

강우에 의한 중랑천의 수질 특성 변화 연구

김연태[†] · 김유리 · 우남철 · 현승규

연세대학교 지구시스템학과

Hydrochemical Characteristics and Changes by Rainfall in the Jungrang River

Youn-Tae Kim[†] · Yu Lee Kim · Nam-Chil Woo · Seung Gyu Hyun

Department of Earth System Sciences, Yonsei University

(Received 6 April 2006, Accepted 12 May 2006)

Abstract

Effects of a rainfall event (July 28, 2005) on the hydrochemical characteristics of the Jungrang river, the biggest tributary of the Han river, was investigated. Significant spatial variations in the hydrochemical characteristics were observed. At JR2 location, concentrations of T-N and T-P were relatively low indicating occurrence of active oxidation in the stepped drop structure. At JR3 location, concentrations of Na, K, Cl, NH₄-N and EC were elevated suggesting increased discharge from the nearby waste-water treatment plant and tributaries. The rain event diluted major dissolved ion concentrations in the river by 12~52%. The NO₃-N levels were preserved during the rain then increased about twofold after rainfall, suggesting increased discharge of nitrate-contaminated groundwater. Heavy metals including Cd, Co, Cr, Cu and Pb were not detected in all water samples and the leachates from surface sediment samples. Concentrations of Fe, Mn, Al and Zn were below the Korean Drinking Water Guideline. Results of this study suggested that establishment of water-quality monitoring protocols describing temporal and spatial variations in parameters sensitive to rainfall events, relatively steady factors, and contaminant sources is required.

keywords : Groundwater discharge, Hydrochemical characteristics, Jungrang river, Rainfall effect, Water-quality changes

1. 서론

중랑천은 총 유로연장 49.1 km로서 경기도 양주시 산북리에서 발원하여 의정부와 서울의 동북부를 가로질러 한강으로 유입되는 서울시계 내에서 가장 큰 한강의 지천으로 (건설교통부 등, 2006), 고도로 인구가 밀집된 지역을 흐르며, 하천 직강화와 분지 지형으로 인하여 강우 시 매우 큰 수위변동을 나타내는 특성이 있다(서울특별시의회, 2000).

한강과 중랑천의 수질에 대한 연구는 1960년대부터 시작되었고, 1989년부터는 일부 지점에서 정기적 수질관측이 시작되어 현재는 의정부 신곡교, 서울 노원교, 장안교, 성동교 지점에서 월별 수질관측이 이루어지고 있다(환경부 등, 2006). 이러한 월별 수질관측은 유기물질과 영양염류에 의한 오염에 초점을 맞추고 있으며, 주요 오염지표인 DO, BOD, COD, T-N, T-P만을 모니터링 하고 있다.

중랑천 수질에 대한 연구들을 살펴보면, 한 등(1985, 1986)은 중랑천 본류와 지천에서 약 2년간 매일 시료를 채취하여, 중랑천에 대한 전반적인 수질과 오염 특성을 밝혔다. 이 연구는 중랑천의 구간별 수질특성과 수질의 계절적 변화 등 매우 유용한 정보를 제공하지만, 역시 DO, BOD,

COD, T-N, T-P와 같은 주요 오염지표에 초점을 맞추고 있다.

1969년 여름의 중랑천은 pH, DO, COD, 알칼리도, 경도, 질소 종(NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N), Cl, SO₄, Fe, SiO₂를 조사한 결과, 전체적으로 오염되어 있으며 하류로 갈수록 정도가 심해지고, 특히 청계천의 하수가 유입되면서 수질이 크게 악화되는 것으로 나타났다(이 등, 1969). 중금속 농도는 Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd의 순서로 나타났으며, 87년을 정점으로 감소하였다(박, 1991). 강우영향을 배제하였을 때 중랑천은 인위적 오염 현상이 크게 나타나고 있으며, 1999년에는 1996년에 비해 Cl, PO₄, Mn 등의 농도가 낮아졌다(서 등, 1997; 김 등, 2001).

이상의 자료는 하천의 기초적인 수리지화학적 특성에 대한 정보가 부족하므로, 영양염류 이외의 수질 영향 인자 및 수질 변화의 정확한 원인에 대한 분석이 어렵다. 또한 수질관측 시점이 강우현상과는 무관하여 강우에 의한 하천 수질의 변화를 알 수 없다.

