



## 농지 주입 시 배출특성에 대한 축분자원화물 연구

임재명\*, 이영신\*\*, 한기봉†

강원대학교 환경공학과\*, 한서대학교 환경공학과\*\*, 가톨릭대학교 생명·환경공학부 환경공학전공 청정환경연구소†  
(2009년 12월 3일 접수, 2009년 12월 28일 채택)

## A Study on the Livestock Resources regarding on the Discharging Characteristics from Farm Land

Jai-Myug Lim\*, Young-Siu Lee\*\*, Gee-Bong Han†

Kangwon University\*, Hanseo University\*\*, Department of biotechnology Environmental engineering division, The Catholic university of Korea†

### ABSTRACT

In this study, to estimate the transforming (runoff and leachate) rate of the organic fertilizer made of livestock resources to farm land, laboratory scale test was conducted and the results were obtained as follows:

The runoff volume from farm land showed the tendency of increase according to the increase of rainfall intensity. The most rainfall leached into the underground at the rainfall intensity of 20mm/hr, and rainfall of 5L or less leached at the rainfall intensity of > 32.4 mm/hr. This shows that surface runoff largely depends on the rainfall intensity when soil characteristic and hardness are similar in each site. When liquid compost was fertilized, the surface runoff was similar with the results from the reactor fertilized by compost, and leachate flow was found to be lower than compost.

The runoff ratio of contaminant parameters from farm land were BOD 0.00003, COD<sub>cr</sub> 0.00006, TN 0.00056, TP 0.00011, TOC 0.00005. Especially, the runoff ratio of TN showed 10 folds higher than other parameters. On the other hand, the runoff ratio of SS showed higher value of 0.001, and colloid particles of soil caused this result rather than the leachate from compost fertilizer. At all ranges of rainfall intensity, fertilizer removal ratio by farm land was found to be 94.9~98.4% for compost and 85.8~98.1% for liquid compost in terms of BOD. For TN, it resulted in 96.6~98.4% for compost and 97.2~98.5% for liquid compost, and thus the most fertilizer from livestock resources were shown to be reduced through farm land application.

†Corresponding author : geebhan@catholic.ac.kr

Keywords : runoff ratio from farm land, transforming rate in farm land, rainfall intensity, livestock resources, fertilizer, liquid fertilizer

## 초 록

본 연구에서는 축산자원화물을 농지에 주입 시 유출 및 침출에 의하여 삭감되는 축분자원화물의 전환율을 산정하고자 실험실 시험을 실시하여 조사 및 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

강우강도의 증가에 따라 농지로부터 유출유량도 증가하는 경향을 보였다. 침투수의 유량은 강우강도 20mm/hr 미만에서는 강우의 대부분이 지하로 침투하였으며, 32.4mm/hr 이상의 강우강도에서는 5.0L로 거의 유사하거나, 다소 감소하는 경향을 보였다. 토양의 구성성분과 다짐의 정도가 유사할 경우 표면유출은 강우강도의 크기에 의존함을 알 수 있었다. 액비를 시비한 경우, 표면유출수의 유량은 퇴비를 시비한 반응조와 거의 유사하였으며, 침투수의 유량은 퇴비 시비시보다 작게 나타났다.

오염물질의 항목에 따른 농지유출비는 BOD가 0.00003, COD<sub>Cr</sub>은 0.00006, TN은 0.00056, TP는 0.00011, 그리고 TOC는 0.00005로서 항목에 따라 다소 차이가 있었다. 특히, TN 유출비는 타 항목에 비하여 10배 이상의 높은 값을 보였다. 한편, SS의 경우 농지유출비는 0.001로 매우 높게 나타났는데, 이는 시비된 오염물질의 유출이라기보다는 토양자체의 미세한 콜로이드성 입자의 유출에 기인하는 것으로 판단된다.

32.4~57.1mm/hr의 모든 강우강도를 고려할 때, 자원화물이 농지에서 삭감되는 농지 삭감비는 BOD의 경우 퇴비는 94.9~98.4%, 액비는 85.8~98.1%의 높은 범위를 보였다. TN은 퇴비의 경우 96.6~98.4%의 범위를 보였으며, 액비의 농지 삭감율은 97.2~98.5%의 범위로서 대부분의 자원화물이 농지에서 삭감되는 것으로 조사되었다.

핵심용어 : 농지유출비, 농지삭감비, 강우강도, 축산자원화물, 퇴비, 액비

## 1. 서론

전통적으로 소규모 혹은 부업 수준의 축산 농가에서 발생하는 축산분뇨는 귀중한 비료자원으로 이용되어 왔다<sup>1)</sup>. 그러나 축산농가의 많은 수가 전문화, 기업화되면서 축산분뇨의 발생량은 크게 증가하여 축산농가로부터 배출되는 오폐수와 분뇨는 호소 및 하천의 주요 수질오염원으로 부상하게 되었다. 우리나라 가축분뇨의 연간 총 발생량은 약 4,500만톤이며 이 가운데 우분뇨가 60%, 돈분뇨 32%, 계분이 8%정도 차지하고 있다<sup>2)</sup>. 이렇게 발생하는 분뇨 중 허가대상 농가에서 약 22.7%가 발생하며, 77.3%는 신고대상 규모의 농가에서 발생되고 있다. 대부분의 농가에서는 가축분뇨 처리시설을 갖추고 있으며 이 가운데 70% 이상이 자원화

시설이고 약 26%의 농가에서 정화시설을 설치 운영하고 있는 실정이다<sup>3)</sup>. 이러한 비율은 지역에 따라서 다소 차이를 보이고 있으나 대부분 농가에서 퇴비사, 톱밥축사, 각종 발효시설, 액비화 시설 등의 자원화시설을 선호, 이용하고 있다<sup>4)</sup>.

