

강우시 포도밭에 대한 초기세척효과 분석

윤영삼* · 권헌각 · 이재운 · 유재정¹⁾ · 이재관

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾국립환경과학원 금강물환경연구소
(2011년 4월 7일 접수; 2011년 5월 2일 수정; 2011년 7월 4일 채택)

Analysis of First Flushing Effects for the Vineyard Storm Runoff

Young-Sam Yoon*, Hun-Gak Kwon, Jae-Woon Lee, Jay-Jung Yu¹⁾, Jae-Kwan Lee

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

¹⁾*Keum River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,
Okcheon 373-804, Korea*

(Manuscript received 7 April, 2011; revised 2 May, 2011; accepted 4 July, 2011)

Abstract

This study analyzed the characteristics of stormwater runoff in the orchard areas and quantitatively estimated effluence of nonpoint source pollutants for the volume of runoff. Two target areas under vine cultivation were each 2,000m² and 1,800m², located in Gyeongju City. Since grape was the only crop on the target area, the characteristics of stormwater runoff at vineyard could be evaluated independently. A total of 51 rainfall events in the vineyard area during two years(2008-2009) was surveyed, and 19 of them became stormwater runoff, with rainfall ranging 16.5 - 79.7 mm and antecedent dry period of 1-13 days. The pollutant runoff loads by volume of stormwater runoff showed BOD ranging 19.5 - 45.3% in 30% of runoff volume. The average pollution discharge rate was 32.4%, indicating small first flush effect of BOD. The range of SS concentrations was 5 - 52.0% in 10% of runoff volume, showing the average 28.7% of discharge rate, about 3 times more than rainfall effluent. TOC and TN appeared to be similar to the results of BOD, the average discharge rate of 30.9% and 30.6% for TOC and TN, respectively, for 30% of stormwater runoff volume. Average discharge rate of COD and TP in the same runoff volume was 35.1% and 36%, respectively, showing comparatively high discharge ratio. As the targeted vineyard area was permeable land, the pollution load ratio against rainfall-runoff volume appeared to be 1:1, implying no strong first flush effect for all the survey items.

Key Words : EMCs, First Flush Effect, MFFn, Vineyard area

1. 서론

강우 시 유출되는 비점오염물질의 부하가 하천 및

호소 수질에 미치는 영향은 하수처리율이 향상되고 경제 활동수준이 높아질수록 증가하며, 토지이용이 고밀도로 이용되고 있는 미국의 경우 총 수질오염부하의 50% 이상이 비점오염원에 의한 것으로 보고되고 있다. 비점오염원으로부터 유출되는 오염물질은 점오염원과는 달리 처리시설에서 처리가 곤란하고, 강우와 밀접히 관련되어 전체 비점오염물질의 약 80%가 5~9월 사이에 유출되며, 건기인 10~4월의

*Corresponding author : Young-Sam Yoon, Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea
Phone: +82-51-17-852-0321
E-mail: ysyoons3@me.go.kr

경우 연간 총량의 약 20%가 유출된다. 이와 같이 비점 오염물질은 강우 시 유출되기 때문에 일간, 계절 간 유출량 변화가 대단히 크게 나타나며, 기후, 지형, 토지 이용, 토양 등과 지역적인 특성과 유역 형상에 따라 변화되므로 비점오염원의 유출량 정량화를 위해서는 강우지속시간동안 정확한 수질과 유량에 대한 자료가 요구된다. 그러나 강우시에 비점오염물질에 대한 실측자료를 확보하기 위해서는 강우지속시간 동안 강우량, 유량, 수질 등에 대한 실측자료가 조사되어야 하기 때문에 시간, 예산 및 인력이 많이 소요되는 어려움으로 단일 지목에 대한 강우특성별 종합적인 실측자료는 미미한 실정이다(윤 등, 2010). 이에 비점오염원에 대한 효율적인 관리를 위해서는 먼저 비점오염원의 확인, 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사, 오염부하량 정량화를 위한 합리적인 기술개발, 정책의 개발 및 실행 등이 필요하다.

본 연구에서는 투수지역인 포도재배지에서의 강우 시 발생하는 유출수에 대한 모니터링 결과를 활용하여, 강우시 강우의 유출에 대한 비점오염물질 별 유출량에 대한 정량 분석을 수행하였다. 기존 불투수지역(도심, 도로, 교량 등)에 한정되어 연구 되어온 초기강우유출수의 초기세척 기준을 투수지역인 포도밭 재배 지역에 적용하여 다양한 오염물질들의 유출형태 파악 및 초기강우 세척량에 대한 기준 등을 조사하여 투수 지역에 적용 가능한 비점오염원 최적 관리시설 적용 시 소중한 기초자료로서 활용 하고자 연구를 수행 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 강우유출수 현장 조사

강우유출수에 대한 특성을 조사하기 위하여, 먼저 조사대상 지점인 포도밭이 속해 있는 유역의 8년간 일강우 분석을 통해 집중 강우시기 및 강우량을 조사 하여 현장모니터링의 기초 자료로 활용하였다.

