Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers
Vol. 53, No. 6, pp. 137~144, November, 2011
DOI:http://dx.doi.org/10.5389/KSAE.2011.53.6.137

# 무강우시 합류식 하수관거의 오염부하 특성

## Characteristics of Pollution Loads from the Combined Sewer during Dry Season

원철희* · 최용훈* · 박운지* · 신민환* · 최중대*,†
Won, Chul-Hee · Choi, Yong-Hun · Park, Woon-Ji · Shin, Min-Hwan · Choi, Joong-Dae

**ABSTRACT**

We have examined the pollutant load of combined sewer in dry days. Two monitoring sites (C-1, C-2) were equipped with an flowmeter. Monitoring was conducted from September 2004 to April 2006 for 20 months during dry days. Flowrate and concentration of pollutants are lowest from 3 to 6 o'clock, and it is high at 9, 12 and 21 o'clock. Most of organic matters exist in the dissolved state. The results show that pollution loads in C-2 area were 4.5-7.2 times higher than in C-1. Pollutant loads were high on Saturdays. Pollutant loads (kg/ha/day) of C-2 were 1.1-3.1 times higher those of C-1. However there was no significant difference in winter. Analysis of correlation coefficient of water quality parameter indicates that besides of flowrate all items in C-1 site have tight relationship respectively ($p < 0.01$). In C-2 site, correlation coefficient of TP-SS, TP-TN, TP-flowrate, BOD-flowrate, BOD-SS and TN-TP are statistically significant ($p < 0.01$).

***Keywords:*** Combined sewer; pollutant load; correlation coefficient

## I. 서 론

우리나라는 경제발전과 인구 증가, 도시화, 산업화에 따라 공공수역으로 유입되는 오염부하가 증가하고 있고 이에 따라 하천의 자정능력이 초과되어 오염이 날로 심각해지고 있다. 공공수역을 오염시키는 발생원은 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원은 주로 가정하수와 공장 폐수 등과 같이 배출지점이 명확하고 강우시나 건기시 배출량의 변동이 크게 없는 특징이 있다. 이에 비해 비점오염원은 농경지의 비료, 축산 배설물, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 토양 침식물, 대기오염물질의 강하물 등과 같이 배출지점이 유역전체에 걸쳐있어 주로 강우시 지표 유출수와 함께 유출되는 오염물질로서 토지이용현황, 강우사상, 지역별 우수, 오수관리 시스템 등 다양한 요인에 따라 유출특성이 다양하고, 강우시 우수유출수와 함께 단시간 내에 하천으로 유입됨에 따라 하천의 수질에 미치는 영향이 매우 크다. Ministry of Environment (2006)에 따르면 우리나라 4대강의 유입부하량 중 비점오염원에 유발되는 양은 점차 증가하여 2015년에는 65~70 %까지 달할 것으로 예측하고 있다. 이에 우리나라에서는 농촌비점오염원과 도시비점오염원으로 구분하여 체계적인 연구를 수행해 오고 있다 (Choi et al., 2010; Seo et al., 2010; Shin et al., 2010; Won et al., 2009; Kim and Kang, 2004; Kim et al., 2006; Kim and Lee, 2005). 한편 도시오염원의 경우 농촌오염원과 달리 무강우시에도 오염물질이 배출되는데, 이는 하수종말처리장의 유입부하량에 영향을 줄 수 있으며, 오염물질의 농도가 낮아질 경우 하수처리장의 운영에 많은 문제점을 유발할 수 있다. 2003년 말 현재 우리나라 하수종말처리장의 유입부하량은 BOD 기준은 20 % 미만인 곳이 20개소에 이르는데, 이는 차집시설의 불량이나 하수관거의 불량 등으로 인한 침입수/유입수에 기인하며 (Choi et al., 2005), 다른 원인으로는 합류식 하수관거에서 발생되는 오염부하량의 부정확한 예측의 결과로 판단된다. 따라서 합류식 하수관거에서 배출되는 오염물질의 규명에 대한 연구가 필요한데, 국내의 연구는 주로 강우시 월류수의 유출특성 (An et al., 2010)과 차집용량 산정에 관한 연구에 치중되어 있으며 (Choi et al., 2004), 무강우시 유량과 오염물질의 조사에 관한 연구는 거의 수행되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 소도시의 합류식 하수 배출구역 중 2개소를 대상으로 시간대별, 요일별, 그리고 계절별로 오염부하를 산정함으로써 신설되는 하수종말처리장의 적정유입부하의 산정과 도시오염원의 적정관리에 기여하고 수질오염총량제 시행에 따른

* 강원대학교 지역건설공학과
Corresponding author Tel.: +82-33-250-6464
Fax: +82-33-251-1518
E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr
2011년 3월 28일 투고
2011년 11월 14일 심사완료
2011년 11월 14일 게재확정

