

## 하수관거보수 순위결정을 위한 침입수/유입수량에 대한 정량/정성 분석의 실행 연구

### A Quantitative/Qualitative Study of Infiltration/Inflow for Order Decision of Sewer pipe Maintenance

박명균\* · 김대성 · 안원식 · 오정미

Park, Myung-Gyun\* · Kim, Dae-Sung · Ahn, Won-Sik · Oh, Jeong-Mi

수원대학교 토목공학과

(2005년 8월 11일 논문 접수: 2006년 2월 8일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

This study was carried out to obtain quantities of infiltration, inflow and exfiltration on sewer pipes of three areas at a small city. From the results, the most investigated sewer pipes should be infiltrated by underground water and undetermined water. Flowrate commonly showed two peak at 6 to 8 a.m. and 6 to 9 p.m. and which may be influenced by the sewer flowrate with washing or bathing time. BOD/TN ratio of below 4.0 were inferior as compared with proper criteria 5.1. Infiltration/inflow rates of three areas were 21.7% and 0.08m<sup>3</sup>/km of A, 12.4% and 0.015m<sup>3</sup>/km of B, 22.4% and 0.021m<sup>3</sup>/km of C, respectively. This indicates that infiltration/inflow rate of A was obviously greater than that of B and C. Also, these results show that we can conduct sewer maintenance in good order as A, C and B zone.

**Key words:** Order Decision, Sewer pipe Maintenance, Infiltration/Inflow, Quantitative/Qualitative Analysis

**주제어:** 순위결정, 하수관거보수, 침입수/유입수, 정량/정성분석

#### 1. 서 론

우리나라의 하수관거시설은 관거, 맨홀(manhole), 우수토실, 토구, 물받이(우수, 우수 및 집수받이) 및 연결관 등을 포함한 시설의 총칭이며 주택, 상업 및 공업지역 등에서 배출되는 오수나 우수를 모아서 처리장 또는 방류수역까지 유하시키는 역할을 한다. 현

재 하수관거시설의 문제점으로 지적되고 있는 것은 하수관의 연결부위 파손, 오점 및 부실시공 등으로 인한 하수의 침입수, 유입수 및 누수발생등이다. 이는 현재까지 우리나라의 환경사업이 처리장중심으로 이루어져 왔기 때문이며 관거에 대한 관리소홀로 야기된 문제라 지적하고 싶다. 여기서 침입수(Infiltration)란 관의 파손, 관이음부 접합불량, 연결관 접속 불량 등 관거의 불량부위를 통하여 관내로 지하수 등

\*Corresponding author Tel: 82-31-220-2291, FAX: +82-31-220-2291, E-mail: mgpark08@suwon.ac.kr (Park, M.G.)

이 침입하는 것을 말하고 유입수(Inflow)란 맨홀부의 시공불량, 우·오수관의 오접 등으로 관거내로 우수가 유입되는 것을 의미한다(환경부, 1998). 이와 같은 결과로 하수관거내로 불명수의 유입, 하수의 누수가 다량 발생되어 하수처리장 유입수의 저부하 문제까지 일으켜 하수처리장 운영에 많은 어려움을 겪고 있다(이현동, 이상일, 2001).

침입수 및 유입수(Infiltration/Inflow, I/I)문제는 우리나라 수자원 오염의 원인이 될 수 있으며 지하수오염 및 기존, 증설 및 신설 하수처리장 사업에도 막대한 차질을 초래하여 이에 대한 정부 차원의 적극적인 실질적인 문제 해결이 요구된다. 한편, 정부에서는 2001년부터 하수도 정비사업 추진시 하수관 I/I 현황 파악을 사전에 포함시켜 하수관의 효율적인 차집은 물론 하수처리장의 설계 조건시 부하 결정에 반영할 것이라 밝힌바 있다(환경부, 1998). 발생하수를 100으로 놓았을 때 이 중 36은 하수관에서 누수되어 버리고 43은 여러 원인으로 불명수가 유입되어 하수처리장으로 유입되는 하수는 107로 하수처리부하에 영향을 끼치는 것으로 되어 있다(국립환경연구원, 1988; 최계운, 2001; 임성호, 2001).

그러나 I/I 및 하수누수를 저감하기 위해서는 하수관거시설의 정확한 시공과 침입수 및 누수방지를 위한 계속적이고 철저한 감시 및 유지관리를 실시해야 하며 관내 침입하는 유입수량과 유출수량의 정량적이며 정성적인 해석과 관련된 연구를 통하여 하수처리장의 유입부하 설정에 대한 효율적인 데이터 제시는 물론 기존 처리장의 향후 운영방향에 도움을 주어야 할 것이다.

이와 같은 목적의 일환으로 본 연구의 목적은 경기도의 소규모시 하수처리 사업구역내에 위치한 하수관거에서 I/I 량을 조사함으로써 신설될 하수처리장의 유입수량 및 수질의 영향을 파악하여 하수관거 보수 순위 산정시 기준을 제공하고 나아가 하수처리장 설계시 하수특성 인자로도 활용할 수 있도록 하기 위함이다.

## 2. 침입수/유입량 산정 방법

본 연구에서는 I/I를 산정하는 방법에 있어서 기존의 연구(최계운, 2002; 임성호, 2002)를 참고로 하여

다음과 같은 물소비량 평가기법과 일평균, 최저 유량 수질평가기법 및 일 최저유량 평가기법을 이용하였다.

