

## **HEC-HMS, HEC-GeoHMS를 이용한 황룡강유역의 유출분석**

김 철\* · 박남희\*\*

## **Rainfall-Runoff Analysis in the Whangryong River Basin Using HEC-HMS and HEC-GeoHMS**

Chul Kim\* · Nam-Hee Park\*\*

### **요 약**

HEC-HMS와 HEC-GeoHMS를 이용하여 황룡강유역의 유출분석을 수행하였다. 황룡강유역을 HEC-GeoHMS와 GIS를 이용하여 3개의 소유역으로 분할하고 입력자료를 구축하였다. HEC-HMS의 SCS 유출곡선지수 손실계산모형, Snyder 단위유량도 직접유출모형, 지수함수 감수 기저유출모형, Muskingum 추적모형을 사용하여 선택된 흥수사상에 대한 유출량을 모의하였고 매개변수의 최적화를 실시하였다. 최적화된 매개변수를 사용하여 계산한 첨두유량을 관측치와 비교한 결과 매우 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 최적화된 매개변수값은 향후 황룡강유역의 유출량을 계산할 때 사용될 수 있을 것이다.

**주요어 :** HEC-HMS, HEC-GeoHMS, 황룡강, GIS, 매개변수, 유출

**ABSTRACT :** Rainfall-Runoff Analysis in Whangryong River Basin was made using HEC-HMS and HEC-GeoHMS. The Basin was divided into three sub-basins using HEC-GeoHMS and GIS. Then, GIS input data were derived from each sub-basins.

SCS CN runoff-volume model, Snyder's UH direct-runoff model, exponential recession baseflow model and Muskingum routing model in HEC-HMS were used to simulate the runoff volume using selected rainfall event and the parameters were optimized. Peak flowrate calculated using optimized parameters was compared to the observed flowrate in the basin. The result proved to be good agreement with each other. Optimized parameters in this local basin can be used to calculate the peak flowrate in the future.

**Keyword :** HEC-HMS, HEC-GeoHMS, Whangryong River, GIS, Parameters, Runoff

\* 호남대학교 토폭환경공학과(Department of Civil and Environmental Engineering, Honam University)

\*\* 호남대학교 환경연구센터(Environmental Research Center, Honam University)

## 1. 서 론

우리나라는 지형학적으로는 전 국토가 약 70%이상이 산악지형이고, 기후적으로는 연평균 강우량의 60~70%정도가 6~9월에 집중되어 수자원의 효율적인 관리가 매우 어렵다. 이러한 특성과 최근의 엘리뇨, 라니냐와 같은 기상이변으로 인해 거의 매년 홍수로 인해 많은 피해를 당하고 있으며 여름철을 제외한 시기에는 가뭄과 물부족 사태가 발생하고 있다. 이와 같은 피해를 줄이기 위해서는 유역의 강우-유출과정을 정확히 해석하여 유출특성을 파악하는 것이 중요하다.

그러나 강우-유출 관계를 해석하는 일은 매우 복잡하며 많은 공간정보가 필요하다. 강우가 해당유역에 발생하면 토양의 종류, 토지이용 상태, 식생피복 등에 따라 직접 유출량이 결정되며 유출의 시간적 분포는 유역면적의 크기, 유역형상, 하천의 상황 등에 따라 결정된다.

이와 같은 복잡한 강우-유출 관계를 모의하기 위해서 많은 수문모형이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 수문모형들 중에서 실무에서 널리 쓰이는 모형으로 미국공병단 수문연구소(HEC, Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 HEC-HMS(HEC-Hydrologic Modeling System)이 있다. 이 모형은 이전 모형인 HEC-1과 더불어 우리나라에 적용 사례가 많으므로 본 연구에서도 이 모형을 사용하였다. 우리나라에서 HEC모형을 이용한 연구사례를 보면 김중훈외 3명(1997)은 대유역의 적용성을 검토하였고 정남선(2000), 조국희(2001), 안상진(2001)

외 3명등도 관련된 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 HEC-HMS와 HEC-GeoHMS를 포함한 GIS를 이용하여 황룡강유역의 유출분석을 수행하였다. HEC-HMS는 HEC-1 모형을 개량한 모형으로서 강우-유출현상의 수리·수문학적 과정을 상호연결하여 유역의 응답을 나타내도록 설계되었다.

한편 HEC-GeoHMS는 최근에 미국공병단 수문연구소에서 개발한 것으로서 GIS 소프트웨어인 ArcView의 Avenue 프로그램언어로 만들어진 확장 프로그램으로서 공간분석을 이용하여 유역의 지형특성인자와 수문학적 인자를 HEC-HMS의 입력변수로 제공하기 위해 개발된 것이며 자료관리와 GUI(Graphical User Interface)를 포함하고 있다.

연구대상지역인 황룡강유역을 3개의 소유역으로 나누어 모의를 실행하였으며 모형에 사용되는 매개변수의 최적화를 실시하여 각 소유역에 대한 최적의 매개변수를 구하였다. 이와 같이 구한 매개변수를 사용하여 몇 개의 호우사상에 대한 강우-유출분석을 실시하여 계산한 유출량과 관측된 유출량을 비교함으로서 황룡강유역에 대한 최적의 매개변수를 결정하였다. 향후 황룡강 유역에 대한 홍수유출을 모의할 때 본 연구에서 구한 매개변수값을 사용하면 적절한 유출량을 계산할 수 있을 것이다.

