

ORIGINAL ARTICLE

수원시 서호천의 수질현황 및 환경질 특성

지흥진 · 이상은^{3)*} · 최영근¹⁾ · 이재동²⁾

수원시청 물관리과, ¹⁾주흥환경(주), ²⁾가천대학교 환경에너지공학과, ³⁾아주대학교 환경공학과

Characteristics of Water and Environmental Qualities of Seho Watershed in Suwon City

Hong-Jin Chi, Sang-Eun Lee^{3)*}, Young-Keun Choi¹⁾, Jae-Dong Lee²⁾

Water Management Division, City of Suwon, Suwon 442-701, Korea

¹⁾Juheung Envirotech, Yongin, 448-160, Korea

²⁾Environmental and Energy Engineering, Gachon University, Seongnam 461-701, Korea

³⁾Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

Abstract

This study was to investigate characteristics of Seho watershed in Suwon city. BOD₅ and SS were selected due to the one of the important factors of the water qualities. Monitoring was conducted monthly for four years during the non-rainfall time. Also, we have been monitored BOD₅, COD_{Mn}, SS, TN and TP with two times sampling after the rainfalls. The highest concentrations of BOD₅ and SS were observed in downstream compare with upstream and midstream during the non-rainfall time. No change was observed in BOD₅ and COD_{Mn} during the non-rainfall time and after the rainfalls. The monitoring result indicated that the concentration of SS was the highest in downstream after the rainfalls. We have collected the samples two times after the rainfalls. The rainfall intensity in first sampling was two times higher than second sampling. TN and TP concentrations were increased with increasing the rainfall intensity at all stream. The ESB (Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community) index was used to evaluate the statement of stream. ESB results were identified that the upstream is protected waters and the down and midstream is reformed waters. EBS analysis results indicated that the Seho watershed was β -mesosaprobic at all stream.

Key words : Watershed, Rainfall, Non-rainfall, ESB index

1. 서론

오염원 특히 비점오염원이 유출되어 하천으로 유입되는 경로는 기후, 지형, 일시 및 지역적 특성과 같은 여러 가지 요건이 있으며 이에 따른 배출량 변화가 심하다. 이러한 비점오염원의 하천 유입은 수질악화

의 원인이 되고 있다. 도시지역, 농업지역 등의 비점오염원의 관리방안 및 제도적 관리방안을 연구가 이루어지고 있으며, 호수나 하천수계를 중심으로 연구결과를 제시되고 있다(Won, 2003; Kim, 2003; Cho, 2003; Shin, 2004; Park 등, 2005).

도시지역의 산업발달로 인해 공업단지들이 조성되

Received 27 December, 2012; Revised 1 May, 2013;

Accepted 3 May, 2013

*Corresponding author : Sang-Eun Lee, Environmental, Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea
Phone: +82-31-219-2401
E-mail: leese@ajou.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

면서 개발에 따른 인근 지역의 수질오염에 대한 피해 사례들이 많이 보고되고 있으며, 특히 강우 시 도시지역에서 다양한 성분의 오염물질이 하천으로 유입되어 수중의 오염도를 증가시키고 생태계를 위협한다(Wanielista, 1998; Huner 등, 1979; Hoffman 등, 1982). 이러한 도시유출수는 비점오염원 중 큰 비중을 차지하며, 도시화가 진행됨에 따라 지속적으로 하천의 오염도도 증가할 것이다. 또한 도시는 불투수성 면적이 다른 토지이용지역에 비해 높음으로 강우 초기에 오염물질을 다량 하천으로 유입시키게 된다(Fam 등, 1987; U.S. EPA, 1993; Jang 등, 2005; Bak 등, 2005; Lee 등, 2010). 하천으로 유입되는 대부분의 오염물질은 부유물질(SS: Suspended solid)의 형태이며, 입자성 물질은 수계에 퇴적하여 장기간 잔류하는 경향이 있다(Lee 등, 2005).

비점오염의 하천 유입은 하천의 수질을 악화시키고 수변 생태계를 교란할 수 있는 가능성이 높아 이를 사전에 방지하거나 사후 수질개선을 위한 노력을 강구해야 한다. 이를 위해 현재의 하천의 환경적인 현황을 파악해서 향후 오염물질의 유입에 따른 하천의 변화를 비교할 수 있어야 한다. 또한 도시하천의 빗물에 의한 오염 정도의 파악은 향후 하천정비에 필요한 근거자료로 삼을 수 있다.

본 연구는 수원시의 장안구, 팔달구 및 권선구를 흐르는 도시하천인 서호천을 대상으로 상, 중 및 하류의 수질현황 및 하천의 수질등급과 하천환경성을 조사하였다. 비강우 시에 4년간의 상, 중 및 하류의 월간 수질과 2011년 강우 발생시 2차에 걸친 하천의 수질을 모니터링 함으로써, 강우 시 하천의 오염변화와 향후 비점오염원 저감시설 및 하천정화시설에 필요한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 재료 및 방법

서호천 주변의 지역적 현황을 파악하기 위해 상류지역에 해당하는 장안구(Point-1 ~ Point-4), 중류지역인 팔달구(Point-5 ~ Point-7) 그리고 하류지역인 권선구(Point-8 ~ Point-10)로 구분하여 인구분포, 하수도 보급률 및 폐수발생량과 폐수배출량을 기초 조사하였으며, 수원시의 또 다른 하천인 수원천, 원천리천 및 황구지천과 비교하였다. 수원시의 현황은 2011년 1월

1일을 기준으로 조사하였다.

