

## 도시 소유역 배수펌프장 운영개선 방안 연구 (2) - 침수범람모의에 의한 침수방지 방안 비교 연구

길경익<sup>†</sup> · 한종옥 · 김구현<sup>\*</sup>

서울산업대학교 토목공학과

<sup>\*</sup>구리시청, 수도과 급수팀

## Operational Improvement of Small Urban Storm Water Pumping Station (2) - Comparative Study to Reduce the Flooding Problems using Flood Simulation Model

Kyung-Ik Gil<sup>†</sup> · Jong-Ok Han · Goo-Hyun Kim<sup>\*</sup>

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Technology

<sup>\*</sup>Water Supply Team, City of Guri

(Received 9 September 2005, Accepted 17 October 2005)

### Abstract

Flooding situation of Sutak basin was simulated and simulation seemed to be consistent with the real flooding situation in terms of high water levels and timings of flooding. The flood simulation model was used to evaluate alternatives to mitigate flooding problems in Sutak basin. From the evaluation of flood mitigation plans, it was found that combined operation of Sutak and Inchang pumping stations through partial diversion of inflow of Sutak pumping station to Inchang pumping station was the most effective one among the suggested mitigation plans. About 500 meter diversion channel will be needed to send 30% of Sutak pumping station inflow to Inchang pumping station. This will reduce overload of Sutak pumping station and the storage capacity of Inchang pumping station will be more efficiently utilized.

**keywords** : Flooding, Pumping station, Retention basin, Storm water, Watershed modeling system

## 1. 서론

도시화와 수반되는 각종 개발사업의 증가로 인해 기존 하수관망의 통수능 부족, 하도 복개에 따른 지표면 유출경로의 변경, 하수관망 및 배수펌프장의 운영상의 문제가 가중되어 집중호우 시 도시 소유역의 침수범람 피해가 빈발하고 있는 실정이다.

지난 2001년 7월 14일부터 15일 양일간에 걸쳐 경기도 구리시 수택배수펌프장 지역에서는 설계호우인 5년 빈도 2시간 지속기간의 89 mm 확률강우량을 훨씬 초과하며, 통계적인 자료로 판단할 때 발생확률이 극히 적은(3시간 지속 500년 빈도) 이상호우가 발생하였다. 이러한 설계용량을 훨씬 초과하는 홍수량의 유입은 도심 주택가가 침수되는 대규모 피해를 일으켰다.

용량 상의 한계를 극복하지 못한 배수펌프장 운영이 당시 침수범람 피해의 주요 원인 중 하나로 인식됨에 따라, 본 연구에서는 상기 호우로 인한 침수상황을 모의하고 분석함으로써 침수에 대비하도록 배수펌프장 운영 개선안을 제안함을 목표로 설정하게 되었다. 이를 위해 사전연구로서 GIS 기반 수문모형을 활용하여 당시 유입된 홍수수문곡선의 상

세 모의를 먼저 수행한 바 있는데(길 등, 2005), 이 결과를 활용하여 침수범람모의를 수행하여 침수당시의 상황을 분석하고 적용된 모형의 적정성을 검토하고자 하였다. 최종적으로는 대상 호우사상과 침수범람모의에 적용된 모형을 이용하여 침수범람 피해를 저감시키는 도시 소유역 배수펌프장 운영 개선방안을 제안하고자 본 연구를 수행하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상 침수범람 및 배수펌프장 제원

경기도 구리시 수택배수펌프장 지역에서 2001년 7월 14일과 15일 이틀에 걸쳐 설계빈도를 초과하는 기록적인 집중호우가 발생하였다. 당시 시간당 최대 89.5 mm의 집중호우가 내림에 따라 배수펌프장 설계용량을 초과하는 홍수량이 유입되었고, 도심 주택가가 침수되었다. 저지대 인구밀집지역 위주로 총 7.8 ha의 침수면적을 유발시킨 당시의 피해를 대상으로 본 연구에서는 침수범람을 모의하고 분석하였다.

한편 수택배수펌프장은 상습적으로 침수피해를 입던 수택동 일대 저지대의 침수피해를 방지하기 위하여 1991년에 설치되었는데, 배수펌프장의 일반 제원은 Table 1과 같다(구리시, 1991).

