



상관성 분석을 통한 침입수 발생 영향인자 분석 Factor analysis on infiltration using correlations

류재나¹ · 오재일^{1*} · 최익훈²

Jaena Ryu¹ · Jeill Oh^{1*} · Ickhoon Choi²

1 중앙대학교 건설환경공학과, 2 한국환경공단 상하수도지원처

(2011년 3월 11일 접수 ; 2011년 3월 30일 수정 ; 2011년 4월 5일 채택)

Abstract

Pearson's correlation was used to determine relations between infiltration and affecting factors using flow monitoring data measured in 24 areas with different characteristics. Factors showed relatively high correlations than others were indexed to determine infiltration rates of the study area.

Among 8 factors(service area, sewer length, sewer diameter, multiplier of sewer length and diameter, number of manholes, population, number of properties, number of households) tested, the multiplier of sewer length and diameter, the number of population and the number of household in each service area indicated higher correlation coefficient(>0.8) than others. The goodness of fitness of linear regressions between infiltration and the factors followed the order: sewer length and diameter(0.68)> population(0.65)> number of household(0.60).

Infiltration rates calculated by the multiplier of sewer length and diameter, the number of population and the number of household in each service area were 0.046~1.0396 m³/d · mm-km, 0.0917~1.7355 m³/capita · d, 0.196~4.529 m³/household · d respectively. After sewerage rehabilitation work of the area, the infiltration rates calculated by above factors with high correlations are expected to be used for comparing effectiveness of the work once they are estimated under the same flow measuring conditions.

Key words : sewer, flow monitoring, infiltration, infiltration rate, correlation analysis

주제어 : 하수관거, 유량 모니터링, 침입수, 침입율, 상관성 분석

1. 서론

기존 국내에 매설된 하수관망의 상당부분은 합류식 배제 방식으로 단일관거를 통해 오수와 우수를 이송하는 방식이

다. 합류식 배제방식은 분류식 방식에 비해 빈번히 존재하는 오점의 위험이 없는 등의 장점이 있지만, 단일관거 체계의 특성상 우천시 노면이나 관거내의 침전물이 일시에 유출될 경우, 이를 차집·처리하기 위해서는 차집관거의 규모가

* Corresponding author Tel:+82-2-820-5339, Fax:+82-2-812-1834, E-mail: ohjeill@cau.ac.kr(Oh, J.)

커야하고 하수처리장에 부담을 주게 된다. 또한 우수토실로부터 우수에 희석된 하수가 수역으로 집적 방류되는 월류수 문제를 가지고 있으며, 오수의 정체로 인한 침전물의 관내 퇴적을 통한 악취발생의 문제점도 지니고 있다.

따라서 근래에는 공공하수도의 주요 역할 중 한가지인 공공수역의 수질오염방지를 위하여 분류식 배제방식(오수, 우수관 분리 설치)의 적용이 보다 타당하다고 판단되고 있다. 이와 같은 취지 아래, 최근 국내 하수관거 정비사업의 기본방향은 분류식 하수도로의 전환 또는 보관을 지향하고 있는 추세이다(상하수도학회·환경관리공단, 2007; 환경관리공단, 2007; 서울시, 2008).

반면 분류식으로 하수관거 정비를 추진하는 과정에서, 우수관내의 침입수/유입수(I/I, Infiltration/Inflow) 문제가 새로이 크게 대두되고 있다. 침입수/유입수의 우수관으로의 과도한 유입은 하수관에 미치는 수리학적 부하를 크게 하여 하수처리시설 및 중계펌프장을 비롯한 전반적인 하수도 시설의 과부하를 일으키는 요소가 되고, 분류식 하수관거 시스템의 원래 취지를 무색하게 하는 부작용이 있다.

실제로 2008년 환경부의 전국 하수처리장 운영결과 조사자료에 의하면, 전국 405개 하수처리장 중, 전체의 10.37%에 해당하는 42개 처리시설에서 시설용량보다 많은 양의 하수가 유입되고 있으며, BOD를 기준으로 설계수질보다 계획수질이 50% 미만인 곳이 전체의 82개소로 20.25%에 이르렀다. 특히 설계수질의 20% 미만으로 유입되는 처리시설도 10개소였다(환경부, 2009). 이러한 국내 하수처리장의 상황은 하수가 처리장으로 이송되는 동안 불명수(지하수, 계곡수, 하천수 등)가 하수관거내로 유입되어 발생한 것으로, 하수처리시스템의 운영효율 개선을 위해서는 정량적인 I/I의 측정 및 분석을 통한 적절한 하수관거 평가를 통해 전반적인 하수도 시스템의 정비 전략이 필요하다.

