

A Study on Improvement of Inflow/Infiltration Computation and Application Method in Sewer Rehabilitation Project

하수관거정비사업의 침입수/유입수 산정 및 활용방법 개선방안에 관한 연구

Jong-Oh Kim¹ · Dong-Gi Jeong^{1,2} · Dae-Hoon An^{1,2*}

김종오¹ · 정동기^{1,2} · 안대훈^{1,2*}

¹Gyeongsang National University/ERDI · ²Korea Environment Corporation

¹경상대학교 대학원 환경보전학과/환경 및 지역발전연구소 · ²한국환경공단

Abstract : In this study, current sewer infiltration/Inflow(I/I) computation and application method was examined about improvement and adequacy relating to the main issues raised by the field for practitioners. The results of review about infiltration calculation method were considered to be in need of improvement at 'standards of minimum sewage calculation'. Furthermore, the results of review about I/I application method were considered to be in need of improvement at 'standards of seasonal infiltration application' and 'the relative decrease in the Annual evaluation standards'. In addition, annual I/I analysis at JC County for the four years(2009 ~ 2012) in respect of operation flow and rainfall data was conducted. The result of annual infiltration analysis, compared average daily sewage generated average infiltration rate was found in 21.95 %, infiltration by unit was found in 0.31 m³/day/cm/km and 0.12 m³/day/day, respectively. The result of annual inflow analysis, average rainfall - Inflow equations was found $y = 5.499x(R^2 0.793)$, and the average Inflow quantity by sewer extension was predicted to 0.66 m³/mm-km.

Key words : Sewer Rehabilitation Project, I/I Computation, I/I Analysis, BTL

주제어 : 하수관거정비사업, I/I 산정, I/I 분석, BTL

1. 서론

하수관거정비 임대형민자사업(이하 BTL사업)은 민간이 자금을 투자하여 건설한 후 소유권을 국가나 지자체에 이전하고, 시설을 임대하여 약정된 임대료 수입을 통해 투자비를 회수하는 BTL 사업방식을 채택하고 있으며, 하수관거 시설의 관리운영권은 20년으로 규정하고 있다.

하수관거 BTL사업의 관리운영권은 BTL 대상 시설의 유지관리 및 청소, 준설 등 성과요구 수준서에서 제시하는 사항으로 하되, 주무관청은 준공

검사 및 운영기간동안의 서비스 수준에 대한 분기별 평가를 위해 성과평가위원회를 구성하여 성과평가를 실시하고, 실시협약상의 성과요구수준서에 제시된 기준에 적합하지 않을 경우에는 정부지급금 삭감 등의 페널티를 부여할 수 있도록 규정하고 있다(MOE, 2009(a)). 현행 하수관거 BTL 사업의 운영시 성과평가 지표는 크게 5개 부문 23개 항목으로 구성되어 있으며, 이 중 침입수/유입수(이하 I/I) 성과보증 지표는 운영개시 후 3년간의 데이터를 축적, 분석하여 기준 값을 설정하고, 운영개시 4년차부터 적용하도록 정하고 있다.

하수관거 I/I 분석의 경우 산정방법의 적용 및 측정 Data의 활용방법 등에 따라 분석결과가 크

• Received 15 October 2013, revised 22 December 2013¹, 03 February 2014² accepted 10 February 2014.
* Corresponding author: Tel : +82-33-812-4078 Fax : +82-33-812-4084 E-mail : ant038@hanmail.net

게 상이할 수 있어 분석방법에 따른 산정결과 비교(An and Song, 2011), 국내실정에 맞는 I/I 산정방법 연구(MOE, 2008) 등이 연구된 바 있으며, 2009년에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 하수관거 I/I 산정방법 표준 매뉴얼(MOE, 2009(b))이 제정된 바 있다.

하지만, 하수관거 BTL사업 운영개시 후 4년 차부터 적용되는 I/I 지표의 경우 현재까지도 유량측정 Data의 신뢰성 부족, 분석 및 평가적용 사례의 부족, 지역별 다양한 I/I 발생원인, 사업 시행자 미귀책 사유로 인한 I/I발생 등으로 인해 지표의 실질적인 평가적용 및 평가기준 설정에는 많은 논란과 어려움이 발생되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현행 하수관거 I/I 산정 매뉴얼(이하 현행 매뉴얼)의 I/I 산정 및 활용방법과 관련한 주요 논란 및 의문제기 사항 등에 대하여 적정성 및 개선방안을 검토하였다. 또한, 개선방안을 적용한 I/I 산정 및 활용방법에 따라 연도별 I/I 분석을 실시하여 연구 대상지점의 I/I 발생특성에 대한 분석을 수행하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

본 연구는 하수관거정비 BTL사업 시설물 준

공 후 운영기간 동안 유량 측정 Data가 일정기간 이상 확보된 JC군 등 4개 사업 13개 지점을 연구대상지역으로 선정하였으며, 연구대상 사업의 유량계 설치지점은 분류식 하수 배제방식 지역에 초음파식 유량계가 설치된 지점으로 현황은 아래의 Table 1과 같다.

분석기간은 연구대상 사업의 준공시기 등에 따라 다소 상이하나 2009년 1월 1일부터 2012년 12월 31일 까지 측정된 유량 및 강우량 자료를 활용하였으며, 분석기간 중 유량계 이상 등으로 인해 연간 유량측정 Data가 미 제시된 지점의 경우 분석대상에서 제외하여 연구를 수행하였다.

