

## 도시 소유역 배수펌프장 운영개선 방안 연구 (1) - GIS 기반 수문모형에 의한 홍수유출수문곡선의 재현

길경익\* · 한종옥 · 김구현\*

서울산업대학교 토목공학과  
\*구리시청, 수도과 급수팀

## Operational Improvement of Small Urban Storm Water Pumping Station (1) - Simulation of Flood Hydrograph using GIS-based Hydrologic Model

Kyung-Ik Gil\* · Jong-Ok Han · Goo-Hyun Kim\*

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Technology

\*Water Supply Team, City of Guri

(Received 9 September 2005, Accepted 17 October 2005)

### Abstract

Recently some urban areas have been flooded due to heavy storm rainfalls. Though major causes of these floodings may be attributed to localized heavy rainfalls, other factors are related to urban flooding including deficiency of storm sewer network capacity, change of surface runoff due to covered open channels, and operational problems of storm drainage pump stations. In this study, hydrologic and hydraulic analysis of Sutak basin in Guri city were carried out to evaluate flooding problems occurred during the heavy storm in July, 2001. ArcView, a world most widely used GIS tool, was used to extract required data for the hydrologic analysis including basin characteristics data, concentration times, channel routing data, land use data, soil distribution data and SCS runoff curve number generation from digital maps. HEC-HMS, a GIS-based runoff simulation model, was successfully used to simulate the flood inflow hydrograph to Sutak pumping station.

**keywords** : Flood hydrograph, Geographical information system, HEC-HMS, Pumping station, Storm water

### 1. 서론

도시 소유역에 발생한 집중호우로 인해 침수범람사태가 다수 발생하고 있으며, 그로 인한 막대한 피해가 해마다 거듭되고 있는 실정이다. 이러한 도시 침수의 근본적인 원인은 하수관망의 능력을 초과하는 국부적인 집중호우에 기인하고 있으나 그 외에도 도시화에 따른 기존 하수관망의 통수능 부족, 하도 복개에 따른 지표면 유출경로의 변경, 하수관망 및 배수펌프장의 운영 및 유지 관리상의 문제점 등 여러 가지 복합적인 원인이 연관되어 있다. 또한 근래 우리나라에 발생한 호우의 특성을 살펴볼 때 빈도개념을 초월하는 집중호우가 다발하고 있어 이에 대한 대비가 시급하다. 특히, 도시화로 인구과밀지대를 형성하고 있으며 저지대에 위치하여 내수배제가 곤란한 배수구역의 경우 근본적인 침수방지대책이 수립되어야 할 것이다.

한편 최근에는 지형·지리 및 공간 정보를 다루는 여러 학문분야에서 GIS(Geographical Information System) 기법과 그 적용에 관한 관심이 고조되고 있다. 이는 GIS가 축적에 따라 일정크기의 도면을 일정지역에 도식해야 되는 기존 종

이지도와는 달리, 대상 지역의 제한을 받을 필요가 없고 공학적 기법을 통하여 필요한 정보만을 다양한 포맷으로 활용할 수 있는 장점이 있기 때문이다(김, 2000). GIS 기반에서 구축된 수많은 데이터베이스 파일에서 수리·수문 분야에 필요한 도형정보(graphic information)나 속성정보(attribute information)를 추출하고 결합하여 활용할 때, GIS기법은 홍수량 산출, 유속 및 유량계산, 침수구역도 작성 등을 얻어내는 효과적인 도구가 될 수 있다(김 등, 1999).

집중호우 시 배수펌프장에서 강우를 배제하여야하는 도시소유역의 경우 침수에 대비하도록 배수펌프장의 운영을 개선하기 위해서는 호우 당시의 침수상황을 분석하여야 하고, 침수상황을 분석하기 위해서는 당시 유입된 홍수수문곡선의 상세한 모의가 기본적인 전제 조건이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 도시 소유역에 위치한 배수펌프장의 운영 개선방안을 도출하기 위한 기초연구로서 GIS 기반 수문모형인 HEC-HMS에 의하여 홍수유출수문곡선을 재현하고자 하였다. 이를 위해 2001년 7월 호우 시 침수피해를 입은 경기도 구리시 수택배수펌프장 유역을 대상으로 강우분석, ArcView GIS 툴과 수치지도 자료를 활용한 유역특성분석, 토지이용 분석, 토양의 수문학적 분류, 유출곡선지수 산정, 홍수도달시간 산정, 하도추적계수 산정 등을 수행하였다.