현재 국내에서 활발히 진행되고 있는 하수관거 정비사업(한강수계 하수관거정비 시범사업 및 하수관거정비 BTL 민간투자사업 등)에서는 I/I를 중요한 하수관망 시스템 평가에 대한 지표로서 사업 전·후 정비지표 혹은 사업이후의 효율적인 유지관리 지표로서 인지하고 있다. 그러나 한강수계 정비사업의 성과보증지표에 대한 검토 연구에서 언급되었듯이 관거정비 전과 후의 I/I 자료가 분석을 수행할 만큼 적절하게 조사되지 않는 실정이며, 표준화된 I/I의 산정 방법론 및 국내실정에 적합한 I/I 지표의 활용방안에 대하여는 보다 심도 있는 연구가 필요하다고 지적되고 있다(환경관리공단, 2006; 정, 2008).

침입수는 주로 청천일에 관거불량, 지하수의 상승, 상수관의 누수 등에 의해 지하수가 하수관으로 유입되는 오수 이외의 하수를 뜻하며, 일부 정원수, 계곡수와 같은 지속적

유입수(steady inflow)가 침입수로 포함되어 측정되기도 한다. 침입수는 연결관 접합 불량, 파손 및 균열, 이음부 이완 및 어긋남, 맨홀 접합부 불량 등의 원인에 의해 발생하며, 지속적 유입수는 지하실, 기초 배수구, 냉각수 배출구, 샘이나 습지의 배수구 등에서 배출되는 물의 지속적 유입이 침입수 범위 내에 포함된다. 침입수 발생의 원인이 되는 인자는 하수관거 연장, 유역면적, 토양/지형적 특성 및 배수설비와 연관된 인구밀도 등의 여러 인자가 있는 것으로 알려져 있다(Metcalf and Eddy, 1994).

본 연구에서는 대표 하수 처리분구를 세부분구로 구분(유량계 설치)한 뒤 동일한 기간 동안 측정된 정도관리(QA/QC)가 확보된 유량자료를 바탕으로 침입수 발생의 원인이 되는 다양한 영향인자들과 침입수 발생량과의 상관관계를 규명하고, 상관관계가 높은 인자들을 이용해 침입수 발생율을 정규화하는 방안을 모색하여 향후 하수관거 정비사업의 참고지표로의 활용방안을 모색하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상지역

본 연구의 침입수 분석은 한강수계 하수관거 정비공사 중 G군 H지역의 유량조사자료를 이용하였다. 이 지역은 총 1.35km²의 하수도 처리구역을 담당하고 있으며, 3개의 처리분구가 속해있다. 대상 처리분구는 한강수계 하수관거 시범정비사업을 통해 우수관거 26,523m, 우수관거 799m를 신설하여 기존 합류식 지역을 분류식화 정비한 지역이며 대상지역의 모식도는 Fig. 1과 같다.

2.2 조사자료

본 연구에서 사용된 하수관거 유량데이터는 '07년 4월 1일에서 8월 31일까지 5개월간 측정된 데이터이다. 대상 기간동안 Fig. 1에 나타난 바와 같이 기본조사지점 24개소, 군부대조사지점 11개소, 우수간선관거 조사지점 5개소에서 자동측정유량계를 이용하여 기본적으로 10분 간격으로 측정된 유량자료를 활용하였다. 하지만 분석 과정에서 군부대조사지점 11개소와 우수간선관거 조사지점 5개소는 대상지역의 특성을 파악함이 용이하지 않아 분석대상에서 제외하였으며, 기본조사지점 24개소 중 상위에 군부대조사지점이 자리하고 있어 독립적인 분구 유량 특성 파악이 불가능한 3지점(기본 1, 13, 17) 및 영향인자 산정이 불가능한 지역(기본 7)을 제외한 20개 기본조사지점을 대상으로 최종적인 상관성 분석대상지역으로 결정하였다.

