

## HEC-HMS 모형과 HEC-GeoHMS 모듈을 이용한 농업소유역의 홍수유출 해석

### Flood Runoff Analysis for Agricultural Small Watershed Using HEC-HMS Model and HEC-GeoHMS Module

김 상 민<sup>\*a</sup> · 성 충 현<sup>\*</sup> · 박 승 우<sup>\*\*</sup>

Kim, Sang Min · Sung, Chung Hyeon · Park, Seung Woo

#### Abstract

This paper documents recent efforts to validate the GIS-based hydrologic models, HEC-HMS and HEC-GeoHMS by the US Army Corps of Engineers. HMS and Geo-HMS were used to simulate storm runoff from a small rural watershed, the Balan HS#6. The watershed is 3.85 km<sup>2</sup> in size. The watershed topographic, soils, and land use data were processed using the GIS tool for the models. Input parameters were retrieved and calibrated with the field data. The simulated peak runoff, time to peak, and total direct runoff for twenty three storms were compared with the observed data. The results showed that the coefficient of determination ( $R^2$ ) for the observed peak runoff was 0.95 and an error, RMSE, 3.08 m<sup>3</sup>/s for calibration stages. In the model verifications,  $R^2$  was 0.89 and RMSE 6.79 m<sup>3</sup>/s, which were slightly less accurate than the calibrated data. The simulated flood hydrographs were well compared to the observed. It was concluded that HMS and GeoHMS are applicable to flood analyses for rural watersheds.

*Keywords* : Flood runoff, HEC-HMS, HEC-GeoHMS, GIS

#### I. 서 론

최근 수치지도의 제작이 활발히 이루어지면서 유역 수문 모형을 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 구동하는 모듈개발이 증가하고 있다. 수문모형의

구동을 위해 GIS를 이용할 경우 입력자료를 구축하기 위한 시간과 노력을 절감할 수 있으며, 기존의 방법에 비해 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 또한, GIS 이 외에 위성영상자료를 활용하게 되면 유역의 지상인자를 추출할 경우 토지이용의 변화나 유역의 지형적 변화를 보다 쉽게 고려하여 수문현상을 분석할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 다양한 수문해석 분야에 위성영상과 GIS를 응용한 연구가 이루어지고 있다.

최근 개발되고 있는 수문모형은 기존에 개발되었

\* 서울대학교 대학원  
\*\* 서울대학교 농업생명과학대학  
\*a Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4591  
fax: +82-2-873-8725  
E-mail address: smkim97@plaza1.snu.ac.kr

던 수문모형에 GIS 연계모듈을 개발하여 수문모형의 전후처리 작업을 GIS를 이용할 수 있도록 하여 사용자가 보다 쉽게 수문모형을 구동할 수 있도록 하고 있다. 미공병단에서는 유역에서의 홍수량 추정을 위해 기존에 개발되어 이용되던 HEC-1 모형을 사용자 편의 시스템과 다양한 기능을 추가하여 HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)를 개발하였고, GIS를 이용한 모형의 지형자료 구축을 지원하기 위해 HEC-GeoHMS를 개발하였다.

국내에서 HEC-HMS를 활용한 연구성과를 살펴보면, 안상진 등 (2002)<sup>1)</sup>은 금강유역에 HEC-HMS 모형의 적용성을 평가한 바 있으며, 신현석 (2002)<sup>2)</sup>은 HEC-HMS 및 HEC-RAS를 이용하여 홍수범람지역에 관한 연구를 수행하였다. 국외에서는 Anderson 등 (2002)<sup>3)</sup>이 캘리포니아의 Mt. Sierra Nevada에 위치한 저수지의 홍수시 조사를 위하여 HEC-HMS 모형과 대기모형을 조합하여 적용하였고, USACE (2002)<sup>4)</sup>에서는 HEC-HMS 모형을 이용하여 도시유출, 홍수빈도, 홍수저감, 하천자정 등에 관한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 GIS와 연계하여 홍수량을 추정하는 HEC-HMS 모형을 이용하여 시험유역을 대상으로 모형의 적용성을 평가하고 홍수유출 해석결과를 분석하였다.