가축분뇨의 자원화는 농지로 환원 유기질 비료로서 이용하는 것을 의미한다. 즉, 축산농가에서 발생하는 대부분의 가축분뇨는 자원화시설을 통해 퇴비 혹은 액비로서 농지로 환원된다고 볼 수 있다. 축분 퇴비의 농지 환원을 위하여 다양한 연구와 적절한 이용방안이 제시되고 있으며, 작물별 적정 시용기준 등이 제시되고 있다<sup>5)</sup>. 특히 축분 퇴비 중 질소함량을 기준으로 살포하는 지금까지의 시용방법은 토양 내 인산의 과다 집적을 초래하므로 퇴비 중 인산함량을 기준으로 사용하고 부족한 질

소는 화학비료로 보충하도록 하는 개선된 방안 등이 제시되고 있다<sup>6),7)</sup>.

그러나 가축분뇨의 농지 환원 과정에서는 퇴비의 과다사용 문제와 축분 환원으로 인한 2차 오염이 발생할 수 있다. 2차 오염은 자원화물(퇴비, 액비)이 살포된 농지에서 강우 시 오염물질이 인근 수계로 유입되거나, 지하로 침투하여 지하수를 오염시키는 것을 말한다. 특히 축분을 농지에 과다하게 살포하거나 야적한 상태로 방치할 경우 강우 시 발생할 수 있는 수질오염문제는 심각해질 수 있다. 다행히 국내의 퇴비 살포 시기는 대체로 강수량이 적은 봄철이라서 오염부하의 잠재적 가능성은 높지 않다<sup>8)</sup>.

그러나 일부 과수농가나 밭작물의 경우 강수량이 많은 시기에도 퇴비를 사용하기 때문에 한강수계와 같이 음용수의 상수원으로 이용되는 지역에서는 축산계 자원화물의 농지 환원 시 발생할 수 있는 2차 오염에 대한 조사를 수행하여야 한다<sup>9)</sup>. 2차 오염에 대한 조사는 강우 시 축산자원화물로부터 발생하는 오염물질의 유출비를 산정함으로써 수행될 수 있으며, 산정된 유출비로부터 본 연구의 최종 목적인 자원화물의 농지 전환 시 농지 삭감비를 구할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 전환된 축산계 자원화물이 살포된 농지에서 강우 시 유출되는 오염물질의 농지 유출비와 농지 삭감량을 산정하기 위하여, 인공강우 조건을 조성한 실험실 규모의 처리장치에

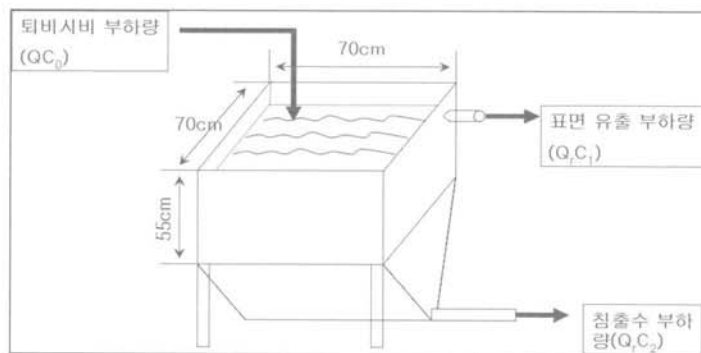
서 강우강도에 따른 농지 유출비와 농지 삭감량을 산정함으로써 이에 대한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

축산자원화물의 농지 주입 시 농지 삭감율은 축사에서 배출된 분과 뇨가 공공처리 또는 자체 자원화시설 등을 거쳐 생산된 자원화물이 논과 밭 등에 살포되어 저감되어지는 비율을 의미한다. 이는 투입된 시비량에서 강우 시 유출되는 부하량을 제한값으로 순수하게 토양으로 전환된 값을 말한다. 실험실 규모의 처리장치에서 인공강우에 따른 오염물질의 유출비와 농지 삭감율을 구하였다.

### 2.1 실험장치

실험은 두께 1cm의 코팅된 나무 합판을 이용하여 (Fig. 1)과 같이 반응조를 제작하여 이용하였다. 반응조의 규격은 가로 70cm × 세로 70cm × 높이 55cm로 실 유효용적은 0.245m<sup>3</sup>이며, 총 5개를 제작하였다. 반응조의 바닥은 함석으로 이루어져 있으며, 토양으로 침투된 강우의 하부배수를 위하여 일정간격으로 구멍을 냈다. 반응조의 경사는 물 빠짐 등을 고려하여 토양의 경사를 기준해 10°로 하였고, 시료 채취구는 표면유출수와 토양침출수를 채취할 수 있도록 2개소를 설치하였으며, 반응조 하부는 토양으로 침투되는 물을 포집하기 위



(Fig. 1) Schematic diagram of lab. scale reactor.