### 2.1. 단순 인구 물 소비량 평가 방법(Water-Use Evaluation)

본 방법은 배수구역내 상수사용량을 조사하여 가정에서 오수관거로 배출하는 하수량을 산정하고, 하수종말처리장이나 일정지역의 하수관거에서 측정되는 총 하수량에서 상수사용에 의한 하수발생량의 차를 관거로 침투되는 유량으로 산정하는 방법이다. 물소비량 평가법의 적용은 먼저, 조사 지역내의 급수지역 상수도 사용량을 산정하고, 역시 조사지역내의 지하수의 사용량은 비급수지역의 추정인구에 대한 간이 급수시설 생활용수 수요량(지하수)을 산정하여 조사지역 전체의 총 상수도 사용량을 추정한 후 건교부에서 제시하고 있는 생활용수 회귀율을 적용하여 하수도 총 유입량을 산정하였으며, 다음으로 이를 이용하여 실제의 측정된 하수유량과의 차를 이용하여 침입수/유입수를 해석하였다. 누수율은 상수도의 평균 사용량이 일정하다고 볼 때 하수도에 유입되는 하수량 역시 일정하며 따라서, 측정된 건기의 하수량이 회귀율에 의한 하수량 보다 적을 때 두 값의 차이를 누수량으로 추정하였다. 해당 시의 하수원 단위는 238 lpcd(환경부, 2001)를 적용하여 산출하였다. 물소비량 평가기법은 수도계량기 검침방법, 인구추정하수량 및 가구추정하수량 3가지에 기준을 두고 각각 계산하였다.

### 2.2. 일 평균 최저 유량-수질 평가 방법(Average Daily · min. flow quality Evaluation)

본 방법은 배수구역내 BOD의 총 부하량을 이용하여 산정하는 방법으로 침투수/유입수(I/I)의 수질은 0으로 하고 I/I 양은 24시간 일정하며, 유입하수량의 수질은 일정하다는 3가지 가정 하에 수행한다. 대상 측정지점에서의 유량 및 수질(BOD, COD)을 실측하고 일평균, 일최저 유량 및 수질자료를 이용하여 야간 발생 하수로 산정하여 침투량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 실측된 일평균유량, 일최저유량, 일평균 BOD, 일최저 BOD 등을 사용하여 다음과 같은 순서에 의해 침입수/유입수량을 산정한다.

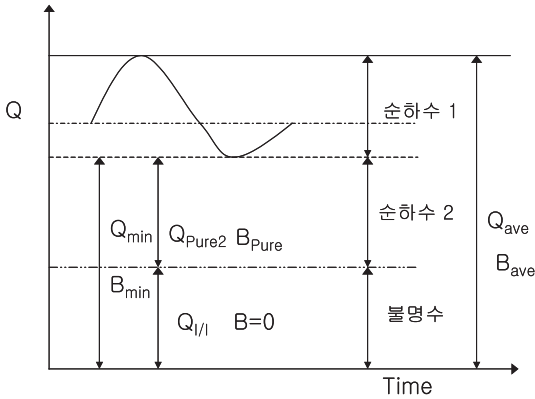


Fig. 1. 일평균 · 최저유량 수질 평가법 도식도.

· 불명수가 포함되어 있지 않은 수질 ( $B_{pure}$ )

$$B_{pure} = \frac{Q_{ave} B_{ave} - Q_{min} B_{min}}{Q_{ave} - Q_{min}} \quad (식 1)$$

· 일최저유량시 불명수가 포함되어 있지 않은 하수량 ( $Q_{pure2}$ )

$$Q_{pure2} = \frac{Q_{min} B_{min}}{B_{pure2}} \quad (식 2)$$

· 불명수량 ( $Q_{I/I}$ )

$$Q_{I/I} = Q_{min} - Q_{pure2} \quad (식 3)$$

Fig. 1로부터 불명수가 포함되어 있지 않은 순하수 2의 수질  $B_{pure}$ 는 식 1과 같이 일평균 유량, 수질 및 일최소유량과 수질을 이용하여 구할 수 있다. 그리고 이때 순하수 2 유량 ( $Q_{pure2}$ )은 식 2와 같이 일 최소유량과 수질로부터 구할 수 있으며, 침입수/유입수량 ( $Q_{I/I}$ )은 식 3으로부터 구한다.

### 2.3. 일 최저 유량 평가 방법 (Minimum Daily Flow Evaluation)

본 방법은 일 최저유량(야간최저유량)을 이용하여 야간발생하수량을 산정하고 이를 일 최저유량에서 제하여 해당지역의 침입수로 산정하는 방법이다. 이 방법은 강우가 없는 건기시에는 침투수가 하루동안 일정하며, 일별 하수 배출 변화는 엄격하게 가정하수에 의해서만 영향을 받는 것으로 가정하고 장시간 관거내의 유량과 수질을 지속적으로 모니터링하면, 오염

Table 1. 조사대상 지점

구 분	A	B	C
면 적	20ha	14.2ha	15.5ha
I/I 조사	1개소	1개소	1개소
측정위치조건	3m × 1.3m	φ 1000mm	φ 1000mm
하수배제	합류식	합류식	합류식

부하가 거의 없으면서 적은 유량이 흐르는 것을 포착할 수 있는데, 이것을 대상지역의 건기시 침입수/유입수 (I/I)로 간주한다.

### 2.4. 일최대 · 최소 일평균 유량평가방법 (Max. · Min. Daily average Flow Evaluation)

본 방법은 건기시 일중 유량 변동이 모두 가정하수에 기인하는 것으로 가정하고 일최대 유량과 일최소 유량간의 변화량을 가정하수발생량으로 간주하여 이를 측정지점에서의 일평균 유량에서 제하여 침입수량을 산정하는 방법이다.

