

# 강우 시 중랑천 유역의 수질(T-P, T-N, COD<sub>Mn</sub>, SS, BOD<sub>5</sub>)변화 특성 Characteristics of Temporal Variation on Water Quality (T-P, T-N, COD<sub>Mn</sub>, SS, BOD<sub>5</sub>) in the Jungrang Stream during Rainfall Event

정재형\* · 조우싱 · 이태진 · 권오열<sup>†</sup>  
Jaehyung Jung\* · Zhou Xing · Taejin Lee · O-Yul Kwon<sup>†</sup>

\*서울과학기술대학교 에너지환경공학과 · 서울과학기술대학교 환경공학과

\*Department of Environmental Energy Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(2014년 1월 8일 접수, 2014년 5월 23일 수정, 2014년 6월 11일 채택)

**Abstract :** Water quality variations were investigated at 4 locations of Jungrang river (upper, middle and lower basins) during a period of 3 rainfall events. During the rainfall, concentrations of COD<sub>Mn</sub>, SS and BOD<sub>5</sub> significantly increased, while the concentration of T-N decreased and that of T-P remained relatively constant. This pattern became more apparent as the level of accumulative precipitation and rainfall intensity increased. Simple regression analysis showed that the accumulative precipitation was positively correlated with all water quality pollutants except for T-N. With increasing accumulative precipitation, the concentration of T-N decreased, while the others increased. R<sup>2</sup> of simple regressions of hourly average rainfall intensity and water quality pollutants, showed wider range of variation ranged from 0.483 to 0.992, which indicated a strong correlation. The stronger the hourly average rainfall intensity, the more T-N and T-P in the upper basin, more COD<sub>Mn</sub> in the middle and lower basins, more SS with gradual increase from upper to lower areas, and more BOD<sub>5</sub> with gradual decrease from upper to lower region. Simple regression showed that water quality pollution in the upper basin was more sensitive to an increase of rainfall discharge than that in the middle and lower areas.

**Key Words :** Jungrang River, Accumulative Rainfall, Rainfall Intensity, Discharge, Simple Regression

**요약 :** 중랑천 상류에서 하루 방향으로 4개 지점을 선정하여 3회의 강우 사상에 대하여 수질변화 특성을 조사하였다. 강우 시 COD<sub>Mn</sub>, SS와 BOD<sub>5</sub> 농도는 증가하고, T-N은 감소하고, T-P는 경향성이 뚜렷하게 나타나지는 않았으며, 경향성은 강우량과 강우강도 증가에 따라 더욱 뚜렷하게 나타났다. 누적 강우량과 수질항목별 단순회귀 분석 결과, T-N을 제외하고 전체적으로 양의 상관성을 갖는 것으로 나타나서 T-N은 누적강우량이 커질수록 농도가 감소하는 것으로 나타났고, 다른 항목들은 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 시간당 평균 강우강도와 수질항목별 단순회귀분석 결과, R<sup>2</sup>값이 전체적으로 약 0.483~0.992 범위의 대체적으로 폭 넓은 결정계수를 나타냈으며, 강우강도가 강할수록, T-P와 T-N은 상류 유입, COD<sub>Mn</sub>은 중류 및 하류 유입, SS는 상류에서 하류 방향으로의 점진적 증가 유입, 그리고 BOD<sub>5</sub>는 상류에서 하류 방향으로의 점진적 감소 유입이 되는 것으로 판단되었다. 유량과 수질항목별 단순회귀 분석을 실시한 결과, 중랑천 상류가 유량의 증가와 함께 수질오염도가 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

**주제어 :** 중랑천, 누적강우량, 강우강도, 유량, 단순회귀분석

## 1. 서론

중랑천은 경기도 양주시 불국산에서 그 수원을 발하여 의정부시와 서울시를 지나 한강본류로 유입하는 하천으로 행정구역상 경기도와 서울시 지역으로 구분된다. 중랑천 유역면적은 296.87 km<sup>2</sup>, 유로연장 34.8 km, 유역 평균 폭 8.53 km로서 서울시와 의정부시가 전체 유역의 3/4을 점하고 있는 고밀도 도심지 및 인구밀집지역이고 농경지는 중랑천 상류 지역에 약 6.4%가 분포하고, 도시지역이 약 44.4%, 임야는 약 43.0%를 점유하고 있다.<sup>1)</sup>

중랑천은 한강의 제1지류로서 한강수질 오염도에 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 중랑천에서 지역별로 발생하는 수질오염물질의 특성 파악이 무엇보다 중요하다. 이는 중랑천이 지형적으로 상류지역은 자연형 하천으로 구성되어 있

으며 중·하류지역은 전형적인 도시형 하천으로 구성되어 있기 때문이다. 2012년 기준 중랑천 상류지역의 잠재오염원 현황은 인구가 468,528명, 가축은 젖소 514두, 한우 685두, 돼지 973두이며<sup>2)</sup> 폐수발생량은 1일 4,194m<sup>3</sup> 그리고 폐수방류량은 1일 1,429 m<sup>3</sup>이다.<sup>3)</sup> 폐수발생량은 폐수배출시설에서 발생하여 분리 및 집수시설로 유입하는 폐수의 발생량이며, 폐수방류량은 방류수수질기준에 적합하도록 하수 및 폐수종말처리시설에서 처리 후 방류하는 양을 나타낸다. 강우 시 유출되는 수질오염물질은 유량이 증가함에 따라 수질오염도가 점점 증가하며,<sup>4)</sup> 발생하는 수질오염물질은 강우에 의해 매우 민감하게 반응한다.<sup>5,6)</sup> 또한 강우 유출수는 강우가 시작되면서 초기강우에 의해 수질오염도가 높아지는 특성을 지니고 있으며,<sup>7)</sup> 유출된 수질오염물질은 지역 및 시간적 특성에 따라 다르게 나타난다고 보고되고 있다.<sup>8)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: oykwon@seoultech.ac.kr Tel: 02-970-6616 Fax: 02-971-5776

