

우수관거 조도계수 개선에 따른 강우-유출 특성 분석

김응석¹, 조덕준², 윤기용^{1*}

¹선문대학교 건축사회환경학부, ²동서대학교 건축토목공학부

Analysis of Rainfall-Runoff Characteristics by Improvements to the Roughness Coefficient in a Storm Sewer System

Eung-Seok, Kim¹, Deok-Jun, Jo², Ki-Yong, Yoon^{1*}

¹Division of Architecture Engineering and Civil Engineering, Sunmoon University

²Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University.

요약 급격한 산업화 및 도시화로 인해 불투수 지역이 증가됨에 따라 유출량 또한 증가되어 도시지역에 침수를 발생시켜 피해를 주고 있다. 본 연구에서는 관 조도계수의 개선이 유출 및 월류에 미치는 효과를 강우-유출 모의를 통하여 분석하였다. 이를 위해 총 관로 연장 대비 조도계수 개선 비율에 따른 효과, 관경별 조도계수 개선 적용 효과, 주요 관거 중심의 조도계수 개선 효과 등 3가지 시나리오로 구분하여 모의하였으며, 도시지역에서의 강우-유출 해석 모의에 많이 사용되는 SWMM모형을 이용하여 분석하였다. 연구 결과 관로연장이 길고, 관경이 큰 주요 간선을 우선적으로 개선하는 것이 월류저감에 효과적인 것으로 나타났다. 대부분의 간선 관거의 특성상 관의 크기 및 길이가 길기 때문에 유출구로 유출되기까지의 유속을 증가시켜 관의 통수능 확보 및 월류저감에 효과가 있는 것으로 판단된다. 또한, 본 연구 결과는 관거 교체의 우선순위 선정에 참고가 될 것으로 판단된다. 향후 조도계수 개선을 위한 경제성을 고려한 최적화 분석이 이루어진다면 최적의 홍수재해저감에 기여할 것으로 판단된다.

Abstract Rapid industrialization and urbanization have resulted in an increase in impervious areas and an increase in runoff, therefore, this causes more flooding and damage in urban areas. This study has analyzed the effects of improvements to the roughness coefficient in storm sewer pipes on flood runoff and outflow through rainfall-runoff simulations. The simulations are implemented by three scenarios to evaluate effects of improvements to the roughness coefficient for the improved length ratio to the total length, diameters and mainlines of sewer pipes. The size and length of the sewer mains are large and long to effectively increase the flow rate to the outlet, secure the passage discharge capacity of the pipe and reduce the overflow. It is effective for flood reduction that the improvement to roughness coefficient is first conducted in mainlines with longer lengths and larger diameters. The results from this study can provide a guideline for prioritizing of the sewer pipe replacement.

Keywords : Urban flood, Pipe roughness improvement, Flooding reduction, SWMM, Rainfall-Runoff

1. 서론

급격한 도시화로 도시지역의 불투수율이 크게 증가되어 왔으며 유출량 또한 커지고 있는 추세이다. 이로 인하여 내수침수의 위험이 높아졌고, 직·간접적인 재산 및 인명 피해가 반복되어 왔다. 따라서 다양한 방법

에서의 홍수저감 노력이 매우 중요한 과제라고 할 수 있다. 한편 기 매설된 우수관의 노후화, 수밀성 미확보 등으로 홍수피해 외에도 지하수 및 토양의 오염과 누수가 싱크홀의 발생 요인으로 지적 되고 있다. 이의 해소를 위하여 하수도관의 교체작업이 이루어지고 있으나 막대한 공사비 및 공사기간이 필요하고 공사의 어려움으로

*Corresponding Author : Ki-Yong Yoon(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-41-530-2325 email: kyyoon@sunmoon.ac.kr

Received November 21, 2016

Revised December 13, 2016

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

인하여 단기에 교체가 어려운 실정이다. 따라서 제한된 예산과 유지관리의 한계를 고려하여 관거의 신설 또는 노후관 교체에 있어서 유지관리 및 침수저감 효과를 극대화하는 방향으로 개선이 이루어져야 한다. 이를 위해서는 효율성이 높은 우선순위를 결정하기 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

