

## 내린천 유역의 HEC-HMS 모형 적용에 관한 연구

### A Study on Application of HEC-HMS Model to the Naerinchon Basin

최 한 규\*      백 호 선\*\*      정 병 하\*\*\*  
Choi, Han-Kyu      Baek, Hyo-Sun      Jeong, Byoung-Ha

---

#### Abstract

HEC-HMS model should be calibrated to be applied to these basins in Gangwon-do unlike the general basins. In the study, it is investigated whether the HEC-HMS model may be applied or not to Naerinchon basin where is the typical basin of Gangwon-do. Additionally, the straightforward module of HEC-HMS for simulating the hydrologic characteristic of Gangwon-do basins well will be suggested by comparison of the numerical results with the observed data.

The hydrologic results estimated by several modules such as Clark, SCS and Snyder methods in HEC-HMS model have been compared with the observed data for 1999~2000 storm events. It is concluded that Clark method are relatively applicable to the basins in Gangwon-do rather than the others methods. The parametric studies for HEC-HMS model should be studied further in order to apply to Gangwon-do basins more accurately.

키워드    내린천, HEC-HMS

Keywords : Naerinchon, HEC-HMS

---

#### 1. 서론

우리나라 기후 가운데 강수가 지니는 특성은 계절 편차가 크고, 연변화가 심하다는 것이다. 우리나라의 연평균 강수량은 약 1200 ~ 1400mm 정도가 일반적이지만, 기상상태에 따라 강수량의 변동폭이 크게 나타난다. 또한 최근 기상이변과 예측을 불허하는 여러 자연현상의 변화와 게릴라성 집중호우로 인하여 막대한 피해를 입고 있는 실정이다. 이러한 피해를 줄이기 위해서 그 유역의 강우-유출특성 과정을 정확히 해석하여 홍수유출특성을

과약하는 것이 무엇보다 중요하다.

현재 우리나라에서 사용되는 강우-유출 해석 방법들은 대부분 외국에서 개발되어 들어 온 방법들로서, 연구를 통해 국내 사용상의 문제점에 대해서 수정 보완하였다고 하어도 수정된 공식들은 소수에 불과하며 보완된 공식 또한 소수의 지역에 국한되고 있다. 따라서 수문분석의 가장 좋은 방법은 실측된 수문자료를 바탕으로 실시하는 것이나 이 또한 우리나라 여건으로는 아직까지 많은 자료들이 수집되어 있지 않아 분석의 정확성을 논하기 힘든 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 근래에 들어서 실무에서 많이 사용하고 있는 HEC-HMS 모형을 이용하여 강원도 지역의 대표적인 하천인 내린천 유역의 실제 관측한 수문사상과 HEC-HMS 모형의 여러 가지 방법으로 산출한 수문사상과 비교·분석함으로써

---

\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

써 강원도 지역 하천 특성에 가장 적합한 방법을 도출하고, 유출특성을 분석함으로써 향후의 치수 방제 시스템에 도움이 되고자 한다.

## 2. 모형의 이론

### 2.1 HEC-HMS의 소개

Hydrologic Engineering Center의 Hydrologic Modeling System은 강우-유출모의를 하는데 있어 여러 가지의 기능을 제공하고 있다.

HEC-HMS모형은 한 유역을 수문학적·수리학적 구성요소로 이루어지는 복잡한 시스템으로 상호연관에 의해서 나타내어, 이를 통해서 그 유역에 강우로 인한 지표면 유출을 모의 하는 단일 사상(Single Event) 유출모형이다.

HEC-1에서 발전한 프로그램인 HEC-HMS는 HEC-1과 유사한 단위도 방법과 하도 추적법을 바탕으로 레이더 자료 등의 격자망으로 구성된 강우량자료에 적용할 수 있는 선형 분포형 모형 및 장기유출모의에 사용할 수 있는 간단한 토양수분모형이 포함되어 있으며, 다양한 매개변수에 대한 최적화 기능 또한 포함되어 있다.

### 2.2 HEC-HMS의 특성

HEC-HMS는 그래픽 사용자 환경과 통합된 수문 해석, 데이터 저장과 관리, 도표와 보고서 등으로 구성된다. HEC-HMS 모형의 자료가 저장되는 세 가지 위치는 GUI, 계산엔진의 일부인 메모리, 디스크 등의 영구저장소 등이다. 이러한 자료의 저장은 데이터 저장시스템인 HEC-DSS (HEC, 1994)를 통해 이루어지며, DSS는 시계열에 대한 저장과 수정, 두 개의 자료간의 함수관계, 격자망으로 구성된 자료 등을 위해 사용된다.