기초 자료로 활용하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 조사지점

합류식 하수관거에서 건기시 배출되는 오염부하량을 산정하기 위하여 자료수집 및 분석을 통한 예비 표본지역을 선정하였다. 또한 현장 확인 및 조사를 통하여 최종 표본지역을 결정하였다. 대상 표본지역은 하수 배제방식 및 용도지역별 특성, 관거 시설 현황, 처리 분구의 최하류 지점 중 일정 규모 이상의 하수집수 가능지점 그리고 유량계 설치 가능여부 및 유량, 수질조사의 용이성 등의 사항들을 고려하여 선정하였다. 조사대상지역인 춘천시의 경우 구 도시지역으로서 기존 시가지 관거의 경우 대부분 합류식관거로 이루어져 있으며, 구획정리지구 및 신택지 개발지역 등의 경우에만 분류식관거로 설치되어 있다. 그러나 최종 방류 지역은 관거정비 미흡으로 인하여 대부분 합류식 관거에 연결되어 있어 완전한 분류식 하수배제방식이 불완전한 분류식으로 되어 있다. 따라서 조사지점은 현장여건 및 조사의 용이성을 고려하여 선정하였다 (Fig. 1, Fig. 2). C-1 지역은 대부분이 주거지역으로 일부 상업지역이 혼합되어 있으며, 춘천시 석사동에 위치하고 있다. 배수구역은 구배가 크기 때문에 관로에 이물질의 퇴적이 거의 없으며, 유량의 측정과 수질시료의 채취가 양호한 지점이다. C-2 지역 (춘천시 효자2동)은 음식점과 같은 상업지역이 넓게 분포하고 있으며, 일부 주거지역으로 구성되어 있다. 그러나 상업지역은 전문적인 택지가 아니라 개인집에서 운영하는 형태로 되어 있다. C-2 지역의 면적은 14.3 ha로서 C-1보다 약 4 배가량 넓다 (Table 1).

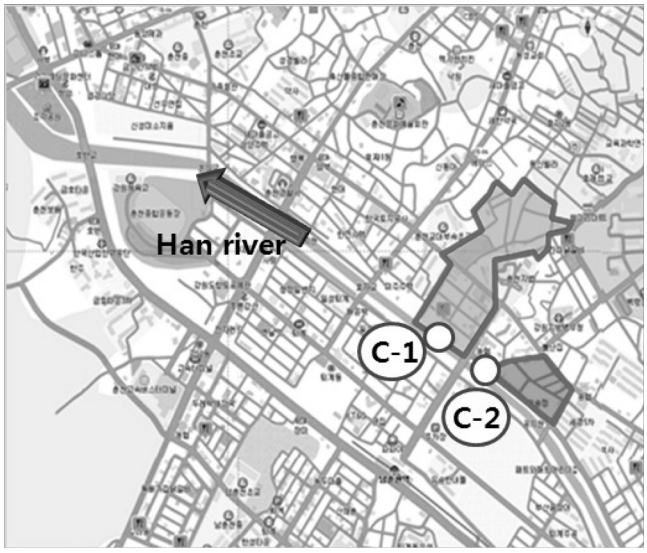



Fig. 1 Locations of monitoring site

(a) C-1 (b) C-2

Fig. 2 Photograph of monitering site

Table 1 Characteristics of the 2 combined sewers in Chuncheon

| Monitoring site | C-1 | C-2 |
|---|---|---|
| Area (ha) | 3.8 | 14.3 |
| Land use | Mostly residential but mixed | Largely commercial but mixed |
| Sewer size (m) | 1.0 m×1.0 m (Box) | 2.0 m×1.6 m (Box) |
| Population (persons) | 586 | 2,350 |

### 2. 조사 및 분석방법

모니터링은 2004년 9월부터 2006년 4월까지 무강우일시가 5일 이상 지속된 경우에 한하여 수행하였다. 유량은 자동측정 및 데이터 저장이 가능한 전자식 유량계 (FLO-TOTE 260)를 사용하여 15분 간격으로 연속 측정하였다. 시료는 도시하수의 시간별 특성을 반영하기 위하여 3시간 간격으로 1일에 8회 샘플을 채취하여 분석하는 일주기 테스트를 월 2회씩 수행하였다. 시료의 채취는 용기를 이용하여 직접 채취하였으며, 채취한 시료의 수질 분석은 Biochemical oxygen demand ($BOD_5$), Chemical oxygen demand ($COD_{Cr}$), Suspended solids (SS), Total nitrogen (TN), Total phosphate (TP) 항목에 대하여 Standard Methods (APHA et al., 1995)와 수질오염공정시험법 (Ministry of Environment, 2001)에 준하여 분석하였다. $BOD_5$는 winkler method azide modification 법을 이용하였다. $COD_{Cr}$는 $K_2Cr_2O_7$과 황산 ($H_2SO_4$)을 이용하여 분해 후, FAS로 적정하는 closed reflux titrimetric method를 이용하였으며, SS는 GF/C 여지를 이용한 gravimetric method, TP는 persulfate digestion과 ascorbic acid method를 이용하여 분석하였다. TN은 알칼리성 과황산칼륨을 분해용액으로 이용한 자외선 흡광광도법을 이용하였다.

분석된 결과는 SigmaPlot Ver. 8.0과 SPSS Ver. 12를 이용하여 통계 처리하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 시간대별 배출특성

Table 2에는 건기시 지점별 농도를 시간에 따라 요약하여 제시하였다. C-1 지점 BOD의 중앙값은 68.8～104.7 mg/L, $COD_{Cr}$의 중앙값은 131.0～202.0 mg/L, TN의 중앙값은 21.7～30.5 mg/L 그리고 TP의 중앙값은 2.1～3.0 mg/L의 범위로서 새벽시간인 3시와 6시경에 낮은 값을 보였으며, 9에서 12시, 그리고 21시 경에 높은 농도를 보였다. 유량도 동일한 경향을 보였으며, 유량이 감소할 경우 오염물질의 농도도 감소하는 특징을 보였다. 이러한 경향은 C-2 지점에서도 동일하게 나타났다. 또한 두 지점의 SS의 중앙값은 26.0～68.0 mg/L의 범위로서 BOD나 $COD_{Cr}$에 비해 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 즉 유기물의 많은 부분이 용존 상태로 존재하고 있음을 알 수 있다.

