

# 천변저류지 조성에 따른 토평천 유역의 저류량 분석

김 재 철\* / 유 재 정\*\* / 김 상 단\*\*\*

## A Study on Storage Analysis of Topyeong Stream Watershed by Washland Construction

Jae Chul Kim\* / Jae-Jeong Yu\*\* / Sangdan Kim\*\*\*

**요약** : 최근 하수처리, 홍수조절, 광산침출수, 농업유출수 등의 처리에 습지를 이용하려는 시도가 증가하고 있다. 하지만 장기모니터링의 어려움으로 인해 습지에 대한 장기간의 자료들이 부족하여 습지의 올바른 이용이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 장기간의 자료 생성을 목적으로 한 수문분석의 일환으로 장기유출 수문모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)모형을 이용하여 토평천 유역의 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌에 대한 저류량을 모의하였다. 이를 바탕으로 토평천 유역에 천변저류지를 조성하는 가상 시나리오를 작성하여 조성된 천변저류지의 저류량 거동을 분석하였다. 천변저류지의 조성에 따른 우포늪의 저류량 변화를 분석한 결과 천변저류지 조성에 따라 우포늪도 일정 정도의 영향을 받을 수 있음이 파악되었다.

**핵심용어** : 저류량, SWAT, 습지, 천변저류지

**Abstract** : In recent days, the cases of using wetlands in treating waste water, storm events, mining leachate, and agriculture effluents are increasing. But there is the lack of the data for wetlands because of the difficulty in long term monitoring. Such an aspect makes the proper use of wetland impractical. In this study for the purpose of generating a long term hydrologic data, the time series of storage amount for Upo, Mokpo, Sajipo, and Jjokjibeol in Topyeong watershed is simulated using SWAT model. Based on the SWAT-Topyeong model involved in several scenarios for constructing new washlands in Topyeong watershed, the temporal behavior of new washlands is analyzed. It is also revealed that the constructed washland can affect the Upo in some degrees.

**Keywords** : Storage, SWAT, Wetland, Washland

### 1. 서 론

습지란 간헐적으로 침수되는 육지 생태계와 수 생태계의 중간지대에 위치하는 전이 생태계로서, 이러한 지리적 위치로 인하여 도시지역이나 농촌 지역의 유출수를 포함한 강우유출수가 모여드는 우수지로서의 기능을 하게 된다(이경미, 2007). 과거에 습지는 농사를 짓지 못해 방치해도 되는 쓸모없는 땅으로 인식되었지만 환경문제가 대두되

고 있는 현재에는 생태학적 보전 필요성과 활용도가 높은 귀중한 환경 자산으로 인식되고 있다.

습지가 가지는 주요 기능으로는 풍부한 생물 다양성과 이에 따른 높은 생산성, 오염물질 정화 기능, 홍수 조절기능, 생태관광자원으로서의 기능 등이 있다.

우리나라는 강수량의 70% 정도가 여름철에 집중하여 발생한다. 이러한 강수특성에 의하여 매년 여름철이면 홍수에 의한 피해를 겪고 있으며, 또한

+ Corresponding author : dynamic@pknu.ac.kr

\* 비회원 · 부경대학교 환경시스템공학부

\*\* 비회원 · 국립환경과학원 낙동강물환경연구소

\*\*\* 정회원 · 부경대학교 환경시스템공학부

겨울철에는 가뭄에 의한 피해를 겪고 있다. 또한 1960년대 이후 급속한 산업 발전으로 인하여 하천 주변에 조성되어 있는 습지를 파괴하고 농경지 등을 조성함에 따라 여름철 홍수로 인한 피해를 더욱 가중시켜왔다.

이러한 문제들을 해결하고자 과거에는 다목적 댐을 건설하였으나, 최근에는 다목적 댐 건설에 따른 환경 문제와 사회적인 문제로 인하여 댐 건설에 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 그 대안으로 하천 주변에 천변저류지를 조성하여 강우 유출수를 저류하는 방법과 소규모의 홍수조절용 댐을 건설하는 방안이 제시되고 있다(한건연 등, 2005).

천변저류지란 일반적으로 과거 농경지 조성 및 보호를 목적으로 기존 범람지에 제방을 축조함으로써 홍수조절 기능을 상실한 구 하도를 복원하여 원래의 홍수조절 기능을 수행할 수 있도록 하는 저류지의 개념으로 설명하고 있다(건설교통부, 2004).

이러한 천변저류지 구성에 따른 홍수조절에 관한 연구들이 많이 진행되고 있는데 그 예로 우포늪을 대상으로 하여 우포늪의 생태치수 기능을 개선하기 위하여 천변저류지 구성에 관한 연구(김형수 등, 2007), 천변저류지를 통한 홍수조절 효과 분석(전경수, 2007), 하천에서 천변저류지의 홍수 저감효과 분석(한건연 등, 2005) 등과 같은 연구들이 진행되고 있다. 하지만 장기모니터링의 어려움으로 인해 습지에 대한 장기간의 자료들이 부족하여 습지의 올바른 이용이 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 장기간의 자료 생성을 목적으로 한 수문분석의 일환으로 장기 유출 수문모의 모형인 SWAT 모형을 이용하여 토평천 유역을 중심으로 우포늪, 목포, 사지포, 쪽지벌에서의 장기간 습지의 저류량 변동을 살펴보았다. 또한 대상 유역에 천변저류지 조성 시나리오를 작성하여 모의를 실시하였으며, 시나리오 별 모의 결과를 토대로 천변저류지 구성에 따른 우포늪의 저류량 변화와 조성된 천변저류지의 거동을 분석하였다.

## 2. 재료 및 연구방법

### 2.1 대상 유역의 위치 및 특성

대상유역인 토평천 유역은 낙동강의 제 1지류로서 하구로부터 상류 약 108km 지점의 좌안으로 유입하는 지방 2급 하천으로 동경 128°26'~128°36', 북위 35°33'~ 35°37'사이에 위치하고 있다. 유역의 면적은 123.17km<sup>2</sup>이고 하천연장은 30km이다. 토평천 유역의 상류부는 왕령산(EL. 428.6m), 열왕산(EL. 662.5m), 관룡산(EL. 739.7m) 및 화왕산(EL. 756.6m)으로 대부분 산지로 이루어져 있으나, 중하류부에서는 북으로는 지방 2급 하천인 현창천, 남으로는 창녕천 유역과 접하면서 남서측 경계를 이루는 낙동강과 연결된다. 그리고 유역의 중하류부에는 람사르(Ramsar) 협약에 가입되어 관리되고 있는 우포, 목포, 사지포, 목포 등 4개의 습지가 위치하여 생태계보전지역으로 지정되어 있다(건설교통부, 2004).

