

하수관거내 불량개소수와 I/I발생량간의 상관성분석

Analysis of Correlation Between Defective Number of Sewer Pipes and I/I(Infiltration/Inflow) Volume

장대환* · 한인섭 · 우병하 · 홍성진

Chang Daehwan* · Han Ihnsup · Woo Byungha · Hong Seongjin

환경관리공단*, 서울시립대 환경공학부

(2009년 3월12일 접수; 2009년 6월10일 수정; 2009년 6월12일 채택)

Abstract

I/I(Infiltration/Inflow) characteristics should be studied to achieve I/I reduction which is a main object of sewer rehabilitation. However, The scientific and practical studies which are based on actual survey within the country are not thorough going enough. The earlier studies were limited because of a short research period and specific region.

Thus, In this study, a formula is deduced by intensive correlation analysis between defective number and I/I volume in sewer pipe. It can be used as preliminary data when the project established for cost-effective pipe rehabilitation.

The study shows that the researched region have a faulty point at every 9.3m on average and prove correlation between defective number and I/I volume in sewer pipes. Thus, this study can improve the investigation system and estimate the volume of the pipe rehabilitation, when site investigations for rehabilitation have been conducted.

Key words : Sewer Rehabilitation, I/I(Infiltration/Inflow), Correlation Analysis

주제어 : 하수관거정비, 침입수/유입수, 상관성분석

1. 서론

하수관거정비사업을 보다 효율적으로 시행하기 위해서는 관거정비의 주 목적인 침입수/유입수(I/I: Infiltration/Inflow)저감을 위해 I/I발생 특성에 관한 체계적인 연구가 이루어져야 하나, 우리나라에서는 실측조사에 기초한 과학적이고 실용적인 연구가 부족한 실정이다. 특히, 국내에서 이루어진 I/I발생량 및 특성분석에 관한 연구를 살펴보면, 이재훈(2007)은 전국하수관거정비 타당성 조사보고서(환경부, 2004) 자료를 재가공하여 관거 불량원인과 침입수 발생량과의 상관관계를 분석하였으나 이는 인용 자료의 재활용으로 실측시와는 많은 차이가 예상된다. 박명균 등(2006)은 경기도의 소규모시를 대상으로 지점별 관거정비의 우선순위를 결정하기 위해 I/I발생량을 조사하였으나, 특정지역을 대상으로 한 결과 값을 타 지역에 적용하기에는

무리가 있을 것으로 판단된다. 이와 유사하게 정호진(2003), 정시문(2007) 등도 I/I에 관한 연구를 수행한 바 있으나, 박명균의 연구와 같이 특정된 지역에서 짧은 기간동안 이루어져 유사한 한계를 보임에 따라 보다 광역적인 지역에 대한 I/I조사를 통해 범용적인 데이터 제공과 I/I와 관련된 각종 인자들 간의 상관성을 연계한 심화된 연구가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 지금까지 수행된 연구와는 달리 공간적 범위를 확대하여 전국 6개 지자체를 대상으로 관거상태, I/I발생량, BOD₅를 포함한 수질을 조사하고 I/I발생량과 하수관거 불량률과의 상관성, 관거 불량률과 수질과의 상관성 등 주요 인자간의 상관관계를 밝혀 관계식으로 도출하고자 하며, 이를 통해 하수관거정비를 위한 현장 조사시 I/I를 중심으로 한 조사체계의 개선과 개·보수물량 및 사업비를 산정하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

* Corresponding author Tel:+82-32-590-3404, Fax:+82-32-590-3409, E-mail:Jdhd@hanmail.net(Chang, D.)

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상 선정 및 조사내용

최근 활발하게 추진 중인 하수관거정비 임대형(BTL)민 자사업 중 2008년 환경관리공단에서 일괄 수행하여 관련 자료의 확보가 용이한 Gim시를 포함한 6개 지자체를 대상으로 연구를 수행하였다.