현장 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 Envirodata Environmental

Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1min 단위의 강우량 측정이 가능하고, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 MARSH McBIRNEY 사의 Flo-Tote3로 1min 단위의 유량측정이 가능하다. 조사대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사 하였다.

2008-2009년 2년간에 걸쳐 조사된 강우사상은 총 51회 실시 되었으며, 이 중 강우량이 작았던 32회의 강우사상은 유출이 발생되지 않아 비점오염물질별 EMC 값은 “0” 이었으며, 나머지 19회의 강우사상에서는 유출이 발생되어 이들에 대한 시간대별 유량과 수질농도로부터 EMCs 값을 산정하였다. 시료의 채취 및 분석의 경우 환경부 국립환경과학원에서 작성한 ‘강우 유출수 조사방법’에 준하여 이루어 졌으며, 강우량의 경우 현장에서 강우강도계를 활용하여 실측을 원칙으로 하였으며, 불가할 시 가장 근접한 기상청 자료를 활용하였다.

2.2. 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 유량가중평균농도(EMCs : Event Mean Concentrations)이며, 이는 식 (1)에서 보는 바와 같이 강우 발생 시 대상유역에서 유출되는 오염물질의 각 시간대별 총량을 유출량으로 나눈 값으로 정의 된다(Vladmir 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.

2.3. 초기세척현상

초기세척현상이란 강우 초기에 강우유출수의 농도가 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 현상으로 정의하고 있다(Matthias 등, 2009). 이(2007)와 윤 등(2010)은 동일한 유역에서도 강우량 및 강우지속시간에 따라 초기세척현상의 발생 유·무가 달라 질수 있다고 발표 하였고, Bedient 등(2002)은 전통적인 도시 지역, 임야지역 및 개발이 진행 중인 지역에 대한 강우 유출조사를 바탕으로 누적유량-부하량비 곡선을 작성하여 초기세척효과를 분석하였다.

본 연구에서는 초기세척효과의 규명을 위해 각각의 강우사상에 대해 유출 시간대별 유출량과 오염물질별 부하량 변화 조사를 통한 누적유출량과 누적부하량 비를 이용하였다. 초기세척효과 유무 판단은 식(2)와(3)을 통해 가능하며, 동일 강우사상에서 비점오염물질 별로 다른 유출 특성을 보일 수 있기 때문에 오염물질별 초기세척효과 분석을 위해서는 조사대상 모든 수질항목에 대해 초기세척현상을 분석하여야 한다(Bedient 등, 2002).

$$[P_i / \sum P_i] / [Q_i / \sum Q_i] > 1 : \text{Flushing} \quad (2)$$

$$[P_i / \sum P_i] / [Q_i / \sum Q_i] \leq 1 : \text{NoFlushing} \quad (3)$$

여기서, [P_i/ΣP_i]와 [Q_i/ΣQ_i]는 강우유출수의 누적부하량비와 누적유출량비를 의미 한다. 누적부하량과 유출량비 곡선은 강우사상의 유출특성을 잘 보여 줄 수 있으며, 만약 전체 강우시간 동안 균일한 유출수질을 보인다면, 곡선은 원점을 지나고 기울기가 1 인 직선이 된다. 기울기가 1보다 크면 클수록 초기세척현상이 강한 것이며, 1보다 작으면 작을수록 그 반대의 현상이 발생한다고 볼 수 있다. 즉 누적부하량 곡선이 누적유출량 곡선 위에 위치할 때 초기세척현상이 발생한다(Lee와 Bang, 2000). 본 방법의 경우 초기 강우 유출수 처리 목표량에 따른 최소처리량 결정을 위한 기법 중 하나로 사용할 수 있으며 이를 통해 하천 및

호소에 대한 비점오염물질의 영향정도를 줄여 수질개선에 기여할 수 있다.

2.4. 초기세척 비율

강우에 의한 강우유출수의 초기세척 비율은 MFF(Mass First Flush Ratio)를 이용하여 각 오염물질과 강우에 대해 정량화 할 수 있다(Han 등, 2006). 정량화된 값은 누적강우량기준과 강우지속 시간 기준으로 표현할 수 있으며, 이는 초기강우기준을 의미한다(이와이, 2009).