하여 삼각 웨어 형태로 제작된 빈 공간을 두었다.

실험실내에서 인위적인 강우 조건을 만들어 주기 위하여 반응조에 강우가 일정한 간격으로 내릴 수 있는 살수장치를 제작하였다. 살수장치는 잔디밭의 물 공급에 사용되는 스프링 쿨러가 이용될 수 있으나, 본 실험에서는 토양상자에 보다 일정한 간격으로 균일한 강우를 적용하기 위하여 아크릴 판으로 제작하여 이용하였다. 아크릴 판은 상판과 하판으로 구하고, 상판은 가로 90cm × 세로 90cm의 크기로 제작하였으며, 4cm 간격으로 직경 5~8mm의 구멍을 내어 실험에 이용하였다. 그러나 예비 실험 결과, 물이 적절히 살포되지 않는 문제점이 발생하여, 타공된 구멍에 셀로판지를 붙인 후 다시 1mm 이하의 구멍을 뚫어 물이 적절히 살포되도록 하였으며, 이를 실험실 시험의 살수 장치로 이용하였다.

## 2.2 토양조건

[Fig. 1]과 같이 제작된 반응조에 높이 기준으로 상부의 5cm를 제외한 50cm에 토양을 채워 넣고, 실제 농지와 유사한 조건을 유지하기 위하여 실제 경작지의 토양을 채취한 뒤, 반응조의 하부에 10cm를 채우고 다짐 작업을 수행하는 방법을 반복하여 토양을 50cm 높이로 반응조에 채워 넣었다. 강우 시 오염물질의 표면유출과 하부침투는 강우량 혹은 강우강도에 많은 영향을 받지만, 토양의 구성성분에 따라서도 많은 영향을 받을 것으로 판단되어, 본 실험에서도 실험에 이용된 토양의 구성성분을 파악 하였으며, 그 결과를 [Table 1]에 제시하였다.

## 2.3 자원화물

실험에는 자원화물 중 돈분의 퇴비와 액비를 이용하였다. 퇴비는 축산농가의 퇴비화 시설에서 직접 채취하여 톱밥과 섞어 이용하였으며, 액비는 액비화 시설에서 약 6개월간 부숙된 액비를 이용하였다.

퇴비의 성상은 퇴비 1kg당 존재하는 오염물질의 항목별 mg수로 나타내었는데, 퇴비 내 BOD는 144,450mg/kg, COD<sub>Cr</sub>은 265,250mg/kg, TN은 8,690mg/kg, 그리고 TP는 541mg/kg으로 조사되었다. 이러한 퇴비 내 오염물질 성상에 기초하여 퇴비 2kg을 반응조에 투입하였다. 각 오염물질의 항목별 투입량은 BOD가 288.9g, COD<sub>Cr</sub>은 530.5g, TN은 17.4g, 그리고 TP는 1.08g을 주입하였다.

액비 원수의 성상을 살펴보면, COD<sub>Cr</sub>은 50,150mg/L, TN은 5,453mg/L, TP는 35.8mg/L로 조사되었으며, 액비 실험용 반응조에 2L를 주입하였다. 주입한 액비 내 오염물질의 항목별 투입량은 COD<sub>Cr</sub>은 100.3g, TN은 10.9g, 그리고 TP는 0.72g이었다.

## 2.4 강우강도

자원화물이 환원된 농지에서의 유출 중 가장 큰 영향은 강우시의 강우강도에 의해 발생하며 강우강도에 따라 오염물질의 유출특성이 변하게 된다. 강우 시 발생하는 유출특성을 분석하기 위하여 자연현상을 충분히 반영하고 해석하여, 특정빈도나 재현기간에 해당하는 침투 유량을 기준으로 분석을 실시한다. 자연 상태에서 강우로 인해 유출되는 자연현상을 인공적으로 분석하기 위해서는 자

[Table 1] Soil Characteristics of Lab. and Farm Land

Test	Site	Specific Gravity	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Characteristic
1	Lab.	2.62	94.2	2.1	1.3	Sandy Soil
2		2.66	94.2	2.1	1.3	Sandy Soil
3		2.64	94.6	1.4	1.3	Sandy Soil
4		2.67	94.6	1.4	1.3	Sandy Soil
5	Farm Land	2.68	88.7	1.4	1.4	Sandy Soil

연현상이 충분히 반영되어야 하고, 강우 시 유출특성 파악을 위한 유효강우는 건기와 우기를 명확히 구분 할 수 있어야 하며, 강우유출을 유발할 수 있는 강우사상은 선행 강우로부터 독립적이고, 지표 유출이 일으킬 수 있는 조건을 만족시켜야 한다. 따라서, 본 연구에서는 미국 EPA의 National Pollution Discharge Elimination System : NPDES(1991)에서 제시한 기준에 근거하여 유효강우를 선정하였다<sup>10)</sup>. 강우강도에 따른 유출특성을 파악하기 위한 설계 강우강도는 강우지속시간을 1시간으로 설정하였는데, 이는 홍(2001)과 박(2005) 그리고 한국수자원공사(2003)의 연구에 기초한 것이다<sup>11),12),13)</sup>. 홍(2001)의 연구와 박(2005)의 연구에 의하면, 강우강도 50mm/hr의 조건에서 충분한 표면유출이 일어난다고 보고하였으며, 한국수자원공사(2003)에서는 강우량이 30mm 이상일 경우 표면유출이 일어난다고 보고하였다<sup>11),12),13)</sup>. 따라서 본 실험에서는 한국수자원공사(2003)가 보고한 일 강우량 30mm를 고려하여 IDF 곡선 상에서 강우지속시간을 1시간으로 설정하였다.

