



# 하수관로정비 지역의 분류식과 합류식 하수관로의 침입율 비교

## Comparison of infiltration rate for separate sewer system and combined sewer system in sewer maintenance areas

구광모<sup>1,2</sup>·저소웅<sup>1</sup>·임봉수<sup>1,\*</sup>  
Gwangmo Gu<sup>1,2</sup>·Shaoxiong Chu<sup>1</sup>·Bongsu Lim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>대전대학교 환경공학과, <sup>2</sup>티에스케이워터  
<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Daejeon University, <sup>2</sup>TSK WATER

pp. 169-182

pp. 183-190

pp. 191-200

pp. 201-210

pp. 211-220

pp. 221-230

### ABSTRACT

This study is to improve the efficiency of BTL (Build Transfer Lease) project operation by comparing the infiltration rate based on the data of 5 years of infiltration of the separate sewer system and combined sewer system. In the survey site, the separate sewer system area consists of eight flowmeters in seven treatment basins, and the combined sewer system area consists of eight flowmeters in five treatment basins. The infiltration rate was analyzed by night-time domestic flow evaluation method, and the average infiltration rates of the separate sewer system and combined sewer system were 13% and 16%, respectively. Combined sewer system was about 1.3 times higher than the separate sewer system. The average BOD of separate sewer system was 233 mg/L, which was about 2.4 times higher than the combined sewer system was 107 mg/L. In the comparison of the average pipe diameter-length infiltration of separate sewer system and combined sewer system, the separate sewer system and the combined sewer system were about 0.150 m<sup>3</sup>/d/mm/km and about 0.109 m<sup>3</sup>/d/mm/km, respectively. The floating population in mixed residential and commercial areas has been identified as the cause. Therefore, we propose a method to calculate the infiltration rate in consideration of the margin ratio in the area where the night active population is concentrated.

**Key words:** Build transfer lease project, Combined sewer system, Separate sewer system, Night-time domestic flow evaluation

**주제어:** 임대형 민간투자사업, 합류식 하수관로 시스템, 분류식 하수관로 시스템, 야간생활하수 평가법

Received 10 February 2020, revised 3 May 2020, accepted 10 May 2020.

\*Corresponding author: Bongsu Lim (E-mail: bslim@dju.kr)

- 구광모 (석사과정) / Gwangmo Gu (Master Student)  
대전광역시 동구 대학로 62(용운동), 34520  
62 Daehak-ro Dong-gu Daejeon 34520, Republic of Korea  
경기도 성남시 분당구 판교역로 231 H-SQUARE S동 10층, 13494  
S-10F H-SQUARE 231 Pangyoeyeok-ro Bundang-gu Seongnam-si Gyeonggi-do 13494, Republic of Korea
- 저소웅 (박사과정) / Shaoxiong Chu (Doctoral Course)  
대전광역시 동구 대학로 62(용운동), 34520  
62 Daehak-ro Dong-gu Daejeon 34520, Republic of Korea
- 임봉수 (교수) / Bongsu Lim (Professor)  
대전광역시 동구 대학로 62(용운동), 34520  
62 Daehak-ro Dong-gu Daejeon 34520, Republic of Korea

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.

## 1. 서 론

환경부에서는 2002년을 하수관로 특별정비 원년의 해로 선포하고 하수관로 보급률을 선진국 수준인 80%이상으로 개선하고자 재정사업을 통한 정비사업과 병행하여 대규모로 하수관로정비 임대형 민간투자사업(BTL: Build-Transfer-Lease, 이하 BTL 사업)을 도입하여 하수관로 확충 및 불량 관로 정비를 수행토록 하였다 (Lee, 2014). BTL 사업은 민간이 자금을 투자하여 사회기반시설을 건설(Build)한 후 국가나 지자체로 소유권을 이전(Transfer)하고, 국가나 지자체에게 시설을 임대(Lease)하여 투자비를 회수하는 사업방식이다. 이에 따라 2005년부터 시행된 하수관로정비 임대형 민간사업은 충북 진천군에서 2008년 최초로 준공되어 현재 운영 중에 있다.

현재 대도시인 D시에서는 일부 지역의 하수관로정비 사업을 BTL 사업 형태로 운영 중이다. 이 중, 상대적으로 신도심의 경우 합류식 하수관로를 분류식 하수관로로 시공을 하였으나, 일부 지역은 원도심이 많은 지역 특성으로 시설 시공과 관리 측면의 효율을 위해 기존의 노후 하수관로 일부를 교체하는 사업으로 시행되었다.

하수관로정비 사업의 성과를 확인하기 위한 방법 중 하나인 하수관로 내 부실도를 평가하기 위한 방안으로 침입수/유입수(Infiltration/Inflow, I/I) 평가를 시행한다. 국내에 본격적으로 분류식 하수관로 정비사업이 수행되기 시작하면서 미국, 유럽 및 일본 등 선진국에서 사용하던 침입수 및 유입수 평가법이 도입되었다. 침입수(Infiltration)란 지하에 매설된 하수관로가 타관통과, 우·오수관의 오접, 관 파손, 이음불량 등의 이유로 하수관로로 유입되는 하수이외의 지하수 및 불명수의 유입 등을 말한다. 침입수의 관리는 하수처리장에서의 유입 유량 및 수질의 확보를 위해 체계적인 하수관로의 계획 및 정비가 필요하다 (MOE, 2009).

