토지피복 특성에 따른 비점오염원 유출특성 평가

이재운* · 이윤정 · 권현각 · 윤종수 · 이춘식¹⁾ · 천세억

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾경남과학기술대학교 환경공학과
(2012년 4월 23일 접수; 2012년 6월 20일 수정; 2012년 7월 24일 채택)

Estimation of Runoff Characteristics of Non-point Pollutant Source by Land Cover Characteristics

Jae-Woon Lee*, Youn-Jeong Yi, Hun-Gak Kwon, Jong-Su Yoon,
Chun-Sik Lee¹⁾, Se-Uk Cheon

Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,
Goryeong 717-873, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Kyeongsang National University of Science and Technology,
Jinju 660-758, Korea

(Manuscript received 23 April, 2012; revised 20 June, 2012; accepted 24 July, 2012)

Abstract

This study analyzed the characteristics of stormwater runoff by rainfall type in orchard areas and transportation areas for 2 years(2010~2011year). Effluents were monitored to calculate the Event Mean Concentrations(EMCs) and runoff loads of each pollutant.

The pollutant EMCs by volume of stormwater runoff showed the ranges of BOD 0.9~13.6 mg/L, COD 13.7~45.2 mg/L, SS 4.1~236.4 mg/L, T-N 2.123~21.111 mg/L, T-P 0.495~2.214 mg/L in the orchard areas, and was calculated as BOD 2.3~22.5mg/L, COD 4.4~91.1 mg/L, SS 4.3~138.3 mg/L, T-N 0.700~13.500 mg/L, T-P 0.082~1.345 mg/L in the transportation areas.

The correlation coefficient of determination in the orchard area was investigated in the order of Total Rainfall(0.81) > Total Runoff(0.76) > Rainfall Intensity(0.56) > Rainfall Duration(0.46) > Antecedent Dry Days(0.27). Also, in the case of the transportation area was investigated in the order of Total Rainfall (0.55) > Total Runoff(0.54) > Rainfall Intensity(0.53) > Rainfall Duration(0.24) > Antecedent Dry Days(0.14).

As the result, comparing valuables relating to runoff of non-pollutant source between orchard areas and transportation areas, orchard area($R^2 \geq 0.5$: X3, X4, X5) was investigated to have more influence of diverse independent valuables compared to the transportation area($R^2 \geq 0.5$: X3, X4) and the difference of discharge influence factor by the land characteristics appeared apparently.

Key Words : Non-point, EMCs, Pollution load, Orchard area, Transportation area

1. 서론

강우 시 유출되는 비점오염원 부하가 수질에 미치는 영향은 하수처리율이 향상되고 경제 활동수준이 높아질수록 증가하고 있으며, 토지이용이 고밀도로

*Corresponding author : Jae-Woon Lee, Nakdong River Environment Research Center, Goryeong 717-873, Korea
Phone: +82-10-3468-2291
E-mail: leejaew@korea.kr

이용되고 있는 미국유역의 경우 총 수질오염부하의 50% 정도가 비점오염원에 의한 것으로 조사되고 있다. 특히 도시지역 하천의 경우, 각종 독성 유기물 및 중금속의 주요 오염원이 비점오염원에 의한 것으로 밝혀지고 있으며, 폐쇄성 수역의 경우 영양물질의 80% 이상이 비점오염원에 의한 것으로 계산되고 있다(Novotony와 Chesters, 1981).

강우 시 농촌지역에서 유출특성은 초기세척 현상의 접근방법 보다는 유역특성, 강우특성, 유량특성 등의 인자에 대한 연구가 필요하다(이 등, 2008). 농촌유역의 강우사상별 비점원오염물질 유출부하량의 경우 강우량과도 어느 정도 상관성은 있으나, 선행무강우 일수와 강우강도에도 상당한 영향을 받는 것으로 판단하였다(농업과학기술원, 2008). 김 등(2002)은 경안천 유역에서 강우 시 발생하는 비점오염원의 유출특성을 파악하고, 각 토지피복에 따른 대표지점을 선정하여 강우 시와 비 강우 시 하천의 수질조사를 통하여 유역별 유출원단위를 산정하였다. 비점오염원의 오염부하량 및 원단위 산정 연구는 신 등(2001) 이외에도 많은 연구가 활발하게 보고되고 있다.

비점오염원 중 도시 노면 공간 특성 중 고속도로 노면에서 배출되는 비점오염원의 배출특성조사를 위하여 유·무기물질의 수질오염지표항목별 강우시 수질특성을 파악하고, 이러한 기초자료를 바탕으로 오염물질부하 및 유출량 산정, 원단위를 산정하여 오염기여율을 파악하였다(이 등, 2005). 최와 신(1997)은 오염부하량을 산정하기 위해 오염원을 인구와 가축, 산업체 그리고 자연오탁 부하량으로 구분하고 각 오염원별 오염원단위를 적용하여 일일 부하량을 산정하였으며, 하천에 도달하는 부하량의 산정을 위해서는 각 오염원별로 주어진 유달율을 적용하는 방식을 선택하였다.

비점오염원에 대한 효율적인 관리를 위해 비점오염원의 확인, 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사, 오염부하량 정량화를 위한 합리적인 기술개발, 정책의 개발 및 실행 등이 필요하다. 뿐만 아니라 비점오염원 관리절차에 있어 우선적으로 해결하여야 할 사항은 비점오염원의 부하량 조사에 관련된 기초연구로서 토지이용과 비점오염물질의 배출관계조사, 수질오염원 중에 비점오염원의

역할에 대한 정확한 연구 자료가 필요하다(환경부, 1995).