GUI(Graphic User Interface)는 결과 검토 및 수문요소와 유역특성에 관한 자료를 쉽게 입력할 수 있도록 입력창을 제공한다. GUI는 수문요소간의 네트워크 구성을 보여주는 모식도 등을 지원한다. 수문요소를 나타내는 각각의 아이콘을 연결하고 선택함으로써 유역 네트워크를 구성할 수 있다. 유역 네트워크가 구성되면 요소 아이콘으로부터 메뉴를 불러올 수 있다. 메뉴는 수문요소와 연관된 데이터를 입력하거나 수정할 수 있게 되어있으며, 모의결과를 검토하는데 사용할 수도 있다. 유역내 모든 수문요소에 대해 각각의 메뉴를 불러와서 자료를 입력하는 일은 지루한 일이 될 수 있지만, DOS상의 에디터를 이용하여 자료를 입력하던 HEC-1에 비하면 굉장히 쉽고 간편하다 따라서 GUI는 모든 적용 가능한 요소에 대해 같은 구조의 자료를 입력하거나 수정하는데 있어 하나의 입력 창을 사용하는 포괄적 입력 창을 제공한다. 또한 제한적이긴 하지만 HEC-1의 입력자료를 불러들여 사용할 수 있다. 자료는 자동적으로 HEC-HMS에서 사용되는

세가지 Model 형태로 분리된다.

### 2.3 HEC-HMS의 기능

기본적인 계산구조는 HEC-1과 비슷하지만, 수문 요소는 나무구조 네트워크에 의해 배열되고, 계산은 상류에서 하류로 연속적으로 이루어진다.

계산은 기본적으로 SI단위로 이루어지지만, 사용하는 사람에 따라 영미단위계에 의해서도 입력 및 출력할 수도 있다. 또한 하나의 단위계에서 다른 단위계로의 변환도 가능하다.

모의실행을 위해서는 세 가지 형태의 자료가 필요하다. 첫째는 수문요소에 대한 매개변수와 연결 구조를 포함한 Basin Model이다 둘째는 기상학적인 자료로 이루어진 Meteorologic Model이다. 셋째는 모의를 위한 시간 정보를 포함하고 있는 Control Specifications이다.

그림 1은 HEC-HMS 모형을 모의하기위한 소프트웨어상의 절차를 보여주어주기 위한 모식도이며 HEC-HMS 모형의 장점은 다양한 계산방법을 통하여 강우-유출을 분석함으로써 어떤 유역에 적용하여도 그 적용성이 좋다는 것이다. 모형내의 계산방법에 대해서는 표 1에 나타내었다.

본 연구에서는 내린천 유역의 유효강우량을 계산하기 위하여 손실량계산은 SCS Curve Number 방법을, 기저유량은 Recession, 강우분석은 User Hydrograph를 택하였고, 변환방법을 Clark법, Snyder법, SCS법을 세가지를 이용하여 실측값과 모의한 값과 비교 분석하였다.

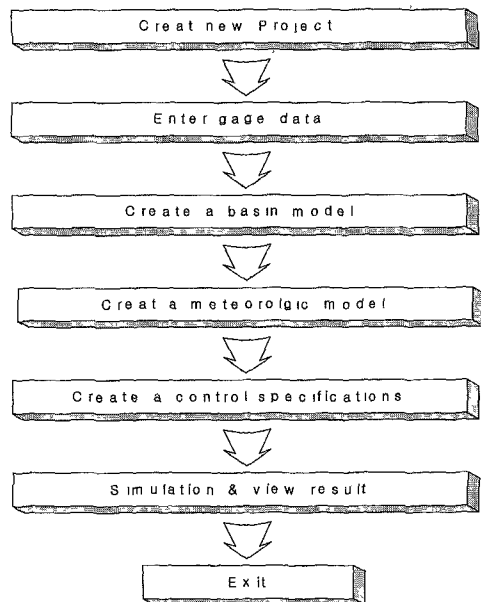


그림 1. HEC-HMS 모형의 모의 과정 모식도

표 1. HEC-HMS 모형내의 계산방법

|               | Method  |
|---------------|---|
| Losses        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Initial and constant</li> <li>Deficit/constant</li> <li>Green &amp; Ampt</li> <li>SCS curve No.</li> <li>Gridded curve No</li> </ul>   |
| Transform     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mod Clark</li> <li>Kinematic wave</li> <li>Clark unit hydrograph</li> <li>Snyder unit hydrograph</li> <li>SCS dimensionless unit hydrograph</li> <li>User specified unit hydrograph</li> </ul> |
| Base flow     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Recession</li> <li>Constant monthly</li> </ul>   |
| Routing       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lag</li> <li>Muskingum</li> <li>Modified Puls</li> <li>Muskingum Cunge</li> </ul>  |
| Precipitation | <ul style="list-style-type: none"> <li>User hyetograph</li> <li>User gage weighting</li> <li>Inverse-distance gage weighting</li> <li>Frequency storm</li> <li>Standard project storm</li> <li>SCS hypothetical storm</li> </ul>      |

2.4 모형의 구성

2.4.1 Basin Model

(1) GUI

Basin Model은 GUI(Graphic User Interface)를 이용하여 자료의 입출력이 가능하다. GUI를 통하여 수문요소를 나타내는 Basin Model 구성, 자료 편집, Basin Model 관리, 모의 결과 검토 등의 작업을 할 수 있다. 배경지도는 Basin Model의 공간적인 특성을 표현할 목적으로 만들어지며 유역의 모식도와 같은 역할을 한다.

