

우수관망의 첨두유출량 감소를 위한 최적설계모형의 개발

Development of an Optimal Sewer Layout Model to Reduce Peak Outflows in Sewer Networks

이정호*, 박정훈**, 장동일***, 전환돈****, 김종훈*****

Jung Ho Lee, Cheong Hoon Park, Dong Eil Chang, Hwan Don Jun, Joong Hoon Kim

Abstract

To achieve the optimal sewer layout design, most developed models are designed to determine pipe diameter, slope and overall layout in order to minimize the least cost for the design rainfall. However, these models are not capable of considering the superposition effect of runoff hydrographs entering each junction. The suggested Optimal Sewer Layout Model (OSLM) is designed to control flows and distribute the node inflows while taking into consideration the superposition effect for reducing the inundation risk from the sewer pipes. The suggested model used the genetic algorithm to determine the optimal layout, which was connected to the SWMM (Storm Water Management Model) for the calculation of the hydraulic analysis. The suggested model was applied to an urban watershed of 35 ha, which is located in Seoul, Korea. By using the suggested model, several rainfall events, including the design rainfall and excessive rainfalls, were used to generate runoff hydrographs from a modified sewer layout. By the results, the peak outflows at the outlet were decreased and the overflows were also reduced.

Key words: Optimal Sewer Layout Model, Superposition Effect, Genetic Algorithm

1. 서 론

현재 도시구역에서의 우수관거의 설계는 최단거리의 관거 노선 설정에 따라 최소비용의 공사비가 소모되도록 설계되고 있다. 즉, 구역 내 맨홀의 위치를 설정하고 맨홀 간 최단거리의 노선을 설정한 뒤 강우-유출 관계를 분석하여 맨홀별 유입량을 산정한 후 맨홀 간 관거의 경사 및 관경을 설계하는 것이 일반적이다.

우수관거의 최적 설계에 대한 기존의 연구들 또한 수리학적 조건을 만족시키는 범위 내에서 최소의 비용을 위한 관거 설계에 초점을 맞추어왔다. Mays and Yen (1975)는 최소 비용을 위한 branched sewer system의 관경 및 경사를 결정하는 모형을 개발했으며, May and Wenzel (1976)은 multi-level branching storm sewer system의 최적화된 설계를 위하여 DDDP (Differential Dynamic Programming)를 사용하였다. 또한, 최적화 문제를 해결하기 위하여 DP (Dynamic Programming) 및 DDDP를 사용한 Illinois Least Cost Sewer System Design Model (ILSD-1)이

* 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 · E-mail : jungho_lee@korea.ac.kr
** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 · E-mail : pchydro@korea.ac.kr
*** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정 · E-mail : circuspk@hanmail.net
**** 정회원 · 한밭대학교 토목공학과 조교수 · E-mail : hwandonjun@gmail.com
***** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 · E-mail : jaykim@korea.ac.kr

University of Illinois at Urbana-Champaign에서 개발되었으며 (Yen et al. 1976, 1984), ILSD-1은 빗물펌프장 및 박스형 관거를 입력할 수 있는 모형으로 확장되었다 (Kuo et al. 1987, 1991; Yen et al. 1985). Noh (1987)는 위험도와 불확실성을 분석할 수 있는 ILSD-2 모형의 다양한 실제 적용성에 관하여 연구한 바 있다.

그러나 이러한 기존의 연구들에서 우수관망 및 관거의 설계란 고정된 유입량으로부터 결과 되는 부산물로서의 고려대상이 될 뿐이었다. 그러나 본 연구에서 주목한 점은 관망 및 관거의 설계에 따른 부산물로서의 관내 흐름이다. 즉 관망의 구성 형태가 달라짐으로써 관내 흐름 양상이 변화될 수 있으며 따라서 관내 흐름 양상을 고려한 관망의 설계가 이루어져야 한다는 것이다. 도시구역에서 관내 흐름의 양상은 관거의 맨홀 간 연결 방향의 변화에 따라서 달라진다. 이 같은 현상은 관망의 형성에 따라서 맨홀별 유입된 유출수문곡선의 중첩효과(superposition effect)가 달라지는 것에 그 원인을 들 수 있다. 기존의 연구들은 관망의 형성에 따른 흐름 양상의 변화를 관거의 최적 설계를 위한 조건으로서만 다루어왔다. 그러나 본 연구에서는 관내 흐름의 변화를 관망의 형성에 따라서 제어될 수 있는 목적함수로서 다루고 있다.

