

위험도를 고려한 최소비용 도시우수관망 설계의 최적화 모형개발 (I): 모형의 개발과 시험유역의 적용

Development of Optimal Design Simulation Model for Least Cost Urban Sewer System Considering Risk (I)

장석환* / 박상우**

Jang, Suk Hwan / Park, Sang Woo

Abstract

This study purpose to develop simulation model of optimal design condition of urban storm sewer system considering risk. Urban Storm Sewer Optimal Design Model(USSOD) can compute pipe capacity, pipe slope, crown elevation, excavation depth, risk and return cost in the condition of design discharge. Rational formula is adopted for design discharge and Manning's formula is used for pipe capacity.

Discrete differential dynamic programming(DDDP) technique which is a kind of dynamic programming(DP) is used for optimization and first order second moment approximation method and uncertainty analysis is also for developing model. USSOD is applied to hypothetical drainage basin to test and verify, which resulted economical and efficient design in urban drainage sewer system.

keywords : urban sewer system, optimization, dynamic programming, return cost

요지

본 연구는 도시 우수관망 설계 시 주어진 설계유량을 효율적이고 경제적인 단면 구성과 관망에 따른 우수배제 능력을 극대화시키기 위해 최적화된 설계를 통하여 경제적인 우수시스템을 설계할 수 있는 모형의 개발이 이루 어져야 할 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 최적화 기법으로 동적계획법(Dynamic Programming : DP)의 특수한 방법인 이산미분형 동적계획법(Discrete Differential Dynamic Programming : DDDP)을 이용해 최적화된 설계조건을 구할 수 있도록 하였다. 이산미분형 동적계획법의 기법은 설계유량과 맨홀의 위치가 결정되면 그에 따른 최적 우수시스템이 될 수 있는 관의 용량, 경사, 수위, 수심, 위험도, 회수비용 등을 결정할 수 있는 방법으로 이는 공사비용에 따른 최소비용을 목적함수로 위험도 분석을 통하여 최적화된 조건을 찾는 방법으로 모형개발을 하였다.

핵심용어 : 우수관망, 최적화, 동적계획법(DP), 이산미분형 동적계획법(DDDP), 회수비용

* 대진대학교 토목공학과 부교수, 공학박사

Associate Prof., Dept., Civil Eng., Deajin Univ., 11-1 Sundan Dong, Pocheon City, Kyunggi Do, 487-711, South Korea
(e-mail: drjang@daejin.ac.kr)

** 서남대학교 토목공학과 부교수, 공학박사

Associate Prof. Dept., Civil Eng., Seonam Univ., 720 Gwangchi Dong, Namwon City, Jeollabuk Do, 590-711, South Korea
(e-mail: psw0232@seonam.ac.kr)

1. 서 론

1960년대 이후 급속한 경제개발로 인하여 국토의 많은 부분이 도시화가 진행되었으며, 최근에 이러한 도시화는 전국적으로 더욱 심화되고 있다. 도시화가 진행되면서 생기는 여러 가지 문제점 중에서 도시 홍수피해를 들 수 있으며, 적절한 우수 배수시스템의 건설은 도시 홍수피해 문제를 극복할 수 있는 방법 중의 하나이기 때문에 가장 효과적이며 경제적인 우수 배수시스템을 건설하는 것은 매우 중요한 일이다.

도시우수 배수시스템은 유출 추정과 관망 설계부분으로 크게 나눌 수 있다. 유출해석 분야는 많은 수문학자들의 주요 관심거리였고 실제로 많은 연구가 진행되어 강우-유출 해석을 위한 여러 가지 모형들이 개발되어 왔다. 이에 비해 도시 우수관망 설계부분은 유출해석 분야보다는 상대적으로 관심이 부족하였다고 볼 수 있다. 그러나 주어진 설계유량을 가지고 어떻게 배수시키느냐에 따라 도시 홍수피해 문제는 크게 영향을 받게 되므로 최적화된 설계를 통하여 경제적인 우수시스템을 설계할 수 있는 모형의 개발이 이루어져야 할 필요성이 있다.

