

## 차집관로의 조사 및 분석을 통한 하수관로정비 사업의 효과 감소 원인 분석

채명병·배영혜\*·김형수

인하대학교 사회인프라공학과  
\*인하대학교 수자원시스템연구소

### Cause Analysis for Reduced Effect of Sewer Pipe Improvement Project Based On Investigation of Interceptor Sewers

Myungbyung Chae·Younghye Bae\*·Hungsoo Kim

Department of Civil Engineering, Inha university, Korea

\*Institute of Water Resources System, Inha University, Korea

(Received : 27 March 2018, Revised: 15 June 2018, Accepted: 19 July 2018)

#### 요약

차집관로는 국유지가 많은 하천변에 매설되어 있어 파손이나 침입수/유입수(불명수, I/I)의 유입으로 공공하수처리시설의 운영효율이 떨어지며, 하수관로 정비사업의 효율도 저하되는 것으로 나타났다. 본 연구는 하수관로 정비사업 효과의 감소원인에 가장 많은 영향을 미치는 차집관로를 대상으로 감소원인에 대한 분석을 하였다. 즉, 대상지역 3개소를 선정하여 차집관로의 현황조사(관로연장, 관경, 관종, 매설년도, 매설위치 등), 차집관로에 대한 차수(Pump 작업) 및 준설작업을 병행한 관로내부(CCTV)조사, 맨홀내부(육안)조사, 유량 및 수질조사 결과를 이용한 오염부하량 산정 등을 수행하였다. 합류지역은 동시다측점 유량조사와 차집관로 유량 및 수질(BOD)조사, 오염부하량 비교 등을 수행하였으며, 차집관로 부설화에 따른 침입수/유입수 발생 현황 등 실태조사를 실시하였다. 연구결과, 하수관로정비 사업의 효과를 감소시키는 주요 원인은 차집관로의 노후화 및 미정비로 인해 공공 하수처리시설로 저농도 하수 및 불명수 유입되기 때문인 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 차집관로, 유량/수질조사, 오염부하량, CCTV조사, 침입수/유입수

#### Abstract

Interceptor sewer is installed underground near to the river side mostly of state-owned land and the management efficiency of public sewage disposal facilities is decreasing as too much infiltration/inflow(I/I) and river flow to interceptor sewer are caused by broken or deteriorated sewer. This also affects the sewer pipeline project and decreases its efficiency. Therefore, the aim of this study is to investigate interceptor sewer which has influence on the reduction of the project effect. The investigation were performed for three study areas. The study includes the investigation of current condition of interceptor sewer(sewer extension, pipe diameter, pipe type, installed year, installed locations, etc), investigation of inside of sewer by CCTV accompanied by pumping and dredging works where required, investigation of inside of manholes by eyes, calculation of pollutant load using the results of investigation of flow quantity and quality. Multipoint investigations were simultaneously performed for flow quantity at confluence area and other investigations were also performed for flow quantity and BOD for interceptor sewer and comparison of pollutant load, investigation of infiltration/inflow(I/I) caused by deterioration of interceptor sewer. As the result of the study, a main reason for reduced effect of sewer pipe improvement project was analyzed as the low-density sewage and I/I in public sewage treatment Facility due to deteriorated and unmanaged interceptor sewers.

Key words : Interceptor sewers, Flow / water quality, Pollution load, CCTV, Infiltration/Inflow(I/I)

## 1. 서 론

한강수계 하수관로정비사업(1~3단계) 백서(환경부, 2015)에 따르면, 차집관로는 대부분 국유지가 많은 하천변에 매

설되어 있어 관로가 파손되거나 노후화가 될 경우, 불명수 유입 및 하천수의 과다 유입으로 공공하수처리시설의 운영효율이 떨어지게 되고, 이로 인해 하수관로정비 효율이 저하되는 것으로 알려져 있다. 또한 차집관로는 매설심도가 깊고 만관에 가까운 하천수가 지속적으로 흐르는 상황으로 내부 실태조사가 어려워 문제점 파악 및 개보수가 곤란한 실정이다. 위와 같은 문제점 해소를 위해서는 하수관로

\* To whom correspondence should be addressed.  
Institute of Water Resources System, Inha university, Korea  
E-mail: yhbaebae@gmail.com

뿐만 아니라 차집관로를 포함한 전체 관로시설에 대한 정비가 요구된다.