환경부에서는 하수관로정비 사업의 평가를 위하여 성과평가위원회를 개최하여 BTL 사업 지역의 운영 성과를 평가하도록 하고 있다. 매분기 운영사의 자체 성과 평가 보고서를 바탕으로 평가가 이루어지며 90점 이상의 평가점수를 얻지 못하는 경우 운영비가 삭감되는 구조를 가지고 있다. 평가항목은 관리, 운영, 유지, 서비스만족도에 관한 항목과 운영개시 3년차 이후부터는 I/I에 관한 성과지표를 포함하도록 되어있다.

운영단계에서 I/I 평가를 위하여 유량, 유속, 수위 등의 자료를 측정하여 3년 동안의 I/I 자료와 4년차의 자료를 비교하여 평가하고 있다 (Kim et al., 2010).

국내에서 많이 사용되는 I/I 분석 방법으로는 물사용량 평가법, 일최대-최소유량 평가법, 일최대유량 평가법, 야간생활하수 평가법 등이 사용되고 있으며, 대다수 국내의 하수관로 임대형 민간사업 운영사의 경우 「하수관거 침입수 및 유입수 산정 표준 매뉴얼」(MOE, 2009)에 따라 I/I 분석을 시행하고 있으며, 야간생활하수 평가법을 기본으로 사용하되 각 지자체와의 협의를 통하여 기타의 방법을 사용하기도 한다.

BTL 운영기관과 지자체가 분기마다 각각 기관에서 평가하는 평가항목중 I/I 항목은 전체 점수에 17.5%를 차지하는 중요한 역할을 한다. 그러나, 성과평가위원회에서 최종 평가시 침입율을 보다 낮게 하는 개선을 요구하더라도 BTL 운영기관은 관로를 설치하는 시공회사가 아니고, 유지관리의 역할만 주로 담당하므로 침입율을 감소하기 위한 관로 신설, 전면 개량 등의 추가적인 계획은 시행하기 어려운 구조적인 한계성이 있어 침입율 개선이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 하수관로정비 BTL 사업을 시행한 지역을 대상으로 분류식과 합류식 하수관로의 침입수 특성을 상호 비교하고, 침입율을 높은 지역의 원인을 분석하여 BTL 성과평가시 평가기관이 I/I 평가항목에 대해서 현장 특성에 고려한 합리적인 평가가 이루어 지도록하는 평가방법을 제안하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 조사대상지역

야간생활하수 평가법으로 침입수 분석을 시행하기 위하여 중장기 유량모니터링 결과를 이용한 I/I 자료를 확보한 D시의 하수관로정비 BTL 사업에 의해 정비공사 준공 후 4년 이상 운영된 지역을 대상으로 선정하였으며 현재, D시에서 운영되는 BTL 사업지역은 2개 지역으로 구분되어 있다.

2개의 지역의 측정 유량 결과 중 결측하였거나 유량계의 계측 한계범위를 넘어선 유량속성인자(수위, 유속, 유량) 자료가 한 개라도 포함된 데이터는 분석대상에서 제외하였다. 조사 지점에는 고정식 유량계가 설치되어 있고, 주거 중심 지역과 주거/상업 혼합



지역을 선정하여 하수량 자료를 측정하였다. Fig. 1과 Fig. 2에 분류식 지역인 D1과 합류식 지역인 D2의 조사 지점과 고정식 유량계 설치 지점을 각각 나타내었다.

Table 1에는 조사지역의 5년간 평균 인구 및 토지 이용 특성을 각각 나타내었다. 분류식 지역인 D1-2지점의 평균 인구는 27,782명으로 D1 지역 중에서 가장 많은 인구를 보유하고 있으며, 면적은 105.4 ha이다. D1-3지점은 전체 측정 지점 중 가장 적은 8.0 ha의 면적의 유량을 측정하며 평균 인구 역시 419명으로 가장 적다.

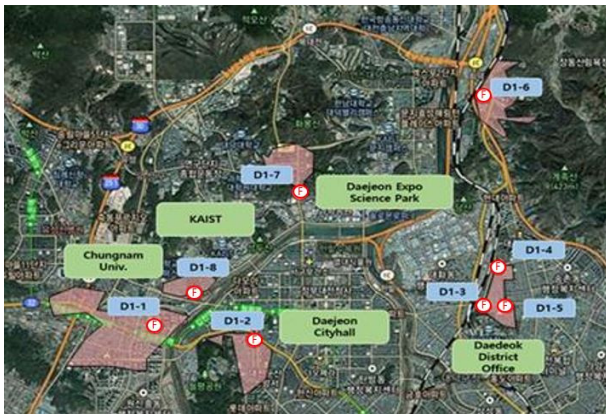


Fig. 1. Location of flow meter and survey point in separate sewer system (D1).

분류식 지역인 D1 구역은 총 7개의 처리분구로 나누어져 있으며, 8개의 유량 지점이 위치하고 있고, 분류식 우수관로 161 km, 우수관로 240 km로 구성되어 있다.

합류식 지역인 D2 지역의 평균 인구 중 가장 많은 지점은 D2-2지점으로 56,896명의 주민등록상 인구로 가장 많은 인구를 나타내고 있으며, 면적은 233.7 ha이다. D2-7지점의 평균 인구가 9,900명으로 가장 적은 인구를 보유하고 있으며 면적은 45.5 ha로 유량 측정의 범위가 좁은 것을 확인할 수 있다.



Fig. 2. Location of flow meter and survey point in combined sewer system (D2).

