

농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중평균농도 분석

Analysis of Flow-Weighted Mean Concentration(FWMC) Characteristics from Rural Watersheds

신민환* · 신용철** · 허성구* · 임경재*** · 최중대****,†

Shin, Min hwan · Shin, Yong chul · Heo, Sung gu · Lim, Kyoung jae · Choi, Joong dae

Abstract

Stream flow and water quality were measured and analyzed with respect to flow-weighted mean concentrations (FWMCs) of 21 rainfall events from a forested watershed (Forest Research Watershed: FRW) and two mixed watersheds of agriculture and forest (YuPo-Ri Watershed: YPW and WolGog-ri Watershed: WGW) located in the middle of the North Han River basin. The monitoring of each watershed was one year and conducted between 2004 and 2006. YPW showed more intensive agricultural practices than WGW where traditional practices were common. The average of the 21 FWMCs were in the order of YPF>WGW>FRW and were significantly different from each other at the level of 0.05. It was shown that the land use with intensive agricultural practices produced and discharged more NPS pollutants than that with traditional practices and forest. Specially, SS concentrations from the mixed watersheds were significantly higher than those from FRW. Influencing factors on runoff were analyzed rainfall and watershed area. And rainfall intensity was greater impact on runoff than daily rainfall. Measured water quality indices were shown positive correlations among them in general. However, no significant correlation was shown between COD and nutrients(T-N and T-P).

Keywords : FWMC, Rainfall runoff, Water qualities

1. 서 론

북한강은 수도권 일대에 용수공급을 위한 상수원으로로서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 그러나 북한강 상류 유역에서 발생하는 오염원의 증가로 인해 상수원의 수질은 지속적으로 악화되고 있다(Shin et al., 2005, Choi et al., 1999). 최근에 들어 수계로

유입되는 비점원오염에 관한 관심이 매우 높아지고 있는데, 이는 점원오염의 관리만으로는 수질개선목표를 달성할 수 없기 때문이다. 따라서, 수질개선을 위해 정부는 한강수질특별대책을 발표하였으나, 오염총량제의 도입지연 및 비점원오염의 관리대책 부진 등으로 인해 수질개선 속도는 예상했던 것보다 그리 빠르지 못한 실정이다(Ministry of Environment, 2005). 한강수계의 수질개선을 위해서는 비점원오염 관리가 핵심적인 변수로 인식되고 있다. 우리나라의 경우 비점원오염에 관한 연구는 90년대 초부터 산발적으로 수행되어 왔으며, 체계적으로 연구하며 자료를 축적하는 연구자나 단체는 많지 않기 때문에 비점원오염

* 강원대학교 지역기반공학

** 강원대학교 농업과학연구소

*** 강원대학교 농업공학부

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

Fax: +82-33-251-1518

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

에 관한 연구는 많이 진행되지 못하였다. 따라서 한강 유역의 비점원오염을 합리적으로 관리하기 위해서는 비점오염 오염물질의 배출에 영향을 미치는 영향인자들이 구명되어야 하고 비점오염의 합리적 추정을 위해서는 자료조사 및 모니터링과 영향인자를 구명하여 비점오염의 제어 및 관리를 해야 한다(Choi, 2005). 외국의 연구자들의 보고에 따르면, 지구 표면의 30~50%는 비점원오염에 영향을 받으며(Pimental, 1993), 특히 비점원오염은 농업부문에서 가장 많이 발생하고 있기 때문에 농업부문에서 발생하는 유출수 특성에 관한 연구가 수행되어야 한다(Humenik et al., 1987). 또한, 우리나라는 산림유역이 전 국토면적의 65% 이상을 차지하고 있기 때문에 농업부문뿐만 아니라 산림유역에서 발생하는 유출특성에 관한 연구가 함께 병행되어야 한다(Shin et al., 2006, Lyou et al., 2006). 그러나 지금까지 우리나라의 비점원오염에 관한 연구는 도시지역과 농촌지역을 대상으로 부분적으로만 수행되었을 뿐, 산림유역에 대한 조사방법과, 원단위 및 오염부하량 산정에 있어서 기초자료가 매우 부족하다. 전체 국토중에서 산림지역의 점유율을 감안한다면 산림지역에서 발생하는 오염부하가 상당할 것으로 예상되며, 최종대(2000)는 우리나라에서 인구밀도가 가장 낮고 산업시설이 거의 없는 청정지역이라고 불리는 소양강 상류유역에서도 하천수의 총인과 총질소 농도가 매우 높다고 하였다.