현재까지 중랑천 수질에 관한 주요 연구를 보면, 우선 중랑천 유역의 초기 강우 시 발생하는 비점오염원 농도 및 부하량을 강우 유출과 수질부하 특성으로 해석하고 각 수질 성분과 이에 미치는 인자들과의 상관성을 분석하였다.<sup>9)</sup> 또한 도시하천에서 초기강우에 의한 비점오염 부하량의 산정을 실시하였는데 관측지점에 대한 정확한 유량 및 수질 등의 모니터링을 통하여 유출과 수질과의 특성을 파악하여 문제점을 개선하는데 주안점을 두고 분석을 실시하였다.<sup>10)</sup> 그리고 중랑천 수계 내 강우에 의한 중랑천 내 수질오염의 특성을 시간적, 공간적 변화에 따라 분석을 하였다.<sup>11)</sup> 최근에는 중랑천을 계절별 오염부하량의 특성과 부하지속곡선을 작성하여 한강수계 오염총량관리대상 지점을 대상으로 2008~2010년까지의 수질과 유량 자료를 이용하여 환경부에서 고시한 목표수질과 평균수질을 이용하여 유량변동에 따른 기준부하량과 초과빈도를 조사하였다.<sup>12)</sup>

이상의 연구 자료를 분석하여 보면 중랑천 수질 오염의 특성에 관한 연구는 비점오염원과 수질오염 부하량에 연구가 집중되어 있다. 또한 일부 특정 지역에서 측정하여 전체적인 수질오염 발생특성을 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구는 중랑천 지역을 대상으로 다수의 지점에서 동시에 측정함으로써 강우 시 중랑천 지역 전체의 수질오염물질의 시간적 변화특성을 조사하였다. 또한 누적강우량, 시간당 평균 강우강도 및 유량과의 통계분석을 통하여 지역별 수질오염 발생 인자들과의 상관성을 분석하고, 이를 바탕으로 중랑천 지역에서의 수질오염 저감 방안을 위한 기초자료를 구축하고자 하였다. 또한, 강우시의 수질오염물질 변화특성을 비교하기 위하여 비강우시에도 동일한 측정지점과 방법을 적용하여 조사하였다.

## 2. 연구방법

Fig. 1에 중랑천 유역의 수계현황과 현장실측 4개 지점(신곡교, 상도교, 월계1교, 중랑교)을 나타내었다. 본 연구는 비강우 시 2회와 강우 시 3회 총 5회에 걸쳐 현장수질을 실측하였다. 수질 측정 항목은 T-P, T-N, COD<sub>Mn</sub>, SS, BOD<sub>5</sub>를 대상으로 하였다. 실험은 수질오염공정시험법과 Standard Methods<sup>13,14)</sup>에 준하는 방법으로 진행하였으며, 그 방법은 Table 1에 나타내었다. 비강우시 수질측정은 2012년 5월 17~18일, 6월 3~4일에 실시하였으며 24시간 기준 6시간 간격으로 측정하였다. 강우 시 수질측정은 2012년 6월 29~30일, 7월 10~11일, 9월 4일에 실시하였다. 중랑천의 수위 및 유량 자료는 한강홍수통제소에서 신곡교와 중랑교 지점을 대상으로 실시간으로 제공하고 있으며, 강우량 자료는 기상청에서 제공하는 의정부 지점의 자료를 이용하였다.<sup>15,16)</sup> 선행 무강우일수는 강우량이 5 mm 이상인 강우사상을 대상으로 산정하였다. 자료의 해석은 비강우 시 수질특성, 강우 시 수질특성으로 구분하였으며, 강우 시 수질특성은 비강우 시 대비 강우 시 농도비교, 누적강우량, 평균 강우강도, 유량과

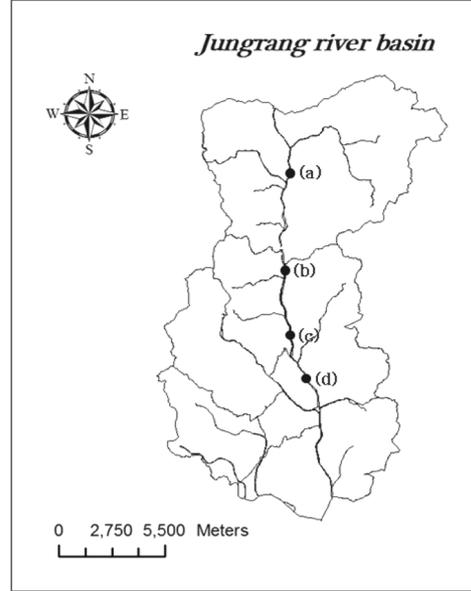


Fig. 1. Sampling sites of this study : (a) Singok bridge, (b) Sangdo bridge, (c) Wolgae 1 bridge, (d) Jungrang bridge.

Table 1. Analytical methods for water quality parameters

Categories	Methods
T-P	Ascorbic acid reduction method (UV spectrophotometer)
T-N	UV spectrophotometer
COD <sub>Mn</sub>	Potassium permanganate method
SS	Gravimetry method
BOD <sub>5</sub>	Diaphragm electrode process (YSI 550 DO meter)

수질항목별 분석 순으로 행하였으며, SPSS Ver. 20을 이용하여 통계분석을 하였다.<sup>17)</sup>

## 3. 연구결과

### 3.1. 비강우 시 측정결과

Table 2에 1, 2차 비강우 시 항목별 수질오염물질의 분석 결과를 나타내었으며, 비강우 시 평균농도는 강우 시 분석결과와 비교자료로 이용하였다. 비강우 시 측정결과 수질오염물질의 위치별 변동은 대체적으로 크지 않은 것으로 나타났다. 1차 비강우 시 상도교 지점에서 T-N과 BOD<sub>5</sub> 농도는 각각 9.36 mg/L, 5.31 mg/L로 이외의 측정지점 대비 상대적으로 농도가 높은 것으로 나타났으며, 이는 중랑천 중상류지역인 상도교 지점에서 상대적으로 유기물질의 유입이 많다는 것을 유추할 수 있다. 또한 SS는 신곡교와 중랑교 지점에서 각각 34.6 mg/L, 25.75 mg/L로 상도교(11.75 mg/L)와 월계1교(12.13 mg/L)에 비하여 높은 농도로 측정되었다. SS가 신곡교 지점과 중랑교에서 높다는 것은 중랑천 상류지역에서 많은 양의 SS 유입이 있으며, 흐름에 따라 SS의 농도가 저감되지만, 중랑교 이전 SS에 영향을 미

