

## 합류식 하수관거 월류수의 지표미생물 배출 특성

# Discharge Characteristics of the Indicator Microorganisms of Combined Sewer Overflows

김 건 하\*

Kim, Geonha\*

한남대학교 공과대학 토목환경공학과

(2006년 5월 17일 논문 접수; 2006년 7월 27일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

Combined sewer overflow (CSOs) is a primary diffuse source degrading water quality of urban streams. In this study, CSOs caused by 5 different rainfall events at an urban watershed located in Daejeon city were monitored for the indicator microorganism concentrations. Event mean concentration (EMC) of the indicator microorganisms were: total coliform =  $2.46 \times 10^6$  CFU/100mL; fecal coliform =  $1.01 \times 10^6$  CFU/100mL; *E. coli* =  $5.20 \times 10^5$  CFU/100mL; and Fecal Streptococci =  $6.08 \times 10^5$  CFU/100mL. In addition, coliform concentrations were well correlated with suspended solid concentrations and the first flush effects were identified. Settling tests were carried out to estimate removal rate of indicator organisms by sedimentation from CSOs. As microorganisms are discharged in association with suspended solid, ten minutes of settlement can lower 44% of indicator microorganism leading.

**Key words:** Coliform, diffuse sources, microbial contaminant, event mean concentration (EMC), water quality

**주제어:** 대장균, 비점원, 미생물오염, 유량가중평균농도, 수질

## 1. 서론

인체건강성 측면에서 수질을 평가할 때 미생물과 그 오염원을 평가하는 것은 매우 중요하다. 병원균은 다양한 점원, 비점오염원을 통해 수체로 유입하게 된다. 대표적인 점오염원에는 하수처리장 방류수가 있으며 있으며 비점오염원에는 불법적인 방류, 야생동

물, 부패조, 가축시설, 매립지, 목초지와 합류식 하수관거 월류수(CSOs: Combined Sewer Overflows), 분류식 하수관거월류수(SSOs: Sanitary Sewer Overflows) 등을 들 수 있다. 그리고 농지에서 사용하는 퇴비와 하수 오니 또한 큰 오염원이 된다. 이와 같은 오염원들은 강우유출수의 형태로 수체로 유입된다.

입을 통해 감염되는 수인성 병원체는 크게 세균, 바이러스, 원충, 기생충으로 분류할 수 있다. 수체내

\*Corresponding author Tel: +82-42-629-7534, FAX: +82-42-629-8366, E-mail: kimgh@hannam.ac.kr (Kim, G.H.)

의 병원성 미생물은 분리 및 검출이 매우 까다롭기 때문에 시료의 채취와 분석이 비교적 용이한 미생물을 모니터링하며 이러한 미생물을 병원균 지표미생물(Pathogen Indicator Microorganism)이라 한다. 지표미생물로는 총대장균군(total coliform), 병원성 대장균(fecal coliform), 대장균군(*E. coli*) 등이 흔히 쓰이고 있다. 인간 또는 동물의 장관으로부터 배출되는 대장균과 이 대장균과 유사한 성질을 가지고 있으며 토양이나 물 중에 널리 분포되어 있는 세균을 총칭하여 대장균군(coliform bacteria)이라 한다. *E. coli* (*Escherichia coli*)는 온혈동물의 장관에 상주하는 세균으로써 그램음성이고 편모를 가지고 있는 간균이다. *E. coli*는 병원성 대장균(fecal coliform)의 하위속이며 따라서 *E. coli*의 검출은 분변에 의한 미생물 오염이 발생하였음을 의미한다. 연쇄상구균(*Fecal Streptococci*)은 젖산균의 한 종류로서 비강 및 인두, 소화관 등의 동물체내에서 발생하므로 분변에 의한 오염지표 미생물로 사용된다.

지표미생물의 다량 검출은 레크레이션 활동, 음용수로의 이용, 수생환경 등을 통해 인간의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있으므로 여러 나라에서 이 분야에 대한 연구와 다양한 수질 기준을 정하여 관리하고 있다. 우리나라의 경우는 환경정책기본법상 상수원수 1급의 기준은 총대장균군 50MPN/100mL 이하이며 2급수 기준은 총대장균군 1000MPN/100mL 이하이며 수영용수 기준이기 때문에 위탁용수 기준이기도 하다.

CSO에는 우수와 함께 지표면 오염물질, 관거내 퇴적물, 미처리된 하수 등이 함께 유출되기 때문에 건기하수에 비해 수배 이상의 고농도를 나타내며 인접수역으로 직접 배출되므로 하천을 오염시키는 주요 원인의 하나로 알려져 있다. 그러나 CSO의 특성에 대한 이해가 부족하여 CSO가 수질에 미치는 영향을 정확하게 파악하지 못하고 있다. 최근 도시하천에 대한 관심이 높아지고 있는데, 생화학적 산소요구량(BOD) 농도와 더불어 공공위생에 직접적 영향을 미치는 지표미생물 농도 또한 적절히 관리될 필요가 있다. Gibson et al.(1998)은 건기시 하수의 *Cryptosporidium* oocysts의 농도가 5-105 oocysts/100L, *Giardia* cysts의 농도가 13-6,579 cysts/100L인 반면, 합류식 하수관거 월류수의 *Cryptosporidium* 농도는 250

-40,000 oocysts/100L, *Giardia*의 농도는 9,000-283,000 cysts/100L 정도로 보고하였는데, 이는 합류식 하수관거월류수에서 유발되는 병원균의 부하량이 상당히 높은 것을 나타낸다. 또한 도시지역 초기강우 유출수를 처리하기 위한 대표적인 방법으로 침전지/저류지를 들 수 있는데 침전에 의하여 제거될 수 있는 지표미생물의 양을 측정할 필요가 있다.