### 3. 실험방법

하수관거내 I/I를 조사하기 위하여 대상지역은 방류수역에 영향을 미치는 배수구역내 주요 하수 토구에서 발생 유량 및 수질조사를 실시하였다. 3개 지역을 대표할 수 있는 A, B, C 등에 대한 하수량 및 불명수량 조사를 수행하기 위하여 유량 측정 및 수질조사는 각각 기간별 30일씩 2회와 4회를 실시하고 유량은 1일 15분 간격으로 측정하고 수질은 1일 2시간 간격으로 12회 시료채취 및 분석을 하였다. 하수관거내 대표성을 가지는 3개 지점을 선정하였으며, 조사지역에 대한 개요는 다음 Table 1과 같다. Table 1과 같이 지점 3개소에 대한 하수관거의 유량 및 수질조사를 실시하였다. 조사회수는 2차에 걸쳐 실시하였고 기간은 10월25일부터 11월 24일까지를 1차 측정기간으로 12월1일부터 12월30일 까지를 2차 측정기간으로 하였다. 차수별 30일을 연속 측정하면서 15분 간격으로 유량을 측정하였다. 유량측정용 장비는 Sigma 910과 920을 사용하였다. 그리고 관거내 하수농도를 측정하기 위하여 BOD, CODcr, CODmn, SS, T-N, T-P 농도를 기존의 실험방법 (APHA, 1995)을 기준으로 하였다. 1주일에 12회 (2시간 간격)를 기준으로 시료를

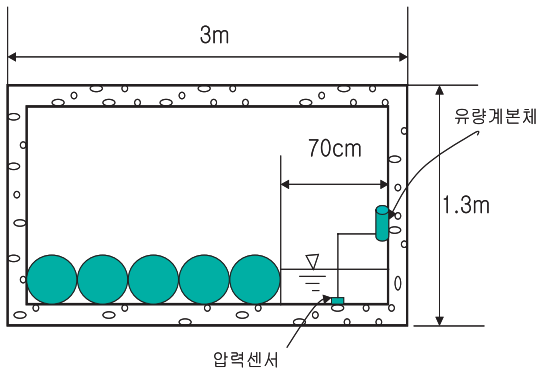


Fig. 2-1. A 지점에 설치된 유량계 단면도.

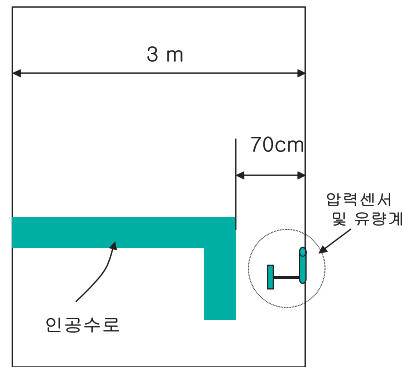
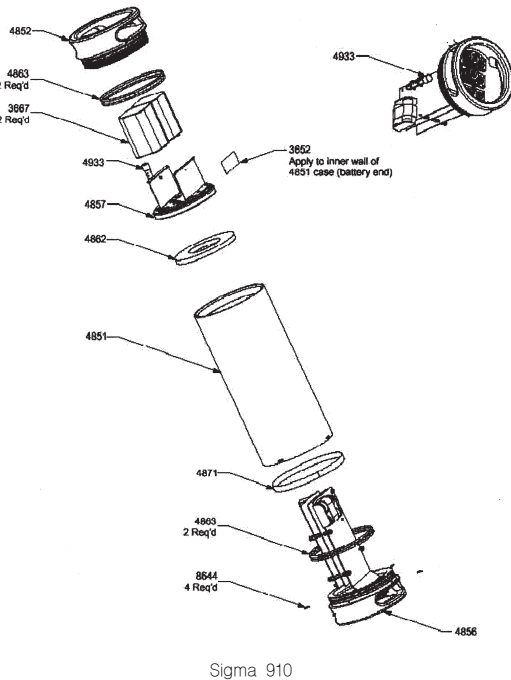
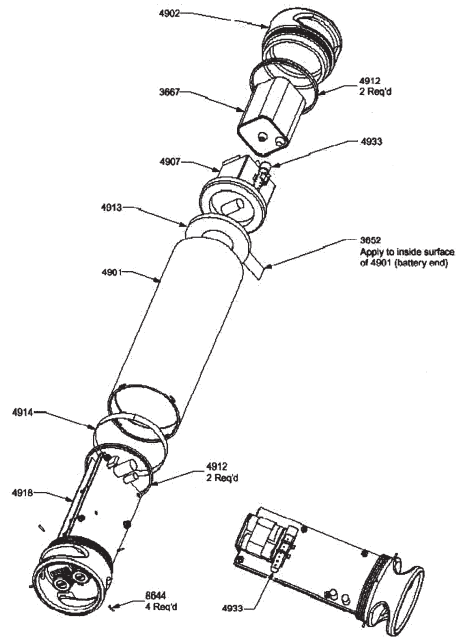


Fig. 2-2. A 지점에 설치된 유량계 평면도.