영국 테임즈강의 지천인 Pang (Neal et al., 2000)과 미국 펜실베이니아의 Schuylkill 강 (Interlandi et al., 2003) 수질에 대한 연구에서는, 영양염류 뿐만 아니라 Na, Ca, Cl 등의 수리지화학적 성분을 장기간 함께 조사하였으며, 이를 활용하여 기상조건이나 지하수 유입 등에 의한 영향을 분석하였다.

하천수는 양적인 면에서는, 하천의 측면과 바닥면을 통해

[†] To whom correspondence should be addressed.
yountaekim@hotmail.com

유입되는 지하수의 기저유출과 도시 및 주거지 인근지역에서 하수관을 통해 하천으로 배출되는 하수 및 오폐수 등이 주를 이룬다. 그러나 여름 집중호우 발생 시에는 한강유역에서 전체 강수의 약 44%가 지표류로 직접 유출되어(이 등, 2004) 급격한 하천유량의 증가를 보이게 되며, 일정한 시간이 지나게 되면 다시 하천유량은 강우 발생 이전의 상태로 회복된다.

하천 수질의 오염도는 강우 시 하천 유량이 증가하면서 희석효과에 의해 낮아질 수 있다. 그러나 지표에 잔류하던 오염물질이 강우에 의해 하천으로 유입되거나 오염 지하수체의 유입량이 증가하면, 하천 수질의 오염도가 오히려 증가될 수도 있다. 강우 발생에 따른 하천 유량의 증가는 하천 유속을 빠르게 하여 하상퇴적물을 재부상 시키며, 결과적으로 퇴적물의 표면에 흡착되어 있던 오염물질들의 용탈을 유도하거나 부유물질 자체의 농도가 증가되어 하천의 오염도를 증가시킨다.

그러므로 하천의 수질특성은 시료채취 시기와 근접한 강수 현상을 고려하여 해석해야 한다. 또한 지표 오염물질의 유입, 지하수 유입, 하천 내 구조물 등과 같이 수질에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 고려하여야 한다. 이 연구에서는 한강의 주요 지천인 중랑천에 대하여, 여름철에 강우 발생 이전, 강우에 의해 유량이 증가하였을 때, 그리고 지속 강우가 없이 유량 및 하천 수위가 강우 발생 이전으로 회복되는 시점에서 중랑천의 시·공간적 수리화학적 특성을 조사하였다. 이를 통하여 중랑천의 수질특성과 오염도에 대한 객관적인 평가방법을 제시하고, 수질관측을 위한 적절한 시료채취 시점과 장소 등을 선정하기 위한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구방법

2.1. 연구지역

중랑천 수계 내에는 의정부와 중랑 두 개의 하수종말처리장이 위치하고 있으며, 중랑교에서 실시간 수위관측이, 의정부의 신곡교, 서울의 노원교, 장안교, 성동교 지점에서 월별 수질관측이 이루어지고 있다(건설교통부 등, 2006). 각각의 관측지점 자료와 서울(서울특별시 종로구 송월1동, 기상청)과 의정부(경기도 의정부시 의정부2동, 건설교통부)의 일별 및 시간별 강우량 자료, 국가지하수관측망 의정부신곡지점의 층적층 지하수위자료를 국가수자원관리종합정보시스템과 물환경정보 시스템에서 수집하여 결과 해석에 사용하였다. 각 관측 지점의 위치는 Fig. 1, 관측 자료는 Fig. 2, 강우특성은 Table 1에 나타내었다.

2.2. 시료 채취 및 분석

기존 연구들로부터 수집된 자료와의 비교 분석을 위해, 매달 수질측정이 이루어지는 노원교, 장안교, 성동교 인근 지점(JR1~3)에서 하천수 및 하상퇴적토 시료를 채취하였다. 강우에 의한 영향이 없는 2005년 7월 22일과 중랑천 유역에 속하는 의정부에 148 mm, 서울에 115 mm의 비가 내

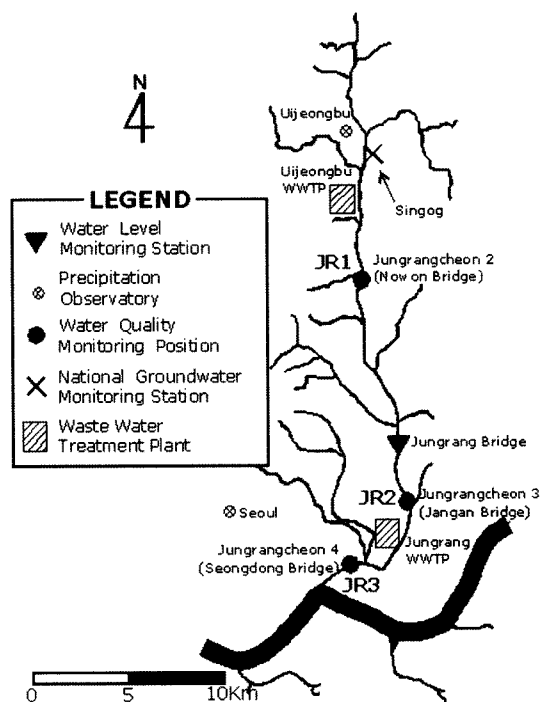


Fig. 1. Map of the Jungrang river and locations of measurement point.

