

HEC-HMS를 이용한 금호강 유역의 유출분석

Runoff Analysis of Kumho River Basin Using HEC-HMS

정찬용*, 임혁진*, 송인렬*, 이진원**, 정성원***

Chan Yong Jung, Hyuk Jin Lim, In Ryeol Song, Jin Won Lee, Sung Won Jung

요 지

HEC-HMS(Hydrologic Modeling System)은 강우-유출 모의를 위한 차세대 소프트웨어이며 HEC-1에 포함되어 있는 단위도 및 수문학적 홍수추적 이외에도 격자형 강우자료(레이더 데이터)를 이용하여 적용할 수 있는 유사분포 유출변화와 장기 연속모의에 적용할 수 있는 간단한 수분감소 등을 추가적으로 포함하고 있다. 또한 GUI(Graphical User Interface)환경, 통합 수문분석 성분, 자료 저장 및 관리 능력, 그래픽 처리 및 리포트 출력기능으로 구성되어 있으며 여러 가지 프로그램 언어(C, C++, Fortran)를 이용하여 개발되었다.

본 연구에서는 낙동강 수계의 금호강에 위치한 동촌 지점을 유출구로 선정하고 5개의 소유역과 두 개의 하도로 구성하여 유출모의를 실시하였으며 수문자료 선정은 2007년~2008년에 발생한 홍수사상과 유량조사 사업단에서 개발한 수위-유량관계곡선식을 활용하였다. 또한, HEC-GeoHMS 모형을 GIS와 연계하여 지형인자를 추출하고 추출된 지형인자를 이용하여 매개변수를 산정하였다. HEC-HMS 모형의 계산 조건에서 손실 우량은 SCS CN, 유출변환은 Clark 단위도법을 적용하였다. 또한 관측치와 계산치의 적합도 검증은 평균제곱근오차(root mean square error; RMSE)와 모형 효율성 계수(model efficiency; ME)를 산정하여 분석하였다

핵심용어 : HEC-HMS, HEC-GeoHMS, CN(curve number)값, 단위도법, 적합도 검증

1. 서 론

HEC-HMS(Hydrologic Modeling System, 1998)은 수문학적 모형으로 HEC-1 모형을 보완한 차세대 소프트웨어이며 단위도 및 수문학적 홍수추적 이외의 유사분포 유출변화 및 장기 연속모의를 할 수 있다. 또한 GUI 환경, 통합 수문분석 성분 등 많은 기능을 구성하고 있어 실무에서 많이 활용되고 있다.

국내에서는 2000년대부터 GIS를 이용한 유출해석 및 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 김형수 등(2000)은 설계홍수량 산정, 안상진 등(2000)은 금강유역의 유출해석에 적용하였다. 이후 안상진 등(2001), 김주훈 등(2002), 우기정 등(2002)은 GIS와 HEC-GeoHMS를 연계하여 지형인자를 추출하고 추출된 지형인자를 매개변수로 변환하여 HEC-HMS 모형에 적용하였다.

본 연구에서는 GIS와 HEC-GeoHMS를 이용하여 유출분석에 필요한 지형인자를 추출하고 이 매개변수를 HEC-HMS 모형의 매개변수로 입력하여 낙동강 수계의 금호강에 위치한 동촌 지점의 유출분석과 모형의 적합성을 검증하였다. 또한 소유역별 CN 값을 최적화하여 2007년~2008년에 발생한 4개의 홍수사상에 적용하여 매개변수의 적절성 여부를 검증하였다. 또한, 관측치와 계산치의 적합도 검증은 평균제곱근오차(root mean square error; RMSE)와 모형 효율성 계수(model efficiency; ME)를 산정하여 분석하였다.

2. 모형의 개요

* 유량조사사업단 유량조사실 연구원·E-mail : cyjung@kict.re.kr, hyukjin@kict.re.kr, songir@kict.re.kr
** 유량조사사업단 유량조사실 실장·E-mail : jwlee@kict.re.kr
*** 유량조사사업단 단장·E-mail : swjung@kict.re.kr

2.1 HEC-HMS(Hydrologic Modeling System) 모형

HEC-HMS 모형은 강우-유출을 해석하는데 여러 가지 기능을 제공하고 있다. 초기 버전인 HEC-1 모형이 포함되어 있고 단위도 및 수문학적 홍수추적, 격자형 강우자료를 이용한 유사분포 유출변환과 장기 연속 모의에 적용할 수 있는 수분감소 등을 포함하고 있다. 또한 GUI 환경, 통합 수문분석 성분, 자료 저장 및 관리 능력, 그래픽 처리, 리포트 출력 등으로 구성되고 다양한 매개변수에 대한 최적화 기능이 포함되어 있다. HEC-HMS 내의 모든 계산은 SI 단위계로 구성되고 입력자료는 SI 단위계와 영국 단위계를 모두 사용할 수 있다.

