

## 포도재배지의 비점오염물질 유출특성

이윤정 · 이재운\* · 권현각 · 윤영삼<sup>1)</sup> · 이재관

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

<sup>1)</sup>국립환경과학원

(2011년 7월 18일 접수; 2011년 8월 16일 수정; 2011년 9월 27일 채택)

## Runoff Characteristics of NPS in Agricultural Area

Youn-Jeong Yi, Jae-Woon Lee\*, Hun-Gak Kwon, Young-Sam Yoon<sup>1)</sup>, Jae-Kwan Lee

*Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,*

*Goryeong 717-873, Korea*

<sup>1)</sup>*National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea*

(Manuscript received 18 July, 2011; revised 16 August, 2011; accepted 27 September, 2011)

### Abstract

In this study, occurrence status of nonpoint pollutants and characteristics of discharge by each nonpoint pollutants were examined through monitoring on nonpoint pollutants caused when raining in vineyard belonging to the agricultural area of various land use patterns. Also, the first flush analysis limited to studies on the existing non-percolation area was applied to percolation area to ascertain availability and criteria of study.

Various water quality and sluice of nonpoint pollutants were analyzed, based on which discharge of nonpoint pollutants in agricultural area was ascertained to be influenced greatly by artificial factors such as period, cultivation, management, etc. Meanwhile, the first flush phenomenon at agricultural area was ascertained to occur, and the first flush was quantified through calculation of the first flush ratio. If MFF30 is based, discharge load by each nonpoint pollutants caused when raining was investigated to include 40.8% on the basis of total discharge. In case of SS in pollutants showed the highest first flush phenomenon of 64.8%. Through such a result, calculation possibility of the initial rain criteria was ascertained, and it was determined that reliability-assured criteria were calculated through further monitoring.

**Key Words** : Vineyard, Nonpoint, First Flush

### 1. 서론

최근 국내에서의 비점오염원의 오염부하량 및 원 단위 산정에 관한 연구가 활발하게 보고되고 있으나 강우 유출수에 대한 유출특성 및 유출성분의 기여에 관한 분석은 미진하다. 강우 시 유출되는 오염물질에

대한 규명은 복잡한 유역의 특성과 수문조건에 따라 크게 달라지므로 장기간에 걸친 다양한 유역의 관측 자료 축적이 전제가 되어야 하며, 강우 이벤트별 그 특성이 파악될 때 비로소 가능한 문제이다(양, 2006). 비점오염 부하량을 추정하기 위하여 주로 토지이용에 따른 원단위를 사용하였으나, 이 또한 강우 시 유역의 토지이용형태, 지표퇴적물량, 강우량 및 강우강도 등에 따라 상당한 차이가 발생하기 때문에 조사지역에서 직접 실측하지 않으면 오차는 상당히 커질 가능성이 있다(노 등, 2006; 오 등, 2004; 이 등, 2001).

\*Corresponding author : Jae-Woon Lee, Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea  
Phone: +82-10-3468-2291  
E-mail: leejaew@me.go.kr

우리나라의 경우 시기적으로 강우발생의 60~70%가 하절기에 집중되어 있고, 이때 농업활동이 집중되어 비점오염물질 역시 장마기에 대량 유출되고 있다. 특히 저수지 상류지역에 산재해있는 논과 밭, 원예단지, 축산시설, 도시화 지역, 도로, 농공단지, 산림지역으로부터 강우 시 강우유출수와 함께 유출되는 오염물질로 인하여, 일부 농업용 저수지인 경우에는 심각한 녹조현상 및 수질악화 문제에 직면해 있다.

최근 국내·외에서 비점오염물질의 유출특성에 대해 많은 연구가 수행되고 있으며, 특히 우리나라의 경우 강우량의 계절변동이 큰 몬순기후의 특성을 가지고 있어, 비점오염물질의 유출량이 계절적으로 크게 변동하기 때문에 계절적인 비점오염물질의 유출량 변동 특성관련 연구 등을 중점적으로 수행하고 있다(국립환경연구원, 1997). 윤 등(2010, 2011)은 낙동강유역에 속하는 과수원재배지에서 발생하는 강우사상을 조사하여 비점오염물질의 발생형태 파악 및 비점오염물질의 유출에 영향을 미치는 다양한 인자들에 대해 통계적 분석을 통한 모델식 개발을 수행하며 과수원재배지에서의 비점오염물질 유출특성을 다양한 형태로 연구 하였다. 작물 재배가 주로 이루어지는 농업지역의 비점오염물질은 강우량에 따라 농지표면에 쌓여 있던 비점오염물질의 표면유출이 발생함으로써 농지 주변의 하천 및 호소의 수질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이와 같은 조사연구 결과 농촌지역에서 발생하는 비점오염물질의 유출수준을 어느 정도 파악하는 성과를 얻게 되었으나 동력학적 발생 기작이나 형태, 토지이용에 따른 발생특성, 영양소의 구성형태 등에 관한 연구는 아직 미미한 형편이다.

