

RDII발생 및 기존 시나리오에 따른 오수간선 네트워크 설계방법 검토

김정률 · 오재일^{*}

중앙대학교 사회기반시스템공학부

Assessment of Design Method about Sanitary Sewer Network according to RDII and Established Scenario

Jungryul Kim · Jeill Oh[†]

School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang University

(Received 26 February 2016, Revised 22 July 2016, Accepted 25 July 2016)

Abstract

In this study, the RDII impact on sewer designing in the upstream monitoring area (A site) was considered. Based on the long-term (1/1/2011~12/31/2011) rainfall and flow data consisting of 10-min interval sampling in the nearby design area (B site), the maximum RDII/DWF ratio was selected. The sewer network system at B site was evaluated by the Manning equation. Scenario 1 considering the hourly maximum flow with respect to the flow velocity showed that none of the sewer pipes satisfied the minimum flow velocity condition (0.6 m/s), and 40 pipes did not achieve half of the velocity condition. In scenario 2 considering I/I, 1 the pipes satisfied 0.6 m/s, and 35 pipes showed 0.3 m/s. Scenario 3 reflected the effect of RDII. Velocities in 26 pipes were less than 0.3 m/s, and 4 pipes satisfied the velocity condition. With respect to the allowance rate, 17 pipes were shown to have more than 99%, and none of the pipes satisfied less than 95% of the allowance rate in scenario 1. In scenario 2, 17 Ed: Per the Table pipes showed more than 99% and one pipe showed less than 95%. In scenario 3, 16 pipes showed more than 99% of the allowance rate, and 19 pipes showed less than 95%. Based on these results, it is predicted that deposition would occur due to the slow flow velocity; however, capacity would not be a problem.

Key words : Rainfall-Derived Inflow/Infiltration, Sanitary Sewer Systems (SSSs), Sewer Design Analysis, Sewer Network

1. Introduction

하수관로 네트워크를 설계하는 설계 기준 및 방법은 국내 하수도 시설 기준에서 상세하게 언급한다(KWWA, 2011). 해당 기준에서는 계획단계 시, 목표연도와 처리구역을 설정하고 처리구역의 향후 계획들을 고려한 합리적인 계획 하수처리인구를 산정하여, 토지 용도에 따른 하수 원단위를 토대로 하수관로 네트워크를 구성한다. 간선관로 및 유량이 상대적으로 높은 하류 지점인 하수처리시설을 기준으로 대부분 하수관로의 모든 설계가 이루어진다.

이러한, 국내 하수도 시설기준에서는 설계 시 분류식 하수관로에 발생하는 우천일 침입수 및 유입수(Rainfall-Derived Inflow and Infiltration, RDII) 검토를 고려하지 않는다. 미국 환경청(EPA)에서 제시하는 분류식 하수관로 관리 프로그램(Capacity·Management·Operation·Maintenance, CMOM)에 따르면 분류식 하수관로 네트워크 용량 문제에 가장 중요한

요인으로 RDII를 언급하고 있으며, 실제 이러한 RDII를 미국 하수도 설계에서는 반영하고 있다(U. S. EPA, 2005; 2008).

본 연구에서는 분류식 하수관로 시스템으로 이루어진 대상 지점을 강우 시 발생하는 RDII의 영향을 고려한 시나리오에 대해 네트워크의 유속과 여유율을 검토하고자 한다. 네트워크의 특성 검토를 위해 모니터링 지역의 강우량 및 유량 데이터를 활용하여 설계 대상 지역의 RDII 발생량을 결정하였고 그에 따른 시나리오를 선정하였다.

2. Materials and Methods

모니터링 대상 지역(A지역)과 설계 검토 지역(B지역)을 각각 선정하여 A지역에서 실측된 유량 데이터를 토대로 B지역의 RDII량과 청천일 하수량(Dry Weather Flow, DWF)의 비율을 대략적으로 산정하여 설계 검토 지역 관로의 수리 특성을 검토한다.

검토는 3가지 단계로 구분된다. A지역의 RDII/DWF 비를 산정하여 검토지역의 원단위에 반영하고, B지역의 하수관로 네트워크를 유기적으로 연결하기 위한 계산 순서 할당 부분, 각 관로의 수리 특성을 표현하는 Manning 방정식 사용한 관로 모델로 구성된다. 1) RDII량 산정에서는 장기

^{*} To whom correspondence should be addressed.
ohjeill@cau.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

간의 유량 및 강수량 모니터링 데이터를 활용하여 적합한 RDII/DWF비를 산정하여 B의 발생원 원단위를 추론하며, 2) 네트워크 계산 순서 할당 부분에서는 위치 정보가 기입된 하수도 대장 및 설계 DB를 활용하여 네트워크를 구성하는 개별 관로의 수리특성 검토 순서를 할당한다. 마지막으로 3) 관로 수리 모델부분에서는 각 관로의 위치 및 구조 정보 토대로 Manning 방정식을 사용하여 관로의 수리 특성을 나타내는 유속과 여유율을 계산한다.

