

## 합류식 하수관거의 유출 특성 분석 조사

안기선 · 장성용 · 권영호\*

서남대학교 환경공학과

(2010년 1월 26일 접수; 2010년 3월 17일 수정; 2010년 3월 30일 채택)

## Characteristics and Combined Sewer Overflows

Ki-Sun An, Sung-Ryong Jang, Young-Ho Kwon\*

*Department of Environmental Engineering, Seonam University, Jeonbuk 590-711, Korea*

(Manuscript received 26 January, 2010; revised 17 March, 2010; accepted 30 March, 2010)

### Abstract

It follows in quality and sewage exclusion method of the investigation objective sector and the Combined Sewer Overflows which is suitable in regional characteristics and the confluence area against the rainfall initially a flow and the medulla and measurement - it analyzes the initial rainfall outflow possibility control plan which is suitable in the domestic actual condition and it proposes the monitor ring plan for the long-term flow and pollution load data accumulation. From the research which it sees the Infiltration water/Influent water and CSOs investigation it passes by the phase of hazard chain and Namwon right time 4 it does not hold reverse under selecting. Measurement it used the hazard automatic flow joint seal Sigma 910 machine and in case 15 minute interval of the I/I, it measured a flow at case 5, 15 minute standing of the CSOs. The water quality investigation for the water leakage investigation of the I/I and the sewage from the point which is identical with flow measurement during on-the-spot inspection duration against 6 items which include the BOD sampling and an analysis, when the rainfall analysis for CSOs fundamental investigation analyzed against 18 items which include the BOD sampling. Consequently, for the optimum interpretation invasion water / inflow water of the this investigation area day average · the lowest flow - water quality assessment veterinarian optimum interpretation hazard average per day - lowest flow - it averages a medulla evaluation law department one lowest flow evaluation technique and it selects, it presentation collectively from here it gets, position result with base flow analysis of invasion water / inflow water.

**Key Words :** Combined sewer system, Infiltration, Inflow

### 1. 서론

우리나라에 매설된 하수관거는 계획신도시와 일부 도시의 부분 분류식을 제외한 대부분이 오·우수를 동일관에 배제·운반하는 합류식 관거이다. 일반적으로 합류식 배제방식의 경우 강우시 하류간선 또는 주

간선 하수관거에 우수토실(regulator)을 설치하여 차집관거의 용량 및 처리장 용량을 초과하는 유량에 대해서는 차집관거로 유입되지 않도록 조절하고 있으며, 차집 되지 못한 하수는 직접 방류수계로 유출되게 되는데 강우시 초기 유출수(first flush)는 건기시에 오염물질들이 노면과 하수관거에 축적되어 강우시작과 함께 유출됨으로 인해 고형물질의 농도가 건기시 순수한 하수에 비해 높은 것으로 보고되어있다(최와 이, 2002).

또한, 국내의 하수도 관련사업은 하수처리장 건설 위주로 사업이 시행됨으로써 하수관거 관리의 중요성

\*Corresponding author :Young-Ho Kwon, Department of Environmental Engineering, Seonam University, Jeonbuk 590-711, Korea  
Phone: +82-63-620-0222  
Email: suecess07@empal.com

을 인식하지 못한 결과 강우수의 관리부실에 의한 월류수의 방류, 불명수의 유입, 하수의 누수 등 유입수 및 침입수 관리에 심각한 문제점을 나타내고 있고, 하수처리장의 경우 저농도의 유입수질로 인해 처리시설의 운영 효율 저하 및 수질개선 효과가 미미한 실정이다(남원시).