상기의 20개 지점 중 상위에 독립적인 기본조사지점이 포함되어있는 조사지점(기본 8, 기본9, 기본 19, 기본 22)

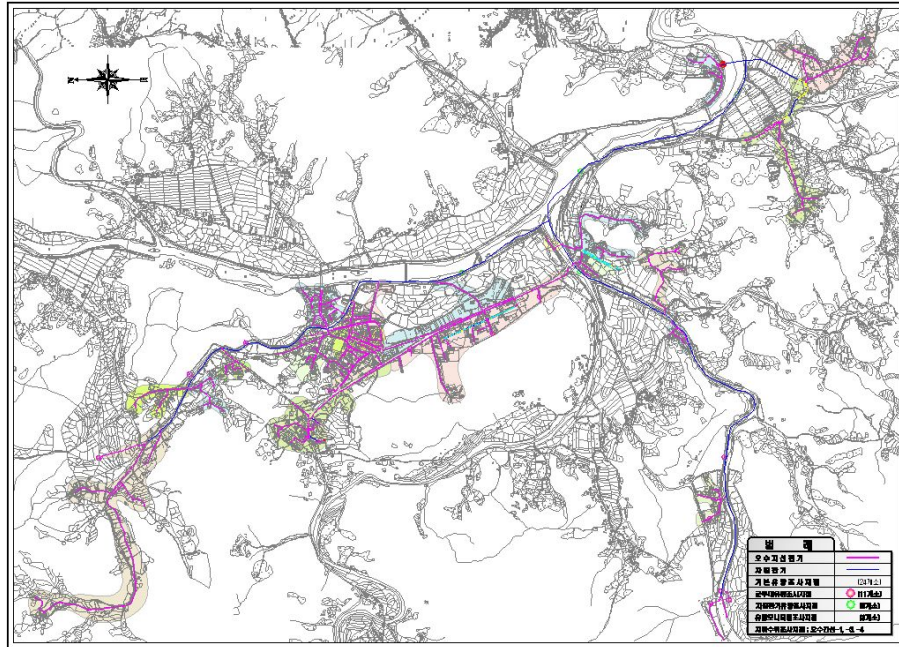


Fig. 1. 연구 대상지역 개요

은 상위구역의 자료를 공제하여 독립지점의 자료를 파악 하였다(예를 들어, 기본8지점의 경우 상위의 기본 21 지점의 측정자료를 공제하여 독립 기본 8 지점으로 명명하였음). 궁극적으로 분석에 사용된 24개 조사지점의 모식도는 Fig. 2와 같다.

2.3 침입수 산정방법

국내에서 사용되는 침입수의 산정방법은 일반적으로 WEF(Water Environment Federation, US), U.S. EPA(Environmental Protection Agency, US)에서 제안하는 몇 가지 방법론을 기본적으로 사용하고 있으며, 물사용량평가법, 일최대-최소유량 평가법, 일최대유량 평가법, 야간생활하수 평가법의 네 가지 방식이 보편적으로 사용되고 있다. 반면 네 가지 방법을 통한 결과값은 서로 상이하며, 그 중에서 어떤 방법을 기준으로 사용해야하는지에 대하여는 대상지역의 특성을 감안하여 연구자의 경험을 따르고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 측정된 유량자료에서 우천일을 파악하여 제외시킨 후, 정천일 10분 간격의 측정자료를 2시간 이동평균으로 가장 낮은 값(최소하수 발생량)을 그 날의 침입수량(m^3/d)으로 산정함을 가정하였다(연구대상지역은 주거/상업 구역과 다수의 군부대가 혼재하는 농촌의 군단위 지역으로 야간하수발생량이 미비할 것으로 가정하였음). 우천일은 일 누적강우 3mm 이상인 날로 전체하였으며, 강

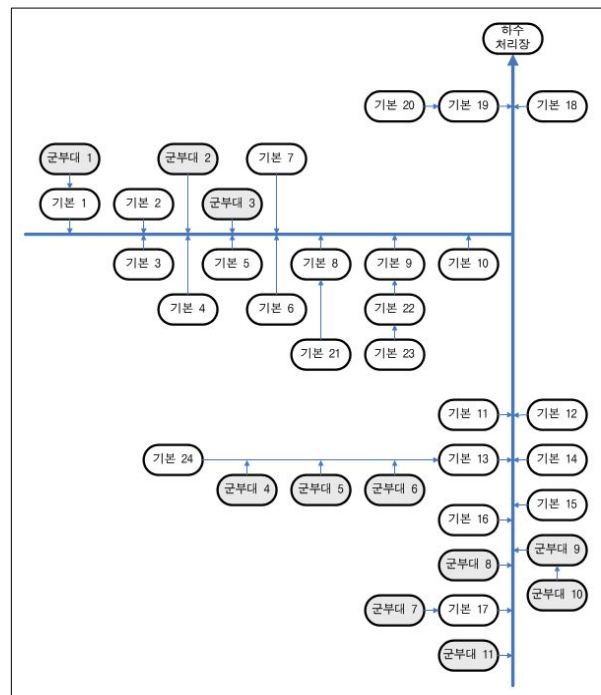


Fig. 2. 유량조사지점 모식도

우중료 후 2일 동안은 강우영향일로 판단하여 침입수 산정일에서 제외하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 침입수 발생 영향인자 선정