## II. 연구방법

### 1. 대상유역

본 연구에서 GIS를 이용한 홍수량 추정모형의 적용을 위해 경기도 화성시 발안면과 팔탄면에 위

치한 발안 시험유역을 선정하였다. 발안 시험유역은 1996년부터 서울대학교 농공학과에서 수문관측을 실시하고 있으며 유역의 특성에 따라 7개의 소유역으로 구분하였다. 시험유역은 하천수위 측정지점 5개소, 저수지 수위 측정점 2개소, 관개수 측정지점 3개소, 지하수 측정 지점 3개소 등을 운영하고 있다(Fig. 1). 본 연구에서 홍수유출 해석을 위해 선정한 소유역은 유역면적 384.6 ha의 HP#6 소유역으로 발안저수지 상류에 위치하고 있으며, 유역의 지형특성은 Table 1과 같다. Fig. 2와 3은 HP#6의 수문관측지점과 우량관측점을 보여주고 있다.

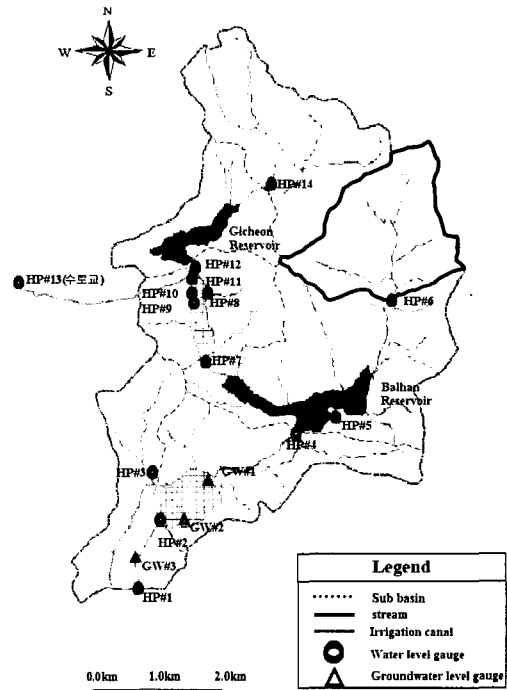


Fig. 1 Balhan study watershed

Table 1 Geomorphological characteristics of study watershed

Watershed	Area (ha)	Shape coeff.	Flow length (m)	Relief (m)	Relief ratio	Slope (m/km)	Stream frequency (ea/km <sup>2</sup> )
Balhan HP #6	384.6	1.562	3,088	246	0.09	1.493	0.97

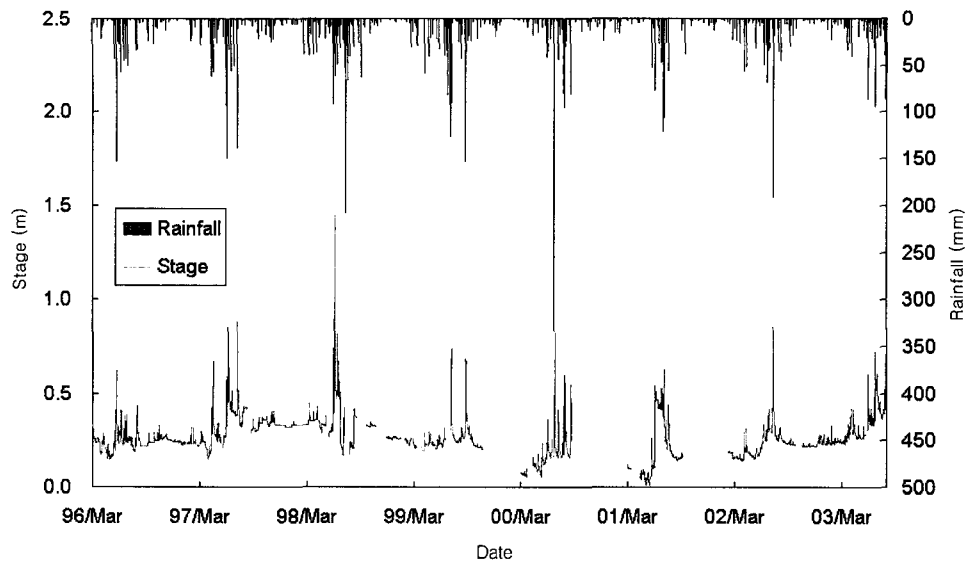


Fig. 2 Daily stream stage at HP#6 station

2. 수문자료 모니터링

유역의 HP#6 지점에서의 하천 수위는 자기 수위계와 압력식 수위계를 설치하여 수위를 관측하였다. 1996년부터 1998년까지는 자기 수위계를 이용하였고, 1999년부터 압력식 수위계를 이용하여 하천수위를 측정하고 있으며, Fig. 2는 1996년부터 2003년 8월까지의 HP#6 지점에 대한 일별 강우 및 수위자료를 보여주고 있다.

