The Journal of Engineering Geology, Vol.20, No.4, December, 2010, pp. 401-407

강우시 비점오염원의 오염부하 특성 - 벚나무 재배지를 대상으로 -

강미아[1]* · 최병우[1] · 유재정[2]

[1]안동대학교 환경공학과, [2]국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Loading Characteristics of Non-Point Source Pollutants by Rainfall - Case Study with Cherry Tree Plot -

Meea Kang[1]*, Byoungwoo Choi[1], and Jae-Jeong Yu[2]

[1]Department of Environmental Engineering, Andong National University

[2]Nakdong River Water Quality Research Center, National Institute of Environmental Research

농업지역에서 발생하는 오염부하량을 결정하기 위해 여러 토지이용형태 중에서 벚나무 재배지(단위 비점오염원)에서 발생하는 오염부하 특성을 조사하였다. 유출시 발생된 강우사상에서는 강우량과 유출수량의 상관계수가 0.5로 낮게 나타나 투수성을 예측할 수 없는 수준이었다. 강우량 20 mm 미만인 경우에도 강우강도가 8.8 mm/hr 수준으로 높은 경우에는 유출이 발생하였으나 강우량이 47.4 mm로 많은 경우라 할지라도 긴 무강우일수와 약한 강우강도를 보인 경우에는 유출이 발생하지 않았다. 강우사상시 발생된 유출량과 SS, BOD, COD, TN 및 TP 오염부하량과의 상관계수는 SS에서 최저값 0.71을 보인 것 이외에는 모두 $r \geq 0.92$로 매우 유의한 값을 나타냈다. 한편 SS와 다른 오염물질간의 오염부하상관성도 모두 $r \geq 0.73$으로 유의한 값을 나타내었으므로 SS관리를 통해 유기물질과 영양염에 대한 제어도 가능함을 알 수 있다. 최고 TN농도는 시비활동에 의해 직접적 영향을 받은 Event의 유출수에서 발생하였다. 따라서 농경지에서 발생하는 유출수의 오염수준을 평가할 때에는 시비여부를 반드시 고려해야 할 것이다.

주요어 : 비점오염원, 유출수, 오염부하량, 질산성질소, 질소화합물

This study was carried out to produce the characteristics of pollutant loads caused by a cherry tree plot as a nonpoint sources(NPS) unit in agricultural areas. The relationship between rainfall and runoff didn't show a good coefficient with 0.5. Despite precipitation amount was less than 20 mm, runoff occurred with 0.5 m^3 because of high rainfall intensity of 8.8 mm/hr. In contrast, runoff was not occurred when precipitation amount was 47.4 mm in one case. In that case the primal effect on runoff was not precipitation amount. Correlation between load of pollutants such as BOD, COD, TN and TP and runoff volumes showed significantly positive values which were more than $r = 0.92$ for all pollutants except SS($r = 0.71$). SS could be a proper factor for estimating pollutant loads of BOD, COD, TN and TP because of a high correlation more than $r = 0.73$ between SS load and pollutant loads of BOD, COD, TN and TP. Both Organics and nutrient pollutants could be reduced if we control SS in runoff. The highest concentration of TN was detected in the event which was affected by fertilization activities directly. Therefore fertilization must be considered as a function of impact parameters on TN load in agricultural areas.