(2) 수문요소

Basin Model은 수문요소로 구성되는데, 수문요소는 Subbasin, River reach, Junction, Reservoir, Diversion, Source 및 Sink 등을 포함하고 있다. Basin Model을 구성하기 위해서는 위와 같은 수문요소들을 정의하고, 이들의 반응을 모의하기 위한 자료가 입력되어야 한다. 또한, 이러한 수문요소들의 반응을 정의하기 위하여 여러 가지 계산 방법

들을 선택하여야 한다. 수문요소의 기능은 다음과 같다

Subbasin은 소유역으로서 유역 출구로 홍수량을 유출시키는 요소이고, River reach는 하도로서 상류의 유입수문곡선을 받아서 하류로 유출수문곡선을 내보내는 선형 함수와 같은 요소이며, Junction은 합류점을 말하며 두개 이상의 유입수문곡선이 합쳐져서 하나의 유출수문곡선을 만들어지는 장소이다. Reservoir는 저수지의 유입수문곡선이 있으며, 또한 저수지 추적을 통하여 유출수문곡선이 만들어진다는 점에서 Reach와 비슷하나 수위-유출량 곡선이 작성된 수문조작이 없는 Reservoir만인 모의 가능하다. Diversion은 분기점으로서 유입량의 일부를 다른 곳으로 이동시키고, 그 나머지만 하류로 방류하는 요소이다. Source는 어떤 수문곡선이 유역 네트워크로 유입되는 장소이다. Sink는 바다와 같이 유입량을 받아들지만 유출량을 내보내지 않는 요소이다.

2.4.2 Meteorologic Model

Meteorologic Model은 유역의 강우자료와 증발산 자료를 포함하고 있으며, 주된 기능은 Basin Model에서 각각의 Subbasin에 대한 우량추상도를 만드는 것이다. 기존에 Precipitation Model에서 증발산에 관한 부분을 추가하여 Meteorologic Model로 발전하였다

강우자료는 Subbasin별로 관리되며 DSS(Data Storage System)를 통하여 저장된다. 증발산자료의 분석은 현재 증발산의 월평균값을 이용하는 한 가지 방법으로만 분석이 가능하며, 증발점시계수를 고려할 수 있다

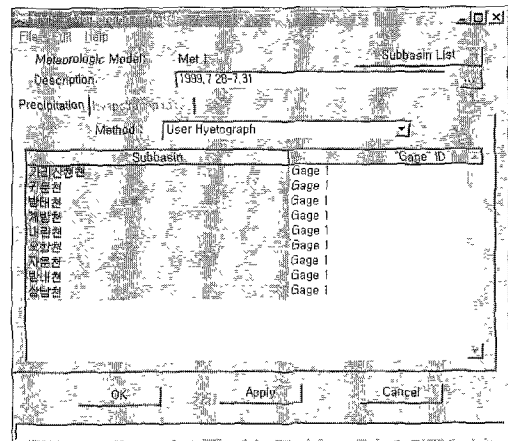


그림 2. Meteorologic Model

2.4.3 Control Specifications

Control Specifications에서는 시간에 관계된 자료를 입출력할 수 있으며, 자료분석의 시간간격 또한

제어할 수 있다. 강우 혹은 유출의 시작시간과 끝나는 시간을 지정한다.

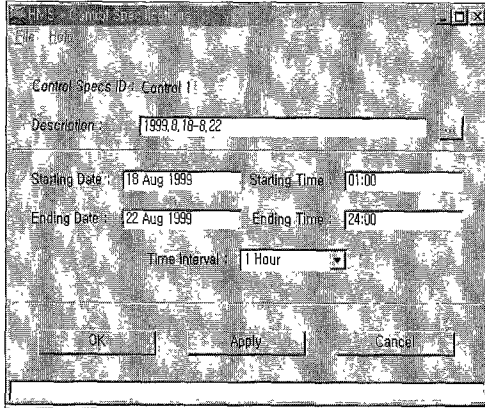


그림 3. Control Specification

## 2.5 계산방법

### 2.5.1 손실률 계산

HEC-HMS에서 사용되고 있는 손실률 계산방법은 표 1과 같이 5가지 방법이 있으며, 본 연구에서는 유출량 자료들이 부족하여도 적용이 가능한 SCS 방법을 사용하였다. 미국 토양 보존국(U.S Soil Conservation Service, SCS)가 제안하였으며, 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양특성과 선행토양함수조건 등을 사용하여 우량손실을 구할 수 있다.