따라서, 본 연구에서는 남원시 지역에 대하여 표본지역을 선정하여 기존 하수관거의 Infiltration water/ Influent water 및 하수의 누수저감대책과 강우시 미처리된 Combined Sewer Overflows에 의한 수질오염 사전예방 및 침수방지 등 하수관거 기능을 극대화 할 수 있는 선진하수관거 체계를 구축하여 재정투자에 대한 사업효과의 증대와 쾌적한 생활환경을 조성하고자 유량 및 수질조사를 실시하였다. 대상지역의 하수관거에 유입되는 지하수 및 우수와 그 반대로, 누수되는 하수량을 조사하고 이와 더불어 수질조사를 병행하여 시행함으로써 하수량 변동, 부하 특성을 분석하고, 그 결과를 이용하여 I/I 량 및 누수의 발생 특성을 도출하여 사업대상지역의 관거 불량도의 계량화, 사업우선순위 설정, 사업효과 분석 등에 활용하고, 시공 단계별 시공현황 검증과 사후 관거시설의 유지관리단계에 이르는 정비사업 전단계에서 기초자료를 확보하는데 있다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 연구대상지역 선정

본 연구에서는 향후 남원시 하수관거 정비사업의 우선순위, 사업물량 및 시공방법 등의 기초자료를 제공하기 위하여 표본조사를 실시하였다. 표본지역 선정의 기본조건으로서 타당성조사 대상면적은 기 수립된 하수도정비 기본계획상 하수종말처리시설에 발생하수가 유입되는 처리구역 중 현재 오염원이 발생하는 지역 중 메인 차집관로를 대상으로 조사를 수행하였으며, 표본조사 지역은 타당성조사 대상면적으로 하고 4개 이상의 표본지역을 선정하고자 하였다. 또한, 표본지역의 선정기준으로는 다음과 같은 사항들을 고려하였다(김, 1993).

#### ① 하수 배제방식 및 용도지역별 특성

② 관거 시설현황 - 관거 부설년도, 관거 개 · 보수 실적, 관거불량 정도, 최근 침수지역 관거, 용량 부족관거, 관경 및 관종

③ 민원 다발지역 및 지자체의 우선 공사대상 요구지역

④ 주요 처리분구의 최하류지점 중 일정 규모 이상의 하수집수 가능 지점

⑤ 관거 내부조사 기시행 실적여부 검토 (CCTV 및 육안조사)

⑥ 유량계 설치 가능여부 및 유량 · 수질조사 접근 용이성

⑦ I/I 및 CSOs 분석을 위한 기초자료 산정이 용이한 지역

### 2.2. 조사 지점 특성 및 기간

1단계는 자료수집 및 분석을 통하여 예비 표본지역을 선정하였으며, 2단계는 선정된 예비 표본지역에 대한 현장확인 및 조사를 통하여 최종 표본지역을 결정하였다.

이와같이 일련의 단계를 거쳐 남원시의 표본지역의 조사지점은 Table 1에 제시한대로 3개지역으로 나누어 표본지역으로 각각 선정하였다.

Table 1. Quality of sample investigation point

Division	Seomun railroad	Noamdong (Jucheon creek)	Hyanggyodong (Gwangchi creek)
Sample area	Residential area	Densely populated settlement	Densely populated settlement, Agriculture and industry complex
Sewage deconcentrate form	Combined Sewer System	Combined Sewer System	Combined Sewer System
Dimension (ha)	52	11.3	122.9
Use area special	Low-rise residential area	Gathering drainage box	Gathering drainage box
Administrative district	Wangjeong-dong	Noamdong	Hyanggyodong
population (persons)	3,239	290	1,510

표본지역으로 선정된 지점에 대한 현장조사는 Table 2에 제시하였다. 여름철의 경우 2008년 8월 7일~2008년 9월 10일 동안 수행되었으며, 겨울철은 2008년 11월 9일~2008년 12월 9일 동안 수행되었다.