Key words : NPS (Non-point source), runoff, load, nitrate, nitrogen compounds

*Corresponding author: wdream@andong.ac.kr

서 론

우리나라는 1998년부터 팔당호 등 한강수계 상수원수질관리 특별종합대책수립을 시작으로 낙동강, 영산강 및 금강 수계의 질적 향상과 물환경개선을 위해 노력해왔다(강미아 외, 2009; Kang et al., 2009; Kang et al., 2010). 점오염원에 의한 오염수준 저감을 달성하면서 비점오염원에 기인하는 오염물질 제어 및 관리에 대한 필요성이 강조되기 시작하였는데, 비점오염원에 대한 관리 문제는 우리나라 뿐 아니라 지구적 규모에서 주요관심분야로 연구되고 있다 (박연희 와 박석순, 2004; 이병수 외, 2008; Dillaha et al., 1989; 이치타오 등, 2008). 농업활동이 활발한 농경지역에서의 하천 및 지하수의 수질은 비점오염원에서 발생하는 유출수의 수질에 지배를 받게 되며, 계절적 지역적 편차가 매우 크고, 오염물질의 부하량을 산정하여 수계를 관리하는 것이 매우 어렵다(국립환경과학원, 2009). 따라서 농촌 경작지에서 발생하는 오염물질은 인근 하천을 오염시키는 주요 원인으로 작용하게 된다(Udawatta et al., 2006). 국립환경연구원(1997)에 따르면 비점오염원은 강우량에 비례하여 유출되므로, 강우량의 계절변동이 큰 몬순기후의 특성을 지니고 있는 우리나라에서는 비점오염원의 유출이 계절적으로 크게 변동할 수밖에 없다고 한다. 또한, 농촌지역에서의 비점오염물질의 발생은 시비량, 시비방법, 지형, 지질, 기후 등에 의해 영향을 받는 것으로 보고되고 있으나(김진호 외, 2008), 이에 대한 과학적 합리적 관리방법은 완전히 제시되지는 못한 것이 현실이다.

세계적으로 농업활동에 의해 발생하는 수질오염은 매우 중요한 관심대상이며 이를 해결하기 위한 여러 연구가 활발히 진행되고 있다(Sharpley et. al., 2001; Qadir et. al., 2003; Dabrowski et. al., 2009; Mahdi et. al, 2009). 그러나 현재까지 수행된 비점오염원에 의한 단위유역 모니터링결과는, 이를 기초로 유역을 관리할 수 있는 모형을 구축하기에는 아직까지 부족한 실정이다. 농업지역에서의 평지 밭경작지를 대상으로 모니터링 한 결과에서 보면(강미아 외, 2009; Kang et al., 2010), 농업지역 밭경작지에서 발생하는 오염부하량은 강우량 이외에 선행무강우일수와 강우강도에 의해서도 영향을 받음을 알 수 있다. 이것은 강우시 발생하는 비점오염원 오염부하량은 투수성의 토양을 대상으로 하므로 토사의 이동에 직접적 영향을 미치는 기후인자의 변화에 민감하게 반응하며 향후 지구온난화의 영향을 직접적으로 받을 것이 예상된다.

따라서 본 연구에서는 농업지역의 평지 밭경작지의 하나의 예로써 벚나무재배지를 대상으로 2009년 1월부터 2010년 10월까지 발생한 총 186회의 강우 중에서 149회의 강우사상에 대해 강우에 의해 발생하는 유출현상을 조사하고, 발생한 유출수의 물리 화학적 특성을 조사하고자 하였다. 농경지 토양 중의 토사거동을 알 수 있는 지표로 부유물질(Suspendend solids, SS), 유기오염물질 지표로 생물학적산소요구량(biological oxygen demand, BOD), BOD, 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD) 및 부영양화물질의 인자로 총질소(total nitrogen, TN)와 총인(total phosphate, TP) 등을 분석하여 비점오염발생에 미치는 기후변화인자와의 연계성을 고찰하고자 하였다.

연구방법

조사대상 단위 비점오염원에 해당하는 벚나무재배지는 N36°32′52.5″, E128°47′48.4″에 위치하며 면적 634.7 m^2, 경사도 8.3%의 특성을 나타낸다. 대상지역은 전형적인 농업지역으로 강우에 의해 발생하는 유출수의 수질은 인근 하천과 지하수의 수질에 직간접적으로 영향을 미친다(Kang et al., 2010). 연구기간은 2009년 1월부터 2010년 10월까지 강우량을 조사하고, 강우시에 발생하는 유출수의 유량 및 유출수 중의 오염물질에 대한 모니터링을 실시하였다. 강우가 발생하는 시각부터 분당강우량이 측정가능한 강우기기(Environdata weather station, Raingauge, RG 20, Australia)를 이용하여 강우량을 측정하였고, 유출이 발생하는 시각부터 분당유속기(Flo-Tote3, USA)를 이용하여 유속을 측정하였다. 단, 분당유속기를 이용할 수 없는 극소량의 유출이 발생하는 때에는 비이커에 유출수를 받아 해당시간으로 나누어 계산하였다.