2.5 실험 및 분석

토양에 환원된 자원화물의 강우 시 유출 및 농지 삭감률에 대한 시험은 7개의 설계강우를 토대로 수행되었다. 강우강도 5~10 mm/hr은 퇴비만을 시비하여 총 3회의 실험을 수행하였는데, 이 실험은 강우가 여러 시간 지속될 경우 어느 시점에서 유출이 일어나는지를 고찰하기 위해 수행되었다. 설계 강우강도 32.4~57.1mm/hr의 조건에서는

퇴비와 액비를 시비하여 5회의 실험을 수행한 후, 다시 퇴비나 액비를 시비하여 5회를 실험하는 방법을 3회씩 반복하여 각각 15회씩의 실험을 수행하였다.

각 강우조건에서 실험을 수행한 후 표면 유출수와 토양 침투수를 채취하였는데, 표면 유출수는 강우 종료 후 유출 종료 시까지 유량을 측정하고 분석용 시료를 채취하였으며, 토양 침투수는 강우 종료 후 24시간까지 조사를 수행하였다. 1회의 실험이 끝나면 3일간의 휴지 기간을 둔 후 다시 실험에 임하였다. 시비된 자원화물의 물질수지는 표면유출수와 토양침투수를 고려하여 산정하였으며, 증발의 영향과 반응조가 협소한 관계로 작물의 재배는 고려하지 않았다. 강우수의 공급은 정량펌프(Master Flux Pump)를 이용하여 총 유입유량을 설계 지속시간 만큼 연속적으로 주입하였다.

채취한 침출수와 표면 유출수는 pH, BOD, COD<sub>Cr</sub>, TOC, SS, TN, TP에 대하여 분석을 실시하였다. [Table 2]에 나타난 것과 같이 분석은 수질오염 공정시험방법과 Standard method에 준하여 실시하였다<sup>14)</sup>.

3. 결과 및 고찰

3.1 유출유량 및 농도

퇴비를 시비한 반응조에서 강우강도 5mm/hr로 30시간 지속한 실험과 10mm/hr로 10시간 지속한 실험의 총 강우량은 각각 150mm와 100mm로서, 강우량 측면에서는 많은 양이 내렸으나, 실제 유출은 일어나지 않고 토양의 하부로 대부분 침투

[Table 2] Analytical Methods for Samples

Item	Methods
pH	Electrode method
BOD	Winkler Azide Modification Method(20℃ 5day)
COD <sub>Cr</sub>	Titration method(K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )
TOC	TOC analyzer(Pheonix 8000)
TN	Spectrophotometric Method(K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )
TP	Spectrophotometric Method(Ascorbic Acid)
SS	Gravimetic Method (Dry Oven, 105℃)

되는 것으로 나타났다. 표면유출은 강우강도 20mm/hr부터 시작되었으며 평균 유출유량은 20mm/hr에서는 1.4L, 32.4mm/hr에서는 10.5L, 43.2mm/hr에서는 14.3L, 50.3mm/hr에서는 14.4L, 그리고 57.1mm/hr에서는 20.2L로서 강우강도의 증가에 따라 유출유량도 증가하는 경향을 보였다.

침투수의 유량은 강우강도 20mm/hr 미만에서는 강우의 대부분이 지하로 침투하였으며, 32.4mm/hr 이상의 강우강도에서는 5.0L, 4.9L, 5.2L, 그리고 3.6L로서 거의 유사하거나, 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 실험에 이용된 4개 반응조의 토양이 비교적 균일하게 다져져서 나타난 결과로 판단되며, 토양의 구성성분과 다짐의 정도가 유사할 경우 표면유출은 강우강도의 크기에 의존함을 알 수 있다.

액비를 시비한 경우, 표면유출수의 유량은 12.7~19.8L의 범위로서 퇴비를 시비한 반응조와 거의 유사하였으며, 침투수의 유량은 3.1~3.8L의 범위로서 퇴비 시비시보다 작게 나타났다.

강우강도 32.3mm/hr 이상의 조건에서 표면 유출수의 농도는 유사하거나 강우강도가 커짐에 따라 감소하였는데, 이는 표면 유출수량의 증가로 일부 희석된 효과가 나타난 것으로 판단된다. 이러한 경향은 액비의 표면 유출수 농도에서 보다 뚜렷한 경향을 보였는데, 액비의 BOD 농도의 경우 강우강도 32.4mm/hr에서는 69.6mg/L, 43.2mm/hr에서는 39.1mg/L, 50.3mm/hr에서는 35.5mg/L, 그리고 57.1mm/hr에서는 41.5mg/L로서, 강우강도의 증가 시 유출 농도가 감소한다는 박(2005)의 연구와 유사하였다<sup>11)</sup>.