2.1 침입수/유입수(I/I) 유효자료 획득률 검토

연구대상 4개 사업 13개 지점의 지점 및 연도별 유효자료 획득률을 분석하기 위해 2009년부터 2011년까지 측정된 유량 및 강우량 자료를 바탕으로 현행 매뉴얼의 유효자료 판정 및 획득 주요절차(Fig. 1)에 따라 유효 Data를 선별 하였다. 일단위 침입수용 유효자료 판단은 일단위 시계열자료를 구성하는 총 레코드개수 대비 80% 이상(측정단위가 10분인 경우 총 144개 레코드 중 유효레코드가 116개 이상), 일단위 유입수용

Table 1. Status of Business and flow meter Installation point for the study

Section	Survey Point	Survey Dia. (mm)	Pipe Length(km)	Average Pipe Dia. (cm)	Number of house(ea)	Flow-Rainfall Data Analysis Period
JC	DS1	300	5.1	23.1	430	'09.01.01 ~ '12.12.31
	DS2	300	8.8	24.4	145	"
	Y1	300	10.5	24.2	1,029	"
	Y2	300	8.9	26.3	217	'11.01.01 ~ '12.12.31
MP	B1	600	19.4	22.6	1,853	'10.01.01 ~ '11.12.31
	B2	400	4.3	22.3	351	"
	C	250	-	-	-	"
	B	500	-	-	-	"
DY	F-2	300	3.0	21.5	359	'09.11.01 ~ '11.12.31
	F-4	300	3.4	18.1	127	"
	F-5	200	1.5	18.9	65	"
KJ	GC	350	32.0	35.0	1,756	'11.01.01 ~ '11.12.31
	YD	500	41.8	50.0	1,779	"
Average		-	12.61	34.02	737.36	-

유효자료 판단은 시계열자료를 구성하는 총 레코드 개수 대비 70 % 이상인 Data를 대상으로 하였으며, 선정된 유효자료를 바탕으로 침입수 및 유입수 유효자료 획득률을 도출하여 현행 환경부 하수관거 I/I산정 표준매뉴얼의 유효자료 획득률 산정기준의 적정성을 검토하였다.

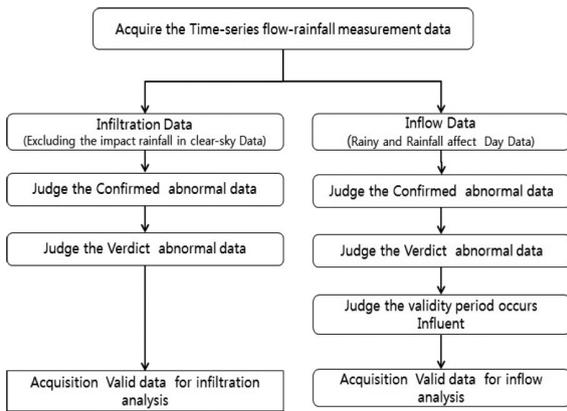


Fig. 1. Judgment · acquisition procedure of the effective data

2.2 침입수 산정 개선방안 및 분석결과 검토

2.2.1 침입수 산정방법 개선방안 검토

현행 매뉴얼의 침입수 산정 단계에서는 2시간 단위의 「일 단위 최소발생하수량을 파악」하여 일 단위 침입수를 산정토록 되어 있으나, 2시간 단위 일단위 최소발생하수량 산정시 최소하수량의 과대 산정 및 편차발생 문제가 제기되어 왔다.

본 연구에서는 2시간 단위의 일 단위 최소발생하수량 산정기준의 적정성을 검토하기 위해 연구대상 13개 지점의 연도별 2시간 단위 및 1시간 단위 최소발생하수량의 평균 값과 표준편차를 비교 · 분석하였다. 분석결과를 토대로 현행 일단위 최소하수량 산정 기준의 적정성과 개선방안을 검토하였다.

2.2.2 침입수 활용방법 개선방안 검토

현행 매뉴얼의 침입수 산정방법 활용방안 「계절별 침입률 산정단계」에서는 강우에 의해 지하

수위가 급격히 상승하는 여름철(6 ~ 8월)과 지하수위가 낮은 겨울철(12 ~ 2월)을 제외한 봄철과 가을철을 유효 측정기간으로 설정하여 침입수량을 산정하도록 되어 있으나, 최근 국내 강우 발생의 특성변화 및 국지성 호우 증가로 인해 계절별 침입률 산정시 연차별 유사성이 낮아 침입수 발생량의 연차별 편차가 클 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구에서는 계절별 침입수량 산정결과와 활용방법의 대안으로 JC군 DS2 지점 및 Y1 지점의 연간 일 단위 최소발생하수량 산정결과를 분위수별 평균 및 표준편차를 산출하여 비교 · 검토하였으며, 이러한 검토결과를 바탕으로 보다 통계적으로 유의한 침입수 산정결과 활용방안을 제시하고자 하였다.

또한, 연구대상 사업 11개 지점의 연도별 평균 침입수량($m^3/일$) 분석결과와 하수관망 특성값(관거연장 및 평균관경, 가옥수)와 상관관계를 검토하여 침입수 발생량 상호 비교지표 활용방안을 검토하였다.

2.2.3 지점별 침입수 분석 및 분석결과 검토

연구대상 사업 중 JC군 4개 지점에 대하여 운영 4년간(2009 ~ 2012년도) 동안의 유량 및 강우량 측정 자료를 바탕으로 연도별 침입수 분석을 실시하였다. 침입수 분석시 일 단위 최소하수량 발생량은 1시간 단위를 기준으로 산정하였으며, 연차별 침입수발생량 산정은 연간 침입수 분석결과 자료 중 25 ~ 75 %에 해당하는 자료를 활용하여 분석하였다.

지점별 침입수 분석결과를 바탕으로 연구대상 사업의 연도별 침입수 발생비율, 관거연장 및 관경단 침입수량, 배수설비 가구 당 침입수량을 검토하였으며, 연구대상 사업의 침입수 발생특성과 우리나라 주요 광역시 · 도의 침입수 발생특성을 비교 · 검토하였다. 또한, 연구대상 지점별 기준기간(운영 3년간) 동안의 침입수 발생비율 대비 평가년도의 침입수 발생비율 변화 등을 검토하였다.

2.3 유입수 산정 개선방안 및 분석결과 검토

2.3.1 유입수 산정 및 활용방법 개선방안 검토

본 연구에서는 현행 매뉴얼 유입수 산정을 위한 「기저하수발생유형 단계」의 요일별 기저하수 발생 유형 산정방법의 타당성 검토를 위하여 DY군 F-2 지점의 2010년도 청천일 일단위 평균하수량에 대해 요일별 유량 발생특성을 분석하였다. 요일별 유량 발생특성 분석시에는 요일별 하수발생 패턴과 주중/주말 간의 하수발생 패턴 차이를 검토하여 현행 기저하수발생유형 산정방법의 타당성을 검토하였다.

또한, 현행 매뉴얼의 연차별 상대적 유입수(침입수 포함) 평가방법과 절차 적용시의 문제점을 검토하여 연차별 I/I 분석결과가 보다 체계적이고, 효율적으로 활용될 수 있도록 개선방안을 검토하였다.

