

## 가축분뇨 비료의 농지 유출 특성

어성욱<sup>†</sup>

우송대학교 철도건설환경공학과

## Runoff Characteristics of the Livestock Manure as Fertilizer at Farmland

Seong-Wook Oa<sup>†</sup>

Department of Railroad, Civil & Environmental Engineering, Woosong University  
(Received 21 April 2010, Revised 30 June 2010, Accepted 1 July 2010)

### Abstract

Over 90% of the livestock excretions were treated and utilized by land application in Korea. Excessive application of the livestock manure as fertilizer has been issued as a main pollutant source in groundwater and watersheds. This study was seasonally conducted to identify the discharging characteristics with a certain artificial rainfall intensity (13 mm/hr) in terms of surface runoff, groundwater, and soil residue mass depending on the livestock manure types. A experimental field was constructed with three different sites that pig liquid fertilizer (LF), cattle manure (CM), and standard (S). The pig liquid fertilizer of 1,200 L and cattle manure of 900 kg were sprayed on each site (50 m<sup>2</sup>). The standard area was firmly prevented from any other contaminants. In the LF site, farmland discharging rate (FDR) was computed as 0.006 in COD<sub>Cr</sub>, 0.015 in TN, and 0.029 in TP, resulted from the mass balance among total injection mass, surface runoff and groundwater. In the CM site, 29% of the nitrogen and phosphorus in each were discharged to the surface, and 64% and 58% of them were remained in the farmland. Surface runoff rate of the CM was higher than that of the LF, resulted from the solid form of the CM.

**keywords** : Cattle manure, Farmland discharging rate, Livestock manure, Pig liquid fertilizer, Surface runoff rate

### 1. 서론

가축분뇨는 고농도 유기물질과 영양물질을 함유하고 있어 수질오염물질 배출 부하 중 가축분뇨가 차지하는 비중은 상대적으로 매우 크다. 발생량은 전체 하·폐수 대비 0.6%에 불과하나 녹조나 부영양화의 원인물질인 질소, 인의 농도가 월등히 높아 하천에 미치는 오염 부하량이 25.8%에 달하는 것으로 추정되어 하천의 수질개선에 있어서 가축분뇨관리의 중요성이 대두되고 있다. 특히, 가축분뇨 중 돈 분뇨는 전체 가축분뇨발생량의 60% 이상을 차지하고 있으며(농림부, 2003), 돈 분뇨는 대부분 액체비료 형태로 발생되어 수계 및 지하수의 오염이 크게 우려되고 있다. 현재 가축분뇨 처리 방법 중 가축분뇨 공공처리시설은 개별 농가에서 운영되는 저장액비 시설에 의해 고액분리를 거친 상정액 처리를 원칙으로 설치되었으나, 수거 시스템과 농가의 인력난 등으로 고품농도가 높은 폐수가 유입되어 처리에 많은 문제점이 대두되고 있다. 이에 환경부와 농림부는 경제성 제고와 가축분뇨의 적정관리 및 자원화를 통하여 친환경 축산기반의 조성 및 수질오염방지를 동시에 추구하려 하고 있고, 지금까지 정화처리 위주의 공

공처리시설을 지역특성을 고려한 퇴·액비 자원화시설로 전환하려 하고 있다. 또한 환경부는 2012년 가축분뇨 해양배출 전면 금지에 따른 자연 순환 농업 활성화를 위해 대책을 수립하여 추진하고 있다. 하지만, 공동자원화 시설의 경우 가축분뇨를 가장 경제적으로 처리할 수 있으며 친환경농업과 연계될 경우 자원 재활용 효과를 기대할 수 있으나 현실적으로는 지역별 환경용량을 고려하여야 하며 무분별하게 시용할 경우 환경오염을 가중시키는 원인이 될 수도 있다. 정부 정책 변화에 의해 처리 개념에서 비료생산 개념으로 가축분뇨 관리가 변하고 있으나, 액비 이용농가의 제한, 수송 및 공급의 문제 등으로 액비의 수급 부족화가 수시로 발생하고 있다. 지하수 조사 결과 약 20% 이상의 천층 지하수가 질산성 질소로 오염되어있는 것으로 확인되었고(환경부, 2003), 국내의 농지 및 토양은 과영양 상태로 판단된다. 여기에 가축 분뇨 액비를 지속적으로 공급함으로 영양물질의 수계 유출율이 커지고, 호소의 부영양화를 가속시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 현장 인공 강우 실험을 통하여 실제 액비, 퇴비의 농지 주입 시 토양에 미치는 영향을 파악하였다. 작물(옥수수)을 재배하기 위한 농지조성 후 계절에 따라 인공강우로 인한 표면 유출수와 지하수의 시료를 채취하여 오염물질의 거동과 유출특성을 파악하고, 농지로 전환된 자원화물의 농지 유출비를 산출하였다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
swoa@wsu.ac.kr