본 연구에서는 낙동강 유역에 속해 있는 다양한 토지이용 형태 중 농업 지역에 속하는 포도재배지에 대해 조사지점 특성상(투수지역) 강우 사상별 유출량이 너무 낮거나, 이상치가 포함된 강우 사상 events를 제외하고 강우 시 발생하는 비점오염물질에 대한 모니터링을 통해 실제 농경지에서의 비점오염원 발생 현황 파악, 비점오염원 물질의 유출에 영향을 미치는 강우량, 강우강도 등 다양한 수리·수문 인자들과 비점유출과의 관계 분석은 물론 포도밭으로부터 유출되는 비점오염물질의 유출특성을 조사하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 조사지점 현황

본 연구에서는 토지피복 분류체계(RS/GIS) 중분류(23단계) 중 과수원재배지에 속하는 포도재배지로, 조사대상 지점은 경상북도 경주시 건천읍에 위치한 포도밭으로 밭의 좌, 우면은 논으로 되어 있으며, 둑이 설치되어 있어 논으로부터의 유입은 없었다. 밭의 앞, 뒷면의 경우 콘크리트 포장을 한 도로가 있으며, 그 도로와 밭 사이에 배수로가 있어 밭에서의 유출은 밭의 앞쪽 배수로의 유출구를 통해 이루어지고 있었다. 면적은 2000 m<sup>2</sup>(폭 20 m × 길이 100 m) 이며, 밭 내부에 다른 작물을 재배 하지 않아 포도밭의 특성을 살펴 볼 수 있다.

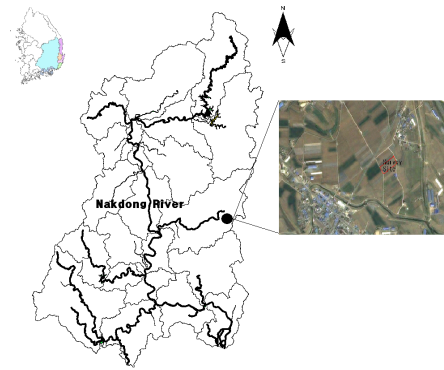


Fig. 1. Location of sampling site.

### 2.2. 조사항목 및 분석 방법

#### 2.2.1. 현장 모니터링

현장에서의 조사는 기상청의 일기예보를 통해 현장에 강우강도계 및 유량계를 설치하여 조사대상지점에서 일어나는 강우 형태에 따른 유출수의 변화를 실측하였다. 이때 사용된 강우강도계는 Tipping bucket mechanism 방식의 호주 Environdata Environmental Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1분 단위의 강우량 측정이 가능하며, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 MARSH McBIRNEY 사의 Flow-Tote3로 1분 단위의 유량측정이 가능하다. 조사대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설

치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사 하였다.

현장모니터링은 2007년 9월 국립환경과학원에서 제안되어, 2009년 5월에 개정된 ‘강우유출수조사방법’에 준하여, 강우량, 유량 측정 및 시료채취를 수행 하였다.

### 2.2.2. 수질 분석

수질 분석용 시료의 채취는 강우에 따라 유출이 발생하는 시점을 T1으로 하여 이후 유출 초기에는 5분 간격으로 시료를 채취하고, 이후 10분, 30분, 1시간, 2시간 등 유출 지속 시간에 따라 조사자가 결정하여 실시하였다.

채취 지점은 유량측정에 영향을 주지 않는 최종 말단 부위에서 채취하였고, 시료의 전처리 및 분석은 Standard method 및 수질오염공정시험법에 따라 실시하였다.

### 2.2.3. 초기세척현상

#### 2.2.3.1. 초기세척현상

초기세척현상이란 강우 시 유출의 초기단계에서 유량과 수질이 급격하게 증가하는 현상으로, 초기세척현상의 규명을 위해 각각의 강우사상에 대해 유출량과 오염물질별 부하량 변화를 확인하였다. 이를 위해 누적유출량과 누적부하량 비를 도식하여 이용하였는데 이는 모든 오염물질의 유출경향을 표현할 수 있는 것은 아니며 식 5)와 6)을 통해 초기세척현상의 정도를 표현 할 수 있다.

$$[P_i / \sum P_i] / [Q_i / \sum Q_i] > 1 : \text{Flushing} \quad (5)$$

$$[P_i / \sum P_i] / [Q_i / \sum Q_i] \leq 1 : \text{No Flushing} \quad (6)$$

여기서,  $[P_i / \sum P_i]$ 는 강우유출수의 누적부하량비를 의미하며,  $[Q_i / \sum Q_i]$ 는 강우유출수의 누적유출량비를 의미한다. 누적부하량과 유출량비 곡선은 강우사상의 유출특성을 잘 보여 줄 수 있으며, 만약 전체 강우사상 동안 균일한 유출수질을 보인다면, 곡선은 원점을 지나고 기울기가 1인 직선이 된다. 기울기가 1보다 크면 초기세척현상이 강한 것이며, 1보다 작을 경우 그 반대의 현상이 발생한다고 볼 수 있다. 즉 누적부하량 곡선이 누적유출량 곡선 위에 위치할 때 초

기세척현상이 발생한다(Lee 등, 2000). 본 방법의 경우 하천 관리기법 중 하나로 사용 될 수 있으며 이를 통해 오염물질의 불특정한 증가를 확인 할 수 있다.

#### 2.2.3.2. 초기세척 비율

초기세척 비율은 MFF(Mass First Flush Ratio)를 이용하여 각 오염물질과 강우에 대해 수량화 할 수 있다(Han 등, 2006). 수량화된 값은 누적강우량기준과 강우지속 시간 기준으로 표현할 수 있으며, 이는 초기강우기준을 의미한다(이 등, 2009). MFFn은 식 7)에서 보여 주듯 강우지속시간에 따라 다양하게 변하는 강우유출수 중의 오염물질별 부하량과 유출량을 특정 시점에서 강우유출율과 오염물질 유출율로 계산할 수 있다(Janet et al., 2008).

$$MFF_n = \frac{\int_0^{T_1} c(t) \cdot q(t) dt}{\int_0^{T_1} q(t) dt} \cdot \frac{M}{V} \quad (7)$$