**Table 2.** The spot investigation area and investigation period

Season	Period	Days of inquiry
Summertime	2008. 8. 7~2008. 9. 10	33
Wintertime	2008. 11. 9~2008. 12. 9	31

2.3. 조사 방법

2.3.1. 유량조사

유량측정은 건기시와 강우시를 포함하여 약 60일 동안 수행되었다. 유량은 여름, 겨울철 I/I 및 CSOs 조사지점 모두 자동유량계인 Sigma 910 기계를 이용하여 I/I의 경우 15분 간격으로, CSOs의 경우 5분 간격으로 유량을 측정하였다.

Sigma 910 유량계는 I/I 및 CSOs 조사를 위하여 국내, 외적으로 많이 이용되는 초음파식 유량계로서 그 측정원리는 단면을 통과하는 유속과 수심을 측정하여 유량을 산정함. 유속은 초음파(도플러)방식으로 측정하며, 수심은 담금식 압력변환방식으로 측정하여 유량(유속×단면적)으로 환산한다.

2.3.2. 수질조사

수질조사는 현장조사 기간동안 유량측정과 동일한 지점에서 I/I 및 하수의 누수조사를 위하여 BOD를 포함한 6개 항목에 대하여 시료를 채취 및 분석을 실시하였으며, 강우시 CSOs 기초조사를 위한 분석은 BOD를 포함한 6개 항목에 대하여 시료를 채취 및 분석하였다.

분석항목 중 SS, CODcr, BOD는 1, 2시간 간격으로 계절당 4일(건기 3일, 우기 1일)간 분석하였으며, CODMn, T-N, T-P는 1, 2시간 간격으로 계절당 2일(건기 1일, 우기 1일)간 분석하였다.

**Table 3.** Water quality investigation item and investigation method

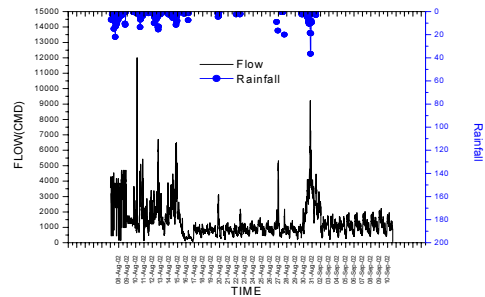
Item of inquiry	Days of inquiry	Space of inquiry
SS, CODcr, BOD	Four days/Season (Dry season three days, Rainy season one day)	Two-our intervals
CODMn, T-N, T-P	Two days/Season (Dry season one day, Rainy season one day)	Two-our intervals
TS, VS, Settleable solids, Cl-, heavy metal, general bacillus, colon bacillus	One day/ Rainy season (CSOs analytical)	Four times (Opening part three times, Latter half one times)

3. 결과 및 고찰

3.1. 유량

3.1.1. 서문철도

여름철 유량조사 결과는 Fig. 1에 보여주고 있는데 최대유량은 12,011.1m<sup>3</sup>/day, 최소유량은 65.9 m<sup>3</sup>/day, 평균유량은 1,360.4 m<sup>3</sup>/day으로 조사되었다.



**Fig. 1.** The summer season west gate railroad flow data.

겨울철 유량조사 결과는 그림 Fig. 2에 보여주고 있는데 최대유량은 5,015 m<sup>3</sup>/day, 최소유량은 12.6 m<sup>3</sup>/day, 평균유량은 696 m<sup>3</sup>/day으로 조사되었다.

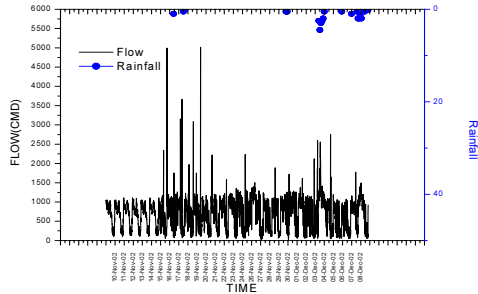


Fig. 2. The winter season west gate railroad flow data.

3.1.2. 향교동(광치천)

겨울철 유량조사 결과는 Fig. 3에 보여주고 있는데 최대유량은 9,118.4 m<sup>3</sup>/day, 최소유량은 10.6 m<sup>3</sup>/day, 평균유량은 966.7 m<sup>3</sup>/day으로 조사되었다.