**Table 2.** Pollutant concentrations measured at four locations with six hours interval for 24 hours during dry period and mean values calculated from dry event (unit : mg/L)

Sites	Event 1						Event 2				
	Type	T-P	T-N	COD <sub>Mn</sub>	SS	BOD <sub>5</sub>	T-P	T-N	COD <sub>Mn</sub>	SS	BOD <sub>5</sub>
Singok	Mean±SD	0.47±0.098	4.57±1.15	5.18±0.3	34.6±23.34	2.18±0.61	0.68±0.12	8.87±0.84	7.36±1.21	10.93±6.93	1.71±0.47
	Max.	0.58	6.47	5.5	68.5	3.04	0.83	9.81	8.4	22.67	2.14
	Min.	0.35	3.64	4.9	15.5	1.39	0.54	7.85	5.6	5	0.98
Sangdo	Mean±SD	0.63±0.08	9.36±1.46	6±0.37	12±6.20	5.31±1.44	0.51±0.07	8.43±0.25	6.9±0.28	9.65±2.84	2.97±1.65
	Max.	0.72	11.49	6.4	19.5	6.54	0.56	8.78	7.3	12.33	4.84
	Min.	0.53	7.97	5.6	5	3.58	0.42	8.12	6.7	6	1.53
Wolgae 1	Mean±SD	0.38±0.049	7.53±1.20	5±0.2	12.13±5.09	4.15±1.22	0.38±0.022	6.70±0.16	6.28±0.30	12.067±6.0	1.94±0.54
	Max.	0.46	9.26	5.2	19.5	6.11	0.40	6.95	6.8	19	2.63
	Min.	0.32	6.56	4.8	8.5	3.08	0.34	6.55	6	2.67	1.27
Jungrang	Mean±SD	0.48±0.28	7.38±1.15	8.29±4.48	25.75±11.3	3.73±1.32	0.36±0.027	5.95±0.198	7.34±0.54	9.25±6.33	1.55±0.55
	Max.	0.97	8.91	16.3	39	5.31	0.39	6.15	7.9	17	2.52
	Min.	0.30	6.06	6	13.5	2.21	0.33	5.67	6.5	3	1.19
Non-rainfall event											
Category		T-P	T-N	COD <sub>Mn</sub>	SS	BOD <sub>5</sub>					
Singok		0.58	6.72	6.27	22.77	1.95					
Sangdo		0.57	8.89	6.50	12.03	4.14					
Wolgae 1	Mean value	0.38	7.11	5.64	13.64	3.05					
Jungrang		0.42	6.67	7.82	46.9	2.64					
Average		0.48	7.35	6.55	23.83	2.94					

치는 외부유입이 있었음을 추정할 수 있다. 2차 비강우 시에는 T-N과 T-P는 상류지역인 신곡교에서 각각 8.87 mg/L, 0.68 mg/L, 그리고 상도교는 8.43 mg/L, 0.51 mg/L로 이외의 측정지점 대비 높은 수치를 보였으며, SS는 1차 비강우 시와 달리 위치별(9.25~12.067 mg/L) 농도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 전체적으로 1, 2차 비강우시 분석결과 강우 외에는 수질오염을 직접적으로 유발시키는 오염원이 부재하여 수질오염 농도의 변화 폭이 크지 않게 나타났다.

### 3.2. 강우 시 측정결과

강우 시 중랑천 4개 지점을 대상으로 총 3회에 걸쳐 수질을 현장에서 실측하였으며, 30분 간격으로 채수하였다. Table 3과 Fig. 2에 강우사상별 강우특성을 나타내었으며, 선행무강우일수는 4.375~17.08일의 범위를 보였다. 측정기간 동안의 총 강우량은 24~51 mm의 범위로 나타났으며, 강우지속시간은 7.5~14.83 hr로 측정되었고, 평균 강우강도는 1.62~6.8 mm/hr로 나타났다.<sup>15,16,18,19)</sup>

Fig. 3에 1차 강우 시 시간의 경과에 따른 위치별 수질오염의 농도변화를 나타내었다. 강우시간이 지속됨에 따라 BOD<sub>5</sub>는 급격하게 농도가 증가하였으며, SS는 지속적으로 농도가 증가하고, T-P와 COD<sub>Mn</sub>은 농도가 완만히 증가하다가 일정시간(약 3시간) 이후에는 농도의 변동 폭이 크지 않은 특성을 보인 반면, T-N은 모든 지점에서 농도가 저감되는 특성을 보였다. Kim<sup>11)</sup>의 연구에서 질소는 수환경내 다양한 형태로 존재하며, 특히 T-N은 강우에 의해 농도가 저감되는

**Table 3.** Event summary during rainfall event 1, 2 and 3

Event	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Antecedent dry days (days)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)
1	51	7.5	17.08	6.8
2	24	14.83	4.375	1.62
3	24	10	4.54	2.4

희석효과로 본 연구와 동일한 특성을 보였다. 2차 강우 시와 3차 강우 시에는 강우패턴이 다른 관계로 다소 다른 양상을 보이거나 전체적으로 T-N은 강우에 의해 농도가 저감되는 희석효과를 보였으며, COD<sub>Mn</sub>, SS와 BOD<sub>5</sub>는 강우에 의해 증가하는 양상을 보였다. 하지만 T-P의 경우는 뚜렷한 경향성이 보이지 않았다. 또한 1차 강우 시와 같이 강우가 강할수록 전술한 경향성은 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다.

