

하수관거 침투수/유입수(I/I)와 불량률과의 상관성 분석

Analysis on Correlation between Infiltration/Inflow and Defective Rate in Sewer

최승철* · 권영성 · 임재명

Choi, Seung-cheol* · Kwon, Young-sung · Rim, Jay-myung

강원대학교 환경공학과

(2005년 2월 18일 논문접수: 2005년 4월 8일 최종논문채택)

Abstract

This study has suggested the base data for decision of maintenance ranking and estimation of maintenance effect in the maintenance project of sewers as based on investigation of the defective rate in the sewer through Infiltration/Inflow(I/I) and CCTV analysis. It also analyzed the correlation between I/I and defective rate of sewer.

As the result of this study, (1) Defective items of sewer was found out one item each 12.97m with an average. (2) By regression analysis, I/I has high correlation with defective rate of sewer like that R^2 is 0.7806. (3) The first thing in the item with bad influence on the I/I was joint badness and secondary was cross connection.

Key words: Infiltration/Inflow(I/I), CCTV, defective rate, joint badness, cross-connection

주제어: 침투수/유입수(I/I), CCTV, 불량률, 접합불량, 타관통과

1. 서론

하수관거는 급격한 도시화와 지하에 매설되는 특징으로 인하여 부실하게 시공된 경우가 많으며, 타관 통과, 우·오수관의 오점, 관의 노후화로 인한 파손과 침하, 이음불량 등의 많은 문제점이 대두되고 있다. 따라서 하수관거의 불량으로 인해 하수관거의 오수배제기능이 효율적으로 운영되지 못하고 있으며, 근처 토양이나 지하수로 하수가 유출되어 심각한 오

염을 일으키기도 한다. 또한, 지하수가 깨진 하수관으로 유입되어 하수의 수질농도를 떨어뜨려 하수종말처리장의 운영에도 많은 문제점을 일으키고 있다. 2003년 현재 하수종말처리장의 유입수 농도가 기준치를 넘는 곳은 전체 231개소 중 22.9%인 53개소에 불과하며, BOD기준으로 20%미만인 하수처리장도 20개소에 이르는데(환경부, 2004), 이러한 원인은 차집시설의 불량(하천 또는 복개하천 차집 등), 하수관거의 불량 등으로 인한 침투수/유입수(Infiltration/

*Corresponding author Tel: +82-33-255-6350, FAX: +82-33-254-6357, E-mail: csc7407@kangwon.ac.kr (Choi, S.C.)

Inflow: I/I)의 유입에 기인되며, 따라서 적정 유량 및 수질의 확보를 위한 체계적인 하수관거 계획 및 정비 가 시급한 실정이다. 그러나 현재 우리나라의 하수관 거 정비사업은 일회적인 준설, 단편적인 CCTV조사 에만 의존한 불량관거의 개/보수 등에 그치고 있는 실정이고, 관거불량 발생의 사전적 예방, 관거 불량 도의 정량적 계량화, 정비사업 시공 전·후 효과검 증, 효율적 정비체계의 부재로 투자대비 정비효과가 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 춘천지역을 대상으로 하여 하수관거의 I/I 발생량과 CCTV 조사를 통한 하수관 거의 불량률을 파악하고 하수관거의 I/I 발생량과 하 수관거불량률간의 상관성을 규명하여, 하수관거 정비 사업시 정비의 우선순위결정 및 정비효과 예측의 기 초 자료를 제시하고자 하였다.

2. 조사지점 및 조사방법

2.1. 조사대상지역

본 연구의 대상지역을 선정하기 위하여 자료수집 및 분석을 통한 예비 표본지역을 선정하였으며, 예비 표본지역을 중심으로 현장 확인 및 예비 관거조사를 실시하여 최종 조사지역을 결정하였다. 조사지역은

하수 배제방식 및 용도지역별 특성, 관거의 종류 및 내구연수, CCTV조사 및 I/I 조사 가능여부를 고려 하여 선정하였다.

