

축산퇴비의 농지환원시 비점오염원으로서 수계에 미치는 영향 - 우분을 중심으로 -

이 영 신* / 이 회 집** / 홍 성 철*** / 오 대 민****+

Effect of Non-Point Sources from Livestock composted Land - A case of cows manure -

Young-Shin Lee* / Hee-Jip Lee** / Sung-Chul Hong*** / Dae-Min Oh****+

요약 : 본 연구는 축산퇴비(우분)의 농지환원시 비점오염원으로써 수계에 미치는 영향을 연구하였다. 실제 농지에 작물을 재배하여 강우에 따라 농지표면으로 직접적으로 유출되는 유출수의 성분을 조사하였다. 축산퇴비(우분)의 농지환원시 수계유출율을 산정한 결과 단기유출의 강우시 BOD5는 0.6 %, CODcr은 0.3 %, CODMn은 0.1 %, T-N은 0.8 %, T-P는 1.0 %로 나타났다. 장기유출의 강우시 BOD5는 3.6 %, CODcr은 1.0 %, CODMn은 0.9 %, T-N은 4.9 %, T-P는 4.8 %로 나타나 강우유출시간이 증가될수록 수계유출율이 증가되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 비점오염, 우분퇴비, 수계유출율, 강우

Abstract : The cows manure has been used as fertilizers in farmland because of enough nutrients. However, excess nutrients can be washed off during a storm and affected on nearby waterbodies. In this paper, the runoff characteristics from farmland were studied to determine the watershed runoff rate. As results of estimating, watershed runoff rates with short-term runoff are BOD 0.6%, CODcr 0.3 %, CODMn 0.1 %, T-N 0.8 % and T-P 1.0 % On the other hand, they with long-term runoff are BOD 3.6 %, CODcr 1.0 %, CODMn 0.9 %, T-N 4.9 % and T-P 4.8 %. It is clean that the watershed runoff rates increase according to the rainfall runoff time.

Keywords : Cows manure, Non-Point source, Rainfall, Watershed runoff rate

1. 서 론

우리나라는 소득수준향상에 따라 식생활의 변화로 육류 소비가 증가되어 축산업이 발달되었으나, 이에 따른 가축분뇨로 인한 인근수계에 영향을 끼치는 새로운 사회적 환경문제로 부각되기 시작하였다(정일환 등, 2006; 홍성구, 2002). 이

러한, 가축분뇨는 우분뇨가 60%, 돈분뇨 32%, 계분이 8% 차지하고 있으며(최홍립, 2002), 유기물질과 영양물질이 다량 포함되어 있어 오염부하가 매우 높기 때문에(홍지형, 1999; 농림부, 1999), 적정 처리없이 배출되지 못하도록 규제를 하고 있다. 또한, 축산농가는 허가대상시설에서 약 19.5%, 신고대상 및 신고미만시설에서 80.5%

+ Corresponding author : ohdm@hanseo.ac.kr
* 정희원·한서대학교 환경공학과 교수·공학박사
** 정희원·한서대학교 환경공학과 박사과정
*** 비희원·부산대학교 환경공학과 교수·공학박사
**** 정희원·교신저자·한서대학교 환경공학과 공학박사

가 있으며, 이 중 약 4.7%의 농가에서 정화시설을 설치운영하고 있어(환경부, 2003; 농림부·환경부합동, 2004) 대부분의 농가에서 가축분뇨를 자원화시설을 거쳐 퇴비 또는 액비로 만들어 농지에 살포하고 있는 실정이다. 이러한, 가축분뇨를 농지에 과다하게 살포하거나 야적한 상태로 방치할 경우, 강우시 발생할 수 있는 비점오염물질로 수질문제가 심각해 질수 있다. 하지만, 국내 퇴비 살포시기가 대부분 강수량이 적은 봄철로 오염부하의 잠재적 가능성이 높지 않은 것으로 조사되었다(홍성구와 이남호, 2001). 그러나, 최근들어 이 상기후로 인해 강수량이 많은 시기에도 작물의 영양분 공급을 위해 퇴비를 사용하기 때문에 퇴비의 농지환원으로 인해 수계에 유출되는 축산계 오염물질에 대한 연구의 진행이 되고 있다(정일환 등, 2006; 권순익과 정광용, 1994; 김진태, 2001; 이남웅, 2003).