여기서 n은 강우지속시간 중 일정시점에서의 유출량부피를 의미하고, 범위는 0%~100% 이다.  $q(t)$ 는 t 시간에서의 유출량의 농도,  $c(t)$ 는 t 시간에서의 오염물질별 농도, M은 유출오염물질 부하량, V는 유출오염물질 유출량을 의미한다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 강우사상별 비점오염물질 유출 특성

Table 1에는 2008년부터 2009년까지 조사지점에 대한 비점모니터링 결과를 수록하였다. 강우량 범위는 9.0 ~ 79.7 mm로 총 10회의 모니터링을 실시하였고, 그 중 4회의 강우사상에서는 유출이 발생되어 이들에 대한 시간대별 유량측정 및 오염물질별 수질 분석을 실시하였다. 이를 통해 오염물질별 EMCs 및 오염부하량을 산정하여, 본 지점에서의 오염물질별 유출 특성을 분석 하였다.

포도재배지에서의 유출의 경우 선행건기일수, 강우강도 및 소유주의 경작형태에 따라 유출 양상이 상이하게 나타난다. 유출이 발생된 event의 경우 2008년 6월, 2009년 7월로, 이는 국내 포도 재배형태에 의한

영향을 받고 있음을 확인 할 수 있다. 포도재배지의 경우 5, 6월 전에는 밭 표면에 멀칭이 되지 않고, 연중 강우 발생 비율도 낮은 영향으로 유출이 발생되긴 어렵다. 특히 2009년의 경우 전년도 대비 낮은 기온으로 인해 시비 시기가 늦추어져 2008년과의 시기적 차이를 보였다. 또한 유출이 발생된 event를 살펴보면, 강우량의 경우 최소 16.0 mm 이상의 강우 event에서 유출이 발생 되었으나, 16.5 mm 이상의 강우가 있었던 2008년 5월 14일에도 유출은 발생되지 않았다. 이 등(2001)에 따르면, 농촌지역의 경우 투수면적/불투수면적 비에 따라 유출율이 변화됨을 나타냈었고, 또한 투수율이 높은 토지피복지에서는 기저유출 및 토양의 공극율에 따라 유출율이 차이가 남을 확인하였다. 이처럼 강우시 유출이 발생하는 강우량을 특정 값으로 한정하여 제시할 수는 없었으며, 이는 다양한 수리·수문 인자 및 인위적인 재배조건 등 여러 가지 요인에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

조사가 진행된 포도재배지의 경우 5월초까지는 낮은 강우량과 토양에 시비를 하기위해 표면에 멀칭을 하지 않아 특정 강우 시에도 유출이 발생되지 않았다. 멀칭의 경우 대표적인 인위적 요인으로서 국내 포도를 재배하는 대부분의 농가에서 실시되고 있는 방법이다. 멀칭을 통해 특정 기간에 토양의 수분을 보호하거나 잡초 성장을 억제시키고 있었다. 이러한 인위적 요인이 특정 지역에서만 행하여진다면 강우 유출 모니터링에서 배제되어야 하겠지만, 국내 대다수 포도재배지에서 행하여지고 있어 대표적인 포도재배방

법으로 간주하고 본 연구를 진행하였다.

Fig. 1의 유출이 발생된 2008년, 2009년 각각의 강우사상을 비교해 보면, 첫 번째 유출된 강우 사상을 제외하고는 유출량이 강우량에 비례하게 나타났다.

E3의 경우 유출이 발생된 다른 강우사상보다 긴 선행건기일수로 조사 되었고, 유사한 강우량과 강우지속시간을 나타낸 E10과 비교해 보았을 때, 유출은 단순히 강우량이나 강우강도에 따라 그 양이 결정되는 것이 아니라, 유출관련 변수들 중 선행건기일수로 결정된다. 유출이 발생된 강우사상에 대해 좀 더 다양한 변수들의 특성을 분석 하였다. Table 2를 살펴보면 유출발생 강우사상들 중 E3(유출율: 0.05)을 제외할 시 0.38 ~ 0.43의 유출율로 유사하게 조사되었다. 이 등(2008)은 경안천 유역의 농촌지역에서 강우시 비점오염원 유출율이 0.02 ~ 0.35의 범위로 조사된 바가 있어, 본 연구결과가 기존 연구된 수치범위에서 크게 벗어나지 않음을 확인 할 수 있다.

조사된 각각의 강우사상은 강우량이 16.5 ~ 79.7 mm까지 큰 차이를 보임에도 유출율은 유사하게 조사된 것으로 보아 투수율이 높은 토지이용형태에서의 비점오염원 유출은 강우량에 의한 영향정도는 작게 나타남을 확인 할 수 있다. 또한 강우강도를 살펴보면, 가장 높은 강우강도를 나타낸 E9의 경우 6.66 mm/hour로 조사 되었으나, 유출율의 경우 0.38로 다른 이벤트에 비해 낮게 나타나 강우강도와 유출의 상관성은 낮음을 확인해 볼 수 있다.

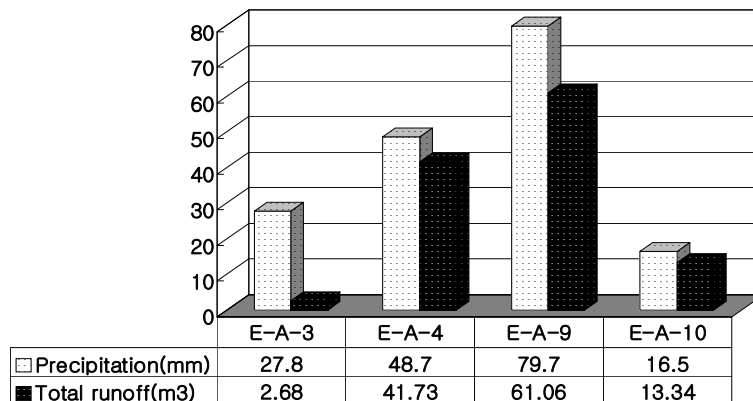


Fig. 2. Comparison of precipitation and runoff volume.