도시우수 배수시스템의 최적화 설계기법에 관한 연구로써 Holland(1966)는 설계 제한사항에 적합한 최소 비용을 고려한 우수관경 산정모형을 개발하였으나 전체적인 최적화 방법 및 상용 우수관경의 결정문제에서 부적합성을 보였다. Deininger(1969)는 최소비용 설계를 위하여 선형계획(linear programming)을 도입하여 우수 배수시스템을 설계하는 방법을 제안하였으며, Meredith(1972)는 분기가 없는 선형 우수 배수시스템의 각 요소를 결정하는 방법으로 동적계획법(Dynamic Programming : DP)에 의거한 모형을 개발하였는데 여기서 처음으로 상용 우수관에 의한 설계방법이 제시되었다. 또한 Merritt and Bogan(1973)은 우수관경을 상태변수로, 맨홀에서의 수위와 관경을 결정변수로 보고 DP를 최적설계에 적용하였는데, 이 모형은 Manning 공식에 의해 단계를 변환시켰으며 한 단계씩 차례로 최적 요소를 진행시키는 방법을 택하였다. Dajani and Hasit(1974)는 Merritt와 Bogan의 모형 개념을 이용한 수리학적 모의발생 모형에 최소 설계비용의 산정을 위한 DP기법을 도입하여 모형을 개발하였으며, Yen et al.(1976)은 등유하선(isonodal line) 개념을 이용해 최적화 설계모형인 ILSD(Illinois Least-Cost Sewer System Design Model)를 개발하여 우수관경의 크기 및 경사, layout 최적화 등을 다룬 실용적인 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 도시 우수관망 설계 시 주어진 설계

유량을 효율적이고 경제적인 단면 및 관망 구성에 의해 우수배제 능력을 극대화시키기 위하여 최적화 기법으로 DP의 특수한 방법인 이산미분형 동적계획법(Discrete Differential Dynamic Programming : DDDP)를 이용해 최적화된 설계조건을 구할 수 있는 모형을 개발하고자 하였다. 이때 첨두유량의 우수관내 흐름에 대한 자체시간의 고려 여부에 따라 두 가지 모형으로 개발되었으며, 이들 모형을 시험유역에 적용하여 그 적합성을 비교 평가하고자 하였다.

2. 관망설계 최적화 방법

2.1 우수관 설계 조건

우수시스템은 지표면에 떨어진 강우의 유출을 우수관을 통해 출구로 소통시켜 지표면의 홍수량을 경감시키는 작용을 한다. 도시 우수관은 유출구 지점에서 가지를 치는 형태의 트리형(tree type)으로 맨홀과 관로로 구성되고 최적화 기법에서는 맨홀과 관로를 node-link로 표현하여 각각의 node는 유입유량이 존재하고 link는 관경 및 경사가 주된 설계인자이다. 이때 설계유량은 합리식이나 기타 유출모형을 통하여 유입되는 첨두홍수량을 가지고 우수관을 설계한다.

본 연구에서 개발하고자 하는 도시 우수시스템의 최적화 설계모형에 필요한 가정 및 제한사항은 다음과 같다.

- ① 모든 우수관내의 흐름은 중력의 영향을 받는 개수로 흐름이고 관의 표고차에 의해 흐름의 방향이 결정된다.
- ② 우수관의 설계유량은 수문학적 또는 수리학적 해석에 의한 첨두유량이고 전 시스템에 걸쳐 첨두유량을 증침해서 관의 설계유량으로 결정한다.
- ③ 우수관경의 결정은 설계유량에 대하여 Manning 공식으로 산정한다. 이때 산정된 우수관경은 만관에 의한 관경이므로 계산된 관경보다 큰 상용 우수관을 채택해야만 된다. 이는 관수로 흐름 또는 역류를 방지하기 위함이다.
- ④ 임의 단계에서의 유량, 경사, 우수관경 등은 전 단계에서 계산된 설계에 영향을 주지 않는다.
- ⑤ 최적화 설계기법을 위해 우수관 설치 공사비를 비교한 경제적 설계를 위하여 관경별로 관로 설치비용을 회귀분석에 의한 선형공식을 만들어 사용한다.
- ⑥ 하수도 설계기준(1993)에 의하면 우수관로내 퇴적방지를 위한 최소 허용유속은 0.8m/sec이고, 세굴

방지를 위한 최대 허용유속은 3.0m/sec이다.

- ⑦ 우수시스템 내의 관로 용량은 이전의 관로 용량 보다 크거나 같다.
- ⑧ 맨홀이나 접합점에서 상류단으로 유입되는 수위는 다음 단계의 유출 수위보다 항상 높으며 맨홀이나 접합점에서는 저류효과를 고려하지 않는다.
- ⑨ 우수시스템은 유역 출구쪽으로 유량이 수렴하는 트리형이고, 임의 단계 관로는 역경사일 수 없다.
- ⑩ 동결심도 및 지표 하중의 지탱을 위하여 최소토 페는 1m로 설정한다.