2008년 6월 1일~6월 30일까지 사업 지역내 기 설치관거의 10~15%에 대해 CCTV 및 육안조사를 통해 관거상태를 조사하고, 지자체별 상관도 조사 대상지역을 선정하기 위해 CCTV조사 완료지점 중 1차로 하수배제방식, 관거 부설년도 등을 분석하여 해당 지자체의 특성을 대표할 수 있는 처리

분구를 선정하였다. 현장답사를 통해 일정유량이 확보될 수 있도록 하류구간을 선별하고, 인구의 밀집도, 관거의 종류, 관거 결합항목의 중요도, I/I조사 가능성 여부, 조사 작업의 용이성 등을 고려하여 각 지자체 별로 2~4개의 상관성 조사지점을 최종 확정하였다. 이후 각 지점별 유량조사를 통해 I/I발생량을 산정하고, 하수의 수질특성을 파악하기 위해 BOD₅, COD_{Cr} 등 주요항목에 대해 수질조사를 병행하였다. 구체적인 조사내용은 Table 1에 나타내었다.

2.2 관로 조사현황

각 지자체별 조사관로에 대한 정보와 해당구간의 CCTV 조사내역, 사업대상지역내 전체 조사량은 Table 2와 같다.

Table 1. Investigation area and item

구 분		세부 조사내용
조사 대상		Gim시, Gyung시, Yang시, Kim시, Tong시, Hong군 (총 6개소)
조사 기관		2008년 6월 1일~6월 30일
조 사 항 목	관 거	• 관거 현황조사, CCTV조사, 육안조사(1,000mm 이상을 대상)
	유 량	• 1차 조사지점 : 4~12개소/지자체 ※ 조사완료 지점 중 관거불량도와 상관성분석을 위해 불량도가 높고 일정량의 유량이 확보된 구간을 대상으로 2~4개소 선정 집중분석(이동식 유량계 활용, 10~15분 간격) • 조사기간 : 4~10일(우기포함)
	수 질	• 1차 조사지점 : 지자체별 9~18개소, 2차 : 지자체별 2~4개소 • 조사항목 : BOD ₅ , COD _{Cr} , SS, - 필요시 전기전도도, Cl ⁻ 추가 • 조사일수 : 4일 이상(우기포함) • 조사회수 : 12회/일(2시간 간격)

Table 2. The status of investigation sites and CCTV inspection

구 분	지점번호	관로번호	관로연장 (m)	주행거리 (m)	주행률 (%)	전체조사량(Km, 개소)			
						CCTV	육안	현황	수질
Gim시	PM-3	HS-KP-697	50	50	100	21.7	7.6	176	18
	PM-4	HS-KP-698~HS-KP-700	205	179	87				
	PM-5	HS-KP-701~HS-KP-704	294	294	100				
Gyung시	BK-3	BK-O-04-0008	109.5	109.5	100	16.2	3.5	104	10
	BK-4	BK-O-05-0001	106	106	100				
	BK-5	BK-O-05-0002	205.6	107.4	52				
	BK-6	BK-O-06-0001	153	151.4	98				
Yang시	MG-9	B6618-3001	54	54	100	10.7	3.1	92	11
	MG-11	B6618-3002	37.9	37.9	100				
Kim시	J-4	JR-0034	51	51	100	21.9	3.5	140	10
	J-3	JR-0035~JR-0037	140.1	138	98				
Tong시	P1	BD-C-224	53.1	53.1	100	22.0	3.5	140	10
	P2	BD-C-225	55	55	100				
	P3	BD-C-237	68	68	100				
Hong군	I1	HN43-5519	36	36	100	15.9	5.1	153	9
	I2	HN43-5520	48.9	48.9	100				
	I3	HN36-5521~HN36-5522	73.8	73.8	100				

3. 조사결과 및 고찰

3.1 관거 불량도 조사결과

CCTV를 통해 연구대상 지자체의 관거상태를 파악한 결과, Table 3과 같이 긴급보수를 요하는 A급이 3.6%, 연차별 보수를 요하는 B급이 23.6%, 당면보수를 요하지 않지만 관심과 주기적인 점검이 필요한 C급이 72.8%로 조사되었다.