## 2. 모형의 이론

### 2.1 HEC-HMS

HEC-HMS는 미국 공병단 수문연구소에

&lt;표 1&gt; HEC-HMS에 포함된 Models

Models	Method
강우손실모형 (runoff volume models)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Initial and constant-rate</li> <li>- Gridded SCS CN</li> <li>- Deficit and constant rate</li> <li>- Gridded SMA</li> </ul>
직접유출모형 (direct runoff models)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UH</li> <li>- Snyder's UH</li> <li>- ModClark</li> </ul>
추적모형 (routing models)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kinematic wave</li> <li>- Modified Puls</li> <li>- Muskingum-Cunge Standard Section</li> <li>- Muskingum-Cunge 8-point Section</li> <li>- Confluence</li> </ul>
기저유출모형 (baseflow models)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Constant monthly</li> <li>- Exponential recession</li> <li>- Linear reservoir</li> </ul>

서 개발한 HEC-I을 발전시킨 모형으로서 한 유역을 형성하고 있는 수문학적, 수리학적 구성요소 즉 소유역, 하도구간, 저수지, 합류점, 분류점, 수원점, 합몰점 등으로 이루어지는 유역에 대해 유역이 강우에 의해 어떠한 유출반응을 보이는가를 모의하는 단일사상 유출모형이다.

수문학적, 수리학적 구성요소들은 유역의 유출, 하도 흥수추적과 저수지 흥수추적 등을 수행하여 유역의 원하는 지점에서 원하는 시각의 유출수문곡선을 계산한다.

HEC-HMS는 유출과정의 각 성분을 계산하기 위하여 강우손실모형(runoff volume models), 직접유출모형(direct runoff models), 기저유출모형(baseflow models), 추적모형(routing models)으로 구성되어 있다. 각 모형에 포함된 계산방법들을 <표 1>에 나타내었다(USACE-HEC, 2000b).

HEC-HMS를 실행하기 위해서는 3개의 모형에 자료를 입력해야한다. 3개의 모형은 수문요소들의 자료와 연결구조를 가진 Basin Model, 기상학적 자료를 저장하고 처리하는 Meteorologic Model, 최적화기법을 이용하여 시간과 관련된 매개변수를 산정하는 Control Specification Model로 구성되어 있다(USACE-HEC, 2000c).

## 2.2 HEC-GeoHMS

HEC-GeoHMS는 ArcView의 Avenue 프로그램 언어로 만들어져있고 공간분석을 이용하여 유역의 지형특성인자와 수문학적 인자를 HEC-HMS모형의 입력변수로 제공하기 위해 개발된 모형으로서 자료의 관리와 GUI를 포함하고 있다. 이 모형을 이용하여 Basin Model에서 불러들일 수 있는 map

파일과 모의에 사용할 수 있는 지형인자를 추출할 수 있다. HEC-GeoHMS의 적용과정은 수치고도모형(DEM)에 8방향 유출모형을 적용하여 흐름방향그리드를 작성하고 이로부터 흐름누계그리드를 작성한다. 흐름누계그리드로부터 하도그리드를 추출하고, 하도그리드에 의해 유역을 소유역으로 분할한다. 분할된 각각의 소유역에 대한 유역에 대한 지형특성인자를 구축할 수 있으며 이들은 HEC-HMS의 입력자료로 사용된다(USACE-HEC, 2000a).

### 3. 자료수집 및 구축

#### 3.1 도형자료의 수집

대상지역에 대해 수집한 도형자료는 수자원단위지도, 지형도, 토지이용도, 수치지도, 토양도 등이 있다. 수치지도는 국립지리원에서 작성한 1 : 5,000축척 지도를 구입하였고, 토양도는 1 : 50,000축척의 자료를 농업기반공사에서 수집하여 입력하였다. 수자원단위지도는 우리나라의 수자원정보를 종합적으로 관리할 수 있는 기본 틀을 구축하고, 수자원정보의 폭넓은 분석과 활용을 위하여 전국을 표준화된

유역 단위로 분할한 지도이다. 수집된 도형자료와 이로부터 추출한 자료를 <표 2>에 나타내었다. 여기에서 수자원 단위지도는 전국이 22개의 대권역, 117개의 중권역, 1,174개의 표준유역으로 구성되어 있다. 대상유역인 황룡강은 영산강유역 중권역에 속하며 중권역명은 5002이다. 5002 중권역에 포함된 표준유역도를 [그림 1]에 나타내었다.