Sigma 910



Sigma 920

Fig. 3. Sigma 유량계 조립도

채취하되, 관거  $I/I$  및 하수의 누수량을 산정할 수 있도록 측정간격을 탄력적으로 조정하였다. 농도분석은 한정된 기간에 대표성을 높이기 위하여 24시간 연속 측정 8회와 4일/차수당 2회 시료채취를 통해 수질변화 data를 얻을 수 있게 하였다. Fig. 2-1과 Fig. 2-2에서 보는 바와 같이 A지점의 관거내 유량을 측정하기 위하여 현장조사를 실시한 결과, 유량이 적을 때 압력센서가 노출이 될 우려가 있어, 전체 관거의 폭 3m에서 25% 정도만을 남기고 수로를 막아 유속과 수심

을 크게 하므로써 압력센서가 잠기도록 하여 연속적으로 유량이 측정이 가능하도록 하였다. 이 유량계는 단면적과 유속의 곱으로 구할 수 있는데 폭은 일정하게 맞추고 변하는 수심은 압력센서에 의하여 측정이 되도록 하였다. 또한 유속은 초음파의 원리로 연속적인 측정이 가능하게 만들었다. 유량측정 장비인 Sigma 910과 920의 개략적인 구성은 Table 2와 같고 개략도는 Fig. 3와 같다. Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 유량계는 Sigma로 레벨과 유속센서로 구성

**Table 2.** 유량계와 센서 유형

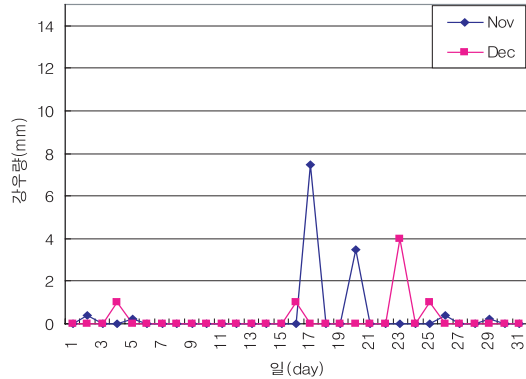
유량계모델	레벨과 유속 센서 유형
910	Meter + Submerged Depth/Velocity Sensor(17개) 또는 Velocity sensor(17개)
920	Meter + Submerged Depth/Velocity Sensor(27개) 또는 Meter + Submerged Depth/Velocity Sensor(17개)와 in-pipe Ultrasonic 75kHz Level Sensor(17개)

됨을 알 수 있다. 따라서 유속이나 레벨이 불안정한 경우 정확한 데이터를 구하기는 불가능하다.

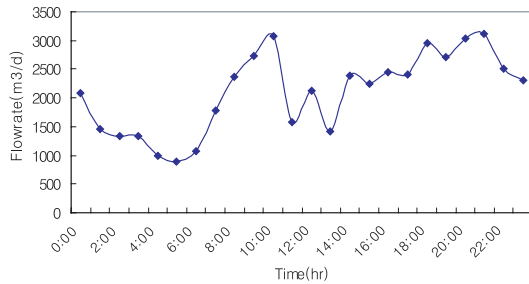
#### 4. 실험결과

##### 4.1. 유량 특성 분석

3개 지역에 대한 강수량을 정리한 결과가 Fig. 4에 나타나 있다. 이 그림으로부터 강수량이 1mm를 초과하는 강수량이 11월과 12월에 각 2회 정도에 그쳤고 그 양도 11월(7.5mm, 3/5mm), 12월에 2회(8mm, 4mm) 정도에 그쳐 우기에 따른 하수량 및 침입수량 발생은 거의 미미하였다. A, B, C 3개 지점에 대하여 1차와 2차에 걸쳐 유량을 시간별로 연속적으로 측정하였다. 이 결과를 정리한 것이 Table 3과 같다. Table 3으로부터 A지점의 전체 측정 기간동안 유량을 측정한 결과 순간 최대 유입 유량은 2002년 11월 17일 유량계에 기록된 4784.5m<sup>3</sup>/d로 나타났으며, 최소값은 11월 20일에 59.4m<sup>3</sup>/d로 기록되었으며, 측정 기간 전체의 자료를 이용한 평균유량은 1884.8m<sup>3</sup>/d로 나타나고 있다. B 지점에서는 순간 최대 유입 유량은 2002년 12월 10일 유량계에 기록된 1004.7m<sup>3</sup>/d로 나타났으며, 최소값은 12월 30일 2.4m<sup>3</sup>/d로 기록되었으며 평균유량은 269.7m<sup>3</sup>/d로 나타났다. C지점에



**Fig. 4.** 3개 지점의 강수량 현황.



**Fig. 5.** 3개 지점의 일일 시간적 평균 하수량 변화.

서는 순간 최대 유입 유량은 2002년 10월 28일 유량계에 기록된 1378.26m<sup>3</sup>/d로 나타났으며, 최소값은 11월 19일에 30.85m<sup>3</sup>/d로 기록되었으며, 측정기간 전체의 자료를 이용한 평균유량은 300.32m<sup>3</sup>/d로 나타나고 있다. 전체적으로 최대 유량의 경우 강우시 순간적으로 유입 될 때의 유량을 나타낸 것으로서, 최대와 최소의 유량 차이가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig. 5는 3개 지역에서 발생하는 하수량을 평균하여 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 지역에 관계

**Table 3.** 유량측정 결과

지점	구분	일평균유량(m <sup>3</sup> /d)	일평균최소유량(m <sup>3</sup> /d)	일별최저유량(m <sup>3</sup> /d)	최대유량(m <sup>3</sup> /d)	최소유량(m <sup>3</sup> /d)	평균유량(m <sup>3</sup> /d)
A	1차	1947.1	1343.3	572.4	4784.5	59.4	1884.8
	2차	1805.1	542.86	59.9			
B	1차	369.7	115.8	47.8	1004.7	2.4	269.7
	2차	267.58	47.28	2.44			
C	1차	307.32	225.15	96.93	1378.26	30.85	300.82
	2차	296.91	122.91	31.83			

