

## 도시 내배수시스템 실시간 운영모형의 개발

전환돈 · 이양재\* · 이정호\*\*† · 김종훈\*\*

한밭대학교 토목공학과

\*서울시정개발연구원 디지털도시부

\*\*고려대학교 건축·사회환경공학과

## Development of a Real Time Control Model for Urban Drainage Systems

Jun, Hwandon · Lee, Yang Jae\* · Lee, Jung Ho\*\*† · Kim, Joong Hoon\*\*

Department of Civil Engineering, Hanbat National University

\*Department of Digital City, Seoul Development Institute

\*\*Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

(Received 26 June 2007, Accepted 18 September 2007)

### Abstract

To develop an efficient pump operating rule for a retard basin, it is necessary to estimate inflow to the retard basin accurately which is affected by the backwater effect at the outlet of the conduit. The magnitude of the backwater effect is dependent on the water depth of a retard basin; however, the depth is determined by the amount of inflow and outflow. Thus, a real time simulation system that is able to simulate urban runoff and the pump operation with the consideration of the backwater effect is required to estimate the actual inflow to a retard basin. With this system, the efficient pump operating rule can be developed to diminish the possible flood damage on urban areas. In this study, a realtime simulation system is developed using the SWMM 5.0 DLL and Visual Basic 6.0 equipped with EXCEL to estimate inflow considering the backwater effect. The realtime simulation can be done by updating realtime input data such as minutely observed rainfall and the depth of a retard basin. Using those updated input data, the model estimates actual inflow, the amount of outflow discharged by pumps and gates, the depth of each junction, and flow rate at a sewer pipe on realtime basis. The developed model was applied to the Joonggok retard basin and demonstrated that it can be used to design a sewer system and to estimate actual inflow through the inlet sewer to reduce the inundation risk. As results, we find that the model can contribute to establish better operating practices for the pumps and the flood drainage system.

**keywords** : Backwater effect, Real time control model, Urban drainage system

### 1. 서론

도시 내배수시설은 하수의 적절한 이송을 통한 공공수역의 수질 보전뿐만 아니라 강우의 배제를 통한 유역의 내수 침수를 방지하는 목적을 갖고 있다. 내배수시스템은 일반적으로 시설물과 운영방법으로 구분이 되며, 시설물은 이송을 위한 관거, 하천 수위의 상승으로부터 내수 침수를 방지하기 위한 배수문, 유역의 유출을 일시 저류시키는 유수지, 유수지의 우수를 하천으로 강제 배수시키는 배수펌프장 등으로 구성된다. 또한, 운영방법으로는 배수문의 개폐여부의 결정 방법과 배수펌프장의 운영방법 등이 있다. 특히 유수지 및 배수펌프장의 운영기준의 개략적인 지침은 있으나 실제 운영시 관리자의 경험에 주로 의존하여 운영되고 있는 실정이다. 최근 이러한 배수펌프장 운영상의 문제점을 해결하고자 하는 연구가 많이 이루어지고 있으나 구조적인

문제점을 해결하는데 편중되어 있으며 운영 기법 등의 연구는 부족하다 할 수 있다. 국내외적으로 행해진 대표적인 배수펌프장의 운영기법개발에 관한 연구로 이 등(1992)은 내수침수 방지를 위한 배수펌프 가동 수위의 결정에 관한 연구에서 기존의 배수펌프장의 펌프가동수위에 대하여 연구하였으며, 심 등(1992)은 기존의 배수펌프장의 시설용량으로 적절한 홍수에 대처하기 위한 자기 조정능력을 가진 펌프제어 기법을 개발하였다. 또한, 윤 등(1995)은 SWMM 모형을 이용하여 petri net diagram과 종합지표를 이용하여 펌프의 효율적 조작모형을 개발하였으며 길 등(2005)은 ArcView와 Hec-HMS 모형을 결합하여 홍수유출수문곡선의 재현을 통한 도시소유역 배수펌프장의 운영을 개선하는 방안을 제시하였다. Yagi 등(1999)은 Fuzzy 모형과 GA(Genetic Algorithm) 모형을 결합하여 강우량과 유수지의 수위 자료를 입력 자료로 배수펌프장의 펌프 토출량을 결정하는 연구를 수행하였다. Yuri 등(2002)은 기존의 상수관망에 주로 적용되던 신뢰도에 대한 지표를 내배수시스템에 적용하

† To whom correspondence should be addressed.

jungho\_lee@korea.ac.kr

여 펌프의 고장에 따른 영향을 고려한 신뢰도를 분석하였다. Dubrovin 등(2002)은 Fuzzy 모형을 이용하여 저수지의 실시간 운영에 대한 연구를 진행하였으며 Zacharof 등(2003)은 CSOs(Combined Sewer Overflows) 배출과 관련한 하수관거의 실시간 운영을 위하여 SYNOPSIS 모형을 개발하였다. 또한, Schütze 등(2004)은 현재의 내배수시스템과 하수처리장 및 방류구역까지 고려한 실시간 운영에 관한 연구들을 종합하였으며, Schroeder 등(2005)은 Berlin의 하수관거 시스템을 기반으로 내배수시설의 실시간 운영을 위하여 필요한 사항에 대하여 연구하였다. 기존의 이러한 연구들 중 일부는 기 획득된 강우자료를 통한 유출분석결과를 바탕으로 내배수시스템의 운영 기법을 제시하는 한계점을 나타내고 있으며, 내배수시스템의 효율적인 운영을 위하여 강우-유출의 실시간 모의 및 운영 모형의 필요성이 일관되게 언급되고 있다.

