

# 하수관거정비 임대형민자사업에 있어 침입수 성과지표의 개선에 관한 연구 - 제주특별자치도를 중심으로 -

고영남\* · 이동욱\*\*

Ko, Young-Nam\*, Lee, Dong Wook\*\*

## Improvement of Infiltration Performance Measurement in BTL (Build-Transfer-Lease) Sewer Rehabilitation Projects - Focusing on Jeju Special Self-Governing Province -

### ABSTRACT

The purpose of this study is to improve project performance analysis indicators for BTL sewer rehabilitation projects. Among the assessment indicators for BTL sewer rehabilitation projects, an infiltration assessment indicator is given a high score of 17.5 points as a single assessment item. This infiltration assessment indicator is assessed focusing on the amount of infiltration, and presently calculated according to 'Nighttime Domestic Flow Evaluation' method. However, this assessment indicator's failure to reflect the geological features of Jeju region is emerging as a problem in the operational stage. Thus, this study intended to compare and analyze the calculation result depending on the assessment indicators and the actual amount of infiltration, centering on Jeju region. To this end, this study analyzed the amount of infiltration in five areas of Jeju Province calculated according to 'Nighttime Domestic Flow Evaluation' method. Also, a complete enumeration survey was carried out about the conditions for actual infiltration occurrence. According to the results of this survey, ground water level is distributed lower than the level of sewer pipes. The results of a sewer pipe function test show there was no infiltration occurrence caused by sewer pipe defect. So, it is concluded that 'Nighttime Domestic Flow Evaluation' method, which is utilized for the current assessment indicator, is not appropriate to apply to Jeju region, and it is thought that there is a need to establish infiltration criteria specialized for Jeju region.

**Key words** : BTL Project, Infiltration, Nighttime domestic flow evaluation, Sewer rehabilitation

### 초 록

본 연구는 하수관거정비 임대형민자사업에 있어 사업효과 분석지표의 개선에 대한 연구이다. 하수관거정비 임대형민자사업의 평가지표 중 침입수에 대한 평가지표는 단일평가항목으로 17.5점의 높은 점수가 부여되고 있다. 침입수에 대한 평가지표는 침입수의 발생량에 초점을 맞추어 평가되고 있으며, 현재 '야간 생활하수 평가법'에 따라 계산되고 있다. 그러나, 본 평가지표가 제주지역의 지질적 특성을 반영하지 못하고 있다는 것이 운영단계에서 문제점으로 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 제주지역을 중심으로 평가지표에 따른 계산 결과와 실제 침입수의 발생량을 비교 분석하고자 하였다. 이를 위해서 제주도내 5개 지역에 대하여 '야간 생활하수 평가법'에 따른 침입수 발생량을 분석하였다. 또한 실제적으로 침입수가 발생하는 조건에 대하여 전수조사를 실시하였다. 분석 결과, 지하수위가 하수관거보다 밑에 분포되고 있으며, 하수관거의 기능에 대한 검증 결과 하수관거의 결함 등에 의한 침입수 발생은 없는 것으로 분석되었다. 따라서 현재 평가지표로 활용되고 있는 '야간 생활하수 평가법'은 제주지역에 적용하기에 적합하지 않다는 결론에 도달하게 되었으며, 제주지역만의 침입수 관련 기준 마련이 필요할 것으로 사료된다.

**검색어** : 임대형민자사업, 침입수, 야간생활하수평가법, 하수관거정비

\* (주)이산 부장·공학석사 (ISAN Corporation · koy1973@hanmail.net)

\*\* 중신회원 · 교신저자 · 제주대학교 토목공학과 부교수·공학박사 (Corresponding Author · Jeju National University · dwlee@jejunu.ac.kr)

Received August 9, 2016/ revised September 5, 2016/ accepted September 13, 2016

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재 제주특별자치도에서는 2006년 3개 사업(제주시 동지역, 제주시 읍면지역, 서귀포시 읍면지역), 2008년도 2개 사업(제주시 동지역, 제주시 읍면지역), 2009년도 1개 사업(제주시 읍면지역)과 2010년도 1개 사업(제주시 읍면지역)의 하수관거정비 임대형민자(Build-Transfer-Lease, BTL)사업이 시행 중에 있다.

Jeju Special Self-Governing Province (2010)에 의하면 하수관거정비 BTL사업은 시설물 준공 후 운영기간 동안 사업에 대한 서비스수준이 실시협약에서 정한 성과요구수준에 적정한지에 대한 정기적인 점검 및 평가를 통해 정부지급금 수준을 결정하도록 되어 있다.

하수관거정비 BTL사업의 성과평가 지표는 관리 및 운영부문 등 크게 5개 부문 23개 항목(운영개시 3년차까지는 4개 부문 22개 항목)으로 구성되어 있다. 이 중 침입수/유입수(I/I; Infiltration/Inflow) 성과보증지표는 운영개시 후 3년간의 데이터를 추적, 분석하여 기준값을 설정하고, 운영개시 4년차부터 적용하도록 정하고 있다(Ahn, 2014). I/I 평가지표는 단일평가항목으로 17.5점의 높은 점수가 부여되고 있어, 운영성과 평가항목 중에서도 매우 중요한 평가항목이다.

현재 I/I를 평가함에 있어, Ministry of Environment (MOE, 2009b)에서는 ‘야간 생활하수 평가법’을 적용하여 침입수량 산정하도록 하고 있다. 그러나, ‘야간 생활하수 평가법’은 대도시의 통계자료를 근거로 작성된 것으로, 제주도와 같은 특수한 지질적 특성을 반영하지 못하고 있다는 것이 운영단계에서 문제점으로 대두되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 제주도를 중심으로 현재 하수관거정비 BTL사업의 침입수의 성과지표로 활용되고 있는 ‘야간 생활하수 평가법’의 적정성을 분석하고자 한다. 이를 위하여, 현재 운영단계에 있는 5개 사업장을 대상으로 ‘야간 생활하수 평가법’에 따른 침입수량 계산결과와 실제로 침입수가 발생하는지를 비교 분석하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 제주특별자치도 내 운영초기 사업장 5지역을 대상으로 I/I 중 침입수에 대하여 분석을 실시하고자 한다. 이를 위해 ‘야간 생활하수 평가법’에 의한 침입수량 분석결과와 실제 침입수가 발생할 수 있는 조건에 따른 분석결과를 비교하고자 한다. 본 연구의 수행을 위해 아래와 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

① 먼저, 현행 침입수량 산정방법인 ‘야간 생활하수 평가법’에 따라, 5개 지역에 대한 유량계 전체현황 및 유량계 지점별 현황,

지점별 침입수량을 조사하였다.

실제적으로 침입수가 발생하기 위해서는 지하수위가 하수관거보다 높게 위치하거나 하수관거의 손상이 존재하여야 한다(지하수위가 하수관거보다 낮게 위치하더라도, 하수관거의 손상이 존재할 경우 빗물 등의 침입수가 발생할 수 있다).

② 따라서, 실제적인 지하수위를 확인하기 위해, 5개 지역에 대한 기본계획 토질조사 보고서 및 실시설계시 지하수위조사 자료 및 현재 제주특별자치도 수자원본부에서 관리중인 지하수위 관측소 중 고정식유량계 지점의 사업지역 인근 지하수위 관측소 데이터를 전수조사 분석하였다.