**Table 1.** Summary of precipitation at various events

Area (m <sup>2</sup> )	No.	Event	Antecedent dry day(day)	Precipitation (mm)	Runoff (m <sup>3</sup> )	Precipitation duration (min)	Runoff rate
2000	E1	2008. 3. 23. 00:00 ~ 3. 23. 15:25	3	13.5	-	-	-
	E2	2008. 5. 13. 14:37 ~ 5. 14. 04:42	7	16.5	-	-	-
	E3	2008. 6. 18. 00:41 ~ 6. 18. 06:13	8	27.8	2.7	324	0.05
	E4	2008. 6. 28. 07:00 ~ 6. 28. 23:06	6	48.7	41.7	890	0.43
	E5	2008. 11. 24 07:21 ~ 11. 24. 16:57	13	11.0	-	-	-
	E6	2009. 2. 19. 09:12 ~ 2. 20. 13:23	5	9.0	-	-	-
	E7	2009. 4. 24. 20:07 ~ 4. 25. 04:53	2	13.4	-	-	-
	E8	2009. 7. 02. 14:24 ~ 7. 02. 20:09	2	15.9	-	-	-
	E9	2009. 7. 07. 06:21 ~ 7. 07. 21:45	2	79.7	61.1	718	0.38
	E10	2009. 7. 24. 07:25 ~ 7. 24. 13:51	2	16.5	13.3	285	0.40

**Table 2.** Summary of parameters at various events

	Prec. (mm)	Runoff (m <sup>3</sup> )	DP. (min)	DR. (min)	ADWP. (day)	ASI. (mm/hour)	ARI. (m <sup>3</sup> /hour)	RR.
E3	27.8	2.7	324	93	8	5.15	1.73	0.05
E4	48.7	41.7	890	640	6	3.28	3.91	0.43
E9	79.7	61.1	718	795	2	6.66	4.61	0.38
E10	16.5	13.3	285	304	2	3.47	2.63	0.40

\* Prec.: Precipitation, DP.: Duration time of Precipitation, DR.: Duration time of Runoff, ADWP.: Antecedent dry weather period, ASI.: Average storm intensity, ARI.: Average runoff intensity, RR.: Runoff rate

3.2. 포도밭에 대한 비점오염물질별 EMCs 분석

다양한 강우사상에 대해 EMCs를 산정하여 Table 3.에 나타내었고, 산정된 EMCs와 유출관련 변수와의 관계를 Fig. 2 에 나타내었다.

Table 3의 EMCs를 살펴보면, BOD 1.5 ~ 7.0 mg/L, COD 3.4 ~ 22.1 mg/L, SS 44.8 ~ 696.7 mg/L, T-N 0.435 ~ 1.766 mg/L, T-P 0.183 ~ 0.397 mg/L 로 EMCs의 최대/최소비의 변동폭이 크게 나타났다. 그 중 SS의 최대/최소비(15.6)가 가장 높게 나타났으며, T-P의 경우 최대/최소비가 2.2로 가장 낮게 나타났다. 산정된 EMCs에 대한 좀 더 다양한 분석을 위해 강우 및

유출관련 변수 변화에 따른 EMCs의 변화를 살펴보면, 먼저 선행건기일수가 증가할수록 SS와 COD는 일부 영향을 받았으며 기타 항목의 경우 큰 상관성은 확인 할 수 없었다.

이와 같이 한 변수와 비점오염물질 EMCs의 관계를 정립하기는 힘들 것으로 사료되며 좀 더 다양한 모니터링을 통해 통계적 분석이 가능 할 시 유출관련 변수와 EMCs의 관계를 규명 할 수 있을 것으로 판단 된다.