Fig. 1은 연구대상 지역의 위성사진과 지도를 나타낸다.

### 2.2 사용된 자료

토지 이용도는 래스터형 자료로써 국가수자원 관리 종합정보시스템(WAMIS, www.wamis.go.kr)에서 제공하고 있는 Landsat 영상을 이용하여 분석된 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 2000년의 피복 분류기준년의 토지 이용도를 이용하였으며, 공간해상도는 30 m×30 m이다. 사용된 토지 이용도는 수역, 시가화 지역, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭 등 총 8개 지목으로 분류되어 있다. 토양도 또한 WAMIS에서 제공하는 개략도양도 자료를 사용하였다.

기상자료는 기상청에서 제공하는 자료를 사용하였다. 토평천 유역 근처에 위치하고 있는 밀양 기상청과 함천 기상청의 자료를 Thiessen 면적가중을 고려하여 강수자료를 비롯한 최고기온, 최저기온, 상대습도, 평균 풍속 등의 기상자료들을 구축하였다. 일사량의 경우 밀양과 함천의 정확한



Fig. 1. Satellite photograph and location of Topyeong stream

Table 1. Waste water treatment plants in Topyeong watershed

Province	County	Township	Waste water treatment plant	Plant capacity(m <sup>3</sup> /d)
Gyeong sangnam-do	Chang nyeong-gun	Daehap-myeon (Pyeongji-ri)	Moji Waste water treatment plant	65
			Pyeongji Waste water treatment plant	70
		Daeji-myeon (Seok-ri)	Seokdong Waste water treatment plant	60

자료가 없기 때문에 안동의 일사량 자료를 사용하였다. 기상자료에 대한 자료기간은 1986년부터 2006년까지이다. 유역 내 환경기초시설로부터 배출되는 방류량과 각종 취수장에서 취수되는 취수량은 경상남도의 오염총량관리 기본계획(2005)에 수록되어있는 자료를 전용하였으며, Table 1에 적용된 환경기초시설의 기본정보를 수록하였다.

### 2.3 연구절차

본 연구의 목적은 장기간의 자료 생성을 목적으로 한 수문분석의 일환으로 장기 유출 수문모의 모형인 SWAT 모형을 이용하여 토평천 유역을 중심으로 우포늪, 목포, 사지포, 쪽지벌에서의 장기간 습지의 저류량 변동을 살펴보고, 대상 유역에 천변저류지 조성 시나리오를 작성하여 모의를 실시한 후, 시나리오 별 모의 결과를 토대로 천변저류지 조성에 따른 우포늪의 저류량 변화와 조성된 천변저류지의 거동을 분석하고자 하는 것이다.

이를 위하여 먼저 SWAT 모형을 이용하여 모형을 구축하고 모형 매개변수의 보정과 검증을 실

시하였다. 보정과 검증실시 후 그 결과를 바탕으로 장기간 습지에서의 저류량 자료를 모의하였다. 그 후 천변저류지 조성 시나리오 적용을 통하여 대상습지의 저류량 변화를 살펴보았다. 분석 절차를 요약하면 다음과 같으며, 이를 Fig. 2에 도시하였다.

- 1) DEM (수치고도자료)을 형성한 후, 시나리오 분석을 쉽게 하기 위하여 분할지점을 추가한 후, 모형의 기본값(default)들을 이용하여 소유역을 분할한다.
- 2) 유역의 기상자료 및 토지이용도, 토양도 입력 후, HRU (수문학적 반응단위)를 생성한다.
- 3) 1986년부터 2006년 까지 21년 동안 모의를 실시하여 대상 습지의 저류량을 분석한다.
- 4) 천변저류지 조성 가능 지역에 대하여 천변저류지 조성 시나리오를 적용하여 모의를 실시하고 천변저류지 조성에 따른 기존 습지의 저류량 변화를 분석한다.
- 5) 천변저류지 조성 시나리오를 적용하여 유역

출구에서의 유출량 변화를 분석하고, 조성된 천변저류지의 유허곡선을 작성하여 천변저류지의 거동을 분석한다.

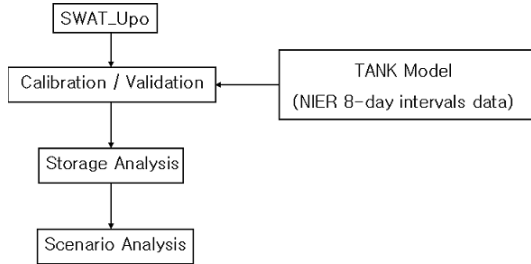


Fig. 2. Application procedure

Fig. 3은 토평천 유역에 적용한 시나리오와 천변저류지 조성 예상 지역을 나타내고 있다. 천변저류지 조성은 현재 농경지로 이용되고 있는 지역에 조성하였다. 각 시나리오를 살펴보면 BASE는 천변저류지 조성 없이 기존 습지를 대상으로 모의한 것이며, K는 가항지역, S는 세진지역, D는 대대지역, U는 운곡지역, J는 주매지역, 그리고 M은 모곡

지역을 천변저류지로 조성하여 모의한 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 SWAT-토평천 모형

##### 3.1.1 SWAT 모형의 습지 조성

SWAT 모형에서 습지 구축 방법에는 두 가지 방법이 있는데, 소유역 내에 습지가 위치한 pond/wetlands 형태의 습지를 구축하는 방법과 주 하천에 습지가 연결되어 위치하는 reservoirs형태로 구축하는 방법이 있다(Arnold 등, 2001). 본 연구 대상 유역에서 pond/wetland 형태의 습지는 쪽지벌이 해당되며 입력자료는 Table 2와 같다.