Table 1. Characteristics of investigation site

System	Survey Point	Average Population (person)	Drainage Area (ha)	Pipe Length (km)	Average Diameter (mm)	Classification Area
D1	D1-1	17,306	151.4	22.14	285	Res.
	D1-2	27,782	105.4	16.15	292	Res./Com.
	D1-3	419	8.0	2.56	200	Res.
	D1-4	5,103	33.2	6.87	228	Com.
	D1-5	3,457	10.3	3.50	229	Res.
	D1-6	14,409	132.7	33.79	217	Res.
	D1-7	4,316	52.3	8.15	271	Res./Com.
	D1-8	3,496	21.2	5.29	301	Res./Com.
D2	D2-1	52,416	190.6	25.71	597	Res.
	D2-2	56,896	233.7	23.38	463	Res.
	D2-3	35,128	75.6	3.82	535	Res.
	D2-4	21,931	66.2	16.78	511	Com.
	D2-5	21,495	77.3	14.89	547	Com.
	D2-6	16,415	119.4	27.17	549	Res./Com.
	D2-7	9,900	45.5	9.19	528	Res./Com.
	D2-8	16,403	63.8	10.7	510	Res./Com.

Note: Res.=Residential area, Com.=Commercial area

pp. 169-182

pp. 183-190

pp. 191-200

pp. 201-210

pp. 211-220

pp. 221-230

합류식 지역인 D2 구역은 총 5개의 처리분구로 나누어져 있으며, 8개의 유량 지점이 위치하고 있고, 합류식 하수관로가 583 km로 구성되어 있다. 합류식 지역인 D2 구역은 기존 합류식 하수관로를 분류식화한 지역이 아닌 기존 노후관로를 교체한 지역이라는 특징이 있다.

## 2.2 조사방법

침입수 분석을 위한 유량 및 강우량 자료는 각 지역마다 설치된 고정식 유량계와 강우설량계를 이용하여 자료 수집을 하였으며, 자료의 수집 기간은 2014년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 1,826일 측정된 유량 및 강우량 자료를 활용하였다.

측정 자료 중 유입수 분석을 위한 우천일과 강우영향일 자료는 합류식 하수관로 지역인 D2 지역에서는 분석이 불가능하여 사용하지 않았다. 측정된 유량 자료는 원격 통신을 이용하여 각 지역의 BTL 운영사가 운영하는 자료로 전송되며 오전 00:00을 기준으로 오후 23:59분까지 24시간 단위로 10분 간격으로 144개의 일단위 레코드로 분류된다. 유량계의 형식은 두 지역 모두 초음파 도플러식 유량계(Mace Pty Ltd., HVFIo)를 사용하였으며, 유량계의 측정 범위 내의 데이터만을 사용하였다.

측정 기간 중 우천일은 270일이었으며, 우수의 영향을 받는 강우이후 2일간에 해당하는 강우영향일을 336일로 우천일과 강우영향일을 제외한 1,220일을 유효자료로 활용하였다. 우천일의 판단은 설치된 강우설량계를 이용하여 누적 강우량 3 mm 이상인 일을 우천일로 판단(MOE, 2009)하였고, 유량조사와 같은 기간 동안의 누적 강우량은 5,605 mm, 누적 강우시간은 1,161분이었다.

침입수 분석을 위한 보조방법으로 실시한 수질조사

는 분류식 지역과 합류식 지역에서 각각 분기 1회를 실시하였다. 시료의 채취는 1 L를 채수하였으며, 4시간 간격으로 지점별 6회 채수를 실시하여 하루 총 48개의 시료를 획득하였으며, 냉동보관 후 전문분석기관에 분석을 의뢰하였다. 분류식 지역의 채수 지점은 고정식 유량계가 설치된 오수전용관에서 수질 분석을 위한 시료를 채취하였으며, 합류식 지역의 채수 지점은 고정식 유량계가 설치된 하수 BOX 말단부에서 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 분류식 지역의 침입수량 분석

침입수의 분석은 환경부에서 제시한 야간생활하수 평가법을 사용하였으며, 이 방법은 일단위 최소발생하수량의 평균값에서 야간오폐수량을 차감하여 침입수량을 산정하는 방법이다. 분류식 지역 8개 지점의 평균 침입율은 13%이며, 지점별 평균 침입율은 D1-2가 최소 3%, D1-8이 최대 37%이었다. Table 2은 분류식 지역의 침입수 분석 결과중 침입율이 가장 높은 D1-8 분석 결과이다. D1-8이외 다른 지역의 침입율 산정 내용은 동일한 방식으로 산정되었으며 관련 문헌(Gu, 2020)에 나타나 있다.

진주시 BTL 사업후 분류식 4개 지점의 침입율은 15% 미만이었으며 BTL 사업전 보다 큰 폭으로 하락하였고(Jeong, 2020), 본 연구의 평균 침입율은 13%로 진주시 보다 약간 적은 침입율을 나타내었다.