비점원오염은 지역의 토질 및 토성, 문화, 주거형태, 영농활동, 강우형태, 및 하천 등 많은 인자들에 의해 영향을 받고 있어서 지역 특성에 맞는 관측자료의 수집과 분석이 반드시 선행되어야 한다. 이를 위해서는 토지이용에 따른 장기적인 유역 모니터링을 통하여 주요한 비점원오염의 원인을 찾아내고, 또한 수질 오염의 원인이 되는 오염원을 통제할 수 있는 기술을 개발하고 보급하여 효과적인 비점원오염물질의 삭감대책이 수립되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 장기간의 유량 및 수질 모니터링을 통하여 산림유역과 농지와 임야가 혼합된 유역에서 발생하는 강우유출수의 유량가중평균(Flow-Weighted Mean Concentration: FWMC)농도를 산정하여 토지이용에 따른 오염농도특성을 분석하였다. 본 연구에서 수립된 자료와 분석결과는 비점원오염

을 효과적으로 통제할 수 있는 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상 유역

본 연구는 강원도 춘천시에 위치한 강원대학교 산림유역인 학슬림(Forest Research Watershed: FRW)과 농업유역인 유포리(YuPo-ri Watershed: YPW) 및 월곡리(WolGog-ri Watershed: WGW)의 소하천에서 수행하였다. 강원대학교 학슬림 유역은 산간계곡으로 이루어진 전형적인 산림지역이며 임산실습을 위한 제탄소, 임도 등 교육, 연구시설과 관리시설을 제외하고는 유역 전체면적(3.90 km²)의 99% 이상이 산림유역으로서 자연환경이 잘 보전되어 있다. 반면에 유포리의 경우 약 70% 정도는 임야이며, 밭이 7.5%, 논이 11.0%, 그리고 과수원(2.0%) 등이 11.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 유포리에는 2005년 총 227세대 680명이 거주하고 있으며, 주로 소, 돼지, 닭 등을 키우고 있는 것으로 나타났다. 유포리 유역의 전체 면적은 1.96 km²로 유역의 수질에 영향을 미치는 주요 인자로는 논농사, 밭농사, 과수원, 비닐하우스, 그리고 축산농가에서의 배출수와 생활하수이다. 유포리 유역내에서 오염발생 가능 요인으로서 주변 음식점 및 군부대에서 배출되는 생활하수가 바로 하천으로 유입되고 있고 비닐하우스 지역과 논·밭 농사지역에서의 오염부하량도 상당할 것으로 예측되었다. 또한 유역내 다수의 과수농가가 있기 때문에 과수원에서 발생하는 오염원뿐만 아니라 축산시설에서 상당량의 축산분뇨를 나지에 방치하고 있어 이로 인해 상당량의 오염원이 하천으로 유입된 것으로 판단된다. 월곡리 유역의 전체 면적은 3.41 km²로 2005년 총 세대수는 65세대이고 인구수는 171명이다. 월곡리 내의 사육 가축은 한우 9세대 25두, 개 2세대 30마리, 닭 1세대 40마리, 흑염소 1세대 20두, 사슴 2세대 6두, 양봉 2세대 13군 이었으며 상수도 시설은 마을 자체적으로 간이 상수도를 쓰고 있다. 월곡리 소하천 유역은 유역경사가 급하고 농지 규모가 작은 산간농촌 유역의 특성을 지니고 있으며, 점오염원으로는 춘천

옥광산과 무의탁 노인 약 100명을 수용하고 있는 무지개 마을이 가장 큰 오염원으로 추정되고 있다. 학술림, 유포리 및 월곡리의 유역경계 및 유역특성은 Fig. 1~4 및 Table 1과 같다.

