Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.25, No.1, pp.75-84, February, 2011

상하수도학회지, 논문
25권 1호, pp.75-84, 2월, 2011

건기와 우기시 낙동강 유역 분류식 하수관거의 유입수/침입수의 분석

Analysis of Infiltration/Inflow at Dry and Rainfall Periods in Separated Sewer System of Nakdong River Basin

구정은[1] · 이홍신[1] · 손건태[2] · 이성억[2] · 이승환[2]*

JoungEun Gu[1] · HongShin Lee[1] · GunTae Son[2] · SungEok Lee[2] · SeungHwan Lee[2]*

1 울산과기대 도시환경공학부, 2 금오공과대학교 토목환경공학부

(2011년 1월 18일 접수 ; 2011년 2월 11일 수정 및 채택)

Abstract

This study was conducted to provide a basic information for the establishment of operation and treatment processes in sewer system of Nakdong river basin to minimize the overall pollutants loading to water body. Sewage flowrates were regularly measured and monitored at various sampling points of newly-built separated sewer system located in G City GA sites. To assess the inflow sewage flowrate, various calculating methods such as water-use evaluation, average-minimum daily flow quality evaluation, minimum daily flow evaluation, night water-use evaluation were used. Average I/Is were calculated except water-use evaluation. Average I/Is were found to be 6.5 m^3/d, 3.5 m^3/d, 7.7 m^3/d at GA-1, GA-2, GA-3 points respectively. I/I ratios of three areas were found to be 4.8 %, 2.0 % and 2.7 % respectively and were obviously lower than those of the other separated sewer systems as shown in the previous studies.

Key words : Infiltration, Inflow, Separated Sewer System

주제어 : 침입수, 유입수, 분류식 하수관거

1. 서 론

2007년 말 전국의 하수관거 총시설 연장은 96,280 km로서 하수도 정비기본계획상의 계획연장 130,774 km의 하수관거 보급률은 73.6 %이며, 이 중 우수와 오수를 동시에 배제하는 합류식관거는 49,636 km로 51.6 %이고, 우수와 오수를 분리하여 배제하는 분류식은 46,643 km로 48.4 %를 차지하고 있다(환경부, 2008). 이는 2004년도 57.5 %의 합류식 관거 47,255 km와 42.5 %의 분류식 관거 34,959 km에 비해 2007년에는 분류식 관거의 보급률이 5.9 % 증가한 수치를 나타내고 있다(환경부, 2005). 합류식 하수관거 설치지역의 경우 청천시 발생하는 하수는 전량 우수토실을 통하여 차집 되어 하수종말처리시설에서 수처리 과정을 거친 후 방류선으로 배출되나, 강우시에는 우수 유출수와 오수가 혼합 배출되어 일정유량(3Q)만 차집 되어 처리되고 나머지는 방류되고 있다. 분류식 관거의 경우 분류식 하수관거의 월류수(SSOs: sanitary sewer overflows)는 강우시 우수의 유입으로 오수 유출수에는 지표 세척수 및 우수받이, 측구내 오염물질이 포함되어 관거로 유입되고, 관거 내 유량증가로 인해 관거 내 침전된 퇴적물의 재부

* Corresponding author Tel:+82-54-478-7632, Fax:+82-54-478-7859, E-mail: ,dlee@kumoh.ac.kr(Lee, S.)

유가 일어날 수 있다. 이로 인해 강우시 하수에는 유해물질이 다량 포함되어 단시간에 급격한 오염부하를 야기하기도 하고 유량증가로 처리장의 기능저하를 유발하기도 한다(김, 2006). 하수관거의 보급률이 높은 일본의 경우 하수도 보급률의 증가만큼 하천의 수질이 향상되지 않는 원인으로 강우시 합류식 하수관 월류수(CSO : Combined Sewer Overflows)와 우수관거 배출수(SSO : Separated Sewer Overflows)라는 연구결과(鳥津, 1996)가 있으며 CSO와 SSO가 도시지역 비점오염 부하 중 가장 큰 비중을 차지하며, 도시하천 생태계를 크게 악화시키는 것으로 기존의 연구(Whipple, 1981)에서 조사된 바 있다. 이와 같이 CSO 및 SSO에 대한 처리 대책이 없는 한 도시하천의 수질개선을 기대하기란 어려운 실정에 도달하였다. 그러므로 종합적인 수질관리 대책을 위해서는 이러한 우수유출에 의한 오염원의 관리가 필요하다. 또한 국내에 설치되어 있는 하수관거는 지하에 매설되는 특성으로 인하여 부실하게 시공되는 경우가 많으며, 타관통과, 우·오수관의 오접, 기존관거의 노후화에 따른 관의 파손과 침하, 불명수 과다유입, 접합부의 시공불량 등의 문제점이 많이 발생되고 있다(국립환경연구원, 1997). 이로 인하여 공공수역의 수질보전을 위해 하수종말처리시설을 꾸준하게 확충함에도 불구하고 실제 유입수질은 설계수질보다 현격히 낮게 유입되고 있으며, 이는 하천수 및 계곡수, 농업용수의 유입, 과다한 침입수/유입수(I/I)의 유입 및 하수의 누수 등에 의한 것이다. 이러한 원인은 차집시설의 불량, 부실한 하수관거로 인한 침입수/유입수(I/I)의 유입에 의한 것이다.