조사지역 선정된 강원도 춘천시 H 배수구역은 자 연발생적인 주거와 상업이 혼합되어 있는 지역으로 서, 조사지역을 14개의 조사지점으로 구분하여 조사 를 수행하였다.

총 조사구역의 배수면적은 75.94ha, 합류식 하수관 거 시스템으로 이루어져 있으며, 각 조사지점별 유역 면적과 관거연장, 하수관거의 특성을 **Table 1**에 나타 냈었다.

2.2. 조사방법

2.2.1. I/I 발생량조사

각 조사지점별 발생하는 하수의 유량특성을 파악 하기 위하여 수위와 유속을 동시에 측정할 수 있는 자동유량측정장치(FLO-TOTE II260)를 이용하여 15 분 간격으로 연속 측정하였으며, 하수의 수질특성을 파악하기 위하여 유량측정과 동시에 3시간 간격으로 총 16회 수질조사를 실시하였다. 수질조사는 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P 등 6개 항목에 대하 여 실시하였다.

Table 1. 조사지점별 특성

Site	Catchment area(ha)	Total sewer length (m)	Sewer type(%)			
			Drainpipe diameter		Drainpipe type	
			500mm미만	500mm이상	HP	PE
CH-1	6.81	0.7759	64.5	35.5	88.0	12.0
CH-2	2.37	0.3643	57.7	42.3	86.0	14.0
CH-3	9.27	1.3600	91.0	9.0	57.1	42.9
CH-4	8.18	1.6630	16.9	83.1	61.6	38.4
CH-5	2.78	0.3981	35.1	64.9	100.0	-
CH-6	3.70	0.5074	32.1	67.9	100.0	-
CH-7	3.11	0.5213	60.1	39.9	100.0	-
CH-8	3.08	0.7337	10.2	89.8	100.0	-
CH-9	1.47	0.3933	-	100.0	100.0	-
CH-10	10.26	0.8516	58.3	41.7	97.2	2.8
CH-11	2.79	0.5158	34.5	65.6	99.2	0.8
CH-12	9.05	0.7571	39.9	60.1	100.0	0.0
CH-13	10.69	1.6280	30.7	69.3	97.2	2.8
CH-14	2.43	0.2593	29.8	70.2	78.2	21.8
Total	75.94 ha	15,065.3	42.18%	57.82%	77.6%	12.4%

2.2.2. 하수관거불량률조사

하수관거의 불량률을 판단하기 위해서 하수관거 측정용 CCTV(측정범위: 250~1350mm)를 이용하여 현장조사를 실시하였으며, 현장조사 전에 하수도 대장을 이용하여 조사가 가능한 관경을 예비선정한 후에 조사를 수행하였다. 그리고 현장조사 중 CCTV의 주행이 불가능할 경우에는 반대방향에서 역주행으로 조사를 계속 수행하였다.

3. 조사결과

3.1. 조사지점별 I/I발생량

하수관거 내로 유입되고 있는 I/I는 관로의 유하능력부족, 처리수질의 악화, 처리비용의 증가, 관거의 부동침하, 도로면의 침하·함몰 등의 악영향을 유발한다. 이러한 하수관거 내 I/I 발생량을 산정하는 기법은 크게 물소비량 평가기법, 일평균·최저유량수질 평가기법 및 일 최저유량 평가기법 등이 이용되고 있으며 각각의 산정방법은 다음과 같다.

◎ 물소비량 평가기법

배수구역내 상수사용량을 조사하여 가정에서 하수관거로 배출되는 하수량을 산정하며, 조사지점에서 측정되는 총 하수량에서 상수사용에 의한 하수발생량의 차를 하수관거로 침입하는 유량으로 산정하는 방법이다.

◎ 일평균·최저유량 수질 평가기법

배수구역내 BOD 총 부하량을 이용하여 산정하는 방법으로 I/I의 수질은 0, I/I의 유입량은 24시간 일정하며 유입하수량의 수질은 일정하다는 3가지 가정하

에서 수행하는 방법이다. 대상 측정지점에서 유량 및 수질을 실측하여 일평균, 일 최저유량 및 수질자료를 이용하여 야간 발생하수를 산정하고 침입수량을 산정하는 방법이다.