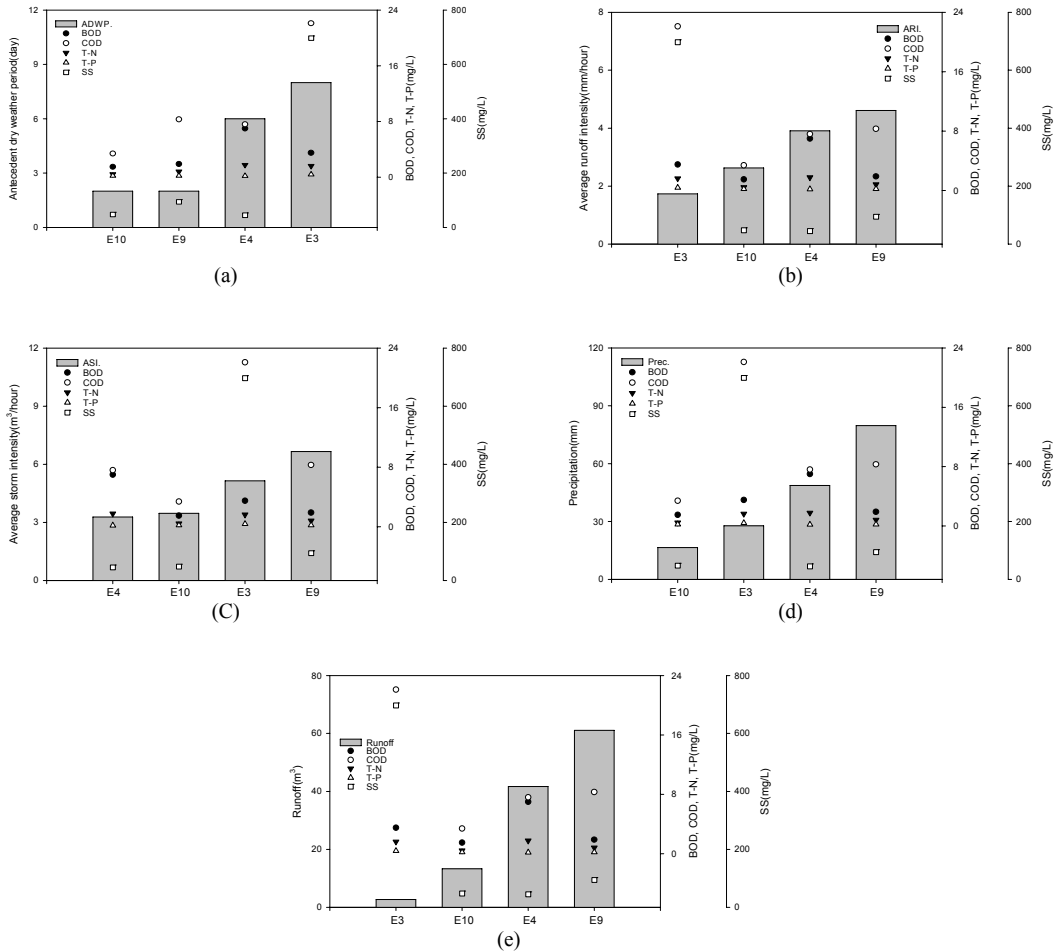


Fig. 3. EMCs variation by various parameters ((a) Antecedent dry weather period, (b) Average runoff intensity,(c) Average storm intensity, (d) Precipitation, (e) Runoff).

**Table 3.** EMCs on Non-Point source in site

(unit : mg/L)

No.	BOD	COD	SS	T-N	T-P
E3	3.5	22.1	696.7	1.628	0.397
E4	7.0	7.6	44.8	1.766	0.183
E9	1.9	8.3	94.1	0.821	0.207
E10	1.5	3.4	47.6	0.435	0.219
ave.	3.5	10.4	220.8	1.163	0.252
max.	7.0	22.1	696.7	1.766	0.397
min.	1.5	3.4	44.8	0.435	0.183

### 3.3. 포도밭에 대한 비점오염물질별 유출부하량 분석

조사된 강우 사상에 대해 오염물질별 유출부하량을 산정하여 Table 4에 나타내었다. 산정된 유출부하량의 경우 SS를 제외한 모든 항목에서 최대/최소 비가 10배 이상으로 조사되었으며, 오염물질별 평균 유출부하량은 BOD 54.4 kg/km<sup>2</sup>, COD 116.2 kg/km<sup>2</sup>, SS 1265.0 kg/km<sup>2</sup>, T-N 16.746 kg/km<sup>2</sup>, T-P 3.033 kg/km<sup>2</sup>로 산정되었다. 유기물질 및 영양염류 모두 높은 유출부하량을 나타내었는데, 유기물질의 경우 강우에 따른 유출 발생 시 유출수의 씻김현상에 의해 토사와 같이 유실되는 경향이 높아 높은 SS 부하량에 따라 유기물질 유출부하량도 높게 나타났으며, 영양염류의 경우 과수에 대한 시비 시기 및 재배 형태에 의해 높은 유출부하량을 나타내었다.

강우 및 유출관련 변수 변화에 따른 유출부하량 변화를 살펴보면, EMCs와는 달리 선행건기일수를 제외한 나머지 변수와는 유사하게 변수 값의 증가에 따라 오염물질별 유출부하량도 증가하는 형태를 나타내었다.

유출부하량의 높고 낮음에 대한 언급을 하였으나, 이는 단순히 유출되는 각 물질별 절대량에 기준을 두었기 때문에 실제 하천에 대한 영향 등을 평가하기 위해서는 보다 종합적인 분석이 필요할 것이다.

### 3.4. 초기세척현상

#### 3.4.1. 초기세척현상

이전까지 조사된 연구결과들의 대다수가 도심지나 도로 지역 등에 국한되어 초기세척현상에 대한 연구를 진행 하였으나, Matthias et al.(2009)은 프랑스 지중해 연안의 중규모 농경지 유역에서의 초기세척현상을 연구를 진행한 바가 있다. 연구내용 중 초기세척현상에 대한 발생 유무에 대한 규명을 위해 다양한 방법을 적용하였는데, 그 중 NCL-curve(Normalized Cumulated-curve)를 이용한 방법이 초기세척 규명에 가장 좋은 방법이라는 연구결과를 나타낸 바 있다. 또한 연구결과에서 유출 변수간 정확한 상관성을 찾진 못하였으나, 농경지에서의 초기세척현상 발생을 확인하였고 그 정도를 수량화한 연구가 진행 되었다. 이러한 연구

**Table 4.** Runoff load on Non-Point source in site

(unit : kg/km)

Load	BOD	COD	SS	T-N	T-P
E3	4.7	29.7	933.6	2.181	0.532
E4	146.1	158.8	935.6	36.838	3.816
E9	56.8	253.6	2873.4	25.061	6.323
E10	9.8	22.5	317.3	2.905	1.461
ave.	54.4	116.2	1265.0	16.746	3.033
max.	146.1	253.6	2873.4	36.838	6.323
min.	4.7	22.5	317.3	2.181	0.532

