임대형 민자사업 효과의 감소원인에 대한 사업외 지역의 조사 및 분석

Investigation and Analysis for Outside Project Area for Understanding the Case of Effectiveness Reduction of BLT Project

채명병* · 배영혜** · 김형수***

Chae, Myungbyung*, Bae, Younghye**, and Kim, Hungsoo***

Abstract

Sewer pipe improvement projects by build-transfer-lease (BTL) method were consecutively completed after 2008, and the effectiveness of the completed projects have been reported. However, certain areas with completed projects suffered from reduced effectiveness due to some factors. Therefore, the aim of this study is to investigate the factors that contributed to the reduction of project effectiveness. Three study areas which the effectiveness of the project was reducing were chosen for the cause analysis of the effectiveness reduction based on the investigation of biochemical oxygen demand (BOD) and infiltration/inflow (I/I) from inside and outside area of BTL project. The BOD and I/I were obtained from field investigation and operation data. The water quality investigation showed that the BOD outside the BTL project area was 38.1~136.1 mg/L; the BOD inside the project area (performance guarantee point) was 14.0~171.8 mg/L. The results of I/I investigation showed that the penetration rate of infiltration outside the BTL project area was 3.6~76.2% and the rate inside the project area (performance guarantee point) was 1.6~29.2%. Inflow volume outside the BTL project area was 2.8~1,720.7 m³ while the volume inside the project area (performance guarantee point) was 0~2,124.0 m³. Inflow rate per rainfall was 0.2~24 m³/mm outside the BTL project area and 0~16.8 m³/mm. In summary, the reduction in project effectiveness was mainly influenced by factors from outside the project area. Thus, we have to establish a systematic plan for maintenance and replacement of sewer systems through consistent investigation and analysis.

Key words : BTL, BOD, Infiltration/Inflow (I/I), Inflow Rate Per Rainfall, Performance Guarantee Point

요 지

BTL(Build-Transfer-Lease)방식에 의한 하수관로정비 사업이 2008년 이후 순차적으로 준공됨에 따라 사업효과가 가시적으로 발생하고 있지만, 사업효과가 감소되고 있는 지역도 있어 감소 원인에 대한 조사·분석 및 대책 제시가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 사업효과가 감소하고 있는 3개 지역을 선정하여 이를 대상으로 현장조사 및 운영 자료를 토대로 BTL 사업 내·외 지역에 대한 수질(BOD), 침입수/유입수(I/I) 조사를 실시하여 사업효과 감소 원인을 분석하였다. 수질을 조사한 결과, BTL사업 외 지역은 38.1~136.1 mg/L, BTL사업 지역(성과보증지점)은 14.0~171.8 mg/L이었다. 침입수의 경우, BTL사업 외 지역의 침입률은 3.6~76.2%, BTL사업 지역(성과보증지점)은 1.6~29.2%로 나타났다. 유입수의 경우, BTL사업 외 지역의 유입수량은 2.8~1,720.7 m³, BTL사업 지역(성과보증지점)은 0~2,124.0 m³이었고, BTL사업 외 지역의 비유입수량은 0.2~24 m³, BTL사업 지역(성과보증지점)은 0~16.8 m³/mm로 나타났다. 본 연구를 통해 조사하고 분석한 결과를 보면, 사업외 지역의 하수관로 미정비, 배수설비 정비 불가 및 오점 등으로 인하여 다량의 하수가 사업내 지역으로 유입되어 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 따라서 사업외 지역이 하수관로정비 사업의 효과 감소 원인에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 임대형 민자사업, BOD, 침입수/유입수, 비유입수량, 성과보증지점

*정회원, ¹ 인하대학교 박사과정

² 한국환경공단 연구원(E-mail: chmb@keco.or.kr)

Member, ¹ Ph.D. Candidate, Inha University

² Researcher, Korea Environment Corporation

**정회원, 인하대학교 수자원시스템연구소 연구원(E-mail: yhaebae@gmail.com)

Member, Researcher, Institute of Water Resources System, Inha University

***교신저자, 정회원, 인하대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-32-860-7572, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: sookim@inha.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

1. 서 론

환경부에서는 단기간내 관로보급률을 선진국 수준인 80%이상으로 개선하고자 재정사업과 병행하여 2005년부터 BTL(Build-Transfer-Lease) 방식의 민자사업을 도입하여 하수관로정비 사업을 추진하였다. 2008년 11월 진천군을 시작으로 하수관로정비 사업이 순차적으로 준공함에 따라 BTL사업의 효과가 가시적으로 나타나고 있다. 그러나 일부 시설의 경우 배수설비 불가 및 오점, 사업의 지역의 하수유입 및 차집관로 미정비 등의 여러 가지 원인에 의하여 하수관로 정비의 사업효과가 감소되고 있어 감소 원인에 대한 조사·분석 및 대책 제시가 요구되고 있다.

