

평지밭과 고랭지밭의 비점오염에 대한 분석과 비교

최용훈·원철희^{*}·서지연·신민환^{**}·양희정^{***}·임경재·최중대[†]

강원대학교 지역건설공학과

^{*}강원대학교 환경연구소

^{**}국립환경과학원 금강물환경연구소

^{***}국립환경과학원 한강물환경연구소

Analysis and Comparison about NPS of Plane Field and Alpine Field

Yong-hun Choi · Chul-hee Won^{*} · Ji-yeon Seo · Min-Hwan Shin^{**} · Hee-jeong Yang^{***} ·
Kyoung-jae Lim · Joong-dae Choi[†]

Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

^{}Institute of Environmental Research, Kangwon National University*

*^{**}Geum River Environment Research Center, National Institute of Environment Research*

*^{***}Han River Environment Research Center, National Institute of Environment Research*

(Received 30 March 2009, Revised 7 July 2009, Accepted 28 July 2009)

Abstract

A plane field and a sloped field located at low-land plane and alpine areas, respectively, were monitored with respect to runoff, water quality and fertilizer uses from March to December, 2008. Runoff volume and Non-Point Source (NPS) loads were estimated and analyzed with respect to fertilizer uses. Total TN and TP loads from the sloped field were higher than those from plane field because of larger chemical uses in the alpine field than in the plane field. Organic matter load from plane field was higher than that from sloped field because more organic compost was applied to plane field than to sloped field. Event Mean Concentration (EMC) of measured water quality indices were relatively higher in both fields. Organic matter load per 1 mm rainfall were higher in plane field and TN and TP loads per 1 mm rainfall were higher in sloped field than those in respective comparing field. It was concluded that the type and application method of fertilizer could play an important role in the estimation of NPS pollution loads and the development of Best Management Practices (BMPs). However, it was recommended that long-term monitoring is necessary to better describe the relationship between fertilizer uses and water quality from agricultural fields because numerous natural and management factors other than fertilizer also affect runoff quality.

keywords : Event Mean Concentration (EMC), Non-Point Source (NPS), Pollutant load, Rainfall, Runoff, Water quality

1. 서론

2004년 환경부는 도시, 산업단지, 농촌, 산지 등 다양한 토지이용으로부터 배출되는 비점오염을 적절히 관리하기 위해 “4대강 비점오염원 관리 종합 대책”을 수립하였다. 환경부는 국내 강우패턴 및 토지이용 특성에 적합한 비점 오염 저감시설을 개발하고자 2004년부터 4대강 수계에 다양한 비점오염 저감시설을 설치하고 각 시설의 효과와 유지관리 방법을 연구하였다. 또한 2007년에는 소양호, 도암호, 임하호, 광주광역시를 비점오염원(탁수) 관리지역으로 지정하고 관리대책을 수립하여 탁수(흙탕물) 관리를 위한 제도를 마련하였다(환경부, 2008).

주요 비점오염원 중 농업 비점오염은 외국과 달리 큰 침식물보다는 집약적 농업에 의한 과다한 비료사용 등에 의한

영양물질이 문제가 된다. 더욱이 농촌지역에서의 비점오염은 오염 배출 특성에 대한 파악이 어렵고, 매우 불규칙하게 발생한다. 또한 농경지의 토지관리방법, 지역환경 조건 등에 의한 영향도 크다(김진호 등, 2008; 신은성 등, 2001). 농경지의 영양염류는 하천과 지하수 오염의 주요 원인이다. 강우시 농경지에서 발생하는 유출은 적절한 처리시설이 없기 때문에 하천의 오염을 가중시킨다. 하천의 영양염류 농도가 높으면 부영양화를 일으킨다. 또한 지하수로 유입된 영양염류는 처리가 어려우며 장기화된다. 따라서 농업 비점오염의 관리는 매우 중요하다(정중배 등, 1999).

정중배 등(2000)은 과수원에서 강우시 발생하는 지표유출수의 질소와 인을 측정하여 시비 시기와 토양내 잔류량은 영양염류의 농도와 유출량과 밀접한 관계가 있다고 하였다. 이병수 등(2008)은 경안천 유역 농업지역의 비점오염원 배출 특성을 연구하여 농경지의 비점오염은 유역특성, 강우특성, 유량특성 등에 많은 영향을 받는다고 하였다.

강원도는 산이 많아 대부분의 농경지가 경사지에 위치하

[†] To whom correspondence should be addressed.
jdchoi@kangwon.ac.kr

고 있다. 대관령을 중심으로 발달한 고랭지밭에서는 감자 등 고랭지 채소의 재배가 성행하고 있다. 고랭지밭은 환경적 영향에 의하여 토양 유실이 발생하기 쉬운 조건에 있다. 또한 토양과 함께 유실되는 각종 영양물질들은 농경지의 지력 손실과 주변 수계로 유입되어 환경오염을 일으키는 주원인이 된다(정상영, 1999).

