

SCB 액비 처리에 따른 산림유역의 지하수 수질 모니터링

The Ground-water Monitoring of the Water Quality on SCB Liquefied Manure Application in Forestry Watershed

유승환*, 최진용**, 남원호***, 홍은미****, 이상현*****

Seung-Hwan Yoo, Jin-Yong Choi, Won-Ho Nam, Eun-Mi Hong, Sang-Hyun Lee

요 지

최근 산림지 및 조림지역에의 축산 분뇨 액비 처리가 자연순환농업의 일환으로써 하나의 대안으로 대두되고 있는데 액비처리에 의한 환경영향, 특히 수분 및 영양성분 수지의 불균형을 초래하여 수질 오염 및 토양에 과잉 영양분을 축적할 우려가 있어 이에 수질에 미치는 영향에 대한 모니터링과 분석 시행함으로써 적용의 문제점 및 대책 방안 도출이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 산림 유역에서 SCB액비 처리에 따른 지하수에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 지하수의 수질 모니터링을 실시하였다. 질산태 질소 중심으로 SCB액비 처리에 의한 지하수의 수질 영향을 분석하고, 질소 동위원소비를 이용하여 지하수의 질산태 질소 오염원을 판별하였다. 그 결과 바이오순환림이 액비처리에 의해 지하수 하류부에서 질산태 질소가 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 질소 동위원소비 분석 결과, 액비로부터 침출된 것으로 분석되었다. 반면에 유흥지의 경우, 액비 시용으로 인한 지하수 수질 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 추후 SCB액비 시용에 따른 산림유역에 대해서 지속적인 모니터링과 샘플링을 실시하여 다양한 항목에 대한 조사 및 분석을 이루어진다면 조림지와 같은 산림지역에서의 SCB액비 시용에 따른 수질 영향 모델링 및 모형 구축의 기초 자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 산림유역, SCB 액비, 지하수, 질소 동위원소비

1. 서 론

국제협약 (런던협약 72) 발효에 따른 가축분뇨의 해양배출 조건 강화되어 2012년 가축분뇨의 해양배출 금지 및 환경규제 강화에 따른 양축 농가의 가축분뇨 처리 시설 및 비용의 증가로 인한 경영 악화가 심각하여 저비용 고효율의 가축분뇨 처리기술 개발 필요한 실정이다. 이를 위한 대안으로 가축 분뇨 자원화를 바탕으로 한 자연순환농업이 추진되고 있다. 이는 화학비료보다는 퇴액비 위주의 자연 친화형 물질순환과 토양 및 농작물의 건전성을 동시에 유도할 수 있다는 장점이 있다. 최근 산림지 및 조림지역에의 축산 분뇨 액비 처리가 자연순환농업의 일환으로써 하나의 대안으로 대두되고 있다. 축산분뇨의 액비 중 SCB액비는 고농도액비에 비해 비료 성분의 농축이

* 비회원 · 서울대학교 농업생명과학연구원 연구원 · E-mail : crom97@snu.ac.kr

** 정회원 · 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부 조교수 · E-mail : iamchoi@snu.ac.kr

*** 비회원 · 서울대학교 생태조경 · 지역시스템공학부 박사과정 · E-mail :

**** 비회원 · 서울대학교 생태조경 · 지역시스템공학부 석사과정 · E-mail :

***** 비회원 · 서울대학교 생태조경 · 지역시스템공학부 석사과정 · E-mail :

낮은 저농도 액비로서 적용이 용이하고 냄새가 적어 조립지 등의 산림 유역과 훼손 산림지 또는 간척지 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다. SCB액비처리에 의한 환경영향, 특히 수분 및 영양 성분 수지의 불균형을 초래하여 수질 오염 및 토양에 과잉 영양분을 축적할 우려가 있어 이에 수질에 미치는 영향에 대한 모니터링과 분석시행으로 적용의 문제점 및 대책 방안 도출이 필요할 것으로 판단된다.

가축분뇨의 액비의 처리에 따른 연구를 진행하여 토성 및 토양, 기상조건 그리고 작물조건에 따라 액비의 처리량을 산정할 수 있는 가이드라인 수립을 위한 기초 연구가 필요한 실정이다. 국내에서는 액비를 농경지에 처리 할 수 있는 여러 연구가 진행되었는데, 액비의 처리에 있어서 논에서 벼의 재배나 농작물 생산에 이용할 때 수질에 미치는 영향에 대하여 주로 연구가 이루어 졌다(농촌진흥청, 2007; 곽한강 등, 2003; 전원태 등, 2003). 하지만 산림이나 조립지 등에 대한 액비처리 시 수질영향 평가가 많이 이루어지지 않은 상황이다.