따라서 본 연구에서는 도시구역의 우수관거에 대한 근본적인 목적인 내수침수 방재 효과를 최대화하기 위하여 침투 유출량 최소화를 목적으로 하는 최적 우수관거 설계 모형을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 최적 우수관거 설계 모형인 OSLM(Optimal Sewer Layout Model)은 우수관거 시스템에서의 내수침수 위험도를 감소시키기 위하여 흐름의 중첩효과를 감소시키고 그로 인하여 우수관 내 흐름을 분산시킬 수 있도록 관망을 설계하는 역할을 한다.

OSLM은 GA(Genetic Algorithm)를 이용하여 최적화된 우수 관망을 결정하는 Optimal network module과 수리·수문학적 조건을 만족하는 관경 및 관 경사를 결정하기 위한 Hydraulic design module로 구성된다. Optimal network module은 복수의 연결 가능한 방향성을 갖는 맨홀 지점들의 연결 방향을 변화시킴으로써 목적하는 최적의 관망 구성을 결정하는 역할을 한다. 또한, Hydraulic design module은 대표적 도시유출 해석 모형인 SWMM(Storm Water Management Model)을 연계하여 관망 구성 변화에 따른 수리학적 해석을 수행하며, 이것을 이용하여 관경 및 관 경사를 결정하는 역할을 한다.

2. Optimal Sewer Layout Model

본 연구에서 개발된 Optimal Sewer Layout Model I(OSLM I)은 Optimal network module과 Hydraulic design module로 구성되어 있다.

다음의 그림 1은 OSLM에서의 최적 우수관망 설계 과정을 보여주고 있다.

2.1 Optimal network module

Pre-processing 단계는 OSLM을 통한 우수 관망의 최적 설계 과정에서 첫 번째로 수행되어야 하는 과정이다. Pre-processing 단계에서 가장 중요한 산출물중 하나는 network matrix로서, 이것은 지점들 간의 가능한 연결 방향들에 대한 정보를 담고 있다. Network matrix에서 복수의 연결 가능한 방향성을 가지고 있는 지점들을 optional node라 하며 이 지점들을 따로 구분하여 optional matrix를 구성하게 된다. 이 optional matrix는 최적 우수 관망 설계를 위한 결정 변수들이 된다.

다음의 그림 2는 Optimal network module에서의 GA 흐름도를 나타낸다.

Optimal network module을 포함하고 있는 OSLM에서는 다음의 식 (1)과 같은 목적함수를 갖는다. 또한 이것은 침투 유출량을 감소시키고 내수 침수의 위험도가 감소될 수 있는 우수 관망의

선택을 위한 목적함수이다.

$$\text{Min } Q_{peak} = Q_{peak} [C, D, S] \quad (1)$$

위 식에서 Q_{peak} 는 유출구에서의 첨두 유출량이다. 그리고 이 목적함수는 C , D 및 S 의 조합들 중 최적 해를 찾게 되며, 여기서 C 는 복수의 연결 가능한 방향성을 가지고 있는 optional node들로 구성된 Optional matrix를 나타낸다. 또한 D 는 전체 우수관망에 대한 관경의 행렬을 나타내며, S 는 경사에 대한 행렬을 나타낸다.

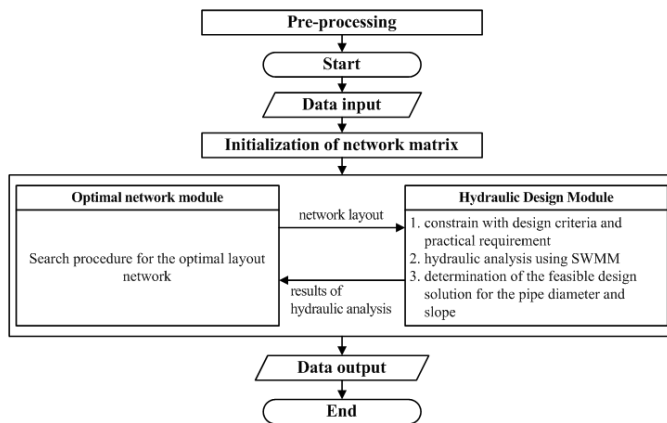


그림 1. OSLM의 구성

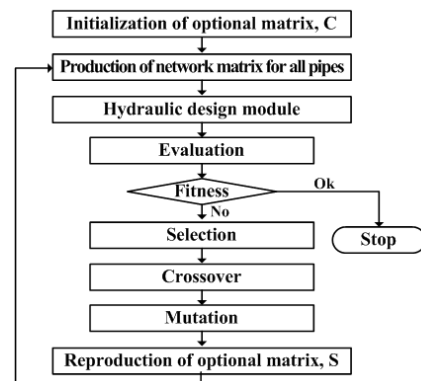


그림 2. OSLM의 GA 흐름도

2.2 Hydraulic Design Module

Optimal network module이 하나의 우수 관망을 결정하였을 때, Hydraulic design module의 주요 역할은 설계 요건을 만족시키면서 우수 관망 내 관거의 관경 및 경사를 선택한다.