2.1. 분석 대상 지역

대상 지역은 RDII/DWF를 결정하기 위한 A지역과 실제 시나리오 분석이 진행되는 B지역으로 구성된다. A지역은 1.36 km²에 해당하는 유역으로, 2011년 1월 1일 00시 00분 ~ 2011년 12월 31일 23시 50분까지 10분 간격으로 강우, 하수량 데이터를 차집관로 앞 시스템 말단부에서 획득하였다.

B지역은 유역 크기가 0.1 km²인 하수처리 구역으로, A지역과 비슷한 시기에 BTL사업으로 분류식화된 지역이다. 해당 지역은 65가구, 인구 142명인 소규모 하수처리 구역으로, 간선관로의 상단부에 위치하고 있다. 관로는 PE파이프로 구성되었으며 관경 200 mm, 총 연장 1,800 m로, 네트워크는 67개의 파이프(Link)와 68개의 맨홀(Node) 1개의 펌프스테이션으로 구성되었다. 아래의 Fig. 1(a)는 B지역의

간략한 모식도이며, Fig. 1(b)는 (a)를 3차원으로 나타내어 Node 및 Link의 지반고를 표시한 그림이다. Node는 점으로 Link는 선으로 표시하였다.

2.2. 오수관로 수리 특성 모델

2.2.1. RDII량 산정

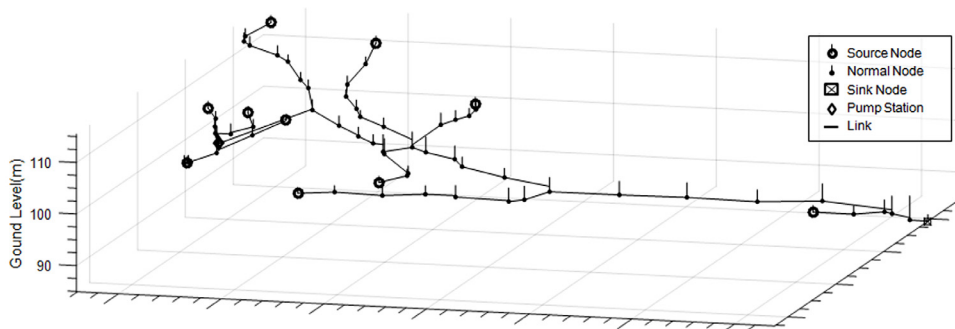
A지역의 RDII 발생량을 산정하기 위해서는 청천일과 우천일에 대한 객관적인 기준을 요구한다. Hyun and Kim (2008)이 환경부에 제출한 보고서에 따르면 우천일은 일 누적 강수량이 3 mm 이상인 날로 판단하며, 우천일 후 2일간을 강우 영향일로 고려하여 하나의 강우 이벤트로 정의한다. 단, 본 연구에서는 10분 간격으로 연속측정된 데이터 장점을 살리기 위해 이동평균(Moving Average, MA)을 사용하여 1일 이동 누적 강수량이 3 mm 이상인 시간을 강우 이벤트로 정의하였으며, 강우 이벤트 직후 2일 이내에 새로운 강우 발생 시 동일 이벤트로 간주하였다. DWF량은 강우이벤트 발생 직전 1주~2주 데이터를 시간대별로 분류 후, 패턴을 생성하여 측정된 유량에서 DWF량을 차감하는 방법으로 RDII량을 산정한다(U. S. EPA, 2014).

2.2.2. 네트워크 구성 방법

B지역의 관로가 구성하는 네트워크를 해석하기 위해, 연



(a) Schematic diagram



(b) 3d figure

Fig. 1. Description of B site using (a) schematic diagram and (b) 3d figure.