#### 3.2.1. 비강우 시 대비 강우 시 농도특성

Table 4에 비강우 시 대비 강우 시 수질오염 농도를 표준화하여 제시하였으며, 자료의 표준화는 비강우 시 농도를 1로 하여 강우 시 농도와 비교하였다. 자료의 표준화에 따른 비강우 시 대비 강우 시 농도특성은 전체적으로 강우 시 수질오염농도는 수질오염물질에 따라, 또 강우사상에 따라 다르게 나타났다. 1차 강우 시의 누적강우량 51 mm, 강우강도 6.8 mm/hr, 2차 강우 시의 누적강우량 24 mm, 강우강도 1.62 mm/hr, 3차 강우 시의 누적강우량 24 mm, 강우강도 2.4 mm/hr임을 고려하면, 강우강도가 강하고 강우량이 강

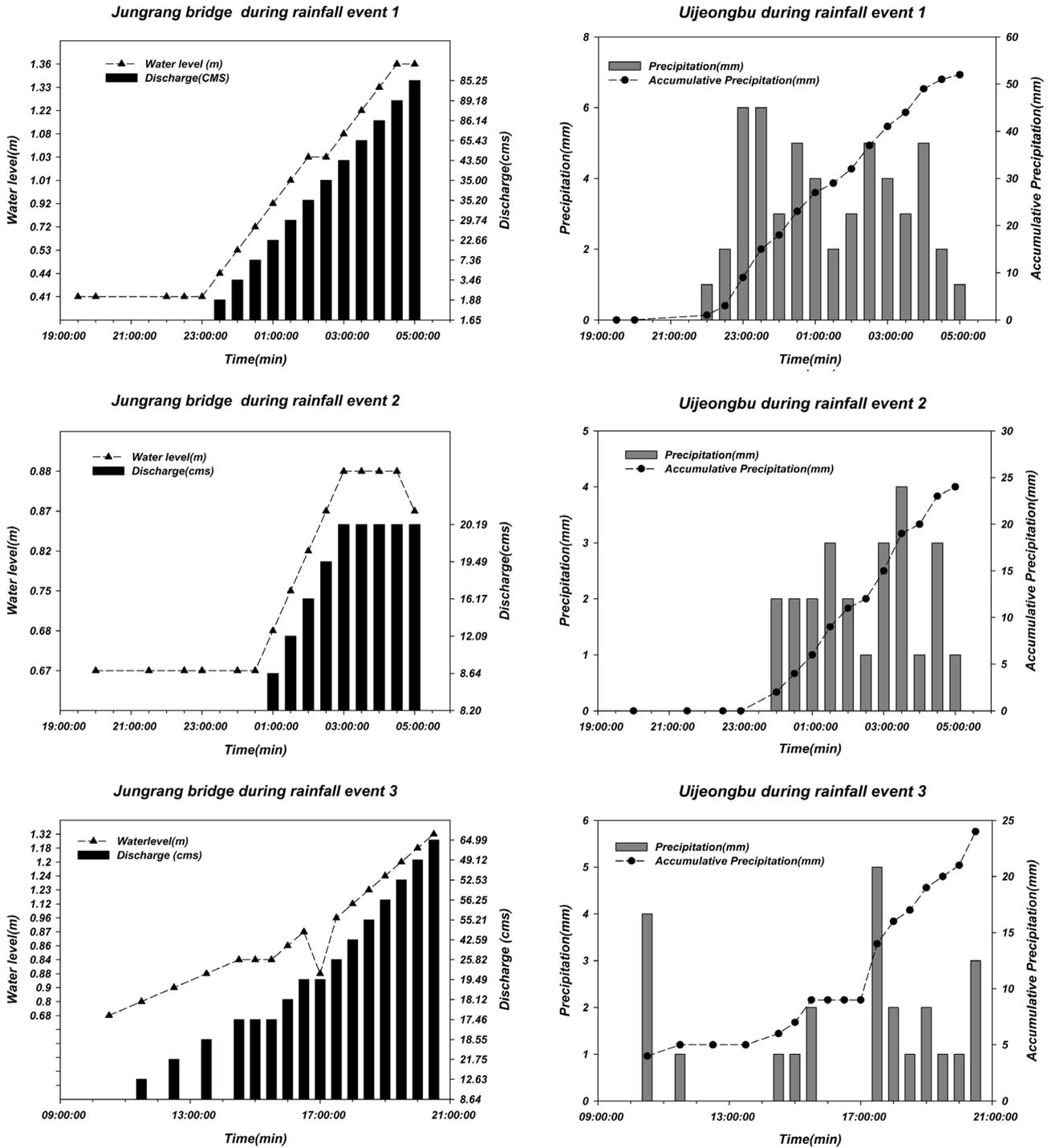


Fig. 2. Hydrographs during rainfall event 1 (upper part), 2 (middle part) and 3 (lower part).

한 1차 강우 시에는 COD<sub>Mn</sub>, SS, BOD<sub>5</sub>가 높은 농도로 나타나고 있는 반면, T-P의 농도는 완만하게 상승하며, T-N은 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 2차 강우 시에는 BOD<sub>5</sub>가 다소 증가하는 경향을 보인 반면, 상류인 신곡에서 SS가 높은 농도를 보인 것을 제외하면 모두 지점에서 비강우 시 대비 농도가 감소되었음을 보여 준다. 2차 강우 시와 비교하여 누적강우량은 같으나 강우강도가 다소 강한 3차 강우 시에는 SS와 BOD<sub>5</sub>가 전반적으로 증가하고 있다. 따라

서 강우량과 강우강도가 수질에 미치는 복합요인은 BOD<sub>5</sub> → SS → COD<sub>Mn</sub> → T-P의 순으로 영향을 미치는 것으로 추정되며, T-N은 그 영향 정도가 미미한 것으로 판단된다. 또한 강우 시 상류에서 하류로 향하면서 농도 변화 정도는 강한 누적강우량과 강우강도를 보인 1차 강우 시에 SS 농도는 하류로 내려갈수록 증가하고, BOD<sub>5</sub>는 감소하는 경향을 보이고 있는 점을 제외하고 T-P, T-N, COD<sub>Mn</sub>은 상류에서 하류로 내려갈수록 농도의 변화가 미미한 것으로 나타났다.