내배수시스템의 운영기법에 대한 연구를 위해서는 강우-유출 해석을 바탕으로 유수지 및 배수펌프장으로 유입되는 실시간 유입수에 대한 수리-수문 분석이 이루어져야 하는데 기존의 도시유출모형들은 기 관측된 강우자료를 바탕으로 결과의 검증 차원에서만 이용되어지는 반면 운영 기법의 마련을 위해서는 실시간으로 관측되는 강우에 대한 실시간의 유출 분석이 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 도시유출모형을 이용하여 내배수시스템의 실시간 유출 분석 및 펌프의 실시간 자동 운영이 가능한 내배수시스템 실시간 운영 모형을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 내배수시스템 실시간 운영모형은 유출 해석을 위하여 2006년 3월에 공개된 SWMM 5.0의 DLL(Dynamic Link Library)과 Excel을 Visual Basic을 이용하여 연계한 후 이를 바탕으로 실시간으로 관측되는 강우자료를 강우관측과 동시에 입력하여 유출 분석이 가능하도록 구성되었다. 또한, 유수지로 유입되는 도구에서의 배수효과(Backwater effect)를 고려하여 주어진 가동 조건하에 펌프의 자동 운영이 가능하도록 구성되었다. 따라서 실시간으로 변화하는 강우에 대하여 내배수시스템의 상황을 실시간으로 모의할 수 있도록 하는 모델을 구성함으로써 보다 정확한 강우-수위-유출 관계의 분석이 가능하며 합리적인 펌프 운영 기준의 마련과 극한 상황에서의 효율적인 운영 제어를 위한 analysis tool로서 제공될 수 있도록 함에 있다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서 개발된 내배수시스템 실시간 운영모형의 핵심을 이루는 SWMM 5.0 DLL의 특성과 이를 Excel과 연계한 운영모형의 구조는 다음과 같다.

### 2.1. SWMM 5.0

1971년 Metcalf and Eddy사에서 개발된 SWMM 모형은 kinematic wave equation과 Dynamic equation 등의 다양한 수리해석 모듈을 포함하고 유역의 유출 해석 및 하수관거 내의 흐름에 대한 홍수추적 등이 가능하다. 또한 수공구조

물에 의한 월류, 배수, 압력류 등에 대한 계산이 가능하며 최근 USEPA에서는 window시스템을 기반으로 한 SWMM 5.0과 함께 이것의 Engine이라고 할 수 있는 DLL 및 GUI(Graphical User Interface) 파일을 함께 제공하여 다른 프로그램 개발도구와의 연계가 가능하다. 특히, SWMM 모형은 St. Venant Equation을 통한 관로내 흐름추적을 통하여 배수효과를 고려할 수 있으므로 유수지 수위에 따른 유입량의 변화를 모의할 수 있다.

Node(맨홀)와 link(관로)들로 구성된 배수시스템의 흐름추적에 있어서의 기본 방정식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V\frac{\partial A}{\partial t} - V^2\frac{\partial A}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

흐름추적의 기본방정식인 식 (1)은 node에서의 연속방정식을 나타내는 식 (2)를 link에서의 운동량 방정식인 식 (3)을 이용함으로써 유도된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (3)$$

다음의 Fig. 1은 프로그램 개발도구와 SWMM 5.0 DLL의 관계를 나타낸다. 본 연구에서는 프로그램 개발도구로서 visual basic을 사용하였고, 입력파일을 제공하여 SWMM 5.0 DLL을 통하여 생성된 결과파일에서 유출수문곡선을 추출하는 형태로 구성하였다.

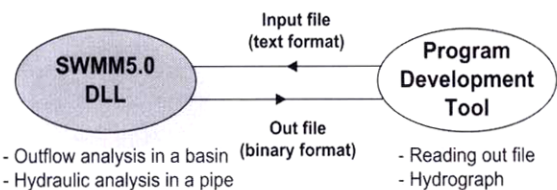


Fig. 1. Connection of SWMM 5.0 DLL and program development tool.

### 2.2. 실시간 운영모형의 구성

내배수시스템 실시간 운영모형은 강우의 변화에 따른 유역내 유출량을 모의하고 유수지의 수위를 실시간으로 갱신하여 유수지의 수위에 따라 발생하는 배수효과에 의해 실시간으로 변화하는 유입량을 모의하여 펌프를 운영하는 모형이다. 기존의 운영모형이 기 산정된 유출수문곡선을 바탕으로 개발된 것과 달리 본 모형은 SWMM 5.0 DLL을 이용하여 실시간으로 변화하는 강우 및 유수지의 수위를 시점별로 갱신하여 유출량 및 내배수시스템의 실시간 상황 변화를 모의할 수 있다.

#### 2.2.1. 배수효과의 고려

유수지를 포함한 배수펌프장의 일반적인 구조는 다음의

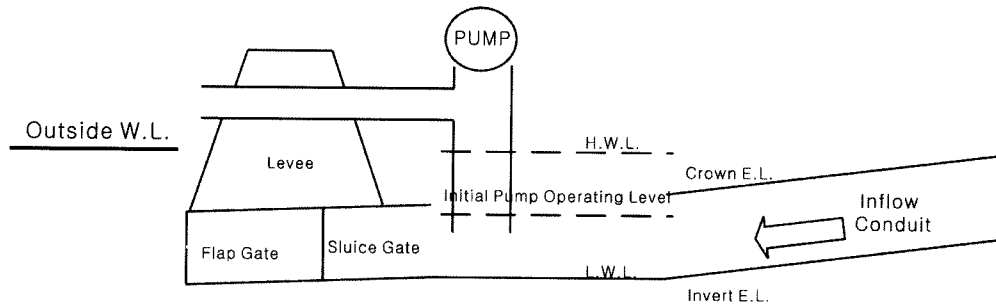


Fig. 2. Structure of a drainage pump station.

Fig. 2와 같다.

일반적으로 집수정의 수위가 낮더라도 우수지 유입 관거의 관 하단고(Invert elevation)는 우수지의 관 하단고와 일치하고 유입관거의 관 상단고는 우수지의 high water elevation보다 낮은 구조를 갖는다. 우수지의 수위가 상승하는 경우에 유입관거 말단에 배수효과에 의하여 관거 내에 만관의 흐름이 발생하게 되며 이로 인하여 우수지 유입량의 감소 및 상류단의 내수침수 발생 위험의 증가로 이어진다. 따라서 내배수시스템의 운영에서는 하류부의 수위에 대한 고려가 필수적이며, 이것을 고려하여 유출량을 산정해야 하고 하류부의 수위는 우수지의 수문 개폐여부 및 펌프의 운영에 따라 실시간으로 달라지므로 이에 대하여 실시간 고려가 필요하다.