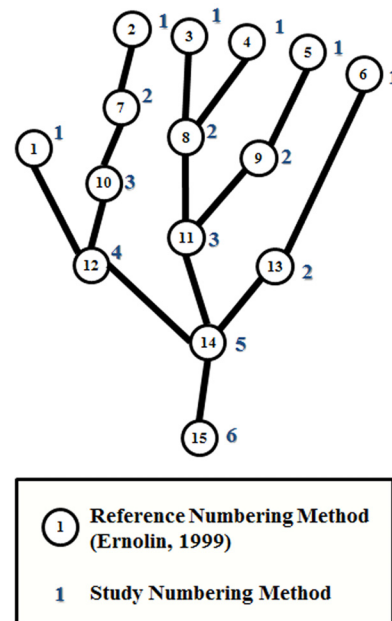
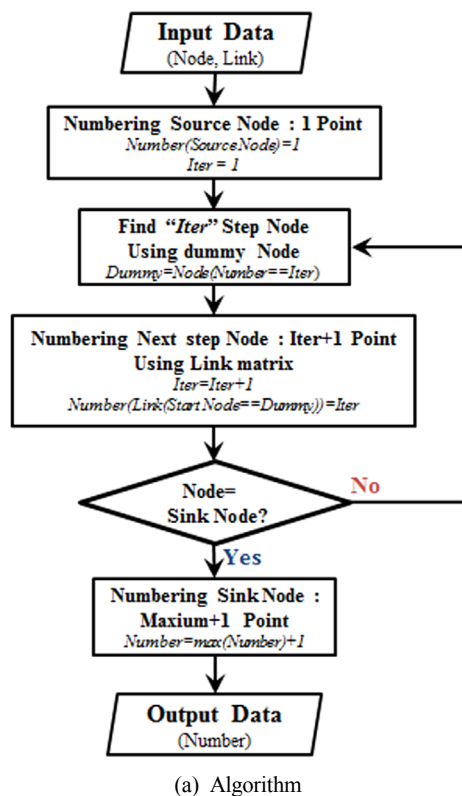


Fig. 2. Concept of priority assignment: (a) Algorithm, (b) Difference between Ermolin (1999) and Research.

결된 관망들의 계산 우선순위를 선행적으로 판단한다. 일반적으로, 상류에 위치하는 Node부터 순차적으로 번호를 부여하는 방식을 사용한다(Ermolin, 1999). 하수도 DB의 가장 대표적인 예시인 하수도대장에서는 Node의 영문과 숫자가 혼합된 이름과, 위치정보 및 Link에 대한 단편적인 정보를 제공한다. 기존 방법은 이러한 DB의 특성으로 인하여, 계산순서에 해당하는 개별 Node 인덱스 번호 할당 시, 사용자가 번호를 임시적으로 부여해야하는 문제점이 발생하며, 시스템에 새로운 Node 추가가 될 경우, 기존 번호들이 모두 수정되어야하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제는 DB와의 자동화된 연동을 방해하는 요소로 작용하여, 기존 알고리즘을 개선하기 위해 Fig. 2(a) 알고리즘을 추가하여 레이어 별 더미 인덱스를 활용하여 각 Node의 임시 번호가 아닌 계산 순서를 할당한다. Fig. 2(b)는 기존 방법과의 노드 넘버링의 차이점을 나타낸다.

2.2.3. 관로 수리 모델

Node는 일반적으로 하수관로 시스템에서 맨홀을 모식하는 모델로 크게 4가지 종류로 구분하였다. 오수관로 네트워크의 초기 시작점인 발생원(Source Node), Link와 Link를 연결하며 유입 유량이 발생하는 일반 맨홀(Normal Node), 펌프스테이션(Pump Station), 최하단에 위치하여 유량이 빠져나가는 유출 노드(Sink Node)로 시스템을 구성한다.

Link 모델은 일반적으로 Node 사이를 연결하는 역할을 수행한다. 관로 설계나, 설계 검토 시, 즉 유체에 대한 동적인 해석이 필요치 않은 경우 일반적인 관로에 대한 모델

로 식 (1)과 같은 Manning 방정식을 사용한다. 식에서 n 은 Manning 조도계수, Q 는 유량(m^3/s), A 는 유수의 단면적(m^2), R 은 경심(m), I 는 동수경사를 나타낸다(KWWA, 2011). 하수도시설기준(2011)에서는 플라스틱관에 해당하는 n 값을 0.011~0.015로 제안한다.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

3. Result and Discussion

3.1. RDII 특성 검토 및 원단위 산정

RDII 발생을 고려하기 위한 미국의 기준은 발생량을 가정하여 설계에 반영하는 일리노이주 방식과(ex. 300-350 gal/capita·day), 미주리주 방식(ex. 500-1000gal/capita·d)이 있으며, 이와 달리 유역 면적을 고려하여 면적별 정해진 RDII 값을 설계에 반영하는 켄터키주 방식이 있다(U. S. EPA, 2008). 이러한 기존 방법에서 제시하는 값은 국내 대상지역에서 부적합한 방법으로 판단되어, A지역의 측정 데이터를 토대로 RDII/DWF 비율을 이벤트별 누적 강우량과 이벤트별 강우강도에 대해 회귀분석을 시행하여 RDII량을 모식할 수 있는 적합한 계수를 찾아내고자 하였다.