### 3.2 농지 유출계수

강우강도 5mm/hr과 10mm/hr에서는 표면유출이 일어나지 않아서 농지 유출비는 산정할 수 없었으며, 주입된 자원화물은 재배 작물이 있을 경우 작물의 성장에 일부 이용되거나, 일부는 토양의 하부로 침투하여 지하수를 오염시킬 수 있으며, 대부분은 농지로 전환되어 삭감될 것으로 판단된다. 그러나 강우강도 20mm/hr로 2시간 지속한 실험에서는 하부침투와 더불어 표면으로 유출이 실험 시

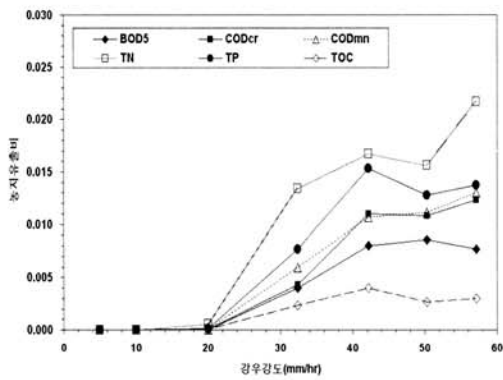
작 후 40분 후부터 발생하였다. 오염물질의 항목에 따른 농지유출비는 BOD는 0.00003, COD<sub>Cr</sub>은 0.00006, TN은 0.00056, TP는 0.00011, 그리고 TOC는 0.00005로서 항목에 따라 다소 차이가 있었다. 특히, TN 유출비는 타 항목에 비하여 10배 이상의 높은 값을 보였다. 한편, SS의 경우 농지유출비는 0.001로 매우 높게 나타났는데, 이는 시비된 오염물질의 유출이라기보다는 토양자체의 미세한 콜로이드성 입자의 유출에 기인하는 것으로 판단된다.

[Table 3]에는 강우강도별 유출계수를 평균값으로 요약 정리하였으며, 이를 [Fig. 2]와 [Fig. 3]에 도식화하였다. 강우강도 5mm/hr과 10mm/hr에서는 표면 유출이 발생하지 않아 유출비의 산정이 어려웠으며, 강우강도 20mm/hr부터는 산정이 가능하였다. 퇴비의 BOD 농도에 기초한 유출계수는 강우강도 20mm/hr에서는 0.00003, 32.4mm/hr에서는 0.0040, 43.2mm/hr에서는 0.0080, 50.3mm/hr에서는 0.0086, 그리고 57.1mm/hr에서는 0.0077로 43.2mm/hr 이상의 강우강도에서는 유출계수가 유사하거나 혹은 다소 낮게 나타났다. 이러한 결과는 강우강도 43.2mm/hr의 실험이 종료된 후, 동일한 반응조에 다시 퇴비를 시비하고 57.1mm/hr의 실험을 진행시켰기 때문에, 유출비의 산정 시 기준이 되는 자원화물(퇴비) 양이 증가하여 나타난 결과로 사료된다. 그렇지만, 투입한 액비 혹은 퇴비의 양을 동일하게 주입한 후, 강우강도에 따른 실험이 수행되었다면 유출계수는 강우강도가 증가함에 따라 증가하였을 것으로 판단된다. 이는 박(2005)의 연구에서 확인할 수 있다<sup>12)</sup>. 박(2005)은 퇴비의 주입량을 동일하게 하여 경사도와 강우강도의 변화에 따른 오염물질의 유출부하특성에 관한 연구에서 강우강도가 50mm/hr에서 100mm/hr로 증가하면 이에 따른 유출유량은 43.73에서 98.156으로 약 2배 이상 증가하나, 오염물질의 농도는 항목에 따라 10~40%가 감소한다고 하였다<sup>12)</sup>. 그러나 유량과 오염물질의 농도를 고려할 때 총 유출부하량은 증가함을 알 수 있다.

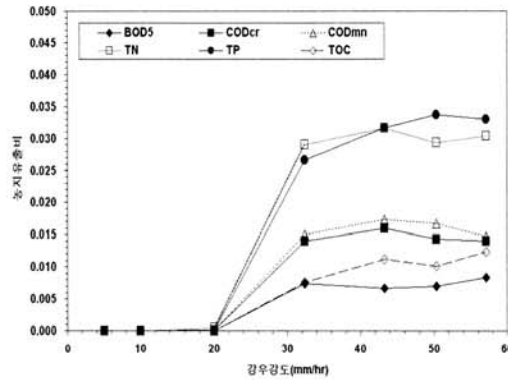
퇴비를 시비한 경우 TN의 유출계수는 강우강도가 20mm/hr에서 57.1mm/hr로 증가함에 따라

[Table 3] Runoff Coefficient According to Rainfall Intensity

		Runoff Coefficient						
		5 mm/hr	10 mm/hr	20 mm/hr	32.4 mm/hr	43.2 mm/hr	50.3 mm/hr	57.1 mm/hr
Com	BOD	-	-	0.00003	0.0040	0.0080	0.0086	0.0077
	COD <sub>Cr</sub>	-	-	0.00006	0.0043	0.0110	0.0108	0.0123
	COD <sub>Mn</sub>	-	-	0.00008	0.0060	0.0107	0.0111	0.0130
	SS	-	-	0.00100	0.0307	0.0630	0.0253	0.0697
	TN	-	-	0.00056	0.0134	0.0167	0.0157	0.0217
	TP	-	-	0.00011	0.0077	0.0153	0.0128	0.0137
	TOC	-	-	0.00005	0.0023	0.0040	0.0027	0.0030
L. Com	BOD	-	-	-	0.0074	0.0067	0.0070	0.0083
	COD <sub>Cr</sub>	-	-	-	0.0140	0.0160	0.0143	0.0140
	COD <sub>Mn</sub>	-	-	-	0.0150	0.0173	0.0167	0.0147
	SS	-	-	-	0	0	0	0
	TN	-	-	-	0.0290	0.0317	0.0293	0.0303
	TP	-	-	-	0.0266	0.0316	0.0337	0.0330
	TOC	-	-	-	0.0077	0.0112	0.0101	0.0123



