

고랭지 밭의 작물별 비점오염부하 비교

Comparison of Non-Point Pollutant Loads by the Crops in Alpine Fields

최용훈* 원철희** 김태유*** 양희정**** 최종대*****

Yong Hun Choi, Chul Hee Won, Tae Yoo Kim, Hee Jeong Yang, Joong Dae Choi

요 지

강원도 평창군 대관령면 황계리에 위치한 고랭지 밭을 2008년 3월부터 2009년 12월까지 발생한 강우사상에 대하여 모니터링을 실시하여, 경지단위의 밭에서 발생하는 비점오염부하를 측정하고, 작물에 의한 발생량을 비교하였다. 2008년에는 감자를 재배하였고, 2009년에는 무를 재배하였다. 2008년의 시비량은 2009년의 시비량보다 질소 2.1배, 인산 1.9배, 칼륨 2.3배 높게 나타났다. 2008년 총 5회의 유출에 의해 SS 2,908.47 kg/ha/yr, COD 67.95 kg/ha/yr, BOD 50.72 kg/ha/yr, TN 13.29 kg/ha/yr, TP 9.97 kg/ha/yr의 연 오염부하가 발생하였으며, 2009년 총 8회의 유출에 의해 SS 3,908.34 kg/ha/yr, COD 225.04 kg/ha/yr, BOD 156.96 kg/ha/yr, TN 18.88 kg/ha/yr, TP 36.41 kg/ha/yr의 연 오염부하가 발생하였다. 2008년과 2009년의 강우량이 다르기 때문에 연 오염부하를 유출이 발생한 강우량의 합으로 나누어 비교하였다. 비료사용량이 2008년에 약 2배 많았음에도 불구하고 단위 강우량 당 오염부하에서 TN은 0.031 kg/ha/mm와 0.029 kg/ha/mm로 큰 차이가 나타나지 않았고, COD는 0.16 kg/ha/mm와 0.35 kg/ha/mm, BOD는 0.12 kg/ha/mm와 0.24 kg/ha/mm, TP는 0.023 kg/ha/mm와 0.057 kg/ha/mm로 2009년에 2배 이상 증가하였다. 이는 비료의 사용량보다 작물의 성장에 의한 지표피복효과가 비점오염 저감에 더 효과적 작용할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 고랭지 밭에서 피복율이 높은 작물을 재배하거나 피복재에 의한 지표피복을 실시하면 비점오염의 저감을 위한 최적관리방안으로 활용 될 수 있을 것이다.

핵심용어 : *Rainfall event, Monitoring, Non-point pollutant load, Runoff, BMP*

1. 서론

농촌지역에서의 비점오염물질은 농경지의 토지관리방법, 지역 환경 조건 등의 영향이 크며(김진호 등, 2008; 신은성 등, 2001), 매우 불규칙하게 발생하기 때문에 오염물질의 배출특성을 파악하기가 매우 어렵다. 특히 고랭지역에서 작물의 생육 촉진과 병충해 예방, 수확량 증대 등을 위하여 사용하는 돌러짓기(윤작)는 작물에 따라 비료의 종류와 시비량이 다르기 때문에 오염물질의 배출특성 파악을 더욱더 어렵게 한다.