본 연구에서는 토지피복형태에 따른 비점 오염물질의 유량기중평균농도(EMCs : Event Mean Concentrations) 및 유출부하량을 산정하였다. 산정된 EMCs 및 유출부하량과 강우 및 유출관련 변수들 간의 비교를 통해 유출부하량에 영향을 미치는 변수를 확인하고자 하였으며, 상세한 검토를 위해 비점오염원을 종속변수, 강우 및 유출관련 변수를 독립변수로 하는 상관성분석을 수행하였다. 상관성분석 결과를 통해 비점오염원 유출에 영향을 미치는 인자의 영향정도를 확인하고자 하였다. 본 연구 결과를 통해 향후, 토지피복 형태별 다양한 강우사상에 대한 모니터링 결과를 활용한 경험식산정 시 기초자료로서 활용될 것으로 사료된다.

2. 자료 및 방법

2.1. 조사지점 현황

조사지점은 토지피복형태별로 나누어 선정하였는데, 농업지역을 대표하는 지점으로는 과수원재배지, 도시지역을 대표하는 지점으로는 교통지역을 선정하여 Fig. 1에 나타내었다. 지점의 선정은 단일토지피복 특성을 조사하기위해 조사지점 외부로 부터의 유입이 없고, 토지피복 내 다른 형태의 토지피복이 포함되지 않는 지점 선정을 기준으로 하였다. 과수원재배지의 경우 재배 작물은 신고배이며, 모니터링을 위해 선정 한 배밭 2개 지점은 경상북도 상주시에 위치하고 있으며, 두 지점의 거리는 약 10 km로 재배면적은 각각 site1_1,943 m², site2_2,484 m²이다. 2개 지점 모두 배밭 내부에 배나무를 제외한 기타작물 재배는 없었으며, 외부와 배밭의 경계가 독을 통해 명확히 구분되어 배밭 고유의 비점오염물질 유출특성을 조사할 수 있었다.

교통지역의 경우 고속도로, 도심간선도로를 대상으로 조사를 실시하였다. 고속도로(site3)의 경우 진주시 내동에 위치한 왕복 4차선 도로 중 상행선 편도 2차선을 대상지역으로 선정하여 모니터링을 수행하였으며, 중앙분리대 및 노선주변의 갓길을 포함한 길이 200 m, 폭 10 m로 조사 대상 면적은 총 2000 m²이었다. 또한 차량고속 주행의 위험으로부터 방지 할 수 있

는 외부접근이 용이한 지점으로서 비점오염물질의 유출 특성 조사가 용이하였다. 경남 창원시 반송동에 위치한 도심간선도로(site4)의 경우 왕복 6차선 도로 중, 편도 3차선을 대상지역으로 선정하였으며, 도로의 길이 124 m, 도로의 폭 10 m로 조사 대상 면적은 1,240 m²이다.

Fig. 1. Location of survey sites.

2.2. 강우유출수 모니터링

현장에서의 조사는 기상청의 일기예보를 통해 현장에 강우강도계 및 유량계를 설치하여 조사 대상지점에서 일어나는 강우 형태에 따른 유출수의 변화를 실측하였다. 실측에 사용된 강우강도계는 Tipping bucket mechanism 방식의 호주 Envirodata Environmental Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1분 단위의 강우량 측정이 가능하며, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 MARSH McBIRNEY 사의 Flo-Tote3로 1분 단위의 유량측정이 가능하다. 조사 대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사하였다.

강우시 현장 모니터링 방법은 국립환경과학원에서 개정된 ‘강우유출수 조사방법’에 준하여 이루어졌고 불가할 시 가장 근접한 기상청 자료를 활용하였다.

수질 분석용 시료의 채취는 강우에 따라 유출이 발생하는 시점을 T1로 하여 이후 유출 초기에는 5분 간격으로 시료를 채취하고, 이후 10분, 30분, 1시간, 2시간의 간격으로 초기강우에 의해 발생하는 유출수를 최대한 확보하였다. 유출발생이 오랜 시간 지속되는 경우 탁도의 변화를 실시간으로 관찰하여 조사자가 시간간격을 조절하여 유출수 채취를 실시하였다. 시료채취 지점은 유량측정에 영향을 주지 않는 최종 말단 부위에서 채취하였고, 시료의 전처리 및 분석은 ‘수질오염공정시험법’에 따라 실시하였다.

2.3. 강우사상별 EMCs 산정

강우 시 발생하는 강우유출수 농도 및 유량의 경우 강우량, 강우강도, 선행무강우일수, 강우시간 등에 따라 지속적으로 변화되기 때문에 특정시간의 유량과 농도 자료만을 가지고 특정강우사상의 대표 유량 및 농도로 사용할 수 없다. 따라서 각각의 강우사상별 대표 농도를 확보하기 위해서는 각각의 강우사상 전 기간 시간대별 유량 및 수질을 조사하여 각각의 수질 농도에 유량이 가중된 농도를 조사하여 각 강우사상별 대표 농도로 사용하여야 강우사상별 특성을 농도 값에 반영할 수 있다. 이와 같이 유출 시간대 별 유출량이 고려된 농도가 EMCs이며, 이는 식 (1)에서 보는 바와 같이 강우 발생 시 대상구역에서 유출되는 오염물질의 각 시간대별 총량을 유출량으로 나눈 값으로 정의 된다(Vladimir, 1995).