하천 수위측정에 대한 수위-유량관계를 조사하기 위해 현장 출장을 통해 폭우시 고수위 유량 측정과 평상시 저수위 유량 측정을 실시하여 수위-유량관계를 구하였다. 여름철 홍수가 발생하면 하천단면이 변화하므로, 매년 현장 유량 측정을 통해

수위-유량관계를 보완하였다. 연도별 수위-유량 상관관계는 Table 2와 같으며, 연도별 결정계수 ( $R^2$ )는 0.913~0.979의 범위를 보이고 있다.

3. HEC-GeoHMS 모듈

HEC-GeoHMS 모듈은 미공병단(US Army Corps of Engineers)에 의해 2000년 개발되었으며, 제한된 GIS 경험을 가진 수문기술자를 위해 개발된 지형공간자료 처리 모듈로 HEC-HMS와 연동하여 유역 홍수추정에 이용되도록 설계되었다. HEC-GeoHMS는 ArcView의 확장모듈로 HEC-HMS의 입력자료를 구축하는 데 이용되며, 자료관리(Data management), 지형자료 처리(Terrain processing), 유역자료처리(Basin processing), HMS 모형지원(HMS model support) 등의 모듈로 구성되어 있다. 다음의 Fig. 3은 GIS 자료를 처리하는 HEC-GeoHMS 모듈과 홍수량을 추정하는 HEC-HMS 모형을 연계하여 운영하는 모식도를 보여주고 있다.

Table 2 Stage-discharge relationship at HP#6 station

Station	Stage-discharge relationship	$R^2$
HP #6	$Q=9.2169h^{4.2384}$ (1996~1998)	0.913
	$Q=13.356h^{3.0625}$ (1999~2000)	0.979
	$Q=27.649h^{4.5418}$ (2001~2003/6)	0.969

Q : Discharge (m<sup>3</sup>/s), h : stage (m)

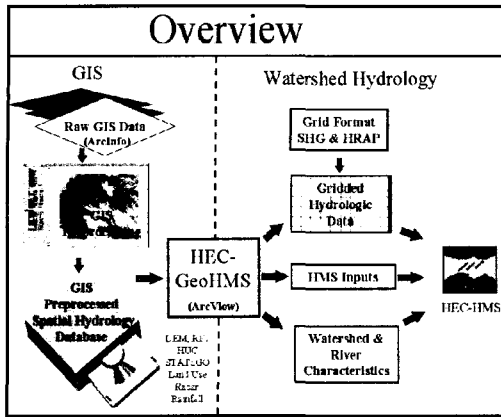


Fig. 3 Overview of GIS integrated hydrology program

#### 4. HEC-HMS 모형

HEC-HMS(Hydrologic Modeling System)는 미공병단에 의해 개발되었으며, HEC-1 모형을 계승 발전시킨 모형으로 유역에서의 강우-유출관계와 홍수추적 과정을 모의한다. HEC-HMS 모형은 각각의 유출성분을 모의하기 위해 유출량, 직접유출량, 기저유출량을 모의하며 하도구간에서의 흐름을 모의하기 위해 하천홍수추적 모듈을 제공한다.

##### 가. 유출량 산정

HEC-HMS 모형에서 유출량의 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 유출곡선 번호(CN) 모형, Green and Ampt의 손실량 모형 등을 지원한다. 본 연구에서는 SCS 유출곡선 번호 모형을 이용하여 손실량과 유출량을 산정하였다. 총강우량과 초과우량과의 관계는 다음 식 (1)과 같다.

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

여기서,  $P_e$  = 누가 초과우량,  $P$  = 누가 강우량,  $S$  : 최대잠재보유수량이다.

식 (1)에서 최대잠재보유수량  $S$ 는 다음의 식 (2)와 같으며, 유출곡선지수 CN은 토지이용, 토양종류, 수문학적 토양군 등에 의한 값으로 0~100의 범위를 갖는다.

