

비강우시 도시 합류식 하수도의 오염부하 산정을 위한 최적관측시간 산정연구

Optimum Flow and Pollution Load Monitoring Time of Combined Sewers of Urban Watersheds during Dry Weather

최용훈* · 원철희** · 박운지*** · 서지연* · 신민환**** · 이찬기*** · 최중대*[†]
Choi, Yong Hun* · Won, Chul Hee** · Park, Woon Ji*** · Seo, Ji Yeon* ·
Shin, Min Hwan**** · Lee, Chan Ki*** · Choi, Joong Dae*[†]

ABSTRACT

Flow and pollution load were monitored at 2 combined sewer outlets (C-1 and C-2) of urban watersheds during dry weather from September, 2004 to April, 2006 for 20 months. The objectives were to investigate the diurnal variation of flow and pollutant load and to find the proper sampling time that could measure representative flow and pollutant load. Pollution load closed to the average daily load at C-1 could be measured at 00:00 hour and by the mean of 15:00 and 18:00 hour measures, and 15:00 and 21:00 hour measures, respectively. In addition at C-2, it was 21:00 hour and the mean of 15:00 and 18:00 hour measures. This study concluded that arbitrary sampling of flow and water quality could cause large errors in the estimation of urban pollution load and recommended that urban combined sewers should be monitored when flow and water quality showed daily average and concentration.

Keywords: Combined system of sewage; pollutant load; monitoring time; dry season

1. 서 론

중소도시 지역의 비점오염원에서 강우유출수는 대부분 월류의 상태로 합류식 하수도를 통하여 하천으로 유입된다. 비강우시 합류식 하수도의 유량과 수질은 강우시에 도시비점오염원의 배출매체가 되므로 도시비점오염관리에 있어 매우 중요하다. 소규모 오수처리시설의 설계 및 유지관리에 대한 최적 조건을 찾기 위해서도 비강우시 합류식 하수도의 유량과 수질을 조사하는 것은 필요하다. 또한 가뭄과 이상기후 등의 물 부족 시에는 농업용수 등 대체수자원을 위한 방법으로 사용할 수 있

다. 강우시의 도시비점오염관리와 소규모 오수처리시설의 운영 그리고 대체수자원으로 활용을 위해서는 중소도시 합류식 하수도의 유량과 수질특성을 정밀하게 조사하고 연구할 필요가 있다. 비강우시 합류식 하수도의 수량과 수질은 집수구역의 주거 인구의 생활양식과 산업특성 (상업 및 공업지역)에 따라 오전, 오후, 심야시간대별로 변할 수 있고 또한 하수도의 유지관리상태에 따라 변할 수 있다. Bang et al. (1998)은 생활오수는 주로 일상생활을 통하여 배출되며 사람들의 활동시간에 의해 오수배출이 주기성을 갖고, 이런 배출특성을 반영한 처리시설의 개발과 운영을 통해서 오염물질을 효율적으로 관리 할 수 있다고 하였다. 이와 같은 복잡한 특징을 가지고 있기 때문에 중소도시의 합류식 하수도로 배출되는 오염의 발생량 및 오염특성은 단기간의 연구로는 조사하기가 쉽지 않다. 중소도시의 합류식 하수도의 유출량과 수질을 효과적으로 관리하기 위해서는 장기간 동안 시간대별 수량과 수질의 변화를 정량적으로 조사하고 분석할 필요가 있다.