* 정희원 • 강원대학교 지역기반공학과 박사과정 • E-mail : tlemjin@nate.com

** 준희원 • 강원대학교 환경연구소 • E-mail : mildbeau@nate.com

*** 정희원 • 강원대학교 지역기반공학과 석사과정 • E-mail : kisskty1004@nate.com

**** 준희원 • 국립환경과학원 한강물환경연구소 • E-mail : goolgoool@korea.kr

***** 정희원 • 강원대학교 지역기반공학과 교수 • E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

관련 연구 역시 일부 연구자에 의해 제한적인 범위에서만 수행되고 있는 실정이며(신민환, 2009; 신민환, 2007; 원철희, 2009; 이병수, 2008; 정성민, 2009; 정중배, 1999; 주진호, 2007; 최중대, 1999), 이들의 연구는 주로 하천 위주의 유역모니터링으로서 총괄적인 오염부하 관리를 위해서는 유용하게 이용될 수 있으나, 경지 단위의 토지에서 발생하는 비점오염의 특성을 파악하거나, 농경지의 최적관리방안을 제시하기 위한 자료로는 활용이 불가능하다. 왜냐하면 재배작물과 작물에 따른 시비량은 비점오염의 양과 질을 결정하는데 매우 중요함에도 불구하고, 유역 모니터링에서는 이를 고려할 수 없기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 해발 600 m 이상의 고랭지 농업지역에서 재배작물의 종류, 비료의 종류와 시비량에 따른 강우시 비점오염물질의 유출특성을 파악하여 비점오염저감시설 및 최적관리방법의 개발을 위한 자료와 경지단위의 비점오염부하 원단위 산정 및 수질오염총량제를 위한 기초 자료를 수집하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

모니터링 지점은 강원도 평창군 대관령면 황계2리에 위치한 고랭지밭으로서 위치와 집수구역의 형상은 그림 1과 같다. 밭의 경사도는 10%와 23%로 구분되어지며, 집수구역 면적은 16,998.7 m²이다. 집수구역의 토지이용형태는 밭(12,948.2 m², 76.2%), 산림(4,050.5 m², 23.8%)으로 구성되어 있다. 강우유출수는 고랭지 밭 중앙의 콘크리트 배수로를 통해 모니터링 지점으로 이동하며, 콘크리트 배수로가 끝나는 지점에 지름이 60 cm인 원형 철제 배수로를 설치하여, 수위를 측정하고, 수질 시료를 채수하기 위한 부대시설을 설치하였다.

2008년에 고랭지 밭에서는 4월 29에 감자를 파종하여 등고선 경작으로 재배하였으며, 9월 초에 수확하였다. 2008년에 사용된 영양성분의 총량은 질소 454.1 kg/ha와 인산 372.5 kg/ha 그리고 칼륨 257.7 kg/ha로서 표준시비량에 비하여 질소는 2.6배, 인산은 5.1배 그리고 칼륨은 1.7배가 높았다. 2009년에는 객토 없이 무를 재배하였다. 5월 10일에 경운(심경)과 함께 입상퇴비로 질소 215.0 kg/ha, 인산 191.3 kg/ha, 칼륨 111.2 kg/ha를 시비하였다. 이후 6월 하순경(20일~25일)에 무를 파종하였으며, 9월 중순(15일~20일)에 수확하였다. 2009년도 시비량은 표준시비량에 비하여 질소 0.7배와 인산 2.1배 그리고 칼륨은 0.9배로 나타났다. 2008년의 시비량은 2009년의 시비량보다 질소 2.1배, 인산 1.9배, 칼륨 2.3배 높게 나타났다.

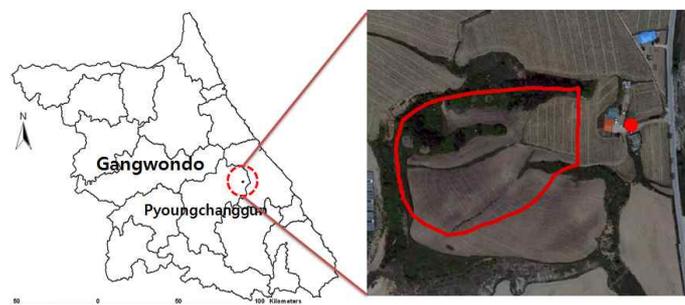


그림 1. 연구지역의 위치와 유역형상

2.2 비점오염 조사

모니터링 장비는 동절기를 제외하고 연중 설치하였으며, 강우시 모니터링은 2008년 3월부터 2009년 12월 사이의 강우사상 중 유출이 발생하는 경우에 한해서 수행하였다. 유출수량은 수위-유량 곡선을 유도한 후, 각 각우사상별로 측정된 수위자료를 이용하여 계산하였다. 수위-유량 곡선은 수위와 폭을 이용하여 계산된 단면적과 실측된 유속으로부터 산정된 유량과 최초 수위로부터 유도하였다. 유출수의 수위 측정은 최종유출부에 부자식 자동 수위계를 설치하여 5분 간격으로 측정하였다. 강우량은 모니터링 지점에 설치된 자기우량계의 자료를 사용하였다. 유출수 분석을 위한 시료는 유출 시작 후부터 유출이 종료할 때까지 10분~1시간의 간격으로 자동채수기(ISCO 6712 auto sampler)를 이용하여 임의 채취하였다. 시료의 분석은 Standard Methods (APHA et al., 1995)와 수질오염 공정시험법 (환경부, 2001)에 준하여 SS, COD, BOD, DOC, TN, TP 등의 항목을 분석하였다.