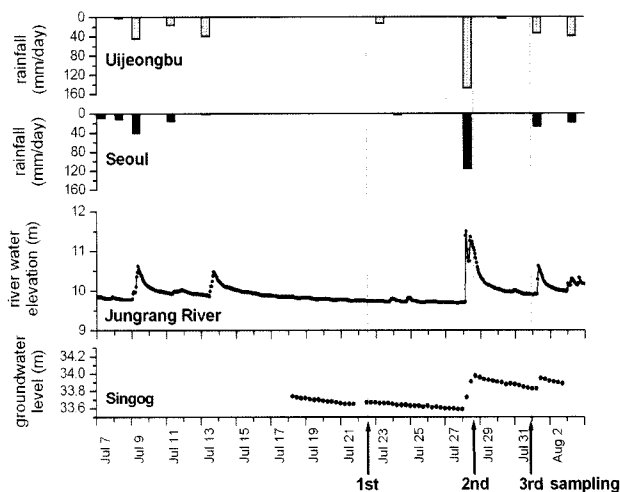


Fig. 2. Rainfall, river water elevation and groundwater level data taken from measuring points nearby the Jungrang river.

Table 1. Characteristics of rainfall event

Rainfall event	July 28, 2005
Rainfall depth	148 mm
Rainfall time	16 hr
Average rainfall intensity	9.25 mm/hr
Maximum rainfall intensity	45 mm/hr
Antecedent rainfall	13 mm
Dry day	3 days

린 28일, 이후 안정적 수위를 회복한 31일에 위 세 지점에서 하천수를 채취하였으며, 22일과 31일에 JR1지점에서 PVC 파이프를 이용해 하상퇴적토를 채취하였다. 28일에는

강우에 의한 영향이 가장 클 것으로 예상되는 침투 유량을 약간 지난 시점에 시료를 채취하였다. 따라서 본 연구에서는 강우초기에 비점오염원으로부터 유입된 오염물질에 의한 급격한 수질변화 가능성은 평가할 수 없었다.

현장에서 Orion 635를 이용하여 수온, pH, 전기전도도 (electric conductivity: EC), 산화환원전위(oxidation-reduction potential: ORP)를, Orion 835를 이용하여 용존산소 (dissolved oxygen: DO)를 측정하였고, 부유물질(suspended solids: SS)은 공정시험법을 따랐다. 용존유기탄소(dissolved organic carbon: DOC)를 측정하기 위한 시료는 유리병에 밀봉차광한 뒤 냉장보관하여 TOC Analyzer(Multi N/C 3000, Analytik Jena)로 분석하였다. 암모니아성 질소는 시료를 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과한 뒤 폴리에틸렌 병에 담아 황산처리한 후 HACH DR/4000으로 분석하였으며, T-N, T-P는 서울시보건환경연구원에 의뢰하여 분석하였다. 양이온 및 중금속 분석을 위한 시료는 여과 후 질산처리 하여 한국기초과학지원연구원 서울분소에서 Inductively

coupled plasma - atomic emission spectrophotometer ; ICP-AES (138Ultrace, Jobin Yvon)로 분석하였다. 음이온과 알칼리도는 여과한 시료를 폴리에틸렌 병에 가득 채워 냉장 보관하여 이온크로마토그래피(DX-80, Dionex)와 0.01N-HCl을 이용한 적정법으로 측정했다.