HEC-HMS를 적용하는 단계를 간략하게 나타내면 다음과 같다.

- ① 기존 프로젝트를 열거나 또는 새로운 프로젝트를 시작한다.
- ② Basin Model을 열고 관련 데이터를 입력한다.
- ③ Precipitation Model을 열고 관련 데이터를 입력한다.
- ④ Control Specifications를 열고 관련 데이터를 입력한다.
- ⑤ 실행의 조합을 구성한 후 실행한다.
- ⑥ 결과를 고찰한다.
- ⑦ 프로젝트를 저장하고 종료한다.

HEC-HMS에서 사용자가 선택할 수 있는 조건은 5가지로 소유역(subbasin) 항목에서 손실(losses), 변환(transform), 기저유량(base flow)과 하도구간에서 홍수추적, 강우자료의 입력으로 크게 나눌 수 있다. HEC-HMS의 계산조건은 표 1과 같으며 본 연구에서는 SCS CN, Clark 단위도, Specify gage weights를 적용하여 유역에서 가장 적합한 매개변수를 선정하여 적용하였다.

표 1 HEC-HMS 모형의 계산과정

| | | |
|-----------------------|---|---|
| 손실 (losses) | ·Initial and constant ·Green and Ampt ·Gridded Curve No. | ·Deficit and constant ·SCS Curve No. |
| 변환 (transform) | ·ModClark ·Clark unit hydrograph ·SCS dimensionless unit hydrograph | ·Kinematic wave ·Snyder unit hydrograph ·User specified unit hydrograph |
| 기저유량 (base flow) | ·Exponential recession | ·Constant monthly |
| 추적 (routing) | ·Lag ·Modified Puls ·Kinematic wave | ·Muskingum ·Muskingum Cunge(std shape, 8point) |
| 강수 (precipitation) | ·Grid-based precipitation ·Specify gage weights ·Frequency-based design storm | ·Import hyetograph ·Inverse-distance gage weighing |

2.2 HEC-GeoHMS 모형

HEC-GeoHMS는 유역의 지형특성인자와 수문학적 인자를 추출하여 HEC-HMS 모형의 입력변수를 제공하기 위해 개발된 모형으로서 자료관리와 GUI를 포함하고 있다. 표 2는 HEC-GeoHMS 모형에서 지형인자를 추출하는 과정을 나타낸다.

표 2. HEC-GeoHMS 모형의 지형인자 추출 과정

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| Data Processing | ·Data Collection | ·Data Assembly |
| Terrain Preprocessing | ·Fill Sinks | ·Flow Direction |
| | ·Flow Accumulation ·Watershed Delineation | ·Stream Definition ·Watershed Aggregation |
| Hydrologic Processing | ·Basin Processing | ·HMS Model Files |
| Hydrologic Parameters and HEC-HMS | ·Stream and Watershed Characteristics | |
| | ·Basin Processing | ·Basin Characteristics |

3. 지형특성인자 추출

3.1 GIS와 HEC-GeoHMS를 연계한 입력자료 추출 과정

본 연구의 대상유역인 낙동강 유역의 DEM 자료를 기존의 DXF file 형식으로 구축된 Grid file을 호환이 가능한 ASCII file로 Export 시킨 후 GIS에서 Import하는 방식을 취하였다. 그림 1~그림 6은 DEM 자료를 GIS에서 Grid 파일로 변환하고 동촌 수위관측소를 최하류의 유출구로 한 하천망과 유역경계, 소유역 분할을 나타낸다. 그림 7은 HEC-GeoHMS로부터 만들어진 Background-Map File로 HEC-HMS 모형에서 Basin module로 Import 시킬 수 있다.

