

간척지 논 침수 원인 조사와 방재 대책 수립

Investigation and Complementary Measures Establishment for Flood on Tidal Reclaimed Paddy Fields

정 주 홍* 윤 광 식** 최 수 명***

Jeong, Ju Hong · Yoon, Kwang Sik · Choi, Soo Myung

윤 석 군**** 고 영 배***** 김 영 택*****

Yoon, Suk Gun · Go, Young Bae · Kim, Young Taek

Abstract

Tidal land reclamation provided water resources and land for agriculture and contributed stable crop production. However, climate change by global warming disrupts the hydrologic circulatory system of the earth resulting in sea level rise and more frequent flood for reclaimed arable land. Recently, Suyu reclaimed paddy field in Jindo-gun experienced prolonged inundation after heavy rainfall and there is a growing risk of flood damage. Onsite survey and flood analysis using GATE_Pro model of Korea Rural Corporation were conducted to investigate causes of flooding. To perform the analysis, input data such as inflow hydrograph, the lowest elevation of paddy field, neap tide level, management level of Gunnae estuary lake at the time of the flood were collected. Flood analysis confirmed that current drainage facilities are not enough to prevent 20year return period flood. The result of analysis showed flooding more than 24hours. Therefore, flood mitigation alternatives such as sluice gate expansion, installation drainage pumping station, refill paddy land, and catch canal were studied. Replacing drainage culvert of Suyu dike to sluice gate and installing drainage pumping station at the Gunne lake were identified as an effective flood control measures. Furthermore, TM/TC (SCADA) system and expert for gate management are required for the better management of drainage for estuary dam and flood mitigation.

* 전남대학교 지역바이오시스템공학과 (bythemass@gmail.com)

** 전남대학교 지역바이오시스템공학과 (ksyoon@jnu.ac.kr)

*** 전남대학교 지역바이오시스템공학과 (ruralpl@jnu.ac.kr)

**** 한국농어촌공사 (ysg972@hanmail.net)

***** 한국농어촌공사 (gobaksa@ekr.or.kr)

***** 전남대학교 지역바이오시스템공학과 (kyl7067@jnu.ac.kr)

I. 서론

간척지 개발은 국토확장 및 토지 창출과 국민 생활공간 확대, 농업은 물론 기타 산업의 발전, 농경지의 확장에 의한 식량 자급의 증산을 구현하였다. 이로써 농가소득이 증대되고, 방조제 도로 설치로 체계적인 교통망이 형성되어 역내 생활권이 통합됨으로써 국토의 균형발전과 지역의 경제발전에 기여해 왔다. 그러나, 환경변화에 따른 기후변화는 지구의 순환 시스템을 교란시켜 홍수, 해수면 상승, 가뭄 등 이상기후를 발생시키고 있다. 특히 우리나라는 자연재해의 90%가 수해와 관련되어 나타나는데 조위 상승과 배후지 홍수량 증가에 의해 간척지의 침수 위험이 증가하고 있는 실정이다.

농경지 침수피해에 관한 연구를 살펴보면 김기성 등(1999)은 홍수에 의한 농경지 침수 피해에 대해 분석 및 침수방지 대책에 관한 연구를 하였고, 정원교 등(1999)은 LANDSAT-TM 자료를 이용한 경기도 연천지역의 침수피해에 대한 연구를 수행하였으며, 박인환 등(2005)은 경상남도 창녕군 이방면에서 로지스틱 회귀분석과 조각별 회귀분석법을 활용하여 침수 잠재성을 분석하였고, 전계원 등(2007)은 저지대 농경지의 홍수범람 분석에 관한 연구를 수행하였고, 이정민 등(2008)은 SWMM5DHKUNET 모형을 이용한 신항만 저지대 침수분석에 대한 연구를 수행하였고, 이진영 등(2010)은 낙동강 남강댐 하류를 대상으로 추계학적 강우 변동생성 기법과 GIS를 연계한 2차원 침수해석에 대한 연구를 수행하였으며, 남상운 등(2010)은 금강변 저지대 시설원예단지의 침수 피해 실태와 개선방안에 대해 조사연구를 수행

하였다.