$$\begin{aligned} \text{EMC} &= \frac{\text{Discharged mass during event}}{\text{Discharged volume}} \\ &= \frac{\sum_{t=0}^T C(t) \cdot Q(t)}{\sum_{t=0}^T Q(t)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, “t” 는 유출시점으로부터의 경과시간, Q(t) 는 시간 t에서의 유출량(m³/s), C(t)는 시간 t에서의 오염물질농도(mg/L)와 유출률을 의미한다.

$$\begin{aligned} \text{Pollutant Loading Per Watershed Area (mg/m}^2\text{)} &= \frac{\text{EMC (mg/L)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{)}}{\text{Area (m}^2\text{)}} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)는 유역면적 대비 오염물질 부하량을 나타내고 있으며, 이러한 부하량 산정식은 EMCs와 유출량 및 유역면적을 고려하여 산정되어진다.

2.4. 상관성 분석

상관관계 분석은 SPSS 12.0K를 사용하였으며, 상관계수는 Pearson 상관계수를 사용하였고 각 변수들은 정규분포를 따른다는 가정을 하였다. 상관계수 값의 범위는 -1부터 +1까지이며, 계수의 부호는 관계의 방향을 가리키고 절대 값은 관계의 강도를 나타낸다. 유의성 검정은 양측검정으로 하였으며, 유의한 상관관계수에 대해서는 *표시를 하였는데 1개의 *표 (*)는 0.05 수준에서 유의한 상관관계수이고, 2개의 *표 (**)는 0.01 수준에서 유의한 상관관계수이다(낙동강수계관리위원회, 2010).

3. 결과 및 고찰

3.1. 토지피복별 모니터링 현황

Table 1은 2010년부터 2011년까지 과수원재배지로 선정된 배밭 2곳에 대해서 조사한 event의 유출특성을 수록하였다. 과수원재배지의 경우 투수지역으로 인해 일정량의 강우가 내리지 않을 경우 유출이 발생

되지 않았으며, 강우가 집중되는 6월에서 9월 사이 대부분의 유출이 발생하였다. 과수원재배지의 강우량은 12.8~121.5 mm로 조사되었고 유출량은 2.18~116.40 m³으로 강우량 및 조사 시기에 따른 발생량의 차이가 크게 조사되었으며, 강우강도는 0.7~4.1 mm/hr로 조사되었다. event3과 event9에서 121.5 mm로 가장 많은 강우량이 조사되었으며, 유출률 또한 강우량이 가장 많은 event3에서 0.49로 가장 높게 조사되었다.

Table 2는 2010년부터 2011까지 교통지역에 대해 조사되어진 내용으로 event는 총 20회 조사되었으며, 교통지역의 경우 과수원재배지와 달리 적은 양의 강우에도 유출이 발생되었다. 조사 결과 과수원지역과 달리 교통지역의 경우 강우 집중시기에만 국한되지 않고, 2월~10월 사이 총 강우량 3.6~168.4 mm로 조사되었으며, 모든 강우사상에서 유출 발생이 확인되었다(유출량 : 1.58~155.02 m³). 강우량의 변화에 따라 유출률의 경우 최소 0.35 최대 0.92의 다양한 유출률을 나타내었다. 교통지역의 경우 표면의 불투수율이 높고, 도로 내 배수율을 높이기 위해 도로 바깥쪽으로 경사지게 건설하여 낮은 강우량에도 유출이 발생된 것으로 조사되었다.

Table 1. Summary of monitoring results by various events in the orchard area

Site	Event No.	Date	Area (m ²)	ADD ¹⁾ (day)	Rainfall Duration (hr)	Rainfall (mm)	Total Rainfall (m ³)	Total Runoff (m ³)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Rate ²⁾
1	1	2010-07-16	1943	2	19.3	24.9	48.4	8.07	1.3	0.17
	2	2010-07-27		2	18.6	12.8	24.9	2.18	0.7	0.09
	3	2010-08-10		3	31.2	121.5	236.1	116.40	3.9	0.49
	4	2010-09-01		1	12.7	32.2	62.6	29.54	2.5	0.47
	5	2010-09-06		2	30.7	46.7	90.7	45.92	1.5	0.51
	6	2011-06-23		4	19.9	80.4	156.2	37.19	4.1	0.24
	7	2011-08-10		0.5	48.4	85.0	165.2	54.61	1.8	0.33
2	8	2010-07-16	2484	2	19.3	24.9	48.4	14.10	1.3	0.29
	9	2010-08-10		3	31.2	121.5	236.1	108.00	3.9	0.46
	10	2010-09-01		1	12.7	32.2	62.6	25.96	2.5	0.41
	11	2010-09-06		2	30.7	46.7	90.7	58.36	1.5	0.64
	12	2011-06-23		4	19.9	80.4	156.2	44.03	4.1	0.28
	13	2011-08-10		0.5	48.4	85.0	165.2	56.22	1.8	0.34

¹⁾ Antecedent Dry Days

²⁾ Runoff Rate = Total Runoff / Total Rainfall

Table 2. Summary of monitoring results by various events in the transportation area