Reservoirs형태의 습지의 경우 구성성분은 Fig. 4에 나타내었으며 입력자료는 Table 3과 같다. 본 연구 대상 유역에서 reservoirs형태의 습지는 우포, 사지포, 목포와 시나리오 적용에 따라 조성된 천변저류지들이 해당된다.

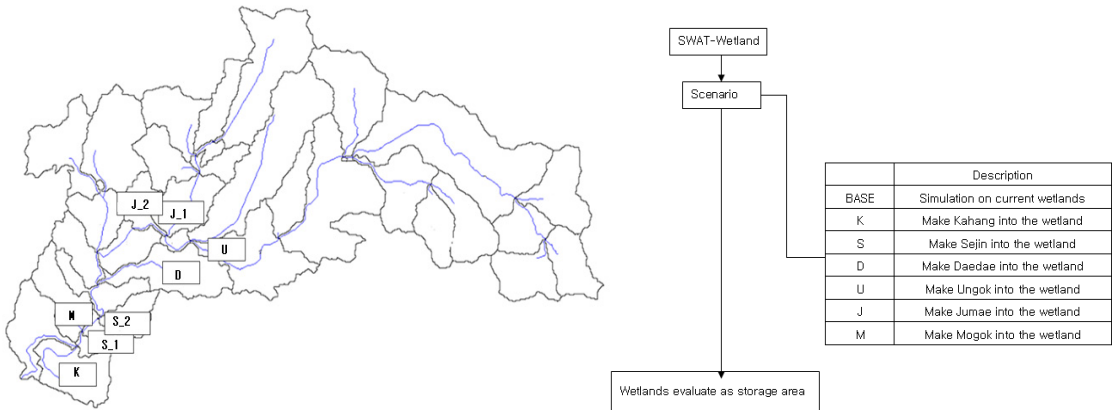


Fig. 3. Scenarios for constructing washlands in Topyeong watershed

Table 2. Wetland input data

Input	Description
WET_FR	Fraction of subbasin area that drains into wetlands
WET_NSA	Surface area of wetlands at normal water level (ha)
WET_NVOL	Vol. of water stored in wetlands when filled to normal water level (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)
WET_MXSA	Surface area of wetlands at maximum water level (ha)
WET_MXVOL	Vol. of water stored in wetlands when filled to maximum water level (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)
WET_VOL	Initial volume of water in wetlands (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)

Table 3. Reservoirs input data

Input	Description
RES_ESA	Reservoir surface area when the reservoir is filled to the emergency spillway (ha)
RES_EVOL	Volume of water needed to fill the reservoir to the emergency spillway ( $10^4\text{m}^3$ )
RES_PSA	Reservoir surface area when the reservoir is filled to the principle spillway (ha)
RES_PVOL	Volume of water needed to fill the reservoir to the principle spillway ( $10^4\text{m}^3$ )
RES_VOL	Initial reservoir volume ( $10^4\text{m}^3$ )
RES_RR	Average daily principle spillway release rate ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

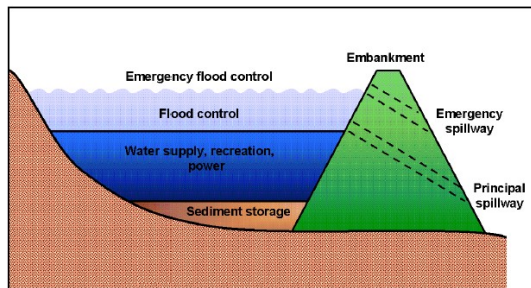


Fig. 4. Components of a reservoir with flood water detention features

입력자료 중 습지의 수위와 면적과 용량에 관련된 입력자료를 산정하기 위해서 먼저 각 습지의 수위-면적 관계곡선과 수위-내용적 곡선을 토평천 종합 치수 대책 보고서(건설교통부, 2004)에서 참고하였으며, Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 상기 보고서에서는 우포, 사지포, 목포에 대한 자료는 자세히 기술 되어 있었지만 쪽지벌의 경우 자세히 기술되어 있지 않기 때문에 쪽지벌에 대한 입력자료는 상기 보고서의 하천 단면도를 확대하여 길이와 면적의 비에 따라 구축하였다.