본 연구에서는 도시유역에서 비점원에서 발생하는 지표미생물 배출양상을 파악하기 위하여 합류식 하수관거 월류수의 대장균군과 대장균 농도를 모니터링하였다. 또한 침전에 의한 지표미생물 제거량을 추산하고자 하였다.

## 2. 연구재료 및 방법

### 2.1. 연구유역

본 연구에서 CSO를 측정할 도시유역은 대전시 오정동에 위치하고 있으며 이 유역의 CSO는 대전시 3대 하천 중 하나인 대전천으로 방류된다(Fig. 1(a)). 유역면적은 136.2ha, 인구는 16,289인이며, 토지이용 현황은 주거지역이 73.4%, 상가 5.5%, 비개발지역 6.8%, 도로가 14.2%를 차지하고 있다(Fig. 1(b)). 주거지역의 유출계수를 0.65, 상가지역 0.7, 경사진 비개발지역 0.3, 그리고 도로의 유출계수를 0.8로 (Novotny et al., 1993) 가정하면, 면적비에 의한 추정 유출계수는 0.65이다. 지도 및 직접답사를 통하여 산출한 대상유역의 평균 경사도는 2%이었으며 관망도를 이용하여 산출한 관거 길이는 약 2,500m였다.

### 2.2. 모니터링 프로그램

CSO로 배출되는 지표미생물 농도와 부하를 측정하기 위하여 대상 유역에서 2004년 2월부터 4월까지 3회, 2006년 6월 2회 등 총 5회 강우사상에 대한 강우유출수 모니터링을 실시하였다. 강우유출수 시료채취는 자동 시료 채취기(Xian 1000 Portable Waste Water Samper, Hach Lange Ltd., Salford, UK)를 사용하였다. 매 강우사상마다 강우초기에는 15분 간격, 강우 후반에는 1시간 간격으로 시료채취빈도를 조정하였다. 시료는 시료의 성장, 유량, 유속 등의 시간에 따른 변화를 고려하여 현장시료의 성질을 대표할 수 있도록 채취하였으며, 수질 또는 유량의 변화가 심하

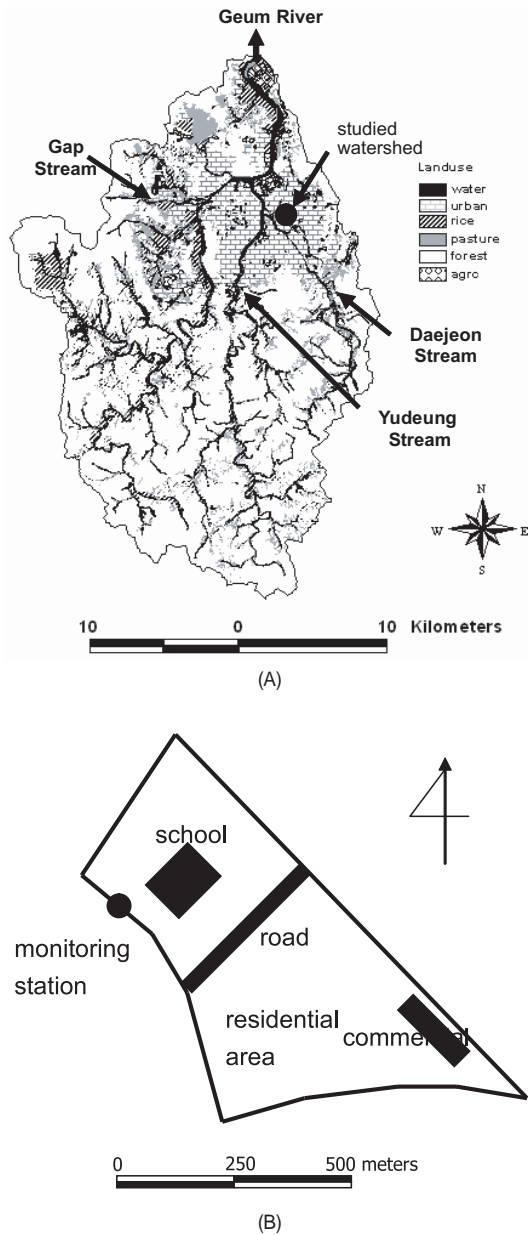


Fig. 1. Studied urban watershed: (A) Location of the studied watershed in the Daejeon City; (B) Shape and schematic land use of the monitored urban watershed.

다고 판단될 때에는 오염상태를 잘 알 수 있도록 인력으로 채취를 하여 채취횟수를 늘렸다. 총대장균군(Total coliform: TC)과 대장균(*E. coli*: EC)간의 비율을 강우시와 비강우시 비교하기 위하여 비강우시 하

수를 수시로 채취하였다. 수질시료는 1리터 용량의 플라스틱 용기에 담아서 4°C 냉장보관 하였으며 실험실로 즉시 이동하여 분석을 시작하였다. 기상자료는 대전지방기상청의 강우자료를 사용하였다.