수택배수펌프장은 설계 시부터 유수지 부지의 확보가 어려워 계획유수지는 13,500 m<sup>3</sup>로 하고, 기존 하도 23,500 m<sup>3</sup>

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

kgil@snut.ac.kr

**Table 1.** Characteristics of Sutak storm drainage pumping station

Item	Characteristics
Area of retention basin	16,087 m <sup>2</sup>
Capacity of retention basin	37,000 m <sup>3</sup> (13,500 m <sup>3</sup> )*
H.W.L.	EL 16.80 m
L.W.L.	EL 14.50 m
Operating water level	EL 15.50 m
Pumping capacity	2,700 m <sup>3</sup> /min (950Hp × 6EA)
Designed frequency	5 years (89 mm/2 hr)
Bottom level	EL 13.5 m

\*: Actual design value

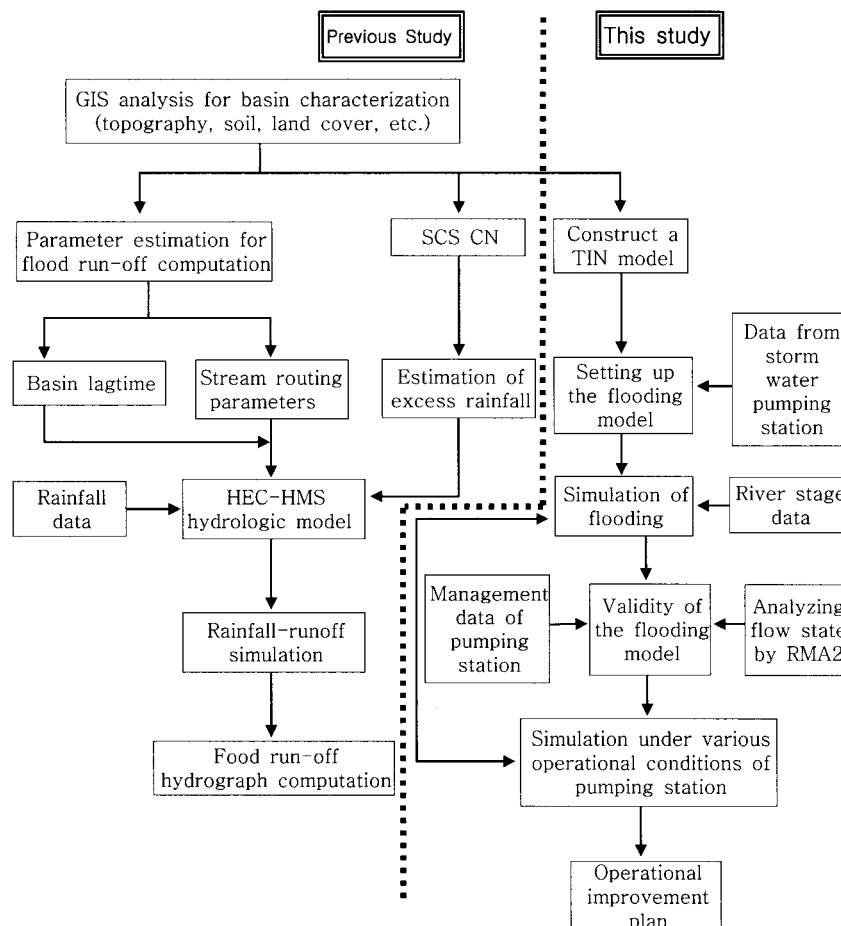
를 하도저류공간으로 활용하는 방안으로 설계되어 실제 유수지는 13,500 m<sup>3</sup>에 불과하다. 유수지의 용량이 부족한 대신 펌프의 용량은 인근 수평배수펌프장 1,200 m<sup>3</sup>/min의 2배가 넘는 2,700 m<sup>3</sup>/min를 갖추고 있다. 자료에 의하면 하도를 제외한 실제 유수지 면적은 4,100 m<sup>2</sup>이고, 유수지의 가용 수심은 3.3 m이다(구리시, 1991). 또한 펌프가 완전 가동될 때 유수지 전체 용량을 pumping하는데 소요되는 시간은 약 5분 정도도 소요되지 않으며, 수위가 1 m 하강하는데 소요되는 시간은 1.5분 정도이다.

**2.2. 적용 모형**

본 연구에서는 GIS 자료인 국립지리원의 수치지도와 USGS의 DEM 자료, DTED 자료를 이용하여 강우-유출 모의 외에도 침수범람모의 등 다양한 형태의 모의가 가능한 프로그램인 WMS(Watershed Modeling System)를 이용하여 침수범람을 모의하고 분석하였다. WMS는 미 육군 공병단 (US Army Corps of Engineers)과 Brigham Young 대학의 공학 컴퓨터 그래픽 연구소(Engineering Computer Graphics Laboratory)에 의해 개발되었는데, 수치고도데이터를 이용하여 형성된 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Networks, TINs)으로부터 유역도 및 소유역 경계선 등을 자동으로 식별하고 강우-유출 프로그램인 HEC-1, TR-20, 합리식 및 NFF(National Flood Frequency Program)에 대한 GUI환경을 제공한다(Brigham Young University, 1998; US Army Corps of Engineers, 1998a, 1998b).