## 2. 연구방법

### 2.1. 현장 조성

충청북도 옥천군 동이면 소재의 현장에 3개의 시험구역을 표준구역, 퇴비살포 구역, 액비살포 구역으로 나누어 각각  $5\text{ m} \times 10\text{ m}$ 의 크기로 건설하였다(Fig. 1). 시험구역 간 간격은 5m로 설정하여 각 실험구간의 영향을 최소화하였다. Fig. 1에서와 같이 각 시험구역으로부터 유출수가 모이도록 U형 측구를 설치( $1.7 \sim 2.3^\circ$ )하고, 지하수 관정을 설치하여 지하수모니터링 및 시료 채취를 수행하였다. 지하수 관측정은 깊이 7 m, 직경 150 mm, 수위계 관 직경 50 mm로 제작되었고, 천공홀과 수위계관 사이는 굵은 모래로 채워졌으며 지면아래 1 m는 토사로 메워졌다. 관측정 보호를 위한 보호박스가 관측정 위로 설치되었다. 표면유출수의 유량 체크를 위해 각 시험구간 수로 끝부분에 웨어를 설치하였으며 표면유출수량을 제외한 모든 수량은 지하수유출량으로 간주되었다.

### 2.2. 현장 슬러그 시험

순간수위 변화시험용 슬러그봉(길이 1 m, 무게 10 kg)을 이용하여 초기 수위 측정하고 관측정에 고정대를 매달아

투입하여 수위변화를 지속적으로 측정하였다(Philip et al., 1999). 수위를 변화시킨 직후의 수위와 회복 수위를 측정하고, AQTESOVE 모델(Bouwer and Rice, 1976; Cooper et al., 1967)을 이용하여 투수계수를 산정하였다.

### 2.3. 자원화물

퇴비는 소 사육 농가에서 자원화한 소 퇴비로써  $900\text{ kg}/50\text{ m}^2$ 이 투입되었으며(충남농업기술원, 1999), 액비시험 구역의 경우  $1,200\text{ L}/50\text{ m}^2$ 의 돈 액비를 살포하였다( $210\text{ kgN}/\text{ha}/\text{yr}$ ). 이는 EU의 기준 살포량  $200\text{ kgN}/\text{ha}/\text{yr}$ (Reindl, 2007)에 근거한 것이다. 총 주입량은 5회에 걸쳐 분할 살포되었으며, 살포시마다 초기주입농도와 초기 유출 농도(24 시간 경과 후)가 분석되었다.

### 2.4. 분석

인공강우에 따른 표면유출수와 지하수가 수집, 분석되었는데, Standard method(APHA, 1999)에 의해  $\text{COD}_{\text{cr}}$ ,  $\text{BOD}_5$ , TS/TSS, TKN이 분석되었고, TP, TN은 수질오염공정시험법에 의해 분석되었다. 토양성상 분석(TOC,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , TP, TN)을 위해 표토 하 30 cm 부근의 시료를 채취하여 토양오염공정시험법(이달원 등, 2009)에 준하여 분석하였다.

