

천변저류지 조성에 따른 수리·수문분석

Hydraulic and Hydrologic Analysis by Washland Construction

김 덕 길* / 경 민 수** / 김 상 단*** / 김 형 수****

Kim, Duck Gil / Kyoung, Min Soo / Kim, Sang Dan / Kim, Hung Soo

Abstract

Recently, we have a growing interest in the washland construction for the function of flood defense in flood season and also as an ecosystem in non flood season. Therefore this study performed the hydraulic and hydrologic analysis for washland construction plan as sustainable flood defense alternative in flood season and wetland application possibility. The study area is Topyoung-cheon basin in Changnyeong-gun, Gyeongnam. A Topyoung-cheon basin includes a Woopo wetland which is the largest nature wetland in Korea and a Topyoung-cheon is one of the tributaries of Nakdong river. We assume that the artificial washland is constructed in upperstream and downstream of Woopo wetland, and In flood season, the hydraulic analysis for the investigation of the effectiveness of flood level mitigation is performed by HEC-RAS model. Simulation of model is performed from 7 scenarios of washland construction. As the result in flood season, the flood level is reduced by maximum 0.56 meter as we construct the washlands by 7 scenarios. Also, we performed hydrologic analysis for the investigation of water balance in washland in non flood season using SWAT model. From the result of water balance analysis, we found that the minimum water level of washland was maintained in about 1.3 meter for one year.

keywords : washland, Woopo wetland, flood season, non flood season, HEC-RAS, SWAT

요 지

최근에 홍수조절 기능과 비홍수기의 생태적 측면으로써 천변저류지에 대한 관심이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 지속가능한 홍수방어 대안으로 천변저류지 조성방안에 대한 검토와 조성된 천변저류지에 대한 습지로의 활용 가능성을 검토하기 위한 수리·수문 분석을 수행하였다. 대상지역은 경상남도 창녕군의 토평천 유역이다. 토평천 유역에 국내 최대 내륙 습지인 우포늪이 포함되어 있으며, 토평천은 낙동강의 지류이다. 천변저류지는 우포늪 상류와 하류에 조성하는 것으로 가정하였으며, 홍수기의 홍수위저감효과를 알아보기 위한 수리분석은 HEC-RAS모형을

* 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정

Ph.D. Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: k1004dk@hanmail.net)

** 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정

Ph.D. Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: gigatg@inha.ac.kr)

*** 부경대학교 환경시스템공학부 조교수

Assistant Prof., Dept. Environ. Syst. Engrg., Pukyong National Univ., Pusan 608-737, Korea
(e-mail: skim@pknu.ac.kr)

**** 인하대학교 사회기반시스템공학부 부교수

Associate Prof., Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: sookim@inha.ac.kr)

이용하였다. 모형의 모의는 천변저류지 조성 시나리오 7가지에 대하여 수행하였다. 그 결과 모의 시나리오 중에서 최대 0.56 m의 홍수위가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, SWAT모형을 이용하여 비홍수기에 천변저류지의 물수지 분석을 위한 수문분석을 수행하였으며, 물수지 분석 결과 1년 동안에 천변저류지의 최저수심이 1.3 m(세진지역)정도 유지되는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 천변저류지, 우포늪, 홍수기, 비홍수기, HEC-RAS, SWAT