그러나, D1-8지점은 다른 지점에 비해 가장 높은 평균 침입율을 보이고 있는 이유는 주변 대학교 변화가 인하여 야간 활동인구의 영향으로 최소하수량 발생 시간대에 하수 발생이 다량으로 올 유발하는 것으로

**Table 2.** Calculation of infiltration in separate sewer system (D1-8)

Survey Point	Year	Average Sewage (m <sup>3</sup> /d)	Minimum Sewage (m <sup>3</sup> /d)	Nighttime Sewage (m <sup>3</sup> /d)	Infiltration Flow (m <sup>3</sup> /d)	Infiltration Rate (%)
D1-8	2014	2,448	1,258	606	652	27
	2015	2,708	1,506	670	836	31
	2016	2,545	1,771	626	1,145	45
	2017	2,456	1,583	602	981	40
	2018	2,607	1,679	639	1,040	40
	Avg.	2,553	1,559	629	931	37



파악하였다. 이 지역은 주민등록상 인구인 3,496명에 비해 야간시간에 약 21,000명 유동인구가 발생하지만 야간생활하수량은 주민등록증 인구에 의해 계산되고, 최소하수량은 유동인구 증가에 의해 실측되므로 침입수량이 증가하여 높은 침입율을 보였다. 여기서 야간 시간에 유동인구 산정은 소상공인진흥공단 상권정보 분석 시스템을 활용하여, 해당 구역내 활동하는 SKT 사용자로 추산하였다.

### 3.2 합류식 지역의 침입수량 분석

합류식 지역의 평균 침입율은 16%이며, 지점별 평균 침입율은 D2-3가 최소 침입율 0%이고, D2-8가 최대 49%이었다. 최대 침입율 기준으로 비교할 경우 합류식 지역이 분류식 지역의 37%에 비해 약 1.3배 높은 침입율을 보였다.

D2-8가 침입율이 매우 높은 이유는 인근 대학교 변화가의 존재로 야간 활동인구가 최소 발생 시간대에 하수를 발생시키는 것과 합류식 지역으로 인한 계곡수의 유입되는 것이 침입수량을 높이는 것으로 파악하였다. 이 지역도 야간생활하수발생량이 실제보다 적게 산정되어 침입수량이 과다로 높은 침입율을 보였다. Table 3은 합류식 지역의 침입수 분석 결과중 침입율이 가장 높은 D2-8 분석 결과이다. 자세한 다른 지역의 침입율 산정 내용은 관련 문헌(Gu, 2020)에 나타나 있다.

### 3.3 하수관로내의 수질 특성

조사대상 지역인 D1 지역과 D2 지역의 5년간 침입수 분석을 위한 하수량 조사와 병행하여 분기별 BOD를 분석을 실시하였다. 두 지역의 수질 조사를 BTL 운영 기관에서 시행한 결과 D1 지역 중 D1-8지역의 평균이 263 mg/L로 BOD가 가장 높은 지역으로 파악됐으며,

D2 지역의 경우 우·오수 분리벽이 설치된 D2-7지점을 제외한 합류식 하수관로 설치 지역 중에서는 D2-8지점이 평균 107 mg/L로 가장 높은 지역으로 파악됐다.

Fig. 3은 연도별 평균 BOD의 변화를 나타내었다. 분류식 지역 전체 평균 BOD는 233 mg/L로 합류식 지역 전체 평균 BOD 97 mg/L에 비해 분류식 지역이 약 2.4배 높은 것으로 파악됐다. 합류식 지역이 분류식 지역에 비해 약 40% 수준으로 수질이 낮은 이유는 합류식 지역은 정화조를 설치하여 가정에서 발생하는 분뇨가 하수관로에 직접 투입되지 않고 정화조에 유입되어 침전, 분해되고 정화조의 상등수만 합류식 하수관로로 배출되기 때문이다. 결국 합류식 하수관로는 생분뇨가 하수관로에 투입되지 않으므로 수질이 생분뇨가 직접 투입되는 분류식에 비해 낮은 수밖에 없다. 또한, 도시 주변 산에서 흘러나오는 계곡수는 시가지 주변까지 흘러들어와 합류식 하수관로의 최상부측에 구조적인 시스템에 의해 유입되므로 침입수량을 증가시켜 하수관로내의 하수 수질은 희석되어 낮아지게 된다. 광주시의 경우 짧은 기간 동안 측정된 자료를 보면 분류식 지역은 평균 BOD가 142 mg/L, 합류식 지역은

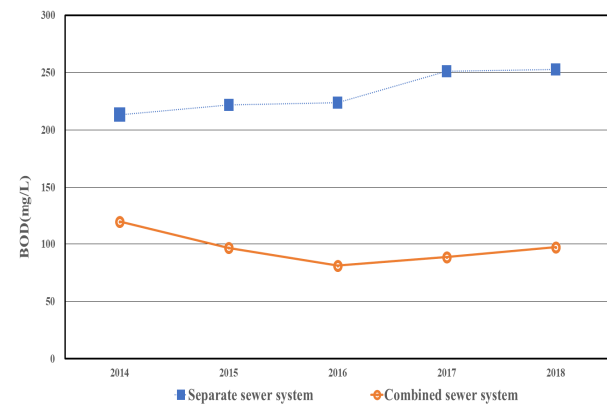


Fig. 3. Annual variation of average BOD in sewer system.

Table 3. Calculation of infiltration in combined sewer system (D2-8)

Survey Point	Year	Average Sewage (m <sup>3</sup> /d)	Minimum Sewage (m <sup>3</sup> /d)	Nighttime Sewage (m <sup>3</sup> /d)	Infiltration Flow (m <sup>3</sup> /d)	Infiltration Rate (%)
D2-8	2014	4,132	3,401	1,318	2,080	50
	2015	4,801	3,733	1,531	2,198	46
	2016	4,768	3,844	1,523	2,321	49
	2017	4,725	3,851	1,507	2,344	50
	2018	4,249	3,430	1,356	2,073	49
	Avg.		4,535	3,652	1,447	2,203

pp. 169-182

pp. 183-190

pp. 191-200

pp. 201-210

pp. 211-220

pp. 221-230

평균 112 mg/L로 분류식이 합류식 지역보다 다소 높은 추세이다 (Song et al., 2004). 전주시의 경우 분류식 지역의 유량가중평균 BOD가 195 mg/L(Jeong, 2020)로 본 연구의 분류식 지역보다 낮은 편이다. 이와같이 지역마다 분류식 지역과 합류식 지역의 수질이 차이가 나타나는 것은 지역의 소득수준, 인구밀도, 관로의 설치년도, 도시계획상 사용 용도 등의 다양한 요소가 영향을 주기 때문이다.