2.3.2 지점별 유입수 분석 및 발생특성 검토

연구대상 사업 중 JC군 4개 지점에 대하여 운영 4년간(2009 ~ 2012년도) 동안의 유량 및 강우량 측정 자료를 바탕으로 연차별 유입수 분석을 실시하였으며, 유입수 분석결과를 바탕으로 연차별 누적강우량 대비 유입수 발생량 관계(식)을 도출하였다. 연차별 유입수 발생량 관계(식) 도출시에는 유입수 발생량 산정자료에서 한계강우 범위(누적강우량 누적백분율의 70 ~ 90%)에 해당하는 자료를 선별하고, 비유입수량($m^3/일$) 백분율 조건 중 상위 50% 이상(최상위 10% 추가 배제)의 자료를 활용하였다.

지점별 유입수 분석결과를 바탕으로 연구대상 지점의 연도별 누적강우량 대비 유입수 발생량 관계(식)와 상관관계 계수(R^2)를 검토하였으며, 연구대상 사업의 유입수 발생특성과 우리나라 주요 광역시·도의 유입수 발생특성을 비교·검토하였다. 또한, 연구대상 지점별 기준기간(운영 3년간) 동안의 유입수 발생비율 대비 평가년도의 유입수 발생비율 변화 등을 검토하였다.

3. 조사결과 및 고찰

3.1 유효자료 분석 및 판정·획득 개선방안 검토

3.1.1 침입수 및 유입수 유효자료 분석결과

연구대상 지점별 연간 일단위 침입수용 유효자료(유입수용 자료를 제외한 청천일 유량자료)를 분석한 결과 평균 213개 침입수 산정용 측정자료 중 비정상자료 28일을 제외한 184일의 침입수 산정용 유효자료를 확보하는 것으로 분석되었으며, 평균 유효자료 획득률은 Fig. 2와 같이 84.5%로 나타났다. 하지만, 전체 13개 지점 중 MP시 B1 지점 등 5개 지점에서는 연간 침입수 산정용 유효 Data 획득률이 80% 미만인 연도가 나타나 유효 Data 확보율이 낮은 것으로 조사되었다.

지점별 연간 유입수용 유효자료를 분석한 결과 평균 144일의 유입수 산정용 측정자료(우천일 68일, 강우영향일 77일) 중 비정상 자료 28일을 제외한 121일의 유입수 산정용 유효자료를 확보(획득률 84%)하는 것으로 분석되었다. 또한, 지점별 연간 유입수용 자료를 강우발생 이변

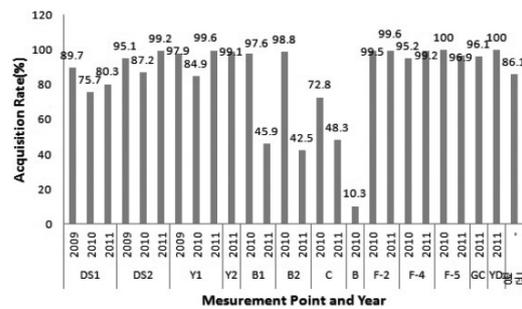


Fig. 2. Status of Valid data for infiltration by Point

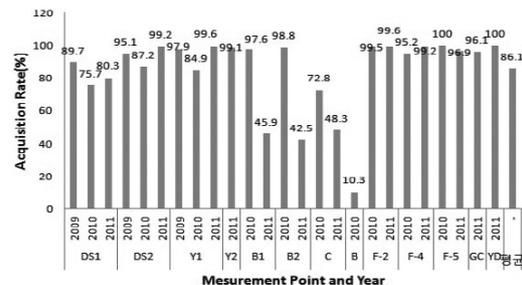


Fig. 3. Status of Valid data for inflow by Point

트(독립강우 및 비독립 강우) 별로 구분하여 최종 유입수용 자료를 분석한 결과 지점별 강우발생 이벤트 단위 유효자료 획득률은 Fig. 3과 같으며, 평균 34개의 이벤트 중 28개의 유효 이벤트를 획득하여 획득률은 80.8 %로 나타났다. 하지만 전체 13개 지점 중 MP시 B1 지점 등 6개 지점에서는 이벤트 단위 유입수 유효 Data 획득률이 70 % 미만인 연도가 발생하여 유효 Data 확보율이 낮은 것으로 분석 되었다.

3.1.2 침입수/유입수 유효자료 판정 · 획득 개선 방안 검토

연구대상 사업의 지점별 1 ~ 3년간 유량 측정 자료 중 청천일 자료의 일 단위 유효레코드의 획득 비율은 평균 84.5 %, 이벤트단위 유입수 유효자료 획득률은 평균 80.8 %로 나타났다. 따라서, 유량측정 Data가 정상적으로 수집되는 지점의 경우 현행 하수관거 I/I산정 매뉴얼상의 유효자료 판단하는 기준(일단위 유효레코드 확보율이 80 %이상, 단 유입수는 70 %이상)을 적용하여도 대부분의 지점에서는 I/I 분석 및 평가에는 문제가 없을 것으로 판단되었다.

하지만, MP시 B1 지점 등의 경우 해수유입 및 새벽시간 대 저수위 등의 영향으로 인해 현행 매뉴얼의 유효자료 판정기준에 따라 유효자료 판정 및 I/I 분석 시 향후 I/I 지표 평가에 어려움이 발생할 것으로 예상됨에 따라 유량계 이설 또는 대체평가 방안 마련이 필요한 것으로 검토되었다.

또한, 유효자료 판정 · 획득 단계에서의 확정성 비정상 자료 판단기준은 정전, 기기고장, 센스 이물질 부착 등의 사유가 발생하였을 때로 되어 있으나, 면속식(초음파식) 유량계의 경우 JC군 Y2 지점과 같이 유량측정 최소수위 미확보의 경우도 정상 Data 확보가 어려운 것으로 나타났다. 따라서, 면속식 유량계의 경우 관경별 최소수위를 검토 후 유량계 설치가 필요(An and Kim, 2013)한 것으로 검토되었으며, 유량계의

유량측정 ‘최소수위 미확보’의 경우도 확정성 비정상자료 판단기준에 포함하는 것이 타당할 것으로 검토되었다.