유출수 시료는 채취 후 수질오염공정시험방법에 따라 SS, BOD, COD, 질소계화합물 및 TP 등의 항목을 분석하였으며, 다음식에 따라 유량가중평균농도(Event mean concentrations, EMCs)와 오염부하량(Total pollutant mass, TPM)을 계산하였다(국립환경과학원, 2009).

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t Q_t C_t dt}{\int_0^t Q_t dt} = \frac{\Sigma C_t Q_t \Delta_t}{\Sigma Q_t \Delta_t} \quad (1)$$

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

V: the total volume of flow over the entire event duration (m^3)

t: time (min)

C_t: the concentration of pollutant (mg/L)

Q_t: the variable flow (m^3/min)

Δ_t: a descrete time interval (min)

TPM (Total pollutant mass) = EMCs × V (2)

결과 및 고찰

강우 및 유출수발생 특성

조사기간 동안 벚나무재배지에 내린 강우는 총 186회로, 총강우량은 2345 mm였다. 강우계급별로 구분하면 Table 1에 나타낸 바와 같이 10 mm이하 121회, 10 mm초과 30 mm이하 42회, 30 mm초과 50 mm이하 11회, 50 mm 초과 12회로 조사되었다. 10 mm이하의 강우발생이 발생회수로 전체의 65%를 차지하지만 강우량으로는 13%에 해당하며 실제 발생되는 유출수는 없었으므로 지표수에 미치는 영향은 찾기 어려운 반면, 재배지 토양에 오염물질이 잔존·유지되는 것으로 해석할 수 있다. 각 강우계급별 발생한 강우에 대한 모니터링 비율은 10 mm이하에서는 100%, 10 mm초과 30 mm이하에서는 50%, 30 mm초과 50 mm이하에서는 36%, 50 mm 초과에서는 25%를 수행하였다.

Table 1. Rainfall occurrence vs. monitored events.

Rainfall range (mm)	Occurrence			Monitored events	
	rainfall (mm)	frequency	percentage (%)	frequency	percentage (%)
0 < rainfall ≤ 10	292	121	12.5	121	100
10 < rainfall ≤ 30	712	42	30.4	21	50.0
30 < rainfall ≤ 50	428	11	18.2	4	36.4
50 < rainfall	913	12	38.9	3	25.0
sum	2345	186	100	149	80.1

*percentage in occurrence : rainfall per rainfall levels

유출수 발생에 미치는 강우특성

조사기간 동안 벚나무재배지에서 발생한 강우사상에 대해 발생일자, 총강우량, 선행무강우일수(ADD), 강우강도 및 유출량을 Table 2에 나타내었다. 10 mm이하의 강우량은 유출수에 영향을 주지 않으므로 10 mm초과 강우량에 대한 결과를 나타내었다. 강우량은 11.0 mm~68.6 mm의 범위이며, 선행무강우일수는 0.7일에서 130일의 범위를 나타내었다. 단, 10 mm이하의 강우량을 나타낸 경우는 무

Table 2. Characteristics of monitored events.

Event	#01	#02	#03	#04	#05	#06	#07	#08	#09
Date	3/13/09	3/21/09	4/20/09	4/21/09	5/12/09	5/16/09	5/21/09	6/9/09	6/22/09
Rainfall (mm)	12.0	25.0	20.4	19.6	20.6	40.2	68.6	22.6	11.0
Antecedent dry day (day)	130	7	28	3	16	3	4	19	5
Rainfall intensity (mm/hr)	1.1	2.9	1.8	3.1	3.1	2.1	4.6	2.4	1.8
Runoff duration (hr)	0	0	0	0	0	1.4	10	0	0
Runoff volume (m^3)	0	0	0	0	0	0.200	5.99	0	0

Event	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18
Date	6/29/09	7/2/09	7/7/09	7/17/09	11/8/09	2/25/10	3/25/10	3/31/10	4/26/10
Rainfall (mm)	13.6	24.4	62.0	15.0	13.0	34.4	17.6	14.8	21.6
Antecedent dry day (day)	6	2	4	0.7	40	13	23	5	24
Rainfall intensity (mm/hr)	4.0	12	6.0	2.6	1.3	2.1	1.1	0.66	1.1
Runoff duration (hr)	0	0	3.7	0	0	5.5	0	1.2	0
Runoff volume (m^3)	0	0	2.57	0	0	0.550	0	0	0