일반적으로 침입수(Infiltration)란 강우수나 지하수가 토양을 통과하여 관거의 이음부나 맨홀, 집수정 파손부 등으로 침입해오는 유량을 의미한다. 유입수(Inflow)는 강우 등의 원인에 의하여 하수관의 배수설비나 맨홀 등 지상에 개방되어 있는 부분으로 지표수가 유입하는 현상을 의미한다. 이러한 침입수 및 유입수는 토양과 지하수오염의 주원인으로 작용할 뿐만 아니라 모든 수자원 오염의 원인이 되며, 지하수 침입에 의한 하수의 과잉 희석으로 하수처리장의 효율을 저하시킨다(송여일, 2004). 환경부의 자료에 의하면 발생하수를 100 %로 가정할 때, 이 중 36 %는 하수관에서 누수되고 43 %의 불명수가 유입되어, 하수처리장에 도달하는 하수는 107 %이며, 따라서 하수처리효율을 높이고 하천 오염부하량을 감소시키기 위해서는 하수관의 성능을 90 %까지 개선해야 하는 것으로 보고한 바 있다(국립환경연구원, 1997). 이에 따라 정부는 하수관의 성능을 개선하기 위해 관거 공사의 고질적인 부실시공을 줄이고 수질개선 효과를 높이기 위해 2010년까지 하수관거 정비를 위한 '중장기 하수관거 정비 종합 계획(2006-2010년)을 마련하였으며 10조원 규모에 달하는 하수관거 민간투자사업(BTL)을 추진하였다. 환경부는 2001년부터 2006년 말까지 실시한 '전국 하수관거 정비 타당성 조사' 결과 하수관거는 평균 8.6 m당 한 곳이 불량이며, 전체 하수량의 31 %가 외부 침입수인 것으로 보고하였다. 이에 따라 지자체별 하수관망도 작성과 함께 그동안 땜질식으로 추진했던 하수관거사업을 단계적으로 축소하고 하수관거정비사업의 발주체계를 연 단위 분할발주 방식에서 장기계속계약 방식으로 개편해 대형사업 위주로 추진해 나갈 계획이다. 또한, 공공수역의 수질보전을 위해 하수종말처리시설을 꾸준하게 확충하고 기존 처리시설을 고도처리시설로 개선할 계획을 가지고 있다(환경관리공단, 2007). 현재 낙동강 수계는 상수원 상류지역의 정비와 함께 대규모 예산을 투입하여 하수관거 정비 사업을 민간투자사업(BTL) 및 지자체 사업으로 추진하여 불량한 하수관거 정비를 통한 처리장의 처리효율 극대화로 수계의 수질오염을 조속히 해결할 수 있는 기틀을 마련하고 있다. 이러한 사업들이 효율적이고 지속적으로 추진되기 위해서는 보다 체계적이고 과학적인 체계구축과 관리가 절대적으로 필요하다. 본 연구에서는 최근에 분류식 하수관거 정비 사업을 완료한 G시 GA지역을 대상으로 생활계 오염물질 배출경로별 유량 및 건기시·우기시 하수관거의 침입수/유입수(I/I)를 조사 분석하고 이를 토대로 현 하수관거 시스템의 현황을 진단·평가하는데 유용한 정보를 제공하고자 수행되었다.

2. 연구 방법

2.1 표본 조사지점 선정

본 연구에서는 낙동강수계의 본류로 직접 방류되는 G시의 S하수처리장의 처리구역을 조사대상지점으로 하였으며 S처리장의 처리구역은 100 % 분류식 처리구역으로 2007년 완공된 SS처리 분구와 최근 하수관거 정비가 완료된 GA처리 분구로 구분되어 있다. 최근 들어 합류식에서 분류식으로 전면 개편된 본 지역의 특성상 상·하수관거 정비에 따른 처리장의 개선효과를 확인하는데 적절한 지역이며 낙동강 중류에 위치하고 있어 수질에 대한 영향을 검토하기에 적절한 지역이다. 표본지점으로 선정된 G시 GA처리 분구의 유량 및 수질 조사 지점은 구체적인 현장 답사를 통해 이루어졌으며 **Fig. 1**은 G시 GA지역 분류식 하수관거에서 조사지점으로 선정된 지점의 위치를 상세히 보여주고 있다. 본 표본지점으로 GA-1, GA-2, GA-3 지점을 선정하였으며 추가로 표본지점에서 하수처리장으로 유입되는 유입량을 모니터링 하기위해 GA-4 지점을 추가로 선정하였다.

상하수도학회지, 논문
25권 1호, pp.75-84, 2월, 2011

G시 SS하수처리장의 경우 SS하수관거 분구와 GA하수관거 분구에서 수집된 하수를 처리하고 있는 관계로 본 표본지점으로 선정된 3개 지점(GA-1, 2, 3)의 전체 하수 발생량에 대한 정확성을 높이기 위해 GA-4지점의 유량조사가 실시되었다.

조사지역 하수관거의 평균 관경은 250 mm이며, 인구 밀도는 65.4 인/ha에서 423.3 인/ha사이로 일반적인 농촌 지역의 인구 분포를 나타냈으며 이 지역의 1인당 관거 보급율과 유역면적당 보급률은 각각 0.02 m/인~2.97 m/인 및 8.2 m/ha~243.0 m/ha로 나타났다. G시 GA 하수처리 지역의 조사 지점 현황을 **Table 1**에서 요약하여 나타내었다. GA-1 지역은 마을입구로 일부 주거지와 녹지로 이루어져 있으며 GA-2 지역은 아파트와 단독주택 그리고 일부 녹지로 이루어져 있으며 GA-3 지역은 아파트 주변으로 주거지와 일부 상업지로 이루어져 있다.

2.2 수질 및 유량 조사

하수관거의 I/I 분석을 위해 유량조사는 자동측정 유량계를 사용하였으며 유량 측정간격은 5분으로 설정하였다. 조사에 사용된 유량계는 I/I 조사를 위해 국내외적으로 많이 이용되고 있는 자동측정 및 데이터저장이 가능한 전자식(FLO-TOTE)유량계를 사용하였으며 **Table 2**에서 지점별로 사용된 유량계와 측정 빈도를 요약하였다.