2.2 최적화 요소

2.2.1 단계

맨홀의 위치는 지형도상에서 낮은 쪽으로 유출구 지점이 존재한다. 이러한 맨홀과 맨홀을 우수관으로 연결하는데 각 맨홀과 맨홀을 있는 우수관이 하나의 단계가 되면 각 단계는 상류단과 하류단이 존재한다. 어떤 유역 내에 우수시스템의 맨홀 수가 n개 존재한다면 단계의 수는 n-1개이다. 그리고 이 단계는 유역출구 지점에서 최원점의 맨홀과 연결된 우수관부터 순서대로 정해진다. 예를 들면 Fig. 1이 가상의 우수시스템 관망도라면 맨홀의 번호는 유역출구로부터 1번으로 시작하여 13번까지 존재하며 각 맨홀을 연결하는 우수관이 단계가 되며 Fig. 1에서는 12단계가 존재한다.

2.2.2 상태변수

상태변수는 각 단계의 특성을 나타내주는 변수로서 유입 상태변수와 유출 상태변수가 있다. 상태변수는 S_n 으로 표현하고 우수관 하류단의 유출 상태변수는 \bar{S}_n 으로, 각각의 유입 상태변수는 단계의 상류단 수위이고 유출 상태변수는 하류단 수위이며, 이는 행렬의 형태로

다음과 같이 표현된다.

$$S_n = \begin{bmatrix} S_1 \\ \vdots \\ S_n \end{bmatrix}, \quad \bar{S}_n = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 \\ \vdots \\ \bar{S}_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

맨홀이나 합류점에서 저류를 고려하지 않는다는 가정 하에 전 단계의 유출 상태변수는 다음 단계의 유입 상태변수 값으로 변환된다.

$$\bar{S}_{n-1} = S_n \quad (2)$$

2.2.3 결정변수

결정변수는 1개 단계의 상류단의 수위와 하류단 수위차로서 임의 단계의 결정변수는 D_n 으로 표현된다. 결정변수가 결정되면 단계 즉, 우수관의 경사, 관경 등이 결정되므로 이들의 종속변수가 된다. 맨홀 1번과 2번 사이의 우수관 단계에서의 결정변수는 $D_{m1,m2}$ 로 표현할 수 있으며, 이는 1번 단계의 결정변수이므로 D_1 으로 표현할 수 있다. 결정변수는 상류단 수위(유입 상태변수)와 하류단 수위(유출 상태변수)의 차이므로 유출 상태변수는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\bar{S}_n = S_n - D_n \quad (3)$$

2.2.4 회수비용

회수비용은 r_n 으로 표현되며 이는 n 단계를 관로공사 일위대가를 기준으로 한 설치비용을 나타내며, 위험도(risk)가 고려되면 위험부담비까지 고려한 비용으로 본다.

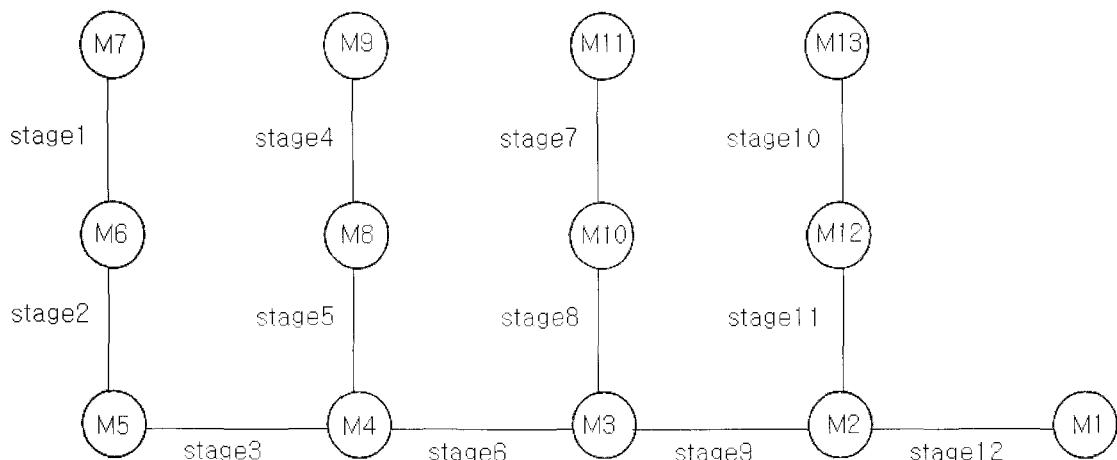


Fig. 1. Composition of stages

2.3 DDDP방법의 최적화

2.3.1 우수관망의 DP 추적 방법

일반적으로 n 번째 단계($n=1,2,3,\dots,N$)의 결정변수 D_n 을 사용하여 변환식을 사용하면 Eq. (3)이 되며 D_n 에 대한 회수비용 r_n 은 Eq. (4)와 같이 유입 상태변수 S_n 과 D_n 에 대한 함수로 표현된다.

$$r_n = r_n(S_n, D_n) \quad (4)$$

그리고 전 시스템에 대한 회수함수는 각 단계의 회수의 총화로 표시할 수 있다.