군내담수호로 홍수량을 배제하는 수유간척지는 미완공 간척사업 보완공사가 이루어져 비교적 안정적인 영농이 이루어져 왔으나 2009년 7월 장마기간 최대 시우량 35mm, 최대 강우량 191mm의 강우로 인해 221.3ha(292필지)에 침·관수 피해가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 2009년 군내지구 침·관수 피해의 원인을 분석하고, 분석결과를 이용해 향후 간척 농경지의 침수피해 재발 방지 방안의 기본 자료로 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 대상 지역

군내간척지는 서남해안 간척개발사업에 의해 전남 진도군 진도읍 전두리와 군내면 나리 일대에 조성된 간척지로 1991년 착공하여 2008년 준공되었다. 기존 수유간척지의 배수갑문을 Box 암거로 교체하고 공유수면에 방조제 1조 3,225m와 배수갑문 6련(5.0m × 3.0m)을 건설하였고, 용수원으로 담수호 406ha에 640만톤의 수자원을 확보하여 464ha의 농지를 조성하고 배후지 640ha를 전천후 농토로 개발한 총 유역면적 5,745ha인 간척지구이다.

군내지구 유역면적은 2,287ha로 유역의 형상은 하류측 밑변이 약 9km, 하류에서 상류측 까지의 높이가 약 10km로 북서에서 동남으로 위치한 삼각형 형상이다. 유역의 전반적인 지세는 완만한 편이며 건배산(116.0m), 도암산(110m) 및 금골산(140m)을 중심으로 낮은

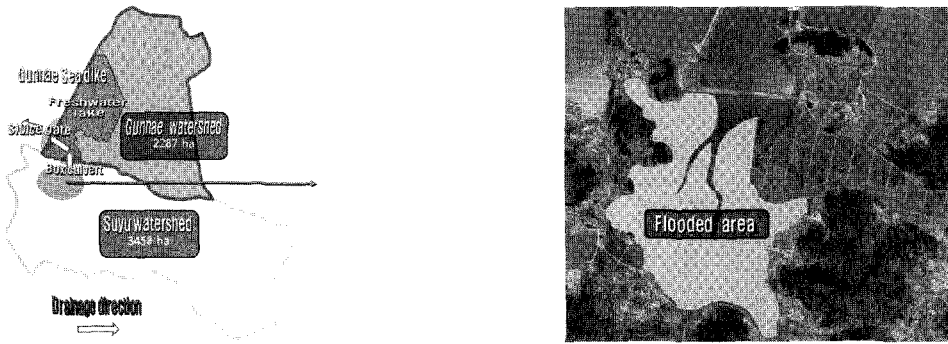


Fig 1. Gunnae and Suyu Watersheds and Flooded Area

구릉지가 조금씩 발달해 있다. 유역경계 상류부는 경사가 급하고 지세가 험하나 유역의 하류로 내려옴에 따라 경사가 완만한 경지가 대부분인 특징을 가지고 있다. 수유지구의 유역면적은 3,458ha로 진도읍에서 북서쪽으로 24 km지점에 위치하고 있으며 군내지구 간척개발사업의 배후지이다. 지구내 평균경사는 동서 방향으로 약 1/4,000 정도, 남북방향으로는 1/3,500 정도로 평탄한 지구이며, 토양배수는 약간 불량한 편으로 Fig. 1은 대상 유역 및 침수피해 지역을 나타내고 있다. 배수체계를 살펴보면 수유지구 저류지에서 Box 압거를 통해 군내호로 유입되며 군내유역과 수유 유역 유입수는 군내호 배수갑문을 통해 외해로 배제하도록 되어있다.

2. 침수분석

가. 침수분석 모델

본 지구의 침수분석을 위해 한국농어촌공사의 GATE_Pro(배수갑문 능력검토) 모형을 이용하였다. 본 프로그램은 계획지구내 기존 시설물의 능력을 검토하거나 새로운 시설물의 규모를 결정할 경우 사용되며 유입홍수량에 의한

내수위와 하천수위, 조위로 나타내는 외수위의 시간별 관계에 따라 지구내의 침수형태를 분석 및 판단계획하고 이에 적합한 시설물의 규모를 결정하는데 이용된다. Fig. 2는 프로그램의 흐름도를 보여주고 있다.