[그림 1] 5002 중권역 단위지도

#### <표 2> 도형자료

지형자료	축척	구축방법	추출데이터
수치지도	1 : 5,000	GIS	수치고도모형(DEM)
수자원단위지도	1 : 5,000	GIS	표준 유역도
지형도	1 : 50,000	종이벡터라이징	하천망, 토지피복 특성인자
토양도	1 : 50,000	종이벡터라이징	토양 특성인자

### 3.2 도형자료의 전처리

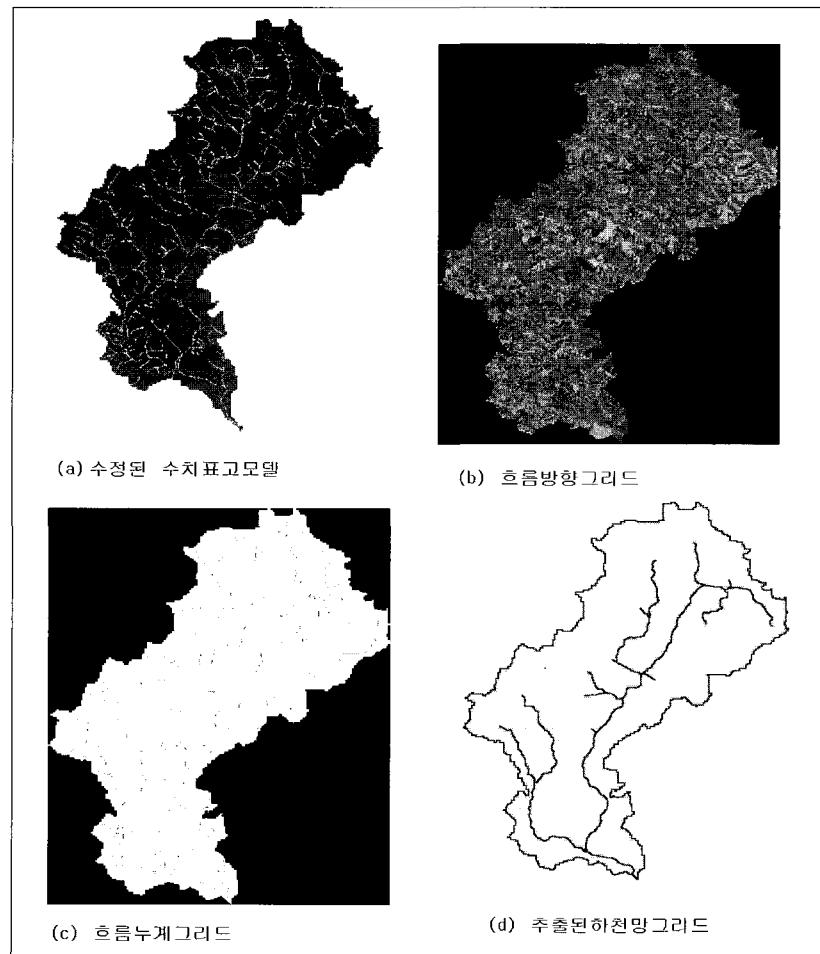
#### 1) 수치고도모형(DEM)

DEM은 수집된 수치지도를 이용하여 작성하였다. 작성된 DEM을 이용하여 하도추출과 유역분할을 할 수 있으며 작업을 원활히 하기 위해 수정된 DEM을 만들어 하도추출과 유역분할을 하였다. DEM의 수정방법은 하천망 벡터자료를 그리드로 변환하여 DEM

과 하천 그리드가 겹쳐지는 그리드를 뺀 나머지 그리드에 표고값 1,000m를 더해주었다. [그림 2](a)에 수정된 DEM을 나타내었다.

#### 2) 하천망 그리드 추출

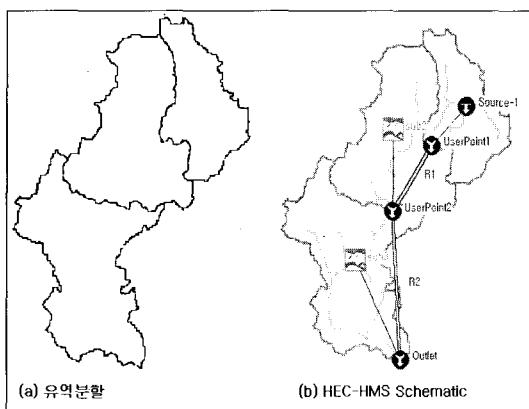
수정된 DEM을 대상으로 HEC-GeoHMS를 이용하여 전처리 작업을 실행하였으며 그 결과를 [그림 2](b), (c), (d)에 순차적으로 나타내었다.



[그림 2] 8방향유출모형의 결과

### 3) 유역분할

하천망그리드 추출작업의 결과를 사용하고 HEC-GeoHMS를 이용하여 유역을 [그림 3](a)와 같이 3개의 소유역으로 분할하였다. 분할된 소유역의 지형인자를 추출하고 그 결과를 <표 3>에 나타내었다. HEC-HMS를 실행하기 위해 분할된 유역의 map 파일이 필요하며 [그림 3](b)에 HEC-HMS에서 사용할 유역모식도를 나타내었다.



