

## 농업소유역의 홍수유출량 추정을 위한 단위도 모형 비교연구

### A Comparative Study of Unit Hydrograph Models for Flood Runoff Simulation at a Small Watershed

성충현\* · 김상민\*\*† · 박승우\*\*\*

Seong, Choung Hyun\* · Kim, Sang Min\*\*† · Park, Seung Woo\*\*\*

#### Abstract

In this study, three different unit hydrograph methods (Snyder, SCS, Clark) in the HEC-HMS were compared to find better fit with the observed data in the small agricultural watershed. Baran watershed, having 3.85km<sup>2</sup> in size, was selected as a study watershed. The watershed input data for HEC-HMS were retrieved using HEC-GeoHMS which was developed to assist making GIS input data for HEC-HMS. Rainfall and water flow data were monitored since 1996 for the study watershed. Fifty five storms from 1996 to 2003 were selected for model calibration and verification. Three unit hydrograph methods were compared with the observed data in terms of simulated peak runoff, peak time and total direct runoff for the selected storms. The results showed that the coefficient of determination ( $R^2$ ) for the observed peak runoff was 0.8666~0.8736 and root mean square error, RMSE, was 5.25~6.37 m<sup>3</sup>/s for calibration stages. In the model verification,  $R^2$  for the observed peak runoff was 0.8588~0.8638 and RMSE was 9.57~11.80 m<sup>3</sup>/s, which were slightly less accurate than the calibrated data. The simulated flood hydrographs were well agreed with the observed data. SCS unit hydrograph method showed best fit, but there was no significant difference among the three unit hydrograph methods.

*Keywords* : HEC-HMS, Unit hydrograph, Rainfall-runoff, SCS, Snyder, Clark

## 1. 서 론

우리나라의 기후특성상 6월 하순부터 7월 중하순까지의 장마와 8, 9월의 태풍 및 국지적인 저기압의 발달에 따른 집중호우 등으로 해마다 홍수피해를 입고 있다. 특히 지구온난화현상 등으로 인한 최근 몇 년간의 이상강우로 인해 그 피해가 가중되고 있다. 또한 일년 동안 내리는 전체 강우량 중 6~9월 사이에 강우가 집중되어 있어 수자원의 효율적 관리에도 어려움이 있다(박종민, 2003).

홍수피해를 줄이고, 수자원의 효율적인 배분을 위해서는 하천의 유역면적, 유역경사, 유역의 토지이용,

\* 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 박사과정

\*\* 경상대학교 농업생명과학대학 지역환경기반공학과 조교수 (경상대학교 농업생명과학연구원)

\*\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 교수

† Corresponding author. Tel.:+82-55-751-5431

Fax: +82-55-752-0884

E-mail address: smkim@gnu.ac.kr

2008년 2월 13일 투고

2008년 5월 22일 심사완료

2008년 5월 22일 게재확정

유량, 하폭, 하도의 길이, 토양의 성질 등 수문학적 인자와 이에 영향을 미치는 강우 등의 기상인자를 파악하여 유출을 정확히 예측하는 강우-유출관계의 규명이 선행되어야 한다(김철겸, 1999; 김현준, 2001). 강우-유출 현상을 물리적으로 표현하기 위해 여러 가지 모형들이 개발되어 왔다. 1960년대 중반까지의 수문모형은 지표면유출, 하천흐름, 침투, 요지(凹地), 저류, 증발, 차단, 지하수흐름 등과 같이 수문순환의 개별요소모형이 주로 개발되었으며, 1960년대 후반 컴퓨터가 도입되면서 미국의 스탠포드 유역 모형(SWM; Stanford Watershed Model)(Crawford & Linsley, 1966)을 필두로 개별요소모형을 통합하여 유역의 전체 수문순환을 모의할 수 있는 통합모형들이 개발되기 시작하였다(Singh et al., 2002).

HEC-HMS 모형(USACE, 2001a)은 미공병단(USACE)에서 유역의 홍수량 추정을 위해 기존에 개발되어 사용되던 HEC-1 모형(USACE, 1998)을 사용자 편의 시스템과 다양한 기능을 추가하여 만든 것으로 국내에서 하천의 설계홍수량 추정을 위해 일반적으로 이용되는 모형이다.

하천설계기준(한국수자원학회, 2005)에서는 중소규모 이상의 자연하천유역에서 설계홍수량 산정시 직접유출의 모의는 Snyder 단위도법(Snyder, 1938), SCS 단위도법(Mockus, 1957), Clark 단위도법(Clark, 1945) 등을 사용하여 산정하는 것으로 규정하고 있는데, 최근의 하천설계에서는 대부분 Clark의 유역추적법을 직접유출 모의방법으로 채택하는 경우가 대부분이다. 이는 Clark 단위도법이 유역의 저류효과를 개념적으로 설명하는 단위도라고 평가하기 때문인데, 대부분의 하천설계시 실측유량자료가 부족하기 때문에 설계기준에서 제시하는 단위도 중 어떤 단위도가 가장 현실을 잘 반영하는지는 알 수 없는 경우가 대부분이다.