\* To whom correspondence should be addressed.  
kgil@snut.ac.kr

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상 침수범람 피해

경기도 구리시 수택배수펌프장 유역에서는 2001년 7월 14일부터 15일 양일간에 걸쳐 시간당 최대 89.5 mm, 3시간 연속 217.5 mm의 집중호우가 발생하였다. 이러한 펌프장 설계용량(구리시, 1991)을 훨씬 초과하는 홍수량의 유입으로 인해 내수침수피해가 발생하였고 저지대 도심 주택가가 침수되는 피해가 발생하였다. 당시 침수피해를 입은 지역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 저지대 인구밀집지역으로서 침수면적은 A지역이 6.3 ha(주변장 1,070 m)이며, B지역은 1.5 ha(주변장 608 m)로서 총 7.8 ha이었다.

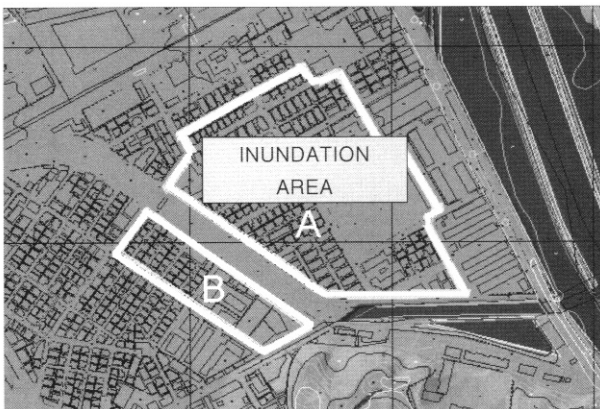


Fig. 1. Flood inundation map.

설계빈도를 훨씬 초과하는 기록적인 집중호우로 인하여 하수관망의 통수능을 초과하는 지표면 유출량이 하수관망으로 유입되면서 하수도의 overflow가 발생하였고, 수택배수펌프장 설계용량을 초과하는 홍수량의 유입으로 인한 인창천 수위 상승이 겹쳐지면서 내수와 외수의 영향이 종합적으로 작용하여 침수피해가 가중되었다.

### 2.2. GIS 기반 모형 및 절차

강우-유출 모의 프로그램인 HEC-HMS(Hydrologic Modeling System) 모형은 HEC-1을 후속하는 강우-유출 모의 시스템이다(US Army Corps of Engineers, 1998) 이 프로그램은 미공병단 수공연구센터(Hydrologic Engineering Center)의 차세대 Software 개발 프로젝트에 의해 1998년에 개발된 것이다. 본 연구에 사용한 HEC-HMS는 기본적으로 GIS 자료의 이용을 염두에 두고 제작된 프로그램이나 자체적으로 수치지도 자료의 변환을 통해 HMS의 모의에 필요한 Basin, Map File을 생성하지 못하므로 Arcview와 Arcview의 확장프로그램(Extension)인 CRWR-PrePro를 사용하였다. CRWR-PrePro는 미국의 Texas 대학에서 HMS의 기능을 지원하기 위하여 개발한 것으로, GIS를 이용한 지형특성분석과 수리·수문 요소의 구성에 필요한 기능을 지원하는 Script 및 수문분석에 필요한 추가적인 Script와, GIS자료를 HMS에서 사용 가능한 형태로 변환시켜주는 HEC-PrePro

Script를 포함한 Extension이며, 별도의 Arcview Extension (File 확장자명: avx) 프로그램으로 되어 있지 않고 Arcview에서 사용하는 Project File 형태인 \*.apr의 형태로 공개되어 있다(Maidment et al., 1997; Maidment et al., 1999).

본 연구의 전반적인 연구절차를 도식으로 나타내면 Fig. 2와 같다. 먼저 대상 호우의 특성 파악과 함께 GIS에 의해 지형, 토양, 토지피복, 등 유역특성을 분석하였다. 다음으로 유효우량 산정을 위해 유출곡선지수(CN)를 결정하고, SCS 단위도법의 매개변수인 유역지체시간과 하도추적을 위한 하도저류상수 등을 산정하였다. 마지막으로 강우-유출 모의를 위해 구축한 HEC-HMS를 이용하여 유역 최하류단에 위치한 배수펌프장으로 유입되는 홍수량을 산정함으로써 홍수수문곡선을 유도하였다.