MFF_n은 식 (4)에서 제시된 바와 같이 강우지속시간에 따라 다양하게 변화하는 강우유출수 중의 오염물질별 부하량과 유출량을 특정시점에서 강우유출율과 오염물질 유출율로 계산할 수 있다(Janet Barco 등, 2008).

$$MFF_n = \frac{\int_0^{T_1} c(t) \cdot q(t) dt}{M} \div \frac{\int_0^{T_1} q(t) dt}{V} \quad (4)$$

여기서, n은 강우지속시간 중 일정시점에서의 유출량부피를 의미하고, 범위는 0% ~ 100% 이다. q(t), c(t)는 t시간에서의 유출량과 오염물질별 농도, M과 V는 각각 유출오염물질 부하량과 유출량을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 조사지점 특성

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, 그 도로와 밭 사이에 배수구가 있어 밭에서의 유출은 밭의 뒤쪽 배수로의 유출구를 통해 이루어지고 있었다.



Fig. 1. Location of sampling sites.

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 외부로 부터의 유입은 없었으며, 면적은 폭 20 m, 길이 90 m로 1800 m²이었다. 본 조사 지점에서 가장 가까운 곳에 위치한 강우관측소로는 건천관측소가 있으며, 1998년~현재까지 운영 중이다.

3.2. 강우사상별 오염물질 유출 특성

본 연구는 2008-2009년까지 2년간에 걸쳐 수행되었으며, 조사대상 총 51회의 강우사상 들 중 유출은 총 19회 발생하였으며, 이와 같이 유출이 발생된 총 19회의 강우사상에 대한 모니터링 결과를 Table 1과 Table 2에 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, 토양내부의 수분의 증발을 억제하는 효과가 가중 되어 강우 시 유출발생에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 작용하게 된다.

강우사상별로 산정된 EMCs 결과를 살펴보면 Table 2에 수록된 바와 같이 BOD의 경우 캠벨포도를 재배하는 포도밭_A에서 1.5~6.8(평균 3.7) mg/L 범위, 거봉 포도를 재배하는 포도밭_B에서 1.6~6.4(평균 3.4) mg/L의 범위로 포도밭_A가 다소 높은 유출 EMC를 보였다. 반면 COD, TOC, SS, TN 항목의 경우 포도밭_A와 포도밭_B의 평균 EMC 값은 각각 COD 9.9, 11.3 mg/L, TOC 4.5, 5.1 mg/L, SS 179.3, 209.3 mg/L, TN 1.370, 1.750 mg/L의 값으로 포도밭_B의 평균 EMC 값이 높게 조사되었다. 또한 TP 항목의 경우 포도밭_A와 포도밭_B의 최초, 최대값은 다르게 조사되었지만 평균 EMC는 0.320 mg/L로 동일하게 조사되었다. 이와 같이 포도밭_A와 포도밭_B에서 조사된 강우유출수의 수질항목별, 강우사상별 EMC 값이 다르게 나타나는 것은 농장 소유주의 작물 재배 형태의 차이, 포도 품종 차이에 따른 시비시점 차이, 및 적정시비량 등의 차이에 따라 이와 같은 동일한 포도밭임에도 불구하고 강우유출수의 수질항목별 EMC 값이 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

Table 1. Summary of precipitation at various events

Site	Event	Antecedent Dry day(day)	Precipitation (mm)	Total Precipitation(m3)	Duration (min)	Intensity (mm/hr)
A	08/05/18	3	26.7	52.6	170	9.4
	08/05/28	3	61.0	122.6	700	5.2
	08/06/05	6	33.0	66.8	988	2.0
	08/06/18	8	27.0	55.6	324	5.0
	08/06/28	6	50.0	97.3	890	3.4
	08/07/02	2	36.0	71.4	282	7.7
	09/05/21	3	65.2	130.4	550	7.1
	09/07/07	2	79.7	159.4	718	6.7
	09/07/15	2	51.8	103.6	421	7.4
	09/07/24	2	16.5	33.0	285	3.5
	average	3.7	44.7	89.3	532.8	5.7
	B	08/06/04	6	33.0	60.8	988
08/06/18		8	28.0	50.0	324	5.2
08/06/28		6	49.0	87.6	890	3.3
08/07/02		2	36.0	64.3	282	7.7
08/10/22		11	25.0	49.1	343	4.4
09/05/21		3	65.2	117.4	550	7.1
09/07/07		2	79.7	143.5	718	6.7
09/07/15		2	51.8	93.2	421	7.4
09/07/24		2	16.5	29.7	285	3.5
average		4.7	42.7	77.3	533.4	5.3