모형은 상·하류구역이 분리 연계된 구역의 다중처리, 다중·다련의 갑문수 처리, 시간별 유입량 계산, 시간별 배제량 계산, 시간별 내수위 계산, 지구내 최고 침수위(H.W.L) 계산, 지구내 표고별 침수시간 요약 및 출력 등을 할 수 있다.

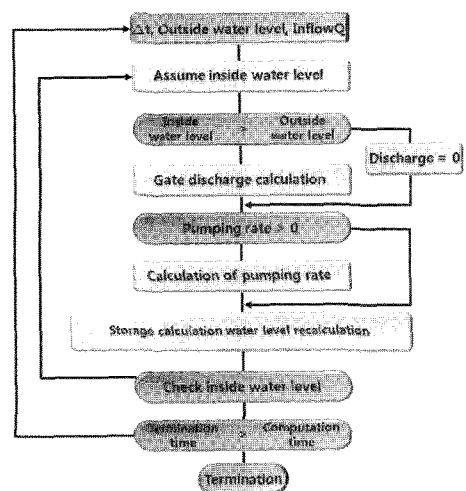


Fig 2. GATE_Pro Program Flow Chart

Table 1. Drainage Facilities Dimensions

Title	Basin area (ha)	Management water level	Size (m)		
			Sill	B	H
Gunnae sluice gate	5,745	EL(-) 1.2m	-3.00	30.0	3.0
Suyu box culvert	3,445	EL(-) 1.2m	-2.50	40.8	3.7

프로그램의 내수위 분석은 유역내 홍수량의 저류현상을 분석하는 것으로서 저류작용의 기본 식인 저류 방정식(Storage Equation)으로 나타낸다.

나. 침수 원인 분석

침수분석을 시행함에 있어 최대 홍수위는 대조시가 높으나 소조시 조차가 적고 외수위가 장시간 지속되어 배수문을 통한 자연 배제가 대조시보다 불리하게 나타났으며, 대조시보다 소조시 침수 기간이 더 길게 나타났다. 따라서 본 지구의 침수분석을 위한 외수위는 소조시의 외수위를 적용하였고, 최저담면고는 배수개선 사업당시 EL(-) 0.35m로 설계하였으나, 침하를 고려하여 EL(-) 0.4m를 적용하였다. 또한 을 초 가뭄으로 영농기 수자원의 필요수량부족을 예상하여 관리수위보다 높게 유지한 침수당

시의 관리수위 EL(-) 0.85m와 담수호 설계시 관리수위인 EL(-) 1.20m, 하절기 관리수위인 EL(-) 1.50m로 나누어 분석하였다.

침수분석을 위한 배수갑문 제원은 기설 군내 배수갑문과 수유지구 Box 암거를 사용하였다 (Table 1). 군내지구의 시간별 홍수량은 군내지구 기본계획서의 시간별 홍수량(참조: 서남해안 간척지 개발사업 군내지구기본계획서, 1990. 6., 농림수산부 농업진흥공사)을 사용하였으며(Fig. 3), 수유지구의 시간별 홍수량은 수유지구 배수개선사업계획서의 시간별 홍수량(참조: 전라남도 진도군 수유지구배수개선사업계획서 1996.10. 농어촌진흥공사)을 사용하였다(Fig. 4). 수유지구의 외수위는 군내지구 20년 빈도 홍수 유입시 내수위를 수유지구 외수위로 적용하였다. Fig. 5는 군내지구와 수유지구의 외수위 곡선도를 나타내고 있다. 또한

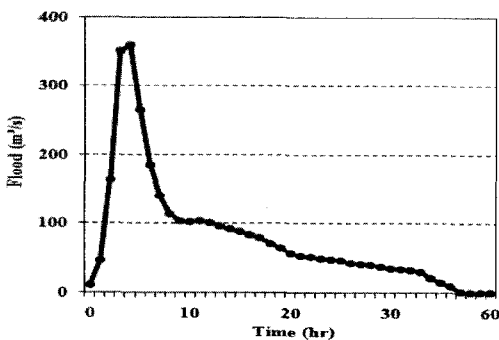


Fig 3. Inflow Hydrograph of 20 Year Return Period (Gunnae)