1. 서론

기존의 하천 재해관련 대안에서는 제방의 직선화와 정비 위주의 1차원적인 사업을 통하여 홍수량을 신속히 바다로 유출시키고자 노력해 왔다. 그러나 지구 온난화로 인한 기상이변, 유역 주변지역의 토지이용 변화, 제방위주의 하천정비사업에 따른 하류지역의 홍수량 집중등으로 인하여 기존의 제방을 이용한 홍수방어 대안은 그 한계점을 드러내고 있다. 또한, 하천주변의 인구 집중화와 도시화는 홍수피해의 잠재성을 증대시키고 있다. 따라서 최근에는 유역종합치수계획에 의해 홍수량을 유역 내에 분담시키고자 하는 노력을 수행하고 있는데, 이는 면적 개념의 2차원적인 홍수량 분담을 통해 하천의 부담을 줄이고 하천 범람으로 인한 홍수피해의 잠재성을 경감시키고자 하는 것이다(건설교통부, 2005b). 이를 바탕으로 최근 국내에서는 천변저류지를 활용한 화포천 유역에서의 홍수조절능력에 관한 연구(박창근 등, 2007), 천변저류지 조성계획에서 수문 및 수리적 운영에 관한 고찰(안태진 등, 2007), 천변저류지 조성 및 활용방안(김형수 등, 2006) 등과 같이 홍수기에 홍수량을 유역 내에 분담시키기 위한 방안으로 천변저류지 조성 방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 이와 더불어 홍수 방어를 위해 조성된 천변저류지를 환경적인 측면에서 비홍수기에 습지로의 활용 방안에 대해서 검토하고자 하는 연구가 일부 진행되었다.

따라서 본 연구에서는 수리학적 분석 방법을 통하여 천변저류지 조성에 따른 홍수위저감효과를 살펴보고, 수문학적 분석인 물수지 분석을 통하여 천변저류지내 수심변화를 검토함으로써 홍수 방어를 위해 조성된 천변저류지가 비홍수기에 습지로 활용하는 것이 가능한가를 살펴보고자 한다.

2. 대상 유역

본 연구의 대상유역인 토평천 유역은 낙동강의 제 1 지류로서 하구로부터 상류 약 108km 지점의 좌안에서 유입하는 지방2급 하천으로 동경 128°26' ~ 128°36', 북위 35°33' ~ 35°37' 사이에 위치하고 있다. 유역면적

은 123.97 km²이고 하천연장은 29.570 km이다. 토평천 유역의 상류부는 왕령산(EL. 428.6 m), 열왕산(EL. 662.5 m), 관룡산(EL. 739.7 m) 및 화왕산(EL. 756.6 m)으로 이어지는 고산들이 분수령을 이루고 있으나, 우포늪이 위치한 중·하류부에서는 지형적으로 분수계가 불명확해지면서 북으로는 지방 2급 하천인 연창천, 남으로는 창녕천 유역과 접하면서 남서측 경계를 이루는 낙동강과 연결된다. 그리고 현재 토평천 유역에는 우포늪(1,278,285 m²), 목포(530,284 m²), 사지포(364,731 m²)와 쪽지벌(139,626 m²)로 전체 2,132,926 m²의 늪지대를 포함하고 있다. 또한 이 유역의 연평균 기온은 13.2 °C이며, 평균 강수량은 1,112.5 mm로 우리나라의 연평균 강수량 1,283 mm의 약 87%에 해당하는 과우지역이다(건설교통부, 2004).

본 연구에서 조성하고자 하는 천변저류지의 위치는 토평천 유역에 위치한 우포늪을 중심으로 하는 주변지역으로 Fig. 1에 나타나 있는 것과 같다. 모곡, 세진, 대대지역의 경우는 현재 농지로 이용되고 있는 지역에 추가적으로 천변저류지를 조성하는 것이며, 이 대상지역들의 면적은 각각 모곡 2,806,200m², 세진 2,426,400m², 대대 3,627,900m²로 이는 DEM자료를 이용하여 산출된 면적이다. 또한 모곡, 세진, 대대지역에 천변저류지를 조성하게 된 이유는 현재 위치하고 있는 우포늪 주변으로 현재 농지로 사용되고 있으며, 주변 관계자들과의 협의를 통하여 추가적인 천변저류지 조성지역으로 적당하다고 판단되어 선정하게 되었다. 그리고 사지포와 목