Table 2. Summary of discharge and EMCs at various events

site	Total Discharge(m ³)	Runoff Percentage	EMCs (mg/L)						
			BOD	COD	TOC	SS	T-N	T-P	
A	08/05/18	8.1	0.15	3.7	9.5	5.6	122.8	1.483	0.155
	08/05/28	54.2	0.44	3.6	10.3	3.7	225.7	1.066	0.178
	08/06/04	4.8	0.07	3.8	8.4	2.9	147.4	1.445	0.205
	08/06/18	2.7	0.05	3.5	22.1	8.7	696.7	1.628	0.397
	08/06/28	41.7	0.43	6.8	7.4	4.1	44.4	1.731	0.179
	08/07/02	7.7	0.11	6.7	10.5	4.9	67.3	2.281	0.663
	09/05/21	33.0	0.25	3.6	12.5	4.4	298.1	1.811	0.401
	09/07/07	61.1	0.38	1.9	8.3	4.4	94.1	0.800	0.207
	09/07/15	36.5	0.35	2.2	6.8	4.2	48.9	0.992	0.564
	09/07/24	13.3	0.40	1.5	3.4	2.2	47.6	0.435	0.219
	average	26.3	0.26	3.7	9.9	4.5	179.3	1.370	0.320
	B	08/06/04	9.9	0.16	2.3	19.0	4.5	462.9	1.983
08/06/18		7.6	0.15	1.6	15.0	7.1	291.5	1.827	0.391
08/06/28		33.7	0.38	6.4	11.2	4.0	282.3	2.258	0.186
08/07/02		6.9	0.11	3.3	16.8	4.8	198.7	2.260	0.183
08/10/22		2.4	0.05	6.2	22.1	8	727.7	2.078	0.337
09/05/21		10.3	0.09	2.2	13.3	9.2	60.9	3.883	0.475
09/07/07		51.8	0.42	1.8	8.7	5.6	36.3	1.329	0.725
09/07/15		21.8	0.23	2.4	5.2	5.1	53.4	3.068	0.243
09/07/24		16.0	0.54	1.8	3.2	2.1	39.1	0.476	0.126
average		17.8	0.24	3.1	12.7	5.6	239.2	2.130	0.320
Total average	22.1	0.25	3.4	11.3	5.1	209.3	1.750	0.320	

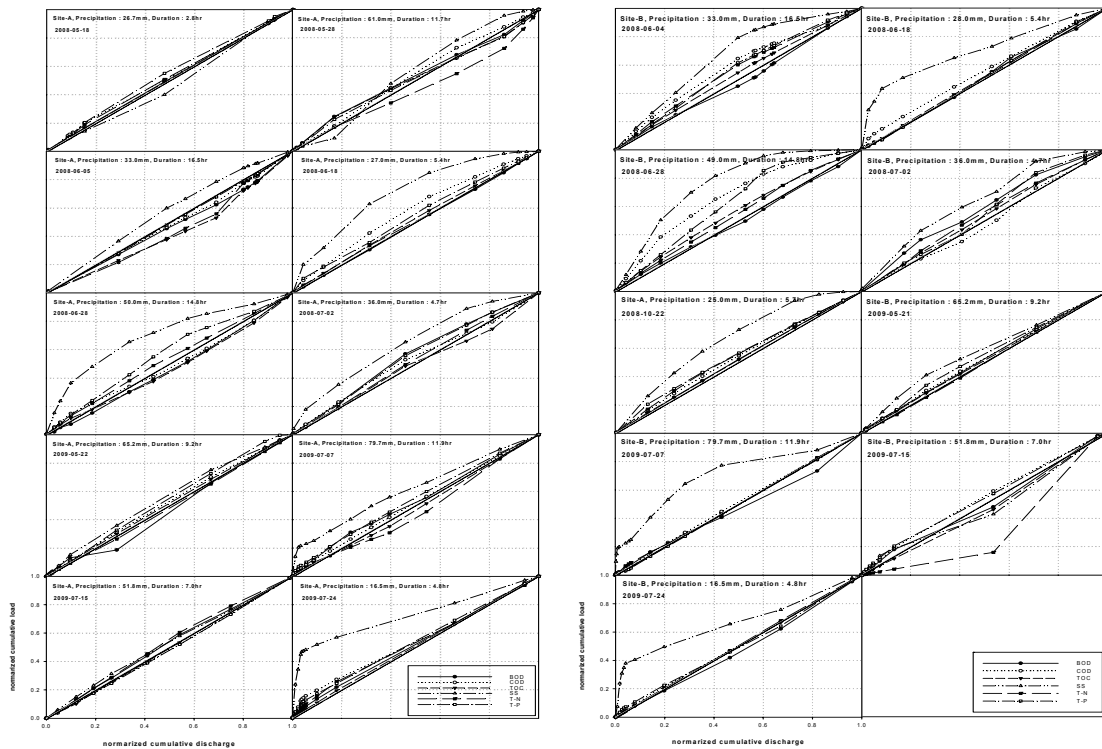


Fig. 2. Normalized cumulative load curve for variation storm events.