Event	#19	#20	#21	#22	#23	#24	#25	#26	#27
Date	5/17/10	5/22/10	7/2/10	7/8/10	7/10/10	7/16/10	8/29/10	9/6/10	10/3/10
Rainfall (mm)	47.4	63.8	19.2	11.4	20.0	28.6	19.8	31.8	22.4
Antecedent dry day (day)	19	2	16	5	1	4	3	7	10
Rainfall intensity (mm/hr)	1.5	1.4	0.92	3.8	3.6	0.92	8.8	0.33	2.1
Runoff duration (hr)	0	12	0	0	0	0	1.4	0	0
Runoff volume (m^3)	0	0.280	0	0	0	0	0.510	1.73	0

강우일에 포함하였다. 한편, 강우강도는 Event#11에서 최고 12.4 mm/hr을 나타내었으나 유출수는 발생하지 않았다.

강우량, ADD 및 평균강우강도 등과 같은 기후변화에 따라 영향을 받는 강우인자들이 강우유출에 미치는 영향에 대해 Fig. 1에 정리하였다. 인근의 유사한 경작지에서 얻은 경험(강미아 외, 2009)에 따르면 강우량이 30 mm 초과할 때 유출수의 발생가능성을 나타낸 바 있으나 Event#25의 경우에는 강우량이 19.8 mm의 수준이었으나 유출수가 발생하였다. 이것은 Event#25의 경우, 평균강우강도가 8.8 mm/hr로 높은 값을 나타냈기 때문으로 해석할 수 있다. 한편, Event#19 경우에는 강우량은 47.4 mm로 강우에 의한 유출수 발생이 기대되었으나 선행무강우일수가 19일로써 매우 길어 선행무강우일수가 유출수 발생을 억제하는 요소로 작용하였고, 이로 인해 오염물질은 지하수로 이동되거나 또는 토양중에 존재하고 있을 가능성을 시사한다. Event#12과 Event#20의 경우를 비교하면, 강우량은 62.0 mm와 63.8 mm로 적은 차이를 보이지만 유출량은 2.6 m^3과 0.3 m^3으로 매우 큰 차이를 보인다. 이것은 ADD는 4일과 2일로 큰 차이를 나타내지 않는 반면 평균강우강도는 6.0 mm/hr과 1.4 mm/hr로 약 4.3배 수준의 차이가 발생하였기 때문으로 해석된다. 이것은 불투수성의 비점오염원과 달리 투수성의 비점오염원은 기후요소에 의한 영향이 유출량 발생의 지배적 요소임을 알 수 있는 근거로 강우량의 계급구분만으로 투수성 비점오염원에 의한 부하량을 산정하는 것은 부족함을 시사한다.

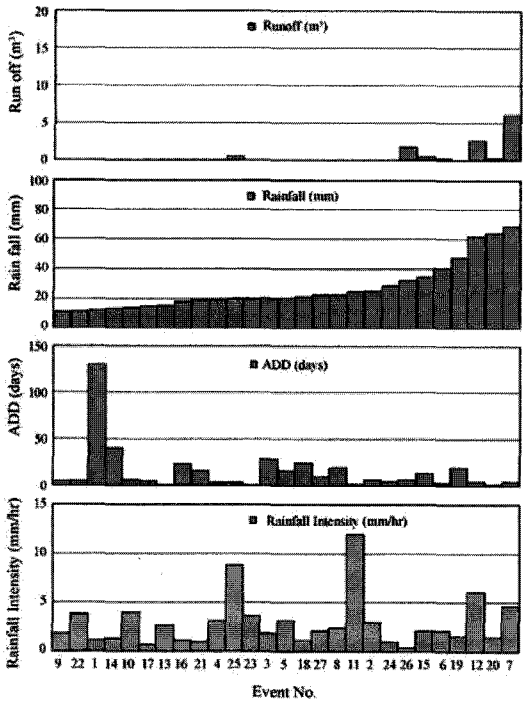


Fig. 1. Precipitation factors on runoff.