수질 조사는 현장 조사 기간 동안 유량을 측정하고 BOD_5를 포함한 5개 항목에 대하여 시료를 채취하여 수질오염공정시험법(환경부, 2006)과 Standard method(APHA, 1995)에 의해 수질을 평가하였으며 동일한 지점에서 하수의 특성 및 I/I 량을 분석하였다. 건기 시 수질 분석을 위한 시료는 하수의 시간별 특성을 반영하기 위하여 2시간 간격으로 1일 12회 채취하였다. 또한 강우 시에는 강우 개시 직전부터 시작하여 강우 초반부에는 5분 간격으로 조밀하게

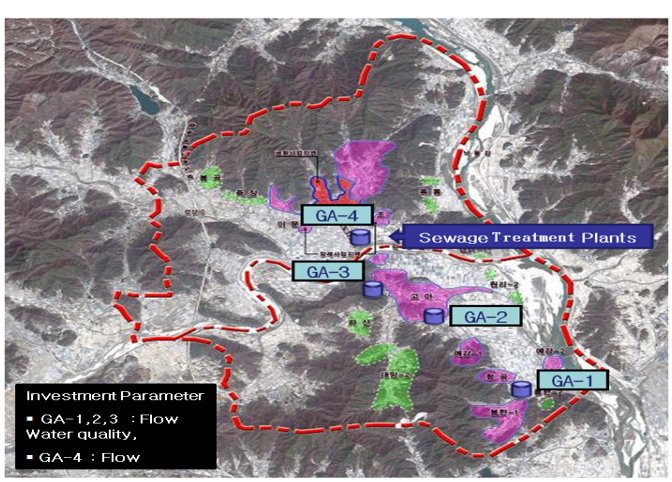


Fig. 1. Location map of catchment area and sewer line in G city

Table 1. Overview of selected study area

Site	Catchment Area(ha)	Length(m)	Diameter (mm)	Population	Ave. flow rate in dry period (m^3/d)	Min. flow rate in dry period (m^3/d)
GA-1	17.1	4,156	250	1,400	125.1	85.5
GA-2	12.4	1,416	250	810	179.3	171.3
GA-3	6.0	49	250	2,540	282.4	240.7

Table 2. Survey method

Sites	Flowmeter	Frequency of Measurement
GA-1, GA-2, GA-3 GA-4	FLO-TOTE 260 FloCom	Every 5 minutes

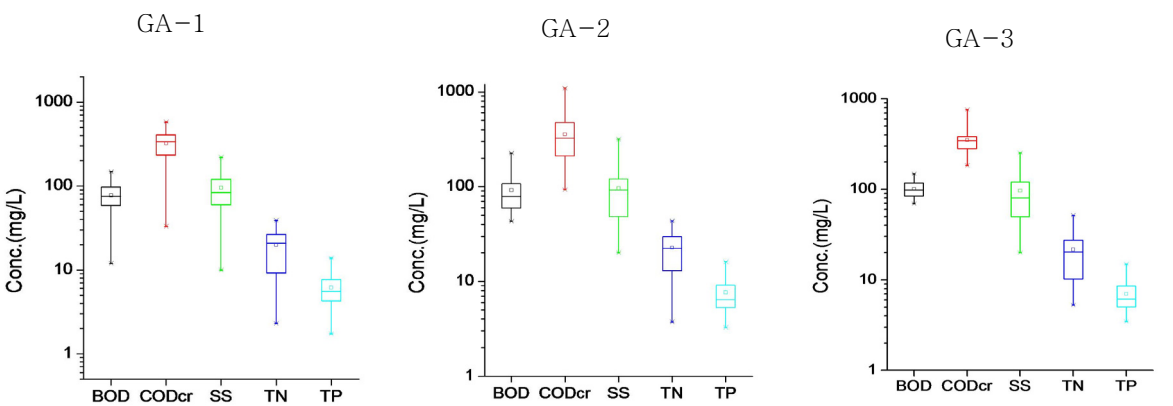


Fig. 2. Statistics of water quality at the sampling sites during the dry period

채취하고, 중반부와 후반부로 갈수록 시료 채취 간격을 30분~60분 간격으로 채수간격을 조절 하였다. Table 3에서 구체적인 수질 조사 항목과 채수빈도를 나타내었다.

본 연구 기간 동안에는 GA-1, GA-2, GA-3 지점을 대상으로 건기시 3회, 강우시 1회 조사를 실시하였고, GA-4 지점은 유량 조사만을 실시하였다. 본 연구의 표본지점의 하수가 G시의 SS하수처리장으로 유입되며, 표본지점 이외의 지점에서도 유입되는 하수가 있어 GA-4 지점을 추가하여 표본지점에서 하수처리장으로 들어가는 유량을 조사함으로써 총 유입량을 확인하였다. GA 처리 분구지점에 대하여 2007년 7월 1일~11월 15일까지 수질조사를 실시하였으며 유량조사는 2007년 8월1일~8월 31일 사이에 이루어졌다.