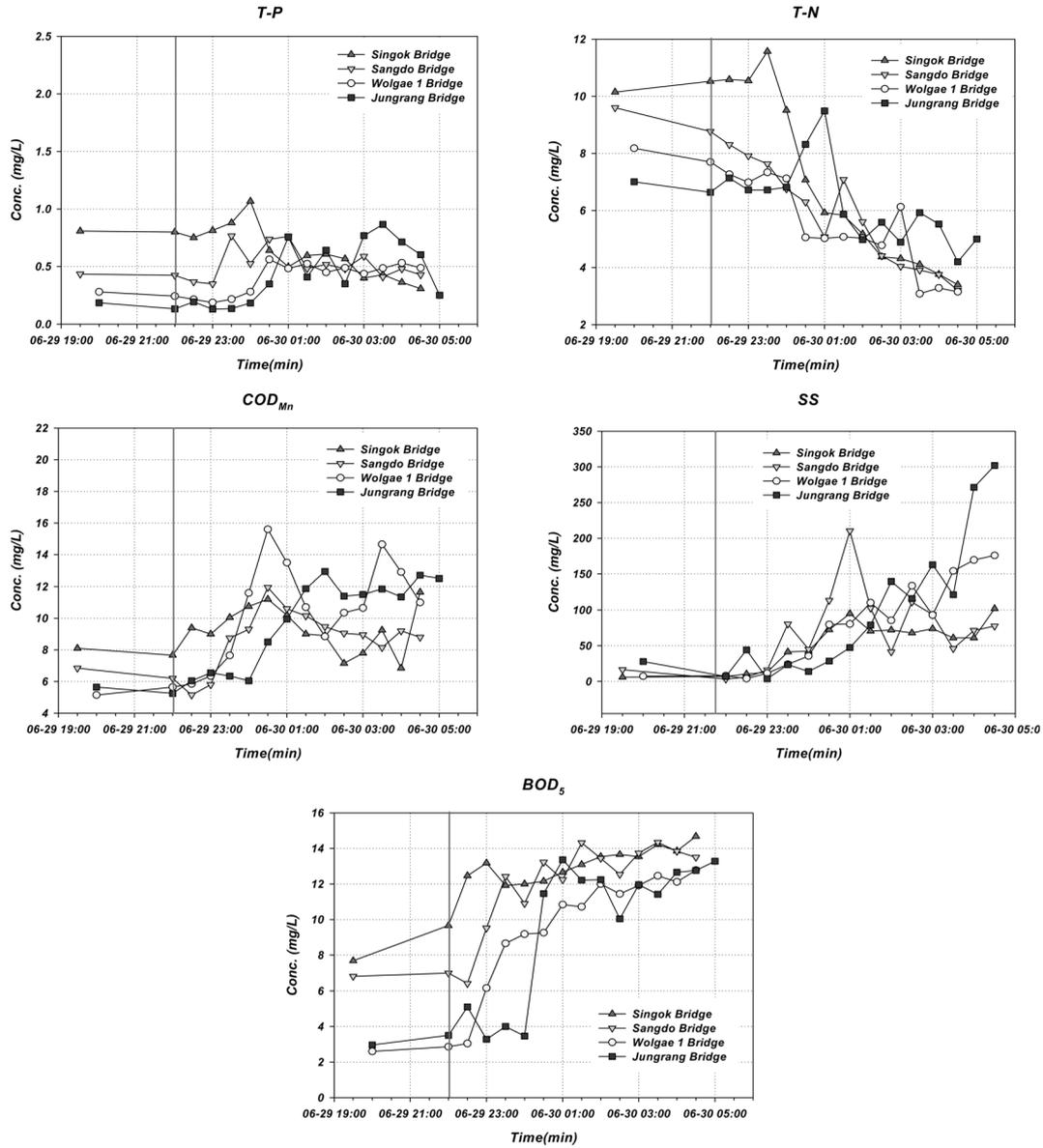


Fig. 3. Variation of water quality parameters in the Jungrang river during rainfall event 1.

Table 4. The normalization of rainfall event compared to dry event

Sites	Rainfall event 1					Rainfall event 2					Rainfall event 3				
	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
Dry event	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Singok	1.33 (0.64)	0.97 (7.13)	1.39 (9.13)	2.23 (53.0)	4.25 (12.5)	0.42 (0.20)	0.46 (3.35)	0.89 (5.80)	1.53 (36.3)	1.83 (5.37)	0.33 (0.16)	0.49 (3.61)	0.77 (5.06)	1.30 (31.0)	0.84 (2.47)
Sangdo	1.08 (0.52)	0.84 (6.16)	1.31 (8.56)	2.89 (68.9)	3.95 (11.6)	0.65 (0.31)	0.69 (5.07)	0.86 (5.63)	0.89 (21.1)	2.00 (5.88)	0.50 (0.24)	0.64 (4.73)	0.86 (5.64)	1.45 (34.4)	0.93 (2.72)
Wolgae 1	0.81 (0.39)	0.77 (5.68)	1.53 (10.03)	3.29 (78.2)	3.09 (9.07)	0.50 (0.24)	0.66 (4.85)	0.77 (5.02)	0.41 (9.84)	1.36 (3.99)	0.35 (0.17)	0.48 (3.52)	1.07 (7.02)	1.92 (45.8)	1.21 (3.57)
Jungrang	0.88 (0.42)	0.86 (6.30)	1.44 (9.40)	3.89 (92.6)	3.05 (8.98)	0.56 (0.27)	0.73 (5.40)	0.77 (5.03)	0.63 (14.9)	1.74 (5.11)	0.44 (0.21)	0.59 (4.32)	0.65 (4.28)	0.69 (16.5)	1.23 (3.62)

1. ( ) : observed concentrations, 2. Normalized value =  $\left( \frac{\text{Rainfall value}}{\text{Nonrainfall value}} \right)$

### 3.2.2. 누적강우량과 수질항목별 단순회귀분석

Fig. 4에 강우 시 누적강우량과 수질항목별 단순회귀분석 결과를 나타내었으며, 누적강우량과 수질항목별 산정된 회귀식의 표준화를 위해, 산정된 식에서 수질항목의 평균값으로 나누어 줌으로써 표준화하였다. 즉, 표준화식에서 기울기가 크게 되면 누적강우량과 수질항목간의 강한 반응력(response)이 존재하며, 기울기가 작게 되면 누적강우량과 수질항목들 간의 상호작용이 작아지게 된다. 따라서 본 연

구에서는 단순회귀분석을 통하여 누적강우량과 수질항목별 정량화를 통하여 보다 신뢰성 있는 분석을 실시하였다. 또한 R<sup>2</sup>값을 이용하여 누적강우량과 수질항목별 적합성 정도를 동시에 표현하였다.