따라서 본 연구에서는 산림지 등에서 SCB액비 처리에 따른 수질 영향 분석을 위하여 지하수에 대한 수질 모니터링을 실시하였다. 다양한 분석 항목 중 질산태 질소 중심으로 SCB액비 처리에 의한 지하수의 수질 영향을 분석하고, 질소 동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 지하수의 질산태 질소 오염원을 판별하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 SCB 액비

SCB 액비란 Slurry Compositing-Biofiltration의 약자로서 기존 퇴비화시설 바닥의 물빠짐과 송풍율을 개선시킴으로써 발표상의 퇴비단을 여과상으로 이용할 수 있게하는 방법이다. 즉, 목질 부자재가 충전된 발효상 상부에 슬러리를 살포하면, 입자성 물질은 상층부에 체류되어 외부로 배출, 퇴비로 이용되고, 액상물질은 퇴비단을 통과하면서 수질오염성분이 획기적으로 제거된 저농도의 무취·균질특성을 가지게 됨과 동시에 목질 부자재의 분해산물(humic)과 유용 미생물이 다량 함유된 양질액비로 변환한다. 액비 수요가 없는 경우, 화학적, 물리적(응집, 막분리) 방법으로 잔류성분들을 쉽게 제거할 수 있기 때문에 정화처리가 용이한 특징을 가진다(농촌진흥청, 2007).

2.2 대상지 선정 및 측정망 구성

산림지 및 조립지에서 SCB액비 처리에 따른 지하수의 수질 영향 분석을 위하여 유흥지에서의 속성수 시험립과 바이오순환립을 시험립으로 선정하였다. 표 1은 대상 지역의 면적, 고도, 경사, 경사향, 토양종류를 나타낸 것이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 시험립 조성 지역을 중심으로 상류 지역과 하류 지역에 지하수위 관측망 설치하였다. 액비가 사용되는 기간 동안에 샘플을 채취하여 T-N, NO₃-N, NH₄-N, T-P, BOD, COD, 양이온, 중금속 등 총 31개 항목의 수질 항목을 분석하였다. 위 항목 중 질산태 질소 중심으로 SCB액비 처리에 의한 지하수의 수질 영향을 분석하고, 질소 동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 지하수의 질산태 질소 오염원을 판별하였다.

2.3 질소 동위원소비를 이용하 질산태 질소 오염원 판별

가축으로부터 배설되는 질소의 80%는 뇨에 있으며, 뇨의 50%~85%는 요소의 형태이다. 요소는 암모니아와 이산화탄소로 가수분해되며 암모니아는 다시 질산성 질소로 질산화된다. 가수분해 과정에서 초기 5.5이었던, pH가 9.2까지 상승하게 되며, pH 상승으로 인해 암모니아 휘발이 발생하게 된다. 이러한 손실은 pH가 높을수록 커지며, 온도, 풍속, 토양수분량에 의해 영향을 받는다. 평

형분할에 의해 휘발은 가벼운 동위원소 위주로 발생하며, 상대적으로 무거운 동위원소가 많이 남게 되는 암모늄은 질산성질소로 질산화되어 질산성질소의 질량비 값을 높게 만든다. 따라서 유기질소 및 화학비료 내 질소는 질산성 질소로 질산화 되어 질량비 값이 +2~+8% 정도가 된다. 또한, 오염되지 않은 순수한 자연토양 내 질소는 질소고정과 그로부터 생성된 소량 질소의 무기화에 의해 질량비가 제어되는 것으로 보이며, 그 값은 가축분뇨와 화학비료 질량비의 중간 값인 +5~+10%인 것으로 조사되고 있다 (홍영진, 2001).

표 1. 시험림의 면적, 고도, 경사, 경사향 및 토양종류

항목	면적 (m ²)	고도 (EL. m)	경사 (degree °)	경사향 (북위)	토양종류 (개략토양도)
유희지	1,767	평균: 52.0	-	-	apa (배수약간불량, 회색토 및 충적토, 미사질 내지 식질)
바이오순환림	758	최고: 77.0 최저: 69.7 평균: 74.1	최고: 32.2 최저: 0.5 평균: 13.5	서향	mac (배수매우양호, 암쇄토, 산악, 산성암, 사양질 내지 식양질)



(a) 유희지 시험림 (수원)



(b) 바이오순환림 (화성)

그림 1. 연구 대상 지역

3. 연구 결과

3.1 지하수 상하류부의 NO₃-N 분석 결과

유희지 시험림과 바이오 순환림에서 7월 10일부터 10월 8일까지 지하수 샘플링을 실시하여 NO₃-N 분석하였는데, 그 결과는 그림 2와 같다. 유희지에서의 시간 경과에 따른 시험림 상·하류 지역에서의 지하수의 NO₃-N 결과를 살펴보면, 7월 10일, 28일, 8월 5일에 지하수 하류에서 일부 NO₃-N이 검출되었으며, 그 외의 상류지역 및 하류지역에서는 소량 또는 NO₃-N이 거의 검출되지 않았다. 한편 바이오순환림 지역에서의 상하류 지역에서의 지하수의 NO₃-N 결과를 살펴보면 액비 시용 시작 (2008년 7월 11일) 이후 7월 17일 결과를 제외한 분석 결과에서 하류 지역이 상류 지역보다 더 높은 값을 나타내었다.