**Table 4.** A지점의 수질 측정 결과

구분	일최대	일평균	일최소	비고 (일최대기준)
BOD	68.9	51.8	32.9	• BOD/T-N=3.85
CODcr	152.5	99.6	55.8	• BOD/T-P=32.1
CODmn	36.2	25.3	14.1	
SS	73.8	56.6	37.7	
T-N	17.9	15.9	13.1	
T-P	2.15	1.55	1.10	

**Table 6.** C지점의 수질 측정 결과

구분	일최대	일평균	일최소	비고 (일최대기준)
BOD	46.6	34.9	23.4	• BOD/T-N=3.28
CODcr	76.8	57.9	40.3	• BOD/T-P=31.1
CODmn	24.8	16.0	8.38	
SS	67.3	37.9	27.3	
T-N	14.2	10.9	7.33	
T-P	1.5	1.05	0.68	

**Table 5.** B지점의 수질측정 결과

구분	일최대	일평균	일최소	비고 (일최대기준)
BOD	62.2	48.8	30.7	• BOD/T-N=2.15
CODcr	111.4	82.2	54.6	• BOD/T-P=22.2
CODmn	37.2	26.2	14.9	
SS	114.3	68.7	41.5	
T-N	28.9	22.3	13.7	
T-P	2.80	1.75	1.15	

없이 오전 6~10시 사이에 1회의 유량 peak 점이 나타나고 있고 오후에는 6~9시경에 넓은 1개의 peak가 추가로 발생되고 있어 전체적으로 2개의 peak를 보여준다. 이는 세면, 세척 등 생활하수의 발생 패턴에 따른 유형을 보여주는 것으로 판단된다.

#### 4.2. 하수농도 해석

A, B, C의 3개 지점의 하루 중의 하수 수질 변동을 파악하기 위하여 24시간 동안 2시간 간격으로 12개의 하수 시료를 채취·분석한 결과를 요약하면 다음 Table 4~6과 같다. BOD 수질 분석 결과, 일최대, 일평균 및 일최소 농도가 A지점에서는 68.9, 51.8, 32.9, B지점은 62.2, 48.8, 30.7mg/L로 나타났고, C지점에서는 각각 46.6, 34.9, 23.4 각각 나타나 A와 B지점이 C지점보다 다소 높은 것을 알 수 있다. T-N 농도는 A지점은 17.9, 15.9, 13.1, B는 28.9, 22.3, 13.7mg/L, C지점은 14.2, 10.9, 7.33mg/L로 나타나 B지점이 A와 C보다 높은 것을 알 수 있다. 또한 T-P 농도에 있어서, A지점은 2.15, 1.55, 1.10, B지점은 2.80, 1.75, 1.15mg/L, C지점은 1.5, 1.05, 0.68mg/L로 A와 B지점이 C보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 하수처리장 유입시 생물학적 질소, 인 제거에 대한 능력을 판단할 수 있는 근거인 BOD/T-

N과 BOD/T-P비를 비교해 본 결과, A와 C지점에서 BOD/T-N과 BOD/T-P가 각각 3.85, 32.1과 3.28, 31.1로 B지점의 2.15, 22.2보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 이는 기존의 문헌(Randall, C.W., 1992; Shin, 2001)에서 제시한 생물학적인 영양소 처리능력이 가능한 범위인 5.1 이상의 BOD/T-N비와 비교해 볼 때, 이 지역의 발생하수의 BOD/T-N 농도는 기준치에 크게 못 미치는 것을 알 수 있다. 이로부터 본 처리구역에서 하수처리장내 고도처리시설 계획시 유기물 부족에 대비한 질소, 인 처리 공정이 고안되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4.3. 침입수/유입수 분석

본 연구에서 3개 지점에 대한 기존의 상수사용량, 인구추정 및 유량분석등을 통한 침입수/유입수 분석 결과는 다음과 같다.

##### 4.3.1. 물 소비량 평가법(Water-use Evaluation)

이 방법을 이용하여 물 사용량으로부터 구한 각 조사 지점별 하수량은 수도검침방법으로부터 A지점은 529.7m<sup>3</sup>/d, B지점은 420.1m<sup>3</sup>/d, C지점은 408.7m<sup>3</sup>/d로 나타났고, 인구추정에 의하면 A지점은 260.0m<sup>3</sup>/d, B지점은 393.7m<sup>3</sup>/d, C지점은 309.2m<sup>3</sup>/d로 나타났다. 그리고 가구추정방법에 의하면 A지점은 302.1m<sup>3</sup>/d B지점은 302.1m<sup>3</sup>/d, C지점은 317.7m<sup>3</sup>/d로 각각 나타났다. 이 결과로부터 A지점이 B와 C지점보다 추정방법에 따른 하수발생량 차이가 많이 발생하였음을 알 수 있다. 이상과 같은 결과와 물소비량 평가기법에 의한 침입수/유입수 누수 분석을 실시한 결과를 요약하면 Table 7과 같이 나타낼 수 있다. 물소비량 평가기법에 의한 침입수/유입수 누수 분석 결과만을 보고 판단한다면 A지점은 침입률이 크게 나타났으며 B와