서울특별시는 차집관로 성능개선 기본·실시계획 및 전산화 DB구축(중량, 난지)은 하천부지 등에 매설된 차집관로의 성능개선 및 종합관리를 시행하고자 기존 차집관로 기능회복을 위한 보수, 보강 등 대대적인 종합정비를 실시하였다. 환경부의 차세대 이노베이션 구축사업 연차보고서(3년차-차집관로편: 전국 지자체 차집관로 실태조사)는 차집관로의 문제점을 파악하고자 81개 광역시 및 시·군을 대상으로 차집관로 시설물 현황 및 유지관리 실태에 관한 설문조사를 토대로 실제 현장조사의 필요성을 검토하였다(환경부, 2014). 한국환경공단(2013)은 하수관로 BTL사업 대상지역 내 사업효과 감소원인 분석 및 개선방안 마련하였는데 이는 시범지역내 차집관로 현황 및 실태조사를 토대로 정비방안 검토 및 규모를 제시하였다. 환경부의 전국 차집관로 정비대책 수립 연구는 전국 차집관로 및 오수간선관로 현황 및 운영실태조사를 통하여 정비방법 및 유지관리방안, 사업추진대상 선정 및 사업효과 등을 마련하고 관로정비 중장기대책을 수립하였다(환경부, 2015). 또한 Lee and Lee(2006)는 차집관로 보수 전·후의 유량 및 수질을 조사하여 침입수/유입수 저감효과를 평가하였고, Lee et al.(2008)은 과거 연속강우사상 자료를 이용하여 기준강우를 산정하고, 차집관로의 기준 용량 설정의 적정성을 평가하였다. Zhou and Lim(2014)은 대전 3대 하천을 대상으로 차집관로 설치에 따른 수질변화를 분석하였고, Lim et al.(2015)은 차집관로로 유입되는 오염부하량을 제어하기 위하여 개폐구 덮개판 각도 및 유입유량 간격 조절이 가능한 장치를 개발하였다.

국외의 연구동향을 보면, Thomas et al.(2000)은 차집관로를 위한 최적의 오염 제어 모델을 개발 하였고, 개발한 모델을 획득한 폭풍우가 잦은 영국 리버풀 북쪽의 차집관로에 적용하여 물리적으로 실현가능한 해결책과 고정된 지역 제어 방법을 산출하였다. Almeida et al.(2000)은 포르투갈의 차집관로를 대상으로 수질을 결정하는 여러 인자들의 변화를 수량화하기 위하여 실험을 시행하였다. 일본 국토기술종합연구소(2002)의 오수관 침입수에 관한 조사보고서는 우천시 오수관로의 침입수에 대해 실태를 파악하는 동시에 침입수의 특성을 파악·분석하고 평가기법을 확립하는 것을 조사하였다(환경부, 2014). 미국 환경보호국(EPA, 2008)의 Review of Sewer Design and RDII Prediction Methods는 전국적 오수관로 시설현황 및 문제, 경제적 침입수/유입수(I/I) 감량을 위한 EPA 접근방식을 조사하였다(환경부, 2014). Madryas and Wysocki(2008)는 폴란드에 19세기와 20세기 초에 건설된 벽돌식 차집관로의 구조와 주위 지반의 피해 상황에 대하여 연구하였으며, 이는 현장조사, 실험실 실험, 관로의 구조와 내구성 분석, 그리고 관로 구조의 상태를 바탕으로 연구가 이루어졌다.

위와 같이 다양한 연구와 조사가 진행되고 있으나 종합적이고 체계적인 분석기법이 명확하게 마련되어 있지 않아

법적 구속력이 낮기 때문에 기존의 하수도시설 정비사업의 기준으로는 차집관로의 특성을 반영하기에는 한계가 있다. 이에 대해 차집관로 정비를 위한 상세조사를 통해 전반적인 문제점을 파악하고 개선방안을 수립하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 차집관로의 노후화 및 미정비로 인하여 저농도 및 다량의 불명수가 공공하수처리시설로 유입되어 운영비 증가를 초래하고 있는 3개소의 차집관로를 대상으로 현황 및 실태조사를 수행함으로써 하수관로정비임대형 민자(Build-Transfer-Lease, BTL)사업의 효과가 감소되는 원인을 분석하고자 한다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1 대상지역 선정 및 차집관로 현황조사

본 연구의 대상지역은 하수관로정비 임대형 민자사업(BTL) 대상지역내 사업효과 저감원인 분석 및 개선방안 마련(한국환경공단, 2013)에서 BTL사업이 준공된 지역(29개소)에 대하여 하수배제방식, 하수처리의 시설용량, 유입수질 및 오염부하량 현황, 침입수/유입수 유입현황, BTL사업 외 지역의 하수유입여부 등의 기준을 토대로 Table 1에 제시된 항목들을 점수화하여 대상지역별 정량평가를 수행한 후, 평가 점수 결과에 의해 선정된 5개 지역중에서 3개 지역을 본 연구의 대상지역으로 선정하였다. 선정된 대상지역은 Fig. 1과 같이 A, B, C로 표기하였다.

연구 대상지역의 차집관로 조사를 위하여 3개소의 대상지역에 대한 차집관로 연장, 관경, 관종, 매설위치를 Table 2에 나타내었으며, 대상지역의 차집관로는 하류방향 일수록 관경이 커지고 있고, A, B, C지역의 관경은 D200 ~ 1,350mm 범위를 보이는 것으로 나타났다. 또한 연구 대상지역의 관종은 유리섬유복합관(Glass fiber reinforced Plastic pipe, GRP), 프리스트레스 콘크리트관(prestress concrete pipe, PC), 폴리에틸렌관(Polyethylene pipe, PE), 덕타일주철관

Table 1. Evaluation items for selection of survey area

Item	Point
Sewer System of Survey Area	-
Capacity of Sewer Treatment Facility	5
Inflow Concentration of Sewer Treatment Facility	25
Inflow Load of Sewer Treatment Facility	20
Infiltration/Inflow(I/I) Rate of Survey Area	25
Inflow Rate from Outside of Survey Area	25
Sum	100

Table 2. Characteristics of interceptor sewers in the survey area

Area	Pipe type	Pipe diameter(mm)	Pipe length(m)
A area	GRP, PC	D300~D800	22,220
B area	PE, HP	D200~D1,350	16,543
C area	PC, DCIP	D450~D1,100	13,577

(Ductile Iron pipe, DCIP), 흙관(Hume Concrete pipe, HP)으로 조사되었다.

