

비점오염원에서 발생하는 오염물질 모니터링 - 고구마 · 빛나무경작지의 강우유출수를 대상으로 -

Monitoring Pollutants Occurred by Non Point Sources - Rainfall Runoff from Cultivated Lands for a Sweet Potato and a Cherry Tree -

최병우 · 강미아[†]

Byoungwoo Choi · Meea Kang[†]

국립안동대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Andong National University

(2013년 10월 30일 접수, 2013년 12월 18일 채택)

Abstract : The management of non point sources was marked by the need for clean water environments. It was proposed the fundamentals to promote the reasonable land management in this study. We monitored rainfall events at two non point sources with different crop cultivations such as a sweet potato and a cherry tree for three years. Because the most important factor was rainfall, the rainfall runoff and pollutant loads were generated 100% in the case of rainfall ranges with $50 < \text{rainfall (mm)}$. However the frequency of rainfall runoff was interacted with the crop cultivation and soil characteristics in the case of rainfall ranges such as $30 < \text{rainfall (mm)} \leq 50^a$ and $10 < \text{rainfall (mm)} \leq 30^b$. The frequency of rainfall runoff was a : 60% and b : 5% in the cherry tree cultivation with growing significantly and pollutant loads were lower than that of the sweet potato cultivation. Meanwhile the frequency of rainfall runoff was a : 60% and b : 5% in the sweet potato cultivation.

Key Words : Non Point Sources, Rainfall, Rainfall Runoff, Crop Cultivation

요약 : 청정한 물환경에 대한 기대가 높아지는 시대에서, 관리가 쉽지 않은 비점오염원에서 발생하는 오염부하량을 산정하여 합리적인 국토관리를 도모할 수 있는 기초자료를 제시하였다. 연구는 2개소의 밭경작지를 대상으로 하였으며 고구마와 빛나무를 재배하는 비점오염원으로 각각 3년 동안에 걸쳐 강우사상을 모니터링 하였다. 오염부하량에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 강우량으로 $50 < \text{rainfall (mm)}$ 의 강우사상에서는 100% 강우유출량이 발생하여 오염물질을 발생하였다. 그러나 $30 < \text{rainfall (mm)} \leq 50^a$ 와 $10 < \text{rainfall (mm)} \leq 30^b$ 에서는 강우유출수에 의한 오염부하에는 작물의 재배방법과 토양의 특성 등이 결정인자로 작용되어, 작물성장이 현저한 밭나무경작지에서 강우유출수 발생빈도는 a : 60%, b : 5%로 고구마경작지에서의 강우유출수 발생빈도보다 낮았으며, 이로 인해 오염부하량도 적었다. 반면, 고구마경작지에서의 강우유출수 발생빈도는 a : 80%, b : 15%로 나타났다.

주제어 : 비점오염원, 강우량, 강우유출수, 작물재배

1. 서론

경제발전과 더불어 인구의 증가, 도시화, 산업화에 따라 공공수역으로 유입되는 오염물질의 양이 수체의 자정능력을 초과하면서 수질오염이 심각해지고 있다.^{1,2)} 우리나라는 수질오염관리대책의 일환으로, 1998년부터 팔당호 등 한강 수계상수원수질관리 특별종합대책 등 낙동강, 영산강 및 금강수계의 질적 안정성 확보와 물환경 개선을 위해 노력하고 있다.³⁾ 공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원(point source pollutant)과 비점오염원(non point source pollutant)으로 구분할 수 있다. 점오염원에 의한 수질오염은 환경기초시설의 설치 및 배출허용기준강화 등 제도적 규제에 의해 크게 감소하고 있으나 비점오염원은 오염발생량 및 배출특성을 파악하기가 매우 어렵고,⁴⁾ 오염발생량이 불규칙하여 관리와 저감 대책이 미흡한 실정이다.⁵⁾ 비점오염원은 농업, 임업, 방목, 도시유출, 건설, 수류경로의 물리

적 변화, 서식지 쇠퇴 등이 잠재적 요인으로 작용하고, 강우에 의해 유출되며^{6,7)} 강우유출수내 오염물질의 농도는 기상조건, 수리조건, 지리조건 및 토지이용 등의 특성에 영향을 받는다. 또한 강우강도와 강우지속시간, 토지이용형태, 선행무강우일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등에 따라서도 변동된다.⁸⁾ 특히 농업활동이 활발한 지역에서 하천 및 지하수 등의 수질은 비점오염원에서 발생하는 유출수의 수질에 지배적인 영향을 받게 되며, 계절적·지역적 편차가 매우 크고, 오염물질의 부하량을 산정하여 수계를 관리하는 것이 매우 어렵다.⁹⁾ 따라서 농업활동에 의해 발생하는 비점오염물질의 관리는 매우 중요한 관심대상이며 세계적으로 이를 해결하기 위한 여러 연구가 활발히 진행되고 있다.^{10,11)} 우리나라 농업지역에서 비점오염물질 발생은 시비량, 시비방법, 지형, 지질, 기후 등에 의해 영향을 받으므로 보고되고 있으나,^{12,13)} 이에 대한 과학적·합리적 관리 방법이 완전히 제시되지 못하고 있어, 농업지역 비점오염