**2.3. 연구절차**

본 연구에서 수행한 연구절차를 도식으로 나타내면 Fig. 1과 같다. 사전연구에서 HEC-HMS 수문모형을 이용하여 침수피해가 발생할 당시의 강우-유출모의를 수행하여 당시의 홍수수문곡선을 재현한 바 있다(길 등, 2005). 본 연구에서는 유역특성분석에서 지형자료의 TIN을 이용하여 침수위 수위별 침수면적과 침수용적을 산정하며, 배수펌프장의



**Fig. 1.** GIS-based urban flood analysis and simulation procedure.

제원과 전력사용량 분석자료 등과 개수로, 오리피스, 웨어에 대한 수리공식 및 질량보존법칙(mass balance)을 적용하여 침수범람모형을 구축하였다.

이와 같이 구축된 침수범람모형에 HEC-HMS 수문모형에서 산정된 홍수수문곡선과 외수위 자료를 적용하여 침수범람모의를 수행하였다. 다음으로 침수범람모의 결과와 배수펌프장 운영자료, RMA2 2차원 수리모형(정 등, 2000)에 의한 배수펌프장 및 왕숙천 유황분석 결과 등을 비교 검토하여 침수범람모의 타당성을 검토하였다. 도시침수를 발생시킨 근본적인 원인은 배수펌프장의 설계능력을 초과하는 집중호우에 있었는데, 마지막으로 이러한 도시형 침수를 방지하기 위한 대책을 수립하기 위하여 배수펌프장의 펌프 용량 증설, 우수지용량 확충, 배수펌프장 연계운영 등의 대책을 검토하였다. 이를 위해서 HEC-HMS에서 10분 간격으로 산정한 홍수수문곡선을 배수펌프장 운영 모의 프로그램에 적용하여 대안별 범람용적과 우수지 저류량 등을 비교하여 합리적인 피해저감방안을 도출하고자 시도하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1. 침수범람 모의

Fig. 2는 침수범람모의 결과 중 침수피해가 발생한 7월 15일 01:00 부터 07:00까지 펌프장 우수지의 시간별 내수

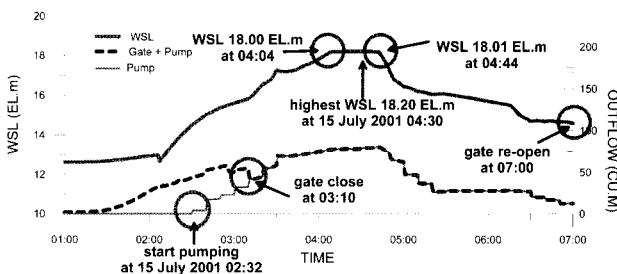


Fig. 2. Flood simulation results for Sutak pumping station watershed.

위와 왕숙천으로 방류된 유량 변화를 나타낸 것이다.

침수범람모의 결과로부터 침수피해가 발생했던 7월 15일 상황을 요약하여 정리하면 Table 2와 같다.

침수범람모의 분석결과 7월 15일 02:28 경에 인창천과 우수지 사이에 있는 격벽 (EL 14.29 m)을 월류하여 우수지로 인창천 물이 넘어 들어오기 시작한 것으로 나타났다. 그리고 펌프는 인창천 물이 격벽을 월류하기 시작한지 4분 후인 02:32에 가동한 것으로 나타났으며, 이때 인창천 물은 EL 14.59 m에 도달하여 우수지 격벽 상단을 0.3 m 정도 월류하고 있는 상태였던 것으로 분석되었다. 수택배수펌프장의 펌프를 가동한 시점이 컴퓨터 기록지에 의하면 02:40으로 나타났으나 조사결과 컴퓨터의 시간 셋팅(time setting)이 8분 빠른 것으로 나타나 실제로 펌프 가동을 시작한 시간은 02:32으로 확인되었다.

수택배수펌프장의 펌프가동은 운영지침에 나타난 펌프가동수위 EL 15.50 m보다 0.91 m 미달된 EL 14.59 m에서 가동을 시작한 것으로 나타나 운영지침보다 조기에 가동을 시작했던 것으로 분석되었다. 당시 펌프 가동을 시작한 수위 EL 14.59 m는 우수지 L.W.L. 14.50 m와 거의 일치하는 수위였던 것으로 나타났다. 배수갑문을 폐쇄한 7월 15일 03:10에 인창천 내수위는 EL 15.82 m였고, 왕숙천 외수위는 EL 15.81 m로서 배수갑문을 통한 자연유하량이 23 m<sup>3</sup>/sec인 상태였던 것으로 나타났다. 이 기간 동안 수택배수펌프장의 펌프도 03:30~05:00까지 최고의 가동상태를 나타내었던 것으로 분석되었다.