본 연구에서 고려한 침입수발생의 영향인자로 조사지점별 ①유역면적(ha), ②관거연장(km), ③평균관경(mm), ④연장·관경(km·mm), ⑤맨홀(개소수), ⑥인구수(인), ⑦가옥수(배수설비수), ⑧세대수(세대)의 여덟가지 인자를 선택하였다. 24개 조사지점별 인자에 해당하는 값들은

Table 1에 정리하여 나타내었다.

3.2 상관관계 분석을 통한 침입수 발생 영향인자 분석

4월1일에서 8월 31까지 각 지점에서 5개월간 산정된 침입수량(m³/d)의 평균, 최소값, 최대값에 대해 선정된 각 영향인자들과의 상관관계 분석을 수행하였다. 상관성 분석은 Pearson correlation 방법을 Minitab(R 14)을 이용하여

Table 1. 조사지점별 침입수 발생 영향인자

지점명	유역면적 (ha)	총관거연장 (km)	평균관경 (mm)	연장·관경 (km·mm)	맨홀 (개소)	인구수 (인)	가옥수 (배수설비수)	세대수 (세대)
기본 2	13.9	0.61	250	151.75	18	71	26	26
기본 3	19.5	0.59	250	146.45	19	57	21	21
기본 4	10.3	0.48	250	118.93	15	72	27	27
기본 5	0.9	0.61	250	153.43	19	237	37	87
기본 6	13.6	0.45	250	112.63	16	239	39	89
기본 8	8.0	1.50	250	374.88	47	649	181	282
기본 9	15.1	7.10	250	1774.25	96	1543	366	629
기본 10	11.0	1.59	250	397.40	40	165	41	61
기본 11	2.3	0.16	250	41.05	5	70	5	25
기본 12	16.1	1.32	250	330.83	43	92	34	34
기본 14	6.0	0.44	250	111.15	40	111	41	41
기본 15	6.2	0.97	250	241.68	36	62	23	23
기본 16	2.0	0.30	250	73.78	15	64	26	26
기본 18	15.4	0.71	250	177.10	25	63	24	24
기본 19	139.7	3.80	250	950.15	106	494	154	202
기본 20	80.8	1.31	250	327.13	47	105	48	48
기본 21	6.4	1.08	250	270.25	23	262	81	101
기본 22	10.7	3.76	250	939.75	45	701	157	263
기본 23	8.1	1.37	250	341.88	23	268	96	106
기본 24	26.0	2.08	233	484.16	31	200	56	76
독립 기본 8 ¹	1.6	0.42	250	104.63	24	387	100	181
독립 기본 9 ²	4.3	3.34	250	834.50	51	842	209	366
독립 기본 19 ³	58.9	2.49	250	623.03	59	389	106	154
독립 기본 22 ⁴	2.6	2.39	250	597.88	22	432	61	157

1 독립 기본 8=기본8-기본21

2 독립 기본 9=기본9-기본23-기본22

3 독립 기본 19=기본19-기본20

4 독립 기본 22=기본22-기본23

Table 2. 침입수 발생 영향인자와 침입수의 상관관계

영향인자	침입수량 (평균, m ³ /d)		침입수량 (최대, m ³ /d)		침입수량 (최소, m ³ /d)	
	Correlation	P-Value	Correlation	P-Value	Correlation	P-Value
유역면적	-0.057	0.792	-0.063	0.771	-0.024	0.913
관거연장	0.830	0.000	0.489	0.015	0.775	0.000
평균관경	-0.010	0.961	0.013	0.951	-0.058	0.787
연장·관경	0.831	0.000	0.490	0.015	0.775	0.000
맨홀개소	0.535	0.007	0.295	0.162	0.504	0.012
인구	0.822	0.000	0.460	0.024	0.738	0.000
가옥수	0.795	0.000	0.440	0.032	0.712	0.000
세대수	0.801	0.000	0.447	0.028	0.709	0.000

분석하였으며, 상관계수 계산결과와 각 상관계수의 유의수준은 Table 2에 나타내었다.