2008년부터 2011년까지 상, 중 및 하류의 BOD₅ 및 SS를 측정하여 서호천의 수질 모니터링하였다. 수질 측정을 위한 샘플링은 비가 오지 않은 날이었다. 또한 세밀한 수질 및 환경질을 위한 서호천의 수질오염 모니터링을 위해 2011년 9월 29일 및 10월 14일 등 2회에 걸쳐 실시하였다. 수질분석을 위한 채수지점은 상류지역인 장안구는 W-1 ~ W-5, 중류지역인 팔달구는 W-6 ~ W-7 그리고 하류지역인 권선구는 W-8 ~ W-13이며, 이를 Fig. 1에 나타내었다. 상, 중 및 하류의 수질 채수현황은 Fig. 2 ~ Fig. 4에 나타내었다. 수질분석을 위한 채수는 강우 종료 1시간 후에 실시하였다. 채수된 시료의 수질을 평가하기 위해 pH, SS, COD_{Mn}, BOD₅, TN 및 TP를 수질오염공정시험법에 의하여 측정하였다. 4년간의 수질분석은 강우가 없는 날이며, 강우 종료 후의 수질을 비교하여 비점오염원의 유입에 따른 서호천의 수질 오염 변화를 조사하고자 하였다.

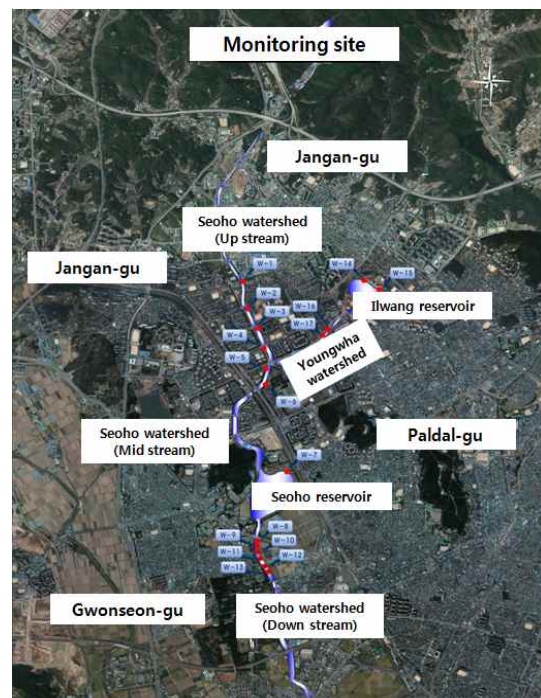


Fig. 1. Monitoring sites of water & environmental qualities.



Fig. 2. Pictures of water sampling for up stream (Point : W1 ~ W5).



Fig. 3. Pictures of water sampling for mid stream (Point : W6 ~ W7).

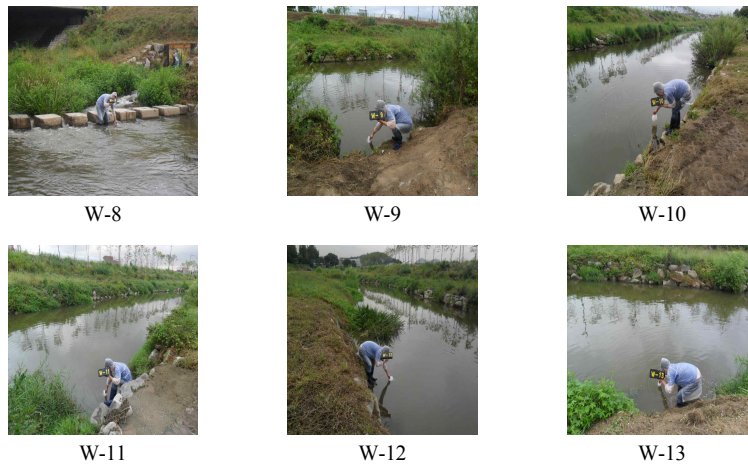


Fig. 4. Pictures of water sampling for down stream (Point : W8 ~ W13).

수질분석결과와 하천의 수질환경에 민감한 저서 무척추 동물의 ESB(Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community)지수를 분석하여 서호천의 환경질을 평가하였다(Kim, 2004). 저서무척추 동물의 조사는 상류는 W-5, 중류는 W-7 그리고 하류는 W-13에서 실시하였으며, 수질분석을 위한 채수 후 다음날에 조사하였다. 조사지점은 Fig. 1에 수질분석 채수지점에서 확인할 수 있으며, 1차 조사기간은 2011년 9월 30일부터 10월 1일이며, 2차 조사기간은 2011년 10월 15일부터 16일까지 2회에 걸쳐 실시하

였다. 동일 기간에 영화천을 동시에 조사하여 서호천과 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토지이용 현황

생활계 오염원 현황조사는 주민등록상 거주인구를 기준으로 행정구역별 가정인구와 배출원별 가정인구로 조사하였다. Table 1에서 보면, 수원시의 인구현황을 서호천, 수원천, 원천리천 및 황구지천으로 살펴보

Table 1. Population density and sewage propagation in Seoho watershed

Stream	No.	Population	Sewage treatment	Sewage untreated	Sewage	Watershed
			population	population	propagation	
			(Person)		(%)	(km ²)
Up	Point-1	12,395	12,395	0	100.0	3.87
	Point-2	1,842	1,842	0	100.0	1.96
	Point-3	62,284	62,284	0	100.0	3.54
	Point-4	28,257	28,257	0	100.0	2.94
	Sub-total	104,778	104,778	0	100.0	12.31
Mid	Point-5	64,585	64,585	0	100.0	4.20
	Point-6	43,974	43,873	101	99.8	1.97
	Point-7	51,218	51,218	0	100.0	2.49
	Sub-total	159,777	159,676	101	99.9	8.66
Down	Point-8	40,436	39,883	553	98.6	2.97
	Point-9	52,732	51,145	1,587	97.0	4.96
	Point-10	9,711	9,089	622	93.6	1.99
	Sub-total	102,879	100,117	2,762	96.4	9.92
Seoho Total		367,434	364,571	2,863	99.2	30.89
Suwon		126,935	124,671	2,264	98.2	20.06
Wonchunri		444,438	438,224	6,214	98.6	38.91
Hwanggugi		151,868	144,814	7,054	95.4	31.21
Watershed Total		1,090,675	1,072,280	18,395	98.3	121.07

면 총 인구 1,090,675명이 살고 있으며, 하천의 면적은 총 121.07 km²이며 서호천은 30.89 km²이다. 하천별로 하수처리인구(Sewage treatment population)가 1,072,280명으로 하수도 보급률 98.3%를 차지하였다. 인구 분포를 서호천의 10개 소유역(Stream)으로 구분한 결과 33.7%로 지천 중 원천리천 다음으로 많았으며, 하수도 보급율은 99.2%가장 높게 나타났다.