Site	Event No.	Date	Area (m ²)	ADD (day)	Rainfall Duration (hr)	Rainfall (mm)	Total Rainfall (m ³ /event)	Total Runoff (m ³ /event)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Rate
3	1	2010-02-25	2000	12	12.3	32.4	63.0	46.87	2.6	0.74
	2	2010-03-15		4	10.6	14.1	27.4	23.02	1.3	0.84
	3	2010-04-26		3	13.8	25.8	50.1	44.50	1.9	0.89
	4	2010-07-28		3	11.3	20.6	40.0	30.62	1.8	0.77
	5	2010-08-13		2	7.4	6.3	12.2	6.86	0.9	0.56
	6	2011-04-22		2	4.7	11.2	21.8	20.02	2.4	0.92
	7	2011-09-11		6	3.4	18.0	35.0	16.47	5.4	0.47
	8	2011-10-14		6	5.1	20.3	39.4	16.85	4.0	0.43
4	9	2010-03-15	1240	4	11.6	25.4	49.4	23.14	2.2	0.73
	10	2010-06-25		6	16.4	12.1	23.5	6.31	0.7	0.42
	11	2010-07-10		6	19.0	131.6	255.7	149.50	6.9	0.92
	12	2010-07-28		4	31.7	15.6	30.3	15.61	0.5	0.81
	13	2010-09-06		3	30.9	168.4	327.2	155.02	5.5	0.74
	14	2010-09-11		4	9.0	34.6	67.2	35.43	3.8	0.83
	15	2011-04-07		9	10.8	23.3	45.3	23.25	2.2	0.81
	16	2011-04-22		10	12.5	35.3	68.6	37.78	2.8	0.86
	17	2011-06-22		10	4.4	49.8	96.8	52.92	11.3	0.86
	18	2011-09-10		4	5.0	17.6	34.2	8.83	3.5	0.40
	19	2011-09-29		17	6.1	3.6	7.0	1.58	0.6	0.35
	20	2011-10-21		5	24.1	77.5	150.6	77.53	3.2	0.81

3.2. 비점오염물질별 EMCs 산정

과수원재배지 및 교통지역에 대해 2010년부터 2011년까지 2년간 모니터링 된 결과를 활용하여 각각의 EMCs를 산정하여 Table 3~Table 4에 나타내었고, 산정된 EMCs의 범위를 Fig. 2~Fig. 3에 도시하였다.

과수원재배지의 EMCs를 살펴보면, BOD 0.9~13.6 mg/L, COD 13.7~45.2 mg/L, SS 4.1~236.4 mg/L, T-N 2.123~21.111 mg/L, T-P 0.495~2.214 mg/L 의 범위로 조사되었으며, 평균 EMCs 농도는 BOD 4.3 mg/L, COD 25.5 mg/L, SS 75.7 mg/L, T-N 8.272 mg/L, T-P 1.507 mg/L로 조사되었다. 최대/최소비의 경우 SS가 57.6으로 가장 높고 COD가 3.29로 가장 낮게 나타나 비점오염물질별 EMCs 농도의 범위가 대단히 넓게 조사되고 있음을 알 수 있다. 이렇듯 강우 시 비점오염물질 배출이 큰 차이를 보이는 이유는 재배지 표면에 쌓여진 시비량에 많은 영향을 받고 있으며, 조사 시기별로 재배지 내부의 관리 상태에 따른 것으로 판단된다.

과수원재배지의 조사결과는 동일한 시기, 동일한 재배과수에 대한 결과이지만 강우유출수의 수질항목

별, 강우사상별 EMCs 값이 다르게 나타났다. 이는 농장 소유주의 재배방법, 관리정도 및 시비시점 차이 등에 따라 동일한 재배과수임에도 불구하고 강우유출수의 수질항목별 EMCs 값이 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 토대로, 과수원재배지와 같이 투수율이 높은 토지피복형태를 띄는 곳에서의 비점오염원 유출의 경우, 일정한 형태의 경험식을 통해 발생하는 비점오염원의 양을 추정하는 방법은 추정 결과에 대한 신뢰도가 낮아질 것으로 판단되며, 장기적인 모니터링을 통해 분석 대상지점에 대한 현장실측 결과를 토대로 비점오염원에 대한 관리방안을 마련해야 할 것으로 사료된다.

교통지역 EMCs의 범위를 살펴보면, BOD 2.3~22.5 mg/L, COD 4.4~91.1 mg/L, SS 4.3~138.3 mg/L, T-N 0.700~13.500 mg/L, T-P 0.082~1.345 mg/L로 조사되었으며, 평균 EMCs 값은 BOD 7.8 mg/L, COD 20.4 mg/L, SS 27.4 mg/L, T-N 2.667 mg/L, T-P 0.412 mg/L로 조사되었다. 강우사상별로 최대값과 최소값의

Table 3. Summary of discharge and EMCs at various events for orchard area

Site	Event No.	EMC(mg/L)				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P
1	1	13.6	45.2	82.8	13.554	2.076
	2	4.4	15.8	40.2	19.171	2.214
	3	1.6	25.0	78.6	21.111	1.652
	4	2.0	24.7	16.0	6.055	0.829
	5	3.0	20.8	13.6	6.427	1.308
	6	5.4	27.4	41.7	6.782	1.916
	7	4.3	26.4	65.4	6.255	2.2
2	8	6.8	40.6	176.0	2.126	1.263
	9	1.8	22.5	168.5	4.646	1.330
	10	1.2	14.2	4.1	5.872	0.767
	11	0.9	13.7	4.5	4.620	0.495
	12	5.6	27.6	236.4	6.381	1.604
	13	5.7	27.4	55.9	4.538	1.939
Ave.		4.3	25.5	75.7	8.272	1.507
Max		13.6	45.2	236.4	21.111	2.214
Min		0.9	13.7	4.1	2.126	0.495

비가 각각 BOD 9.7, COD 20.7, SS 32.2, T-N 19.3, T-P 16.4로 SS 최대/최소값의 비가 타 항목에 비해 높게 산정되었다. 교통지역에서의 SS 농도는 유출수의 유출량 및 선행무강우일수의 정도에 따라 차이가 발생하였으며, 선행무강우일수에 일부 비례적인 유출농도 차이를 보여 과수원재배지와외 토지피복특성 차이를 나타내었다.