5개월간 산정된 침입수량의 평균값의 경우 관거연장, 연장·관경, 인구, 가옥수, 세대수가 침입수 발생량 평균값과 높은 상관관계를 나타냈으며, 이 중 특히 관거연장, 연장·관경, 인구 및 세대수 네 개의 영향인자는 상관계수 0.8 이상으로 매우 높은 상관관계를 나타내었다.

반면 산정된 침입수량의 최대값과 인자들간의 상관관계는 모든 항목에 걸쳐서 상관계수가 상대적으로 높지 않게 나타났으며, 유의확률도 평균값과 최소값에서 나타난 확률보다 낮아 최대값을 영향인자로 설정함은 적절하지 않았다. 침입수량의 최소값과의 상관관계에서는 평균값과의 상관관계에서 높은 상관관계를 나타낸 항목인 관거연장, 연장·관경, 인구, 가옥수, 세대수가 모두 상대적으로 높은 상관관계를 나타내었으나 그 값은 평균값과의 산정값 보다는 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 3에서는 침입수량과 높은 상관관계를 나타낸 인자인 연장·관경, 인구, 세대수의 인자에 대해서 침입수량의 평균값의 관계를 나타내었다. 관거 연장의 경우 본 연구 대상지역의 대부분의 관거는 250mm 관경으로 거의 동일한 값을 지니고 있어, 연장·관경의 산정결과와 크게 차이가 없을거라 간주하였다.

연장·관경, 인구, 세대수 모두, 영향인자값의 증가에 따라 침입수량이 증가함을 나타내었으며 증가추이에 대한 선형방정식을 이용한 회기분석 결과에서는 침입수량 평균값과 연장·관경, 인구수, 세대수의 적합도가 연장·관경(0.68)>인구수(0.65)>세대수(0.60)의 순으로 나타났다.

본 연구에서는 배수설비 개수를 통해 대상지역의 가옥수를 산정한 후, 가옥의 종류에 따라 세대수를 산정하고, 이에 행정구역별 인구 비율을 적용하여 인구수를 산정하였다. 이러한 가옥수, 세대수, 인구수와 산정한 침입수 평균값과의 상관관계를 살펴보면 모두 0.75이상의 높은 상관관계를 나타냈으며, 이는 대상지역의 침입수 발생이 배수설비를 통한 침입수 유입과 높은 관련성이 있음을 나타낸다.

3.3 영향인자별 침입율 산정

국·내외에서 침입수를 대변하는 관거의 지하수 유입 허용기준의 지표로 사용하는 인자는 Table 3에 나타난 바와 같이 대상지역의 1인1일오수발생량 또는 연장·관경당 침입수량으로 정하고 있다.

상관관계 분석을 통해 높은 상관관계를 나타낸 침입수의 평균값과 연장·관경, 인구수, 세대수의 영향인자에 대하여 인자별 침입율을 Fig. 4와 Table 4에 나타내었다.

24개 조사지점에서 산정된 연장·관경당 침입수량은 0.046에서 1.0396 m³/d·mm-km의 범위에서 나타났으며 그 평균값은 0.2959±0.2341 m³/d·mm-km로 산정되었다. 24지점의 개별 침입율 중 미국 WEF&ASCE 에서 오래된 관거의 기준으로 나타낸 0.0185~0.37 m³/d·mm-km의 범위내에 해당한 지점이 20개소로 나타났다.

국내에서 수행된 타 연구의 결과들은 침입율을 연장당, 연장·관경당 침입수발생량, 유역면적당 침입수발생량 등으로 나타내었다(최, 2003; 권 등, 2004; 장 등, 2009 등). 2004년 수행된 안 등의 연구의 경우 하수관거정비 타당성 조사에서 조사가 완료된 102개소의 자료를 이용하여 연

