

장기 모니터링 자료를 활용한 침입수 산정 방법론별 특성 분석

이재현 · 김인섭* · 오재일† · 박철휘**

중앙대학교 건설환경공학과

*환경관리공단

**서울시립대학교 환경공학과

Characterization of Infiltration Analyses Using Long-Term Monitoring Flow Data

Jaehyun Lee · Insop Kim* · Jeill Oh† · Chulhwi Park**

Department of Civil and Environmental Engineering, Chungang University

*Environmental Management Corporation

**Department of Environmental Engineering, University of Seoul

(Received 3 March 2009, Revised 30 March 2009, Accepted 9 April 2009)

Abstract

The analysis of characteristics of water use evaluation and nighttime domestic flow evaluation was performed by using result from flow monitoring and surveying water supply records and nighttime domestic flow for a year. The analysis of correlations showed that, for both sites, the infiltration ratio and wastewater flow have shown a good relationship with high correlation factor and that the calculation of wastewater flow was highly affected by monthly rainfall depth as well as number of rain days. From this result, it was concluded that the measurement of infiltration should be performed when the rainfall does not significantly affect the sewer flow. Also, it is notable that each value of calculated using method for infiltration evaluation are not comparable to each other, but independent methods. In selecting of evaluation method for infiltration, therefore, a great emphasis should be imposed to the character of area and the seasonal factor in order to select optimal one. It is desirable way for evaluating infiltration and reduction ratio using result from an optimal method.

keywords : Dry weather flow, Infiltration, Long-term monitoring, Nighttime domestic flow evaluation, Water use evaluation

1. 서론

강우의 영향을 받지 않고 하수관거로 유입되는 침입수는 지하수 침입수와 건기 유입수로 구성된다. 지하수 침입수(ground water infiltration, GWI)는 건기시 지하수위가 관거보다 높은 위치에 있을 때 관거부실을 통하여 침투되며, 건기 유입수(dry weather inflow, DWI)는 강우와는 상관없이 맨홀 뚜껑을 통해 하수관거로 유입되는 유량으로 노면 세척수, 세차장 유출수, 공장 냉각수 등에 의해 지속적으로 유입되는 하수 이외의 물을 뜻한다(EAP, 1990). 이러한 침입수의 유입으로 인해 하수처리장 유입수의 수질 저부하 문제가 발생해 하수처리장 운영에 많은 어려움을 겪고 있다(이현동, 2001). 전체 발생하수량을 100%로 가정하는 경우 이중 36%는 하수관에서 누수되어 버리고 43%는 여러 원인으로 I/I가 유입되어 하수처리장으로 유입되는 하수는 최종적으로 107%로 알려져 있다(국립환경연구원, 1998; 최계운 등, 2001). 이런 문제에 대응해 정부에서는 2001년부터 하수도 정비사업 추진시 하수관거의 I/I 발생 현황을 파

악하여 하수관의 효율적 차집 및 하수처리장의 설계조건 시 부하 결정에 반영하고자 하였다(환경부, 1998).

이에 따라 국내에서도 2000년 이후 하수관거 정비계획 수립에 필요한 기초자료를 확보하기 위한 목적으로 특정 지역의 3~5개소 지점을 대상으로 I/I에 관한 많은 연구가 수행되었다. 초기 침입수에 대한 명확한 개념이 정립되기 전에는 다양한 하수관거 사업에서 침입수량을 평가지표로 사용하기 위해 다양한 방법을 통해 산정한 결과 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지 결과값의 평균값을 침입수로 정의하였다(환경부, 2007b). 방법론의 비교·평가에 관한 연구에서는 정호진과 조주연(2002)이 특정 조사지점을 대상으로 일평균·최저유량 평가법, 물 사용량 평가법, 일 최저유량 평가법의 방법을 적용하여 침입수 발생량을 산정·비교함으로써 각 방법간의 차이를 파악하고 일평균·최저유량 평가법이 최적의 침입수 산정방법이라 제시하였다. 오정미(2003)는 물소비량평가법, 일평균·최저유량·평가법, 일 최저유량기법, 일최대·일최소유량평가법, 최저유량수질평가법의 방법을 적용해 침입수를 조사·분석 후, 각 방법론의 결과값을 평균하여 최종 침입수 발생량으로 제시하였다. 이러한 결과는 실측 자료에 입각하여 조사된 내용임에도 불구하고, 단기간 측정된 유량자료만을 이용하여 얻어진 결과

† To whom correspondence should be addressed.

ohjeill@cau.ac.kr

라는 한계성을 지닌다. 또한 아직까지 국내에서는 침입수 산정 결과값의 신뢰성 및 현실성을 높이기 위한 자료조사 방법이나 적절한 침입수 산정 방법론의 선택 기준, 대상 기간설정 등에 대해 장기간의 관측자료를 활용한 체계적인 연구는 부족한 것으로 조사되었다.

I/I의 정확한 산정 및 그 특성을 규명하기 위한 연구는 국외에서 먼저 시작되었다. 미국의 King County에서는 Swarner와 Klusman(1995)이 I/I의 발생원을 정확히 분류하고 파악하여 분류식하수관거에서의 I/I 발생모델을 구축하여 침투유량을 제어하는데 활용하고 있으며, Benedittis와 Bertrand-Krajewski(2005)은 기존에 제시된 다양한 I/I 산정 방법을 특정지역에 적용하여 각각의 방법별 결과값에 대한 비교를 통해 최적의 I/I 산정방법에 대한 제안을 하였다. 그러나 이러한 국외 사례의 연구는 국내 침입수 발생의 현장여건과 다른 조건하에서 수행되었기 때문에 직접적인 적용에는 무리가 따른다.