다음의 Fig. 3은 배수효과를 고려한 경우의 유입수문곡선의 변화를 나타낸다. 그림을 설명하면  $t=1$ 인 경우, 강우시작시점( $t=0$ )부터 현재( $t=1$ )까지 내린 강우량은  $R1$ 이다. 이 강우사상에 대한 우수지 유입수문곡선은 hydrograph 1의 실선과 같은 형상을 갖는다고 할 수 있다. 또한 현재의 우수지 유입유량은 total hydrograph의  $t=1$ 에 해당하는 유량으로 유입된다.  $t=2$ 인 경우, 강우시작시점부터 현재까지 내린 강우량은  $t=1$ 까지의 강우량  $R1$ 과,  $t=1$ 부터  $t=2$ 인 시점까지 내린 강우량  $R2$ 의 합이 된다. 이때( $t=2$ )의 우수지 유입유량은 강우량  $R1$ 에 의한 우수지 유입수문곡선인 hydrograph 1의  $t=2$ 에서의 실선으로 표시되는 유입유량과 강우량  $R2$ 에 의한 우수지 유입수문곡선인 hydrograph 2의  $t=2$ 에서의 유입유량의 합이 된다.  $t=3$ 인 경우, 강우량은 강우시작시점부터 현재( $t=3$ )까지 내린 강우량은  $R1, R2, R3$ 의 합이 된다. 이때( $t=3$ )의 우수지 유입량은 각각의 강우사상에 따라 발생하는 유입수문곡선의 합인 total hydrograph의 실선으로 표시된 유입수문곡선의  $t=3$ 의 유입량이 된다. 그러나 만약  $t=2$ 를 지난 직후부터 우수지 수위가 증가하여 배수효과가 발생하였다면  $t=2$ 를 지난 직후부터  $t=3$ 의 시간까지는 점선으로 표시된 유량으로 유입될 것이다. 이것은 배수효과를 고려하지 않은 경우에 비해 유입유량 및 누가 유입량은 감소하고 침수지역이 증가될 가능성이 커지며 만관 발생 관거의 발생시간과 개수는 증가하게 된다.  $t=4$ 인 경우, 배수효과가  $t=4$ 인 시점까지 영향을 미쳤다면,  $t=4$ 에서의 우수지 유입량은 배수효과를 고려하지 않은 경우와 같다고 하더라도 배수효과를 고려하지 않은 경우에 비해 누가 유입량은 감소하게 된다.  $t=5$ 인 경우,  $t=4$ 를 지난 직후부터 배수효과

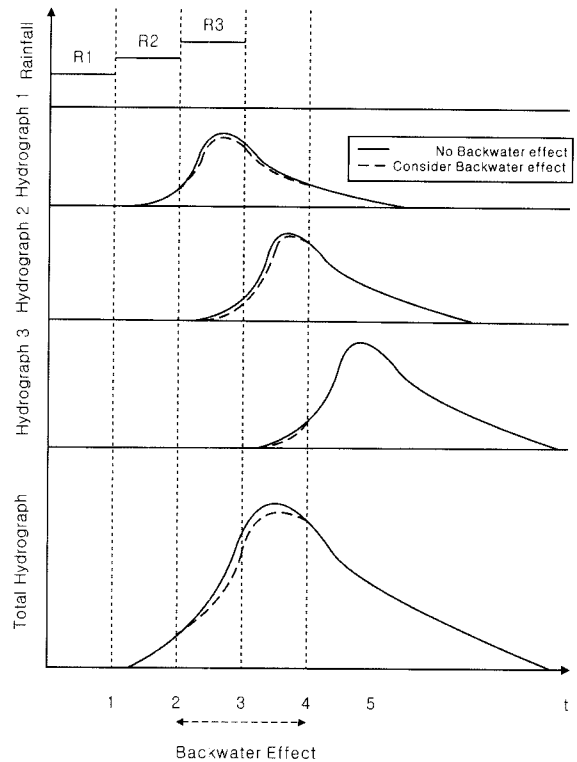


Fig. 3. Variation of a hydrograph considering backwater effect.

의 영향이 없어졌다고 하면, 우수지 유입수문곡선은 total hydrograph의 실선과 같은 형태로 유입된다.

현재의 유입량은 우수지 수위에 따라 변하게 되며 우수지 수위는 자연 배수조건과 펌프가동조건에 따라 실시간으로 변하게 되므로 우수지의 유입유량 역시 실시간으로 배수효과에 유무에 따라 변하게 된다. 따라서 우수지 수위를 실시간으로 갱신하여 모의하면 실시간으로 변하는 우수지의 유입수문곡선을 모의할 수 있다. 또한 이렇게 모의된 유입수문곡선은 강우 발생 시 우수지로 유입되는 유량을 현실에 가장 부합되도록 산정할 수 있게 해준다.

### 2.2.2. 모형의 구성 및 체계

본 연구에서 개발된 실시간 운영모형은 프로그램 개발도구인 visual basic을 통하여 excel과 SWMM 5.0 DLL을 연계하여 지속적으로 변하는 우수지 수위를 바탕으로 유입유량을 산정하여 내배수시스템의 운영을 모의하도록 하였다. 각 구성요소별 역할과 구성요소들간의 관계는 다음의 Fig. 4와 같다. 또한, SWMM 5.0 Engine으로는 SWMM 5.0

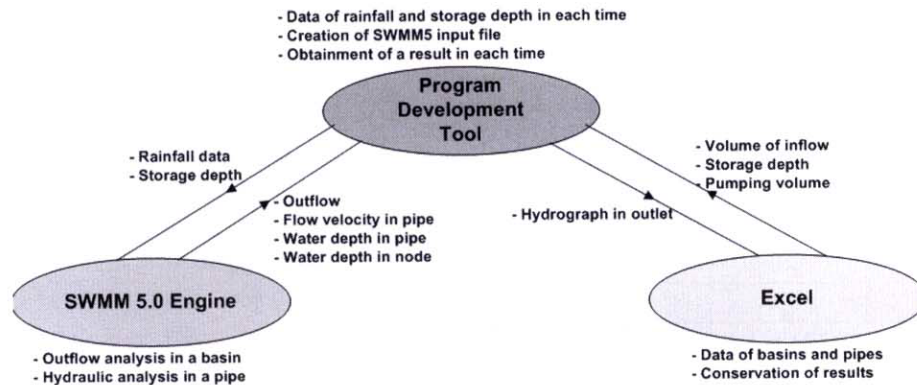


Fig. 4. Structure of a developed model.