[†] Corresponding author E-mail: wdream@andong.ac.kr Tel: 054-820-6267 Fax: 054-820-6267

물질의 관리를 위해 강우량, 강우강도 등의 기상조건과 농업방법, 경작지 토양의 특성 등 여러 가지 인자를 고려한 연구들이 요구된다.¹⁴⁾ 이 연구에서는 농업지역에서 발생하는 비점오염원 중, 재배특성이 다른 작물(고구마·뽕나무) 경작지를 대상으로 2008년 1월부터 2011년 12월까지 강우 유출수의 발생량·오염농도 등을 모니터링 하였다. 강우유출수의 오염발생과 기상조건, 경작방법, 토양특성 등의 관계를 명확히 하여, 농업지역 비점오염원에 대한 효율적 관리의 자료를 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 조사지점 및 모니터링 기간

농업지역에는 경지정리가 안 된 논, 경지 정리가 안 된 계단식 논, 밭, 하우스재배지, 과수원, 원예/조경재배지/묘포원 및 농장/농원/방목장 등의 다양한 형태로 비점오염원이 존재한다.¹⁵⁾ 이 연구에서는 농업지역에서 나타나는 여러 비점오염원 형태 중에서 발경작지를 대상으로 비점오염물질 발생에 대한 장기모니터링을 하였다.

조사지점은 Table 1에 정리하였으며, 농업지역 비점오염원 중 일년생 작물을 재배하는 고구마경작지(sweet potato, 이후 S경작지로 기술)와 다년생 작물을 재배하는 뽕나무경작지(cherry tree, 이후 C경작지로 기술)이며, 이들 두 지점의 경사도는 각각 8.5%, 8.3%로 유사하며 지리적으로도 가까운 곳(직선거리 1.03 km)에 위치해있다. S경작지에서는 2008년 1월부터 2010년 12월 동안, C경작지에서는 2009년 1월부터 2011년 12월 동안 모니터링 하였으며, 강우유출수 발생에 영향을 미치는 강우량, 강우강도 등의 기상특성과 강우유출수 중의 오염물질 발생량을 분석하였다.

2.2. 분석방법

분당 강우량이 측정가능한 강우계(envirodata weater station, raingage, RG20, Australia)로 강우량을 측정하였으며, 유출수의 유량은 유량계(flo-tote3, USA)를 이용하여 유출이 발생하는 시각부터 종료하는 시각까지 분당유출량을 측정하였다. 단, 유량계를 이용할 수 없는 극소량의 유출이 발생하는 때에는 비이커에 유출수를 받아 해당시간으로 나누어 계산하는 간이식(Cup식) 방법을 이용하였다. 유출수의 유기물질오염도는 수질오염공정시험방법(환경부고시 제

Table 1. Characteristics of study sites

Site	Area (m ²)	Slope (%)	GPS	Study period (3 years)
S	631.3	8.5	N 36° 32' 37.8", E 128° 47' 17.8"	Jan. 2008–Dec. 2010
C	634.7	8.3	N 36° 32' 52.5", E 128° 47' 48.4"	Jan. 2009–Dec. 2011

* S : Sweet potato, C : Cherry tree

2007-147호)에 따라 분석하였으며, 유량가중평균농도(event mean concentrations, EMCs)를 이용하여 오염부하량(total pollutant mass, TPM)을 산정하였다.¹⁵⁾

EMCs (event mean concentrations) (1)

$$EMCs(mg/L) = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t Q_t C_t dt}{\int_0^t Q_t dt} = \frac{\sum_{t=0}^T C_t Q_t \Delta t}{\sum_{t=0}^T Q_t \Delta t}$$

M : The total mass of pollutants over the entire event duration (g)

V : The total volume of flow over the entire event duration (m³)

t : Time (min)

C_t : The concentration of pollutant (mg/L)

Q_t : The variable flow (m³/min)

Δt : A discrete time interval (min)

TPM (total pollutant mass) (2)

$$TPM(kg/km^2) = EMCs \times V \times A$$

EMCs : Event mean concentrations (mg/L)

V : The total volume of flow over the entire event duration (m³)

A : Area (km²)

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우계급별 강우유출수의 발생특성

연구기간 동안 S경작지에서는 총 291회, 총강우량은 3084.9 mm, C경작지에서는 총 281회, 총강우량은 3934.9 mm의 강우가 발생하였다(Fig. 1). 2008년부터 2011년까지 발생한 총강우량을 연도별로 살펴보면, 2008년에는 727.0, 2009년에는 1103.3, 2010년에는 1270.0 및 2011년에는 1561.6 mm로 증가하는 경향을 보였다. 특히 2011년에는 2월에서 10월에 걸쳐 호우가 발생하여 여름에만 호우가 집중적으로 발생하였던 과거경향과는 변화가 있었다.