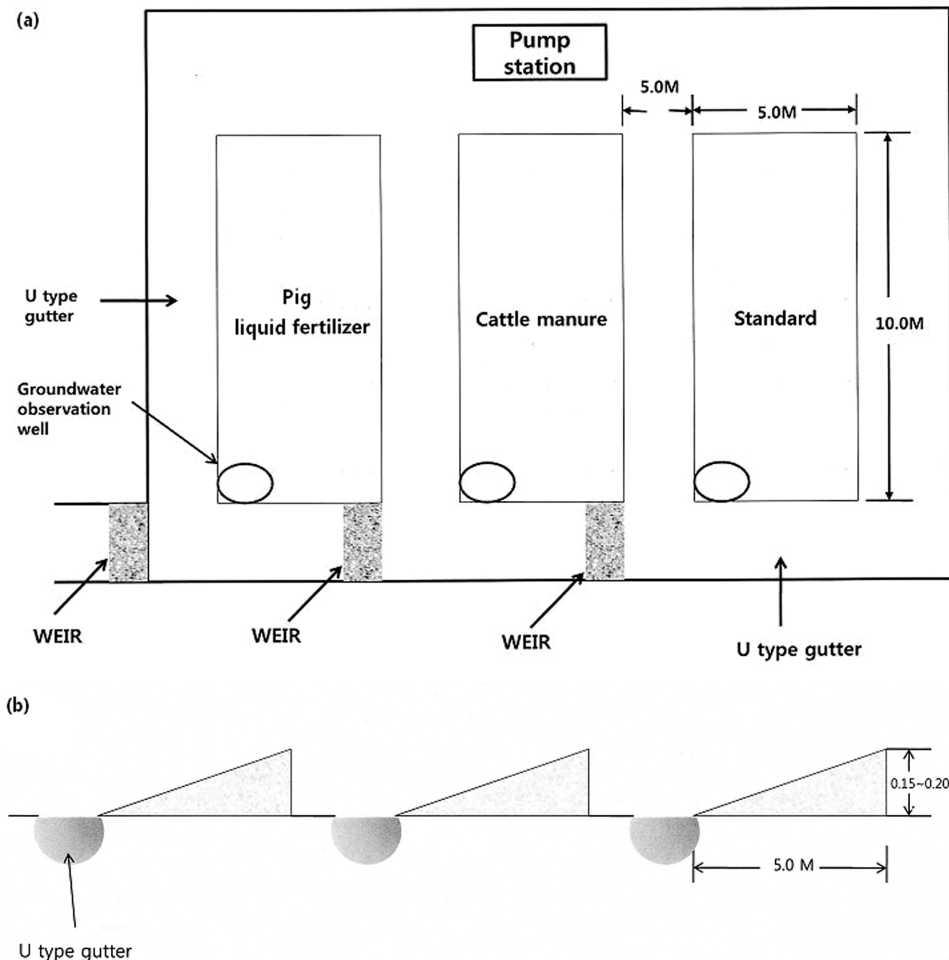


Fig. 1. Ground plan (a) and cross-sectional diagram (b) of the field site.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 토양 투수계수와 배출특성

가축분뇨의 농지주입 후 나타나는 오염물질의 배출특성을 조사하기 위해 조성된 현장 구역별 농지의 투수계수와 토양성상을 조사하였다. 3개의 시험구역(표준, 퇴비, 액비)에 현장 슬러그 실험을 통하여 투수계수를 해석한 결과, 같은 지역에 조성하였지만 토성과 다짐 정도의 차이로부터 표준 시험 구역( $2.856 \times 10^{-4}$  cm/sec)은 일반적인 밭 지역의 투수계수를 나타낸 반면, 퇴비와 액비 적용 지역( $2.433 \times 10^{-4}$ ,  $5.251 \times 10^{-4}$  cm/sec)은 새로운 흙을 이용하여 구축한 관계로 투수계수가 큰 사질토에 가깝게 나타났다(최대호, 2001). 이는 객토 농지의 값과 유사하였다. 또한, 토양의 영양물질 함유도에 대한 조사가 이루어졌다. 시험구 조성 후 퇴, 액비 적용 전의 자연 토양 상태와 액비 적용 후 작물 재배 전의 결과, 그리고 작물 수확 후 같은 지역의 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 퇴비 적용 구간에서 총질소 및 인의 함유량이 더 크게 증가하였으며 작물 재배 종료 후에도 총질소와 인의 잔량이 타 구간에 비해 더 크게 나타나고 있다.