3.2 침입수 산정 및 활용 방법 개선 방안 검토 결과

3.2.1 침입수 산정방법 개선 방안 검토

현행 매뉴얼 침입수 산정방법 절차 중 “2시간 단위 일 최소하수량 파악 기준”의 적정성을 검토하기 위하여 연구대상 지점의 유량측정 Data를 활용하여 2시간 단위의 일 단위 최소발생하수량 특성과 1시간 단위 일 단위 최소발생하수량 특성 값을 비교 검토하였다. 분석결과 1시간 단위로 최소발생하수량(평균값)을 산정시 산정에 사용된 평균 데이터의 개수는 절반(10분 단위 유량 측정시 12개 → 6개)으로 감소하였으나, 아래의 Table 2와 같이 2시간 단위에 비해 1시간 단위로 분석한 결과가 표준편차에는 크게 변화가 없으면서 최소발생하수량(평균값)이 감소하는 것으로 나타났다.

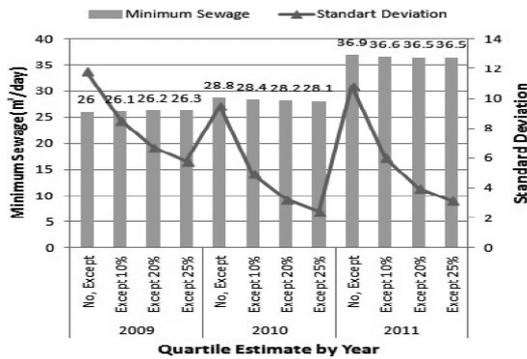
따라서, 현행 2시간 단위 일 최소하수량 파악 기준 대신 1시간 단위 일 최소하수량 산정시 침입수 산정의 기초 자료로 활용되는 Data의 표준편차에는 변화는 거의 없고, 최소발생하수량이 감소함에 따라 1시간 단위 일 최소하수량 산정이 최소발생하수량의 의미에 보다 부합되는 값을 획득할 수 있는 것으로 검토되었다.

3.2.2 침입수 활용방법 개선 방안 검토

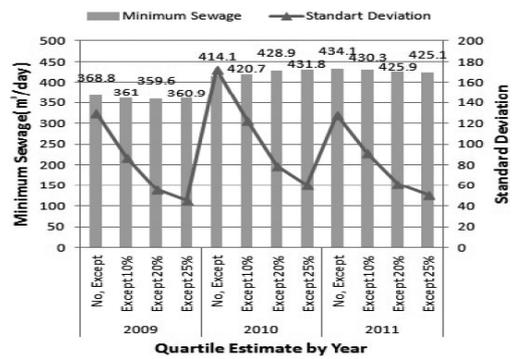
현행 매뉴얼 “계절별 침입률 산정방법”의 대안으로 JC군 DS2 및 Y1 지점의 연간 최소발생하수량 산정결과에 대해 분위수별로 통계량을 검토하여 통계적으로 보다 유의한 수준의 침입수 산정결과 활용방법을 도출코자 하였다. 연간 최소발생하수량 산정 값의 분위수별(제외 없음, 상 · 하위 10 % 제외, 상 · 하위 20 % 제외, 상 · 하위 25 % 제외) 통계량을 검토한 결과 Fig. 4와 같이 적용 분위수별 최소발생하수량 평균값

Table 2. Comparison of 1hour and 2hour minimum sewage

Section	Survey Point	Division	2009		2010		2011	
			1 hour	2 hour	1 hour	2 hour	1 hour	2 hour
JCgun	DS1	Average	74.90	91.07	56.80	67.52	-	-
		Standard Deviation	34.55	34.40	35.21	37.85	-	-
	DS2	Average	26.05	29.85	28.77	32.58	36.95	40.15
		Standard Deviation	11.77	11.47	9.46	9.19	10.83	10.30
	Y1	Average	368.77	390.75	414.10	439.16	434.14	450.07
		Standard Deviation	129.46	125.25	171.93	158.39	128.06	123.63
Y2	Average	17.79	24.11	26.52	30.29	36.66	39.50	
	Standard Deviation	9.50	11.12	8.94	9.23	26.57	27.21	
MPsi	B1	Average	-	-	911.93	955.83	368.77	390.75
		Standard Deviation	-	-	300.14	291.26	129.46	125.25
	B2	Average	-	-	199.33	212.05	-	-
		Standard Deviation	-	-	69.65	78.77	-	-
DYgun	F-2	Average	-	-	57.25	68.64	42.28	53.21
		Standard Deviation	-	-	33.05	34.85	23.72	28.21
	F-4	Average	-	-	13.35	16.31	21.00	24.79
		Standard Deviation	-	-	9.94	10.39	17.66	19.65
	F-5	Average	-	-	5.69	6.89	8.23	9.59
		Standard Deviation	-	-	3.55	3.76	2.98	3.14
KJsi	GC	Average	-	-	-	-	677.54	735.16
		Standard Deviation	-	-	-	-	218.60	240.15
	YD	Average	-	-	-	-	493.35	523.64
		Standard Deviation	-	-	-	-	260.77	266.07



a) JCgun DS2 point



b) JCgun Y1 point

Fig. 4. Review by quartile statistics for minimum sewage by a daily unit of each year

은 거의 변화가 없었으나, 상·하위 특이 값 제외 비율이 높을수록 표준편차가 크게 감소하는 것으로 나타났다.

따라서, 현행 봄, 가을철 침입수 분석결과를 활용하는 계절별 침입수량 산정방법의 대안으로

연간 침입수 분석결과(일 단위 최소발생하수량) 자료 중 25 ~ 75 %(전체 대상자료의 50 %)에 해당하는 자료를 활용하여 연차별 침입수 발생량을 산정하는 방법을 적용시 기존의 활용방법과 유사한 수의 분석결과를 활용하면서도, 비정

상적으로 산정될 수 있는 침입수량 특이 값을 배제할 수 있어 통계적으로 보다 유의한 연차별 침입수 발생량을 도출할 수 있을 것으로 검토되었다.

아울러, 현행 매뉴얼에는 측정 및 확보한 평균 침입수량(m^3/day)을 관거연장 및 평균관경으로 단위침입수발생량을($m^3/day/cm/km$)을 도출하여 침입수량 상호 비교지표로 활용토록 되어 있으나 침입수의 경우 배수설비 가옥수가 최소 하수발생량 및 침입수 발생비율과 높은 상관관계가 있는 것으로 연구된 바 있다(Lee, 2009).

이에 따라 본 연구에서는 연구대상 11개 지점에 대해 연도별 평균 침입수량 분석결과와 대상 하수관망의 특성 값(관거연장 및 평균관경, 가옥수)과의 상관관계를 검토하였다.