오염물질 유출특성

각 강우사상에서 얻은 유출수를 분석하여 강우사상별 EMCs(SS, BOD, COD, TN 및 TP)와 오염물질의 발생부하량에 대한 거동을 고찰하였다. 강우사상별 오염물질에 대한 EMCs에 대하여 Table 3에 나타내었다 각 오염물질별 EMCs는 SS(7.53×10 mg/L~3.43×10^3 mg/L), BOD(6.15×10^{-1} mg/L~7.69 mg/L), COD(1.45×10 mg/L~3.07×10 mg/L), TN(4.17 mg/L~2.67×10 mg/L), TP(1.135 mg/L~1.667 mg/L)의 범위로 분석되었다. 오염수준의 농도변화 거동은 SS는 10^2배, BOD(Event#26제외)와 TN은 10배, COD와 TP는 동일수준으로 조사되었다.

한편, 유출수 중의 오염물질 질량부하량은 Table 4에 나타낸 바와 같다. 강우사상별 오염부하량은 SS(2.10×10 g~1.61×10^4 g), BOD(8.97×10^{-1} g~6.08 g), COD(7.42 g~9.45×10 g), TN(2.04 g~3.87×10 g), TP(8.280 g~6.833 g)의 범위로 분석되었다. 오염수준의 농도변화거동은 SS는

Table 3. Summary of EMCs data in monitored events.

Event	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
#06	3.43×10^3	4.44	3.67×10	1.01×10	1.338
#07	2.69×10^3	1.61	1.58×10	6.47	1.141
#12	2.15×10^3	2.33	3.07×10	4.82	1.667
#15	2.17×10^2	7.69	1.87×10	1.18×10	1.412
#20	7.53×10	3.82	2.92×10	2.67×10	1.156
#25	2.58×10^2	5.18	2.66×10	4.17	1.626
#26	7.53×10	6.15×10^{-1}	1.45×10	7.82	1.135

Table 4. Summary of load data in monitored events.

Event	SS (g)	BOD (g)	COD (g)	TN (g)	TP(g)
#06	6.92×10^2	8.97×10^{-1}	7.42	2.04	2.702×10^{-1}
#07	1.61×10^4	5.99	9.45×10	3.87×10	6.833
#12	5.61×10^3	6.08	8.00×10	1.26×10	4.343
#15	1.20×10^2	4.24	1.03×10	6.50	7.791×10^{-1}
#20	2.10×10	1.07	8.13	7.45	3.220×10^{-1}
#25	1.31×10^2	2.63	1.36×10	2.12	8.280×10^{-1}
#26	1.32×10^2	1.06	2.51×10	1.35×10	1.965

10^2배이며, 다른 오염물질은 모두 10배 수준으로 나타났다.

한편, 강우유출수에 의해 발생하는 오염부하량에 미치는 영향인자로 강우량과 유출량과의 상관계수를 구하여 비교하여 Fig. 2에 나타내었다. 농업경작지의 일종인 기타재배지역(고구마재배지)에서의 강우량과 강우 유출수에 대한 조사에서는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 강우량과 유출량과의 상관성은 상관계수 0.80 수준으로 매우 유의한 관계를 나타내었다. 그러나 인근 재배지역인 이번 연구대상 지점에서는 강우량과 유출량과의 상관성은 상관계수 0.50 이하로 상당히 낮은 관련성을 나타났다. 따라서 향후 토양의 물리화학적 특성에 대한 검토가 요구된다. 강우량과 오염물질간의 상관계수도 0.70 이하의 값으로 조사되어 유효한 값으로 사용하기가 어려움을 알 수 있다. 그러나 유출량과 오염물질간이 상관성은 BOD의 상관계수 0.71이 최저값으로 나타났고 SS, COD, TN 및 TP와의 상관계수는 0.90 이상의 매우 양호한 관계를 검토한 결과, SS-BOD (r=0.73), SS-COD(r=0.91), SS-TN(r=0.94), SS-TP (r=0.95)으로 예측모형구축에 이용할 충분한 가치를 보인 것으로 판단된다.