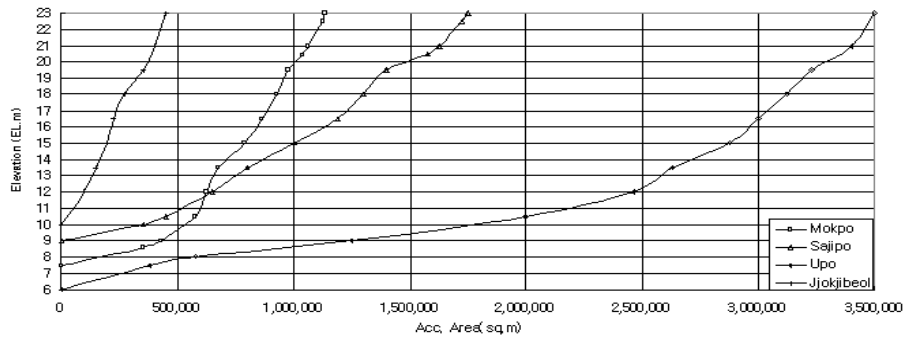


Fig. 5. Area-Elevation Curves

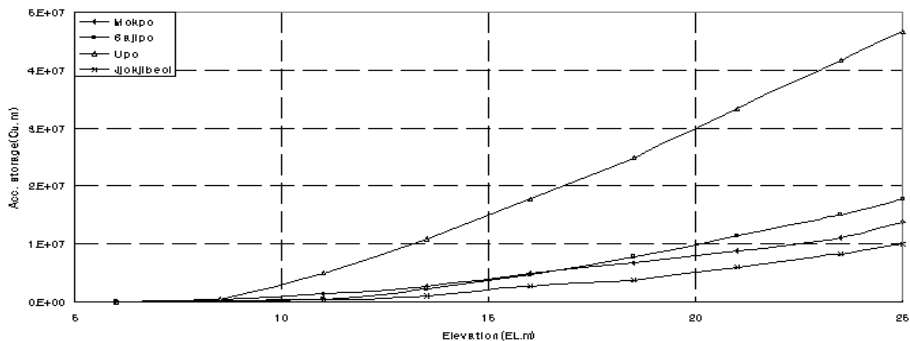


Fig. 6. Storage-Elevation Curves

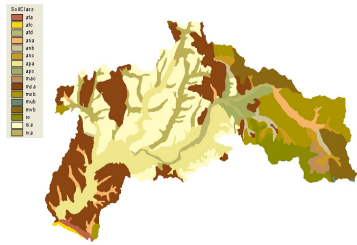


Fig. 7. Soil map

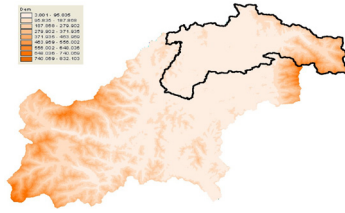


Fig. 8. DEM

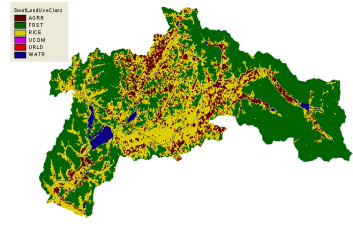


Fig. 9. Land use

Table 2와 Table 3의 입력자료 중 WET\_NSA, WET\_NVOL와 RES\_PSA, RES\_PVOL의 입력 값은 일제관측수위의 수위를 적용하여 산정하였다. 또한 WET\_MXSA, WET\_MXVOL와 RES\_ESA, RES\_EVOL은 계획홍수위(80년 빈도 기준)를 적용하여 입력 값을 산정하였다. 그리고 SWAT 모형의 구축을 위한 기본 사항을 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9에 각각 나타내었다.

SWAT 모형에서 습지에 대한 물수지 방정식은 아래와 같은 식에 의해서 계산되어진다(Arnold 등, 2001).

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep} \quad (1)$$

여기서,  $V(m^3)$ 는 모의되는 각 날의 마지막 시점에서 저류된 물의 양이며,  $V_{stored}$ 는 모의되는 각 날의 시작되는 시점에서 저류되어 있는 물의 양,  $V_{flowin}$ 은 모의되는 하루동안 유입되는 물의 양,  $V_{flowout}$ 은 모의되는 하루 동안 유출되는 물의 양,  $V_{pcp}$ 는 강우에 의해 유입되는 물의 양,  $V_{evap}$ 는 증발에 의해 제거되는 물의 양,  $V_{seep}$ 은 침투에 의해 제거되는 물의 양이다.

이중에서  $V_{flowout}$ 의 산출과정을 pond/wetlands와 reservoir 두 가지 경우로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 pond/wetlands의 경우 아래 식과 같이 계산된다.

$$V_{flowout} = 0 \quad \text{if } V < V_{nor} \quad (2a)$$

$$V_{flowout} = \frac{V - V_{nor}}{10} \quad (2b)$$

$$\text{if } V_{nor} \leq V \leq V_{max}$$

$$V_{flowout} = V - V_{max} \quad \text{if } V > V_{max} \quad (2c)$$

여기서,  $V_{nor}$ 은 평수위가 되었을 때의 습지에서 저류되어 있는 물의 양이며,  $V_{max}$ 는 최대수위에서 습지에 저류되어 있는 물의 양이다.

reservoir의 경우는 다음과 같이 두 가지 경우로 계산되어진다.

첫 번째 경우는 저수지에 저류된 물의 양이 주여수호가 채워졌을 때의 물의 양을 초과하고 비상여수호가 채워졌을 때의 물의 양보다 적은 경우는 아래의 식으로 계산된다.

$$V_{flowout} = V - V_{pr} \quad (3a)$$

$$\text{if } V - V_{pr} < q_{rel} \times 86400$$

$$V_{flowout} = q_{rel} \times 86400 \quad (3b)$$

$$\text{if } V - V_{pr} > q_{rel} \times 86400$$

두 번째 경우는 비상여수로까지 물이 채워졌을 경우로 아래와 같은 식으로 계산되어진다.

$$V_{flowout} = (V - V_{em}) + (V_{em} - V_{pr}) \quad (4a)$$

$$\text{if } V_{em} - V_{pr} < q_{rel} \times 86400$$

$$V_{flowout} = (V - V_{em}) + q_{rel} \times 86400 \quad (4b)$$

$$\text{if } V_{em} - V_{pr} > q_{rel} \times 86400$$

여기서,  $V$ 는 습지에 저류된 물의 양이며,  $V_{pr}$ 은 주 여수로가 채워졌을 때 습지에 저류된 물의 양,  $V_{em}$ 은 비상여수로가 채워졌을 때 습지에 저류된 물의 양이며,  $q_{rel}$ 은 일 평균 주 여수로에서의 방출율( $m^3/s$ )이다.

### 3.1.2 모형의 보정 및 검증

SWAT 모형의 매개변수를 추정하기 위해서는 장기간에 걸쳐 연속적으로 관측된 일 유량 자료가 요구된다. 하지만 토평천 유역의 경우 장기간에 걸쳐 연속적으로 관측된 일 유량 자료는 존재하지 않는다. 그래서 대안으로 토평천 유역과 비교적 가까운 거리에 있는 밀양강의 일 유량 자료를 이용하였다. 다행히 2004년부터 오염총량관리 지원 목적으로 단위유역(밀양 A) 말단부에서 8일 간격으로 관측된 유량자료가 있다. 또한 이들 자료를 이용하여 최근 낙동강 환경기초조사사업의 일환으로 수행된 “낙동강 물 순환 특성조사 및 모의예측 기법개발”을 통하여 일 유량자료가 생성된 바 있다(낙동강수계관리위원회, 2006). 상기 연구에서는 TANK 모형(Sugawara, 1995)을 이용하여 일 유출량을 모의하였는데, 상류 댐 방류량의 영향 및 각 단위유역별 물 이용량 자료 등이 모형의 구조에 포함되어 낙동강 오염총량관리 단위유역의 유황을 비교적 우수하게 모의하고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 위 연구에서 확장된 밀양 A의 일 유량자료를 바탕으로 토평천과 밀양강의 면적비를 고려하여 토평천의 유량 자료를 획득하였으며, 이를 관측자료로 간주하여 SWAT 모형의 매개변수 보정과 검증을 실시하였다.