③ 하수관거의 손상 여부를 확인하기 위해, 5개 지역에 대한 준공시 준공검사 결과보고서에 의한 하수관거의 시험결과 조사와 분석, 시공품질검사(QA/QC: Quality Assurance/Quality Control)에 의한 하수관거의 기능확보에 대하여 전수조사를 실시하였다. 또한, 고정식유량계로 유입되는 개·보수 하수관거 중 준공 및 시공 품질검사(QA/QC)시 하수관거의 기능이 미확보된 2개소에 대한 자체 시험을 시행하여 하수관거의 기능 상태에 대한 조사 및 분석을 시행하였다.

④ 최종적으로 현재 ‘야간 생활하수 평가법’에 따라 유량계별 유량측정 계산값에 의한 침입수량 분석결과와 침입수 발생 조건에 대한 연구결과를 비교 분석하였다.

## 2. 침입수 산정에 대한 선행연구

2000년 이후 국내에서 최적의 침입수 산정방법을 도출하기 위하여 특정 지역을 대상으로 한 연구가 진행되어 왔다. 환경부에서는 하수관거 사업의 효과 분석을 위한 침입수 평가지표로 사용하기 위해 다양한 방법을 통해 산정한 결과 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지 결과값의 평균값을 침입수로 정의하기도 하였다. 최근 MOE (2009a)에서는 ‘야간 생활하수 평가법’을 침입수 산정방법으로 권고하고 있다(Kim, 2013).

Lee (2009)는 침입률과 회귀분석을 통해 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법의 침입수 산정 결과값이 하수발생량과 비례 관계임을 도출하였다. 이를 바탕으로 하수관거 내 유량 증감 변동에 가장 큰 영향을 미치는 영향인자를 분석한 결과 월간 누적강우량과 우천일수로 분석하였다. 이는 강우의 누적량과 영향기간이 길어짐에 따라 상승한 지하수위 영향으로 관거내 강우유발침입수(Rainfall Induced Infiltration, RII)의 유입을 통해 하수발생량이 비례적으로 증가하기 때문이라고 하였다.

Kim (2009b)은 계절별, 시기별, 시간별로 지속적인 유량 및 수질 측정 데이터를 측정하여 하수관거의 유지관리 모니터링이 필요하며, 이상부위 확인 및 개·보수 등을 시행하여 주변하천 오염

방지 및 하수처리장의 효율을 증대시킬 수 있다고 하였다.

Kim (2008)은 대표적인 침입수 산정방식에 대한 주거지역, 상업지역, 아파트지역에 대한 지역별 적용방안에 대한 연구를 수행하였다. 또한 계절별, 시기별, 시간별 지속적인 유량 측정에 및 이상부위 확인시 개보수를 시행하여 하천오염방지 및 하수처리장 처리효율 증대에 대한 관한 연구를 하였다. 침입수값의 여건별 변동 및 지역별 침입수 산정방식의 적용에 관한 연구와 개보수를 시행하여 하천오염방지 및 하수처리장 처리효율을 증대시킬 수 있다고 제시하였다. 이는 유량계로 측정된 유량값에 의한 침입수 산정 산출식으로 도출한 결과를 토대로 제시하였다.

위에서 살펴본 바와 같이, 아직까지 침입수 발생 조건 분석에 의한 실제 침입수의 발생 여부에 대한 기존 연구는 수행된 바가 없다. 따라서, 본 연구는 현재 침입수 산정 산출식(야간 생활하수 평가법)에 의해 계산되는 침입수량이 적정한지에 대한 연구 목적으로, 침입수 발생 조건을 도출하고 실제 침입수가 발생하는지를 비교 분석하고자 한다.

### 3. 침입수/유입수에 대한 이론적 고찰

#### 3.1 침입수/유입수의 정의 및 발생원인

하수관거에 유입되는 외부에서의 흐름(extraneous flows)은 침입수와 유입수로 구분되며, 1972년 미국의 연방 수질규제법 개정안(federal waterpollution control act amendments)에서 최초로 규정하고 정의하였다(Tchobanoglus et al., 2004; Kim, 2009a 재인용).

침입수(infiltration)는 결함이 생긴 관이나 관이음부, 파손된 연결관, 맨홀의 벽을 통하여 지하수의 형태로 관거로 유입되는 유량을 뜻하며, 유입수(inflow)는 지붕홍통, 배수구, 가지관, 오수펌프, 지하설배수구, 마당, 노면배수시설 및 오수관과 우수관의 오래된 연결부와 파손된 맨홀뚜껑이나 맨홀과 뚜껑의 부실사공 된 접합부로부터 하수관거로 직접 유입되는 외부의 빗물 및 기타 유출수를 뜻한다(LEP, 1993; EPA, 1985; NDF, 2005; Lee, 2009 재인용).

침입수 및 유입수는 토양과 지하수 오염의 주원인으로 작용할 뿐만 아니라 모든 수자원 오염의 원인이 되며 지하수 침투에 의한 하수의 과잉 희석으로 하수처리장의 효율을 저하 및 과다 유량에 의한 건설비의 과잉 투자로 재정적인 손실을 초래하게 된다(MOE, 2007; Kim, 2009a 재인용).

침입수와 유입수는 연결관의 접합 불량, 파손 및 균열, 이음부 이완 및 어긋남, 맨홀 불량, 지하실, 기초 배수구, 오수받이 파손 및 균열 등의 원인에 의해 발생하게 된다(Lee, 2009).

한강수계 하수관거 정비시범사업(1단계)에서 관거조사를 통한 II 발생 원인을 분석한 결과 침입수는 관 이음부, 관 연결부 접합불

량 및 지장물(교량) 통과부의 파손으로 하천수 다량 유입, 차집관거가 하천수위 아래 매설되어 항시 침입수가 유입되며, 기존관거에서는 연결부위의 파손 및 돌출, 타관 통과 부위 파손, 부식 및 침하로 인한 파손부위 침입수 발생하며, 간혹 나무뿌리로 인한 관 파손 부위로 침입수가 유입되었다. 맨홀의 경우에는 본관과 맨홀 연결부 접속 불량, 맨홀뚜껑 함몰 및 파손, 맨홀내부 균열 및 이음부 누수로 인해 침입수가 발생한 것으로 조사되었다(Korea Environment Corporation, 2002, 2003; Lee, 2009 재인용).

#### 3.2 침입수 산정방법

현재 II를 산정하는 방법론은 국내외적으로 다양하게 제시되어 있으며, 현재 범용적으로 활용되고 있는 산정 방법은 보통 4가지 방식(물사용량 평가법, 일최대-최소 유량평가법, 일최대 유량평가법, 야간생활 하수평가법)으로 소개되어 있다(EPA, 1991; WEF and ASCE, 1994).

2000년 이후 국내에서 최적의 침입수 산정방법을 도출하기 위하여 특정 지역을 대상으로 한 연구가 진행되고 있으며, 최근 MOE (2009a)에 따라 ‘야간 생활하수 평가법’을 하수관거정비 BTL사업에서의 침입수 산정방법으로 사용하고 있다.