2. 유량산정 및 수질특성

산림유역 소하천과 농업유역 유포리 및 월곡리 소하천의 유량산정을 위하여 모니터링 지점에 독일 OTT사의 Orphimedes 압력식 수위계와 OTT사의 Thali-medes 수위계를 각각 설치하여 2005년 3월부터 10월까지 수위를 측정하였으며, 강우시 5분 간격, 비강우시 30분 간격으로 수위를 측정하여 유량으로 환산하였다. 하천결빙으로 인해 수위계 설치가 불가능한 11월부터 2월까지에는 2주에 1회씩 유량을 측정하였다. 산림유역의 경우 개발된 부분을 제외한 대부분의 토양이 식생 및 낙엽 등에 피복되어있기 때문에 10 mm/hr 미만의 강우시에는 지표유출수가 거의 발생하지 않았다. 반면에 유포리 유역은 임야와 논이 전체 면적의 80%를 차지하고 있지만 하천에 인접한 마을 부근 토양의 상당부분이 점토질로 이루어져 있기 때문에 5 mm/hr 정도의 강우에도 흙탕물이 발생하여 하천으로 유입되는 것을 관측 할 수 있었다. 월곡리 유역은 유포리 유역과 인근에 위치하고 있기 때문에 강우특성 및 유출특성이 거의 유사한 것으로 나타났다. 따라서 강원대학교 학술림의 경우 유효강우를 10 mm로 설정하였으며 유포리 및 월곡리 농업유역의 경우 유효강우를 5 mm로 설정하여 각각 10 mm와 5 mm 이상의 강우가 발생한 경우에는 강우기간으로, 그리고 10 mm와 5mm 미만의 강우발생시에는 무강

우기간으로 분류하였다.

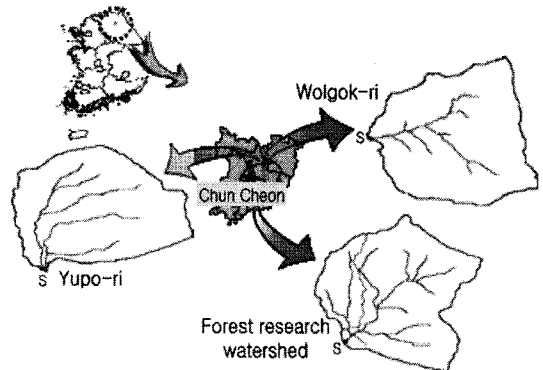


Fig. 1 Schematic sketch of the study watershed

Table 1 Typical characteristics of the watersheds studied

Watershed		Forest Research Watershed	Yupo-ri Watershed	Wolgok-ri Watershed
Area(km ²)		3.90	1.96	3.41
Population(houses/No.)		-	227/680	65/171
Landuse (%)	Forest	99.0	70.0	90.4
	Paddy	-	11.0	6.9
	Farm	-	7.5	2.3
	Upland	-	-	-
	Urban	-	-	-
	Others	1.0	11.5	0.4
Live-stock (houses/No.)	Cow	-	31/787	9/25
	Poultry	-	2/70	1/40
	Swine	-	4/882	-
	other	-	5/25	5/39
Industry (No.)	Restaurant	-	3	-
	Others	-	1	2