SWAT에서 유출에 관련된 중요한 매개변수는 김보경 등(2007)의 결과를 바탕으로 SOL\_AWC (available water capacity of the soil layer), ESCO(soil evaporation compensation factor), CH\_N2(Manning's "n" value for the main

channel), SLSUBBSN(average slope length) 등이 가장 민감한 것으로 나타난 바, 본 연구에서는 이들 매개변수에 대한 집중적인 보정을 실시하였다. 전체적으로 ESCO와 SLSUBBSN의 값을 조절하여 연 유출과 월 유출에 대한 보정을 실시하였다. 모형의 보정 기간은 1994년부터 2002년까지이며, 검증기간은 2003년부터 2006년까지이다.

보정의 정확도는 결정계수  $R^2$ 와 NSC 계수를 이용하여 파악하였는데, 여기서  $R^2$ 는 관측 자료와 모의 자료 사이의 회귀분석 결과 도출된 결정계수이며, NSC는 Nash 등(1970)에 의해 제안된 계수로서 아래 식과 같다.

$$NSC = \frac{F_o - F}{F_o} \quad (5a)$$

$$\text{여기서, } F_o = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o) \quad (5b)$$

$$F = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_{si}) \quad (5c)$$

위 식들에서  $i$ 는 계산시간,  $n$ 은 총 자료의 수,  $q_{oi}$ 는 시간  $i$ 에서의 관측유량,  $q_{si}$ 는 시간  $i$ 에서의 모의유량,  $\bar{q}_o$ 는 모의기간 내 관측유량의 평균값,  $\bar{q}_{si}$ 는 모의기간 내 모의유량의 평균값이다. NSC 계수의 값이 1에 가까울수록 모형의 효율성이 높아지는 것을 의미한다. 또한 Santhi 등(2001)은  $R^2$ 은 0.6이상, NSC는 0.5이상이면 모의값이 관측값을 어느정도 잘 재현한다고 언급한 바 있다. 보정과 검증 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 모형의 보정결과를 살펴보면 년 단위로 모의를 하였을 경우  $R^2$ 은 0.99, NSC는 0.80으로 모의 자료가 매우 우수하게 관측자료를 재현하고 있음을 알 수 있었으며, 또한 Fig. 10에서 알 수 있듯이 월 단위로 모의하였을 경우에도  $R^2$ 은 0.62, NSC는 0.61으로 관측자료를 잘 재현하고 있음을 알 수 있다. 모형의 검증결과는 Table 4에 나타내었으며, 검증결과에서도 관측자료를 잘 재현하고 있음을 알 수 있다.



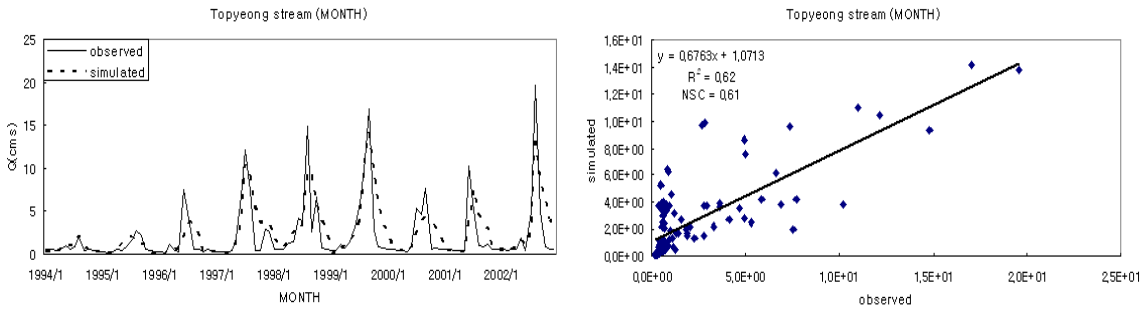


Fig. 10. Calibration result

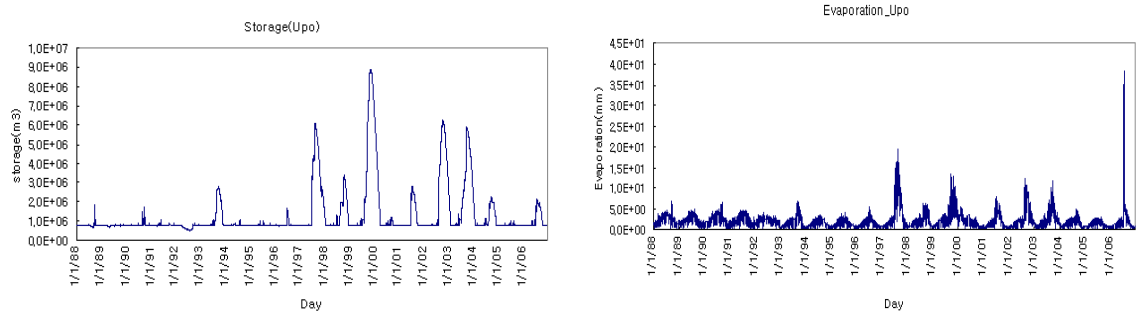


Fig. 11. Storage capacity and evaporation

Table 4. Validation result

	$R^2$	NSC
Month (2004-2006)	0.60	0.60

### 3.2 각 습지 별 저류량 변동 분석

구축된 SWAT 모형을 이용하여 1988~2006년까지의 일 별 저류량 변동과 월 별 증발량 변동을 분석하였다. 먼저 우포늪의 저류량과 증발량을 Fig. 11에 도시하였다.

위의 그림을 살펴보면 80년대 후반부터 90년대 초반까지와 90년대 후반부터 2006년까지의 우포늪 저류량이 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이는 1990년대 후반으로 갈수록 여름철 집중호우의 빈도가 현저하게 증가하였기 때문으로 판단된다. 그리고 이러한 저류량의 변동에 따라 수위 또한 변화함으로 90년대 중반 이전의 식생분포와 저류량이 증가한 90년대 후반의 식생분포에 있어서의 변화를 추측해 볼 수 있다.