DLL을 사용하였고, 대부분의 배수펌프장의 운영시스템은 Microsoft사의 Window를 기반으로 운영되고 있고 배수효과에 대한 모의가 가능하기 때문에 SWMM 5.0 DLL을 선택하였다. 따라서 본 연구에서 개발된 운영모형은 excel을 통한 소유역 및 관거, 절점 등의 제원을 제공받아 개발도구를 통하여 시간에 따르는 강우량 및 수위자료를 갱신하여 SWMM 5.0 DLL을 실행하여 필요한 결과를 추출하여 다시 프로그램 개발도구를 통하여 excel로 결과를 보여주는 구조로 구성되어 있다.

본 모형에서는 시간별 강우자료가 입력되어 유수지 유입량 및 유수지 수위를 모의하며 배수효과를 고려하여 유수지 수위에 따른 유입량의 모의 과정을 반복한다. 따라서 본 모형에서는 임의시간(t=n)의 수위를 기준으로 1단계 진행된 시간(t=n+1)에서의 유입량 및 관거, 절점의 흐름 상태를 모의하며 현행 배수펌프장의 강우량 및 유수지 수위가 분단위로 측정되기 때문에 이들 자료를 이용하여 분단위의 모의가 이루어질 수 있도록 하였다. 임의시간(t=n)에서의 유수지 유입량은 현재(t=n) 유수지의 수위와 현재까지(t=0~n)까지 내린 기존의 강우량에 따라 그 값이 변하게 되며 배수위가 고려될 경우 t=n+1에서의 유입량은 t=n에서의 유수지 수위에 따라 변하게 된다. 즉, 임의시간(t=n)에서의 계산 결과는 전시간대(t=n-1)에서 모의된 결과를 통하여 유도되며 다음시간대(t=n+1)의 모의를 위한 기초자료로 제공된다.

다음의 Table 1은 임의시간(t=n)에서의 입력력 구성요소를 나타내며, Fig. 5는 이때의 유수지 유입수문곡선을 개략적으로 보여준다.

Table 1에 보여지는 바와 같이 시간에 따른 강우량인 현재(t=n)까지의 강우량 및 유수지 수위 Dn을 입력자료로 하여 SWMM 5.0 DLL을 통한 모의를 바탕으로 전시간구간에서의 유입수문곡선과 관거별 유량 및 유속 등의 결과, 절점에서의 수위 및 홍수량 등의 결과를 도출한다. 또한,

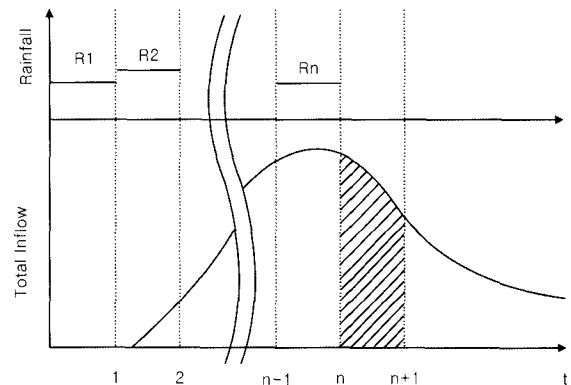


Fig. 5. Hydrograph at t=n.

산정된 유입수문곡선으로부터 누가유입량, 유수지 저류량, 펌프토출량 및 자연 배수량 등이 계산되도록 본 모형은 구성되어있다.

t=n+1의 유수지 수위는 t=n의 수위를 고려한 유입수문곡선에서 t=n~n+1의 유입수문곡선의 누가 유입량에 대하여 다음의 식 (4)~(7)을 통하여 산정된다.

$$\begin{aligned} \text{누가 유입량}_{(t=n+1)} &= \text{누가 유입량}_{(t=n)} + \text{유입수문곡선 면적} \\ &= \text{Cum. Inflow}_{(t=n)} + \int_n^{n+1} \text{Total inflow } dt \\ &= \text{Cum. Inflow}_{(t=n+1)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{저류량}_{(t=n+1)} &= \text{저류량}_{(t=n)} + \text{저류량 증가량} \\ &= \text{Volume}_{(t=n)} + \Delta(\text{Volume}) \\ &= \text{Volume}_{(t=n+1)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{저류량 증가량} &= \text{유입량} - \text{자연배수량} - \text{펌프토출량} \\ &= \int_n^{n+1} \text{Total inflow } dt \\ &\quad - \int_n^{n+1} \text{Grav. flow } dt - \int_n^{n+1} \text{Pumped flow } dt \\ &= \Delta(\text{Volume}) \end{aligned} \quad (6)$$

Table 1. Factors of input, output, computation in a developed model (t=n)

Input	Output of SWMM	Computation data
Rainfall (Rn) (t=0~n) Storage depth (Dn)	Hydrograph Output of each link Output of each node	Cumulative inflow (t=1~n+1) Storage (t=n+1) Pumpage (t=n+1) Amount at freefall (t=n+1)

$$\begin{aligned}
 \text{유수지 수위}_{(t=n+1)} &= f(\text{유수지 저류량}_{(t=n+1)}) \\
 &= f(\text{Volume}_{(t=n+1)}) \\
 &= D_{(n+1)}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

다음의 Fig. 6은 본 연구에서 visual basic을 이용하여 개발된 실시간 운영모형에 대한 구성을 나타낸다.