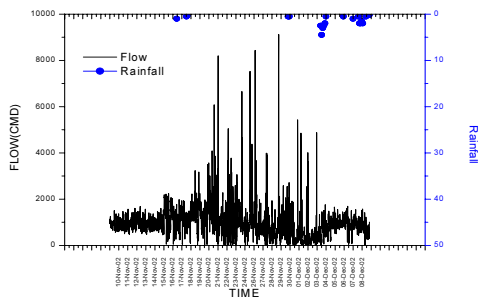


Fig. 3. The flow data of Hyanggyo-dong (Kwangchi cheon) (winter).

3.1.3. 노암동(주천천)

겨울철 유량조사 결과는 Fig. 4에 보여주고 있는데 최대유량은 3,051.7 m<sup>3</sup>/day, 최소유량은 127.3 m<sup>3</sup>/day, 평균유량은 318.9 m<sup>3</sup>/day으로 조사되었다.

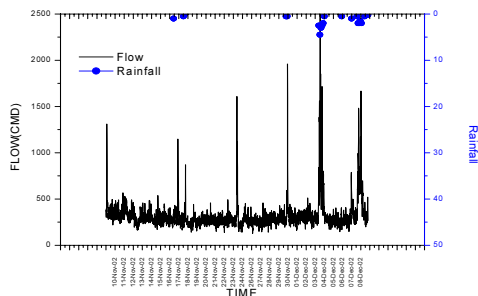


Fig. 4. The winter season Noam-dong (Jucheon cheon) flow data.

3.2. 수질

3.2.1. 서문철도

서문철도의 여름철 우기시의 하수 수질특성을 파악하기 위하여 2시간간격으로 시료를 채취하여 분석하였다.

여름철 조사결과 CODcr은 12.4~38.6 mg/l의 범위를 보였으며, BOD는 8.9~24.8 mg/l, SS는 14.8~39.0 mg/l로 조사되었다(Table 4).

겨울철 조사결과 CODcr은 37.4~307.7 mg/l의 범위를 보였으며, BOD는 30.2~253.3 mg/l, SS는 53.0~406.0 mg/l로 조사되었으며 여름철 건기시 조사에 비하여 유기물 농도가 약간 떨어진 것으로 조사되었다 (Table 5).

Table 4. The water quality data of rainy season (summer)

	Quality of water					
	BOD	CODmn	CODcr	SS	T-N	T-P
Maximum	24.8	19.9	38.6	39.0	17.0	2.1
Minimum	8.9	9.0	12.4	14.8	2.5	0.6
Average	13.0	13.5	19.9	25.8	10.1	1.3

Table 5. The water quality data of rainy season (winter)

	Quality of water					
	BOD	CODmn	CODcr	SS	T-N	T-P
Maximum	30.2	19.4	37.4	53.0	10.0	0.7
Minimum	253.3	160.1	307.7	406.0	63.7	2.9
Average	104.0	66.7	126.9	185.5	24.2	1.3

3.2.2. 향교동(광치천)

향교동(광치천)의 겨울철 건기시의 하수 수질특성을 파악하기 위하여 3일 동안 1, 2시간간격으로 시료를 채취하여 분석하였다.

조사결과 CODcr은 117.8~251.2 mg/l의 범위를 보였으며, BOD는 101.0~244.8 mg/l, SS는 45.0~196.3 mg/l로 조사되었으며 조사기간이 3일간으로 짧고 수질조사가 간헐적으로 이루어진 관계로 일별, 시간별 변화에 따른 유입수질의 변화가 일정한 경향을 보이는 것을 볼 수 있었다(Table 6). 일반적인 도시 하수의 특성으로 판단할 수 있었다.