### 2.3. 침전실험

단순침전을 이용하여 지표미생물의 제거 가능성을 파악하고자 침전실험을 실시하였다. 강우유출수를 1 L용량 칼럼에 채운 후 5분, 10분, 30분, 60분, 120분 침전 후 상등수의 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), TC 농도를 분석하였다. 각 분석항목별, 침전시간별 다른 칼럼을 사용하였으며 TC항목은 중복 실험을 실시하여 그 평균값을 사용하였다.

### 2.4. 시료의 분석

1회-3회 강우사상의 강우유출수 시료채취시 현장에서 휴대용 측정기를 이용하여 용존산소(DO), 산화환원전위(ORP), pH를 현장에서 측정하였다. TC, EC농도 분석은 Standard Methods(1998)의 Heterotrophic Plate Count Method(평판집락법)(대장균군, 9215C)와 Multiple Tube Fermentation Technique(최적확수법)(9213F)를 이용하였다. 대장균 측정을 위한 보조수단으로 3M 사의 Petrifilm for Total coliform and *E. coli* kit을 사용하였다. Petrifilm은 Heterotrophic plate count method(평판집락법)의 변형이며 따라서 단위는 CFU/mL로 표시된다. 4회, 5회 강우사상의 경우 지표미생물의 농도는 TC, EC와 더불어 분변성대장균(Fecal Coliform: FC), 연쇄상구균(Fecal Streptococci: FS)의 농도를 측정하였다. 4, 5회 모니터링의 지표미생물 농도는 막여과법을 사용하였다. 총대장균(Total coliform TC)은 Standard Methods(1998)의 9222B에 의하여 분석하였다. M-Endo medium을 이용하여 35°C에서 24시간 배양하였다. 분원성 대장균(Fecal coliform: FC)은 Standard Methods의 9222D에 의하여 분석하였다. M-FC medium을 이용하여 44.5°C에서 24시간 동안 배양하였다. EC는 Standard Methods의 9230C에 의하여 분석하였다. Nutrient agar-MUG을 이용하여 35°C에서 24시간 동안 배양하였다. FS는 Standard Methods의 mE method(9230C)를 이용하였으며 35°C에서 48시간 동안 배양하였다. 침전실험은 최적확수법과 평판

집락법 두가지 방법으로 분석하여 동일시료에 대한 분석값을 비교하였다.

현장에서 측정하는 DO, ORP, pH의 경우 강우마다 보정을 시행하여 정확도를 유지하였다. 채취한 시료는 즉시 실험하는 것을 원칙으로 하였으며, 그렇지 못한 경우에는 수질오염공정시험방법의 시료 보존방법에 따라 보존하고 8시간 내에 실험하였다. 채취 및 분석의 일관성을 유지하기 위하여 시료 채취자와 각 항목에 대한 분석자는 연구 시작부터 최종 분석까지 동일 분석자가 분석하도록 하였다. 분석된 3개의 결과 중 중간 수치의 결과로부터 10% 이상의 오차범위가 나타나는 시료가 발생할 경우 반복시험을 실시하여 정밀도를 관리 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 건기시 24시간동안 대상유역의 유량과 유기물질, 지표미생물의 농도를 측정한 결과이다. 건기시 도시유역에서 채취한 하수의 TC 평균농도는  $2.4 \times 10^6$  CFU/100mL이었는데 이는 문헌(Metcalf et al., 1991)상의 값인  $10^7-10^{11}$  CFU/100mL 보다 약간 낮은 값이지만 우리나라 합류식 하수관거의 저농도를 고려한다면 인정되는 수치이다.

대상유역의 강우유출수 모니터링은 5회 실시하였다. Table 1은 본 연구에서 모니터링한 강우사상의 요약을 보이고 있다. 총강우량은 각각 13, 15, 34, 48, 40.5mm이다. 1969년부터 2002년까지 시험유역에 대한 기상청 강우자료를 분석하여 보면 10mm 이하의 강우가 64.5%를 차지하고 있으며 10-20mm의 강우가 12.4%, 20-40mm의 강우가 11.4%를 차지하고 있다. 10mm 이하의 강우량에서는 CSO가 거의 발생하지 않으므로 모니터링을 실시하지 않았다.

Fig. 3은 이 조사연구에서 모니터링한 1회-3회 강우사상의 유출 경향을 보이고 있다. Fig. 3(A)는 첫번째 강우유출수 모니터링 결과를 보이고 있다. 강우초기에 유량의 증가와 더불어 부유물질 농도와 유기물질 농도가 증가하고 있다. TC 농도는 유출유량 증가와 더불어 증가하였다가 감소하는 추세를 보이고 있으며 강우 후기에는 다시 증가하는 양상을 보이고 있는데 이는 강우유출유량이 감소하고 하수가 유입되기 때문이다. 두번째 강우유출수 모니터링 결과(Fig.