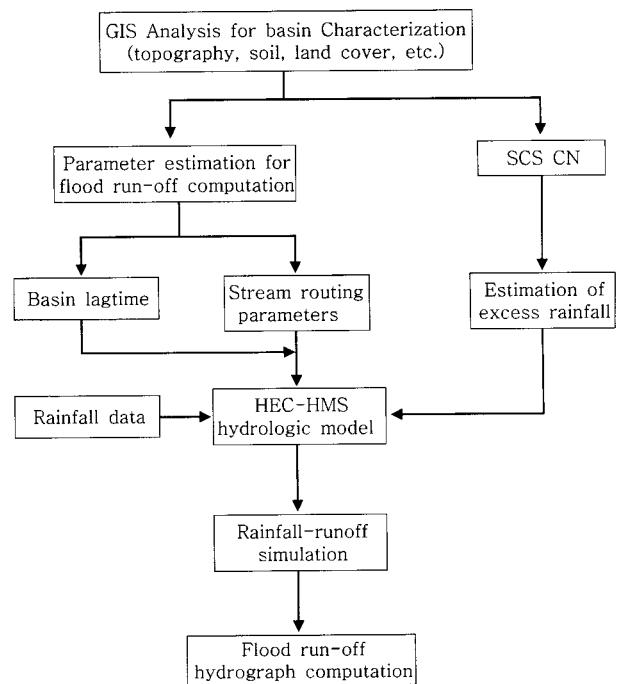


Fig. 2. GIS-based urban flood analysis and simulation procedure.

## 3. 연구결과

### 3.1. 호우특성 분석

대상 호우의 시우량과 10분 지속기간 기상청(Korea Meteorological Agency, KMA) 우량 자료는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같으며, 대상 호우에 대한 확률 빈도를 Table 1에 나타내었다(건교부, 2000a, 2000b, 2000c).

Table 1에 나타난 바와 같이 급변 호우는 수택배수펌프장 설계호우인 5년 빈도 2시간 지속기간의 89 mm 확률강우량을 훨씬 초과하는 강우로써 지금까지의 통계적인 자료로 판단해 볼 때 발생확률이 극히 적은 이상호우였다.

수택배수펌프장은 Table 2에 제시된 바와 같이 2시간 동안 89 mm가 내리는 호우와 이로 인하여 2시간 30분간 발

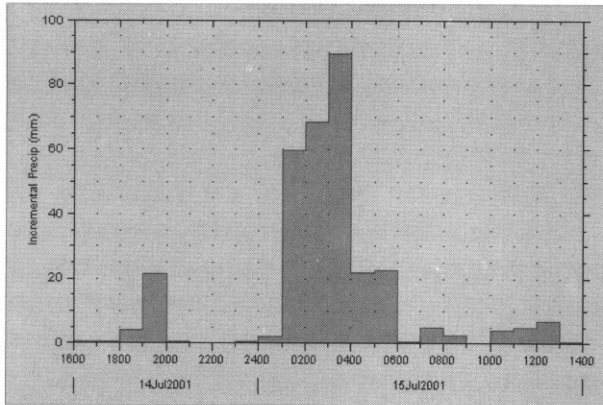


Fig. 3. Hyetograph of Guri city (KMA hourly data).

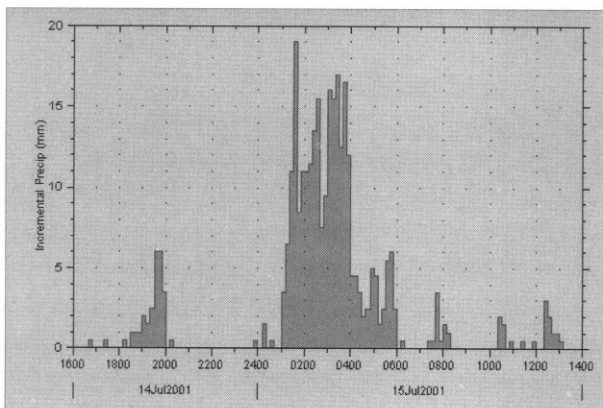


Fig. 4. Hyetograph of Guri city (KMA 10-min. data).