강우사상은 강우유출수 조사방법⁹⁾에 따라 4개 강우계급(rainfall ≤ 10 mm, 10 mm < rainfall ≤ 30 mm, 30 mm < rainfall ≤ 50 mm, 50 mm < rainfall)으로 구분하여 정리하여 Table 2에 나타내었다.

S경작지와 C경작지에서 rainfall ≤ 10 mm 강우계급의 강우발생회수는 각각 202회(69.4%)와 186회(66.2%)로 강우계급별 강우발생회수는 65%를 상회하였으나, 강우유출수는 한 번도 발생하지 않았다.

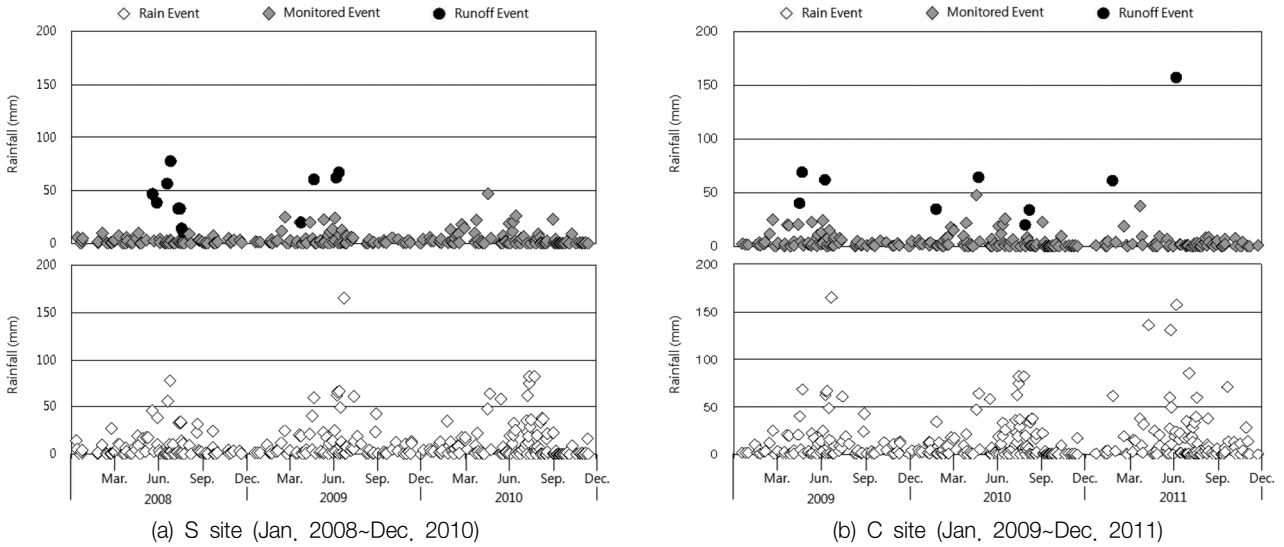


Fig. 1. Events of Rainfall, Monitored and runoff during the study period ((a) S site, (b) C site).

Table 2. Rainfall and frequency by rainfall ranges ((a) S site, (b) C site)

(a) S site

Rainfall range (mm)	Rainfall event			Monitored event		Runoff event	
	Rainfall (mm)	Freq.	Perc. (%)	Freq.	Perc. (%)	Freq.	perc. (%)
rainfall ≤ 10	441.4	202	69.4	202	100.0	0	0.0
10 < rainfall ≤ 30	963.1	58	19.9	20	34.5	3	15.0
30 < rainfall ≤ 50	643.2	17	5.8	5	29.4	4	80.0
50 < rainfall	1037.2	14	4.8	5	35.7	5	100.0
Sum,	3084.9	291	100.0	232	79.7	12	-

* Freq. : Frequency, Perc. : Percentage

(b) C site

Rainfall range (mm)	Rainfall event			Monitored event		Runoff event	
	Rainfall (mm)	Freq.	Perc. (%)	Freq.	Perc. (%)	Freq.	perc. (%)
rainfall ≤ 10	434.0	186	66.2	186	100.0	0	0
10 < rainfall ≤ 30	1134.8	57	20.3	20	35.1	1	5.0
30 < rainfall ≤ 50	692.3	18	6.4	5	27.8	3	60.0
50 < rainfall	1680.2	20	7.1	5	25.0	5	100.0
Sum,	3941.3	281	100.0	216	76.9	9	-

* Freq. : Frequency, Perc. : Percentage

선행연구결과¹⁶⁾에서 rainfall ≤ 10 mm의 강우는 유출수로 인해 지표수에 미치는 영향을 찾기 어렵고, 오염물질이 경작지 토양에 잔존·유지되는 것으로 해석된다고 보고하고 있으며, 이번 연구결과에서도 이와 같은 결과로 해석할 수 있다.