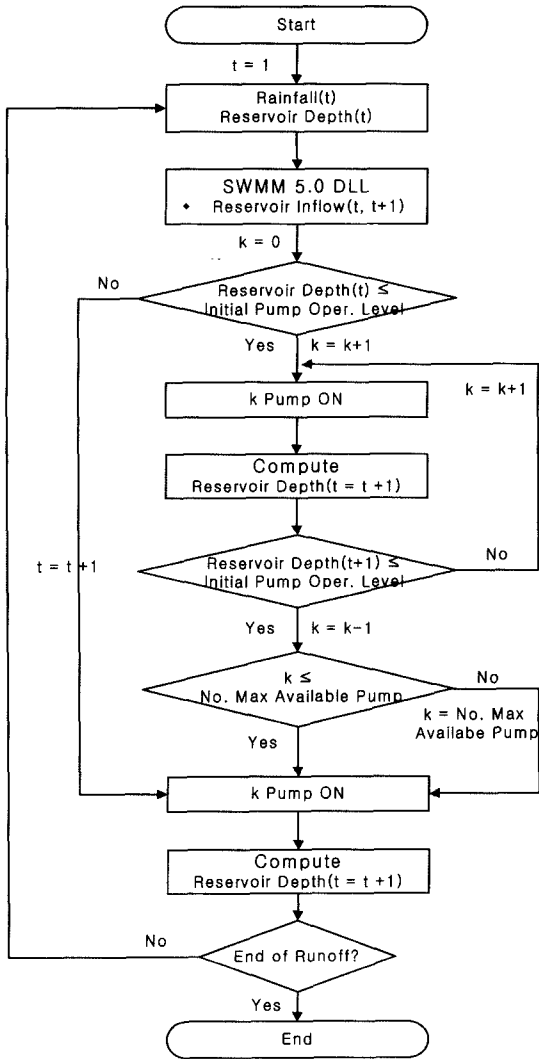


Fig. 6. Flowchart of developed model.

### 2.2.3. 펌프 운영조건(Pump Operation Rule)

배수펌프장의 운영은 배수문의 개폐를 통한 자연배수량의 조절과 배수펌프장의 펌프 운영 조건에 따르는 펌프의 운영을 통해 이루어진다. 외수위가 유수지 내수위보다 낮은 경우는 자연배수방식을, 외수위가 유수지 내수위보다 높은 경우는 배수펌프를 이용한 강제배제 방식을 선택한다. 일반적으로 대부분의 유수지는 배수펌프장과 함께 설치되어 있으며, 배수펌프의 가동을 통해 유수지의 수위를 조절한다. 특히, 자연배수방식은 외수위의 조건에 영향을 받기 때문에 대부분의 배수펌프장은 펌프를 통한 강제배제 방식이 유수지의 수위를 조절하는 역할을 한다. 기존의 배수펌프장의 운영은 유수지의 기준 수위에 따라서 운영되도록 설정되어 있으며 상황에 따라서 운영자의 정성적인 경험에 의하여

운영되기도 한다. 따라서 보다 실제적인 배수펌프장의 정량적 운영을 위해서는 배수펌프장의 운영조건을 고려한 실시간 운영 모형을 통한 분석이 필요하다.

다음의 Fig. 7은 현행 배수펌프장의 운영 조건을 나타낸다. 여기서, “Initial Pump Operating Level”은 첫번째 펌프를 가동할 시점의 수위이며 이 수위보다 유수지의 수위가 낮은 경우 펌프의 운영은 없다. “2nd Pump Operating Level”은 첫번째 펌프가 가동되고 있는 상황에서 이 수위를 넘을 경우 두번째 펌프를 가동하게 하는 수위이다. 즉 이 수위보다 유수지 수위가 높은 경우 두개의 펌프가 가동된다. 나머지 “Pump Operating Level”은 같은 원리가 적용되어 세번째, 네번째 등과 같이 함께 가동되는 펌프의 갯수와 이를 결정하는 수위기준을 의미한다.

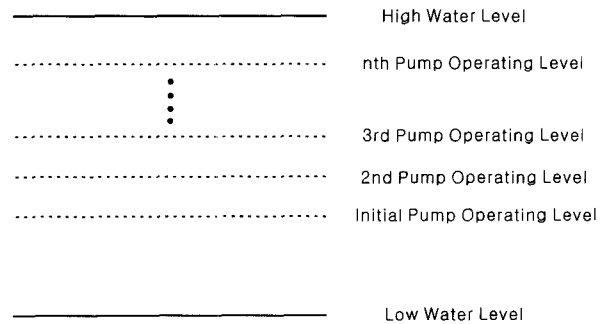


Fig. 7. Pump operation rule controlled according to storage depth.

본 연구에서는 개발된 내배수시스템 실시간 운영모형의 적용 및 검증을 위하여 유수지 수위를 기준으로 펌프를 가동하는 현행 배수펌프장의 운영조건을 적용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 실시간으로 변화하는 강우에 대하여 유수지 및 배수펌프장에서의 강우-수위-유출 관계를 배수효과를 고려하여 실시간으로 모의하고 펌프 운영 조건에 따른 자동 운영을 모의하였다.

### 3.1. 대상구역 현황 및 적용 강우

본 연구에서 적용된 구역은 서울시 광진구에 위치한 중곡 배수펌프장 유역으로서 4개의 유입 관저와 8개의 펌프, 1개의 유수지로 구성되어 있다.

