

고랭지 밭 유역의 융설에 의한 비점오염원 특성과 오염부하산정 Characteristics of NPS Pollution and Calculation of Pollutant Loads in a Song-cheon watershed during the Snow Melting Season

박병준* · 최용훈** · 신민환*** · 서지연**** · 최중대*****

Byung Jun Park · Yong hun Choi · Minhwan Shin · Jiyeon Seo · Joong dae Choi

요 지

본 연구는 도암댐 상류 고랭지 농업지역의 이른 봄철 융설에 의해 발생하는 비점오염 물질의 배출 특성을 규명하고자 수행하였다. 연구는 2010년 2월 중순부터 4월 말까지 수행하였다. 연구지역에서는 2009년 11월 2일부터 2010년 4월 29일까지 눈이 내렸으며, 일 최대 적설량은 2월 11일에 기록된 59.3 cm이고, 총 적설량은 372.1 cm로 나타났다. 연구결과 융설에 의해 발생하는 단위 면적당 유량은 77.05 m³/ha/day로서 겨울철 평시 유량 26.99 m³/ha/day에 비해 두배 가까이 증가하였다. 유량의 변화는 기온의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 유량의 변화는 탁도와 SS 그리고 COD_{Mn}의 농도 변화에 영향을 주는 것으로 조사되었다. 오염물질 항목 중 SS와 COD의 유량가중평균농도는 각각 986.0 mg/L와 16.3 mg/L로서 겨울철 평시 농도보다 크게 증가하였는데, 이는 융설시 발생한 유출수에 의해 미세한 토양입자의 유실과 함께 오염물질도 배출된 결과로 판단된다. 그러나 T-N과 T-P의 농도는 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다. 본 연구결과에 기초할 때, 담수호 상류에 위치한 고랭지 지역에서는 겨울철 적설량이 많고 융설에 의한 수질오염 문제가 하는 것으로 판단된다. 따라서 해빙기 융설로 인해 발생하는 비점오염 물질의 정량화에 대한 연구가 체계적이고 지속적으로 수행될 필요가 있다. 특히 우리나라의 겨울철 적설량과 기온은 연도별로 많은 편차가 있고, 연구결과 다량의 오염물질이 배출되기 때문에 융설에 대한 연구는 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 고랭지 지역, 비점오염원, 융설, 유량가중평균농도

I. 서론

우리나라에서 비점오염원 유출특성에 관한 비점오염원에 대한 연구는 많이 진행 되고 있지만, 대부분 여름철 강우시 발생하는 비점오염원에 대한 저감대책 위주로 행해지고 있다. 하지만 비점오염원은 여름철 뿐만 아니라 겨울철 융설에 의한 비점오염도 하천의 수질문제를 야기 시킬 수 있다. 우리나라의 경우 융설에 관한 연구는 주로 봄철 수문 해석을 위한 연구가 수행되고 있으며, 융설에 의해 발생하는 비점오염과 관련된 연구가 진행되고 있지 않으며, 중요성도 크게 인식되고 있지 않다. Ginting(1998)등은 융설이 여름철 강우에 의한 유출보다 침식을 많이 일으키지는 않지만 상당한 양의 용해성 오염물질을 유출시킴을 입증하였다. 또한 Tullen(2002)은 산악지대에 쌓인 눈이 녹으며 홍수나 산사태를 일으킬 수 있음을 입증하였고, 융설의 유출특성에 대한 이해의 필요성을 강조하였다. 그리고 유역의 상태, 기상인자와 유달거리 등에 따라 배출 정도가 달라지는 비점오염의 특성상 겨울철 적설과 융설에 의한 유출과 비점오염을 관측하여 비점오

*정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : bbabaeya@nate.com

**정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 박사과정 · E-mail : tlemjin@nate.com

***정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 박사과정 · E-mail : waterlove@kangwon.ac.kr

****정회원 · 국립환경과학원 수질총량연구과 전문위원 · E-mail : tjwldus01@nate.com

*****정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

염 유출 특성을 분석하고 자료를 수집하는 것도 중요하다고 하였다(Choi et al., 1999).