다음의 Fig. 8은 Hydraulic design module의 구성도를 나타내고 있다.

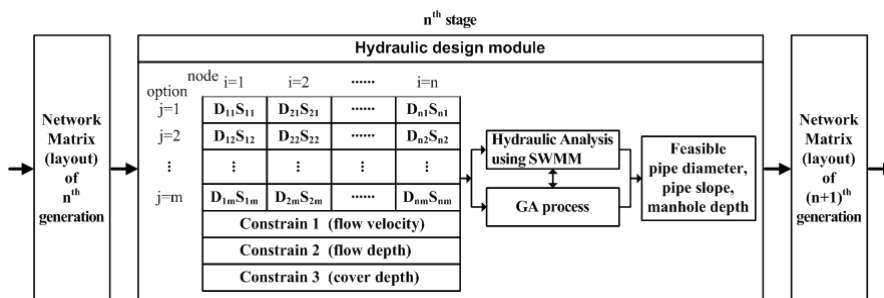


그림 3. Hydraulic Design Module

여기서, D_{ij} 는 i 번째 지점의 j 번째 경우의 수에 대한 관경이며, s_{ij} 는 관 경사를 나타낸다. 각 관거는 제약조건들을 만족시키는 각기 다양한 관경과 관 경사들의 조합으로 이루어진다.

3. 적용 및 결과

본 연구에서 개발된 OSLM의 적용 검정을 위하여 서울 가락 배수분구를 선정하였다. 가락 배

수분구는 140개의 맨홀 지점을 가지고 있으며, 본 연구에서는 OSLM의 적용 결과를 현재의 관망 구성 및 최단거리 관망에 대한 결과들과 비교하였다. 지역의 면적은 35ha이며 관거 총 연장은 5,917m이고 현재의 관망을 최단거리에 따라 재구성하였을 경우의 관거 총 연장은 5,497m이다.

다음의 그림 4는 현재 관망 구성에 대한 개략적인 관망도를 재작성하여 보여주고 있다.

샘플 구역 내에는 복수의 연결 가능한 관거 방향을 가지고 있는 지점이 총 26개이며, 해당 구역에 대하여 최적화된 관망을 구성한 결과 관거의 총 연장은 5,660로 최단거리 관망보다 길고 현재의 관망보다는 짧은 결과를 도출하였다.

다음의 그림 5는 최적화된 관망 구성을 나타내고 있다.

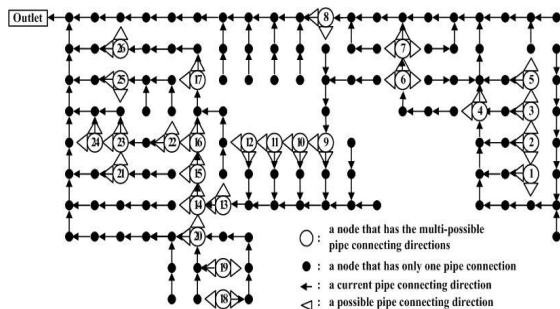


그림 4. 가락 배수분구 현재 관망도

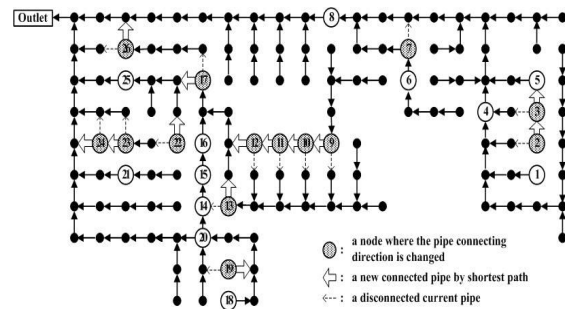


그림 5. OSLM에 의한 최적 관망도

다음의 표 1은 최적 우수 관망을 통한 침투 유출량의 감소 효과를 현재의 관망 및 최단 거리 관망의 결과와 비교하고 있다.