Kang et al. (2006)은 소하천으로 강우시 유입되는 비점오염의 영향이 비강우시에도 존재하며, 도시 가정 하수 발생 특

* 강원대학교 지역건설공학과

** 강원대학교 환경연구소

*** 강원대학교 환경공학과

**** 국립환경과학원 금강물환경연구소

[†] Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6464

Fax: +82-33-244-6702

E-mail address: jdchoi@kangwon.ac.k

2009년 3월 5일 투고

2009년 5월 4일 심사완료

2009년 5월 18일 게재확정

성과 유사한 경향을 보이는 수질특성을 나타낸다고 하였다. 또한 Cho et al. (2001)은 건기시 합류식하수관거 내 퇴적물의 재부유는 유속과 밀접한 관계가 있고, 재부유로 인한 오염농도가 건기하수보다 높다고 하였다. 따라서 도시 합류식 하수도의 유량과 수질은 강우시 하류하천의 유량과 수질에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 합류식 하수도의 유량 및 오염부하 특성을 조사할 필요가 있다. 합류식 하수도의 강우시 초기유출과 강우에 의한 비점오염부하를 조사하고 도시 비점오염저감의 중요성을 강조한 연구는 많다 (Kim & Ko, 2006; Park et al., 2003; Ahn & Gum, 2004; Lee & Park, 2005; Cho & Chung, 2002). 하지만 강우에 의한 비점오염의 기초가 되는 비강우시 오염부하를 산정하고 분석한 연구는 많지 않다. Kim et al. (2008)은 주택지역의 합류식 하수도를 모니터링하고 유량과 수질의 변동양상을 조사하였다. Choi et al. (1998)은 공동주택 오수배출특성에 관해 조사하였다. 두 연구에서는 계절별 3일 동안 2시간 간격으로 모니터링하여 계절별 오염부하의 변동양상과 생활오수발생원단위를 산정하였다. Shin & Yoon (1998)은 합류식 하수관거 월류수 (Combined Sewer Overflows, CSOs)와 건기하수의 수질분석 및 침강시험을 수행하였다. 단기 모니터링을 통한 유량과 수질의 변동양상으로는 정확한 건기하수의 특징을 나타낼 수 없다. 건기하수의 오염부하 특징을 정확하게 측정하기 위해서는 자동화된 유량측정시설과 수질시료 채취시설을 설치하여 실시간으로 유량을 측정하고 일정시간마다 수질시료를 채취하여 분석하는 방법이 있다. 하지만 경제적인 측면을 고려할 때 일정 시간마다 채취한 수질시료에 대한 분석은 매우 부담이 될 수 있다. 모든 수질시료를 채취하고 분석하기 어려울 때는 일평균오염부하와 가까운 값을 보이는 시간대를 대푯값으로 선정하여 분석하면 비교적 정확한 오염부하를 산정할 수 있다. 따라서 장기간의 자료를 구축하고 분석하여 가장 합리적인 오염부하의 산정을 제시하는 것은 오염의 관리에 있어 매우 중요하다.

본 연구는 중소도시인 강원도 춘천시 합류식 하수도의 비강우시 시간대별 오염부하를 조사하고 통계적 방법으로 분석하여 샘플링 최적시간을 조사하기 위하여 수행되었다. 본 연구 자료는 우리나라 중소도시 합류식 하수도의 비강우시 오염부하를 분석하고, 오염총량제 등 도시지역의 수질관리를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구 대상 지역

춘천시 합류식 하수도의 수량과 수질모니터링 지점의 선정을

Table 1 Watershed characteristics of research area

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

위하여 춘천시의 하수관망도를 정밀하게 조사하고, 하수 배제 방식, 용도지역별 특성, 하수관거 시설현황, 건기와 우기시 하수집수 가능성, 유량계와 수질샘플러 설치 가능성 여부, 그리고 유량 및 수질조사의 용이성 등의 사항들을 고려하여 2곳의 모니터링 지점 (C-1과 C-2)을 선정하였다. C-1과 C-2 유역은 구시가지로 구성되어 있는 춘천시 효자2동 유역이다. C-1과 C-2 유역의 특성은 Table 1에 나타났다.

비강우시 합류식 하수도의 하수는 주로 가정과 식당 등에서 배출된다. 따라서 토지이용도와 투수 또는 불투수 면적보다 건물이용형태 (주거, 상업 등) 및 인구수에 더 큰 영향을 받는다. C-1 유역의 인구수는 586명이며, 건물이용의 대부분이 주거의 형태이다. C-2 유역의 인구수는 2,350명이며, C-1에 비하여 음식점과 모텔 등의 상업지역이 많이 분포하고 있다.

2. 분석 방법

비강우시 모니터링 기간은 2004년 9월부터 2006년 4월까지 20개월 동안 수행하였다. 총 조사 일수는 두 지점 모두 22일이며, 1일 24시간 동안 8회 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 그리고 21시)의 수질시료를 채취하여 분석하였다. 유량의 측정은 수위와 유속을 자동으로 측정하여 유량으로 환산하여 저장할 수 있는 전자동 유량계 (FLO-TOTE 260)를 사용하여 15분 간격으로 측정하였다. 수질시료는 측정시간마다 인위적으로 채수하였다. 중소도시 합류식 하수도의 시간별 유량과 오염부하의 변화양상을 조사하기 위해 측정시간대별로 통계 분석하였다. 관측지점에서 채취된 수질시료는 Standard Methods (APHA et al., 1995)와 Official test methods for water pollution (Ministry of Environment, 2001)에 따라 SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TOC, TN, 그리고 TP를 분석하였다.