**Table 7.** 물소비량 평가기법에 의한 침입수/유입수 누수 분석 결과

지점	실측유량(m <sup>3</sup> /d)			상수량추정 평균하수량 (m <sup>3</sup> /d)	물소비량 평가기법에 의한 침입수/유입수 누수 분석					
	최대 최소유량 (m <sup>3</sup> /d)	건기 평균유량 (m <sup>3</sup> /d)	건기평균 최소유량 (m <sup>3</sup> /d)		침입수/유입수(Infiltration/Inflow)			누수(Exfiltration)		
					평균 <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /d)	비율 <sup>2)</sup> (%)	침입률 <sup>3)</sup> (m <sup>3</sup> /d/mm-km)	평균 <sup>4)</sup> (m <sup>3</sup> /d)	비율 <sup>5)</sup> (%)	
A	4281.4	1,913	572.98	검침	529.7	1,383	72.3	0.269	-43.28	2.3
	59.4			인구	260.0	1,653	86.4	0.064	-312.98	16.3
				가구	302.1	1,611	84.2	0.313	-270.9	14.2
				평균	363.93	1,549.00	80.97	0.22	-209.05	10.93
B	1004.7	267.93	46.89	검침	408.7	-140.7	-52.5	-0.063	361.8	135.0
	2.44			인구	309.2	-41.3	-15.4	-0.018	262.3	97.9
				가구	317.7	-49.8	-18.6	-0.022	270.8	101.1
				평균	1,035.6	-77.27	-28.83	-0.03	298.30	111.33
C	1378	306.24	96.68	검침	420.1	-113.9	-37.2	-0.044	323.1	105.5
	30.85			인구	393.7	-87.5	-28.6	-0.034	296.7	96.9
				가구	302.1	4.14	1.4	0.0016	205.1	66.9
				평균	371.97	-65.75	-21.47	-0.03	274.97	89.77

주: 1) 상수량추정 평균하수량에 대한 1차평균유량 차  
 2) 1차평균유량 대비 비율  
 3) 침입률(Infiltration Rate) = 침입수량(m<sup>3</sup>/d)/(관거연장(km) × 평균관경(mm))  
 4) 상수량추정 평균하수량에 대한 1차평균최소유량 차  
 5) 1차평균유량 대비 비율

**Table 8.** 일평균 · 최저유량-수질 평가법

지점	일평균 Q <sub>ave</sub> (m <sup>3</sup> /d)	B <sub>ave</sub> (mg/L)	일최소 Q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /d)	B <sub>min</sub> (mg/L)	B <sub>pure2</sub> (mg/L)	Q <sub>pure2</sub> (m <sup>3</sup> /d)	불명수산정			비 고 (관로길이)
							침입수(Infiltration)			
							침입량 Q <sub>i1</sub> <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /d)	비율 <sup>2)</sup> (%)	침입률 <sup>3)</sup> (m <sup>3</sup> /d/mm-km)	
A	1913.02	51.7	572.98	32.9	59.7	315.7	257.2	13.4	0.050	5.136km
C	267.93	48.75	46.89	30.7	52.6	27.3	19.59	7.3	0.008	2.233km
B	306.24	34.8	96.68	23.4	40.1	56.4	40.3	13.2	0.015	2.582km

주: 1) 조사기간중의 평균값  
 2) 실측건기평균유량 대비 비율  
 3) 침입률(Infiltration Rate) = 침입수량(m<sup>3</sup>/d)/(관거연장(km) × 평균관경(mm))

C지점은 누수율이 크게 나타남을 알 수 있다.

4.3.2. 일평균 · 최저유량-수질 평가법(Average Daily · Minimum flow quality Evaluation)

이와 같은 방법에 의하여 계산된 결과를 정리하면 다음 Table 8과 같다. 표에서 보는 바와 같이 A지점은 침입량은 257.2m<sup>3</sup>/d, 침입률 13.4%, 관로길이당 침입률은 0.05m<sup>3</sup>/d/mm-km로 나타났으며 B지점은 각각 19.6m<sup>3</sup>/d, 7.3%, 0.008m<sup>3</sup>/d/mm-km, C지점은

40.3m<sup>3</sup>/d, 13.2%, 0.015m<sup>3</sup>/d/mm-km로 각각 나타나 A지점이 타 지점에 비해 큰 침입률을 보여주고 있다는 것을 알 수 있었다.

4.3.3. 일최저 유량평가 방법(Minimum Daily Flow Evaluation)

이 방법을 이용하여 구한 침입수/유입수(II)를 요약하여 Table 9에 정리하였다. Table 9에서 보는 바와 같이 평균유량에 대한 침입수율은 A지점에서

**Table 9.** 일최저유량 평가법에 의한 침입수/유입수 분석 결과

지점	실측유량		일최저유량 평가법		비 고
	건기평균 유량(m <sup>3</sup> /d)	침입수(Infiltration)			
		평균 <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /d)	비율 <sup>2)</sup> (%)	침입률 <sup>3)</sup> (m <sup>3</sup> /d/mm-km)	
A	1913.02	572.98	29.95	0.111	
B	267.93	46.89	17.50	0.021	
C	306.24	96.68	31.57	0.037	

주: 1) 조사기간중의 평균값  
2) 건기평균유량 대비 비율  
3) 침입률(Infiltration Rate) = 침입수량(m<sup>3</sup>/d)/(관거연장(km) × 평균관경(mm))