또한, 환경부(2004)가 하수관거의 불량도 평가항목 중 침입수발생과 관련이 깊은 것으로 제시한 연결관 돌출, 연결관 접합부, 이음부 불량, 부식, 관 파손 및 균열 등 주요 5대 이상항목을 기준으로 본 연구 조사결과를 정리하여 Table 4에 나타냈으며, 이를 이용하여 일반적인 이상항목과 주요 이상항목 간의 침입수발생량 차이에 대해 3.4절에서 비교분석하였다.

Table 3, 4를 검토한 결과, 본 연구대상 지자체의 불량개

소 발생은 3.2~13.8m/개소로 나타났으며, 평균 불량개소 발생은 9.3m당 1개소이다. 이는 서울시의 『하수관거 조사 및 하수도정비 기본설계보고서(2001)』 5m당 1개소에 비해 현격히 낮고, 한강수계 하수관거정비 시범사업의 현장조사 자료를 분석한 결과, 7.5m당 1개소로 본 연구대상지의 결과 값이 다소 낮게 나타났다.

특히, 환경부(2004)에서 제시한 전국 평균 8.6m/개소와 유사한 수준이나, 권영성과 최승철(2004)의 춘천시를 대상으로 한 조사결과 값인 12.8m/개소와 비교 할 경우 다소 높은 결과이다. 또한 고양일산(514m/개소), 성남분당(136m/개소), 안양평촌(55.5m/개소), 군포산본(225m/개소)등과 같은 신도시 지역보다는 현격하게 높은 결과로, 이는 연구대상 지자체가 대부분 자연발생적으로 생성된 구도시로 관거 부설경과기간이 길고 하수관거의 체계적인 관리 미흡 등에 기인한 것으로 판단된다.

Table 3. Research of defective in the pipes by CCTV inspected

구 분	지점번호	조사연장 (m)	불량개소 발생률		불량등급별 발생개소			
			(m/개소)	(개소/km)	계	A	B	C
Gim시	PM-3	50	10.0	100	5	0	1	4
	PM-4	179	11.2	89	16	1	2	13
	PM-5	294	12.8	78	23	0	4	19
Gyung시	BK-3	109.5	11.0	91	10	0	0	10
	BK-4	106	6.2	160	17	0	1	16
	BK-5	107.4	6.7	149	16	0	4	12
	BK-6	151.4	8.9	113	17	0	4	13
Yang시	MG-9	54	3.2	129	17	0	7	0
	MG-11	37.9	4.2	237	9	2	6	1
Kim시	J-4	51	10.2	98	5	0	0	5
	J-3	138	13.8	72	10	0	4	6
Tong시	P1	53.1	10.6	94	5	1	3	1
	P2	55	11.0	91	5	0	4	1
	P3	68	13.6	74	5	2	1	2
Hong군	I1	36	12.0	83	3	0	0	3
	I2	48.9	7.0	204	7	0	3	7
	I3	73.8	4.6	217	16	0	1	15
평 균 (비율%)	-	102.4	9.31	107	11 (100)	0.4 (3.6)	2.6 (23.6)	8.0 (72.8)

주) A: 긴급히 보수를 요하는 상태, B: 연차별로 보수계획을 세워 2~5년 사이에 보수나 개량을 요하는 상태, C: 당면보수나 개량이 요구되지 않지만 주기적인 관찰이 필요한 상태