Duncan's multiple range test는 3개 이상의 독립적인 정규 모집단의 모평균에 차이가 있는지를 분석하는 Anova Test의 결과로 나타난 평균을 크기순으로 정리하여 평균의 위치에 따라 서로 다른 기준값을 적용하여 처리간의 유의차가 인정될 때 어느 것과 차이가 있는가를 분석하는 다중비교방법의 하나이다 (Lyman, 1992). C-1지점과 C-2지점의 측정시간대별 평균유량과 평균오염부하를 Duncan's multiple range test로 비교하

여 통계적으로 유의한 차이가 없는 측정시간을 확인하였다. 그리고 평균유량과 평균오염부하의 측정시간대별 측정값의 차이를 구하여, 최적의 시간과 가장 적절한 시간의 조합을 찾는 방법을 사용하여 최적모니터링 시간을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시간별 유량 및 오염부하

자료의 수가 요일별, 계절별로 상이하고, 측정되지 않은 자료도 존재한다. 요일별, 계절별 유의성 분석을 실시하기에는 부적절하기 때문에 좋은 자료로 활용할 수 없다. 하지만 시간별 일변화의 측면으로 접근하면 자료의 수가 충분히 많고, 시간별로 일정한 수의 자료가 확보되기 때문에 분석결과와 활용도가 매우 높을 것으로 판단된다.

모니터링 지점의 유량과 오염부하를 통계 분석하여 Table 2에 나타냈다. C-1 지점의 일평균 유출량은 189.88 m³/day인데 반하여 C-2 지점은 1,550.6 m³/day로 C-1 지점의 8.17배 이었다. 또한 C-1 지점의 유출량 범위는 104.34 m³/day ~ 254.51 m³/day 이며, C-2 지점의 유출량 범위는 967.5 m³/day ~ 2,071.5 m³/day으로 나타났다. 이는 C-2 유역의 인구수가 C-1 유역보다 4.01배 많고, 주거지역보다는 식당과 모텔과 같은 상업지역의 영향으로 물 사용량이 많았기 때문인 것으로 판단되었다.

Duncan's multiple range test 결과 C-1 지점의 평균유량은 5개의 그룹으로, C-2 지점의 평균유량은 3개의 그룹으로 유의적인 차이를 보였다. 이런 결과는 C-2 유역이 주거지역보다 상업지역이 많아 물 사용량의 변화가 작기 때문인 것으로 판단되었다.

C-1 지점의 오염부하 범위는 SS 7.20 kg/day ~ 20.61 kg/day, BOD 7.74 kg/day ~ 23.77 kg/day, CODMn 4.30 kg/day ~ 12.39 kg/day, CODCr 16.65 kg/day ~ 50.75 kg/day, TOC 8.35 kg/day ~ 25.84 kg/day, TN 2.87 kg/day ~ 9.00 kg/day, TP 0.366 kg/day ~ 0.931 kg/day 이며, 오염부하 평균은 SS 15.77 kg/day, BOD 16.76 kg/day, COD_{Mn} 8.51 kg/day, COD_{Cr} 34.53 kg/day, TOC 18.24 kg/day, TN 6.16 kg/day, TP 0.657 kg/day로 나타났다.

Duncan's multiple range test 결과 C-1지점의 시간별 평균오염부하에서 SS와 TOC 그리고 TP는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn} 그리고 TN은 3 ~ 4개의 그룹으로 유의적인 차이를 보였다.