우량 손실은 CN(유출곡선지수)과 Ia(강우의 초기 손실)의 관계로 계산되어진다. CN과 Ia는 유효우량과 다음과 같은 관계를 가진다.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) - S} \quad (1)$$

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (2)$$

$$IA = 0.2S \quad (3)$$

- 여기서, Q : 유효우량(mm)
- P : 호우별 총우량(mm)
- S : 초기손실을 포함한 유역의 가능최대 손실(mm)
- CN : SCS Curve Number
- Ia : 초기손실(mm)

이 방법의 적용에서 가장 중요한 것이 CN값의 결정인데, CN값은 대상 호우사상 이전의 선행 5일 강우량을 계산하여 이것에 따라서 AMC를 결정하고 해당 AMC에 대한 CN값을 표에 의해서 구한다.

### 2.5.2 유역의 유출계산

강우로부터 유역의 유출을 계산하기 위한 모형내

의 여러 가지 방법중에서 가장 일반적으로 쓰이는 Clark법, Snyder법, SCS법을 사용하여 각 방법별 유출량을 산정하였다.

### 2.5.3 기저유량

HEC-HMS의 기저유량분리 방법에는 Exponential Recession과 Constant monthly 방법이 있으며, 본 연구에서는 Exponential Recession방법을 사용하였다.

Exponential Recession방법은 그림 4와 같이 3개의 입력변수 즉, 초기유량(Initial Q), 수문곡선의 하강곡선상의 지수함수적으로 감소하기 시작하는 유량(Threshold Q) 및 기저유량 감소비(Recession constant)의 함수로써 수문곡선에서의 기저유량을 고려하는 방법이다.

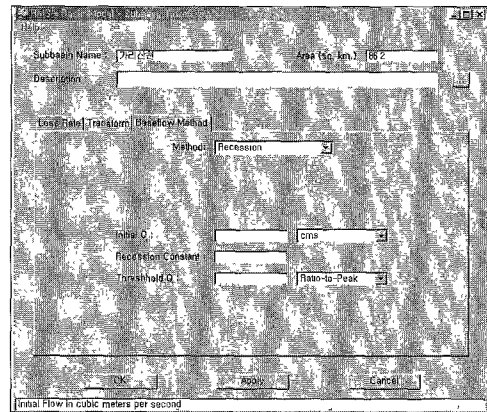


그림 4. 기저유량 입력을 위한 HEC-HMS 화면

Initial Q는 강우가 없는 상태에서도 지하수유출 등으로 인하여 지속적으로 존재하는 유량이므로 이는 선행강우 함수이다. Recession constant는 유역의 특성을 가정하여 결정된 값으로 하강곡선의 변곡점 이후의 어떤 유량과 한시간 경과후의 감소유량과의 비이다. Threshold Q는 하강곡선의 유량이 첨두유량의 0.05~0.15배 정도로 떨어질 때 지수함수적으로 감소하기 시작하는 점의 유량으로 규정할 수 있다.

HEC-HMS 모형의 Exponential Recession방법에서 Initial Q는 유량(m<sup>3</sup>/sec, ft<sup>3</sup>/sec)이나 비유량(m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>, ft<sup>3</sup>/sec/mi<sup>2</sup>)의 형태로 입력할 수 있으며, Threshold Q는 유량(m<sup>3</sup>/sec, ft<sup>3</sup>/sec)이나 첨두유량의 비(0.05~0.15)로 입력할 수 있으며 Recession constant는 0.77~0.98 범위의 값을 사용한다.

## 2.6 매개변수 최적화

HEC-HMS는 관측된 강우자료와 유출자료가 있다면 모의를 위한 매개변수를 자동적으로 추정할

수 있는 기능이 있다. HEC-HMS에서 설정된 기본적인 목적함수는 HEC-1에서 사용된 목적함수이며, 잔차자승합, 절대잔차합, 침투유량 백분율오차 등의 목적함수를 내장하고 있다.

**2.6.1 매개변수 추정구조**

매개변수 추정은 특정 지점에서 관측자료와 계산된 값 사이의 최적화 과정을 통하여 원하는 매개변수의 자동적인 보정을 수행하면서 진행된다. 추정되는 매개변수로는 손실, 단위도, 기저유량뿐만 아니라 하도 추적에 관련된 매개변수도 포함한다.

최적화의 양적인 정도는 목적함수의 값으로 대표될 수 있는데, 목적함수의 값은 계산된 값과 관측자료 사이의 편차의 정도에 기초한다. 즉, 관측자료와 계산된 값이 완전히 일치한다면 목적함수의 값은 0이 된다. 자동적인 매개변수의 추정에서 가장 중요한 사항 중 하나는 매개변수를 최적화시키기 위해 즉, 목적함수 값의 최소화를 위해 수행되는 탐색절차이다. 제약조건은 논리적으로 타당하지 않은 매개변수 값이 선택되지 않게 하기 위하여 설정되는 조건이다.