**Table 6.** The water quality data of dry season (winter)

	Quality of water					
	BOD	CODmn	CODcr	SS	T-N	T-P
Maximum	101.0	58.0	117.8	45.0	20.2	0.7
Minimum	244.8	140.6	251.2	196.3	46.6	2.3
Average	149.4	85.4	163.3	103.7	30.7	1.6

3.2.3. 노암동(주천천)

노암동(주천천)의 겨울철 건기시의 하수 수질특성을 파악하기 위하여 3일동안 2시간간격으로 시료를 채취하여 분석하였다.

조사결과 CODcr은 5.7~32.9 mg/l의 범위를 보였으며, BOD는 2.9~26.5 mg/l, SS는 6.0~31.3 mg/l로 조사되었으며(Table 7), 일별, 시간별 변화에 따른 유입수질의 변화가 일정한 경향을 보이는 것으로 조사되었다.

**Table 7.** The water quality data of dry season (winter)

	Quality of water					
	BOD	CODmn	CODcr	SS	T-N	T-P
Maximum	2.9	2.7	5.7	6.0	5.0	0.2
Minimum	26.5	22.5	32.9	31.3	9.9	0.5
Average	9.6	8.5	12.6	17.7	6.5	0.3

3.3. 건기시침투수/유입수 산정

남원시의 건기시 침투수/유입수 산정을 위하여 사용된 방법은 물소비량 평가기법, 일 평균·최저 유량 수질 평가기법, 일최저 유량 평가기법 등을 이용하여 침투수/유입수량을 산정하였다.

3.3.1. 물소비량 평가기법

물소비량 평가기법이란 배수구역내 상수사용량을 조사하여 가정에서 오수관거로 배출되는 하수량을 산정하며, 하수종말처리장에서 측정되는 총 하수량에서 상수사용에 의한 하수발생량의 차를 관거로 침투되는 유량으로 산정하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 침투수를 산정할 때 고려되어야 할 사항은 상수도 외에 지하수 및 생수의 사용량에 대한 부분이다(김과 공, 2003). 본 조사지역에 대한 물 소비량 평가법의 적용은 먼저, 표본 지역내의 인구를 이용하여 급수지역 상수도 사용량을 산정 하였으며, 다음으로 이를 이용하

여 실제의 측정된 하수유량과의 차를 이용하여 I/I를 해석하였다. 이때 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.

상수도의 사용량은 표본 지역의 인구수를 토대로 평균 상수사용량(인구수×급수량원단위(429))을 적용하여 산출하였으며 이들이 하수도로 유입되는 회귀율 74%~92%(수자원계획의 최적화연구-1차용수 수요 추정 시스템 개발 연구, 건교부, '97)의 중간값 86.3%, 오수전환율은 85%를 적용하여 하수량을 산출하였다.

**Table 8.** I/I analysis result by the water consumption assessment technique

	Season	Use of water (m <sup>3</sup> /d)	Infiltration (m <sup>3</sup> /d)	Average sewage (m <sup>3</sup> /d)	Average sewage comparison ratio (%)	Infiltration ratio (m <sup>3</sup> /d/mm-km)
Seomun railroad	Summer time	713	70	938	7.5	0.034
	Winter time	713	-401	618	-64.9	-0.05
Noam-dong (Jucheon creek)	Summer time	61	205	282	72.8	0.144
Hyanggyo-dong (Gwangchi creek)	Winter time	316	258	660	39.1	0.054

3.3.2. 일 최저유량 평가기법

일 최저유량 평가기법은 강우가 없는 건기시에는 침투수가 하루 동안 일정하며, 일별 하수 배출 변화는 엄격하게 가정하수에 의해서만 영향을 받는 것으로 가정하고 장시간 관거내의 유량과 수질을 지속적으로 모니터링하면, 오염부하가 거의 없으면서 적은 유량이 흐르는 것을 포착할 수 있는데, 이것을 대상지역의 건기시 I/I로 간주하는 방법이다(신 등, 2004). 여기서는 본 조사에서 측정된 건기의 일별 유량을 분석하여 하루 중 최저유량을 각각 찾은 후 이들을 평균한 값을 대상지역의 건기시 I/I로 간주하였다.