C-2 지점의 오염부하 범위는 SS 32.06 kg/day ~ 105.36 kg/day, BOD 52.86 kg/day ~ 192.40 kg/day, COD_{Mn} 23.94 kg/day ~ 78.43 kg/day, COD_{Cr} 113.02 kg/day ~ 369.05 kg/day, TOC 61.14 kg/day ~ 139.75 kg/day, TN 23.96 kg/day ~ 54.72 kg/day, TP 2.859 kg/day ~ 5.853 kg/day 이며, 오염부하 평균은 SS 53.11 kg/day, BOD 105.90 kg/day, COD_{Mn} 50.25 kg/day, COD_{Cr} 211.92 kg/day, TOC 102.96

Table 2 Average flow and pollutant load with respect to time

	Time	Average Value	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
C-1	Flow (m ³ /d)	189.88	187.21 ^{BC}	104.34 ^E	126.53 ^{DE}	254.51 ^A	223.98 ^{AB}	170.08 ^{CD}	226.83 ^{AB}	225.53 ^{AB}
	SS Load (kg/day)	15.04	15.77 ^A	16.56 ^A	7.20 ^A	20.61 ^A	16.67 ^A	11.4 ^A	13.24 ^A	18.85 ^A
	BOD Load (kg/day)	17.31	16.76 ^A	7.74 ^C	9.19 ^{BC}	23.77 ^A	21.84 ^A	15.94 ^{AB}	20.01 ^A	23.20 ^A
	CODMn Load (kg/day)	8.77	8.51 ^{ABC}	4.50 ^C	4.30 ^C	12.39 ^A	10.55 ^{AB}	7.93 ^{BC}	9.77 ^{AB}	12.17 ^{AB}
	CODCr Load (kg/day)	36.03	34.53 ^{ABC}	16.65 ^C	19.30 ^C	49.06 ^{AB}	45.23 ^{AB}	31.46 ^{BC}	41.25 ^{AB}	50.75 ^A
	TOC Load (kg/day)	17.54	18.24 ^A	8.35 ^A	12.03 ^A	21.02 ^A	19.70 ^A	15.69 ^A	25.84 ^A	19.44 ^A
	TN Load (kg/day)	6.16	5.85 ^{ABCD}	3.02 ^{CD}	2.87 ^D	9.00 ^A	6.59 ^{AB}	5.05 ^{BCD}	7.96 ^{AB}	8.94 ^A
	TP Load (kg/day)	0.657	0.726 ^{ABC}	0.366 ^C	0.451 ^{BC}	0.833 ^{AB}	0.699 ^{ABC}	0.562 ^{ABC}	0.931 ^A	0.688 ^{ABC}
C-2	Flow (m ³ /d)	1,550.60	1,360.5 ^{BC}	967.5 ^C	1,258.5 ^{BC}	2,071.5 ^A	1,858.3 ^A	1,603.2 ^{AB}	1,658.4 ^{AB}	1,626.7 ^{AB}
	SS Load (kg/day)	69.33	53.11 ^{BCD}	32.06 ^D	44.15 ^{CD}	105.36 ^A	87.32 ^{AB}	81.06 ^{ABC}	77.05 ^{ABC}	74.55 ^{ABC}
	BOD Load (kg/day)	122.27	105.90 ^{BC}	52.86 ^D	80.75 ^{CD}	192.40 ^A	142.25 ^B	140.63 ^B	134.38 ^B	129.01 ^{BC}
	CODMn Load (kg/day)	55.45	50.25 ^{BC}	23.94 ^D	38.46 ^{CD}	78.43 ^A	65.92 ^{AB}	58.81 ^{ABC}	65.34 ^{AB}	62.47 ^{ABC}
	CODCr Load (kg/day)	247.79	211.92 ^{BCD}	113.02 ^D	163.45 ^{CD}	369.05 ^A	315.22 ^{AB}	283.14 ^{ABC}	267.96 ^{ABC}	258.59 ^{ABC}
	TOC Load (kg/day)	113.72	102.96 ^A	61.14 ^A	98.03 ^A	139.75 ^A	110.51 ^A	122.82 ^A	137.49 ^A	137.05 ^A
	TN Load (kg/day)	40.29	35.69 ^{BC}	23.96 ^C	33.08 ^{BC}	54.72 ^A	42.48 ^{AB}	39.79 ^{AB}	47.67 ^{AB}	44.95 ^{AB}
	TP Load (kg/day)	4.175	4.114 ^{BC}	2.859 ^C	3.414 ^{BC}	5.853 ^A	4.778 ^{AB}	4.078 ^{BC}	4.292 ^{BC}	4.014 ^{BC}

Note) a, b, c ... : Mean comparison by Duncan's multiple range test at α=0.05.

kg/day, TN 35.69 kg/day, TP 4.114 kg/day로 나타났다.

Duncan's multiple range test 결과 C-2 지점의 시간별 평균오염부하에서 TOC는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고, SS, BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, TN 그리고 TP는 3~4개의 그룹으로 유의적인 차이를 보였다.