연구 대상지역의 차집관로 조사를 위하여 유량 및 수질조사 결과를 이용한 유량 및 오염부하량 모식도, CCTV조사, 침입수/유입수(I/I) 조사를 실시하였으며, 연구 대상지역별 차집관로 연장, 관경, 부설위치 등을 Table 2에 제시하였다. 차집관로에서 발생하는 유량패턴 조사결과와 CCTV

조사결과를 보다 신뢰성 있고 일관성 있게 표현할 수 있도록 조사결과(유량, 수질)를 이용하여 차집관로내 유량 모식도를 Fig. 1과 같이 작성하였다. 유량계는 직관부가 확보되고 하수의 흐름이 안정적인 장소, 진동이나 충격이 없거나 적은 장소, 흐름의 정체 현상이 없거나 적은 장소 등을 고려하여 설치하였다. 또한 수질조사는 유량조사지점과 동일한 지점에 대하여 수행하였고, 수질오염공정시험법에 준한 수질채수 및 분석을 실시하였다.

### 2.2 차집관로 조사방법

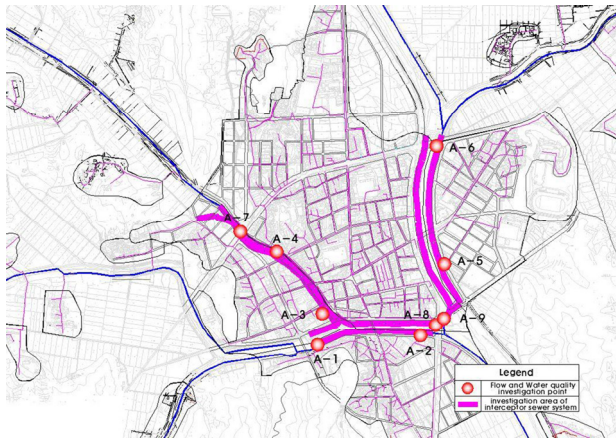
연구 대상지역의 차집관로에 대한 유량 및 수질조사, 관로 내부조사(CCTV) 등을 수행한 후, 침입수/유입수 분석 및 하수발생량 모식도를 통한 Mass balance를 분석하도록 하였다(한국환경공단, 2013).

- 1) 해당 주무관청, 하수처리시설 운영사 및 하수관로(BTL) 운영사 등 차집관로 운영관리기관의 협조를 통한 BTL 사업지역의 차집관로 현황조사(관로연장, 관경, 관종, 매설연도, 매설위치 등)를 수행하였다.
- 2) 차집관로에 대한 차수(Pump 작업) 및 준설작업을 병행한 관로내부(CCTV)조사 맨홀내부 육안조사 등을 수행하였다.
- 3) 연구대상지역에 대한 유량 및 수질조사 결과를 이용하여 오염부하량을 산정하였다.
- 4) 대상지역 합류지점은 동시 다측점 유량조사와 차집관로 유량 및 수질(BOD)조사, 오염부하량 비교 등을 수행하도록 하였으며, 조사결과에 따른 BTL사업효과 감소원인 분석을 위하여 대상지역내 차집관로 부설화에 따른 침입수/유입수(I/I) 발생현황 등 실태를 조사하였다.