최적화 과정을 진행하기 위해 모든 매개변수의 초기값이 시작단계에서 정의되어야 하며 관측자료를 보유하고 있는 지점에 대한 수문곡선이 계산되면 그에 따른 목적함수 값이 계산된다. 탐색절차는 추정을 위해 선택된 매개변수를 수정하고, 수정된 매개변수를 사용한 새로운 수문곡선 및 목적함수가 계산된다. 이러한 반복절차는 목적함수 값이 최소가 될 때까지 계속된다.

**2.6.2 탐색 방법**

HEC-HMS에서는 목적함수를 찾아가는 탐색 방법으로 두가지 방법을 제공한다. 단일 변량 증감법(Univariate Gradient Method, UG)은 최적화되도록 선택된 여러 가지 매개변수 중 하나를 제외한 모든 매개변수를 고정시킨 상태에서 하나의 매개변수를 변화시켜가면서 최적화를 수행하는 방법이다. Nelder-Mead법(N&M)은 각각의 반복절차에서 최적화를 위해 선택된 모든 매개변수를 변화시키면서 최적화 과정을 수행한다. 본 연구에서는 N&M은 UG에 비해서 더 많은 계산시간이 소요되지만, 더 뛰어난 결과를 나타내므로 N&M 방법을 사용하였다.

**2.4.3 초기값 및 제약조건**

최적화 고정의 시작을 위해서는 초기값의 입력이 필수적이며, 기본적으로 설정된 값은 Basin Model에서 입력된 값이지만 변경가능하다.

절대 제약조건은 매개변수 자체가 갖고 있는 범위로 설정된다 이는 최적화 결과 실제 가능한 매개변수 값을 주기 위하여, 또는 프로그램 계산시의

오류를 막기 위하여 설정되어 있다.

최적화 탐색을 진행하던 중에 절대 제약조건을 넘는 매개변수 값이 계산될 경우 이는 자동적으로 절대 제약조건외의 경계값으로 변경된다.

이와 더불어, 절대 제약조건보다 더 작은 범위의 경계값을 갖는 상대 제약조건을 설정할 수 있다. 탐색절차 수행 중 상대 제약조건을 넘는 매개변수 값이 계산될 경우 목적함수 계산시에 다음 식으로 정의되는 벌점인자(Penalty Factor)를 곱하여 목적함수를 구하게 된다

$$\text{Penalty Factor} = 2 \mid \text{Value} - \text{Constraint} \mid (4)$$

**3. 모형의 적용 및 분석**

**3.1 유역의 개황**

내린천은 소양강 지류로서 동쪽으로는 태백산맥을 분수령으로 양양남대천 및 연곡천유역과 접하며, 남쪽으로는 남한강유역과 접하고 있으며, 서쪽은 홍천강 유역 및 본류인 직할하천 유역에 접하고 있다. 또한 유역의 북단에 위치한 한계령을 중심으로 우측으로는 점봉산, 악수산, 두효산, 오당산, 비로봉, 계방산, 보래산으로 연결되며 좌측으로는 가리산, 한석산, 가마산으로 연결되는 해발 1100 ~ 1600m에 이르는 고봉으로 연결하여 분수령을 이루고 있어 지세가 험준한 편이며 하천연변을 따라 농경지가 분포되어 있을 뿐 대부분이 산간지로 형성되어 있다.

내린천 유역은 총 유역면적이 1059.6km<sup>2</sup>, 유로 연장이 86.2km으로서 소양강댐 유역면적의 39.2%에 해당한다 이 유역은 급한 산악지형이 대부분이고 또한 우상 유역 형상(Pinnate form basin)을 가지고 있기 때문에 호우 시 홍수량이 급격히 증가하며 홍수도달시간이 매우 빨라 홍수지속시간이 짧다. 유역의 평균고도는 724.6EL.m로 높은 편이며, 평균경사 26.54%로 경사가 급한편이다. 하상구배는 상·하류부에서 1/285~1/287로 비교적 완만하며 하상은 포트홀, 자갈 및 호박돌층으로 구성되어 있다.



그림 5. 내린천 유역도

3.2 자료의 수집

초기 손실률 계산을 위해 선정된 SCS 손실률계산 방법에 필요한 CN값은 기존 하천정비 기본계획에서 산정된 CN값을 초기자료로 사용하였다. 유역별 CN값과 각 산정방법에 필요한 도달시간,  $t_p$ , SCS 지체시간은 표 2에 나타내었다.

기저유량은 기존에 계산되어진 값이 없으며, 유역마다 결정할 수 있는 적절한 방법이 없으므로 기존의 유출수문곡선으로부터 도출하였으며, 전체 홍수량에 미치는 영향이 크지 않으므로 내린천 유역 전체에의 적용에는 무리가 없다고 판단된다.