2.3 침입수/유입수의 평가방법

하수관거 시스템의 상태를 파악하기 위해 침입수/유입수(I/I) 산정량을 이용할 수 있는데 일반적으로 침입수/유입수(I/I)를 산정하기 위한 방법으로는 물소비량 평가기법,

Table 3. Monitored water quality parameters and sampling frequency

Water Quality Parameters	Sampling Frequency	
DO, pH, BOD_5, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P	Dry period	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22hr
	Rainfall period	0, 5, 10, 15, 30, 60min, 1, 2, 3, 4, 5, 6hr

Table 4. Characteristics of water quality at the sampling sites during the dry period

(Unit: mg/L)

Site		BOD	CODCr	SS	TN	TP	Ratio (Median)
GA-1	Mean	76.9	320.8	95.4	19.9	6.1	· BOD/TN=3.97 · BOD/TP=13.22
	Median	77.1	331.9	87.5	19.4	5.8	
	Maximum	126.1	553.5	193.2	31.7	11.1	
	Minimum	21.7	70.0	12.4	12.1	3.0	
GA-2	Mean	91.7	355.8	96.3	22.7	7.6	· BOD/TN=3.95 · BOD/TP=12.03
	Median	87.8	341.6	89.3	22.2	7.3	
	Maximum	198.3	775.3	235.3	34.5	12.6	
	Minimum	45.3	107.8	21.7	14.1	4.1	
GA-3	Mean	100.5	348.3	98.0	21.7	7.1	· BOD/TN=4.62 · BOD/TP=15.16
	Median	96.0	342.9	100.0	20.8	6.3	
	Maximum	138.2	631.7	188.9	34.4	12.1	
	Minimum	72.2	212.8	23.8	14.4	4.2	

상하수도학회지, 논문
25권 1호, pp.75-84, 2월, 2011

일평균·최저 유량 수질 평가법, 일최저 유량평가법, 야간활동 유량 이용법 등이 있다. 강우침입수(RII)와 강우유입수(SWI)는 하수관거의 과부하 측면에서 매우 큰 비중을 차지하는 설계의 유량으로서 그 유입원에 따라 구분되고 있다. 강우시 유량 및 기저유량 측정방법은 기저유량을 파악하기 위하여 건기시 관거내 유량을 지속적으로 모니터링하여 강우시 흐르는 유량 중 기저유량의 양을 정확히 측정할 수 있도록 하였으며 강우시에도 신뢰성 있는 유량 측정 방법을 이용하여 하수량의 변화를 정확히 측정할 수 있도록 하였다. 동시유량분리측정(Flow Isolation)은 소유역이나 지관에서의 강우침입수(RII)를 산정할 때 주로 이용하는 방법으로 강우 전후의 적절한 시기에 연속되는 맨홀에 대하여 동시적으로 유량을 측정하여 그 차이를 분석한다. 이 방법의 주목적은 동일 소유역의 다른 지점에서 발생하는 강우침입수(RII)를 결정하는 것이므로 강우 동안 다른 지점 및 다른 시점에서 측정된 자료를 비교하는 방법에 대해서는 특별한 주의가 요구된다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 하수의 수질분석

가. 건기시 수질분석

건기 시에 수질 조사는 3회에 걸쳐 시행 되었으며 2007년 10월 20일~21일, 2007년 11월 05일~06일, 2007년 11월 08일~09일 사이에 2시간 간격으로 24시간동안 실시되었다. 3회의 수질 분석 결과를 평균하여 **Table 4**와 **Fig. 2**에 나타내었다. 각 지점의 수질평가 항목은 BOD, CODcr, SS, TN TP였으며 생물학적인 영양소 처리능력을 평가하기 위하여 BOD/TN 비와 BOD/TP 비를 각각 구하였다. 수질 평가 결과 GA-1 지점의 건기시 BOD, TN, TP의 농도는 평균 76.9 mg/L, 19.9 mg/L, 6.1 mg/L로 나타났으며 GA-2, 3 지점은 GA-1 지점에 비해 높은 수질 농도를 나타냈다. 이는 GA-2, 3지점 주변에 음식점들이 밀집되어 있으며 특히 새벽에 각 항목의 농도가 높게 나타나는 것으로 보아 야간 활동인구의 영향이 많은 것으로 파악된다. 또한 기존의 문헌(Randall. C.W. et al, 1992 : Shin, 2001)에서 BOD/TN 비가 5.1이상일 때 생물학적인 영양소 처리가 가능한 것으로 제시하고 있으며, 이를 바탕으로 각 지점의 BOD/TN, BOD/TP 비를 살펴보면 각 지점의 건기시 3회에 걸쳐 평가된 수질의 중간값에 의한 BOD/TN비는 3.97(GA-1), 3.95(GA-2), 4.62(GA-3)로 나타났으며 BOD/TP비는 13.22(GA-1), 12.03(GA-2), 15.16(GA-3)로 나타났다. 세 지점 모두 BOD/TN비는 5.1미만으로 나타나 기존에 제시된 생물학적 영양소 처리능력이 가능한 범위에 미치지 못하는 것으로 나타나 하수처리장내 고도처리시설 계획시 유기물 부족에 대비한 질소, 인 처리 공정이 고안되어야 할 것으로 판단된다.

나. 강우시 수질분석

강우 시 수질조사는 2007년 10월 25일~26일 사이에 실시되었으며, 총 강우량은 30.0mm 였고, 시간 당 최대 강우량은 9.0 mm/hr로 조사되었다. 수질 분석 결과는 **Table 5** 와 **Fig. 3**에 나타내었다. GA-2, 3 지점의 BOD와 SS의

Table 5. Characteristics of water quality at sampling sites during the rainfall period

(Unit : mg/L)