2. 최적 모니터링 시간의 분석

Table 3는 측정일의 평균값과 측정시간대별 측정값의 차이이다. 도시지역 합류식 하수도의 유출량과 오염부하의 측정값은 시간에 따라 매우 큰 변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 합류식 하수도의 유량과 오염부하의 측정을 편의에 따라 임의시간에 관측한다면 큰 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 합류식 하수도의 유출량과 오염부하 특성을 파악할 수 있는 사전조사를 통해 평균값에 가까운 유량과 오염부하를 보이는 시간에 모니터링을 수행할 필요가 있다.

2개의 합류식 하수도에서 수행한 시간별 유출량과 오염부하의 통계적 분석을 통하여 나타난 최적시간은 C-1지점에서 0시 또는 15시와 18시 평균 혹은 15시와 21시 평균으로 나타났다. C-2지점에서는 15시와 18시 그리고 21시로 나타났다. Duncan's multiple range test 결과 C-1 구역에서 15시와 18시/21시는 유의적 차이가 나타나 이 시간의 조합으로 최적시간을 찾는 것은 일부 항목에서 무리가 있다. 하지만 가능하면 최소한의 관측횟수로 최적의 오염부하를 산정하기 위해 일

부 항목에서 다소 무리가 따르더라도 15시와 18시 혹은 15시와 21시의 평균값을 최적시간으로 제시하였다. 최적시간을 통해 계산된 C-1 지점의 총유출량은 4.5%이하의 범위로 산정할 수 있고, 총오염부하량은 SS 18.1%이하, BOD 13.1%이하, COD_{Mn} 14.6%이하, COD_{Cr} 14.1%이하, TOC 18.4%이하, TN 13.6%이하, TP 13.6%이하의 범위로 산정할 수 있다. 최적시간을 통해 계산된 C-2 지점의 총유출량은 7.0%이하의 범위로 산정할 수 있고, 총오염부하량은 SS 16.9%이하, BOD 15.0%이하, COD_{Mn} 17.8%이하, COD_{Cr} 14.3%이하, TOC 20.9%이하, TN 18.3%이하, TP 3.9%이하의 범위로 산정할 수 있다.

3. 최적시간을 통한 오염부하의 계산

C-1지점과 C-2지점의 관측된 총유출량과 총오염부하 그리고 최적시간을 통해 계산된 총유출량과 총오염부하는 Fig. 1와 같다.

최적시간을 통해 계산된 C-1 지점의 총유출량은 -1.4 % ~ 4.5 %의 범위로 산정할 수 있고, 총오염부하는 SS -18.1 % ~ 4.9 %, BOD -3.9 % ~ 13.1 %, COD_{Mn} -2.9 % ~ 14.6 %, COD_{Cr} -4.2 % ~ 14.1 %, TOC 0.1 % ~ 18.4 %, TN -5.1 % ~ 13.6 %, TP -4.8 % ~ 13.6 %의 범위로 산정할 수 있다. 최적시간을 통해 계산된 C-2 지점의 총유출량은 3.4 % ~ 7.0 %의 범위로 산정할 수 있고, 총오염부하는 SS 7.5 % ~ 16.9 %, BOD 5.5 % ~ 15.0 %, COD_{Mn} 6.1 % ~

Table 3 Difference (%) from the daily average value of the measured variables

Site	factor	Average Value	Time							
			00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
C-1	flow	189.88	-1.41	-45.05	-33.36	34.04	17.96	-10.43	19.46	18.78
	SS	15.04	4.85	10.11	-52.13	37.03	10.84	-24.20	-11.97	25.33
	BOD	17.31	-3.18	-55.29	-46.91	37.32	26.17	-7.91	15.60	34.03
	CODMn	8.77	-2.96	-48.69	-50.97	41.28	20.30	-9.58	11.40	38.77
	CODCr	36.03	-4.16	-53.79	-46.43	36.16	25.53	-12.68	14.49	40.85
	TOC	17.54	3.99	-52.39	-31.41	19.84	12.31	-10.55	47.32	10.83
	TN	6.16	-5.03	-50.97	-53.41	46.10	6.98	-18.02	29.22	45.13
	TP	0.657	10.50	-44.29	-31.35	26.79	6.39	-14.46	41.70	4.72
C-2	flow	1,550.60	-12.26	-37.60	-18.84	33.59	19.84	3.39	6.95	4.91
	SS	69.33	-23.40	-53.76	-36.32	51.97	25.95	16.92	11.14	7.53
	BOD	122.27	-13.39	-56.77	-33.96	57.36	16.34	15.02	9.90	5.51
	CODMn	55.45	-9.38	-56.83	-30.64	41.44	18.88	6.06	17.84	12.66
	CODCr	247.79	-14.48	-54.39	-34.04	48.94	27.21	14.27	8.14	4.36
	TOC	113.72	-9.46	-46.24	-13.80	22.89	-2.82	8.00	20.90	20.52
	TN	40.29	-11.42	-40.53	-17.90	35.82	5.44	-1.24	18.32	11.57
	TP	4.175	-1.46	-31.52	-18.23	40.19	14.44	-2.32	2.80	-3.86