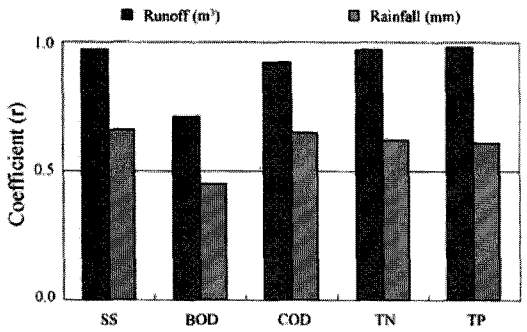


Fig. 2. Positive correlation between pollutants and runoff volume.

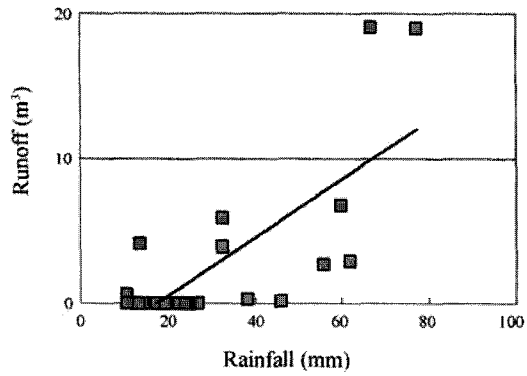
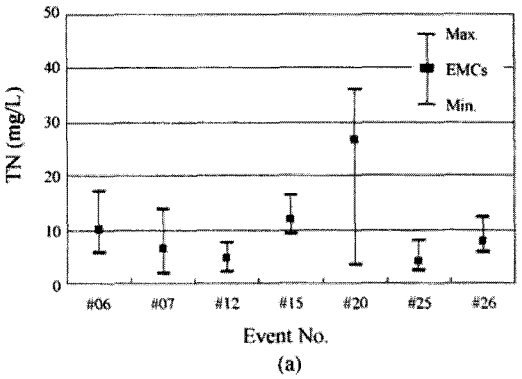


Fig. 3. Positive correlation between rainfall and runoff volume in the case of a sweet potato plot(NIER, 2009).

질소화합물 유출 특성

농업활동이 활발한 지역에서는 농작물의 생산성을 증가시키기 위해 퇴비 등의 비료를 이용한다. 토양특성과 기후 등의 요인에 따라 질소화합물의 거동은 상이하며, 이들은 주변 수자원의 질적 저하를 야기하기도 한다. 특히 농경지로부터의 강우 유출수 중의 질소성분 중에서는 질산성질소가 이동성이 큰 것으로 보고되고 있다(이치타오 등, 2008; Kang et. al., 2009). 질산성질소는 농업지역의 지하수자원을 오염시키는 주요 원인으로 알려져 있으며, 제거를 위해서는 비교적 높은 경제 부담을 해야 한다(강미아 등, 2009).

유출이 발생한 강우사상에서 얻은 TN의 농도를 최고/EMC/최소값으로 구분하여 Fig. 4(a)에 나타내었다. 검출된 최고 TN은 Event#20에서 나타났으며 36.0 mg/L였다. 또한 Event#20의 경우에는 TN이 최고 36.0 mg/L, EMC 26.7 mg/L, 최저 3.38 mg/L로 나타나 최고값과 최저값의 차이가 가장 많이 났는데 이것은 강우강도의 영향에 기인한 것으로 해석할 수 있다. Event#20에서 발생한 TN 오염부하량은 무기질소화합물이 전체의 88.9%를 차지하고



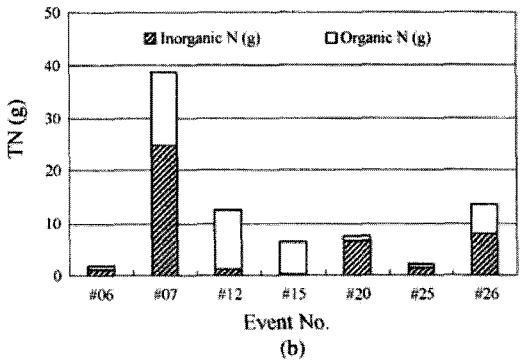


Fig. 4. Nitrogen compounds (a) and Inorganic and organic nitrogen (b) for monitored events.