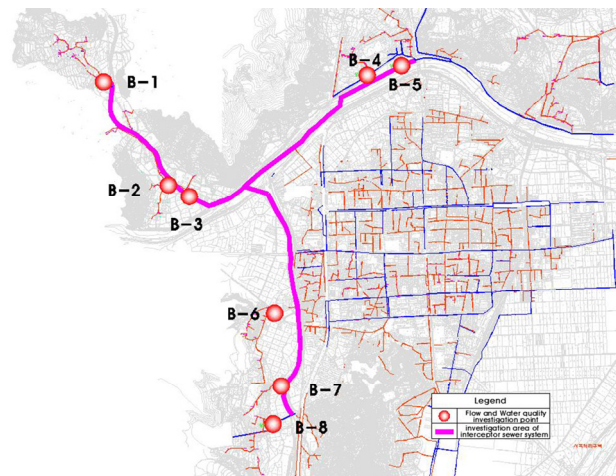
## 3. 차집관로의 유량 및 수질 조사분석

### 3.1 A지역

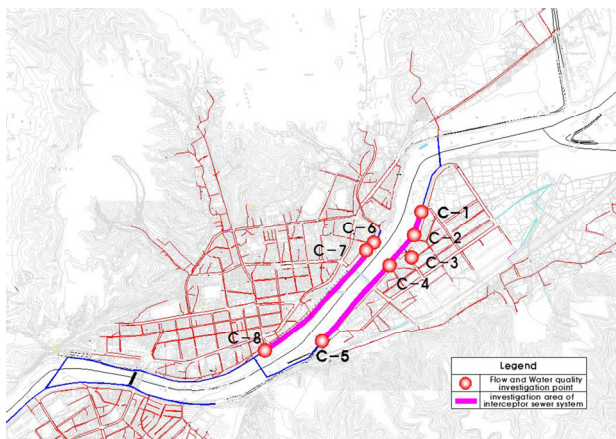
A지역은 총 9개 지점에 대하여 Fig. 1-(a)과 같이 1구간(A-1→ A-2), 2구간(A-6→ A-9), 3구간(A-7→ A-8)으로 구분하여 유량조사를 수행하였다. A지역의 구간별(3개)로 고정식(3개) 및 이동식(6개) 유량계로 9개 지점에 대한 유량패턴 조사 결과를 Fig. 2와 같이 모식도(Mass Balance)를 이용하여 불명수(I/I)를 분석하였다. 모식도 중 A-1~A-9조사지점은 본 연구를 위하여 설치된 이동식 유량계이며, SS-1, SS-2 및 HG-3(Fixed)는 관로운영관리기관에서 설치한 고정식 유량계 조사지점(삼산: SS, 향건: HG)을 나타낸다. 유량 조사결과, 1구간은 A-1지점에서 254m<sup>3</sup>/일, HG-3지점에서 158m<sup>3</sup>/일, A-2지점에서 306m<sup>3</sup>/일의 유량이 발생하는 것으로 나타났으며, A-2지점은 A-1지점과 HG-2지점의 하수가 유입되는 지점으로 두 조사지점의 합이 412m<sup>3</sup>/일로 실제 조사지점(A-2)의 측정 값인 306m<sup>3</sup>/일과 -106m<sup>3</sup>/일로 분석되었다. 2구간은 115m<sup>3</sup>/일, 3구간은 151m<sup>3</sup>/일의 차이를 보이는 것으로 나타났으며,



(a) A area



(b) B area



(c) C area

Fig. 1. Flow and water quality investigation section

Table 3. BOD of interceptor sewer system in A area

Sampling Episode	BOD in Interceptor Sewer System(mg/L)						BOD in BTL area(mg/L)		
	A-1	A-2	A-6	A-9	A-7	A-8	A-3	A-4	A-5
Sampling 1	47.7	69.3	149.3	166.2	80.4	126.8	179.1	188.2	180.8
Sampling 2	66.6	73.6	115.4	175.6	75.9	152.5	183.4	207.1	181.6
Average	57.2	71.5	132.4	170.9	78.1	139.7	181.3	197.7	181.2

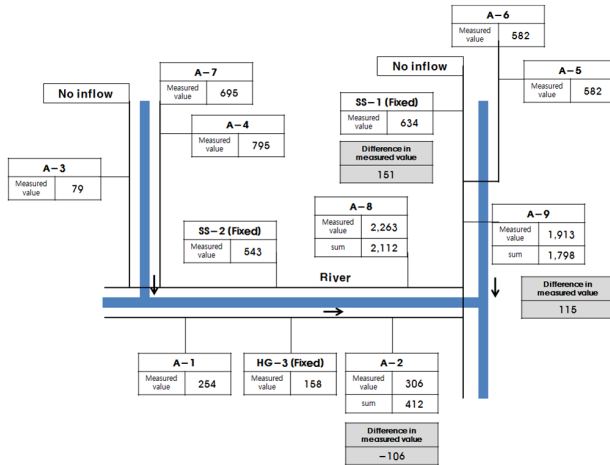


Fig. 2. Diagram of flow rate for interceptor sewer system in A area

1 구간은 차집관로 조사구간이 짧고 CCTV조사결과에도 큰 이상항목이 보이지 않으므로 조사지점의 영향에 따른 차이를 보이는 것으로 나타났고, 2구간 및 3구간은 실측대비 차이는 크게 나타나지 않고 있는 것으로 분석되었다.

A지역의 수질조사(BOD) 결과는 Table 3과 같이 181.2 ~ 197.7mg/L로 차집관로 수질조사 결과인 BOD 57.2 ~ 170.9mg/L 보다 다소 높게 나타나고 있는 것으로 분석되었다. 이는 BTL사업지역에서 발생되고 있는 오수의 영향으로 BTL지역의 조사지점이 차집관로 조사지점보다 다소 높은 수질농도를 보이고 있다.

3.2 B지역

B지역의 차집관로 내 유량을 조사하기 위하여 처리구역 별 Fig. 1-(b)와 같이 총 8개 지점에 대하여 유량조사를 실시하였다. B지역의 차집관로 시점부(B-1, B-8)는 사업외 지역에서 유입되는 하수가 없는 것으로 조사되어 BTL사업 지역에서 발생하는 하수만을 이용하여 차집관로의 문제점을 분석하였다. 관로 운영기관에서 운영하는 고정식 유량계는 없는 것으로 조사되어 본 연구에서 수행된 유량조사 결과 값만을 고려하여 유량분석을 수행하였다. B지역의 유량