국외의 연구동향을 보면, Wirahadikusumah et al. (1998)은 하수관 상태를 평가하기 위하여 현재 사용되는 CCTV (Closed-Circuit Television)방법 및 원격진단방법(적외선 열화상 시스템, 음파거리 측정법, 지중투과 레이더 기술)과 새로운 기술인 다중센서 시스템(KARO robot, PIRAT, SSET)을 비교·분석하였고, Brombach et al. (2002)는 독일의 서쪽 바덴 뷔르템베르크 주의 33개의 합류식 하수관로 시스템을 조사하여 침입수/유입수의 계절적 변동을 분석하였다. 또한, Karpf and Krebs (2011)은 독일 드레스덴시의 하수관로의 폐수를 대상으로 침입수/유입수를 식별하고 준선형 모형과 최소 제곱 최적화 기법을 이용하여 정량화하였다.

국내 연구 사례를 보면, Hwang et al. (2002)는 구리시 하수관로내에 발생하는 침입수/유입수 및 하수량을 정량화하기 위하여 SM-Sewer 프로그램을 개발하였고, Chung et al. (2003)은 성주군의 합류식 하수관로내 침입수/유입수(I/I) 및 하수의 누수량을 분석하여 오염부하량을 산정하였다. Oh and Jung (2008)은 여수시의 하수관로시설에 대한 BTL 사업을 대상으로 추진현황 및 당면문제를 조사·분석하였고, An and Kim (2013)은 2005년 하수관로정비의 BTL 사업 중 연구대상 사업에 대하여 사업효과분석, 유량계 설치 실태 분석 및 개선방안을 검토하였다. Lee (2014)는 2005년~2008년 BTL사업을 대상으로 공사전과 후의 유입유량, 유입수질 및 침입률을 산정하여 하수처리시설 운영개선 효과를 분석하기도 하였다. 또한 Kim et al. (2014)은 하수관로정비의 BTL 사업 중 연구대상지역을 선정하여 연도별 침입수/유입수를 조사하고 발생 특성을 분석하여 현행 하수관로 침입수/유입수 산정 매뉴얼의 적정성 및 개선방안을 검토하였다.

실무적인 측면에서 살펴보면, 한국환경공단(K-eco, 2009)은 하수관로정비 BTL 사업의 효과 분석을 수행하였고, 향후 준공예정인 사업의 사업효과분석에 활용하고자 하였다. 이를 위해 2005년도 사업에서 준공된 진천군, 청주시, 강진군 3개 BTL사업에 대하여 사업효과 분석을 수행한 후 평가지표를 도출하고 개선방안을 수립하였다. 한국환경공단(K-eco, 2012)은 하수관로정비 BTL 사업의 유량계 설치 실태분석 및 성과보증 방안 조사를 실시하였다. 이를 통해 고정식

유량계 타입, 설치위치 및 유지관리 방법 등을 파악하고 모니터링시스템과 연계하여 각 처리구역별 효율적인 활용방안을 마련하였다. 환경부(ME, 2015)에 의해 발간된 한강수계 하수관로정비사업(1~3단계) 백서는 많은 하수처리시설에서 계획 유입수질보다 낮은 유입으로 운영효율 저하 등 많은 문제점이 발생되어 하수처리시설 유입수질개선을 위한 하수관로정비가 시급하여 한강수계특별대책지역의 9개 지자체를 대상으로 정비사업을 추진하였다. 그러나 현장조사 없이 시공사(준공시 사업효과분석보고서) 또는 운영사의 자료를 그대로 인용한 것으로 사업후에 분석하는 유입수 분석결과는 배제하고 침입수 분석 결과만을 적용하여 공사전과 후를 비교분석한 것으로 신뢰성에 대한 검증이 필요하다고 사료된다.