본 연구에서는 한강수계 하수관거 정비시범사업(1단계)이 진행된 지역을 대상으로 1년 동안 정도관리(QA/QC)가 확보된 유량자료를 측정하고, 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법에 필요한 기초자료를 조사하였다. 획득된 유량 자료와 기초자료를 바탕으로 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법을 월 및 계절단위로 적용하여 침입수량을 산정하였다. 이로써 하수발생 특성 및 침입수 산정 방법론별 정량적 발생량과 최적의 침입수 조사기간 및 영향인자에 대해 분석하여 추후 침입수 조사에 도움을 주고자 하였다.

2. 연구방법

국내에서 일반적으로 사용되는 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법의 특성 분석을 위해 관거정비가 시행된 중소도시의 일부 지역을 대상으로 1년간 유량 및 침입수 산정에 필요한 다양한 기초자료를 조사하였다. 이를 바탕으로 기간별 침입수 발생량 산정과 침입수량 증감에 영향을 주는 인자 및 침입수 조사기간에 관한 분석을 수행하였다.

2.1. 대상지역

본 연구는 한강수계 하수관거 정비시범사업(1단계)을 통해 불량관거 정비 및 개선이 이루어진 지역을 대상으로 수행했다. 대상지역은 중소도시의 생활 및 행정의 중심지역으로 대규모 아파트단지 및 주택단지로 구성된 2개의 배수분구로 구성되며, 두 배수분구 모두 일반적인 중소도시 주거지역의 형태를 보인다.

2.2. 유량 및 기초자료 조사

유량조사는 환경부(2008)의 국내 실정에 맞는 침입수/유입수 산정방법론의 기준에 따라 유량측정, 인접지역 강우자료 획득, 유량-강우량 자료 획득, 청천일 자료 선별의 단계로 수행되었다. 유량조사를 위해 청천일과 우천일을 포함한

대상지역의 관거말단에서 발생하는 유량측정이 가능토록 초음파 도플러방식의 연속 유량계인 FloPro를 설치하였다. 장기간의 유량측정을 통한 하수발생유형 분석 및 침입수 산정을 위하여 야간 최저발생 유량에서부터 강우시 최대발생 유량까지 측정이 가능하도록 2006년 11월 1일부터 2007년 10월 31일까지 청천일과 우천일을 포함하여 1년 동안 10분 간격으로 측정하였다. 장기간 유량측정 시 센서오작동으로 인한 측정오차를 줄이기 위해 자동 세정 기능을 이용하여 센서를 주기적으로 세척하였으며, 기록된 유량값이 정확하진지 확인하기 위해 2~3일 간격으로 정기적인 점검을 수행하였다. 우천시 강우량 측정은 하수처리장에 설치된 강우기록계의 10분간 누적강우량 자료를 이용하였다. 청천일 유량자료만을 획득하기 위해 환경부(2008)의 기준에 따라 측정된 유량-강우량 자료 중 강우계 기록 3 mm 이상인 우천일과 강우의 영향으로 지하수위 상승 및 유입수가 발생할 것이라 예측되는 강우영향일(2일)을 제외하였고, 그 결과 365일 중 217일의 청천일 유량자료를 추출하였다.

침입수 분석에 앞서, 각 산정 방법론별 침입수 산정에 필요한 월별 상수 및 지하수 사용량 및 공장폐수량, 야간 생활하수 발생량에 대한 기초자료를 조사하였다. 상수 및 지하수 사용량은 월 단위를 기준으로 대상지역의 행정기관에 기록된 자료를 이용하였으며, 이를 통해 발생하는 예상발생하수는 오수전환율(0.8)을 적용하여 산정하였다. 공장폐수량은 허가 및 신고된 업체 중 24시간 조업하는 곳의 발생하수량을 월 단위로 조사하였으며, 야간 생활하수 발생량은 조사기간 동안의 모든 청천일에 측정된 BOD 농도와 유량 자료와의 관계를 통해 일 단위로 산정하고, 이를 다시 월 단위로 평균하여 산출하였다.

2.3. 침입수 산정방법

본 연구에서는 국내에서 일반적으로 사용되는 다양한 방법 중, 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법을 대상으로 특성 분석을 수행하였다. 물 사용량 평가법(water use evaluation)은 (1)과 같이 상수 사용량으로부터 추정된 하수량과 배수유역내 하수처리시설에서 측정된 실측 하수량과의 차이로 침입수량을 산정한다(WEF and ASCE, 1994). 야간 생활하수 평가법(nighttime domestic flow evaluation)은 (2)와 같이 최소발생하수량에서 공장폐수량과 야간 발생하수량을 제외시키고 나머지를 침입수량으로 산정한다(WPCF, 1969).

$$\text{침입수(infiltration)} = Q_{ave} - C \cdot Q_w \quad (1)$$

여기서, Q_{ave} = 일평균 발생하수량(실측자료)

Q_w = 일평균 물 사용량

C = 오수전환계수(0.7~0.9)

$$\text{침입수(infiltration)} = Q_{min} - NDF - Q_{ind} \quad (2)$$

여기서, Q_{min} = 일평균 최소하수량

NDF = 평균 야간발생하수량(nighttime domestic flow)

Q_{ind} = 24시간 조업하는 공장폐수량(24시간 일정하게 발생)

이외, 일 최대-최소유량 평가법은 최소발생하수량에서 공장폐수만을 가감하는 방식으로 야간 생활하수 평가법의 일부로 귀속되며, 일 최대 평가법은 단기간보다는 장기간의 침입수 변동량을 산정하는데 적합한 방법으로 알려져 있기에 본 연구의 대상에서 제외하였다.