연구지역의 시비량과 재배작물 그리고 영농방법을 고려하여 연 오염부하를 비교하였다. 연구지역의 연 강우량이 다르며, 연 강우량 중에서도 유출이 발생한 강우사상의 총 강우량이 다르기 때문에 연 오염부하를 유효연강우량(강우시 유출이 발생한 강우사상의 강우량 합)으로 나눈 1 mm 강우량 당 연 오염부하를 이용하여 비교·분석하였다.

3. 결과

3.1 강우사상별 분석

표 1은 2008년과 2009년에 관측한 13회의 강우사상에 대한 수문분석이다. 밭의 토지이용 특성상 강우량이 적을 때 유출이 발생하지 않았으며, 유출은 주로 장마기간에 집중된 것으로 확인되었다. 또한 연 유효강우량은 2008년 420.0 mm와 2009년 640.8 mm로 나타났고, 평균 유출계수는 0.30과 0.27로 산정되었다. 2008년과 2009년의 지형적 요인이 같기 때문에 유출은 작물에 큰 영향을 받을 수 있다. 무와 감자를 비교할 때 감자의 지표피복이 일반적으로 무보다 크기 때문에 유출계수가 낮을 수 있으나, 강우량, 강우강도, 건기일수, 선행강우량, 강우지속시간, 강우의 시간적 분포 등이 2008년과 2009년도에 매우 다르기 때문에 재배 작물에 따른 차이를 구분하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단 할 수 있다.

표 1. 연구지역의 수문분석

Rainfall event	Rainfall (mm)	Rainfall of preceding 5 day (mm)	Antecedent dry day (day)	Rainfall intensity (mm/h)		Duration (h)	Huff 4th quartile	Runoff depth (mm)	Runoff coefficient	
				Avg.	Max.					
1st	'08.06.18	24.8	2.4	3.0	1.6	5.8	16.0	4	0.8	0.03
2nd	'08.06.28~29	27.8	0.0	5.7	1.3	9.6	21.4	3	5.7	0.20
3th	'08.07.19~20	53.4	9.0	2.4	2.1	11.0	25.8	2	7.0	0.13
4th	'08.07.23~26	271.6	54.4	2.8	3.8	31.6	71.2	2	93.1	0.34
5th	'08.08.22~23	50.4	30.0	1.6	1.9	6.6	27.0	2	21.1	0.42
2008		420.0	-	-	2.7	31.6	161.4	-	127.7	0.30
6th	'09.04.20~21	30.2	4.6	4.3	1.3	5.6	23.0	1	0.9	0.03
7th	'09.06.02~03	36.2	1.0	2.2	1.7	10.4	21.0	1	4.3	0.12
8th	'09.06.09~10	17.2	2.0	2.5	2.3	5.4	7.5	2	1.1	0.06
9th	'09.07.09	124.8	11.6	1.7	6.3	34.2	19.8	3	43.4	0.35
10th	'09.07.11~12	146.8	135.8	1.9	6.4	17.6	22.8	3	39.5	0.27
11th	'09.07.14~15	63.0	271.8	1.3	2.7	15.6	23.6	4	15.1	0.24
12th	'09.07.17~19	85.2	208.8	2.8	2.8	31.6	30.7	1	35.4	0.42
13th	'09.08.10~12	137.4	13.6	1.3	2.7	15.2	50.3	4	35.7	0.26
2009		640.8	-	-	3.2	34.2	198.7	-	175.4	0.27

3.2 강우사상별 오염부하와 연 오염부하의 비교

표 2에는 조사기간 동안의 모니터링 자료로부터 산정된 오염부하를 단위면적당 오염부하, 평균 오염부하, 연 오염부하로 구분하여 제시하였다. 수질 항목에서 2009년의 오염부하가 2008년의 오염부하보다 컸다. 특히 COD과 BOD 그리고 TP의 오염부하는 2008년보다 3배 이상 크게 발생하였다. 하지만 2008년과 2009년의 연 강우량이 다르며, 연 강우량 중에서도 유출이 발생한 강우사상의 총 강우량이 다르다. 따라서 연 오염부하를 유효연강우량(강우시 유출이 발생한 강우사상의 강우량 합)으로 나눈 1 mm 강우량 당 연 오염부하를 이용하여 비교·분석하였다.