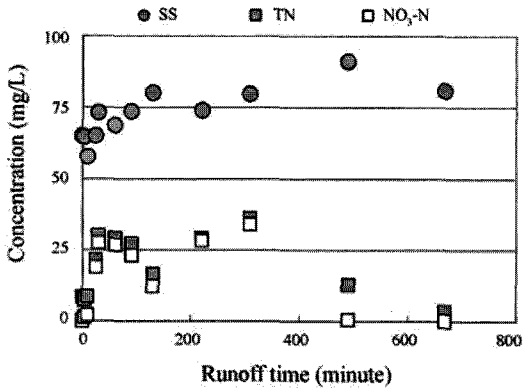


Fig. 5. Concentration change of pollutant such as SS, TN and NO_3-N with accumulated runoff time.

있으며 이는 질소비료의 살포에 의한 영향임을 추측할 수 있다(Fig. 4(b)).

한편 Event#07의 경우에는 검출된 TN의 농도는 최고 13.7 mg/L로 다른 강우사상과 비교할 때 높은 수준은 아니었으나 오염부하량은 38.7 g으로 가장 높은 값을 나타내었다. 이것은 강우량 68.6 mm, 강우강도 4.6 mm/hr로 총유출량이 5.99 m^3으로 높은 값을 나타낸 것에 기인한다.

Event#20을 대상으로 유출수 중의 SS농도와 질소계 성분의 농도를 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. Event#20의 경우, 유출된 질소계성분의 초기 농도변화는 초기 SS농도 변화와 유사하게 나타났다. 이것은 토양에 흡착되어 있던 비료 중 질소화합물이 SS성분과 함께 유출된 것으로 보이며, 질소계화학비료를 살포한 4일 뒤에 발생한 강우사상인 Event#20의 특성을 잘 나타내고 있다. 따라서 농경지로부터 발생하는 강우 유출수에 의한 오염부하량을 조사할 때에는 시비여부를 반드시 고려하여야 함을 알 수 있다. 한편, 토양에 포함되어 있는 질산성질소는 강우에 의해 유출이 되지 않는다 하더라도 지하로 침투되므로 농업지역에서 수도용으로 사용하고 있는 지하수의 수질을 악화시키고 건강안전에도 악영향을 미칠 것이다. 따라서 질소계 비료의 사용에 대한 근본적인 해결방안이 마련되지 않는다면, 유출수에 의한 질소화합물의 오염부하량 예측은 한계가 매우 클 것으로 예상된다.

결 론

비점오염원은 오염원의 원인을 규명하기도 어려운 일이지만, 원인을 파악한 후 오염원관리를 하는 것은 더욱 어려운 대상이다. 점오염원에 대한 적극적, 포괄적 대처로 지금까지의 오염부하를 저감해왔으나 이제부터의 물환경의 질적 향상은 비점오염원의 관리의 적정성과 효율성에 의존한다는 사실에는 이견이 없다.

강우 발생회수에 대한 모니터링 회수비율은 전체 80.1%로 높은 수준이나 환경부에서 수행하고 있는 "비점오염원 장기모니터링"에서 이용하고 있는 강우계급 중에서는 30 mm < 강우량 ≤ 50 mm(36.4%), 50 mm < 강우량(25.0%)로 낮은 수준이므로 지속적인 모니터링이 요구된다. 강우량 20 mm이하의 강우사상에서는 평균 강우강도가 유출수 발생에 매우 중요한 인자로 작용된다. 또한 약 50 mm의 강우량을 보이는 강우사상에서는 평균 강우강도 뿐만 아니라 ADD도 중요한 인자로 작용된다. 이로부터 강우량을 계급별로 구분하여 유출율을 계산하는 오염부하량 산정은 한계가 매우 크다는 것을 증명할 수 있었다.