3.3. 초기세척현상

Fig. 2는 2008~2009년 2년간에 걸쳐서 조사된 19 회의 강우사상에 대한 포도밭_A 지점과 포도밭_B 지점의 BOD, COD, TOC, SS, TN, TP 항목에 대한 초기세척현상을 분석하기 위해 오염물질부하량 및 강우 유출량에 대한 누적곡선을 표시하였다. 누적유량-누적부하량비 곡선을 도식한 Fig. 2에서 알 수 있는바와 같이 수질항목별, 강우사상별로 초기세척의 정도는

다르게 조사되었다. 포도밭_A와 B 지점의 경우 투수 지역임에도 불구하고 대부분의 강우사상에 대해 초기 세척현상이 발생하였으며, 특히 포도밭_B 지점이 포도밭_A 지점에 비해 초기세척현상을 좀 더 강하게 나타내었다.

기존 연구자들의 경우 대다수가 불투수지역인 도심지역이나 도로에 대해 초기세척현상을 규명하려 하였고, 투수지역에 대해서는 Matthias 등(2009)에 의해

Table 3. Runoff loads according to rainfall events presenting high level first flushing effects

Event	Point	Total Discharge(m ³)	pH (max)	Runoff Loads (g)					
				BOD	COD	TOC	SS	T-N	T-P
2008-6-28	A ^a	41.73	7.1(7.5)	292.2	317.7	177.2	1871.2	73.7	7.6
	B ^b	33.69	6.9(7.3)	240.1	385.4	146.0	9535.2	81.3	6.4
2009-7-24	A	13.34	8.5(8.8)	19.5	45.1	29.2	634.6	5.8	2.9
	B	15.97	8.1(8.5)	51.5	95.1	64.3	846.2	14.6	3.5

· a : Area : 2000m², Antecedent Dry Day : 6day(2008), 2day(2009)
 · b : Area : 1800m², Antecedent Dry Day : 6day(2008), 2day(2009)

초기세척현상을 규명하려는 연구가 수행되어 투수지역에서도 초기세척현상이 발생할 수 있음을 시사한 바가 있다. 본 연구에서도 Fig. 2에서 보는 바와 같이 강우 특성에 따라 초기세척현상을 확인 할 수 있다.

Fig. 2를 살펴보면, 대부분의 오염물질들이 초기세척현상을 나타내는 것을 확인할 수 있으나, 그 중 SS의 경우 가장 강한 강도로 초기세척현상을 나타내었으며, 그 다음으로 COD > T-N > TOC 순으로 초기세척현상을 강하게 나타내었다.

강우 시 강우유출수의 유출에 영향을 줄 수 있는 강우량, 강우강도, 강우지속시간, 선행무강우일수 등과 오염물질들의 유출과의 관계를 살펴보면, 선행무강우일수가 초기세척현상의 발생에 비교적 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 강우유출에 영향을 미치는 특정 유출인자와 초기세척현상 발생과의 관계를 2년간에 걸쳐 진행된 19회의 강우유출조사 결과만을 가지고 규명하기는 어려웠다. 따라서 포도밭에 대한 초기유출의 발생 원인을 보다 면밀히 검토하여 규명하기 위해서는 보다 다양한 유출인자들이 포함될 수 있도록 장기간에 걸쳐 다양한 강우사상에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

조사된 강우사상들 중 초기세척효과를 강하게 나타낸 2008년 6월 28일과 2009년 7월 24일 2개의 강우사상에 대해 수질항목별 유출부하량 값을 Table 3에 수록하였으며, 아울러 강우유출수의 유출 시간대별 수질항목별 pollutograph를 Fig. 3에 도시하였다. 포도밭_A와 B 지점의 경우 유사한 면적과 동일한 강우사상에도 불구하고, 오염물질별 유출 특성은 다르게 나타났다.

포도밭_A 지점의 2008년 6월 28일 이벤트의 경우 유출시간대별 각기 다른 3개의 피크를 나타낸 반면 포도밭_B의 경우 유출전과정을 통해 유사한 유출량을 보였으며, 2009년 7월 24일 강우사상의 경우 포도밭 두 지점 모두 유출후반부에 최대 유출피크를 나타내었다. 또한 포도밭 두 지점에 대한 수질항목별 유출부하량의 경우 유출량 그래프와 유사하게 유출량이 증가할수록 오염물질의 유출부하량도 증가하였으며, 특히 유출량이 비교적 낮았던 유출초기에 조사대상 대부분의 항목에서 유출부하량이 높게 나타났다.