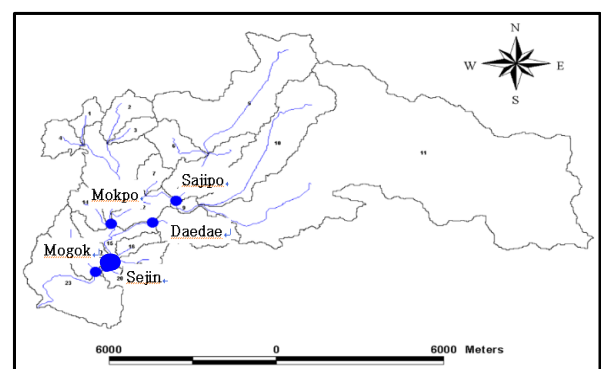


Fig. 1. Study Area

포지역의 경우는 현재 습지의 형태를 갖추고 있으나 우포늪과는 연결되어 있지 않고 차단되어 있어 토평천과 직접적으로 연결되어 있는 지역이 아니다.

3. 모형 구축

3.1 HEC-RAS 모형 구축

천변저류지 구성에 따른 홍수위저감효과를 분석하기 위하여 HEC-RAS 모형을 이용하여 부정류 해석을 실시하였다. 부정류 해석을 위한 모형의 구축은 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

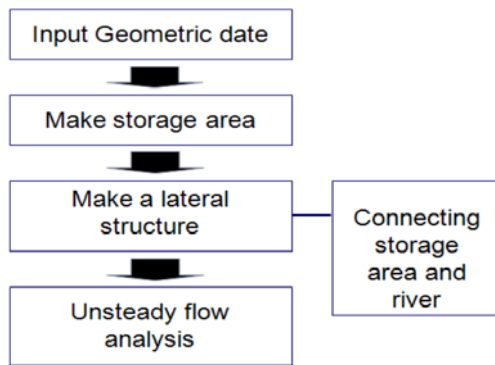


Fig. 2. Procedures of HEC-RAS Model

모형의 구축에 있어서 지형자료는 대상유역인 토평천 유역의 각 단면자료를 입력하여 구성하였다. 경계조건으로는 토평천의 빈도별 유량수문곡선을 이용하여 내부경계조건을 입력하였으며, 하류단 경계조건으로는 토평천 유역의 하류부가 낙동강 본류와 만나기 때문에 낙동강 본류의 수위(EL. 18.28 m)를 사용하였다. 그리고

천변저류지의 조성은 HEC-RAS 모형에서의 Storage Area 기능을 이용하였으며, 이 때 저류지의 제원은 고도별 누가체적을 입력하도록 되어 있어 Table 1과 같이 유역내 저류지 조성 대상지역에 대한 고도별 누가체적을 입력하여 저류지를 구성하였다.

하도와 저류지를 연결하는 축방구조물로는 HEC-RAS 모형에서 제공되는 웨어, 수문, 압거 등이 있다. 이 중에서 웨어를 사용하였으며, 웨어의 폭은 삼교천 유역종합치수계획(건설교통부, 2005a)에서 저류지를 이용한 홍수위저감효과 검토시에 사용한 90 m로 가정하여 구성하였는데 이와 같은 이유는 웨어의 폭을 변화하여 홍수위저감효과를 분석해 보았으나 웨어의 폭에 비하여 웨어의 높이에 따른 홍수위저감효과가 더 크게 나타나는 것으로 분석되어 웨어의 폭을 위에서 언급한 90 m로 가정하여 웨어의 높이를 산정하였다. 따라서 웨어의 높이는 대상유역의 80년과 100년 빈도일 때 홍수위가지점별로 18.28~19.26 m임을 감안하여 웨어의 높이를 16~20 m 사이에서 0.1 m 간격으로 변화시키면서 홍수위저감효과를 모의하였다. 모의 결과를 이용하여 최종적인 웨어높이를 선정하였다.

3.2 SWAT 모형 구축

조성된 천변저류지를 비홍수기에 습지로의 활용하는 방안을 검토하기 위하여 수문분석은 SWAT 모형을 이용하여 물수지 분석을 수행하였다. 수문분석을 위한 SWAT 모형의 구축 절차는 아래 Fig. 3과 같다.