3.2 질산태 질소 오염원 판별

액비 시용에 의해 지하수 수질에 영향이 있는 것으로 판단되는 바이오순환림에 대하여 안정 동

위원소비를 이용하여 질산성 질소의 오염원 추정하였다. 이를 위하여 8월 20일 시료, 8월 27일 시료, 9월 3일 시료, 9월 10일 시료 등 총 4가지 시료에 대하여 분석을 실시하였는데, 그 결과는 표 2와 같다. 일반적으로 질소 동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)의 값이 화학비료의 경우 $-3 \sim +3 \%$, 토양의 경우 $+5 \sim +8 \%$, 액비 및 퇴비의 경우 $+10 \%$ 이상의 값을 나타내게 된다. 바이오순환림의 지하수 상류지역의 경우 8월 20일 제외한 시료는 토양의 경우에 해당하는 $0.1 \sim 0.2 \%$ 의 값을 나타내었다. 하지만 하류의 경우 모든 시료에서 질소 동위원소비가 18% 이상으로 나타났다. 이는 액비의 시용으로 인하여 지하수의 수질에 영향을 미쳐 $\text{NO}_3\text{-N}$ 값이 더 높게 나타난 것으로 유추할 수 있다. 이 원인을 살펴보면 바이오순환림은 표 1에서 보는 바와 같이 유희지와 비교하여 시험림의 평균경사가 급하기 때문에 액비 시용으로 인한 토양수 침출이 더 크기 때문에 지하수에 미치는 영향이 더 크다고 볼 수 있다. 액비 시용 기간 동안에 두 시험림 지역의 지하수위를 관측하였는데, 그 결과는 그림 3과 같다. 이 결과는 하류부 지하수의 지표에서의 깊이를 나타낸 것으로 유희지의 경우 지하수위 지표에서 약 7.5m의 깊이에서 수위가 변동되고 있다. 따라서 강우에 의한 지하수위 변동이 크지 않은 것으로 나타났다. 한편 바이오순환림의 경우 7~9월의 지하수위는 지표에서 약 $-1\text{m} \sim -2\text{m}$ 사이에 변동되었다. 강우에 의한 지하수위의 영향이 매우 민감하였다. 따라서 바이오순환림의 경우 액비 시용 후 강우가 발생할 경우 액비가 지하수로 침투될 가능성이 매우 높다고 판단할 수 있다.

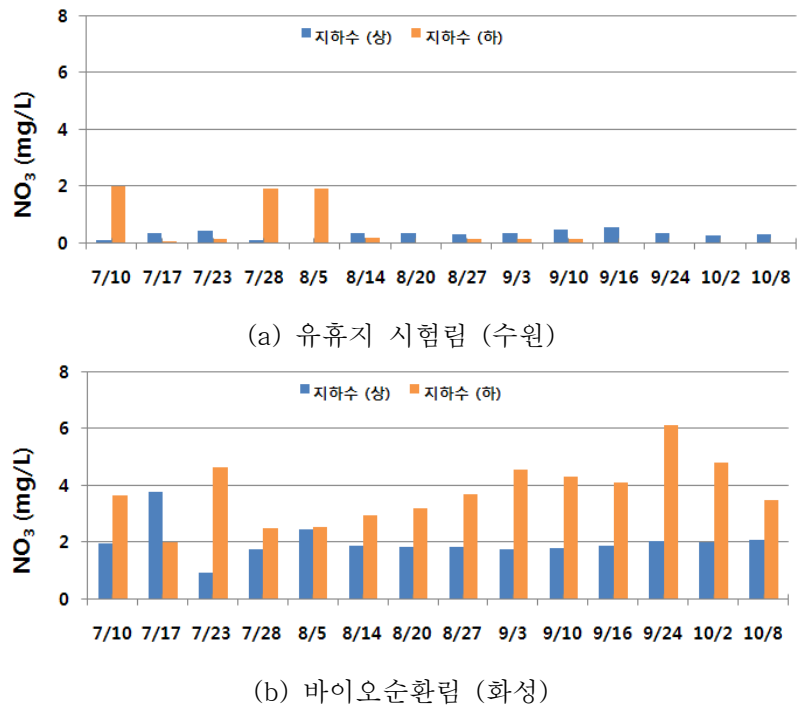
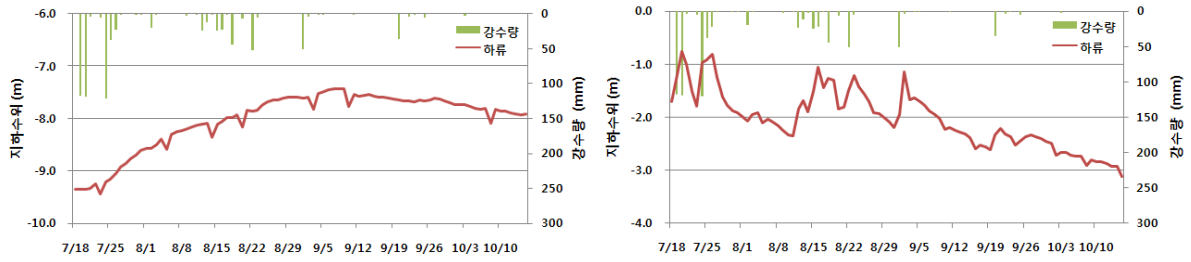