본 연구는 이민우와 이영신(2009)에 의해 제시된 계분의 비점오염원 유출특성에 대한 연구의 추가적 연구로서, 실제 한우농가의 우분퇴비를 농지에 살포하여 작물재배를 함으로써 강우로 인해 수계에 유출되는 성분과 퇴비로 인한 오염물질의 수계유출율을 산정하여 비점오염원으로써 수계에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

축산퇴비(우분)의 농지 환원시 수계에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 1과 같이 실제 토양에 가로 3m, 세로 5m, 높이 0.3-0.4 m의 농지(실험구)를 조성하였다. 농지는 강우로 인해 배수되기 쉽도록 10°의 경사를 주었고, 시료채취구는 농지표면으로 흐르는 유출수를 포집하기 위해 농지유출부에 관을 매설하여 채취하도록 하였다. 조성된 농지에 봄의 계절적 특성에 맞는 엇갈이배추의 씨앗을 뿌려 재배하였으며, 재배작물의 성장을 위한 영양소 공급을 위해 요소함유 비료를 농지에

주입하였다. 단, 비료로 인한 보정을 위해 퇴비주입을 하지 않은 대조구 농지를 조성하였다.

본 연구에서 사용된 퇴비는 실제 한우농가에서 자원화한 우분퇴비로 그 성상을 Table 1에 나타내었다. 우분퇴비는 배추의 유기물기준 퇴비사용기준량(최대 2.0 ton/10a)을 조성면적으로 환산한 30 kg/15m²를 실험구 농지에 시비하였다. 또한, 유기물 기준으로 주입하였기 때문에 재배작물의 성장을 위해 요소함유 비료를 농가 관행 비료시비량인 52 kg/300평을 농지면적으로 환산된 양(약 1 kg)을 각 농지에 시비하였다.

연구에 이용된 토양은 일반적으로 경작에 이용되는 밭토양으로 Table 2에 나타낸 것과 같이 모래성분이 53.7-59.0 %이상인 사질점토류의 성질로 나타났으며, 토양의 비중은 2.58-2.65로 분석되었다. 우분퇴비를 토양과 혼합하여 토양의 상부층을 제외하고 매우 잘 다져진 상태로 다짐작업을 실시한 후, 밭 이랑을 만들어 자연강우에 따른 수계유출을 실험을 수행하도록 하였다. 본 연구의 강우조건은 강우시 유출시간(Runoff time) 차이에 의한 변화를 알아보기 위해 Table 3에 나타낸 것과 같이 단기유출과 장기유출로 구분하였다. 봄시비가 이루어지는 4-5월의 20 mm, 78 mm 강우를 대상으로 유출특성을 파악하여 농지환원으로 인한 수계유출량을 산정하였다.



Fig. 1. Farmland composition

Table 1. Characteristics of cows manure

BOD5(mg/L)	CODcr(mg/L)	CODmn(mg/L)	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
23,833	158,367	86,700	179,500	8,433	4,947

Table 2. Soil classification of farmland

Items	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil Texture
Experimental test	59.0	19.6	21.4	Sandy soil
Blank test	53.7	24.1	22.2	Sandy soil

Table 3. Rainfall condition

Items	Dry day (day)	Total rainfall (mm)	Rainfall Duration (hr)	Runoff time (hr)	Avg. Rainfall intensity (mm/hr)
Short-term runoff	8	20	4	3	5.0
Long-term runoff	8	78	19	12	4.1

Table 4. Measurement methods

Parameters	Methods
BOD5	Winkler Azide Modification Method (20℃ 5day)
CODCr	Titration method (K2Cr2O7)
CODMn	Titration method (KMnO4)
T-N	Spectrophotometric Method (K2S2O8)
T-P	Spectrophotometric Method (Ascorbic Acid)

2.2 연구방법

본 연구는 축산퇴비(우분)의 농지환원으로 강우시 발생할 수 있는 오염물질의 유출특성을 조사하여 비점오염원으로서 수계에 미치는 영향을 연구하고자 자연강우 조건하에 축산퇴비로 인한 오염물질의 비점유출 특성을 파악하였다. 수질분석은 수질오염공정시험법(2004)을 이용하였으며, 분석항목은 Table 4에 나타내었다.