한 가지 주목할 만한 사실은 최근 10년의 분석

을 실시하였을 경우 즉, 1997년부터 2006년까지의 분석 결과로는 이와 같은 저류량 변동 분석이 불가능하다는 것으로서, 습지의 수문성분에 관한 연구 시에는 적어도 10년 이상 20년 정도의 기간을 두고 분석해야 함을 시사하는 것으로 이해될 수 있다. 특히 습지의 경우 습지의 저류량은 습지의 수위에 영향을 미치며, 이는 다시 습지의 식생분포와 매우 밀접한 관계가 있기 때문에, 이러한 저류량 분석은 궁극적으로 습지의 식생분포의 변동성을 파악할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 Table 5에서 1988부터 2006년까지의 각 월 강수량을 평균한 값과 1999의 월 강수량, 그리고 가뭄이 극심하였던 1994년의 월 강수량을 비교해 보면 1999년에는 7월부터 10월까지의 강수량이 다른 해에 비하여 상당히 많음을 알 수 있다. 이러한 강수의 영향으로 인하여 1999년 여름부터 저류량이 큰 폭으로 증가함을 알 수 있으며 그 다음 해인 2000년 초반까지 그 영향을 미침을 알 수 있다.



우 이러한 경향을 뚜렷이 살펴 볼 수 있다.

### 3.3 시나리오 별 분석

적용된 시나리오는 토평천 유역 주변의 습지들의 생태환경 보존과 홍수 관리 기능을 위한 습지의 관리 방향을 살펴 볼 목적으로 우포와 사지포, 목포, 쪽지벌 주위에 기존의 논이나 밭 등을 천변저류지로 조성하는 것을 상정하여, 조성된 천변저류지의 저류량 분석뿐만 아니라 천변저류지의 조성이 우포늪에 미치는 영향 또한 살펴보았다.

Table 5. Precipitation in Topyeong stream  
(Unit: mm)

Month	average	1999	1994
1	26.69	21.24	21.67
2	33.73	19.16	19.65
3	56.31	104.16	18.33
4	85.65	66.70	69.87
5	113.25	151.15	150.92
6	189.95	176.84	78.61
7	268.35	375.05	82.04
8	247.33	408.01	127.81
9	139.28	414.80	34.35
10	32.65	122.69	61.06
11	43.51	19.55	30.81
12	17.88	0.00	6.02

#### 3.3.1 천변저류지 조성에 따른 유출량 변화

각 시나리오 별 천변저류지 조성에 따른 유역 출구에서의 유출량 변화에 대하여 1994년부터 2006년까지 분석하였다. 분석을 위하여 분석 기간을 우기(7월~9월)와 건기(12월~2월)로 나누어 평균한 값을 계산하여 분석에 이용하였다. 분석 결과를 Table 5에 나타내었으며, 시나리오 중 대대와 가항의 시나리오 분석 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 아래 표와 그림을 살펴보면 천변저류지를 조성하였을 경우 유역출구에서의 유출량은 우기 시에는 대체로 감소하고, 건기 시에는 대체로 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 가항, 대대, 주매1, 주매2 지역에 천변저류지를 조성하였을 경

#### 3.3.2 조성된 천변저류지의 거동 분석

시나리오에 의해 조성된 천변저류지에 대한 거동을 분석하기 하기 위하여 조성된 천변저류지 별로 유황 곡선을 작성하였다. 유황곡선(flow duration curve)은 물 관리를 위한 유출량 정보를 보여주는 중요한 곡선으로 수문사상의 값 즉, 일 유출량 자료를 내림차순의 크기로 정렬하면 각 유출량의 크기가 같거나 보다 큰 것에 대한 시간 백분율을 계산할 수 있다. 유출량을 세로축에 이에 상응하는 시간 백분율을 가로축에 도시하면 유황곡선을 얻게 된다. 통계학적인 의미로 유황곡선은 다양한 크기에 대한 상대적인 지속기간을 보이는 연속적인 시계열 즉, 유출량의 누가빈도곡선이라 할 수 있다.

본 연구에서는 세로축의 유출량을 대상 유역의 면적으로 나눈 비유량을 사용하였다. 그리고 기존에 존재하고 있는 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌의 유황곡선과 조성된 천변저류지에서의 유황곡선을 비교하여 분석을 실시하였다. 분석결과는 Fig. 13과 같다.

조성된 천변저류지의 유황곡선을 살펴보면 고 유량보다 저유량쪽이 기존의 습지인 우포, 사지포, 목포, 쪽지벌 보다 모두 아래 쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 이는 기존 습지 보다 조성된 천변저류지에 유량이 상대적으로 적게 모의되었음을 보여준다. 또한 모곡지역에 천변저류지를 조성하였을 경우 유황곡선을 보면 고유량 쪽부터 유량이 감소하여 Q90지점에서부터는 유량이 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 결과들은 천변저류지를 조성하였을 경우 갈수기 뿐만 아니라 다른 기간에도 조성된 천변저류지에 의한 영향으로 하천과 조성된 천변저류지가 건천화 될 가능성이 있음을 나타내며, 하천과 천변저류지를 유지하기 위한 유지 유량이 필요할 수도 있음을 시사하는 것이라 할 수 있다.

Table 6. Scenarios simulation results (Unit: m<sup>3</sup>/s)

WET	BASE	ALL	J_1	J_2	U	M	D	S_1	S_2	K
1994	1.44	1.96	1.20	0.98	2.05	2.08	1.20	2.07	2.07	1.20
1995	1.65	2.63	1.53	1.05	2.65	2.65	1.53	2.65	2.65	1.53
1996	3.23	2.84	2.51	1.90	2.99	2.95	2.52	3.18	3.16	2.54
1997	8.44	7.97	6.78	7.49	7.55	6.51	6.43	7.69	7.67	6.67
1998	7.54	7.79	6.98	8.47	7.84	6.42	6.14	7.35	7.76	6.60
1999	9.81	11.82	9.32	12.48	11.70	9.79	8.99	11.07	11.48	8.91
2000	3.41	4.02	3.52	3.48	5.41	4.23	3.52	5.02	5.45	3.51
2001	5.32	5.11	4.63	4.88	5.20	4.42	4.26	5.22	5.22	4.12
2002	8.44	8.78	7.50	9.76	9.18	7.57	6.94	8.53	8.95	7.32
2003	10.74	10.11	9.07	10.86	9.50	8.40	8.38	9.53	9.51	8.41
2004	6.40	6.68	5.77	6.91	6.95	5.51	5.06	6.43	6.85	5.49
2005	3.61	3.73	3.14	3.61	4.09	3.43	3.14	4.15	4.15	2.74
2006	5.58	5.92	4.87	5.59	6.51	5.24	4.39	6.06	6.49	4.61