위와 같이 사업효과분석에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으나 BTL사업의 대규모 투자 대비 사업효과가 가시적으로 개선되고 있지 않기 때문에 조사 대상지역 선정에 대한 종합평가(하수배제방식, 처리시설용량, 하천수질, 오염부하량, 침입수/유입수, 사업외 등)를 통하여 사업효과 감소 원인에 대한 비교·분석이 필요하다. 기존의 사업효과 분석은 사업내 지역을 대상으로 활발하게 연구를 하였으나, 일부 지역의 경우 여러 가지 원인으로 인하여 사업외 지역의 하수가 유입되어 사업효과가 감소되고 있다. 따라서 사업효과가 감소되는 지역을 대상으로 조사 대상지역 3개소를 선정하였다. 조사대상지역에 대한 현장조사 및 운영 자료를 토대로 BTL사업 외 지역과 BTL사업 지역(성과보증지점)의 수질조사, 침입수조사 및 유입수조사(I/I)를 다음과 같이 실시하여 사업효과 감소원인을 비교·분석하였다.

- (1) 수질조사는 A지역의 사업외 지역 6개소, 사업내 지역 2개소, B지역의 사업외 지역 1개소, 사업내 지역 2개소(운영자료 인용), C지역의 사업외 지역 2개소(한국환경공단 기술진단 현장조사용역자료 인용), 사업내 지역 3개소에 대한 조사를 2회 실시하였다.
- (2) 침입수조사는 건기평균/침입수량/침입률조사를 위하여 일최대-최소 평가법을 이용하여 산정하였으며, A지역은 사업외 지역 6개소, 사업내 지역 2개소, B지역은 사업외 지역 1개소, 사업내 지역 1개소, C지역은 사업외 지역 2개소, 사업내 지역 3개소에 대한 조사를 실시하였다.
- (3) 유입수조사는 A지역은 사업외 지역 6개소, 사업내 지역 2개소(운영자료 인용), B지역은 사업외 지역 2개소, 사업내 지역 3개소(운영자료 인용), C지역은 사업외 지역 2개소, 사업내 지역 3개소(운영자료 미회신으로 제외)에 대한 조사를 실시하였다.

따라서 본 연구에서는 사업외 지역에서 발생한 다양한 원인에 의해 사업내 지역으로 많은 하수가 유입되는 것을 조사하고, 현황조사 및 실태조사를 통하여 하수관로정비의

사업효과가 감소되는 원인을 분석하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

사업의 지역에서 여러 가지 원인으로 인해 사업내 지역으로 하수가 유입되고 있는 사업을 대상으로 조사대상지역으로 선정된 3개소(A, B, C 지역)에 대한 BTL사업내 지역과 BTL사업외 지역으로 구분하여 사업내 지역의 성과보증지점은 운영사에서 조사한 분기별 및 월별 운영자료를 활용하였다. 사업외 지역은 본 연구기간 내 조사된(2013년 7월~10월) 수질, 침입수/유입수(II)을 조사하고 분석하였다. 사업외 지역은 수질조사 측정시기는 건기 2일, 수질분석항목은 수질오염공정시험법 기준을 적용하여 BOD₅를 측정하였다. 수질측정간격은 4시간(1일/6회, 총 12회)이며, 샘플시료량은 1L의 무균 채수병을 사용하였다. 유량계 설치장소 선정조건 등을 고려하여 조사기간내 이동식 유량계를 설치하여 수질을 분석하고, 사업내 지역은 운영사 성과보증지점의 고정식 유량계 운영자료를 인용하여 분석하였다. 침입수조사는 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 일 최대최소 유량평가법(Maximum-Minimum Daily Flow)을 적용하여 건기평균(m³/일), 침입수량(m³/일), 침입률(건기평균/침입수량, %)을 분석하였다. 유입수조사는 사업외 지역의 현장조사(이동식 유량계)와 사업내 지역의 운영사의 운영자료를 인용하였으며, 강우정보(강우형태, 누적강우량, 강우지속시간), 관련장(m), 유입수량(m³), 비유입수량(m³/mm)을 분석하였다.

3. 분석 결과

3.1 수질 조사 및 분석

수질조사는 유량조사지점과 동일한 지점에 대하여 2일(6회/1일)을 수행하였으며, 수질오염공정시험법에 준한 수질채수 및 분석하였고 세부 수행내용은 다음과 같다.