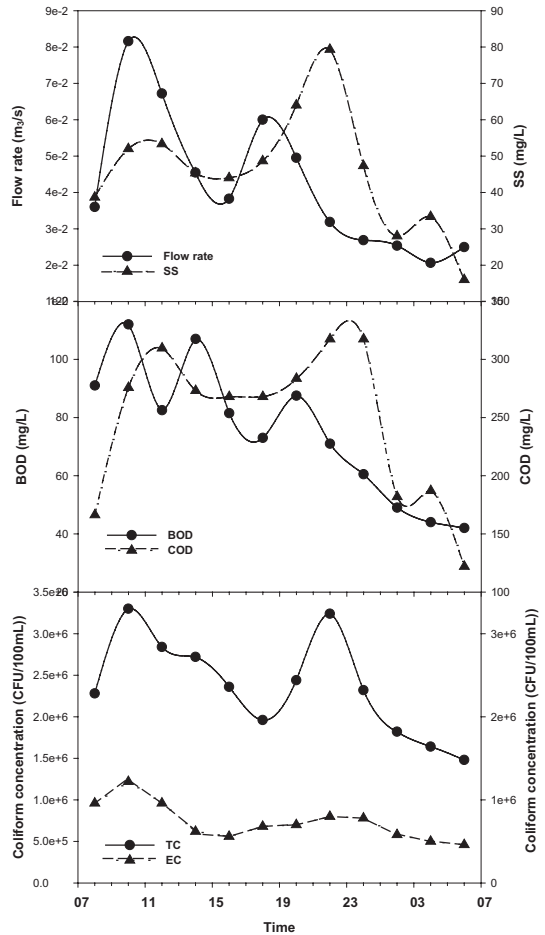


Fig. 2. Flow rate (Q) and suspended solid (SS) (top), chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) (middle), total coliform (TC) and *E. coli* (EC) (bottom) for dry weather condition.

3(b)), 유량과 SS, 유기물의 증가와 더불어 TC 농도가 증가함을 알 수 있다. Fig. 3(C)는 3회차 강우유출수 모니터링 결과이다. 모니터링을 실시한 지점의 차집관거 특성으로, 유량증가가 두번 있었다. 강우초기 유량의 증가시 TC 농도도 같이 증가하지만 두번째 유량 증가시 TC, SS, COD 농도가 증가하지 않음을 볼 수 있다.

Fig. 4는 4회, 5회 강우사상 모니터링 결과이다. Fig. 4(A)에서 침투유량 이전에 오염물질의 농도가 높게 나타나는 초기강우효과가 뚜렷하게 보이고 있다. Fig. 4(B)에 보인 5회 강우사상의 경우 Fig. 3(A)와 비교하여 FC/TC비가 다른 것을 알 수 있다.

Table 1. Description of rainfall events monitored in this research

	1st event 2/21/04	2nd event 4/1/04	3rd event 4/16/04	4th event 6/14/06	5th event 6/21/06
Rainfall depth(mm)	15.0	13.0	34.0	48	40.5
Rainfall intensity(mm/hr)	1.5	1.7	2.2	3.2	3.7
Max. rainfall intensity(mm/hr)	3.0	4.0	4.5	11.5	20.0
Rainfall duration time(hr)	10.0	7.6	15.4	15	11
Antecedent dry days(day)	13	14	6	3	5

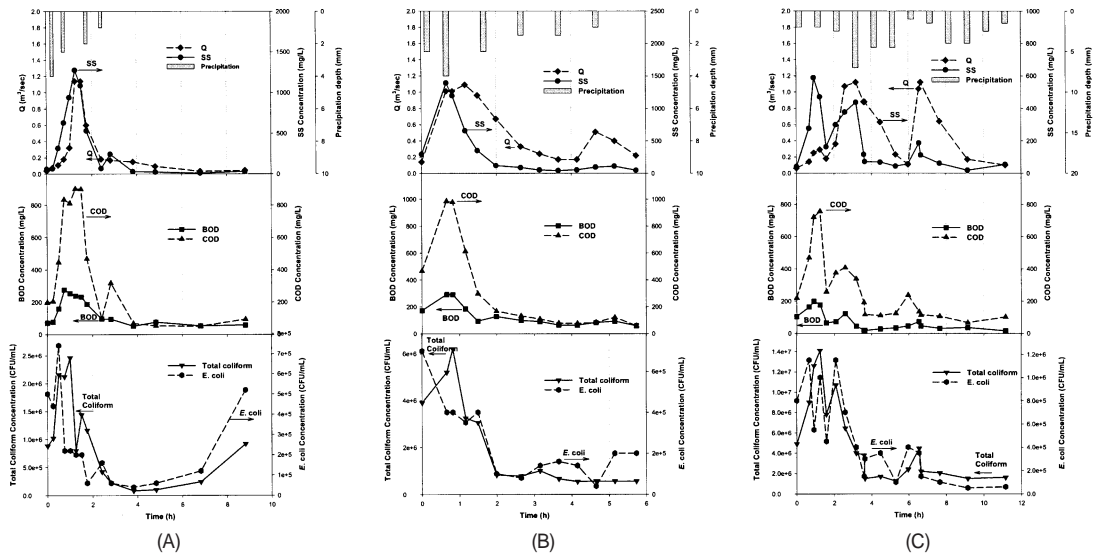


Fig. 3. Precipitation, flow rate (Q) and suspended solid (SS) (top), chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) (middle), total coliform (TC) and *E. coli* (EC) (bottom) for (A) 1st rainfall event; (B) 2nd rainfall event; (C) 3rd rainfall event.