Fig. 3는 A지역에서의 강우 이벤트별 통계량(이벤트 강우강도, 이벤트 누적 강우량)과 누적 RDII/DWF 비율을 나타냈다. A지역에서 나타난 최대 강우량은 9.5 mm/10 min, 최대 누적 강우량 427.5 mm, 강우이벤트별 최대 강우강도는

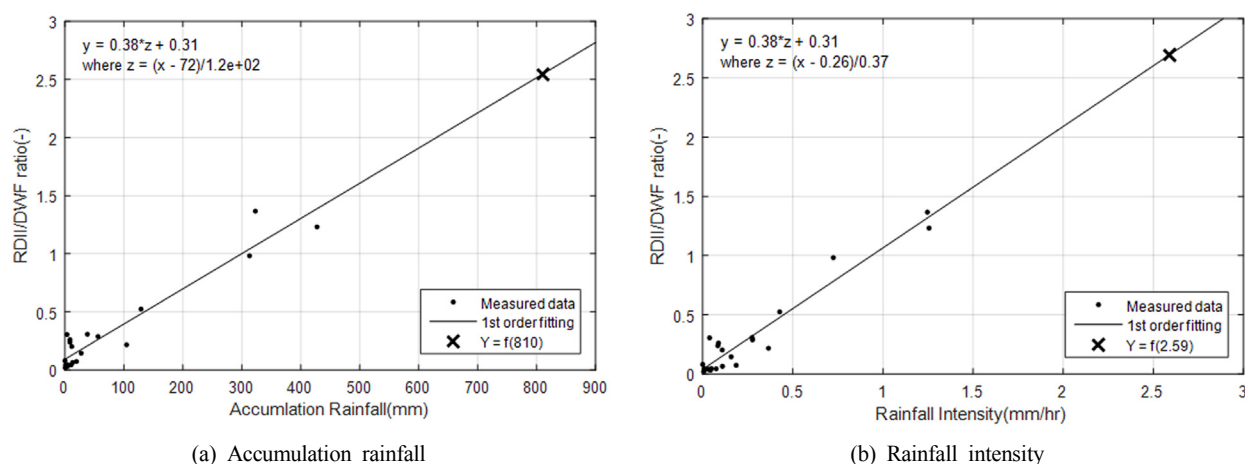


Fig. 3. RDII/DWF ratio estimation of B site by using data from A site about (a) accumulation rainfall and (b) rainfall intensity.

1.3659 mm/hr로 관측되었다. KMA(2016)은 B지역의 5년간 (2011~2015년) 최대 강우량의 평균값으로 18 mm/10 min를 제안하였으며, 두지역의 최대 강우량 비율을 통해 예측된 RDII/DWF 비율은 Fig. 3(a) 누적강수량 그래프에서는 2.55, Fig. 3(b) 강우강도 그래프에서는 2.69로 나타난다.

KWWA(2011)에서 제시하는 기준에 따르면 오수관거는 계획 시간 최대 오수량을 설계에 반영하여 이를 DWF로 사용하여 설계하며, DWF는 크게 생활 오수량, 공장 폐수량, 지하수량으로 구성된다. 생활 오수량은 해당 계획지역 내 상수도 계획 및 1인 1일 최대 급수량을 기초하여 산정되며, 지하수량은 산정된 1인 1일 최대 오수량의 10~20%로 가정한다. 실제 하수도 계획 시간 최대 오수량은 계획 1일 최대 오수량의 1시간당 수량에 지하수량을 고려하여 1.3~1.8배로 결정한다. B지역 관거 정비 보고서에서 따르면 전체 인구증가율은 2015년~2025년까지 수렴한 형태로 6,636명으로 동일하게 설계되었으며, 이를 토대로 산정된 해당 유역 계획 시간 최대 오수량 원단위는 411 Lpcd, 일 최대 생활 오수량은 274 Lpcd, 지하수량은 27 Lpcd(일 최대 생활 오수량의 10%)를 사용하였다(Anseong, 2010). 시나리오 1은 설계 기준인 계획 시간 최대 오수량 원단위만 고려한 경우, 시나리오 2는 원단위에 지하수량을 포함한 경우, 시나리오 3은 RDII량을 고려한 원단위로 2.4절에서 언급한

비율인 DWF량의 2.7배를 가정하여 분석하였다. 이는, 설계 대상지역의 네트워크를 구성하는 관로 노후상태는 동일하다는 가정 하에 오수 발생원에 일괄적인 RDII/DWF 비율을 사용하여 RDII량을 고려하고자 하였다. 설계 대상 지역의 시작점에 발생원 별로 세부적인 유역을 구분하였으며, 시나리오별 산정된 유역별 발생 유량은 Table 1과 같다.