표 1. 관망별 유출구에서의 침투 유출량

지속 기간 (hr)	강우 분포 (huff)	침투 유출량 (m^3/sec)			(4) [(1)-(3)]	[(4)/(1)] ×100 (%)	(5) [(2)-(3)]	[(5)/(1)] ×100 (%)
		(1) 최단거리 관망	(2) 현재 관망	(3) 최적 관망				
0.5	1 st	4.20	4.18	3.54	0.66	15.71	0.64	15.31
	2 nd	4.59	4.56	3.83	0.76	16.56	0.73	16.01
	3 rd	5.29	5.20	4.29	1.00	18.90	0.91	17.50
	4 th	5.19	5.02	4.08	1.11	21.39	0.94	18.73
1	1 st	5.40	5.39	4.74	0.66	12.22	0.65	12.06
	2 nd	6.25	6.24	5.71	0.54	8.64	0.53	8.49
	3 rd	7.16	7.13	6.56	0.60	8.38	0.57	7.99
	4 th	6.76	6.68	6.04	0.72	10.65	0.64	9.58
2	1 st	5.76	5.77	5.52	0.24	4.17	0.25	4.33
	2 nd	6.04	6.05	5.88	0.16	2.65	0.17	2.81
	3 rd	6.61	6.61	6.39	0.22	3.33	0.22	3.33
	4 th	6.91	6.90	6.58	0.33	4.78	0.32	4.64
3	1 st	5.54	5.55	5.42	0.12	2.17	0.13	2.34
	2 nd	5.61	5.61	5.53	0.08	1.43	0.08	1.43
	3 rd	6.00	6.00	5.93	0.07	1.17	0.07	1.17
	4 th	6.29	6.29	6.16	0.13	2.07	0.13	2.07
6	1 st	4.18	4.18	4.15	0.03	0.72	0.03	0.72
	2 nd	3.99	3.99	3.97	0.02	0.50	0.02	0.50
	3 rd	4.15	4.16	4.14	0.01	0.24	0.02	0.48
	4 th	4.44	4.44	4.41	0.03	0.68	0.03	0.68

이상의 결과에서 최적 우수 관망에서의 침투 유출량은 현재의 관망 및 최단 거리 관망에서의 결과보다 적게 나타났다. 강우의 지속시간이 길어질수록 이러한 침투 유출량의 감소 비율은 낮아졌지만, 도시구역에서의 내수침수를 유발하는 집중호우의 경우 짧은 시간 내에 높은 강우 강도를 갖는 강우 사상에 의하여 발생하는 경향을 나타내므로 본 연구에 의한 최적 우수 관망은 짧은 지속시간의 집중 호우에 특히 효과적인 내수 침수 방재의 구조적 수단이 될 수 있음을 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 관망의 구성과 유출 수문곡선의 중첩효과를 동시에 고려하는 Optimal Sewer Layout Model(OSLM)을 제안하였다. 본 연구에서 개발된 OSLM은 중첩효과를 고려하여 도시 구역 내 지점(맨홀)별 유입량을 적절히 분배하도록 관망을 구성하는 역할을 한다. 그러므로 최적 우수 관망으로 구성된 도시구역의 경우 강우강도가 높은 호우의 발생으로 인한 도시구역의 내수침수에 대하여 기존의 관망 구성에 비하여 보다 효과적인 방재가 가능할 것이다. 또한 국지성 집중 호우의 발생 시 빗물펌프장을 통한 저지대 도시 구역으로의 역류 현상은 우수지로의 급격한 유입으로 인하여 펌프의 적정 가동 시기를 놓치게 됨으로써 발생하는 경향이 있으므로 최적화된 우수 관망을 통한 침투 유출량 감소는 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 방안이 될 수 있다.

감 사 의 글

이 논문 또는 저서는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-D00885)

참 고 문 헌

1. Kou, J. K., Yen, B. C., and Hwang, G. P. (1987). Least-cost optimal sewer design considering box-sewers, Proc. Fourth Int. Conference on Urban Storm Drainage : *Topics in Urban Storm Water Quality, Planning and Management*, 2, Lausanne, Switzerland.
2. Kou, J. T., Yen, B. C. and Hwang, G. P.(1991). Optimal design for storm sewer system with pumping station, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 117(1).
3. Mays, L. W., and Yen, B. C.(1975), Optimal cost design of branched sewer system, *Water Resources and Research*, 11(1).
4. Mays, L. W. and Wenzel, H. G.(1976), A serial DDDP approach for optimal design of multi-level branching storm sewer systems, *Water Resources and Research*, 12(5).
5. Nouh, M.(1987). Storm sewer design sensitivity analysis using ILSD-2 Model, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 113(1).
6. Yen, B. C., Wenzel, H. G., Mays, L. W. and Tang, W. H.(1976). Advanced methodologies for design of storm sewer systems, Research Report No.112, *Water Resour. Ctr.*, Univ. of Illinois, Urbana-champaign, Ill.
7. Yen, B. C., Cheng, S. T., Jun, B. H., Voorhees, M. L., Wenzel, H. G. and Mays, L. W.(1984). Illinois least-cost sewer system design model: ILSD-1 & 2 user's guide, Research Report No. 188, *Water Resour. Ctr.*, Univ. of Illinois, Urbana-champaign, Ill.