강우유출수가 발생한 강우사상의 특성을 Table 3에 나타내었으며, 강우계급별 강우유출량에 영향을 미치는 인자를 파악하고자 하였다.

S경작지에서는 10 mm < rainfall의 강우사상에 대해 Event_S1~Event_S30으로 30회 모니터링 하였으며 이 중 12회의

Event에서 강우유출수가 발생하였다. C경작지에서는 10 mm < rainfall의 강우사상에 대해 Event_C1~Event_C30으로 30회 모니터링 하였으며 이 중 9회의 Event에서 강우유출수가 발생하였다. 10 mm < rainfall ≤ 30 mm의 강우계급의 경우, S경작지와 C경작지에서 각각 20회의 모니터링을 하였는데, 강우유출수가 발생한 강우사상은 S경작지에서 3회(15%), C경작지에서 1회(5%)로 나타났다. S경작지에서 강우유출수가 발생한 강우사상은 Event_S7, Event_S8 및 Event_S12로, Event_S7은 높은 강우강도(4.34 mm/hr)와 짧은 선행무강우일수(1일)에 의해 강우유출수가 발생하였고, Event_S8에서는 강우강도(1.94 mm/hr)는 비교적 약하지만 짧은 선행무강우일수(1일)의 영향을 받아 강우유출수가 발생한 것으로 판단된다. Event_S12의 경우 19.6 mm의 강우량에서 총유출량이 0.02 m³으로 소량의 강우유출수가 발생한 강우사상이며, 3.09 mm/hr의 강우강도와 짧은 선행무강우일수(3일)의 영향을 받아 강우유출수가 발생한 것으로 해석할 수 있다. C경작지의 경우 10 mm < rainfall ≤ 30 mm의 강우계급에 해당하는 강우사상 중 총강우량 19.8 mm의 강우사상에서 1회의 강우유출수가 발생하였다(Event_C24, 총유출량 0.51 m³). Event_C24는 높은 강우강도(8.80 mm/hr)와 짧은 선행무강우일수(1일)의 영향을 받아 경작지 토양표층에 일시적인 강우의 층류가 형성되어 강우유출수가 발생하였다. 30 mm < rainfall ≤ 50 mm의 강우계급의 경우, S경작지와 C경작지에서 각각 5회의 모니터링을 수행하였으며, 그 중 강우유출수가 발생한 강우사상은 S경작지에서 4회(80%), C경작지에서 3회(60%)로 10 mm < Rainfall ≤ 30 mm의 강우계급보다 강우유출수 발생 비율이 높았다. 총강우량이 47.4 mm로 강우유출수의 발생이 기대되었던 Event_S25와 Event_C18은 긴 선행무강우일수(19일)와 낮은 강우강도(1.51 mm/hr)로 인해 강우유출수가 발생하지 않았다. 50 mm < rainfall의 강우계급의 경우, S경작지와 C경작지에서 각각 5회의 모니터링을 수행하였으며, 모든 강우사상에서 강우유출수

Table 3. Characteristics of rainfall events ((a) S site, (b) C site)
(a) S site (Event_S1~Event_S30)

Event	Date (yyyy-mm-dd)	Rainfall (mm)	R,I (mm/hr)	T,R (m ³)	A,D,D (day)
Event_S1	2008-06-18	46.0	2.21	0.16	9
Event_S2	2008-06-28	38.4	2.25	0.31	6
Event_S3	2008-07-19	55.8	4.97	2.69	6
Event_S4	2008-07-25	77.4	3.88	18.97	0.3
Event_S5	2008-08-12	32.8	5.72	5.91	2
Event_S6	2008-08-15	32.8	4.03	3.91	1
Event_S7	2008-08-18	13.8	4.34	4.15	1
Event_S8	2008-08-22	10.6	1.94	0.63	1
Event_S9	2009-03-13	12.0	1.07	0.00	7
Event_S10	2009-03-21	25.0	2.91	0.00	7
Event_S11	2009-04-20	20.4	1.78	0.00	4
Event_S12	2009-04-24	19.6	3.09	0.02	3
Event_S13	2009-05-12	20.6	3.14	0.00	7
Event_S14	2009-05-21	59.8	4.02	6.83	3
Event_S15	2009-06-09	22.6	2.38	0.00	5
Event_S16	2009-06-22	11.0	1.76	0.00	1
Event_S17	2009-06-29	13.6	4.04	0.00	6
Event_S18	2009-07-02	24.4	12.41	0.00	2
Event_S19	2009-07-07	62.0	5.95	2.92	3
Event_S20	2009-07-12	66.8	3.48	19.02	2
Event_S21	2009-07-17	13.2	2.96	0.00	0.7
Event_S22	2010-03-25	17.6	1.09	0.00	4
Event_S23	2010-03-31	14.8	1.44	0.00	5
Event_S24	2010-04-26	21.6	1.12	0.00	2
Event_S25	2010-05-17	47.4	1.51	0.00	6
Event_S26	2010-07-02	19.2	0.92	0.00	1
Event_S27	2010-07-08	11.4	3.80	0.00	4
Event_S28	2010-07-10	20.0	3.57	0.00	1
Event_S29	2010-07-16	28.6	0.92	0.00	3
Event_S30	2010-10-02	22.4	2.12	0.00	3