3.2. 수리 특성 검토

3.2.1. 오수관로 유속 검토

국내 하수도 설계기준에서는 오수관로의 최소유속을 Manning 방정식을 통해 산정하며, 퇴적물의 퇴적을 방지하며 유지관리에 용이한 유속으로 0.6 m/s를 추천한다(KWWA, 2011). 하지만, 설계 시 상류지역에서는 기준 만족이 현실적으로 어렵기에 0.3 m/s를 기준으로 설계한다. 유입되는 하수의 경우 Node에서만 발생한다는 가정하에 네트워크를 구성하였으며, 2.2.2에서 언급된 더미 인덱스를 활용한 연산 순서에 따라 검토를 진행하였다.

이를 반영하여 유속에 대한 대상 오수관로 네트워크 지역을 시나리오 1번으로 검토한 결과 Fig. 4(a)와 같이 도식할 수 있다. 해당 지역은 펌프스테이션을 하단 관로를 제외한 모든 관로에서 설계기준에서 제시하는 최저 유속기준인 0.6 m/s 기준을 만족하지 못하고 있으며, 해당 기준의 절반

Table 1. Sub-sewershed characteristics and flow rate in each scenario at B site

Sub-sewershed	Area (m ²)	Number of House holds	Flow rate (m ³ /d) in each scenario		
			Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Sub #1	16,027	5	5.122	5.591	15.096
Sub #2	12,816	14	14.341	15.655	42.268
Sub #3	11,732	13	13.316	14.537	39.249
Sub #4	12,012	6	6.146	6.709	18.115
Sub #5	21,928	7	7.170	7.827	21.134
Sub #6	3,780	4	4.097	4.473	12.077
Sub #7	3,473	4	4.097	4.473	12.077
Sub #8	1,779	4	4.097	4.473	12.077
Sub #9	3,870	5	5.122	5.591	15.096
Sub #10	10,306	3	3.073	3.355	9.057