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

##### 나. 직접유출량

HEC-HMS 모형에서 지원하는 초과우량에 대한 직접유출모의 모형은 경험적 모형과 개념적 모형으로 구분된다. 경험적 모형으로는 Clark, 수정 Clark, Snyder, SCS, 사용자 정의 단위도법에 의한 모형이 제공되고, 개념적 모형으로는 지표유희류에 대한 동수파 모형이 제공된다.

본 연구에서는 SCS 단위도법을 적용하여 직접유출량을 산정하였다. Fig. 2는 SCS의 무차원 단위도를 보여주고 있다.

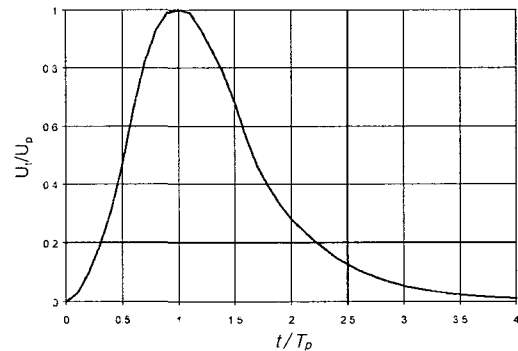


Fig. 4 SCS unit hydrograph

위 그림에서  $U_p$ 는 첨두유출량,  $T_p$ 는 첨두시간을 나타낸다. SCS는 첨두유출량과 첨두시간의 관계를 다음의 식 (1)과 같이 제시하였다.

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, A = 유역면적, C = 상수를 나타낸다.  
 침투시간( $T_p$ )은 다음의 식 (2)와 같이 초과우량  
 과 지속시간과의 관계로 나타낼 수 있다.

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

여기서,  $\Delta t$  = 초과우량의 지속시간,  $t_{lag}$  = 지체  
 시간(침투시간과 초과우량의 중심시간과의 차이)을  
 나타낸다.

SCS는 무계측 유역에서의 지체시간( $t_{lag}$ )을 다  
 음 식 (3)과 같이 홍수도달시간( $t_c$ )과의 관계로  
 제시하였다.

$$t_{lag} = 0.6 t_c \dots \dots \dots (3)$$

지체시간 ( $t_{lag}$ )이 결정되면 식 (2)로부터 침투  
 시간을, 식 (1)로부터 침투유량을 계산할 수 있다.  
 침투유량( $U_p$ )과 침투시간( $T_p$ )을 산정하면, Fig.  
 4의 SCS 무차원 단위도로부터 유역의 단위도를  
 나타낼 수 있다.

다. 기저유출량

HEC-HMS 모형에서 지원하는 기저유출량 모의  
 모형으로는 월별 일정 기저유량 모형, 지수감수모  
 형, 토양수분량 계산모형과 연계하여 사용되는 선  
 형 저수량 계산모형 등 3가지 모형이 있다.

본 연구에서는 지수감수모형을 사용하였다. Fig.

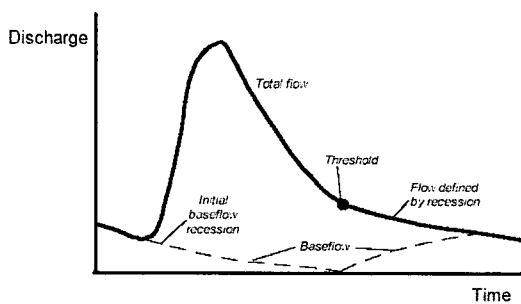


Fig. 5 Illustration of exponentially recession baseflow model

5는 지수감수모형의 개념도를 보여주고 있다. 기저  
 유량은 초기에 지수 함수적으로 감소하다가 강우의  
 영향을 받게 되면 다시 증가하게 된다.

III. 연구결과

1. HEC-GeoHMS 모듈을 이용한 지형자료구축

대상유역의 지형도는 국립지리원에서 제작한  
 1/5,000 NGIS 수치지도를 이용하여 구축하였으며,  
 HEC-HMS 모형의 구동을 위한 지형자료 구축을  
 위해 HEC-GeoHMS의 지형자료처리(Terrain pro-  
 cessing), 유역자료처리(Basin processing), HMS  
 모형지원(HMS model support) 등의 모듈을 이용  
 하여 경사방향도, 흐름집적도, 하천도, 하천구분도,  
 소유역구분도 등을 추출하였다. 다음의 Fig. 6~  
 Fig. 11은 대상유역으로 선정된 HP#6 소유역에  
 대해 유역경계 추출 과정을 보여주고 있다.