강우유출수의 TC 평균농도는  $3.0 \times 10^4$  CFU/100 mL이었다. 이 수치는 Doran 등(1981)이 측정한 강우유출수의 값인  $3.2 \times 10^3$ ~ $14.5 \times 10^5$  CFU/100mL의 범위내에 든다. EC 평균농도는  $3.9 \times 10^5$  CFU/100mL였다. 도시유역에서 강우유출수의 TC 농도가 건기시 하수농도보다 높은 값을 보이므로 CSO가 하천의 미생물 오염의 주요한 원인이 됨을 짐작할 수 있다.

강우 사상에 따라서 관측된 유량자료와 이에 해당하는 수질 자료를 이용한 EMC 농도는 아래 Eq. (1)에 의해서 계산할 수 있다.

$$EMC_i = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

$Q_i$ 는 관측시간 t에서의 유출량( $\text{m}^3/\text{hr}$ ),  $C_i$ 는 오염물질 농도( $\text{mg/L}$ ), EMC는 강우사상에 대한 평균농도( $\text{mg/L}$ )이다. Table 2는 총 5회 강우사상에 대한 Event Mean Concentration(EMC)를 보이고 있다. TC의 EMC는  $2.46 \times 10^6$  CFU/100mL이었으며 FC의 EMC는  $1.01 \times 10^6$  CFU/100mL, EC의 EMC는  $5.20 \times 10^5$  CFU/100mL, FS의 EMC는  $6.08 \times 10^5$  CFU/100mL이었다. EMC값은 유량의 효과를 제거한 평균 농도의 개념이지만 총 유출유량이 클수록 그 값이 커지는 효과를 보인다. 따라서 본 연구에서 측정된 강우보다 더 큰 강우사상을 포함한다면 평균 EMC 값이 커지게 되지만 한편으로는 배출량의 증가에 따른 하천의 유속도 빨라져 하류에 영향을 미치지 전에 수계를 빠져나가므로 EMC를 산정하기 위하여

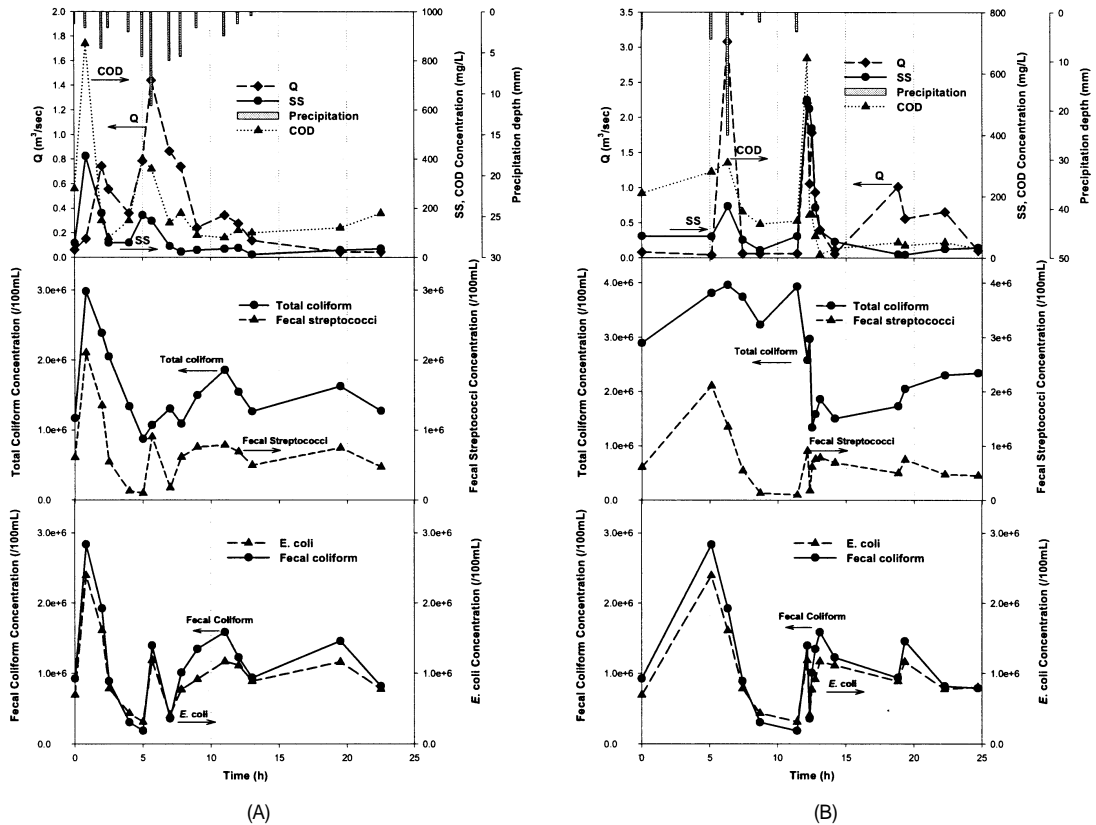


Fig. 4. Precipitation, flow rate (Q), suspended solid (SS), and chemical oxygen demand (COD) (top) and Total coliform (TC) and Fecal Streptococci (middle), fecal coliform (FC) and *E. coli* (EC) (bottom) for (A) 4th rainfall event; (B) 5th rainfall event.