[Fig. 2] Discharge ratio of compost in the farm land according to rainfall intensity.

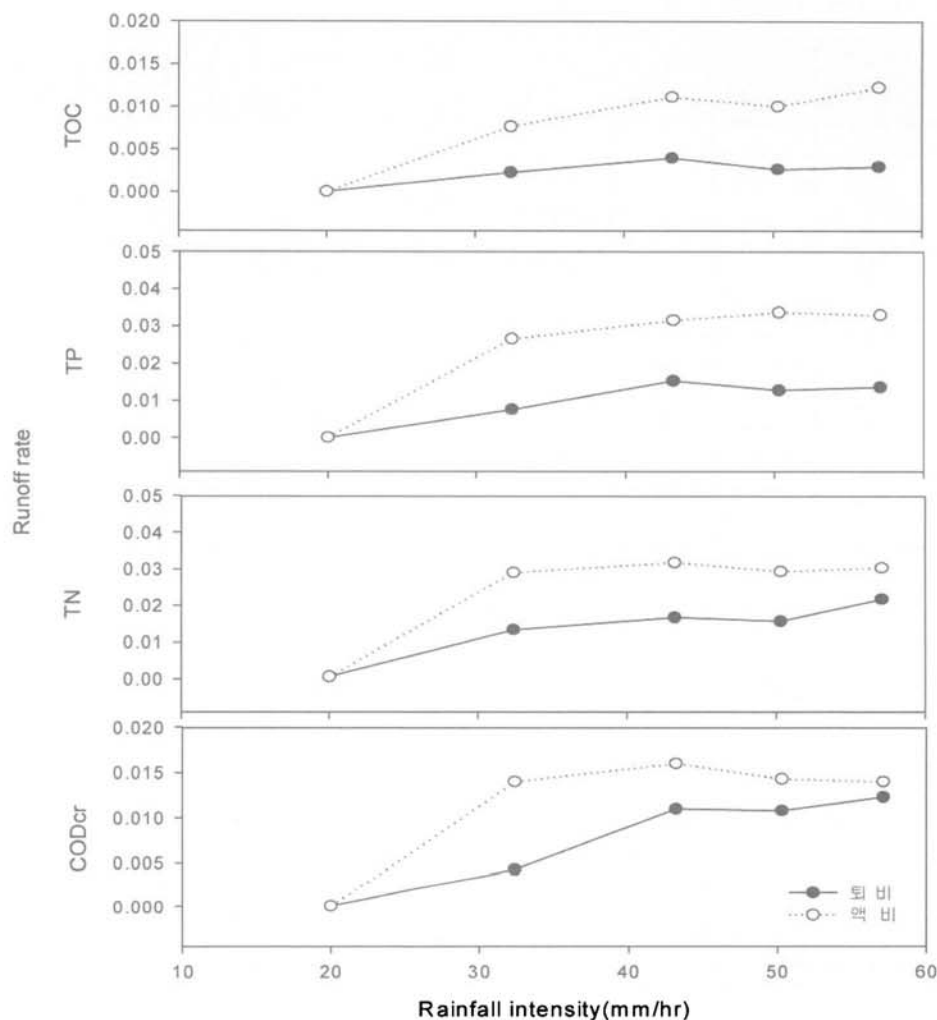


[Fig. 3] Runoff ratio of liquid compost in the farm land according to rainfall intensity.

0.00056에서 0.0217로 증가하였는데, 유출계수는 약 39배가 차이가 났다. TP도 TN과 유사한 경향을 보였으며, 강우강도 57.1mm/hr에서의 유출계수는 0.0137로서 20mm/hr의 0.00011보다 약 125배가 더 높았다.

퇴비와 액비가 시비된 토양의 강우 시 유출특성을 고찰하기 위하여, [Fig. 4]와 같이 강우강도에 따른 COD<sub>Cr</sub>, TN, TP의 유출계수를 퇴비와 액비로 구분하여 나타내었다. 강우강도 20mm/hr에서

는 퇴비와 액비의 표면유출이 거의 발생하지 않은 관계로 거의 유사한 유출계수를 보였다. 그러나 32.4mm/hr 이상의 강우강도에서는 액비의 유출계수가 퇴비의 유출계수 보다 높게 나타났으며, TOC는 약 3배 이상의 높은 값을 보였다. 이는 퇴비와 액비의 물리적 특성에 기인하는 것으로 액비는 수분함량이 90% 이상의 액체 상태로 이루어져 있기 때문에 토양에 시비할 경우 흠 입자에 쉽게 흡착 될 수 있으며, 강우 시 쉽게 유출되기 때문인



[Fig. 4] Comparison of runoff ratio for compost and liquified compost according to rainfall intensity.