2.2.1 작물재배특성

실험구와 대조구의 작물재배시험 결과를 비교하기 위해 수확량과 수확물내 영양물질 함량을 측정하였다. 수확물내 영양물질 함량(N, P)을 측정

하기 위해 각 농지별로 5곳에서 작물을 채취한 후, 채취된 각 수확물에서 20 g씩 고르게 분쇄하여 용출실험을 통해 발생된 샘플을 분석하였다.

2.2.2 강우유출수의 오염물질 유출특성

작물을 재배하기 위한 농지조성 후 강우로 인한 유출수의 시료를 채취하여 오염물질의 유출수의 농도와 유출량을 측정하여 유출특성을 나타내었다. 강우로 인한 유출수는 비점오염물질로 정확한 부하량 산정을 위해 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)로 계산하여 산정한다(Deletic과 Mahsimovic, 1998; Ujevic et al., 2000). 본 연구에서 산정된 강우유출수의 EMC는 식(1)을 이용하였으며, 여기서, t는 강우지속시간,

C(t)는 t 시간에서의 오염물질농도, qrun(t)는 유출량을 나타낸다(손현근 등, 2009).

$$EMC (mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \times q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (1)$$

2.2.3 농지로 환원된 퇴비내 오염물질거동 특성

작물 재배기간 중 농지로 환원된 퇴비 내 오염물질의 거동을 조사하기 위해 축산퇴비(우분)를 살포하기 전에 농지 내 30 cm 깊이의 토양을 채취하여 재배기간 중 일정기간별로 각각 토양시료를 채취하였다. 토양시료 채취방법은 지그재그형으로 5지점을 선정하여 토양오염공정시험방법(2002)에 준해 실시하였으며, 표면의 잡초나 이물질 층은 제거한 후 채취하였다.

채취한 토양은 농지규모가 크지 않기 때문에 각 농지별로 혼합한 후 음지에서 풍건하여 2 mm 체를 통과시킨 후 분석시료로 사용하여 용출시험을 통해 오염물질 농도를 측정하였다.

2.2.4 농지환원시 수계유출율 산정

본 연구의 수계유출율은 자연강우시 발생하는 유출량(L)과 유출농도(mg/L)를 이용하여 산정하였다. 또한, 강우시 유출수의 농도는 표면유출수만을 고려하였으며, 우분퇴비 부하량(g)이 직접농

지로 투입되었을 때 강우로 인해 비점오염물질로서 유출되는 비점유출량(g)을 산정한 뒤 그 비를 수계유출율로 산정하였다. 비점유출량(Non-point runoff)은 2.2.2절에서 산정된 강우유출수의 EMC 농도와 유출량을 이용하여 산정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 작물재배특성

축산퇴비(우분)로 인한 영향을 비교하기 위해 퇴비를 혼합하지 않은 대조구를 설치하도록 하며, 재배작물의 성장율을 측정하기 위해 줄기성장율 약 5일 간격으로 측정하였다.

아래 Fig. 2와 같이 작물재배기간별 성장높이를 측정한 결과, 재배기간 중 강우가 온 이후 급격하게 작물의 성장률이 높아졌다.