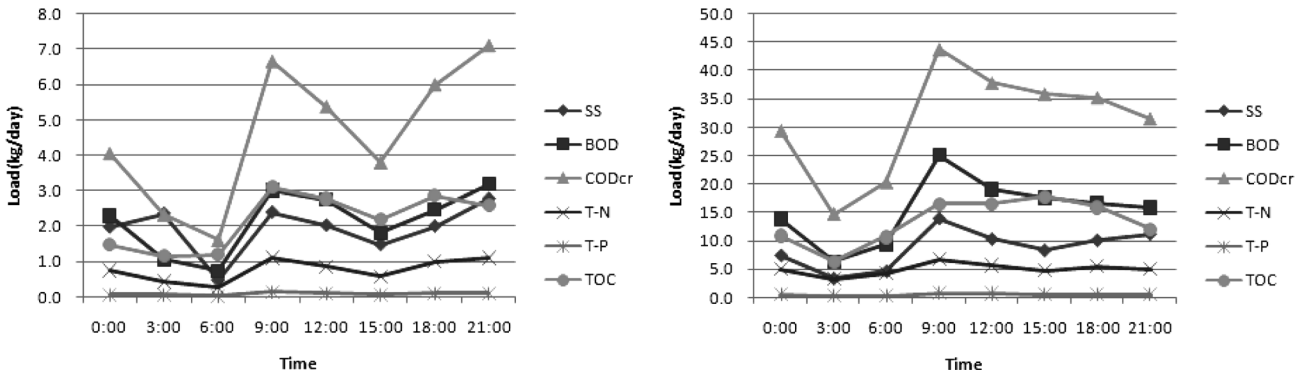
C-1 지점에서 BOD의 오염부하량은 17.2 kg/day으로 조사되었으며, $COD_{Cr}$은 37.0 kg/day, 영양염류인 TN과 TP는 각각 6.1

Table 2 Comparison of pollutant concentrations according to time schedule (Unit: mg/L)

| Parameter | | C-1 | | | | C-2 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Median | Maximum | SD | Minimum | Median | Maximum | SD |
| BOD | 0 | 41.1 | 86.0 | 168.0 | 38.6 | 31.0 | 66.0 | 134.0 | 29.3 |
| | 3 | 18.0 | 68.8 | 139.0 | 33.0 | 30.0 | 46.0 | 129.0 | 29.6 |
| | 6 | 22.8 | 71.0 | 169.0 | 41.7 | 24.0 | 55.0 | 104.6 | 25.2 |
| | 9 | 24.0 | 100.0 | 241.0 | 63.4 | 37.0 | 81.1 | 129.0 | 28.6 |
| | 12 | 26.0 | 104.0 | 213.0 | 51.6 | 30.3 | 96.0 | 161.0 | 37.5 |
| | 15 | 25.7 | 88.3 | 151.0 | 39.2 | 30.0 | 88.0 | 153.0 | 33.3 |
| | 18 | 19.5 | 91.0 | 167.0 | 43.4 | 26.0 | 82.0 | 119.0 | 28.3 |
| | 21 | 30.3 | 104.7 | 235.0 | 53.4 | 31.0 | 73.0 | 174.0 | 39.5 |
| $COD_{Cr}$ | 0 | 53.2 | 145.0 | 250.0 | 60.1 | 45.0 | 122.0 | 363.0 | 94.2 |
| | 3 | 40.0 | 140.0 | 360.0 | 88.1 | 45.0 | 83.0 | 360.0 | 100.1 |
| | 6 | 60.0 | 131.0 | 380.0 | 81.3 | 53.0 | 113.0 | 460.0 | 107.4 |
| | 9 | 90.0 | 202.0 | 384.0 | 85.6 | 50.0 | 154.0 | 370.0 | 84.5 |
| | 12 | 64.0 | 184.0 | 575.0 | 132.3 | 70.0 | 151.0 | 440.0 | 94.8 |
| | 15 | 88.0 | 173.0 | 400.0 | 86.0 | 50.0 | 170.7 | 450.0 | 104.7 |
| | 18 | 70.0 | 171.0 | 510.0 | 115.4 | 88.0 | 148.0 | 360.0 | 75.7 |
| | 21 | 80.0 | 202.0 | 450.0 | 106.0 | 60.0 | 125.0 | 410.0 | 87.2 |
| SS | 0 | 26.8 | 56.0 | 249.0 | 62.9 | 14.0 | 32.0 | 227.0 | 55.2 |
| | 3 | 8.7 | 49.0 | 825.0 | 217.1 | 6.0 | 26.0 | 105.0 | 24.9 |
| | 6 | 20.0 | 42.0 | 128.0 | 26.4 | 6.0 | 26.0 | 97.3 | 24.0 |
| | 9 | 30.0 | 64.5 | 228.0 | 56.5 | 12.0 | 49.0 | 213.0 | 50.2 |
| | 12 | 18.0 | 60.0 | 250.3 | 60.8 | 14.0 | 39.0 | 140.0 | 33.5 |
| | 15 | 12.0 | 52.0 | 155.4 | 41.3 | 9.0 | 44.0 | 84.0 | 20.0 |
| | 18 | 22.0 | 55.0 | 310.0 | 75.7 | 15.0 | 48.0 | 125.0 | 31.4 |
| | 21 | 18.0 | 68.0 | 256.3 | 65.0 | 15.0 | 46.0 | 205.0 | 49.0 |
| TN | 0 | 8.2 | 23.8 | 126.4 | 31.1 | 12.8 | 26.3 | 37.4 | 7.9 |
| | 3 | 7.6 | 21.7 | 84.5 | 22.7 | 7.2 | 27.8 | 44.4 | 11.0 |
| | 6 | 9.1 | 23.0 | 45.7 | 10.4 | 12.3 | 27.6 | 46.7 | 10.0 |
| | 9 | 10.4 | 26.9 | 137.8 | 38.2 | 13.5 | 25.1 | 35.7 | 6.7 |
| | 12 | 12.1 | 23.4 | 133.0 | 31.7 | 8.9 | 22.4 | 40.7 | 9.4 |
| | 15 | 10.6 | 22.8 | 75.1 | 18.4 | 10.2 | 24.0 | 40.3 | 8.2 |
| | 18 | 10.1 | 26.5 | 90.1 | 24.9 | 11.8 | 28.4 | 39.7 | 8.4 |
| | 21 | 9.9 | 30.5 | 125.7 | 32.2 | 11.4 | 25.7 | 34.7 | 6.9 |