모형 구축 절차는 크게 입력자료 구축, 매개변수 추정 단계로 나눌 수 있다. 수문분석을 위한 기상자료는 강우량, 일사량, 풍속, 습도, 기온으로 총 5가지의 자료가 필요하다(Neitsch, 2002). 본 연구에서의 기상자료는

Table 1. Accumulation Volume for Each Altitude

altitude	Accumulation volume (m ³)				
	Mogok	Sejin	Daedae	Sajipo	Mokpo
9	-	0	0	-	-
10	0	104,930	139,265.6	0	0
11	72,259.65	351,522.1	466,548.7	20,093.45	38,641.73
12	291,283.6	668,742.8	887,571.7	94,896.77	159,581.5
13	658,895.8	1,061,994	1,409,504	261,612.7	443,052.5
14	1,190,811	1,548,291	2,054,929	580,322.6	1,024,743
15	1,873,279	2,153,833	2,858,619	1,092,009	1,958,339
16	2,626,042	2,841,887	3,771,821	1,762,056	3,114,051
17	3,399,290	3,565,188	4,731,804	2,561,815	4,372,119
18	4,191,621	4,328,327	5,744,661	3,497,254	5,732,249
19	5,003,873	5,134,141	6,814,156	4,588,865	7,217,743
20	5,839,422	-	-	5,918,017	8,916,504

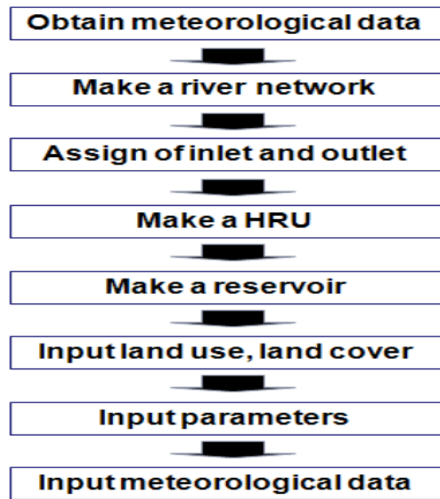


Fig. 3. Procedures of SWAT Model

Thiessen법을 고려하여 대상유역이 각 관측소들의 지배면적에 포함되는 것이 바람직하다고 판단하여 밀양, 진주, 영천 기상관측소의 일 자료를 이용하였다. 하천망은 대상유역인 토평천 유역의 DEM자료를 이용하여 구성하였으며, 저류지를 조성하고자 하는 지역에 유출구와 유입구를 생성하여 토평천 유역을 소유역으로 분할하고 저류지를 생성하였다.

SWAT 모형에서의 매개변수 중에서 Eckhardt and Arnold(2001)가 제시한 SWAT 모형의 매개변수 분류를 정리하여 유출 및 증발산에 영향을 미치는 매개변수로 Ground water의 매개변수 4개, HRU General 매개변수 1개, Soil 매개변수 2개, Main Channel 매개변수

3, Management 매개변수 3개, 총 13개의 매개변수에 대하여 대상유역의 유출량을 토대로 시행착오법을 이용하여 민감도 분석을 수행하였다. 대상유역의 유출량은 실제관측치 자료가 제공되고 있지 않기 때문에 토평천 하천정비기본계획(건설교통부, 2004)에서 산정하여 제시하고 있는 월평균유출량을 이용하였으며, 민감도 분석에 따른 유출 및 증발산에 영향을 미치는 매개변수를 선정한 후 Table 2와 같이 보정하였다.

또한, SWAT 모형에서 조성한 천변저류지의 초기값은 HEC-RAS 모형을 이용하여 산정하였으며, 2년 빈도에 대한 저류지 용량을 사용하였다(Table 3).

4. 천변저류지 조성에 따른 수리-수문분석

본 연구는 천변저류지 조성에 따른 홍수기 수위저감 효과 분석을 위하여 HEC-RAS 모형을 이용하여 수리 분석을 수행하였으며, 조성된 천변저류지를 비홍수기에 습지로의 활용가능성이 있는지를 검토하기 위하여 SWAT 모형을 이용한 수문 분석을 수행하였다.