- ① 1일 채수는 4시간 간격으로 총 6회 채수를 수행하였다.
- ② 수질채수는 Grab Sampling(일정한 시간 간격으로 독립적인 도구에 시료 채취를 수행하는 단일시료)을 원칙으로 채수하며, 무균 채수병에 1L의 샘플채수를 수행하였다.
- ③ 수질채수 수행시 조사지점별 최적이동경로를 확보하

여 수질채수시간을 준수하였다.

3.1.1 A지역

A지역의 수질조사구간은 Fig. 1과 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 6개소, 사업내 지역은 성과보증지점에 설치된 고정식 유량계 2개소에 대한수질조사를 각각 2회 실시하여 평균값을 적용하였다.

Fig. 1. Water Quality Investigation Section in A Area

A지역의 BTL사업내 지역 성과보증지점의 평균 BOD는 Table 1과 Fig. 2와 같이 147.4~157.1 mg/L의 범위를 나타내고 있으며, A-2 지점은 상류부 한 가옥에 설치된 오수받이(오점)로 계곡수가 유입되고 있는 것으로 조사되었고, A-4 지점은 차집관로 상류부에서 차집되는 오수와 불명수(침입수 등)의 영향으로 수질값이 다소 낮게 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 2. Comparative Analysis Result of Water Quality Investigation in A Area

Table 1. Comparative Analysis Result of Water quality Investigation in A Area (Unit:mg/L)

Sampling Episode	Investigated point of outside area of BTL project area						Performance guarantee point of inside area of BTL project area	
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Sampling1	142.0	73.7	115.1	36.7	50.6	108.7	147.2	159.8
Sampling2	130.2	91.9	113.3	39.4	51.2	97.6	147.6	154.4
Average	136.1	82.8	114.2	38.1	50.9	103.2	147.4	157.1

3.1.2 B지역

B지역의 수질조사지점은 Fig. 3과 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 1개소에 대한 수질조사를 실시하였으며, 사업내 지역은 운영자료 데이터 평균값을 인용하여 합류전과 성과보증지점 2개소에 대한 수질조사를 실시하였고, 수질비교분석 결과는 Table 2와 같다. B지역의 BTL사업내 지역(합류전 지점)의 평균 BOD는 126.7 mg/L로 조사되었으나, 상류부에서 유입되는 BTL사업외 지역의 오수의 영향으로 BTL 성과보증지점에서는 낮은 수질값을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 3. Water Quality Investigation Section in B Area

3.1.3 C지역

C지역의 수질조사지점은 Fig. 4와 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 2개소(한국환경공단 기술진단 현장조사용역자료 인용), 사업내 지역은 성과보증지점 3개소에 대한 수질조사를 실시하였으며, 수질비교분석 결과는 Table 3과 같다. C지역의 수질

조사결과는 BTL사업 외 지역 평균 BOD 73.6 mg/L로, BTL사업지역 평균 BOD 162.6 mg/L와 비교결과 BTL사업지역에서 발생하는 오수의 BOD가 약 2.2배 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

Fig. 4. Water Quality Investigation Section in C Area

3.2 침입수 조사 및 분석

BTL사업 외 지역의 조사지점은 야간활동인구가 적은 지역으로 선정하여 침입수조사의 건기평균, 침입수량, 침입률은 가장 많이 사용하고 있는 일최대최소 평가법으로 분석하였으며, 조사기간 내 발생된 최소유량을 침입수로 산정하였고, 사업외 지역과 사업내 지역의 침입수는 현장조사기간과 동일기간을 적용하여 비교분석하였다.