하상퇴적토는 자연건조 후 105°C에서 4시간 건조하여 250 μm 이하의 입자를 증류수와 왕수로 용출해 ICP-AES로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 주요 용존 성분의 특성

중랑천의 수질 분석 결과(Table 2), 양이온 중에는 Na와 Ca, 음이온 중에는 HCO_3 가 가장 높은 농도로 존재하였다. Na, Ca, K, Mg, HCO_3 , Cl, SO_4 , SiO_2 를 주요 용존 성분이라 할 수 있으며, 오염에 의해 나타나는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도가 매우 높아 주성분 수준으로 검출되었다. 주성분

Table 2. Water quality data of the Jungrang river (unit : mg/L)

	July 22 Before the rain			July 28 During the rain			July 31 After the rain		
	JR1	JR2	JR3	JR1	JR2	JR3	JR1	JR2	JR3
Temp. (°C)	26.6	30.7	29.8	21.4	23.1	23.9	24.8	26.2	26.1
pH	7.2	7.4	6.6	8.2	7.9	7.5	6.6	6.9	7.0
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	444	430	620	80	91	161	288	306	486
ORP (mV)	498	462	520	495	491	534	466	465	469
DO	5.2	11.4	4.3	4.7	8.7	3.0	3.8	6.8	3.5
DOC	14.52	16.12	26.84	3.30	3.94	5.72	7.23	8.33	14.46
SS	5.6	9.6	7.6	73.6	73.8	156.8	8.4	6.0	9.6
T-N	8.95	6.43	19.06	3.84	3.89	7.01	6.65	5.50	15.53
$\text{NH}_4\text{-N}$	4.25	3.25	14.00	0.41	0.77	2.25	1.55	1.05	6.00
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.3	0.7	0.4	<0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.8
$\text{NO}_3\text{-N}$	1.7	2.4	2.7	2.0	1.7	2.3	3.8	4.1	5.8
T-P	0.65	0.31	1.00	0.19	0.22	0.39	0.47	0.31	1.40
$\text{PO}_4\text{-P}$	0.65	0.21	1.11	0.12	0.20	0.23	0.45	0.23	1.54
HCO_3	139	125	171	22	28	54	87	82	85
F	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cl	41.4	41.7	56.6	5.0	5.9	17.0	26.0	25.2	46.2
SO_4	28.4	27.4	27.0	9.5	9.3	14.0	21.8	23.3	27.1
Na	36.0	34.5	47.4	5.1	5.5	12.7	20.7	19.9	36.4
Ca	30.6	35.1	31.2	8.6	9.9	15.4	25.1	27.4	29.4
K	8.9	9.1	12.4	2.7	3.5	6.1	6.1	6.3	10.9
Mg	5.0	5.2	5.5	1.3	1.2	1.7	3.6	3.9	4.7
SiO_2	9.5	8.3	9.5	8.2	6.1	5.8	12.6	12.4	10.7
Fe	0.02	<0.01	0.03	0.13	0.03	0.02	0.02	0.05	0.04
Mn	0.19	0.19	0.12	0.03	0.04	0.05	0.11	0.07	0.08
Al	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Zn	<0.005	<0.005	0.010	0.005	0.019	0.008	<0.005	<0.005	0.031
Cu	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cr	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cd	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Pb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Co	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

중에서 Ca, Mg, SiO₂, SO₄는 세 지점의 농도가 유사하였다 (Table 2). 그러나 EC와 Na, K, HCO₃, Cl 농도는 JR1과 JR2 지점에서 유사하고 최하류인 JR3에서 높아졌다(Fig. 3). 따라서 이 성분들의 농도가 높은 물이 JR2와 JR3 지점 사이에서 유입된 것으로 유추된다. 이러한 가능성을 지지하는 간접증거로, JR2와 JR3 지점 사이에 중랑하수처리장이 위치하며 또한 도시하천인 청계천이 유입되고 있어, 위와 같은 해석이 타당함을 뒷받침한다.

2005년 7월 28일에 의정부 148 mm, 서울 115 mm의 강우로 인하여 중랑천의 수위는 최대 1.79 m 상승하였으며, 한강수계에 위치한 광릉수목원에서 같은 날 측정된 강우의 EC는 8.8 μS/cm로서 하천수에 비해 상당히 낮았다(최, 2006). 따라서 많은 양의 비가 올 때 하천수는 희석효과를 나타낼 수 있다. 본 연구결과에서도 EC는 18~26%, SiO₂를 제외한 주성분 농도는 12~52% 수준으로 크게 감소하였다. 비온 후 수위가 안정된 7월 31일에는 EC가 비오기 전의 65~78%, 주성분 농도는 50~100% 수준으로 상승하였는데 이는 강우의 영향이 감소하였기 때문으로 유추된다.