Table 1. Estimation of recurrence interval for the 2001 Guri storm

Duration (hr)	Rainfall (mm)	Frequency (year)	Rainfall frequency (mm)*
1	89.5	20	87
2	158	100	156.1
3	217.5	300~500	208.6~221.7

\*: 건교부, 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 (2000)

생하는 28만톤의 홍수량을 처리할 수 있도록 설계되었으나 금번 호우는 7월 14일 16:00부터 7월 15일 14:00까지 22시간 동안 311.5 mm의 강우가 내려 100만톤의 홍수량이 유입되었다. 특히 호우가 집중된 7월 15일 새벽 2시에서 4시 사이에 2시간 동안 158 mm의 강우가 내렸고, 이때 2시간 30분 동안 유입된 최대 홍수량만 하더라도 61만톤에 이르러 설계홍수유입량의 218%에 해당하였다.

Table 2. The year 2001 Guri storm and capacity of Sutak pumping station

Item	Designed capacity of pumping station	Guri storm in this study	Excess rate (%)
Rainfall (mm/2hrs)	89	158	178
Inflow (m <sup>3</sup> /2.5hrs)	280,000	610,000	218

Fig. 3에 나타난 바와 같이, 7월 15일 01:00 부터 04:00 까지 강우강도가 큰 호우가 3시간이상 지속되었다. 또 다른 특징은 3시간 동안 내린 강우의 시간분포가 59.5 mm, 68.5 mm, 89.5 mm로서 후반으로 갈수록 증가하였다는 점이다. 이때 초기유입량으로 우수지의 저류능력이 초반에 이미 소진되고 외수위도 높아진 상태에서 더욱 강도가 큰 강우가 내림으로써 배수펌프장의 처리능력을 넘어서게 되었다. 또한 7월 15일 02:30부터 05:00까지 2시간 30분 동안 수택배수펌프장의 펌프용량 2,700 m<sup>3</sup>/min(45 m<sup>3</sup>/sec)을 초과하는 홍수량이 지속적으로 유입되었다. 이로 인해 펌프 토출량이 유입량보다 작았고, 인창천 수위가 급격히 증가한 상태에서 유역에 발생한 지표면 유출량이 인창천으로 배제되지 못하고 역류하게 된 것이 침수피해를 가중시킨 것으로 판단된다.

### 3.2. 유역 수문특성분석

수택배수펌프장이 위치한 인창천 유역의 면적은 3.985 km<sup>2</sup>로서 소유역에 해당된다. 유역의 서쪽은 산지이고 동쪽 평지는 왕숙천에 인접한 저지대로서 침수피해를 입을 가능성이 높은 지역이다. 유역의 형상은 깔대기(funnel)형으로서 서쪽산지에서 동쪽 왕숙천 저지대 방향으로 거의 동시에 홍수가 빠른 속도로 집중될 수 있는 유역형상을 나타내고 있다.

수택배수펌프장유역의 토지이용도를 추출하면 Fig. 5와 같다. 수택배수펌프장 유역은 전체 유역면적중 도시지역이 차지하는 면적이 약 55%로서 도시화율이 매우 높음을 알 수 있다. 이와 같이 도시화율이 높아지게 되면 불투수면적의 증가와 더불어 유역내의 자연 하천이 하수관망으로 대체됨으로 인하여 유출율 증가와 홍수도달시간의 단축을 초래하여 궁극적으로 홍수량 증가 및 침투홍수량 증가로 침수가능성을 높이는 결과를 가져오게 된다.