Site		BOD	CODCr	SS	TN	TP	Ratio (Median)
GA-1	Mean	41.0	134.4	49.6	14.4	3.5	· BOD/TN=2.42 · BOD/TP=10.90
	Median	32.7	100.4	37.5	13.5	3.0	
	Maximum	82.4	278.0	124.0	20.4	6.0	
	Minimum	19.2	49.9	14.0	8.2	2.1	
GA-2	Mean	86.6	264.7	88.7	13.8	7.4	· BOD/TN=6.16 · BOD/TP=11.69
	Median	90.0	240.6	88.0	14.6	7.7	
	Maximum	125.4	416.5	186.0	19.9	9.4	
	Minimum	24.4	91.3	36.0	6.0	4.3	
GA-3	Mean	101.2	312.2	98.7	13.0	5.9	· BOD/TN=5.75 · BOD/TP=21.98
	Median	87.9	251.1	73.0	15.3	4.0	
	Maximum	185.4	538.8	232.0	19.4	11.6	
	Minimum	70.8	165.3	32.0	4.4	3.1	

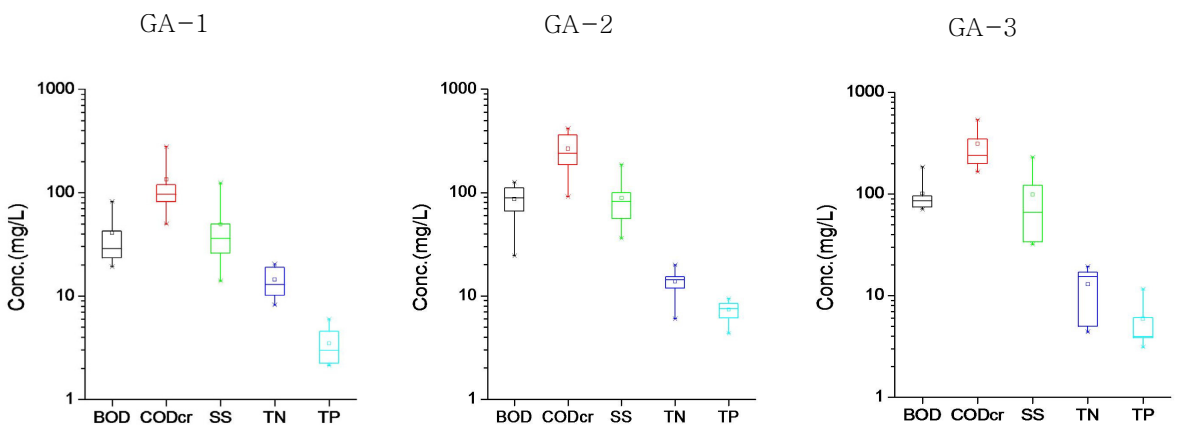


Fig. 3. Statistics of water quality at the sampling sites during the rainfall period

평균값은 각각 86.2 mg/L~101.2 mg/L 와 88.7 mg/L~98.7 mg/L로서 조사 결과는 건기와 유사한 수준으로 조사되었으며, 하수관거의 수질은 강우에 의하여 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 하지만, GA-1 지점의 BOD와 SS의 평균값은 각각 41.0 mg/L와 49.6 mg/L로 건기시에 비해 상당량 감소한 것으로 보아 이 지점의 강우의 유입이 있는 것으로 판단된다.

각 지점의 강우시 평가된 수질의 중간값에 의한 BOD/TN 비는 2.42(GA-1), 6.16(GA-2), 5.75(GA-3)로 나타났으며 BOD/TP비는 10.90(GA-1), 11.69(GA-2), 21.98(GA-3)로 나타났다. 건기시 BOD/TN비가 5.1미만으로 나타난 것에 비해 강우시 GA-1지점을 제외한 나머지 두 지점에서 5.1이상의 BOD/TN 비가 나타나 생물학적인 영양소 처리가 가능한 것으로 판단된다. 이는 강우시 수질 분석에서 나타난 바와 같이 각 수질항목의 농도가 건기시에 비해 감소한 것으로 보아 강우의 유입으로 희석되었음을 알 수 있다.

다. EMC와 오염 부하량

하수 관거 내 건기 시와 강우시의 유량에 따른 오염물질의 농도 변화를 확인하기 위해서 유량가중평균농도 (EMC: Event Mean Concentration)를 계산하였다 (Vladimir et al., 1995, 이 등, 2009). 유량가중평균농도는 Eq. 1에서 보여주고 있는 바와 같이 표본지역에서 발생한 오염물질의 총량을 하수관거내 유량으로 나눈 값으로 정의된다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot Q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} Q_{run}(t)} \qquad (1)$$

여기서, $Q_{run}(t)$와 $C(t)$는 t시간에서의 유량과 오염물질의 농도를 각각 의미한다. 이러한 EMC는 표본지역으로부터 발생되는 오염물질의 부하량 산정에 이용되며, 오염물질 부하량은 수질 오염총량관리제의 시행을 위하여 매우 긴요한 기초자료로 활용될 수 있다. 각 표본지점의 EMC와 오염 부하량은 **Fig. 4**에 나타냈으며 이를 분석한 결과 건기시와 강우시 EMC의 농도는 비슷한 값을 나타냈으나 오염부하량은 강우시에 건기시보다 많이 감소한 것으로 나타났다.

3.2 유량을 이용한 침입수/유입수(I/I) 분석

가. 하수 유량의 특성

대상지역의 하수유량 및 시간별 변동 특성을 파악하기 위하여 조가기간 동안 (8월1일 ~ 8월 31일까지) 유량을 측정하였고 그 결과를 **Table 6**에 나타냈다. 8월 한 달 동안의 강우일수는 총 17일, 총 누적강우량은 217 mm이었으며, 최대강우는 48.0 mm였다. 또한 건기 평균 유량은 229 m^3/d ~ 2,222 m^3/d였으며, 각 조사 지점의 관내 평균유속은 0.28 m/s ~ 0.48 m/s로 나타났다.