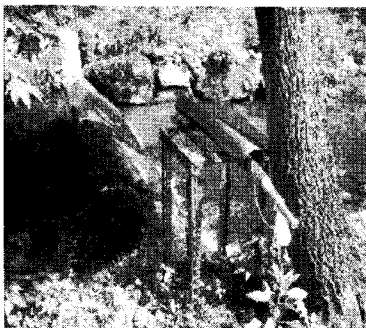


Fig. 2 Forest research watershed

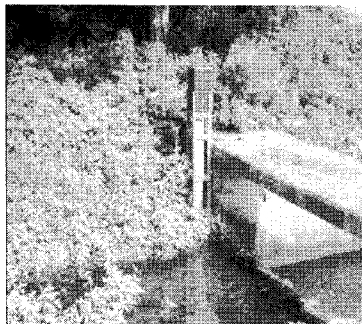


Fig. 3 Yupo-ri watershed

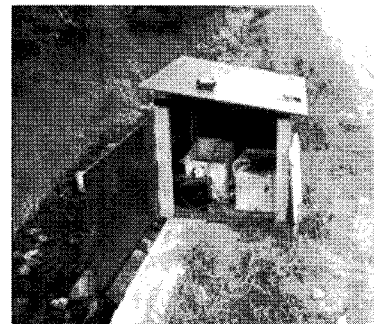


Fig. 4 Wolgok-ri watershed

비점원오염물질의 농도는 유량변화에 따라 농도변화가 크게 변한다. 따라서 비점원오염의 농도특성을 가장 잘 반영하는 유량가중평균농도(Flow-Weighted Mean Concentration: FWMC)의 특성을 분석하였다. 강우사상에 따라 측정된 유량 및 수질자료를 이용하여 산정된 유량가중평균농도는 식 (1)과 같다.

$$FWMC = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \quad (1)$$

여기서, Q_i 는 관측시간 t 의 유출량(m^3/hr), C_i 는 오염물질농도(mg/L), 유량가중평균농도는 강우사상의 평균농도(mg/L)로 하였다.

유역별로 각각 21개의 강우사상에 대한 강우유출수와 수질시료(학술림: 총 55개, 유포리: 총 52개, 월곡리: 총 43개)를 채취하였으며, 환경부 제정 수질공정시험법의 제반규정에 따라 분석하였다(Ministry of Environment, 2005). 연구유역에서 발생하는 유량가중평균농도의 영향인자를 파악하기 위해 SPSS ver. 12.0을 이용하여 기술통계, 인자간 Pearson 상관계수 그리고 분산분석(ANOVA: Analysis of Variance) 및 Turkey 사후분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유량가중평균농도특성 분석

유역 특성이 다른 3개 유역에서 발생한 총 63개 강우사상의 기술통계치는 Table 2와 같다. 각 유역의 21개 강우사상에 대한 수질항목별 평균 유량가중평균농도는 유포리 > 월곡리 > 학술림 순서로 나타나 유역의 대부분이 임야인 산림유역에 비해 농업유역의 유량가중평균농도가 상당히 높은 것으로 나타났다. 이는 유포리의 경우 면적이 가장 작지만 유역내의 과수원, 농지, 및 축산시설 등에서 배출되는 많은 오염물질이 하천으로 유입되어 하천수질을 악화시키는 것으로 판단되었다. 특히, 유포리의 측정지점 상류유역에 위치한 축산농가에서는 하천 인근에 가축의 분뇨등을 방치하고 있기 때문에 강우시 많은 축산폐기물이 하천으로 유입되는 것을 관측 할 수 있었다. 또

한, 유포리 유역의 경우 표토층 하부의 상당 부분이 점토층으로 이루어져 있기 때문에 일정량 이상의 강우가 발생할 경우 강우가 토양층으로 흡수되지 못하고 지표유출수로 배출된다. 따라서, 과수원의 비료로 사용되고 있는 가축의 분뇨와 같은 많은 유기물질들이 강우시 지표유출수와 함께 배출되어 하천으로 유입되기 때문에 이에 관한 대책이 시급한 것으로 판단되었다. 농업유역 유포리와 월곡리의 SS 농도범위는 3~99.0 mg/L 와 3~38.4 mg/L 로 학술림의 0~18.0 mg/L 에 비해 상당히 높게 나타났다. 농업유역의 경우 초봄의 영농활동으로 교란된 농경지에서 약 40 mm 정도의 강우에도 많은 양의 토양유실이 발생된 것으로 판단되었다. BOD와 COD의 농도 역시 유포리와 월곡리의 농도가 0.890~11.320 mg/L 와 1.870~7.370 mg/L 그리고 0.600~26.800 mg/L 와 2.775~8.851 mg/L 로 학술림의 0.600~5.500 mg/L 와 1.200~8.582 mg/L 보다 높게 나타났다. 영양염류 량을 측정하는 T-N의 농도범위는 유포리와 월곡리 소하천이 2.600~13.933 mg/L 와 2.825~20.747 mg/L 로 학술림 1.200~7.659 mg/L 보다 높은 것으로 나타났다. 학술림의 경우 농업유역에 비해 하천수질에 영향을 미치는 오염원이 거의 없음에도 불구하고 강우시 질소와 인의 평균농도가 2.678 mg/L 와 0.123 mg/L 로 I 등급 호소수질기준 0.2 mg/L 와 0.01 mg/L 보다 12~13배 이상 높은 것으로 나타났다. 이는 지속적으로 강우가 발생할 경우 먼지와 낙엽 등과 같은 퇴적물들이 지표유출수와 함께 하천으로 유입되어 하천수질에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 북한강 지류의 하천 및 호소의 수질을 개선하기 위해서는 농업유역 뿐만 아니라 산림유역에서 발생하는 오염원에 관한 관리가 필요할 것으로 판단되었다. 수질항목별 유량가중평균농도의 최대값과 최소값의 차이가 매우 크게 나타났다. 이는 강우량, 최대강우강도, 강우지속시간, 토지이용현황, 작물의 성장상태 및 수질시료채취와 같은 요인들이 농도특성에 큰 영향을 미치는 것을 의미한다. 이와 같은 농도변화는 비점원오염의 가장 큰 특징 중의 하나로 비점원 오염의 양을 정확히 파악하기 힘들 뿐만 아니라 효율적으로 관리하기 어려운 원인이 된다.