Table 4. Recorded rate of main defective in the pipes

지자체	지점번호	주요 이상항목 (개소)						불량개소 발생빈도 (m/개소)
		소계	연결관 돌출	연결관 접합부	이음부 불량	부식	관파손 및 균열	
Gim시	PM-3	4	2	0	0	0	2	12.5
	PM-4	13	5	1	3	0	4	15.8
	PM-5	23	8	0	3	0	12	12.8
Gyung시	BK-3	10	0	1	9	0	0	11.0
	BK-4	15	1	0	12	0	2	7.1
	BK-5	14	0	0	10	0	4	14.7
	BK-6	12	0	1	10	0	1	12.8
Yang시	MG-9	6	1	5	0	0	0	9.0
	MG-11	9	5	3	1	0	0	4.2
Kim시	J-4	5	0	0	5	0	0	10.2
	J-3	6	1	0	5	0	0	23.4
Tong시	P1	3	0	0	1	1	1	17.7
	P2	5	0	0	1	0	4	11
	P3	3	0	0	2	0	1	22.7
Hong군	I1	3	1	1	1	0	0	12.0
	I2	9	2	1	5	0	1	5.4
	I3	16	10	0	5	0	1	4.6

주) 주요 이상항목 외 기타는 침입수, 유출수, 타관통과, 곡 관로, 관 침하, 점착 등임.

3.2 I/I 발생량 조사결과

하수관거의 침입수/유입수 발생량을 산정하는 방법은 국내외적으로 크게 상수사용량 평가법, 일최대 유량평가법, 일최대-최소 유량평가법, 야간생활하수 평가법 등이 이용되고 있으나(Mitchell, 2005), 본 조사에서는 국내실정에 가장 적합한 것으로 알려진 야간생활하수 평가법을 적용하였다(환경부, 2008). 해당구간의 관경, I/I발생량, 평균하수발생량 등 세부적인 분석결과에 대해 Table 5에 나타내었다.

조사결과 평균하수발생량 대비 일평균 I/I발생량은 6.95%로 나타났으며, Km당 일 214.7m³, 관경-연장을 고려할 경우 0.569m³의 I/I가 발생한 것으로 분석되었다. 이를 미국 뉴욕에서 하수관거의 보수시행 유무를 판단하고 권고하는 기준인 0.185(m³/day-km-mm)에 따를 경우 Tong시를 제외한 14개소 중 9개소가 해당되어 국내 관거상태를 알 수 있다.

3.3 수질 분석결과

조사구간별 수질특성을 파악하고 하수관거 불량도와 수질과의 상관관계를 분석하기 위해 2시간 간격으로 해당구간의 수질(BOD₅, COD_{Cr}, SS)을 분석하였으며 연구대상지역 중 Gim시의 유량 및 수질조사 위치도를 Fig. 1에 도식하였다. 6개 지자체에 대한 각 지점별 수질분석결과 값은 Table 6에 나타내었다.

3.4 주요인자 간의 상관성 분석결과

3.4.1 관거 불량도와 I/I와의 상관도

전 지점을 대상으로 한 하수관거 불량개소수와 I/I발생량과의 상관성은 Fig. 2에서와 같이 상관계수(R²)값이 0.647로 해수의 영향이 심한 Tong시로 인해 산분포의 분산이 유발됨으로 Tong시를 제외하고 회귀분석을 재 실시한 결과, 하수관거 불량개소수와 I/I발생량간의 상관관계식은 각각 Y₁=0.4536X₁+5.1507, Y₂=0.5059X₂+5.2137로 도출되었고, 상관계수(R²)는 0.809, 0.799로 높게 나타났다.

Table 5. The result of I/I volume calculation

지자체	지점번호	관로연장 (m)	관 경 (mm)	I/I 발생량			평균하수 발생량(m ³ /일)
				(m ³ /일)	(m ³ /일-km)	(m ³ /일-km-mm)	
Gim시	PM-3	50	600	2	40.0	0.067	186
	PM-4	205	600	2	7.8	0.013	374
	PM-5	294	600	12	40.8	0.068	218
Gyung시	BK-3	109.5	400	12.3	112.3	0.281	38
	BK-4	106	400	9.1	42.2	0.106	38
	BK-5	205.6	400	22.7	110.4	0.276	117
	BK-6	153	400	29.2	50.9	0.127	198
Yang시	MG-9	54	400	9	166.7	0.417	55
	MG-11	37.9	400	52	1,372	3.318	722
Kim시	J-4	51	300	27.6	541.2	1.804	494
	J-3	140.1	300	12.3	87.8	0.293	399
Tong시	P1	53.1	400	6	113	0.283	-
	P2	55	400	484	8,800	22.00	-
	P3	68	600	412	2,088	5.221	449
Hong군	I1	36	500	9.2	255.6	0.639	18.2
	I2	48.9	500	6.2	126.8	0.317	37.8
	I3	73.8	500	15.3	96.4	0.241	65.5
평균	-	102.4	453	15.8	214.7	0.569	227.3