3.2.1 A지역

A지역의 침입수는 Table 4와 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 6개소, 사업내 지역은 성과보증지점의 고정식 2개소에 대한 조사를 실시하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이,

Table 2. Comparative Analysis Result of Water Quality Investigation in B Area (Unit: mg/L)

Sampling Episode	Investigated point of outside area of BTL project area	Performance guarantee point of inside area of BTL project area	
	B-1	Confluence	B-2
Sampling1	41.4	126.7	14.0

Table 3. Comparative Analysis Result of Water Quality Investigation in C Area (Unit: mg/L)

Sampling Episode	Investigated point of outside area of BTL project area		Performance guarantee point of inside area of BTL project area		
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Sampling1	70.3	76.9	177.6	163.6	143.8
Sampling2	-	-	165.9	159.0	166.0
Average	70.3	76.9	171.8	161.3	154.9

Table 4. Comparative Analysis Result of Infiltration Investigation in A Area (Unit: m³/day)

Classification	Investigated point of outside area of BTL project area						Performance guarantee point of inside area of BTL project area	
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Average of Dry Season	28	126	135	386	61	555	1,127	287
Infiltration Quantity	1	96	7	149	7	110	267	24
Infiltration Rate(%)	3.6	76.2	5.2	38.6	11.5	19.8	23.7	8.4

BTL사업 외 지역 침입률은 3.6~76.2%로 6개 지점중 A-1 지점의 침입률이 가장 적고 A-2 지점의 침입률이 가장 큰 것으로 나타났으며, 또한 A-2, A-4지점은 BTL 성과보증지점 보다 높은 침입률을 보이는 것으로 조사되었다. 이는 상류부 가옥 오수받이(오집)로 지속적인 계곡수 유입과 차집관로 상류부에서 차집되어 이송되는 오수 등(불명수)의 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 5. Comparative Analysis Result of Infiltration Rate in A Area

3.2.2 B지역

B지역의 침입수는 Table 5와 같이 사업외 지역은 이동식

유량계 1개소, 사업내 지역은 성과보증지점의 고정식 1개소에 대한 조사를 실시하였으며, 사업외 지역의 침입률은 37.7%로 높은 침입수량의 영향을 받고 있는 것으로 나타났고, 사업내 지역의 침입률은 29.2%로 분석되었다.

3.2.3 C지역

C지역의 침입수는 Table 6과 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 2개소, 사업내 지역은 성과보증지점의 고정식 3개소에 대한 조사를 실시하였으며, 사업 외 지역은 40% 이상으로 다소 높은 침입률을 보이고 있는 반면, 사업내 지역의 성과보증지점에서는 20%미만의 침입률을 보이는 것으로 분석되었다.

Fig. 6. Comparative Analysis Result of Infiltration Rate in C Area**Table 5.** Comparative Analysis Result of Infiltration Investigation in B Area (Unit: m³/day)

Classification	Investigated point of outside area of BTL project area(B-1)	Performance guarantee point of inside area of BTL project area(B-2)
Average of Dry Season	106	113
Infiltration Quantity	40	33
Infiltration Rate(%)	37.7	29.2

Table 6. Comparative Analysis Result of Infiltration Investigation in C Area (Unit: m³/day)

Classification	Investigated point of outside area of BTL project area		Performance guarantee point of inside area of BTL project area		
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Average of Dry Season	742	280	558	365	319
Infiltration Quantity	326	128	106	49	5
Infiltration Rate(%)	43.9	45.7	19.0	13.4	1.6

3.3 유입수 조사 및 분석

3.3.1 A지역

A지역의 유입수는 Table 7과 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 6개소에 대한 조사를 실시하였으며, 사업내 지역의 성과보증지점 고정식 2개소는 운영사 자료를 인용하였다. BTL사업 외 지역의 1차 유입수 산정결과(7월28일~30일) 누적 강우량은 16 mm이며, 비유입수량은 0.8~11.6 m³/mm로 분석되었다. 2차 유입수 산정결과(8월3일~5일) 누적 강우량은 64.5 mm이며, 비유입수량은 0.2~24 m³/mm로 분석되었다. A-6지점의 비유입수량은 11.6~24m³/mm로 사업외 지역에서 유입수 영향을 가장 높게 받는 것으로 나타났고, 사업외 지역은 모든 지점에서 강우 발생시 유입수의 영향을 받고 있는 것으로 나타나 강우 발생시 하수처리시설 유입수질에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Fig. 7. Comparative Analysis Result of Inflow per Rainfall in A Area

3.3.2 B지역

B지역의 유입수는 Table 8과 같이 사업외 지역은 이동식

유량계 2개소에 대한 6월 25일, 7월 2일 2회에 유입수 조사를 실시하였으며, 사업내 지역 성과보증지점의 고정식 3개소는 운영사 자료를 인용하였고, 사업외 지역의 비유입수량은 B-1은 15.9 m³/mm~16.9 m³/mm, B-2는 6.3 m³/mm~19.5 m³/mm로 분석되었다.