서호천의 지류를 상류, 중류 및 하류로 구분한 결과, 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 상류지역인 장안구는 발생하수를 모두 처리하는 지역으로 하천의 오염원이 낮은 지역임을 예측할 수 있다. 중류지역인 팔달구와 하류지역인 권선구는 인구의 밀도도 높으며 미처리 하수가 증가하는 지역으로 하천의 오염이 예상되는 지역으로 판단된다.

Table 2는 폐수발생량을 나타낸 것으로 산업지역을 의미한다. 인구분포로 보면 중류지역인 팔달구가 가장 많으나 폐수발생량은 가장 낮게 조사되었다. 반면에 하수처리율이 가장 높은 상류지역의 폐수발생량이 가장 높게 나타났으나, 폐수처리율은 중류와 하류에 비해 높은 처리율인 99.27%로 나타났다. 이것은 미처리 또는 무단 방류가 아닌 법적인 처리를 통한 하천

Table 2. Status of industrial pollution in Seoho watershed

Stream	No.	Wastewater	Wastewater
		generation	emission
		(m ³ /d)	
Up	Point-1	759	759
	Point-2	1,866	1,866
	Point-3	831	810
	Point-4	1,068	1,056
	Sub-total	4,524	4,491
Mid	Point-5	86	83
	Point-6	457	358
	Point-7	213	207
	Sub-total	756	648
Down	Point-8	640	151
	Point-9	468	197
	Point-10	429	160
	Sub-total	1,537	508
Seoho Total		6,817	5,646
Suwon		577	491
Wonchunri		7,812	7,581
Hwanggugi		1,306	1,086
Watershed Total		16,512	14,804

방류가 이루어진다는 것을 의미한다. 하류와 중류는 각각 85.70% 및 82.92%로 안전한 처리가 이루어지지 않아 하천의 오염을 위협하고 있다고 판단된다.

다른 하천과 비교하여 폐수발생량이 높은 하천지역에서 폐수처리율이 높은 것으로 나타났다. 가장 폐수발생량이 높은 원천리천과 서호천 상류지역의 처리율이 90% 이상이며, 수원천, 황구지천 및 서호천 하, 중류의 폐수처리율은 90% 이하로 조사되었다.

3.2. 비강우(non-rainfall)시 하천 수질 모니터링 결과

Table 1과 2는 2008년과 2009년에 월별로 서호천의 상, 중 및 하류의 수질을 측정된 결과이다. Table 3

과 4에서 볼 수 있듯이 유하거리별로 살펴보면 상류에서 하류로 갈수록 수질오염이 나빠지는 것으로 나타났다. Table 3과 4에서 BOD₅의 경우는 상류에서 하류로 갈수록 오염도가 크게 증가하지는 않지만 SS의 경우는 하류의 오염도가 크게 상승한 것을 알 수 있다. 이는 하천에 유입되는 오염물질이 유기성 물질보다는 부유물질이 보다 많은 것을 나타내며, Table 1에서 보듯이 상류지역의 하상 면적이 넓어 다양한 입자성 물질이 유입될 가능성이 높기 때문일 수 있다. 또한, 상류지역의 폐수발생량이 가장 높아 처리된 폐수방류수의 유입으로 하천의 난류 형성에 의한 부유물질의 발생빈도가 높은 것도 요인으로 작용하였다. 2008년에

Table 3. Water qualities in Seocho watershed during 2008

Measurement time	BOD ₅ (mg/L)				SS (mg/L)			
	Up stream	Mid stream	Down stream	Ave.	Up stream	Mid stream	Down stream	Ave.
2008. 01	6.9	5.1	8.7	6.9	33	3	3	13
2008. 02	7.7	2.3	19.6	9.9	18	8	25	17
2008. 03	5.1	2.2	8.9	5.4	2	8	21	10.3
2008. 04	4.3	5.1	10.5	6.6	2	4	16	7.3
2008. 05	7	8.9	4.1	6.7	5	4	13	7.3
2008. 06	1.3	1.2	2.5	1.7	4	20	3	9
2008. 07	6.9	6.1	8.7	2	3	3	38	14.3
2008. 08	7.1	9.5	14.5	10.4	1	13	46	20
2008. 09	22.1	2.9	2.4	9.1	10	13	6	9.7
2008. 10	1.3	5.4	8.4	5	4	5	19	9.3
2008. 11	4	3.5	15.6	7.7	2	5	17	8
2008. 12	6	5.4	8.5	6.6	3	7	8	6
Average	6.6	4.8	9.4	6.5	7.3	7.8	17.9	10.9

Table 4. Water qualities in Seocho watershed during 2009

Measurement time	BOD ₅ (mg/L)				SS (mg/L)			
	Up stream	Mid stream	Down stream	Ave.	Up stream	Mid stream	Down stream	Ave.
2009. 01	5.9	5.8	9	6.9	40	19	41	33.3
2009. 02	2.8	4.9	5.9	4.5	2	19	5	8.7
2009. 03	6	11.8	11.4	9.7	49	49	21	39.7
2009. 04	3.8	5.7	11.7	7.1	4	1	13	6
2009. 05	1.2	4.4	14.4	6.7	1	3	18	7.3
2009. 06	1.9	4.3	4.3	3.5	14	24	15	17.7
2009. 07	1.9	5.7	4.2	3.9	4	18	17	13
2009. 08	1.8	2.9	6.2	3.6	5	8	29	14
2009. 09	1.6	1.9	1.9	1.8	1	2	1	1.3
2009. 10	1.3	5.4	8.4	5	4	5	19	9.3
2009. 11	0.9	1.3	4	2.1	4	11	15	10
2009. 12	6.9	5.1	8.7	6.9	33	3	3	13
Average	3.0	4.9	7.5	5.1	13.4	13.5	16.4	14.4