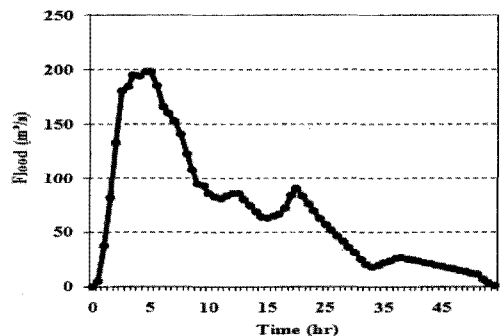


Fig 4. Inflow Hydrograph of 20 Year Return Period (Suyu)

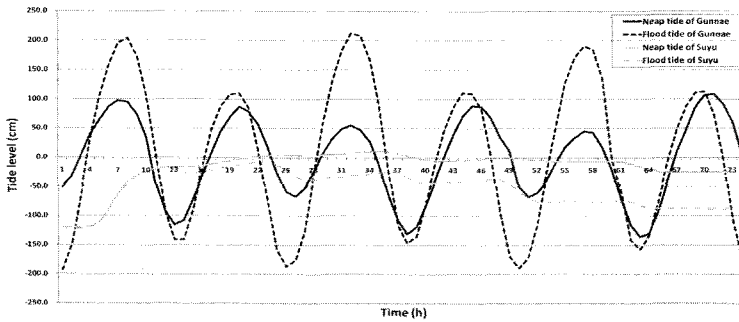


Fig 5. Tidal Level and Stage of Gunnae Estuary Lake

군내지구의 내용적은 군내지구 준공기록지의 군내지구 준설 후 내용적 총괄표(참조: 서남해안 간척사업 군내지구 준공 기록지, 2008, 진도군)를 사용하였고(Fig. 6), 수유지구의 내용적은 한국농어촌공사 자료를 사용하였다(Fig. 7).

경우 Peak 내수위는 EL(+) 1.28 m였으며, 3일 정도의 침·관수가 발생하는 것으로 나타났다. 관리수위를 침수 당시의 EL(-) 0.85, 동절기 관리수위 EL(-) 1.20, 하절기 관리수위인 EL(-) 1.50에 대해 분석한 결과 침수피해 개선효과가 없는 것으로 분석되었다(Fig. 8). 이는 표고가 낮은 지역은 내용적이 적어 물이 급격히 차올라 최초 수위 격차가 감소되는 것으로 판단된다. Table 2는 침수분석 결과이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 침수분석 결과

침수피해 발생 당시의 침수분석을 수행한 결과 현재의 유역과 수유지구의 Box 압거 제원에서는 소조시 20년 빈도 강우가 발생할

2. 침·관수 피해 재발 방지 방안 설정

배수개선 계획설계기준에 의하여 배수시설 규모는 수도작 기준으로 수잉기의 침수피해를

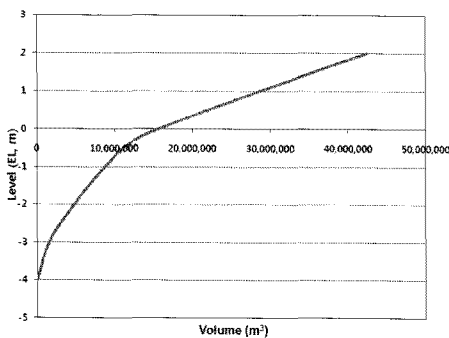


Fig 6. Storage Volume of Lake (Gunnae)

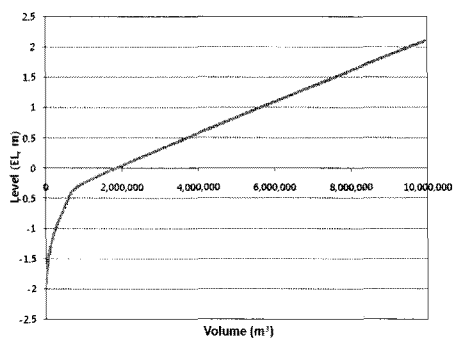


Fig 7. Storage Volume of Lake (Suyu)