SiO₂는 다른 주성분과는 달리 강우 시 희석되는 정도가 작았으며(61~87%), 강우 이후 하천 수위가 안정되는 시점에서의 농도가 강우 전보다 높게 나타나는 경향성을 보인다(Fig. 3). 이 성분은 강우에는 존재하지 않으며(Kennedy, 1971; Laudon et al., 1997), 지하수에서 농도가 높게 나타나는 성분이므로 지하수 유입량을 지시하는 것으로 파악할 수 있다. 7월 31일에 채취한 하천수에서 SiO₂ 농도가 높아진 것은 강우에 의해 지하수의 수위가 상승하면서 하천으로 유출되는 지하수의 양이 증가하여 나타난 현상으로 해석된다.

강우는 주성분 농도의 희석효과 이외에 공간적 분포에도 변화를 일으켰다. 비오기 전에는 EC와 Na, K, HCO₃, Cl 농도가 JR1과 JR2 지점에서 유사하고 JR3 지점에서 급격하게 높아졌으며, Ca, Mg, SO₄는 세 지점에서 모두 유사하였다. 그러나 비가 올 때는 모든 성분이 하류로 갈수록 지속적으로 증가되는 경향을 나타내었다(Table 2). 따라서 Na, K, HCO₃, Cl는 평상시에는 JR3 지점 상류에서 대량

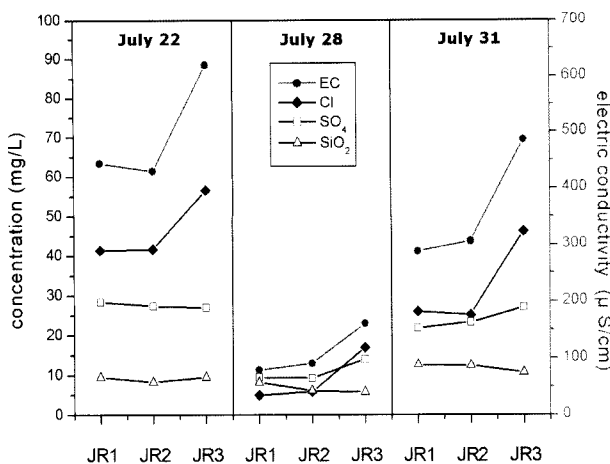


Fig. 3. Changes in concentrations of major constituents and electric conductivity by rainfall event.

공급되지만, 강우 시에는 중랑천 전 지점에서 유입되고 있다는 것을 알 수 있다. 평상시에 연구지역 내에서는 별다른 공급이 없었던 Ca, Mg, SO₄ 역시 강우 시 중랑천 전 지점에서 유입되고 있다고 할 수 있다.

3.2. 오염성분의 특성

3.2.1. 영양염류 및 부유물질

T-N과 T-P는 JR2 지점에서 가장 낮은 값을, JR3 지점에서 가장 높은 값을 나타내었으며, JR2 지점은 다른 지점에 비해 DO가 높았다(Fig. 4). DOC는 하류로 갈수록 농도가 증가하여 JR3 지점이 특히 높았다. 따라서 영양염류로 수질을 살펴보면, JR3 > JR1 > JR2의 순서로 오염이 심하다는 것을 알 수 있다.

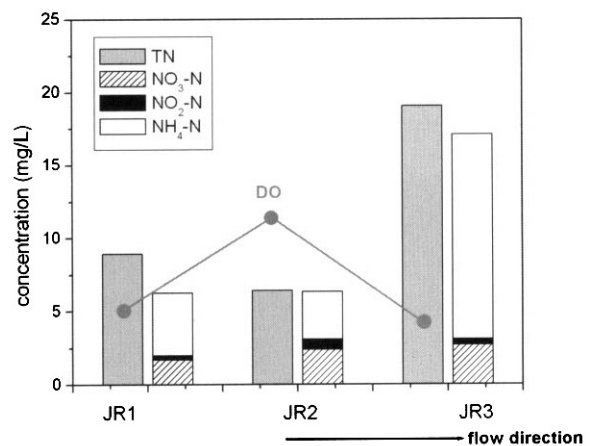


Fig. 4. Distribution of nitrogen compounds in the Jungrang river.

T-N, T-P, DOC는 주요 용존 성분과 같이 비가 올 때 희석효과를 나타냈으며, 하류로 갈수록 농도가 증가하였다. 31일에는 전체적으로 농도가 다시 높아졌으며 비오기 전과 같이 JR2가 JR1보다 낮은 농도를 나타내었다.