Fig. 2. Range of EMCs (Orchard area).

선행무강우일수가 17일로 가장 길게 조사된 event 19의 경우 유출률이 0.35로 다른 events에 비해 낮게 조사되었으나, 비점오염물질별 EMCs는 BOD 21.3 mg/L, COD 35.6 mg/L, T-N 13.500 mg/L, T-P 0.454 mg

/L 로 높게 나타났다. 본 event의 경우 적은 강우량(3.6 mm)으로 인해 유출률은 낮았으나, 긴 선행무강우일수로 인해 축적된 오염물질이 유출수에 포함되어 발생된 현상으로 판단된다. 투수율이 높은 과수원재배지의 경우 선행무강우일수가 짧을수록 유출 발생확률이 높아지나, 불투수율이 높은 교통지역에서는 반대적인 현상을 보여주었다. 이는 도로 주변에 식재된 조경수 및 잔디에 살포되는 질소질 비료의 영향으로 인해 발생된 결과이며, 이를 통해 불투수율이 높은 도심지에서도 주변에 산재된 조경시설 또는 수목에 살포되는 비료에 의해 질소 또는 인 항목 비점오염물질이 고농도로 발생될 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 3. Range of EMCs (Transportation area).

Table 4. Summary of discharge and EMCs at various events for transportation area

Site	Event No.	EMCs(mg/L)				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P
3	1	5.7	13.3	7.1	1.500	0.128
	2	4.1	9.0	4.3	0.700	0.096
	3	6.2	11.1	4.5	1.000	0.082
	4	4.1	11.9	10.1	1.900	0.110
	5	4.7	11.4	11.7	1.400	0.084
	6	10.3	20.5	12.9	1.600	0.215
	7	14.8	35.1	28.4	3.100	0.526
	8	10.1	21.7	13.9	1.800	0.225
4	9	2.8	7.6	5.0	1.168	0.295
	10	6.1	13.0	41.6	1.445	0.657
	11	2.3	4.4	8.1	1.041	0.454
	12	6.0	12.4	35.0	1.379	0.693
	13	3.8	6.9	19.2	1.041	0.537
	14	7.3	34.2	100.2	1.649	0.705
	15	11.0	15.2	5.8	3.275	0.782
	16	22.5	91.1	37.0	5.714	1.345
	17	4.8	24.3	138.3	6.558	0.172
	18	5.8	14.8	22.4	1.762	0.375
	19	21.3	35.6	24.0	13.500	0.454
	20	2.7	13.9	18.9	1.815	0.306
Ave.		7.8	20.4	27.4	2.667	0.412
Max		22.5	91.1	138.3	13.500	1.345
Min		2.3	4.4	4.3	0.700	0.082

토지피복 특성이 다른 지점의 강우 시 유출특성 비교를 통해, 피복형태별 유출관련 변수의 민감도가 서로 다르게 조사되었다. 이를 통해 비점오염원에 대한 관리를 위해서는 다양한 토지피복 특성을 나타내는 곳에 대한 현장 모니터링이 우선시 되어야 하며, 대상 지역에 대한 강우 시 모니터링을 통해 유출특성을 파악하여 적절한 비점오염원에 대한 관리 방안을 마련할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 비점오염물질별 부하량 산정

과수원재배지 및 교통지역에서 조사된 강우 사상에 대해 오염물질별 유출부하량을 산정하여 Table 5, Table 6에 나타내었다.

과수원재배지에 대해 산정된 비점오염물질별 평균 유출부하량은 BOD 65.9 kg/km², COD 508.6 kg/km², SS 1709.4 kg/km², T-N 190.828 kg/km², T-P 31.410 kg/km²으로 산정되었다. 특히 영양염류의 유출부하량이 높게

조사 되었는데, 이는 과수에 대한 시비의 영향을 가장 크게 받는 것으로 조사되었다. 강우사상이 발생하는 시기에 살포되는 비료 등이 토양 표면에 흡착되어 있다가 유출수에 의해 씻겨, 이와 같은 결과를 발생시키는 것으로 조사되었다.

비점오염원별 발생하는 최대/최소 비는 BOD 26.64, COD 86.71, SS 170.86, T-N 104.00, T-P 40.81로 최대, 최소 비의 변동 폭이 매우 넓게 나타났다. Table 1의 유출특성과 함께 살펴보면, SS의 경우는 강우량과 유출량의 영향을 가장 크게 받는 것으로 조사 되었으며, 비점오염물질별 영향을 받는 매개변수가 일부 차이를 보이는 것으로 조사되었다.

