

포도밭에 대한 비점오염원 유출특성 해석

윤영삼* · 이상협 · 유재정 · 이재관

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

(2010년 10월 18일 접수; 2011년 1월 1일 수정; 2011년 1월 21일 채택)

Analysis of Nonpoint Sources Runoff Characteristic for the Vineyard Areas

Young-Sam Yoon*, Sang-Hyeup Lee, Jay-Jung Yu, Jae-Kwan Lee

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

(Manuscript received 18 October, 2010; revised 1 January, 2011; accepted 21 January, 2011)

Abstract

This study analyzed the characteristics of stormwater runoff by rainfall type in orchard areas for two years. Effluents were monitored to calculate the EMCs and runoff loads of each pollutant. The runoff characteristics for nonpoint sources from vineyards were also inspected based on independent variables that affect runoff such as rainfall and rainfall intensity. The average runoff loads of each pollutant from vineyard_A and vineyard_B were found as follows: BOD 39.13 mg/m², COD 112.13 mg/m², TOC 54.98 mg/m², SS 1,681.8 mg/m², TN 18.29 mg/m², and TP 4.06 mg/m², which indicates that the COD's runoff load was especially high. The average EMCs from vineyard_A and vineyard_B, which represents the quality of rainfall effluent, were also analyzed: BOD 3.5 mg/L, COD 11.5 mg/L, TOC 5.2 mg/L, SS 211.7 mg/L, TN 1.774 mg/L, and TP 0.324 mg/L. This suggested that the COD, as an indicator of organic pollutants, is high in terms of EMCs as well. As rainfall increased, the EMCs of BOD, COD, TOC and SS kept turning upward. At a point, however, the high rainfall brought about dilution effects and began to push down the EMCs. Higher rainfall intensities led to the increase in the EMCs that displays the convergence of rainfall. Low rainfall intensities also raised pollutant concentrations, although the concentrations themselves were slightly different among pollutants.

Key Words : Stormwater, Runoff loads, EMCs, Vineyard, Orchard area, Rainfall type

1. 서론

농업 비점오염원에 대한 관리는 수자원의 안전한 수질확보 및 지표수 부영양화의 주요한 요인이 될 수

있기 때문에 수질관리 측면에서 항상 관심의 대상이었다. 미국의 Chesapeake Bay로 유입되는 질소와 인의 경우 농업 비점오염원이 주요 요인임을 Boesch 등 (2000)은 보고하였다.

하지만 우리나라의 경우 하천의 수질관리 정책을 추진함에 있어 정책의 중심을 점오염 물질의 처리에 둔 하수처리장의 확충에 초점을 맞추어 왔으나, 오염총량제의 추진과 더불어 효과적인 수질개선을 위해 비점오염원 관리를 포함하는 통합적인 유역관리 방안

*Corresponding author : Young-Sam Yoon, Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea
Phone: +82-54-950-9711
E-mail: ysyoon3sf@korea.kr

이 도입되고 있다(이 등, 2008).

그러나 비점오염원은 대부분 강우 시 유출되므로 유출경로와 그 특성 파악이 매우 어렵고, 발생량 또한 매우 불규칙하며, 특히 시간에 따른 높은 부하량 변동 폭 및 강우초기에 오염물질의 농도가 매우 높은 특징 등 때문에 관리 및 특성 분석이 매우 어렵다(김 등, 2002). 또한 농업지역에서 강우 시 유출되는 강우유출수에는 질소와 인 등의 영양물질이 많이 포함되어 있어 하천이나 호소의 부영양화를 일으키는 원인으로 알려져 있다(정 등, 2000; 이 등, 2002).

최근 국내·외에서 비점오염물질의 유출특성에 대해 많은 연구가 수행되고 있으며, 특히 우리나라의 경우 강우량의 계절변동이 큰 몬순기후의 특성을 가지고 있어 비점오염물질의 유출량이 계절적으로 크게 변동할 수밖에 없기 때문에 계절적인 비점오염물질의 유출량 변동 특성관련 연구 등을 중점적으로 수행하고 있다(국립환경연구원, 1997; 윤 등, 2010).

강우유출수 중의 오염물질 농도는 기상조건, 수리조건, 지리조건, 토지이용특성 등 다양한 자연적인 인자에 따라 달라지기 때문에 비점오염물질의 유출 특성을 정확하게 조사하기 위해서는 다양한 강우사상이 포함된 장기간의 자료를 근거로 해석하여야 한다. 특히 농촌 유역의 경우 비점오염물질의 발생은 지형, 지질, 기후 등 자연적인 영향뿐만 아니라 농업주의 경작형태인 시비량, 시비방법 등 인위적인 요인에 영향을 밀접하게 받기 때문에 특정 지역, 특정 농작물에 대한 연구결과를 토대로 농업지역 전체에 대한 결과로 일반화 하는 데는 보다 신중한 접근이 필요하다.

농촌지역의 비점오염물질은 강우량이 적을 경우 외관상 확인이 가능한 표면유출보다는 주로 지하를 통하여 하천 및 호소로 유입된다. 따라서 하천과 호소에 비점오염물질이 도달하기 위해서는 많은 시간이 소요되고 도달과정에서 자연적인 여과, 흡착, 분해 등 물리화학적인 자연감소가 발생되어 오염부하가 낮게 나타나기도 한다. 또한 강우량 및 강우강도가 높을 경우 농지표면에 쌓여있던 비점오염물질의 표면유출이 발생함으로써 농지 주변의 하천 및 호소의 수질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이와 같은 강우 시 유출되는 오염물질에 대한 규명은 유역의 특성과 수문조건에 따라 크게 달라지므로 장기간에 걸친 다양한 유역

의 관측 자료의 축적이 전제가 되어야 하며, 강우사상별 비점오염물질의 유출 특성이 파악될 때 비로소 가능한 문제이다(양, 2006).

따라서 본 연구에서는 농업지역 중 비교적 시비량이 많은 포도밭을 대상으로 강우 시 실시간 강우량, 강우유출수 수질, 유량 등을 조사하고 이들 결과를 토대로 포도밭에 대한 비점오염물질의 유출 특성을 파악하고자한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 조사대상 지점 현황

조사 지점(Fig. 1)은 경주시 서면 심곡리에 위치한 포도밭 2개 지점으로 포도밭_A의 경우 1892년 미국에서 개발된 포도 품종인 캠벨포도 단일 작물을 재배하는 지점으로 밭의 좌, 우면은 논으로 되어 있으며 둑이 설치되어 있어 논에서 밭으로의 강우유출수의 유입은 없었다. 밭의 앞, 뒷면의 경우 콘크리트 포장을 한 도로가 있으며 도로와 밭 사이에 배수구가 있어 밭에서의 유출은 밭의 뒤쪽 배수로의 유출구를 통해 이루어지고 있었다.