것으로 사료된다. 반대로 퇴비는 고품질 덩어리로 구성되어 있기 때문에 흙 입자사이에 걸림으로서 강우 시 액비처럼 쉽게 유출이 일어나지 않아 액비의 유출계수보다 낮은 것으로 판단된다.

### 3.3 농지 삭감량

자연 상태의 토지에 전환된 자원화물의 일부는 식물의 성장에 이용되며, 강우 시 표면으로 유출되어 인근 하천으로 유입되거나, 지하로 침투하여 지

하수를 오염시키기도 한다<sup>16),17)</sup>. 그러나 토양의 특성에 따라 차이는 있지만 토지에 전환된 대부분의 자원화물은 토양에 흡수되는데, 이 흡수되는 양이 실제 농지에서 삭감되는 양이 된다. 본 실험실 실험에서는 식물을 재배하지 않았기 때문에 식물성장에 이용되는 자원화물은 없으며, 표면으로 유출되거나 지하로 침투되는 양만 존재한다. 따라서 실험실 시험에서의 농지 삭감량은 반응조에 시비된 총 양에서 표면유출량과 지하 침투량을 통하여 감



소한 양을 제하여 구하였다.

우리나라의 연평균 강수량을 고려해서 실험한 강우강도별 총 강수량은 각각 486, 648, 754.5, 그리고 856.5mm로서 강우강도 57.1mm/hr의 총 강수량이 집중호우 시 강수량과 거의 유사하다. 따라서, 32.4, 43.2, 50.7, 57.1mm/hr의 총 강수량에 대한 농지유출 및 침출량을 고려한 농지삭감 물질 수지를 계산하면 [Table 4]와 같다. 문헌상

18,19) 돼지 자원화물의 BOD 농지 유출비는 0.10~0.12의 범위를 보였으나, 본 실험결과에서는 0.060~0.063의 범위로서 다소 낮은 값을 보였다. 반면 TN의 총 농지 유출비는 0.176~0.223으로 수계오염 총량지침의 0.20~0.25와 유사하게 나타났다. TP의 경우 퇴비의 총 유출비는 0.053으로서 수계오염 총량지침의 0.050과 거의 유사하였으나, 액비는 0.222로서 0.075보다 3배 이상

[Table 4] Mass Balance of Livestock Discharged

Rain fall	Item	L. Resour	T. Rain (mm)	T. Dose (g)	T. disch. (g)	T. Lea. (g)	Residual (g)	R. ratio (%)		
32.4 mm/hr	BOD	Comp.	486	1011.2	26.1	16.0	995.1	98.4		
		L. Com		186.2	14.4	6.5	179.7	96.5		
	COD <sub>Cr</sub>	Comp.		1856.8	60.3	35.8	1821.0	98.1		
		L. Com		351.1	29.2	5.8	345.2	98.3		
	COD <sub>Mn</sub>	Comp.		525.0	25.0	6.2	518.8	98.8		
		L. Com		107.8	15.7	1.6	106.2	98.5		
	SS	Comp.		1386.0	263.3	0.3	1385.7	100.0		
		L. Com		67.2	55.0	0.5				
	TN	Comp.		60.8	8.4	2.0	58.8	96.6		
		L. Com		38.2	9.4	1.1	37.1	97.2		
	TP	Comp.		23.5	1.61	0.018	21.87	93.1		
		L. Com		3.12	0.73	0.009	2.38	76.3		
	TOC	Comp.		628.4	13.2	12.6	615.9	98.0		
		L. Com		144.7	7.9	1.8	143.0	98.8		
	43.2 mm/hr	BOD		Comp.	648	1011.2	57.9	52.0	959.1	94.9
				L. Com		186.2	8.1	26.4	159.8	85.8
COD <sub>Cr</sub>		Comp.	1856.8	161.0		67.2	1789.5	96.4		
		L. Com	351.1	24.4		28.6	322.4	91.8		
COD <sub>Mn</sub>		Comp.	525.0	53.3		9.2	515.8	98.2		
		L. Com	107.8	10.8		3.9	103.9	96.4		
SS		Comp.	1386.0	499.0		0.5	1385.5	100.0		
		L. Com	67.2	46.5		0.6				
TN		Comp.	60.8	10.8		1.6	59.2	97.4		
		L. Com	38.2	7.4		0.6	37.6	98.5		
TP		Comp.	23.49	0.979		0.020	22.5	95.8		
		L. Com	3.12	0.521		0.011	2.59	83.0		
TOC		Comp.	628.4	21.2		33.3	595.1	94.7		
		L. Com	144.7	16.2		12.0	132.8	91.7		