**Table 10.** 일최대·일최소유량 평가 방법

지점	일최대·일최소 (m <sup>3</sup> /d)	실측유량		일최저유량 평가법		비 고 (관로길이)
		건기평균 유량(m <sup>3</sup> /d)	침입수(Infiltration)			
			평균 <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /d)	비율 <sup>2)</sup> (%)	침입률 <sup>3)</sup> (m <sup>3</sup> /d/mm-km)	
A	2732.02	1913.02	819.0	42.8	0.159	5.136km
B	815.57	267.93	547.64	204	0.091	2.233km
C	673.61	306.24	367.37	119.9	0.142	2.582km

주: 1) 조사기간중의 평균값  
2) 실측건기평균유량 대비 비율  
3) 침입률(Infiltration Rate) = 침입수량(m<sup>3</sup>/d)/(관거연장(km) × 평균관경(mm))

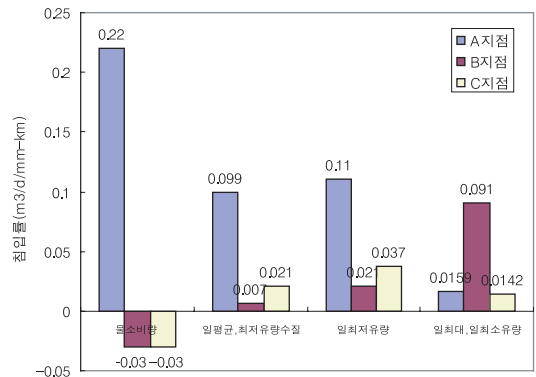
29.95%, 관거길이당 침입률은 0.111m<sup>3</sup>/d/mm-km, B 지점은 17%, 0.021m<sup>3</sup>/d/mm-km, C지점은 31.57%, 0.037m<sup>3</sup>/d/mm-km로 각각 나타나 관거길이당 침입률이 A지점이 가장 높은 것으로 나타났다.

#### 4.3.4. 일최대 · 최소 일평균 유량평가방법(Max. · Min. Daily average Flow Evaluation)

이 방법에 의한 결과를 정리하면 **Table 10**과 같다. **Table 10**에서 보는 바와 같이 A지점의 침입률은 42.8%, 관거길이당 침입률 0.159m<sup>3</sup>/d/mm-km였으며 B는 204, 0.091, C는 119.9, 0.142%로 침입률은 B 지점이 가장 크고 관거길이당 침입률은 A지점이 가장 큰 것으로 나타났다.

#### 4.3.5. I/I 산정 결과의 종합분석

침입수/유입수의 분석을 물소비량 평가기법, 일평균-최저유량수질평가기법, 일최저유량평가방법 및 일최대·일최소 유량평가법을 이용하여 산정한 침입수/유입수량에 대하여 종합적으로 정리하면 다음



**Fig. 6.** 침입률 산정방법에 따른 침입률 비교.

**Fig. 6**과 같이 정리할 수 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 물소비량 평가법은 침입보다는 누수량이 크게 나왔고 일최대·일최소 일평균 유량 평가 방법은 계산결과가 침입률이 타 방법에 비해 너무 차이를 보여 이 두 방법은 산정결과에 있어 신뢰성이 떨어진다고 볼 수 있다. 즉, 물소비량 평가법에서 다른 방법과 다



**Table 11.** 각 평가기법에 따른 침입수/유입수 산정결과와의 종합

지점	일평균 · 최저유량-수질평가법			일 최저유량 평가법			I/I 평균		
	평균(m <sup>3</sup> /d)	비율(%)	침입률 (m <sup>3</sup> /d/mm-km)	평균(m <sup>3</sup> /d)	비율(%)	침입률 (m <sup>3</sup> /d/mm-km)	유량(m <sup>3</sup> /d)	비율(%)	침입률 (m <sup>3</sup> /d/mm-km)
A	512.9	26.8	0.099	573.0	29.95	0.11	542.3	28.4	0.1045
B	44.45	16.6	0.0074	46.89	17.5	0.021	45.7	17.1	0.0143
C	54.18	17.69	0.021	96.68	31.57	0.037	75.4	24.6	0.029

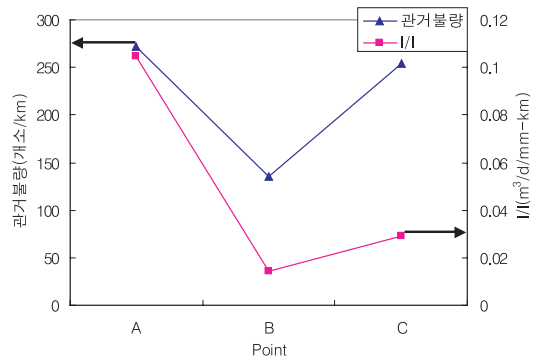
르게 A지점의 침입률도 다른 방법에 비하여 3배 이상 큰 것으로 나타났고 B와 C지점은 침입이 아닌 누수로 나타나 이 방법의 실효성이 의문시 되었다. 일평균, 최저유량-수질 평가에 의한 결과와 일최저유량 평가법에 의한 결과가 각 지점별로 유사한 양상을 보여주고 있다. 계산결과와 타당성을 지니는 일평균 · 최저유량-수질 평가법과 일최저 유량평가 방법의 결과를 평균하여 정리하면 **Table 11**과 같다. 이 표에서 보면 침입량에 따른 단순침입률과 관거길이당 침입률을 평균한 결과 A지점은 28.4%, 0.1045m<sup>3</sup>/d/mm-km로, B지점은 17.1%, 0.0143m<sup>3</sup>/d/mm-km, C지점은 24.6%, 0.029m<sup>3</sup>/d/mm-km로 각각 나타났으며 이는 기존의 타 지역(임성호, 2001; 최계운, 2001)의 평균 관거침입률인 48% 보다는 다소 작게 나타났고, A지점이 B와 C보다 상대적으로 높게 나타났으며 관거정비 우선순위는 A-C-B순으로 정할 수 있다. 또한 이 두가지 방법이 이 지역의 하수관거 정비 우선순위 결정시 침입수/유입수량의 근거자료로 제안할 수 있다.