3. 결과 및 고찰

침입수 산정 방법론별 특성 분석을 위해 두 개의 대상지역에서 일 단위로 측정된 217일의 청천일 유량자료를 바탕으로 하수발생특성을 분석하였다. 분석을 위해 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법을 각각 월 및 계절단위로 구분하여 기간별 침입수 발생량을 산정했으며, 이를 바탕으로 방법별 침입수량의 정량적 비교·평가 및 방법론의 특성을 분석하였다.

3.1. 배수분구별 하수발생 특성

대상지역에서 측정된 1년간 유량자료의 월별 및 연간 발생변화를 살펴본 결과, 새벽시간에 최소유량이 발생하고 출퇴근시간에 첨두유량이 발생하는 전형적인 도시하수유량의 시간별 변화를 보였다(김대근과 공민근, 2003; 정광옥과 류성필, 2004; 황병기, 2003; 황병기와 김경원, 2005; Mercialf and Eddy, 2004). 대상지역의 1년간 발생유량의 월별 및 연간 일 단위 평균발생유량 곡선을 나타내면 Fig. 1과 같다.

일평균 하수발생량에 시간을 곱하여 일 단위 총 하수발생량을 산정한 뒤 이를 처리구역내 인구로 나누어 1인 1일 하수발생량을 산정하고, 일평균발생량 대비 최대발생량의 비를 첨두율(peak ratio)로 계산하여 Table 1에 나타냈다. 1인 1일 하수발생량과 첨두율 값을 국내·외 허용기준과 비교한 결과, 두 지역의 1인 1일 하수발생량은 환경부(2007a) 전국 상수도통계자료의 시지역 평균 상수사용량 405L의 78%에 해당하는 값으로 일반적인 오수전환율(0.7~0.9)의 범위내에서 사용된 상수가 하수로 전환되는 것으로 분석되

었다. 첨두율(peak ratio)은 환경부(2005)에서 제시하는 1.25~1.4 및 WPCF(1969)에서 제시하는 중소도시 기준 1.3 과 유사한 결과를 나타냈다. 이는 하수관거정비를 통한 하수도 시스템 전반에 걸친 개량 및 정비작업(환경관리공단, 2003)으로 인하여 하수도 시스템의 배수능력이 향상되고 누수 및 침입수 발생원이 감소함에 따라 설계기준에 만족한 것으로 판단된다.

3.2. 장기 모니터링 자료를 통한 기간별 침입수 발생량 해석

장기 모니터링 유량자료와 침입수 산정 방법별 기초자료를 월 및 계절단위로 구분하여 침입수 산정에 이용하였다. 물 사용량 평가법의 적용을 위해 월단위로 조사된 물 사용량 자료(상수 사용량+지하수 사용량)를 기간별로 묶어 평균한 뒤 오수전환율을 계절에 상관없이 0.8로 동일하게 적용하여 추정하수량을 산정하고 기간별 평균발생하수량과의 차이를 침입수로 산정하였다. 야간 생활하수 평가법은 기간별 최소 발생하수량에서 공장폐수량과 야간생활하수 발생량을 가감하여 침입수량을 산정하였다.

3.2.1. 월별 구분에 의한 침입수 발생량

물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법을 통한 침입수 해석시 사용되는 유량값 및 기초자료와 월별 침입수 발생량에 대한 계산 결과를 Table 2에 나타냈다. Site 1에서는 물 사용량 평가법이 401~9,126 m³/d, 야간 생활하수 평가법이 2,849~14,049 m³/d, Site 2에서는 물 사용량 평가법이 2,198~5,548 m³/d, 야간 생활하수 평가법이 2,101~6,993 m³/d로서 두 지역 모두 월별 침입수 발생량의 편차가 큰 것으로 조사되었다.