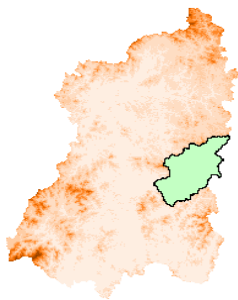


그림 1 Grid 파일

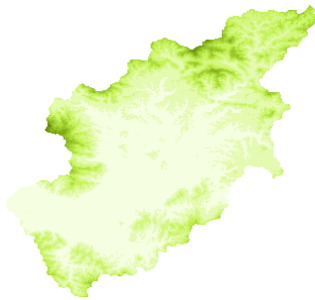


그림 2 Fill Sinks

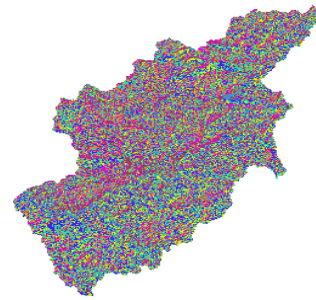


그림 3 Flow Direction



그림 4 Flow Accumulation



그림 5 Watershed Delineation

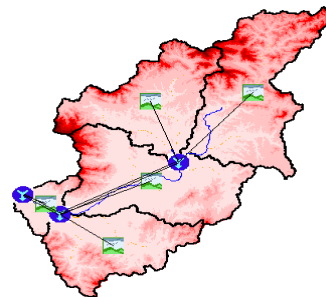


그림 6 Basin Model

3.2 지형특성인자 추출

본 연구에서는 GIS와 HEC-GeoHMS 모형을 연계하여 5개의 소유역으로 분할하여 각 소유역마다 지형 특성인자들을 추출하였으며, 여기서 추출된 지형특성인자들을 이용하여 강우-유출 모형인 HEC-HMS 모형의 매개변수 산정에 활용하여 유출모의를 하였다(표 3 참조).

표 3. 소유역별 지형특성인자

| 유역 | 구 분 | 유역면적 A(km ²) | 하도길이 L(km) | 하상경사 (m/m) |
|-------|-----|-----------------------------|---------------|---------------|
| Sub-1 | | 343.72 | 39.33 | 0.026 |
| Sub-2 | | 451.57 | 55.77 | 0.012 |
| Sub-3 | | 412.08 | 50.74 | 0.011 |
| Sub-4 | | 69.53 | 18.48 | 0.032 |
| Sub-5 | | 284.19 | 35.34 | 0.014 |

3.3 소유역에 대한 불투수층과 티센 가중치 산정

동촌 수위관측소를 유출구로 유역은 5개 소유역에 분할되고 각 소유역은 국토해양부와 기상청(영천)에서 관할하는 강우관측소가 구축되어 있다. HEC-HMS 모형에서 SCS CN의 손실에 입력되는 불투수층 산정은 그림 8과 같이 토지이용도를 활용하였고 티센망 구축과 강우자료 입력에 필요한 티센계수는 그림 7과 표 4로 나타냈다.

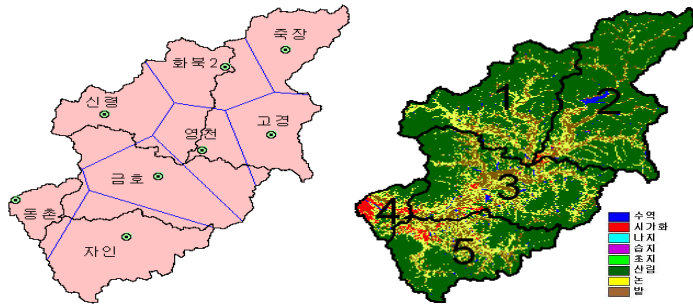


그림 7 티센망 구축

그림 8 토지이용도

표 4 소유역별 티센계수

| Basin | 신령 | 화북2 | 죽장 | 고경 | 영천 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| sub-1 | 0.450 | 0.334 | | | 0.185 |
| sub-2 | | 0.171 | 0.345 | 0.359 | 0.125 |
| sub-3 | 0.128 | | | 0.021 | 0.182 |
| sub-4 | | | | | |
| sub-5 | | | | | |
| Basin | 금호 | 동촌 | 자인 | 계 | |
| sub-1 | 0.031 | | | 1.000 | |
| sub-2 | | | | 1.000 | |
| sub-3 | 0.497 | 0.041 | 0.131 | 1.000 | |
| sub-4 | | 1.000 | | 1.000 | |
| sub-5 | 0.001 | 0.061 | 0.938 | 1.000 | |