주진호 등(2007)은 낙동강 상류에 위치한 고랭지 농업 지대의 수질 특성을 조사하여 상류에서 하류로 갈수록 비영농기보다 영농기에 하천의 총 질소가 높아지며, 밭의 오염부하가 산림에 비해 매우 높다고 보고하였다. 정성민 등(2006)은 소양강댐 상류의 내린천 유역을 대상으로 고랭지밭의 오염물질 유출 특성을 조사하였다. 고랭지밭이 하천의 수질에 큰 영향을 주며, 비점오염을 저감하기 위해서는 고랭지밭을 집중적으로 연구할 필요가 있다고 하였다.

따라서 농경지로부터 영양염류의 유실을 줄이기 위해서는 영농방법의 개선과 강우 유출수의 양을 줄이기 위한 농경지 관리체계의 구축이 필요하다. 또한 다양한 형태의 농경지에서 장기 모니터링을 통한 비점오염 배출 특성과 크기를 확인하고 Best Management Practices(BMPs)를 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 강원도 춘천시의 평지밭과 강원도 평창군의 고랭지밭에서 강우시 발생하는 강우 유출수와 수질농도를 측정하여 유출 특성과 오염부하 그리고 Event Mean Concentration(EMC)을 계산하고, 시비의 종류와 사용량에 관련하여 분석하고 비교하였다.

2. 연구방법

2.1. 조사지점

평지밭과 고랭지밭의 모니터링 위치와 집수구역형상은 Fig. 1에 나타났다. 평지밭은 강원도 춘천시 신북읍 유포리에 위치하고 있다. 평지밭의 집수구역 면적은 12,476.5 m²이고, 평균 경사도는 1.7%이며, 토지이용형태는 밭(100%)으로 이루어져 있다. 고랭지밭은 강원도 평창군 대관령면 횡계2리에 위치하고 있다. 고랭지밭의 집수구역 면적은 16,998.7 m²이고, 경사도는 밭의 위치에 따라 10%와 23%로 구분할 수 있으며, 토지이용형태는 밭(12,948.2 m², 76.2%), 산림(4,050.5 m², 23.8%)으로 이루어져 있다.

집수면적은 고랭지밭이 평지밭보다 4522.2 m²(36.25%)이 더 큰 것으로 조사되었다. 하지만 고랭지밭 집수면적의 23.8%를 차지하는 산림지역의 강우 유출수는 고랭지밭의 전체 유출량에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 현장조사 결과 나타났다. 따라서 평지밭과 고랭지밭의 배수면적은 큰 차이가 없는 것으로 간주할 수 있다.

2.2. 평지밭과 고랭지밭의 영농방법

평지밭은 배추를 재배하였다. 배추는 높은 이랑과 고랑을 만들고 비닐 멀칭 재배를 하였다. 배추는 4월 18일에 파종하여 6월 27일에서 30일까지 수확을 하였다. 배추재배에는 발효퇴비(질소: 0.018 ton/ton, 인산: 0.032 ton/ton, 칼륨: 0.016 ton/ton)와 배추 전용 복합비료(질소: 0.11 ton/ton, 인산: 0.09 ton/ton, 칼륨: 0.11 ton/ton, 고토: 0.03 ton/ton, 붕소 0.002 ton/ton)를 사용하였다. 발효퇴비를 12,476.5 m²의 면적에 1,000포(각 20 kg, 합계 20,000 kg)를 사용하였다. 이는 질소 360 kg(288.5 kg/ha), 인산 640 kg(513.0 kg/ha), 칼륨 320 kg(256.5 kg/ha)에 해당한다. 배추 전용 복합비료를 12,476.5 m²의 면적에 80포(각 20 kg, 합계 1,600 kg)를 사용하였다. 이는 질소 176 kg(141.1 kg/ha), 인산 144 kg(115.4 kg/ha), 칼륨 176 kg(141.1 kg/ha), 고토 48 kg(38.5 kg/ha), 붕소 3.2 kg(2.6 kg/ha)에 해당한다. 배추수확이 끝난 후 7월 20일에는 도라지를 파종하였다. 도라지 재배는 이랑과 고랑이 거의 없는 경운 방법을 사용하였다. 도라지는 2009년 가을에 수확할 예정이다. 도라지 재배에는 발효퇴비(질소: 0.018 ton/ton, 인산: 0.032 ton/ton, 칼륨: 0.016 ton/ton)만 사용하였다. 발효퇴비 500포(각 20 kg, 합계 10,000 kg)를 12,476.5 m²의 면적에 사용하였다. 이는 질소 180 kg(144.3 kg/ha), 인산 320 kg(256.5 kg/ha), 칼륨 160 kg(128.2 kg/ha)에 해당한다. 평지밭의 영양성분 총량은 질소 573.9 kg/ha와 인산 884.9 kg/ha 그리고 칼륨 525.8 kg/ha이다.