Fig. 2에는 월별 침입수 발생량과 평균 하수발생량, 최소 하수발생량의 결과를 도식화하였다. 월별 발생량의 정량적 비교 결과, 두 배수분구 모두 물 사용량 평가법의 해석 결과가 야간 생활하수 평가법 보다 대부분 낮은 결과값을 보

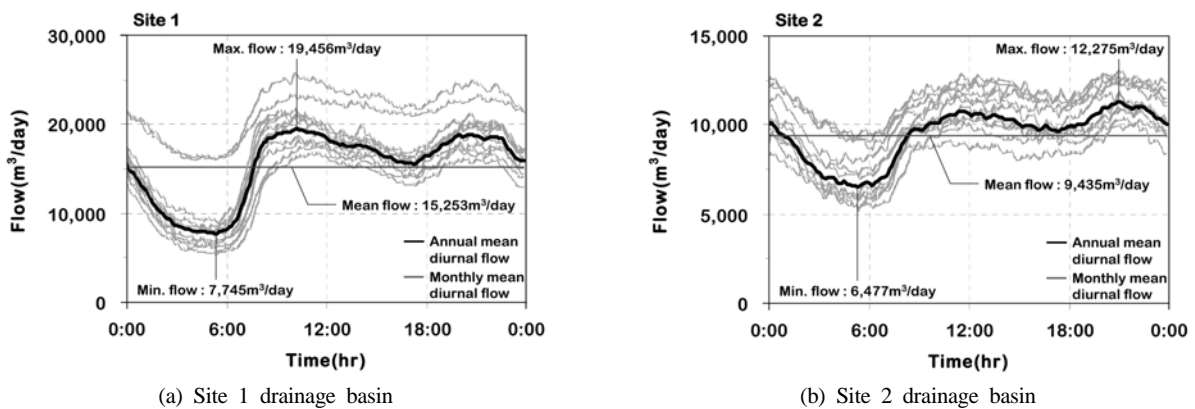


Fig. 1. Annual and monthly mean diurnal wastewater flow pattern (06.11.01~07.10.31).

Table 1. Flow rate and peak ratio

Site	Population (no.)	Mean flow (m ³ /day)	Max. flow (m ³ /day)	Total flow (L)	Flow rate (L/d-capita)	Peak ratio
Site 1.	48,061	15,253	19,456	15,253,000	317	1.28
Site 2.	29,856	9,435	12,275	9,435,000	316	1.30

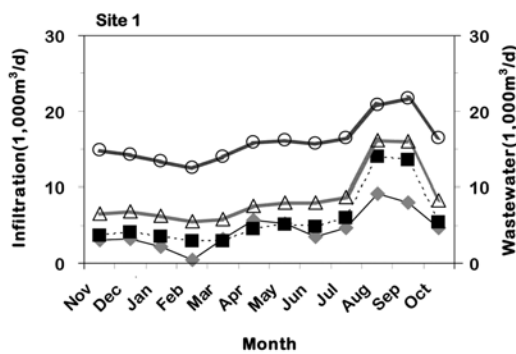
Table 2. Monthly infiltration calculated water use evaluation and nighttime domestic flow(NDF) evaluation methods

(unit : m³/day)

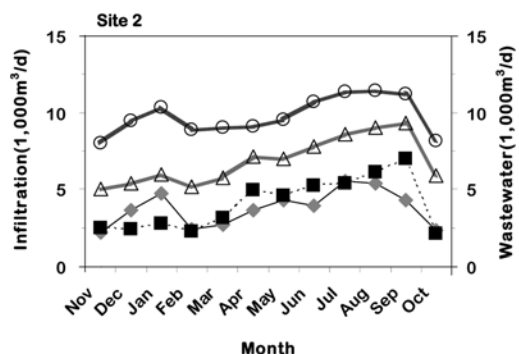
Site	Measuring period (Month)	Water use evaluation				NDF evaluation		
		Mean wastewater flow	Water supply records ⁽¹⁾	Estimated wastewater flow	Infiltration	Min. wastewater flow	Nighttime domestic flow ⁽²⁾	Infiltration
Site 1.	'06.11	14,876	14,811	11,849	3,027	6,579	2,976	3,602
	'06.12	14,200	13,720	10,976	3,224	6,900	2,778	4,122
	'07.01	13,328	13,858	11,086	2,242	6,286	2,768	3,518
	'07.02	12,532	15,163	12,131	401	5,476	2,575	2,901
	'07.03	13,922	13,434	10,747	3,175	5,860	3,011	2,849
	'07.04	15,940	12,875	10,300	5,640	7,592	3,061	4,531
	'07.05	16,175	13,609	10,887	5,288	8,070	2,960	5,110
	'07.06	15,796	15,428	12,342	3,454	8,063	3,237	4,826
	'07.07	16,464	14,779	11,823	4,641	8,800	2,803	5,996
	'07.08	20,768	14,553	11,642	9,126	16,123	2,074	14,049
'07.09	21,771	17,266	13,813	7,958	16,072	2,576	13,495	
'07.10	16,513	14,906	11,925	4,588	8,317	2,869	5,448	
Site 2.	'06.11	8,025	7,283	5,826	2,198	5,027	2,519	2,508
	'06.12	9,442	7,283	5,826	3,616	5,383	3,008	2,376
	'07.01	10,359	7,019	5,615	4,744	5,970	3,172	2,798
	'07.02	8,905	8,087	6,470	2,435	5,194	2,973	2,221
	'07.03	9,041	7,962	6,370	2,671	5,777	2,637	3,140
	'07.04	9,106	6,844	5,475	3,631	7,123	2,173	4,950
	'07.05	9,503	6,530	5,224	4,279	6,984	2,423	4,560
	'07.06	10,685	8,453	6,762	3,922	7,813	2,538	5,275
	'07.07	11,331	7,229	5,783	5,548	8,580	3,227	5,353
	'07.08	11,400	7,496	5,997	5,403	9,065	2,965	6,100
'07.09	11,246	8,670	6,936	4,310	9,285	2,292	6,993	
'07.10	8,151	7,236	5,789	2,362	5,875	3,773	2,101	

(1) Water and groundwater supply records

(2) Nighttime domestic flow+industrial wastewater flow



(a) Site 1 drainage basin



(b) Site 2 drainage basin

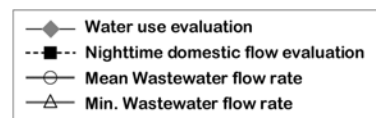


Fig. 2. Monthly infiltration and wastewater flow rate.