#### 3.2. 가축분뇨의 유출특성

시험구역의 유출특성을 파악하기 위하여 인공 강우 시험을 통한 자원화물의 거동을 분석하였다. 표면 유출량은 인공강우 후, 24시간 동안 각 배수로 끝에 설치한 웨어에서 포집되었으며, 유량 측정결과 살포된 총 주입유량 1,620 L (강우강도 13 mm/hr) 중 약 21%인 350 L가 표면 유출되었다. 주입된 돼지 액비 농도는 COD<sub>cr</sub> 24,400 mg/L, SS 18,100 mg/L, VSS 12,300 mg/L, TN 4,086 mg/L, TP 408.7 mg/L이며, 이때 표면 유출수는 COD<sub>cr</sub> 127 mg/L, SS 1,360

mg/L, TN 52.6 mg/L, TP 10 mg/L로 분석되었다(Table 2). TN은 유입농도의 1.3%, TP는 2.5%가 농지에 흡수되지 않고 강우 즉시 표면 유출되었다. 이때 높은 표면 유출 SS는 시험장에 농작물을 재배하지 않음으로 인한 토사유실로 판단된다. 지하수 유출 농도 조사 결과, 표준구역 COD<sub>cr</sub> 26 mg/L, VSS 20 mg/L, TN 24.8 mg/L, TP 0.4 mg/L이며, 돼지 액비 적용 지역은 COD<sub>cr</sub> 180 mg/L, VSS 980 mg/L, TN 54 mg/L, TP 14.4 mg/L로 나타났다.

자원화물(가축분뇨)의 유출특성으로부터 농지 유출비를 산출할 수 있고, 이는 자원화물의 총 오염부하 배출량 산정 시 배출경로별 계수들 중 하나로 사용될 수 있다. 배출경로별로 고려되어야 할 부분들은 직접이송량, 개별삭감량, 관거유입량, 관거배출량, 방류수, 배출량이며, 이때 비점 오염원의 배출량으로써 농지유출비가 사용된다. 본 연구 결과로부터 총 주입된 자원화물의 양과 총 유출되는 양을 비교하여 농지 유출비를 산출하였다. COD<sub>cr</sub>, SS, VSS, TN 그리고 TP의 농지 유출비는 각각 0.006, 0.088, 0.02, 0.015 그리고 0.029이었고, 지하수 유출율은 79%였다. 이때 농지 유출비는 한강 유역의 조사와 유사한 결과를 보였다(한강수계관리위원회, 국립환경과학원 한강물환경연구소, 2005).

#### 3.3. 계절별 인공강우 시 자원화물의 거동

봄, 여름, 가을(수확 후) 계절별 인공강우 시(봄, 여름은 각 2회씩, 가을에 1회 인공강우 살포) 자원화물의 거동을 분석하였다. 인공강우에 사용된 현장 지하수 수질은 표준, 액비, 퇴비구역에서 BOD가 각각 1.4 mg/L, 1.6 mg/L, 1.1 mg/L, TN이 19.0 mg/L, 17.8 mg/L, 20.3 mg/L, 그리고 TP가 0.61 mg/L, 0.09 mg/L, 0.07 mg/L로 분석되었고, 이를 기저농도로 고려하였다. 각각의 시험구역에 26.2~9 mm/hr의

Table 1. Soil characteristics at each test site

Area	TOC (mg/kg)	PO <sub>4</sub> -P (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)
Standard				
1	1,433	2.4	72.1	18.2
2	1,312	3.1	65.4	28.2
3	1,586	1.6	31.2	15.9
Cattle manure				
1	1,612	1.3	58.6	20.2
2	6,012	24.6	366.7	84.2
3	6,832	13.1	132.7	24.8
Pig liquid fertilizer				
1	1,514	3.2	64.3	16.4
2	4,312	15.3	205.3	53.1
3	5,483	3.7	108.7	17.6

<sup>1</sup>before applying fertilizer; <sup>2</sup>after applying fertilizer(spring); <sup>3</sup>after harvesting(fall)

Table 2. Runoff test by artificial rainfall at the site used pig liquid fertilizer

	COD <sub>cr</sub>	SS	VSS	TN	TP
Pig liquid fertilizer (mg/L)	24,400	18,1000	12,3000	4086.8	408.7
surface runoff (mg/L)	127	1,360	220	52.6	10.0
groundwater (mg/L)	180	-	980	54.0	14.4
Surface runoff at standard area (mg/L)	48	1,415	98	8.5	1.5
Groundwater quality at standard area (mg/L)	26	-	20	24.8	0.4