Table 2. Summary of Flood Analysis

		Remark		
Tidal gate size	5.1m × 3.7m × 8, EL(-) 2.50m (Culvert)			
Lowest paddy level	EL(-)0.4m			
Watershed	3,548ha			
Peak discharge	197.87m ³ /s			
Management lake level	EL(-) 0.85m	EL(-) 1.20m	EL(-) 1.50m	
Peak stage of Suyu	EL(+) 1.283m	EL(+) 1.283m	EL(+) 1.283m	
Inundation depth (m)	1.683	1.683	1.683	Peak stage of Suyu - Lowest paddy level
Inundation period (hr)	68(70)	68(69)	68(69)	Lowest paddy level +0.3m
Submerged period (hr)	64(66)	64(66)	64(66)	Lowest paddy level +0.7m
Damaged area (ha)	675.4ha	675.4ha	675.4ha	

※ () Not considering allowable flooding depth

방지하는 것이 목적이다. 따라서, 허용 담수심을 30cm로 하고, 허용 담수심 이상의 침수시간이 24시간 이내이면서 관수(관수심: 70cm)를 허용하지 않는 조건으로 하였으며, 기존 건설된 수유지구의 Box 암거는 침수에 대한 개선이 거의 이루어지지 않아 인양비로 교체하는 방안으로 침수분석을 하였다. 배수개선 계획수립은 가장 경제적인 시설로 최대의 배수효과를 거둘 수 있으며 지구 여건에 부합되는

계획이어야 하므로 여러 조건으로 검토를 실시하였다. 검토방안으로는 기설 배수문 개선, 배수기장 신설, 매립에 의한 최저답고 조정, 승수로 설치 등을 고려하였다(Table 3).

3. 침·관수 피해 재발 방지 검토 결과

침·관수시간이 허용 설계기준 범위에 들도록 군내지구 배수갑문 규모 확장, 수유지구

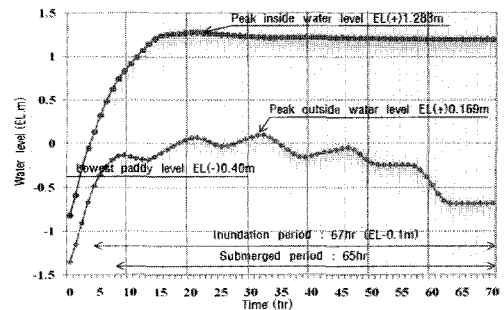
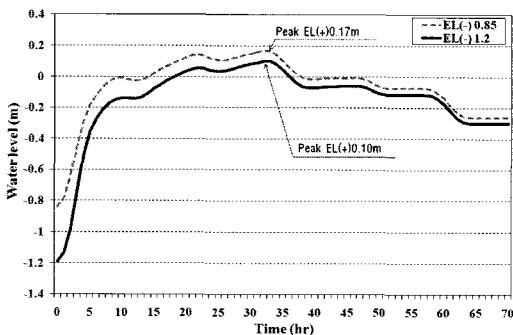


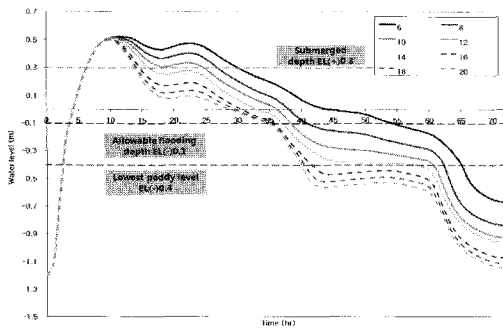
Fig 8. Effects of Different Management Water Levels of Gunne Lake on Suyu Water Level

Table 3. Scenarios for Flood Damage Prevention

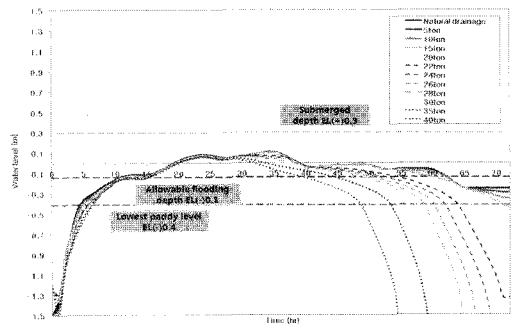
Watershed	Complementary measures
Gunnae	Sluice expansion
	Install drainage pumping station
Suyu	Box culvert expansion
	Replace box culvert to sluice gate
	Install drainage pumping station
	Landfill of lowest paddy
	Install catch canal