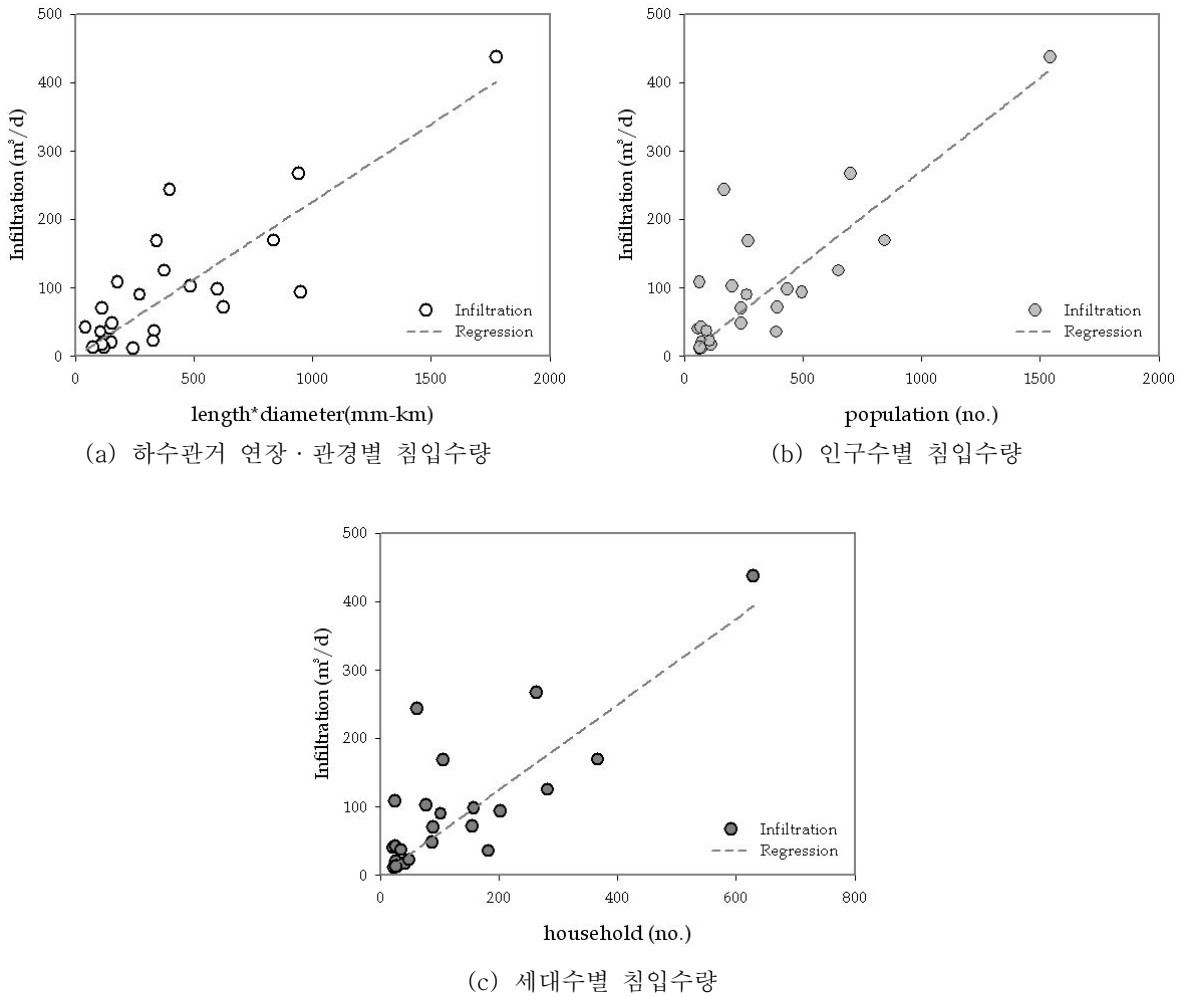


Fig. 3. 영향인자별 침입수 발생추이

Table 3. 국·내외 지하수 유입량 설계기준/허용기준

국가	영향인자	설계기준/허용기준	출처
한국	오수발생량	1인1일 최대오수량의 10~20%	하수도시설기준 (환경부, 2005)
일본	오수발생량	1인1일 최대오수량의 10~20%	하수도시설 지침 및 해설 (일본하수도협회, 1994)
미국	연장·관경	0.0185 m ³ /d.km-mm (신설) 0.0185~0.37 m ³ /d.km-mm (기존)	Design of Wastewater Treatment Plants (미국 WEF&ASCE, 1992)

장·관경당 발생량을 산정하여 0.001~2.329 m³/d·mm-km로 그 범위를 나타내었다.

2009년 이의 연구의 경우, 한강수계 하수관거 1단계 정비 시범사업을 통해 관거정비가 완료된 28개 지역을 대상으로 침입율을 산정하였으며, 연장·관경당, 침입수 발생범위를

0.019~4.654 m³/d·mm-km로 나타내었다.