4.1 천변저류지 조성에 따른 홍수위저감효과

천변저류지 조성에 따른 홍수기의 홍수위저감효과를 분석하기 위하여 대상유역인 토평천 유역 내에 천변저류지를 조성하였으며, 조성지역은 토평천 유역에 위치한 우포늪 주변지역으로 모곡, 세진, 대대, 사지포, 목포 지역이다. 모곡, 세진, 대대지역은 천변저류지를 조성하는 경우로 가정하였으며, 사지포와 목포지역은 수문과

Table 2. Parameter Calibration in SWAT Model

Classification	Parameter	The lowest value	The upper value	Calibration value
Ground Water	ALPHA_BF	0	1	0.1
	GWQMN	0	5000	4000
	GW_REVAP	0.02	0.2	0.02
	REVAPMN	0	500	100
HRU General	ESCO	0	1	0.95
Soil	TLAPS	0	50	-
	SOL_AWC	0	1	▽25
Main channel	CH_K2	-0.01	150	93.74
Management	BIOMIX	0	1	0.3
	USLE_P	0.1	1	0.23
	CN_2	35	98	▽30

※ ▽는 해당 Parameter에 포함된 각 항목별 기본 설정값이 다르므로 각 항목별 감소치를 나타냄

Table 3. Storage Volume for Each Study Areas

(Unit : 1000m³)

Frequency	Mogok	Sejin	Daedae	Sajipo	Mokpo
2	1462.26	1788.96	2374.84	783.84	1396.08

배수펌프장에 의해 인공적으로 운영되는 습지를 우포늪과 연결하는 것으로 가정하여 모의하였다. 이 5개 지역에 대한 모의 시나리오는 Table 4와 같다.

Table 4. Analysis Scenario of HEC-RAS Model

Scenario	Content
CASE 1	Nothing Washland
CASE 2	Washland construct in Mogok
CASE 3	Washland construct in Sejin
CASE 4	Washland construct in Daedae
CASE 5	Connection Sajipo and Woopo
CASE 6	Connecting Mokpo and Woopo
CASE 7	Simulation from case 2 to case 6

위의 7가지 시나리오를 바탕으로 80년 빈도와 100년 빈도에 대한 홍수위저감효과를 분석하였으며, 홍수위저감효과를 분석하기 위하여 측방구조물인 웨어를 통하여 하도와 천변저류지가 연결된 모곡, 세진, 대대지역을 대상으로 웨어의 적정 높이를 결정한 후 각각의 웨어 높이에 따른 홍수위저감효과를 비교하였다. 사지포와 목포지역의 경우는 이 지역에 설치된 수문과 배수펌프장을 제거하여 우포늪과 연결하는 시나리오로써 우포늪의

하상고와 같은 높이로 사지포의 경우는 10m, 목포지역의 경우는 8m로 결정하였다. 모곡, 세진, 대대지역의 경우는 위에서 언급했듯이 16~20m 사이를 0.1m 간격으로 변화를 주어서 주요지점에서의 수위저감효과가 최대가 되는 높이로 결정하였다. 모곡, 세진, 대대지역의 결정된 웨어의 적정높이는 지역별로 80년 빈도와 100년 빈도에 대하여 모곡과 세진지역의 경우 17.1m이며, 대대지역의 경우 16.9m로 동일하게 분석되었다.

또한, 위에서 산정된 웨어의 높이에 대한 빈도별 홍수위저감효과를 주요지점별로 살펴보면 Table 5과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 주요지점인 지점 3.0은 세진지역의 하류, 지점 5.4는 우포늪 하류, 그리고 지점 11.38은 토평천 상류를 말한다.