**Table 9.** I/I analysis result by the day the lowest flow assessment

	Season	Infiltration (m <sup>3</sup> /d)	Average sewage (m <sup>3</sup> /d)	Average sewage comparison ratio (%)	Infiltration ratio (m <sup>3</sup> /d/mm-km)
Seomun railroad	Summer time	676	938	72.1	0.322
	Winter time	169	618	27.4	0.021
Noam-dong (Jucheon creek)	Summer time	257	282	91.0	0.180
Hyanggyo-dong (Gwangchi creek)	Winter time	526	660	79.7	0.111

3.3.3. 일 평균 · 최저유량 수질 평가기법

일 평균 · 최저유량-수질 평가기법은 일평균 유량 및 일평균 최소유량과 일평균 BOD 농도 및 최저 농도의 자료를 이용하여 산정하는 방법으로 침입수의 BOD는 거의 0에 가깝다고 가정하여 해석하는 방법이다 (이 등, 2003).

**Table 10.** I/I analysis result by the day average · the lowest flow water quality assessment

	Season	Infiltration (m <sup>3</sup> /d)	Average sewage (m <sup>3</sup> /d)	Average sewage comparison ratio (%)	Infiltration ratio (m <sup>3</sup> /d/mm-km)
Seomun railroad	Summer time	403	938	43.0	0.192
	Winter time	54	618	8.7	0.005
Noam-dong (Jucheon creek)	Summer time	249	282	88.3	0.175
Hyanggyo-dong (Gwangchi creek)	Winter time	466	660	70.6	0.098

3.3.4. 침입수/유입수(I/I)의 최종해석

이상의 해석 결과로부터 본 조사 지역의 침입수/유입수의 최적 해석을 위해 일평균 · 최저유량-수질평가법과 일최저유량 평가기법을 평균하여 선정하고 여기서 얻어진 결과를 토대로 Table 11에 침입수/유입수 등의 유량분석 자료를 종합하여 제시하였다.

**Table 11.** I/I final interpretation

Spot	Season	Actual survey flux (m <sup>3</sup> /d)	Flux analysis			
			Dry season average flux (m <sup>3</sup> /d)	Infiltration		Rain inflow Cumulative inflow tendency formula (X=Rain intensity) (Y=outflow flux)
				Average (m <sup>3</sup> /d)	Ratio (%)	
Seomun railroad	Summer time	938	539.5	57.55	0.257	Y=953.9+295.1X-12.6X <sup>2</sup>
	Winter time	618	111.5	18.05	0.013	
Noam-dong (Jucheon creek)	Summer time	282	253	89.65	0.1775	Y=473.2-699.3X+1195.2X <sup>2</sup>
Hyanggyo-dong (Gwangchi creek)	Winter time	660	496	75.15	0.1045	Y=1122.7-350.5X+143.1X <sup>2</sup>

3.4. 합류식 하수관거의 월류수(CSOs) 분석

강우시 CSOs 유량 및 수질 조사는 구 왕정철교 지점을 선정하여 겨울철에 초기강우오염도를 분석하였다.

CSOs 조사지점이 구 왕정철교 밑 하천으로 방류되는 지점이었고, 건기시에는 유량이 전혀 없는 지역이었다.

