가) 지력증대 (나) 지내력의 증진 (다) 토양 물리성 개량 (라) 토지이용도 증대 (범용화)	416쪽
8.3 사업비와 투자수익		- 끝에 추가 ○배수개선사업의 경제성 분석을 위한 편익과 비용 산정방법을 개선할 필요가 있다. 특히 편익은 농산물 증산, 작부체계개선, 노동력 절감, 자재투입물량 감소 등의 직접적인 편익뿐만 아니라 대기중 산소의 증가, 대기정화효과, 및 식량안보 효과 등 간접편익도 고려되어야 할 것이다. 그러나 간접편익에 대한 산정방법이 명확하게 확립되어 있지 않으므로 앞으로 연구를 통하여 확립하여야 할 것이다	420쪽

주 의

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

■ 발 행 처

농업생산기반정비사업계획설계기준 (배수편) 작성 연구	
발행일	2012. 12
발행인	정 해 창
발행처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	