천변저류지 구성에 따른 주요지점별 수위변화를 살펴보기 위하여 위의 시나리오 중에서 CASE 1과 홍수위저감효과가 가장 크게 나타난 CASE 7에 대하여 주요지점의 수위를 그래프로 나타내면 Figs. 4 and 5로 나타낼 수 있다.

4.2 천변저류지의 유지유량 검토를 위한 수문분석

천변저류지 조성지역인 모곡, 세진, 대대지역에 천변저류지를 조성하였을 경우에 이 지역들을 비홍수기에

Table 5. Flood Level Mitigation

(Unit : m)

Control Point	Frequency (year)	CASE 2 (Mogok)	CASE 3 (Sejin)	CASE 4 (Daedae)	CASE 5 (Sajipo)	CASE 6 (Mokpo)	CASE 7 (All area)
point 0.0	80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
point 3.0	80	0.20	0.19	0.23	0.06	0.08	0.43
	100	0.20	0.20	0.24	0.06	0.08	0.45
point 5.4	80	0.24	0.25	0.29	0.07	0.10	0.54
	100	0.24	0.25	0.30	0.07	0.10	0.56
point 11.38	80	0.16	0.16	0.19	0.07	0.09	0.35
	100	0.16	0.17	0.20	0.08	0.10	0.37

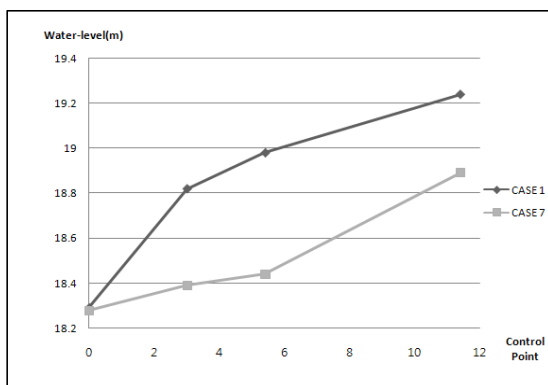


Fig. 4. Water-level Graph (80year)

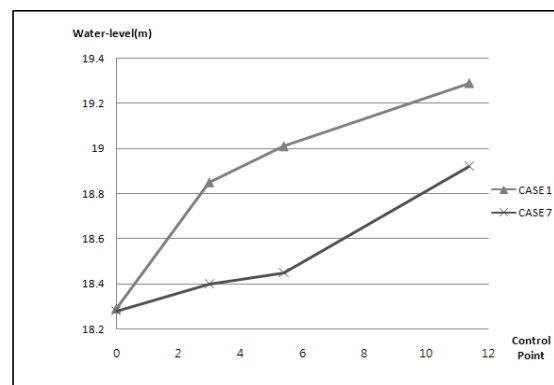


Fig. 5. Water-level Graph (100year)

습지로 활용할 수 있는지를 검토하기 위하여 물수지 분석을 통한 천변저류지의 유지유량을 검토하였다. 물수지 분석은 SWAT모형을 이용하였으며, 모의기간은 2004년 8월부터 2005년 7월까지로 총 1년의 기간으로 평상시 습지로의 활용 가능성을 검토하기 위하여 2년 빈도 저류량을 초기값으로 하여 모의를 수행하였다.

본 연구의 모의기간 동안의 천변저류지 구성에 따른 대상유역의 증발량과 유출량을 검토하였으며 증발량과 유출고의 결과 값은 Table 6과 같으며, 증발량과 유출량은 대상유역의 단위면적당 일평균 결과 값의 1년 동안의 합을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 증발량의 경우 천변저류지를 조성했을 때가 더 많은 것으로 나타났으며, 유출량은 천변저류지를 조성하지 않았을 경우가 더 많은 것으로 나타났다.

저류지내 유지유량의 정도를 파악하기 위하여 각 천변저류지의 1년 동안의 수심변화를 모의 분석하였다. 이때의 유지유량 검토는 저류지내에 유입된 유량이 기상조건에 의해서만 손실되는 것으로 가정하여 분석하였

다. 따라서, 본 연구에서의 천변저류지 조성 지역인 모곡, 세진, 대대지역의 수심변화는 아래 Figs. 6~8에 나타내었다.