였다. 이는 물 사용량 평가법에 적용된 오수전환율의 선택에 따라 크게 달라질 수 있는 부분으로 본 연구에서는 일반적으로 제시되는 0.7~0.9 범위의 평균값인 0.8을 사용하였으나, 실제 현장의 상하수도관거 보급률 등을 따져본 뒤 적용해야 보다 명확한 산정결과를 기대할 수 있을 것이다.

3.2.2. 계절별 구분에 의한 침입수 발생량

월별 산정결과를 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(1~2월, 12월)로 묶어 계절별 침입수 발생량을 산정하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Site 1과 2에서 모

두 물 사용량 평가법이 야간 생활하수 평가법에 비해 비교적 적은 결과를 보였으며, 여름철이 상대적으로 다른 계절에 비해 침입수 발생량이 많은 것으로 조사되었다. 이처럼 여름철이 타 계절에 비해 상대적으로 침입수 발생량이 많은 것은 하수발생량의 증감률에 비해 물 사용량의 증감률

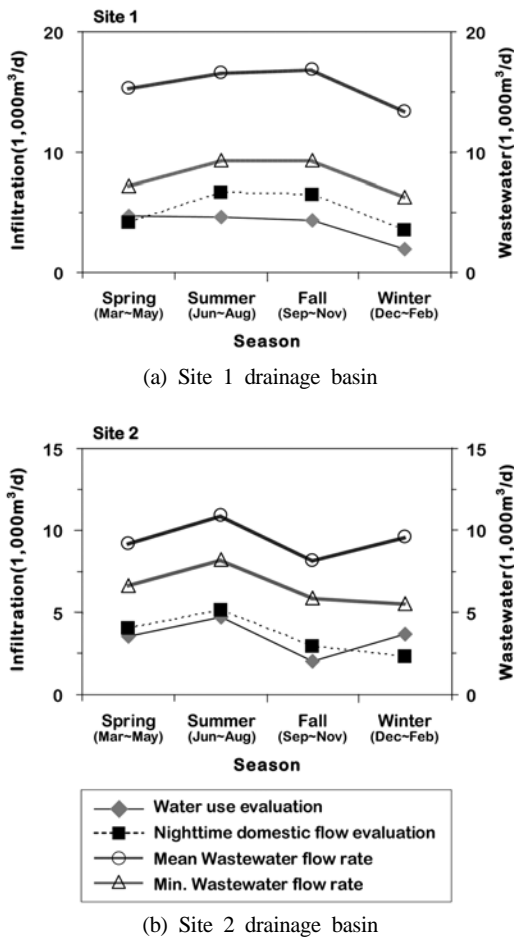


Fig. 3. Seasonal infiltration and wastewater flow rate.

이 낮기 때문에 판단된다. 이는 여름철 집중적인 강우 발생으로 인해 지하수위가 상승됨에 따라 하수관거로 침입되는 강우유발 침입수의 증가가 원인으로 판단되며, 이에 대한 자세한 분석은 본 연구의 후반부에서 다양한 원인을 고려해 수행하였다.

3.2.3. 연간 침입수 발생량

본 연구에서 얻은 연간 침입수량 분석결과를 국내·외 지하수 유입량 설계기준과 비교하기 위해 연간 최대발생유량과 관거연장 및 평균관경으로 침입율을 계산하여 Table 3에 정리하였다. 환경부(2005)와 일본 하수도협회(1994)에서는 1인 1일 최대오수량의 10~20%를 지하수 허용기준으로 제시하고 있으며, 이에 비교했을 때 본 연구의 대상지역은 약간 높은 수준임을 알 수 있다. 또한 관거연장-평균

관경에 대한 침입수 허용기준에 대해 WEF와 ASCE (1992)에서는 신설관거와 오래된 관거에 대해 각각 0.0185m³/d-km-mm과 0.0185~0.37 m³/d-km-mm로 제시하고 있으며, Tchobanoglous(1981)와 Tchobanoglous와 Burton(1991)은 0.01~1.0 m³/d-km-mm로 제시하고 있는 것과 비교하면 오래된 관거에 가까운 수치를 보여주고 있다. 그러나 국내·외 문헌상에서 제시하는 설계기준은 나라별로 상이한 기준과 단위로 표현되고 있으며, 관의 노후화 정도 및 토질, 지하수위 등의 현장여건에 따라 상당한 차이를 두고 있기에 상대적인 비교는 무의미한 것으로 판단된다. 국내에서도 다양한 조건에서 측정된 침입률에 관한 연구자료를 바탕으로 추가 연구를 통해 심도 있는 기준이 마련되어야 할 것이다.