나. 건기시 I/I 분석

GA 처리 구역의 건기시 침투수/유입수 산정을 위해 **Table 6**에 G시 각 구역의 인구, 급수량과 측정지점별 추정 하수량을 나타내었다. 하수량은 139.3 m^3/d~436.7 m^3/d로 나타났다. 처리 구역내 상수 사용량에 대한 기초 자료는 G시에서 작성한 법정 인구와 G시 하수도 민간 투자 사업 (2004)의 급수량 원단위를 바탕으로 하였으며, 오수발생량 추정을 위해 하수관거 정비공사 설계검토 보고서 (2004)에 제시된 급수 원단위를 사용하였으며 동지역은 238l pcd(liter per capita per day)로 나타났다.

상하수도학회지, 논문
25권 1호, pp.75-84, 2월, 2011

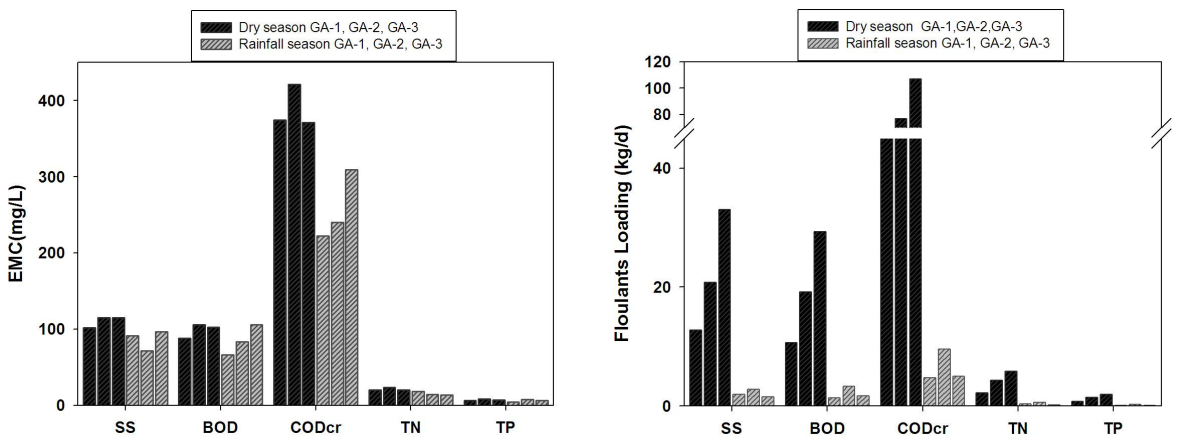


Fig. 4. EMC and pollutants loading during the dry period and rainfall period

Table 6. Various flowrates at the sampling sites

Site	Inf. flow(m^3/d)	Mean flow(m^3/d)	Max. flow(m^3/d)	Min. flow(m^3/d)
GA-1	12,732	411	468	386
GA-2	7,086	229	251	212
GA-3	8,742	282	341	223
GA-4	68,888	2,222	2,476	2,074

Table 7. Inflow rate of dry period at the sampling sites

Site	Population	Liter Per Capita Per Day(lpcd)	Inflow (m^3/d)
GA-1	1,400	238	240.7
GA-2	810	238	139.3
GA-3	2,540	238	436.7

조사 대상지역인 G시 GA 처리구역 내 각 조사 지점의 건기시 침투수/유입수(I/I)에 대해 물소비량 평가기법을 비롯한 4가지 방법을 이용하여 산정한 I/I분석 결과를 Table 7에 나타냈다. 각 산정 방법에 의해 구한 I/I 발생량을 비교하면 물소비량 평가법은 GA-1과 GA-3 지점에서 (-)값을 나타내어 침입수 보다는 누수량이 크게 나왔고 타 방법에 비해 I/I 발생량이 많은 차이를 보여 산정결과에 있어 신뢰성이 떨어진다고 볼 수 있다. GA-3지점의 경우 상가 및 주거지역으로서 유동인구가 많지만 물소비량 평가방법은 이를 고려하지 않아 타 방법과 많은 차이를 보이는 것으로 볼 수 있다. 일평균·최저 유량 수질 평가기법, 일최저 유량 평가기법과 야간 활동 유량 이용법에 의한 결과는 각 지점별로 유사한 양상을 보여주고 있으므로 이 값들을 평균하여 평균 I/I 발생량을 산출하여 Table 7에 나타냈다. 산정결과 평균 I/I값은 조사 지점별로 3.5~7.7 m^3/d로서 침입수/유입수 비율은 2.0~4.8 %를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 다양한 기준에 따른 I/I 발생량을 Table 8에 나타냈으며 유량대비 침입율[=침입수량(m^3/d)/평균관경(mm)×(관거연장(km)]이 0.006 m^3/d/mm-km~0.629 m^3/d/mm-km 범위로 나타났다. GA-3지점에서는 관거 길이 당 침입율이 157.1 m^3/d-km로 가장 높은 값을 나타내고 인구당 침입율은 0.003 m^3/d/person으로 가장 낮게 나타났다. 이 또한 GA-3 지역의 주거와 상가 혼용지대로서 이 지역 특성상 유동인구가 많아 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

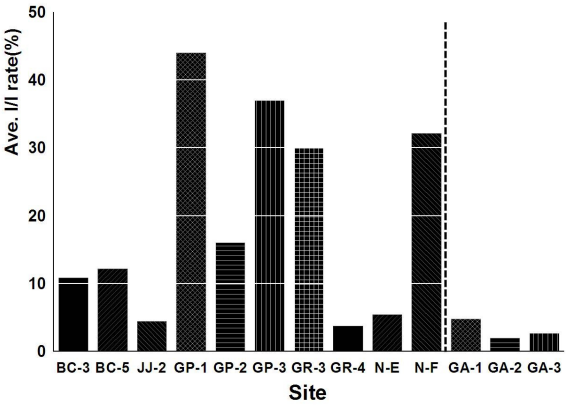
Table 8. Comparison of I/I analysis in dry period