검토결과 연구대상 지점의 연도별 평균 침입수 발생량은 Fig. 5와 같이 관거연장 및 관경과의 상관관계 수(R^2)는 0.3044, 배수설비 가옥수와의 상관관계수(R^2)는 0.8379로 분석되어, 관거연장 및 관경 보다는 가옥수가 침입수 발생량

과 상관관계가 보다 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 향후 침입수량 상호 비교지표 활용시에는 배수설비 가구당 단위 침입수 발생량($m^3/day/개소$)을 포함하여 침입수 발생량 상호 비교지표로 활용하는 것이 보다 타당할 것으로 검토되었다.

3.2.3 지점별 침입수 분석결과 및 발생특성 검토

상기의 침입수 산정기준 개선방안을 반영한 현행 환경부 I/I 산정 절차에 따라 JC군 4개 지점에 대해 운영 4년간 동안의 연도별 침입수를 분석하였으며, 분석한 결과는 아래의 Table 3과 같다. 연도별 침입수 분석시 JC군 Y2 지점의 2009년 및 2010년의 유량측정 자료의 경우 야간 최소유량 발생시 유량계 유량측정 최소수위 미 확보에 따라 유효 Data 확보율이 낮아 연간 침입수 분석에서 제외하였으며, 야간오폐수 발생량은 인구법을 기준으로 산정하여 적용하였다.

연구대상 4개 지점의 운영기간(4년) 평균 침입수 발생비율은 21.95 %로 나타났으며, 관거연장 및 관경 당 단위 침입수 발생량($m^3/day/cm/km$)을 분석한 결과는 0.31, 배수설비 가구당 침입수 발생량($m^3/day/개소$)을 분석한 결과는 0.12로 나타났다.

연구대상 지점의 침입수 발생량은 국내 주요 15개 광역시·도의 평균 침입수 비율 및 단위 침입수 발생량($m^3/day/cm/km$) 산정결과인 31 % 및 1.438(Chang et al., 2009)에 비해 침입수 발생비율은 크게 낮은 것으로 검토 되었다.

연구대상 지점의 침입수 발생비율 감소는 하수관거정비 BTL사업 시행에 따른 신설관로의 보급 및 불량관거 정비, 운영단계에서의 정기적 성과평가에 따른 침입수 발생 저감 노력 등의 효과로 예상된다.

아울러, 연구대상 4개 지점의 운영 4년간 동안 연도별 침입수 변동현황은 Fig. 6과 같으며, 4개 지점 모두 기준년도(운영 3년간) 평균에 비해 평가년도(2012년)의 침입수 발생비율이 저감

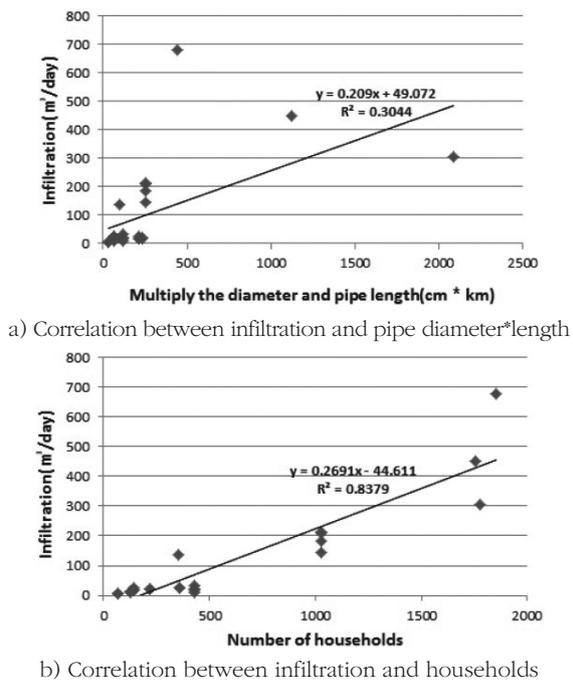
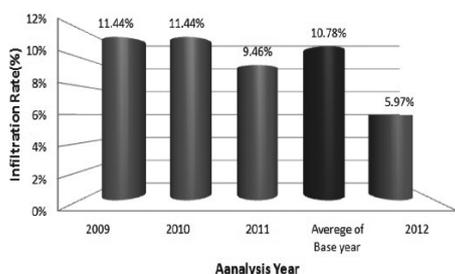


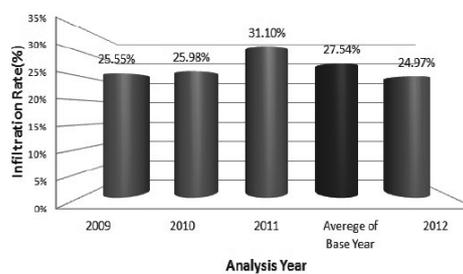
Fig. 5. Correlation between infiltration amount and sewer properties

Table 3. The result of annual infiltration analysis by JC

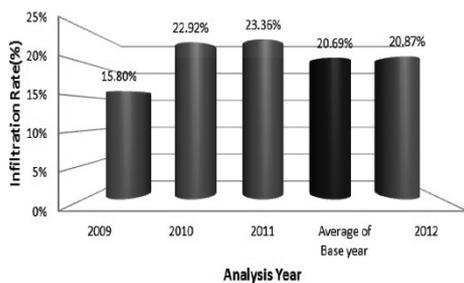
Survey Point	Year	Average Sewage(m ³ /day)	Infiltration Volume (m ³ /day)	Infiltration Rate(%)	Infiltration by properties	
					m ³ /day · cm · km	m ³ /day · household
DS1	2009	281.41	31.76	11.44	0.27	0.07
	2010	213.07	23.20	11.44	0.20	0.05
	2011	179.54	16.91	9.46	0.14	0.04
	Average of Base Year	224.67	23.96	10.78	0.20	0.16
	2012	153.20	9.06	5.97	0.20	0.06
	Average	206.81	20.23	9.58	0.20	0.06
DS2	2009	69.73	17.32	22.55	0.08	0.12
	2010	68.63	17.67	25.98	0.08	0.12
	2011	79.89	24.46	31.10	0.11	0.17
	Average of Base Year	72.75	19.82	27.54	0.09	0.14
	2012	68.40	16.79	24.97	0.08	0.12
	Average	71.66	19.06	26.15	0.09	0.13
Y1	2009	920.98	145.40	15.80	0.57	0.14
	2010	934.70	214.47	22.92	0.85	0.21
	2011	908.31	211.37	23.36	0.84	0.21
	Average of Base Year	921.33	190.41	20.69	0.75	0.19
	2012	880.57	183.75	20.87	0.73	0.18
	Average	911.14	188.75	20.74	0.75	0.19
Y2	2011	53.86	22.92	42.96	0.10	0.11
	Average of Base Year	53.86	22.92	42.96	0.10	0.11
	2012	53.45	19.53	38.41	0.08	0.09
	Average	53.66	21.23	40.69	0.09	0.10
Overall Average		347.55	68.19	21.95	0.31	0.12