* Event : 10<rainfall rain, R,I : Rainfall intensity, T,R : Total runoff, A,D,D : Antecedent dry day

(b) C site (Event_C1~Event_C30)

Event	Date (yyyy-mm-dd)	Rainfall (mm)	R,I (mm/hr)	T,R (m ³)	A,D,D (day)
Event_C1	2009-03-13	12.0	1.07	0.00	7
Event_C2	2009-03-21	25.0	2.91	0.00	7
Event_C3	2009-04-20	20.4	1.78	0.00	4
Event_C4	2009-04-24	19.6	3.09	0.00	3
Event_C5	2009-05-12	20.6	3.14	0.00	7
Event_C6	2009-05-16	40.2	2.10	0.20	3
Event_C7	2009-05-21	68.6	4.57	5.88	3
Event_C8	2009-06-09	22.6	2.38	0.00	5
Event_C9	2009-06-22	11.0	1.76	0.00	1
Event_C10	2009-06-29	13.6	4.04	0.00	6
Event_C11	2009-07-02	24.4	12.41	0.00	2
Event_C12	2009-07-07	62.0	5.95	2.61	3
Event_C13	2009-07-17	15.0	2.59	0.00	0.4
Event_C14	2010-02-25	34.4	2.14	0.55	11
Event_C15	2010-03-25	17.6	6.99	0.00	4
Event_C16	2010-03-31	14.8	1.44	0.00	5
Event_C17	2010-04-26	21.6	1.12	0.00	2
Event_C18	2010-05-17	47.4	1.51	0.00	6
Event_C19	2010-05-22	63.8	1.36	0.28	2
Event_C20	2010-07-02	19.2	0.92	0.00	1
Event_C21	2010-07-08	11.4	3.80	0.00	4
Event_C22	2010-07-10	20.0	3.57	0.00	1
Event_C23	2010-07-16	28.6	0.92	0.00	3
Event_C24	2010-08-29	19.8	8.80	0.51	1
Event_C25	2010-09-06	31.8	2.92	1.73	0.3
Event_C26	2010-10-02	22.4	1.67	0.00	8
Event_C27	2011-02-27	61.2	2.60	0.27	9
Event_C28	2011-03-20	18.4	2.93	0.00	18
Event_C29	2011-04-22	37.6	2.98	0.00	10
Event_C30	2011-07-07	157.4	1.81	20.42	3

* Event : 10<rainfall rain, R,I : Rainfall intensity, T,R : Total runoff, A,D,D : Antecedent dry day

가 발생하였다. 이것으로 50 mm < rainfall 강우계급의 경우, 강우유출수가 재배작물의 특성에 영향을 받지 않고 발생한다고 판단할 수 있다.

Event_C29는 총강우량 37.6 mm, 강우강도 2.98 mm/hr로 총강우량과 강우강도 수준을 고려할 때에는 강우유출수가

발생할 것으로 예상되었으나, 작물의 성장으로 인해 강우유출수가 발생하지 않음을 시사하는 강우사상의 결과이다. 벚나무는 일년생 작물인 고구마와는 달리 약 15 m의 수고까지 지속적으로 성장하는 낙엽교목으로¹⁷⁾ 식재간격은 3.0~4.0 m로 제안하고 있으나,¹⁸⁾ 농촌진흥청의 표준재배방법에서는



(a) July, 2009



(b) July, 2010



(c) July, 2011

Fig. 2. Growth characteristics for Cherry tree by year.

식재간격에 대한 기준이 제시되어 있지 않다. C경작지의 벚나무 식재간격은 0.9 m로 3.0~4.0 m에 비해 촘촘하였으며, 벚나무의 빠른 성장특성(Fig. 2)으로 잎, 줄기 등에 의한 강우차단 비율이 증가하여 강우유출수의 발생을 억제한 것으로 Event_C29의 결과를 설명할 수 있다. 따라서 농촌지역 비점오염원 관리를 효율적으로 하기 위해서는 작물의 성장특성에 더해 재배방식도 강우유출수 발생에 영향을 미치는 중요한 요소로 작용함을 고려해야 할 것으로 판단된다.