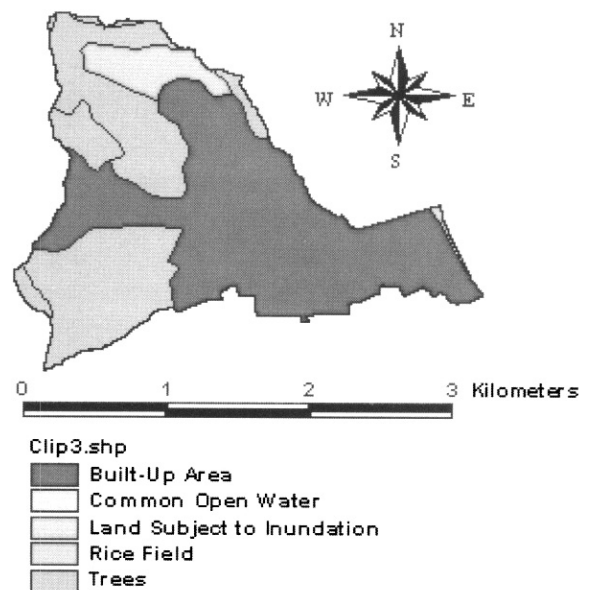


Fig. 5. Land use map of Sutak pumping station watershed.

토양의 특성은 유역특성 및 토지이용과 더불어 강우유출에 결정적인 영향을 미치게 된다. 수택배수펌프장유역의 토양형 분류를 강우의 토양 침투능을 기준으로 하여 미국 토양보존국(Soil Conservation Service, SCS)에서 제시한 4개의 수문학적 토양형으로 분류하면 Table 3과 같다.

**Table 3.** Classification by hydrologic soil group

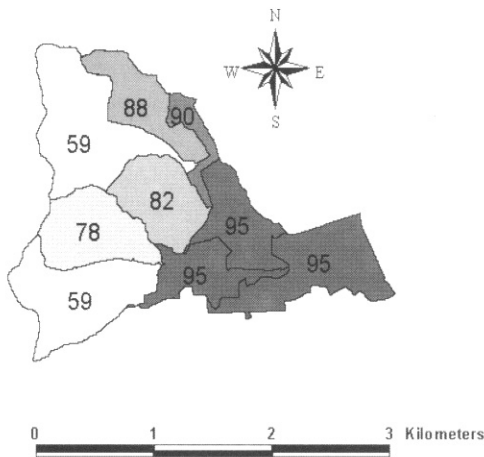
Hydrologic soil group	Area (m <sup>2</sup> )	Fraction rate (%)
Type A	1,283,078	32.19
Type B	14,349	0.36
Type C	84,340	2.12
Type D	2,603,913	65.33
Total	3,985,680	100.00

Table 3에 나타난 바와 같이 수택배수펌프장유역의 토양은 수문학적으로 배수가 거의 안 되는 Type D가 65%로서 유역에 비가 내리면 흙 속으로 침투되지 않고 바로 하수관망 또는 하천으로 유입되는 비율이 높기 때문에 이로 인하여 홍수유출을 증가시키는 요인이 되고 있다.

**3.3. 유출곡선지수 산정**

유역에 내린 강우량 중에서 손실되지 않고 하천으로 유입되는 직접유출량 또는 유효우량을 산정하는 방법으로 가장 널리 적용되는 방법은 미국 토양보존국에서 개발한 유출곡선지수법(Runoff Curve Number, CN)이다. 이 방법은 유역 토지이용도와 수문학적 토양분포도를 중첩하여 SCS에서 토지이용과 토양형 분류에 따라 정해놓은 CN을 부여하고 이를 소유역별로 구분하여 종합하는 것이다. 본 연구에서는 유역분할도와 토지이용도 및 수문학적 토양도를 ArcView에서 Geoprocessing Wizard로 Intersection 시킨 후 역시 ArcView의 확장프로그램으로 미국 Brigham Young University에서 개발한 WMS-HYDRO Ver. 2.0을 이용하여 각 소유역별 유출곡선지수를 산정하였다(Brigham Young University, 1998).

각 소유역별로 산정된 유출곡선지수는 Fig. 6과 같다.