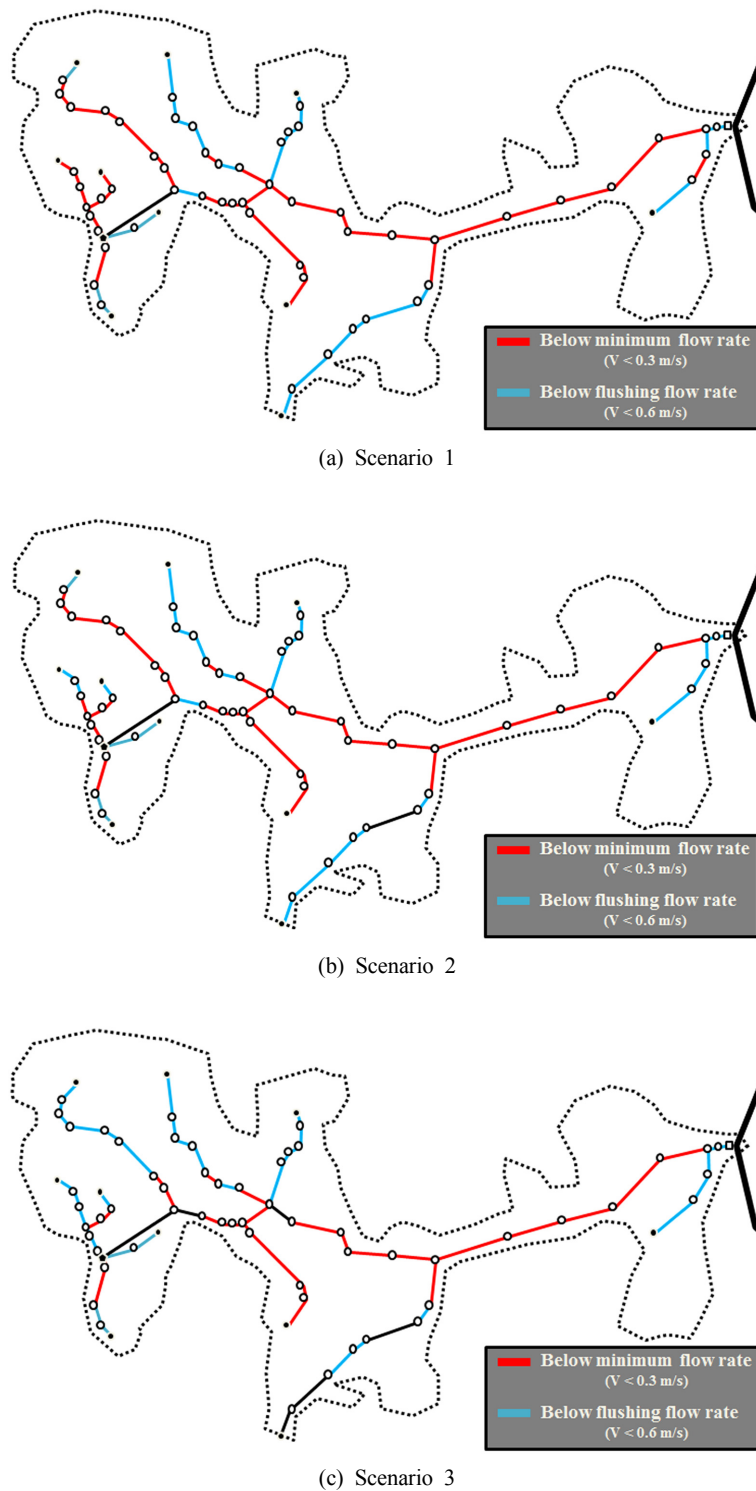


Fig. 4. Schematic diagram of flow velocity at B site about (a) scenario 1, (b) scenario 2 and (c) scenario 3.

값인 0.3 m/s를 만족하지 못하는 관로 또한 40개로 나타났다. 0.1 m/s 이하인 관로 18개, 0.1~0.2 m/s 이하 8개, 0.2~0.3 m/s 14개, 0.3~0.4 m/s 16개, 0.4~0.5 m/s 이상인 관로는 0개로 분석되었다.

KWWA (2011) 설계 기준으로 일 최대 생활 오수량의 10%를 시간 최대 하수량에 추가적으로 고려한 시나리오 2번을 검토한 결과 Fig. 4(b)와 같이 도식되며, 0.3 m/s를 만족하지

못하는 관로가 35개가 나타나며 하나의 관로를 제외한 모든 관로에서 0.6 m/s 설계기준을 만족하지 못한다. 0.1 m/s 이하인 관로 17개, 0.1~0.2 m/s 이하 7개, 0.2~0.3 m/s 11개, 0.3~0.4 m/s 18개, 0.4 m/s~0.5 m/s 10개, 0.5 m/s 이상인 관로는 3개로 분석되었다.