7월 15일 04:44 경부터 우수지로 유입되는 홍수량이 펌프 토출능 이하로 감소해감에 따라 수위가 급격하게 하강하기 시작하는 것으로 나타났는데, 04:44의 수위 EL 18.01 m에서 05:00 경에는 수위가 EL 16.44 m로 내려가 불과 16분 만에 수위가 1.57 m나 하강한 것으로 나타났다. 그리고 05:00 경의 수위는 내수배제한계 수위인 EL 16.80 m 이하로서 이때에는 유역에서 인창천으로 자연배수도 가능해진 것으로 판단된다.

침수범람모의 결과 인창천 하류부 수위는 7월 15일

Table 2. Summary of flood simulation results for Sutak pumping station watershed

Time (hr:min)	Water Surface level (EL.m)	Change of water surface level (m)	Simulated situation
01:00	12.62	-	Initiation of storm rainfall at 01:00 July 15th
02:00	12.95	+0.33	Water surface level was 0.55 m lower than bottom of detention reservoir (EL 13.50 m).
02:28	14.35	+1.40	Overflow began between Inchang stream and the wall of detention reservoir.
02:32	14.59	+0.24	Start up of Pumping
02:56	15.51	+0.92	※ Pump operation level: EL 15.5 m
03:00	15.61	+0.10	Water surface level was 1.19 m lower than H.W.L. of EL 16.80 m.
03:10	15.82	+0.21	Closing the sluice gate(※ Wangsuk Stream water level: EL 15.81 m)
03:27	16.88	+1.06	Water surface level was higher than H.W.L. of EL 16.80 m.
03:30	17.27	+0.39	Inundation of low area due to rising water level of Inchang stream
04:04	18.00	+0.73	Increase of inundation area due to rapid rising water level of Inchang stream
04:30	18.20	+0.20	Water surface level reached to maximum level of EL 18.2 m.
05:00	16.44	-1.57	Rapid descending of Inchang stream water level with decreased inflow
06:00	15.70	-0.74	Gradual descending of water level by controled discharge rate
07:00	14.59	-1.11	Opening the sluice gate (※ L.W.L. EL 14.5 m )

04:30 경에 최고 수위 EL 18.2 m에 도달하는 것으로 나타났다. 침수범람모의 결과는 펌프운영일지와 합치하였다. 또한, 제방고가 EL 18.19 m로 상대적으로 낮은 좌안 부분을 통하여 홍수파가 약간씩 월류하였던 것을 감안하면, 당시 인창천 최고 수위는 EL 18.20 m 정도였던 것으로 추정된다. 즉 최고 수위의 오차범위도 0.1 m 이내로 판단되어 비교적 신뢰성 있는 모의가 이루어진 것으로 사료된다.

**3.2. 침수방지대책 수립을 위한 기존 수택 및 인창 배수펌프장 성능 검토**

수택 및 인창배수펌프장은 10년 빈도의 설계호우를 감당할 수 있도록 설계되었다. 한편, 인창배수펌프장 증설을 위한 수문분석에서는 당시 기준으로 기왕 최대 호우사상인 87년 7월 26~27일 사이에 발생한 호우를 대상으로 기존 인창배수펌프장의 능력을 검토한 결과 276 m<sup>3</sup>/분의 토출량이 부족한 것으로 계산되어 138 m<sup>3</sup>/분의 토출능력을 갖는 펌프 2대를 증설하도록 계획하여 시공 완료하였다(구리시, 1999). 본 연구에서는 이 지역 기왕 최대 호우사상인 2001년 7월 14일에서 15일 사이에 발생한 호우를 대상으로 수택 및 인창배수펌프장의 능력을 검토하였다.

수택배수펌프장과 인창배수펌프장의 능력을 검토한 결과 2001년 7월 호우에 대하여 현재의 펌프와 유수지 용량으로는 각각 150,000톤과 100,000톤의 우수가 배제되지 못하고 유수지를 월류하여 유역으로 범람할 것으로 나타났다. 여기에서 펌프장 능력 검토는 펌프의 설계시 토출능력을 기준으로 검토한 것이며, 유수지로 유입되는 우수 전량을 펌프로 강제 배수시킨다는 가정 하에 계산한 것이다.