3.4 매개변수 산정

HEC-HMS 모형의 매개변수 산정은 HEC-GeoHMS 모형에서 추출한 지형인자를 이용하여 표 5와 같이 나타냈다. SCS CN 값은 유역조사보고서(건설교통부, 2004)에 제시된 CN 값을 적용하였으며 불투수층은 토양도와 토지이용도를 참조하여 산정하였다. 여러 공식 중에 금호강 유역에 적합한 매개변수 산정은 식 1과 같고 기저유출 분리는 HEC-HMS의 지수함수적 감소 방법에서 침투유량비 0.05 ~ 0.15, Recession Constant 0.1 ~ 0.9 범위를 선정하여 적용하였다. 또한 R(저류상수)은 일반적으로 우리나라에서 많이 사용하는 $R=0.8 \sim 1.2 \cdot T_c$ 범위내에서 $R=1.0 \cdot T_c$ 를 사용하였고 하도추적 매개변수는 상류에 위치한 금호 지점의 유출수문곡선과 비교하여 하도1 $La=0.5hr$, 하도2 $La=1.5hr$ 으로 설정하였다.

·Kirpich 공식(공업수문학, 청문각)

$$Tc_{(min)} = R = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}, \quad L: \text{하천길이(km)}, S: \text{하상경}$$

사,

·정성원 공식(공업수문학, 청문각)

$$R = 1.521 \frac{L^{0.263}}{S^{0.120}}$$

----- 1

표 5 소유역별 매개변수 산정

| Basin | Losses | | | Transform | | | Base flow | | |
|-------|------------------------|-----------------------|----------------|------------|----------|-------------------|------------------------------|--------------------|-----|
| | SCS Curve No. constant | Impervious Opt. ③ (%) | Clark, Tc (hr) | Clark, R ① | 정성원, R ② | Initial, Q (m³/s) | Threshold, Q (ratio to peak) | Recession Constant | |
| sub-1 | 75 | 63.7 | 0.2 | 4.57 | 4.57 | 6.19 | 3.5 | 0.1 | 0.5 |
| sub-2 | 75 | 83.1 | 0.4 | 8.05 | 8.05 | 7.45 | 4.6 | 0.1 | 0.5 |
| sub-3 | 75 | 69.0 | 1.5 | 7.73 | 7.73 | 7.34 | 4.2 | 0.1 | 0.5 |
| sub-4 | 75 | 64.2 | 18.2 | 2.36 | 2.36 | 4.95 | 0.7 | 0.1 | 0.5 |
| sub-5 | 75 | 61.1 | 2.6 | 5.34 | 5.34 | 6.48 | 2.9 | 0.1 | 0.5 |

4. 모형의 적용

4.1 대상유역 및 홍수사상

본 연구에서는 낙동강 수계의 금호강에 위치한 동촌 수위관측소를 대상으로 모형을 적용하였으며 동촌 지점의 2007년 ~ 2008년 수위-유량관계곡선식에 적용한 환산유량과 비교하여 매개변수의 적절성 여부를 판단하였다. 홍수사상은 2007년 3개, 2008년 1개, 총 4개의 홍수사상을 선정하여 유출모의를 실시하였다(표 6 참조).

4.2 모형의 적합도 검증

모형의 적합도를 검증하기 위하여 평균제곱근오차(RMSE)와 모형효율성계수(ME)를 산정하였다.

표 6 침투홍수량 비교

| 유역 | 평균강우량(mm) | 침투홍수량(m ³ /s) | | | | 홍수사상 |
|----|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | | Observed | HEC-HMS ① | HEC-HMS ② | HEC-HMS ③ | |
| 동촌 | 93.8 | 755.11 | 1,042.10 | 1,012.60 | 822.08 | 2007. 8. 7 |
| | 273.6 | 1,679.80 | 1,762.20 | 1,730.00 | 1,561.90 | 2007. 8. 28 |
| | 124.2 | 1,758.80 | 1,440.50 | 1,381.90 | 1,189.50 | 2007. 9. 14 |
| | 119.8 | 832.07 | 1,212.10 | 1,198.10 | 991.10 | 2008. 8. 15 |

표 7 모형의 적합도 검정

| 유역 | Clark unit hydrograph | | | | | | 홍수사상 |
|----|-----------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-------------|
| | HEC-HMS ① | | HEC-HMS ② | | HEC-HMS ③ | | |
| | RMSE | ME | RMSE | ME | RMSE | ME | |
| 동촌 | 112.953 | 0.689 | 102.805 | 0.743 | 87.081 | 0.815 | 2007. 8. 7 |
| | 372.018 | 0.180 | 349.467 | 0.277 | 311.372 | 0.426 | 2007. 8. 28 |
| | 160.846 | 0.824 | 151.382 | 0.844 | 178.083 | 0.784 | 2007. 9. 14 |
| | 164.998 | 0.463 | 152.380 | 0.542 | 81.725 | 0.868 | 2008. 8. 15 |