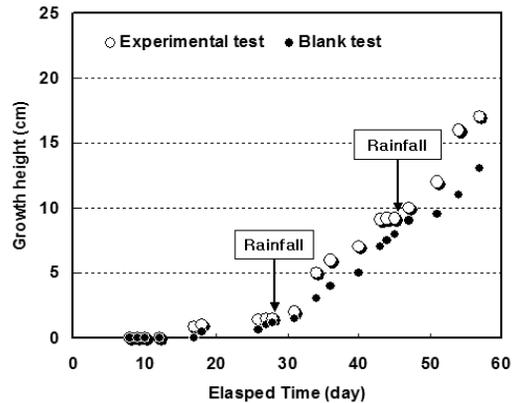


Fig. 2. Variation of Growth height

Table 5. Nutrients mass of crops

Experimental test	Nitrogen (mg/L)	Phosphorus (mg/L)	Blank test	Nitrogen (mg/L)	Phosphorus (mg/L)		
1	205.27	59.75	1	258.41	42.31		
2	219.51	92.13	2	221.55	73.55		
3	211.69	63.45	3	186.72	62.83		
4	350.48	80.88	4	174.23	71.26		
5	235.16	78.64	5	181.39	60.15		
Average	(mg/L)	244.42	74.97	Average	(mg/L)	204.46	62.02
	(%)	0.024	0.007		(%)	0.020	0.006

작물재배된 실험구 수확량은 0.437 kg/m^2 이며, 수확물내 영양물질 함량은 N함량은 $0.024 \pm 0.006 \%$, P함량은 $0.007 \pm 0.001 \%$ 로 나타났으며, 대조구의 경우 수확량은 0.153 kg/m^2 이며, 수확물내 영양물질 함량은 N함량은 $0.020 \pm 0.004 \%$, P함량은 $0.006 \pm 0.001 \%$ 로 나타났다.

3.2 강우유출수의 오염물질 유출특성

축산퇴비(우분)가 혼합된 농지의 강우로 인한 유출수의 오염물질 유출특성은 단기유출과 장기유출로 구분하여 유출농도와 유출량을 조사한 결과, Fig. 3과 Fig. 4와 같이 나타났다.