Table 3에 수록된 유출부하량을 살펴보면 2008년 6

월 28일의 강우사상에서는 포도밭_A와 포도밭_B의 유출부하량이 SS 항목을 제외하고는 유사한 값을 보였다. 이는 두 지점의 유출 시간대별, 농도 및 유출패턴은 다르지만 재배작물, 재배면적(포도밭_A 2,000 m², 포도밭_B 1,800 m²) 이 유사하여 동일한 강우사상에 대해 유출되는 총 유출 오염부하량은 유사한 것으로 나타났다. 반면 2009년 7월 24일 강우사상의 경우 동일한 강우사상에 대해 포도밭_A와 포도밭_B의 유출부하량이 조사대상 수질 전 항목에 있어서 큰 차이를 보이는 것으로 조사되었으며, 이는 농장 소유주의 퇴비, 비료 등의 살포 시기가 달라 발생하는 현상으로 특히 농업지역의 경우 농장소유주의 농업형태에 따라 발생 및 배출되는 오염물질의 부하량차이가 크게 발생할 수 있음을 보여주는 결과이다. 포도 농사의 경우 4월말에서 5월 중순 사이에 작물의 영양 상태를 높이기 위해 다양한 비료를 살포하게 되며, 특히 이 시기에 질소질, 인산칼리 및 탄산석회화 등이 많이 사용되어 2008년 6월 28일의 강우사상이 2009년 7월 24일의 강우사상에 비해 대단히 높은 오염물질별 유출부하량을 보였다.

3.4. 초기세척비율

농업지역인 포도밭에 대해 2008~2009년 2년간에 걸쳐 모니터링 된 총 51회의 강우사상들 중 유출이 발생한 19회의 강우사상에 대해 누적유출량-오염물질부하량비 곡선 및 pollutograph를 이용하여 오염물질별 초기세척현상의 발생 유·무를 확인하였으며, 초기세척비율인 MFF_n (Mass First Flush)를 이용하여 각 오염물질과 강우에 대해 초기세척량을 정량화 하였다(Bedient 등, 2002; Matthias 등, 2009).

정량화된 오염물질의 유출량은 누적강우량기준, 강우지속시간기준, 강우유출량기준 등으로 표현할 수 있으며, MFF₂₀의 평균값이 2.5인 경우 초기우수유출수의 부피 20%에 오염물질 50%를 포함하는 것을 의미한다(Matthias 등, 2009).

Table 4에는 유출이 발생한 19회의 강우사상들에 대해 n 값을 10~90%까지 변화시키면서 수질항목별, n 수치별로 MFF_n을 구하여 수록하였으며, 이들 결과를 평균하여 Table 5에 수록하였다. Table 4에 수록된 바와 같이 수질항목별로 최소와 최대값의 범위가 달