주) Tong시는 해수면과 표고차이가 적어 관로내 해수의 역 유입(CI: 32.6~3,542mg/L 관측)으로 만조, 간조때에 유량변화가 극심해 I/I발생량 평균과 상관도 분석시 별도로 구분함.



Fig. 1. Situation map of flow and water quality investigation (Gim Si)

여기서 Y_1 =전체 이상항목에 따른 I/I발생량(m³/일),
 (Y_{1-1} : Tong시 포함)
 X_1 =전체 이상항목 개소수, (X_{1-1} : Tong시 포함)
 Y_2 =주요 5개 이상항목에 따른 I/I발생량(m³/일),
 X_2 =주요 5개 이상항목 개소수

다음 Fig. 2에서 보는 바와 같이 추세선과 비교하여 경계 지점보다 훨씬 하단에 위치한 (이상항목 개소수, I/I량 (23,12), (31,15)) 데이터 포인트는 침입수의 유입량보다 누수량이 과다한 지역으로 이는 지하수위가 낮을 것으로 예상되는 하천의 상류지점이며, 이와 반대로 추세선 상단에

Table 6. Result of water quality at each local authorities

지자체	지점번호	일평균 수질 (mg/L)			
		CODcr	BOD ₅	SS	Cl ⁻
Gim시	PM-3	239.9	110.3	54.8	
	PM-4	231.5	103	98.5	
	PM-5	249.9	115	66.8	
Gyung시	BK-3	77.8	56.5	35.8	
	BK-4	134.5	87.3	56.7	
	BK-5	87.1	65.7	21.8	
	BK-6	100.1	77.2	25.4	
Yang시	MG-9	50.3	25.9	22.3	
	MG-11	42.8	24.9	18.6	
Kim시	J-4	99.3	78.2	30.4	
	J-3	92.7	71.2	43.3	
Tong시	P1	23.1	21.6	35.1	32.6-3,542
	P2	27.0	27.9	24.2	32.6-3,542
	P3	18.3	16.4	12.2	32.6-3,542
Hong군	I1	135.2	84.9	62	
	I2	111.2	69.6	51.9	
	I3	112.3	65.9	46.2	

주) 일평균 수질은 수질분석 결과를 일자별로 합산하여 평균한 값임.

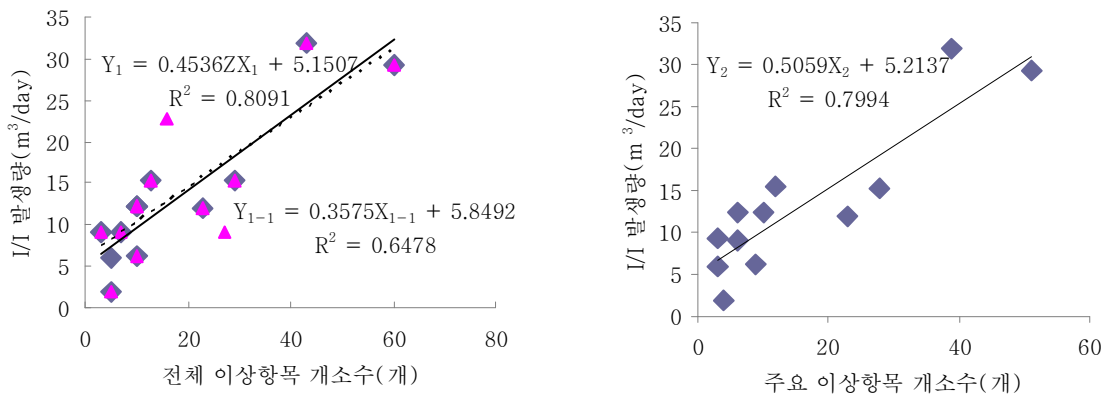


Fig. 2. Correlation between defective number of sewer pipes and I/I volume

위치한 포인트는 침입수의 누수보다 유입량이 많은 지점으로 지역적 특징은 지하수위와 관저고의 높이가 큰 차이가 없는 지역 또는 계곡수와 농업용수가 유입될 가능성이 있는 지역으로 판단된다.