Table 2 Mean and confidence interval of FWWCs

<Unit: mg/L>

	Site	No. of Samples	Mean concentration	Standard deviation	Standard error	Confidence interval		Lowest	Highest
						95% Lower	95% Upper		
SS	FRW	21	7.408	4.766	1.040	5.239	9.577	1.000	18.000
	YPW		46.103	29.495	6.436	32.677	59.529	3.000	99.000
	WGW		17.399	9.945	2.170	12.872	21.925	3.000	38.413
BOD	FRW	21	2.467	1.542	0.336	1.766	3.169	0.600	5.500
	YPW		5.179	2.990	0.652	3.818	6.540	0.890	11.320
	WGW		3.870	1.529	0.334	3.174	4.566	1.870	7.370
COD	FRW	21	4.698	2.036	0.444	3.771	5.625	1.200	8.582
	YPW		9.432	6.269	1.368	6.578	12.286	0.600	26.800
	WGW		4.617	1.830	0.399	3.784	5.450	2.775	8.851
T-N	FRW	21	2.678	1.471	0.321	2.009	3.348	1.200	7.659
	YPW		8.480	3.239	0.707	7.006	9.954	2.600	13.933
	WGW		6.859	4.519	0.986	4.802	8.916	2.825	20.747
NO ₃ -N	FRW	21	0.190	0.574	0.125	-0.071	0.451	0.000	1.930
	YPW		5.625	2.070	0.452	4.683	6.567	2.030	9.467
	WGW		2.081	1.166	0.254	1.550	2.612	0.890	5.620
T-P	FRW	21	0.123	0.094	0.020	0.080	0.166	0.000	0.370
	YPW		0.278	0.179	0.039	0.196	0.359	0.030	0.640
	WGW		0.208	0.264	0.058	0.088	0.328	0.023	0.800

* Forest Research Watershed: FRW, YuPo-ri Watershed: YPW, WolGok-ri Watershed: WGW

3개 유역별 유량가중평균농도 평균을 비교 분석하기 위하여 일원분석(ANOVA)과 Tukey 사후분석을 실시하였다. 유역별 21개 강우사상에 대한 유량가중 평균농도 평균의 일원분석결과 5% 유의수준에서 유역간의 평균(P < 0.05)의 변화가 있는 것으로 나타났다. 유역간의 Tukey 사후분석을 실시한 결과 SS와 COD의 경우 학슬림과 월곡리 유역이 동일집단 그리고 유포리 유역이 부집단으로 분류되었으며, BOD와 T-P의 경우 학슬림과 월곡리 유역 그리고 유포리와 학슬림 유역이 각각 동일집단으로 분류되었다. 반면에 T-N의 경우 유포리와 월곡리 유역이 동일집단 그리고 학슬림 유역이 부집단으로 분류되었으며, NO₃-N의 경우 3개 유역이 모두 각각 다른 농도특성을 나타내는 부집단인 것으로 나타났다. 수질항목별 Tukey 사후분석 결과는 Table 3과 같다.