강우 시 누적 강우량과 수질항목별 단순회귀 분석결과 T-N을 제외하고 전체적으로 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 또한 T-N은 누적강우량이 커질수록 농도가 감소하는 것으로 나타났고, 다른 항목들은 농도가 증가하는 것으로

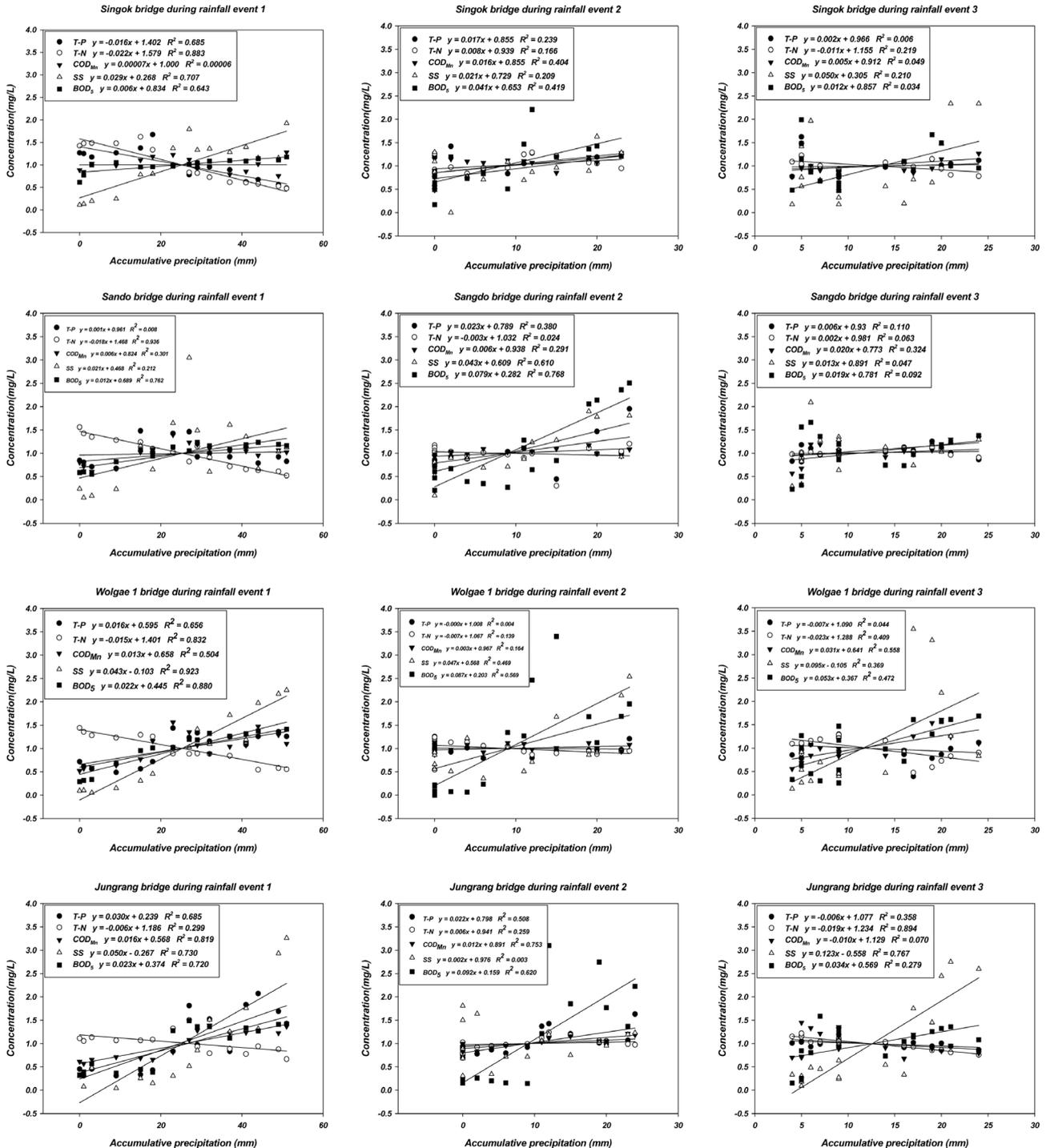


Fig. 4. Simple regression analysis between accumulative precipitation and water quality parameters at each site during rainfall period.

Table 5. Simple regression equations between hourly average rainfall intensity and water quality pollutant

Type	Singok	Sangdo	Wolgae 1	Jungrang
T-P				
Equation	$y = 0.193x - 0.003$	$y = 0.099x + 0.384$	$y = 0.075x + 0.282$	$y = 0.074x + 0.356$
R <sup>2</sup>	0.951	0.854	0.798	0.843
T-N				
Equation	$y = 0.102x + 0.271$	$y = 0.034x + 0.598$	$y = 0.036x + 0.505$	$y = 0.037x + 0.591$
R <sup>2</sup>	0.992	0.860	0.483	0.599
COD <sub>Mn</sub>				
Equation	$y = 0.111x + 0.614$	$y = 0.092x + 0.677$	$y = 0.132x + 0.645$	$y = 0.146x + 0.425$
R <sup>2</sup>	0.898	0.980	0.932	0.922
SS				
Equation	$y = 0.161x + 1.105$	$y = 0.366x + 0.423$	$y = 0.472x + 0.168$	$y = 0.662x - 0.653$
R <sup>2</sup>	0.862	0.982	0.840	0.984
BOD <sub>5</sub>				
Equation	$y = 0.571x + 0.243$	$y = 0.481x + 0.555$	$y = 0.365x + 0.567$	$y = 0.307x + 0.897$
R <sup>2</sup>	0.829	0.772	0.955	0.837