본 연구에서는 다년간 수문관측을 실시한 시험유역에 HEC-HMS 모형을 적용하여 강우-유출 모의를 실시하여 모형의 적용성을 평가하고, 하천설계기준에서 제시하는 대표적인 직접유출모의 방법인 Snyder, Clark, SCS 단위도법을 대상유역에 적용하여 각 방법에 의한 홍수유출모의결과를 비교·평가하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. HEC-HMS 모형의 개요

HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)은 미 육군 공병단에서 개발된 강우-유출과 홍수추적 과정을 모의하는 프로그램이다. HEC-HMS는 HEC-1 프로그램이 윈도우기반으로 발전되었고 사용자 편의 시스템을 도입되었으며, HEC-1 모형이 가지고 있던 기능의 개선과 분포형 모형 및 연속모의기능이 추가되었다(USACE, 1998).

Fig. 1은 HEC-HMS의 유출모의 과정을 나타낸 단순 모식도이다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 보이지 않는 수문순환 성분들은 생략하거나 일괄처리하고 있다. 예를 들면 HEC-HMS는 물의 침투모형을 포함하고 있지만, 토양층 내에서의 물의 수직이동과 저류모형은 생략하였으며, 직접유출은 지표유출(overland flow)과 지표하유출(sub surface flow)을 결합하여 계산하도록 되어 있다. 또한 중간유출이나 지하대수층 흐름을 세부적으로 모의하지 않는 대신에 이들 흐름을 결합하여 기저유출(base flow)로만 표현한다(USACE, 2001a).

HEC-HMS는 크게 유역에서의 손실량, 직접유출량, 기저유출량, 하도구간 흐름 모의 등 유출과정의 각

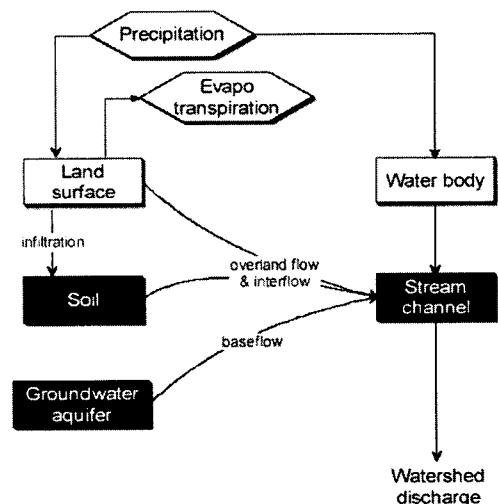


Fig. 1 Typical HEC-HMS representation of watershed runoff

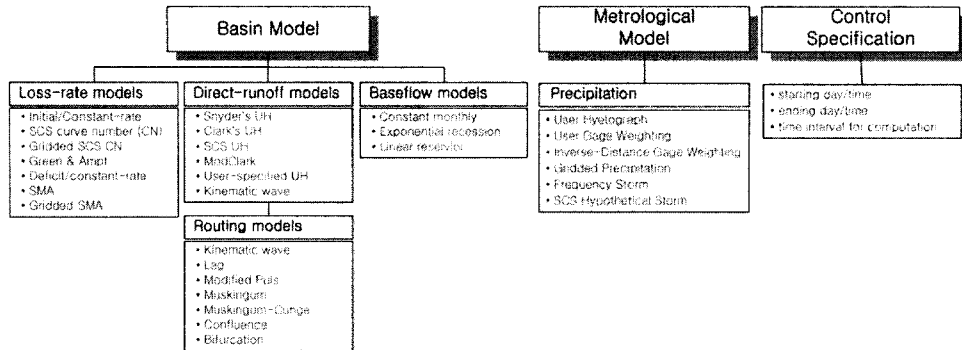


Fig. 2 List of models included in HEC-HMS

성분을 모의하는 모형과 유역의 기상자료에 관한 모형과 모형의 구동시 시간에 관계되는 부분을 설정해주는 부분으로 구성된다. Fig. 2는 HEC-HMS에 포함되어 있는 각 유출성분 모의모형을 도식적으로 나타내고 있다.

가. 유효우량 산정

HEC-HMS 모형에서 유효우량의 계산은 총강우량에서 침투, 차단, 증발, 증산, 지표저류 등의 손실량을 뺀 값으로 계산된다. HEC-HMS 모형에서는 손실량을 산정하기 위해 초기 손실 및 일정 비율 손실량 모형(Initial and constant-rate loss model), SCS 유출곡선지수(CN) 모형, Green and Ampt의 손실량 모형 등을 지원한다. 본 연구에서는 유효우량 산정방법으로 GIS 기술의 발달과 더불어 자료의 구득 및 적용의 편리성 때문에 실무에 많이 이용되고 있는 SCS CN 방법을 적용하였다. SCS CN 방법에서 총강우량과 초과우량과의 관계는 다음 식 (1)과 같다.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

여기서,  $P_e$  는 누가 초과우량,  $P$ 는 누가 강우량,  $S$ 는 최대잠재보유수량을 나타낸다. 식 (1)에서 최대 잠재보유수량  $S$ 는 다음의 식 (2)와 같으며, 유출곡선지수  $CN$ 은 토지이용, 토양종류, 수문학적 토양군 등에 의한 값으로 0~100의 범위를 갖는다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

나. 직접유출량 모의

HEC-HMS에서 직접유출모의는 크게 단위도법과 개념적 모형인 동력학적(Kinematic Wave) 방법을 지원한다. 단위도법으로는 Snyder, Clark, SCS 방법을 제공한다. 동력학적 방법은 유역 면적이 2.5 km<sup>2</sup> 이하인 보편적인 형상의 유역에 적용되는 개념적인 모형이므로, 본 연구에서는 제외하였다.