강우강도로 평균 820 L가 시험시마다 살포되었다. 각각의 시험구역 표준, 액비, 퇴비구역별로 계절에 따른 표면유출수와 지하수 수질을 5회에 걸쳐 실험 분석하였고, 그 평균값을 Table 3에 나타내었다. 계절변화에 관계없이 대부분의 유기물질은 토양 내에서 분해되는 것으로 나타났다(김진호 등, 2008; 이병수 등, 2008). 하지만 영양염류(N, P)의 경우, 액비주입 구역에서 다른 계절에 비해 작물 재배 전인 봄에 그 함유도가 표면 유출수에서 높게 검출 되었다. 이는 식물에 의한 영양분의 이용이 없는 상태에서 강우 시 직접적으로 표면 유출되는 비율이 높은 것으로 판단된다. 하지만 퇴비주입 구역에서는 계절에 관계없이 거의 비슷한 농도의 총 질소가 표면 유출되었다. 고품분의 퇴비가 토양 내 혹은 표면 유출되는 비율이 높아 지하수에서는 액비 주입과 비교하여 더 낮은 총 질소가 검출되었다.

Fig. 2는 각 시험구역에서의 인공강우 살포 회수에 따른 표면 유출수와 지하수의 총 질소 농도 변화를 나타낸 것이다. 액비구역에서, 인공강우 1회 실패 시(봄) 액체상태의 액비는 쉽게 표면 유출되기 때문에 초기에 총질소 농도가 높게 나타나다가 급격히 감소하여 3차례의 인공강우 살포 후(여름) 거의 표준 구역과 같은 농도를 보이고 있다. 반면 퇴비 구역의 지하수 농도는 낮게 나타났으며, 표면 유출 농도는 상대적으로 서서히 감소하였다. 액비 주입 구간은 표면에서 농도가 급격히 감소하는데 반해 지하수에서는 인공강우 살포 회수에 따라 점차 증가하는 양상을 보였다. 시험기간 내 질산성질소의 농도변화 역시 총질소의 변화와 비슷한 양상을 보였다. 액비를 사용했을 경우 지하수내 농도가 가장 높았으며, 퇴비를 주입한 경우와 달리 그 농도

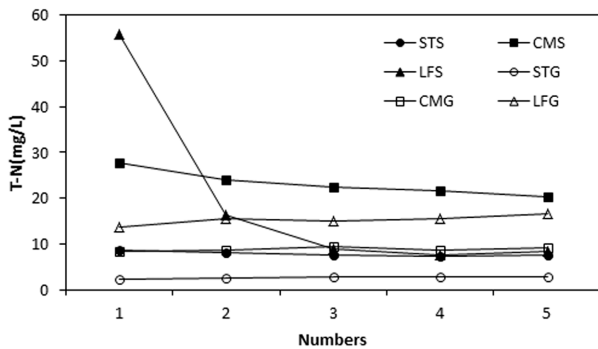


Fig. 2. Total nitrogen concentration in surface runoff (S) and groundwater (G) at each field site (ST: standard; LF: pig liquid fertilizer; CM: cattle manure).

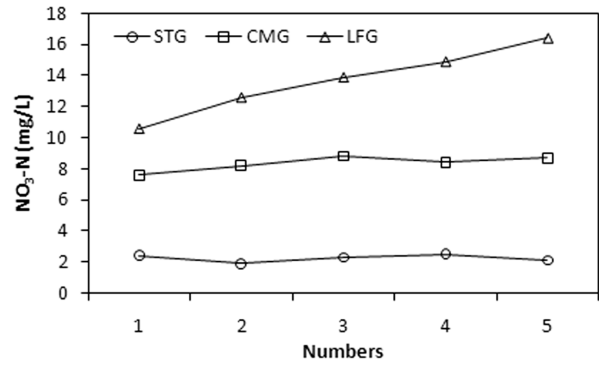


Fig. 3. Nitrate concentration in groundwater (G) at each field site (ST: standard; LF: pig liquid fertilizer; CM: cattle manure).

가 점차 증가하였다(Fig. 3).