두 연구 모두에서 나타난 연장·관경당 침입율은 앞서 제시한 미국의 기준보다는 다소 높은 범위에서 산정된 것으로 나타났다.

단위 인구당 침입수량의 경우, 본 연구에서 나타난 값은

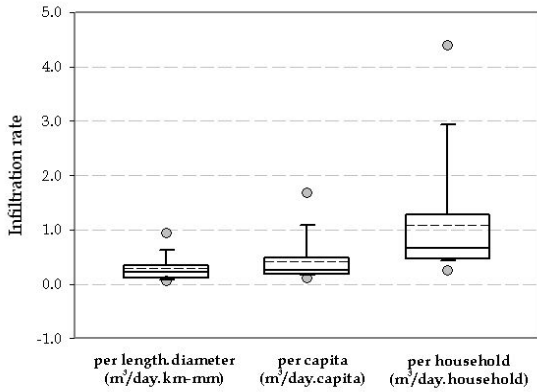


Fig. 4. 영향인자별 침입율

0.0917~1.7355 m³/capita · d이었으며, 상기의 두 연구의 값은 각각 0.0025~1.912 m³/capita · d, 0.013~1.050 m³/capita · d로 상대적으로 편차가 작은 것으로 나타났다.

유역면적의 경우 본 연구결과에서는 유역면적의 인자와 침입수 발생이 높은 상관성을 나타내지 않아, 침입율 산정의 인자로 고려하는 것이 타당하지 않다고 판단하였으며, 상기의 두 연구에서 나타낸 단위면적당 침입율은 각각 0.2~155.4 m³/ha · d, 0.380~43.888 m³/ha · d으로 편차가 큰 것으로 나타났다.

세대수의 경우 다른 연구결과에서 침입율 산정의 지표로 사용된 예는 없었으나 본 연구의 결과 세대수당 침입수 받

Table 4. 개별 조사지점의 영향인자별 침입율

지점명	연장·관경당 침입수량 (m ³ /mm-km·d)	인구당 침입수량 (m ³ /capita·d)	세대수당 침입수량 (m ³ /houshold·d)
기본 2	0.131	0.280	0.765
기본 3	0.272	0.694	1.897
기본 4	0.108	0.178	0.474
기본 5	0.317	0.205	0.559
기본 6	0.625	0.294	0.792
기본 8	0.334	0.193	0.444
기본 9	0.246	0.283	0.695
기본 10	0.612	1.473	3.989
기본 11	1.040	0.607	1.707
기본 12	0.112	0.404	1.093
기본 14	0.150	0.150	0.406
기본 15	0.046	0.178	0.481
기본 16	0.180	0.209	0.511
기본 18	0.614	1.736	4.529
기본 19	0.099	0.191	0.466
기본 20	0.069	0.215	0.470
기본 21	0.332	0.343	0.889
기본 22	0.284	0.381	1.016
기본 23	0.495	0.630	1.595
기본 24	0.212	0.515	1.352
독립 기본 8	0.340	0.092	0.196
독립 기본 9	0.203	0.201	0.463
독립 기본 19	0.115	0.184	0.465
독립 기본 22	0.164	0.227	0.625
Mean	0.2959	0.4109	1.0783
Median	0.2294	0.2533	0.6599
Std.Dev.	0.2341	0.4031	1.0795
Min.	0.0458	0.0917	0.1963
Max.	1.0396	1.7355	4.5290

생범위는 0.196~4.529 m³/household · d에서 나타났다.

침입수량의 산정은 배수분구 및 그 체계 특성, 이용 가능한 정보의 유/무에 따라 달라지므로, 침입수량 산정은 전체 배수체계시스템의 문제를 표현하는 지표로 사용되어야 한다. 또한 배수분구마다 침입수 발생의 영향인자가 다르므로, 침입수 지표를 통한 사업의 우선순위 결정, 사업의 효과의 관정 등은 동일한 조건하에 측정, 판단한 자료의 상관성 분석을 통해 정량적인 비교기준을 확보하고 이를 분석하여 이용하도록 해야한다.