2. HEC-HMS 모형의 적용

가. 모형의 보정

모형의 보정을 위하여 HEC-HMS 모형에서 제  
 공되는 최적화모듈을 이용하였으며, 직접유출량에  
 대해 가장 큰 영향을 미치는 인자인 CN값과 초기  
 차단량의 두가지 인자를 대상으로 보정하였다.

Table 3는 침투유량과 침투시간을 보정하여 실  
 측치와 비교한 결과이며, 보정된 모의치와 실측치  
 의 침투유량에 대한 상관계수가 0.949로 상관성이  
 높은 것으로 나타났으며, RMSE는 3.077 m<sup>3</sup>/s을  
 나타냈다. 침투시간에 대해서는 모의치와 실측치에  
 대한 상관계수와 RMSE가 각각 0.986과 0.572 h  
 로 실측치를 잘 나타냈다. Fig. 12와 Fig. 13은 그  
 결과를 일대일 그래프로 나타낸 것이다.

나. 모형의 검정

모형의 보정에 사용되지 않은 강우사상에 대하여

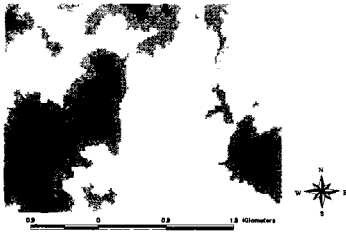


Fig. 6 Depressionless DEM

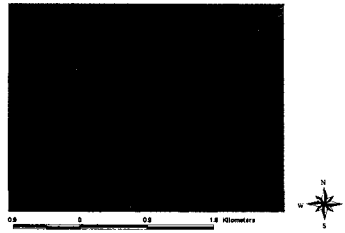


Fig. 7 Flow direction

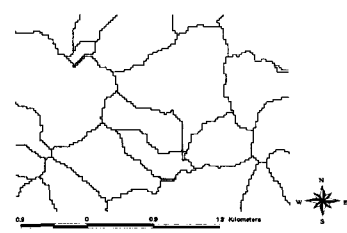


Fig. 8 Watershed polygon

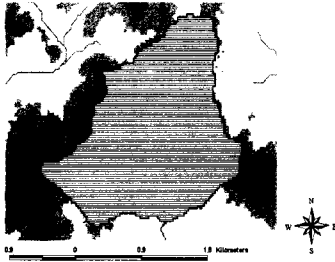


Fig. 9 Generated project area

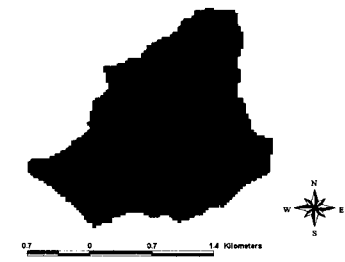


Fig. 10 Subwatershed boundary

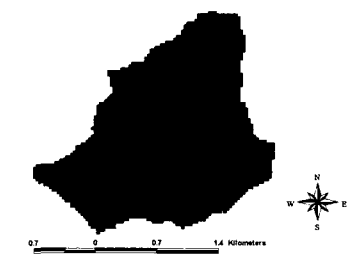


Fig. 11 Merged watershed

Table 3 Calibration results of the HEC-HMS (HP#6)

Event	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)		Time to peak (h)	
	Observed	HEC-HMS	Observed	HEC-HMS
960704	6.759	3.057	7.83	8.20
960723	3.984	10.503	14.00	13.20
970704	6.125	7.682	13.50	13.10
990709	2.984	5.055	4.00	5.20
990801	3.254	3.168	4.70	4.30
990923	1.391	4.645	15.17	15.20
000626	1.312	1.204	14.10	15.10
000722	47.575	41.807	8.68	8.20
000820	9.233	7.159	9.00	8.60
000826	13.275	14.541	17.17	17.20
000915	4.713	5.449	12.75	12.80
020722	8.224	7.624	20.83	20.81
R squared	-	0.949	-	0.986
RMSE	-	3.077	-	0.572

모형의 검정을 실시하였다. Table 3은 모의 결과를 나타내며, Fig. 14와 Fig. 15는 침투시간과 침

투유량을 실측치와 일대일로 나타낸 것이다.