과수원재배지에서의 비점오염원 유출부하량의 경우 강우사상별 큰 차이를 나타내었다. 강우 발생 전 재배지의 관리상태 및 작물의 작황을 좋게 하기위한 시비 등의 영향을 많이 받는 것으로 조사되었다. 따라서 본 조사지역과 같이 작물을 재배하고, 토지피복이 불

Table 5. NPS load of orchard area

Nonpoint source Load(kg/km ²)						
Site	Event No.	BOD	COD	SS	T-N	T-P
1	1	56.0	186.3	341.1	55.805	8.546
	2	4.8	17.1	43.7	20.819	2.404
	3	95.9	1482.9	4670.4	1253.989	98.116
	4	30.4	375.1	243.3	92.056	12.610
	5	71.8	492.4	321.5	151.889	30.905
	6	102.4	524.0	796.9	129.604	36.610
	7	120.0	740.9	1837.5	175.805	61.901
2	8	38.7	230.4	998.3	12.057	7.163
	9	77.2	983.7	7364.4	202.996	58.116
	10	12.3	148.6	43.1	61.365	8.012
	11	20.1	321.6	106.4	108.564	11.630
	12	99.1	488.8	4190.1	113.106	28.429
	13	127.9	619.9	1265.6	102.703	43.890
	Ave.	65.9	508.6	1709.4	190.828	31.410
	Max	127.9	1482.9	7364.4	1253.989	98.116
	Min	4.8	17.1	43.1	12.057	2.404

Table 6. NPS load of transportation area

Nonpoint source Load(kg/km ²)						
Site	Event No.	BOD	COD	SS	T-N	T-P
3	1	133.90	310.72	165.89	36.13	3.00
	2	47.75	103.27	49.98	7.78	1.10
	3	138.09	246.40	100.79	22.53	1.82
	4	62.17	182.65	155.39	28.49	1.68
	5	16.04	39.25	40.09	4.81	0.29
	6	118.11	233.46	147.63	18.07	2.46
	7	121.95	288.90	234.20	25.55	4.33
	8	104.40	223.55	143.25	18.90	2.33
4	9	51.9	142.5	93.3	21.800	5.502
	10	31.1	66.0	211.5	7.352	3.341
	11	278.7	535.4	971.3	125.525	54.733
	12	75.4	156.1	440.8	17.349	8.724
	13	475.9	866.0	2404.7	130.139	67.182
	14	208.3	978.1	2862.0	47.099	20.129
	15	207.0	285.0	107.9	61.402	14.655
	16	685.8	2775.3	1127.7	174.088	40.992
	17	205.3	1035.1	5901.2	279.860	7.326
	18	41.6	105.5	159.3	12.550	2.672
	19	27.1	45.2	30.6	17.164	0.577
	20	166.8	867.7	1183.5	113.469	19.125
	Ave.	159.9	474.3	826.6	58.503	13.098
	Max	685.8	2775.3	5901.2	279.860	67.182
	Min	16.0	39.3	30.6	4.810	0.290

투수율이 높은 곳에서의 비점오염원 유출은 특정한 형태를 나타내지 않고, 당시 대상 지역의 재배 시기 및 관리 정도에 따른 영향이 가장 큰 것으로 조사되었다.

교통지역의 비점오염물질별 평균 유출부하량은 BOD 159.9 kg/km², COD 474.3 kg/km², SS 826.6 kg/km², T-N 58.503 kg/km², T-P 13.098 kg/km²으로 산정되었다. 교통지역의 경우 비교 대상 지역인 과수원재배지와는 비점오염원별 유출부하량의 차이를 보였다. 과수원재배지의 경우 유기오염물질 보다는 영양염류의 부하량이 높게 산정되었으나, 교통지역은 유기오염물질의 유출부하량이 높게 산정되었다. 교통지역의 경우 도로 및 주변에 쌓여있던 쓰레기 및 나뭇잎과 같은 오염물질들이 유출수에 다량 포함된 것이 원인으로 판단된다. 교통지역에서의 영양염류는 도로 주변에 식재된 조경수 및 잔디 관리 목적으로 살포되는 비료 중 일부가 강우 시 유출수에 포함된 것이 원인으로 작용하였다.

3.4. 비점오염물질 유출 관련 변수 간 상관성 분석

비점오염물질 유출 관련 변수 간 상관관계를 Table

7~Table 8에 나타내었으며, 토지피복형태 간 상관관계 비교를 Table 9에 나타내었다. 비점오염물질 관련 변수로는 선행무강우일수(X1), 강우지속기간(X2), 총 강우량(X3), 총 유출량(X4), 강우강도(X5)를 독립변수로 사용하였으며, 종속변수로 사용된 비점오염물질별 부하량 값들은 2010년~2011년 과수원재배지 및 교통지역에서 실측된 값들을 사용하였다.