배수갑문 규모 확장, 군내지구 배수기장 신설, 수유지구 배수기장 신설의 4가지 안에 대해 침수분석을 실시하였다(Table 4). 침수분석 결과 기존의 Box 암거는 담수호 수위가 상승하여 잠관 흐름이 될 경우 통수 능력이 급격히 감소하여 침수피해를 유발 할 수 있으므로 인양비로의 교체가 필요 할 것으로 분석 되었다. 군내지구의 배수문확장에 대한 검토 결과는 배수갑문을 14련으로 확장하였을 경우 침수가 33시간, 허용 침수심을 고려하지 않으면 41시간으로 비경제적인 것으로 분석되었고, 수유지구의 배수문 확장은 10련으로 확장하였을 경우 침수 44시간, 허용 침수심을 고려하지

않으면 65시간으로 배수개선 효과가 없는 것으로 분석되었다. 다음으로 수유지구에 40m³/s의 배수기장을 신설하였을 경우 침수가 20시간, 허용침수심을 고려하지 않으면 42시간 발생하는 것으로 분석되었으나 군내 담수호로 배수시 군내지구의 침수가 우려되고, 침수방지 또한 군내 지구내 배수기장 신설보다 비효율적이었다. 따라서 침수방지를 강화하기 위해서는 군내 지구내 약 15m³/s 규모의 배수기장을 신설하는 것이 침수 20시간, 허용 침수심을 고려하지 않을 때 59시간으로 가장 효율적인 것으로 분석되었다(Fig 9). 또한 총 연장 약 15km의 승수로를 산을 따라서 신설하여



(a)



(b)

Fig 9. Effects of Installing Drainage Pumping Station at Suyu Lake(a) and Gunne Lake(b)

Table 4. Comparison of Flood Damage Mitigation Measures

Scenario	Gunnæ		Suyu	
	Sluice expansion	Drainage pumping station	Sluice expansion	Drainage pumping station
Discharge (m ³ /s)	-	15	-	40
Gunnæ sluice gate	5.0m × 3.0m × 14	5.0m × 3.0m × 6	5.0m × 3.0m × 6	5.0m × 3.0m × 6
Suyu sluice gate	5.1m × 3.7m × 8 (Flip gate)	5.1m × 3.7m × 8 (Sluice gate)	5.1m × 3.7m × 10 (Sluice gate)	5.1m × 3.7m × 8 (Sluice gate)
Peak stage of Suyu Inundation period Submerged period	EL(+) 0.502m 33 (41)hr 0(9)hr	EL(-) 0.006m 20 (59)hr 0hr	EL(+) 0.106m 44 (65)hr 0hr	EL(+) 0.053m 20 (42)hr 0hr
Analysis results	· Drainage improvement is not expected.	· Drainage improvement is expected. · Economically feasible.	· Drainage improvement is not expected.	· Drainage improvement is expected. · economically not feasible.
Remark		Recommend measures		

※ () Not considering allowable flooding depth

유역으로 유입되는 유입수를 바다로 직접 배제하는 방안이 검토되었으나 농민들의 동의를 얻는데 어려움이 있을 것으로 판단되었다.

4. 군내 및 수유 간척지 담수호 관리 개선 방안

침수 발생 시기인 7월 15일 ~ 16일 총 222 mm의 강우가 있었으며, 이 당시의 조위는 소조에 해당하며(Fig 10), 침수당시 관리수위는 EL(-) 0.85로 하절기 관리수위 EL(-)1.50 보다 다소 높게 관리되었다(Fig 11). 이는 담수호 수위 관리와 배수갑문 운영을 전담 인력이 부재하여 마을주민이 담당하고 있어 담수호 관리가 체계적으로 이루어지지 않고 있음을 보여준다. 특히 야간 및 휴일에 관리가 어려운 것으로 파악되었다. 또한 담수호 수위에 관한 연속자료가 저장 보관 되고 있지 못하고, 배수갑문 조작에 따른 관리 기록이 제대로 이루어지지 않는