[그림 3] HEC-HMS의 Basin Model

### 4) CN값 계산

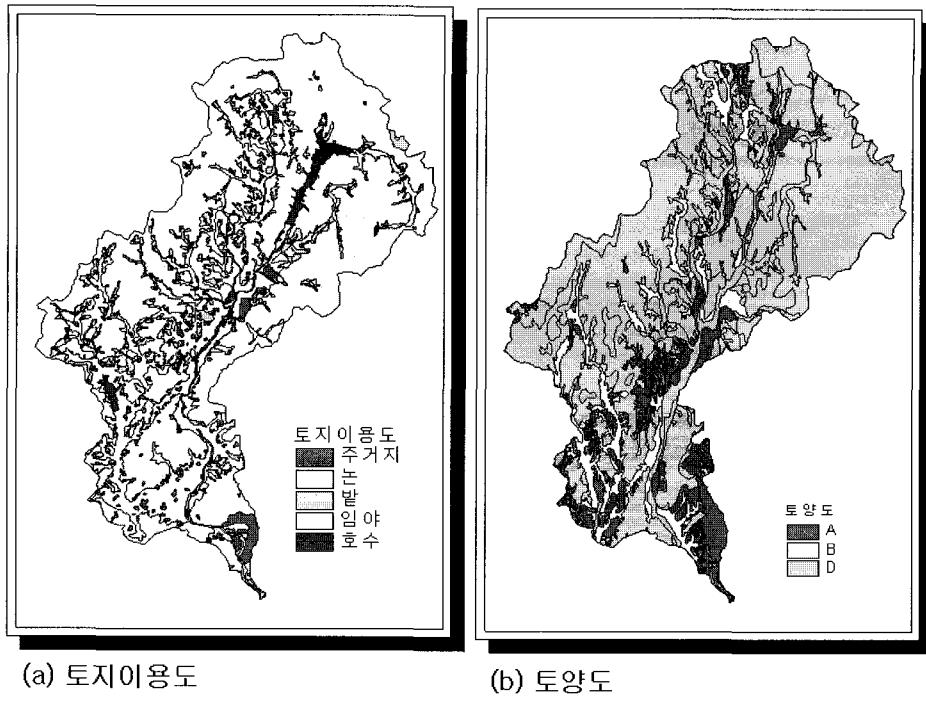
미국 토양보존국(Soil Conservation Service, SCS)에 의해 개발된 유출곡선지수(Runoff Curve Number, CN)방법은 유효강우 추정 방법의 하나이다. 곡선지수 CN값은 토지 이용, 수문학적 토양군, 선행토양함수조건에 따라 결정되는 상수이다.

이 방법에서 토지이용은 토지이용도를 이용하여 구분하고, 토양의 침투능에 따라 A, B, C, D의 4가지로 분류하며, 선행 토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)은 3가지로 분류되어 있다.

본 연구에서 대상유역의 토지이용은 1 : 50,000 지형도를 이용하여 주거지, 논, 밭, 산림, 호수 등 5가지로 토지이용도를 분류하였고, SCS 수문학적 토양군은 1 : 50,000 개략 토양도를 입력하였으며 건설교통부(1998)에 따라 A, B, C, D의 4가지로 분류하였다. 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)은 보통상태인 AMC-II를 적용하였다. [그림 4]에 토지이용도와 토양도를 나타내었으며 CN값을 계산하기

<표 3> 지형인자와 CN 값

소유역명	소유역	HEC-GeoHMS					CN 값
		면적(km <sup>2</sup> )	하천길이(m)	L <sub>c</sub> (m)	최장수로(m)	유역경사	
500201 500202	sub 1	117.83	15924	8743.58	23836.97	0.066	90.0
500203 500204 500205 500206	sub 2	200.54	9416	10988.74	29455.50	0.055	83.7
500207 500208 500209	sub 3	227.84	25216	21887.85	37748.87	0.039	80.0
소 계		318.37	50,556				



[그림 4] 토지이용도와 토양도

위해서 토지이용도와 SCS 토양군에 대한 그리드 중첩을 <표 4>와 같이 실시하여 유역평균 CN값을 계산하였다. <표 3>에는 각 소유역에 대해 계산한 유역평균 CN값이 수록되어 있다.

<표 4> 토지이용-토양군별 CN (AMC-II 조건)

토지이용 \\	A	B	C	D
주거지	59	74	82	86
논	78	78	78	78
밭	72	81	88	91
임 야	56	75	86	91
호 수	100	100	100	100

### 3.3 강우량자료 수집 및 처리

#### 1) 자료수집

영산강유역 전체에 대한 강우량관측소는 건설교통부에서 관할하는 관측소 21개소가 설치되어 있으며 이중 황룡강유역에 영향을 주는 관측소는 4개소가 있다. 관측소의 현황을 <표 5>에 나타내었다. 강우량자료는 1994년부터 1999년까지의 시우량자료를 수자원정보시스템(한국수자원공사, 2002)과 건설교통부(건설교통부, 1994~1999)에서 수집하여 비교 분석하였으며 자료의 신뢰성이 높은 건설교통부의 강우량자료를 사용하였다.