◎ 일 최저유량 평가기법

강우가 없는 건기시에는 침투수가 하루 동안 일정하며, 일별 하수배출 변화는 엄격하여 하수에 의해서만 영향을 받는 것으로 가정하는 방법으로, 일 최저유량을 이용하여 야간발생 하수를 산정하고 이를 제외시켜 침입수량을 산정하는 방법이다.

조사지점별 I/I 발생량을 조사하기 위하여 하수발생량과 수질특성을 조사하였다.

대표적인 조사지점인 CH-4 조사지점의 조사기간 동안의 유량변화와 시간대별 유량변화 및 수질변화를 Fig. 1에 제시하였다. 조사지점별 1일 평균 하수발생량은 95m³/d~1,019m³/d의 범위를 보였으며 조사지점의 평균 하수발생량은 393m³/d로 조사되었다. 또한 하수발생량 변화특성을 살펴보면, 일반적인 생활하수 발생특성과 유사하게 활동인구가 적은 새벽시간에 하수발생량이 최저치를 보였으며, 아침식사시간대와 저녁식사시간대에 하수발생량이 최대치를 나타내었다. 또한, 조사지점별 하수의 수질특성을 조사한 결과, 일반적인 생활하수 변화 패턴과 유사하게 하수량이 적은 새벽시간대에 오염물질 농도가 최저치를 보였으며, 하수발생량이 많은 아침식사시간대와 저녁식사시간대에 오염물질 농도가 최고치를 보였다.

조사지점별 발생하는 I/I량을 산정하기 위하여 3가지 I/I 평가기법을 이용하여, 조사지점별 I/I 발생량을 Table 2에 나타내었다.

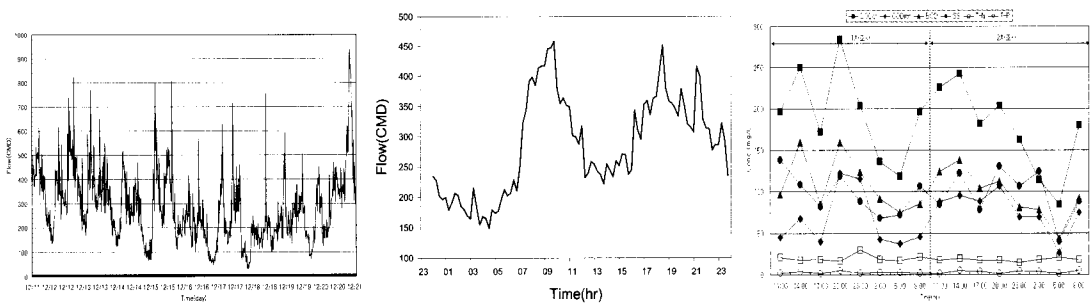


Fig. 1. 조사지점의 조사기간 동안의 유량변화, 1일 시간대별 유량변화 및 수질변화

Table 2. 조사지점별 I/I발생량 및 단위길이당 I/I발생량

조사 지점	평균 유량 (m ³ /d)	물 소비량 평가기법 (m ³ /d)	일평균 · 일최저 유량 수질 평가방법 (m ³ /d)	일 최저 유량 평가기법 (m ³ /d)	평균 침투수/유입수량		관거연장당 I/I 발생량 (m ³ /d-km)
					m ³ /d	%	
CH-1	240	29	99	111	79.9	33.3	103
CH-2	176	44	43	80	55.4	31.5	152
CH-3	401	149	102	182	144.1	35.9	106
CH-4	287	82	76	166	108.1	37.7	65
CH-5	217	105	63	88	85.2	39.3	214
CH-6	125	122	49	96	88.8	71.0	175
CH-7	420	8	150	270	139.7	33.3	268
CH-8	380	130	73	149	117.4	30.9	160
CH-9	230	98	135	160	131	27.0	333
CH-10	782	72	12	80	54.5	7.0	64
CH-11	617	101	37	119	85.6	13.9	166
CH-12	406	2	120	157	92.4	22.8	122
CH-13	256	61	102	132	98.3	38.4	60
CH-14	150	18	12	23	17.6	11.7	68