과수원재배지에서의 비점오염물질 부하량 값과 관련변수 간의 상관성을 살펴보면, 총 강우량과 비점오염원별 부하량 간의 상관성이 평균 0.81로 산정되어 강우 시 유출되는 비점오염원 부하량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 다음으로 총 유출량(0.76) > 강우강도(0.56) > 강우지속기간(0.46) > 선행무강우일수(0.27) 순으로 조사되었다. 총 강우량의 경우 모든 오염물질과 높은 상관성을 나타내는데, 투수지역인 과수원재배지 특성상 일정량 이상의 강우가 내려야 유출이 발생되므로 이러한 결과 값이 나온 것으로 생각되어지며, 유출이 발생되지 않은 강우 사상을 포함하지 않아 투수율이 낮은 지역과의 비교 시 일부 제한성을 내포하고 있다. 하지만, 투수율이 높은 지

Table 7. Correlation coefficient of orchard area

		X1	X2	X3	X4	X5	BOD	COD	SS	TN	TP
X1	Pearson	1	-.332	.357	.246	.665 (*)	.163	.258	.479	.259	.191
X2	Pearson	-.332	1	.564 (*)	.514	-.091	.689 (**)	.513	.254	.217	.609 (*)
X3	Pearson	.357	.564 (*)	1	.905 (**)	.741 (**)	.760 (**)	.915 (**)	.827 (**)	.613 (*)	.911 (**)
X4	Pearson	.246	.514	.905 (**)	1	.604 (*)	.493	.929 (**)	.788 (**)	.721 (**)	.870 (**)
X5	Pearson	.665 (*)	-.091	.741 (**)	.604 (*)	1	.459	.624 (*)	.695 (**)	.454	.564 (*)
BOD	Pearson	.163	.689 (**)	.760 (**)	.493	.459	1	.645 (*)	.455	.316	.727 (**)
COD	Pearson	.258	.513	.915 (**)	.929 (**)	.624 (*)	.645 (*)	1	.750 (**)	.839 (**)	.975 (**)
SS	Pearson	.479	.254	.827 (**)	.788 (**)	.695 (**)	.455	.750 (**)	1	.479	.687 (**)
TN	Pearson	.259	.217	.613 (*)	.721 (**)	.454	.316	.839 (**)	.479	1	.807 (**)
TP	Pearson	.191	.609 (*)	.911 (**)	.870 (**)	.564 (*)	.727 (**)	.975 (**)	.687 (**)	.807 (**)	1

※ X1: Antecedent Dry Days, X2: Rainfall Duration, X3: Total Rainfall, X4: Total Runoff, X5: Rainfall Intensity

Table 8. Correlation coefficient of transportation area

		X1	X2	X3	X4	X5	BOD	COD	SS	TN	TP
X1	Pearson	1	-.224	-.118	-.115	.101	.143	.210	.121	.278	-.041
X2	Pearson	-.224	1	.598 (**)	.573 (**)	-.123	.304	.128	.041	.138	.573 (**)
X3	Pearson	-.118	.598 (**)	1	.980 (**)	.530 (*)	.579 (**)	.323	.416	.549 (*)	.897 (**)
X4	Pearson	-.115	.573 (**)	.980 (**)	1	.528 (*)	.565 (**)	.315	.389	.547 (*)	.867 (**)
X5	Pearson	.101	-.123	.530 (*)	.528 (*)	1	.361	.344	.803 (**)	.791 (**)	.391
BOD	Pearson	.143	.304	.579 (**)	.565 (**)	.361	1	.900 (**)	.386	.668 (**)	.809 (**)
COD	Pearson	.210	.128	.323	.315	.344	.900 (**)	1	.477 (*)	.709 (**)	.575 (**)
SS	Pearson	.121	.041	.416	.389	.803 (**)	.386	.477 (*)	1	.836 (**)	.340
TN	Pearson	.278	.138	.549 (*)	.547 (*)	.791 (**)	.668 (**)	.709 (**)	.836 (**)	1	.547 (*)
TP	Pearson	-.041	.573 (**)	.897 (**)	.867 (**)	.391	.809 (**)	.575 (**)	.340	.547 (*)	1

※ X1: Antecedent Dry Days, X2: Rainfall Duration, X3: Total Rainfall, X4: Total Runoff, X5: Rainfall Intensity

역의 경우, 특정 강우량 또는 강우강도 등의 영향 정도에 따라 유출의 발생유무가 결정된다는 것도 해당 지역의 유출 특성으로 판단할 수 있다. 이러한 지점의 제한성을 줄이기 위해서는 다양한 강우사상에 대해 현장 모니터링이 수행되어야 결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

교통지역의 경우에도 비점오염원별 부하량 값과 관련변수와의 상관성이, 총 강우량(0.55) > 총 유출량(0.54) > 강우강도(0.53) > 강우지속기간(0.24) > 선행무강우일수(0.14) 순으로 조사되었다. 토지피복형태에 따라 상관성의 정도에 차이는 보이지만, 오염물질이 배출되어지는 대에 미치는 변수들 간의 영향정도는 비슷한 것으로 조사되었다.

독립변수로 제시된 5개 인자 중 선행무강우일수의 경우 과수원재배지, 교통지역 모두에서 조사된 비점오염물질 유출과의 상관성이 낮게 조사됨을 알 수 있었는데, 이는 선행무강우일수의 경우 초기세척효과에는 높은 영향을 나타내나 총 유출량에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

Table 9의 토지 표면의 투수율의 차이를 보이는 지점에 대한 비점오염원 유출 관련 변수간의 비교를 살펴보면, 과수원재배지($R^2 \geq 0.5$: X3, X4, X5)가 교통지역($R^2 \geq 0.5$: X3, X4)에 비해 다양한 독립변수의 영향을 더욱 많이 받는 것으로 조사되었고, 토지 특성별 유출 영향인자의 차이가 확연히 나타났다. 이는 과수원재배지의 경우 총강우량이 30mm 이상이 되거나, 선행건기일수가 짧아야 유출이 발생된다는 전제가 깔려 있어, 이러한 조건 아래에서는 강우에 따른 유출수가 발생되지 않았다. 과수원재배지의 경우 유출이 발생되지 않은 강우사상은 제외되었지만, 교통지역의 경우 대부분의 강우사상에서 유출이 발생되어 자료의 다양성의 차이로 인해 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 토지피복 특성에 따른 비점오염원의 유출 특성 차이를 확인할 수 있었고, 향후 다양한 토지형태별 비점오염원 관리방안을 마련할 시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 9. Comparison of correlation in the orchard area with transportation area