관련된 연구를 살펴보면 [1]은 확률강우량별로 도시의 우수관거 통수능 및 침수특성을 분석하여 20년 빈도 이상의 강우에서 관거의 통수능 부족이 내수침수로 이어지는 것을 확인하였다. [2]는 침수피해발생 및 피해증가 요인으로 토사퇴적에 의한 용량감소 및 관의 조도 불량을 지적한 바 있다. [3]는 하수관거시설의 침수대응을 위한 운영·관리 실태연구를 위한 설문에서 하수관거 설계 빈도 상황조정에 대하여 게릴라성 호우 및 기후변화에 대비하여 설계빈도를 상향해야 한다는 답변이 71%로 높았으나 설계빈도만의 상향은 침수저감에 직접연관성이 크지 않아서 반대답변도 37%에 이른다는 결과를 도출하였다. [4]은 이중배수체계모형으로 설계강우량에 따른 침수특성분석과 관거통수능력을 검토하였다. [5]은 도시침수방어방안으로 내수배제능력을 초과하는 경우에 관거증대 및 중상류에 저류지설치 효과를 분석하여 내배수체계의 개선방안을 제시하였다. [6]은 관거용량 증대 및 지하저류지의 설치 전·후의 유출량을 비교 분석하여 침수피해 저감을 위한 개선방안을 제시하였다. 이상의 연구결과 외에 관거의 신설 및 교체에 대하여 시나리오를 설정하고, 관의 성능 및 유지관리측면을 고려한 관거의 개량과 함께 내수침수 저감이 함께 고려되는 효율적 개선을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 시설기준이 상향조정되었고, 관 노후도의 심화로 관거의 신설 또는 교체에 있어서 우선순위를 고려해야 하는 상황에서 조도가 개선된 관을 설치하는 경우에서의 월류 저감 효과를 분석하여 개선효과를 3가지 시나리오로 구분하여 모의를 수행하여, 각각의 시나리오에 따른 유출 및 월류 특성을 분석하고 가장 효과적인 적용방향을 제시하고자 하였다.

2. 대상유역 및 강우선정

2.1 대상유역

조도개선관의 교체 영향분석을 위한 연구적용유역은

서울시 금천구 가산동 550-22번지 일대로 가산1빗물펌프장 유역이며 공업지역이 73%이고 기타 상업지역 등이 27%인 대표적인 공업지역이다. 유역은 대부분이 불투수지역으로 강우가 발생하면 대부분의 빗물은 우수관망으로 유입되며, 관 조도계수 개선에 의한 유출분석에 있어서 손실 오차로 인한 불확실 요소가 작아서 비교적 정확한 분석이 가능한 것으로 판단되어 선정된 유역이다. 유역면적은 44.91ha, 소유역 분할은 32개소, Node개수는 34개(유출구 1개, 유수지 1개), Pipe 개수는 32개로 관망이 구성되었다(Fig. 1). 대상유역의 관거 특성은 원형관 24개로 총 연장 대비 68%, 규격이 1.0m x1.0m 이상인 암거는 8개로 총 연장 대비 32%이며 관의 총 연장은 5,219.3m이다. 한편 기존 관의 조도계수는 거친 콘크리트 및 노후화 정도로 0.017를 적용하였으며, SWMM 모형 검·보정시 매개변수 조정을 통해 0.017의 조도계수를 선정하였다. 또한, 개선 관에 사용된 관의 경우 SWMM모형에서 적용되는 가장 낮은 조도계수 값인 0.011을 적용하였다.

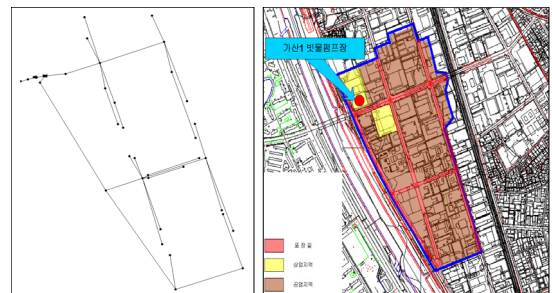


Fig. 1. The Map of Study Basin and Bridge Section

2.2 강우선정

본 연구에 적용하기 위한 강우량 선정을 위하여 서울시에서 대표적인 침수를 유발한 강우를 조사하였으며, 최근인 2010년의 강우로 인해 동부간선도로, 서부간선도로, 경인고속도로, 홍대입구역 침수로 인한 무정차통과, 사당, 강남, 광화문 침수발생 등 서울의 많은 지역에서 침수가 발생하였다. 2010년의 강우특성은 Table 1과 같으며, 본 연구에서도 비교적 최근에 서울시에 큰 피해를 유발한 2010년 9월에 발생한 강우사상을 적용하여 모의분석을 수행하였다.