유출수 중의 오염물질 농도변화는 SS의 경우 10^2배의 수준으로 변화한 반면, 다른 오염물질은 10배 수준으로 나타났으며 SS 부하량과 BOD, COD, TN 및 TP와의 상관관계는 0.7 이상의 유의한 값으로 조사되었다. 따라서 SS와 같은 토사 유출 등에 대한 관리를 통해 유출수 중의 오염수준을 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 한편 유출수의 수질특성 중 질소계 화합물의 검출은 시비시기에 따라 질산성질소를 포함한 TN의 농도변화가 결정됨을 알 수 있었으며, 이후의 시비시기 조정 등의 시행으로 투수성의 비점오염원에 의한 오염부하량을 저감할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 벚나무 재배지를 대상으로 하였으나, 한국의 밭 이용 특성을 보면 현재 다른 작물을 재배하는 경우라 하더라도 수년 내에 벚나무 묘포 등과 같은 작물을 재배할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서 얻은 자료는 비점오염원 중에서 밭경작과 기타재배경작으로 분류되는 비점오염원 관리를 위한 자료로 유효할 것이다.

사 사

이 연구는 낙동강수계관리위원회 환경기초조사사업(4년차 주요 비점오염원 유출 장기모니터링)의 지원을 받아 수행하였음.

참고문헌

강미아, 조수현, 최병우, 윤영삼, 이재관, 2009, 강우시 비점오염원의 오염부하특성-고구마 재배지를 대상으로-, 지질공학회지, 19(3), 365-371.

국립환경연구원, 1997, 하천 · 호수의 수질보전과 유역관리에 관한 한 · 일 공동세미나, 50p.

국립환경과학원, 2009, 주요 비점오염원 유출 장기모니터링(3년차보고서), 735p.
김진호, 한국헌, 이종식, 2008, 농촌유역의 강우사상별 농업비점원오염물질 유출특성, 한국 물환경학회지, 24(1), 69-77.
박연희, 박석순, 2004, 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구, 대한환경공학회지, 26(10), 1070-1078.
이병수, 정용준, 박무종, 길경익, 2008, 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 24(2), 169-173.
이치타오, 허진규, 김영철, 2008, 농촌지역에서 유출시간에 따른 비점오염물질의 유출평가, 한국물환경학회지, 24(6), 773-783.
Dabrowski, J. M., Murray, K., Ashton, P. J. and Leaner, J. J., 2009, Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions, Ecological Economics, 68, 1074-1082.
Dillaha, T. A., Reneau, R. B., Mostaghimi, S. and Lee, D., 1989, Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control, American Society of Agricultural Engineers, 32(2), 513-519.
Gheysari, M., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Asadi, M. E. and Hoogenboom, G., 2009, Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates, Agricultural Water Management, 96, 946-954.
Kang, M., Jo, S.-H., Choi, B. and Lee, J.-K., 2009, Nitrate management from non-point source(Case study : Sweet potato plot), Conference on World City Water Forum 2009, 223p.
Kang, M., Jeong, G.-C. and Lee, J.-K., 2010, Nutrient diffusion caused by runoff in the case of a sweet potato plot, 14th International Conference, IWA Diffuse Pollution Specialist Group, Proceeding, 97-99.
Qadir, M., Boers, T. M., Schubert, S., Ghafoor, A. and Murtaza, G., 2003, Agricultural water management in water-starved countries:challenges and opportunities, Agricultural Water Management, 62, 165-185.
Sharpley, A. N., McDowell, R. W. and Kleinman, P. J., 2001, Phosphorous loss from land to water : intergrating agricultural and environmental management, Plant Soil, 237, 287-307.
Udawatta, R. P., Motavalli, P. P., Garrett, H. E. and Krstansky, J. J., 2006, Nitrogen loss in runoff from three adjacent agricultural watershed with claypan soils, Agri. Ecosyst. Environ., 117, 39-48.

2010년 11월 2일 원고접수, 2010년 12월 10일 게재승인

강미아
안동대학교 환경공학과
경북 안동시 송천동 388
TEL: 054-820-6267
FAX: 054-820-6267
E-mail: wdream@andong.ac.kr

최병우
안동대학교 환경공학과
경북 안동시 송천동 388
TEL: 054-820-6267
FAX: 054-820-6267
E-mail: luki21@hanmail.net

유재정
국립환경과학원 낙동강물환경연구소
경북 고령군 다산면 평리 239-3
TEL: 054-950-9701
FAX: 054-956-9707
E-mail: youjj@korea.kr