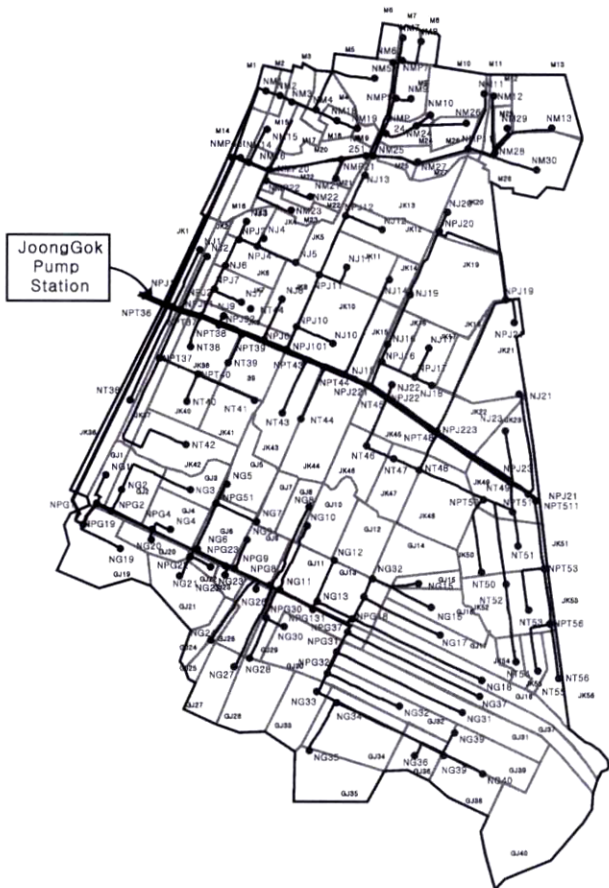
대상구역에 대한 다양한 강우조건을 적용을 위하여 재현 기간 5년, 10년 및 20년에 대하여 강우지속기간 60분, 120분 및 180분을 각각 적용하여 강우의 분포형태는 huff 1, 2, 3, 4분위를 적용하였다. 또한, 본 모형에 적용된 강우는 발생빈도에 따르는 확률강우량을 사용하였으나 현재의 시점을 기준으로 현재까지의 강우만을 알고 있다고 가정하여 현재까지의 강우와 이에 따르는 수위기록만을 입력하여 시간별로 유수지 상황에 맞는 유입량을 모의하였다.

확률강우량은 1960년부터 2004년까지의 44개년 강우자료에 대한 분석을 통하여 산정되었으며 다음의 Table 2는 재

**Table 2.** Probability rainfalls estimated in durations of each frequency

Duration \ Frequency	5 years	10 years	20 years
60 min.	63.17 mm	75.28 mm	86.87 mm
120 min.	95.04 mm	114.42 mm	133.16 mm
180 min.	108.00 mm	127.14 mm	145.53 mm

현기간별 지속기간에 따른 확률강우량 산정 결과를 나타낸다. 다음의 Fig. 8은 중곡 배수펌프장 지역의 관망 모식도를 나타내며 Table 3은 펌프장 시설개요를 나타낸다.



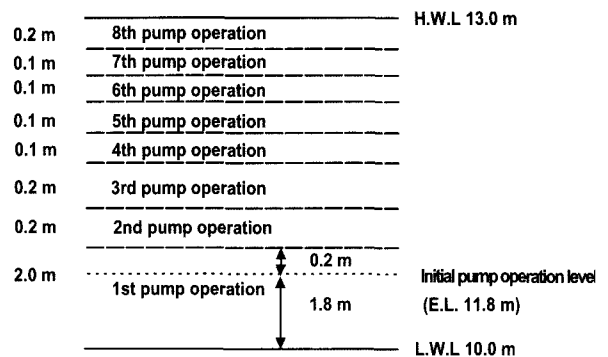
**Fig. 8.** Sewer system of study area.

**Table 3.** Overview about facilities of JoongGok pump station

Basin area	200.4 ha	
Reservoir	Control depth	H.W.L = 13.00 m L.W.L = 10.00 m
	Area	2,037 m <sup>2</sup>
	Storage	7,175 m <sup>3</sup>
Pump	Total capacity	2,330 m <sup>3</sup> /min(total)
	Capacity of each pump	D1200×202 m <sup>3</sup> /min×400 HP×5 D1650×440 m <sup>3</sup> /min×850 HP×3
Pipe	Inflow pipe	1.2 m×1.2 m×1, 2.0 m×2.0 m×2
	Outflow pipe	1.3 m×3.0 m×2

**3.2. 펌프 운영조건(Pump Operation Rule)**

본 연구에서 배수펌프장의 실시간 운영조건은 우수지의 수위에 따라서 펌프가 가동되도록 설정하였다. 초기 가동수위는 펌프 운전의 공동현상 방지 측면과 침사량 등을 고려하여 설정되어 있고 초기 가동수위 이상은 실무자의 경험에 의해 운영되도록 설정되어 있다. 중곡 배수펌프장의 초기 가동수위는 11.8 m이고 유효수심은 1.2 m로 펌프의 가동은 유효수심을 7개의 구간으로 나누어 순차적으로 이루어진다. 다음의 Fig. 9는 우수지의 수위에 따른 중곡 배수펌프장의 펌프운영조건으로 본 모형의 펌프운영 조건(Oper. rule)은 자동운영조건에 맞추어 우수지의 수위에 따라 운영 및 모의되도록 구성되었다.



**Fig. 9.** Pimp operation rule in JoongGok pump station.

**3.3. 적용 결과**

본 연구에서 개발된 운영모형을 적용한 결과 시간대별로 분포시킨 확률강우량을 시간대별로 모의하여 배수효과의 영향을 고려한 우수지 유입수문곡선을 획득하였으며, 시간별로 변화하는 우수지 수위에 따라 자동운영된 펌프의 가동 현황을 도출하였다. 강우의 재현기간, 지속기간 및 분포형태를 달리하여 모의한 결과 배수효과의 영향이 가장 잘 나타난 강우사상은 10년빈도 120분 지속기간을 갖는 huff 4분위의 확률강우량이었다. 이러한 결과가 도출된 이유는 하수관거의 설계빈도가 5년에서 10년(환경부, 2004)이기 때문으로 생각된다. 즉, 설계빈도가 5년인 경우 기본적으로 하수관거가 발생하는 유출량을 충분히 배제할 수 있기 때문에 상류지점에서 맨홀에서의 월류에 따른 침수가 발생하지 않고 20년인 경우 발생하는 유출량이 하수관거의 설계빈도를 넘어서기 때문에 빗물펌프장의 운영과 상관없이 맨홀에서의 월류에 따른 침수가 발생하기 때문이다. 내배수시스템의 실시간 운영에 따른 효과가 가장 큰 경우는 적절한 운영에 따라 침수 가능성을 줄여줄 수 있는 경우이다. 10년 빈도의 확률강우량은 하수관거의 설계시 사용된 확률강우량이기 때문에 배수에 의한 고려가 없이 설계된 경우 배수효과에 의해서 침수량과 침수지점이 더 많이 나타났다고 판단된다. Table 4에서 보여지는 것과 같이 기존의 유출모형에서는 빗물펌프장 유입구를 Freefall로 가정하여 설계한다. 이렇게 가정할 경우 우수지내의 배수효과를 고려하지 않고 빗물펌프장 유입구에서 배제하는 유출량을 산정하고

이를 바탕으로 상류지점의 침수발생여부를 모의하게 된다. 이에 따라 배수효과에 의해서 배제가능한 유출량보다 더 많은 유출량이 배제되는 것으로 모의하기 때문에 상류지점의 침수량이 배수효과를 고려한 침수량에 비하여 약 1/5 정도 밖에 안되는 것으로 산정된 것이다.