Table 1. Representative Rainfall Characteristic of Past

Rainfall Period	Total Rainfall Depth (mm)	Rainfall Duration (hr)	Average Rainfall Intensity (mm/hr)	Peak Rainfall Intensity (mm/hr)
2010. 9. 20 22:00 ~ 22 03:00	274.12	26	10.43	72.00

2.3 관 조도계수 개선효과분석 시나리오 구성

본 연구에서 관 조도계수 개선에 의한 영향분석을 위하여 시나리오를 세 가지로 구분하여 강우-유출 분석을 수행하였다. 첫 째는 관 연장비율로 조도계수 개선효과를 분석하는 경우로 총 연장대비 조도계수 개선비율을 증가시키면서 유출저감효과를 분석하는 시나리오이다. 즉, 총 관의 연장 5,219.3m의 10%, 20%, . . . , 100% 비율로 조도계수를 점차적으로 0.011인 관거로 교체를 전제하여 유출모의를 통하여 월류특성을 분석하였다. 관로의 선정에 있어 각 관로별로 가지는 관로의 길이가 다르기 때문에 정확한 총 관의 연장 대비 정확한 10%, 20%, . . . , 100%의 비율로 조도계수를 적용하진 못하였으나, 가장 작은 관로의 길이를 가지는 관로의 연장을 더해가며 최대한 10%의 비율을 맞춰 조도계수를 적용하였다.

두 번째는 관경별로 조도계수를 개선하는 경우에서의 효과를 분석하였다. 세 번째는 주요 관에 해당하는 간선관거를 기준으로 관 조도계수를 개선하는 경우에서의 분석을 수행하였다. 가산1빗물펌프장의 경우 9개의 관으로 구성되어 있다. 또한, 세 번째 시나리오의 경우는 다음과 같이 4가지로 세분하여 분석하였다. ① : 압거(Box) 8개, ② : 압거(Box) 8개 + 관 연장 200m이상 관 6개, ③ : 압거(Box) 8개 + 관 연장 150m이상 관 10개, ④ : 압거(Box) 8개 + 관 연장 100m이상 관 17개 적용 등 세 번째 시나리오를 네 가지로 세분화하였다.

3. 적용 및 결과

3.1 관거연장별 조도계수개선 시나리오 결과

시나리오1인 총 관로연장 대비 조도계수의 개선 비율을 증가시키면서 2010년 강우사상에 대하여 유출 및 월류특성 분석하여 Table 2와 같이 나타냈다. 분석결과 조

도계수가 개선된 관거로 교체하는 비율이 높을수록 침투 유출량이 증가하는 경향으로 나타났다. 이는 관의 조도계수가 매끈해지면서 유속이 증가하여 유수지로의 도달 시간이 빨라지면서 침투유출량이 증가하는 것으로 판단 (100% 전체 관로 적용시 9.14% 증가)된다. 전반적으로는 관의 조도계수 개선비율이 높을수록 월류저감 비율이 상승하는 경향을 보이니 지점에 따라서는 20~50%와 같이 월류저감효과가 나타나지 않는 경우가 발생하였다. 이는 비율만으로 조도계수 개선이 이루어져 연속성이 결여된 일부구간에서 유량의 정체로 나타난 결과로 판단된다. 한편 총월류량 및 월류발생개수(Node)는 감소하는 경향을 보였다. 100% 전체관로의 교체로시에 발생하는 총월류량은 93.37% 월류저감효과를 보였다. Fig. 2는 전체 관로연장 대비 조도개선을 위한 관의 교체비율에 따라서 총월류량의 저감비율을 나타낸 것이다.

Table 2. Overflow Characteristic according to Pipe Roughness improvement for Pipe Length Ratio

Division	Pipe Length (m)	Total Runoff (m³/s)	Peak Runoff (m³/s)	Node flooding (10³m³)	Number of flooding points	
Existing condition	5,219.3	1,959.02	7.46	13.825	4	
Pipe Length Ratio (%)	10	521.9	1,986.38 (-1.40%)	7.77 (-4.16%)	9.820 (28.97%)	3 (25%)
	20	1,043.9	1,959.00 (0.00%)	7.47 (-0.13%)	13.825 (0.00%)	4 (0%)
	30	1,565.8	1,959.01 (0.00%)	7.47 (-0.13%)	13.824 (0.01%)	4 (0%)
	40	2,087.7	1,958.93 (0.00%)	7.47 (-0.13%)	13.828 (-0.02%)	4 (0%)
	50	2,609.7	1,981.82 (-1.16%)	7.67 (-2.82%)	13.648 (1.28%)	3 (25%)
	60	3,131.6	2,023.66 (-3.30%)	8.09 (-8.45%)	7.382 (46.60%)	2 (50%)
	70	3,653.5	1,981.91 (-1.17%)	7.67 (-2.82%)	13.647 (1.29%)	3 (25%)
	80	4,175.4	2,081.70 (-6.26%)	8.56 (-14.75%)	8.059 (41.71%)	3 (25%)
	90	4,697.4	2,090.98 (-6.74%)	8.64 (-15.82%)	7.981 (42.27%)	2 (50%)
	100	5,219.3	2,138.15 (-9.14%)	9.11 (-22.12%)	0.916 (93.37%)	1 (75%)