특히, 본 조사와 유사한 방식으로 최승철(2005)에 의해 시행된 춘천지역 하수관거 불량도와 I/I상관도 분석결과에 의하면 회귀분석 식 $Y=0.088X+0.078$ (여기서, $Y=I/I$ 발

생량($m^3/일$), $X=$ 이상항목 개소수), 상관계수 R^2 는 0.78로 나타났으며, 전국 하수관거정비 사업타당성조사 보고서(환경부, 2006)에서는 $Y=4.2483X$, 상관계수 R^2 는 0.88로 상관성이 높게 나타났다. 또한 한강수계 하수관거정비 시범사업의 현장조사 자료를 재정리하여 분석한 결과, Fig. 3과 같이 $Y=0.6407X$, 상관계수 R^2 는 0.672로 나타나 일관된 추세를 확인할 수 있었다. 이는 이상항목의 개소수가 많을수

Table 7. Comparison to a result of a leading research and I/I estimator of research

구분	이상항목 (개소)	연구자 (연구기관)	I/I 추정량 (m ³ /day)	회귀분석 식 (R ²)
	1	MOE	4.248	MOE(2006) $Y=4.2483X, (0.88)$ CHOI(2006) $Y=0.088X+0.078, (0.78)$ HANGANG(2002) $Y=0.6407X, (0.67)$ CHANG(2009) $Y=0.454X+5.151, (0.81)$ Where, $Y = I/I \text{ volume (m}^3/\text{day)}$ $X = \text{spot of pipe badness}$
		CHOI	0.166	
		HANGANG	0.640	
		CHANG	5.605	
	2	MOE	8.496	
		CHOI	0.254	
		HANGANG	1.281	
	9	CHOI	6.059	
		MOE	38.232	
		CHOI	0.870	
	10	HANGANG	5.766	
		CHANG	9.237	
MOE		42.483		
CHOI		0.958		
		HANGANG	6.407	
		CHANG	9.691	

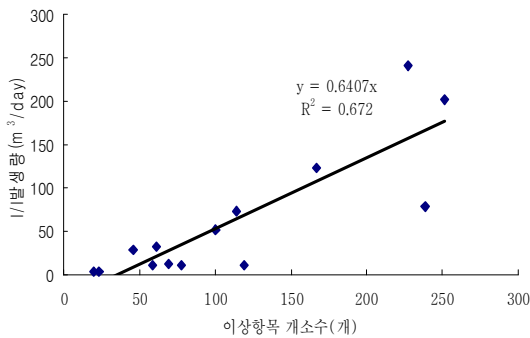


Fig. 3. Correlation between defective number of sewer pipes and I/I volume at demonstration project of HAN river hydrosphere

록 관거내 침입수의 유입가능 지점이 증가하여 I/I발생량이 증가한 것으로 산출된 회귀분석 식에 따라 I/I발생량으로부터 관거의 이상개소를 산정할 수 있고, 이를 통해 개·보수 물량과 사업비도 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

지금까지 수행된 하수관거 불량개소수와 I/I발생량과의 상관성조사 연구의 결과 값을 정확화하여 이를 회귀분석 식으로 정리하면 Table 7과 같다.