위의 수심변화 그래프를 살펴보면, 대대지역의 경우 수심변화가 약 5.5m에서 거의 바닥까지 감소하는 것으로 나타났으며, 세진지역의 경우는 최소 1.3m 정도는 유지되는 것으로 나타났고, 모곡지역의 경우 역시 최소 0.3m 이상의 수심을 유지하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 천변저류지 구성에 따른 홍수위저감효과를 분석하였으며, 조성된 천변저류지를 비홍수기에 습지로 활용 가능한지를 HEC-RAS 모형과 SWAT 모형을 이용하여 검토하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) 하도와 천변저류지를 연결하는 웨어의 높이는 홍수위저감효과에 상당한 영향을 주는 요소이며 경

Table 6. The Difference of Rainfall, Evaporation, Outflow for Unit Area

	No Washland	Washland
Rainfall	976 mm	976 mm
Evaporation	416.87 mm	464.03 mm
Outflow	475.62 mm	367.29 mm

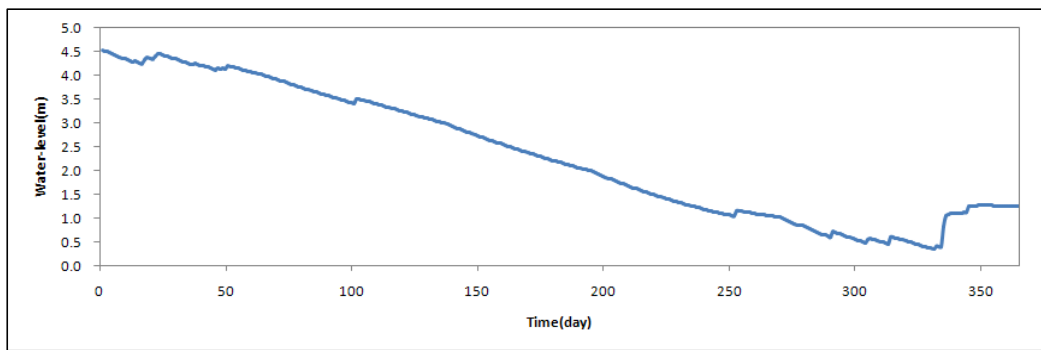


Fig. 6. Variation of Water-level in Mogok (2004. 8~2005. 7)

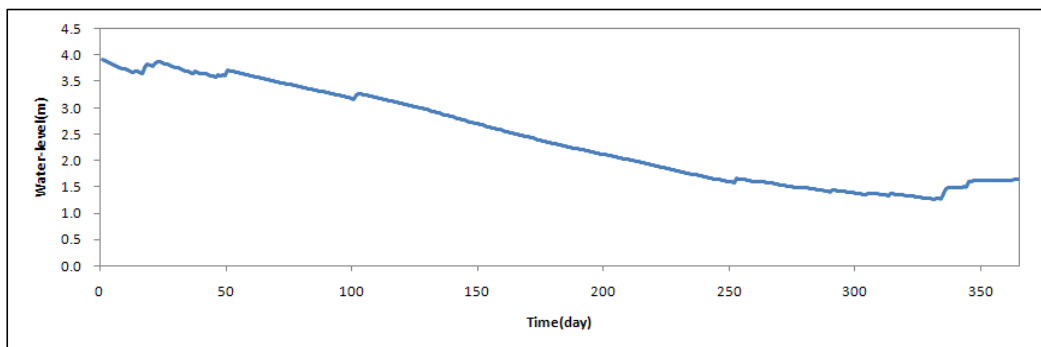


Fig. 7. Variation of Water-level in Sejin (2004. 8~2005. 7)