1) Snyder 단위도

Snyder 합성단위유량도 방법은 유역면적, 주하천 길이, 유역중심에서 가장 가까운 하천지점에서 유역 출구까지의 하천길이라는 세가지 지형자료를 가지고 해당 유역의 단위유량도를 작성하는 방법이다. 단위도에서 침투우량의 크기와 발생시각 및 기저시간의 세 점을 유역의 지형특성인자와 상관시키는 경험공식을 사용하여 매끈하게 연결시킴으로써 단위도를 작성한다. 지체시간( $t_{PR}$ )과 침투우량의 크기( $Q_{PR}$ ) 및 유출 기저시간의 길이( $T_R$ )는 각각 다음의 식으로 정의된다.

$$t_{PR} = t_p + \frac{1}{4}(t_R - t_r) \quad (3)$$

$$Q_{PR} = C_P \cdot \frac{2.75 A}{t_{PR}} \quad (4)$$

$$T_R = 3 + 3 \left( \frac{t_{PR}}{24} \right) \quad (5)$$

여기서,  $t_p$ 는 유역의 지체시간,  $t_r$ 은 강우지속기간,  $t_R$ 은 단위도의 지속기간,  $C_p$ 는 유역 특성상수,  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>)이다. 한편,  $C_p$ 는 유역의 특성에 따라 변하는 계수로서, 보통 0.4~0.8의 값을 가지는 것으로 알려져 있다

### 2) Clark 단위도

Clark 단위도 모형은 유역출구까지 유량의 전이와 유역출구지점에서 가상의 선형저수지에 의한 저류효과를 반영하는 방법이다. 즉 유역 전구간에 순간적으로 내린 순간단위유효우량으로 인한 유수의 저수지 유입수문곡선을 시간-면적곡선을 이용하여 단순전이로 계산한 다음, 저수지의 저류추적과정을 거치는 것으로 가정하여 홍수추적을 실시함으로써 유역의 순간단위유량도를 작성한다. 따라서 강우로 인한 유수의 전이(translation) 뿐만 아니라 유역의 저류효과도 고려하므로 자연유역에 대한 적용이 적합하다. Clark은 이 가상의 저수지는 유역 출구에 1개만 존재한다고 가정하였으며, 이 저수지는 저류량과 유출량이 선형관계를 갖는 선형 저수지라고 가정하여 식 (6)와 같이 전개하였다.

$$O_i = CI_i + (I - C) O_{i-1} \quad (6)$$

$$C = \frac{2\Delta t}{2K + \Delta t} \quad (7)$$

여기서  $I_i$ 는 기간  $i$ 동안의 유입량,  $O_i$ 는 기간  $i$ 동안의 유출량,  $K$ 는 저류상수로 시간의 차원 [T]을 갖는다. 식 (6)의 수치는 시간-면적주상도로 정의되는 유입량의 추적으로 순간단위유량도가 된다.

한편, Clark 방법에 필요한 자료는 유하시간-유역면적 관계와 저류상수( $K$ )이며, 유하시간-유역면적 관계는 일반적인 형태의 유역에 대하여 도달시간( $t_c$ )에 관한 식으로 표현된다.

### 3) SCS 단위도

이 방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service)에서 합성단위도를 작성하기 위하여 고안된 방법으로 미국내 여러 지방의 대소 유역으로부터 얻은 실제의 단위도를 해석한 결과인 무차원단위도의 이용에 근거를 두고 있다. 이러한 무차원단위도는 유역의 특성에 커다란 관계없이 적용할 수 있다는 장점이 있다. 미국 토양보존국은 첨두유량( $U_p$ )과 첨두시간( $T_p$ )과의 관계를 다음 식 (8)과 같이 제시하였다.

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (8)$$

여기서,  $A$ 는 유역면적,  $C$ 는 상수 (2.08)를 나타낸다. 첨두시간 ( $T_p$ )은 다음 식 (9)와 같이 초과우량의 지속시간과 관계가 있다.

$$T_p = \frac{\Delta T}{2} + t_{lag} \quad (9)$$

여기서,  $\Delta t$ 는 초과우량의 지속시간,  $t_{lag}$ 은 지체시간 (첨두시간과 초과우량의 중심시간과의 차이)을 나타낸다. 한편, 미국 토양보존국은 실측자료가 없는 유역에서 경험적으로 지체시간 ( $t_{lag}$ )을 다음 식 (10)과 같이 홍수도달시간 ( $t_c$ )과의 관계로 제시하였다.

$$t_{lag} = 0.6t_c \quad (10)$$

### 다. 기저유량

HEC-HMS에서 지원되는 기저유량 모의모형으로는 월별 일정 기저유량 모형, 지수감수모형, 토양수분량 계산모형과 연계하여 사용되는 선형 저수량 계산모형 등 3가지 모형이 있으며, 본 연구에서는 지수감수모형을 사용하였다.