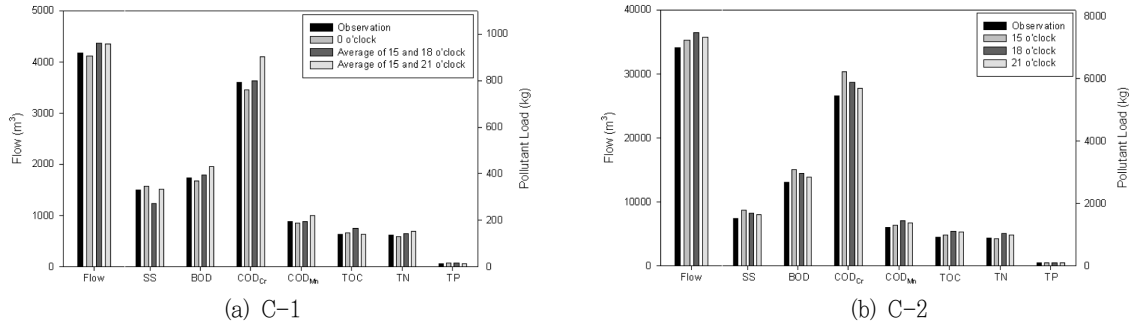


Fig. 1 The pollutant load which calculates in optimum time of monitoring

17.8 %, COD_{Cr} 4.4 % ~ 14.3 %, TOC 8.0 % ~ 20.9 %, TN -1.3 % ~ 18.3 %, TP -3.9 % ~ 2.8 %의 범위로 산정 할 수 있다. C-1 지점에서는 최소 16.2 % ~ 최대 23.0 %의 오차범위를 갖는 오염부하를 산정할 수 있는 것으로 나타났고, C-2 지점에서는 최소 3.6 % ~ 최대 19.6 %의 오차범위로 나타났다.

따라서 최적시간으로 산정된 측정시간을 사용하면 C-1 지점 23.0 %와 C-2 지점 19.6 %의 최대 오차범위를 갖는 오염부하를 산정 할 수 있다. 그에 반해 최적시간으로 나타나지 않은 측정시간을 사용하면 C-1 지점 99.6 %와 C-2 지점 114.1 %의 최대 오차범위를 갖는 오염부하를 산정하게 된다. 이러한 결과는 임의의 시간에 유량과 수질을 측정하고 오염부하를 계산하면 매우 큰 오차를 가질 수 있다는 것을 나타낸다. 따라서 사전조사와 통계적 분석을 이용하여 최적의 측정시간을 찾는 것은 오염부하의 산정에 있어 매우 중요한 것으로 판단된다.

C-1과 C-2지점에서 분석된 최적시간을 이용한 총유출량과 총오염부하의 산정은 관측된 총오염부하와 큰 차이가 없으므로 나타났고, 경제적이고 효율적인 산정이 될 것으로 사료된다. 본 연구에서는 3시간 단위의 조사를 실시하고 분석하여 최적시간을 평가하였다. 더욱 정밀하고 신뢰성 있는 평가를 위해서는 1시간 단위의 조사와 분석을 실시할 필요성이 있다.

IV. 요약 및 결론

중소도시 합류식 하수도의 오염부하산정을 위한 최적의 수질 채취 시간을 조사하였다. 중소도시인 춘천시에 두 지점의 모니터링 사이트 (C-1과 C-2)를 선정하고 2004년 9월부터 2006년 4월까지 20개월 동안 유량 및 수질을 측정하였다. 조사결과는 다음과 같다.