따라서 본 연구에서는 소하천을 모니터링하여 용설에 의한 유출과 수질 변화 그리고 용설 오염부하 등의 비점오염특성을 조사하고 분석하였다. 조사된 자료와 분석된 결과는 용설에 의한 비점오염부하의 산정과 용설과 관련된 비점오염 저감시설의 개발 등에 활용할 수 있으며, 수질오염총량제의 정밀도와 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것이다.

2. 연구방법

본 연구는 강원도 평창군 대관령면 황계2리에 위치하고 있는 송천유역 소하천을 선정하였다. 연구 유역의 면적은 총 73.07 ha이고, 평균경사는 7%로 나타났다. 이 지역의 토지이용은 밭의 토지이용이 44.31ha이고, 산림의 토지이용은 25.33ha로 밭의 토지이용도가 더 많아 우리나라의 고랭지 농업지역의 용설에 의한 영향을 잘 반영할 수 있을 것으로 평가된다. 대상유역에 대한 기온과 강설 또는 강수량 데이터는 기상청 자료를 이용하였다. 연구유역의 말단부에 초음파 수위계를 설치하여, 10분 간격으로 수위를 측정하였으며, 측정된 수위는 실측을 통해 유도된 수위-유량 곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다. 수질시료의 채수는 기온과 수위 등을 고려하여, 1~5시간 간격으로 임의 채수하였으며, SS, COD, BOD, T-N, T-P 항목을 Standard Methods APHA et al.(1995)와 수질오염 공정시험방법 주해 (Ministry of Environment Republic of Korea., 2004)에 준하여 분석하였다. 조사된 연구결과를 이용하여 유량가중 평균농도(총유출/유출된 총 오염부하)와 단위면적당 일평균 오염부하를 산정하였다. 또한 각 인자의 상관관계를 분석하기 위해 조사된 기온과 유량 그리고 수질 농도 데이터를 이용하여 피어슨(Pearson) 상관관계 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연구지역의 기상

연구지역에서는 2009년 11월 2일부터 2010년 4월 29일까지 눈이 내렸다. 일 최대 적설량은 2월 11일에 기록된 59.3 cm였고, 총 적설량은 372.1 cm로 나타났다. 연구지역의 기온은 2009년 11월 중순부터 하강하기 시작하여 2010년 1월에 최저기온을 보였으며, 3월부터 다시 상승하는 경향을 보였다. 2009년 12월 26일부터 영하의 기온이 지속되다가 2010년 3월 11일부터는 영상의 기온이 지속되었다. 1월과 2월 중 영상으로 기온이 올라간 기간을 포함 한 2월 23일~26일, 3월 19일~22일 그리고 3월 30일~4월 27일까지 용설에 대하여 모니터링을 실시하였으며, 최고 기온은 18.5℃에서 일 최저 기온은 -24.0℃로 나타났다.

3.2 기온에 따른 유량의 변화

연구기간 동안의 기온과 유량 변화를 그림 1에 나타냈다. 유량의 측정결과 용설이 활발히 일어나는 2월과 3월 조사시기에 비하여 4월에 유량이 감소하는 것으로 나타났다. 조사기간 동안 기온이 증가하기 시작하는 시간과 유량이 증가하는 시간은 다소 차이가 나타나는 것으로 관측되었지만 기온의 변화에 따른 유량의 변화 패턴은 일치하였다.

3.3 기온에 따른 유량과 수질 농도의 상관분석

기온의 증감에 따른 수질 농도의 경향성을 통계적으로 평가하기 위해 기온과 유량 그리고 수질농도의 상관관계 분석을 실시하였다(Table 1). 기온과 SS, COD, BOD, 탁도의 상관계수는 0.24812 ~ 0.34643로 유의수준 0.05에서 유의성이 나타나 통계적으로 의미가 있는 것으로 나타났다. 유량과 기온의 상관계수는 0.13847로 유의수준 0.10에서 유의성이 나타나 통계적으로 의미가 있는 것으로 나타났으며 모든 수질농도와 유의수준 0.05에서 통계적으로 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 T-N농도는 기온과 유량에 대해 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타나 용설과 큰 관계가 없는 것으로 판단된다.