위의 Table 7과 같이 그 추정 값은 환경부 조사결과> 본 연구 조사결과> 한강수계 자료결과> 최승철 조사결과의 순으로 그 추정량간의 편차는 심한 것으로 나타났다. 이는 대상지역의 특성, 조사시점, 관거 매설년도 및 이상항목의 중요도(연결관 결함, 관 파손 등) 차이로 판단된다. 지금까지 관거 불량개소와 I/I발생량과의 함수식을 이용한 사례는 없으나 한강수계 관거정비 사업과 본 연구의 추정 값이 중간수준으로 유사하여 타 지역에서도 적용가능 할 것으로 판단되며, 나머지 두 값은 극단적인 결과 값을 보여 충분한 보정을 거친 후 적용되어야 할 것으로 보인다.

또한 전체 이상항목을 이용한 경우와 주요 이상항목만을 이용한 경우의 I/I발생량을 비교한 결과, 주요 이상항목에서 6.7% 크게 나타났지만 예상과는 달리 그 편차는 크지 않았다. 이는 Table 3, 4에서와 같이 주요 이상항목 비율이 높은 구간이 연구대상으로 선정된 사유 등에 기인한 것으로 실제 차이는 이보다 훨씬 상회할 것으로 예측됨에 따라 개보수를 위한 우선순위를 평가할 경우 이상항목별 차등배점은 고려되어야 할 것으로 사료된다.

이와 같이 관거 불량률과 I/I발생량과의 상관관계에 대해 검토한 결과, 연구대상 관거내 이상항목이 많을수록 I/I발생량은 정비례하게 증가하였다.

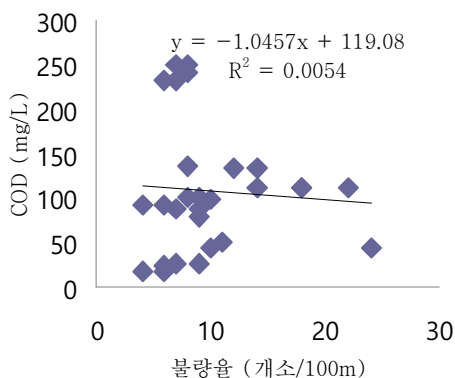
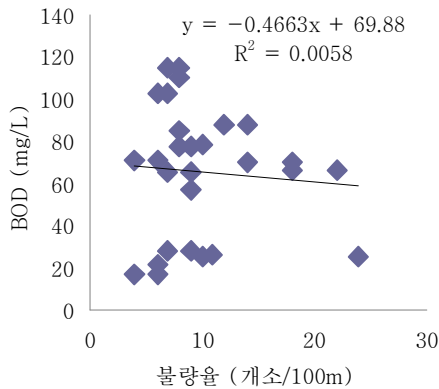


Fig. 4. Correlation between BOD₅, COD_{Cr} and defective rate

따라서, 하수관거정비사업 추진과정상 커다란 문제점 중 하나인 현장 조사방법을 현행과 같이 사업대상지역의 5-10%를 표본적으로 조사하여 이 결과 값을 일률적으로 확대 적용하여 개보수 물량산정, 사업비산정 및 사업우선순위를 결정하는 방식을 지양하고, 미국 EPA(1991)사례와 같이 1차적으로 I/I(Infiltration/Inflow) 발생량을 조사한 후 미국 뉴욕에서 하수관거의 보수시행 유무를 판단하고 권고기준으로 사용하는 0.185(m³/day-km-mm)이상 또는 환경부에서 제시한 km당 0.2-0.4L/sec 이상의 I/I발생이 확인된 지역을 중심으로 세부적인 관거조사를 시행하고 개보수공사도 이 지역을 중심으로 시행함으로써 관거정비사업의 효율성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4.2 관거 불량률과 수질과의 상관도

하수관거 불량도와 수질과의 상관관계를 분석한 결과, Fig. 4와 같이 BOD₅의 경우 상관계수(R²)는 0.0058, COD_{Cr}은 0.0054, SS는 0.0033으로 나타나 불량도가 높은 구간과 낮은 구간 간 수질의 차이에 있어서 명확한 상관성이 확인되지 않았다.