1) 유량과 수질시료 채취시간에 따라 오염부하는 매우 큰 차이를 보였다. C2지점의 BOD부하는 -56.77 ~ 57.36%로 가장 변화폭이 컸고, TOC부하의 변화폭이 가장 작았지만 그 범

위가 -46.24 ~ 22.89%로 나타났다. 따라서 정확한 오염부하의 산정을 위해서는 일평균 오염부하에 근접한 시간대의 유량을 측정하고, 수질시료를 채취하여 분석할 필요가 있다.

2) C-1 지점에서의 최적 모니터링 시간은 0시 또는 15시와 18시 혹은 15시와 21시로 나타났다. C-2 지점에서는 15시와 18시 그리고 21시로 나타났다.

3) 최적 모니터링 시간으로 계산된 유량과 오염부하는 C-1과 C-2 지점에서 관측된 유량과 오염부하에 비교하여 10% 이하의 오차를 갖는 유량과 오염부하를 산정 할 수 있는 것으로 나타났다.

4) 이상의 결과로 볼 때, 합류식 하수도의 유출량과 오염부하 특성을 파악할 수 있는 사전조사와 통계적 분석을 이용하여 평균에 유사한 값을 얻는 것은 모니터링을 수행하는데 가장 편리하고 경제적인 방법이 될 것으로 판단된다.

REFERENCES

Ahn, Y. H., and J. D. Kum, 2004. Characterization of infiltration/inflow (I/I) and combined sewer overflows (CSOs) in municipal wastewater collection system. *Journal of Korea Society of Civil Engineers* 24(4B): 381-390 (in Korean).

APHA, AWWA, WEF, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater (19th). *American Public Health Association*, Washington.

Bang, K. W., J. H. Lee, M. S. Choi, and Y. J. Yoon, 1998. An experimental study on sewage discharge characteristics of apartment area (II): Part of periodicity analysis. *Journal of Korean Society on Water Quality* 14(2): 145-152 (in Korean).

Cho, J. Y., and H. J. Chung, 2002. Management plans for combined sewer overflows. *Journal of Nakdonggang*

- Environmental Research Institute* 7(1): 253-263 (in Korean).
- Cho, M. J., E. B. Shin, Y. K. Kim, and W. K. Bae, 2001. The characteristics of pollutant release by sediment in combined sewer. *Journal of Korean Society on Water Quality* 17(3): 407-415 (in Korean).
- Choi, M. S., Y. J. Yoon, K. W. Bang, and J. H. Lee, 1998. An experimental study on sewage discharge characteristics of apartment area (I): Part of unit loading of pollutants. *Journal of Korean Society on Water Quality* 14(2): 137-144 (in Korean).
- Kang, Y. T., H. C. Yang, Y. H. Cho, and S. P. Chang, 2006. A study on the runoff characteristics of non-point sources by pollutant loading of domestic sewage to the municipal. *Journal of Korea Society of Water Science and Technology* 14(2): 57-66 (in Korean).
- Kim, J. K., and I. H. Ko, 2006. Modeling of discharge characteristics of combined sewer overflows (CSOs) from a small urban watershed in Daejeon city. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 28(6): 654-660 (in Korean).
- Kim, W. J., S. Managaki, H. Hurumai, and F. Nakajima, 2008. Characterization of diurnal load variation of combined sewer wastewater. *Proceedings of 2008 Spring Conference of Korean Society on Water Quality and Korea Society of Water and Wastewater*: 197-198 (in Korean).
- Lee, H. S., and S. S. Park, 2005. A water quality modeling study of Chunggye stream during combined sewer overflow period. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 27(12): 1340-1346 (in Korean).
- Ministry of Environment, 2001. Official test methods for water pollution (in Korean).
- Park, N. Y., C. H. Cho, and C. S. Choi, 2003. Status of combined sewer overflow (CSO) treatment facilities. *Journal of Korea Society of Water and Wastewater* 17(2): 204-210 (in Korean).
- Lyman, R. O., 1992. *An introduction to statistical methods and data analysis 4th edition*. Belmont.: Duxbury Press.
- Shin, E. B., and H. S. Yoon, 1998. Pollutant settling characteristics of combined sewer overflows in urban area. *Journal of Korean Society on Water Quality* 14 (4): 425-432 (in Korean).