포도밭_A 면적은 폭 20 m, 길이 100 m로 2,000 m²이며 밭 내부에 다른 작물을 재배 하지 않아 포도밭 고유의 비점 유출 특성을 살펴볼 수 있었다. 포도밭_B의 경우 1945년 일본에서 개발한 포도 품종으로 포도알이 크고 단맛이 강한 거봉포도를 재배하는 지점으로, 밭의 좌, 우면은 논으로 되어있으며, 최종배출구가 위치한 지점의 경우 콘크리트재질의 농업용 도로가 위치해 있어 외부로부터의 유입은 없었으며, 면적은 폭 20 m, 길이 90 m로 1,800 m²이었다. 본 조사 지점에서 가장 가까운 곳에 위치한 강우관측소로는 건천관측소가 있으며, 1998년~현재까지 운영 중이다.

2.2. 조사 방법

현장에서의 실측 조사는 기상청의 일기예보를 통해 현장에 강우강도계 및 유량계를 설치하여 조사대상지점에서 일어나는 강우 형태에 따른 유출수의 변화를 살펴보았다. 실측에 사용된 강우강도계는 Tipping Bucket Mechanism 방식의 호주 Environdata Environmental Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1분 단

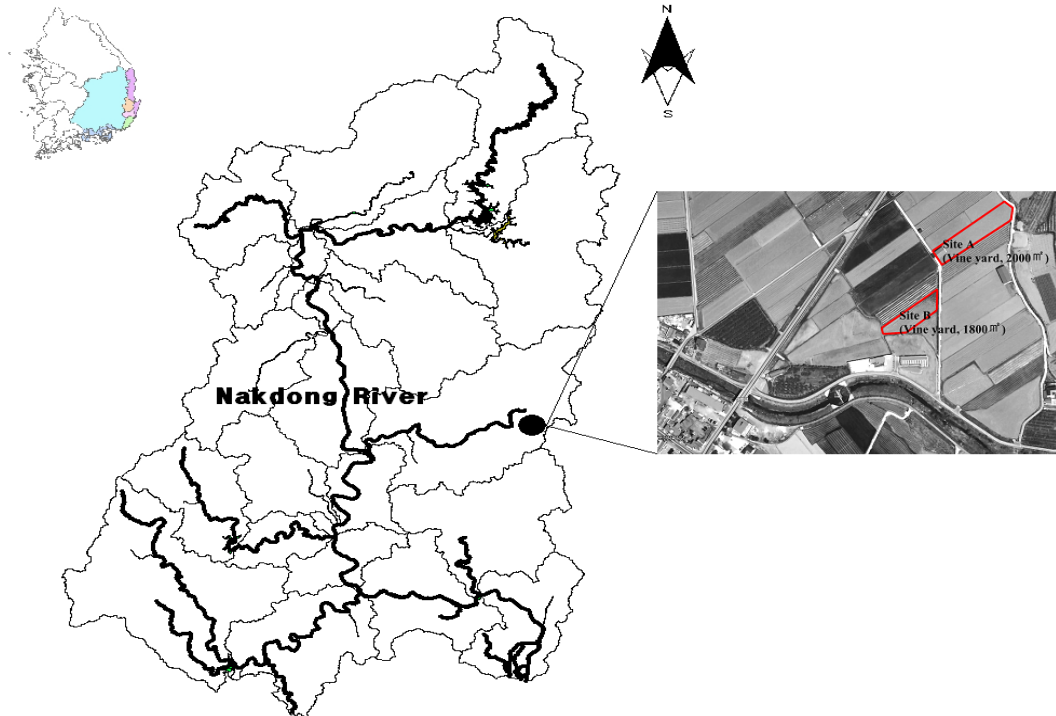


Fig. 1. Location of sampling sites.

위의 강우량 측정이 가능하고, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 MARSH McBIRNEY 사의 Flo-Tote3로 1분 단위의 유량측정이 가능하다. 조사대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사하였다.

강우 시 채수된 강우유출수의 경우 현장에서 즉시 측정하는 현장조사항목인 pH, Cond., Temp., DO를 제외한 나머지 항목에 대해서는 수질오염공정시험법 및 Standard Methods에서 정하는 시료 고정방법을 통해 고정 후 측정하였고, 고정이 불가능한 항목은 4℃ 정도로 보관하여 실험실로 이동 후 즉시 측정하였다.

시료 채수간격은 강우가 시작되고 조사 대상 지점에서 탈착 및 세척되어 수로를 통해 최초로 강우유출수가 조사대상 지역 밖으로 배출될 때를 T0로 설정하여 채수하였고, 이후 5분, 10분, 15분, 30분 간격으로 초기강우에 대해 가장 많은 시료수를 확보하였다. 강우가 계속 지속될 경우 1~5시간 간격으로 시료 수가

10~15개 정도의 수질 자료를 확보할 수 있도록 시료를 채수하였다. 또한 강우와 유출량의 경우 장비를 활용하여 1분 단위 자료가 확보되어 결과의 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다.

2.3. 강우유출수 조사방법에 따른 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 유량가중평균농도(EMCs : Event Mean Concentrations)이며, 이는 식 (1)에서 보는 바

와 같이 강우 발생 시 대상유역에서 유출되는 오염물질의 각 시간대별 총량을 유출량으로 나눈 값으로 정의된다(Novotny, 1995).

$$EMC = \frac{\sum_{t=0}^T C(t) \cdot Q(t)}{\sum_{t=0}^T Q(t)} \quad (1)$$

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

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우-유출 기초 수문 조사결과

본 연구는 2008-2009년까지 2년간에 걸쳐 수행되었으며, 조사대상 총 51회의 강우사상 들 중 유출은

총19회 발생하였으며, 이와 같이 유출이 발생된 총 19회의 강우사상에 대한 기초 수문조사결과를 Table 1에 수록하였다.