평균에 포함시키는 강우의 크기는 신중히 선택하여야 한다.

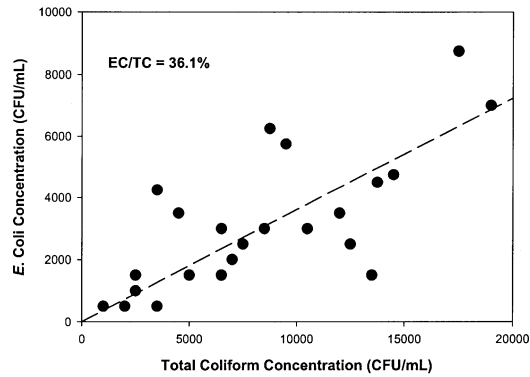
Fig. 5는 TC, EC 농도의 비를 비강우시와 강우시로 대별하여 나타낸 것이다. 비강우시 EC농도는 TC 농도의 36.1%정도 이었으며 강우시는 8.7%이었다. 이는 강우시 비점원 형태로 배출되는 지표미생물 중 분원성 대장균의 비율이 비강우시와 비교하여 낮다는 것을 뜻한다. TC의 사멸률이 0.42/day(Baudisova, 1997)로 EC의 사멸률인 0.202-0.049/day(Medema et al., 1997)보다 큰 것도 그 이유가 될 수 있을 것이다. 즉 강우유출수의 속도가 빠르므로 더 많은 TC가 배출될 수 있을 것이다.

초기강우효과의 발생은 누적부하량을 누적유량에 대하여 도시하여 판정할 수 있다(Geiger, 1987). Fig. 6은 2회 강우유출수의 무차원 누적유량과 SS, COD, TC 항목에 대한 무차원 누적부하량을 보이고 있다.

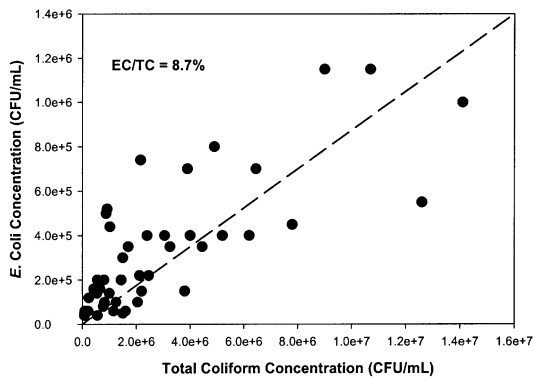
그림에 보인 바와 같이 세 항목에 대하여 초기유출효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 초기강우유출수의 처리는 유기물질 뿐 아니라 지표미생물을 효과적으로 저감할 수 있는 방법이 될 수 있다.

Fig. 7은 연구 유역의 강우유출수의 침전실험 결과를 보이고 있다. 전반적으로 SS, COD, TC 농도는 10분 정도의 침전에 많이 침전하며 그 후의 침전은 감소하는 추세를 보이고 있다. TC 농도는 10분 침전 시 41% 감소하였으며, 같은 시간 동안 SS는 33%, COD는 23% 감소하였는데, 이로 보아 침전에 의해 지표미생물을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

강우유출수에 존재하는 coliform이 부유물질과 흡착된 상태로 유출됨을 여러 논문에서 보고된 바 있다 (Borst et al. 2003; Crainiceanu et al., 2003; Ferguson et al., 2003; Schillinger et al., 1985). 미생물이 부유물질



(A)



(B)

Fig. 5. Comparison of E. Coli concentrations against total coliform concentrations: (A) Dry weather; (B) Wet weather.

에 흡착되어 배출되는 것은 상관도 분석(correlation analysis)를 이용하여 간접적으로 확인할 수 있는데, 통계프로그램인 SPSS 12.0k를 이용하여 시간에 따른 부유물질 농도와 총대장균 농도간의 상관도 분석을 실시한 결과 Pearson 계수가 0.79이며 0.01 수준에서 유의한 결과를 보였다. 미생물이 부유물질과 흡착한 상태로 배출된다면 이는 coliform의 사멸률이 낮은 이유가 될 것이다.

Fig. 8은 TC와 SS간 관계를 보이고 있다. Fig. 8(A)는 CSO의 SS 농도와 TC농도간 관계를 보이고 있는데 상관관계가 존재하고 있음을 알 수 있다. 평균집락법으로 측정된 TC의 농도(CFU/mL)는 CSO의 SS농도(mg/L)의 500배 정도를 보였다. Fig. 8(B)는 CSO의 침전에 의한 SS 제거율과 TC 제거율간 관