3.2. 유기오염물질 발생특성

강우유출수가 발생한 모든 강우사상(S경작지 12회, C경작지 9회)을 대상으로 BOD₅, COD_{Mn}, TOC 등의 유기오염물질별 EMCs와 오염부하량을 분석하여 Fig. 3에 나타내었다.

S경작지 강우유출수 중의 BOD₅의 평균 EMCs는 3.80 mg/L, COD_{Mn}의 평균 EMCs는 2.07 × 10¹, TOC의 평균 EMCs는 5.42 mg/L이었고, C경작지 강우유출수 중의 BOD₅의 평균 EMCs는 4.78 mg/L, COD_{Mn}의 평균 EMCs는 2.51 × 10¹ mg/L, TOC의 평균 EMCs는 6.13 mg/L로 나타났다. S경작지에서의 오염물질별 평균 오염부하량은 BOD₅ 2.56 × 10¹ kg/km², COD_{Mn} 1.68 × 10² kg/km², TOC 3.72 × 10¹ kg/km² 이었다. C경작지에서의 오염물질별 평균 오염부하량은 BOD₅ 8.10 kg/km², COD_{Mn} 6.73 × 10¹ kg/km², TOC 2.06 × 10¹ kg/km²로 나타났다. BOD₅, COD_{Mn} 및 TOC 등 유기물질의 평균 EMCs는 S경작지의 강우유출수에서 C경작지의 강우유출수보다 낮게 나타났으나, 평균 오염부하량은 C경작지의 강우유출수보다 S경작지의 강우유출수에서 더 높았다. 이

러한 결과는 오염부하량이 유출량의 영향을 크게 받기 때문이며, 동일 재배지에서의 선행연구결과에서도 오염물질의 발생량과 유출량이 높은 상관성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다.³⁾

3.3. 토양 및 경작방법의 영향

강우유출수 발생 수준을 결정하는 강우유출물은 경작지의 토양특성과 작물의 경작방법에 따라 결정될 것으로 예측하였으므로 대상으로 한 두 경작지의 토양에 대해 조사하였다.

토양의 물리적 특성은 한국산업규격(Korean industrial standards, KS)의 흙의 입도시험방법(KS F 2302)에 따라 입도를 조사하였으며(Fig. 4), 입도분석 결과로 S경작지와 C경작지 토양입자의 균등계수(uniformity coefficient, 이후 Cu로 기술)를 산출하였다. Cu가 높을수록 세립질 및 조립질 입자가 다양하게 분포하는 것을 의미하는데 일반적으로 Cu가 10 이상이면 ‘입도분포가 좋다(well-graded)’라고 하고, 균등계수가 2보다 작으면 ‘입도분포가 나쁘다(poorly-graded)’ 또는 ‘입자크기가 균일하다(uniform soil)’고 한다.¹⁹⁾ S경작지의 Cu는 15.8로 C경작지의 Cu 4.64보다 높게 나타났다. Cu가 높은 토양은 다양한 크기의 입자가 입자 사이의 간극을 메우므로, Cu가 낮은 토양보다 투수율이 낮으며,²⁰⁾ 토양으로 침투되지 않은 강우의 유출률이 증가하게 된다. 실제로 S경작지와 C경작지의 평균 강우유출률은 각각 18.6%(평균 강우유출량 5.5 m³) 및 6.43%(평균 강우유출량 3.6 m³)로 S경작지에서 강우유출률이 높은 것으로 나타났으며, 높