DRY	BASE	ALL	J_1	J_2	U	M	D	S_1	S_2	K
1994	0.17	0.76	0.17	0.74	0.24	0.23	0.17	0.24	0.24	0.17
1995	0.15	1.04	0.15	0.73	0.18	0.18	0.15	0.18	0.18	0.15
1996	0.21	1.36	0.21	0.75	0.36	0.36	0.21	0.36	0.36	0.22
1997	2.34	3.28	2.83	2.30	2.75	3.19	3.42	3.16	2.86	2.63
1998	1.15	2.39	1.36	1.44	0.65	1.66	2.47	1.38	0.80	1.31
1999	2.36	2.88	2.98	2.31	1.74	2.26	3.42	2.67	2.09	2.33
2000	1.06	1.94	1.06	1.25	0.50	1.50	1.03	0.70	0.49	1.24
2001	0.41	2.07	0.41	0.79	0.73	1.24	0.76	0.73	0.73	0.50
2002	1.67	2.53	1.94	1.61	1.44	2.13	2.73	2.28	1.70	1.66
2003	1.47	2.49	1.80	1.56	1.21	2.08	2.78	1.66	1.21	1.63
2004	1.08	2.37	1.09	1.45	0.43	1.57	2.02	1.12	0.53	1.15
2005	0.20	1.52	0.20	0.75	0.23	0.23	0.20	0.23	0.23	0.23

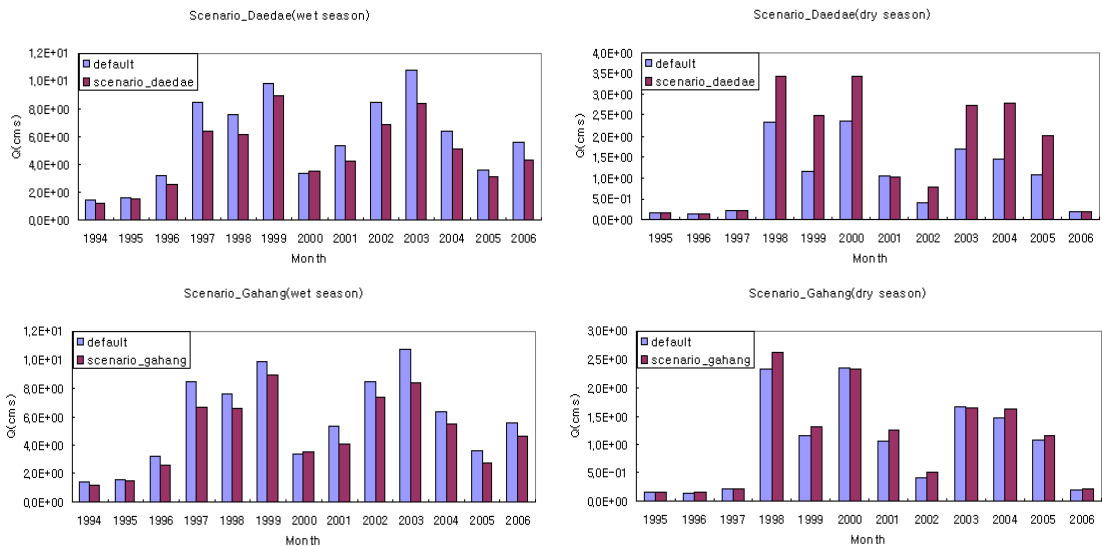


Fig. 12. Scenarios simulation results

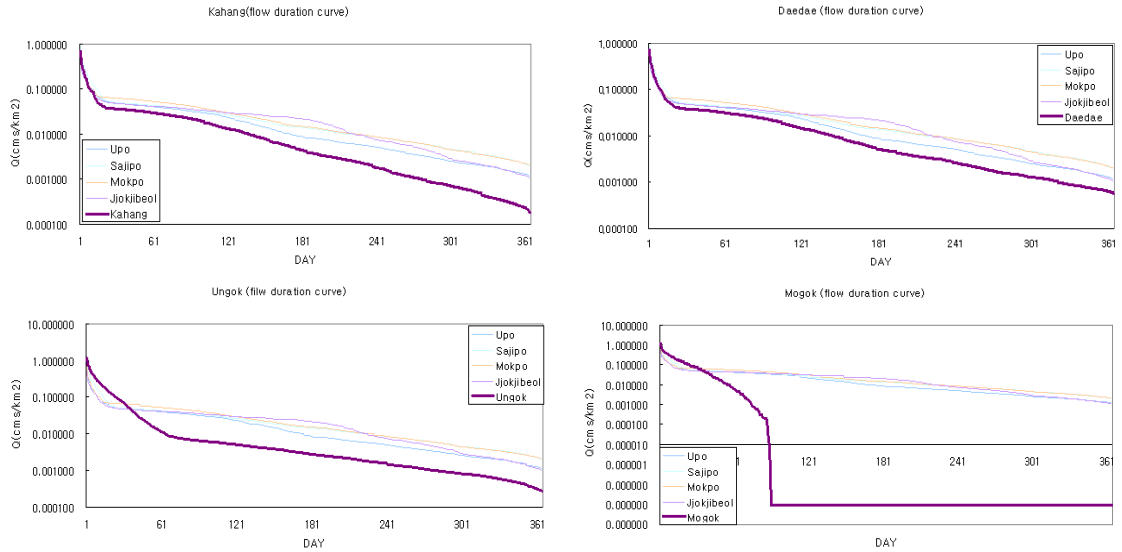
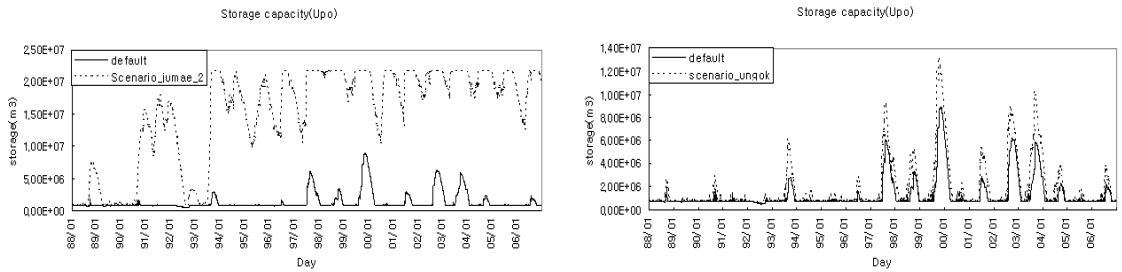