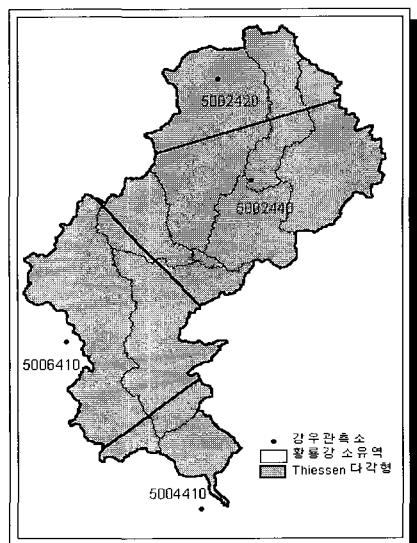
&lt;표 5&gt; 강우량 관측소

관측소명	관측소코드	수계명	관할기관	관측개시일	관측종별	경도	위도	주 소		
북이	5002420	영산강	건설교통부	1962.07	T/M	126-47-19	35-26-28	전남	장성군	북이면 백암
장성	5002440	영산강	건설교통부	1992.04	T/M	126-49-10	35-21-34	전남	장성읍	성산
삼서	5006410	영산강	건설교통부	1961.08	T/M	126-38-54	35-13-44	전남	장성군	삼서면 대곡
동곡	5004410	영산강	건설교통부	1992.04	T/M	126-46-28	35-05-42	광주	광산구	하산

## 2) 처리

관측된 강우 자료는 점우량을 나타내므로 이 자료로부터 면적을 대표할 수 있는 면적평균강우량으로 산정하여야 한다. 면적평균강우량을 산정하는 방법은 산술평균법, Thiessen 가중법, 등우선법 등이 있으며, 이 중 Thiessen 가중법을 사용하였다.

황룡강유역의 Thiessen 다각형을 [그림 5]에 나타내었고, 유역의 가중치를 <표 6>에 구하여 표시하였다.



[그림 5] Thiessen 다각형

&lt;표 6&gt; Thiessen 가중치

관측소명 소유역명	북이 (5002420)	장성 (5002440)	삼서 (5006410)	동곡 (5004410)	계
500201	0.14	0.86			1
500202	0.56	0.44			1
500203		1.00			1
500204	0.52	0.48			1
500205		1.00			1
500206		0.78	0.22		1
500207		0.17	0.70	0.13	1
500208			0.91	0.09	1
500209				1	1

## 3.4 수위자료의 수집 및 처리

### 1) 자료의 수집

수위관측소는 황룡강유역 내에 건설교통부에서 관할하는 관측소 2개소가 있으며 <표 7>에 유역내의 수위관측소 현황을 나타내었다. 수위자료는 1994년부터 1999년까지의 시수위자료를 건설교통부에서 수집하여 분석하였다. 자료를 검토한 결과 1994~1997의 자료는 신뢰도가 낮아 1998~1999년의 자료만 사용하였다.

&lt;표 7&gt; 수위관측소

관측 소명	관측소 코드	수계명	관찰기관	관 측 개시일	관측 종별	경도	위도	주 소		
장성	5002650	영산강	건설교통부	1962.01	T/M	126-46-18	35-17-17	전남	장성	황룡삼월
선암	5002690	영산강	건설교통부	1915.01	T/M	126-47-08	35-07-49	광주	광산구	도산

## 2) 처리

본 연구에서는 강우사상에 대한 유출량을 계산하므로 수집된 하천수위자료를 유량자료로 변환하여야 한다. 이를 위해서는 관측지점의 수위-유량 곡선식이 필요하다. 수위-유량 곡선식은 건설교통부에서 제공하는 곡선식을 사용하여 유량을 산정하였으며 <표 8>에 곡선식을 나타내었다.

## 4. 모형의 적용 및 분석

### 4.1 강우자료의 선택

HEC-HMS 모형을 적용하기 위해서 1998년부터 1999년까지의 강우사상을 분석하여 6개의 강우사상을 선정하였다.

제 1사상은 1998년 5월 28일, 제 2사상

은 1998년 9월 29일, 제 3사상은 1999년 5월 3일, 제 4사상은 1999년 6월 23일, 제 5사상은 1999년 7월 1일, 제 6사상은 1999년 8월 25일의 강우를 선정하였다.

### 4.2 모형의 적용시 사용한 방법

HEC-HMS에 포함된 모형중에서 강우손실모형은 토지이용도와 토양도를 이용하면 간단히 매개변수를 구할 수 있는 SCS CN 방법, 직접유출모형은 매개변수에 대한 기존연구를 이용할 수 있는 Snyder 단위유량도 방법, 기저유출모형은 가장 많이 사용하는 지수함수 감수 방법, 추적모형은 수문자료를 이용하면 쉽게 매개변수를 구할 수 있는 Muskingum 방법을 선택하였다. 대상유역에 대해 모형을 적용할 때 sub1 유역은 강우발생시 유출량이 장성호로 모두 유입되므로 장성호로부터의 유출량도 일정하다고 가정하고 모의하였다.

&lt;표 8&gt; 수위-유량 곡선식

수 위 관측소	관측소 코드	해당년도	수위범위	수위-유량 곡선식	비고
장성	500203	1996	0.60≤H<0.95	$Q = 73.8 \times H^2 - 88.9 \times H + 29.8$	
			0.95≤H<2.50	$Q = 117.7 \times H^2 - 173.5 \times H + 70.5$	
선암	500207	1997~1999	0.26≤H≤4.02	$Q = 47.59329(H - 0.11)^{2.30463}$	

### 4.3 매개변수의 최적화

HEC-HMS는 관측된 강우자료와 유출자료가 있으면 매개변수를 자동적으로 추정할 수 있는 기능을 가지고 있다. 목적함수(Function Value)는 계산값과 관측값 사이의 편차 정도이고 목적함수값이 영에 가까울수록 계산값과 관측값이 일치함을 나타낸다. 최적화 과정은 목적함수가 최소가 될 때까지 반복하여 수행한다. 6가지 강우사상에 대한 최적화를 실행한 결과를 <표 9>에 나타내었다.