고랭지밭에서는 감자를 재배하였다. 등고선 경작으로 감자를 재배하였으며, 비닐 멀칭은 사용하지 않았다. 감자의 수확은 9월 초에 실시하였다. 감자재배에는 유기질비료(질소: 0.04 ton/ton, 인산: 0.017 ton/ton, 칼륨: 0.013 ton/ton)와 감자 전용 복합비료(질소: 0.015 ton/ton, 인산: 0.018 ton/ton, 칼륨: 0.012 ton/ton)를 사용하였다. 유기질비료를

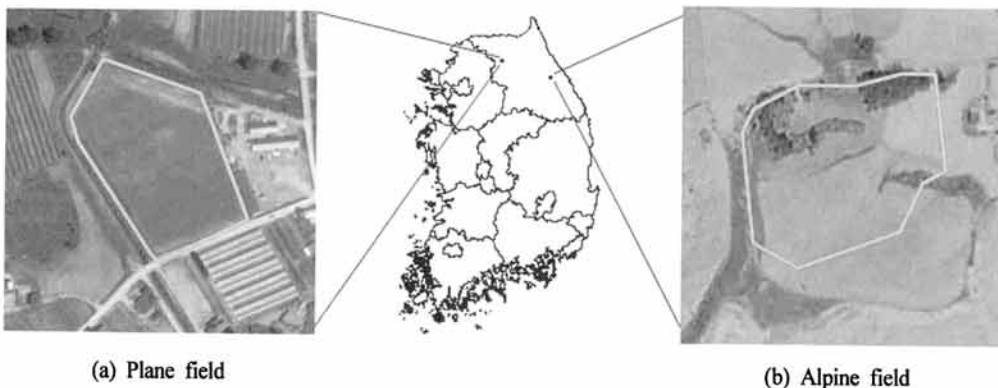


Fig. 1. Location and drainage area of plane field and alpine field.

12,948.2 m²의 면적에 360포(각 20 kg, 합계 7,200 kg)를 사용하였다. 이는 질소 288 kg(222.4 kg/ha), 인산 122.4 kg(94.5 kg/ha), 칼륨 93.6 kg(72.3 kg/ha)에 해당한다. 감자 전용 복합비료를 12,948.2 m²의 면적에 100포(각 20 kg, 합계 2,000 kg)를 사용하였다. 이는 질소 300 kg(231.7 kg/ha), 인산 360 kg(278.0 kg/ha) 그리고 칼륨 240 kg(185.4 kg/ha)에 해당한다. 고랭지밭에서의 영양성분 총량은 질소 288.5 kg/ha와 인산 513.0 kg/ha 그리고 칼륨 256.5 kg/ha이다.

시비된 영양성분의 총량은 고랭지밭보다 평지밭에서 더 많았다. 시비의 종류에 의한 분류에서는 평지밭에서는 퇴비의 사용이, 고랭지밭에서는 화학비료의 사용이 많았다. 퇴비와 화학비료는 강우유출수와 함께 배출되기 때문에 퇴비와 화학비료의 사용량은 오염부하와 관계가 있을 것으로 판단된다. 따라서 평지밭과 고랭지밭의 퇴비와 화학비료의 사용량이 오염부하와 EMC에 미치는 영향을 분석하였다.

2.3. 강우유출수 조사분석 방법

2008년 3월부터 12월까지의 강우사상에 대해 유출이 발생하는 경우에만 모니터링을 수행하였다. 평지밭의 모니터링 횟수는 7회(11일)였으며, 고랭지밭의 모니터링 횟수는 5회(9일)였다. 유출량의 측정은 수위와 유속 혹은 수위와 유량을 동시에 측정하여 수위-유량 곡선을 유도하였다. 수위는 최종유출부에 부자식 자동 수위계를 설치하여 1분 간격으로 측정하였다. 측정된 수위는 수위-유량 곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다. 평지밭의 강우량 측정은 밭으로부터 2.4 km 떨어진 지점에 설치된 자기우량계의 자료를 이용하였고, 고랭지밭은 모니터링 지점에 설치된 자기우량계의 자료를 사용하였다. 수질시료는 수위를 고려하여 유출이 시작될 때부터 유출이 종료할 때까지 30분 내지 1시간의 간격으로 채취하였다. 수질시료의 분석항목은 SS, COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅, TOC, TN, TP 등을 Standard Methods(APHA et al., 1995)와 수질오염 공정시험법(환경부, 2001)에 따라 분석하였다. 강우량과 강우강도 그리고 선행무강우일수와

유출률의 Pearson 상관관계분석을 통하여 강우량과 강우강도 그리고 선행무강우일수가 유출률에 미치는 영향을 통계적으로 분석하였다. 상관관계분석은 두 변수 사이에 어떠한 관계가 존재하는지를 상관관계의 정도로 측정해주는 피어슨(Pearson) R계수를 통하여 상관성의 존재 유무와 정도를 파악하는 방법으로 변수의 속성에 관계없이 분석할 수 있다. EMC는 유출 지속시간동안 유출된 오염부하를 총유출로 나누어 구했으며, 강우계급별 단위면적당 배출부하의 비교를 통하여 평지밭과 고랭지밭의 비점오염부하 특성을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우량 및 유출량 조사결과

모니터링한 밭의 유출은 6월말부터 9월초사이엔 주로 발생하였다. 그 외의 시기에도 강우는 있었으나 유출은 발생하지 않았다. Table 1에는 평지밭과 고랭지밭의 모니터링을 실시한 강우사상에 대한 분석을 나타냈다. 유출이 발생한 강우사상당 강우량은 평지밭에서 40.4~239.4 mm, 고랭지밭에서 24.8~267.8 mm를 기록하였다. 유출률의 범위는 평지밭에서 0.05~0.25, 고랭지밭에서 0.03~0.43으로 나타났다.