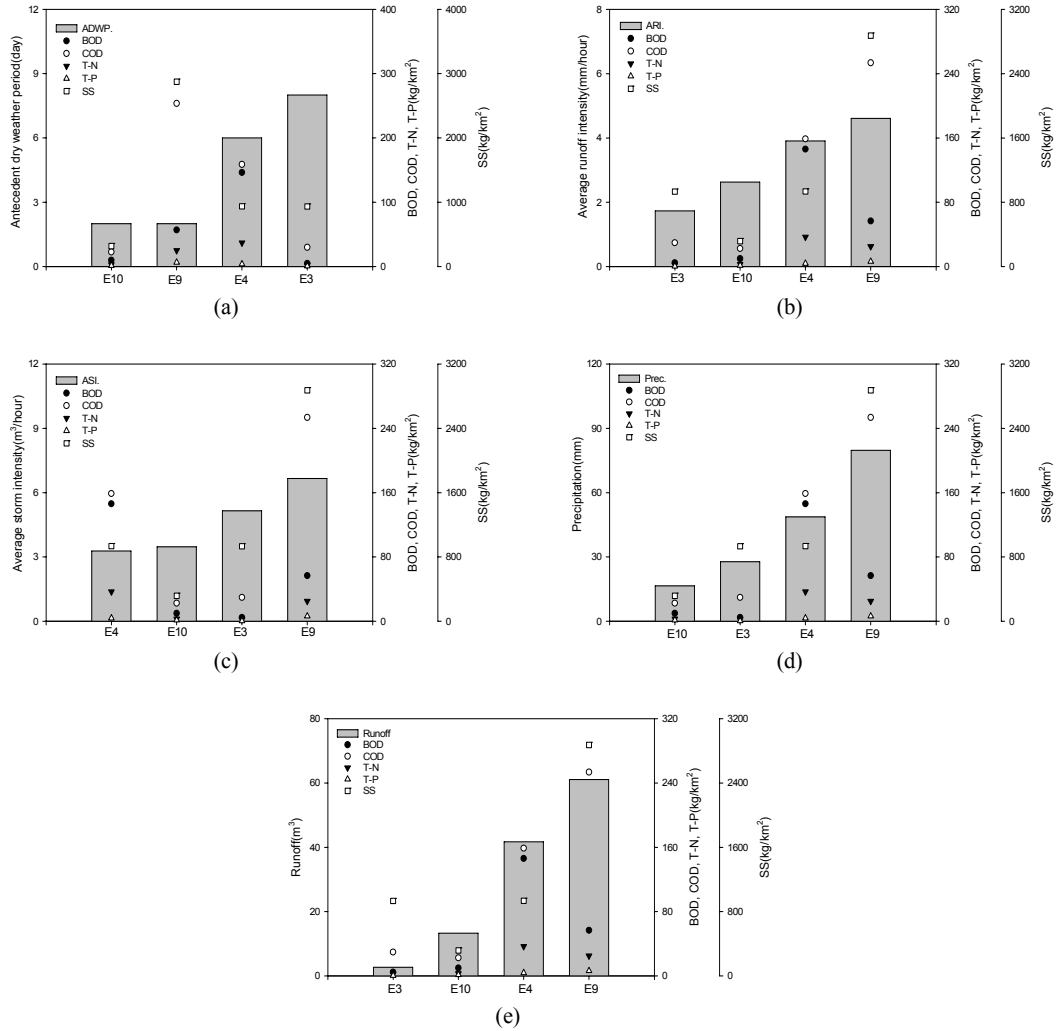


Fig. 4. NPS load variation by various parameters ((a) Antecedent dry weather period, (b) Average runoff intensity, (c) Average storm intensity, (d) Precipitation, (e) Runoff).

결과를 토대로 본 연구에서도 투수지역인 과수원 재배지에서의 강우 시 발생하는 유출수에 대한 모니터링 결과를 활용하여 실제 발생될 수 있는 오염물질들에 대한 초기세척현상의 발생 유무를 NCL-curve 작성을 통해 확인하였다.

확인 결과 조사 지점의 경우 투수지역임에도 불구하고 강우 특성에 따라 대부분의 강우사상에 대해 초기세척현상이 발생하였다. 대부분의 오염물질들이 초

기세척현상을 나타내는 것을 확인할 수 있으나 그 중 SS의 경우 가장 높은 강도의 초기세척효과를 나타내었고, 그 다음으로 COD > T-P 순으로 강도 차이를 보여 주었다. 앞서 언급된 Matthias et al.(2009)에 의해 연구된 결과에서도 입자성 물질이 용존성 물질에 비해 강한 초기세척현상을 나타냄을 확인하여, 본 연구 결과와의 유사한 결과를 나타낸 바가 있다.