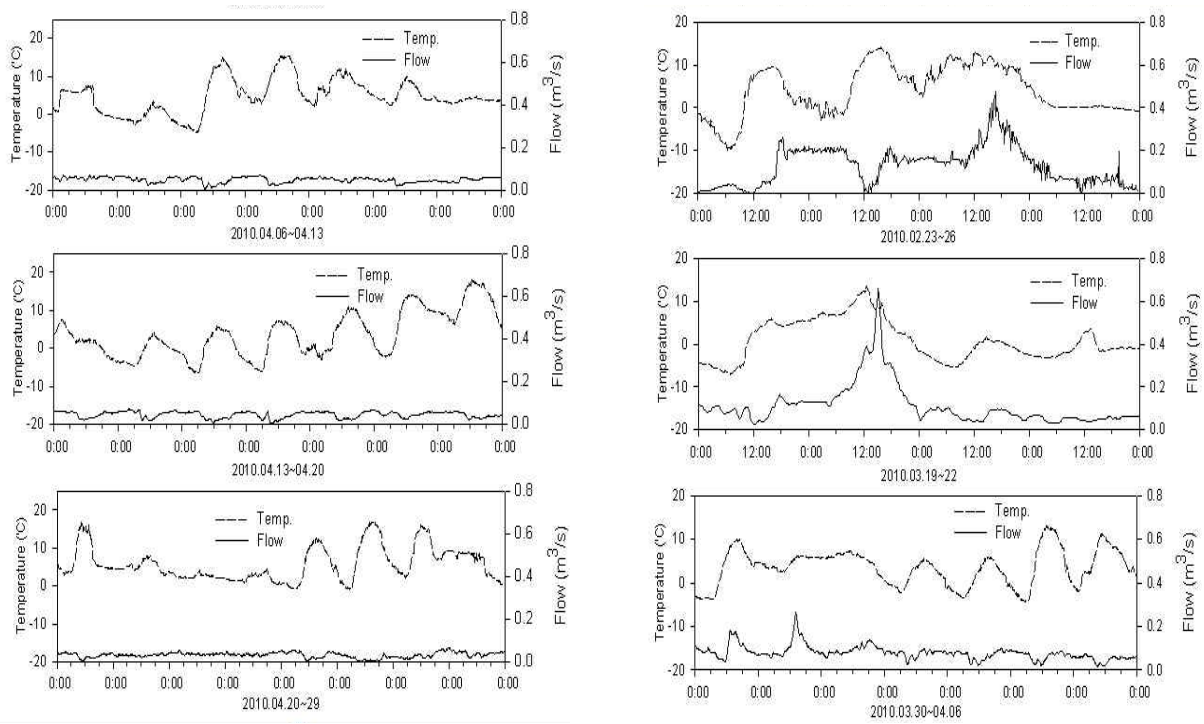


그림 1. 기온에 따른 유량 변화

표 1. 피어슨 상관관계 분석

N=201	Temp,	Flow	SS	COD _{Mn}	BOD	T-N	T-P	Turb.
Temp.	1.00000	0.13647 (0.0534)	0.34643 (<i><.0001</i>)	0.34098 (<i><.0001</i>)	0.33132 (<i><.0001</i>)	-0.01828 (0.7968)	-0.09562 (0.1769)	0.24612 (<i>0.0004</i>)
Flow		1.00000	0.21029 (<i>0.0027</i>)	0.44820 (<i><.0001</i>)	0.15900 (<i>0.0242</i>)	-0.37744 (<i><.0001</i>)	0.21460 (<i>0.0022</i>)	0.34327 (<i><.0001</i>)
SS			1.00000	0.67695 (<i><.0001</i>)	0.23987 (<i>0.0008</i>)	0.179570 (<i>0.0108</i>)	0.169890 (<i>0.0169</i>)	0.66526 (<i><.0001</i>)
COD _{Mn}				1.00000	0.32230 (<i><.0001</i>)	-0.11531 (0.1031)	0.31744 (<i><.0001</i>)	0.86054 (<i><.0001</i>)
BOD					1.00000	-0.02088 (0.7686)	0.111540 (0.1149)	0.18930 (<i>0.0071</i>)
T-N						1.00000	-0.15291 (<i>0.0802</i>)	-0.00071 (0.9921)
T-P							1.00000	0.39688 (<i><.0001</i>)
Turb.								1.00000