야간 생활하수평가법은 Fig. 1과 같이 침입수의 발생량이 일정하다는 가정 하에 있으며, 강수가 없을 경우 일 최소발생량에서 공장폐수와 야간 생활하수 발생량을 제외한 나머지 발생량을 관거로 침투하는 침입수량으로 산정하는 방법이다. 즉, 최소 발생하수량은 24시간 발생하는 공장폐수량과 야간 발생하수량, 침입수량에 의해 발생하며 최소발생량에서 공장폐수량과 야간 발생하수량을 제외시키고 나머지는 침입수량으로 산정한다(WPCF, 1969; Kim, 2009a 재인용).

$$\text{침입수량(infiltration)} = Q_{\text{min}} - \text{NDF} - Q_{\text{Ind}} \quad (1)$$

여기서,  $Q_{\text{min}}$  = 일평균최소하수량

NDF = 평균야간발생하수량

$Q_{\text{Ind}}$  = 24시간 조업하는 공장폐수량(24시간 일정하게 발생)

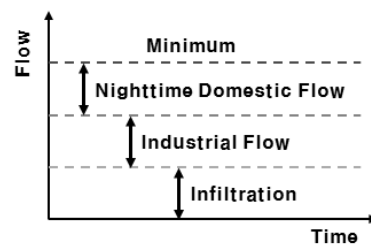


Fig. 1. Nighttime Domestic Flow Evaluation

## 4. 제주지역 침입수 발생 분석

### 4.1 대상현장 선정

#### 4.1.1 대상 선정

본 연구의 대상사업 지역은 Fig. 2와 같이 제주특별자치도 한경면, 애월읍, 조천읍 일원으로, 한경면처리분구는 10개 소처리분구, 애월읍처리분구와 조천읍처리분구는 각각 6개 소처리분구로 전체 22개 소처리분구가 본 연구의 대상사업 지역이다. 특히, 본 사업지

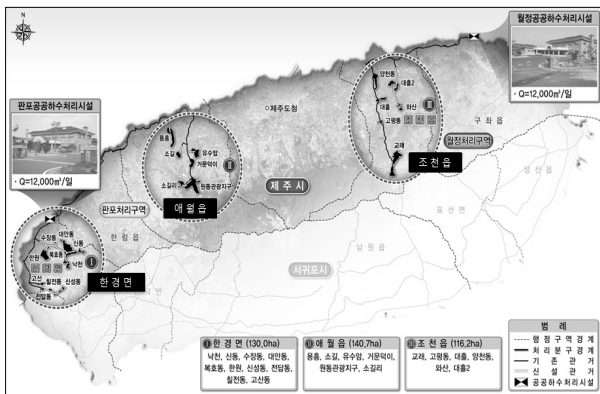


Fig. 2. Status of Research Area

Table 1. Status of Fixed Flowmeter Installation

Section	Treatment Zone	Mini-Treatment Zone	Sewage Products Zone	Flowmeter Type	Install Diameter (mm)
F1	Jocheoneup	Daeheul 2	Daeheul2ri Wasanri	Ultrasonic Waves	D200
F2	Aewoleup	Yongheung	Yongheungri	Ultrasonic Waves	D200
F3	Aewoleup	Yusuam	Yusuamri	Ultrasonic Waves	D200
F4	Hangyeong myeon	Hanwon	Hanwonri	Ultrasonic Waves	D200
F5	Hangyeong myeon	Sindong	Josuri	Ultrasonic Waves	D200

Table 2. Status of F1 Fixed Flowmeter Infiltration

Section	Average Flow (m <sup>3</sup> /d) (a)	Minimum Flow (m <sup>3</sup> /d) (b)	Nighttime Domestic Flow (m <sup>3</sup> /d) (c)	Infiltration Volume (m <sup>3</sup> /d) (d)=(b)-(c)	Infiltration Ratio (%) (d)×100/(a)
Feb.	92.56	26.35	17.52	8.83	9.53
Mar.	137.62	42.05	26.06	15.99	11.62
Apr.	151.26	49.26	28.64	20.62	13.63
May	169.24	55.99	32.04	23.95	14.15
Jun.	187.61	67.33	35.52	31.81	16.95
Jul.	175.98	48.13	32.64	15.49	8.80
Aug.	194.48	47.92	36.08	11.85	6.09
Sept.	217.59	72.83	40.36	32.47	14.92
Oct.	188.94	63.99	35.05	28.94	15.32
Nov.	238.95	107.71	44.32	63.39	26.53
Dec.	216.84	99.71	40.22	59.49	27.44

역은 침입수 분석 시 바닷물의 높이 변화 즉, 만조와 간조의 영향을 받지 않으며, 관거로 유입되는 침입수 분석의 확실적인 검토가 가능한 제주시 서부지역으로 2009년도 제주시 읍면지역 하수관거 정비 임대형민자사업지역이다.

#### 4.1.2 고정식유량계 설치 현황

I/I 성과보증지표는 운영개시 후 3년간의 데이터를 축적, 분석하여 기준 값을 설정하고, 운영개시 4년차부터 적용하도록 정하고 있다. 이에, I/I 성과보증을 위한 유량계 현황에 대하여 조사하였다. I/I 성과보증을 위한 유량계 설치현황은 Table 1과 같다. F1은 조천읍, F2와 F3은 애월읍, F4와 F5는 한경면에 위치하고 있다.

### 4.2 야간 생활하수 평가법에 따른 침입수량 분석

본 연구에서는 하수관거 침입수 및 유입수 산정 매뉴얼(MOE, 2009b)에 따라 ‘야간 생활하수 평가법’으로 고정식유량계 지점별 침입수를 분석하였다.

F1 지역의 고정식유량계의 2014년도 월별 침입수 분석현황은 Table 2와 같다. F1 지역의 월별 침입수는 계절별, 월별 일정한 패턴을 보이지 않지만, 11월~12월에 평균하수량 증가 대비 최소하수량의 증가폭이 커 침입수비율이 다소 높음을 알 수 있었다.

Table 3. Status of F2 Fixed Flowmeter Infiltration

Section	Average Flow (m <sup>3</sup> /d) (a)	Minimum Flow (m <sup>3</sup> /d) (b)	Nighttime Domestic Flow (m <sup>3</sup> /d) (c)	Infiltration Volume (m <sup>3</sup> /d) (d)=(b)-(c)	Infiltration Ratio (%) (d)×100/(a)
Feb.	46.24	28.53	7.85	20.67	44.71
Mar.	66.02	39.54	11.21	28.32	42.90
Apr.	84.54	46.85	14.36	32.49	38.43
May	71.63	41.52	12.17	29.35	40.98
Jun.	87.73	50.14	14.90	35.24	40.16
Jul.	107.62	52.23	17.71	34.52	32.08
Aug.	76.11	38.10	12.52	25.57	33.60
Sept.	95.81	45.92	15.77	30.16	31.48
Oct.	76.21	37.85	12.54	25.31	33.21
Nov.	62.17	31.07	10.23	20.84	33.53
Dec.	64.97	32.20	10.69	21.51	33.11

F2 지역의 고정식유량계의 2014년도 월별 침입수 분석현황은 Table 3과 같다. F2 지역의 월별 침입수는 년간 거의 일정한 패턴을 보이나, 평균하수량 대비 최소하수 발생량이 많아 전반적으로 침입수비율이 높으며, 다른 고정식유량계의 침입수비율 보다 다소 높은 편이었다.