기간별 침입수 산정 결과, 두 방법론 모두 두 지역에 적용이 가능한 것으로 분석되었다. 특히, 침입수 산정에 이용되는 유량자료 및 기초자료에 대한 측정과 조사에서는 정도관리(QA/QC)가 확보된 결과를 획득할 수 있었다. 이러한 결과분석을 바탕으로 지역적 특성 측면에서 침입수 산정 방법론의 단계별 한계성 및 적용성에 대한 분석을 수행하였다. 우선, 침입수 산정을 위해 물 사용량 평가법의 경우 요구되는 자료는 평균하수발생량과 물 사용량 자료를 바탕으로 도출된 예상발생하수량이다. 평균하수발생량 측정을 위해서는 본 연구의 대상지역과 같이 24시간 연속적인 유량측정이 가능한 하수발생량이 보장되는 지역을 대상으로 하는 것이 바람직하다. 물 사용량 자료는 한 달을 기준으로 해당지역의 행정기관에 기록된 통계자료를 활용하는 것이 기본이며, 이러한 자료는 보통 행정기관에 등록된 각 가구별 계량기의 기록자료를 바탕으로 구성된다. 따라서 물 사용량 자료의 획득에 대한 정도관리(QA/QC)를 확보하기 위해서는 상수관망의 보급률이 높아 대상지역의 주민 대부분이 상수도에 의존하는 지역을 선택해야 한다. 또한 사용된 물이 얼마나 하수관거로 배출되는지에 대한 명확한 판단을 위해 대상지역의 오수전환율에 대한 체계적인 연구 및 실측 조사가 수행되어야 하며, 미계측되거나 하수관망으로 미배출되는 무수량의 발생이 적어야 한다. 즉, 물 사용량 평가법은 상수수도관망의 보급률이 높아 계절에 상관없이 사용된 물의 대부분이 하수관으로 배수되어 연속적인 유량측정이 가능하고, 측정 불가한 무수량의 발생이 적은 도시지역에 적합한 방법이라 사료된다. 단, 조사기간이 한 달 미만인 경우에는 물 사용량 자료를 확보하기가 곤란하기 때문에 한달 이상의 중장기 대상기간에 적용하는 것이 타당하다.

Table 3. Annual infiltration, peak ratio, and infiltration ratio

Site	Method	Max. flow (m ³ /day)	Sewer		Infiltration		
			Total length (km)	Mean diameter (mm)	Flow (m ³ /day)	Peak ratio ⁽¹⁾	Infiltration ratio ⁽²⁾
Site 1.	Water use evaluation	19,456	35.65	666	3,626	0.19	0.15
	NDF evaluation				4,938	0.25	0.21
Site 2.	Water use evaluation	12,275	19.45	566	3,429	0.28	0.31
	NDF evaluation				3,668	0.30	0.33

(1) infiltration into max. flow

(2) infiltration into total length and mean diameter, (m³/d-km-mm)

야간 생활하수 평가법의 경우 요구되는 자료는 최소하수 발생량과 야간 오폐수발생량이다. 최소하수발생량은 보통 이른 새벽시간대에 발생하며, 따라서 이 시간대 유량계측이 가능한 최소한의 유량이 발생해야 한다. 또한 야간 오폐수 발생량의 경우에는 앞서 설명한 최소하수가 발생하는 시점의 수질 농도가 매우 낮아야 한다. 본 방법론에서 가정하고 있는 사항은 침입수의 유입으로 인해 하수가 희석되어 그 비율에 따라 야간 오폐수량을 결정하는 것이기 때문에 반드시 이러한 조건을 만족해야 한다. 만일, 발생하는 하수량이 적음에도 불구하고 높은 오염농도를 지니는 지점은 야간에 발생하는 최소하수량이 가정 및 상업지역에서 유입되는 순수 하수일 가능성이 크기 때문에 본 방법의 적용이 어려울 것으로 판단된다. 따라서 야간 생활하수 평가법은 어느 정도의 야간 최소발생하수가 발생하고, 이 때 수질농도가 급격히 떨어지는 구간이 존재하는 지점을 대상으로 적용하는 것이 바람직하다고 사료된다. 또한 수질농도는 일 단위 측정이 가능하므로, 본 방법은 한달 미만의 단기적 조사에 유용하게 활용이 가능할 것으로 판단된다.

3.3. 침입수 발생량에 대한 영향인자 해석

월 단위를 기본으로 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법을 통해 산정된 침입수량을 대상지역의 총 관거연장과 평균관경으로 나눠 침입률을 산정하고, 물 사용량 평가법의 침입률과 1인 1일 평균발생하수량의 발생관계 및 야간 생활하수 평가법의 침입률과 1인 1일 최소발생하수량과의 발생관계를 분석하여 Fig. 4와 5에 나타내었다. 침입률

과 1인 1일 평균발생하수량 및 최소발생하수량과의 관계 분석 결과 두 지역 모두 매우 유사한 수준에서 비례적인 발생관계를 갖는 것으로 조사되었다. 이를 통해 월간 침입수 발생량의 증감은 실측된 대상지점의 평균발생하수량 및 최소발생하수량의 증감에 따라 비례적으로 변화하며, 그 연관성이 매우 높은 것을 확인 할 수 있었다.