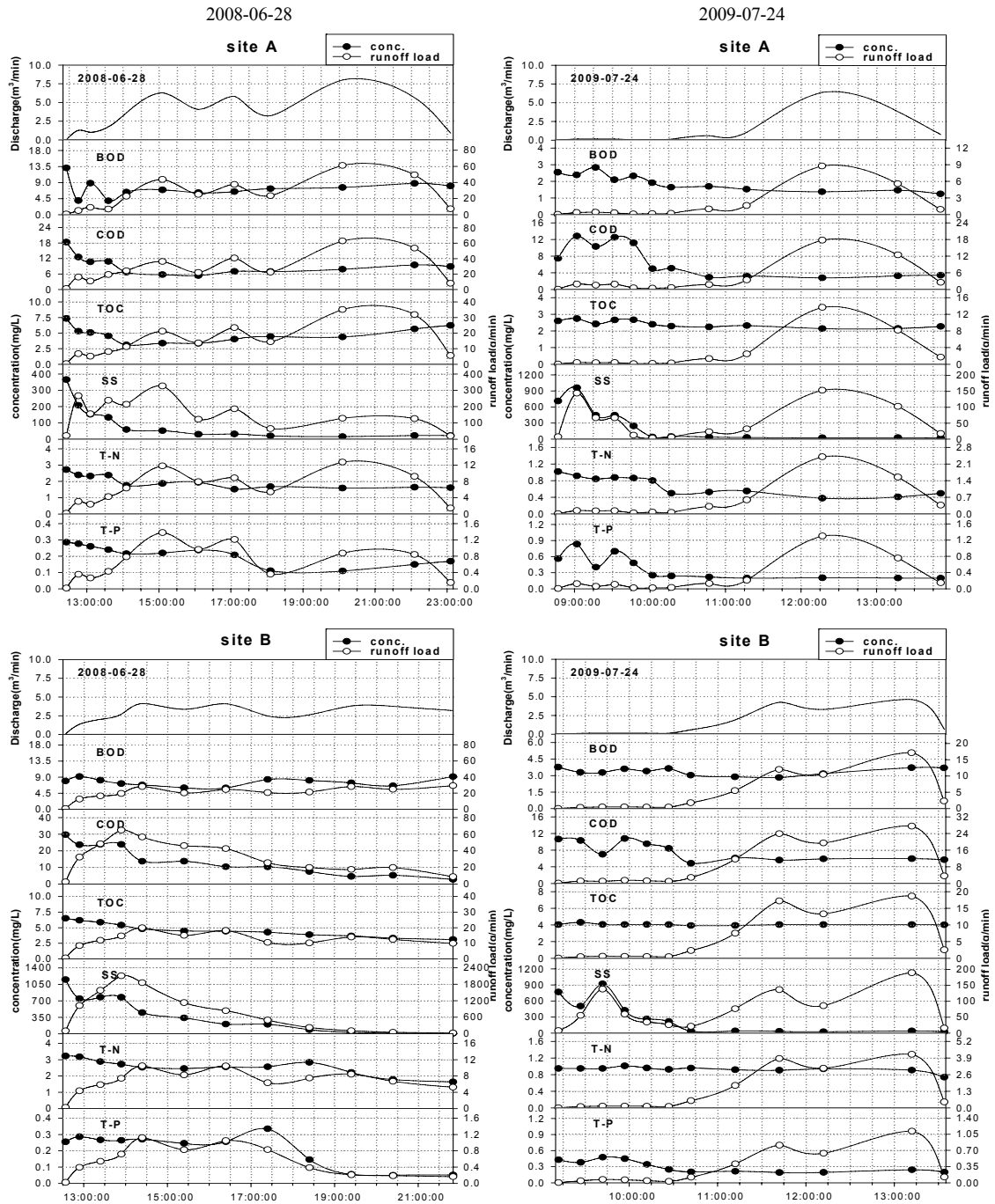


Fig. 3. Pollutographs according to rainfall events presenting high level first flushing effects.

랐으며, n 값이 증가할수록 MFF_n 값은 “1”에 가까운 값을 보여 유출후반부로 진행됨에 따라 강우의 유출량과 이들 유출수에 포함 된 오염물질의 누적비가 유사해짐을 확인하였다. 이와 이(2009) 등의 연구 결과 역시 MFF_n의 평균값이 MFF₃₀에서 최고치를 나타낸 이후 MFF₉₀까지 지속적으로 감소된다고 보고하였으며, 본 연구 결과역시 기존 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다.

Table 5에 수록된 수질항목별, n 수치별 평균 MFF_n을 살펴보면 n=10에서 SS 항목이 MFF_n 값 2.87로 가장 높은 수치를 보였으며, 다음으로 COD, TP 순으로 강우유출부피 10%에서 오염물질의 유출부하량은 크게 조사되었다. n=90을 제외한 n=20, 30 등 모든 조사 대상 n 값의 변화에서 MFF_n 값은 SS가 가장 높았으며, 일반적으로 초기세척효과의 기준으로 보는 n=30에서 수질항목별로 MFF_n 값을 살펴보면 SS 1.65, TP 1.20, COD 1.17, BOD 1.08, TOC 1.03, TN 1.02 등의 값으로 SS의 경우 강우유출량 30%에서 SS 성분 49.5%가 유출되는 것으로 조사되었으며, TP 항목의 경우 강우유출량 30%에서 TP 성분 36%를 보였으며, COD의 경우 강우유출량 30%에서 COD 성분 35.1% 유출로 SS를 제외한 수질항목에서는 평균 MFF_n 값을 기준으로 살펴보면 뚜렷한 초기세척현상을 보이지 않는 것으로 조사되었다.

4. 결론

본 연구에서는 강우 시 포도밭에서 발생된 강우유출수의 유출특성을 EMCs, 초기세척효과, 세척비율, 오염물질 별 세척량의 정량화 등을 통해 분석하였다. 또한 오염물질별로 강우유출수의 유출량을 단계적으로 변화시키면서 강우유출수의 변화가 오염물질의 유출량에 미치는 변화를 정량적으로 제시하였으며, 이들 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) 2008~2009년까지 2년간에 걸친 19회 강우사상에 대한 조사결과를 바탕으로 포도밭에 대한 수질항목별 EMCs 범위를 제시하였다(BOD : 1.5~6.8 mg/L, COD : 3.2~22.1 mg/L, TOC : 2.1~9.2 mg/L, SS : 36.3~727.7 mg/L, T-N : 0.435~3.883 mg/L, T-P : 0.126~0.725 mg/L).

2) 오염물질별 초기세척효과 분석결과 조사대상 모든 항목에서 약한 초기세척효과를 보였지만 SS 항목의 경우 특히 초기세척효과를 강하게 나타내었다. 또한 수질 항목별로는 COD, TN, TOC 순으로 강한 초기세척효과를 보였다.