Site	Ave. flowrate in dry period (m^3/d)	Analysis of I/I Comparison				Ave. I/I *	
		Water-use evaluation (m^3/d)	Ave.-min. daily flowrate evaluation (m^3/d)	Min. daily flowrate evaluation (m^3/d)	Night water-use evaluation (m^3/d)	Flowrate (m^3/d)	Percentage (%)
GA-1	125.1	-115.6	6.6	7.8	3.5	6.0	4.8
GA-2	179.3	40	2.3	4.3	3.9	3.5	2.0
GA-3	282.4	-154.3	4.3	13.2	5.6	7.7	2.7

I/I(Infiltration/Inflow)				
Site	Flow/Capita (m^3/d/person)	Flow/Length (m^3/d-km)	Flow/Area (m^3/d-ha)	Flow/(Length · Diameter) (m^3/d-km-mm)
GA-1	0.004	1.4	0.351	0.006
GA-2	0.004	2.5	0.282	0.010
GA-3	0.003	157.1	1.283	0.629

* Average-minimum daily flow quality, Minimum daily flowrate and Night water-use evaluation

(a) Ave. I/I ratio at separated sewer system‡



(b) Flow/Capita at the similar population sites‡‡

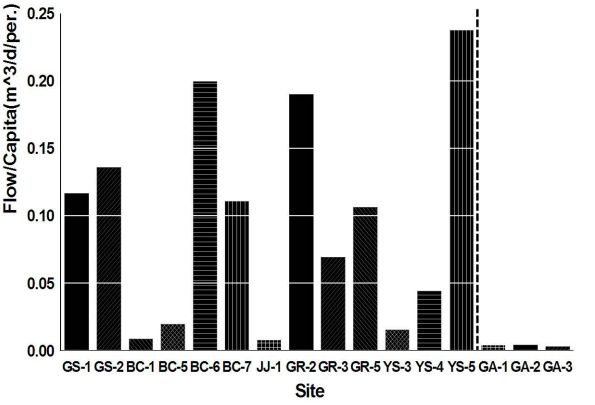


Fig. 5. Comparison of design criteria with previous study

‡ : BC-3, BC-5(공 등, 2002), JJ-2(강, 2003), GP-1, GP-2, GP-3(황 등, 2002), GR-3, GR-4(김 등, 2002) N-E, N-F(노, 2004)

‡‡ : GS-1, GS-2(정 등, 2002), BC-1, BC-5, BC-6, BC-7(공 등, 2002), JJ-1(강, 2003), GR-2, GR-3, GR-5(김 등, 2002), YS-3, YS-4, YS-5(정 등, 2007)

Fig. 5에서는 기존의 문헌 및 논문에서 나타난 분류식 하수관거의 건기시 평균유량대비 I/I 발생비율(a)과 본 연구와 비슷한 인구수를 가진 지역의 인당 I/I발생량(b)을 비교하여 나타내었다. 본 연구의 표본지점인 GA-1, GA-2, GA-3 지점의 분류식 하수관거의 건기시 평균유량대비 I/I 발생비율은 2.0 % ~ 4.8 %로 나타났고, 기존 논문에 의해 발표된 타 지역의 경우 3.7 %~ 44.0 %의 범위로 나타났다. 또한 비슷한 인구수를 가진 타 지역의 인당 I/I 발생량이 0.008 m^3/d/person ~ 0.238 m^3/d/person 범위로 조사되었으며 본 연구의 표본지점은 0.003 m^3/d/person ~ 0.004 m^3/d/person 로 타지역에 비해 적은 양을 나타내고 있다. 이는 본 연구의 표본지점이 하수관거 정비 사업을 통해 침입율이 상당이 감소한 것으로 판단된다.

상하수도학회지, 논문
25권 1호, pp.75-84, 2월, 2011

Table 9. I/I analysis in rainfall period

Site	Rainfall Analysis			Rainfall period I/I		
	Total rainfall (mm)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Max. rainfall intensity (mm/hr)	Acc. amount of flow(m^3)	Qinfw (peak)	I/I rate (m^3/d.mm-ha)
GA-1	24	3.4	9.0	16.9	1390.6	0.015
GA-2	24	3.4	9.0	45.4	1818.7	0.067
GA-3	24	3.4	9.0	16.3	660.3	0.009