인의 경우 영양물질 주입 후 여름기간 동안(인공강우 살포 3회~4회) 비교적 높은 농도의 인이 표면 유출되었다(Fig. 4). 그 후 다시 감소되는 추세를 보였다. 인은 질소와 비교하여 상대적으로 생물학적 반응에 의한 농도변화라기보다 강우에 의한 토사 유출에 더 큰 영향을 받았다. 조사 기간 중 인공 강우 시와 비강우시의 SS 농도 변화는 1,025 mg/L vs. 316 mg/L로 총인의 농도는 강우 시 약 2.1배 정도 높게 나타났다. 특히, 이러한 현상은 액비구역보다 퇴비 구역에서 두드러졌으며, 이는 질소농도변화와 마찬가지로 퇴비의 물질적 특성으로 판단된다.

Fig. 5는 지하수내의 총인 농도를 표시한 것이며, 인공강우 살포 회수에 따라 수차례 실험으로부터 검출된 평균값

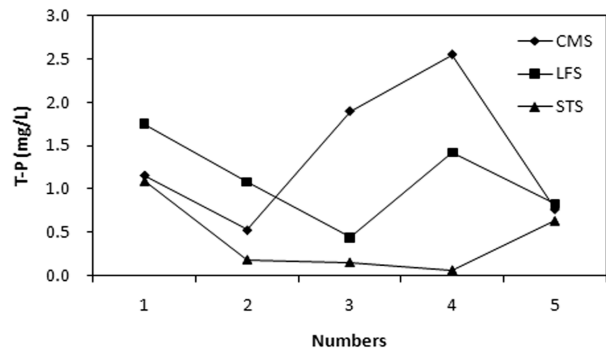


Fig. 4. Phosphorus concentration in surface runoff (S) at each field site (ST: standard; LF: pig liquid fertilizer; CM: cattle manure).

Table 3. Averaged surface runoff and groundwater quality depending on seasons at each test site

		ST Area			LF Area			CM Area		
		Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall
SBOD (mg/L)	S. R.	3.2	5.5	2.9	5.7	6.2	6.0	2.5	5.3	2.0
	G. W.	2.4	1.7	0.6	1.6	5.2	1.6	3.7	3.0	3.7
TN (mg/L)	S. R.	8.6	7.6	7.6	35.8	8.4	8.4	26.1	21.9	20.3
	G. W.	2.4	2.7	3.0	14.2	15.0	16.6	8.6	8.5	9.5
TP (mg/L)	S. R.	0.53	0.17	0.63	1.06	0.96	0.83	0.95	2.23	0.77
	G. W.	0.1	0.12	0.09	0.09	0.17	0.11	0.08	0.08	0.13

ST : Standard, LF : Pig Liquid Fertilizer, CM : Cattle Manure, S.R. : Surface Runoff, G.W. : Groundwater