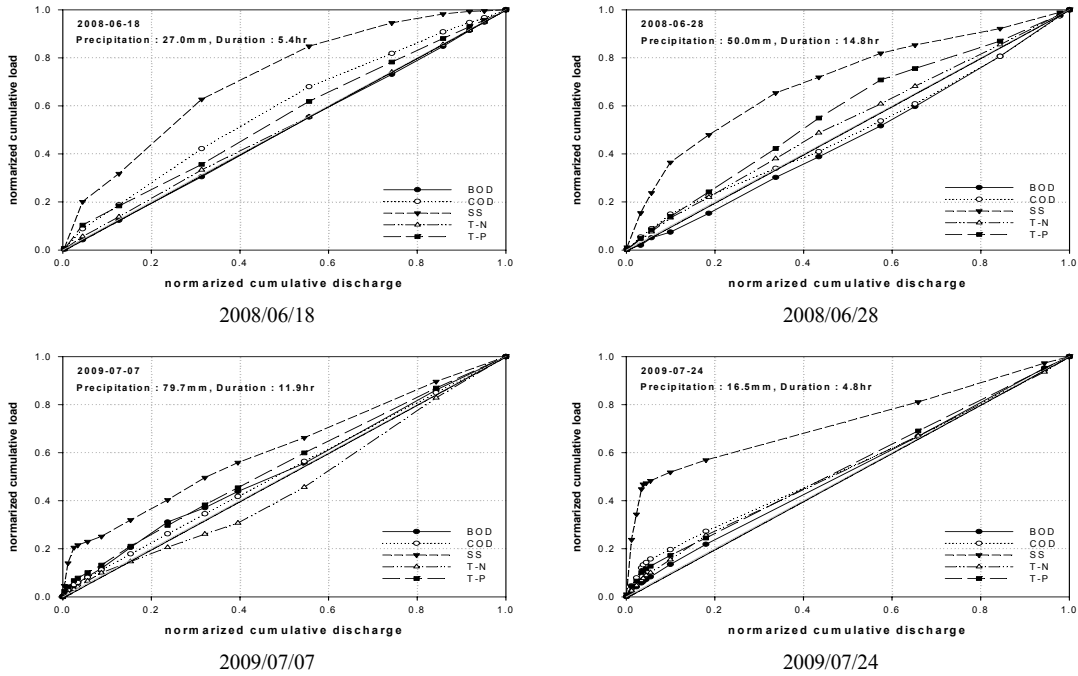


Fig. 5. Normalized cumulative load curve for storm events.

3.4.2. 초기세척 비율

조사된 강우사상에 대해 pollutograph 및 NCL-curve를 이용하여 오염물질별 초기세척현상의 발생 유·무를 확인하였으며, MFFn(Mass First Flush Ratio)를 이용하여 각 오염물질과 강우에 대해 초기세척현상을 수량화 하였다.

Table 5는 다양한 강우 events의 오염물질 항목에 대하여 계산된 MFFn을 보여주고 있으며, MFFn에서 n의 범위는 10 ~ 90%로 조절 하였다. MFF20의 평

균값이 2.5라고 한다면 초기우수유출수의 부피 20%에 오염물질 부하량의 부피 50%를 포함 하는 것의 의미한다(Matthias et al., 2009).

본 결과의 경우 MFF10 에서 가장 높은 수치를 보이고 이후 MFF90 까지 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 본 지점에서 MFF30 을 기준으로 삼을 경우 전체 평균값은 1.36이며, 각 오염물질의 평균값은 1.06 ~ 2.16 범위로 나타났다. 이는 초기우수 유출수의 부피 30%에 오염부하량이 40.8%를 포함하는 것

Table 5. MFFn for precipitation events at various quality parameters

(Vineyard area, Periods: '08 ~ '09, Precipitation: 16.5 ~ 79.7)

	MFF10	MFF20	MFF30	MFF40	MFF50	MFF60	MFF70	MFF80	MFF90
BOD	0.75 ~ 1.36	0.82 ~ 1.34	0.90 ~ 1.22	0.89 ~ 1.22	0.90 ~ 1.11	0.92 ~ 1.02	0.92 ~ 1.02	0.96 ~ 1.02	1.00 ~ 1.02
COD	1.29 ~ 1.97	1.17 ~ 1.52	1.01 ~ 1.52	0.94 ~ 1.52	0.94 ~ 1.22	0.93 ~ 1.10	0.93 ~ 1.10	0.96 ~ 1.06	1.00 ~ 1.03
SS	2.88 ~ 5.20	2.09 ~ 3.17	1.55 ~ 3.17	1.23 ~ 2.00	1.23 ~ 1.53	1.22 ~ 1.31	1.22 ~ 1.31	1.03 ~ 1.14	1.01 ~ 1.08
T-N	1.14 ~ 1.55	0.96 ~ 1.42	0.81 ~ 1.42	0.78 ~ 1.42	0.78 ~ 1.06	0.84 ~ 1.05	0.84 ~ 1.05	0.98 ~ 1.01	0.98 ~ 1.00
T-P	1.40 ~ 2.31	1.30 ~ 1.44	1.14 ~ 1.36	1.14 ~ 1.36	1.05 ~ 1.23	1.05 ~ 1.16	1.05 ~ 1.16	1.01 ~ 1.03	1.00 ~ 1.03
Ave.	1.98	1.51	1.36	1.23	1.11	1.07	1.07	1.02	1.01

Table 6. Average of MFFn at various quality parameters

(Vineyard area, Periods: '08 ~ '09, Precipitation: 16.5 ~ 79.7)

	MFF10	MFF20	MFF30	MFF40	MFF50	MFF60	MFF70	MFF80	MFF90
BOD	1.10	1.09	1.06	1.05	1.00	0.98	0.98	0.99	1.01
COD	1.68	1.34	1.24	1.21	1.06	1.02	1.02	1.01	1.01
SS	4.06	2.58	2.16	1.58	1.40	1.26	1.26	1.08	1.05
T-N	1.32	1.16	1.11	1.10	0.96	0.97	0.97	1.00	0.99
T-P	1.74	1.37	1.24	1.23	1.14	1.09	1.09	1.02	1.01

을 의미하며 그 범위는 31.8 ~ 64.8%로 조사되었다.

Table 6을 살펴보면, 오염물질별로는 MFF30에서 SS의 경우 64.8%로 가장 높게 조사되었고, 다음으로는 COD, T-P가 각각 37.2%로 동일하게 조사되었고, T-N과 BOD는 각각 33.3%, 31.8% 순으로 조사되었다.