Table 1에 수록된 바와 같이 선행건기일수의 경우 2~11일 범위였으며 평균 4.2일 이었다. 유출이 발생된 19회의 강우사상의 강우량 범위는 16.5~79.7 mm였으며, 강우지속시간의 경우 170~988분으로 강우강도 2.0~9.4 mm/h의 범위를 보였다. 이와 같이 다양한 강우 조건에 대한 조사가 이루어져 포도밭에서 비점오염물질의 유출 거동을 보다 정밀하게 확인할 수 있었다. 포도밭이 투수층임에도 불구하고 30 mm이하의 낮은 강우에도 유출이 발생하는 것은 짧은 선행무강우일에 의해 토양층이 젖어 있는 영향도 있겠지만 보다 근본적인 요인은 작물의 재배형태에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 과실 중 포도의 경우 5~6월 사이 꽃피기 전 화진을 방지 하고 익을 때를 앞당기기 위해 토양에 멀칭(비가림)을 실시하게 된다. 이에 따라 밭 내부의 불투수 면적이 일부 생성되게 되고, 토

Table 1. Hydrologic description of vineyard stormwater runoff sampled

Site	Event	Antecedent Dry day(day)	Precipitation (mm)	Total Precipitation (m ³)	Total Runoff Volume(m ³)	Runoff Ratio	Duration (min)	Intensity (mm/hr)
A	08/05/18	3	26.7	52.6	8.11	0.15	170	9.4
	08/05/28	3	61.0	122.6	54.2	0.44	700	5.2
	08/06/05	6	33.0	66.8	4.77	0.07	988	2.0
	08/06/18	8	27.0	55.6	2.68	0.05	324	5.0
	08/06/28	6	50.0	97.3	41.7	0.43	890	3.4
	08/07/02	2	36.0	71.4	7.71	0.11	282	7.7
	09/05/21	3	65.2	130.4	33.0	0.25	550	7.1
	09/07/07	2	79.7	159.4	61.1	0.38	718	6.7
	09/07/15	2	51.8	103.6	36.5	0.35	421	7.4
	09/07/24	2	16.5	33.0	13.3	0.40	285	3.5
Average	3.7	44.7	89.3	26.3	0.26	532.8	5.7	
B	08/06/05	6	33.0	60.8	9.96	0.16	988	2.0
	08/06/18	8	28.0	50.0	7.58	0.15	324	5.2
	08/06/28	6	49.0	87.6	33.69	0.38	890	3.3
	08/07/02	2	36.0	64.3	6.95	0.11	282	7.7
	08/10/22	11	25.0	49.1	2.43	0.05	343	4.4
	09/05/21	3	65.2	117.4	10.26	0.09	550	7.1
	09/07/07	2	79.7	143.5	59.8	0.42	718	6.7
	09/07/15	2	51.8	93.2	21.8	0.23	421	7.4
	09/07/24	2	16.5	29.7	16.0	0.54	285	3.5
	Average	4.7	42.7	77.3	22.9	0.25	533.4	5.3

양내부의 수분의 증발을 억제하는 효과가 가중 되어 강우 시 유출발생에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 작용하게 된다. 포도밭_A와 포도밭_B의 유출율은 유사한 값으로 각각 평균 0.26, 0.25의 값으로 조사되었다.

3.2. 강우사상별 유량가중평균농도(EMCs)

평균농도를 산정하는 가장 간단한 방법인 산술평균농도는 시간간격이 일정하거나, 시간대별 농도 값의 변화가 적을 경우, 타당한 평균농도로서 제시될 수 있지만, 비점오염원 유출과 같은 실시간으로 농도가 변화될 뿐만 아니라 모니터링 역시 일정간격으로 이루어지지 않는 강우유출수의 경우 산술평균에 의한 평균농도는 대표성을 갖지 못하는 단점이 있다(김 등,

2002). 따라서 본 연구에서는 강우 시 비점오염 물질의 유출특성을 가장 잘 반영하는 것으로 알려진 유량가중평균농도를 이용하여 강우유출수 대표농도로 사용하였다(윤 등, 2010).

포도밭_A 지점과 포도밭_B 지점에 대한 강우 시 비점오염물질에 대한 강우유출모니터링을 통해 각 수질 항목별 EMCs 값을 산정하여 Table 2와 3에 수록하였다.

Table 2에 수록된 포도밭_A 지점에 대한 평균 EMCs 값을 살펴보면 BOD 3.7 mg/L, COD 10.0 mg/L, TOC 4.5 mg/L, SS 182.7 mg/L, T-N 1.369 mg/L, T-P 0.320 mg/L로 조사 되었다. 유기오염물질의 지표로 사용될 수 있는 COD의 경우 EMCs 범위가 Event 별로 3.4~22.1 mg/L로 넓게 나타났으며, 특히 포도밭_A 지

Table 2. Event mean concentrations for the vineyard_A site

	Rainfall (mm)	EMCs(mg/L)									
		BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
event 1	26.3	3.8	9.5	5.6	122.1	1.481	0.380	0.087	0.499	0.155	0.059
event 2	61.3	3.6	10.3	3.7	225.7	1.066	0.294	0.022	0.393	0.178	0.160
event 3	33.4	3.8	8.4	2.9	147.9	1.445	0.400	0.067	0.614	0.205	0.183
event 4	27.8	3.5	22.1	8.7	696.7	1.628	0.254	0.183	0.581	0.397	0.262
event 5	48.65	7.0	7.6	4.2	44.8	1.766	0.091	0.029	0.154	0.183	0.135
event 6	35.7	6.7	10.5	4.9	67.7	2.283	0.242	0.103	0.466	0.665	0.575
event 7	65.2	3.4	13.0	4.5	331.6	1.769	0.122	0.499	0.545	0.423	0.363
event 8	79.7	1.9	8.3	4.4	94.1	0.821	0.168	0.019	0.654	0.207	0.108
event 9	51.8	2.2	6.8	4.2	48.9	0.992	0.205	0.018	0.709	0.564	0.221
event 10	16.5	1.5	3.4	2.2	47.6	0.435	0.079	0.035	0.471	0.219	0.193
ave.	44.64	3.7	10.0	4.5	182.7	1.369	0.224	0.106	0.509	0.320	0.226
max.	79.7	7.0	22.1	8.7	696.7	2.283	0.400	0.499	0.709	0.665	0.575
min.	16.5	1.5	3.4	2.2	44.8	0.435	0.079	0.018	0.154	0.155	0.059