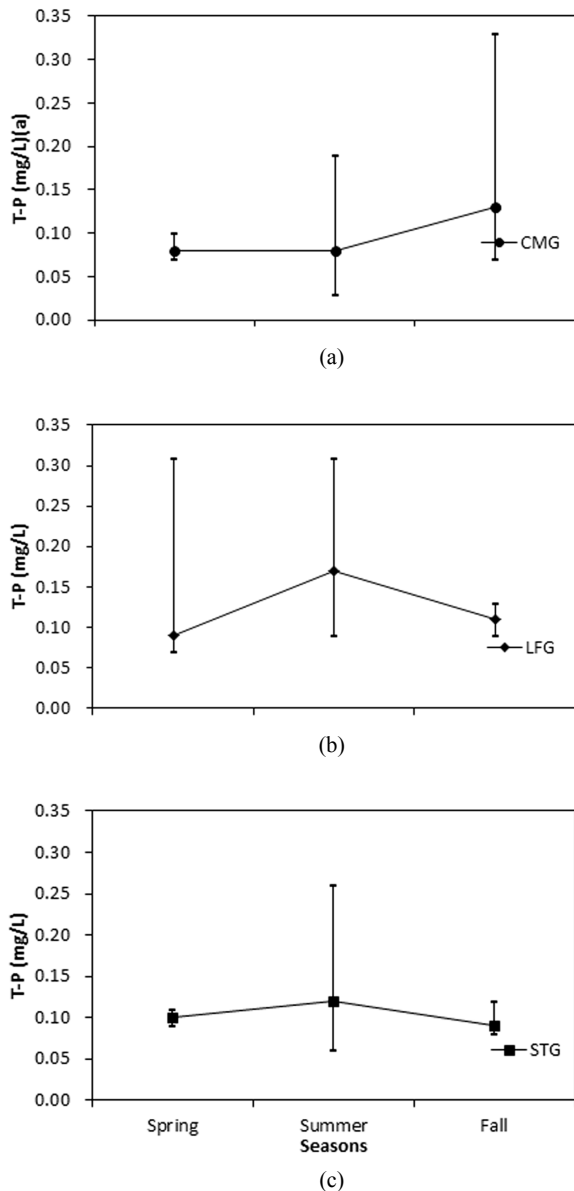


Fig. 5. Phosphorus concentration in groundwater (G) at each field site applied with different resources: (a) cattle manure, (b) pig liquid fertilizer, (c) standard.

을 선으로 나타내었고, 시험 중 최대, 최소값을 오차로 표시하였다. 약 0.1 mg/L의 평균값을 보였고, 최대 약 0.33 mg/L, 최소 0.05 mg/L의 분포를 보였으며, 강우에 따른 지하수에 끼치는 영향은 질소와 비교하여 낮게 나타났다. 하지만, 인은 질소와 다르게 미생물에 의한 분해가 이루어지지 않기 때문에 토양에 흡착된 인이 강우 시 토양과 함께 지속적으로 유출될 경우, 수계 오염 물질로써 관리가 필요하다고 판단된다.

연구 기간 중 총 5 회의 인공 강우 시험을 바탕으로 하여 농지에 적용된 축산 자원화물의 평균 유출 부하를 산정하여 이에 근거한 영양물질의 물질수지를 작성하였다. 물질수지를 요약하여 Table 4에 나타내었는데, 이에 의하면 액비 주입 시, 질소는 약 77.5%가 지하수로 유입되었고, 1.5%만이 표면유출 되는 것으로 나타났다. 또한 재배 작물(옥수수)

Table 4. Averaged pollutant load mass balance at each test site

		LF Area kg/ha(%)	CM Area kg/ha(%)
Influent	N	210(100)	210(100)
	P	21.0(100)	83.4(100)
Surface runoff	N	3.2(1.5)	60.9(29.0)
	P	0.62(3.0)	24.19(29.0)
Ground water	N	162.8(77.5)	14.7(7.0)
	P	1.37(6.5)	2.32(2.8)
Uptake of corn	N	41.1(19.6)	31.6(15.0)
	P	8.2(39.0)	6.4(7.7)
Residual in soil	N	2.9(1.4)	102.8(49.0)
	P	10.81(51.5)	50.49(60.5)

N: Nitrogen, P: Phosphorus, LF: Pig Liquid Fertilizer, CM: Cattle Manure

에 의한 흡수량은 41.1 kg-N/ha로 주입 질소량의 19.6%에 해당되는데, 일반 농지에서 옥수수 재배시 작물에 의한 질소 흡수량이 82 kg-N/ha로 알려지고 있어 일반적인 농지에서의 질소 흡수량에 비해 50% 정도의 흡수력을 보인 것으로 나타났다. 작물의 질소 흡수량은 비료 주입량, 재배 이력, 파종시기, 종자 등에 따라 달라지는 것으로 알려지고 있다(서종호와 이호진, 1998). 주입량 대비 약 1.4%가 농지에 잔류되는 것으로 나타나, 액비 주입시 주입 질소의 대부분이 작물에 이용되거나, 지하수와 표면으로 유출되는 것으로 나타났다. 질소의 경우와 다르게 인의 경우 주입량의 39%가 작물에 이용되었으며, 9.5%가 지하수와 표면으로 유출되었고, 51.5%가 농지에 잔류하는 것으로 나타났다. 이는 토양 확산성이 유리한 액비의 특성상 인 성분의 표면 유출이 적었으며, 또한 토양에 흡착되어 지하수로의 유출도 잘 일어나지 않은 것으로 나타났다(Oa and Jun, 2010).