## 2. 대상 유역

본 연구에서 홍수량유출 해석을 위해 경기도 화성

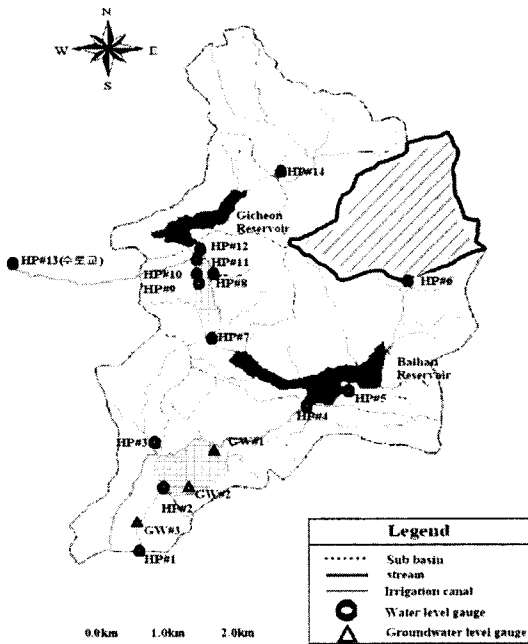


Fig. 3 Baran study watershed

시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안 시험유역 중 발안저수지 상류유역(HP#6)을 선정하였다. 발안 시험유역은 1996년부터 서울대학교 농업수자원연구실에서 수문관측을 실시하고 있으며 유역의 특성에 따라 7개의 소유역으로 구분되어 있다. 한편, 본 연구에 적용한 발안저수지 상류유역의 유역특성인자는 유역면적 384.6ha, 형상계수 1.562, 유로장 3.088km, 기복량 246m, 하천경사 1.493m/km로 조사되었다.

가. 수문자료

모형의 적용을 위해 선정한 강우사상은 총 55개로, 1996년~2003년 강우자료 중 비교적 강우량이 많은 단일강우사상을 채택하였으며 강우사상별 강우량은 18.4~303.6 mm의 범위를 보였다. 시험유역의 하천 수위는 자기 수위계와 압력식 수위계를 설치하여 수위를 관측하였다. 하천 수위측정에 대한 수위-유량관계를 조사하기 위해 호우 발생시 고수위 유량 측정과 평상시 저수위 유량 측정을 실시하여 수위-유량관계를 추정하였다. 여름철 홍수가 발생하면 하천단면이 변화하므로 매년 현장 유량 측정을 통해 수위-유량관계를 보완하였다.

나. 지형자료

지형자료의 구축을 위해 HEC-GeoHMS(USACE, 2001b) 모듈을 이용하였으며, HEC-GeoHMS 모듈은 미공병단에 의해 2000년 개발되었으며, 제한된 GIS 경험을 가진 수문기술자를 위해 개발된 지형공간자료 처리 모듈로 HEC-HMS와 연동하여 유역 홍수추정에 이용되도록 설계되었다. HEC-GeoHMS는 HEC-HMS의 입력자료를 구축하는데 이용되며, 자료관리, 지형자료 처리, 유역자료처리, HMS 모형지원 등의 모듈로 구성되어 있다. 대상유역의 지형도는 국립지리원에서 제작한 1/5,000 NGIS 수치지도를 이용하였으며, HEC-GeoHMS 모듈을 이용하여 경사방향도, 흐름집적도, 하천도, 하천구분도, 소유역구분도 등을 추출하였다.

다. 유출곡선번호

SCS 방법을 이용한 유출량의 산정을 위해 선행강우조건에 따른 유출곡선번호(CN)를 추출하였다. 이를 위해 유역의 토양자료와 토지이용자료를 이용하였다. 토양도는 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 유역에 대한 토양분류를 실시하고, 허기슬 등(1988)의 연구 결과를 토대로 수문학적 토양군을 분류하였다. 토지이용자료는 위성영상자료를 이용하여 토지이용분

Table 1 Classification of AMC

AMC Group	5-day Antecedent rainfall, RF5(mm)	
	Growing season (Jun. ~ Sep.)	Dormant season (Oct. ~ May)
I	RF5 < 35.6	RF5 < 12.7
II	35.6 < RF5 < 53.3	12.7 < RF5 < 27.9
III	RF5 > 53.3	RF5 > 27.9

Table 2 CN values for each land use and hydro-logic soil group

Land use	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Paddy	78	78	78	78
Upland	72	81	88	91
Farmstead	59	74	82	86
Reservoir	100	100	100	100
Forest	56	75	86	91

류를 실시하였고, 논에서의 CN값은 임상준 등(1997)에 관한 연구를 바탕으로 산정하였다. 시험유역에 대한 수문학적 토양군자료와 토지이용자료를 토지이용별 수문학적 토양군을 분류하였다(Table 2). 이를 토대로 선행토양함수조건 (Antecedent Moisture Condition, AMC)에 따른 시험유역의 유출곡선번호(CN)를 추출하였다. 추출된 CN 값은 CN I 은 63, CN II 는 78, CN III는 89를 나타냈다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 모형의 보정