Fig. 4는 분류식과 합류식 하수관로의 지역의 주거 지역과 주거/상업 혼합 지역의 평균 BOD를 나타내었다. 분류식 주거지역인 D1-1은 침입수량이 제일 많은 지역이고 침입율은 15%이다. D1-8은 분류식 지역중 침입율이 37%로 가장 높은 지역이다. 합류식 주거지역인 D2-1은 침입수량이 많은 지역이고 인구가 많은 지역이다. D2-8은 합류식 지역중 침입율이 49%로 가장 높은 지역이다 따라서, 상기 언급한 4개 지역이 침입수량이나 침입율이 높으므로 대표성을 갖는 지역으로 선정하여 상호 비교하였다.

분류식 주거지역의 BOD가 합류식 주거지역에 비해 BOD가 높은 것을 확인할 수 있었고, 주거/상업 혼합 지역이 경우도 분류식이 합류식 보다 BOD가 높았다. D시의 경우 분류식 하수관로 설치는 2013년 1,835 km에서 2018년 1,947 km로 106%로 약간 증가하였고, 합류식 하수관로는 2013년 1,597 km에서 2018년 1,617 km로 거의 변화가 없었다. 합류식에 비해 분류식 관로의 설치가 다소 증가하였으며 이는 하수도 정비 사업이 추진됨에 따라 합류식 하수관로를 분류화시킨 결과이며 이는 분류식 관로의 수질이 증가하는 원인으로 볼 수 있다.

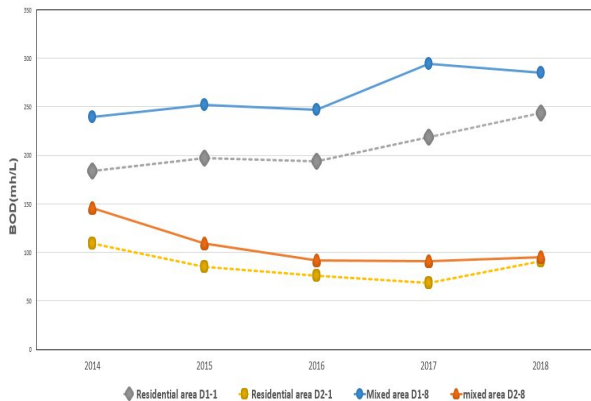


Fig. 4. Annual comparison of average BOD in classification area.

### 3.4 분류식과 합류식 지역의 침입수 발생 특성

Table 4는 지점별 5년동안 평균 침입율을 나타내었다. 야간생활하수 평가법의 관계식은 아래와 같으며, 일최소유량은 00:00AM 시간부터 유량 측정간격으로 점진하는 2시간 단위의 측정유량 평균값이 최소가 되는 2시간 간격을 선별하여 침입수량을 구하였다.

$$\text{침입수량}(\text{m}^3/\text{d}) = Q_{\text{min}} - Q_{\text{NDF}} - Q_{\text{E}}$$

여기서,  $Q_{\text{min}}$  = 일최소유량( $\text{m}^3/\text{d}$ ),

$Q_{\text{NDF}}$  = 야간생활하수량( $\text{m}^3/\text{d}$ ),

$Q_{\text{E}}$  = 공장폐수량( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$$Q_{\text{NDF}} = Q_{\text{average}} \times \frac{\left(\frac{\text{인구}}{1000}\right)^{0.167}}{5}$$

$Q_{\text{average}}$  = 청천일 평균유량( $\text{m}^3/\text{d}$ )

상기 식에서 공장폐수량은 발생하지 않으며 야간생활하수량은 주민등록상의 인구에 의해 산정되고, 최소하수량은 현장에서 유동인구에 의해 증가된 실측량이므로 침입수량은 증가된다. 따라서, 침입율은 침입수량을 평균하수량으로 나누어서 계산되므로 증가하게 된다.

분류식 지역인 D1 지역의 평균 침입율은 13%이었으며, 최소 침입율 지점은 D1-5으로 3%, 10.3 ha 면적에 평균 3,457여명의 인구가 거주하는 지역이다. 이 지점의 경우 아파트가 밀집한 주거 위주의 특성을 가지고 있으며, 최소하수량에 영향을 끼치는 실제 야간생활하수의 발생이 적은 특성을 가지고 있다.