표 2. 소유역별 CN, 도달시간,  $t_p$ , 자체시간

| 유역   | CN   | 도달시간 (min) | $t_p$ (hr) | SCS지체시간(min) |
|------|------|------------|------------|--------------|
| 가리산천 | 72.3 | 98.02      | 7.05       | 72.35        |
| 귀둔천  | 73.0 | 127.33     | 6.51       | 94.41        |
| 방태천  | 72.6 | 192.46     | 8.37       | 149.93       |
| 내린천  | 80.1 | 300.69     | 13.23      | 242.22       |
| 방내천  | 72.7 | 197.48     | 8.92       | 199.78       |
| 상남천  | 78.2 | 108.97     | 6.32       | 89.42        |
| 자운천  | 78.4 | 140.78     | 7.66       | 115.95       |
| 오향천  | 78.6 | 78.33      | 4.88       | 63.05        |
| 계방천  | 80.6 | 119.85     | 6.71       | 91.49        |

3.3 홍수사상자료

강우자료는 1999과 2000년 6,7,8,9월의 홍수사상을 대상으로 하였다. 수위자료는 수자원공사 내린천 수위 관측소에서 수집하였고, Rating Curve을 이용하여 산정된 유량을 바탕으로 기저 유량을 구하였으며, 수집된 자료를 바탕으로 실측치와 각 방법별로 계산된 HEC-HMS의 값과 비교하였다.

표 3. 홍수사상 발생기간

| Event  | Duration                          |
|--------|-----------------------------------|
| Case-1 | 1999. 7. 28. 01:00 ~ 7 31. 18:00  |
| Case-2 | 2000. 7. 22. 01:00 ~ 7. 24. 24:00 |
| Case-3 | 2000. 7. 29. 01:00 ~ 8. 02. 24:00 |
| Case-4 | 2000. 8. 03. 01:00 ~ 8. 11. 24:00 |
| Case-5 | 2000. 8. 19. 01:00 ~ 8. 24. 24:00 |
| Case-6 | 2000. 9. 12. 01:00 ~ 9. 20. 24:00 |

3.4 모형의 적용에 의한 수문곡선모의

HEC-HMS 모형을 적용하여 나타낸 결과는 사상

별·방법별로 실측치와 비교하여 그림 6~9에 수문곡선을 통해서 나타냈으며, 사상별 침투 홍수량, 침투발생시간, 총유출량의 실측치와 HEC-HMS에 의한 모의 결과는 표 4에 나타내었다.

Case-4가 침투유량이 작음에도 불구하고 총유출량이 큰 이유는 다른 호우사상의 모의기간이 72~144시간인 반면에 Case-4는 216시간으로 크기 때문이다.

방법별로 살펴보면 Synder의 침투 홍수량값이 실측치와 가장 비슷하나 침투 홍수 발생시간, 총 유출량과는 가장 많은 차이를 보이고 있으며, 수문곡선 형상도 큰 차이를 보이고 있다. Clark법과 SCS 법은 침투 홍수량, 침투 홍수 발생시간, 총유출량이 거의 비슷하며, 실측치의 수문곡선과는 사상별로 차이가 있지만 거의 비슷하다.

사상별로는 Case-1, Case-6이 실측치의 수문곡선과 가장 비슷하며, Case-2가 가장 많이 차이를 보이고 있다. 이는 Case-1과 Case-6는 다른 사상들에 비해 모의시간동안 일정한 강우강도를 가지고 있는 반면에 Case-2은 순간적으로 강우강도가 커져서 큰 차이를 보이는 것으로 사료된다.

표 4 침투홍수량, 침투시간, 총 유출량 비교

| Event  | Method | 침투홍수량 (m <sup>3</sup> /sec) |       | 침투시간 (hr) |      | 총유출량 (m <sup>3</sup> /sec) |       |
|--------|--------|-----------------------------|-------|-----------|------|----------------------------|-------|
|        |        | Obs                         | Cal.  | Obs       | Cal. | Obs.                       | Cal.  |
| Case-1 | Clark  |                             | 318.7 |           | 46   |                            | 13895 |
|        | Snyder | 310.5                       | 271.2 | 43        | 54   | 12666                      | 12555 |
|        | SCS    |                             | 319.0 |           | 47   |                            | 14212 |
| Case-2 | Clark  |                             | 388.2 |           | 34   |                            | 14379 |
|        | Snyder | 244.8                       | 320.7 | 26        | 40   | 7058                       | 11998 |
|        | SCS    |                             | 405.1 |           | 35   |                            | 15245 |
| Case-3 | Clark  |                             | 417.0 |           | 73   |                            | 17992 |
|        | Snyder | 279.8                       | 348.6 | 68        | 78   | 11686                      | 15482 |
|        | SCS    |                             | 429.1 |           | 72   |                            | 18945 |
| Case-4 | Clark  |                             | 259.6 |           | 115  |                            | 25297 |
|        | Snyder | 285.1                       | 229.1 | 108       | 122  | 18816                      | 20484 |
|        | SCS    |                             | 275.4 |           | 116  |                            | 27389 |
| Case-5 | Clark  |                             | 335.0 |           | 59   |                            | 22441 |
|        | Snyder | 279.8                       | 284.2 | 51        | 65   | 13499                      | 17959 |
|        | SCS    |                             | 346.8 |           | 59   |                            | 24615 |
| Case-6 | Clark  |                             | 667.1 |           | 91   |                            | 50020 |
|        | Snyder | 696.9                       | 559.9 | 84        | 98   | 40761                      | 44215 |
|        | SCS    |                             | 672.7 |           | 90   |                            | 51531 |