Table 3. Event mean concentrations for the vineyard_B site

	Rainfall (mm)	EMCs(mg/L)									
		BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
event 1	33.4	2.3	19.0	4.5	462.9	1.983	0.227	0.035	1.229	0.195	0.153
event 2	27.8	1.6	15.0	7.1	291.3	1.827	0.229	0.202	1.023	0.391	0.257
event 3	48.65	6.4	11.2	4.0	282.3	2.258	0.173	0.017	0.696	0.186	0.150
event 4	35.7	3.3	16.8	4.8	198.7	2.260	0.129	0.020	0.564	0.183	0.139
event 5	27.3	6.2	22.1	8.0	727.7	2.078	0.204	0.093	0.619	0.337	0.219
event 6	65.2	2.2	13.3	9.2	60.9	3.890	0.011	0.138	2.042	0.471	0.464
event 7	79.7	1.8	8.7	5.6	36.3	1.329	0.207	0.031	0.937	0.725	0.444
event 8	51.8	2.4	5.2	5.1	53.4	3.068	0.614	0.028	0.796	0.243	0.102
event 9	16.5	3.2	6.0	4.0	53.0	0.911	0.396	0.047	0.541	0.217	0.170
ave.	42.89	3.3	13.0	5.8	240.7	2.178	0.243	0.068	0.939	0.328	0.233
max.	79.7	6.4	22.1	9.2	727.7	3.890	0.614	0.202	2.042	0.725	0.464
min.	16.5	1.6	5.2	4.0	36.3	0.911	0.011	0.017	0.541	0.183	0.102

점에 대한 EMCs 값은 COD가 높게 조사되었다. 따라서 하천의 수질에 대한 포도밭에서 배출되는 비점오염물질의 영향 역시 COD가 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.

포도밭_B 지점에 대한 평균 EMCs 값을 살펴보면 BOD 3.3 mg/L, COD 13.0 mg/L, TOC 5.8 mg/L, SS 240.7 mg/L, T-N 2.178 mg/L, T-P 0.328 mg/L로 조사되었다. 유기오염물질의 지표로 사용 될 수 있는 COD의 경우 EMCs의 범위는 Event 별로 5.2~22.1 mg/L로 넓게 나타났으며, 포도밭_A에 비해 평균 3.0 mg/L 이상 높은 농도로 조사 되었다. 위와 같이 포도밭_B에 대한 EMCs와 포도밭_A의 EMCs 값이 동일한 조사 시기에도 불구하고 차이를 보이는 것은 동일한 농작

물을 재배하더라도 포도밭의 형태, 토양 및 농업 방식에 따라 오염물질의 배출량이 현저하게 다를 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 포도밭과 같은 과수원재배지에 대한 비점오염물질 유출 부하량을 줄이기 위한 BMPs 실행 시 농업인에 대한 적절한 교육 및 작물별 적정 시비량 준수 등 농업인에 대한 보다 전문적인 교육이 우선적으로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

3.3. 강우사상별 강우유출수 최고농도

2008년과 2009년 2년간에 걸쳐 조사된 포도밭_A 지점 10개 강우사상, 포도밭_B 지점 9개 강우사상들을 대상으로 각 강우사상 별 강우유출수의 최고 농도를 산정하여 Table 4와 5에 수록하였다. Table 4에 수록된 바와 같이 포도밭_A 지점의 경우 유기물 항목과

Table 4. The peak concentration by rainfall events for the vineyard_A site

	Rainfall (mm)	Intensity (mm/h)	EMCs(mg/L)									
			BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
event 1	26.3	9.28	3.8	9.5	5.6	122.1	1.481	0.380	0.087	0.499	0.155	0.059
event 2	61.3	5.25	3.6	10.3	3.7	225.7	1.066	0.294	0.022	0.393	0.178	0.160
event 3	33.4	2.03	3.8	8.4	2.9	147.9	1.445	0.400	0.067	0.614	0.205	0.183
event 4	27.8	5.15	3.5	22.1	8.7	696.7	1.628	0.254	0.183	0.581	0.397	0.262
event 5	48.65	3.28	7.0	7.6	4.2	44.8	1.766	0.091	0.029	0.154	0.183	0.135
event 6	35.7	7.60	6.7	10.5	4.9	67.7	2.283	0.242	0.103	0.466	0.665	0.575
event 7	65.2	7.11	3.4	13	4.5	331.6	1.769	0.122	0.499	0.545	0.423	0.363
event 8	79.7	6.66	1.9	8.3	4.4	94.1	0.821	0.168	0.019	0.654	0.207	0.108
event 9	51.8	7.38	2.2	6.8	4.2	48.9	0.992	0.205	0.018	0.709	0.564	0.221
event 10	16.5	3.47	1.5	3.4	2.2	47.6	0.435	0.079	0.035	0.471	0.219	0.193
ave.	44.6	5.72	3.7	10.0	4.5	182.7	1.370	0.222	0.112	0.513	0.321	0.232
max.	79.7	9.28	7.0	22.1	8.7	696.7	2.283	0.400	0.499	0.709	0.665	0.575
min.	16.5	2.03	1.5	3.4	2.2	44.8	0.435	0.079	0.018	0.154	0.155	0.059

Table 5. The peak concentration by rainfall events for the vineyard_B site

	Rainfall (mm)	Intensity (mm/h)	Peak concentration(mg/L)									
			BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
event 1	33.0	2.0	3.1	34.8	5.5	1704.0	2.720	0.348	0.052	1.723	0.274	0.201
event 2	28.0	5.2	2.3	41.4	7.7	3008.0	1.906	0.276	0.471	1.084	0.424	0.279
event 3	49.0	3.3	9.2	29.7	6.5	1150.0	3.228	0.397	0.037	1.318	0.335	0.273
event 4	36.0	7.7	7.0	25.6	5.6	1000.0	3.117	0.236	0.031	0.883	0.275	0.229
event 5	25.0	4.4	6.7	27.3	8.9	1456.0	2.702	0.297	0.142	0.821	0.530	0.306
event 6	65.2	7.1	3.9	17.1	10.2	116.0	4.101	0.014	0.174	2.106	0.675	0.788
event 7	79.7	6.7	2.8	18.8	5.9	1348.0	2.234	0.276	0.135	2.085	1.497	0.467
event 8	51.8	7.4	3.5	8.6	6.1	122.0	5.923	1.249	0.031	0.846	0.530	0.264
event 9	16.5	3.5	3.8	10.8	4.3	921.0	1.009	0.433	0.054	0.569	0.476	0.178
ave.	42.7	5.3	4.7	23.8	6.7	1202.8	2.993	0.392	0.125	1.271	0.557	0.332
max.	79.7	7.7	9.2	41.4	10.2	3008.0	5.923	1.249	0.471	2.106	1.497	0.788
min.	16.5	2.0	2.3	8.6	4.3	116.0	1.009	0.014	0.031	0.569	0.274	0.178