F3 지역의 월별 침입수는 큰 틀에서는 거의 일정한 패턴을 보이나, 11월~12월에 평균하수량 대비 최소하수 발생량의 감소폭이 커 침입수비율이 다소 낮음을 알 수 있었다. F4 지역의 월별 침입수에 대한 계절별 현황을 분석하면 겨울철에는 평균하수량 대비 최소하수량의 감소폭이 커 다소 낮음을 알 수 있으며, 봄-가을에는 침입수비율의 패턴이 거의 일정함을 보였다. F5 지역의 월별 침입수는 월별, 계절별에 관계없이 다른 고정식유량계의 침입수비율에 비해 전반적으로 낮은 형태이며, 2월의 침입수비율이 가장 낮으며 그 외에도 10% 안팎으로 양호한 침입수비율을 보였다.

‘야간 생활하수 평가법’에 따른 침입수량 계산 결과, 제주도내 5개 지역(F1~F5)은 침입수율이 계절별로 10~40% 정도를 나타내는 것으로 조사되었다. 문제가 되는 점은 현행 하수관거정비 BTL사업의 성과지표에서 침입수율이 30% 이상일 경우 해당 성과지표에 대한 배점은 낮은 점수를 득할 수 밖에 없다는 것이다. 따라서, 제주도내 5개 지역에서 실제적으로 침입수가 발생하는지에 대해서 조사해 보고자 한다.

### 4.3 연구대상 지역 침입수 발생 현황 분석

#### 4.3.1 침입수 발생조건 도출

침입수의 정의에서도 언급했듯이 침입수는 하수관과 맨홀 등을 포함한 하수관거상태 즉, 불량부위로 지하수 유입에 의해 발생한다.

1) F3~F5 지역의 침입수 현황은 논문의 지면 분량을 고려하여 생략함.

즉, 침입수가 발생하기 위해서는 ㉠ 지하수위가 하수관거보다 높게 위치하거나, ㉡ 하수관거의 손상 등 기능상 문제가 발생하여 빗물 등이 유입될 수 있는 조건이 형성되어야 한다.

따라서 이에 대한 자료조사를 시행하고 다음과 같이 침입수 발생조건을 분석하였다.

#### ① 지하수위 조사 및 분석

- ㉠ 본사업의 설계시 조사되어 설계지표로 활용되었던 지하수위 조사
- ㉡ 현재 제주특별자치도 수자원본부에서 관리 중인 지하수위 관측소 중 유량계 설치지점 사업지역 인근 지하수위 조사
- ㉢ 지하수위 조사에 의한 침입수 발생 여건 등 하수관거에 미치는 영향에 대한 분석 시행

#### ② 하수관거 기능상태 조사 및 분석

- ㉠ 준공검사 결과보고서를 통한 본사업의 시공 시 관거시험 결과 조사
- ㉡ 준공 시 시공품질검사(QA/QC) 결과 조사
- ㉢ 시공 중 유량계로 유입되는 개·보수 오수관거 중 준공 및 시공품질검사(QA/QC)시 기능이 미확보된 관거조사 및 시험시행
- ㉣ 하수관거의 기능상태 조사에 의한 침입수 발생 여건 분석 시행

#### 4.3.2 설계단계 지하수위 조사 및 분석

지하수위는 본 사업의 기본계획 토질조사 보고서(Jeju Special Self-Governing Province, 2009)와 설계시 설계보고서 부록(Jeju Special Self-Governing Province, 2011) 지하수위조사 결과와 현재 제주특별자치도 수자원본부에서 관측중인 지하수위 관측소

중 유량계가 설치되어 있는 사업지역 인근 지하수위 관측소 데이터를 조사 및 분석을 하였다.

### ① 기본계획시 지하수위 조사 및 분석

Jeju Special Self-Governing Province (2009)에 의하면 조사 지역은 행정구역상으로 제주특별자치도 제주시 읍면지역 일원으로 조사 위치선정은 대표적인 하수관거 설치부위에 대한 기본계획으로 7개소의 시추조사 위치를 선정하고 현장답사를 통하여 효율적인 조사가 되도록 위치를 확정하는 것으로 파악되었다.

Jeju Special Self-Governing Province (2009)에 의한 지하수위 측정 검토결과, 7개소에 대한 검토 결과는 동일하였으며, 시추작업 완료 후 24시간 이상이 경과하거나 수위가 회복되었다고 판단되었을 때 측정하였으나, 지하수위는 형성되지 않는 것으로 조사되었다. 해수면 상부 10m 내외에 지하수위가 형성되는 제주지역의 특성을 감안하면 본 조사지역에서는 지하수위에 의한 영향은 고려하지 않아도 될 것으로 판단한다고 되어 있다. 또한, 기본계획시 지하수위 조사지점과 현재 고정식유량계 F2, F3, F4지점이 동일 소처리분구에 위치하는 것으로 조사되었다.

### ② 실시설계시 지하수위 조사 및 분석

본 사업의 실시설계 시 지하수위 조사는 조천읍처리분구 16개소, 애월읍처리분구 12개소, 한경면처리분구 24개소로 전체 52개소에 대한 지하수위 조사가 이루어진 것으로 조사되었다.

전체 52개소에 대한 지하수위 조사 중 F1 유량계 지역 8개소, F2 유량계 지역 5개소, F3 유량계 지역 4개소, F4 유량계 지역 4개소, F5 유량계 지역 7개소에 대하여 각각 실시설계 시 지하수위 조사가 이루어진 것으로 조사되었다.

기본계획 토질조사 보고서에는 해수면 상부 10m 내외에 지하수위가 형성되는 제주지역의 특성을 감안하면 본 조사지역에서는 지하수위에 의한 영향은 고려하지 않아도 될 것으로 판단한다고 되어있으나, 실시설계 시 지하수위 조사는 부분별로 굴진심도 내 지하수가 출현하는 경향을 보이고 있다.

이에, 실시설계 시 지하수위 출현 심도와 유량계로 유입되는 하수관거 관저고에 대한 비교 분석을 시행한 결과 다음과 같은 분석이 이루어졌다.

#### ③ F1 고정식유량계

F1 고정식유량계 지점의 지하수위 측정은 8개소로 대부분 GL(-) 5m이하로 나타났으며, 굴진심도 내 출현하는 평균지하수위는 GL(-) 4.53m로 유량계로 유입되는 하수관거 관저고(GL(-) 기준, 최소: 1.02m, 최대: 3.06m, 평균: 1.42m)보다 밑에 분포하여 침입수 발생인자인 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로

분석되었다.

#### ④ F2 고정식유량계

F2 고정식유량계 지점의 지하수위 측정은 3개소로 전부 GL(-) 5m이하와 GL(-) 6m이하로 나타났으며, 유량계로 유입되는 하수관거 관저고(GL(-) 기준, 최소: 1.20m, 최대: 3.54m, 평균: 1.71m)보다 밑에 분포하여 F1 고정식유량계 지점과 같이 침입수 발생인자인 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.