**3.3. 침수방지 대안 연구**

침수방지를 위한 배수펌프장 운영의 개선안을 제시하고자 수택배수펌프장을 증설하는 방안, 인창배수펌프장을 증설하는 방안 및 수택 및 인창배수펌프장 유역을 연계 운영하는 방안에 대해 비교 연구하였다.

**3.3.1. (방안 1) 수택배수펌프장 증설 방안**

수택배수펌프장은 현재 2,700 m<sup>3</sup>/분의 펌프 토출능력과 하도저류량 23,500 m<sup>3</sup>를 포함해서 총 37,000 m<sup>3</sup>의 유수지 용량을 가지고 있다. 2001년 7월 호우를 대상으로 현재의 유수지 용량 하에서 유입되는 우수를 적절히 배제하기 위한 펌프의 용량을 검토하였다. 검토 결과 Fig. 3에 나타난 바와 같이 총 4,100 m<sup>3</sup>/분의 펌프 토출능력이 요구되는 것으로 나타났으며 이때 유수지 저류량은 최대 32,000 m<sup>3</sup>에 이르는 것으로 나타났다. 즉, 수택배수펌프장으로 유입되는 홍수량을 무리 없이 배제시키기 위해서는 1,400 m<sup>3</sup>/분의 펌프용량이 추가적으로 증설되어야 함을 의미한다. 그러나 이 경우 하도를 제외한 유수지 용량이 13,500 m<sup>3</sup>로서 펌프 토출능력에 비하여 과소한 관계로 유수지 수위의 급격한 변화 등으로 인하여 펌프의 운영에 문제가 발생할 소지가 높을 것으로 사료되며 별도로 펌프를 설치할 공간이 협소하여 기존에 설치된 펌프를 제거하고 새로 펌프를 설치해야 하므로 예산소요가 클 것으로 사료된다. 그리고 인창배수펌프장은 별도의 펌프증설공사가 필요할 것이다.

**3.3.2. (방안 2) 인창배수펌프장 증설 방안**

인창배수펌프장은 현재 756 m<sup>3</sup>/분의 펌프 토출능력과 48,600 m<sup>3</sup>의 유수지 용량을 가지고 있다. 2001년 7월 호우를 대상으로 현재의 유수지 용량 하에서 유입되는 우수를 적절히 배제하기 위한 펌프의 용량을 검토하였다. 검토 결과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 총 1,400 m<sup>3</sup>/분의 펌프 토출능력이 요구되는 것으로 나타났으며, 이때 유수지 저류량은 최대 48,000 m<sup>3</sup>에 이르는 것으로 나타났다. 즉, 수택배수펌프장으로 유입되는 홍수량을 무리 없이 배제시키기 위해서는 644 m<sup>3</sup>/분의 펌프용량이 추가적으로 증설되어야 함을 의미한다.

이 경우 기존에 설치된 토출량 96 m<sup>3</sup>/분의 펌프 5대를 230 m<sup>3</sup>/분의 펌프 5대로 교체하고 최근에 증설한 토출량 138 m<sup>3</sup>/분의 펌프 2대를 계속 활용할 수 있을 것이다. 그러나 수택배수펌프장은 별도의 펌프증설공사가 필요하게 된다.

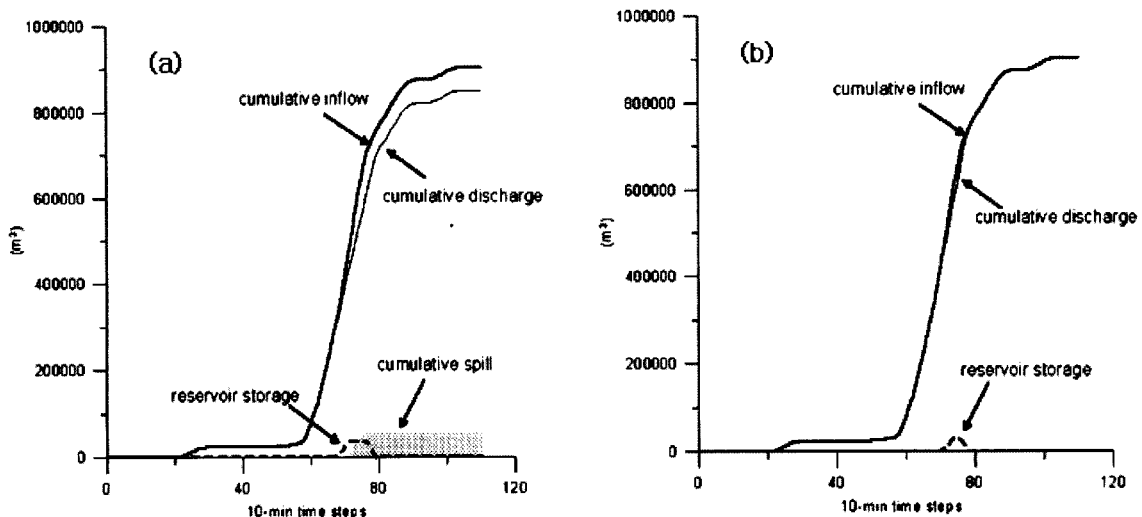


Fig. 3. Capacity increase of Sutak pumping station; (a) 3,400 m<sup>3</sup>/min and (b) 4,100 m<sup>3</sup>/min.