$$R_n = \sum_{n=1}^{N-1} r_n \quad (5)$$

동적 계획법(DP)에 의하여 각 단계의 최적화를 회귀방정식으로 표현하면 Eq. (6)과 같다.

$$f_n = \text{MIN.D}_n[r_n(S_n, D_n) + f_{n-1}(S_{n-1})] \quad (6)$$

여기서, $n=1, \dots, N$

$$f_0(S_0) = 0 \quad (7)$$

Eq. (6)에서 $f_n(S_n)$ 은 n 단계까지의 최소비용을 나타내주고 있으며 Eq. (7)은 맨 처음 단계에서 그 이전 단계가 존재하지 않으므로 0 값을 취한다.

Fig. 2는 상하류단의 상태에서 증분 ΔS 가 5개인 경우의 가능한 모든 수위조건으로 상류단 유입 상태변수 S_n 과 하류단 유출 상태변수 \bar{S}_n 의 연결 수위형태로 DP 계산이 행해짐을 도식적으로 나타낸 것이다.

2.3.2 우수관망의 DDDP 추적 방법

DDDP방법은 상태변수와 결정변수의 허용범위 내에서 제한조건에 적합한 최적 회수비용을 시험궤도에서 변화 반복시켜 최적화하는 방법이라 할 수 있으며, Eq. (6)에 의하면 최적화 회수비용은 상태변수 벡터와 결정변수 벡터의 함수이다.

DDDP에서는 먼저 시험 결정변수를 정해야 한다. 시험 결정변수 D_n 은 통상 시스템의 유출 출구 지점의 표고와 최원점의 유출지점 표고차를 단계의 수로 나누어 정의한다. 그러므로 각 단계의 상태변수는 시험변수에 의하여 구할 수 있다.

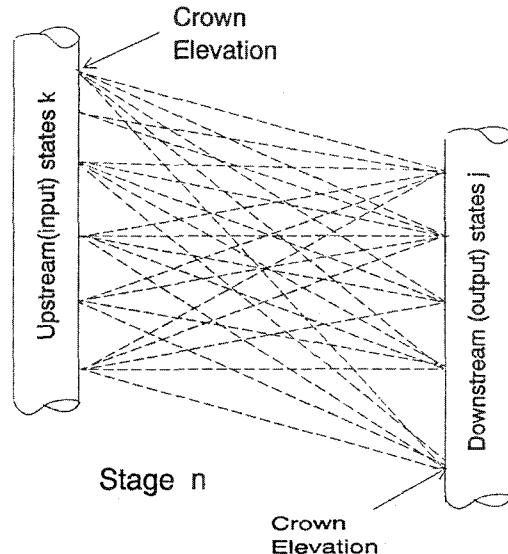


Fig. 2. Case of stage connection of upstream and downstream dividing ΔS of 5 states

이러한 상태변수들을 연결한 선을 시험궤도(trial trajectory)라고 하며 \bar{S}_n 으로 표현한다. 이 시험궤도 주위로 상태의 증분 ΔS 를 일정범위 내에 존재한다고 가정하고 이 구간을 시험궤도에 따르는 궤도 범위(corridor)로 생각한다. 이러한 시험궤도 및 궤도범위는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 궤도 주위에 7개의 증분이 있다면 상하류단의 시작점이 각각 7개로서 DP 계산의 범위는 $7 \times 7 = 49$ 개가 되며, 이때 상태변수 S 는 Eq. (8)과 같이 된다.

$$S = \begin{bmatrix} \bar{S} + 3\Delta S \\ \bar{S} + 2\Delta S \\ \bar{S} + \Delta S \\ \bar{S} \\ \bar{S} - \Delta S \\ \bar{S} - 2\Delta S \\ \bar{S} - 3\Delta S \end{bmatrix} \quad (8)$$

궤도범위 내에서는 DP 계산에 의하여 최적화된 경사, 관경, 회수비용, 유속 등을 구하고, 증분 ΔS 를 변화시키면서 궤도범위를 조정하여 반복 계산하여 허용오차(Er) 범위 내에 회귀방정식 함수 값이 존재하면 그때의 궤도가 최적화된 상태변수가 된다. 즉 i 번째 반복 계산한 최적화 값 f_i 가 전 단계인 $i-1$ 번째 최적화 값 f_{i-1} 와의 차이가 허용오차 범위 내에 존재하면 f_{i-1} 번째의 값이 최적화 값이 된다.