유량 모니터링 결과로서 얻어진 RDII/DWF 비율을 통해 산정된 시나리오 3번은 기존 설계량의 270%의 유량을 고려

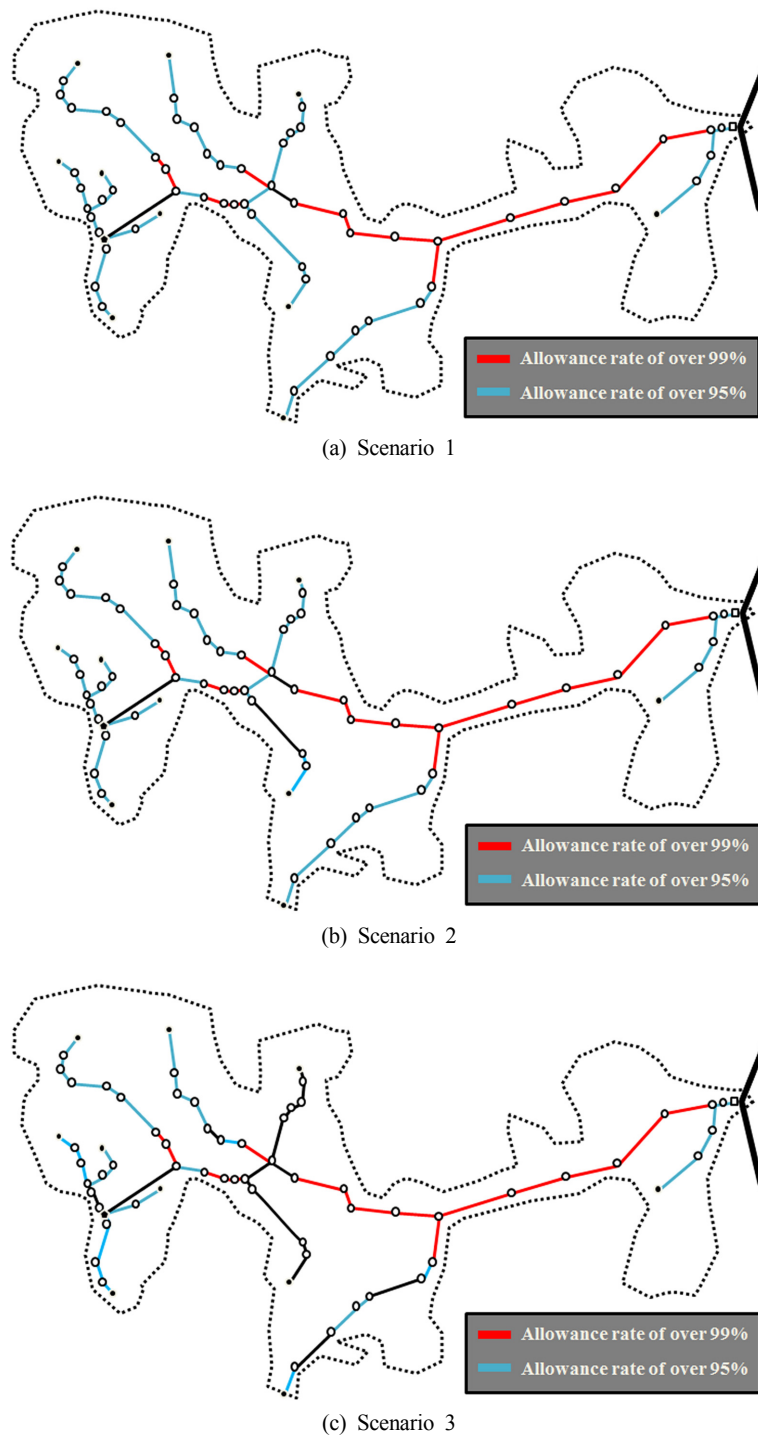


Fig. 5. Schematic diagram of allowance rate at B site about (a) scenario 1, (b) scenario 2 and (c) scenario 3.

하며 유속에 대한 검토 결과 Fig. 4(c)와 같이 도식할 수 있다. 26개의 관로에서 설계기준을 만족하지 못하고 있으며, 0.6 m/s 이상인 지점 또한 4개로 관측되었다. 유속에 따라 관 분류 시 0.1 m/s 이하 17개, 0.1~0.2 m/s 이하 3개, 0.2~0.3 m/s 6개, 0.3~0.4 m/s 13개, 0.4 m/s~0.5 m/s 14개, 0.5 m/s~0.6 m/s 9개, 0.6 m/s 이상인 관로는 4개로 분석되었다.

3.2.2. 오수관로 여유율 검토

설계 기준에서는 200 mm~600 mm에 해당하는 오수관거

를 소구경관거로 분류하고 있으며, 설계시 관거의 여유율이 100%가 되도록 추천하고 있다. 관로 여유율은 일반적으로 h/D 값을 기준으로 산정하였으며, 여유율이 95% 이상에 대한 분류를 진행하였다.

시간 최대 오수량만 고려한 시나리오 1에 대한 검토 결과는 Fig. 5(a)와 같이 도식화할 수 있으며, 여유율이 99%가 넘는 관로 17개, 98~99% 10개, 97~98% 20개, 96~97% 13개, 95~96% 6개, 95% 이하 0개로 나타났다.

시나리오 2번 검토 시, 여유율이 99%가 넘는 관로 16개,

98~99% 6개, 97~98% 21개, 96~97% 13개, 95~96% 8개, 95% 이하 1개로 나타났으며, Fig. 5(b)로 도식화되었다.

RDII량을 고려한 설계인 시나리오 3번의 경우 여유율이 99%가 넘는 관로 16개, 98~99% 0개, 97~98% 9개, 96~97% 16개, 95~96% 6개, 95% 이하 19개로 나타났으며, Fig. 5(c)로 도식화할 수 있다.

3.2.3. 검토 내용 고찰

Table 2는 관로를 시나리오에 따라 유속별로 분류한 표이다. 처리구역 상류 지역에 대한 유속에 대한 명확한 기준은 존재하지 않으나, 설계에서는 분류식 하수관거에서 최저 0.3 m/s 이상을 기준으로 진행하며 유지관리가 용이한 이상적인 유속은 1.0~1.8 m/s로 제안하고 있다. 허나, 모든 시나리오 대해 40% 이상이 최저 기준을 만족하지 못하고 있다. 단, 시나리오 3번에 해당하는 집중강우로 인한 RDII가 고려된 시나리오의 경우, 몇몇 파이프에서 주기적으로 퇴적물의 침전을 억제하는 효과가 나타나 추가적인 준설 작업을 줄일 수 있는 구역이 존재한다. 반면, 2번과 3번 시나리오에서 초차 유속이 0.1 m/s 이하인 지점은 퇴적물의 침전이 발생하여 슬러지 발생가능성이 매우 높아 악취 문제 및 준설작업으로 인한 유지관리비용 발생 문제가 대두될 가능성이 높아 보인다. 대상구역 특성상 인원이 적을 뿐만 아니라 오수 간선관로의 최상단에 위치한 상류부라는 특성 때문에 비용적인 한계로 인하여, 유속 제한조건을 설계 시 만족시키기 어려운 것으로 보인다.

관로 용량을 의미하는 여유율 검토 결과는 Table 3에 정리하였으며 전체 시나리오에서 99% 이상의 여유율이 확보된 관로의 숫자가 24%로 나타난다. 검토결과, 간선 상류부

분의 지역인 대상지역에선 오수관의 용량 문제로 인하여 강우시 월류수(Sanitary Sewerage Overflows, SSOs)가 발생할 가능성이 0%에 수렴한다. 해당 시스템에서 월류수 문제가 나타날 시, Table 2에서 언급된 유속 0.1m/s이하 구역에서 나타나는 퇴적물 등의 유지관리 문제, 혹은 펌프스테이션에 해당하는 노드 지점에서의 운영적인 문제로 여겨진다.