**Table 12.** CSOs Investigation point, Investigation duration and rainfall intensity

Spot	Place	Period	Rainfall (mm)	Rain intensity (mm/hr)	Note
Old wang-jeong iron bridge	Old wangjeong iron bridge bottom	2008.12.4	15	1.1	

CSOs 분석 결과에 의하면, 본 지역의 측정기간 중 기록된 강우는 15 mm로서 충분한 강우사상조건에서 강우의 시작과 동시에 유입수량이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

COD 및 SS 등의 농도는 강우의 유입과 함께 조사 지점의 특성상 개수로인 관계로 하천 하상의 침전물의 재부상, 지표면의 세척수 등의 영향으로 초기에 SS 및 유기물의 농도가 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으나, 하수의 유량이 크게 증가하기 시작하면서 초기의 세정에 의한 지표 오염이 제거되고 유입된 대량의 강우로 인한 희석 등의 영향으로 농도가 크게 낮아지는 현상을 나타내고 있다.

**Table 13.** The winter first rainfall pollution level analysis result of Wangjung-iron bridge

Division	Early rain pollution analysis				
Rain period	2008. 12. 4. 17:25 ~ 2008. 12. 5. 7:00				
Rainfall (mm)	15				
Rain duration (hr)	14				
Average rain intensity (mm/hr)	1.1				
All flow volume (m <sup>3</sup> )	1266.6				
Flow amount /Rainfall (m <sup>3</sup> /mm)	84.4				
Flux weighted average concentration (mg/L)	BOD	CODcr	SS	T-N	T-P
	85.4	103.6	130.8	14.3	0.9
Pollutant loadings (kg)	71.8	87.1	110.1	12.0	0.8
Per rain duration pollutant loadings (kg/day)	17.9	21.8	27.5	3.0	0.2

**4. 결론**

조사 지역의 I/I 분석 및 CSOs에 대한 조사를 하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1. 서문철도의 경우, BOD는 우기시(8.9~24.8 mg/l) 보다 건기시(30.2~253.3 mg/l)에 높게 나타났다.

2. I/I의 최종 해석에 의하면, 서문철도 여름철 침입율이 0.257 m<sup>3</sup>/d/mm-km로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 겨울철 서문철도 지점이 0.013 m<sup>3</sup>/d/mm-km로 가장 낮은 수치를 나타내었다.
3. CSOs 분석 결과에 의하면, 강우의 유입과 함께 조사지점의 특성상 개수로인 관계로 하천 하상의 침전물의 재부상, 지표면의 세척수 등의 영향으로 초기에 SS 및 유기물의 농도가 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으나, 하수의 유량이 크게 증가하기 시작하면서 초기의 세정에 의한 지표 오염이 제거되고 유입된 대량의 강우로 인한 희석 등의 영향으로 농도가 크게 낮아지는 현상을 나타내고 있다.
4. 본 연구에서 남원시 합류식 하수관거에 대해 조사하여 본 결과, 하수관거정비 타당성 조사를 전면적으로 하지만, 오염 부하량과 강우량간의 관계를 제시하지 않고 있어, 타 지역과 비교가 곤란하므로 남원시의 종합적인 기초자료를 위해 강우량과 유역면적 등을 고려할 필요가 있는 것으로 사료된다.

**참 고 문 헌**

최상규, 이광호, 2002, 하수배출구역에 따른 하수유량 및 수질변동 특성, 한국환경기술학회지논문, 3(2), 136-137.  
 남원시, 2004, 남원시 하수관거 타당성 조사 I/I 및 CSOs 조사 연구용역에 따른 수질 및 유량조사, 남원시.  
 김태형, 1993, 수질오염과 하수관거 대책에 관한 연구, 한국수처리기술연구회, 1(2), 146-147.  
 김대근, 공민근, 2003, 하수관거 유량자료의 보정방법에 관한 연구, 대한상하수도학회, 17(4), 495-496.  
 신용배, 안세영, 이두진, 홍철의, 2004, 합류식 하수관거 지역에서 강우시 하수처리장 적정운영방안에 관한 연구, 한국물환경학회, 20(2), 134-135.  
 이태홍, 최봉철, 황문장, 임봉수, 2003, 합류식 하수관거의 침투수/유입수 분석 및 월류수에 대한 조사, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2003공동추계학술발표회 논문집, 249-250.