#### ⑤ F3 고정식유량계

F3 고정식유량계 지점의 지하수위 측정은 4개소로 1개소는 GL(-) 5m이하로 나타났으며, 굴진심도 내 출현하는 평균지하수위는 GL(-) 4.96m로 유량계로 유입되는 하수관거 관저고(GL(-) 기준, 최소: 1.20m, 최대: 2.67m, 평균: 1.47m)보다 밑에 분포되어 있어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.

#### ⑥ F4 고정식유량계

F4 고정식유량계 지점의 지하수위 측정은 2개소로 전부 GL(-) 5m이하로 나타났으며, 유량계로 유입되는 하수관거 관저고(GL(-) 기준, 최소: 1.20m, 최대: 3.14m, 평균: 1.90m)보다 밑에 분포되어 다른 유량계 지점과 같이 침입수 발생인자인 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.

#### ⑦ F5 고정식유량계

F5 고정식유량계 지점의 지하수위는 2개소(BH-51, BH-52)에서 각각 지하수위가 GL(-) 1.6m와 GL(-) 2.1m로 하수관거 인근에 마을 수변시설로 인해 다소 높게 측정되었으나, 영향범위에 있는 하수관거 관저고 조사결과 각각 GL(-) 1.2m와 GL(-) 1.67m로 조사되어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없었다. 2개소는 각각 GL(-) 5m 이하와 GL(-) 6m이하로 나타났으며, 굴진심도 내 지하수위 출현은 평균 GL(-) 3.93m로서 유량계로 유입되는 하수관거 관저고(GL(-) 기준, 최소: 1.17m, 최대: 3.70m, 평균: 1.77m)보다 밑에 분포되어 침입수 발생 인자인 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.

### 4.3.3 지하수위 관측소에 의한 지하수위 분석

설계단계 이후 지하수위의 변동에 의해 하수관거에 영향을 주는 지에 대한 검증 방법으로 제주특별자치도 수자원본부에서 관리하는 지하수위 관측소 중 고정식유량계가 설치되어 있는 인근의 지하수위 관측소 5개소에 대한 관측데이터를 수집 조사하였다. 또한, 유량계로 유입되는 하수관거의 관저고와 비교 분석을 통한 침입수 발생 조건 인자인 지하수위가 하수관거에 미치는 영향을

조사하였다. 관측소별 지하수위는 월간 일별 지하수위를 조사하여 월 평균값을 적용하였다.

㉔ F1 지역의 지하수위-유입관저고 영향

F1 지역 지하수위 관측소(JR조천2)와 F1 고정식유량계로 유입되는 하수관거 관저고와의 비교를 시행하여 침입수 발생인자의 영향범위를 분석하였다. 침입수 발생인자인 지하수위와 하수관거 관저고와의 분석결과 해당지역의 지하수위는 EL(+) 2~5.71m에 형성되어 있고, 유량계로 유입되는 관저고는 EL(+) 28.1~79.01m에 매설되어 분포하고 있어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다(Fig. 3).

㉕ F2 지역의 지하수위-유입관저고 영향

F2 지역 지하수위 관측소(JM신업)와 F2 고정식유량계로 유입되는 하수관거 관저고와의 비교를 시행하여 침입수 발생인자의 영향범위를 분석하였다. 침입수 발생인자인 지하수위와 하수관거 관저고와의 분석결과 해당지역의 지하수위는 EL(+) 5.01~11.33m에 형성되어 있고, 유량계로 유입되는 관저고는 EL(+) 42.95~77.93m에 매설되어 분포하고 있어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다(Fig. 4).

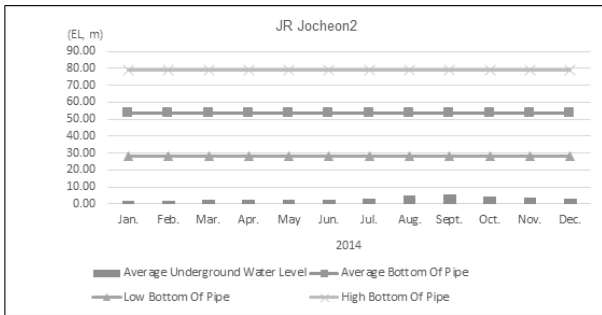


Fig. 3. Compare of F1 Observatory Underground Water Level and Bottom of Pipe

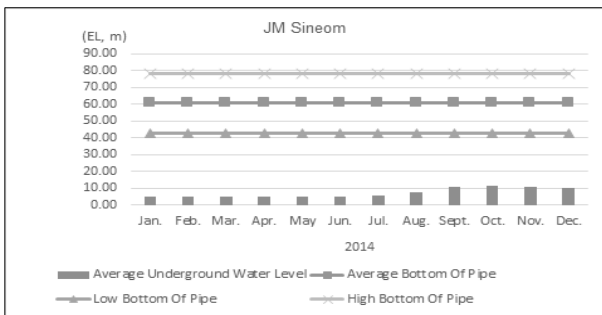


Fig. 4. Compare of F2 Observatory Underground Water Level and Bottom of Pipe

㉖ F3 지역의 지하수위-유입관저고 영향

F3 지역 지하수위 관측소(JR장전1)와 F3 고정식유량계로 유입되는 하수관거 관저고와의 비교를 시행하여 침입수 발생인자의 영향범위를 분석하였다. 침입수 발생인자인 지하수위와 하수관거 관저고와의 분석결과 해당지역의 지하수위는 EL(+) 6.08~13.97m에 형성되어 있고, 유량계로 유입되는 관저고는 EL(+) 172.66~256.30m에 매설되어 분포하고 있어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다(Fig. 5).

㉗ F4 지역의 지하수위-유입관저고 영향

F4 지역 지하수위 관측소(JD용수2)와 F4 고정식유량계로 유입되는 하수관거 관저고와의 비교를 시행하여 침입수 발생인자의 영향범위를 분석하였다. 침입수 발생인자인 지하수위와 하수관거 관저고와의 분석결과 해당지역의 지하수위는 EL(+) 8.90~17.29m에 형성되어 있고, 유량계로 유입되는 관저고는 EL(+) 31.68~28.92m에 매설되어 분포하고 있어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다(Fig. 6).