* Bold values are statistically significant at $p < 0.01$, italics at $p < 0.05$

** () represents probability level

3.4 비점오염부하 산정

조사시기별 단위면적당 일평균 유량 및 오염부하를 Table 2에 나타냈다. 조사기간의 단위 면적당 유량은 77.05 m³/ha/day로 나타났고, 1차와 2차 조사시기에 152.50 m³/ha/day와 130.67 m³/ha/day로 조사기간의 평균보다 약 2배 많은 유량을 나타냈다. 단위면적당 일평균 오염부하는 SS 74.43 kg/ha/day, COD 1.25 kg/ha/day, BOD 0.21 kg/ha/day, T-N 0.717 kg/ha/day, T-P 0.141 kg/ha/day로 산정되었다. 단위면적당 일평균 유량이 전체기간 평균보다 컸던 1차, 2차, 3차의 오염부하가 4차, 5차, 6차의 오염부하보다

비교적 크게 산정되었다.

표 2. 측정기간의 일평균 유량과 단위면적당 오염부하

<Unit : kg/ha/day>

Number	Period	Flow (m ³ /ha/day)	SS	COD	BOD	T-N	T-P
1	2010.02.22~02.26	152.50	85.50	2.50	0.55	0.552	0.183
2	2010.03.19~03.22	130.67	120.61	3.04	0.35	1.058	0.209
3	2010.03.30~04.05	93.62	119.24	1.61	0.30	1.083	0.275
4	2010.04.06~04.12	56.86	64.67	0.82	0.10	0.687	0.107
5	2010.04.13~04.19	52.43	49.65	0.57	0.05	0.611	0.080
6	2010.04.20~04.27	37.22	36.81	0.40	0.11	0.426	0.053
Average		77.05	74.43	1.25	0.21	0.717	0.141

3.5 유량가중평균농도

조사시기별 유량가중평균농도는 Table 3에 산정하였다. 유량가중평균농도는 SS 560.66~1,273.66 mg/L, COD 10.69~23.29 mg/L, BOD 0.94~3.62 mg/L, T-N 3.618~12.082 mg/L 그리고 T-P 1.201~2.940 mg/L의 범위이며, 전체 조사 기간에 대한 유량가중평균농도는 SS 985.97 mg/L, COD 16.28 mg/L, BOD 2.67 mg/L, T-N 9.302 mg/L 그리고 T-P 1.834 mg/L로 나타났다. 비점오염원 관리지역 및 평가 보고서에 따르면 유역면적이 107.9 ha인 고랭지 농업유역에서 강우시 유량가중평균농도(한강물환경연구소, 2009)와 본 연구지역의 유량가중평균농도와 큰 차이가 나타나지 않으며, 이는 용설에 의한 비점오염의 유출이 강우시와 동일하게 심각할 수 있다는 것을 나타낸다. 따라서 고랭지 농업 지역의 해빙기 용설에 의한 비점오염의 관리가 요구되며, 효율적인 관리를 위해 더 많은 용설 모니터링이 필요하다.