<표 9> 최적화 결과

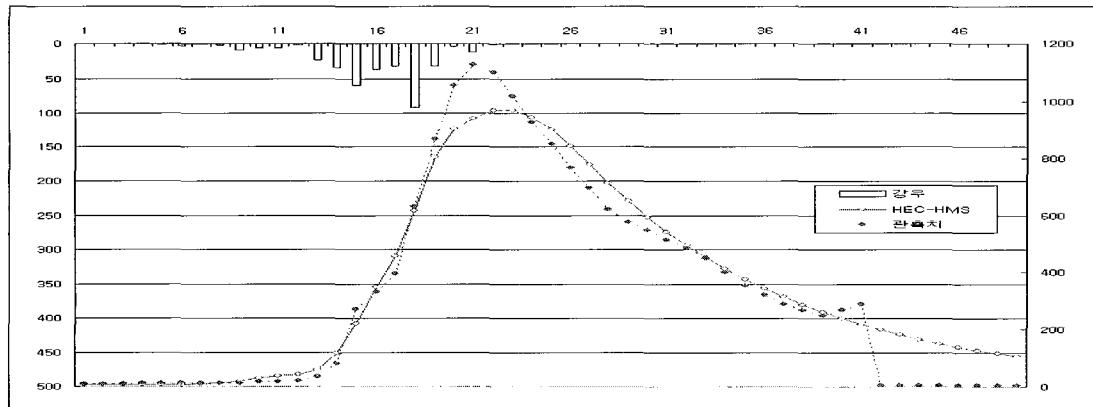
구 분	sub 2			sub 3		
	Lag	Cp	초 기 기저유출	Lag	Cp	초 기 기저유출
1998.05.28	2.00	0.2	7.0	4.51	0.4	0.001
1998.09.29	2.00	0.19	7.3	3.48	0.33	0.2
1999.05.03	3.21	0.259	6.263	14.000	0.710	0.001
1999.06.23	2.44	0.192	9.325	10.567	0.655	0.001
1999.07.01	2.41	0.200	8.951	4.119	0.368	0.001
1999.08.25	2.20	0.171	6.700	6.200	0.310	0.001
평 균	2.38	0.20	7.59	7.15	0.46	0.03

### 4.4 적용결과 및 분석

모형에 사용되는 매개변수를 최적화하여 각 호우사상에 대한 최적매개변수를 구하였으므로 6개의 호우사상에 대한 최적매개변수의 평균값을 이용하여 대상유역에 대해 모형을 적용하였다. 적용대상 강우사상은 앞에서 언급한 1998년의 2개와 1999년의 4개의 사상에 대해 모의하였으며 그 결과를 [그림 6]~[그림 11]에 나타내었다. 이 그림들은 선암 관측소에 대한 유출수문곡선을 나타낸 것으로서 유출량계산 결과와 선암 수위관측소에서 관측한 수위를 유출량으로 환산한 관측치를 동시에 나타낸 것이다.

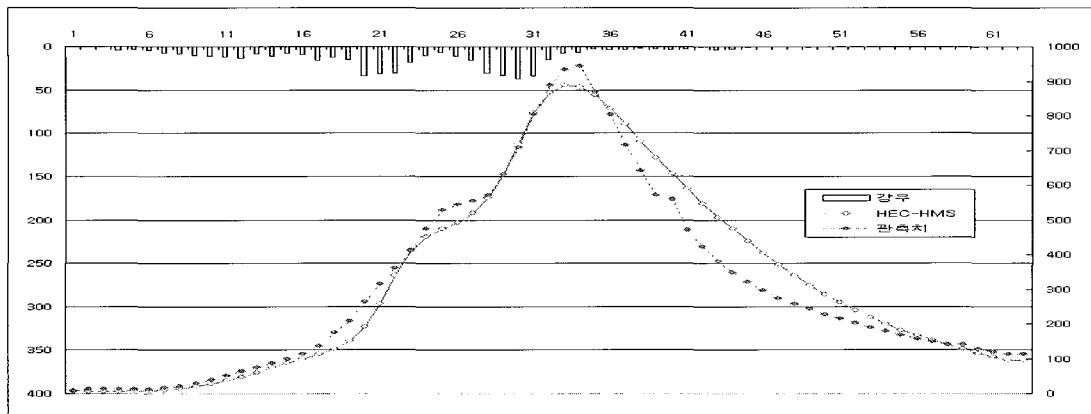
단기호우사상의 모의시 가장 중요한 결과치는 총유량과 첨두유량이다. 본 연구의 모의결과 총유량과 첨두유량을 관측치와 계산치에 대하여 비교하였으며 첨두유량 발생시간도 비교분석하여 그 결과를 <표 10>에 나타내었다.