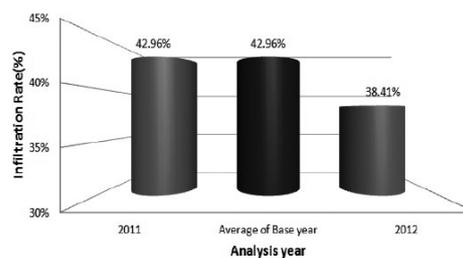
a) Annual Infiltration Rate by DS1



b) Annual Infiltration Rate by DS2



c) Annual Infiltration Rate by Y1



d) Annual Infiltration Rate by Y2

Fig. 6. Changes of Infiltration Annual Rate by JC

또는 유사한 것으로 나타났다. 연구대상 지점의 침입수 분석결과를 하수관거정비 임대형민자사업 실시협약 I/I 지표 평가기준(기준년도 침입수 발생비율 대비 평가년도의 침입수 발생비율)에 따라 평가시 특별한 문제가 없을 것으로 예상되나 Y2 지점의 경우는 유효 Data 확보 미달 및 침입수 발생비율 과다로 인해 대체평가 방안 검토도 필요할 것으로 예상되었다.

또한, 연구대상 지점의 기준년도 대비 평가년도의 침입수 발생비율의 감소는 운영 4년차부터 실시되는 I/I 지표 평가에 대비한 운영사의 CCTV 조사 및 이상 지점 보수 등의 효과가 반영되었으리라 예상된다.

3.3 유입수 산정 · 활용 방법 개선방안 검토

3.3.1 기저하수발생유형 산정방법 타당성 검토

현행 I/I 산정 매뉴얼의 유입수 산정을 위한 기저하수발생유형 단계에서는 유입수 발생기간 전의 청천일 유효자료들을 사용하여 “동일 요일별 기저하수발생유형을 정량적으로 선별 · 결정” 하도록 되어 있다. 따라서, 요일별 하수발생 패턴 및 주중/주말 간의 하수발생 패턴 검토를 통하여 현행 기저하수발생유형 산정방법의 타당성을 검토하였다. DY군 F-2 지점에 대한 2010년도 청천일 일단위 평균하수량을 요일별로 분석한 결과 Fig. 7 및 Table 4와 같이 요일별로 하수발생량이 달라지는 것으로 검토되었으며, 특

히 주중의 유량 대비 주말의 유량은 평균, 최소값과 최대값 모두 큰 것으로 나타나 현행 매뉴얼의 동일 요일별 기저하수발생유형 선별 · 적용 방법은 타당한 것으로 검토되었다.

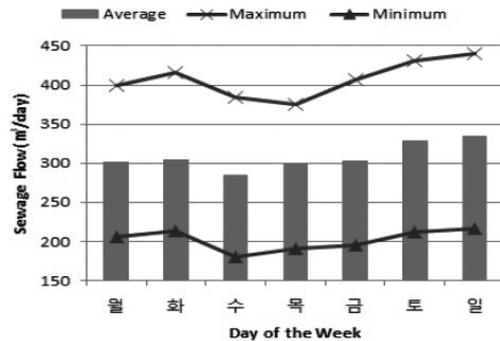


Fig. 7. Status of sewage each day of the week amount

3.3.2 유입수 활용방법 개선방안 검토

현행 매뉴얼 침입수 및 유입수 활용방안 “연차별 상대적 증감평가 단계”에서는 운영초기 측정된 3년간의 침입률 및 유입률 자료 평균값을 산정하여 기준으로 설정하고, 이후 4년차부터 1년 단위로 측정된 값을 비교해 상대적으로 평가를 실시하도록 되어 있다.

하지만, 운영초기 3년 동안 만의 침입률 및 유입률 측정 자료를 기준기간으로 사용할 시 상기의 3장 1절에서 검토한 바와 같이 운영초기 유량계 및 모니터링시스템 불안정 등으로 인해 유효 Data 확보율이 낮은 연도가 발생한 지점은 분석

Table 4. The review of sewage generation statics each day of the week

Day	EA	Ave. Value	Standard Deviation	Standard Error	95 % Confidence Interval		Min. Value	Max. Value
					Lower	Upper		
Mon	27	300.8	63.8	12.2	275.5	326.0	206.2	400.0
Tue	29	304.2	60.4	11.2	281.1	327.3	214.1	416.0
Wen	29	285.1	61.5	11.4	261.7	308.5	180.2	383.8
Thur	31	300.1	56.4	10.3	279.5	320.9	190.9	375.8
Fri	30	302.0	59.2	10.2	279.9	324.2	195.3	406.7
Sat	30	328.6	69.7	12.7	302.5	354.6	211.3	430.7
Sun	31	334.5	69.3	12.4	309.1	359.9	216.9	439.3
Total	207	308.2	64.3	4.4	299.4	317.0	180.2	439.3

결과 활용에 문제가 있을 것으로 예상되었으며, 연도별 강우발생 및 기온 등의 특성 반영, 관거 노후화 및 보수 등에 따른 특성 반영의 어려움 등에도 문제가 있을 것으로 예상되었다. 이에 따라 연차별 상대적 침입수 및 유입수 발생량 평가시 아래의 Table 5과 같이 기준기간을 당초의 운영 초기 3년간 자료 활용에서 운영개시 후 평가년도 1년 전 까지의 자료를 기준기간으로 활용하는 것이 타당할 것으로 검토되었다.