최대 침입율 지점인 D1-8은 21.2 ha의 면적에 평균 3,496여명의 인구가 있다. 이 지점의 경우 주거 및 상업 위주의 특성을 보이고 있으며, 인근 DC대학의 변화가로서 야간 시간대에도 지속적인 활동을 보이는 지역으로 인구를 이용한 야간하수발생량을 산정할 경우 최소하수량보다 야간생활하수발생량이 실제보다 적게 산정되어 침입수량이 과다로 산정되는 문제점이 나타났다. 실제 야간생활하수발생량이 이 지역의 주민등록상 인구에 대학가의 학생들이 주민등록상 인구에 고려되지 않기 때문이다. 보다 현실적인 침입율을 산정하기 위해서는 이 지역은 주민등록상에 의한 야간생활하수발생량에 여유율을 고려해서 계산하는 것이



**Table 4.** Results of average infiltration rate in survey point

Survey Point	(a) Average Sewage (m <sup>3</sup> /d)	(b) Minimum Sewage (m <sup>3</sup> /d)	(c) Nighttime Sewage (m <sup>3</sup> /d)	(d) Infiltration Flow (m <sup>3</sup> /d)	(e) Infiltration Rate (%)	(f) Infiltration by Properties (m <sup>3</sup> /d/mm/km)
D1-1	9,917	4,698	3,177	1,521	15	0.241
D1-2	4,802	1,790	1,664	145	3	0.031
D1-3	369	117	64	53	15	0.104
D1-4	1,142	418	299	120	10	0.077
D1-5	325	89	80	10	3	0.012
D1-6	3,649	1,515	1,223	315	8	0.043
D1-7	1,637	655	415	240	14	0.109
D1-8	2,553	1,559	629	931	37	0.585
Avg.	3,049	1,355	944	417	13	0.150
D2-1	12,034	5,825	4,578	1,248	10	0.081
D2-2	14,724	7,397	5,781	1,616	11	0.149
D2-3	7,168	2,357	2,594	29	0	0.014
D2-4	6,426	3,196	2,154	1,042	16	0.122
D2-5	2,381	626	795	29	1	0.004
D2-6	3,277	1,854	1,046	808	25	0.054
D2-7	1,339	1,822	393	209	16	0.043
D2-8	4,535	3,652	1,447	2,203	49	0.404
Avg.	6,486	3,341	2,349	898	16	0.109

Note: Infiltration Rate(e)=(d)/(a)×100, (d)=(b)-(c)

바람직하다. 이 지역이 야간활동인구가 많은 지역이고 주민등록상에 인구가 고려되지 않은 지역인 경우이므로 여유율을 약 2.1배로 증가하는 것으로 가정하여 침입률을 산정하면 10% 이내로 나타난다. 여기서 침입률=[(1,559 m<sup>3</sup>/d-629 m<sup>3</sup>/d\*2.1)/2,553 m<sup>3</sup>/d]\*100=9.3%로 계산된다.

합류식 지역인 D2 지역의 평균 침입율은 16%이며, 최소 침입율은 0%, 최대 침입율은 49%로 분석되었다. 최소 침입율 지점인 D2-3의 경우, 면적 75 ha, 평균 인구 35,128명이 거주하였으며, 이 지점의 특성이 주거 지역으로서 주로 야간 시간대에 측정되는 최소하수량과 주민등록상 인수로 계산되어지는 야간생활하수발생량과 차이가 발생하지 않으므로 침입율이 평균 0%로 산정되었다.

최대 침입율 49%를 나타낸 D2-8지점은 면적 63 ha, 평균 인구는 16,403명이고, D1-8지점과 마찬가지로 이 지역내에 DP, DH 대학교가 위치하고 있다. D1-8 지점과 D2-8지점 외에 D1-1지점은 규모가 큰 변화가가 위

치하고 있어 침입율이 15%로 비교적 높은 편이고, D2-6지점은 지역내 DW 대학교와 대학에서 운영하는 기숙사 형태의 원룸이 존재하고 있어 침입율이 25%로 평균 침입율 16% 보다 약 1.6배 다소 높은 편이었다.

D2-8지역의 가장 높게 나타난 것은 이 지점에 대학가의 학생들이 밀집되어 있어 야간 활동에 의해 실제 야간하수량이 타지역에 비해 매우 높기 때문이다 (Gu and Lim, 2018; Gu et al., 2019). 이 지역에도 주민등록상 인구에 의한 야간생활하수발생량에 여유율을 고려해 산정하면 침입율에 합리적인 계산이 될 수 있을 것이다. 예를 들어, 이 지역에 여유율은 약 1.9배로 증가하는 것으로 산정하면 침입율은 20% 이내로 나타나고, 약 2.2배로 증가하는 것으로 산정하면 침입율은 10% 이내로 나타난다. 여유율의 증가 정도에 의해 침입율의 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