서 2009년의 서호천 상, 중 및 하류의 BOD₅는 모든 지류에서 약간의 오염도 감소를 나타내었다. 반면에 SS의 경우는 상류 및 중류는 두 배 이상 오염도가 증가했으나 하류는 약간 감소하였으며, 평균농도는 10.9 mg/L에서 14.4 mg/L로 32%의 오염이 증가하였다. 하류의 경우 Table 1에서 보듯이 96.4%로 하수처리율이 가장 낮고, Table 2에서 보듯이 폐수처리율이 82.82%로 미처리 폐수의 발생이 증가한 것이 원인이라고 판단된다.

Table 5과 6은 2010년과 2011년에 월별로 서호천의 상, 중 및 하류의 수질을 측정하여 평균을 나타낸 결과이다. 2008년 및 2009년에 비하여 2011년의 결과인 Table 5에서 BOD₅는 약간의 오염도가 증가하였으

Table 5. Water qualities in Seoho watershed during 2010

Measurement time	Average of all stream	
	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)
2010. 01	11.1	8.2
2010. 02	10.3	30.1
2010. 03	11.5	30.1
2010. 04	7.8	9.7
2010. 05	6.7	8.7
2010. 06	4.6	12.9
2010. 07	6.5	15.4
2010. 08	9.1	14.8
2010. 09	3.4	8.9
2010. 10	3.6	10.1
2010. 11	4.2	11.1
2010. 12	6.4	10.5
Average	7.1	14.2

Table 6. Water qualities in Seoho watershed during 2011

Measurement time	Average of all stream	
	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)
2011. 01	9.8	10.1
2011. 02	1.2	25.6
2011. 03	3.3	14.3
2011. 04	4	6.7
2011. 05	4	12.6
2011. 06	7.7	26
2011. 07	5.6	8
2011. 08	10.4	41.4
2011. 09	68.4	80.6
2011. 10	4.2	8
2011. 11	6.2	8.4
2011. 12	2.8	6.8
Average	10.6	20.7

나, SS의 경우는 유사한 오염도를 나타내었다. Table 6에서 나타나듯이, 2011년도에는 BOD₅는 하천수질 등급을 Table 9를 기준으로 IV에서 V로 한 등급 낮아진 결과를 나타내어 지속적으로 오염이 심화되는 것을 알 수 있다.

Table 5에서 BOD₅ 및 SS의 년 평균 농도는 여름철보다 겨울철에 오염도가 높은 것을 알 수 있다. 이것은 Table 3과 4와 유사한 결과이며, 서호천은 여름철보다는 수량이 적은 겨울철에 오염이 심화되는 것을 알 수 있다. 2008년(Table 3), 2009년(Table 4) 및 2010년(Table 5)의 SS에 대한 경향을 통하여 모두 겨울철에 오염도가 높은 것이 서호천의 특징임을 알 수 있었다. 서호천 상류, 중류 및 하류의 각 지점의 평균 유속은 0.09, 0.03 및 0.06 m/s로 상류지역의 유속이 가장 빠른 이유는 100% 유입되는 하수처리수(Table 1) 및 99.27% 유입되는 폐수방류수 때문이다. 강수량이 낮은 겨울철에는 하천으로 하수처리수와 폐수방류수의 유입으로 유기물의 오염도는 낮으나 많은 수량이 하천으로 유입되어 하천의 상황을 교란시키는 결과가 나타난다. 또한, 서호천의 상류, 중류 및 하류의 단면을 측정된 결과 상류는 2.11 m², 중류는 4.05 m² 그리고 하류는 7.32 m²으로 상류지역이 가장 좁아 유속이 높아지고 난류발생이 증가할 수 있는 구조로 SS의 오염이 증가할 수 있는 원인이 되었다.

Table 6은 2011년의 수질 모니터링 결과이다. 2010년과 같이 상류, 중류 및 하류의 BOD₅ 및 SS 평균값을 나타내었다. SS의 경우 9월을 제외하면 이전과 같이 겨울철에 오염도가 높은 결과를 보였다. BOD₅ 및 SS는 이전 년도에 비하여 오염이 많이 증가한 것으로 나타났다. 이것은 강우에 의한 여름철의 평균 농도에 기인하는 것으로 보여진다. Table 3에서 Table 5의 이전 년도의 월별 수질을 보면 전체적으로 유사하나, 2011년(Table 6)은 여름철 특히 8, 9월의 오염도가 전체에 영향을 준 것으로 판단된다. 더욱이 2011년의 8, 9월은 이전 년도의 8, 9월에 비해 매우 높은 오염을 나타내고 있어 단순히 계절적인 영향보다는 강우 시 비점오염원의 과도한 유입을 의심해볼 수 있다.

Fig. 5는 2008년부터 2011년의 BOD₅ 및 SS의 평균 농도를 나타낸 것이다. 2011년의 8, 9월의 오염도를 제외하면 2009년에 하천의 오염이 약간 증가하였다가

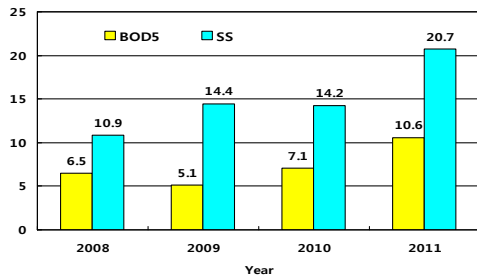


Fig. 5. Average concentration during four years.

이후 일정한 오염도를 유지하는 것으로 나타났다.