아울러, 연차별 상대적 유입률 증감평가 단계에서는 ‘누적강우량과 유입수량 관계식의 횡축면적’ 또는 ‘누적강우량과 유입수량 관계식의 기울기’를 상호 비교하여 평가하도록 되어 있으나 횡축면적의 경우 산정의 불편함 및 활용사례 부

족 등으로 인해 활용도가 낮은 실정이다. 이에 따라, 연차별 상대적 유입률 증감 평가시에는 ‘누적강우량과 유입수량 관계식의 기울기’ 단일 지표를 활용하여 평가하는 것이 보다 효율적일 것으로 검토되었다.

3.3.3 지점별 유입수 분석결과 및 발생특성 검토

현행 환경부 I/I 산정 절차에 따라 JC군 4개 지점에 대해 운영 4년간 동안의 연도별 유입수를 분석하였으며, 유입수 분석결과를 바탕으로 지점별 ‘강우량-유입수량 발생관계식’을 도출한 결과는 아래의 Table. 6과 같다. 연도별 유입수 분석시 JC군 Y2 지점의 2009년 및 2010년의 유량측정 자료의 경우 야간 최소유량 발생시 유량

Table 5. Improvement of application methods infiltration and infow

Division	Existing	Improvement
Infiltration	$Growth(\%) = \frac{[Infiltration_{n, Inclination}]}{[Infiltration_{1,2,3,avg, Inclination}]}$	$Growth(\%) = \frac{[Infiltration_{n, Inclination}]}{[Infiltration_{1+2+3 \sim (n-1), avg, Inclination}]}$
Inflow	$Growth(\%) = \frac{Transverse\ area\ of\ the\ regression\ equation\ in\ target\ year}{Transverse\ area\ of\ the\ regression\ equation\ in\ base\ year} \times 100\%$ or $Growth(\%) = \frac{Inclination\ of\ target\ year}{Inclination\ of\ base\ year} \times 100\%$	$Growth(\%) = \frac{[Inflow_{n, Inclination}]}{[Inflow_{1+2+3 \sim (n-1), avg, Inclination}]}$

Table 6. The result of annual inflow analysis by JC

Survey Point	Year	Rainfall-Inflow equation	R ²	Survey Point	Year	Rainfall-Inflow equation	R ²
DS1	2009	y = 4.798x	0.811	Y1	2009	y = 15.127x	0.753
	2010	y = 6.373x	0.754		2010	y = 14.722x	0.871
	2011	y = 6.112x	0.735		2011	y = 12.640x	0.925
	Average of Base Year	y = 5.761x	0.767		Average of Base Year	y = 14.163x	0.850
	2012	y = 2.739x	0.791		2012	y = 14.769x	0.823
	Average	y = 5.006x	0.773		Average	y = 14.315x	0.844
DS2	2009	y = 0.942x	0.646	Y2	2009	-	-
	2010	y = 1.611x	0.724		2010	-	-
	2011	y = 1.002x	0.853		2011	y = 1.601x	0.761
	Average of Base Year	y = 1.189x	0.741		Average of Base Year	y = 1.601x	0.761
	2012	y = 1.359x	0.909		2012	y = 1.289x	0.779
	Average	y = 1.229x	0.783		Average	y = 1.445x	0.770
Overall Average		y = 5.499x	0.793	-	-	-	-

계 최소 측정수위 미확보에 따라 유효 Data 확보율이 낮아 연간 유입수 분석을 제외하였다.

연구대상 4개 지점 운영 4년간 동안의 ‘강우량-유입수량 발생관계식’은 평균 $y = 5.499x$ (y =비유입수량, x =강우량, y 절편은 0으로 고정)로 산정 되었으며, 연구대상 지점의 강우량과 유입수량의 상관관계 계수(R^2)는 평균 0.793으로 나타나 연구대상 지점의 강우량과 유입수량은 상관관계가 높은 것으로 분석되었다.

연구 대상지점의 관거연장 당 평균 비유입수량은 분석대상 지점의 평균 연장인 8.33 km를 적용시 $0.660 \text{ m}^3/\text{mm-km}$ 로 예측되었으며, 국내 주요 15개 광역시·도의 관거 연장 당 강우량이 평균 $5.208 \text{ m}^3/\text{mm-km}$ (Chang et. al., 2009)과 비교할 때 대상지역의 유입수 발생량은 상당히 낮은 것으로 판단되었다.

연구대상 지점의 유입수 발생비율 감소는 하수관거정비 BTL사업 시행에 따른 하수관거의 분류식화 및 배수설비 오점가구의 정비, 운영단계의 정기적 성과평가에 따른 유입수 발생 저감 노력 등의 효과로 예상된다.

아울러, 연구대상 4개 지점의 운영 4년간 동안 연도별 비유입수 발생비율 변동현황은 Fig. 7과 같으며, DS1 및 Y2 지점은 기준년도(운영 3년간) 평균에 비해 평가년도(2012년)의 비유입수 발생비율이 저감된 것으로 나타났으나 DS2 및 Y1 지점은 기준년도에 비해 평가년도의 비유입수 발생비율이 증가된 것으로 나타났다. 연구대상 지점의 유입수 분석결과를 하수관거정비 임대형민자사업 실시협약 I/I 지표 평가기준(기준년도 유입수 발생 기율기 대비 평가년도의 유입수 발생기율기)에 따라 평가시 DS1 지점과 Y2 지점은 특별한 문제가 없을 것으로 예상되나 DS2 지점과 Y1 지점의 경우는 비유입수 발생 비율이 다소 증가하였으므로 유입수 저감을 위한 노력이 필요할 것으로 예상되었다.