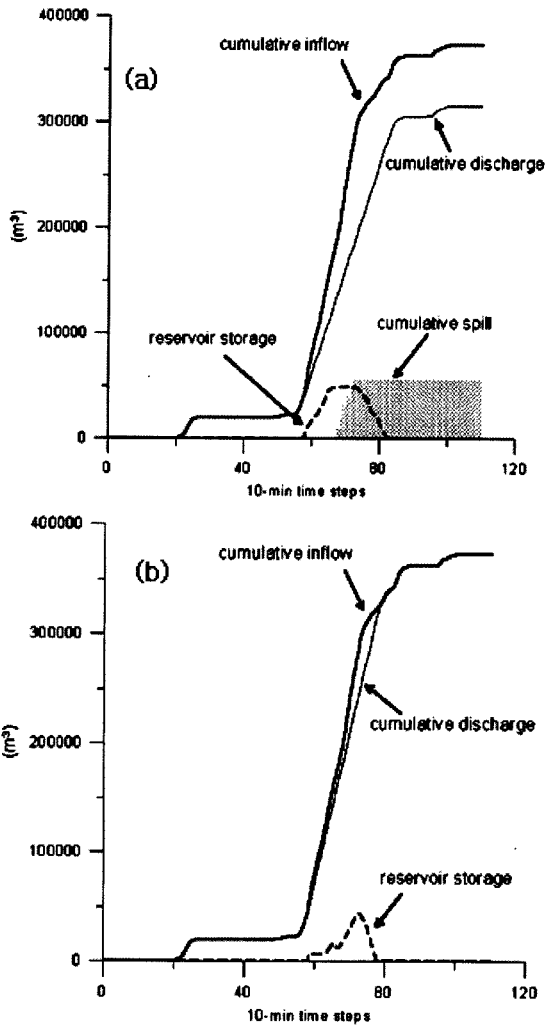


Fig. 4. Capacity increase of Inchang pumping station; (a) 1,000 m<sup>3</sup>/min and (b) 1,400 m<sup>3</sup>/min.

3.3.3. (방안 3) 수택 및 인창배수펌프장 유역 연계 운영 방안

수택배수펌프장과 인창배수펌프장은 직선거리로 630 m 정도 이격되어 있으며 수택배수펌프장으로 유입되는 인창천으로부터 500 m 이내의 관로 공사를 통하여 수택배수펌프장으로 유입되는 홍수량의 일부를 인창배수펌프장으로 유역 전환이 가능할 수 있다. 즉 수택배수펌프장은 유역면적과 펌프의 용량에 비하여 유수지의 용량이 과소하여 펌프의 증설이 사실상 곤란하므로 현재의 펌프와 유수지 용량을 유지하는 것으로 하고 수택배수펌프장의 능력을 초과하여 유입되는 홍수량은 인창배수펌프장으로 유역 전환하는 것에 대해 검토하였다.

2001년 7월 호우를 대상으로 현재의 수택배수펌프장 능력으로 처리 가능한 홍수량을 검토한 결과 Fig. 5에 나타난 바와 같이 2001년 7월 홍수량의 70% 정도까지 안전하게 배제 가능한 것으로 나타났다. 수택배수펌프장으로 유입되는 홍수량의 30%를 인창배수펌프장으로 유역 전환시킬 경우 현재의 펌프와 유수지 용량으로도 유수지의 최대 저류량은 34,000 m<sup>3</sup> 정도로서 3,000 m<sup>3</sup>의 여유가 있을 것으로 나타났다.