평지밭에서 기록된 최대 강우량은 239.4 mm로 2008년 7월 24일~25일의 강우사상이다. 이 강우사상의 선행무강우일수는 2.7일, 평균 강우강도는 5.7 mm/h, 최대 강우강도는 36.6 mm/h, 강우지속시간은 42시간이고, 유출심은 51.3 mm, 유출율은 0.21로 산정되었다. 고랭지밭에서 기록된 최대 강우량은 267.8 mm로 2008년 7월 23일~26일의 강우사상이다. 이 강우사상의 선행무강우일수는 2.8일, 평균 강우강도는 4.0 mm/h, 최대 강우강도는 27.2 mm/h, 강우지속시간은 65.8시간이고, 유출심은 93.9 mm, 유출율은 0.35로 산정되었다.

평지밭의 7회 강우사상동안 발생한 총 강우량은 608.8 mm이며, 총 유출심은 111.4 mm이고, 총 유출율은 0.18이다.

Table 1. Analysis of rainfall and runoff

Site	Event		Rainfall (mm)	Antecedent dry day (day)	Rainfall intensity (mm/h)		Duration (h)	Runoff depth (mm)	Runoff ratio
					Avg.	Max.			
Plane field	1st	'08.07.24~25	239.4	2.7	5.7	36.6	42.0	51.3	0.21
	2nd	'08.07.26~27	57.4	0.3	2.6	14.2	22.5	7.7	0.13
	3th	'08.07.30	40.4	2.9	11.5	20.4	3.5	6.0	0.15
	4th	'08.08.02~03	69.2	2.5	2.5	17.4	27.8	13.2	0.19
	5th	'08.08.18	56.6	1.9	4.5	17.4	20.6	14.8	0.25
	6th	'08.08.22~23	86.0	3.3	3.0	9.8	28.1	15.3	0.18
	7th	'08.09.01~02	59.8	8.7	2.1	5.4	28.3	3.1	0.05
	All event		608.8	-	3.5	36.6	172.8	111.4	0.18
Alpine field	1st	'08.06.18	24.8	3.0	1.6	5.6	16.0	0.8	0.03
	2nd	'08.06.28~29	27.8	5.7	1.3	9.0	22.0	5.8	0.21
	3th	'08.07.19~20	53.2	2.4	2.4	10.4	25.8	7.0	0.13
	4th	'08.07.23~26	267.8	2.8	4.0	27.2	65.8	93.9	0.35
	5th	'08.08.22~23	50.4	1.6	1.9	5.2	26.9	21.5	0.43
	All event		424	-	2.7	27.2	156.5	129.0	0.30

고랭지밭의 5회 강우사상동안 발생한 총 강우량은 424.0 mm이며, 총 유출량은 129.0 mm이고, 총 유출율은 0.30이다. 고랭지밭의 강우는 평지밭에 비해 184.8 mm 적어지만, 유출량은 17.6 mm, 유출율은 60% 더 발생하였다. 고랭지밭이 평지밭에 비해 밭의 경사가 급하기 때문에 적은 강우에도 더 많은 유출이 발생한 것으로 판단된다.

유출율은 집수구역의 수리, 수문, 지형, 지질학적 특성 등 여러 요인에 의하여 변화할 수 있다(안재환, 2000). 어느 한 강우사상의 강우량과 강우강도 그리고 선행무강우일수는 유출량의 크기에 큰 영향을 준다(이현동 등, 2001). Fig. 2에는 강우량, 선행무강우일수, 강우강도와 유출율의 관계를 나타냈다. 유출율은 강우량과 강우강도가 증가할수록 선행무강우일수가 감소할수록 증가하는 경향은 있지만 뚜렷한 특징을 보이지는 않았다. 유출율과 강우량, 선행무강우일수, 평균강우강도, 최대강우강도의 Pearson 상관관계는 각각 0.39600, -0.36887, 0.01667, 0.25556으로 나타났으며, 유의수준 0.05에서 모두 유의성이 없으므로 통계적으로 큰 의미를 갖지 못했다. 따라서 장기 모니터링을 통한 더 많은 자료의 수집과 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

3.2. 강우사상별 오염부하

평지밭의 7회와 고랭지밭의 5회의 강우사상에서 발생한 오염부하는 Fig. 3에 나타났다. 평지밭의 첫 번째 강우유출

사상에서 가장 많은 오염부하가 발생하였다. 첫 번째 강우유출사상의 오염부하는 SS 989.90 kg/ha, COD_{Cr} 110.67 kg/ha, COD_{Mn} 66.81 kg/ha, BOD₅ 47.52 kg/ha, TOC 22.64 kg/ha, TP 3.22 kg/ha, TN 0.71 kg/ha으로 나타났다. 고랭지밭은 네 번째 강우유출사상에서 가장 많은 오염부하가 발생하였다. 네 번째 강우사상의 오염부하는 SS 2,245.00 kg/ha, COD_{Cr} 178.98 kg/ha, COD_{Mn} 57.95 kg/ha, BOD₅ 43.89 kg/ha, TOC 11.91 kg/ha, TP 7.35 kg/ha, TN 8.64 kg/ha으로 나타났다.