SS는 비가 올 때 크게 증가하였는데, 이러한 변화는 강우 발생 시 지표유출에 의한 토양 유실, 도로나 우수관에 존재하던 입자의 유입, 증가된 하천 유량과 유속에 의한 하상퇴적물의 재부상에 의하여 발생한 것으로 해석된다.

3.2.2. 질소화합물

질소는 수환경에서 다양한 형태로 존재한다. 유기질소가 분해되어 무기질소가 되며, NH₄-N은 산화되면서 불안정한 NO₂-N을 거쳐 빠르게 NO₃-N로 변한다. NO₃-N은 안정한 형태로서 오염된 지하수에 다량 존재하며, 어린 아이에게 청색증을 유발한다. 따라서 우리나라에서는 먹는물 수질기준을 10 mg/L로 정하고 있으며, 수자원 관리에 매우 중요한 오염물질이다.

중랑천은 상당히 높은 T-N을 나타냈다. 무기 이온의 농도를 분석한 결과, NO₃-N은 세 지점에서 모두 비슷한 농도를 나타내었으며, NO₂-N은 소량 검출되어 질소의 산화반응이 진행 중임을 지시하였다. 특히 JR2 지점은 상대적으로

로 높은 $\text{NO}_2\text{-N}$ 농도를 나타냈는데, 이는 낙차공의 영향으로 산소가 파괴화되면서 산화가 활발히 일어나기 때문으로 유추된다. 이 지점에서는 질소의 대부분이 무기이온 상태로 존재하며 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 상대적으로 낮았다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 JR3에서 매우 높았으며 강우에 의한 희석효과를 나타냈다. 따라서 증랑천에서는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 T-N의 시, 공간적 특성을 결정한다 할 수 있다.

T-N이 강우에 의해 희석효과를 나타낸 것과는 달리, $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 강우 중에도 농도가 크게 달라지지 않았으며, 비 온 후 수위가 안정된 31일에는 오히려 농도가 2배가량 증가하였다(Fig. 5). 천부지하수가 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 오염된 농촌지역의 소하천 수질 변화에 대한 김 등(2005)의 연구에서도 우기에 대부분의 용존 성분은 희석효과를 나타내었지만 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 SiO_2 는 오히려 농도가 높아지는 것이 보고되었는데, 이런 현상의 원인은 하천으로 유입되는 오염된 지하수의 유출량 증가에 기인한다.

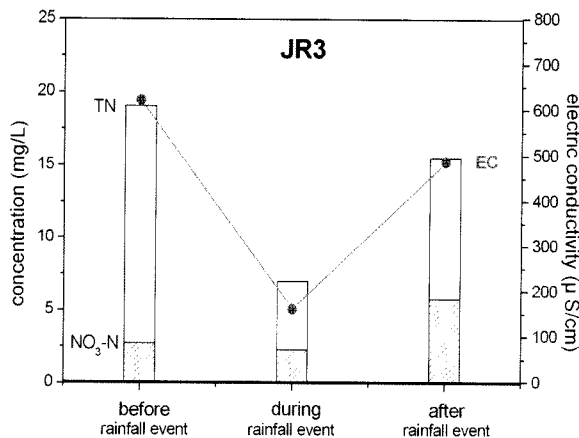


Fig. 5. Changes of T-N, $\text{NO}_3\text{-N}$ and EC by rainfall at JR3.

증랑천이 통과하는 서울의 강북구, 광진구, 노원구, 도봉구, 동대문구, 성동구, 성북구, 중랑구에 위치한 지하수수질 측정망 2004년 자료(건설교통부, 2005)에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 1차 조사 시 평균 7.2 mg/L ($n=40$, 표준편차=6.3)로서 27.5%가 먹는물 수질기준 10 mg/L를 초과하였으며, 2차 조사에서는 평균 6.4 mg/L ($n=37$, 표준편차=4.6), 수질기준 초과비율은 18.9%로 나타났다. 증랑천은 도시하천으로 지역적인 차이는 존재하지만, 유역 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 하천수에 비해 상당히 높으므로 김 등(2005)의 연구와 같은 원인에 의해 7월 31일에 측정된 하천수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 증가된 것으로 해석된다. 실제로 Fig. 2에서 증랑천 인근의 천부지하수위가 하천수위 상승 시 함께 상승하고 하천수위보다 늦게 하강하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 SiO_2 와 상관관계를 가지는데($r=0.676$, 0.05 수준에서 유의), 강우 이후에 하천수의 SiO_2 농도 상승은 지하수 유입량 증가에 기인하므로, $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 오염된 지하수의 하천유입량이 증가됨에 따라 증랑천의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 증가한 것으로 해석된다. 따라서 먹는물 수질기준 항목 중 하나인 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 증랑천에서 주기적으로 측정되는 T-N의 농도변화와는 다른 경향성을 나타내고 있다.