앞서 도출된 침입수량과 하수량과의 높은 연관성에 대한 세부적인 고찰을 위해 월간 최소, 평균, 최대 발생하수량의 증감의 원인을 월간 누적 강우량과 우천일수, 물 사용량에 의해 발생하는 추정하수량, 야간활동인구 및 공장에서 배출되는 야간오폐수량의 네 가지 인자로 가정하여 관거내 유량 특성치(관거내 최소, 평균, 최대 발생량)와의 상관도 분석 결과를 Table 4에 나타내었다.

상관도 분석 결과 Site 1에서는 최소, 평균, 최대하수발생량과 월간 누적 강우량 및 우천일일이 매우 높은 상관도를 보였다. 반면, 추정하수량과 야간오폐수량은 매우 낮은 양과 음의 상관도를 보였다. Site 2에서도 마찬가지로 최대하수발생량과 월간 누적 강우량 및 우천일일이 매우 높은 상관도를 보인 반면, 추정하수량과 야간오폐수량은 매우 낮은 양과 음의 상관도를 보였다. 이러한 결과는 강우의 누적량과 영향기간이 길어짐에 따라 상승한 지하수위의 영향으로 관거 내 강우유발 침입수(rainfall induced infiltration)의 유입을 통한 관거 내 유량 증가 때문으로 볼 수 있다. 이를 통해 침입수량의 증감은 추정하수량과 야간오폐수량의 영향보다는 강우로 인해 증가하는 관거내 유량의 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다. 특히, 평균하수발생량보다 최

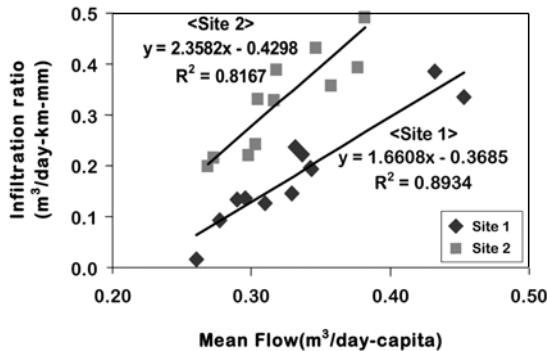


Fig. 4. Relations between monthly infiltration ratio (m³/day-km-mm) and mean flow (m³/day-capita).

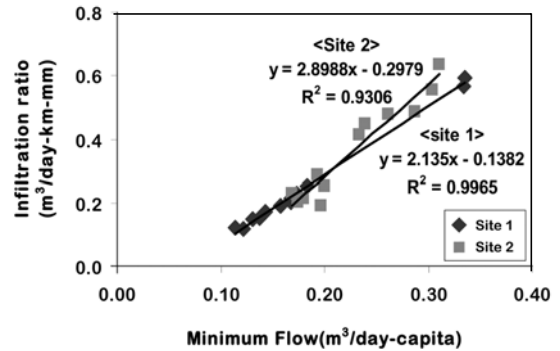


Fig. 5. Relations between monthly infiltration ratio (m³/day-km-mm) and minimum flow (m³/day-capita).

Table 4. Correlation matrix for wastewater characteristics, rainfall(mm/month), rain day, estimated wastewater flow rate, and nighttime wastewater flow rate

Site	Factor	Rainfall (mm/month)	Rain day	Estimated wastewater flow rate	Nighttime wastewater flow rate
Site 1.	Min. flow rate	0.77	0.75	0.55	-0.66
	Mean flow rate	0.75	0.75	0.54	-0.49
	Max. flow rate	0.67	0.71	0.49	-0.30
Site 2.	Min. flow rate	0.77	0.67	0.26	-0.23
	Mean flow rate	0.67	0.50	0.30	-0.08
	Max. flow rate	0.35	0.13	0.40	0.09

소하수발생량이 누적 강우량의 영향을 조금 더 많이 받는 것으로 나타났으며, 이는 물 사용량 평가법보다는 야간 생활하수 평가법의 산정결과가 강우의 영향을 더 많이 받는 것으로 해석 할 수 있다. 침입수 산정 방법론별 영향인자 분석 결과를 바탕으로 침입수 산정시에는 강우빈도가 높고 누적강우량이 많은 여름철이나 장마철을 대상으로 침입수를 산정하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다. EPA(1991)에서는 이미 계절에 따라 하수발생량이 변할 수 있다는 사실을 고려해 침입수 산정시 강우 및 강설로 인한 지하수 상승의 영향을 받는 계절을 제외하고 있다. 이와 마찬가지로 국내에서도 강우특성을 고려해 강설 및 강우의 발생이 적은 2~5월과 같은 건기철을 기준으로 강우의 영향을 최소한으로 유지할 수 있는 상태에서 침입수 조사를 수행하는 것이 타당하다고 사료된다.

현재 국내에서 침입수를 조사하는 경우에는 다양한 방법론을 모두 이용해 침입수량을 산정한다. 이 경우 각 방법에 의한 결과값이 서로 차이가 심하고, 이들 방법들에 의한 결과값 중에서 최적으로 판단되는 1개의 결과를 채택함이 원칙이나 일부에서는 가장 큰 값과 작은 값을 제외한 나머지 2개의 결과값을 평균하여 침입수값으로 결정하고 있는 실정이다(환경부, 2007b). 이는 명백히 침입수 산정방법의 논리적 가정사항을 고려하지 못한 것으로 침입수 산정은 3.2절에서 제시한 바와 같이 방법론의 적용이 가능한 대상지역에 대한 사전검토 이후 하나의 방법을 선택하여 강우의 영향이 없는 기간을 대상으로 조사가 이루어져야 한다. 즉, 기존의 절차와 같이 다양한 방법론의 평균값을 최종 침입수 발생량으로 정의하거나, 침입수 산정방법론의 상대적 우수성을 판단하는 것은 잘못된 것으로 현장조건에 맞는 방법론을 선택하는 관점에서 접근해야 한다. 이러한 선택적 접근을 바탕으로 동일한 조건과 절차에 따라 침입수를 산정해야만 침입수 발생량의 상호비교 및 다양한 활용이 가능하다.