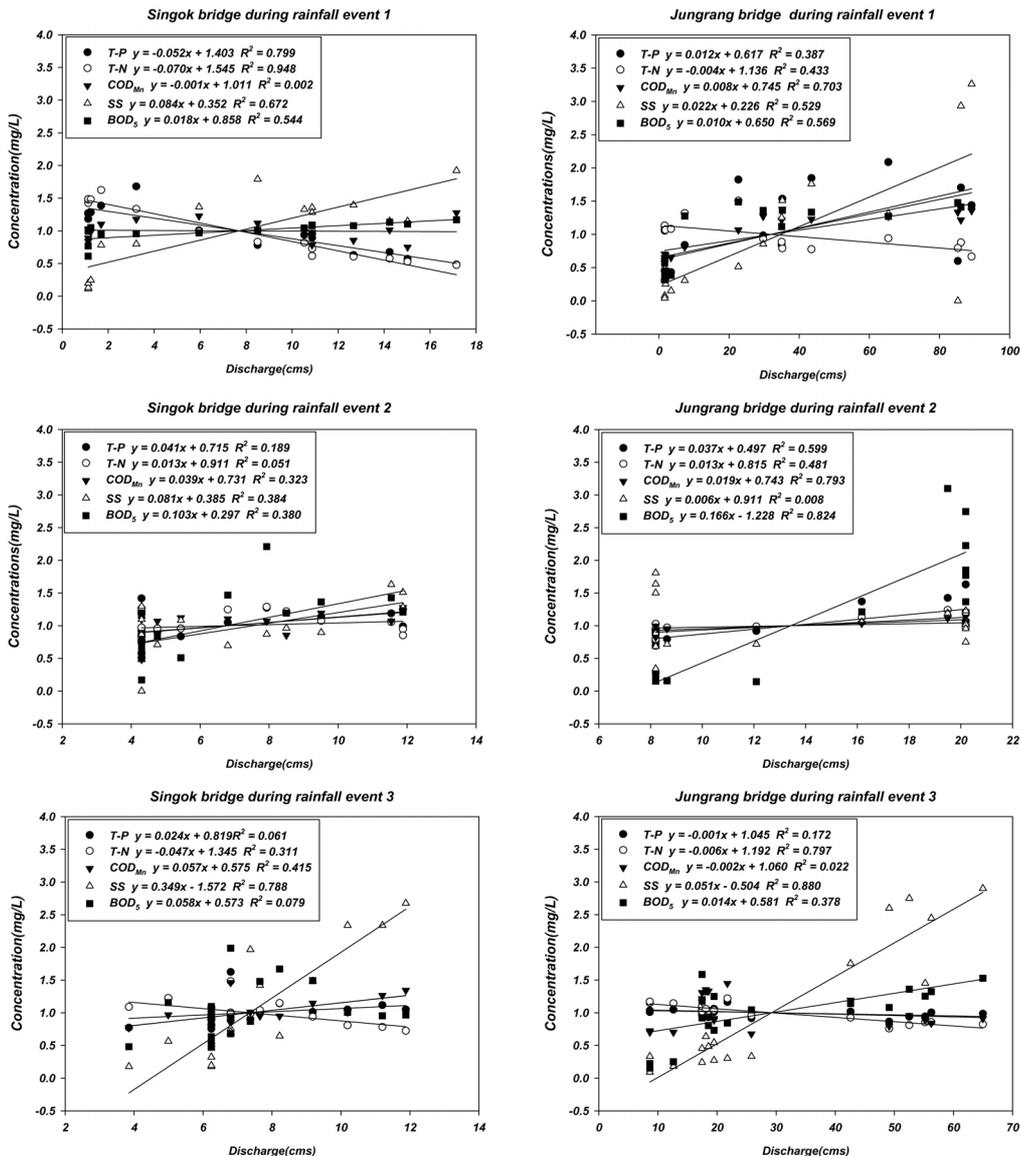


Fig. 5. Simple regression analysis between discharge and water quality parameters at Singok and Jungrang bridge during rainfall period.

나타났다. 누적강우량에 따른 농도의 증가속도는 앞 절에서 분석한 바와 유사하게 나타나고 있는데, 전반적으로 SS와 BOD<sub>5</sub>가 강하게 증가하는 반면, COD<sub>Mn</sub>과 T-P는 증가가 완만하게 나타나고 있다. 1, 2, 3차 강우 시별 특징을 살펴보면, 1차 강우 시에는 SS, 2차 강우 시에는 BOD<sub>5</sub>가 두드러지게 나타나고 있으며, 3차 강우 시에는 항목들 사이에 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 또한 강한 증가속도를 나타낼수록 R<sup>2</sup>값도 크게 증가해서, 누적강우량에 잘 반응을 보이는 수질오염물질은 누적강우량과 강한 상관을 갖는 것으로 분석되었다. 이는 강우의 형태에 따라 누적강우량 또한 다르게 나타나며 반응하는 수질오염물질의 반응도 다르게 나타남을 의미한다. 예를 들어, 1차 강우는 많은 강우량과 강한 강우강도에 의해 SS와 높은 상관성을 보인 반면, 2차 강우는 적은 강우량과 약한 강우강도에 의해 BOD<sub>5</sub>와 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

### 3.2.3. 시간당 평균 강우강도와 수질항목별 단순회귀분석

Table 5는 강우사상별 시간당 평균 강우강도와 수질항목별 단순회귀분석 결과로서, 앞서 설명한 표준화를 동일하게 적용하여 분석하였다. 시간당 평균 강우강도와 수질항목별 단순회귀분석 결과 R<sup>2</sup>값이 전체적으로 약 0.483~0.992 범위의 대체적으로 높은 결정계수가 나타나서 시간당 평균 강우강도와 수질항목간에는 밀접한 상관성이 있다고 판단되었다.

시간당 평균 강우강도에 따른 위치별 기울기를 보면 T-P, T-N은 신곡교에서 각각 0.193과 0.102의 큰 값을 보인 반면, 그 이하에서는 각각 0.074~0.099와 0.034~0.037의 낮은 기울기 값을 보이고 있다. 이것은 강우강도가 강할수록 상류에서 T-P와 T-N이 많이 유입되고 하류에서는 유량 증가에 상응하는 정도의 유입이 있다는 것을 의미한다. 그러한 관계로 보면 COD<sub>Mn</sub>은 상도교 아래 중류에서 하류로 가면서 지속적으로 유입증가가 이루어진다고 할 수 있으며, SS는 상류에서 하류로 가면서 지속적으로 유입이 증가한다고 할 수 있다. BOD<sub>5</sub>의 경우는 상류에서 가장 크고 하류 방향으로 갈수록 유입량이 서서히 감소함을 보여주고 있다.