4. 4. 하수관거 불량률과 I/I 발생률의 관계

본 연구에서 산출된 3개 지점에 대한 I/I 률과 기존 하수관거 불량률과의 관계를 살펴 보았다. 관거내부 실태조사에 의한 개소/km를 산정한 결과 **Fig. 7**에 나타내었다. 이 결과에서 알수 있듯이 관거내부 조사에 의한 관거불량률과 발생량측정에 의한 I/I 측정결과와 유사한 관계를 보여주고 있으며 이는 본 조사의 신뢰성을 높여준다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 소도시내 하수처리장 건설에 앞서 기존 하수관의 정비를 위한 지점별 우선순위를 가리기 위하여 실시된 것으로 하수관의 침입수/유입수 및 누수



**Fig. 7.** 관거불량률과 I/I와의 관계.

현황을 연구 조사하였고 실측 및 분석결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 하수발생은 오전 8~10시경 그리고 6~9시경의 2개 넓은 peak가 발생되고 있음을 보여주는데 이는 생활하수 발생 패턴의 유형을 보여준다.
- 2) 하수의 BOD/N비와 BOD/P비를 측정 한 결과 BOD/N비가 4 이하로 생물학적 질소제거에 부족한 수질을 나타내고 있어 하수처리장 건설시 참고해야 할 것이다.
- 3) 이 지역에서 있어서 물소비량평가법과 일최대 · 일최소 일평균 유량평가법의 계산결과는 타 방법에 비해 신뢰성이 떨어지는 것으로 나타났다.
- 3) 일평균 · 최저유량-수질평가법에 의한 분석결과 A지점은 26.8%, B지점은 16.6%, C지점은 17.7%로 나타나 A지점이 비교적 큰 침입률을 보이는 것으로 평가되었다.
- 4) 일최저유량 평가법에 의하면 A지점이 29.9%, B지점이 17.5%, C지점이 31.6%로 나타났다. 이는 앞서 평가한 일평균, 최저 유량-수질평가법에서 평가한 결과와 비교하여 A와 B지점은 비슷한 결과를 보

이나 C지점이 다소 높은 침입률을 보였다.

5) 침입량에 따른 단순침입률과 관거길이당 침입률을 평균한 결과 A지점은 28.4%,  $0.1045\text{m}^3/\text{d}/\text{mm-km}$ , B지점은 17.1%,  $0.0143\text{m}^3/\text{d}/\text{mm-km}$ , C지점은 24.6%,  $0.029\text{m}^3/\text{d}/\text{mm-km}$ 로 각각 나타나 A지점이 B와 C보다 상대적으로 높게 나타났다.

6) 본 지역의 하수관거 정비 우선순위 결정에는 일평균·최저유량-수질 평가기법과 일최저유량법이 침입수/유입수 산정방법으로 제안할 수 있고 그 순위는 A, C, B 순으로 제안된다.

7) 본 연구는 하수관거내의 유량을 조사, 침입수/유입수 산정하여 하수처리장 설치전 관거정비의 우선순위를 정하는 데 도움이 되는 자료를 제공했다는 데 큰 의미를 가진다.

## 참고문헌

1. 국립환경연구원 (1988) 하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구.
2. 이현동 (2001) I/I와 월류수 제어를 위한 하수관거내의 모니터링 시스템개발, *대한토목학회지*, pp. 10-19.
3. 이상일, 최근웅 (2001) "하수관거정비의 기본방향", 대한상수도학회 특별심포지엄.
4. 임성호, 이재용, 최윤관, 안경모 (2001) 합류식 하수관거의 침투수/유입수(I/I)산정 및 월류수(CSOs) 분석 연구, pp. 85-87, 대한토목학회 2002년 학술발표회.
5. 최계운, 김기형, 이호선 (2001) 전자식 유량계를 이용한 하수관거의 유량측정, 한국수자원학회 학술발표회 논문집
6. 최계운, 김기형, 전영호 (2002) 관거내 침입수 및 유입수(I/I) 산정방법의 비교분석, 대한토목학회 2002년 학술발표회, pp. 57-60.
7. 환경부 (1998) *하수도 시설기준*.
8. 환경부 (1998) 환경기초시설 투자순위 결정 및 종합정비 기본계획 수립연구 보고서.
9. 환경부 (2001) *통계년감*.
10. APHA, AWWA, WEF (1995) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th Ed., APHA, Washington, DC.
11. Metcalf & Eddy (2002) *Wastewater Engineering : Treatment Disposal, Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill Book Co. New York.
12. Randall, C.W., Stensel, H.D., and Barnard, J.L. (1992) Design of activated sludge biological nutrient removal plants. In *Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal*, Randall, C.W., Barnard, J.L., and Stensel, H.D. (Eds.), pp. 97-185.
13. Shin H.S., Park, M.G and Jung, J.Y. (2001) NUTRIENT REMOVAL PROCESSES FOR THE LOW STRENGTH WASTEWATER, *Environmental Technology*, Vol. 22, pp. 889-895.