Table 4에서 볼 수 있듯이, 검정된 모의치와 실

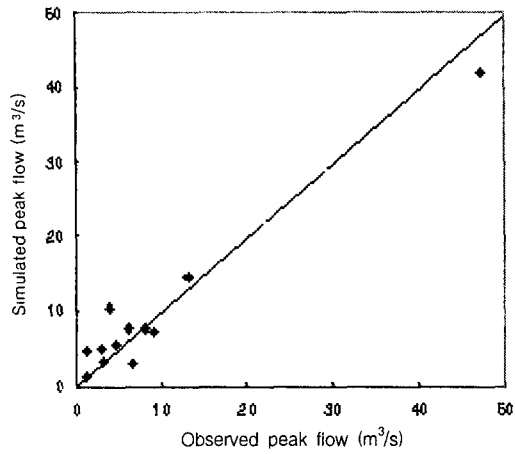


Fig. 12 Comparison peak flows of simulation and observation (HP # 6)

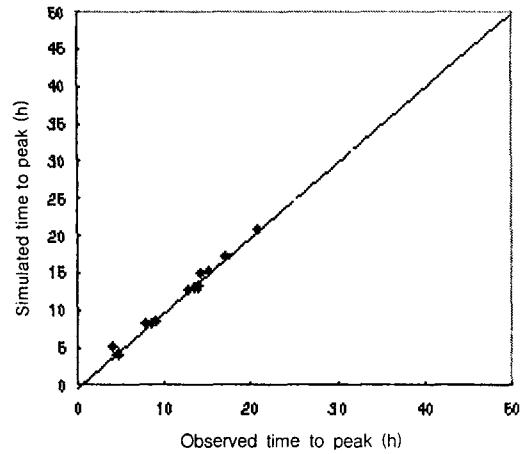


Fig. 13 Comparison peak time of simulation and observation (HP # 6)

Table 4 Verification result of the HEC-HMS (HP#6)

Event	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)		Time to peak (h)	
	Observed	HEC-HMS	Observed	HEC-HMS
970625	21.584	9.984	10.00	9.50
990905	1.513	2.834	6.00	5.20
000629	10.561	10.687	1.29	1.50
000804	10.963	6.703	4.00	4.20
000824	6.356	9.190	14.50	12.30
000831	1.618	2.921	7.83	8.20
000914	0.922	0.815	13.33	13.50
010730	55.804	40.176	1.17	1.80
010813	19.400	8.877	20.00	21.00
020827	2.634	2.101	5.50	5.50
030627	23.552	21.296	3.33	3.40
R <sup>2</sup>	-	0.8932	-	0.9792
RMSE	-	6.786	-	0.785

측치의 첨두유량과 첨두시간에 대하여 각각 상관계수가 0.8932와 0.9792로 높게 나타났으며, RMSE의 경우 각각 6.786 m<sup>3</sup>/s와 0.785 h로 비교적 실측치를 잘 반영하였다. 한편 Fig. 16은 2003년 6월 27일 강우에 대한 모형의 적용결과를 보여주고 있다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업소유역에서의 홍수량을 추정하기 위해 미공병단에서 개발한 HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 이용하였으며, 시험유역을 대상으로 모형을 적용하고 실측자료와 비교하여 모형의 적용

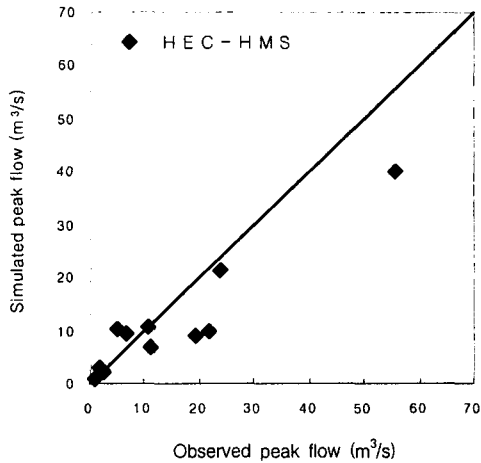


Fig. 14 Comparison peak flow of simulation and observation after verification (HP#6)