Table 2 Continued

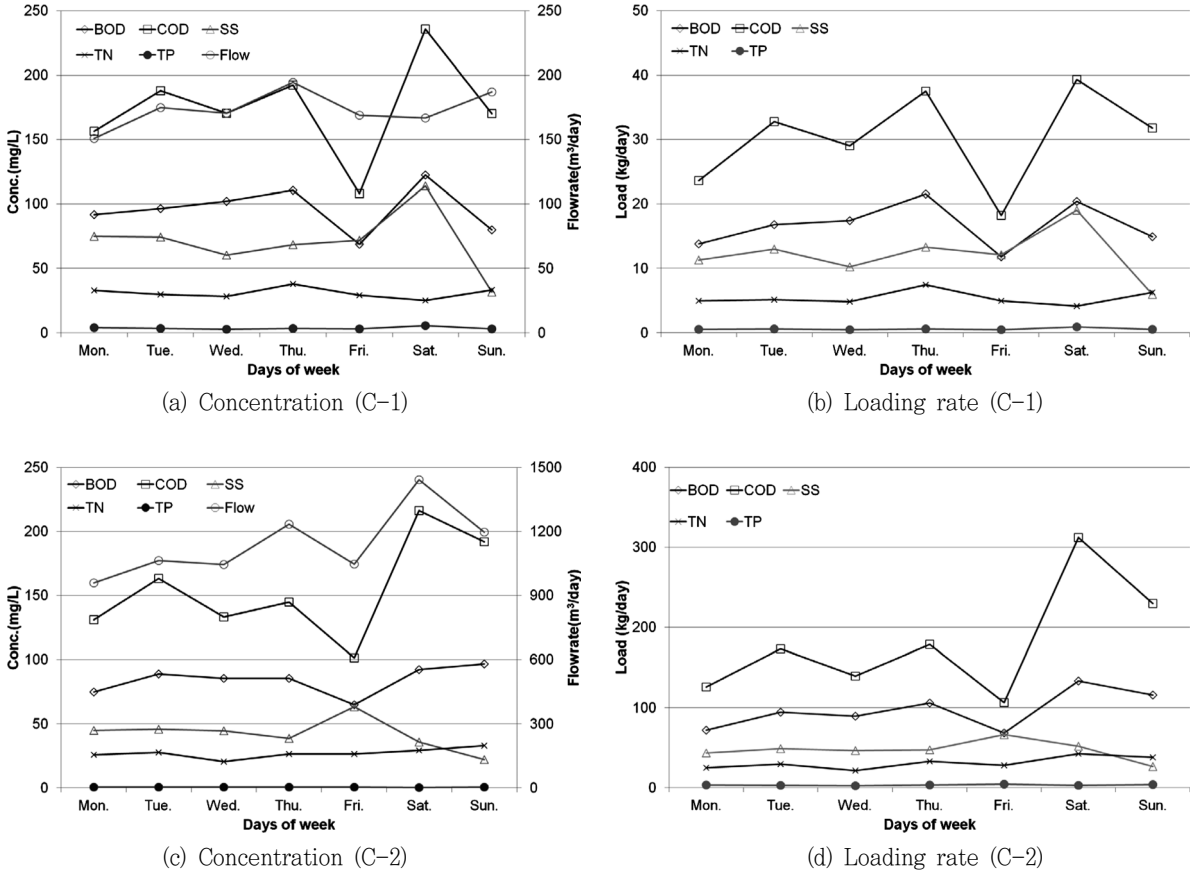
| Parameter | | C-1 | | | | C-2 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Median | Maximum | SD | Minimum | Median | Maximum | SD |
| TP | 0 | 1.1 | 2.3 | 8.5 | 2.2 | 0.9 | 2.5 | 7.5 | 1.8 |
| | 3 | 0.6 | 2.1 | 10.1 | 2.9 | 1.3 | 2.4 | 4.0 | 0.7 |
| | 6 | 1.1 | 2.2 | 9.5 | 2.2 | 1.2 | 2.3 | 6.6 | 1.5 |
| | 9 | 0.9 | 3.0 | 12.6 | 3.5 | 1.4 | 2.5 | 9.9 | 2.3 |
| | 12 | 0.9 | 2.8 | 10.2 | 2.7 | 1.3 | 2.8 | 9.8 | 2.2 |
| | 15 | 1.3 | 2.7 | 10.6 | 2.7 | 1.1 | 2.9 | 6.5 | 1.4 |
| | 18 | 1.1 | 2.2 | 9.5 | 2.8 | 1.4 | 3.0 | 6.3 | 1.2 |
| | 21 | 0.9 | 2.7 | 10.6 | 2.9 | 1.2 | 2.7 | 6.7 | 1.4 |
| TOC | 0 | 56.6 | 76.6 | 133.1 | 29.7 | 38.8 | 78.2 | 130.7 | 31.7 |
| | 3 | 56.7 | 84.4 | 152.4 | 33.9 | 41.6 | 81.5 | 138.2 | 38.9 |
| | 6 | 36.1 | 82.0 | 167.3 | 46.3 | 47.7 | 87.6 | 144.1 | 41.0 |
| | 9 | 58.5 | 102.1 | 180.5 | 44.8 | 44.4 | 91.7 | 167.7 | 42.0 |
| | 12 | 54.0 | 80.4 | 178.8 | 47.1 | 40.5 | 77.3 | 119.7 | 29.4 |
| | 15 | 44.4 | 78.4 | 144.4 | 37.5 | 46.4 | 93.9 | 164.9 | 44.3 |
| | 18 | 38.2 | 66.1 | 156.1 | 42.6 | 38.1 | 73.1 | 112.1 | 26.9 |
| | 21 | 30.1 | 84.0 | 158.8 | 48.1 | 39.8 | 66.1 | 91.1 | 21.1 |
| flowrate ($m^3$/d) | 0 | 65.8 | 175.5 | 716.6 | 144.4 | 466.3 | 1,241.4 | 5,736.7 | 1,139.1 |
| | 3 | 13.5 | 72.0 | 387.7 | 81.1 | 262.3 | 957.0 | 3,041.5 | 662.6 |
| | 6 | 13.9 | 63.1 | 268.8 | 61.4 | 385.9 | 1,174.0 | 2,660.8 | 649.6 |
| | 9 | 45.6 | 242.0 | 500.0 | 131.8 | 710.0 | 2,058.5 | 4,825.0 | 991.8 |
| | 12 | 47.4 | 204.4 | 447.0 | 113.9 | 620.0 | 1,886.4 | 3,179.8 | 724.3 |
| | 15 | 41.0 | 166.6 | 390.0 | 95.7 | 531.9 | 1,585.1 | 3,032.4 | 717.6 |
| | 18 | 24.1 | 243.0 | 587.0 | 132.1 | 479.5 | 1,657.6 | 3,617.8 | 798.3 |
| | 21 | 22.1 | 224.0 | 422.8 | 96.1 | 519.5 | 1,632.2 | 3,179.1 | 824.6 |