것으로 나타났다. 지용근 등(2009)은 효율적인 농업용수 관리 및 운영체계 구축이라는 측면에서 농업용수관리자동화(Tele-Monitoring/Tele-Control) 시스템의 중요성을 밝힌바 있다. 따라서 서남해안지역 간척지의 경우 방재 차원에서 TM/TC(SCADA) system 등의 최신 시설을 도입하여 배수갑문 가동을 편리하고 효율적으로 관리해야 할 것으로 판단된다. 또한 Fig 12와 같이 수유지구 대부분의 배수로가 수초로 덮여 있는 상태로 배수에 악영향을 미치고 있는 것으로 판단되어 배수로 정비와 추후 지속적인 관리가 필요하다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 2009년 전라남도 진도군 진도읍 전두리와 군내면 나리 일대 간척지의 집중호우로 인한 침/관수 피해의 원인을 분석

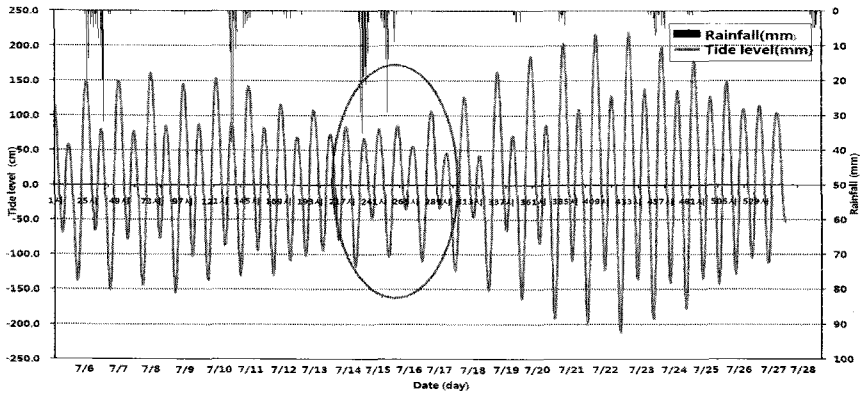


Fig 10. Rainfall and Tide Level During Inundation Period

하였다. 수유지구, 군내담수호, 외조위간의 담수해석 결과 20년 빈도 강우 시 소조기간 현재 담수호 관리 수위 조건에서는 수유지구 침수는 68시간, 관수는 64시간이 발생하는 것으로 분석 되었다. 기존의 Box 압거는 담수호 수위가 상승하여 잠관 흐름이 될 경우 통수 능력이 급격히 감소하여 침수피해를 유발 할 수 있으므로 문제점 개선을 위해 인양비로 교체하고 군내 지구내 약 15m³/s 규모의 배수기장을 신설하는 것이 침수기간을 20시간 내로 단축시키고 경제적으로도 가장 효율적인 것으로

분석되었다. 현장 조사 결과 배수로 정비 상태가 매우 불량하고, 현재 배수갑문 조작 및 운영을 마을 주민이 담당하고 있어 담수호 수위 및 배수 관리의 전문성이 결여 되어 있어, 수유지구 침수방지를 위해서는 담수호 관리시스템의 개선이 시급하였다. 이를 위해서는 TM/TC와 같은 자동화된 시스템과 전문 관리 인력이 필요 할 것으로 판단되었다. 또한 최근 강우강도 증가로 설계시 유입홍수량을 초과할 가능성이 커지고 있고 기후변화 영향으로 과거에 비해 조위가 상승하고 있어 서남해안 지역