영양염류 항목의 경우 각각 다른 특성을 보였으며, 유기물 항목의 경우 BOD를 제외한 COD, TOC 항목 모두 강우량 27.8 mm, 강우강도 5.15 mm/h인 event 4에서 최고 농도가 가장 높게 나타났다. 반면 영양염류 항목인 TN과 TP의 경우 강우량 35.7 mm, 강우강도 7.60 mm/h인 event 6에서 최고 농도가 가장 높게 나타났다. 유기물 항목에서 최고 농도가 가장 높게 나타난 강우사상과 영양염류 항목에서 최고 농도가 가장 높게 나타난 강우사상의 경우 강우량은 유사하였지만 강우강도의 경우 큰 차이를 보였다. 유기물 항목의 경우 강우량의 변동에 크게 영향을 받는 반면 영양염류 항목의 경우 강우강도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 포도밭_B 지점의 경우 포도밭_A지점에 비해서는 BOD,

COD, TOC 항목 모두 동일한 강우사상에 대해 최대 농도는 높게 나타났으며, 항목별 최대농도를 보이는 강우사상은 항목별로 각각 다르게 나타났다. TN과 TP 항목 역시 최고 농도를 보이는 강우사상의 경우 각기 다른 event 8(TN), event 7(TP)로 나타났으며, 최고 농도는 TN 5.293 mg/L, TP 1.497 mg/L으로 조사되었다.

3.4. 강우사상별 유출부하량

포도밭_A 지점과 포도밭_B지점에 대한 강우 시 비점오염물질에 대한 강우유출수 모니터링을 통해 각 오염물질의 유출부하량을 산정하여 Table 6과 7에 수록하였다. Table 6에 수록된 바와 같이 포도밭_A 지점에 대한 각 Event 별 평균 유출부하량을 살펴보면,

Table 6. Runoff loads for the vineyard_A site

	Runoff (m ³)	Runoff loads(g)									
		BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
event 1	8.11	30.4	77.4	45.6	990.4	12.014	3.085	0.709	4.044	1.257	0.475
event 2	54.2	194.6	558.5	201.6	12225.0	57.723	15.936	1.177	21.285	9.646	8.663
event 3	4.77	18.1	40.5	13.7	708.4	6.921	1.918	0.323	2.943	0.983	0.876
event 4	2.68	9.4	59.3	23.4	1867.2	4.362	0.680	0.491	1.558	1.065	0.703
event 5	41.73	292.2	317.7	177.2	1871.2	73.676	3.791	1.229	6.411	7.632	5.618
event 6	7.71	51.6	81.0	37.7	521.5	17.591	1.863	0.796	3.594	5.122	4.428
event 7	33.02	112.5	430.5	149.5	10948.3	58.410	4.044	16.470	17.992	13.968	11.998
event 8	61.06	113.6	507.3	267.5	5746.7	50.122	10.235	1.179	39.937	12.646	6.581
event 9	36.5	80.1	248.0	152.5	1783.2	36.211	7.493	0.666	25.893	20.577	8.074
event 10	13.34	19.5	45.1	29.2	634.6	5.809	1.054	0.465	6.289	2.923	2.576
ave.	26.3	92.2	236.5	109.8	3729.7	32.284	5.010	2.350	12.995	7.582	4.999
max.	61.1	292.2	558.5	267.5	12225.0	73.676	15.936	16.470	39.937	20.577	11.998
min.	2.7	9.4	40.5	13.7	521.5	4.362	0.680	0.323	1.558	0.983	0.475

Table 7. Runoff loads for the vineyard_B site

	Runoff (m ³)	Runoff loads(g)									
		BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH3-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
event 1	9.96	22.9	189.5	44.4	4610.1	19.754	2.261	0.348	12.236	1.938	1.525
event 2	7.58	12.5	113.5	53.8	2207.7	13.846	1.737	1.533	7.753	2.965	1.948
event 3	33.69	216.8	376.6	136.1	9509.6	76.079	5.827	0.584	23.449	6.278	5.050
event 4	6.95	22.8	116.5	33.6	1381.3	15.707	0.894	0.139	3.919	1.268	0.966
event 5	2.43	15.0	53.7	19.5	1768.3	5.049	0.496	0.226	1.505	0.820	0.531
event 6	10.26	22.5	136.1	94.7	624.5	39.919	0.109	1.418	20.959	4.834	4.757
event 7	59.8	105.4	523.2	334.6	2169.3	79.486	12.360	1.826	56.075	43.365	26.580
event 8	21.8	51.9	113.3	110.6	1162.6	66.800	13.361	0.606	17.325	5.292	2.223
event 9	16	51.5	95.1	64.3	846.2	14.552	6.326	0.750	8.645	3.468	2.708
ave.	18.7	57.9	190.8	99.1	2697.7	36.799	4.819	0.826	16.874	7.803	5.143
max.	59.8	216.8	523.2	334.6	9509.6	79.486	13.361	1.826	56.075	43.365	26.580
min.	2.4	12.5	53.7	19.5	624.5	5.049	0.109	0.139	1.505	0.820	0.531

BOD 92.2 g, COD 236.5 g, TOC 109.8 g, SS 3,729.7 g, T-N 32.284 g, T-P 7.582 g 으로 영양염류 항목 보다는 유기물질 쪽의 유출부하량이 높은 것으로 조사되었다. 포도밭_B 지점에 대한 각 Event 별 평균 유출부하량의 경우 Table 5에 수록된 바와 같이, BOD 57.9 g, COD 190.8 g, TOC 99.1 g, SS 2,697.7 g, T-N 36.799 g, T-P 7.803 g으로 포도밭_B 지점에 대한 오염물질 별 유출부하량 역시 포도밭_A 지점과 유사하게 영양염류 항목 보다는 유기물질 쪽의 유출부하량이 높은 것으로 조사 되었다.