(a) C-1 (b) C-2

Fig. 3 Variation of pollutant loads according to time zone

kg/day와 0.7 kg/day로서 시간대별로는 새벽 6시경에 가장 낮았으며, 9시와 21시경에 가장 높았다 (Fig. 3a). C-2 지점의 시간대별 부하량은 03시경에 가장 낮았으며, 09시경에 가장 높은 부하량을 보여 C-1 지점과 유사한 경향을 보였다 (Fig. 3b). 그러나 일일 부하량을 살펴보면, BOD는 69.7 kg/day, $COD_{Cr}$은 248.6 kg/day, TN과 TP는 각각 40.0 kg/day와 4.3 kg/day로서 전 항목을 기준할 때, C-1 지역보다 4.5에서 7.2배가 높게 나타났다. 이는 C-2 지점이 물소비량이 많은 음식점과 숙박업소




(a) Concentration (C-1)

(b) Loading rate (C-1)

(c) Concentration (C-2)

(d) Loading rate (C-2)

**Fig. 4 Profiles of concentrations and pollutant load according to a day of week**

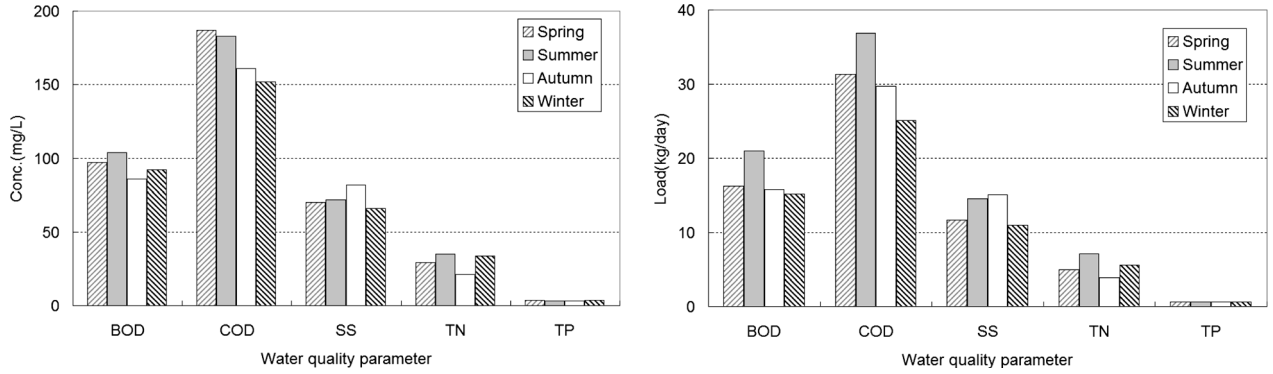
등이 많이 분포하고 있고 면적이 넓기 때문에 오염부하가 높게 나타난 것으로 판단된다. 즉 C-2 지역은 C-1 지역에 비해 오염물질의 농도가 낮은 시간대도 있으나, 유량이 월등히 크기 때문에 부하량이 큰 것으로 판단된다 (Table 2).