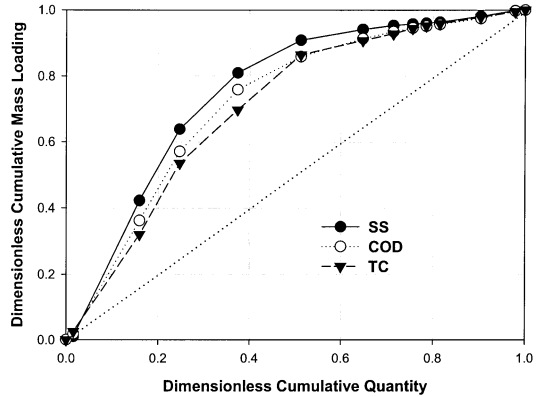
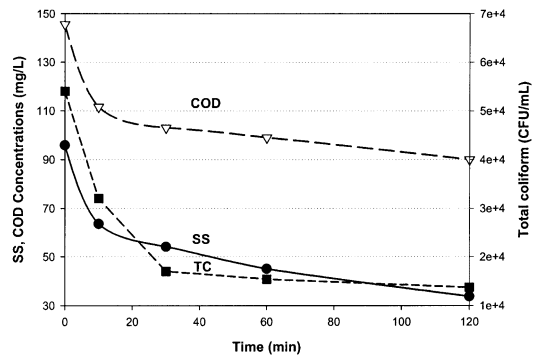


Fig. 6. Dimensionless cumulative mass loading of suspended solid (SS), chemical oxygen demand(COD) and total coliform(TC) against dimensionless cumulative quantity for the second rainfall event.

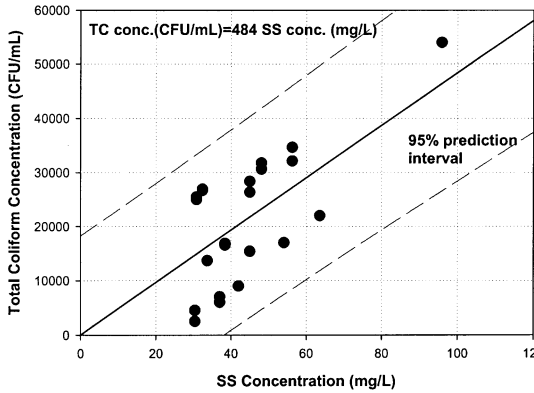


(A)

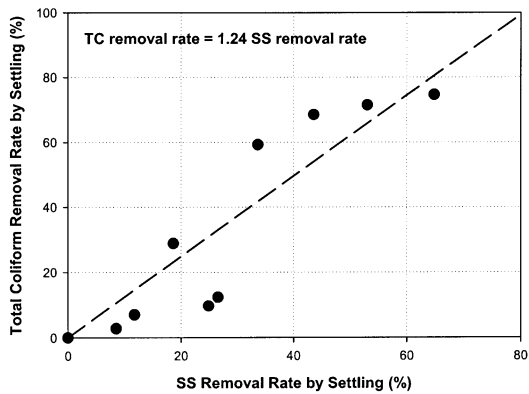
Fig. 7. Settling test results of domestic wastewater discharged from the study watershed for suspended solid (SS), chemical oxygen demand (COD), and total coliform (TC) concentrations.

계이다. SS 제거율과 TC제거율간 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 일반적인 박테리아의 크기는 1-2  $\mu\text{m}$ 이고 분산상태여서 침전하기 쉽지 않지만 강우유출수의 토사 등에 흡착한 상태로 침전하는 것으로 생각된다. 이는 CSO의 침전에 의하여 지표미생물 상당 부분을 제거할 수 있다는 것을 의미한다(Gannon et al., 1983). CSO에 의한 하천오염을 방지하기 위하여 고려되고 있는 침전지, 스월조절지 등의 저감대책이 지표미생물에 대하여도 상당한 효과가 있을 것이다.

Fig. 9는 TC를 측정하는 방법에 따른 계수치의 차



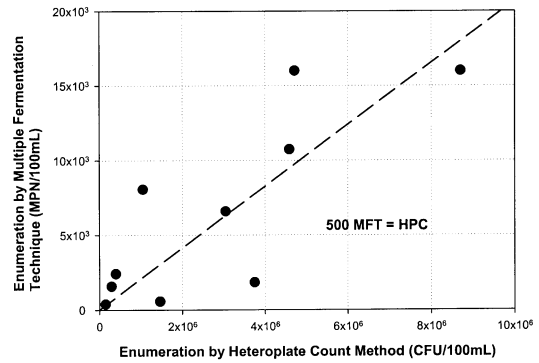
(A)



(B)

**Fig. 8.** Relationship between suspended solid (SS) and total coliform (TC): (A) TC concentration against SS concentration of rainfall runoff; (B) TC removal rate against SS removal rate by settling.

이를 알고자 침전실험의 시간별 시료의 TC를 평판집락법과 최적확수법을 이용하여 분석한 결과이다. 수



**Fig. 9.** Correlations between enumeration results by heteroplate count method against multiple fermentation technique

질기준은 최적확수법을 이용하여 측정하고 있으나 추정실험과 확정실험에 자원이 많이 소요되는 단점이 있는 반면 최적확수법은 추정실험만으로도 계수가 가능하다는 장점이 있다. 시료 동일량에 대한 계수값을 비교하기 위하여 평판집락법의 단위 (CFU/mL)에 100을 곱하였다. 평판집락법에 의한 계수값이 최적확수법을 이용한 계수값보다 500배 정도 큰 것을 알 수 있다.