	Orchard Area					Transportation Area				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
X1										
X2	.689				.609					.573
X3	.760	.915	.827	.613	.911	.579			.549	.697
X4		.929	.788	.721	.870	.565			.547	.867
X5		.624	.695		.564			.803	.791	

※ X1: Antecedent Dry Days, X2: Rainfall Duration, X3: Total Rainfall, X4: Total Runoff, X5: Rainfall Intensity

4. 결 론

2010년부터 2011년까지 토지피복 분류별로 과수원재배지 및 교통지역에서 강우 시 모니터링 결과를 바탕으로 오염물질별 유출특성을 분석하였고, 비점오염물질별 EMCs 및 유출부하량을 산정하였다. 또한 산정된 각 오염물질별 유출부하량 값들과 비점오염물질 유출 관련 변수(선행무강우일수, 강우지속기간, 총 강우량, 총 유출량, 강우강도)들 간의 상관성을 분석하여, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 2010년부터 2011년까지 과수원재배지에서 총 13회, 교통지역에서 총 20회의 event가 조사되었다. 과수원재배지의 경우 강우가 집중되는 6월에서 9월 사이 대부분의 유출이 발생하였으나, 교통지역의 경우 강우 집중시기에만 국한되지 않고, 2월~10월 사이 총 강우량 3.6~168.4mm로 다양한 강우사상이 조사되었다.

2) 오염물질별 EMCs를 살펴보면, 과수원재배지에서 BOD 0.9~13.6 mg/L, COD 13.7~45.2 mg/L, SS 4.1~236.4 mg/L, T-N 2.123~21.111 mg/L, T-P 0.495~2.214 mg/L 의 범위로 조사되었으며, 교통지역은 BOD 2.3~22.5 mg/L, COD 4.4~91.1 mg/L, SS 4.3~138.3 mg/L, T-N 0.700~13.500 mg/L, T-P 0.082~1.345 mg/L로 산정 되었다.

3) 비점오염물질별 평균 유출부하량은 과수원재배지에서 BOD 65.9 kg/km², COD 508.6 kg/km², SS 1709.4 kg/km², T-N 190.828 kg/km², T-P 31.410 kg/km²으로 산정 되었으며, 교통지역은 BOD 159.9 kg/km², COD 474.3

kg/km², SS 826.6 kg/km², T-N 58.503 kg/km², T-P 13.098 kg/km²으로 산정 되었다.

4) 과수원재배지에서의 비점오염물질 부하량 값과 관련변수 간의 상관성을 살펴보면, 총 강우량과 비점오염물질 부하량 간의 상관성이 평균 0.81로 산정되어 강우시 유출되는 비점오염원 부하량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 다음으로 총 유출량(0.76) > 강우강도(0.56) > 강우지속기간(0.46) > 선행무강우일수(0.27) 순으로 조사되었다. 교통지역의 경우 총 강우량(0.55) > 총 유출량(0.54) > 강우강도(0.53) > 강우지속기간(0.24) > 선행무강우일수(0.14) 순으로 조사되었다. 토지피복형태에 따라 상관성은 차이를 보이나, 비점오염물질 유출 관련 변수들 간의 영향정도는 비슷한 것으로 조사되었다.

5) 과수원재배지와 교통지역의 비점오염물질 유출 관련 변수를 비교해본 결과, 과수원재배지($R^2 \geq 0.5$: X3, X4, X5)가 교통지역($R^2 \geq 0.5$: X3, X4)에 비해 다양한 독립변수의 영향을 더욱 많이 받는 것으로 조사되었고, 토지 특성별 유출 영향인자의 차이가 확연히 나타났다.

참 고 문 헌

- 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진, 2002, 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, 대한환경공학회지, 24(11), 2019-2027.
- 낙동강수계관리위원회, 2010, 주요 비점오염원 유출 장기 모니터링 보고서, 1-3.
- 농업과학기술원, 2008, 영농유형별 비점오염물질 원단

- 위량 산정.
- 신은성, 최지용, 이동훈, 2001, 토지용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 산정에 관한 연구. 한국물환경학회지, 17(2), 137-146.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경익, 2008, 경안천 유역 농촌 지역의 비점오염원 배출 특성에 고나한 연구. 한국물환경학회지, 24(2), 169-173.
- 이춘식, 박현건, 서규태, 홍성철, 임태효, 허성남, 양상용, 2005, 대한환경공학회 춘계학술발표회.
- 최지용, 신은성, 1997, 도시지역 비점오염원 관리방안 연구. 한국환경정책평가연구원.
- 환경부, 1995, 비점오염원조사연구사업보고서, 237-240.
- Novotony, V., Chesters, G., 1981, Handbook of nonpoint pollution source & management, Van Nostrand Reinhold.
- Novotony, V., 1995, Nonpoint pollution and urban stormwater management, Water quality management Library, 9, 5-9.