3.2.3. 중금속

1980년대 말 증랑천의 중금속은 87년을 정점으로 감소하였으며 Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd 순으로 농도를 나타냈다(박, 1991). 대부분 하류로 갈수록 농도가 높아졌으며 여름에는 큰 분산도를 나타냈다. 그러나 본 연구에서는 과거의 연구와는 달리, 증랑천 하천수에서 Cd, Co, Cr, Cu, Pb와 같은 중금속은 검출되지 않았으며, JR1 지점에서 채취한 하상퇴적토를 증류수와 왕수로 용출 실험한 결과에서도 이 성분들은 용출되지 않았다(Table 3).

하천수에서 Fe, Mn, Al, Zn 성분은 먹는물 수질기준을 초과하지 않는 범위 내에서 검출되었으며, 특별한 경향성을 나타내지는 않았다. 그러나 비울 때 JR1 지점에서 Fe와 Al 성분이 급격하게 높아진 것으로 보아, 이 성분들은 외부로부터 유입된 것으로 유추된다.

Table 3. Data by leaching test of surface sediment at JR1

Leachate	Deionized water (unit: mg/kg)		Aqua regia (unit: wt. %)	
	Before the rain	After the rain	Before the rain	After the rain
Si	9.2	7.5	0.010	0.013
Fe	3.1	2.7	1.004	1.139
Mn	0.2	0.1	0.015	0.016
Al	5.1	3.7	0.567	0.612
Zn	<0.05	<0.05	0.018	0.078
Cu	<0.1	<0.1	<0.004	<0.004
Cr	<0.05	<0.05	0.002	<0.001
Cd	<0.05	<0.05	<0.001	<0.001
Pb	<0.05	<0.05	<0.001	<0.001
Co	<0.05	<0.05	<0.001	<0.001

3.3. 주기적 관측에 대한 활용

증랑천은 여름철 강우의 영향으로 짧은 기간 내에 상당한 수질 변화를 나타내며, 특히 강우 시 SS의 증가가 뚜렷하다. 본 연구의 결과를 환경부에서 매월 측정된 자료 중 2005년 7월 및 8월의 수질 자료와 비교해 보면(Table 4), 7월의 자료는 SS가 상당히 높은 것으로 보아 수질이 강우의 영향을 받았을 것으로 예상된다. 어떤 하천의 수질을 대표하는 자료를 주기적으로 획득하기 위해서는 강우 등에 의한 단기적인 수질변화는 배제되어야 할 것이다. 이런 조건을 만족시키는 적절한 시료채취 시점을 선택하는 것은 쉽지 않으나, 하천에 강우의 영향이 작아져 하천 수위가 안정화 되는 시점이 합리적이다. 오염물질의 총량관리를 위한 강수 발생 시 시료채취와 분석은 독립적으로 이루어져야 할 것이다.

수질관측요소로 사용되고 있는 T-N 농도의 변화는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 변화와는 무관하게 나타난다. 따라서 하천의 장기적인 수질 오염도 평가 및 수질관리를 위해서는, 강우에 민감한 수질인자들과 지속적인 변화를 나타내는 인자들을 동시에 관측하여야 할 것이다. 이를 통해 하천의 수질에 대한 정확한 해석이 가능할 것이라 판단된다.

Table 4. Monthly monitored water quality data at Jungrangcheon 2 and results of this study at JR1

	Monthly monitored data Jungrangcheon 2 (Nowon Bridge)		Results of this study JR1 (Nowon Bridge)		
	Jul.	Aug.	Jul. 22 Before	Jul. 28 Raining	Jul. 31 After
Temp. (°C)	22	26	26.6	21.4	24.8
DO (mg/L)	6.2	6.4	5.2	4.7	3.8
SS (mg/L)	40	8.4	5.6	74	8.4
T-N (mg/L)	6.384	6.072	8.95	3.84	6.65
T-P (mg/L)	0.216	0.472	0.65	0.19	0.47

4. 결론

참고문헌

서울시계 내 중랑천의 수질과 오염특성은 강우에 의해 시간적, 공간적 변화를 일으키며, 구체적으로는 다음과 같이 요약할 수 있다:

- 1) 중랑천의 JR1, JR2, JR3 지점의 위치에 따라서 주요 용존 성분들의 함량에 큰 차이가 있으며, 연구기간 중의 강우현상은 이들 함량에 12~52% 정도의 희석효과를 일으켰다.
- 2) JR2 지점은 낙차공에 의한 산소공급으로 질소의 산화가 활발하며, T-N, T-P, DO 등으로 살펴본 오염도가 가장 낮다.
- 3) JR3 지점은 하수처리장 및 지천의 영향으로 다른 지점보다 상대적으로 높은 EC, Na, K, Cl, NH₄-N 농도를 보인다.
- 4) T-N은 강우에 희석효과를 나타내지만, NO₃-N은 희석효과가 나타나지 않고 강우 후에 오히려 농도가 2배가량 증가하는 경향을 보였는데, 이는 오염된 지하수 유입의 영향으로 판단된다.
- 5) 중랑천과 하상퇴적토에는 중금속 오염이 발견되지 않았으며, JR1 지점 하천수에서 강우 시 Fe와 Al 농도가 일시적으로 높아져 외부로부터 유입된 것으로 판단된다.
- 6) 수자원으로서 하천수의 체계적인 수질오염 평가 및 관리를 위해서는, 수질을 대변하는 측정 항목과 시료채취 지점 및 적절한 시료채취 시기에 대한 체계적인 방안 마련이 필요하다.

사 사

본 연구는 (사)여성공학기술인협회의 2005 WATCH21 과제에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. 또한 연구에 참여한 연세대학교 조안나, 무학여자고등학교 화학반 이가영, 김유리, 김해인, 박진경, 이은혜, 진선미 양과 김덕희 지도교사님에게도 감사드립니다.

건설교통부, 한국수자원공사, 국가수자원관리종합정보시스템 <http://www.wamis.go.kr/> (accessed Mar 2006).

건설교통부, 지하수조사연보 (2005).

김규한, 심은숙, 한강 하천수 중 용존이온의 지구화학적 특성과 기원, *자원환경지질*, **34**(6), pp. 539-553 (2001).

김연태, 우남철, 이광식, 송윤구, 질산성 질소로 오염된 소유역 하천 수질의 계절 변화, *지하수토양환경*, **10**(2), pp. 20-27 (2005).

박찬구, 중랑천 하천수중 중금속 농도변화에 관한 연구, 연세대학교 산업대학원 석사학위논문 (1991).

서울특별시의회, 중랑천 수질환경조사 중랑천 수질 대책에 관한 연구(하수처리분야) (2000).

서혜영, 김규한, 한강수계분지내 하천수의 지구화학적 특성, *지하수환경*, **4**(3), pp. 130-143 (1997).

이동호, 우남철, 이광식, 강수와 하천수의 산소 안정동위원소 조성을 이용한 한강 수계분지의 물 저장량 산출, *대한자원환경지질학회 춘계학술발표회집*, pp. 44-47 (2004).

이정숙, 라규환, 하계중랑천의 위생학적 연구, *한국육수학회지*, **2**(3-4), pp. 69-73 (1969).

최인혁, 광릉 소유역의 원두부 지역 수문순환에 대한 지하수의 기여도 분석, 연세대학교 석사졸업논문(예정), (2006).

한상완, 홍사욱, 도시하천의 수질특성에 관한 연구 (제1보), *Korean Journal of Limnology*, **18**(3-4), pp. 1-14 (1985).

한상완, 홍사욱, 도시하천의 수질특성에 관한 연구 (제3보), *Korean Journal of Limnology*, **19**(1-2), pp. 63-77 (1986).

환경부, 국립환경과학원, 물환경정보시스템 <http://water.nier.go.kr/weis/> (accessed Mar 2006).

Interlandi, S. J. and Crockett, C. S., Recent Water Quality Trends in the Schuylkill River, Pennsylvania, USA: A Preliminary Assessment of the Relative Influences of Climate, River Discharge and Suburban Development, *Water Research*, **37**, pp. 1737-1748 (2003).

Kennedy, V. C., Silica Variation in Stream Water with Time and Discharge, *Adv. Chem.*, **106**, pp. 94-130 (1971).

Laudon, H. and Slaymaker, O., Hydrograph Separation using Stable Isotopes, Silica and Electrical Conductivity: An Alpine Example, *J. Hydrol.*, **201**, pp. 82-101 (1997).

Neal, C., Neal, M., Wickham, H. and Harrow, M., The Water Quality of a Tributary of the Thames, the Pang, Southern England, *The Science of the Total Environment*, **251/252**, pp. 459-475 (2000).