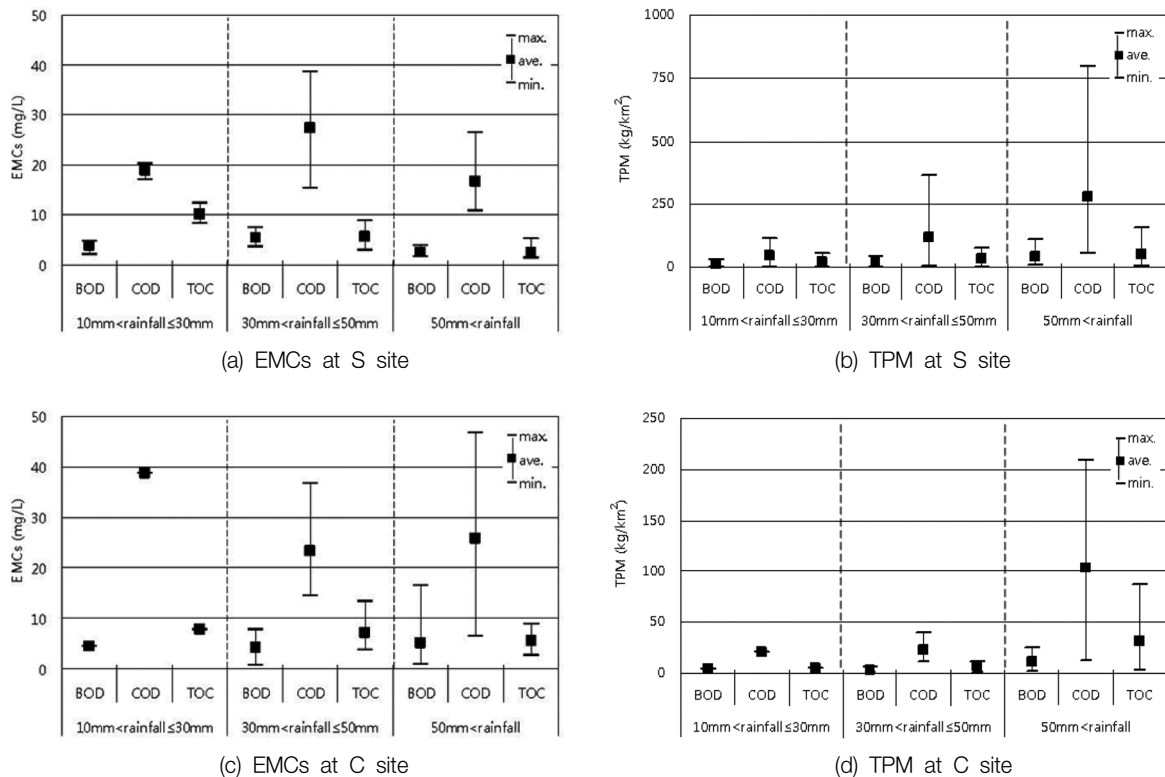


Fig. 3. EMCs and TPM caused by runoff.

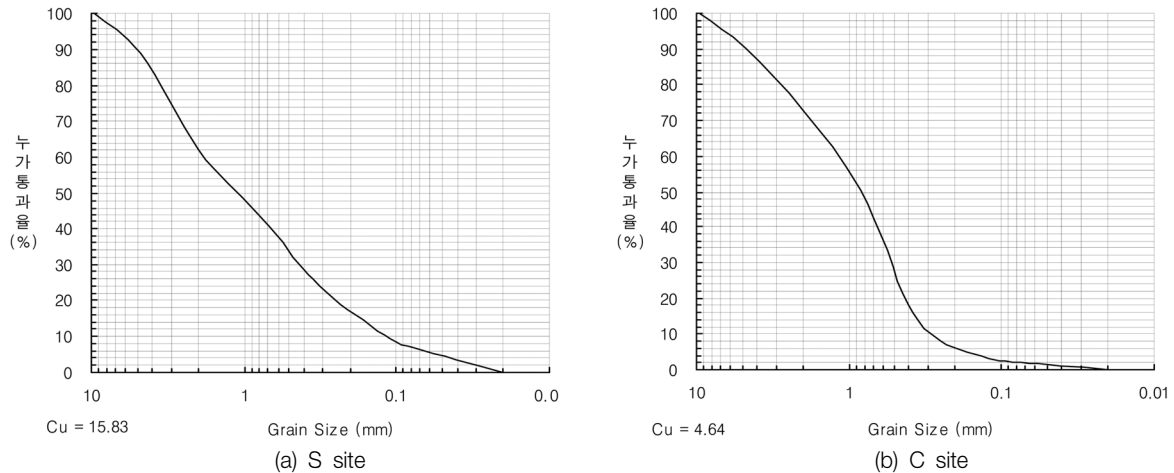


Fig. 4. Particle size distribution in soils of study areas ((a) S site, (b) C site).

은 강우유출률의 영향을 받아 S경작지에서의 오염부하량이 더 높게 나타난 것으로 판단된다.

강우유출률에 영향을 미치는 인자로 경작방법을 들 수 있는데, 비닐피복 유무로 불투수층 면적의 변화를 야기할 수 있다. 고구마표준재배법¹⁷⁾에 따르면, 고구마 경작시 보통피복(저온피해나 건조피해의 우려가 없을 때 비닐 피복 후 삼식)을 하는 것으로 되어있으며, 실제로도 비닐피복을 하여 재배하였다. 따라서 이러한 피복활동이 S경작지의 불투수층 면적을 증가시켰으며, 비닐피복이 없는 C경작지보다 불투수층 면적이 증가하여 유출수의 발생을 용이하게 하였을 것이다.

4. 결론

밭에서 발생하는 비점오염부하에 미치는 영향 요소 중, 강우량, 밭의 경사 등이 유사한 조건으로 위치하고 있으나, 경작방법이 상이한 고구마경작지와 벧나무경작지를 대상으로 3년 동안 발생한 강우사상을 모니터링 하였다. 강우유출수가 발생하였을 때, 강우유출량과 EMCs를 분석하여 TPM을 산정하였다. 강우유출수의 발생은 강우량에 가장 큰 영향을 받는다. 그러나 경험상 37.6 mm, 강우강도 2.98 mm/hr의 강우사상과 같이 강우유출수가 발생할 것으로 예측할 수 있는 경우에도 작물의 재배과정에서 성장한 작물의 영향으로 강우유출수가 발생하지 않은 강우사상도 모니터링 되었다. 이번 연구에서 산정한 오염부하량에서는 강우유출수가 발생할 것으로 예측되었으나 실제로 강우유출수가 발생하지 않은 강우사상(30 mm < rainfall ≤ 50 mm)의 결과는 포함하고 있지 않았다. 따라서 이 강우계급에서는 발생오염원이 실제 발생하는 오염부하량보다 높게 산정되는 한계를 갖고 있다. 현재 사용하고 있는 비점오염 발생부하량 산정방법에 강우강도와 선행무강우일수 등의 자료를 더해 재산정할 필요가 있다.