다. 강우시 I/I 분석

강우로 인하여 관거내로 유입되는 침입수/유입수(I/I) 산정은 일반적으로 건기시에 조사된 기저유량과 강우시에 조사된 유량을 비교하여 물수지 측면에서의 차이를 강우시 침입수/유입수(I/I)로 산정하고 있으며 대부분의 수량이 강우에 기인하고 있으므로 강우성 침입수/유입수(RII)로 정의하고 있다. 본 조사에서는 조사 기간 동안 10월 25일에 발생한 강우 사상에 대한 강우시 침입수/유입수(I/I)를 산정하였으며, 산정 결과를 Table 9에 나타냈다. 본 조사기간 동안 G시 GA 처리 구역에 조사 기간 동안 발생한 강우 사상은 누적강우량이 24.0 mm이었으며, 최대 강우강도는 9.0 mm/hr이었다. 우기시 I/I 발생비율은 GA-3 지점에서 0.009 m^3/d.mm-ha 로 가장 작은 값은 나타내었으며 GA-2 지점에서 가장 높은 0.067 m^3/d.mm-ha 값을 나타냈다. 또한 우기시 I/I 발생비율을 m^3/d-ha 로 나타내면 GA-1, 2 지점은 0.36 m^3/d-ha, 1.608 m^3/d-ha 로 건기시에 비해 증가하였으나 GA-3 지점은 0.216 m^3/d-ha 로 감소하였다. 이 또한 GA-3 지점의 건기시 유동인구가 많아 높게 나타났으나 우기시 유동인구가 감소하여 적게 나타난 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 분류식 하수관거 정비 사업을 완료한 낙동강 유역에 소재하고 있는 G시 GA지역을 대상으로 생활계 오염물질 배출지점별 유량 및 오염부하량을 조사 분석하였고 사업시행 이후의 침입수, 유입수를 평가하기 위하여 물소비량 평가법, 일평균 최저유량 수질평가법, 일최저유량평가법, 야간활동 유량법을 이용하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 각 표본지점의 BOD/TN농도비는 건기시 3.95~4.62로서 기존 문헌에서 제시한 생물학적인 영양소 처리가 가능한 범위인 5.1 보다 낮은 값으로 이를 해결하기 위한 고도처리가 본 처리구역의 하수처리장에 필요하며, 강우시 GA-2, GA-3 지역의 BOD/TN농도비가 5.1보다 높게 나타나 생물학적처리가 가능한 것으로 나타났다.

2) 조사 구역내 건기시 I/I 분석은 많은 차이를 보인 물소비량 평가법을 제외한 일평균 최저유량 수질 평가법, 일 최저유량 평가법, 야간활동 유량법을 적용하여 평균값을 취하였다. 평균 I/I 산정결과 조사 지점별로 3.5 m^3/d~7.7 m^3/d로서 침입수/유입수 비율은 2.0 %~4.8 %로 나타났으며 GA-1 지역에서 높은 것으로 나타났다.

3) 건기시 관거 길이 · 관경 당 침입률을 산정한 결과 0.006 m^3/d/mm-km~0.629 m^3/d/mm-km 범위로 나타났으며 GA-3지점에서 침입율이 GA-1, GA-2 지점에 비해 상당히 높은 것으로 나타나 이에 대한 원인규명과 제어방안이 필요할 것으로 보인다.

4) 기존의 문헌을 이용하여 본 연구의 표본지점과 같은 분류식 하수관거의 I/I발생비율과 비슷한 인구수를 가진 지역의 I/I 발생량을 비교한 결과 본 연구의 표본지점이 현저히 낮게 나타나 관거정비에 의한 개선 효과가 나타나고 있음을 보여주었다.

참고 문헌

강동호 (2003) 제주시 하수관거의 I/I 및 누수량 분석, 제주대학교 산업대학원, 석사학위논문.

공성호, 송호면, 황환국 (2002) I/I분석결과를 이용한 관거정비 우선순위 선정, 대한상하수도학회, *공동 추계학술발표회 논문집*, 대구, pp. 9~11.

국립환경연구원 (1997) 하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구.

김경원, 황병기, 정효준 (2002) 하수관거 침입수/유입수 분석 기법 개발 및 구리시 관내 하수처리구역에 적용, 한국물환경학회, *공동춘계학술발표회 논문집*, 충주, pp. 291~294.

김경한 (2006) CSO 처리시설 설치사례 연구, (주)물사랑 신문사, 2006 상반기 물종합기술연찬회, pp. 249~259.

노희성 (2004) 합류식·분류식 하수관거의 침입수 및 유입수 유입특성에 관한 연구, 전북대학교 환경대학원, 석사학위논문.

송영일, 김현중, 임항선, 이성기 (2004) 광주시의 합류식 및 분류

식 하수관거의 침입수/유입수(I/I)조사, *한국수처리 학회지*, **12**(1), pp. 83~96.

이홍신, 이승환 (2009) 국내 중소 도시지역 강우유출수의 유출특성, *대한환경공학회지*, 31(3), pp.193~202

정시몬, 하성룡 (2007) 하수관거정비 사업을 통한 관거 내 침입수/유입수 변화 분석: 경기도 여주군을 대상으로, 대한상하수도학회·한국물환경학회, *공동 추계학술발표회 논문집*, 경기도, pp.39~47.

정호진, 조주연 (2002) 성주지역의 합류식 하수관거 침입수/유입수(I/I) 조사분석, 계명대학교 낙동강환경원, *환경과학논집*, **7**(1), pp. 243~251.

환경관리공단 (2004) 도심지 합류식하수관거 월류수 및 분류식 우수관거 우수유출 오염부하 기초조사 연구.

환경관리공단 (2007) 하수도 보급률.

환경부 (2005) 2004 하수도 통계.

환경부 (2006) 수질오염공정시험법.

환경부 (2008) 2007 하수도 통계.

황병기, 김경원, 정효준 (2002) 하수관거 I/I 분석 모형을 이용한 가평군 하수관거정비 사업우선순위 도출에 관한 연구, *한국환경과학회 봄 학술발표회 발표논문집*, **11**(1), pp.148~150.

APHA (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater, **19nd Ed.** AWWA, WEF

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*, pp.97-185

Shin H.S., Park, M.G and Jung, J.Y. (2001) Nutrient Removal Processes for the Low Strength Wastewater, *Environmental Technology*, 22, pp.889~895.

Vladimir Novotny(1995), Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management, Pennsylvania, U.S.A

Whipple W. and Hunter J.V. (1981) Settleability of Urban Runoff Pollution, *J. of Water Pollution Control Federation*, **53**(12), pp.1726~1731.

鳥津 暉之 (1996) 合流式下水道の 雨水土き室の 水質汚濁負荷量とろの 削減對策, *用手と 廢水*, **38**(10), pp.837~842.