평지밭과 고랭지밭의 면적은 12.5 ha와 13.0 ha, 유출량은 111.4 mm와 129.0 mm로 큰 차이가 없다. 하지만 발생한 오염부하의 총량은 퇴비와 화학비료의 사용량에 의해 차이가 있는 것으로 나타났다. 평지밭에서 발생한 오염부하의 총량은 SS 1,371.50 kg/ha, COD_{Cr} 172.04 kg/ha, COD_{Mn} 99.88 kg/ha, BOD₅ 69.52 kg/ha, TOC 33.18 kg/ha, TP 6.25 kg/ha, TN 2.57 kg/ha으로 나타났다. 그리고 고랭지밭에서 발생한 오염부하의 총량은 SS 2,940.52 kg/ha, COD_{Cr} 205.76 kg/ha, COD_{Mn} 68.63 kg/ha, BOD₅ 51.19 kg/ha, TOC 15.03 kg/ha, TP 10.06 kg/ha, TN 13.43 kg/ha으로 나타났다. 고랭지밭은 평지밭보다 SS 114.40%, COD_{Cr} 19.60%, TP 60.91%, TN 422.57%의 오염부하가 더 발생하였고, COD_{Mn} 31.29%, BOD₅ 26.37%, TOC 54.70%의 오염부하가 적게 발생하였다. 고랭지밭은 화학비료 사용량이 많았기 때문에 TN과 TP의 총오염부하가 높은 것으로 판단되며,

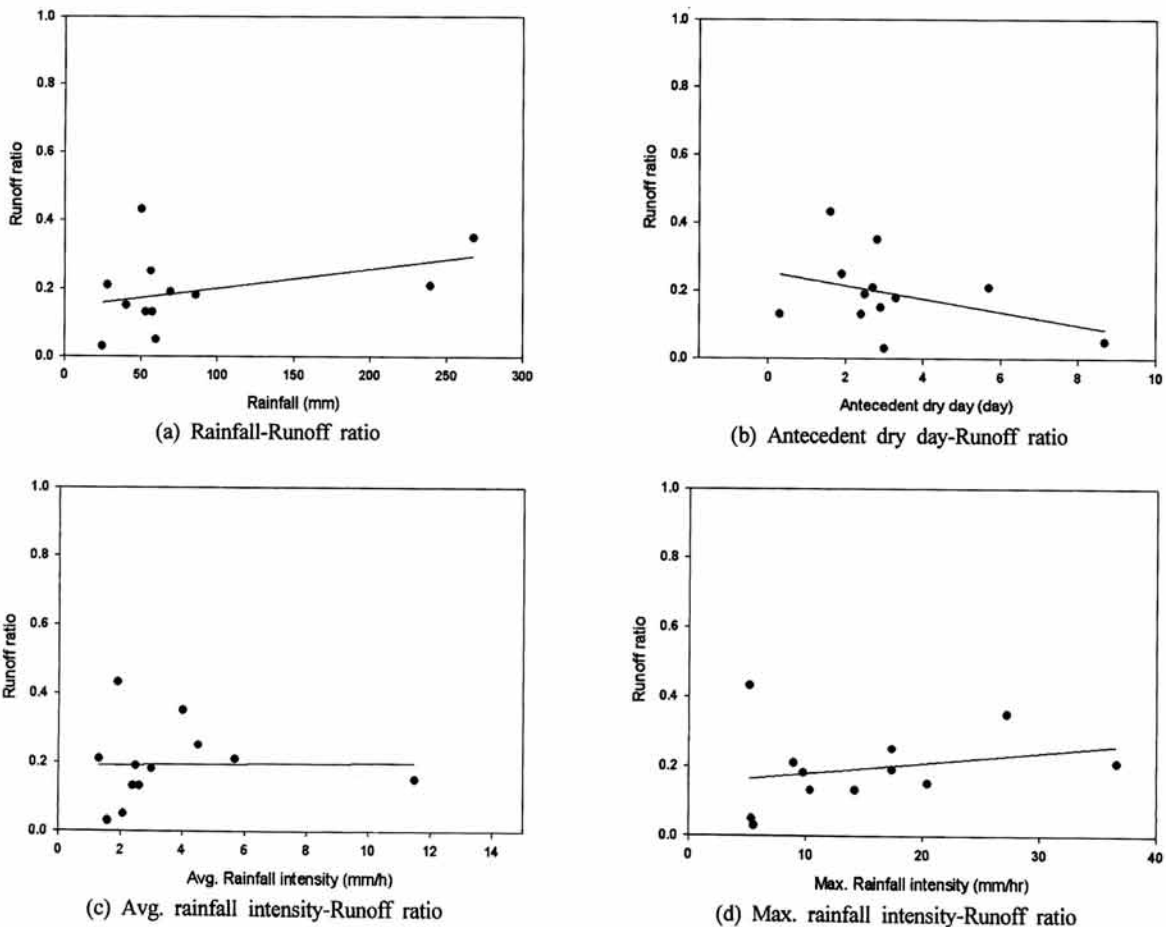


Fig. 2. Correlation of runoff ratio.