현장조사결과, I/I 발생량이 가장 많은 지점은 CH-3 조사지점으로 144.1m³/d이며, 가장 적은 지점은 CH-14 조사지점으로 17.6m³/d이다. 조사지점의 평균 I/I발생량은 92.7m³/d인 것으로 나타났으며, 하수량 중 I/I가 차지하는 비율은 7.0~71.0%로 평균 30.9%로 비교적 높게 발생하는 것으로 조사되었다. 본 결과값을 기존 연구자의 조사결과와 비교하여 볼 때 송영일(2004)이 제시한 7.6%에 비해서는 다소 높게 발생하는 것으로 조사되었으나, 공성호(2002)가 제시한 10.8~40.1%와 김남일(2004)이 제시한 30.4%와는 유사한 결과 치를 보였다.

또한 단위하수관거 길이당 I/I 발생량을 보면 가장 많은 지점은 CH-9 조사지점으로 333m³/d-km 이며, 가장 적은 지점은 CH-13 조사지점으로 60m³/d-km 이므로, 조사지점의 평균 단위길이당 I/I 발생량은 153.06m³/d-km인 것으로 조사되었다.

3.2 조사지점별 하수관거 불량발생률

조사결과 불량1개소가 발생하는 길이를 나타내는 불량개소발생률은 4.35m/1개소~24.47m/1개소의 범위이며 평균 12.97m/1개소 인 것으로 나타났다. 이는 서울특별시 “하수관거 조사 및 하수도정기 기본 설계보고서”에 나와 있는 약 5m당 1개소의 관거결함

이 발생하는 것보다는 낮은 수치지만, 고양일산지구(514m/1개소), 부천중동지구(20m/1개소), 성남분당지구(136m/1개소), 군포산본지구(225m/1개소), 안양평촌지구(55.5m/1개소) 등과 같은 신도시 지역보다는 높은 수치를 보였다(환경부, 1997). 이는 조사지역인 춘천시 H배수구역은 위의 신도시들과 같은 계획도시가 아니고 자연발생도시이기 때문에 상대적으로 하수관거불량률이 높은 것으로 판단된다.

3.3. 하수관거 불량률과 I/I발생량과의 상관성 분석

3.3.1. 상관성분석

하수관거 불량률과 I/I 발생량과의 상관성을 분석하기 위하여 Table 3과 같이 CH-9 조사지점을 기준으로 하여 비교 I/I 발생량비와 비교 불량발생 개소비를 산정한 후 회귀분석을 실시하였다.

Fig. 2에 하수관거 불량률과 I/I 발생량과의 상관성을 분석한 결과와, 조사지점별 하수관거불량률과 I/I 발생량을 GIS(Geographic Information System)를 이용하여 나타낸 결과를 제시하였다. 현장조사결과, 하수관거불량률과 I/I 발생량과의 상관율은 R² = 0.7806으로 비교적 높은 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 이때의 회귀모형은 Y = 0.8803X + 0.07806 인 것

Table 3. 조사지점별 하수관거불량률

NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
총길이(m)	775.9	364.3	1360	1663	398.1	507.4	521.3	733.7	393.3	851.6	515.8	757.1	1628	259.3
촬영길이(m)	550	250	749.7	1090	320	420	400	550.5	300.1	600	399.8	600	980.1	220.2
총 불량개소수	53	40	92	47	40	38	65	56	69	22	62	49	54	9
관 불량개소 발생률 (m/1개소)	10.38	6.25	8.15	23.19	8.00	11.05	6.15	9.83	4.35	27.27	6.45	12.24	18.15	24.47
비교 불량발생 개소비	0.42	0.70	0.53	0.19	0.54	0.39	0.71	0.44	1.00	0.16	0.67	0.36	0.24	0.18
지관부	35	28	58	27	21	22	37	35	41	11	33	22	27	5
본관부	10	8	23	9	9	8	15	10	15	7	19	13	9	2
장애물 중 토사퇴적	3	2	6	7	7	4	11	7	11	2	6	9	10	2
	불량수													