3.5. 강우량 및 강우강도 변화에 따른 강우사상 별 최고 농도, EMCs, 부하량 변동

Table 1~7에 수록된 포도밭_A 및 포도밭_B 지점에 대해 조사된 강우사상을 대상으로 강우량 변화가 EMCs, 비점오염물질 부하량 및 강우사상별 비점오염물질 유출 최고 농도 변화에 미치는 영향을 검토하여 Fig. 2~4(포도밭_A), Fig. 8~10(포도밭_B)에 도시하였다. Fig. 2와 Fig. 8에 도시된 강우량변화에 따른 EMCs 값의 변화를 살펴보면 BOD, COD, TOC, SS 등은 강우량이 증가함에 따라 초기세척효과에 기인한 높은 EMCs를 나타내었으나 강우가 지속됨에 따라 증가된 강우에 의한 희석작용 등에 기인하여 오히려 높은 강우량에서 EMCs 값이 낮아지는 경향을 보였다. 이에 반해 포도밭_A 지점의 영양염류 항목들의 경우 강우량 변화에 대해 일정한 변동 특성을 나타내지는 않았으나, 포도밭_B 지점의 경우 강우량이 증가함에 따라 오히려 영양염류 항목의 강우사상별 최대농도가 증가하는 특성을 보였으며, 포도밭_A 지점 및 포도밭_B 지점 모두 유기물 항목과 영양염류 항목과는 강우량변화에 대한 반응 특성이 다르게 나타났다.

따라서 수질항목 별로 강우에 대한 반응 특성이 다르게 나타나기 때문에 보다 다양한 강우량 변화에 대한 수질항목별 분석 자료를 토대로 강우량 변화가 수질항목에 미치는 영향을 판단해야 할 것으로 사료된다. Fig. 3(포도밭_A)과 Fig. 9(포도밭_B)에 도시된 강우량 변화에 대한 부하량 변동의 경우 강우량이 증가함에 따라 지속적으로 부하량은 증가하였고, 강우량 변화에 대한 오염물질별 최고 농도의 경우 Fig. 4(포도밭_A)와 Fig. 10(포도밭_B) 모두 도시된 바와

같이 EMCs의 변화와 유사하게 변화됨을 확인 할 수 있다.

강우강도 변화에 따른 EMCs, 비점오염물질 부하량 및 비점오염물질 최고 농도 변화를 Fig. 5~7(포도밭_A)와 Fig. 11~13(포도밭_B)에 도시하였다. Fig. 5(포도밭_A)와 Fig. 11(포도밭_B)에 수록된 강우강도 변화에 대한 EMCs 값 변화의 경우 강우량 변화에 따른 EMCs 농도 변화 경향과 유사하게 강우강도가 증가함에 따라 높은 EMCs를 나타내었으나 강우가 지속됨에 따라 증가된 강우에 의한 희석작용 등에 기인하여 오히려 높은 강우강도 범위에서 EMCs 값이 낮아지는 경향을 보였다. 영양염류 항목의 경우 강우량 변화에 따른 영향과는 다른 경향으로 일정 강우강도 값 이상에서 EMCs 값이 증가하다 강우강도가 지속적으로 증가함에 따라 오히려 EMCs 값이 낮아지는 특징을 나타내었다.

강우강도 변화에 따른 오염물질별 부하량 변화의 경우 Fig. 6(포도밭_A)과 Fig. 12(포도밭_B)에서와 같이 포도밭_A와 B 지점 모두 유사한 경향을 보였으며, 두 지점 모두 강우강도의 변화에 대해서는 일정한 변화 경향을 보이지 않았으며, 부하량의 경우 강우강도 보다는 강우량의 변화에 민감하게 반응하는 것으로 조사되었다. 강우강도 변화에 따른 강우사상 별 오염물질 최고 농도 변화의 경우 Fig. 7(포도밭_A)과 Fig. 13(포도밭_B)에 도시된 바와 같이 항목별로 다소 차이를 보였지만 강우강도가 낮은 범위에서 오히려 오염물질별 최고 농도가 높게 나타났다. 이는 강우강도가 증가함에 따라 오염물질의 많은 양이 조사대상 구역 밖으로 유출이 일어나겠지만 아울러 강우강도가 증가함에 따라 증가된 강우량에 기인 희석효과가 발생하여 오염물질의 유출량과 희석효과간의 강도 차이에 따라 오염물질의 농도가 영향을 받는 것으로 조사 되었다.

4. 결론

과수원 중 포도밭 2개 지점에 대해 환경부에서 규정한 강우유출수 조사 방법에 따라 강우 사상별 유출 특성 분석을 위한 강우유출수 조사를 2년간에 걸쳐 실

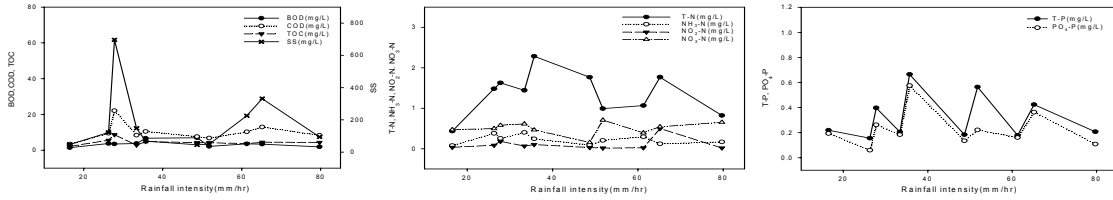


Fig. 2. The change of EMCs according to rainfall volume(Site_A).

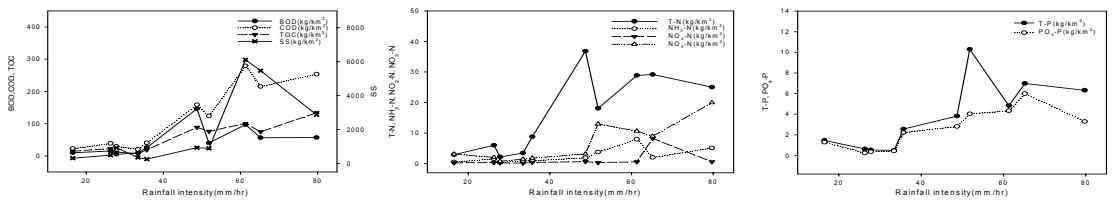


Fig. 3. The change of runoff loads according to rainfall volume(Site_A).

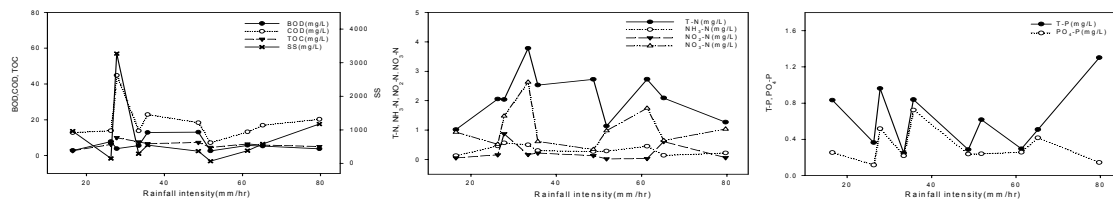


Fig. 4. The peak concentration by rainfall events according to rainfall volume(Site_A).