퇴비주입 시, 질소의 약 29%가 표면유출 되었고 49%가 농지에 잔류하였으며 작물에 흡수된 양이 15%, 지하수 유출 7%로 나타났다. 함수율 75% 이하의 퇴비를 토양 혼합하여 농지 표면에 뿌리듯이 시비함에 따라 지하수 유출은 적은 반면 표면 유출은 상대적으로 크게 나타났다. 재배 작물은 겉보기에서 액비구간에 비해 현저히 작게 성장하는 것을 알 수 있었는데, 측정결과 작물에 의한 질소 흡수율 15%의 질소를 흡수한 것으로 나타나 액비 구간에 비해 약 5% 적게 흡수된 것으로 나타났다. 이는 비료의 용존 성분에 따른 초기 이용도의 차이에 따른 것으로 분석되었다. 인은 표면 유출되는 양이 전체 주입량의 29%로 액비에 비해 26%정도 높았으나, 지하수로 유출되는 양은 2.8%로 상대적으로 작게 나타났으며, 주입량의 60.5%는 고형 상태로 토양에 잔류하는 것으로 분석되었다. 퇴비 내의 인성분이 대부분 고형분으로 이루어져 있어 용존 상태로 전환되기 보다는 표면 침식에 의해 유출되는 양이 더 많은 것으로 나타나고 있다.

#### 4. 결론

인공 강우 시험을 통한 영양물질의 유출 특성을 표준, 액비, 퇴비 적용 구역으로 구분하여 각각의 실험구간별로 표

면유출수와 지하수내의 질소와 인 농도를 분석하였다. 총질소의 경우 인공강우 살포 회수에 따라 그 농도가 점차 감소하였고 지하수내의 질산성 질소 농도는 점차 증가하였고, 이러한 현상은 액비 적용 구역에서 두드러졌다. 질소의 유출량이 큰 반면 상대적으로 주입된 인 성분은 농지에 잔류하는 양이 더 큰 것으로 나타났으며, 유출의 대부분은 표면 유출로 진행되었고 유출량은 토사 유출량에 비례하는 것으로 나타났다. 영양물질인 총질소와 총인의 농지 유출비는 각각 0.015와 0.029이었고, 지하수 유출율은 77.5%였다. 액비로부터의 질소는 지하수로 가장 많이 유출되었고, 인은 퇴비 주입시 표면 유출로 가장 크게 발생되고 있는 것으로 나타났다.

우리나라의 농가에서 퇴, 액비 주입이 작물이 재배되지 않는 겨울철에 집중된다는 점을 고려할 때, 액비 또는 퇴비의 선정과 주입 방법은 토양의 투수계수, 주변 지하수의 오염정도 등을 고려하여 결정되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- 김진호, 한국현, 이종식(2008). 농촌유역의 강우 사상별 농업 비점원 오염물질 유출특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(1), pp. 69-77.
- 농림부(2003). *농림업 주요통계*.
- 서종호, 이호진(1998). 헤어리베치 피복을 이용한 옥수수 무경운 재배에 관한 연구 I. 헤어베리치의 피복량별 토양 무기태 질소함량, 옥수수의 수량 및 질소 흡수량의 변화. *한초지*, **18**(1), pp. 43-48.
- 이달원, 김용성, 임성훈(2009). 토질시험법. *공미디어*, pp. 29-96.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경익(2008). 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출특성에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(2), pp. 169-173.
- 최대호(2001). 토질시험, 동화기술.
- 충남농업기술원(1999). *유기농 재배 시 돈분 톱밥 발효퇴비 적정 사용량*.
- 한강수계관리위원회, 국립환경과학원 한강물환경연구소(2005). *축산계 오염물질 배출단위조사 및 축산자원화물의 배출 특성 조사 최종보고서*. 한강수계관리위원회.
- 환경부(2003). *2002년도 지하수 수질측정망 운영결과*.
- APHA. (1999). *Standard Methods 20th Ed.*
- Bouwer, H. and Rice, R. C. (1976). A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research*, **12**(3), pp. 423-428.
- Cooper, H. H., Bredehoeft, J. D., and Papadopoulos, S. S. (1967). Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water. *Water Resources Research*, **3**(1), pp. 263-269.
- Oa, S. W. and Jun, H. D. (2010). Nutrient Impact on the Bocheong Watershed by Application of the Treated Animal Waste. *Desalination and Water Treatment*, **19**(1), pp. 1-10.
- Philip, B. B., Hanadi, S. R., and Charles, J. N. (1999). *Ground Water Contamination - Transport and Remediation*. 2nd Ed., pp. 75-83.
- Reindl, J. (2007). *Manure management in Europe, Annotated Bibliography*, Dane County Dept. of Public Works.