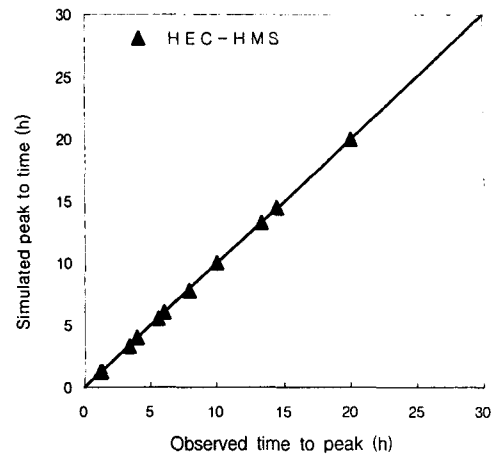


Fig. 15 Comparison peak time of simulation and observation after verification (HP#6)

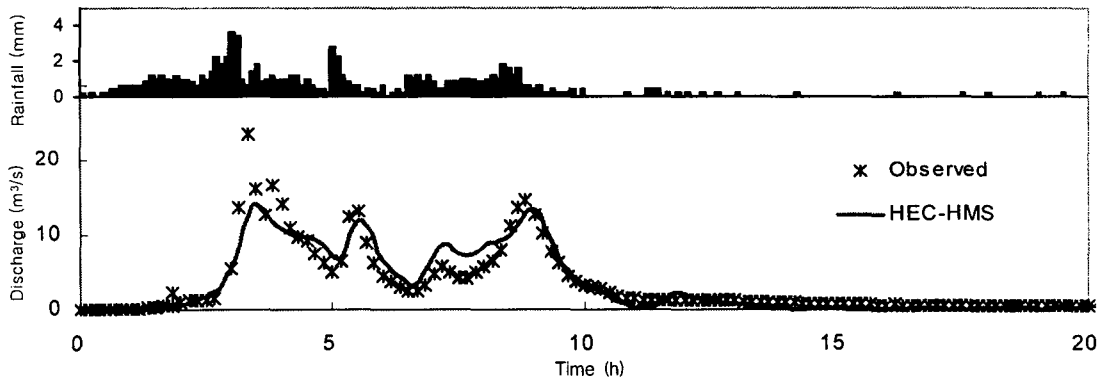


Fig. 16 Comparison between observed and simulated runoff for 2003/6/27 storm event

성을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 농업유역의 홍수량 추정을 위해 경기도 화성 시 발안면과 팔탄면에 위치한 발안 시험유역을 대상으로 GIS 자료를 구축하고 HEC-GeoHMS를 이용하여 HEC-HMS를 구동하기 위한 지형자료를 구축하였다.

② HEC-HMS를 이용하여 시험유역을 대상으로 1997년부터 2003년 8월까지의 주요한 폭우사상에 대하여 첨두유량과 첨두시간 추정하고 이를 실측치

와 비교하였다.

③ 모형의 보정결과 첨두유량에 대한 모의치와 실측치의 상관계수와 RMSE는 각각 0.949, 3.077  $m^3/s$ 을 나타냈으며, 첨두시간에 대한 모의치와 실측치의 상관계수와 RMSE는 각각 0.986과 0.572 h로 분석되었다.

④ 첨두유량과 첨두시간에 대한 모형의 검증결과 상관계수는 각각 0.8932와 0.9792로 높게 나타났으며, RMSE의 경우 각각 6.786  $m^3/s$ 과 0.785 h로 조사되었다.



본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

### References

1. Ahn, S. J. 2000. An Application in the Geum River Basin Using HEC-HMS Model. *The Proceeding of 2000 Korea Water Resources Association* : 525-528. (in Korean)
2. Shin, H. S. 2000. Study on Flood Inundation Area Definition using HEC-HMS, HEC-RAS and ArcView. *The Proceeding of 2000 Korea Water Resources Association* : 221-224. (in Korean)
3. M. L. Anderson et al., 2002. Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff. *Journal of Hydrologic Engineering* 7(4) : 312-318.
4. U.S. Army Corps of Engineering, 2002. HEC-HMS: Hydrologic Modeling System, Applications Guide, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
5. Kim, C. G., S. W. Park, and S. J. Im, 2001. Runoff hydrograph synthesis from small watersheds considering hydrological characteristics of irrigated rice paddies. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(6) : 56-62. (in Korean)
6. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-GeoHMS(Version 1.0): Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
7. U.S. Army Corps of Engineering, 2000. HEC-HMS(Version 2.1): Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
8. U.S. Army Corps of Engineering, 2001. HEC-HMS(Version 2.1): Hydrologic Modeling System, User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.