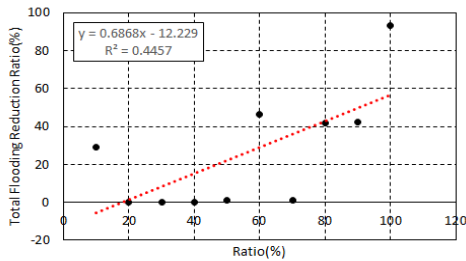


Fig. 2. Total Runoff Reduction Ratio according to Apply of Pipe Roughness Coefficient

3.2 관경별 조도계수개선 시나리오 결과

시나리오2인 관경별로 조도계수를 개선한 효과를 모의한 경우로 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 관로 연장은 해당관경의 연장으로 분석결과 관경 1.2m인 관거의 조도계수를 개선하는 경우에 월류저감효과가 41.72%로 가장 크게 나타났으며 두 번째는 관경 1.0m에서 저감효과가 28.97%로 나타났다. 반면에 관경 0.8m(연장 1,354.3m)는 조도계수를 개선한 관의 연장이 가장 길었으나 조도계수 개선효과가 나타나지 않았다. 대체로 하류에 위치하면서 관거 규모가 큰 경우에서 저감효과가 크게 나타났으나 통수능이 충분한 경우는 예외였다(관거 1.6m). 즉, 관로 규격에 대하여 관의 교체를 통한 조도계수 개선보다는 관거의 위치 및 월류발생지점에 따라서 조도계수의 개선지점이 결정되어야 할 것으로 판단되었다.

Table 3. Outflow and Overflow Characteristic according to Pipe Size Pipe Roughness Coefficient

Division	Pipe Length (m)	Total Runoff (m³/s)	Peak Runoff (m³/s)	Node flooding (10³m³)	Number of flooding points	
Existing condition	5,219.3	1,959.02	7.46	13.825	4	
Pipe Size (m)	1.6	436.5 (8.36%)	1,959.10 (0%)	7.46 (0%)	13.825 (0%)	4 (0%)
	1.2	1,132.5 (21.70%)	2,081.53 (-6.25%)	8.56 (-14.75%)	8.057 (41.72%)	3 (25%)
	1.1	356.3 (6.83%)	1,959.23 (-0.01%)	7.46 (0%)	13.828 (-0.02%)	4 (0%)
	1.0	100.2 (1.92%)	1,986.37 (-1.40%)	7.77 (-4.16%)	9.820 (28.97%)	3 (25%)
	0.9	335.9 (6.44%)	1,959.91 (-0.05%)	7.44 (0.27%)	13.747 (0.56%)	3 (25%)
	0.8	1,354.3 (25.95%)	1,959.10 (0%)	7.47 (-0.13%)	13.825 (0%)	4 (0%)
	0.7	216.5 (4.15%)	1,959.11 (0%)	7.46 (0%)	13.824 (0.01%)	4 (0%)
	0.6	958.8 (18.37%)	1,959.13 (-0.01%)	7.46 (0%)	13.825 (0%)	4 (0%)
	0.5	328.3 (6.29%)	1,959.01 (0%)	7.46 (0%)	13.825 (0%)	4 (0%)

3.3 간선관거의 조도계수개선 시나리오 결과

시나리오3에 해당하는 주요 간선관에 해당하는 암거를 기준으로 교체를 통한 조도계수 개선에 의한 월류 특성을 모의한 결과를 Table 4에 나타내었다. 분석결과 암거구간의 조도계수를 개선하는 시나리오3이 전반적으로 높은 월류저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 세 번째 시나리오의 세부시나리오 ①, ②, ③의 결과는 유사하였으며 세부시나리오 ④ 적용시 약 93%의 월류 저감효과로 더 높게 나타났다. 즉, 유역하류에 설치하게 되는 암거구간을 우선적으로 교체하는 것이 월류저감에 유리하게 나타났다으며, 추가로 지선관거의 교체비율이 높아지면 추가적인 월류저감효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 간선관 중심으로 위치 및 월류지점 등 특성에 맞게 우선순위를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단되며 조도계수 개선비율을 높이기 위해서는 위치 및 상하류에 미치는 영향에 따라서 월류저감에 미치는 영향이 다르므로 시행착오적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