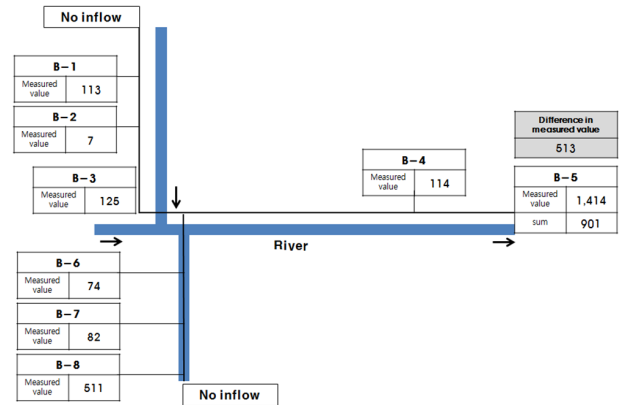


Fig. 3. Diagram of flow rate for interceptor sewer system in B area

조사결과는 Fig. 3과 같이 차집관로 최하류부인 B-5 조사지점에서 측정된 값이 1,414m³/일로 상류부(B-1~B-4, B-6~B-8)에서 측정된 유량 값의 합(sum)인 901m³/일 보다 513m³/일 만큼 큰 것으로 분석되었다. 이러한 차이는 상류부(B-1~B-4, B-6~B-8)에서 유입되는 하수 이외에 차집관로로 유입되는 불명수의 영향으로 인하여 발생하는 것으로 분석되었다.

B지역의 차집관로 수질 조사결과는 Table 4와 같이 상류지점의 B-3은 174.4mg/L를 보이고 있으나, 하류지점의 B-5는 55.4mg/L로 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다. 차집관로 상류부(B-3)는 BTL사업지역에서 유입되고 있는 오수를 바탕으로 분석한 결과, 오수의 유입이 없는 것으로 조사되었으며, 하류부(B-5)는 차집관로 내 유입되고 있는 불명수(침입수 등)의 영향을 받아 수질(BOD)이 희석된 것으로 조사·분석되었다.

3.3 C지역

C지역의 차집관로 내 유량조사를 수행하기 위하여 총 8개 조사지점에 대하여 Fig. 1-(c)와 같이 1구간(C-1 → C-5) 및 2구간(C-6 → C-8)으로 구분하여 유량조사를 실시하였다. C지역의 경우 A지역과 유사하게 해당관로 운영기관에 운영 중인 고정식 유량 조사지점(중심: JS, 갈마곡: GMG)이 2개 위치하고 있는 것으로 조사되었다. C지역

Table 4. BOD of interceptor sewer system in B area

Sampling Episode	BOD in Interceptor Sewer System (mg/L)		BOD in BTL area (mg/L)					
	B-3	B-5	B-1	B-2	B-4	B-6	B-7	B-8
Sampling 1	173.7	45.5	200.3	170.1	200.3	146.6	177.5	151.4
Sampling 2	175.0	65.3	208.0	182.2	197.2	187.0	149.3	185.8
Average	174.4	55.4	204.2	176.2	198.8	166.8	163.4	168.6

Table 5. BOD of interceptor sewer system in C area

Sampling episode	BOD in interceptor sewer system(mg/L)				BOD in BTL area (mg/L)			
	C-1	C-5	C-6	C-8	C-2	C-3	C-4	C-7
Sampling 1	51.7	135.1	203.9	230.2	176.1	222.9	198.7	164.9
Sampling 2	57.5	114.7	217.4	246.5	188.1	186.9	178.7	155.8
Average	54.6	124.9	210.7	238.3	182.1	204.9	188.7	160.4

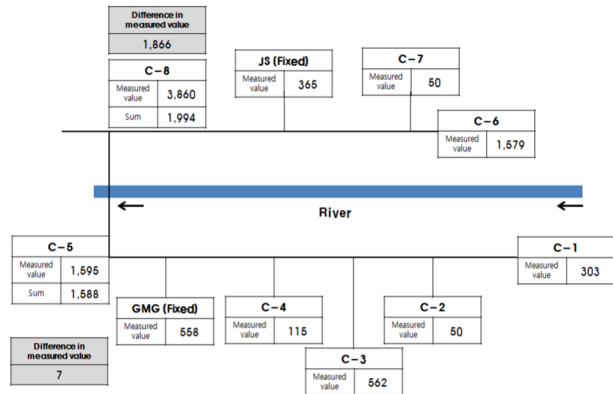


Fig. 4. Diagram of flow rate for interceptor sewer system in C area

1구간의 경우 최하류 조사지점인 C-5지점 측정유량이 1,595m<sup>3</sup>/일로 상류부 조사지점(C-1 ~ C-4, GMG)의 유량측정 결과의 합인 1,588m<sup>3</sup>/일과 큰 차이가 없어 차집관로 부실화(불명수 유입)에 따른 문제가 없는 것으로 판단되었다. C지역 2구간의 경우 최하류 조사지점인 C-8지점의 유량측정값이 3,860m<sup>3</sup>/일 로 상류부 조사지점(C-6 ~ C-7, JS)의 유량측정 결과의 합인 1,944m<sup>3</sup>/일 보다 큰 것으로 조사되었다. 이러한 2구간의 결과는 차집관로 부실화에 따른 불명수 유입으로 인한 문제가 아니라, 본 연구 조사지점의 하류에서 2구간의 차집관로로 유입되는 다수의 지선관로로 다량의 하수가 유입되어 발생된 문제로 분석되었다.

C지역의 수질 조사결과는 Table 5와 같다. 즉, 차집관로 내에서 발생되고 있는 BOD는 54.6 ~ 238.3mg/L(측정평균값, BOD기준)로 조사되었으나, 최상류 조사지점인 C-1 지점을 제외하고는 BTL사업지역에서 발생하는 수질측정값(160.4 ~ 204.9mg/L)과 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 반면, C-1 조사지점의 낮은 BOD값은 C-1 지점 상류부에 BTL사업 외 지역(하수관로정비 미시행)에서 유입되는 저농도의 하수에 기인한 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 수질 조사결과는 유량 조사결과와 동일한 결과로써 C 지역의 경우, 타 조사지역과 다르게 차집관로 부실화에 따른 불명수의 유입이 미미하다고 판단할 수 있다.