㉘ F5 지역의 지하수위-유입관저고 영향

F5 지역 지하수위 관측소(JD판포2)와 F5 고정식유량계로 유입되는 하수관거 관저고와의 비교를 시행하여 침입수 발생인자의

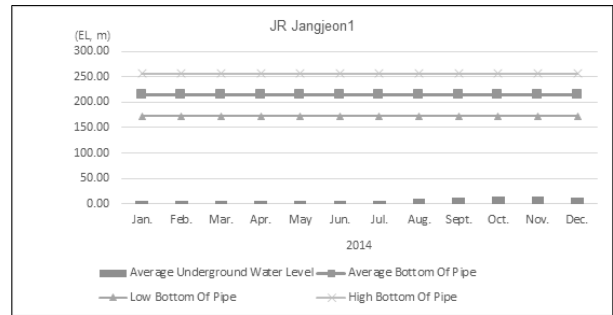


Fig. 5. Compare of F3 Observatory Underground Water Level and Bottom of Pipe

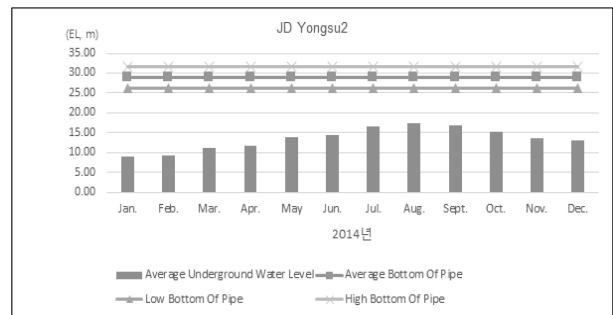


Fig. 6. Compare of F4 Observatory Underground Water Level and Bottom of Pipe

영향범위를 분석하였다. 침입수 발생인자인 지하수위와 하수관거 관저고와의 분석결과 해당지역의 지하수위는 EL(+) 13.50~20.21m에 형성되어 있고, 유량계로 유입되는 관저고는 EL(+) 35.76~79.55m에 매설되어 분포하고 있어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다(Fig. 7).

**4.3.4 하수관거 시험 현황 조사 및 분석**

Jeju Special Self-Governing Province (2010)에 의하면 준공 시 평가지표로 크게 침입수 및 유입수 항목으로 나누어 관거 대상, 평가지표, 검증방법 등을 제시하여 시설물에 대한 성능을 검증하여야 하며, 침입수에 대한 내용은 Table 4와 같다. 준공 시 평가지표는 준공 전에 실시하는 준공검사에 적용하는 것을 원칙으로 하며, 시공 중 시행하는 시공품질검사(QA/QC: Quality Assurance/Quality Control)는 하수관거 시설물에 대한 100% 검사를 수행하되 하수관거 시스템의 구조적 정비 위주로 실시토록 되어 있다.

이에, 준공 시 평가지표에 대한 관거 시설물 검증방법과 시공

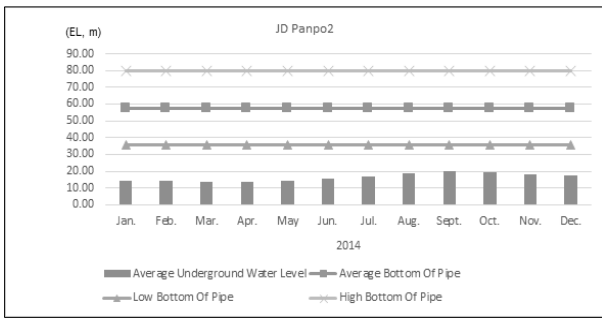


Fig. 7. Compare of F5 Observatory Underground Water Level and Bottom of Pipe

중 시행하는 시공품질검사(QA/QC)에 따른 하수분관 CCTV검사, 수밀시험(공기압시험, 수압시험), 배수설비 연막시험, 맨홀부 부공기압시험 등 시험결과에 대하여 조사, 분석을 시행하였다. 기초자료는 본 사업의 준공도서인 CCTV조사보고서, 준공검사결과보고서, 준공 시 QA/QC 결과 보고서를 토대로 작성하였으며, 부분보수를 시행한 유량계로 유입되는 기존 하수관거 중 검증이 이루어지지 않은 하수관거는 직접시험을 통한 검증을 시행하였다.

**㉑ 시공 중 시공품질검사 결과 및 분석**

**㉔ 하수분관 CCTV 조사 결과 분석**

본 사업의 준공도서인 CCTV조사보고서(Jeju Special Self-Governing Province, 2013c)를 기준으로 시공 중 시공품질검사 항목에서 전체 및 고정식유량계 설치지역에 대한 하수관거 CCTV 조사 현황 및 분석을 시행하였다.

조천읍처리분구 14,179.3m, 애월읍처리분구 11,070.1m, 한경면처리분구 18,320.4m로 전체 43,569.8m이며, 시공물량에 대한 전체 하수관거에 대한 CCTV조사가 이루어졌다. 이 중 고정식유량계 설치지역 소처리분구에 해당되는 하수관거 CCTV조사 및 분석을 시행한 결과는 침입수 발생 조건 인자인 하수관거의 결함 등의 이상항목이 없어 침입수와 관련하여 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.

**㉕ 하수분관 및 배수설비 시험 결과 분석**

침입수에 대한 시공 중 시공품질검사(QA/QC) 따른 하수분관에 대한 수밀시험(공기압시험, 수압시험), 배수설비 연막시험 등에 대하여 본 사업의 준공 시 준공검사 결과보고서(Jeju Special Self-Governing Province, 2013b)를 기준으로 시험결과에 대한

Table 4. Completion upon Evaluation Indicators

Section	Object	Item	Evaluation Indicators and Verification Method		Quantity of Inspection	Allowable Rate
			Evaluation Indicators	Verification Method		
Infiltration	Main Pipe	New Build Pipe	Sewer Pipe Survey	CCTV + Watertight Verification	5% of The Object Pipe	Allowing Leakage Below
		Full Repair	Sewer Pipe Survey	CCTV + Watertight Verification	5% of The Object Pipe	Allowing Leakage Below
		Partial Repair	Underground Water Level Low Section	CCTV + Partial Watertight Verification	5% of The Object Pipe	Sewer Pipe Repair Satisfy the Grade Standards and Allowing Leakage Below
	Underground Water Llevel High Section		CCTV July, August (During the rainy season)	5% of The Object Pipe	No infiltration sites in a succession. Below 3 sites for discontinuous sites on the base of criteria with proximate manholes	
Drainage Facilities	The whole	Connections Survey	Endoscope Or Small-caliber CCTV, Visual Inspection	5% of The Object Amount	Nothing Must Abnormality Place	



조사 및 분석을 시행하였다.

그 결과, 전체 하수관거에 대한 공기압시험은 2,476개소, 수압시험은 197개소, 배수설비는 1,468개소에 대하여 모두 합격판정을 받았다. 또한, 기존 오수관거 부분보수 구간의 부분수밀검사는 시공 중, 준공 시 시공품질검사(QA/QC)에서 제외되어 기능 확보 검증을 위해 유량계로 유입되는 하수관거 2개소에 대하여 하수관거공사표준시방서(Korea Water and Wastewater Works Association, 2010)의 공기압시험(관거) 기준에 의한 자체시험을 통한 검증을 시행하였다. 자체시험 결과, 관로번호 04731-052S, 04732-063S 2개소 각각 허용압력 1.5kPa을 상회하여 모두 합격판정을 받아 침입수 발생 조건 인자인 하수관거의 결합 등의 기능상의 문제는 발생치 않았다.

**㉔ 준공검사에 의한 시공품질검사 결과 및 분석**

Jeju Special Self-Governing Province (2010)에 따라 사업대상지역에 설치된 신설관거 및 개보수관거에 대해서는 준공 시 평가지표에 의한 QA/QC (Quality Assurance/ Quality Control) 를 전체 물량의 5% 이상에 대하여 시행하여야 하며, 기존관에 대한 기존시설 성능확인인 사업구역 내 신설관거 및 개보수관거를 제외한 기존시설의 성능확인 검증을 시행하여야 한다.