3.3. 강우 후 하천 수질 모니터링 결과

서호천의 수질 및 환경 질을 보다 더 정밀하게 모니터링하기 위해 13개의 측정지점을 선정하였다. pH, SS, COD_{Mn}, BOD₅, TN 및 TP 등의 수질항목을 분석하였다.

1차 수질측정을 위한 2011년 9월 29일은 강우지속 시간이 8시간이었으며, 강우량은 16.5 mm였고, 2차 수질측정일인 2011년 10월 14일은 강우지속 시간이 6시간이었으며, 강우량은 7 mm였다.

Table 7과 8에서 보듯이 pH는 전 구간에서 모두 중성을 유지하는 것으로 나타났다. 산성이나 알칼리성 성분의 유입이 강우 시 유입이 없는 것을 알 수 있다.

Table 7과 8 및 Fig. 6에서, SS는 강우량이나 강우지속 시간의 차이에도 불구하고 유사한 값을 보였다. 비 강우 시의 2008년(Table 3) 및 2009년(Table 4)의 상, 중 및 하류의 SS 경향과 비교하여 보면, 상류와 중류는 유사하나 하류의 경우는 강우에 의한 유량의 증가와 씻김에 의하여 도로의 비점오염원이 다량 유입되어 SS의 농도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 2010년(Table 5) 및 2011년(Table 6)의 년 평균값을 비교해 본 결과 강우 시에 SS의 평균 농도 값은 약간 높은 것을 알 수 있다. 하지만 강우 시에 하류의 농도를 기준으로 하면 두 배 이상의 오염도를 나타내고 있어 강우 시에 서호천의 하류의 오염도가 상당히 심한 것을 알 수 있으며, 강수량의 큰 차이에도 동일한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 상류, 중류 및 하류의 유량을 계산한 결과 각각 8.63, 7.29 및 25.58 m³/min으로 상류와 중류는 유사한 유량을 갖으나, 하류의 경우 3배 이상의 유량이 하천으로 흘러 하천의 교란이 매우 심해서 발생한 결과로 보여진다.

유기물로 대표되는 BOD₅ 및 COD_{Mn}을 Table 7과 8 및 Fig. 7에 나타내었다. BOD₅ 및 COD_{Mn}의 농도 변화는 유사한 경향을 나타내고 있다. 즉, 두 오염물질의 농도 변화를 보면 BOD₅와 COD_{Mn}의 농도는 상, 중 및 하류에서 유사하게 증가와 하강을 나타내고 있다. 이

Table 7. Results of water monitoring in Seocho watershed (1st : 2011. 09. 29)

Stream	No.	pH	SS	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	TP
			(mg/L)				
Up	W-1	7.2	6.3	7.5	5.4	1.56	0.022
	W-2	7.1	7.0	8.1	5.7	2.89	0.050
	W-3	7.1	7.8	8.3	5.9	3.61	0.063
	W-4	7.0	8.8	9.1	6.4	4.45	0.080
	W-5	7.0	10.7	6.9	5.0	3.76	0.071
	Sub-total	7.0	8.1	8.0	5.7	3.3	0.057
Mid	W-6	7.1	13.2	7.9	5.6	3.24	0.076
	W-7	7.0	10.7	7.4	5.3	3.32	0.115
	Sub-total	7.1	12.0	7.67	5.5	3.3	0.096
Down	W-8	7.1	12.6	6.6	4.7	4.56	0.158
	W-9	7.1	14.9	4.5	3.1	3.93	0.178
	W10	7.2	37.0	8.4	5.9	3.52	0.137
	W-11	7.1	62.8	13.8	9.7	5.07	0.150
	W-12	7.2	65.2	12.1	8.6	6.26	0.282
	W-13	7.1	88.9	9.9	7.1	9.70	0.385
	Sub-total	7.1	46.9	9.2	6.5	5.5	0.215
Average		7.1	26.6	8.5	6.0	4.3	0.136

Table 8. Results of water monitoring in Seoho watershed (2nd : 2011. 10. 14)

Stream	No.	pH	SS	COD _{Mn}	BOD ₅			TN	TP
					(mg/L)				
Up	W-1	7.1	5.0	6.0	4.3	1.00	0.012		
	W-2	7.0	5.6	6.4	4.5	1.86	0.027		
	W-3	7.0	6.2	6.6	4.7	2.32	0.034		
	W-4	6.9	7.0	7.2	5.1	2.86	0.043		
	W-5	6.9	13.0	8.4	6.0	2.42	0.038		
	Sub-total	7.0	7.4	6.9	4.9	2.1	0.031		
Mid	W-6	7.0	16.0	9.6	6.8	2.08	0.041		
	W-7	7.0	13.0	9.0	6.4	2.13	0.062		
	Sub-total	7.0	14.5	9.3	6.6	2.1	0.052		
Down	W-8	7.1	15.2	8.0	5.7	2.93	0.085		
	W-9	7.1	18.0	5.4	3.8	2.52	0.096		
	W-10	7.2	44.8	10.2	7.2	2.26	0.074		
	W-11	7.2	59.4	13.0	9.2	3.25	0.081		
	W-12	7.1	61.6	11.4	8.1	4.02	0.152		
	W-13	7.0	84.0	9.4	6.7	6.23	0.207		
	Sub-total	7.1	47.2	9.6	6.8	3.5	0.116		
Average		7.0	26.8	8.5	6.0	2.8	0.073		

것은 두 오염물질이 유기물을 대표하는 성분이기 때문으로 판단된다. 2008년부터 2010년의 비강우 시 유기물인 BOD₅의 농도 변화는 7.1 mg/L에서 10.6 mg/L였으며, 강우 후 경우도 BOD₅는 6.0 mg/L로 중간 정도의 농도를 나타내었다. COD_{Mn}의 경우도 BOD₅보다 약간 높은 8.5 mg/L를 나타내었다. 비강우시나 비점오염원의 유입 가능성이 높은 강우 후에도 유기물로 대표되는 BOD₅ 및 COD_{Mn}은 크게 오염도가 증가하지는 않는 것으로 나타났다. 2008년부터 2011년 사이의 계절별 총 강수량을 보면, 겨울철의 경우 각각