모형의 보정은 모형의 적용을 위해 모형의 초기조건과 매개변수를 유역의 조건에 맞도록 일치시키는 과정으로서 계산된 값과 측정된 값이 가장 잘 일치할 때의 초기조건과 매개변수 값을 추정하는 것이다. 모형의 보정은 단순시행착오법과 최적화 기법을 이용하는 방법이 있다. HEC-HMS 모형에는 모형의 보정을 위한 최적화 모듈이 제공되며, 여러 목적함수와 최적화 기법을 사용할 수 있다. 본 연구에서 모형의 보정을 위하여 HEC-HMS 모형에서 제공되는 최적화 모듈을 이용하였고, 목적함수로서 첨두유량 가중 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 사용하였고, 최적화 기법으로 단일확률변수기법을 사용하였다. 첨두유량 가중 RMSE는 식(11)과 같이 계산한다.

첨두유량 가중  $RMSE$  (11)

$$= \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Q_o(t) - Q_s(t))^2 \frac{Q_o(t) + Q_A}{2Q_A}}{n}}$$

여기서,  $Q_o(t)$ 는 실측값,  $Q_s(t)$ 는 모의값,  $Q_A$ 는 평균 실측값이므로, 다음과 같이 계산된다.

$$Q_A = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Q_o \quad (12)$$

단일확률변수기법은 나머지 매개변수들은 고정시키고, 가장 기여도가 큰 매개변수의 최적값을 찾아 나가면서 목적함수를 최소화하여, 최적화된 매개변수들의 값을 찾는 방법이다.

#### 가. 유출량

유출량에 대한 보정은 유출량에 대해 가장 큰 기여를 하는 CN값을 대상으로 하였다. CN값은 선행토양함수조건(antecedent soil moisture condition, AMC)에 따라 CN I, CN II, CN III로 분류되는데, AMC 조건에 따라 CN값을 적용한 결과 CN I 을 적용했을 때 유출량이 적게 모의되었는데, 이는 농업유역에서 관개용수로 인한 영향으로 추정되며 AMC I 조건의 경우 AMC II 조건의 CN값으로 보정하였다. 따라서, 보정된 CN 값으로 CN I, CN II, CN III에 대해 각각 78, 78, 89를 적용하였다. Fig. 4는 보정된 CN 값을 적용한 HEC-HMS 모형의 유출량 모의결과와 실측치를 비교한 결과를 나타내고 있다.

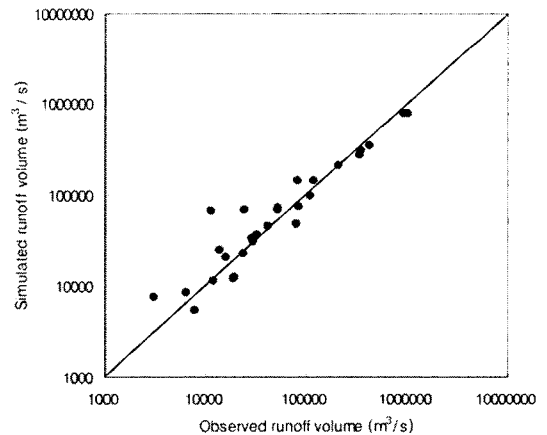


Fig. 4 Observed and simulated runoff volume at the HP#6 watershed

#### 나. 직접유출

직접유출에 대한 보정을 위해 총 28개의 강우사상을 이용하였으며, Snyder 방법에서 유역지체시간( $t_p$ )과 유역특성상수( $C_p$ )에 대하여, SCS 방법에서는 지체시간( $t_{lag}$ )에 대하여, Clark 방법에서는 저류상수( $K$ )와 도달시간( $t_c$ )에 대하여 보정을 실시하였다. Table

3은 보정된 각 계수들의 결과값을 나타내고 있다.

한편, Fig. 5와 Fig. 6은 모의치와 실측치의 침투 유량 및 침투시간을 1:1 그래프로 나타낸 것으로 침투시간은 실측값과 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, 침투유량도 비교적 실측치를 잘 반영하고 있다.

## 2. 모형의 검정

모형의 검정은 선정된 강우사상 중 모형의 보정에

Table 3 Optimized parameters of the HP#6 watershed

Snyder UH		SCS UH	Clark UH	
$t_p$ (hr)	$C_p$	$t_{lag}$ (hr)	$t_r$ (hr)	$K$
0.396	0.610	0.396	0.660	0.524

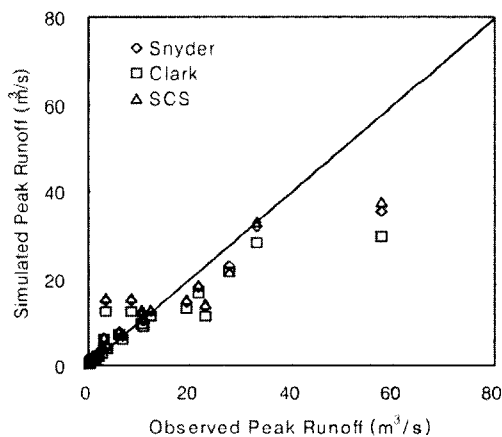


Fig. 5 Comparison peak runoff of simulation and observation

이용되지 않았던 총 27개의 사상에 대하여 실시하였다.