$$\left| \frac{f_i - f_{i-1}}{f_{i-1}} \right| < E_r \quad (9)$$

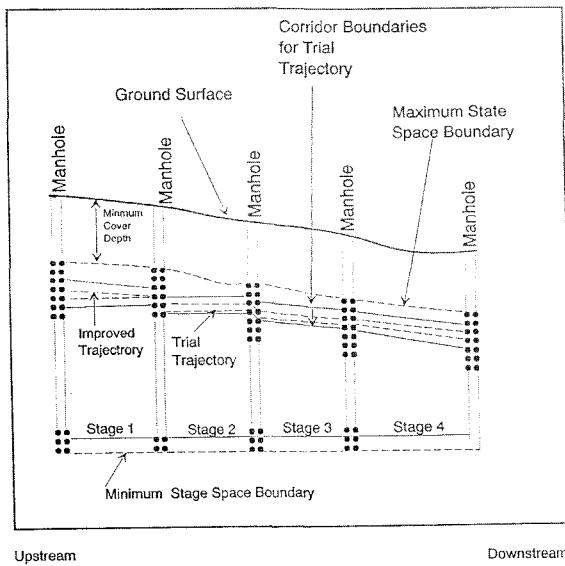


Fig. 3. Each element of DDDP computation

이때 증분 ΔS 를 초기에 어떻게 결정하느냐에 따라 DDDP기법의 효율성을 높일 수 있다고 판단된다. 또한 ΔS 의 범위는 공학적 판단근거로 할 수 있는 수치여야 하며 본 연구에서는 0.1%로 하였다.

3. 우수관내 지체시간을 고려한 설계유량

우수관의 설계유량은 맨홀로 유입되는 첨두 홍수량을 가지고 정상류로 가정하고 각 단계를 거쳐서 선형적으로 계산할 수 있다. 이러한 정상류 조건에서의 우수관 유량은 Manning공식이나 Darcy-Weisbach공식으로 구할 수 있으며 수문곡선의 형태와 단순 첨두유량의 형태로 대별할 수 있다. 단순 첨두유량은 우수관내 유량이 도달되는 지체시간을 고려하지 않고 각 맨홀에서 유입되는 설계유량을 계속 더해가는 것이다. 이러한 지체시간을 고려하지 않은 단순 첨두유량 산정은 소유역에서는 간단하다는 장점이 있으나 하류로 갈수록 과다설계가 이루어질 가능성이 있다.

따라서 우수관내의 흐름에서 지체시간을 고려한 첨두유량의 산정으로 보다 정확하고 실제 유량 추적에 가까운 해석이 필요하다 하겠으며, 이를 위해 본 연구에서는 Manning 공식에 의한 평균유속과 이 유속에 의한 유달시간을 산정하여 유달시간을 갖는 설계유량이 다음 단계에서의 유입유량과 선형 중첩되도록 하였다. 그리고 우수관 설계 시 첨두유량으로는 단순 첨두유량 및 지체시간을 고려한 첨두유량의 두 가지 경우 모두를 검토하였다.

4. 모형구성과 시험유역의 적용

4.1 모형의 구성

본 연구에서 개발한 도시우수 배수시스템 최적 설계 모형(Urban Storm Sewer System Optimal Design Model : USSOD)은 단순한 첨두유량을 더해서 설계유량으로 계산하는 USSOD-1 모형과 우수관 내 흐름의 지체시간을 고려한 USSOD-2모형의 두 종류이다. USSOD모형은 3개의 서브루틴으로 나누어져 있으며 전체 구성의 흐름도는 Fig. 4에 나타나 있으며 각각의 서브루틴의 내용을 살펴보면 다음과 같다. 이를 프로그램은 입출력의 양식이 용이하고 실행속도가 빠른 C언어를 사용하여 프로그래밍을 하였으며 모형개발 환경은 workstation에서 개발하였다.

4.1.1 Module

USSOD모형의 주 프로그램으로 여기에서는 각 우수관의 관경, 경사, 최적 회수비용 등을 계산할 수 있는 루틴이다. 여기에서 최소 토피는 1m로 하였으며 초기 증분 ΔS 는 0.8m로 설정하여 1/2 ΔS 만큼씩 반복 계산할 수 있게 하였으며 또한 ΔS 를 임의 초기값으로 지정도 가능하게 하였다. 우수관경은 Manning공식을 사용하였으며 데이터 파일과의 연결, 서브루틴과의 연결 등으로 이루어져 있으며 각각의 최적화 값은 DDDP 기법으로 이루어져 있다.

4.1.2 Tree

Tree routine에서는 우수 시스템의 데이터 구조를 읽어서 자료에 저장하는 기능이다. 각 맨홀의 위치에 저장한 데이터는 단계 결정을 위한 과정을 반복한다. 데이터 구조는 트리형이고 입력은 a, b 두 첨자를 사용한다.