따라서 환경부에서 주민등록상 인구를 이용한 야간생활하수발생량을 산정한 경우 야간생활하수발생량이 실제 발생량보다 적어 침입수량이 커지게 되므로

pp. 169-182

pp. 183-190

pp. 191-200

pp. 201-210

pp. 211-220

pp. 221-230

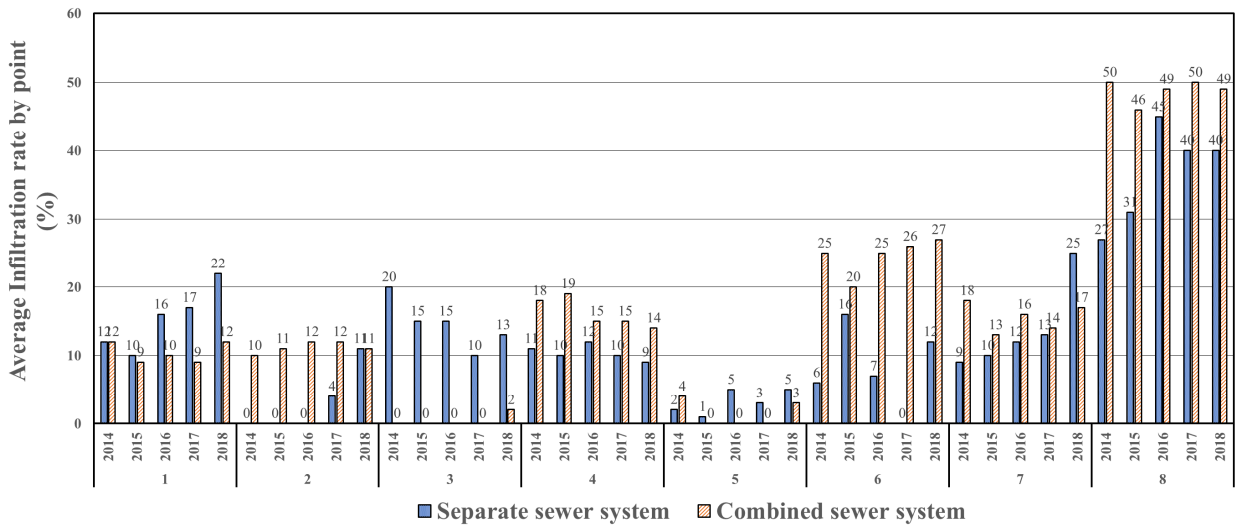


Fig. 5. Annual comparison of infiltration rate in sewer system.

인해 침입율이 과다하게 산정되는 것은 바람직하지 않다. 즉, 주민등록상 인구보다 주민등록상에 나타나지 않는 야간활동인구가 있는 지역은 야간생활하수량에 적정 여유율을 고려하여 야간생활하수발생량을 산정하는 것을 제안한다.

야간하수발생량 산정에 대한 논쟁의 원인이 기초자료의 부정확성과 대상지역의 특성을 고려하지 못함에 따라 실제와 근사한 야간오폐수발생량을 도출하지 못하여 침입수 발생량이 부정확하게 산정되기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 야간하수발생량에 대한 산정근거(상수사용량, 지하수사용량, 인구수, 오수전환율, 24시간 조업 공장폐수 등)를 충분히 확보한 뒤, 이를 바탕으로 침입수 발생량을 산정해야 한다고 제안하였지만 실질적으로 구체적이지 못하다 (Oh et al., 2013).

Fig. 5은 분류식 지역과 합류식 지역의 침입율을 비교하여 나타내고 있으며 지점별 특성에 따라 침입율의 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 주로 주거 특성을 가진 지점의 침입율은 주민등록인구와 야간생활하수발생량의 차이가 크지 않은 것을 확인하였다. 하지만, 일부 지역의 경우 야간생활하수가 유동 인구에 의해 과다 발생하고 최소하수량에 영향을 주어 결과적으로 침입율이 높은 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 평균 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량을 나타내었다. 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량은 침입수량의 상호 비교 지표로 활용되고 있으며, 분류식 지역의 관로 연장 및 관경 당 단위 침

입수 발생량은 평균 0.150 m<sup>3</sup>/d/mm/km로 최소 0.012~최대 0.585 m<sup>3</sup>/d/mm/km으로 나타났다. 합류식 지역의 경우 평균 0.109 m<sup>3</sup>/d/mm/km로 최소 0.004~최대 0.404 m<sup>3</sup>/d/mm/km의 침입수 발생량을 보였다. 분류식 지역의 침입수 발생량이 평균 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량으로 비교할 때 합류식 지역에 비해 다소 높은 수준으로 볼 수 있다. 분류식 지역의 최대 침입율인 지점인 D1-8의 경우 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량이 0.585 m<sup>3</sup>/d/mm/km로 매우 높는데 다른 지역 조사한 경우에도 분류식 지점에서 침입율이 2.7%로 낮지만 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량은 평균 0.629 m<sup>3</sup>/d/mm/km로 높게 나타났는데

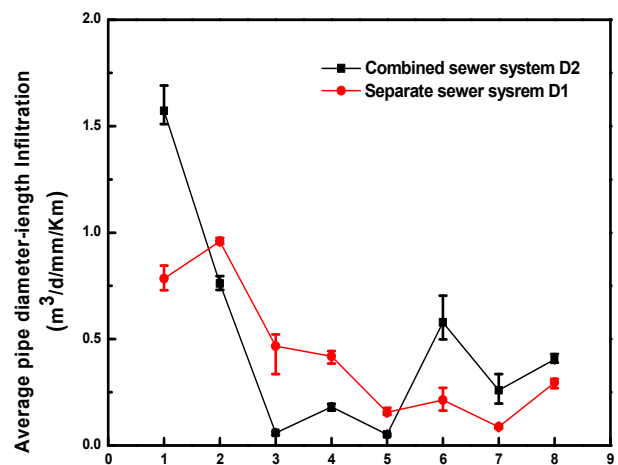


Fig. 6. Comparison of average pipe diameter-length infiltration in sewer.





그 원인을 주거와 상가 혼합지역으로 유동인구가 높은 경우로 보고 있다 (Gu et al., 2011).

김종오 연구결과(Kim et al., 2014)에서는 분류식 지역 4개 지점의 4년간 운영 기간동안 평균 침입율은 21.9%, 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량은 0.031 m<sup>3</sup>/d/mm/km이었다. 이 지점은 BTL 사업 시행에 따르는 신설관로의 보급 및 불량관로 정비 등으로 정기적인 성과평가에 따른 침입수 발생 저감 노력의 효과가 있는 것으로 보고 있다. 상주시 BTL 사업에서 3개 지점의 1년간 조사에 의하면 최대 침입율이 23.5%이었으며, 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량은 0.061 m<sup>3</sup>/d/mm/km이었다 (Lim et al., 2015). 오래된 자료이지만 국내 주요 15개 광역시·도의 평균 침입율과 단위 침입수 발생량은 각각 31%, 0.144 m<sup>3</sup>/d/mm/km (Chang et al., 2009)로 나타났다. 본 연구는 국내 광역시·도와 비교해 보면 평균 침입율은 13~16%로 적은 편이지만 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량은 유사한 결과를 나타냈다.