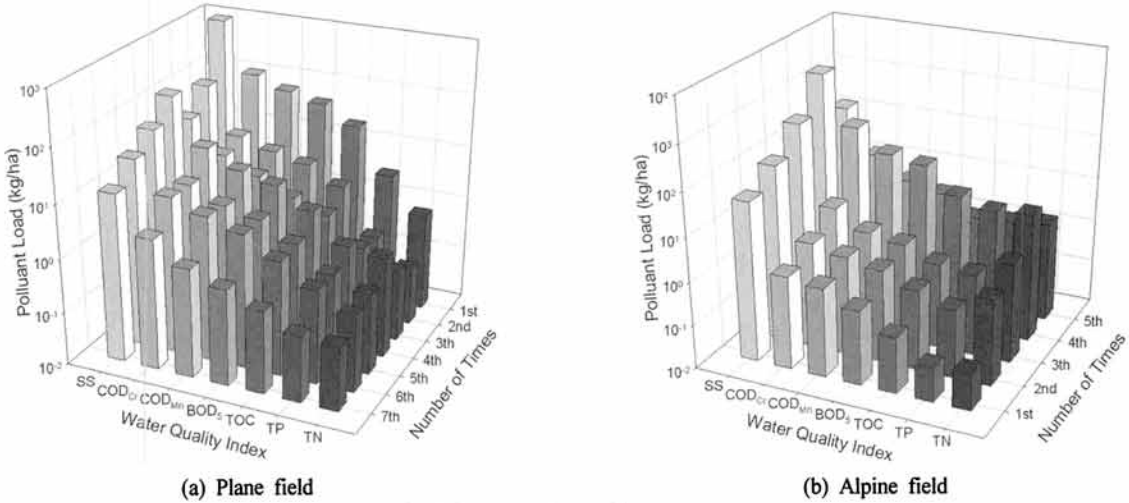


Fig. 3. Pollutant load with respect to number of rainfall event in Table 1.

평지밭은 퇴비의 사용량이 많았기 때문에 유기물의 총오염 부하가 비교적 높은 것으로 나타났다.

3.3. 강우사상별 EMC

Table 2는 평지밭과 고랭지밭의 강우사상별 EMC를 보여 준다. 평지밭과 고랭지밭에서 산정된 EMC는 퇴비와 화학비료의 사용량에 영향을 받는 것으로 분석할 수 있다. 모니터링을 실시한 기간의 EMC는 평지밭에서 SS 1,231.20 mg/L, COD_{Cr} 154.40 mg/L, COD_{Mn} 89.64 mg/L, BOD₅ 62.39 mg/L, TN 2.29 mg/L, TP 5.61 mg/L, TOC 29.79 mg/L이고, 고랭지밭에서 SS 2,252.70 mg/L, COD_{Cr} 159.58 mg/L, COD_{Mn} 53.10 mg/L, BOD₅ 39.70 mg/L, TN 10.41 mg/L, TP 7.82 mg/L, TOC 11.65 mg/L로 나타났다. 고랭지밭은 평지밭보다 SS 82.97%, COD_{Cr} 3.35%, TN 354.59%, TP 39.28%의 EMC가 높게 나타났고, COD_{Mn} 40.76%, BOD₅ 36.37%, TOC 60.89%의 EMC가 낮게 나타났다. 고랭지밭은 화학비료 사용량이 많았기 때문에 TN과 TP의 EMC가 높고, 평지밭은 퇴비의 사용량이 많았기 때문에 유기물질의 EMC가 높은 것으로 판단된다.

3.4. 강우계급별 단위면적당 배출부하 비교

평지밭과 고랭지밭의 일오염부하의 차이를 효과적이고 정확하게 비교하기 위해서는 강우계급별로 구분한 뒤 강우량과 배수면적으로 나누어 산정할 필요가 있다. 평지밭과 고랭지밭의 위치가 서로 달라 강우량과 모니터링 횟수 그리고 배수면적의 차이가 있기 때문이다. Fig. 4는 다음 식으로 계산된 강우 1 mm에 의한 단위면적당 비점오염부하를 나타낸 그림이다.

$$Pollutant\ Load\ (kg/ha/mm) = \frac{\sum Pollutant\ Load_{sub}}{Area \cdot \sum Rainfall_{sub}} \quad (1)$$

여기에서, Pollutant Load_{sub}는 강우계급별 오염부하(kg)이고, Rainfall_{sub}는 강우계급별 강우량(mm)이며, Area는 배수면적(ha)이다.