그림 2. 시험림에서의 상하류부 지하수 $\text{NO}_3\text{-N}$ 분석 결과

표 2. 질소 동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용한 지하수 중 질산태 질소의 오염원 판별 결과

시료 채취일	위치	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
		상류부	하류부	상류부	하류부
08.08.20	상류부	1.85	△ 1.38	9.5	△ 8.6
	하류부	3.23		18.1	
08.08.27	상류부	1.87	△ 1.84	0.1	△ 22.9
	하류부	3.71		23.0	
08.09.03	상류부	1.78	△ 2.80	0.1	△ 18.4
	하류부	4.58		18.5	
08.09.10	상류부	1.83	△ 2.50	0.2	△ 18.8
	하류부	4.33		19.0	

※ 오염원에 따른 질소 동위원소비: 화학비료($-3 \sim +3 \%$), 토양($+5 \sim +8 \%$), 액비 및 퇴비($>+10 \%$)



(a) 유희지 시험림 (수원)

(b) 바이오순환림 (화성)

그림 3. 시험림 상하류부 지하수위 모니터링 결과

4. 결 론

최근 산림지 및 조림지역에의 축산 분뇨 액비 처리가 자연순환농업의 일환으로써 하나의 대안으로 대두되고 있는데 액비처리에 의한 환경영향, 특히 수분 및 영양성분 수지의 불균형을 초래하여 수질 오염 및 토양에 과잉 영양분을 축적할 우려가 있어 이에 수질에 미치는 영향에 대한 모니터링과 분석시행으로 적용의 문제점 및 대책 방안 도출이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 산림지 등에서 SCB액비 처리에 따른 수질 영향 분석을 위하여 지하수에 대한 수질 모니터링을 실시하였다. 다양한 분석 항목 중 질산태 질소 중심으로 SCB액비 처리에 의한 지하수의 수질 영향을 분석하고, 질소 동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 지하수의 질산태 질소 오염원을 판별하였다. 그 결과 바이오순환림의 경우 액비처리에 의해 지하수 하류부에서 질산태 질소가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 질소 동위원소비 분석에 의하여 액비로부터 침출된 것으로 분석되었다. 이는 바이오순환림 시험림의 경사가 비교적 크고, 지하수위 낮기 때문인 것으로 판단되었다. 추후 SCB액비 시용에 따른 산림유역에 대해서 지속적인 모니터링과 샘플링을 실시하여 다양한 항목에 대한 조사 및 분석을 이루어진다면 조림지와 같은 산림지역에서의 SCB액비 시용에 따른 수질 영향 모델링 및 모형 구축의 기초 자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 농촌진흥청 「자연순환농업연구사업단」의 「저농도액비 처리에 의한 산림유역 영양물질 오염영향 분석」 과제의 일환으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 곽한강, 성기석, 이남중, 이상범, 한민수, 노기안, 2003, 시설재배지에서 화학비료와 돈분 퇴비시용에 따른 토양의 화학성 및 생물상 변화, 한국비료학회지 제 36권 5호, pp. 304-310.
2. 농촌진흥청, 2007, 가축분뇨 자원화기술 연구성과
3. 전원태, 박향미, 박창영, 박기도, 조영손, 윤을수, 강위금, 2003, 돈분뇨 액비 시용이 벼의 생육 및 논 토양 환경에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 제 36권 5호, pp.333-343.
4. 홍영진, 2001, 안정 동위원소비를 이용한 농촌하천유역 질산성질소의 오염원 추정, 서울대학교 석사학위 논문