**Fig. 6.** SCS runoff curve number.

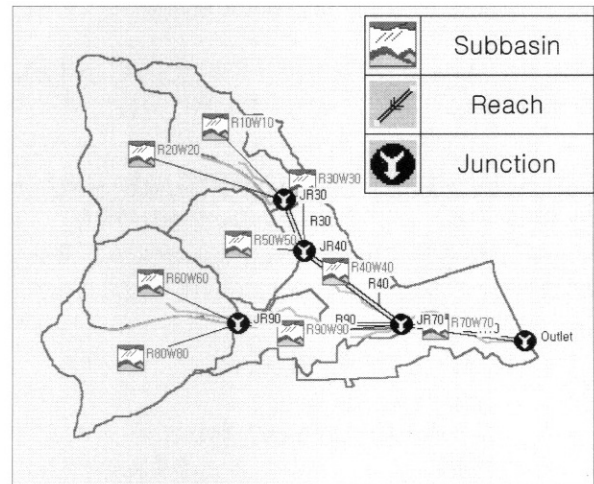
Fig. 6에 나타난 바와 같이 도시화로 인하여 거의 불투수층으로 구성되어 있는 왕숙천에 인접한 하류부의 유출곡선지수가 95로 높게 나타나고 있다.

**3.4. 강우유출모의**

대상 호우 당시의 침수상황을 분석하기 위해서는 당시 유입된 홍수수문곡선의 상세한 모의가 기본적인 전제 조건이라고 할 수 있다. 이를 위하여 1:5,000 DEM(Digital Elevation Model) 그리드로부터 강우유출모의에 필요한 인자들을 추출하였다. 유역특성인자의 추출은 ArcView 확장프로그램인 HEC-GeoHMS를 이용하였다. 유역경계추출과 소유역을 분할할 때, 산지는 프로그램에 의하여 자동 추출하였고, 하류부 평지는 배수펌프장 설계 당시 배수분구를 구분한 CAD 도면을 이용하여 Grid Burning 과정을 거쳐 추출하였다.

본 연구에서 산정된 소유역별 유출곡선지수, 유역지체시간, 하도추적계수, 기록 강우자료 등을 입력하고 계산시간 간격을 10분으로 하여 2001년 7월 14일 16:00부터 7월 15일 14:00까지 22 시간에 대하여 강우유출량을 산정하였다. Fig. 7은 본 연구에서 강우유출모의에 적용한 수택배수펌프장 유역에 대한 HEC-HMS 유역 모형을 나타낸 것이다.

소유역과 합류점 및 하도추적구간의 명칭은 HEC-GeoHMS에서 자동 부여된 명칭을 그대로 이용하였다. 그림에서 R10W10 등 R과 W로 명칭이 이루어진 아이콘은 소유역, JR30과 같이 J로 시작되는 아이콘은 수문곡선의 합류점, R30과 같이 R과 숫자로 이루어진 아이콘은 하도추적구간을 나타낸다.



**Fig. 7.** HEC-HMS model for Sutak pumping station watershed.

Fig. 8은 7월 14일 16:00부터 7월 15일 14:00까지 유역 최하류단에 위치한 수택배수펌프장 지점으로 유입되는 홍수수문곡선을 재현한 것이다. 3개의 수문곡선 중에서 가장 작은 양을 나타내는 수문곡선은 R70W70에서 유역출구로 유입되는 수문곡선이며, 두 번째로 큰 양을 나타내는 수문곡선은 상류에서 하도추적 및 수문곡선 합성을 통하여 유

역출구에 도달한 홍수수문곡선을 나타낸 것이다. 가장 큰 양을 나타내는 수문곡선은 상류에서 유하한 홍수량과 R70W70에서 발생한 홍수량을 합성한 최종적인 유역출구 지점의 홍수수문곡선이다.

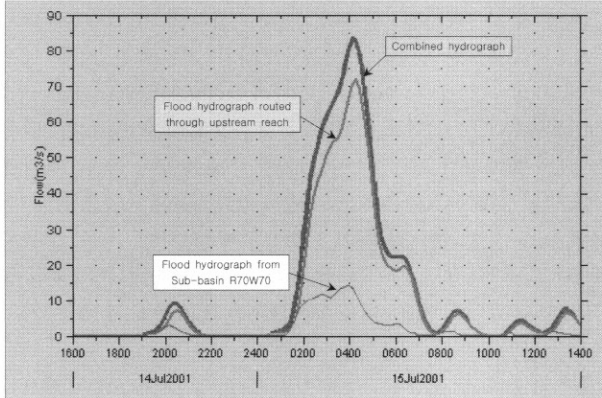


Fig. 8. Flood hydrograph simulated at Sutak pumping station.

Fig. 9는 수택배수펌프장 지점의 홍수수문곡선 산정 결과에 대한 사항을 요약하여 제시한 HEC-HMS 출력 도표이다.