4. Conclusion

본 연구에서는 오수간선의 최상단에 해당하는 오수관로 네트워크의 검토하기 위하여, 기존 하수도시설기준에서 제시된 설계 기준과, 강우 시 RDII 발생량을 고려하여 Manning 방정식을 사용한 관로의 용량 및 유속 검토를 진행하였다. 설계에 활용된 자료를 바탕으로 네트워크 모델을 구축하였으며, 설계 대상 지역의 하수도정비 기본계획 보고서와 모니터링 대상 지역에서 도출된 RDII/DWF 비를 토대로 산정된 시나리오별 발생하는 하수 원단위를 통해 설계 지역에 대한 오수관로 네트워크 유량과 용량에 대한 검토를 진행하였다.

오수관로 네트워크의 유속에 대한 검토 결과 상류지역에 해당하는 설계 지역은 모든 시나리오 대해 대부분의 관로가 시설기준에서 언급하는 최저유속 기준인 0.6 m/s를 만족하지 못하고 있으며, 상류지역의 설계 관행 유속에 해당하는 0.3 m/s를 만족하지 못하는 관로가 40%에 달한다. 이는 해당지역이 상대적으로 퇴적물이 생성될 가능성이 매우 큰 지역으로 추가적인 유지 관리 비용이 요구될 것이다. 단, 집중강우가 발생하는 우천일의 경우 RDII의 증가로 특정 관로는 침전물이 씻겨나가는 현상이 관측될 것으로 기대된다.

네트워크의 여유율에 대한 검토 결과 25%에 육박하는 관로들이 모든 시나리오에서 99%이상의 여유율을 가지고 있다. 이는 현재 하수도 시설 기준에서 언급하는 관로 관경별 여유율이 과도한 수치를 의미함과 동시에 해당 대상지역과 비슷한 조건의 간선관로 상류 지역에서는 강우로 인한 용량 부족 현상은 없을 것으로 예상되며, 해당 현상의 대표적인 예시인 월류수 발생시엔 유지관리 소홀로 인한 결과로 판단된다. 즉, 오수간선 상류지역은 RDII에 따른 시스템의 용량 검토가 아닌 유지관리 문제로 인한 시스템의 성능 저하에 따른 사고발생에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션기술개발사업(과제번호 414-111-006)”으로 지원받은 과제입니다. 이에 감사드립니다.

References

- Anseong. (2010). *Report of Sewer Maintenance Basic Planning*, Anseong, pp. 223-247.
- Ermolin, Y. A. (1999). *Mathematical Modelling for Optimized*

Table 2. Number of links in each scenario according to the flow rate

Flow rate range (m/s)	Number of link		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
less than 0.1	18	17	17
0.1 ~ 0.2	8	7	3
0.2 ~ 0.3	14	11	6
0.3 ~ 0.4	16	18	13
0.4 ~ 0.5	10	10	14
0.5 ~ 0.6	0	2	9
more than 0.6	0	1	4

Table 3. Number of links in each scenario according to the allowance rate

Allowance rate range (%)	Number of Links		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
more than 99	17	17	16
98 ~ 99	10	6	0
97 ~ 98	20	21	9
96 ~ 97	13	13	16
95 ~ 96	6	8	6
less than 95	0	1	19

- Control of Moscow's Sewer Network, *Applied Mathematical Modelling*, 23(7), pp. 543-556.
- Hyun, I. H. and Kim, I. S. (2008). *Study on Computation and Application of Infiltration/Inflow Suitable for Domestic Situation*, Ministry of Environment (MOE), pp. 5-56.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2016). *Domestic Climate Data - Extreme yearly*, http://www.kma.go.kr/weather/climate/extreme_yearly.jsp (accessed in June, 2016).
- Korea Water and Wastewater works Association (KWWA). (2011). *Sewerage Criteria established by Ministry of Environment*, GSDS, pp. 107-125.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2005). *Guide for Evaluating Capacity, Management, Operation, and Maintenance (CMOM) Programs at Sanitary Sewer Collection Systems*, EPA/305/B-05/002, United States Environmental Protection Agency, USA, pp. 1.1-2.7.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2008). *Review of Sewer Design Criteria and RDII Prediction Methods*, EPA/600/R-08/010, United States Environmental Protection Agency, USA, pp. 1-18.
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2014). *Guide for Estimating Infiltration and Inflow*, <http://www3.epa.gov/region1/sso/toolbox.html> (accessed in Jan, 2016).