표에서 총유량의 상대오차는 제 4강우사상의 12.7%가 가장 크며 첨두유량은

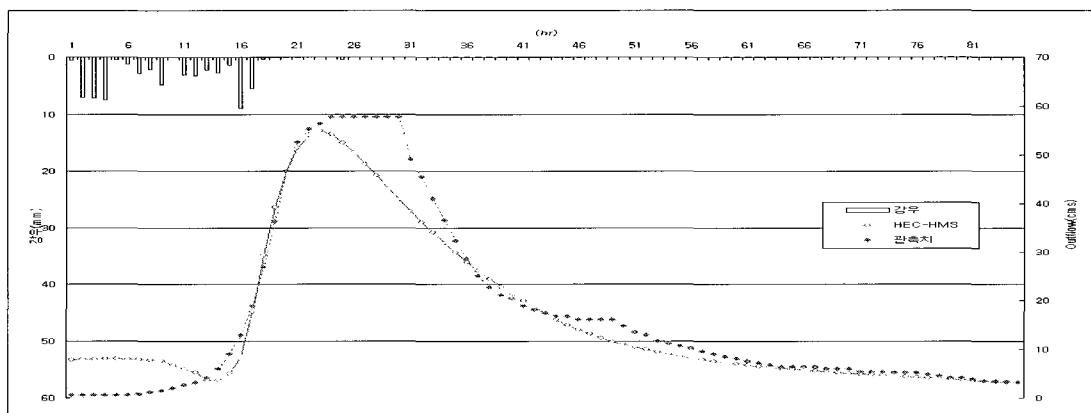


[그림 6] 관측치과 계산치 비교(1998. 5. 28, 선암)

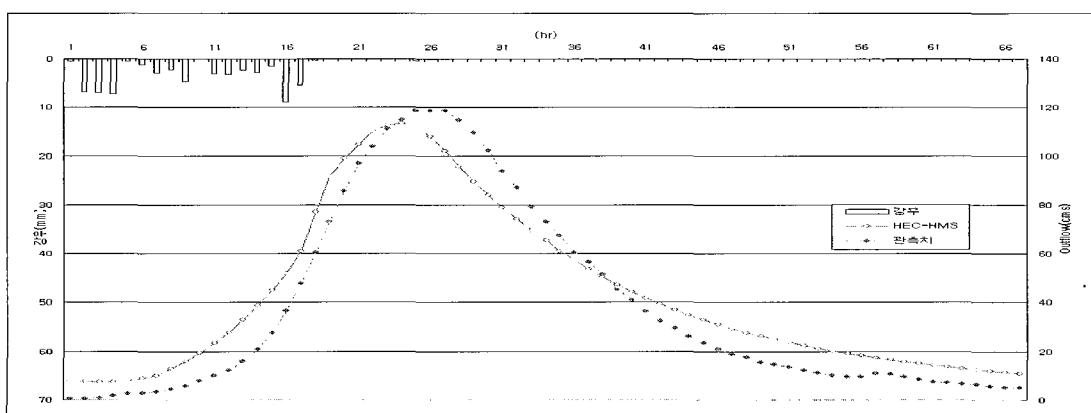
HEC-HMS, HEC-GeoHMS를 이용한 황룡강유역의 유출분석



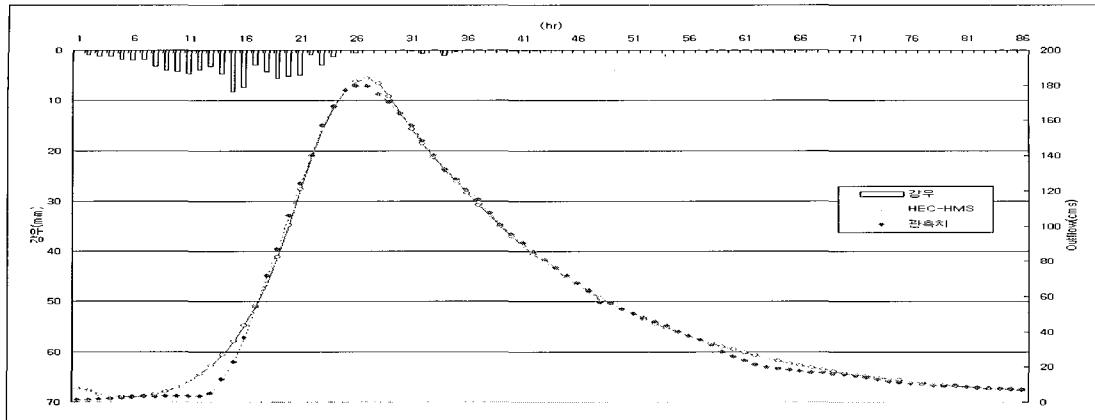
[그림 7] 관측치과 계산치 비교(1998. 9. 29, 선암)