**㉕ 준공 시 평가지표에 의한 시험 결과 분석**

시험결과 분석은 준공 시 QA/QC 결과 보고서(Jeju Special

Self-Governing Province, 2013a)를 토대로 작성하였으며, 침입수에 대한 준공 시 평가지표 시험결과는 Table 5와 같다. 사업대상지역에 설치된 신설관거 및 개보수관거를 대상으로 한 전체대상관거 중 5%이상에 대하여 평가지표 및 검증방법에 의한 QA/QC검사를 시행한 결과 CCTV검사는 신설오수 43,774m중 2,741.1m를 시행하였으며, 공기압검사는 1,196개소 중 70개소에 대해 시험을 실시하여 모두 합격하였다. 또한 오수발생원의 시점인 배수설비의 준공 시 평가지표 시험결과 1,468개소 중 85개소에 대한 시험을 시행하여 모두 합격판정을 받은 것으로 분석되었다.

**㉖ 기존시설 성능확인 시험 결과 분석**

사업구역 내 신설관거 및 개보수관거를 제외한 기존시설에 대한 5% 이상의 검사를 수행하여야 하며, 기존시설에 대한 성능확인 시 평가지표 중 침입수에 대한 평가지표는 Table 6과 같다. 성능확인인 기존관거 시설물 2,712m 중 192.1m를 시험하였으며, 결과는 모두 합격판정을 받아 이상이 없는 것으로 판정되었다.

**㉗ 준공검사에 의한 시공품질검사 결과 분석**

Jeju Special Self-Governing Province (2010)의 준공 시 평가지표에 의거하여 신설관거 및 개보수관거, 기존시설 성능확인을 위한 준공 시 QA/QC를 시행한 결과를 분석한 결과는 다음과 같다.

**Table 5. Test Results of Completion upon Evaluation Indicators**

Section	Object	Item	Evaluation Indicators and Verification Method			Unit	Quantity of Inspection		Note
			Evaluation Indicators	Verification Method			Quantity of The whole	Quantity of Test	
Infiltration	Main Pipe	New Sewer Pipe	Sewer Survey	CCTV	New Build Sewer Pipe	m	43,774	2,741.1	Pass
					Rain-Water Pipe		1,162	152.5	Pass
			Air-pressure Test	New Build Sewer Pipe	EA	1,196	70	Pass	
	Partial Repair	Underground Water Level Low Section	CCTV	Existing Rain-Water Pipe	EA	46	5	Pass	
Drainage Facilities	The whole	Connections Survey	Endoscope or Small-caliber CCTV, Visual Inspection		EA	1,468	85	Pass	

**Table 6. the Existing Facilities Performance Verification upon Evaluation Indicators**

Section	Object		Evaluation Indicators and Verification Method		Allowable Rate
			Verification Method	Quantity of Inspection	
Infiltration	Normality Judgment Section	Underground Water Level Low Section	CCTV	5% of the Object Pipe	Sewer Pipe Repair Grade Standards Satisfaction
		Underground Water Level High Section	CCTV	5% of the Object Pipe	No infiltration sites in a succession. Below 3 sites for discontinuous sites on the base of criteria with proximate manholes

- 신설관거 및 개보수관거에 시행 한 CCTV검사는 신설오수 2,741.1m 시행, 공기압검사는 70개소, 배수설비는 85개소에 대한 시험을 시행하여 모두 합격관정을 받았다.
- 기존시설 성능확인 결과, 기존관거 시설물 2,712m 중 192.1m 을 시험하였으며, 결과는 모두 합격관정을 받아 관거의 정상적인 기능이 검증되었다.
- 이에, 준공 시 준공검사에 의한 시공품질검사 결과, 침입수와 관련하여 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.
- 또한, 09년 제주시 읍면지역 하수관거정비 임대형민자사업 (BTL) 시공품질(QA/QC) 검사 결과 보고서(Jeju Special Self-Governing Province, 2013a)를 분석한 결과, 조천읍 처리구역 6개 처리분구, 애월읍 처리구역 6개 처리분구, 한경면 10개 처리분구에서 시공한 신설관로와 배수설비에 대하여 CCTV검사, 공기압검사, 연막검사, 내시경검사, 육안검사 등의 시공품질 검사를 수행한 결과, 침입수 및 유입수가 본 사업구간의 관로로 유입되지 않는 것으로 분석되었다.

#### 4.4 소결

현재, 하수관거정비 BTL사업의 성과평가 중 I/I에 대한 침입수는 야간 생활하수평가법을 사용하고 있으며, 4.2장에서 ‘야간 생활하수 평가법’에 따라 침입수를 분석을 시행한 결과, F5 지역의 경우 월별, 계절별에 관계없이 양호한 침입수율을 보였으며, 다른 4 지역의 고정식유량계는 월별, 계절별 일정한 패턴없이 침입수율이 다소 높게 나타났다.

그러나, 침입수가 발생하는 조건에 따른 분석 결과, 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다. 또한 침입수 평가지표 및 검증방법에 의한 하수본관 및 배수설비 시험 결과, 정상적인 관거기능이 검증되어 하수관거 결합 등에 의한 침입수 발생은 없는 것으로 분석되었다.

즉, 제주지역은 지질 특성상 지하수위가 심저(지하 깊은 곳)에 위치함에 따라 침입수가 발생하지 않음에도 불구하고 I/I에 대한 평가기준에 따라 침입수가 발생하는 것으로 평가되고 있어 BTL사업의 성과평가에 문제가 있는 것을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론 및 고찰

하수관거정비 BTL사업의 경우, 관리운영 단계에서 성과평가를 통하여 정부지급금(시설이용 가능성 지급금, 성과지급금(운영비))을 지급하고 있으며, 실시협약 성과요구수준서에 따라 운영비를 서비스 대가 차등지급 방안에 의해 지급하고 있다.

또한, 운영시 성과평가 지표는 관리 및 운영부문 등 크게 5개 부문 23개 항목(운영개시 3년차까지는 4개 부문 22개 항목)으로

구성되어 있다. 이 중 침입수/유입수(I/I) 성과보증지표는 운영개시 후 3년간의 데이터를 추적, 분석하여 기준값을 설정하고, 운영개시 4년차부터 적용하도록 정하고 있다.

특히, I/I 평가지표는 단일평가항목으로 17.5점의 높은 점수가 부여되고 있어, 운영성과 평가항목 중에서도 매우 중요한 평가항목이다.

그러나, ‘야간 생활하수 평가법’은 대도시의 통계자료를 근거로 작성된 것으로, 제주도와 같은 특수한 지질적 특성을 반영하지 못하고 있다는 것이 운영단계에서 문제점으로 대두되고 있다.