13.2, 16.9, 35.1 및 24.4 mm였고, 봄철은 각각 63.6, 67.5, 79.3 및 94.7 mm였다. 또한 여름철은 각각 290.3, 364.0, 231.9 및 500.3 mm였으며, 강우 후 모니터링을 실시한 가을철의 경우 각각 49.8, 59.7, 141.3 및 39.2 mm였다. 비강우 시 모니터링인 Table 5와 6의 BOD₅의 경우 강수량이 보다 많은 2010년의 가을인 9, 10 및 11월의 BOD₅보다 2011년의 9, 10 및 11월의 BOD₅가 높은 것은 강우량과 상관성이 비례한다고 판단할 수 없으나, 강우 초기 도시의 오염물질의 씻김에 의한 오염의 가중은 예상할 수 있다. 또한, 강

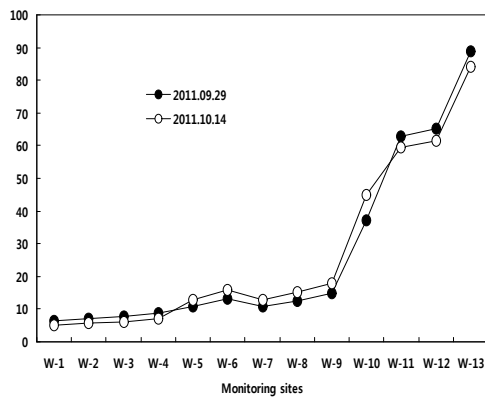


Fig. 6. Variations of SS concentration at monitoring sites.

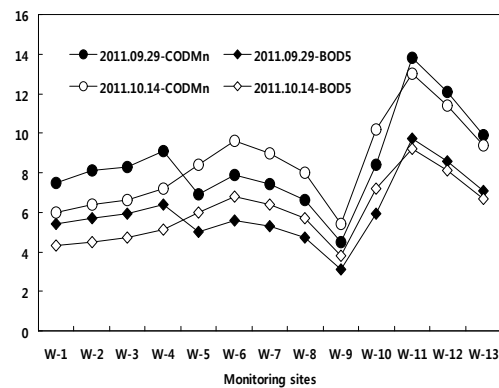


Fig. 7. Variations of COD_{Mn} & BOD₅ concentrations at monitoring sites.

우 후 다시 강우가 발생하게 되면, 도시하천은 오염보다는 희석 효과에 의한 오염물질의 농도 저감을 예상할 수 있다. Fig. 7에서 상류의 BOD₅ 및 COD_{Mn}의 농도는 2차보다 1차에서 높게 측정되었고, 중류에서는 2차가 높게 측정되었다. 이것은 1차와 달리 2차 모니터링은 강우발생시기인 2011년 10월 14일 이후 15일에 다시 강우가 20.5 mm 발생하여 생긴 희석 효과로 보인다. 그러나 하류의 경우는 전반적으로 유사하나, W-8에서 W-10지점까지는 2차가 약간 높게 유지하다가 W-11에서 마지막 측정지점까지는 1차보다 낮게 측정되었다. 상류 및 중류보다 하류로 갈수록 오염도가 전체 하천의 평균값보다 높게 조사되었다. 이것은 오염물질의 누적과 유량의 증가로 하천 바닥 등의 오염물질이 유출되거나 전 하천 지류의 오염물질의 유입이 가중되어 나타난 결과로 판단된다.

부영양화의 원인 물질인 TN 및 TP를 Table 7과 8 및 Fig. 8에 나타내었다. TP의 경우 상류 및 중류보다 하류에서 오염도가 두 배 이상 매우 크게 나타났다. 1차 및 2차 조사시기를 상류 중류 및 전체 평균값으로 보면, 상류는 각각 0.057와 0.031 mg/L, 중류는 0.096와 0.052 mg/L, 하류는 0.215와 0.116 mg/L 그리고 전체 평균은 0.136와 0.073 mg/L으로 조사되었다. TN은 상류에서 3.3와 2.1 mg/L, 중류에서 3.3와 2.1 mg/L, 하류에서 5.5와 3.5 mg/L 그리고 전체 평균값으로 보면, 4.3와 2.8 mg/L로 TP와 동일하게 1차보다 2차 조사시기가 낮게 나타났다. TP는 상류에서 하류로 갈수록 지속적으로 농도가 높아지는 반면, TN은 상류에서는 높아지다가 중류에서 감소되어 일정하게 유지하였으며, 다시 하류로 갈수록 오염도가 크게 높아지는 것을 알 수 있었다. TP의 경우 강우에 의한 오염도는 하천의 지류를 지나면서 지속적으로 오염도가 가중되는 특징을 보이는 반면, TN은 오염도가 증가와 하강 그리고 다시 재상승하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 도시의 오염물질의 유입은 강우에 의하여 한계가 존재하나, 하천의 생태환경에 기인하는 오염물질의 용출 작용이 TP의 오염도 가중을 나타낸다고 판단된다. 강우량이 높았던 1차 조사보다 2차 조사기간의 오염도가 낮게 조사된 것은, 2차 조사시기인 2011년 10월 14일 다음날인 15일에 전날과 1차 조사보다 많은 강우량인 20.5 mm의 강우가 오염물질을 희석

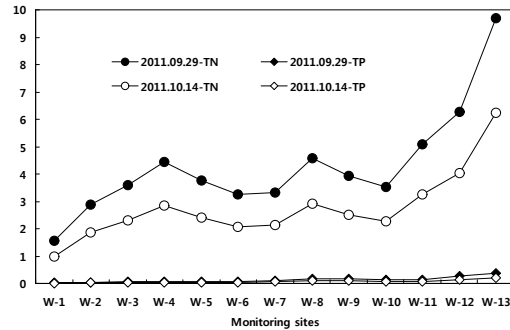


Fig. 8. Variations of TN & TP concentrations at monitoring sites.