4.1.3 Time Lag

Time Lag의 루틴은 각 우수관의 흐름에 따른 지체시간으로 인하여 발생하는 t_r 를 구하고 유입 수문곡선과의 선형 합성을 통하여 설계유량을 결정하는 방법으로, 본 연구에서는 유입 수문곡선이 삼각형 분포를 이루고 1/2 t_r 에서 첨두 홍수량이 발생하고 우수관은 만관에 가까우므로 유입 수문곡선이 왜곡됨이 없이 유출 수문곡선으로 이루어진다고 가정한다.

4.2 시험유역의 구성

본 연구에서는 Fig. 5와 같은 유역형상의 단지 조성 계획이 수립되어 있으며 우수관로의 배열 및 맨홀의 위치가 결정되어 있고 각 맨홀의 유입 홍수량이 존재하는

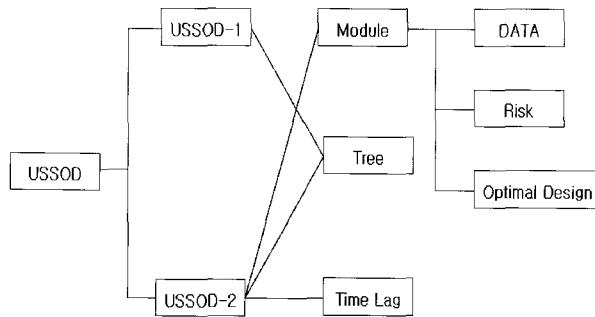


Fig. 4. Flowchart of USSOD model structure

유역을 대상 시험유역으로 선정하였다.

맨홀의 위치 번호부호는 출구지점을 1번으로 시작하여 최원점인 7번 맨홀과 분기된 지점의 맨홀을 13번까지로 하여 부여하였다(Fig. 1 참조). 각 맨홀의 tree-

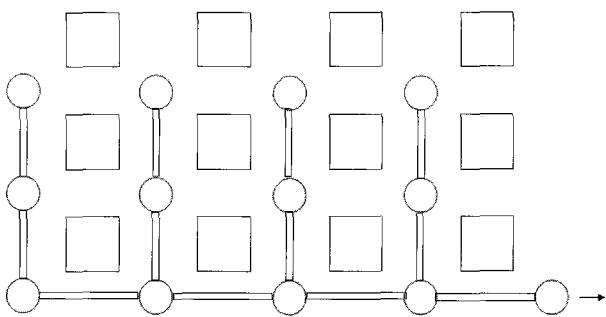


Fig. 5. Sewer system scheme of the experiment basin

type 입력점과 맨홀로 유입되는 홍수량, 맨홀간의 유달 시간은 Table 1과 같고 1번 단계부터 순서대로 각 단계 별로 계산된다. 이때 각 단계에 연결되는 상하류단 맨홀 번호와 표고 및 우수관의 길이는 Table 2와 같다.

Table 1. Input data of each manhole in the experiment basin

Manhole	Inflow discharge(cms)	Travel time(sec)
M1	0	600
M2	1.0	600
M3	0.5	600
M12	0.7	600
M4	1.1	600
M10	0.9	600
M13	1.0	600
M5	0.6	600
M8	0.5	600
M11	0.3	600
M6	0.6	600
M9	0.5	600
M7	0.5	600

Table 2. Elevation and stage composition of each manhole in the experiment basin

Stage	Upstream		Downstream		Length(m)
	Manhole	EL.(m)	Manhole	EL.(m)	
1	M7	100	M6	99	200
2	M6	99	M5	98	200
3	M5	98	M4	97	200
4	M9	99	M8	98	200
5	M8	98	M4	97	200
6	M4	97	M3	96	200
7	M11	98	M10	97	200
8	M10	97	M3	96	200
9	M3	96	M2	95	200
10	M13	97	M12	96	200
11	M12	96	M2	95	200
12	M2	95	M1	94	200
13	M1	94			

4.3 적용결과

시험유역에 USSOD-1모형과 USSOD-2모형을 적용시켜 두 모형 중 보다 합리적인 모형을 선정하여 실무에 활용할 수 있는 최적 모형을 결정하기 위하여 두 모형을 비교 평가하였다.

4.3.1 설계유량의 비교

Fig. 6은 Fig. 1 및 Table 2의 1,2,3,6,9,12단계를 주연결관으로 보고 $\Delta S = 0.1$ 일때 USSOD-1모형과 USSOD-2모형의 설계유량 변화를 비교 도시한 결과이다. 그럼에서 나타나듯이 USSOD-1모형의 유량은 시간지체가 고려된 USSOD-2모형의 설계유량보다 출구쪽 단계로 갈수록 차이가 많아짐을 보여준다. 즉, 시험유역의 총 유로연장이 2.4km인 지역에서 지체시간을 고려한 USSOD-2모형의 설계유량은 출구쪽으로 가면서 첨두유량을 계속 더하는 USSOD-1모형보다 약 45% 적은 유량이 모의되었으며, 이는 과다설계의 위험성을 배제할 수 있을 것으로 판단된다.