표 2. 강우사상에 따른 단위면적당 오염부하 (단위 : kg/ha)

Year	Event	SS	COD	BOD	TN	TP
2008	1	43.50	1.07	0.50	0.07	0.06
	2	101.91	1.73	1.27	0.88	0.36
	3	371.88	2.33	1.77	1.89	0.74
	4	2,221.95	57.39	43.50	8.54	7.29
	5	169.23	5.43	3.68	1.91	1.52
	Avg.	581.69	13.59	10.14	2.66	1.99
	Total	2,908.47	67.95	50.72	13.29	9.97
2009	6	17.49	0.57	0.49	0.02	0.03
	7	56.95	1.56	1.28	0.14	0.18
	8	24.44	0.94	0.72	0.17	0.07
	9	1,382.08	53.56	43.70	4.79	9.89
	10	414.77	33.45	30.63	3.63	8.48
	11	296.54	11.82	11.04	2.34	5.27
	12	965.65	88.14	37.42	3.19	6.91
	13	750.42	35.00	31.68	4.60	5.58
	Avg.	488.54	28.13	19.62	2.36	4.55
	Total	3,908.34	225.04	156.96	18.88	36.41

2008년과 2009년의 단위 강우량 당 오염부하에 SS는 6.80 kg/ha/mm와 6.10 kg/ha/mm, TN은 0.031 kg/ha/mm와 0.029 kg/ha/mm로 큰 차이가 나타나지 않았고, COD는 0.16 kg/ha/mm와 0.35 kg/ha/mm, BOD는 0.12 kg/ha/mm와 0.24 kg/ha/mm, TP는 0.023 kg/ha/mm와 0.057 kg/ha/mm로 2배 이상 증가하였다.

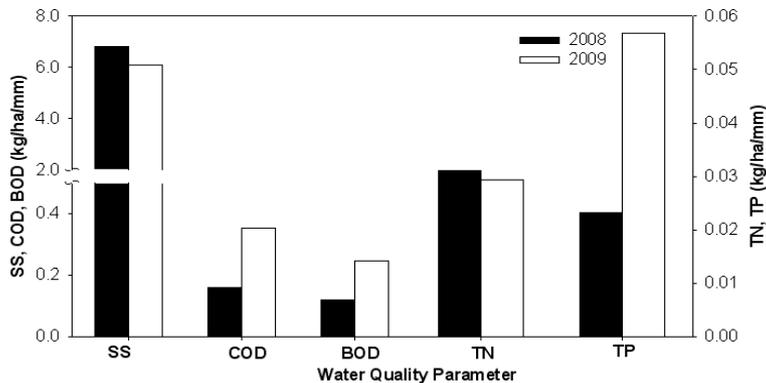


그림 2. 단위 강우량 당 오염부하의 비교

2008년의 시비량은 2009년에 비해 질소와 인 그리고 칼륨이 각각 2.11배, 1.95배, 2.32배가 많았다. 시비량만을 생각할 때 2009년의 오염부하는 2008년의 오염부하보다 감소해야하지만, COD와

BOD 그리고 TP 부하는 2배 이상 증가하는 것으로 나타났고, TN은 큰 차이가 없었다. 따라서 단순한 비료 사용량보다 농경지에서 행해지는 영농방법과 작물 등에 대한 비교를 통해 비점오염원 유출특성을 조사할 필요가 있다.