#### 4. 결론

2008년부터 2009년까지 포도밭에서의 강우 시 모니터링 결과를 바탕으로 다양한 분석을 통해 오염물질별 유출특성을 분석하였고, 강우량, 유출량, 선행건기일수, 강우지속시간, 총유출고, 평균시간당 유출량, 강우강도, 유출강도 등의 자료를 활용하여 이들 변수와 비점오염물질별 EMCs 및 유출부하량과 영향 정도를 분석하였다. 또한 유출이 발생된 강우사상에 대해 초기세척현상을 규명하였으며, 초기세척비율을 산정하여 투수지역에 속하는 포도재배지에 대한 기준을 산정하였다. 2년간의 강우 시 발생하는 비점오염물질에 대한 현장 모니터링 결과에 대한 다양한 접근을 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 2008년에서 2009년까지 조사된 총 10회의 event 중 4회 유출이 발생하였으며 유출율은 0.05, 0.43, 0.38, 0.40으로 조사되었다. 표토의 투수율이 높은 지역에서 강우 시 유출은 단순히 강우량이나 강우강도에 따라 그 양이 결정되는 것이 아니라, 다양한 변수들과의 관계를 통해 그 정도가 결정된다.

2) 오염물질별 EMCs를 살펴보면, BOD 1.5 ~ 7.0 mg/L, COD 3.4 ~ 22.1 mg/L, SS 44.8 ~ 696.7 mg/L, T-N 0.435 ~ 1.766 mg/L, T-P 0.183 ~ 0.397 mg/L,로 EMCs의 최대/최소비가 평균 6.6으로 높게 조사되었다.

3) MFF30을 기준으로 삼을 경우 초기우수 유출수의 부피 30%에 오염물질 부하량이 40.8%를 포함하는 것으로 조사되었으며, 그 범위는 31.8 ~ 64.8%로 조사되었다. 오염물질별로는 MFF30에서 SS의 경우 64.8%로 가장 높게 조사되었고, 다음으로는 COD, T-P가 각각 37.2%로 동일하게 조사되었고, T-N과 BOD는 각각 33.3%, 31.8% 순으로 조사되었다.

4) 투수율이 높은 농업지역에서의 비점오염물질 부하량을 줄이기 위해서는 경지단위의 유출시험포 실험을 통해 배출특성을 파악한 후, 농업 지역에 적용 가능한 다양한 저감시설(초생대, 수변구역, 인공습지, 침사지, 장치형 처리시설, 산화수로, 배수로(초생수로)) 등의 효과실험이 수행되어야, 적절한 저감방법이 제시될 것이다.

5) 국내 농업지역 비점오염원 저감을 위해 농경지에 대한 BMPs(Best management plans) 실행 시 농업인에 대한 보다 전문적인 교육(작물별 적정 시비량 제시 및 시비 방법의 제시 등)이 우선적으로 실시되어야 한다. 또한 미국의 EQIP(Environmental quality incentives program) 및 CRP(Conservation reserve program)와 같이 농업인이 자발적으로 경작지에 대한 성실한 관리와 적절한 시비량을 사용할 수 있게 경제적·기술적 도움을 국가에서 정책적으로 지원하고, 이를 행하는 농업인에 대해서는 경제적 장려를 통해 모든 농업인들이 자발적으로 참여할 수 있도록 지속적으로 관리 및 지원 되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

국립환경과학원, 2007, 하천·호수의 수질보전과 유역 관리에 관한 한·일 공동세미나.

- 국립환경과학원 낙동강물환경연구소, 2009, 주요 비점 오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법연구 3년차 보고서.
- 노상덕, 김장현, 이대근, 김선주, 손병용, 전양근, 2006, 횡성호 유역의 비강우시 및 강우시 오염물질 유출특성, 한국물환경학회지, 22(4), 695-705.
- 양해근, 2006, 강우시 비점오염물질의 유출 특성에 관한 연구 -곡성천 상하류를 대상으로-, 대한지리학회지, 41(4), 418-434.
- 오영택, 박제철, 김동섭, 류재근, 2004, 강우시 소옥천의 비점오염원 유출특성, 한국수질보전학회지, 20(6), 657-663.
- 윤영삼, 권현각, 이운정, 유재정, 이재관, 2010, 포도밭에 대한 비점오염물질 유출량 추정 모델식 개발, 한국환경과학회, 19(7), 907-915.
- 윤영삼, 권현각, 이운정, 유재정, 이춘식, 이재관, 2011, 도로 유형별 비점오염원 유출특성 해석, 한국환경과학회, 19(11), 1375-1384.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경익, 2008, 경안천 유역 농촌 지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 24(4), 169-173.
- 이현동, 안재환, 김운지, 배철호, 2001, 토지이용별 강우시 비점오염 물질의 유출특성, 한국물환경학회지, 17(2), 147-156.
- 이현동, 안재환, 배철호, 김운지, 2001, 강우시 유출부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정, 한국물환경학회지, 17(3), 313-326.
- 이홍신, 이승환, 2009, 국내 중소 도시지역 강우유출수의 유출특성, 대한환경공학회지, 31(3), 193-202.
- Han, Y. H., Han, S. L., Lau, M., Stestrom, M. K., 2006, Correlation analysis among highway stormwater pollutants and characteristics, Water Sci. Technol., 53(2), 235-243.
- Janet, B., Sergio, P., Stenstrom, M. K., 2008, First flush in a combined sewer system, Chemosphere, 71, 827-823.
- Lee, J. H., Bang, K. W., 2000, Characterization of urban stormwater runoff, Water Research (accepted paper).
- Matthias, Obermann., Karl-Heinz, Rosenwinkel., Marie-George, Tournoud., 2009, Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment, Journal of Hydrology, 373, 405-415.