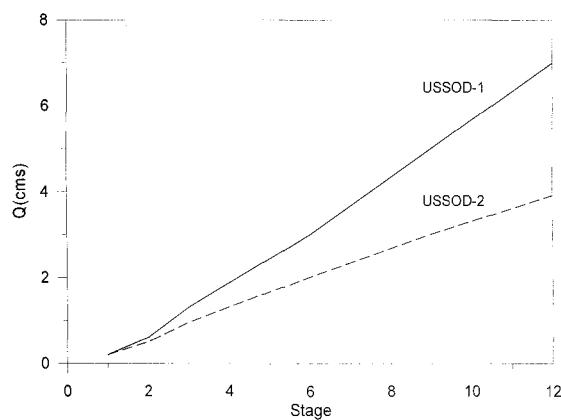


Fig. 6. Comparison of discharge variations of each stage

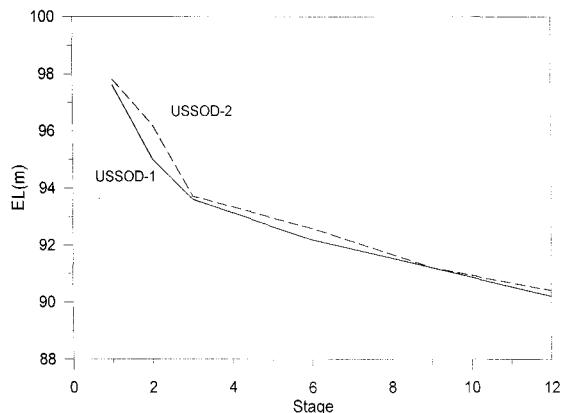


Fig. 8. Comparison of crown elevations of each stage

4.3.2 관경의 비교

Fig. 7은 $\Delta S = 0.1$ 일때 관경의 변화로서 주 연결관인 1, 2, 3, 6, 9, 12단계의 각각의 관경을 표시한 것이다. 유량의 비교에서 보았듯이 USSOD-1모형의 설계유량이 상대적으로 크기 때문에 관경도 USSOD-1모형이 USSOD-2모형보다 커짐을 알 수 있으며, 마지막 출구지점인 12단계의 상용 우수관경은 USSOD-1모형에서 1.8m이고 USSOD-2모형에서는 1.5m로 산정되었다.

4.3.3 우수관의 정점표고 비교

또한 Fig. 8은 $\Delta S = 0.1$ 일때 우수관로의 정점표고를 도시한 것으로서 그림에서 보면 $\Delta S = 0.1$ 일때 USSOD-1모형의 유출지점 정점표고보다 USSOD-2모형의 표고가 0.3m 높게 계산되어 작은 굴착깊이를 나타내고 있다. 이는 USSOD-1모형에 의하여 과대 계산된 관경에 의한 것이라 하겠으며, 결과적으로 굴착깊이가 작은 USSOD-2모형이 경제적이라 할 수 있다.