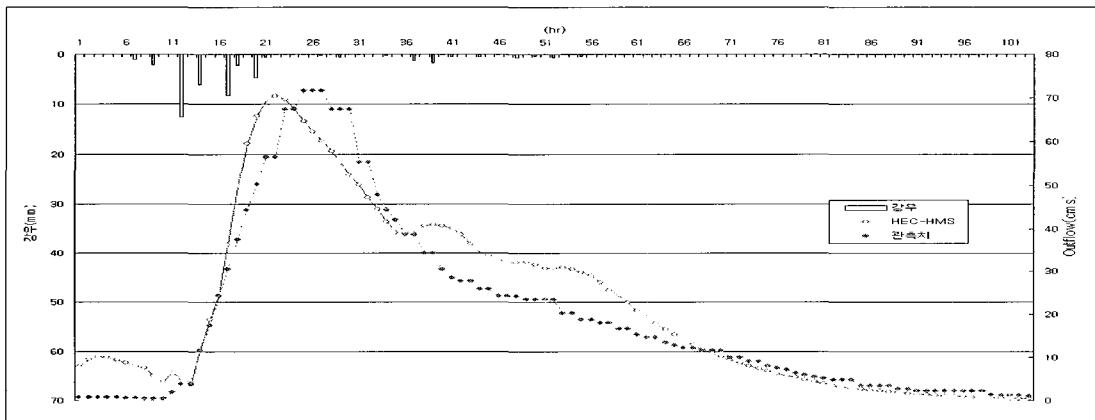
[그림 8] 관측치과 계산치 비교(1999. 5. 3, 선암)



[그림 9] 관측치과 계산치 비교(1999. 6. 23, 선암)



[그림 10] 관측치과 계산치 비교(1999. 7. 1, 선암)



[그림 11] 관측치과 계산치 비교(1999. 8. 25, 선암)

&lt;표 10&gt; 관측치과 계산치의 비교(선암수위관측소)

강우 사상	구 분	총유량(m³/s)			첨두유량(m³/s)			모의시간 (hr)	첨두유량발생시간(hr)	
		관측치	계산치	오차	관측치	계산치	오차		관측치	계산치
1	1998.05.28	15,961.00	16,168.50	1.3%	1,128.40	969.95	14.0%	48	20	22
2	1998.09.29	19,524.00	20,271.60	3.8%	943.71	889.41	5.7%	63	34	33
3	1999.05.03	1,471.73	1,389.26	5.6%	57.82	55.03	5.0%	86	24	23
4	1999.06.23	2,574.87	2,901.42	12.7%	118.54	113.42	4.3%	68	25	24
5	1999.07.01	4,732.30	4,857.64	2.6%	173.39	183.98	6.1%	86	27	27
6	1999.08.25	2,042.65	2,299.71	12.6%	71.71	70.48	1.7%	104	25	22

제1강우사상의 14.0%가 가장 크다. 첨두유량만을 비교해보면 6개의 강우사상중 5개의 사상이 10%미만의 오차를 나타내고 있으므로 계산치가 관측치에 매우 근접하게 계산되었음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 HEC-HMS, HEC-GeoHMS를 이용하여 황룡강유역에 대한 단기유출분석을 실시한 것이다. ArcView GIS 소프트웨어와 HEC-GeoHMS를 이용하여 대상유역에 대한 지형입력자료를 구축하였다. 그 결과 모의 대상유역은 3개의 소유역으로 분할되었다. HEC-HMS에 포함된 모형 중에서 강우손실모형은 SCS 유출곡선지수 방법, 집집유출모형은 Snyder 단위유량도 방법, 기저유출모형은 지수함수 감수 방법, 추적모형은 Muskingum 방법을 선택하였다. 모의에 사용되는 매개변수들을 최적화한 결과 장성댐 소유역을 제외한 2개의 소유역에 대한 지체시간(Lag)은 각각 2.38hr와 7.15hr,  $C_p$  값은 0.2와 0.46, 초기유량은 7.59m<sup>3</sup>/s와 0.03m<sup>3</sup>/s로 계산되었다.

최적매개변수들을 사용하여 6개 강우사상에 대한 유출수분곡선을 계산한 결과 총유량은 최대상대오차가 12.7%이고 첨두유량은 최대상대오차가 14.0%를 나타내어 계산치가 관측치에 매우 근접하게 계산됨을 알 수 있었다.

본 연구에서 사용한 HEC-HMS모형은 HEC-GeoHMS를 연계하여 적용할 수 있어 모형의 적용이 용이하므로 수자원관리에 유용하다고 판단되며 본 연구에서 구한 매개

변수는 이후 황룡강유역에 대한 유출을 분석할 때 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 김중훈, 전환돈, 윤용남, 이재수, 1997, HEC-1 모형의 대하천유역에의 적용, 대한토목학회논문집 제17권 제II-1호, pp. 1-11.
- 건설교통부, 1998, 영산강하천정비기본계획보고서.
- 건설교통부, 1994~1999, 한국수문조사연보.
- 안상진, 김진국, 유석환, 곽현구, 2001, 유출모의를 위한 HEC-HMS모형의 매개변수추정, 한국수자원학회학술발표논문집, pp. 365~370.
- 한국수자원공사, 2002, <http://wamis.kowaco.or.kr/>.
- 정남선, 2000, 지형정보자료와 HEC-HMS를 이용한 유출량 산정, 조선대학교 대학원 박사학위논문, p. 112.
- 전라남도, 1985, 황룡강·개천 하천정비기본계획.
- 조국희, 2001, HES-HMS모형의 금강유역 적용, 충북대학원 석사학위 논문.
- USACE-HEC, 2002, <http://www.hec.usace.army.mil/>.
- USACE-HEC, 2000a, Geospatial Hydrologic Modeling Extention HEC-GeoHMS User's Manual, p. 198.
- USACE-HEC, 2000b, Hydrologic Modeling HEC-HMS User's Manual, p. 187.
- USACE-HEC, 2000c, Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, p. 149.