Fig. 8은 HP#6 소유역의 강우사상에 대한 유출량의 모의치와 실측치를 일대일 그래프로 보여주고 있다. 한편, Fig. 9와 Fig. 10은 모의치와 실측치를 침투시간과 침투유량에 대하여 1:1로 그래프상에 나타낸 그림이다. 침투시간의 경우 실측치와 거의 일치하는 것을 볼 수 있으며, 침투유량은 실측치를 비교적 잘 반영하고 있다.

## 3. 모형의 평가

모형의 보정과 검정에 대한 평가를 위하여 평균제곱근오차(RMSE)와 상대평균절대오차 (Relative Mean Absolute Error, RMAE), 상대오차 (Relative Bias, RB), 결정계수 ( $R^2$ ) 등의 통계적 변량을 사용하였으

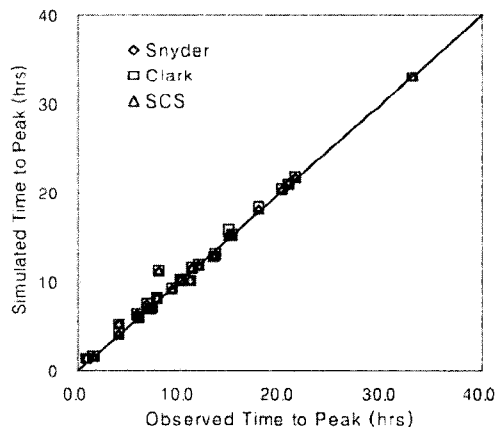


Fig. 6 Comparison peak time of simulation and observation

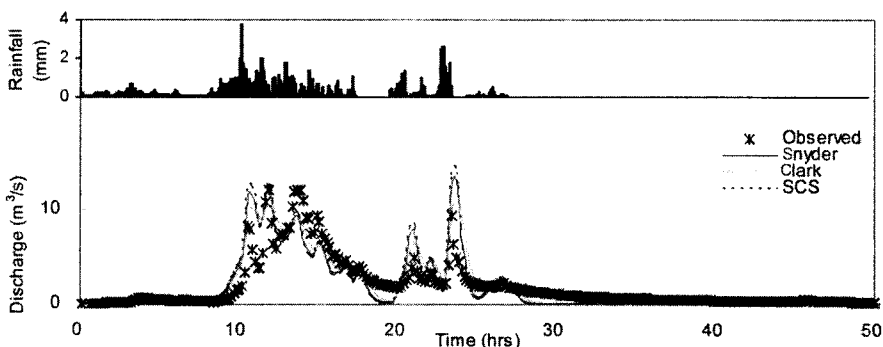


Fig. 7 Comparison between observed and simulated for 2000/08/26 storm event after calibration

며, 각각의 통계변량은 식 (13)~식 (15)과 같이 표현된다(강문성, 2002).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_f(i) - Q_o(i)]^2} \quad (13)$$

$$RMAE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_f(i) - Q_o(i)|}{M_o} \quad (14)$$

$$RB = \frac{M_f - M_o}{M_o} \quad (15)$$

여기서,  $Q_o$ 는 실측값,  $Q_f$ 는 모의값,  $n$ 은 자료수,  $M_o$ 는 실측 유출량의 평균치,  $M_f$ 는 추정 유출량의 평균치이다.