### 3.2.4. 유량과 수질항목별 단순회귀분석

Fig. 5에 강우 시 유량과 수질항목별 단순회귀분석 결과를 나타내었으며, 이 또한 앞서 설명한 표준화를 동일하게 적용하여 분석하였다. 강우 시 유량과 수질항목별 단순회귀분석을 실시한 결과 신곡교 지점이 중랑교 지점보다 전체적으로 기울기가 크게 나타나서, 중랑천 상류가 강우에 의한 유량의 증가와 함께 수질오염도가 민감하게 반응하는 것으로 판단되었다. 그러나 유량증가와 함께 의미 있는 증가를 보이는 SS를 제외하고, 유량 증가로 인한 항목별, 위치별 농도의 증감속도는 강우사상과 관계없이 나타나고, 또한 R<sup>2</sup>값도 0.002~0.948까지 광범위하게 나타나고 있어서 유량 증가와 오염물질 농도 변화의 상관성은 거의 없는 것으로 판단되었다.

## 4. 결론

본 연구는 중랑천 지역을 대상으로 강우 시 수질오염물질의 발생특성 변화를 조사하였으며, 단순회귀분석을 통하여 각 지점별 발생하는 수질오염물질의 발생 특성을 분석하였다.

1) 비강우 시 수질오염물질 특성을 분석한 결과 측정시기와 위치별로 다소간의 농도 차이는 존재하나 위치별 수질오염농도의 변동 차이는 크지 않았다.

2) 강우 시 수질오염물질의 특성을 분석한 결과 강우와 함께 COD<sub>Mn</sub>, SS와 BOD<sub>5</sub> 농도는 증가하고, T-N은 감소하고, T-P는 경향성은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 비강우 시 농도와 대비하여 볼 때, 강우량과 강우강도의 복합요인은 중랑천 오염물질에 대하여 BOD<sub>5</sub> → SS → COD<sub>Mn</sub> → T-P의 순으로 영향을 미치는 것으로 추정되며 T-N은 그 영향 정도가 미미한 것으로 판단되었다.

3) 강우 시 누적 강우량과 수질항목별 단순회귀 분석을 실시한 결과 T-N을 제외하고 전체적으로 양의 상관성을 갖는 것으로 나타나서 T-N은 누적강우량이 커질수록 농도가 감소한 것으로 나타났으나, 다른 항목들은 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 누적강우량에 따른 농도의 증가속도는 전반적으로 SS와 BOD<sub>5</sub>가 강하게 증가하는 반면, COD<sub>Mn</sub>과 T-P는 완만하게 증가하였다.

4) 시간당 평균 강우강도와 수질항목별 단순회귀분석을 실시한 결과 R<sup>2</sup>값이 전체적으로 약 0.483~0.992 범위의 대체적으로 높은 결정계수를 나타냈으며, 시간당 평균 강우강도에 따른 위치별 기울기로 판단할 때 강우강도가 강할수록, T-P와 T-N은 상류 유입, COD<sub>Mn</sub>은 중류 및 하류 유입, SS는 상류에서 하류 방향으로의 점진적 증가 유입, 그리고 BOD<sub>5</sub>는 상류에서 하류 방향으로의 점진적 감소 유입이 존재하는 것으로 나타났다.

5) 강우 시 유량과 수질항목별 단순회귀 분석을 실시한 결과 신곡교 지점이 중랑교 지점보다 전체적으로 기울기가 크게 나타나서 중랑천 상류가 강우에 의한 유량의 증가와 함께 수질오염도가 민감하게 반응하였다.

## 사 사

본 연구는 2012년도 서울녹색환경지원센터(과제번호 SG-EC2012-0123031)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

## Reference

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Han River basin water control project," Jungrang stream spatial zone (2008).

2. Han River Basin Environmental Office, <http://www.me.go.kr/hg>(2012).
3. National Institute of Environmental Research, <http://wems.nier.go.kr>(2012).
4. Jeong, S. H., Young, K. P. and Chan, H. W., "Runoff characteristics of non-point source pollution in lower reaches of livestock area," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **34**(8), 557~565(2012).
5. Lee, M. W. and Young, S. L., "A study on runoff characteristics of non-point pollutant with rainfall intensity : A case of fowls manure," *J. Wetlands Soc.*, **11**(1), 91~97(2009).
6. Ahn, J. H., Yun, S. L. and Kim, S. K., "Runoff characteristics of non-point source according to cultivation activity in river district," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **34**(7), 480~487(2012).
7. Bang, K. W., Choi, C. S., Lee, J. H. and Choi, S. K., "Investigation of runoff characteristics and estimation of unit pollutants load for first flush," *J. Kor. Soc. Urban Environ.*, **7**(1), 49~60(2007).
8. Ahn, C. H., Kwon, J. H., Joo, J. C., Song, H. M. and Joh, G. G., "Water quality of a rural stream, the Hwapocheon stream, and its analysis of influence factors," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **34**(6), 421~429(2012).
9. Kim, K. S., Lee, J. T. and Park, Y. M., "Calculation of non-point source loads from the initial rainfall in the Jungrang stream area," *Seoul City Res.*, **3**(2), 27~45(2002).
10. Bae, S. B., "Analysis of the non-point pollutants loads by initial rainfall in the urban drainage," Master's degree thesis of Kyonggi University(2003).
11. Kim, Y. T., Kim, Y. L., Woo, N. C. and Hyun, S. G., "Hydrochemical characteristics and changes by rainfall in the Jungrang river," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **22**(4), 666~671(2006).
12. Choi, K. W., Shin, K. G., Lee, H. J. and Jun, S. H., "Assessment of the water quality of Jungnang stream by flow conditions using load duration curve," *J. Environ. Health Sci.*, **38**(5), 438~447(2012).
13. Ministry of Environment, Standard method for examination of water(2007).
14. APHA, AWWA and WEF, "Standard method for examination of water and wastewater," 20<sup>th</sup> edition, Washing D.C., U.S.A(1998).
15. Han River Flood Control Office, <http://www.hrcco.go.kr/html/main.jsp>(2012).
16. Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr>(2012).
17. SPSS Ver. 20 manual(2013).
18. Water Information System, <http://water.nier.go.kr>(2012).
19. Water Management Information System, <http://www.wamis.go.kr>(2012).