## 4. 결 론

본 연구는 D시 하수관로정비 임대형 민간투자사업 지역의 분류식과 합류식 하수관로 지역의 침입수를 5년간 조사한 자료를 토대로 침입수 특성과 침입율을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 분류식 지역의 평균 침입율은 13%이며, 지점별 평균 침입율은 최소 3%~최대 37%이었다. 합류식 지역의 평균 침입율은 16%이며, 지점별 평균 침입율은 최소 0%~최대 49%이었다. 최대 침입율 기준으로 비교할 경우 합류식 지역이 분류식 지역에 비해 약 1.3배 높은 침입율을 보였다.

(2) 분류식 지역의 하수관로내 하수의 평균 BOD는 233 mg/L로 최소 207 mg/L~최대 263 mg/L로 나타났으며, 합류식 지역의 평균 BOD는 96 mg/L로 최소 86 mg/L~최대 112 mg/L로 나타났으며, 평균 BOD를 비교할 경우 분류식 지역이 합류식 지역에 비해 약 2.4배 높았다. 합류식 지역은 정화조 설치 및 계곡수의 유입이 지속적으로 존재하는 지역으로 분류식 지역에 비해 BOD가 상대적으로 낮게 나타났다.

(3) 평균 관로 연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량은 분류식 지역의 경우 평균 0.150 m<sup>3</sup>/d/mm/km, 합류

식 지역은 평균 0.109 m<sup>3</sup>/d/mm/km이었으며, 각 지역에서 침입율이 최대로 높은 지역은 평균치에 비해 이 지표도 약 4배 높게 나타났다.

(4) 환경부에서 제시하는 인구를 이용한 야간하수 발생량을 산정할 경우 주민등록상 인구에 나타나지 않는 야간활동인구가 밀집된 지역은 야간생활하수발생량에 적합한 여유율을 고려하여 침입율을 산정하는 방안을 제안한다.

## References

- An, D.H. and Kim, J.O. (2013). Analysis on effectiveness of sewer rehabilitation project and study on improvement of fixed flow meters, *J. Wet. Res.*, 15(4), 461-469.
- Chang, D.H., Han, I.S., Woo, B.H. and Hong, S.J. (2009). Analysis of correlation between defective number of sewer pipes and I/I(Infiltration/Inflow) volume, *J. Korean Soc. Water and Wastewater*, 23(3), 321-329.
- Gu, G.M. and Lim, B.S. (2018). "An analysis of characteristics of Infiltration /Inflow (I/I) at combined sewer in large city", *Proceedings of Korean Society of Environmental Engineers Domestic Conference*, 14-16 November, 2018, Gwangju, Korea, 519-520.
- Gu, G.M., Chu, S.X. and Lim, B.S. (2019). Characteristics of Infiltration at Combined Sewer Area in Daejeon Metropolitan City, *J. IIT(Daejeon Univ.)*, 30(1) 33-40.
- Gu, G.M. (2020). Comparison of Infiltration Rate of Separate Sewer System and Combined Sewer System in Sewage Pipeline Maintenance Areas in Large City, Master's Thesis, Daejeon University, 29-34.
- Gu, J.E., Lee, H.S., Son, G.T., Lee, S.E. and Lee, S.H. (2011). Analysis of infiltration/inflow at dry and rainfall periods in separated sewer system of Nakdong River Basin, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 25(1), 75-84.
- Jeong, Y.H. (2020). A study on Improvement of Management for Sewage Treatment Plant in Sewer Rehabilitation Project, Master's Thesis, Gyeongnam National University of Science and Technology, 32-33.
- Kim, H.J. and Park, K.H. (2010). Statistical methods for the use of infiltration and inflow as performance index in sewer rehabilitation works, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 24(5), 617-628
- Kim, J.O., Jeong, D.G. and An, D.H. (2014). A study on improvement of inflow/infiltration computation and application method in sewer rehabilitation project, *J.*

pp. 169-182

pp. 183-190

pp. 191-200

pp. 201-210

pp. 211-220

pp. 221-230

- Korean Soc. Water Wastewater, 28(1), 33-45.
- Lee, T.J. (2014). A Study on Analysis of Effectiveness in BTL Sewer Rehabilitation, Master's Thesis, Kangwoon University.
- Lim, Y.S., Son, B.C. and Choi, Y.Y. (2015). Classification expression sewer rehabilitation regional infiltration/inflow analysis, J. Korean Soc. Water Sci. Technol., 23(2), 67-79.
- Ministry of Environment(MOE). (2009). Standard manual for the computation of sewage conduit infiltration & inflow.
- Oh, J.I., Lee, J.H. and Jin, S.K. (2013). Queries for standard sewer infiltration/inflow assessment, J Korean Soc. Water Wastewater, 27(2), 285-290.
- Song, I.S., Kim, H.J., Lim, H.S. and Lee, S.K. (2004). Investigation of inflow and infiltration of combined and separated sewer system at Gwangju city, J. KTSWT, 12(1), 83-96.