시킨 효과로 판단된다. 1, 2차 조사의 비강우일은 9일과 14일로 1차보다 2차에 많은 도시의 오염물질의 유입이 예상되나 2일에 걸친 강우에 의한 희석효과를 억제하지 못한 것으로 판단된다.

서호천의 수질은 강우 후나 비강우 시에 유기물의 변화는 심하지 않는 것을 알 수 있었으나, SS의 경우 강우 후에 하류 지역에 매우 큰 오염을 유발한다는 것을 알 수 있었다. 부영양화의 원인 물질인 TN은 상류에서 오염도가 증가하다가 중류에서는 일정구간 낮게 정체하고 다시 하류에서 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. TP의 경우 상류에서 하류로 갈수록 오염도가 가중되는 것을 확인하였으며, 강수량에 의해 두 오염물질의 희석효과를 판단할 수 있었다.

Table 9를 기준으로, 고강우 후(Table 7)와 저강우 후(Table 8)에 BOD₅, COD_{Mn} 및 SS 기준으로 하천의 생활환경기준은 IV 등급으로 TP를 기준으로 III 등급으로 나타났다.

3.4. 하천 환경질 평가 결과

하천환경에서 생물의 종, 그 출현량은 그 환경의 상태를 나타내는 자료로 사용되며, 해당 하천의 환경지표가 된다. 특히 수생식물은 하천 수질의 정도를 나타내는 유용한 지표로서 생물학적 수질등급으로 사용될 수 있다. 생물학적 수질은 오염이 진행되고 있거나 또는 맑고 깨끗한 물의 오염도는 생물 서식을 위해 중요한 요인이 된다. 이에 따라 생물 입장에서 본 수질에 중점을 두고, 생물학적 수질을 지표로 한다. 수질오염에 민감한 저서생물은 생물학적 수질을 평가하는 데 중요

Table 9. Classes of urban watershed

Class		Standards			
		BOD ₅	COD _{Mn}	SS	TP
		(mg/L)			
Very good	Ia	< 1	< 2	< 25	< 0.02
Good	Ib	< 2	< 4	< 25	< 0.04
Rather good	II	< 3	< 5	< 25	< 0.1
Normal	III	< 5	< 7	< 25	< 0.2
Rather bad	IV	< 8	< 9	< 100	< 0.3
Bad	V	< 10	< 11	Floating trash and shall not	< 0.5
Very bad	VI	> 10	> 11	-	> 0.5

Table 10. Standards of ESB index

ESB	Environmental quality			Assessment	
	Environment state	Waters division	Water level	ESB	Verdict
> 81	Very good	First priority protected waters	I	> 51	Oligosaprobic
61 ~ 81	good	First protected waters			
41 ~ 60	Rather good	Protected waters	II	21 ~ 50	β -mesosaprobic
26 ~ 40	Rather bad	Reformed waters			
13 ~ 25	Bad	First reformed waters	III	9 ~ 20	α -mesosaprobic
< 12	Very bad	First priority reformed waters	IV	< 8	Polysaprobic

Table 11. Results of ESB index in Seoho watershed

Watershed	ESB	Environmental quality			Verdict	
		Environment state	Waters division	Water level		
Seoho	Up stream (W-5)	44	Rather good	Protected waters	II	β -mesosaprobic
	Mid stream (W-7)	37	Rather bad	Reformed waters	II	β -mesosaprobic
	Down stream (W-13)	35	Rather bad	Reformed waters	II	β -mesosaprobic

하다. 일반적으로 수질환경에 민감한 저서무척추동물의 ESB(Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community) 지수를 분석하여 수환경 및 생태자연도를 평가할 수 있다. 저서무척추 동물의 조사는 상류는 W-5, 중류는 W-7 그리고 하류는 W-13에서 실시하였다. Table 9 및 10은 각각 하천수질기준 및 EBS 지수의 하천환경평가 기준을 나타낸 것이다.

저서무척추동물 조사결과를 이용하여 생물학적 수질등급을 판정하는 데 우점종법을 이용한다. 우점종법은 저서성 무척추 동물 자료에서 오염지수가 정해진 개체수가 가장 많은 우점종을 선정한다. 선정된 우점종의 오염지수(Pollution Index; PI)를 정해 수질등급을 판정한다. 오염지수는 다음의 식 (1)을 이용하여 산출한다.

$$\text{오염지수 (PI)} = \frac{\Sigma(s \cdot h)}{\Sigma h} \quad (1)$$

여기서, s: 오락등급지수(각 생물종의 오락내성도: 1~4), h: 출현지수이다. 이때 h=1 약간(통상 개체수 1~9), h=2 많다(개체수 10~99), 그리고 h=3 상당히 많다(개체수 100이상)이다. 이 오염지수가 1.0~1.5는 빈부수성, 1.5~2.5는 β-중부수성 그리고 3.4~4.0은 강부수성으로 구분할 수 있다.

2011년 9월 29일과 2011년 10월 14일 등 총 2회에 걸친 현지조사 결과, 서호천의 상류(W-5)와 중류(W-7)에서 조사된 저서무척추동물은 총 19과 23종이 채집 및 동정되었다. 분류군별 출현비율은 절지동물문 16종(69.00%), 환형동물문 4종(17.00%), 연체동물문 2종(8.00%) 및 편형동물문 1종(4.00%)의 순으로 채집되었고, 분류군별 출현 점유율을 살펴보면 노린재목이 8종(34.00%), 파리목이 5종(21.00%)으로 가장 다양하게 출현하는 양상을 보였다. 반면 서호천의 하류(W-13)에서 조사된 저서무척추동물은 총 3과 4종이 채집 및 동정되었다. 분류군별 출현비율은 절지동물문 3종(75.00%), 환형동물문 1종(25.00%)의 순으로 채집되었다. 하류에 비해서 상류와 중류지역에 많은 저서무척추동물이 서식하는 것은 부유물질의 영향이 큰 것으로 판단된다. Table 7과 8에서 보듯이, 상류 및 중류에 비해서 하류의 유기물질의 농도는 크게 높지 않은 반면, 부유물질 농도는 1차 조사기간에는

상류 및 하류에 비해서 각각 약 8.3배 및 7.4배 높으며, 2차 조사기간에는 상류 및 하류에 비해서 각각 약 11.4배 및 6.5배 높은 매우 탁한 수질환경이 조성되어 나타난 결과로 판단된다. 본 조사기간은 가을 기간에 한정되어 조사된 결과이며, 향후 봄, 여름 및 겨울철의 조사가 필요할 것으로 사료된다.