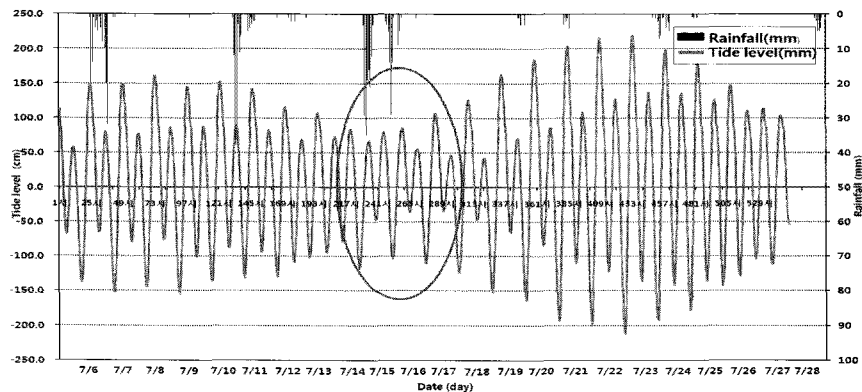


Fig 11. Management Water Level and Tide Level During Inundation Period

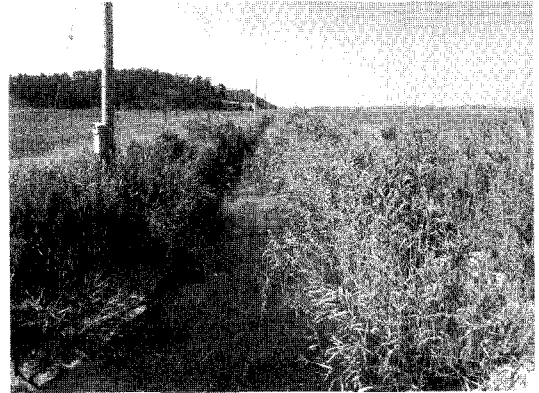
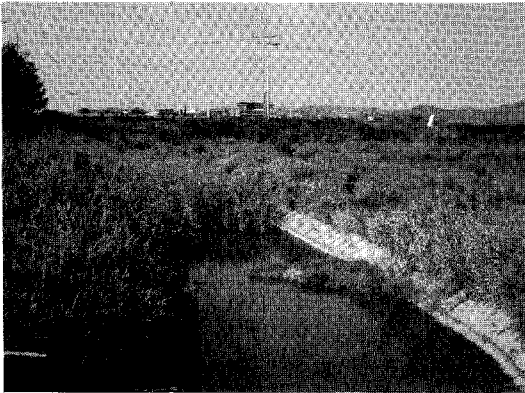


Fig 12. Management Condition of Drainage Canal in Suyu Watershed

간척지 배수개선 사업은 재해 방지 차원에서 다루어 져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김기성, 최예환, 유능환, 최종대, 1999, 홍수에 의한 농경지 침수방지 대책, 환경연구, Vol.16, No.0, pp.489~501.
2. 남상운, 김태철, 김대식, 2010, 금강변 저지대 시설 원예단지의 침수피해 실태와 개선방안 조사 연구, 한국농공학회, Vol. 52, No. 3, pp.47~55.
3. 농림수산부 농업진흥공사, 1990, 서남해안 간척지 개발사업 군내지구 기본계획서.
4. 박인환, 장갑수, 서동조, 2005, 상습침수 농경지의 토지평가를 위한 고도별 침수 잠재성 분석, 한국조경학회지, Vol.33, No.2, pp.71~82.
5. 이정민, 이상호, 강태욱, 2008, SWMM5UNET 모형을 이용한 신항만 저지대 침수분석, 한국물 환경학회, Vol. 24, No.4, pp.442~451.
6. 이진영, 조완희, 한건연, 안기홍, 2010, 추계학적 강우변동생성 기법과 GIS를 연계한 2차원 침수해석, 한국지리정보학회, Vol. 13, No.1, pp.101~113.
7. 전계원, 이호진, 2007, 저지대 농경지의 홍수범람 분석, 한국농공학회논문집 제49권 제2호 pp.17~24.
8. 정원교, 임상규, 김무성, 1999, LANDSAT-TM 자료를 이용한 경기도 연천지역의 홍수후 농경지 변화 추정, 한국국제농업개발학회지, Vol.11, No.2, pp.155~160.
9. 지용근, 김선주, 김필식, 2009, 농업용수관리자동화 시스템의 용수절감효과에 대한 경제적 가치 평가, 한국농공학회, v.51, no.4 pp.1~6.
10. 전라남도 진도군 농어촌진흥공사, 1996, 수유지구 배수개선사업계획서.
11. 진도군, 2008, 서남해안 간척사업 군내지구 준공 기록지.