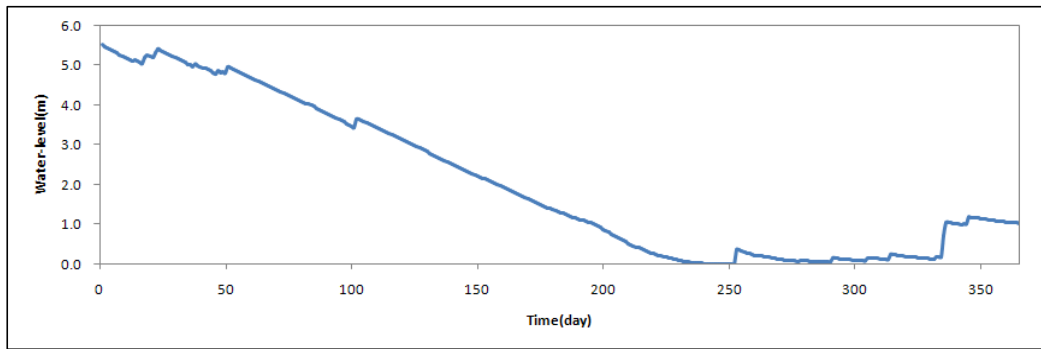


Fig. 8. Variation of Water-level in Daedae (2004. 8~2005. 7)

험적 방법을 통하여 적정 웨어의 높이를 결정할 수 있었다. 웨어의 높이가 중요한 이유는 홍수위보다 너무 높을 경우에는 저류지에 저류되는 용량이 감소하게 되며, 너무 낮을 경우에는 침투에 도달하기 전에 저류지가 포화되어서 수위저감효과를 기대할 수 없기 때문이다.

- 2) 분석결과 하류부로 갈수록 홍수위저감효과가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 하류로 갈수록 소유역 및 하도를 통해서 유입되는 유출량이 증가하게 되고 이는 하천 유량에 직접적으로 영향을 미치게 되어 수위저감효과를 감소시키는 원인으로 작용하여 천변저류지에 위한 저감효과는 그다지 크지 않은 것으로 판단된다.
- 3) 조성된 천변저류지의 물수지 분석 결과 천변저류지 조성에 따라 유역 전체의 유출량과 증발량이 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 대상유역에 강우에 의해 발생된 유량이 천변저류지에 저류되면서 일정기간 동안 침투와 증발작용을 하게 되고 이러한 작용의 결과로 유출량과 증발량의 변화가 생기는 것으로 생각된다.
- 4) 세진과 모곡지역에 천변저류지를 조성하였을 경우의 수심변화를 살펴보면 강우에 의해 저류된 유량이 일정 수준의 수심을 유지하는 것을 알 수 있었으나 대대지역의 천변저류지의 경우는 저류된 유량이 대부분 소멸되는 것으로 모의되었다. 따라서 세진과 모곡지역에 조성된 천변저류지의 경우 비홍수기에 습지로의 활용이 가능할 것으로 생각되며, 대대지역에 천변저류지를 조성하여 비홍수

기에 습지로 활용하기 위해서는 추가적인 천변저류지 운영에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2004). 토평천 하천정비기본계획.
- 건설교통부(2005a). 삼교천 유역종합치수계획.
- 건설교통부 (2005b). 천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구.
- 김형수, 경민수, 김상단, 이진행 (2006). “천변저류지 조성 및 활용방안.” **한국수자원학회 06 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 83-88.
- 박창근, 박재현, 이종진 (2007). “천변저류지를 활용한 화포천 유역에서의 홍수조절능력에 관한 연구.” **한국수자원학회 07 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 331-335.
- 안태진, 김정섭, 강인용, 김복천 (2007). “천변저류지 조성계획에서 수문 및 수리적운영에 관한 고찰.” **한국수자원학회 07 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 956-960.
- K. Eckhardt, J.G. Arnold (2001). Automatic calibration of a distributed catchment model, *Journal of hydrology*, Vol. 251, pp. 103-109.
- S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, K.W. King (2002). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2000. pp. 415-416.

(논문번호:07-151/접수:2007.12.20/심사완료:2008.03.20)