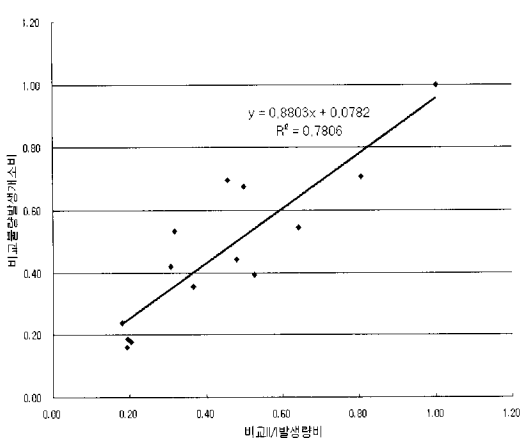
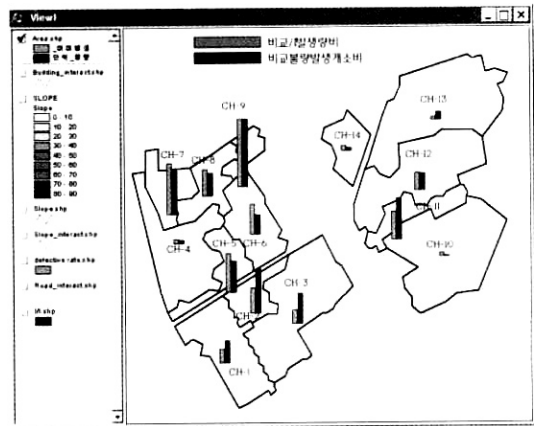


Fig 2. 하수관거 불량률과 I/I발생량과의 상관성 분석



로 조사되었다. 또한, 하수관거 I/I 발생률비와 하수관거불량률을 GIS(Geographic Information System)를 이용하여 도식화한 결과 회귀분석과 유사한 경향을 보이는 것으로 조사되었다.

3.3.2. 하수관거 I/I에 영향을 미치는 관거 불량항목 분석

하수관거에서 발생하는 I/I 발생률과 관거 불량항목과의 상관관계를 고찰하고자 통계프로그램인 SPSS를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다.

상호관계를 고찰하기 위해 비교 I/I 발생량 비를 종속변수로 하고 불량발생지점수가 14개 이하인 부식, 곡관로, 관 침하, 폐유, 모르타르부착 등의 항목을 제외하고 전체불량률 나타내는 지관부와 본관부를 포함하여 지관부, 본관부, 접합관돌출, 접합관 불량, 이음

부불량, 관 파손 및 균열, 타관통과, 토사퇴적, 기타 등의 9개 항목을 독립변수로 지정하였다. 그리고 단계적 변수 선택법을 이용하여 분석을 실시하였다.

Table 4는 SPSS의 다중회귀분석 기법을 이용하여 고찰된 I/I 발생량과 불량항목간의 관계를 제시한 것이다.

SPSS 프로그램의 다중회귀분석결과, 하수관거의 I/I 발생량에 가장 영향을 미치는 불량항목은 접합불량으로 나타났으며, 이 때의 회귀모형에 대한 결정계수는 0.405이었다. 또한 회귀모형은 $Y = 0.029X_1 + 0.087$ (단, X_1 은 접합불량)로 나타났다. 그리고 그 다음으로 영향을 많이 미치는 변수는 타관통과였으며 접합불량과 함께 회귀 모형을 만들었을 때의 결정계수는 0.593이었으며, 또한 이 때의 회귀모형은 $Y =$

Table 4. SPSS를 이용한 I/I 발생량과 불량항목간의 관계

진입/제거된 변수

모형	진입된 변수	제거된 변수	방법
1	접합불량		단계선택 기준: 입력할 F의 확률 <=0.05 제거할 F의 확률 >=.100
2	타관통과		단계선택 기준: 입력할 F의 확률 <=0.05 제거할 F의 확률 >=.100