실시한 결과를 가지고 ESB 지수를 통한 해당 수환경의 환경질 평가와 생태환경 관리기준의 판정을 해 본 결과 Table 11에서 보듯이, 하류와 중류 지역은 다소 불량한 개선수역으로 조사되었고 상류지역은 다소 양호한 보호수역으로 조사되었다. 오수생물계열에 의한 판정으로 서호천은 β-중부수성으로 나타났다. 비교 대상인 영화천은 환경상태가 매우 불량한 강부수성으로 조사되었다.

4. 결론

본 연구는 수원시의 하천지류중 하나인 서호천을 대상으로 비강우 시와 강우 후에 하천 수질의 오염현황과 환경질을 파악하기 위해 수행하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 4년 동안 비강우시 서호천의 수질현황을 모니터링한 결과, 상류 및 중류에 비하여 하류 지역의 오염도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 유기물인 BOD₅ 보다 SS의 농도가 상대적으로 높게 나타났으며, 하수처리수와 폐수처리장 방류수의 기준으로 입자의 침전이 어려운 하천 환경에 기인하는 것으로 판단된다.

2. 강우 후 2차 걸쳐 서호천의 수질을 모니터링한 결과, 강우 후나 비강우 시에 유기물의 변화는 심하지 않는 것을 알 수 있었으나, SS의 경우 강우 후에 하류 지역에 매우 큰 오염이 유발하였다. 또한, 부영양화의 원인 물질인 TN 및 TP의 경우 강우강도에 따라 오염도가 비례하여 증가하였으며, 강우 후에 상류 및 중류에 비하여 하류의 오염도가 매우 심하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 고 강우 후와 저 강우 후에 BOD₅, COD_{Mn} 및 SS 기준으로 수질등급은 IV으로 TP를 기준으로는 III으로 나타났다.

3. 수질분석과 저서무척추 동물을 조사한 결과, ESB 지수는 상류 44, 중류 37 및 하류는 35로 평가되었다.

또한 하류에 비해서 상류와 중류지역에 많은 저서무척추동물이 서식하는 것은 부유물질의 영향이 큰 것으로 판단된다. 하류와 중류 지역은 다소 불량한 개선 수역으로 조사되었고, 상류지역은 다소 양호한 보호 수역으로 조사되었다. 오수생물계열에 의한 판정으로 서호천은 β -중부수성으로 나타났다.

본 연구 결과는 향후 서호천의 비점오염원 저감시설 및 하천정화시설에 필요한 기초자료로 활용할 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- Bak, D. H., Lim, Y. W., Choi, J. K., Jung, P. J., Kwak, D. H., 2005, Study on the Runoff Characteristics of Non-point Source Pollution in Municipal Area Using SWMM Model -A Case Study in Jeonju City, J. Environ. Sci., 14(12), 1185-1194.
- Cho, Y. J., 2003, Characteristics of water pollution in Chungjuho area and development of management method, Chungbuk Green Environment Center, 468.
- Fam, S., Stenstrom, M. K., Silverman, H., 1987, Hydrocarbons in urban runoff, J. of Environ. Eng. Div. ASCE, 113(5), 1032-1046.
- Hoffman, E. J., Latimer, J. S., Mills, G. L., Quinn, J. G., 1982, Petroleum hydrocarbons in urban runoff from a commercial land use area, J. of Water Poll. Control Fed., 54(2), 1517-1525.
- Hunter, J. V., Saabatino, T., Gomperts, R., Mackenzie, M. J., 1979, Contribution of urban runoff to hydrocarbon pollution, J. of Water Poll. Control Fed., 51(8), 2129-2038.
- Jang, S. H., Park, J. S., 2005, A Study on the Runoff Characteristics of Non-point Source in Urban Watershed - Case Study on the Dalseo and Daemyung Watershed, J. Environ. Sci., 14(12), 1171-1176.
- Kim, K. H., 2004, Investigation of river area and assesment of river environment, Information of Construction Technology, 30-36.
- Kim, T. K., 2003, Investigation of Non-point source in Daechungho area and assesment of pollutant removal capacity in water buffer zone, Chungbuk Green Environment Center, 123.
- Lee, B. C., S., Matsui, Y., Shimizu, T., Matsuda, Y., Tanaka, 2005, A new installation for treatment of road runoff:up-flow filtration by porous polypropylene media, Water Sci. and Tech., 52(12), 225-232.
- Lee, K. J., Sung, J. W., Park, J. H., Cho, K. S., Park, J. C., 2010, Runoff Characteristics of Nonpoint Pollutants Source in Urban Area, J. Environ. Sci., 19(7), 819-827.
- Park, S. C., Oh, C. R., Jin, Y. H., Kim, D. S., 2005, Study on Runoff Characteristics of Non-point Source in Rural Area of Seomjin Watershed, J. Environ. Sci., 14(11), 1057-1062.
- Shin, H. S., 2004, Research of non-point source and management method in Ulsan city, Ulsan Green Environment Center, 541.
- Wanielista, M. P., 1998, Stormwater management quantity and qyality, Ann Arbor science, Mich., 187-220.
- Won, C. H., 2003, Research of Non-point source in Okjungho and water quality management system build using GIS, Jeonbuk Green Environment Center, 174.
- U.S. EPA, 1993, Urban runoff pollution prevention and control planning, EPA/625/R-93/001.