## 4. 차집관로의 오염부하량, CCTV조사, 침입수/유입수 분석

### 4.1 오염부하량 분석

차집관로의 오염부하량(kg/일)은 조사지점에서 측정된 유

량(m<sup>3</sup>/일) 및 수질(mg/L) 자료를 고려하여 식(1)에 의하여 산정하였으며, 여기서, C<sub>i</sub>는 수질(mg/L)이며 Q<sub>i</sub>는 유량(m<sup>3</sup>/일)을 의미한다. 조사대상 구역별로 다음과 같이 분석하였다.

$$\text{오염부하량(kg/일)} = \sum (C_i \cdot Q_i) \quad (1)$$

#### 4.1.1 A 지역

A지역의 차집관로 오염부하량은 유량 조사결과와 동일하게 모식도를 사용하여 다음과 같이 분석하였으며, 모식도 세부구간은 Fig. 5와 같이 1구간(A-1 → A-2), 2구간(A-6 → A-9), 3구간(A-7 → A-8) 총 3구간에 대하여 오염부하량에 대한 모식도 분석을 수행하였다. A지역의 오염부하량 모식도 분석결과, A지역의 1구간은 실측대비 -17.1kg/일, 2구간은 35.7kg/일, 3구간은 2.7kg/일로 나타났다. B, C지역에 비교하여 큰 차이가 발생하지 않아 하수관로 정비사업의 효과가 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

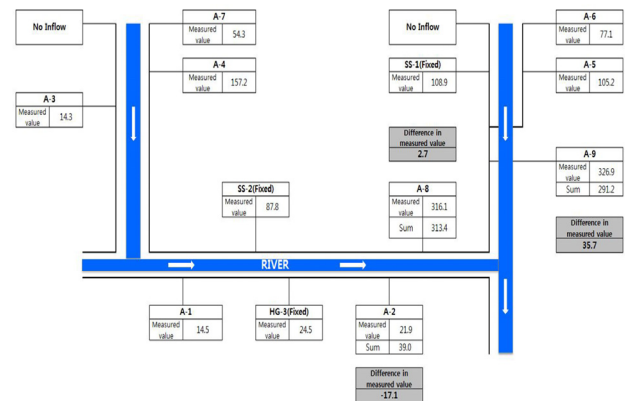


Fig. 5. Diagram of pollution load at A area

#### 4.1.2 B 지역

B지역의 차집관로 또한 유량 조사결과와 동일하게 Fig. 6과 같이 모식도를 이용하여 오염부하량을 분석하였다. 오염부하량 분석결과, 조사대상지역 최하류부인 B-5지점의 오염부하량이 78kg/일로, 각 지점별 오염부하량 합산 결과인 159kg/일보다 81kg/일의 부하량의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 유량 조사결과와 동일하게 차집관로 내 불명수(침입수/유입수 등)의 영향(유입유량 증가)으로 인하여 오염부하량 차이가 발생하고 있는 것으로 판단되었다.

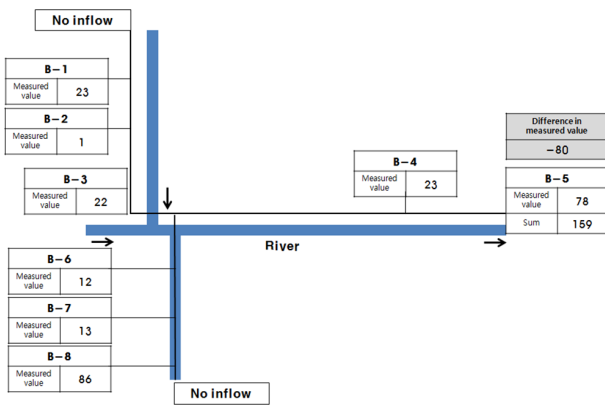


Fig. 6. Diagram of pollution load at B area

4.1.3 C 지역

C지역의 차집관로 오염부하량은 Fig. 7과 같이 1구간(C-1 → C-5) 및 2구간(C-6 → C-8)으로 구분하여 분석을 수행하도록 하였다. 오염부하량 분석결과, 1구간 최하류부인 C-5지점의 오염부하량이 199kg/일로 상류부 조사지점(C-1~C-4, GMG)의 오염부하량 합산 결과보다 51kg/일 보다 작게 분석되었으며, 2구간은 최하류부인 C-8지점의

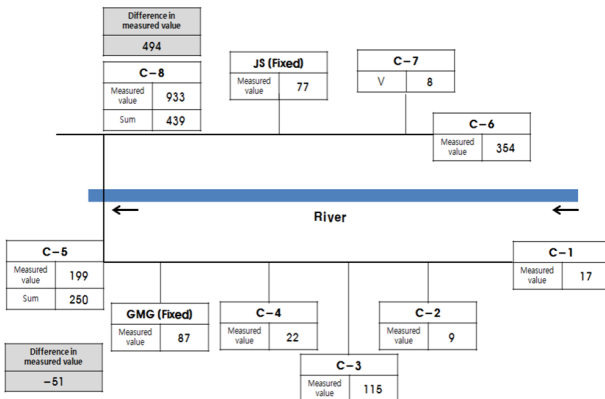


Fig. 7. Diagram of pollution load at C area

오염부하량이 933kg/일로 상류부 조사지점(C-6, C-7, JS)의 오염부하량 합산보다 494kg/일 보다 크게 분석되었다. 이러한 분석결과는 앞서 분석된 유량 조사결과와 동일하게 2구간의 오염부하량의 증가는 차집관로 부실화에 따른 불명수 유입으로 인한 문제가 아니라, 본 연구 조사지점 이외로 차집관로로 유입되는 다수의 지선관로(하수량 증가)에 의한 문제로 판단되었다.