3.3.3 C지역

C지역의 유입수는 Table 9와 같이 사업외 지역은 이동식 유량계 2개소에 대한 조사를 실시하였으며, 11월 2일 누적 강우량은 6.5 mm로 강우지속시간은 5시간으로 나타났다. 사업내 지역 성과보증지점의 고정식 3개소는 운영사 자료 미회신으로 제외하였고, 사업 외 지역 비유입수량은 C-2는 16.8 m³/mm, C-1는 0.4 m³/mm로 조사되어 C-2지점이 C-1지점보다 더 많은 유입수의 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.

4. 결과 및 고찰

2005년부터 대규모로 추진중인 BTL사업이 순차적으로 준공되어 운영됨에 따라 사업효과가 가시적으로 나타나고 있지만 일부지역의 경우에는 배수설비의 오점 및 불가, 사업외 지역의 하수유입 및 차집관로의 노후화 및 미정비 등의 원인으로 인하여 하수관로정비의 사업효과가 감소되고 있는 것으로 나타났다. 사업내 지역의 사업효과 감소원인에 큰 영향을 미치는 3개소를 대상으로 사업외 지역의 현장 조사와 사업내 지역의 운영자료를 토대로 수질조사, 유입수/침입수 (I/I)조사를 실시하였으며, 비교분석결과는 다음과 같다.

Table 7. Comparative Analysis Result of Inflow Investigation in A Area

Area	Point Name	Date	Length (m)	Cumulative Rainfall (mm)	Inflow (m ³)	Inflow per Rainfall (m ³ /mm)
Investigated point of outside area of BTL project area	A-1	July 28~30	1,152	16.0	12	0.8
		August 3~5		64.5	13	0.2
	A-2	July 28~30	329	16.0	68	4.2
		August 3~5		64.5	186	2.9
	A-3	July 28~30	2,688	16.0	156	9.8
		August 3~5		64.5	227	3.5
	A-5	July 28~30	915	16.0	39	2.5
		August 3~5		64.5	216	3.3
	A-6	July 28~30	1,630	16.0	186	11.6
		August 3~5		64.5	1,549	24
Performance guarantee point of inside area of BTL project area	A-7	July 28~30	4,327	16.0	0.0	0.0
		August 3~5		64.5	557	8.6
	A-8	July 28~30	3,337	16.0	102.4	6.4
		August 3~5		64.5	0.0	0.0

Table 8. Comparative Analysis Result of Inflow Investigation in B Area

Area	Point Name	Date	Length (m)	Cumulative Rainfall (mm)	Inflow (m³)	Inflow per Rainfall (m³/mm)
Investigated point of outside area of BTL project area	B-1	June 25	9,908	12.0	202.9	16.9
		July 2		108.0	1,720.7	15.9
	B-2	June 25	4,125	12.0	234.5	19.5
		July 2		108.0	675.0	6.3
Performance guarantee point of inside area of BTL project area	B-3	June	10,740	155.5	1,460.5 (48.7)	9.4
		July		130.0	2,124.0 (68.5)	16.3
	B-4	June	5,806	155.5	222.0 (7.4)	1.4
		July		130.0	1,512.5 (48.8)	11.6
	B-5	June	3,999	155.5	40.0 (1.3)	0.3
		July		130.0	462.5 (14.9)	3.6

※ 1) (): Average Daily Onflow

2) Inflow per Rainfall = Inflow/ Total Monthly Rainfall

Table 9. Comparative Analysis Result of Inflow Investigation in C Area

Area	Point Name	Date	Length (m)	Cumulative Rainfall (mm)	Inflow (m³)	Inflow per Rainfall (m³/mm)
Investigated point of outside area of BTL project area	C-2	November 2	5,660	-	109	16.8
	C-1	November 2	2,073	-	2.8	0.4

- (1) 수질(BOD) 조사결과는 BTL사업외 지역은 38.1~136.1 mg/L, BTL사업내 지역(성과보증지점)은 14.0~171.8 mg/L로 나타났다.
- (2) 침입수 조사결과는 침입률은 BTL사업외 지역은 3.6~76.2%, BTL사업내 지역(성과보증지점)은 1.6~29.2%로 나타났다.
- (3) 유입수 조사결과는 유입수량은 BTL사업외 지역은 2.8~1,720.7 m³, BTL사업내 지역(성과보증지점)은 0~2,124.0 m³, 비유입수량은 BTL사업외 지역은 0.2~24 m³, BTL사업내 지역(성과보증지점)은 0~16.8 m³/mm로 나타났다.