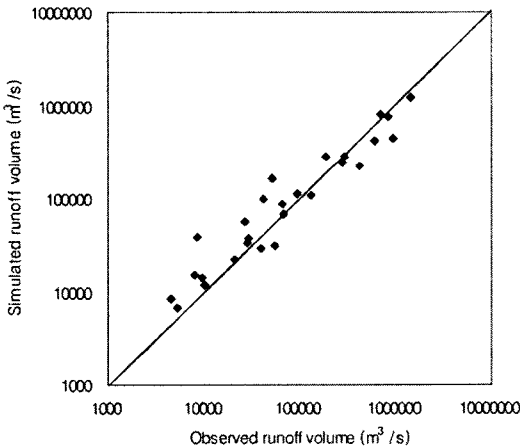


Fig. 8 Observed and simulated runoff volume at the HP#6 watershed

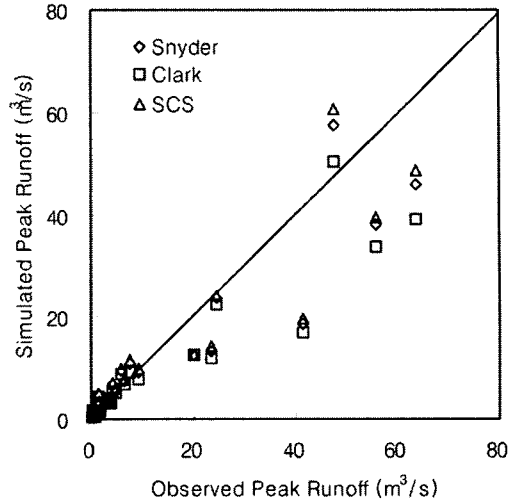


Fig. 9 Comparison peak runoff of simulation and observation after verification

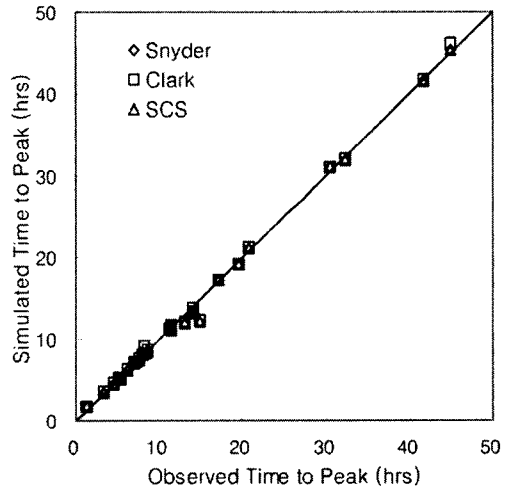


Fig. 10 Comparison peak time of simulation and observation after verification

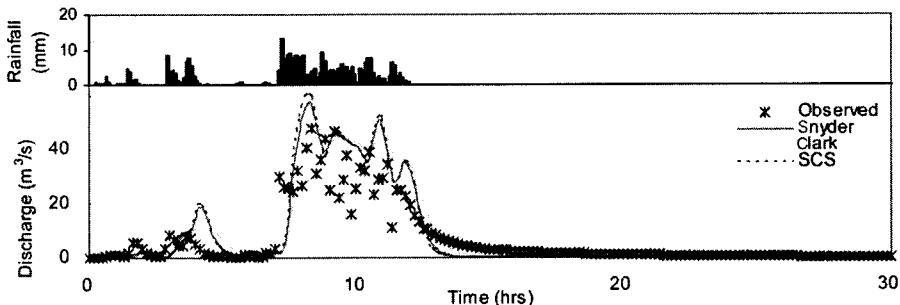


Fig. 11 Comparison between observed and simulated for 2000/07/22 storm event



Table 4는 유출량과 침투유량 및 침투시간에 대한 모의 결과의 통계적인 변량을 나타내고 있다. 총 유출량은 모형의 보정과 검정에 대하여 각각 결정계수가 0.9863, 0.9042로 나타났으며, RMSE, RMAE 및 상대오차의 경우도 비교적 실측 유량의 경향성과 크기를 잘 나타낸 것으로 평가된다.

단위도 모형에 따른 침투유량과 침투시간에 대해서 각각 결정계수가 0.8500 이상, 0.9800 이상으로 나타났으며, RMSE, RMAE 및 상대오차의 경우도 비교적 실측 데이터를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다, 그 중에서도 SCS 단위도 방법이 모형의 보

정과 검정에 대하여 결정계수와 RMSE, 상대오차의 통계적 변량의 값에서 Snyder와 Clark 단위도 방법 보다 약간 우위를 보이는 것으로 나타났다.

그러나 직접유출모의를 수행하기 위해 적용한 Snyder, Clark, SCS 단위도 방법에 대한 각각의 통계적 변량을 통하여 각 방법의 적합성에 대한 근소한 우열성을 감지할 수는 있지만, 각 모의 방법 간의 유의적 차이가 존재하는지는 알 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 직접유출 모의를 수행하기 위해 적용한 Snyder, Clark, SCS 단위도 방법에서 실측값에 대하여 각 방법간의 유의한 차이가 있는지를 알아보기

Table 4 Calibrated and verified results from HEC-HMS model simulation at the HP#6 watershed

Item	Calibration				Verification				
	R <sup>2</sup>	RMSE	RMAE	RB(%)	R <sup>2</sup>	RMSE	RMAE	RB(%)	
Total volume (mm)	0.9863	7.06	0.20	7.06	0.9042	16.00	0.27	11.13	
Peak runoff (m <sup>3</sup> /sec)	Snyder	0.8736	5.43	0.29	6.53	0.8620	10.20	0.36	19.80
	Clark	0.8666	6.37	0.33	17.89	0.8588	11.80	0.38	28.76
	SCS	0.8724	5.25	0.30	2.90	0.8638	9.57	0.35	15.77
Peak time (hrs)	Snyder	0.9899	0.73	0.04	1.99	0.9970	0.62	0.03	0.89
	Clark	0.9895	0.80	0.04	3.31	0.9964	0.67	0.03	0.43
	SCS	0.9900	0.72	0.03	1.86	0.9970	0.62	0.03	0.97

Table 5 ANOVA table of calibration result

	SV	SS	df	MS	F <sub>S</sub>	F <sub>0.05(2,81)</sub>
Peak runoff (m <sup>3</sup> /s)	Among groups	2.0938	2	1.0469	0.0414	3.1093
	Within groups	2046.7150	81	25.2680		
	Total	2048.8090	83			
Peak time (hr)	Among groups	0.2017	2	0.1009	0.2593	3.1093
	Within groups	31.5019	81	0.3889		
	Total	31.7036	83			

\*\* SV : source of variation, SS : sum of square, df : degree of freedom, MS : mean square