3) 강우유출수의 세척비율을 MFF_n을 이용하여 조사한 결과 n=30인 MFF₃₀에서 SS의 평균 초기세척비율은 49.5%로 가장 높게 보였으며, T-P 36.0% >

Table 4. The Range of MFFn in vineyard area(rainfall range : 16.5~79.7 mm)

	MFF ₁₀	MFF ₂₀	MFF ₃₀	MFF ₄₀	MFF ₅₀	MFF ₆₀	MFF ₇₀	MFF ₈₀	MFF ₉₀
BOD	0.75 ~ 2.14	0.82 ~ 1.56	0.65 ~ 1.51	0.65 ~ 1.24	0.79 ~ 1.24	0.71 ~ 1.18	0.71 ~ 1.16	0.71 ~ 1.16	0.71 ~ 1.06
COD	0.87 ~ 2.09	0.85 ~ 2.09	0.85 ~ 1.73	0.79 ~ 1.60	0.79 ~ 1.44	0.71 ~ 1.38	0.68 ~ 1.29	0.68 ~ 1.17	0.68 ~ 1.08
TOC	0.83 ~ 1.63	0.84 ~ 1.42	0.84 ~ 1.42	0.86 ~ 1.19	0.86 ~ 1.15	0.86 ~ 1.13	0.86 ~ 1.10	0.89 ~ 1.07	0.89 ~ 1.03
SS	0.50 ~ 5.20	0.48 ~ 3.17	0.48 ~ 3.17	0.45 ~ 2.01	0.45 ~ 1.79	0.43 ~ 1.59	0.41 ~ 1.44	0.41 ~ 1.25	0.41 ~ 1.10
T-N	0.30 ~ 1.60	0.31 ~ 1.42	0.31 ~ 1.42	0.30 ~ 1.42	0.30 ~ 1.12	0.30 ~ 1.12	0.30 ~ 1.10	0.84 ~ 1.08	0.92 ~ 1.03
T-P	0.76 ~ 2.31	0.92 ~ 1.53	0.93 ~ 1.53	0.95 ~ 1.38	0.96 ~ 1.37	0.96 ~ 1.42	0.98 ~ 1.34	0.94 ~ 1.23	0.97 ~ 1.08
Average	1.50	1.25	1.19	1.13	1.07	1.03	1.02	1.01	1.00

Table 5. The average value of MFFn in vineyard Area(rainfall range:16.5~79.7 mm)

	MFF ₁₀	MFF ₂₀	MFF ₃₀	MFF ₄₀	MFF ₅₀	MFF ₆₀	MFF ₇₀	MFF ₈₀	MFF ₉₀
BOD	1.18	1.13	1.08	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99
COD	1.40	1.22	1.17	1.12	1.06	1.03	1.02	1.00	0.99
TOC	1.10	1.04	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.99	0.99
SS	2.87	1.87	1.65	1.46	1.26	1.18	1.10	1.06	1.02
T-N	1.12	1.03	1.02	1.01	0.97	0.97	0.96	1.00	1.00
T-P	1.31	1.22	1.20	1.14	1.11	1.09	1.08	1.05	1.03

COD 35.1% 순으로 높은 초기세척비율을 보였다.

4) 조사된 19개의 강우사상 들 중 항목별 최대 초기 세척비율의 경우 n=30인 MF30에서 살펴보면 SS 항목에서 최대 95.1%, COD 항목 최대 51.9%, BOD 항목 최대 45.3%의 초기세척비율을 각각 보였다.

참 고 문 헌

- 윤영삼, 권현각, 이윤정, 유재정, 이재관, 2010, 포도밭에 대한 비점오염물질 유출량 추정 모델식 개발, 한국환경과학회, 19(7), 907-915.
- 윤영삼, 권현각, 이윤정, 유재정, 이춘식, 이재관, 2010, 도로 유형별 비점오염원 유출특성 분석, 한국환경과학회, 19(11), 1375-1384.
- 이준호, 조용진, 방기웅, 최창수, 2007, 교량도로 유출수 수질 및 입경분포, 공동추계학술발표회논문집, 대한상하수도·물환경학회, 135.
- 이홍신, 이승환, 2009, 국내 중소 도시지역 강우유출수의 유출특성, 대한환경공학회, 31(3), 193-202.
- Bedient, P. B., Harned, D. A., Characklis, W. G., 2002, Stormwater analysis and prediction in Houston, J. Environ., 45(9), 249-254.
- Han, Y. H., Han, S. L., Lau, M. K., Stestrom, M. K., 2006, Correlation analysis among highway stormwater pollutants and characteristics, Water Sci. Technol., 53(2), 235-243.
- Janet, B., Sergio, P., Michael, K. S., 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 Res., 34(6), 1773-1780.
- Matthias, O., Karl-Heinz, R., Marie-George, T., 2009, Investigation of first flushes in medium-sized mediterranean catchment, J. Hydro., 373, 405-415.
- Vladmir, N., 1995, Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management, Pennsylvania, USA.