## 2. 요일별 배출특성

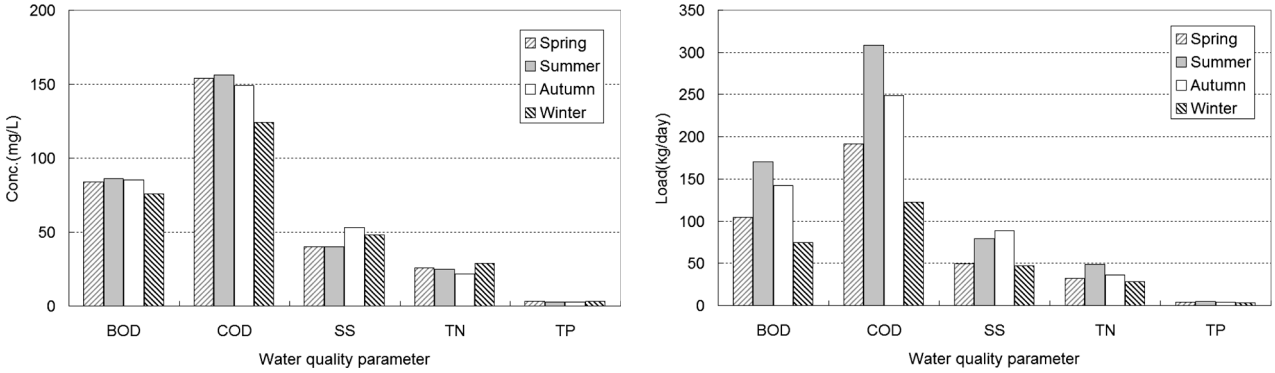
Fig. 4에는 건기시 수행된 요일별 결과 나타내었다. C-1 지역의 유량은 월요일에 가장 낮은 159.7 $m^3$/day를 보였으며, 이후 증가하다 감소하였고, 금요일을 기점으로 다시 증가하여 일요일에 294.6 $m^3$/day로서 가장 높은 값을 보였다. 오염 부하량의 중앙값은 토요일과 일요일에 높았으며, 금요일에 낮은 경향을 보였다. C-2 지역 유량은 828.5～2,645.3 $m^3$/day의 범위로서 요일에 따라 큰 변화를 보였는데, 월요일에 가장 낮았고 일요일에 가장 높았다. 농도는 항목별로 다양한 분포를 보였으나, 유량과 농도를 고려한 부하량의 경우 BOD와 $COD_{Cr}$는 토요일에 최고치 (BOD, 133.1 kg/day; $COD_{Cr}$, 312.1 kg/day)를 보였으며, 금요일에 최저치 (BOD, 68.1 kg/day; $COD_{Cr}$, 106.2 kg/day)를 보였다. TN의 부하량은 42.3 kg/day로서 토요일에 가장 높았다. 반면 TP의 부하량은 금요일에 4.2 kg/day로서 가장 높았으며, 토요일에 상대적으로 낮은 2.8 kg/day으로 조사되었다. 연구결과 유량과 농도는 요일에 따라 높거나 낮은 특별한 경향을 보이지는 않았으나, 유량과 농도가 고려된 오염부하량은 토요일에 대체적으로 높게 나타났다. 이는 음식점과 기타 상업지역에서의 물 사용량 증가에 기인하는 것으로 판단된다. C-1 지점은 C-2 지점보다 유역의 면적이 작고 인구도 적기 때문에 유량과 부하량 역시 낮게 나타난 것으로 판단된다.

## 3. 계절별 배출특성

Fig. 5는 건기시 오염물질농도와 부하를 계절별로 나타낸 것이다. C-1 지점 유량의 평균값은 계절별로 큰 차이를 보이지 않았으나, 겨울철에 가장 적었으며 (172.2 $m^3$/day), 봄에 가장 많은 242.2 $m^3$/day로 조사되었다. 여름, 가을, 겨울 유량의 평균값은 각각 봄철의 74.2, 81.3 그리고 71.1 %로 조사되었다. $COD_{Cr}$의 계절별 일일 부하량의 평균값은 봄철에 50.3 kg/day로 조사되었