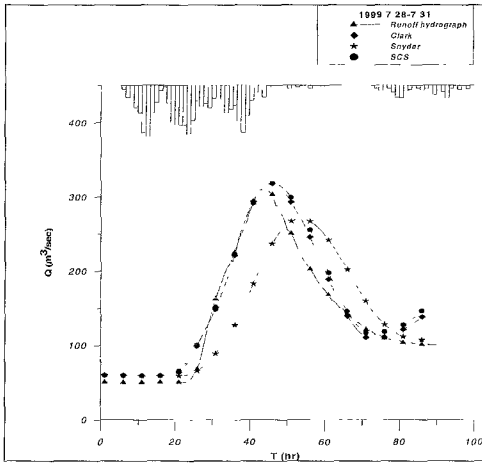


그림 6. Case-1 경우 각 방법별 수문 곡선

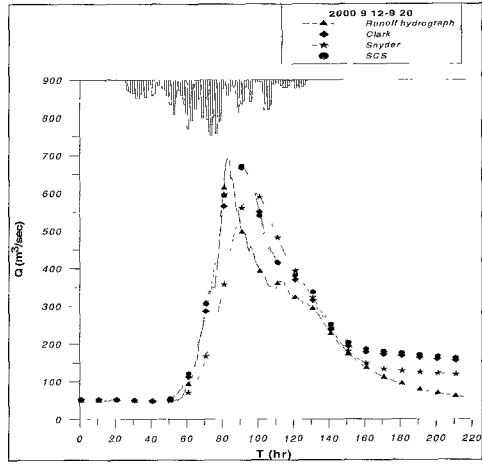


그림 6. Case-6 경우 각 방법별 수문 곡선

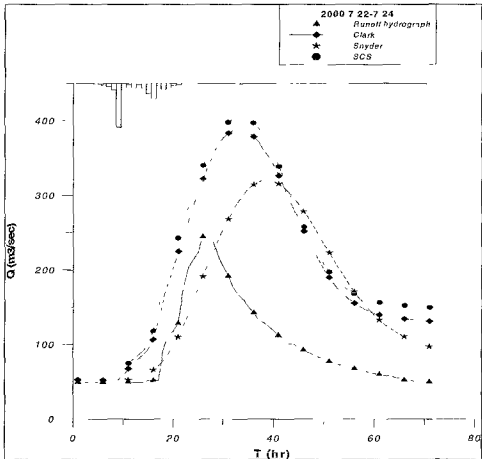


그림 6. Case-2 경우 각 방법별 수문 곡선

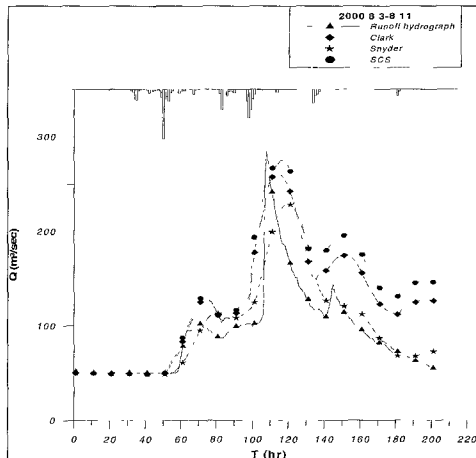


그림 6. Case-4 경우 각 방법별 수문 곡선

### 3.5 통계분석

호우 사상별, 방법별 통계분석의 결과는 표 5에 나타났다.

각 방법별로 실측치와 계산치를 비교해 본 결과, CC는 Clark방법이 0.834~0.979, Snyder 방법은 0.543~0.886, SCS방법은 0.765~0.996으로 나타났다. 사상별로 살펴보면 Case-6이 0.886~0.996으로 가장 좋은 상관성을 보여주고 있다. 사상별로 살펴보면 Case-6이 0.886~0.996으로 가장 좋은 상관성이 나타난 반면에 Case-2가 0.543~0.883으로 가장 적게 나타났다.