Table 6 ANOVA table of verification result

	SV	SS	df	MS	F <sub>S</sub>	F <sub>0.05(2,81)</sub>
Peak runoff (m <sup>3</sup> /s)	Among groups	3.1689	2	1.5845	0.0188	3.1138
	Within groups	6567.3190	78	84.1964		
	Total	6570.4880	80			
Peak time (hr)	Among groups	0.0950	2	0.0475	0.1793	3.1138
	Within groups	20.6686	78	0.2650		
	Total	20.7636	80			

\*\* SV : source of variation, SS : sum of square, df : degree of freedom, MS : mean square

위하여 일원분산분석을 침투유량과 침투시간에 대하여 실시하였다. Table 5와 Table 6은 모형의 보정과 검정 결과의 침투유량과 침투시간에 대한 분산분석표를 나타내고 있다. 표의 내용에서 볼 수 있듯이, 모형의 보정과 검정에 대한 침투유량과 침투시간의 FS 들은 유의수준 5%에 대한 F0.05 값보다 모든 경우에서 다 작으므로 귀무가설이 성립된다. 따라서 각 단위도 방법간의 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 유역의 홍수량을 추정하기 위해 미공병단에서 개발한 HEC-GeoHMS와 HEC-HMS 모형을 이용하여 지형정보를 추출하고, 강우-유출 모의 방법으로 Snyder, Clark, SCS 단위도 방법의 세가지를 적용하여 각 방법의 매개변수를 보정하고, 실측자료와 비교하여 모형의 적용성을 평가하고, 각 단위도 방법별 결과를 비교·평가 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) HEC-HMS를 이용하여 시험유역을 대상으로 1996년부터 2003년까지의 주요한 55개의 호우사상에 대하여 수문곡선을 모의하였으며, 모의된 유출량과 침투유량 및 침투시간을 실측치와 비교한 결과 높은 적용성을 보였다.

2) 모형의 보정결과 세 가지 강우-유출 모의 방법에 대하여 침투유량에 대한 결정계수와 RMSE가 각각 0.8666~0.8736, 5.25~6.37 m<sup>3</sup>/s로 나타나 비교적 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 침투시간에 대해서는 결정계수와 RMSE가 각각 0.9895~0.9900, 0.72~0.80 hr로 나타나 실측치와 거의 일치하는 것으로 나타났다.

3) 모형의 검정결과 세 가지 강우 유출 모의 방법에 대하여 침투유량에 대한 결정계수와 RMSE가 각각 0.8588~0.8638, 9.57~11.80m<sup>3</sup>/s 로 나타났으며, 침투시간에 대해서는 결정계수와 RMSE가 각각 0.9964~0.9970, 0.62~0.67hr로 실측치를 잘 나타내는 것으로 조사되었다.

4) Snyder, Clark, SCS 단위도를 적용한 결과 세

가지 방법 모두 우수한 적용성을 나타냈다. 특히, SCS 단위도가 실측치와 모의치의 침투유량과 침투시간에 대한 결정계수, RMSE, RMAE, 상대오차의 통계적 지표에서 시험유역의 특성을 가장 잘 반영하는 것으로 나타났다.

5) Snyder, Clark, SCS 단위도 방법간의 유의적 차이를 알아보기 위하여 일원분산분석을 실시한 결과, 각 방법간에는 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 기반으로, 본 연구에 적용한 각 방법은 농촌 소유역의 홍수량을 추정하는데 이용이 가능할 것으로 평가된다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

#### References

1. 강문성, 2002, 인공신경망 원격탐사기법과 비점 오염모형을 이용한 오염총량모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위 논문.
2. 김상민, 박승우, 2001, GIS를 이용한 침수모의모형의 적용, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 314-318.
3. 김철겸, 1999, 논에서의 유출특성을 고려한 농업 소유역의 홍수유출 추정, 서울대학교 석사학위 논문.
4. 김현준, 2001, 2매개변수 쌍곡선형 일유출 모형의 개발, 서울대학교 박사학위 논문.
5. 박종민, 2003, GIS를 이용한 농경지 침수피해 모의시스템 개발, 서울대학교 박사학위 논문.
6. 임상준, 박승우, 1997, 논이 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회지, 30(4), pp.379-387.
7. 한국수자원학회, 2005, 하천설계기준, p.275
8. 허기술, 우정화, 1988, 한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용, 농공기술 4호 : 48-60.
9. Clark, C. O., 1945, Storage and the unit hydrograph. Trans. Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 110. pp.1419-1446.
10. Crawford, H. H., and Linseley, R. K., 1966,

- Digital simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV, Tech. Rep. No. 39, Stanford Univ., Palo Alto, Calif.
11. Mockus, V., 1957, Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application, Washington, D.C.: U.S Department of Agriculture Soil Conservation Service.
  12. Snyder, F. F., 1938, Synthetic unit-graphs, Transaction of American Geophysical Union, Vol.19, pp.447~454.
  13. Singh, Vijay P. and David A. Woolhiser, 2002, Mathematical modeling of watershed hydrology, Journal of Hydrologic Engineering, Vol.7, No.4, American Society of Civil Engineers, pp.270-292.
  14. USACE, 1998, HEC-1 flood hydrograph package user's manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
  15. USACE, 2001a, HEC-HMS(version 2.1): Hydrologic Modeling System, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
  16. USACE, 2001b, HEC-GeoHMS(version 3.0): River Analysis System, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.