(a) C-1




(b) C-2

**Fig. 5 Range of flowrate and pollutant load according to season**

으며, 여름, 가을, 겨울의 일일 부하량의 평균값은 각각 봄철의 57.6, 60.7, 48.5 %로서 겨울에 가장 낮게 나타났다. 영양물질인 TN과 TP의 중앙값도 유사한 경향을 보였다. 그러나 SS와 $COD_{Cr}$의 부하량은 여름철에 가장 높았으며, 봄철에 가장 낮은 값을 보였다. C-2 지점의 계절별 유량의 평균값은 봄철에 가장 높은 2,630 $m^3$/day로 조사되었으며, 여름, 가을, 겨울의 유량은 각각 봄철의 79.6, 66.6 그리고 39.7 %로서 겨울철에 가장 낮게 나타났다. C-1 지점과 동일하게 C-2 지점에서도 겨울철에 유량이 낮게 나타났는데, 이는 계절적 특성 상 물 사용량이 적기 때문인 것으로 판단된다. C-2 지점의 계절별 오염물질의 부하량은 주로 봄철에 높았으며, 겨울철에 낮은 값을 보였다. 이는 관거로 유입되는 유량의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 오염물질의 부하량은 C-2 지점에서 높게 나타났는데, 이는 배수구역의 면적 차이에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서 C-1과 C-2에서 단위면적당 오염물질의 부하량으로 비교가 필요하다. Table 3과 Fig. 6에는 각각 유량과 단위면적당 일일 오염부하량을 중앙값으로 제시하였다.

C-1과 C-2 지점의 단위면적당 유량은 각각 45.3~63.7 $m^3$/ha/day와 73.0~183.9 $m^3$/ha/day로서 C-2 지점의 유량이 1.6

**Table 3 Comparison of flowrate according to season (Unit : $m^3$/ha/day)**

| | C-1 | | | | C-2 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Spring | Summer | Autumn | Winter | Spring | Summer | Autumn | Winter |
| Flowrate | 63.7 | 47.3 | 51.8 | 45.3 | 183.9 | 146.5 | 122.5 | 73.0 |

~3.1 배가 높게 나타났다. BOD 부하의 경우 C-2 지점이 C-1 지점에 비하여 1.1~3.0 배 높게 나타났는데, 유기물의 경우 최소 1.1 배에서 최대 3.1 배의 높은 값을 보였다. 영양염류인 TN과 TP도 유사한 경향을 보였는데, C-2 지점의 오염부하량은 C-1 지점에 비하여 1.4~2.9 배가 높게 나타났다. 이는 C-1과 C-2 지점의 오염물질 배출농도는 비슷하나 C-2 지역에 많이 분포하고 있는 음식점의 물 사용과 화장실 용수의 영향으로 판단된다. 그러나 겨울철만을 비교할 시에는 1.1~1.6 배로 큰 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 도시 비점오염물질의 농도는 상업지역보다 주거지역이 높다 (Choe et al., 2002). 그러나 유량은 주거지역보다 상업지역이 크기 때문에 오염부하는 주거지역보다 상업지역이 높게 나타날 수도 있다. 이는 도시 비점오염원의 경우 유량과 오염물질 농도는 토지의 이용에 따라 달라진다는 것을 의

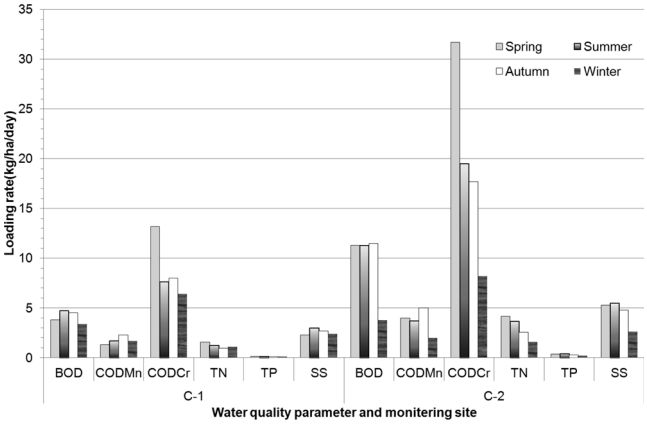



Fig. 6 Comparison of pollutant loading rate according to season

미한다. 그러므로 합류식 하수관거에서 수질관리 계획 시 반드시 사전에 유량이나 오염물질의 농도 특성을 충분히 조사하여야 할 것으로 판단된다.

### 4. 상관관계 분석

Table 4에는 조사기간 동안 수행된 모니터링 결과에 기초하여 분석한 상관계수를 제시하였다. 상관분석은 오염총량제에 이용되는 SS, BOD, TN, TP, 그리고 flowrate를 대상으로 유의수준 0.01에서 수행하였다. C-1 지점의 경우 SS, BOD, TN, TP 항목은 유의수준 0.01에서 유의성이 있었다. 그러나 유량은 SS 항목하고만 유의수준 0.01에서 유의성이 있었다. C-2 지점은 C-1 지점과 다른 경향을 보였다. TP는 BOD를 제외한 모든 항목에서 0.01의 유의수준에서 유의성이 있었으나, BOD는 flowrate와 SS, TN은 TP와 유의성이 있는 것으로 조사되었다. 한편 오염물질 간의 상관계수는 C-2 지점에서 낮게 나타났다. 이는 대부분