평지밭의 80~100 mm 강우계급에 해당하는 강우량과 고랭지밭의 60~100 mm 강우계급에 해당하는 강우량이 발생하지 않았다. 강우량은 인위적인 조절이 불가능하기 때문에 차후 지속적인 모니터링을 통해 보완될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2. EMC with respect to rainfall event

Site	Event	SS	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	TP	TOC
Plane filed	'08.07.24~25	1,928.30	215.57	130.12	92.56	1.37	6.27	44.11
	'08.07.26~27	1,864.60	28.27	14.98	12.01	0.94	1.54	8.09
	'08.07.30	575.00	148.15	75.84	37.82	3.54	7.31	23.76
	'08.08.02~03	1,143.10	161.53	78.04	54.55	5.64	7.01	23.71
	'08.08.18	417.30	52.94	28.45	20.95	2.24	3.66	9.95
	'08.08.22~23	202.30	55.36	33.28	21.02	1.83	3.82	9.30
	'08.09.01~02	447.40	88.69	35.03	20.50	5.25	5.68	11.50
	All event	1,231.20	154.40	89.64	62.39	2.29	5.61	29.79
Alpine filed	'08.06.18	5,292.90	163.45	130.13	60.37	8.34	7.58	22.68
	'08.06.28~29	1,803.50	44.81	30.69	22.46	15.54	6.28	11.66
	'08.07.19~20	5,377.10	87.95	33.50	25.26	27.03	10.66	12.80
	'08.07.23~26	2,391.20	190.64	61.73	46.75	9.20	7.83	12.68
	'08.08.22~23	803.70	77.91	25.64	17.42	9.02	7.22	6.36
	All event	2,252.70	159.58	53.10	39.70	10.41	7.82	11.65

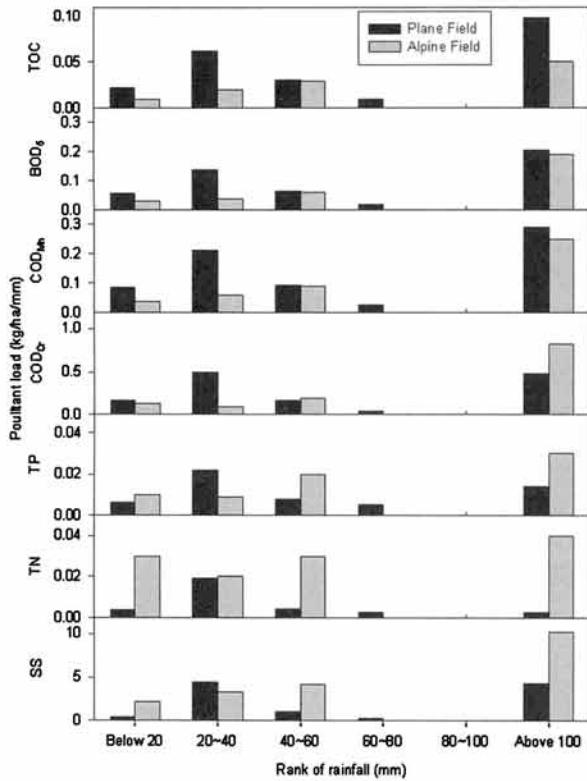


Fig. 4. Pollutant load per drain area by 1 mm rainfall.

평지밭에서는 강우계급이 증가함에 따른 오염부하의 증가가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 오염부하의 최대값은 20~40 mm 계급과 100 mm 이상의 계급에서 나타났다. 평지밭에서의 강우량과 오염물질의 배출은 큰 관계가 없는 것으로 판단할 수 있다. 고랭지밭에서는 강우계급의 증가에 따라서 오염부하가 대체적으로 증가하는 경향을 보였다.

오염부하의 산정은 유출량과 오염물질의 농도에 의해 결정된다. 고랭지밭의 경사가 평지밭에 비하여 급하기 때문에 적은 강우에도 더 많은 유출이 발생하였다. 하지만 강우계급별 강우 1 mm에 의한 단위면적당 유기물 부하는 평지밭에서 고랭지밭보다 비교적 높게 나타났다. 유출이 고랭지밭보다 평지밭에서 더 적었다는 것을 고려하면 사용된 퇴비에 의하여 고농도의 유기물이 발생하였다는 것을 나타낸다. 그리고 시비된 영양성분의 총량은 고랭지밭보다 평지밭에서 더 많았다. 하지만 강우계급별 강우 1 mm에 의한 단위면적당 TN과 TP 부하는 비교적 고랭지밭에서 높게 나타났다. 퇴비에 포함된 질소와 인산보다는 화학비료에 포함되어 있는 질소와 인산이 더 쉽게 배출되는 것으로 판단된다. 강우계급별 강우 1 mm에 의한 단위면적당 SS 부하는 고랭지밭에서 높게 나타났다. 고랭지밭의 경사에 의하여 강우 유출수의 유속과 유량이 증가하고, 증가된 유속과 유량에 의하여 토양유실이 쉽게 발생되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 평지밭과 고랭지밭의 경사와 시비의 종류와 양은 오염부하에 영향을 주는 것으로 사료된다. 평지밭에서는 퇴비의 영향으로 유기물이 많이 배출되며, 고랭지밭에서는 경사와 화학비료의 영향으로 SS와 영양염류가 많이 배출되는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 강원도 춘천시에 위치한 평지밭과 강원도 평창군에 위치한 고랭지밭의 2008년 3월부터 12월까지 유출이 발생한 강우사상에 대하여 모니터링 하였다. 평지밭은 7회, 고랭지밭은 5회의 강우유출사상이 발생하였고, 유출량 측정 및 수질분석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