상기의 두 가지 연구에서 나타난 침입수 지표의 산정 이외에도 국내 · 외의 여러 연구에서 침입율을 표현하였으나, 이를 절대값으로 비교하는 수치는 크게 의미가 없을 것으로 판단되어진다. 침입율 지표의 활용은 WEF&ASCE에서 제안한 바와 같이 허용기준이 존재할 시, 동일 시점에 측정된 자료를 통한 배수분구들의 비교 우선순위의 결정에 사용하거나, 동일 배수분구의 침입율 감소량 비교를 위해 지표의 산정을 통한 관거정비 이전과 이후의 상대비교를 통한 사업 효과의 표현에 사용이 적절하다고 판단되어진다.

4. 결 론

본 연구에서는 동일한 시점 및 조건하에 측정된 정확한 유량데이터를 이용하여 침입수를 산정하고, 산정된 침입수와 영향인자들을 상관성 분석을 통해 상관관계를 파악하였다. 높은 상관관계를 나타내는 인자들을 대상으로 침입율 산정의 인자로 판단하여 침입율 지표를 산정 비교하였으며, 국내 실정에 맞는 침입율 지표의 산정방안을 모색하였다.

- 1) 일별 침입수량의 평균값과 영향인자들의 상관관계 산정 결과, 관거연장 · 관경(0.831), 인구수(0.822), 세대수(0.801)와 침입수 발생이 높은 상관관계를 가진 것으로 나타났으며, 침입수량의 증가추이에 따른 상기의 인자들간의 증가추이도 동일한 순서로 적합도가 높은 것으로 나타났다.
- 2) 영향인자를 이용하여 기본단위 당 침입수 발생율을 계산한 결과, 관거연장 · 관경당, 인구당, 세대수당 침입수 발생율은 각각 0.046~1.0396 m³/d · mm-km, 0.0917~1.7355 m³/capita, 0.196~4.529 m³/household · d의 범위에서 나타났다.
- 3) 각 지점의 관거연장 · 관경당, 인구당, 세대수당 침입수 발생율은 추후 관거정비의 수행 후 동일한 시점(계절적) 및 조건(유량측정 조건)하에서 정확한 유량자료를 확보하여 분석 후 관거정비 이전과 이후의 침입수 감소 경향을 파악하는데 사용가능할 것으로 판단된다.
- 4) 24개의 배수분구에 대한 등가의 침입율 계산을 통한 정

비사업 우선순위를 결정할시 이용할 국내 실정에 적절한 침입율 기준이 필요하다 판단되며, 미국 WEF&ASCE의 연장관경당 침입수 허용율의 기준으로 평가하였을 경우, 4개의 조사지점 자료가 허용율을 넘어섰으며, 4개 지역 의 경우 우선정비가 필요하다 판단된다.

사 사

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.[NRF-2009-351-D00034]

참고문헌

권영성, 최승철, 원철희, 심무경, 임재명 (2004) 하수관거불량률과 침투수/침입수(I/I)와의 상관성 분석, **대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2004 공동 추계학술발표회 논문집**
 상하수도학회, 환경관리공단 (2007) **분류식하수도 시설기준 및 유지보수기준 개선방안 연구**
 서울시 (2008) **하수도정비 기본계획**
 안영호, 금동진 (2004) 도시 하수관거시스템에서의 I/I 및 CSOs 발생특성, **대한토목학회논문집**, Vol. 24(4B), pp. 381-390.
 이재현 (2009) **하수관거정비에서의 침입수 인자 분석**, 석사학위논문, 중앙대학교 토목공학과
 일본하수도협회(1994) **하수도시설계획 설계지침 및 해설**
 장대환, 한인섭, 우병하, 홍성진 (2009) 하수관거내 불량개소수와 I/I 발생량간의 상관성분석, **상하수도학회지**, Vol. 23(3), pp. 321-329
 정현식 (2008) 사업우선순위 선정위한 평가지표 부재, **워터저널**, 2008.1
 최의소 (2003) **상하수도공학**, 청문각
 환경관리공단 (2006) **한강수계 하수관거정비 시범사업(1단계) 성과보증지표 검토용역 보고서**
 환경관리공단(2007) **한강수계 하수관거 정비공사(제3공구) 원리 지역 하수관거 조사 및 성과평가보고서**
 환경관리공단 (2007) **한강수계 하수관거정비 시범사업(1단계) 백서**
 환경부(2005) **하수도시설기준**
 환경부(2009) **08년도 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과**
 Metcalf and Eddy (1994) **Wastewater Engineering, treatment and reuse**, 4th edn., McGraw Hill
 WEF, ASCE (1992) **Design of wastewater treatment plants**, 4th edn., WEF Manual of Practice No.8 ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.76