4.2 차집관로의 CCTV 조사

본 연구 대상지역인 A지역의 차집관로 중 1,679m에 대하여 관로내부조사(CCTV)를 수행하였다. A지역의 차집관로 CCTV 조사결과는 Table 6과 같이 총 29개 이상항목(관로내부조사 판단기준) 중 침입수(Infiltration) 이상항목이 14개로 가장 많은 것으로 나타났으며, B지역의 경우 차집관로 중 2,600m에 대하여 관로내부조사(CCTV)를 수행한 결과, Table 6과 같이 A지역 조사결과와 동일하게 침입수 이상항목이 19개로 가장 많은 것으로 나타났고, C지역은 차집관로 CCTV 조사결과, 총 24개 이상항목 중 관파손 및 균열이 13개로 가장 많은 것으로 나타났다.

4.3 차집관로의 침입수/유입수 분석

4.3.1 침입수 분석

본 연구 대상지역인 A, B, C지역의 청천시 유량 조사결과를 토대로 각 조사지점(유량조사)별 침입수를 분석하여 차집관로의 문제점을 다음과 같이 분석하였다. 침입수량은 일최대-최소 유량평가법(maximum-minimum daily flow evaluation method)을 이용하여 산정하였다. A, B, C지역의 차집관로 침입수 분석결과는 Table 7과 같이 침입수량은 A지역(A-8, 1,023m³/일)이 가장 많은 것으로 분석되었으며, 또한 청천시 평균 유량 대비 침입수량인 침입수 비율도 A지역(A-7, 78.9%)이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이러한 침입수 분석결과는 앞서 분석된 유량, 수질, 오염부

Table 6. Results of CCTV inspection

Deficiencies	A area			B area			C area		
	Condition(ea)			Condition(ea)			Condition(ea)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Lateral, Sealing faulty	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Joint	0	0	1	0	1	1	0	2	0
Infiltration present	0	11	3	0	19	0	0	0	0
Decay	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pipe broken, Crack	0	4	4	0	5	1	0	13	0
Bent pipe	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Dipped pipe	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Debris, Greasy	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Debris, Silty	2	1	0	0	2	0	0	5	0
Obstruction	0	1	1	0	1	0	0	1	0
Total	2	17	10	0	31	2	0	23	1

Table 7. Result of infiltrate analysis in interceptor sewer system

Area	Point	Average flow in fine day(m <sup>3</sup> /day)	Infiltration(m <sup>3</sup> /day)	Infiltrationratio(%)	Remarks
A Area	A-6	545	260	47.7	Upstream
	A-9	1,913	835	43.6	Downstream
	A-7	697	550	78.9	Upstream
	A-8	2,263	1,023	45.2	Downstream
B Area	B-3	125	26	20.8	Upstream
	B-5	1,414	650	45.9	Downstream
C Area	C-6	1,579	181	11.5	Upstream
	C-8	3,860	457	11.8	Downstream
	C-1	303	61	20.1	Upstream
	C-5	558	101	18.1	Downstream

Table 8. Result of inflow analysis in interceptor sewer system

Area	Date	Point	Average flow in fine day (m <sup>3</sup> /day)	Inflow (m <sup>3</sup> )	Inflow per unit rainfall (m <sup>3</sup> /mm)	Rainfall (mm)	Remarks
A area	August 29	A-6	545	72.5	9.1	8.0	Upstream
		A-9	1,913	84.6	10.6		Downstream
		A-7	697	0.7	0.1		Upstream
		A-8	2,263	71.3	8.9		Downstream
B area	September 13~14	B-3	125	177.0	4.3	41.0	Upstream
		B-5	1,414	433.3	10.6		Downstream
C area	November 2	C-6	1,579	153.8	23.7	6.5	Upstream
		C-8	3,860	700.2	107.7		Downstream
		C-1	303	40.9	6.3		Upstream
		C-5	558	166.1	25.6		Downstream

하량 및 관로내부조사(CCTV)결과와 동일한 결과로써 연구 대상지역 중 A지역의 차집관로가 불명수 유입과 부실도가 가장 큰 것으로 분석되었다.

4.3.2 유입수 분석

본 연구 대상지역의 강우시 유량 조사결과를 토대로 각 조사지점(유량조사)별 유입수를 분석하여 차집관로의 문제점을 다음과 같이 분석하였다. A, B, C지역의 차집관로 유입수 분석결과는 Table 8과 같이 유입수량은 C지역(C-8, 700m<sup>3</sup>)이 가장 많은 것으로 분석되었으며, 또한 단위 강우당 유입수 분석결과도 C지역(C-8, 107m<sup>3</sup>/mm)이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 앞서 분석된 유량 조사결과와 동일하게 C지역의 경우 차집관로 부실화에 따른 문제가 아니라, 조사지점 이외에서 유입되는 다수의 지선관로로(관로정비 미수행) 인하여 유입수가 증가된 것으로 분석되었다.