2008년의 영농은 4월 중순에 경운과 시비를 기점으로 시작하여, 4월 말에 감자를 파종하고 4개월 후인 9월 초에 수확하였다. 따라서 강우가 빈번하게 발생하였던 7월과 8월에는 감자의 잎이 성장하여 지표 피복 효과가 큰 것으로 판단된다. 이에 비해 2009년의 영농은 5월 중순에 밭갈이와 시비를 기점으로 시작하여, 6월 말에 무를 파종하여 3개월 후 9월 중순에 수확하였다. 따라서 7월과 8월에는 무의 잎이 충분히 성장하지 않아 감자에 비하여 지표피복의 효과가 작기 때문에 강우에 의한 오염물질의 유출이 큰 것으로 판단된다. 더욱 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 시기별로 작물의 지표피복 효과에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

고랭지 밭지역을 2008년 3월부터 2009년 12월까지 총 13회의 강우사상을 관측하여, 2008년과 2009년의 연오염부하를 비교하였다.

1. SS와 TN의 2008년과 2009년의 연 오염부하는 큰 차이를 보이지 않았으며, COD와 BOD 그리고 TP는 2008보다 2009년에 2배 이상 증가한 것으로 나타났다.
2. 재배작물이 2008년 감자와 2009년 무로 달랐기 때문에 영농의 시작, 시비일자 등 영농활동이 매우 달랐다. 특히 무의 파종은 6월말에 실시되어 장마기간에는 완전히 성장하지 못해 불완전한 지표피복을 가지며, 무 잎의 지표피복 효과가 감자보다 약하기 때문에 강우에 의한 오염물질 배출이 더 큰 것으로 판단된다.
3. 따라서 시비량보다 작물과 지표피복의 효과가 오염물질의 배출에 더 큰 영향을 줄 수도 있다. 또한 농경지의 재배작물과 피복재에 의한 지표피복은 비점오염 저감에 효과적인 것으로 판단할 수 있으며, 오염물질의 배출에 영향을 주는 인자들이 매우 다양하기 때문에 일괄적인 최적관리방법의 도입보다는 지역의 특성을 조사하여 지역의 특징에 맞는 최적관리방법이 도입되어야 할 것이다.

본 연구에서 조사된 자료와 분석된 결과는 토지이용별 비점오염부하의 산정과 저감기술의 개발에 활용할 수 있으며, 수질오염총량제의 신뢰성을 향상시킬 것으로 판단된다.

사 사

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

참 고 문 헌

1. 김진호, 한국현, 이종식(2008). 농촌유역의 강우사상별 농업 비점원오염물질 유출특성, 한국물환

경학회지, 24(1), pp. 69-77.

2. 신민환, 서지연, 최용훈, 김종건, 신동석, 이열재, 정명숙, 임경재, 최중대(2009). 농촌유역의 비점원오염부하 산정을 위한 LOADEST 모델의 적용성 평가, 한국물환경학회지, 25(2), pp. 212-220.
3. 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최중대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중평균농도 분석, 한국농공학회논문집, 49(6), pp. 3-9.
4. 신은성, 최지용, 이동훈(2001). 농업지역의 비점오염물질 유출특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 17(3), pp. 299-311.
5. 원철희, 최용훈, 서지연, 김기철, 신민환, 최중대(2009). 산림과 밭 지역 강우 유출수의 EMC 및 원단위 산정, 한국물환경학회지, 25(4), pp. 615-623.
6. 이병수, 정용준, 박무중, 길경익(2008). 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 24(2), pp. 169-173.
7. 정성민, 장창원, 김재구, 김범철(2009). 한강상류 고령지 농업지역에서의 강우시 비점오염 유출 특성, 한국물환경학회지, 25(1), pp. 102-111.
8. 정종배, 김민경, 김복진, 박우철(1999). 임고천상류 소규모 농업유역에서 하천으로의 질소, 인 및 유기물의 부하, 한국환경농학회지, 18(1), pp. 70-76.
9. 주진호, 정영상, 양재의, 옥용식, 오상은, 유경열, 양수찬(2007). 낙동강 수계 고령지 밭의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량 산정, 한국환경농학회지, 26(3), pp. 233-238.
10. 최중대, 이찬만, 최예환(1999). 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, 한국수자원학회 논문집, 32(4), pp. 501-510.
11. 환경부(2001). 수질오염공정시험방법주해, 환경부고시, 99(208).
12. APHA, AWWA, WEF(1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th.