이는 침입수의 특성이 순수한 지하수만으로 구성되어 있지 않고, 임성호(2001)등이 연구를 통해 입증한 발생하수 100에 대해 누수와 불명수량의 비율이 36대 43정도로 처리장으로 유입되는 하수가 107이 된다는 결과와 연계하여 해석할 경우 불량도가 높은 지점에서는 수시로 누수와 유입이 교차 발생하여 관거 불량도와 수질 간에는 일관된 상관성이 성립되지 않는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 전국 6개 지자체를 대상으로 관거상태 및 I/I발생량 등을 조사하여 I/I발생량과 관거내 불량 개소수와 상관성, 불량률과 수질과의 상관관계를 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구대상 6개 지자체의 불량개소 발생률은 3.2~13.8m/개소로, 평균 불량개소 발생은 9.3m/개소로 나타났다. 이는 전국평균 8.6, 서울시 5.0, 한강수계 7.5 보다는 다소 낮은 수치이나, 춘천시 12.8보다는 다소 높고, 고양 일산 514, 군포 산본 225 등과 같은 신도시 지역보다는 현격하게 높은 결과이다. 이는 연구대상 지자체가 대부분 구 도시인 특성과 하수관거의 체계적인 관리미흡에 기인한 것으로 판단된다.

2. 관거 불량개소와 I/I발생량과의 상관성을 회귀분석을 통해 분석한 결과, $Y=0.4536X + 5.1507$ (여기서, Y=I/I발생량(m³/일), X=불량 개소수), 상관계수(R²)는 0.81로 나타났다으며 유사 연구결과와 경향성이 일치하였다. 따라서 I/I발생량으로부터 관거내 이상항목 개소수 산정이 가능하고 이를 통해 개보수물량과 사업비 추정도 가능할 것으로 판단된다.

3. 관거 불량도와 수질농도 간 상관도를 분석한 결과, BOD₅의 경우 상관계수(R²)는 0.0058, COD_{Cr}은 0.0054, SS는 0.0015로 불량도가 심한구간과 경미한 구간 간 수질의 차이에 있어서 상관성이 확인되지 않았다. 이는 침입수의 특성이 순수한 지하수만으로 구성되어 있지 않고, 특히 불량 지점에서 수시로 누수와 유입이 교차 발생하여 관거 불량도와 수질 간에는 일관된 상관성이 성립되지 않는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 권영성, 최승철, 원철희, 심무경, 임재명, (2004) 하수관거 불량률과 침투수/침입수(I/I)와의 상관성 분석, **대한상하수도학회 추계학술발표회 논문집**, pp. 1-8
2. 박명균, 김대성, 안원식, 오정미, (2006) 하수관거보수 순위결정을 위한 I/I량에 대한 정량/정성 분석의 실행 연구, **상하수도학회지**, 20-1, pp. 53-62
3. 이재훈, (2007) **하수관 보수공법선정을 위한 최적화 및 합류식 하수관거 월류수의 대책시설 용량산정에 관한 연구**, 중앙대학교 토목공학과 박사학위 논문
4. 임성호, 이재용, 최윤관, 안경모, (2001) 합류식 하수관거의 침투수/유입수(I/I)산정 및 월류수(CSOs) 분석연구, **대한토목학회 학술발표회**, pp. 85-87
5. 최계운, 김기형, 전영호, (2002) 관거내 침입수 및 유입수(I/I) 산정방법의 비교 분석, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, pp. 57-60.
6. 최승철, 권영성, 임재명 (2005) 하수관거 침투수/유입수와 불량률의 상관성 분석, **대한상하수도학회지 제19권 2호**, pp. 221-227
7. 환경부, (2004) **전국하수관거정비 타당성조사 ('01-04)**
8. 환경부, (2006) **하수관거정비계획 수립지침 개발 등에 관한 연구**
9. 환경부, (2008) **국내실정에 맞는 하수관거 침입수/유입수 산정 방법 및 적용방안 연구**
10. EPA, (1991) **Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation, Handbook**, pp. 82-86.
11. Mitchell, P.S, (2005) **Annual Infiltration/Inflow Report**, Orange County Sanitation District, Winter 2005