Reference

- Oh, Y.-T., Park, J.-C., Kim, D.-S. and Ryu, J.-K., "Pollutant Characteristics of Nonpoint Source Runoff in Okcheon Stream," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **20**(6), 657~663(2004).
- Ryu, K., Lee, G., Seong, J., Kim, D. and Park, J., "Runoff Characteristics of Non-point Pollutant Sources in an Agricultural Area Watershed," *Kor. J. Limnol.*, **44**(2), 178~186(2011).
- Kang, M., Jo, S., Choi, B., Yoon, Y. and Lee, J., "Loading Characteristics of Non-Point Source Pollutants by Rainfall-Case study with Sweet Potato Plot-," *J. Eng. Geol.*, **19**(2), 365~371(2009).
- Lee, H.-D., Ahn, J.-H., Bae, C.-H. and Kim, W.-J., "Estimation of the Unit Loading of Nonpoint Source in Paldang Watershed by Runoff Loading during the Rainfall," *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **17**(3), 313~326(2001).
- Anil A., Thomas C. P. and Kumud A., "Characterization of First Flush Phenomenon in an Urban stormwater Runoff : a Case study of Flamingo Tropicana Watershed in Las Vegas Vally," World Environmental and Water Resources Congress 2010 : Challenges of Change, ASCE, Rhode Island, pp. 3366~3375(2010).
- Kim, L.-H., "Characteristics of Litter Wastes, Observation of First Flush and Determination of Event Mean Litter Concentrations from Non-point Sources," *J. Kor. Soc. Waste Manage.*, **8**(1), 49~60(2003).
- Lee, H. and Lee, S., "Runoff Characteristics of Stormwater in Small City Urban Area," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **31**(3), 193~202(2009).
- James, D. S., Gall, B. B. and Franklin, J. A., "Water pollution aspects of street surface contaminants," *J. WPCF*, **46**, 458~467(1974).
- National Institute of Environmental Research, A Long-Term Monitoring for the Non-point source Discharge, p. 567(2009).
- Dabrowski, J. M., Murray, K., Ashton, P. J. and Leaner, J. J., "Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions," *Eco-logical Economics*, **68**, 1074~1082(2009).

11. Qadir, M., Boers, T. M., Schubert, S., Chafoor, A. and Mur-taza, G., "Agricultural water management in water-starved countries : challenges and opportunities," *Agric. Water Ma-nage.*, **62**, 165~185(2003).
12. Kim, J., Han, K. and Lee, J., "Characteristics of Agricultu-ral Non-point Source Pollutants by Rainfall Events in Rural Watersheds," *Kor. Soc. Water Environ.*, **24**(1), 69~77(2008).
13. Kim, J., Oh, S., Kim, K. and Kwon, S., "Characteristics of Pollutants Concentrations at Paddy Field Areas during Irriga-tion Periods," *Kor. Soc. Agric. Eng.*, **43**(6), 163~173(2001).
14. Yoon, Y.-S., Kwon, H.-G., Lee, J.-W., Yu, J.-J. and Lee, J.-K., "Analysis of First Flushing Effects for the Vineyard Storm Runoff," *J. Environ. Sci.*, **20**(8), 977~986(2011).
15. National Institute of Environmental Research, A Long-Term Monitoring for the Non-point source Discharge, p. 561(2010).
16. Kang, M., Choi, B. and Yu, J.-J., "Loading Characteristics of Non-Point Source Pollutants by Rainfall-Case study with Ch-erry Tree Plot-," *Kor. Soc. Eng. Geol.*, **20**(4), 401~407(2010).
17. KOREA Rural Development Administration Home Page, <http://www.rda.go.kr>, October(2013).
18. Lee, O.-H. and Lee, K.-J., "Optimal Planting Spacing on the Basis of the Growth Condition of Landscape Trees," *Kor. Soc. Environ. Ecol.*, **13**(1), 34~48(1999).
19. Kim, M. M., Soil mechanics, Munundang, Seoul, pp. 356 (1997).
20. Masch, F. E. and Denny, K. J., "Grain-size distribution and its effect on the permeability of unconsolidated sands," *Water Resour. Res.*, **2**, 665~677(1966).