평지밭의 7회 강우사상동안 발생한 총 강우량은 608.8 mm이며, 총 유출량은 111.4 mm이고, 총 유출율은 0.18이다. 고랭지밭의 5회 강우사상동안 발생한 총 강우량은 424.0 mm이며, 총 유출량은 129.0 mm이고, 총 유출율은 0.30이다. 고랭지밭의 강우는 평지밭에 비해 184.8 mm 적었지만, 유출량은 17.6 mm, 유출율은 60% 더 발생하였다. 고랭지밭이 평지밭에 비해 밭의 경사가 급하기 때문에 적은 강우에도 더 많은 유출이 발생한 것으로 판단된다. 그리고 유출률은 강우량과 강우강도가 증가할수록 선형무강우일수가 감소할수록 증가하는 경향은 있지만 통계적인 유의성은 나타나지 않았다.

평지밭과 고랭지밭의 면적과 총강우량 그리고 총유출량은 큰 차이가 없었다. 하지만 발생한 오염부하의 총량은 퇴비와 화학비료의 사용량에 의해 차이가 있는 것으로 나타났다. 고랭지밭은 화학비료 사용량이 많았기 때문에 TN과 TP의 총오염부하와 EMC가 높고, 평지밭은 퇴비의 사용량이 많았기 때문에 유기물질의 총오염부하와 EMC가 비교적 높은 것으로 나타났다.

평지밭에서는 퇴비의 사용이 많고, 고랭지밭에서는 밭의 급경사와 화학비료의 사용이 많았기 때문에 강우 1 mm에 의한 단위면적당 유기물 부하는 평지밭에서, SS와 TN 그리고 TP 부하는 고랭지밭에서 높게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 평지밭과 고랭지밭의 경사와 시비의 종류와 양은 1 mm에 의한 단위면적당 오염부하에 영향을 주는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 시비의 종류와 사용량에 관계하여 오염부하와 EMC를 분석하고 비교하였다. 농경지에 사용된 시비 종류와 사용량은 오염부하와 농도를 결정하는 중요한 요소로 작용할 수 있고, 농경지의 BMP 적용에 필요한 주요인자로 판단할 수 있다. 하지만 농경지의 비점오염은 기후, 지형, 토성, 수리·수문현상, 영농방법 등에 따라 배출특성이 매우 다양하기 때문에 단지 하나의 원인으로 해석하는 것은 한계가 있다. 따라서 장기모니터링을 통한 자료의 수집과 분석이 필요할 것으로 사료된다. 그리고 강우시 고랭지밭의 영양염류 배출이 평지밭보다 월등히 높은 것으로 분석되었다. 영양염류는 하천의 부영양화를 유발하는 매체이므로 고랭지밭의 비점오염원에 대한 관리가 시급히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한강수계관리위원회·국립환경과학원 한강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사사업의 연구의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

- 김진호, 한국현, 이종식(2008). 농촌유역의 강우사상별 농업 비점오염물질 유출특성. *수질보전 한국물환경학회지*, 24(1), pp. 69-77.
- 신은성, 최지용, 이동훈(2001). 농업지역의 비점오염물질 유출특성에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, 17(3), pp. 299-311.
- 안재환(2000). 비도시지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출특성 연구. *건설기술정보*, 205(12), pp. 18-23.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경익(2008). 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, 24(2), pp. 169-173.
- 이현동, 안재환, 김운지, 배철호(2001). 토지이용별 강우시 비점오염 물질의 유출특성. *수질보전 한국물환경학회지*, 17(2), pp. 147-156.
- 정상영, 권영기, 임형식, 하상건, 양재의(1999). 강원도 경사지 토양 유실 예측용 신USLE의 적용을 위한 강수 인자와 토양 침식성 인자의 검토. *한토비지*, 32(1), pp. 31-38.
- 정성민, 김지혜, 김범철, 김진영(2006). 고랭지 농업지역의 비점오염원 유출 특성. *공동춘계 학술발표회 논문집*, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, pp. 1010-1019.
- 정종배, 김민경, 김복진(2000). 복숭아 과수원에서 측정된 강우에 의한 질소와 인의 지표면 유실. *한국환경농학회지*, 43(2), pp. 124-129.
- 정종배, 김민경, 김복진, 박우철(1999). 임고천상류 소규모 농업유역에서 하천으로의 질소, 인 및 유기물의 부하. *한국환경농학회지*, 18(1), pp. 70-76.
- 주진호, 정영상, 양재의, 옥용식, 오상은, 유경렬, 양수찬(2007). 낙동강 수계 고령지 밭의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량 산정. *한국환경농학회지*, 26(3), pp. 233-238.
- 환경부(2001). 수질오염공정시험방법주해, 환경부고시.
- 환경부(2008). 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼.
- APHA, AWWA, WEF(1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th.