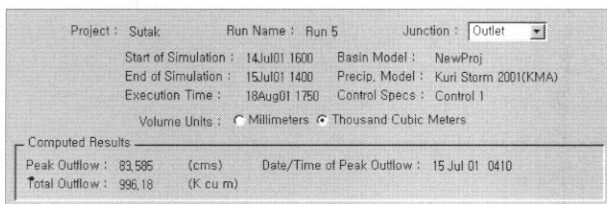


Fig. 9. Summary of flood hydrograph simulation

Fig. 9에 나타난 바와 같이 첨두유출량은 7월 15일 04:10에 84 m<sup>3</sup>/sec가 발생한 것으로 나타났다. 이는 수택배수펌프장 설계 시 적용했던 홍수유입수문곡선의 첨두유출량 72 m<sup>3</sup>/sec의 117%에 해당하며(구리시, 1991), 총 유출용적은 996,180 m<sup>3</sup>(평균 유출고 250 mm)로서 유출계수는 0.80으로 나타났다. 이때 유역 총 유출용적인 99만 6천 톤은 유수지용량 3만7,000톤의 27배를 넘는 양에 해당되었다.

#### 4. 결론

도시 소유역 배수펌프장의 운영 개선방안을 도출하기 위해서는 침수범람 분석의 전제가 되는 홍수유출수문곡선의 재현이 필요하다. 이를 위해 2001년 7월 호우사상에 대하여 침수피해가 발생했던 소유역을 대상으로 HEC-HMS 모

형과 GIS 기법을 적용하였고, 대상 강우에 의한 홍수유출수문곡선을 유도할 수 있었다. 본 연구에서 얻은 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 도시 소유역 배수펌프장 운영을 위한 수문모형구축과정에서 GIS 기법을 적용함으로써 유출곡선지수, 유역지체시간과 하도추적계수와 같은 강우유출도의 과정에서 매우 중요하면서도 주관적인 판단이 개입될 여지가 많은 매개변수의 산정을 객관적이고 일관성 있게 수행할 수 있었다.
- 2) 홍수수문곡선 산정 결과, 첨두유출량은 7월 15일 04:10에 84 m<sup>3</sup>/sec가 발생한 것으로 나타나 수택배수펌프장 설계 시 적용했던 홍수유입수문곡선의 첨두유출량 72 m<sup>3</sup>/sec의 117%에 해당한 것으로 분석되었다.
- 3) 총 유출용적은 99만 6천톤으로서 유수지용량 3만 7천톤의 27배를 넘는 양이었으며, 특히 호우가 집중된 7월 15일 새벽 02시에서 04시 사이에 2시간 동안 158 mm의 강우가 내렸고, 이때 2시간 30분 동안 유입된 최대 홍수량만 하더라도 61만톤에 이르러 같은 시간 동안에 유입되는 실제홍수유입량 28만톤의 218%에 해당하는 양이었던 것으로 분석되었다.

#### 참고문헌

- 건교부, 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 - 제 1 권 한국 확률강우량도 작성, p. 202 (2000a).
- 건교부, 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 - 제 1 권 : 별책 - 한국의 주요호우, p. 92 (2000b).
- 건교부, 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 - 제 2 권 한국 가능 최대강수량 추정, p. 155 (2000c).
- 구리시, 수택배수펌프장 시설공사 보고서 - 제5장 수리수문 검토 및 홍수량산정, pp. 53-60 (1991).
- 김계현, GIS 개론 - 제1장 GIS 특성 및 제3장 GIS의 주요활용분야, 대영사, pp. 1-49 (2000).
- 김채승, 윤창진, ESRI ArcView 지리정보체계, 대영사 pp. 355-370 (1999).
- Brigham Young University, WMS User's Manual, pp. (1-1)-(14-6) (1998).
- Maidment, D. R. and Hellweger, F. HECPrePro-User's Guide and Reference Manual, University of Texas, Austin, pp. 1-44 (1997).
- Maidment, D. R. and Olivera, F., GIS Tools for HMS Modeling Support, Center for Research in Water Resources, University of Texas, Austin, pp. 1-20 (1999).
- US Army Corps of Engineers, HEC-HMS User's Manual, Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, pp. (1-1)-(10.7) (1998).