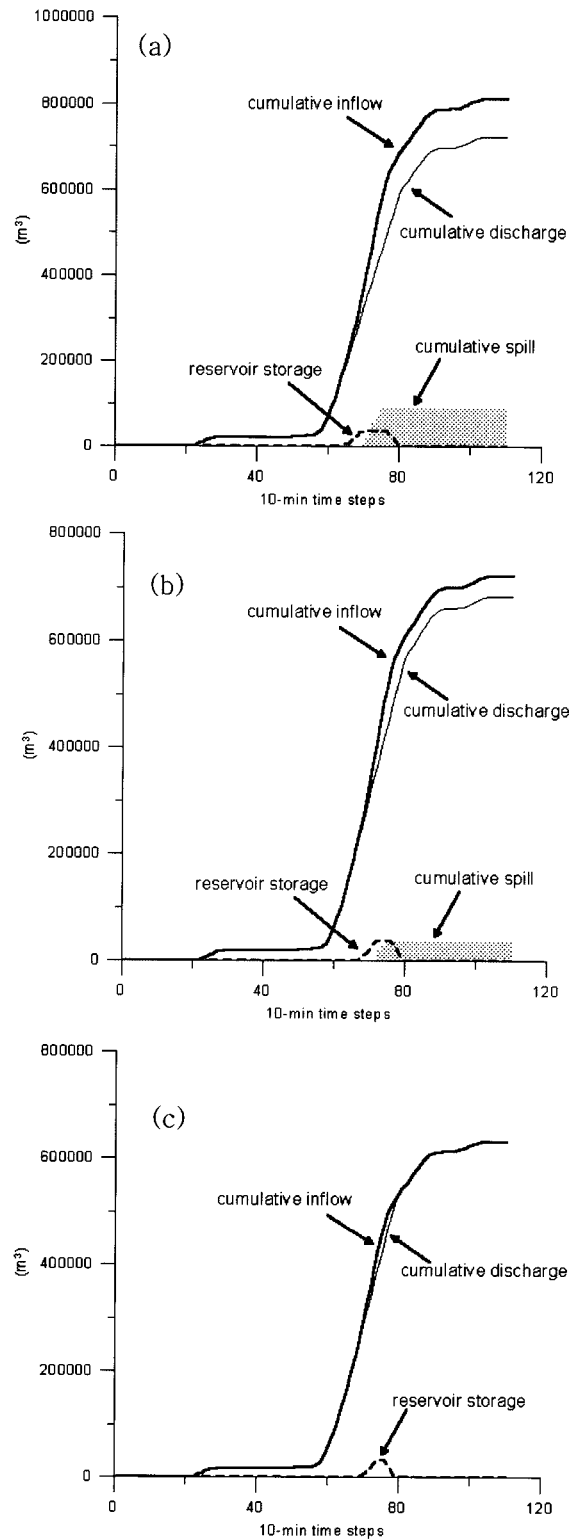


Fig. 5. Sutak pumping station after diversion of 10 to 30% inflow into Inchang pumping station; (a) 10% inflow, (b) 20% inflow and (c) 30% inflow.

Fig. 6은 수택배수펌프장 유역에서 일부 유역 전환된 홍수량과 인창배수펌프장유역 자체에서 발생한 홍수량을 처리하기 위하여 필요한 펌프의 용량을 검토한 결과이다. 유수지 용량은 현재 용량인 48,600 m<sup>3</sup>와 동일한 조건으로 설정하고 필요한 펌프의 증설 용량을 검토하였다. Fig. 6에