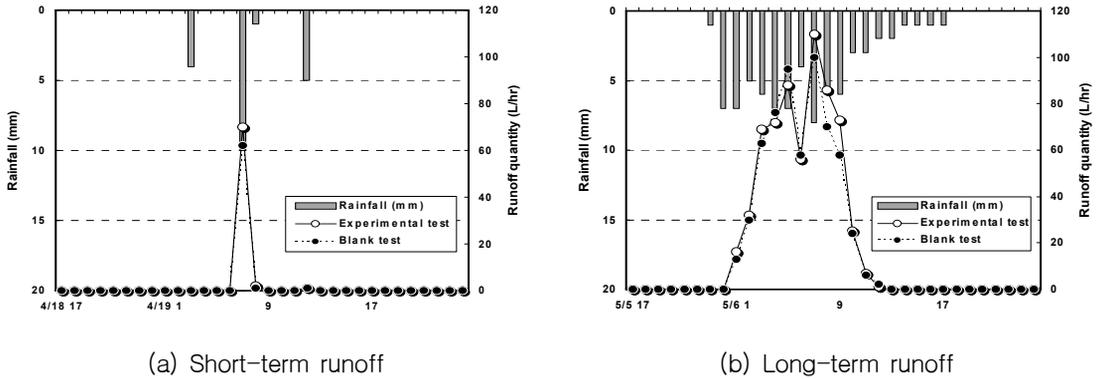


Fig. 3. Characteristics of runoff according to rainfall

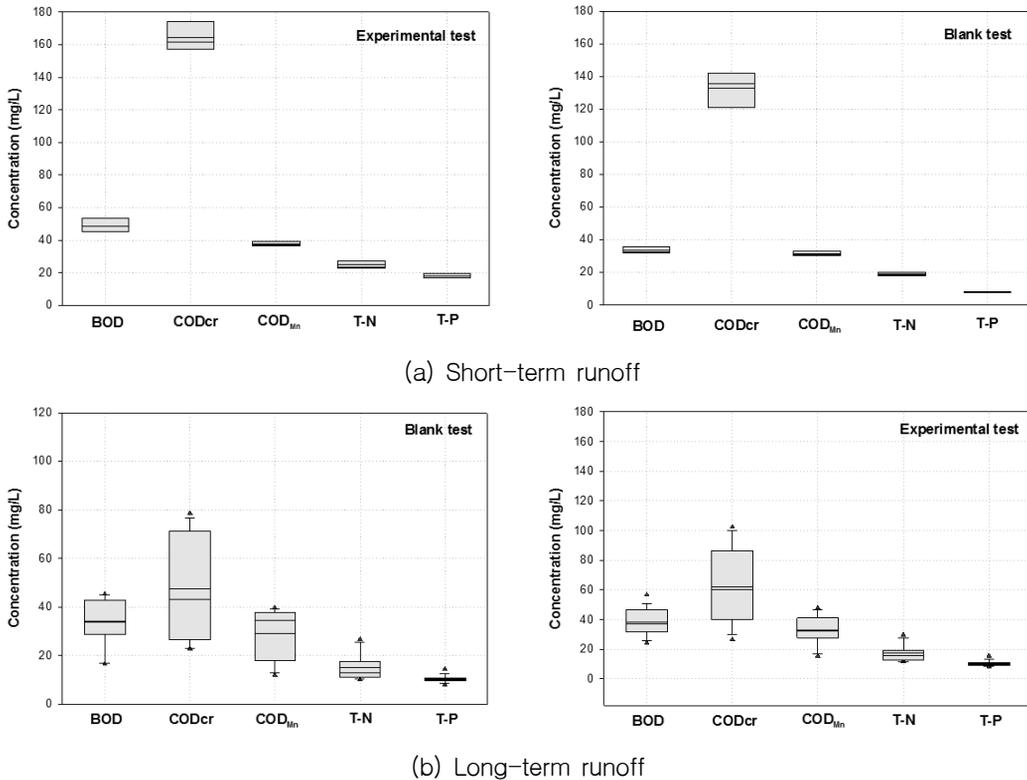


Fig. 4. Pollutant concentration according to rainfall

단기유출일 때의 실험구, 대조구의 BOD5는 각각 48.8±5.6 mg/L, 33.6±2.3 mg/L이었고, CODCr는 164.3±11.4 mg/L, 132.7±10.5 mg/L이었다. 장기유출일 때의 BOD5는 38.5±9.5 mg/L, 33.8±9.7 mg/L이었고, CODCr는 62.2±25.9 mg/L, 47.5±21.5 mg/L로 나타났다.

Table 6은 강우유출수에 대해 식(1)을 이용하여 EMC농도를 산정한 결과이다. 단기유출의 경우 실험구와 대조구의 BOD5 EMC농도는 55.6 mg/L, 36.5 mg/L이었고 CODCr는 173.6 mg/L, 141.4 mg/L로 나타났다. 또한, 장기유출의 실험구와 대조구의 BOD5 EMC농도는 41.0 mg/L, 37.0 mg/L이었고 CODCr는 72.2 mg/L, 52.0 mg/L로 나타났다.

3.3 농지로 환원된 퇴비내 오염물질거동특성

Fig. 5에 나타난 바와 같이 작물재배기간동안 퇴비내 오염물질거동특성을 나타내었다.

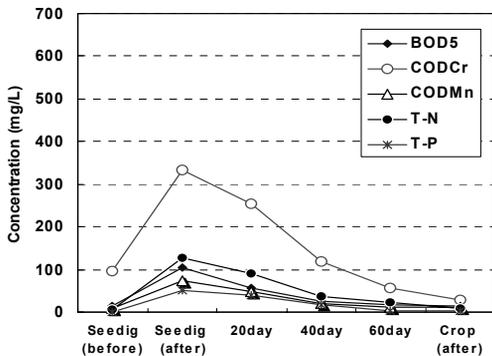
실험구의 농지로 전환된 퇴비 내 오염물질의 거동특성은 주입전 BOD5는 13.4 mg/L, 주입 후에는 105.8 mg/L, 20일 경과 후에는 55.6 mg/L, 40일 경과 후에는 26.2 mg/L, 60일 경과 후에는 17.3 mg/L로 나타났다. 다른 항목 역시 비슷한 분포를 보였다.