4.3.4 회수비용의 비교

Fig. 9은 $\Delta S = 0.1$ 일때 최적 회수비용을 나타낸 것이

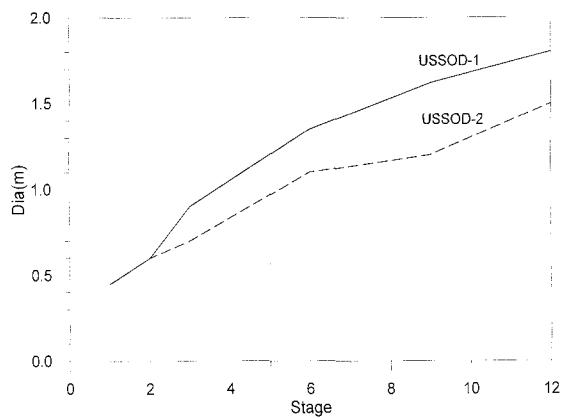


Fig. 7. Comparison of pipe diameters of each stage

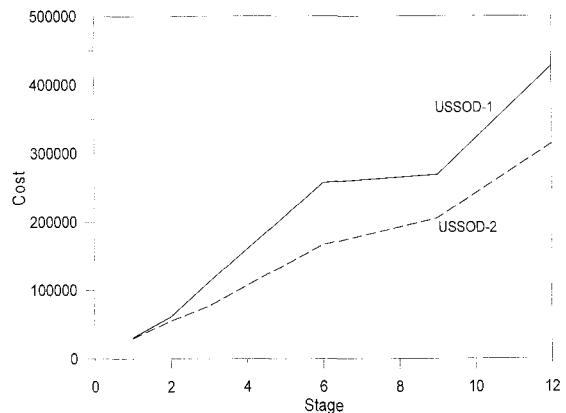


Fig. 9. Comparison of return costs of each stage

다. USSOD-1모형의 회수비용은 관경, 관로 정점표고 등의 영향으로 USSOD-2모형보다 약 20~35% 높게 나타나 USSOD-2모형이 USSOD-1모형보다 더 경제적임을 알 수 있었다. 또한 이러한 USSOD-1모형과 USSOD-2모형의 회수비용에 대한 비율은 $\Delta S = 0.4$ 과 $\Delta S = 0.8$ 인 경우의 비율보다 $\Delta S = 0.1$ 인 경우가 더 큰 폭으로 계산되어 $\Delta S = 0.1$ 인 경우에 더욱 최적화된 설계값을 갖는 것을 판단되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 주어진 설계유량과 맨홀의 위치가 결정되면 그에 따른 유입유량을 결정하고 우수관망의 각 요소의 최적 설계조건을 분석하여 가장 경제적인 우수관경, 경사, 수위, 회수비용 등을 계산할 수 있는 도시우수관망 최적 설계모형(USSOD)을 개발하고자 하였다.

이를 위하여 최적화 기법인 DDDP기법을 이용한 USSOD모형은 첨두유량의 우수관내 흐름에 대한 지체 시간의 고려 여부에 따라 USSOD-1모형 및 USSOD-2 모형의 두 가지 모형으로 개발하였으며, 이를 모형을 시험유역에 적용한 결과 설계유량의 산정방법 차이로 인하여 USSOD-1모형이 설계유량에서 USSOD-2모형 보다 45% 정도의 과대설계 경향을 보이며, 관경 및 유출구지점의 정점표고도에서 0.3m의 차이가 발생하였으며, 회수비용도 35%정도 크게 나타나 실제 적용에는 USSOD-2모형이 더 합리적인 것으로 분석되었다.

향후 우수시스템의 연결망을 결정하는 layout design model 개발도 이루어져야 할 것이며 실무에서도 위험도를 고려한 설계 및 최적화 설계기법을 도입하여 설계의 신뢰도를 높일 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1993). 하수도 시설기준, pp.224~275.
전병호 (1988). 도시개발에 따른 수해 가중영향 분석 및 대책 연구, 한국건설기술연구원, pp.3~42.
한국토지개발공사 (1989). 도시 소규모 단지의 설계유량 산정기법에 관한 연구

Ang, A.H.S., and Tang, W.H. (1975). "Probability Concept in Engineering Planning and Design", Vol.

- I : Basic Principles, John Wiley & Sons, Inc., New York.
Argaman, Y., Shamir, U., and Spivak, E. (1973). "Design of Optimal Sewerage System", *Jour. Env. Div., ASCE*, Vol.99, No.EE5, pp.703~716.
Barlow, J.F. (1972). "Cost Optimization of Pipe Sewerage Systems", *Proceedings, Institution of Civil Engineers(London)*, Vol.53, pt.2.
Dajani, J.S., and Hasit, Y. (1974). "Capital Cost Minimization of Drainage Networks", *Jour. Env. ASCE*, Vol.100, No.EE2, pp.325~337.
Deininger, R.A. (1969). "System Analysis for Water Supply and Pollution Control", National Resources System Models in Making Decision, *Water Resources Center*, Purdue Univ., Lafayette, Inc., pp. 20~25, pp.301~380.
Heidari, M. (1970). *A differential dynamic programming approach to water resources analysis*, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Campaign, IL.
Holland, M.G. (1966). "Computer Models of Water Collection Systems", *Water Resources Group Harvard Univ.*, Cambridge, Mass., pp.45~80.
Meredith, D.D. (1972). "Dynamic Programming with Case Study on Planning and Design of Urban Water Facilities", *Treatise on Urban Water Systems*, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo., pp.590~652.
Merritt, L.B., and Bogan, R.H. (1973). "Computer based Optimal Design of Sewer System", *J. Env. Eng. Div., ASCE*, Vol.99, No.EE1, pp.35~53.
Yen, B.C. (1985). "hydraulics of Sewers", *Advances in Hydrosciences*, Vol.14, Academic Press, pp.5~48.
Yen, B.C., Wenzel, H.G., Mays, L.W., and Tang, W.H. (1976). "Advanced Methodologies for Design of Storm Sewer Sysrems", *WRC, Research Report No.112*, University of Ill.

(논문번호:05-37/접수:2005.02.25/심사완료:2005.10.17)