$R^2$ (Coefficient of Determination)를 살펴보면, 방법별로는 Clark방법이 0.696~0.958, Snyder방법은 0.295~0.785, SCS방법이 0.585~0.947로 나타났으며, 호우사상별로는 Case-6이 0.785~0.992로 가장 좋은 상관관계를 가지며, Case-2가 0.295~0.694로 가장 작은 상관성을 보였다.

표 5. 통계 분석 결과.

| Event  | Correlation Coefficient |        |       | Determination Coefficient |        |       |
|--------|-------------------------|--------|-------|---------------------------|--------|-------|
|        | Clark                   | Snyder | SCS   | Clark                     | Snyder | SCS   |
| Case-1 | 0.979                   | 0.787  | 0.973 | 0.958                     | 0.619  | 0.947 |
| Case-2 | 0.834                   | 0.543  | 0.833 | 0.696                     | 0.295  | 0.694 |
| Case-3 | 0.900                   | 0.697  | 0.902 | 0.810                     | 0.486  | 0.814 |
| Case-4 | 0.884                   | 0.887  | 0.850 | 0.781                     | 0.787  | 0.723 |
| Case-5 | 0.901                   | 0.781  | 0.874 | 0.812                     | 0.609  | 0.765 |
| Case-6 | 0.961                   | 0.886  | 0.996 | 0.924                     | 0.785  | 0.992 |

#### 4. 결론

본 연구에서 내린천 유역을 대상으로 HEC-HMS 모형을 이용하여 여러 방법으로 구한 수문 사상과 실제수문사상을 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

실제 수문사상과 비교한 결과 전반적으로 수치 모의한 값이 컸으나, HEC-HMS 모형내의 Clark 산정 방법이 실제 수문곡선과 가장 유사한 수문사상을 보였으며, 통계 분석 결과도 높은 상관성을 나타냄을 알 수 있다. 이에 비해 Snyder 산정 방법은 실제수문사상과 가장 많은 차이를 보이고 있다.

추출된 강우사상 중 강우량의 편차가 작은 사상에 대해서는 실제 수문사상과 유사한 값을 나타냈으나, 급격한 강우강도의 변화에 대해서는 많은 오차가 발생됨을 알 수 있다 다시 말해 HEC-HMS 모형은 기상이변으로 인한 게릴라성 호우, 지형적으로 강원도 지역에 자주 발생하는 산악성 집중호우와 같은 홍수 사상에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

HEC-HMS 모형은 복합호우사상에 의한 유출보다는 단순호우사상에 대한 유출 특성을, 단기간 강우 사상보다는 장기간 강우 사상을 잘 나타내는 것을 알 수 있다.

끝으로 소유역의 수가 많은 대유역의 수문곡선 검정시 소유역의 유출수문곡선의 중첩효과에 따라 많은 경우의 수가 있으므로 적절한 절차에 의한 검정기준과 매개변수를 구하는데 있어 좀더 명확한 기준이 확립해야 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

[1] 김재한, SCS방법에 의한 유출량 산정을 위한 Curve Number 추정 방법 1999년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 1999

[2] 한국건설기술연구원, 수문모형 평가에 관한 연구 : 강우-유출 모형을 중심으로, 1993

[3] 정동국, 강우-유출모형에 관한 상태 및 매개변수의 추계학적 연구, 서울대학교대학원, 1989

[4] 안상진, HEC-1 모형에 의한 강우-유출 해석, 충북대 건설기술연구소 논문집, 제6권 제2호, 1988

[5] 심재현 등, 강우에 의한 유출량 산정모형 -지방자치단체 중소하천을 중심으로- 연구보고서, 제 220권, 한국지방행정연구원, 1996

[6] 한국수자원공사, 소양강댐 일원 수문조사 보고서, 1999,2000

[7] 한국건설기술연구원, 우리나라 중소하천의 지형 형태학적 인자의 분석, 1998

[8] 이재수, HEC-1 모형의 실유역 적용, 고려대학교 석사학위논문, 1988

[9] 이재경, 유출예측모형을 이용한 홍수 유출해석, 충북대학교 박사학위논문, 2000

[10] 홍진표, 유역특성과 유출요소에 따른 설계 홍수량결정, 대전산업대학교 석사학위논문, 1998

[11] HEC-HMS 모형의 급강유역 적용, 충북대학교 석사학위논문, 2001

[12] 윤용남, *공업수문학*, 1986

[13] 최석범, *수자원공학*, 1999

[14] Eagleson P.S, R. MEjia and F. March, The Computation of Optimum Realizable unit Hydrographs, *WaterResources Vol 2* pp.75 5~764, 1996

[15] HEC, HECPrePro - GIS Preprocessor for HMS. User's Guide and Reference Manual, prepared by Center for Research in Water Resources, University of Texas.