대조구의 주입전 BOD5는 13.9 mg/L, 주입 후에는 109.5 mg/L, 20일 경과 후에는 62.4 mg/L, 40일 경과 후에는 16.8 mg/L, 60일 경과 후에는 12.4 mg/L로 나타났다.

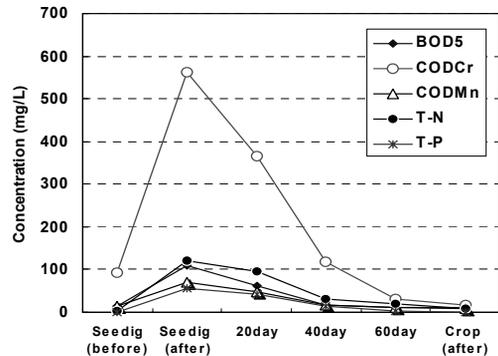
수확 후에는 실험구의 농도는 BOD5는 15.1 mg/L, CODCr은 28.6 mg/L, CODMn은 10.8 mg/L, T-N은 9.5 mg/L, T-P는 3.4 mg/L로 나타났다. 대조구의 농도는 BOD5는 10.4 mg/L, CODCr은 16 mg/L, CODMn은 9.6 mg/L, T-N은 7.3 mg/L, T-P는 1.4 mg/L로 나타나 주입 전의 농도는 대조구의 농도가 높았으나 수확 후의 농도는 실험구의 농도가 높게 나타났다.

Table 6. Pollutant concentration(EMC) of runoff according to rainfall

Items		BOD5 (mg/L)	CODCr (mg/L)	CODMn (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Short-term runoff	Experimental test	55.6	173.6	40.1	28.3	20.2
	Blank test	36.5	141.4	33.8	20.4	8.5
Long-term runoff	Experimental test	41.0	72.2	37.1	19.5	11.1
	Blank test	37.0	52.0	32.4	16.6	10.9



(a) Experimental test



(b) Blank test

Fig. 5. Pollutants concentration according to Land application period

Table 7. Watershed runoff rate by rainfall

Items		Short-term runoff	Long-term runoff
BOD5	Cows manure (g)	715	715
	Non-point runoff (g)	4.1	26.0
	Watershed runoff rate (%)	0.6	3.6
CODCr	Cows manure (g)	4,751	4,751
	Non-point runoff (g)	12.7	45.9
	Watershed runoff rate (%)	0.3	1.0
CODMn	Cows manure (g)	2,601	2,601
	Non-point runoff (g)	2.9	23.6
	Watershed runoff rate (%)	0.1	0.9
T-N	Cows manure (g)	253	253
	Non-point runoff (g)	2.1	12.4
	Watershed runoff rate (%)	0.8	4.9
T-P	Cows manure (g)	148.4	148.4
	Non-point runoff (g)	1.5	7.1
	Watershed runoff rate (%)	1.0	4.8

3.4 농지환원시 수계유출율 산정

Table 7에 나타낸 바와 같이 축산퇴비(우분)의 농지환원시 수계유출율을 산정한 결과, 단기유출의 강우시 BOD5는 0.6 %, CODcr은 0.3 %, CODMn은 0.1 %, T-N은 0.8 %, T-P는 1.0 %로 나타났다.

장기유출의 강우시 BOD5는 3.6 %, CODcr은 1.0 %, CODMn은 0.9 %, T-N은 4.9 %, T-P는 4.8 %로 나타나 강우유출시간이 증가될수록 수계유출율이 높게 나타났다.

4. 결 론

축산퇴비(우분)이 강우시 유출되어 비점오염원으로서 수계에 미치는 영향을 연구하기 위하여 실제 농지를 조성하여 조사한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 작물재배된 실험구 수확량은 0.437 kg/m²이

며, 수확물내 영양물질 함량은 N함량은 0.024±0.006 %, P함량은 0.007±0.001 %로 나타났으며, 대조구의 경우 수확량은 0.153 kg/m²이며, 수확물내 영양물질 함량은 N함량은 0.020±0.004 %, P함량은 0.006±0.001 %로 나타났다.