유역에서 강우시 발생하는 유량가중평균농도는 유출량(Q), 강수량(Rainfall), 건기일수(Dryday), 강우강도(Rainfall intensity) 및 유역면적(Area) 등에 영향

Table 3 Tukey honestly significant difference(HSD) of water qualities among study watersheds

Index	Flow-weighted concentration(mg/L)		
	Forest Research Watershed	Yupo-ri Watershed	Wolgok-ri Watershed
SS	7.4081*	46.1031	17.3987*
BOD	2.4674*	5.1790**	3.8704*,**
COD	4.6981*	9.4320	4.6171*
T-N	2.6781	8.4798*	6.8588*
NO ₃ -N	2.6781	2.0811	5.6246
T-P	0.1230*	0.2777**	0.2081*,**

* significance level of 0.05, ** significance level of 0.01

을 받는다. 따라서 유역의 유량가중평균농도에 영향을 미치는 인자간의 특성을 분석하기 위하여 상관도 분석을 하였으며 Table 4와 같다. 유역의 유출량에 영향을 미치는 인자로는 강우량과 유역면적의 상관도가 높게 나타났으며, 강우량에는 강우강도가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 연구유역인 학슬림, 유포리 및 월곡리 유역은 유역면적이 약 1.9~3.9 km²로 매

Table 4 Correlation analysis of the watershed characteristics

	Q	Rainfall	Dryday	Rainfall intensity	Area
Q	1.000	0.499**	0.034	0.189	0.384**
Rainfall	0.499**	1.000	0.161	0.509**	0.165
Dryday	0.034	0.161	1.000	-0.054	0.093
Rainfall intensity	0.189	0.509**	-0.054	1.000	0.051
Area	0.384**	0.165	0.093	0.051	1.000

** significance level of 0.01

Table 5 Correlation analysis matrix of FWMCs between water quality indices

	SS	BOD	COD	T-N	NO ₃ -N	T-P
SS	1.00	0.473**	0.545**	0.478*	0.701**	0.470**
BOD	0.473**	1.00	0.64**	0.487**	0.501**	0.258*
COD	0.545**	0.640**	1.00	0.229	0.450**	0.247
T-N	0.478**	0.487**	0.229	1.00	0.789**	0.429**
NO ₃ -N	0.701**	0.501**	0.450**	0.789**	1.00	0.381**
T-P	0.470**	0.258*	0.247	0.429**	0.381**	1.00

* significance level of 0.05, ** significance level of 0.01

우 작기 때문에 유역내에서 발생하는 유출량은 강우량과 유역면적에 매우 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 연구유역에서 일강우량이 40~60 mm 정도일 때 침투유출량은 1.5~3.5 m²/sec 정도로 나타났다. 그러나 연구유역의 면적이 작기 때문에 침투유출은 침투강우 후 약 15~30분 사이에 나타날 것으로 판단되었다. 따라서 학슬림 소유역과 같이 급경사지가 많은 산림유역이나 혹은 면적이 작은 유역의 경우 오염농도를 정밀하게 측정하기 위해서는 강우시 유달 거리와 시간을 고려하여 연속적인 유량측정과 수질시료 채취가 이루어져야 할 것으로 판단되었다. 수질항목별 유량가중평균농도의 상관도 분석결과 COD를 제외한 대부분의 수질항목간의 상관도가 있는 것으로 나타났다. 그러나 유기물 함량을 측정하는 COD의 경우 물속의 영양물질 양을 측정하는 T-N 및 T-P와 관계가 없는 것으로 나타났다. 수질항목별 유량가중평균농도 평균의 상관도 분석은 Table 5와 같다.

IV. 결 론

본 연구에서는 산림유역과 농지와 임야가 혼합된

유역에서 발생하는 강우유출수의 유량가중평균농도를 분석하기 위해 강원도 춘천시에 위치한 강원대학교 학슬림, 유포리 및 월곡리 소하천을 대상으로 유량과 수질 자료를 수집하여 분석하였으며, 유역별로 각각 21개의 유량가중평균농도를 산정하였다.