이에, 본 연구는 ‘야간 생활하수 평가법’에 따르면 침입수가 발생하는 것으로 평가되고 있으나, 실제적으로 침입수가 발생하지 않는 제주지역의 문제점을 분석하고자 수행되었다. 이를 위하여 침입수 발생조건에 따른 지하수위와 하수관거의 기능 분석을 전수 조사하였으며, 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 본 사업의 ‘야간 생활하수 평가법’에 의한 침입수비율 분석을 시행한 결과 F5 지역의 경우 월별, 계절별에 관계없이 양호한 침입수 비율을 보였으며, 다른 4 지역의 고정식유량계는 월별, 계절별 일정한 패턴없이 침입수비율이 다소 높게 나타났다.

둘째, 침입수 발생 조건 중 지하수위와 하수관거 관저고와의 비교를 통한 검증 및 분석을 시행한 결과, 조사 대상 지역 5개 지역의 지하수위는 하수관거 저면에 분포되어 지하수위가 하수관거에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.

셋째, 침입수 발생 조건 중 하수관거 기능상태 조사 및 분석을 위해 준공검사 결과보고서, 준공시 시공품질검사(QA/QC)와 시공 품질검사이시 기능이 미확보된 관거에 대하여 자체시험 결과를 분석 하였다. 침입수 평가지표 및 검증방법에 의한 하수본관 및 배수설비 시험결과, 정상적인 관거기능이 검증되어 하수관거 결합 등에 의한 침입수 발생은 없는 것으로 분석되었다.

본 연구 결과를 종합해 볼 때, 제주지역은 지질 특성상 지하수위가 심저(지하 깊은 곳)에 위치함에 따라 침입수가 발생하지 않음에도 불구하고 I/I에 대한 평가기준에 따라 침입수가 발생하는 것으로 평가되고 있어 BTL사업의 성과평가에 문제가 있는 것을 확인할 수 있었다.

이에, 침입수 관련 평가에 대한 개선이 필요할 것으로 생각되며, 다음과 같은 개선사항을 제안하고자 한다.

첫째, 현재 침입수/유입수 대한 평가 기준은 제주도 지역을 제외한 타 지역에 표본조사에 의한 평가기준이 수립된 것이다. 따라서, 현재까지 지속적인 유량계관리 및 유량데이터를 확보하여, 지하수위 영향범위에 따른 침입수 산정방식 등과 같은 제주특별자치도만의 침입수 관련기준 마련이 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 정확한 하수관거의 기능평가가 이루어질 수 있도록 하수관거 수밀조사, 연막조사와 CCTV 및 내시경 촬영 등을 통한 하수관거

기능 확보가 필요하다. 이는 하수관거 결함에 의한 누수지점 파악 및 개보수를 통한 지하수 오염을 사전에 예방하여 수자원을 보호하는 차원에서라도 중요할 것으로 사료된다.

셋째, 침입수 성과평가 배점 조정을 통해 관리운영 업무비중이 큰 서비스 만족도 부문(환경오염저감계획, 하수도이용자 보건향상, 민원 발생에 신속한 대처, 하수도서비스 극대화 등)에 대한 배점을 상향조정하여 궁극적인 목적에서의 하수도 이용자의 편의를 도모해야 할 것으로 사료된다.

## References

- Ahn, D. H. (2014). A Study on Improvement of Fixed Flowmeter Installation and I/I Performance Evaluation in Sewer Rehabilitation BTL Project, Ph.D. Dissertation, Gyeongsang National University (in Korean).
- DEP (1993). Guidelines for performing infiltration/inflow analyses and sewer system evaluation survey, Department of Environmental Protection, Boston.
- EPA (1985). Infiltration/inflow : I/I analysis and project certification, Ecology Publication No. 97-03, US Environmental Protection Agency, Washington.
- EPA (1991). Sewer System Infrastructure analysis and rehabilitation handbook, EPA/625/6-91/030, US Environmental Protection Agency, Washington.
- Jeju Special Self-Governing Province (2009). Soil Report for Basic Planning of 2009 year' BTL Sewer Rehabilitation Projects in Jeju City (in Korean).
- Jeju Special Self-Governing Province (2010). Request for Proposal of Enforcement Agreement in BTL Sewer Rehabilitation Projects (in Korean).
- Jeju Special Self-Governing Province (2011). Detailed Design Report of 2009 year' BTL Sewer Rehabilitation Projects in Jeju City (in Korean).
- Jeju Special Self-Governing Province (2013a). Quality Assurance/Quality Control(QA/QC) Investigation Report of 2009 year' BTL Sewer Rehabilitation Projects in Jeju City (in Korean).
- Jeju Special Self-Governing Province (2013b). Completion Inspection Report of 2009 year' BTL Sewer Rehabilitation Projects in Jeju City (in Korean).
- Jeju Special Self-Governing Province (2013c). CCTV Inspection Report ; As-Built Documents of 2009 year' BTL Sewer Rehabilitation Projects in Jeju City (in Korean).
- Jeju Special Self-Governing Province (2013d). Hydraulic Calculation Report ; As-Built Documents of 2009 year' BTL Sewer Rehabilitation Projects in Jeju City (in Korean).
- Kim, I. S. (2009a). Development and Application of I/I Index on Sewer System, Ph.D. Dissertation, University of Seoul (in Korean).
- Kim, S. H. (2013). Analysis of characteristics for infiltration and inflow occurrence on sewer system in Asan city, Master's Thesis, Kongju National University (in Korean).
- Kim, S. J. (2008). Infiltration/Inflow Estimation with Yearly Influent Sewage on Residential Style, Ph.D. Dissertation, Sunchon National University (in Korean).
- Kim, T. G. (2009b). A Study for the Generation Characteristics of Infiltration/Inflow(I/I) in Urban Area, Master's Thesis, Gyeongsang National University (in Korean).
- Korea Environment Corporation (2002). Feasibility Study Report for Pilot Projects(Step 1) in Han river with sewer rehabilitation (Area 1~6) (in Korean).
- Korea Environment Corporation (2003). Basic Design Report for Pilot Projects (Step 1) in Han river with sewer rehabilitation (Area 1~6) (in Korean).
- Korea Water and Wastewater Works Association (2010). Standard Specification for Sewer Pipe Construction Works (in Korean).
- Lee, J. H. (2009). Index of infiltration in sewer rehabilitation, Master's Thesis, Chung-Ang University (in Korean).
- Ministry of Environment (MOE) (2007). Documentation Guidelines of Master Plan for Sewerage Improvement (in Korean).
- Ministry of Environment (MOE) (2009a). Guideline for Operation & Management on Public Sewerage Facilities(Revised Version) (in Korean).
- Ministry of Environment (MOE) (2009b). Standard Manual for Estimating Infiltration/Inflow on Sewer Pipes (in Korean).
- NDF (2005). Regional drainage policies technical document vol. 4 : Inflow, infiltration and exfiltration, National Development Plan.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2004). Wastewater engineering: Treatment and Reuse, 4th ed., Metcalf and Eddy Inc., New York.
- WEF and ASCE (1994). Exiting sewer evaluation and rehabilitation. 2nd ed., WEF Manual of Practice FD-6 and ASCE Manual and report on engineering practice no. 62, New-York.
- WPCF (1969). Design and construction of sanitary and storm sewer, MO9, WPCF Manual of Practice No. 9 and ASCE Manual on Engineering Practice No. 37, New-York.