Table 4 Correlation analysis among measured variables

| Site | Index | flowrate | SS | BOD | TN | TP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | flowrate | 1 | 0.2334[a] | 0.0948 | 0.0980 | 0.0625 |
| | SS | | 1 | 0.3984[a] | 0.2886[a] | 0.4156[a] |
| | BOD | | | 1 | 0.4695[a] | 0.2235[a] |
| | TN | | | | 1 | 0.3148[a] |
| | TP | | | | | 1 |
| C-2 | flowrate | 1 | 0.0211 | 0.2024[a] | 0.0368 | −0.2617[a] |
| | SS | | 1 | 0.2660[a] | −0.0613 | 0.2871[a] |
| | BOD | | | 1 | 0.0947 | −0.1221 |
| | TN | | | | 1 | 0.1114[a] |
| | TP | | | | | 1 |

a : statistically significant at $p < 0.01$

이 상업지역으로 구성되어 있기 때문에 물의 사용 패턴이 임의적이며, 배출되는 오염물질의 성상도 다르기 때문에 항목간의 상관성이 낮은 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

건기시 오염물질의 시간대별, 요일별, 계절별 오염부하를 산정하기 위하여 2 개의 합류식 관거를 선정하여 모니터링 하였다. 하수량과 오염물질의 농도는 새벽 시간인 03시와 06시경에 가장 작았으며, 09시, 12시 그리고 21시에 높게 나타났다. 또한 유기물의 상당 부분은 용존 상태로 존재하고 있었으며, C-2 지점의 오염부하량은 C-1에 비하여 4.5~7.2 배가 높게 나타났다. 요일별 오염물질의 부하는 확연히 구분되는 경향은 나타나지 않았으나, 토요일에 높게 나타났다. 이는 외식문화의 확산으로 인한 음식점에서의 물 사용량 및 오염물질의 배출 증가에 기인하는 것으로 판단된다. C-2 지점의 단위면적당 오염부하량은 C-1 지점보다 1.1~3.1 배가 높게 나타났다. 그러나 겨울철에는 큰 차이를 보이지 않았다. 오염물질 항목간의 상관관계를 분석한 결과 C-1 지점은 유량을 제외한 모든 항목에서 유의수준 0.01의 수준에서 유의성이 있었다. 유량은 SS 항목하고만 유의수준 0.01에서 유의성이 있었다. C-2 지점의 경우 TP는 BOD를 제외한 모든 항목에서 0.01의 유의수준에서 유의성이 있었으며, BOD는 flowrate와 SS와 유의성이 있는 것으로 조사되었다.

본 연구는 “강원대학교 농업생명과학연구원”의 지원을 받아 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. An, K. S., S. R. Jang, and Y. H. Kwon, 2010. Characteristics and combined sewer overflows. *Journal of the Environmental Sciences* 19(6): 747-753. (in Korean).
2. APHA, AWWA, WEF, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater (19th). American Public Health Association, Washington.
3. Choe, J. S., K. W. Bang, and J. H. Lee, 2002. Characterization of surface runoff in urban areas. *Water science and Technology* 45(9): 249-254.
4. Choi, S. C., Y. S. Kwon, and J. M. Rim, 2005. Analysis on correlation between infiltration/inflow and defective

rate in sewer. *Journal of the Korean Society of Water an Wastewater* 19(2): 221-225 (in Korean).
5. Choi, S, H., S. C. Choi, B. U. Kim, and J. M. Rim, 2004. Analysis of storm water run-off characteristics to evaluate the intercepted volume of CSOs during wet weather. *ournal of the Korean Society of Water an Wastewater* 18(3): 320-330 (in Korean).
6. Choi, Y. H., C. H. Won, J. Y. Seo, M. H. Shin, J. J. Yang, and J. D. Choi, 2010. Analysis of NPS pollution loads over rainfall-runoff events from the Silica mine site. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(3): 413-439 (in Korean).
7. Kim, L. H., S. O. Ko, B. S. Lee, and S. G. Kim, 2006. Estimation of pollution EMCs and loading in highway runoff. *Journal of Korean Civil Engineers* 26(2B): 225-231 (in Korean).
8. Kim, L. H., and J. H. Kang, 2004. Determination of event mean concentrations and pollutant loading in highway storm runoff. *Journal of Korean Society on Water Quality* 20(6): 631-640 (in Korean).
9. Kim, L. H., and S. H. Lee, 2005. Characteristics of metal pollutants and dynamic EMCs in a parking lot and a bridge during storms, *Journal of Korean Society on Water Quality* 21(4): 385-392 (in Korean).
10. Ministry of Environment, 2001. Official test methods for water pollution (in Korean).
11. Ministry of Environment, 2006. Basic plan of water environment management (in Korean).
12. Seo, J. Y., M. H. Shin, C. H. Won, Y. H. Choi, M. S. Jung, K. J. Lim, and J. D. Choi, Characteristics of NPS pollution from a cal mining. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(3): 474-481 (in Korean).
13. Shin, M. H., D. S. Shin, J. W. Lee, J. W. Choi, C. H. Won, J. Y. Seo, Y. H. Choi, and J. D. Choi, 2010. Runoff characteristics fo non-point source pollutants from different forest types during rainfall events. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(3): 507-517 (in Korean).
14. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, J. W. Lee, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Simulation of soil loss by artificial rainfall simulator - by varying rainfall intensity, surface condition and slope-. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(5): 785-791 (in Korean).
15. Won, C. H., Y. H. Choi, J. Y. Seo, K. C. Kim, M. H. Shin, and J. D. Choi, 2009. Determination of EMC and unit loading of rainfall runoff from forestry-crops field. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(4): 615-623 (in Korean).