Fig. 13. Flow duration curve



(a) Scenario Jumae\_2

(b) Scenario Ungok

Fig. 14. Change of storage capacity in Upo wetland

### 3.3.3 천변저류지 조성에 따른 기존 우포늪의 변화

각 시나리오 별 천변저류지 조성에 따른 기존의 우포늪 저류량 변화에 대하여 분석하였다. 분석 대상 시나리오는 우포늪보다 상류에 위치하는 대대, 운곡, 주매지역에 천변저류지를 조성한 경우이며 그 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 분석결과를 보면 천변저류지 조성에 따른 우포늪에서의 저류량변화는 대대와 주매1의 경우 큰 변화가 없었지만 운곡과 주매2의 경우 저류량이 증가함을 알 수 있었다. 특히 주매2 지역에 천변저류지를 조성하였을 경우 우포늪의 저류량이 매우 증가함을 알 수 있으며, 증가한 저류량이 평수위의 저류

량이 되기 전에 주매2 지역으로부터 유량이 유입되어 천변저류지 조성전 보다 저류량이 항상 많음을 알 수 있다. 이러한 결과들은 천변저류지를 조성함에 따라 우포늪의 저류량에 어느정도의 영향을 미칠 수 있음을 정량적으로 살펴 볼 수 있으며, 천변저류지의 조성 시 조성된 천변저류지가 기존 습지에 미치는 영향을 반드시 고려할 필요가 있음을 시사하는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 SWAT 모형을 통하여 토평천 유역의 습지에 대한 저류량 분석과 시나리오 별

천변저류지를 조성하였을 때의 저류량 변화를 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SWAT 모형의 모의 결과 유량 자료는 관측 자료와 유사하게 모의됨을 알 수 있었다. 년 평균을 기준으로 모의한 결과  $R^2$ 은 0.99, NSC는 0.80로 계산되었으며, 월 평균을 기준으로 모의한 결과  $R^2$ 은 0.62, NSC는 0.61로 계산되었다.
- 2) 또한 모의 결과 중 저류량을 습지 별로 분석해 본 결과 기존 네 개의 습지에서 1994년과 1995년이 다른 해에 비하여 더 적은 값을 가짐을 알 수 있었으며, 이를 통하여 습지 모의 시 최소 20년 이상의 장기간의 자료를 통한 분석이 필요함을 알 수 있었다.
- 3) 또한 평년 보다 낮은 저류량으로 인하여 수위가 낮아지게 되고 그로 인하여 침수식물 등이 영향을 받아 습지에서 식생분포 변화가 있었음을 추측 할 수 있었다.
- 4) 도평천 유역 주위에 시나리오 별 천변저류지 구성에 따른 유역 출구에서의 유출량 변화를 분석한 결과 우기 시에는 유출량이 감소하였고 건기 시에는 유출량이 증가함을 알 수 있었다.
- 5) 시나리오 별 천변저류지 구성에 따른 우포늪의 저류량 변동을 분석한 결과, 주매2 지역과 운곡지역에 천변저류지를 조성하였을 경우 우포늪의 저류량이 증가하였으며, 이러한 결과를 바탕으로 천변저류지 조성 시 조성된 천변저류지가 기존 습지에 미치는 영향을 반드시 고려할 필요가 있음을 시사하는 것으로 판단된다.
- 6) 각각 조성된 천변저류지에 대한 유향곡선을 작성한 결과 저유량 쪽에서의 유량이 기존의 습지보다 적음을 알 수 있었다. 이를 통해 갈수기의 경우 조성된 천변저류지를 습지로 활용하기 위해서는 유지유량의 공급이 필요함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 낙동강 수계 환경기초조사사업(낙동강분류 및 주요지천의 홍수시 저류공간으로서의 습지평가)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- 건설교통부, 토평천 종합 치수대책 수립보고서, pp. 160-215, 2004.
- 경상남도, 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획, pp. 4\_87-4\_92, 2005.
- 국가수자원관리 종합정보시스템 (WAMIS), www.wamis.go.kr (accessed 1/2007)
- 김보경, 김상단, 이은태, 김형수, SWAT 모형 매개변수의 적정 범위 추정방법개발 : 임하호 유입량 및 부유사량의 적용, 대한토목학회, 제 27권, 제 6B호, pp. 661-668, 2007.
- 김재철, 이지호, 유철상, 김상단, 금호강 유역의 수문환경에 대한 도시화의 영향: 모형연구, 한국물환경학회, 제23권, 제4호, pp. 535-542, 2007.
- 김형수, 경민수, 김상단, 김재근, 김덕길, 우포늪의 생태치수기능 개선을 위한 천변저류지 검토, 한국수자원학회, 제40권, 제4호, pp. 14-19, 2007.
- 낙동강물환경연구소, 낙동강 물순환 특성조사 및 모의예측기법개발, pp. 96-122, 2006.
- 이경미, 저류형 습지의 비점원오염물질 저감능력 평가, 석사학위 논문, 부경대학교, pp.27-49, 2007.
- 전경수, 천변저류지 홍수조절 효과분석, 한국수자원학회, 제40권, 제4호, pp.27-32, 2007.
- 한건연, 김지성, 백진규, 박홍성, 하천에서 천변저류지의 홍수저감효과 분석, 대한토목학회 정기학술대회, pp. 223-236, 2005.
- Arnold, J.R., Kiniry, J.R., Neitsch, S.L., Williams, Soil and water assessment tool

- user's manual, pp. 279-294, 2001.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., River flow forecasting through conceptual models, Part I. A discussion of principles, Journal of Hydrology, Vol. 10, pp 282-290, 1970.
- Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivassn, R., and Hauck, L.M., Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources, Water Resources Association, Vol. 37, No. 5, pp. 1169-1188, 2001.
- Sugawara, M., Tank model, in computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications, pp. 164-214, 1995.