모형요약

모형	R	R 제곱	수정된 R제곱	주정값의 표준오차
1	.637 ^a	.405	.356	.1969
2	.770 ^b	.593	.519	.1701

a. 예측값(상수), 접합불량

b. 예측값(상수), 접합불량, 타관통과

모형	제공할	자유도	평균제공	F 유의확률
1 선형회귀분석	.317	1	.317	8.182 .014 ^a
	잔 차	12	3.875E-02	
	합 계	13		
2	.464	2	.232	8.103 .007 ^b
	.318	11	2.894E-02	
	.782	13		

모형	비표준화계수		표준화계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
1 (상수)	8.742E-02	.134	.637	.651	.528
접합불량	2.895E-02	.010		2.860	.014
2 (상수)	.183	.124		1.481	.167
접합불량	2.994E-02	.009	.658	3.419	.006
타관통과	-.116	.052	-.434	-2.252	.046

계수a

a. 종속변수:단위길이당 I/I발생량비.

$0.03X_1 - 0.116X_2 + 0.183$ (단, X_1 은 접합불량, X_2 는 타관통과)으로 조사되었으며, 나머지 변수들은 I/I 발생량에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

4. 결 론

춘천시 H 배수구역을 중심으로 현장조사를 통해

하수관거의 I/I 발생량과 하수관거 불량률과 상관성을 분석한 결과 다음과 같다.

1. 조사지역에서 I/I 발생량이 가장 많은 지점은 CH-3 조사지점으로 144.1m³/d이며, 가장 적은 지점은 CH-14 조사지점으로 17.6m³/d이며 조사지점의 평균 I/I발생량은 92.7m³/d인 것으로 조사되었다.

2. 하수관거 내 불량률 판단을 위한 CCTV 조사결과 하수관거의 불량개소발생률은 평균 12.97m/1개소로 계획 신도시지역에 비해 매우 불량한 것으로 조사되었다.

3. 하수관거 I/I 발생량과 관거 불량률에 대한 회귀 분석을 실시한 결과, R²값이 0.7806으로서 하수관거 불량률과 I/I발생량과는 밀접한 관계가 있는 것으로 조사되었다.

4. 하수관거의 I/I 발생량에 가장 큰 영향을 미치는 관거 불량항목은 접합 불량으로 나타났으며, 그 다음으로 영향을 많이 미치는 항목은 타관통과로 조사되었다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 부속 환경연구소와 석재복 합신소재제품센터의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 공성호, 송호면, 황환국(2002), I/I분석결과를 이용한 관

거정비 우선순위 선정, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, pp. D9-D11.

2. 김태현(2000), 하수관거의 침투수/유입수(I/I) 발생특성 분석, 한양대학교 석사학위논문.

3. 김병욱, 최승철, 원철희, 임재명(2003), 도심지 하수관거의 I/I 및 CSOs 특성, 석재연논문집 8, 107-117.

4. 김남일, 조옥상, 허재성(2004), 실시간 하수관거 유지관리 모니터링시스템 개발 및 화성시 처리구역내 설정, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, pp. 461-464

5. 송영일, 김현중, 임향선, 이성기(2004), 광주시의 합류식 및 분류식 하수관거의 침입수/유입수(I/I) 조사, 수처리기술, 12: 1, pp. 83-96

6. 최성현, 최승철, 김병욱, 임재명(2004), 강우시 합류식 하수관거의 월류수 차집용량 산정을 위한 유출특성 분석, 상하수도학회지, 18: 3, pp. 320-330

7. 환경부(1997), 도심하수관 정비기법연구.

8. 환경부(2004), 2003년 운영결과보고서.

9. Reini Wirahadikusumah, Dulcy M. Abraham, Tom Iseley, Ravi K. Prasanth(1998), Assessment technologies for sewer system rehabilitation, Automation in Construction 7 pp. 259-270.