표 3.. 관측기간 동안의 유량가중평균농도

<Unit :mg/L>

Number	Period	SS	COD	BOD	T-N	T-P
1	10.02.22~02.26	560.66	16.39	3.62	3.618	1.201
2	10.03.19~03.22	923.03	23.29	2.67	8.099	1.598
3	10.03.30~04.05	1273.66	17.25	3.22	11.569	2.940
4	10.04.06~04.12	1137.25	14.50	1.80	12.082	1.883
5	10.04.13~04.19	947.11	10.84	0.94	11.662	1.523
6	10.04.20~04.27	988.79	10.69	2.85	11.441	1.428
Average		965.97	16.28	2.67	9.302	1.834

4. 요약 및 결론

4.1 기온-유량-수질농도의 관계

도시적인 방법을 이용했을 때 기온에 따른 유량변화는 서로 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 통계적 방법을 이용한 상관관계 분석에서는 유량과 SS 농도, COD 농도, BOD 농도, 탁도는 기온과 통계적으로

상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 유량은 모든 수질 항목과 통계적으로 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 기온의 증가는 용설을 발생 시키고, 용설에 의하여 유량이 증가하며, 수질 농도의 변화를 가져오는 것으로 분석되었다.

4.2 단위 면적당 오염부하

연구지역의 단위 면적당 일평균 오염부하는 SS 74.43 kg/ha/day, COD 1.25 kg/ha/day, BOD 0.21 kg/ha/day, T-N 0.717 kg/ha/day, T-P 0.141 kg/ha/day로 산정되었다. 용설에 의한 비점오염부하는 SS와 COD 항목에서 뚜렷하게 나타났다. 이전 적설로 인해 용설의 효과가 뚜렷하게 나타난 1차~3차 조사시기에서의 오염부하가 4차 ~ 6차 조사시기에 나타난 오염부하보다 많았다. 따라서 용설 오염부하는 이전 적설과 상관성이 있을 것으로 판단된다.

4.3 유량가중평균농도

전체 조사 기간에 대한 유량가중평균농도는 SS 985.97 mg/L, COD 16.28 mg/L, BOD 2.67 mg/L, T-N 9.302 mg/L, T-P 1.834 mg/L로 나타났다. 용설에 의해 유출량과 SS, COD 오염부하와 농도가 매우 크게 증가하였다. 이는 여름철 고랭지 밭 유역의 소하천에서 발생하는 수질 농도와 큰 차이가 없다. 결빙과 해빙에 의해 느슨해진 토양조각이 용설에 의해 하천으로 유입되어 해빙기 하천의 수질을 악화시키기 때문에 용설에 의하여 발생하는 비점오염에 대한 많은 연구와 관리 대책이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 2009년 11월부터 2010년 4월 사이의 적설량이 평년에 비해 많았던 해의 해빙기 수질조사 결과이다. 고랭지의 적설량과 기온은 매년 많은 편차를 보이므로 지속적인 동절기 모니터링을 통하여 고랭지 지역의 해빙기 수질 변화를 정량화 할 필요가 있다.

참고문헌

1. Kang, S. U., S. Y. Rieu, 2008, Influence of Snow Accumulation and Snowmelt Using NWS-PC Model in Rainfall-runoff Simulation, *Korea Society of Civil Enngineers*, 28(1), pp. 1-9.
2. Han River Environment Research Center, 2009, Monitoring and evaluation of NPS pollution priority management region.
3. Kim, N. W., B. J. Lee & J. E. Lee, 2006, An Evaluation of Snowmelt Effects Using SWAT in Chungju Dam Basin, *KWRA*, 38(10), pp. 833-844.
4. Choi, J. D., C. M. Lee & Y. H. Choi, 1999, Effect of Land Use on the Water Quality of Small Agricultural Watersheds in Kangwon-do, *KWRA*, 32(4), pp. 501-510.
5. Choi, J. Y., C. M. Sin, 2002, Management of Nonpoint Pollution by Reducing Storm Runoff.
6. Ministry of Environment Republic of Korea, 2004, Determination of water pollution process, 99(208).
7. Ginting, D., Moncrief, J.F., Gupta, S.c., 1998, Interaction between manure and tillage system on phosphorus uptake and runoff losses. *J. Environ. QUAL.* 27, pp. 1403-1410.
8. Tullen, P., 2002, Méthode d'analyse du fonctionnement by hydrogéologique des versants instables, Dissertation. EPFL, ENAC, Lausanne, Switzerland.