본 연구는 한국환경공단(K-eco, 2013)에서 안정적으로 운영되고 있는 초기단계의 '05년~'06년사업(39개소)중 5개소를 선정한 사업을 대상으로 사업외 지역에서 불명수(하수 등)가 사업내 지역으로 유입되고 있는 3개소를 연구대상 지역으로 선정하여 사업내 지역의 효과 감소원인을 분석하

였다. 사업외 지역의 현황조사 및 실태조사 결과, 사업외 지역의 일부구간에서 하수관로 미정비 및 배수설비 오작, 우수토실 미폐쇄 등으로 인하여 불명수가 사업내 지역으로 유입되어 평균수질(BOD)은 사업외 지역의 3개소에서 낮게 나타났으며, 평균침입률도 사업외 지역의 3개소에서 높게 나타났다. 또한, 평균유입수는 사업외 지역 1개소는 높고 1개소는 낮으며 1개소는 사업외 지역에서 유입수가 사업내 지역으로 유입되고 있는 것으로 나타났다.

따라서 조사대상지역 3개소의 수질, 침입수, 유입수에 대한 연구(실태조사 및 분석)결과, 수질은 사업외 지역이 불명수의 유입으로 사업내 지역보다 낮았으며, 침입률은 사업외 지역이 불명수의 유입으로 사업내 지역보다 높았다. 그리고 유입수는 사업내 지역의 1개소는 운영사 자료 미제출로 사업외 지역의 조사결과 유입수가 발생되고 있는 것으로 분석되어 기존 운영자료에 대한 검증과 추가적인 조사 및 분석에 관한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- An, D.H., and Kim, J.O. (2013). Analysis on effectiveness of sewer rehabilitation project and study on improvement of fixed flow meters. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 15, No. 4, pp. 461-469.
- Brombach, H., Weiss, G., and Lucas, S. (2002). Temporal variation of infiltration inflow in combined sewer systems. *Ninth International Conference on Urban Drainage (9ICUD)*. doi:10.1061/40644(2002)125
- Chung, H.J., Ku, B.H., Lee, J.W., and Kim, J.K. (2003). An investigation analysis of inflows and infiltration of combined sewage pipe line at Seongi-ju area. *Proceedings of the 2003 Annual Conference*, Korean Society of Water Quality, pp. 605-610.
- Hwang, B.G., Kim, K.W., and Jeong, H.J. (2002). Developing infiltration/inflow analysis program and applying to wastewater treatment basins of Guri city. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 16, No. 4, pp. 481-492.
- Karpf, C., and Krebs, P. (2011). Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. *Water Research*, Vol. 45, pp.3129-3136.
- K-eco (Korea Environment Corporation). (2009). *Analysis of the effect of BTL project on sewer line maintenance*.
- K-eco (Korea Environment Corporation). (2012). *Survey on the actual condition of installation of the BTL project sewerage line*.
- K-eco (Korea Environment Corporation). (2013). *Analysis of the reasons for the reduction of the business effects of the BTL project sewerage line maintenance and improvement plan*.
- 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. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 28, No. 1, pp. 33-35.
- Lee, T. J. (2014). *A study on analysis of effectiveness in BTL sewer rehabilitation*. Master's thesis, Kwangwoon University, Seoul, Korea.
- ME (Ministry of Environment) (2015). *Demonstration project for sewage line maintenance of the Han river water system*. Korea Environment Corporation.
- Oh, C.S., and Jung, D.H. (2008). The present issue and improvement plan in BLT on sewer maintenance. *Proceedings of 2008 Annual Conference*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 3140-3143.
- Wirahadikusumah, R., Abraham, D.M., Iseley, T., and Prasanth, R.K. (1998). Assessment technologies for sewer system rehabilitation. *Automation in Construction*, Vol. 7, No. 4, pp. 259-270.

Received	■ April 20, 2018
Revised	■ April 24, 2018
Accepted	■ May 2, 2018