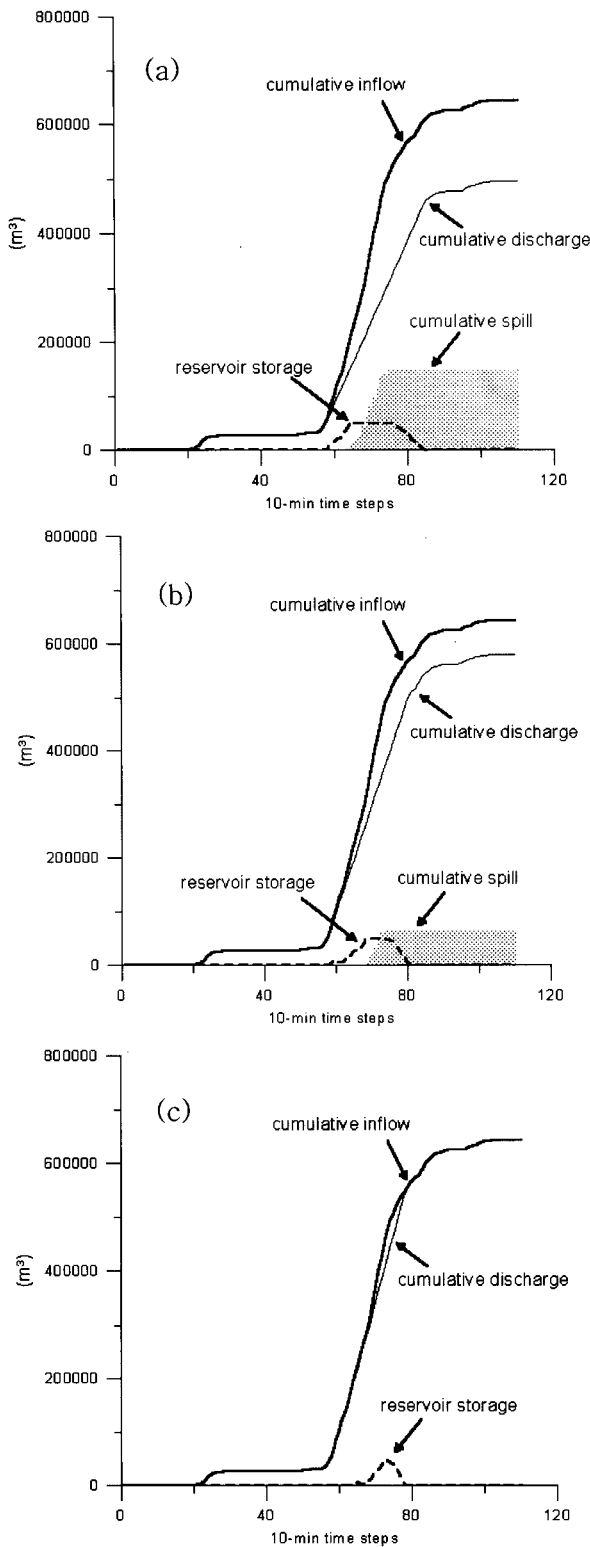


Fig. 6. Inchang station with 30% diverted inflow; (a) 1,500 m<sup>3</sup>/min, (b) 2,000 m<sup>3</sup>/min and (c) 2,500 m<sup>3</sup>/min.

제시된 바와 같이 검토결과 총 2,500 m<sup>3</sup>/분의 펌프 토출능력이 필요한 것으로 나타나 추가적인 펌프 증설 용량은 1,744 m<sup>3</sup>/분으로 분석되었다. 그리고 이때 유수지 최대 저

류량은 현재의 용량인 48,000 m<sup>3</sup> 정도를 유지할 수 있을 것으로 나타났다. 이 방안은 500 m 정도의 유수전환 관로를 신설해야 하는 단점이 있지만 인창배수펌프장 한 곳의 증설 공사로 수택배수펌프장과 인창배수펌프장의 침수문제를 동시에 해결할 수 있는 장점이 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서 얻은 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 2001년 7월 호우사상에 대하여 침수피해가 발생했던 경기도 구리시 수택 배수펌프장 유역을 대상으로 침수범람을 분석하였다. 분석결과 수택배수펌프장과 인창배수펌프장 두 곳 모두 펌프 용량이 크게 부족한 것으로 나타났다.
- 2) 연구 대상지역에 대한 침수방지 방안으로는 수택배수펌프장 증설 방안, 인창배수펌프장 증설 방안, 수택 및 인창배수펌프장 유역 연계 운영 방안의 3개 방안에 대하여 비교분석하여 최적의 방안을 도출하였다. 비교분석결과 도시 배수펌프장의 연계운동을 통하여 보다 효율적인 침수방지 방안을 도출할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- 3) 본 연구에서 검토한 유수지 용량이 부족한 수택배수펌프장의 경우 펌프를 증설하는 것 보다 유수지에 여유가 있는 인창배수펌프장으로 유수전환하고 인창배수펌프장의 펌프용량을 증설시키는 것이 더욱 효과적인 방안이 될 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 향후 유수지 확충의 어려움 등 배수펌프장의 입지적 여건이 여의치 않은 도시유역의 배수개선사업을 검토할 경우에 참고가 될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

구리시, 수택배수펌프장 시설공사 보고서 - 제7장 수택배수 펌프장 실시설계, pp. 93-100 (1991).  
 구리시, 인창펌프장증설공사 보고서 - 제6장 펌프용량 증설 방안, pp. 47-48 (1999).  
 길경익, 한종욱, 김구현, 도시 소유역 배수펌프장 운영개선 방안 연구 (1) - GIS 기반 수문모형에 의한 홍수유출수문 곡선의 재현, *한국물환경학회지*, 21(6), pp. 682-686 (2005).  
 정용태, 이용환, RMA2 모형에 의한 동천하류부에서의 흐름 특성 연구, *환경관리학회지*, 6(3), pp. 305-313 (2000).  
 Brigham Young University, *WMS User's Manual*, pp. (1-1)-(14-6) (1998).  
 US Army Corps of Engineers, *HEC-HMS User's Manual*, Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, pp. (1-1)-(10-7) (1998a).  
 US Army Corps of Engineers, *HEC-RAS User's Manual*, Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, pp. (1-1)-(14-9) (1998b).