5. 결과 및 고찰

대부분 하천변에 매설되어 있는 차집관로의 노후화 및 미정비로 인하여 많은 불명수 및 하천수가 유입되어 BTL사업효과가 감소되고 있다. 감소원인에 가장 큰 영향을 미치는

차집관로를 대상으로 3개 지자체의 차집관로에 대한 유량 및 수질조사, 오염부하량, CCTV조사, 침입수 및 유입수 분석을 수행하였으며, 본 연구를 통하여 조사 및 분석된 결과는 다음과 같다.

- 1) 유량 조사결과는 하천변에 매설되어 있는 차집관로의 경우 관로 부실화에 따른 불명수(침입수/유입수 등)의 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 수질 조사결과는 차집관로로 유입되는 지선관로(관로 정비사업 완료지역)의 경우, 수질이 높게 나타나고 있지만, 차집관로 수질은 관로 내 불명수 유입으로 다소 낮은 것으로 분석되었다.
- 3) 오염부하량 분석결과는 차집관로내 불명수의 유입으로 유량은 증가하고 수질은 감소하여 지선관로 오염부하량의 합과 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.
- 4) 관로내부 조사결과는 조사 이상항목 중 차집관로 부실화에 따라 침입수, 관파손 및 균열 순으로 가장 많은 영향을 받고 있는 것으로 조사되었다.
- 5) 침입수/유입수 분석결과는 유량, 수질, 오염부하량 및 관로내부조사와 동일하게 차집관로 부실화에 따라서 불명수의 유입량도 증가하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 차집관로의 현황 및 실태조사를 실시한 결과, 차집관로의 노후화 및 미정비로 인하여 공공하수처리시

설로 저농도 및 다량의 불명수가 유입되는 것으로 조사되어, 차집관로가 BTL사업효과의 감소원인에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 하수관로정비사업의 주목적인 침입수/유입수(I/I)감소를 위하여 하천변 및 하상구간에 매설되어 있는 내구년수가 오래된 차집관로에 대한 지속적인 조사, 진단, 정비사업 등이 추진되어야 하며, 또한 현장조사에서 나타난 기존 차집관로의 문제점으로 차집관로 현황자료를 전산화(전산도면)하지 않고 별도의 하수도대장관리를 수행하지 않은 문제로 인하여 실제 차집관로 현황이 불일치하는 경우가 많아 향후 효율적인 유지관리 업무를 수행하기 위하여 차집관로 현황조사 수행결과에 따른 전산도면자료를 구축해야 할 것으로 판단된다.

## References

- Almeida, MC, Butler D, Matos, JS.(2000). In-Sewer Biodegradation Study at the Costa Do Estoril Interceptor System, *Urban Water*, 2, pp. 327-334. [DOI <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146207580000649>]
- EPA(2008). *Review of Sewer Design Criteria and RDII Prediction Methods*.
- Korea Environment Corporation(K-eco)(2013). *Analysis of the Reasons for the Reduction of the Business Effects of the BTL Project Sewerage Line Maintenance and Improvement Plan*. [Korean Literature]
- Lee, DJ, Lee, JM.(2006). Evaluating sewer rehabilitation effectiveness using I/I analysis in Interceptor sewer, *Korean Society Of Environmental Engineers*, pp. 336-342. [Korean Literature] [DOI <https://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE06757872>]
- Lee, JH, Joo, JG, Kim, JH.(2008). Standard-Rainfall and Capacity of Intercepting Sewer to Control CSOs, *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, 9(1), pp. 129-135. [Korean Literature] [DOI <https://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE07209114>]
- Lim, BS, Park, YH, Kim, TE.(2015). Improvements of Inflow Controller Installed in Storm Overflow Diverging Tank for CSOs Control, *J. of Korean Society on Water Environment*, 31(4), pp. 428-435. [Korean Literature] [DOI [http://210.101.116.28/W\\_files/kiss3/07711221\\_pv.pdf](http://210.101.116.28/W_files/kiss3/07711221_pv.pdf)]
- Madryas, C, Wysocki, L.(2008). Renovation of brick interceptor sewers, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, pp. 718-726. [DOI <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088677980700123X>]
- Ministry of Environment(2014). *The Study on Plan for Maintenance of Interceptor Sewers in Korea*. [Korean Literature]
- Ministry of Environment(2015). *Demonstration Project for Sewage Line Maintenance of the Han River Water System*. [Korean Literature]
- Thomas, NS, Templeman, AB, Burrows, R.(2000). Pollutant Load Overspill Minimization of Interceptor Sewer System, *Engineering Optimization*, 32, pp. 393-416. [DOI <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03052150008941306>]
- Zhou, JJ., Lim BS.(2014). Characteristics of Water Quality Change of Urban River according to Installation of Interceptors and Wastewater Treatment Plant, *J. of Korean Society Environmental Engineering*, 36(12), pp. 813-820. [Korean Literature] [DOI <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE06752951>]