4. 결론

침입률과 하수량과의 회귀분석을 통해 물 사용량 평가법과 야간 생활하수 평가법의 침입수 산정 결과값이 하수발생량과 비례관계를 도출하였으며, 이를 바탕으로 하수관거내 유량 증감변동에 가장 큰 영향을 미치는 영향인자를 분석한 결과 월간 누적 강우량과 우천일수로 분석되었다. 이는 강우의 누적량과 영향기간이 길어짐에 따라 상승한 지하수위 영향으로 관거내 강우유발 침입수(RII)의 유입을 통해 하수발생량이 비례적으로 증가하기 때문이며, 이러한 영향으로 인해 월별 및 계절별 침입수 발생량이 큰 편차를 보인다.

침입수 산정은 실측된 유량자료와 대상지역의 다양한 기초자료를 바탕으로 산출되는 엔지니어링 측면의 예측값이라 할 수 있다. 이러한 예측값의 신뢰성을 높이기 위해서는 조사대상 지역의 특성을 명확히 파악하여 조사기간 동안 적용성이 가장 높은 방법론을 선택하여 하나의 침입수

값만을 산정하여 평가에 활용해야 한다. 이러한 선택적 접근을 바탕으로 하나의 방법론을 대상으로 동일한 조건과 절차에 따라 침입수를 산정한 뒤, 침입수 발생량의 상호비교 및 다양한 활용이 가능하다.

사 사

이 논문은 2008년도 중앙대학교 학술연구비(연구교수 연구비) 지원에 의한 것임.

참고문헌

국립환경연구원(1998). *하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구*.

김대근, 공민근(2003). 소 주거지역에서의 생활하수 발생특성에 관한 연구. *상하수도학회지*, 17(6), pp. 759-764.

오정미(2003). 하수관거에서 침입수 유입수 및 누수에 관한 연구. 석사학위논문, 수원대학교.

이현동(2001). I/I와 월류수 제어를 위한 하수관거내의 모니터링 시스템 개발. *대한토목학회지*, 49(8), pp. 10-19.

일본하수도협회(1994). *하수도시설계획 설계지침 및 해설*.

정광옥, 류성필(2004). 제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구. *한국환경과학회지*, 13(3), pp. 251-262.

정호진, 조주연(2002). 성주지역의 합류식 하수관거 침입수/유입수(I/I) 조사 분석. *환경과학논집*, 7(1), pp. 243-251.

최계운, 김기형, 이호선(2001). 전자식 유량계를 이용한 하수관거의 유량측정. *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, 한국수자원학회, pp. 359-364.

환경관리공단(2003). *한강수계 하수·관거 정비공사(제5공구) 실시계획보고서*.

환경부(1998). *환경기초시설 투자우선순위 결정 및 종합정비 기본계획 수립연구 보고서*.

환경부(2005). *하수도시설기준*.

환경부(2007a). *2006 상수도통계(상)*.

환경부(2007b). *하수도정비 기본계획 수립지침*.

환경부(2008). *국내실정에 맞는 침입수/유입수 산정방법*.

황병기(2003). 가평군 처리구역별 하수발생특성 분석. *상하수도학회지*, 17(1), pp. 103-112.

황병기, 김경원(2005). 구리시 하수발생특성 분석. *한국물환경학회지*, 19(4), pp. 425-434.

Benedittis, J. De. and Bertrand-Krajewski, J. L. (2005). Infiltration in sewer system: comparison of measurement methods. *Water Science & Technology*, 52(3), pp. 219-227.

Mercalf, Eddy (2004). *Wastewater engineering*. 4th ed., McGraw Hill, New York.

Swarner, R. and Klusman, S. (1995). I/I reduction in a metropolitan system. *Proceedings of 68th Annual Conference & Exposition*, WEF, Miami, pp. 51-62.

Tchobanoglous, G. (1981). *Wastewater engineering-collection and pumping of wastewater*. McGraw Hill, New York.

Tchobanoglous, G. and Burton, F. L. (1991). *Wastewater engineering-treatment, disposal and reuse*. McGraw Hill, New York.

U.S. EPA (1991). *Sewer System Infrastructure analysis and*

- rehabilitation handbook*. EPA/625/6-91/030, US Environmental Protection Agency, Washington.
- U.S. EPA (1990). *Rainfall induced infiltration into sewer system*. EPA/430/09-90-005, US Environmental Protection Agency, Washington.
- WEF, ASCE (1992). *Design of municipal wastewater treatment plants*. 4th ed., WEF Manual of Practice and ASCE Manual and report on engineering practice no. 76, New-York.
- WEF, ASCE (1994). *Existing 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.