**Table 2**의 지표미생물의 EMC값을 최적확수법을 이용한 값으로 환산하면 TC의 경우 약 5,000 MPN/100mL이다. 도시하천의 위락목적을 강조하기 위하여 수질 2등급(수영용수)를 적용한다면 TC가 1,000 MPN/100mL이므로 사멸률을 고려하더라도 합류식 하수관거 월류수의 지표미생물 농도를 적절히 관리할 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 비점원에서 발생하는 병원균 지표

**Table 2.** Event mean concentration (EMCs) of combined sewer overflows (CSOs) monitored in this research.

	1st event	2nd event	3rd event	4th event	5th event	Average
Suspended Solid (mg/L)	812	587	208	102	326	407
Chemical Oxygen Demand (mg/L)	671	493	239	229	212	369
Biochemical Oxygen Demand (mg/L)	198	170	60	-	-	142
Total Coliform (CFU/100 mL)	$1.14 \times 10^6$	$3.05 \times 10^6$	$4.36 \times 10^6$	$1.45 \times 10^6$	$2.30 \times 10^6$	$2.46 \times 10^6$
Fecal coliform (CFU/100mL)	-	-	-	$1.05 \times 10^6$	$0.96 \times 10^6$	$1.01 \times 10^6$
E. Coli (CFU/100mL)	$1.88 \times 10^5$	$2.91 \times 10^5$	$3.90 \times 10^5$	$9.13 \times 10^5$	$8.18 \times 10^5$	$5.20 \times 10^5$
Fecal Streptococci (CFU/100mL)	-	-	-	$6.56 \times 10^5$	$5.60 \times 10^5$	$6.08 \times 10^5$



미생물로서 현재 수질기준에 포함된 대장균군과 대장균 농도를 모니터링 하였으며 다양한 측정방법에 의한 측정값을 비교하였으며 부유물질 침전에 의하여 제거될 수 있는 지표미생물의 양을 추산하고자 하였다.

2004년 2월부터 4월까지 3회, 2006년 6월 2회 등 총 5회 강우사상에 대한 강우유출수 모니터링을 실시하였다. 총대장균의 EMC는  $2.46 \times 10^6$  CFU/100mL이었으며 분원성 대장균의 EMC는  $1.01 \times 10^6$  CFU/100mL, *E. coli*의 EMC는  $5.20 \times 10^5$  CFU/100mL, 연쇄상구균의 EMC는  $6.08 \times 10^5$  CFU/100mL이었다. 상관도분석에 의하여 부유물질과 총대장균군 농도간에는 상관관계가 존재하며 침전에 의한 부유물질 제거율과 총대장균군 제거율과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 침전을 이용한 지표미생물의 제거를 평가하기 위하여 침전실험을 실시하였는데 대장균군 농도는 10분간 침전으로 44% 정도의 감소율을 보여, 초기강우유출수의 침전에 의해 지표미생물을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 비강우시 대장균군 농도는 총대장균군 농도의 8.7% 정도였으며 강우시에는 36.1% 정도였다. 평판직립법에 의한 총대장균군 농도가 최적확수법을 이용한 총대장균군 농도값과 비교하여 500배 정도 큰 것을 알 수 있었다.

## 사사

본 연구는 대전환경기술개발센터의 2006년도 연구개발사업 지원을 받았습니다. 시료의 채취와 분석에 이규진, 한경민, 성미경 씨의 도움을 받았으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Baudisova, D. (1997) Evaluation of *Escherichia coli* as the main indicator of faecal pollution. *Water Sci. Technol.*, 35(11-12), pp. 333-336.
- Borst, M. and Selvakumar, A. (2003) Particle-associated microorganisms in stormwater runoff. *Water Res.*, 37(1), pp. 215-223.
- Crainiceanu, C.M., Stedinger, J.R., Ruppert, D., and Behr, C.T. (2003) Modeling the US national distribution of waterborne pathogen concentrations with application to *Cryptosporidium parvum*. *Water Resour. Res.*, 39(9).
- Doran, J.W., Schepers, J.S. and Swanson, N.P., Chemical and bacteriological quality of pasture Runoff. *J. Soil Water Conserv.*, May-June, pp. 166-171 (1981).
- Ferguson, C., Husman, A.M.D., Altavilla, N., Deere, D., and Ashbolt, N. (2003) Fate and transport of surface water pathogens in watersheds. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.*, 33(3), pp. 299-361.
- Gannon, J.J., Busse, M.K., and Schillinger, J.E. (1983) Fecal coliform disappearance in a river impoundment, *Water Res.*, 17, pp. 1595-1601.
- Geiger, W.F. (1987) Flushing effects in combined sewer systems, *Proc. Fourth Conf. on Urban Storm Drainage*, Lausanne, pp. 40-46.
- Gibson III, C.J., Stadterman, K.L., States, S. and Sykora, J. (1998) Combined sewer overflows: A source of *Cryptosporidium* and *Giardia*, *Water Sci. Technol.*, 38(12), pp. 67-72.
- Medema, G.J., Bahar, M., and Schets, F.M. (1997) Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, faecal enterococci and *Clostridium perfringens* in river water: influence of temperature and autochthonous microorganism. *Water Sci. Technol.*, 35(11-12), pp. 249-252.
- Metcalf and Eddy, Tchobanoglous, G. (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 2nd ed. McGraw-Hill, New York, pp. 471-472.
- Novotny, V., and Olem, H. (1993) *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York, p. 484.
- Schillinger, J.E. and Gannon, J.J. (1985) Bacterial adsorption and suspended particles in urban stormwater, *Journal Water Pollution Control Federation*, 57(5), pp. 384-389.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998) 20th ed. APHA, AWWA, WEF.