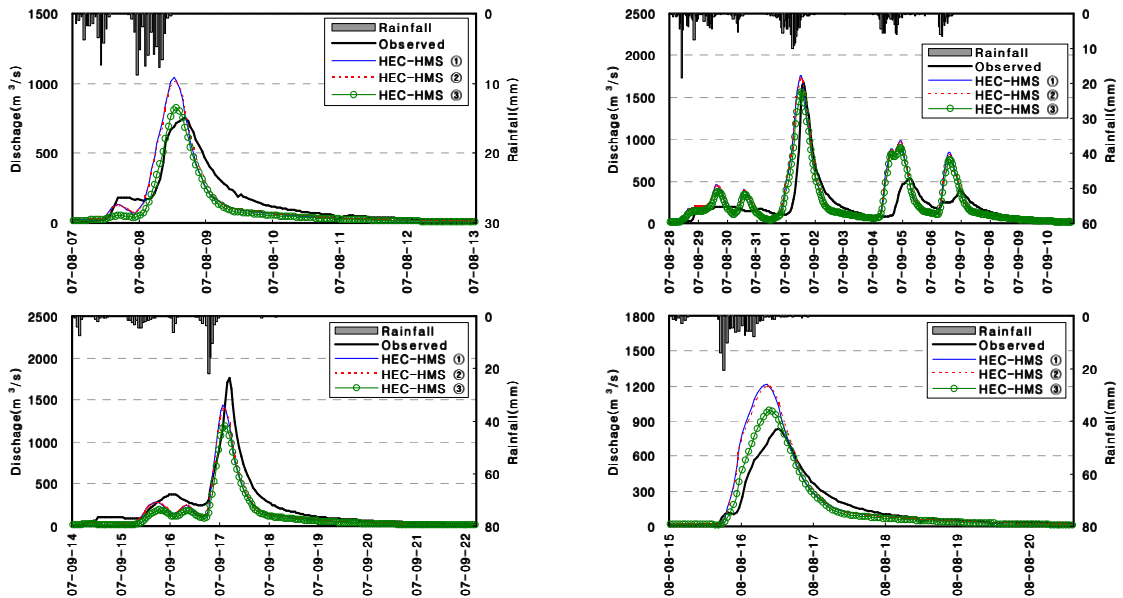


그림 9 동촌 지점의 유출수문곡선 모의 결과

5. 결론

본 연구에서는 낙동강 수계의 금호강에 위치한 동촌 지점을 유출구로 선정하고 GIS와 HEC-GeoHMS를 연계하여 지형특성인자를 추출하였다. 추출된 지형특성인자의 매개변수 결정은 시행착오법으로 가장 적합한 결과를 보인 SCS CN, Clark 단위도법 선택하여 HEC-HMS 모형의 매개변수에 적용하였다. 적용 결과, ① CN값을 최적화한 HEC-HMS ③의 결과가 관측치와 비슷한 결과를 나타냈고 ②침투유량이 약 900m³/s 이하에서 유출수문곡선의 상승이 다소 느리게 증가하는 현상으로 하도통제의 영향과 작은 강우강도로 강우지속 기간이 길어져 오차가 크게 나타난 것으로 판단된다. ③단순 홍수사상에 비해 복합 홍수사상이 낮은 적합도를 나타냈다. 적은 수문자료와 단순한 제약조건으로 동촌 지점의 매개변수의 적절성 여부를 판단하기에는 다소 무리가 있으나 침투유량의 예측은 최적화된 CN 값을 적용하여 큰 무리는 없을 것으로 판단된다. 향후 충분한 수문자료가 확보되고 집중형과 분포형 모형을 연계하여 자연하도에 가까운 조건을 추가한다면 좀더 신뢰도 높은 매개변수와 유출모의가 될 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

김주훈 등(2002), HEC-GeoHMS 및 HEC-HMS를 이용한 유출분석, 한국수자원학회 학술발표회논문집 II, pp.867 ~ 872, 2002. 5

- 김형수(2004), HEC-HMS의 이론과 실무 적용, 한국수자원학회 2004년도 제 13회 수공학 워크숍, pp.1 ~ 204, 2004. 11
- 안상진 등(2000), HEC-HMS 모형을 이용한 금강유역의 홍수수문곡선 해석, 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp.89 ~ 94, 2000. 5
- 우기정 등(2002), GIS와 HEC-HMS 결합에 의한 탐진강 유역의 홍수유출 해석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집 II, pp.1280 ~ 1285, 2002. 5