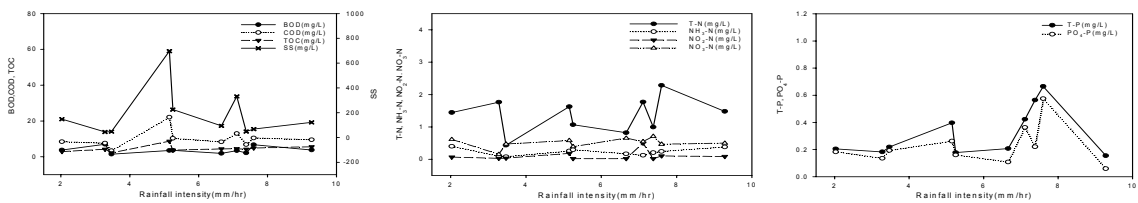


Fig. 5. The change of EMCs according to rainfall intensity(Site_A).

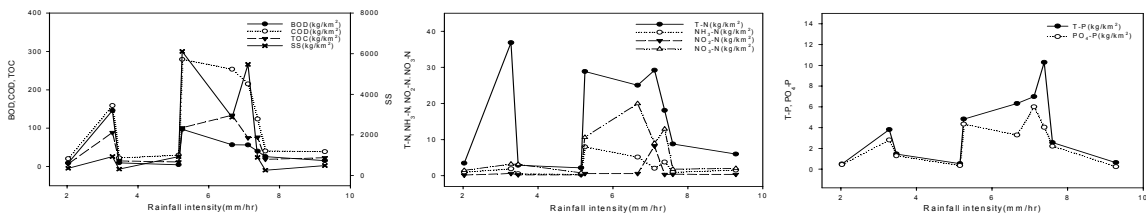


Fig. 6. The change of runoff loads according to rainfall intensity(Site_A).

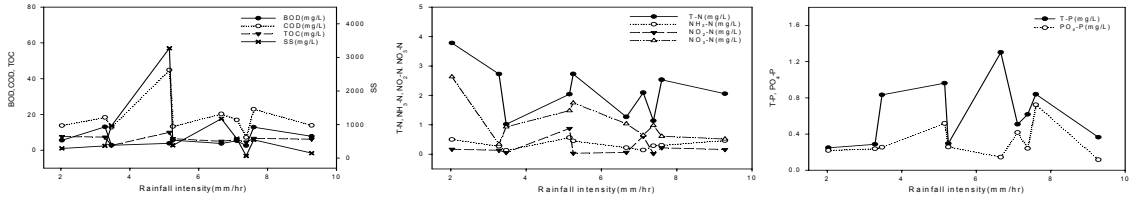


Fig. 7. The peak concentration by rainfall events according to rainfall intensity(Site_A).

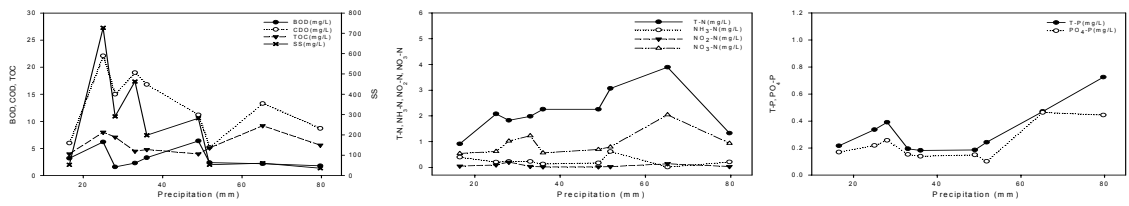


Fig. 8. The change of EMCs according to rainfall volume(Site_B).

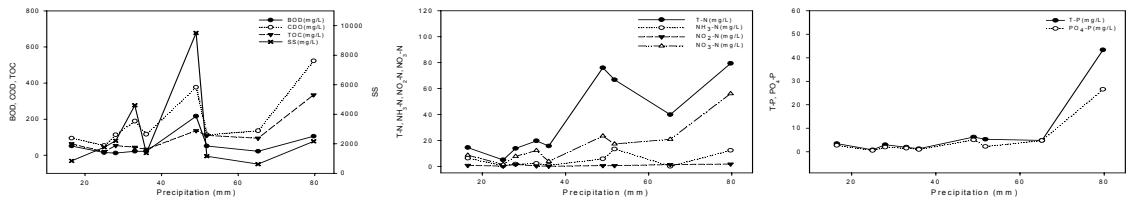


Fig. 9. The change of runoff loads according to rainfall volume(Site_B).

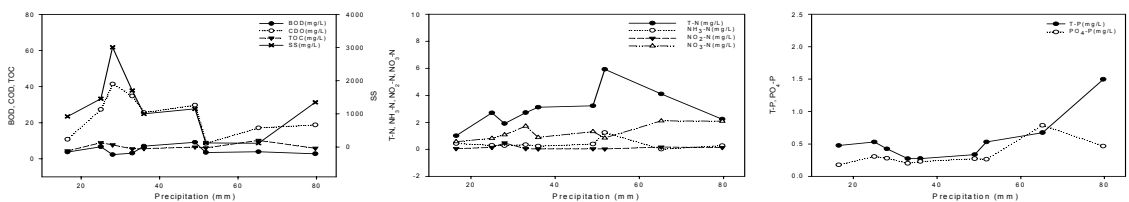


Fig. 10. The peak concentration by rainfall events according to rainfall volume(Site_B).

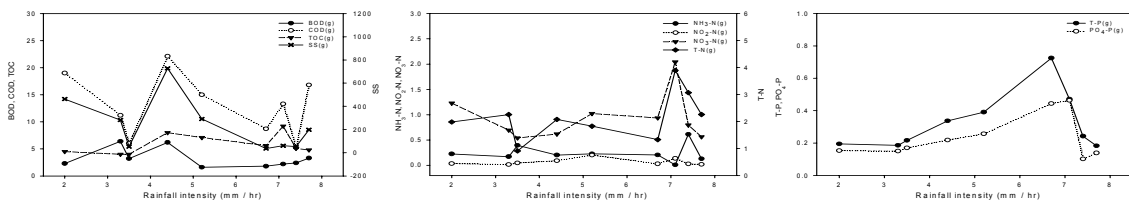


Fig. 11. The change of EMCs according to rainfall intensity(Site_B).