4. 결론

본 연구에서는 연구대상 4개 사업의 유량 및 강우량 측정자료를 바탕으로 현행 I/I 산정 방법의 적정성 및 개선방안을 연구하였으며, 개선방

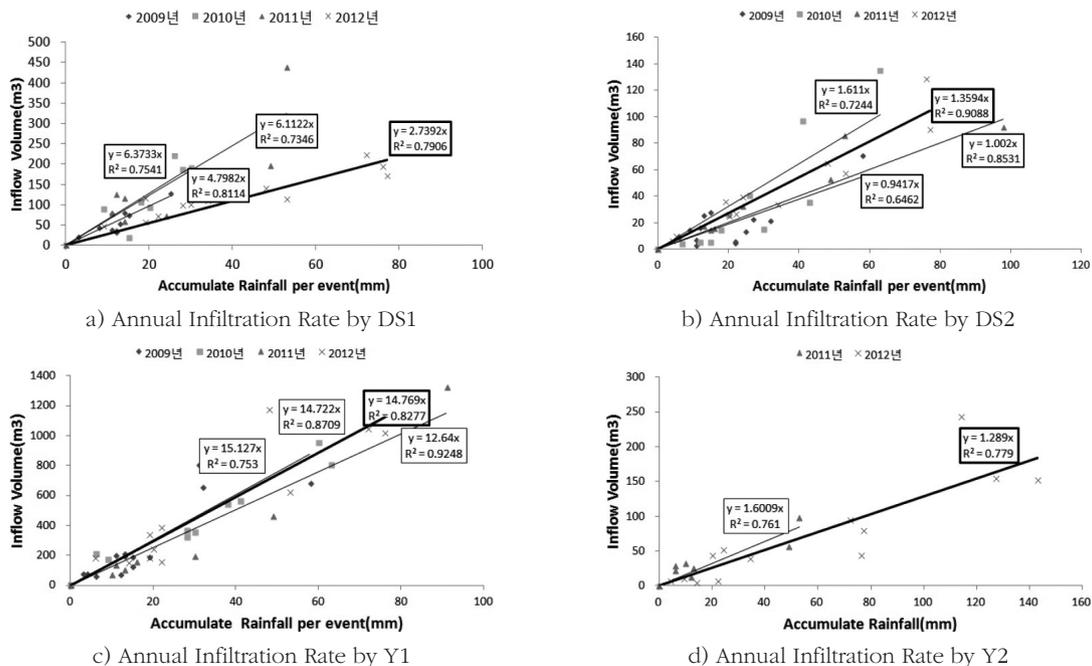


Fig. 7. Changes of Infiltration Annual Rate by JC

안을 반영한 I/I 산정 절차에 따라 JC군 4개 지점에 대하여 I/I 분석을 실시하여 분석결과를 검토하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 유효자료 판정·획득방법 검토결과 연구대상 지점의 평균 침입수용 유효자료 획득률은 84.5%, 유입수용 이벤트단위 유효자료 획득률은 80.8%로 나타나 현행 메뉴얼의 일 단위 유효자료 획득률 80%이상(유입수용 일단위 유효자료 획득률 70%이상) 확보시 유효자료로 활용하는 기준은 타당한 것으로 검토되었다.
2. 침입수 산정방법에서는 “기존 2시간 단위의 일 단위 최소발생하수량 산정 기준”을 1시간 단위로 변경하여 산정하는 것이 타당할 것으로 검토되었으며, 침입수 활용방법에서는 “계절별 침입수량 산정방법”의 대안으로 연간 침입수 산정(일 단위 최소발생하수량) 자료 중 상·하위 25%를 제외하여 25 ~ 75%(전체 대상자료의 50%)에 해당하는 자료를 활용하는 것이 통계적으로 보다 유의한 수준의 연도별 침입수량을 얻을 수 있을 것으로 검토되어 매뉴얼 개선이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 침입수의 경우 배수설비 가구 수가 침입수발생량과 상관관계가 높은 것으로 나타나 침입수량 상호 비교지표 활용시에는 관거연장 및 관경당 단위침입수발생량($m^3/day/cm/km$)과 함께 배수설비 가구당 단위 침입수발생량($m^3/day/개소$)을 포함하여 침입수 발생량 상호 비교지표로 활용하는 것이 보다 타당할 것으로 검토되었다.
3. JC군 4개 지점에 대해 운영 4년간 동안의 침입수 분석결과 일평균하수량 대비 평균 침입수 비율은 21.95%로 나타났으며, 관거연장 및 관경당 평균 단위 침입수 발생량은 $0.31 m^3/day/cm/km$, 배수설비 개소 당 평균 단위 침입수 발생량은 0.12

$m^3/day/개소$ 로 나타났다. 또한, 연구대상 지점의 운영 4년간 동안 연도별 침입수 변동현황은 기준년도(운영 3년간) 평균에 비해 평가년도(2012년)의 침입수 발생비율이 저감 또는 유사한 것으로 나타나 운영 4년차부터 적용되는 I/I 지표 적용시 큰 어려움은 없을 것으로 예상되었다.

4. 유입수 산정 방법에서는 현행 매뉴얼의 “동일 요일별 기저하수발생유형을 선별·적용하는 방법”은 타당한 것으로 검토되었으며, 유입수(침입수 포함) 활용방법의 “연차별 상대적 증감평가 단계”에서는 운영초기 3년간 만의 측정자료를 기준기간으로 사용하는 것보다 평가년도 1년 전까지의 침입수/유입수 자료를 기준기간 자료로 활용하는 것이 보다 타당할 것으로 검토되어 매뉴얼 개선이 필요할 것으로 판단되었다.
5. JC군 4개 지점에 대해 운영 4년간 동안의 유입수 분석결과 평균 ‘강우량-유입수량 발생관계식’은 $y = 5.499x$ (y =비유입수량, x =강우량, y 절편은 0으로 고정), 상관계수 (R^2)는 평균 0.793으로 나타났다. 또한, 연구대상 지점의 운영 4년간 동안 연도별 비유입수 발생비율 변동현황을 분석한 결과 DS1 및 Y2 지점은 기준년도(운영 3년간) 평균에 비해 평가년도(2012년)의 비유입수 발생비율이 저감된 것으로 나타났으나 DS2 및 Y1 지점은 기준년도에 비해 평가년도의 비유입수 발생비율이 증가된 것으로 나타나 원활한 I/I지표 평가를 위해서는 유입수 저감 노력이 필요할 것으로 예상되었다.

참고문헌

- An, B. M. and Song, H. M.(2011) Analysis on the result of I/I calculation by the exiting method and the standardized manual method, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 25(2) pp. 213-221
- 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
- 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, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 23(3), pp. 321-329
- Lee, J. H.(2009) Index of Infiltration in Sewer Rehabilitation, Master's Thesis for a degree, Chung-Ang University
- Ministry of Environment(2008) Study on Computation and Application of Infiltration/Inflow Suitable for Domestic Conditions
- Ministry of Environment(2009(a)) Sewer Rehabilitation Projects(BTL) implementation guidelines
- Ministry of Environment(2009(b)) Standard Manual for the Computation of Sewage Conduit Infiltration & Inflow
- Oh, J. I., Lee, J. h., Jin, S. K.(2013) Queries for Standard Sewer Infiltration/Inflow Assessment, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 27(2), pp. 285-290