본 모형을 이용하여 배수효과를 고려하여 우수지 수위에 따른 운영조건(Pump oper. rule)을 적용한 결과 자연배수조건하의 결과보다 우수지 유입구에서의 침두유량은 감소하고 침수지역 및 침수량은 증가되는 결과를 나타냈다. 이러

한 결과는 다음의 Fig. 10의 유입수문곡선 모의 과정에서 나타나며 시간별 모의 결과 중 펌프가 가동된 주요 시간대만 수록하였다.

모의 결과 우수지 유입량에 따른 수위 증가가 유입 관거의 하단고 이상 상승하기 시작하는 60분 이후 배수효과가 발생하기 시작하였으며 자연배수조건하의 결과와 비교하였을 때 침두유량은 약 4.65% 감소하였으며 유역 내 침수량은 약 377% 증가하였다.

Table 4에서 자연배수조건(Freefall)과 배수효과를 고려한

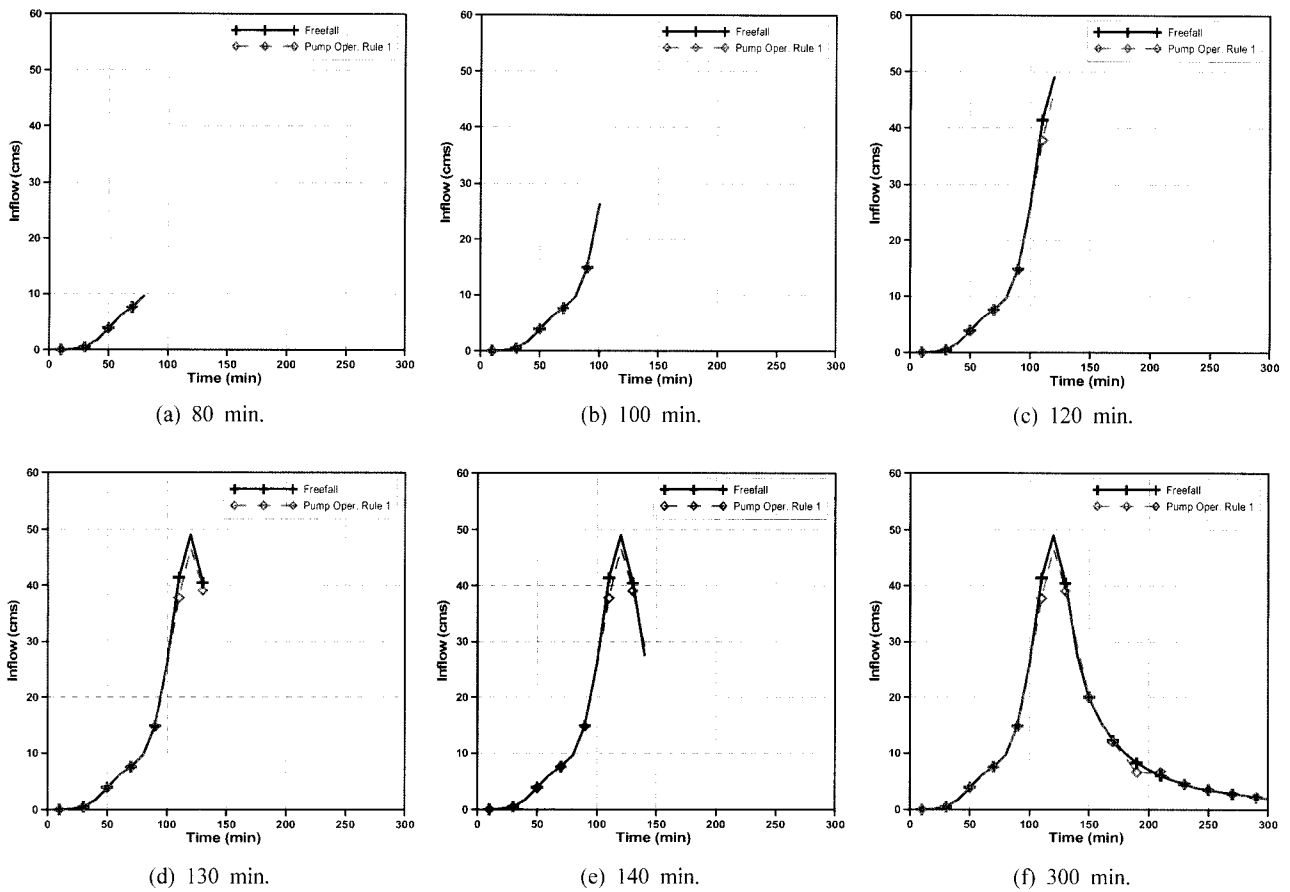


Fig. 10. Inflow hydrograph in reservoir at each time.

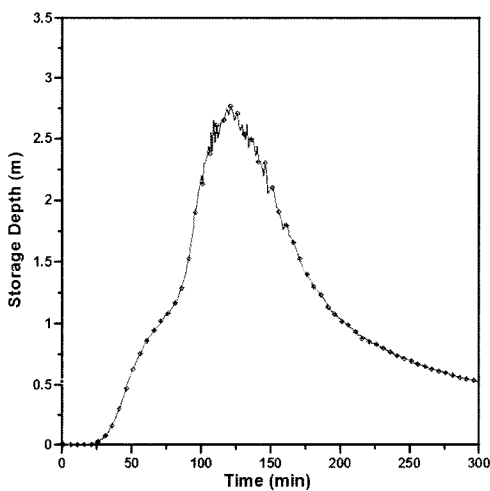


Fig. 11. Storage depth.