- 2) 단기유출의 경우 실험구와 대조구의 BOD5 EMC농도는 55.6 mg/L, 36.5 mg/L이었고 CODCr는 173.6 mg/L, 141.4 mg/L로 나타났다. 또한, 장기유출의 실험구와 대조구의 BOD5 EMC농도는 41.0 mg/L, 37.0 mg/L이었고 CODCr는 72.2 mg/L, 52.0 mg/L로 나타났다.
- 3) 실험구의 농지로 전환된 퇴비 내 오염물질의 거동특성은 주입전 BOD5는 13.4 mg/L, 주입 후에는 105.8 mg/L, 20일 경과 후에는 55.6 mg/L, 40일 경과 후에는 26.2 mg/L, 60일 경과 후에는 17.3 mg/L로 나타났다. 다른 항목 역시 비슷한 분포를 보였

다. 대조구의 주입전 BOD5는 13.9 mg/L, 주입 후에는 109.5 mg/L, 20일 경과 후에는 62.4 mg/L, 40일 경과 후에는 16.8 mg/L, 60일 경과 후에는 12.4 mg/L로 나타났다.

- 4) 축산퇴비(우분)의 농지환원시 수계유출율을 산정한 결과 단기유출의 강우시 BOD5는 0.6 %, CODcr은 0.3 %로 나타났고, 장기 유출의 강우시 BOD5는 3.6 %, CODcr은 1.0 %로 나타나 강우유출시간이 증가될수록 수계유출율이 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한강수계관리위원회에서 시행한 '2005년도 환경기초조사사업'의 지원에 의하여 연구된 결과로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

정일환, 최승철, 원철희, 장범수, 임재명, 축산자원 화물의 농지주입에 따른 비점오염 유출특성, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계 학술발표회 논문집, 2006.

홍성구, 축산분뇨 농지환원을 위한 적정관리 방안, 한국농공학회, 제44권 제5호, pp.136-146, 2002.

최홍립, 우리나라 가축분뇨 대책, 농어촌과 환경, 2000.

홍지형, 축산폐기물 자원화, 동화기술, 1999.

농림부, 축산분뇨 처리 및 자원화 대책, 1999.

환경부, 오수 · 분뇨 및 축산폐수처리 통계, 2003.

농림부 · 환경부합동, 가축분뇨관리·이용대책, 2004.

홍성구, 이남호, 우분퇴비의 농지환원시 오염부하 포텐셜 평가, 한국농공학회지, 제43권 제1호, pp.66-74, 2001.

권순익, 정광용, 유기성 폐기물 비료성분 표준단위 설정, 농업과학기술원 시험연구보고서, 1994.

김진태, 축분퇴비의 침출수 수질특성, 석사학위논문, 한경대학교, 2001.

이남용, 토양시비용량을 고려한 한계 축산규모 및 적정관리모델, 박사학위논문, 건국대학교, 2003.

이민우, 이영신, 강우강도에 따른 비점오염원 유출 특성에 관한 연구(계분을 중심으로), 한국습지학회, 제11권 제1호, pp.91-97, 2009.

환경부, 수질오염공정시험법, 2004.

Deletic, A.B. and Mahsimivic, C.T., Evaluation of methods of estimating stormwater pollutant loads, J. of water Environmental Engineering, Vol. 124, No.9, pp. 869-993, 1998.

손현근, 이소영, Maria C. Maniquiz, 김이형, 강우 시 포장지역의 비점오염물질 유출 및 저감특성, 한국습지학회, 제11권 제2호, pp. 55-66, 2009.

환경부, 토양오염공정시험방법, 2002.

- 논문접수일 : 09년 09월 16일
- 심사의뢰일 : 09년 09월 17일
- 심사완료일 : 09년 12월 14일