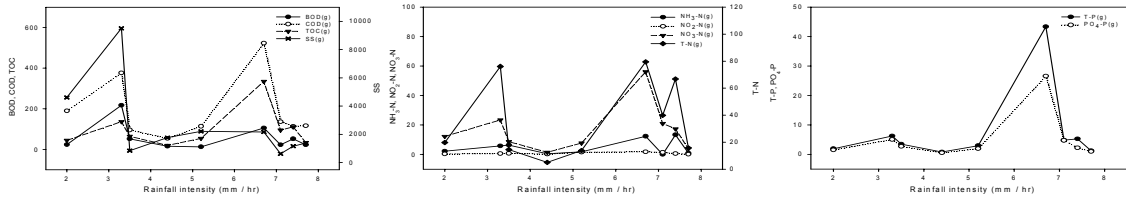


Fig. 12. The change of runoff loads according to rainfall intensity(Site_B).

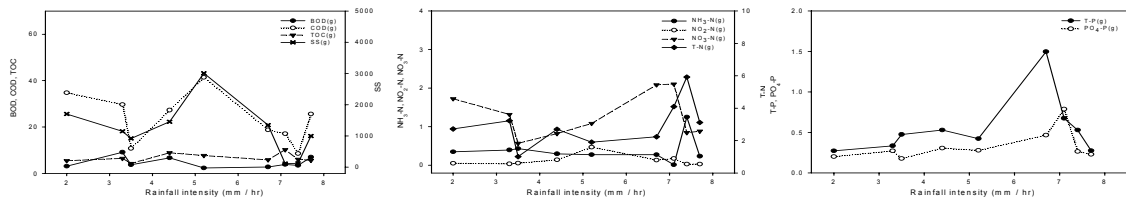


Fig. 13. The peak concentration by rainfall events according to rainfall intensity(Site_B).

시하였다. 강우사상별 강우유출수 모니터링을 통해 오염물질 별 EMCs 및 유출부하량을 산정하였다. EMCs 및 유출부하량을 조사한 결과 포도밭_A 지점의 경우 평균 유출부하량은 BOD 92.2 g, COD 236.5 g, SS 3729.7 g, T-N 32.284 g, T-P 7.582 g의 값으로 특히 COD의 유출부하량이 높게 조사되었다. 또한 강우유출수의 수질을 대표하는 평균 EMCs의 경우 BOD 3.7 mg/L, COD 10.0 mg/L, SS 182.7 mg/L, T-N 1.369 mg/L, T-P 0.320 mg/L의 값으로, 유기오염물질의 지표로 사용 될 수 있는 COD의 경우 EMCs의 범위가 최소 3.4 mg/L에서 최대 22.1 mg/L로 강우에 따른 변화가 크게 나타났다.

포도밭_B 지점의 경우 오염물질별 평균 유출부하량은 BOD 57.9 g, COD 190.8 g, SS 2697.7 g, T-N 36.799 g, T-P 7.803 g 으로 포도밭_B 지점에 대한 오염물질 별 유출부하량 역시 포도밭_A 지점과 유사하게 영양염류 항목 보다는 유기물질 항목의 부하량이 높은 것으로 조사 되었으며, EMCs 평균값은 BOD 3.3 mg/L, COD 13.0 mg/L, SS 240.7 mg/L, T-N 2.178 mg/L, T-P 0.328 mg/L로 조사 되었다.

포도밭_A와 포도밭_B의 경우 동일 강우사상에 대해 강우 특성 역시 동일하였지만 EMCs 값은 수질 항목 별로 다소 차이는 있었지만, 포도밭_B 지점의 EMCs 값이 포도밭_A 지점에 비해 대단히 높게 조사되었으

며, 이는 동일한 농작물을 재배하더라도 농장 소유주의 농업 방식에 따라 오염물질의 배출량이 현저하게 다를 수 있음을 확인하였다.

강우량 변동이 EMCs 값에 미치는 영향의 경우 BOD, COD, TOC, SS 등은 강우량이 증가함에 따라 초기세척효과에 기인 높은 EMCs를 나타내었으나 강우가 지속됨에 따라 증가된 강우에 의한 희석작용 등에 기인하여 오히려 높은 강우량에서 EMCs 값이 낮아지는 경향을 보였다. 또한 강우의 집중도를 나타내는 강우강도 변화에 따른 EMCs 값의 경우 강우량 변화에 따른 EMCs 농도 변화 경향과 유사하게 강우강도가 증가함에 따라 높은 EMCs를 나타내었으나 강우가 지속됨에 따라 증가된 강우에 의한 희석작용 등에 기인하여 오히려 높은 강우강도 범위에서 EMCs 값이 낮아지는 특징을 나타내었다.

참 고 문 헌

국립환경연구원, 1997, 하천·호수의 수질보전과 유역 관리에 관한 한·일 공동세미나.
 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정육진, 2002, 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, 대한환경공학회지, 24(11), 2019-2027.
 양해근, 2006, 강우시 비점오염물질의 유출 특성에 관한 연구 -곡성천 상하류를 대상으로-, 대한지리학회지,

- 41(4), 418-434.
- 윤영삼, 권현각, 이윤정, 유재정, 이춘식, 이재관, 2010, 도로 유형별 비점오염원 유출특성 분석, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(11), 1315-1322.
- 윤영삼, 권현각, 이윤정, 유재정, 이재관, 2010, 포도밭에 대한 비점오염물질 유출량 추정 모델식개발, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(11), 1315-1322.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경의, 2008, 경안천 유역 농촌 지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 24(2), 169-173.
- 이현동, 배철호, 2002, 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, *한국물환경학회지*, 18(6), 569-576.
- 정종배, 김민경, 김복진, 2000, 복숭아 과수원에서 측정된 강우에 의한 질소와 인의 지표면 유실, *한국농화학회지*, 43(2), 124-129.
- Boesch, D. F., Brinsfield, R. B., Magnien, R. E., 2000, Chesapeake bay eutrophication: scientific understanding, ecosystem restoration, and challenges for agriculture, *J. Enviro. Qual.*, 30(2), 303-320.
- Novotny, V., 1995, Nonpoint pollution and urban stormwater management, TECHNOMIC Publ. Co., Lancaster, PA.