Table 4. Pipe Roughness Coefficient Apply Analysis according to Main Pipe standard

Division	Pipe Length (m)	Total Runoff (m³/s)	Peak Runoff (m³/s)	Node flooding (10³m³)	Number of flooding points	
Existing condition	5,219.3	1,959.02	7.46	13.825	4	
Main Pipe standard(m)	①	1,669.2 (31.98%)	2,124.15 (-8.43%)	8.98 (-20.38%)	1.793 (87.03%)	2 (50%)
	②	3,093.0 (59.26%)	2,124.06 (-8.42%)	8.98 (-20.38%)	1.793 (87.03%)	2 (50%)
	③	3,828.5 (73.35%)	2,124.06 (-8.42%)	8.98 (-20.38%)	1.792 (87.04%)	2 (50%)
	④	4,702.7 (90.10%)	2,138.26 (-9.15%)	9.11 (-22.12%)	0.916 (93.37%)	1 (75%)

4. 결론

과거의 하수도시설기준에 의하여 지선 5년, 간선 10년 빈도로 설치되었고, 노후도의 심화로 인한 영향의 저감을 위하여 상향된 시설기준에 의한 관의 교체 또는 신설이 시급한 실정에서 관의 조도계수가 개선된 관거로의 교체로 인한 월류저감효과를 분석하여 우선순위를 선정하는 방향을 제시하고자 세 가지 시나리오를 선정하여 SWMM에 의한 모의를 통하여 시나리오별 월류저감효

과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째 동일한 규격의 관거로의 교체인 경우에도 조도 계수가 개선된 관거로의 교체는 월류저감에 효과가 있는 것으로 나타났다.

둘째 동일유역에서도 관거 교체에 우선순위가 필요한 경우 하류에 위치한 간선관거에서의 조도개선이 월류저감효율이 높은 것으로 나타났다.

셋째 조도개선은 하류에서의 침투유량을 증가시킬수 있어서 관거의 위치, 월류지점 등에 따라서 월류저감효과가 없을 수 있으므로 충분한 시나리오 기반으로 최적 위치의 선정이 바람직하다.

넷째는 동일규격의 관거로의 교체인 경우에도 조도계수가 개선된 관거를 선정하여 최적위치를 결정하면 월류저감에 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 간선 관거만을 이용하여 검·보정된 관망도라 하더라도 실제와 다른 결과를 보일 수 있기 때문에 정확한 해석을 위해서는 간선 및 지선의 구분이 명확한 관망도를 이용하는 것이 올바른 해석이라 생각된다.

향후 관의 교체에 있어서 경제성과 최대 저감효율을 고려한 시나리오별 최적분석을 통한 효과분석연구가 수행된다면 최적의 위치와 최대효과를 경제적으로 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Lee, J.H., Jo, D.J., Kim, J.H., and Kim, E.S., An Analysis about Inundation and Carrying Capacity of Drain Pipes in Urban Area, The Korea Academia Industrial Cooperation Society, vol. 8, no. 1, pp. 110-115, 2007.
- [2] Song, Y.H., Jun, H.D., Lee, J.M., and Lee, J.H., Analysis on Discharge Capacity Considering the Sedimentation in Storm Sewer Pipe Line, Korean Society of Hazard Mitigation, vol. 15, no. 1, pp. 345-353, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.1.345>
- [3] Ryu, J. N., Hwang, S. H., Oh, J. I., Hyun, I.H., Kim, Y.R., Kim, C. S., Survey on sewerage operation/management planning for flooding(I), Korean Society of Water & Wastewater, vol. 23, no. 3, pp. 265-270, 2009.
- [4] Park, I.H., and Ha, S.R., An Analysis on Inundation Characteristics of Urban Watershed according to Variation in Return Period of Design Rainfall, Journal of Wetlands Research, vol. 15, no. 4, pp. 585-593, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2013.15.4.585>
- [5] Kwon, S.H., A Study on Water Retention Analysis of Urban using SWMM, Seonam University of Dept. of

civil engineering, Master's thesis, 2011.

- [6] Ahn, S.H., A Study on Protection Urban Inundation using SWMM, Seonam University of Dept. of civil engineering, Master's thesis, 2011.

김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

수자원시스템, 상하수도 관망시스템

조 덕 준(Deok Jun Jo)

[정회원]



- 1989년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 20007년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 건축토목공학부 부교수

<관심분야>

수문환경, 하천, 도시수문학, 수자원

윤 기 용(Ki-Yong Yoon)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 합성구조, 강구조, 내진설계