1. 유역별 21개 강우사상에 대한 수질항목별 평균 유량가중평균농도는 유포리(YPW) > 월곡리(WGW) > 학슬림(FRW) 순서로 농업유역의 유량가중평균농도가 산림유역에 비해 높은 것으로 나타났다. 하천 부영양화의 제한인자인 T-N과 T-P의 경우 I등급 호소수질기준인 0.2 mg/L과 0.01 mg/L보다 각각 12~13배 이상 높은 것으로 나타나 하천 및 호소의 수질을 개선하기 위해서는 농업유역 뿐만 아니라 산림유역에서 발생하는 오염원에 관한 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

2. 수질항목별로 유포리와 월곡리 소하천의 유량가중평균농도의 범위가 학슬림 소하천보다 높은 것으로 나타났다. 특히, 농업유역 유포리와 월곡리의 SS 농도범위는 3~99.000 mg/L과 3~38.413 mg/L로 산림유역 0~18.000 mg/L에 비해 상당히 높게 나타났다. 이는 농업유역의 경우 초봄의 영농활동으로 교란된 농경지에서 약 40 mm 정도의 강우에도 많은 양의 토양유실이 발생된 것으로 판단되었다.

3. 유역별 유량가중평균농도 평균의 일원분석결과 95% 유의수준에서 유역간의 평균(P < 0.05)은 다른 것으로 나타났다. 연구유역의 유출량에 영향을 미치는 인자는 강우와 유역면적으로 나타났다. 강우는 일강우량 보다 강우강도가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 대부분의 수질항목간의 상관도가 있는 것으로 나타났으나, 유기물 함량을 측정하는 COD의 경우 물속의 영양물질 양을 측정하는 T-N 및 T-P와 관계가 없는 것으로 나타났다.

본 연구에서 산정된 강우유출수의 유량가중평균농도는 산림유역과 농지 및 임야가 혼합된 유역을 대상으로 하여 1년간의 짧은 연구기간동안 수행되었기 때문에 유역간의 유량가중평균농도 특성을 명확히 평가하기에는 미흡한 것으로 판단되었다. 따라서 농업 및 산림유역에서 배출되는 강우유출수의 유량가중평

균농도를 평가하기 위해서는 장기간의 모니터링 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 2005년도 한강수계관리위원회(한강유역환경청)에서 시행한 환경기초조사사업 연구결과 중의 일부로 연구지원에 감사한다.

이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

References

1. Choi, J. D., Lee, C. M., & Choi, Y. H., 1999, Effect of Land Use on the Water Quality of Small Agricultural Watersheds in Gangwon-do. Korea Water Resources Association, 32(4), pp.501-510.
2. Choi, J. D., Jang, S. O., Choi, B. Y., and Lyou, S. H., 2000, Monitoring Study on Groundwater Quality of an Alluvial Plane in the North Han River Basin, Journal of the KSWQ, 16(3), pp. 283-294
3. Choi, J. D., 2005, Measurement of non-point source pollution load discharges, Hanam, Gyeonggi: Han River Basin Environmental Office, pp. 69-172.
4. Humenil, J. J., Smolen, M. D., & Dressing, S. A., 1987, Pollution from nonpoint sources: where we are and where we should go. Environ. Sci. Technol., 21, pp.737-742.
5. Lyou, C. W., Shin, Y. C., Heo, S. G., Lim, K. J., and Choi, J. D., 2006, Characteristics of nonpoint source pollutant loads from forest watershed. Journal of the KCID, 13(1), pp. 63-71.
6. Ministry of Environment, 2005, Standard of Method.
7. Pimental, D., 1993, World soil erosion and conservation. Cambridge Univ. Press, Cambridge, England.
8. Shin, Y. C., Choi, J. D., Lim, K. J., Shim, H. H., Lyou, C. W., Yang, J. E. & Yoo, K. Y., 2005, Pollutant Load Characteristics of a Small Mountainous Agricultural Watershed in the North Han River Basin, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 47(6), pp.83-92.
9. Shin, Y. C., Lyou, C. W., Choi, Y. H., Lim, K. J. & Choi, J. D., 2006, Pollutant Load Characteristics by Baseflow in a Small Agricultural Watershed, Journal of the Korean Society on Water Quality, 22(2), pp.244-249.