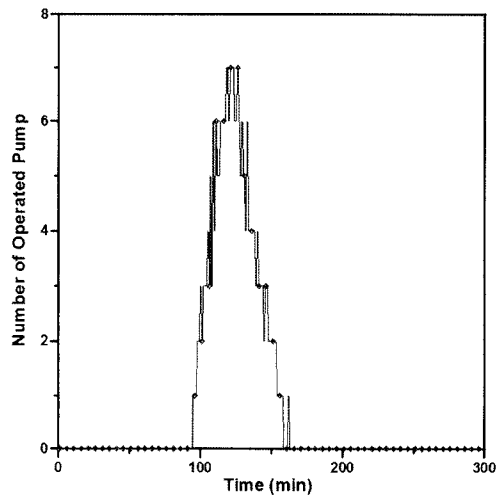


Fig. 12. Pump operation report.

유수지 운영조건(Oper. rule)에 따른 모의 결과를 비교하고 있으며, Fig. 11 및 Fig. 12는 본 모형에 의하여 모의된 유수지 수위곡선 및 시간별 펌프가동 기록을 나타낸다. Fig. 11은 모의시간 간격별 유수지의 수위를 도시한 것이고 Fig. 12는 모의시간 간격별 펌프의 동시운영대수를 나타내고 있다. 즉 최대 유출이 발생한 경우 유수지의 수위는 최대 2.75 m 까지 상승하고 이때 펌프는 총 7대가 동시에 가동되어 홍수량을 배수하게 된다.

**Table 4.** Peak inflow and amount of inundation according to freefall and Oper.rule

Division	Peak inflow	Amount of inundation
Freefall	49.03 cms	32.47 ha-mm
Oper. rule	46.75 cms	154.89 ha-mm
Amount of variation	2.28 cms	122.42 ha-mm
Rate of variation	4.65%	377.02%

다음의 Table 5는 배수효과를 고려한 내배수시스템 실시간 운영모형에 의한 펌프의 모의 운영 결과를 나타낸다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 SWMM 5.0 DLL을 이용하여 visual basic과 연계한 실시간 운영모형을 개발하였으며, 본 모형은 시시각각 변하는 유수지의 수위에 따른 배수효과의 영향을 고려하기 위하여 실시간으로 변하는 유수지의 상황을 갱신하여 시간별로 유수지로 유입되는 유입량을 산정하며 펌프 운영조건에 따라서 자동 제어가 가능하도록 구성되었다. 이는 기존의 빗물펌프장의 설계나 운영 또는 관거의 설계시 유수지 유입관거에서 배제할 수 있는 유량이 유수지의 수위에 영향을 받는 것을 고려하지 않은 점을 개선할 수 있는 방안이 될 수 있다. 또한, 개발된 모형을 실제 유역 및 배수펌프장에 적용한 결과 내배수시스템의 상황을 종합적으로 판단할 수 있는 정량화된 자료들의 실시간 획득이 가능하였다. 따라서 본 연구에서 개발된 내배수시스템 실시간 운영모형은 실제 현장 상황에서 운영자에게 합리적인 판단 근거를 제시할 수 있으며 합리적이고 안정적인 펌프 운영을 위한 기초자료를 제공할 수 있다.

본 연구에서 개발된 실시간 운영모형의 가장 큰 특징은 실시간으로 변화하는 현장 상황에서 합리적 운영을 위한 analysis tool로서 활용될 수 있다는 것이며, 본 모형을 이용함으로써 보다 효율적인 펌프 운영기준(Pump operation rule)을 마련할 수 있다. 따라서 추후 연구 과제로는 본 모

형을 이용하여 실시간으로 변화하는 강우-수위-유출 상황에서 내수침수를 최대한 방재할 수 있는 펌프 운영기준 마련이 가능할 것이다.

#### 사 사

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03 산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

#### 참고문헌

길경익, 한종욱, 김구현, 도시 소유역 배수펌프장 운영개선 방안 연구(1)-GIS 기반 수문모형에 의한 홍수유출수문곡선의 재현, *한국물환경학회지*, **21**(6), pp. 682-686 (2005).

심재현, 조원철, 이원환, 자기 조정력을 가진 퍼지제어기법에 의한 우수배제펌프의 적응제어, *한국수자원학회 수공학연구발표회논문집*, pp. 291-299 (1992).

윤세의, 이종태, 유수지 배수펌프 운영조작 모형의 개발, *한국수자원학회지*, **28**(6), pp. 203-215 (1995).

이원환, 조원철, 심재현, 퍼지제어기법을 사용한 우수배제 펌프의 조작기법 개발, *대한토목학회 논문집*, **12**(3), pp. 107-114 (1992).

환경부, 하수도 시설기준 (2004).

Dubrovin, T., Jolma, A. and Turunen, E., Fuzzy Model for Real-Time Reservoir Operation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, **299**(4), pp. 300-311 (2002).

Schroeder, K. and Pawlowsky, E., Current state and development of the real-time control of th Berlin sewage system, *Water Science and Technology*, **52**(12), pp. 181-187 (2005).

Schütze, M., Alberto, C., Hubert, C., Wolfgang, S. and Vanrolleghem, P. A., Real Time Control of Urban Wastewater Systems-Where do we stand today?, *Journal of Hydrology*, **299**(3), pp. 335-348 (2004).

Yagi, S. and Shiba, S., Application of genetic algorithms and fuzzy control to a combined sewer pumping station, *Water Science and Technology*, **39**(9), pp. 217-224 (1999).

Yuri, A. E., Leonid, I. Z. and Takamitsu, K., Hydraulic reliability index for sewage pumping station, *Journal of Urban Water*, **4**(3), pp. 301-306 (2002).

Zacharof, A. I., Schütze, M. and Butler, D., A methodology for assessing the operational potential of the urban wastewater system using integrated modelling, *Water Science and Technology : Water Supply*, **3**(1), pp. 271-277 (2003).

**Table 5.** Results of real-time operation

Number of node	Inundation		Number of pump operation	Insufficient carrying capacity	
	Amount of inundation	Duration of inundation		Number of pipe	Duration
113	154.89 ha-mm	50 min.	27	49	900 min.