[Table 4] Continue

Rain fall	Item	L. Resour	T. Rain (mm)	T. Dose (g)	T. disch. (g)	T. Lea. (g)	Residual (g)	R. ratio (%)
50.3 mm/hr	BOD	Comp.	754.5	1155.6	42.0	55.5	1100.1	95.2
		L. Com		212.8	11.2	4.0	208.8	98.1
	COD <sub>Cr</sub>	Comp.		2122.0	100.8	58.1	2063.9	97.3
		L. Com		401.2	46.8	5.9	395.3	98.5
	COD <sub>Mn</sub>	Comp.		600.0	33.3	14.6	585.4	97.6
		L. Com		123.2	16.0	1.2	122.0	99.0
	SS	Comp.		1584.0	295.9	0.9	1583.1	99.9
		L. Com		76.8	285.8	0.5		
	TN	Comp.		69.5	8.8	1.7	67.8	97.5
		L. Com		43.6	8.7	0.7	42.9	98.4
	TP	Comp.		26.85	0.743	0.024	26.08	97.1
		L. Com		3.57	0.410	0.004	3.16	88.5
	TOC	Comp.		718.2	14.8	21.6	696.6	97.0
		L. Com		165.4	12.1	2.0	163.4	98.8
57.1 mm/hr	BOD	Comp.	856.5	1155.6	72.5	39.9	1115.7	96.5
		L. Com		212.8	12.8	14.6	198.2	93.2
	COD <sub>Cr</sub>	Comp.		2122.0	231.4	44.2	2077.8	97.9
		L. Com		401.2	46.1	15.5	385.7	96.1
	COD <sub>Mn</sub>	Comp.		600.0	63.6	8.8	591.2	98.5
		L. Com		123.2	16.4	2.1	121.1	98.3
	SS	Comp.		1584.0	628.2	0.5	1583.5	100.0
		L. Com		76.8	268.1	0.4		-
	TN	Comp.		69.5	12.2	1.1	68.4	98.4
		L. Com		43.6	9.7	0.6	43.0	98.5
	TP	Comp.		26.85	1.433	0.015	25.41	94.6
		L. Com		3.57	0.792	0.014	2.76	77.3
	TOC	Comp.		718.2	23.7	16.3	701.9	97.7
		L. Com		165.4	16.7	6.4	159.0	96.1

높은 값을 보였다. 한편, 32.4~57.1mm/hr의 모든 강우강도를 고려할 때, 자원화물이 농지에서 삭감되는 농지 삭감비는 BOD의 경우 퇴비는 94.9~98.4%, 액비는 85.8~98.1%의 높은 범위를 보였다. TN은 퇴비의 경우 96.6~98.4%의 범위를 보였으며, 액비의 농지 삭감율은 97.2~98.5%의 범위로서 대부분의 자원화물이 농지에서 삭감되는 것으로 조사되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 축산자원화물을 농지에 주입 시 유출 및 삭감되는 축분자원화물의 전환율을 산정하고자 실험실 시험을 실시하여 조사 및 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

강우강도의 증가에 따라 유출유량도 증가하는 경향을 보였다. 침투수의 유량은 강우강도 20mm/hr

미만에서는 강우의 대부분이 지하로 침투하였으며, 32.4mm/hr 이상의 강우강도에서는 5.0L, 4.9L, 5.2L, 그리고 3.6L로서 거의 유사하거나, 다소 감소하는 경향을 보였다. 토양의 구성성분과 다짐의 정도가 유사할 경우 표면유출은 강우강도의 크기에 의존함을 알 수 있었다. 액비를 시비한 경우, 표면유출수의 유량은 12.7~19.8L의 범위로서 퇴비를 시비한 반응조와 거의 유사하였으며, 침투수의 유량은 3.1~3.8L의 범위로서 퇴비 시비시보다 작게 나타났다.

강우강도 32.4mm/hr 이상의 조건에서 표면 유출수의 농도는 유사하거나 강우강도가 커짐에 따라 감소하였는데, 이는 표면 유출수량의 증가로 일부 희석된 효과가 나타난 것으로 판단된다. 이러한 경향은 액비의 표면 유출수 농도에서 보다 뚜렷한 경향을 보였는데, 액비의 BOD 농도의 경우 강우강도 32.4mm/hr에서는 69.6mg/L, 43.2mm/hr에서는 39.1mg/L, 50.3mm/hr에서는 35.5mg/L, 그리고 57.1mm/hr에서는 41.5mg/L로 나타났다.

오염물질의 항목에 따른 농지유출비는 BOD가 0.00003, CODCr은 0.00006, TN은 0.00056, TP는 0.00011, 그리고 TOC는 0.00005로서 항목에 따라 다소 차이가 있었다. 특히, TN 유출비는 타 항목에 비하여 10배 이상의 높은 값을 보였다. 한편, SS의 경우 농지유출비는 0.001로 매우 높게 나타났는데, 이는 시비된 오염물질의 유출이라기 보다는 토양자체의 미세한 콜로이드성 입자의 유출에 기인하는 것으로 판단된다.

32.4mm/hr 이상의 강우강도에서는 액비의 유출계수가 퇴비의 유출계수 보다 높게 나타났으며, TOC는 약 3배 이상의 높은 값을 보였다. 이는 퇴비와 액비의 물리적 특성에 기인하는 것으로 액비는 수분함량이 90% 이상의 액체 상태로 이루어져 있기 때문에 토양에 시비할 경우 흙 입자에 쉽게 흡착 될 수 있으며, 강우 시 쉽게 유출되기 때문인 것으로 사료된다. 반대로 퇴비는 고형물 덩어리로 구성되어 있기 때문에 흙 입자 사이에 걸림으로서 강우 시 액비처럼 쉽게 유출이 일어나지 않아 액비의 유출계수보다 낮은 것으로 판단된다.

문헌상 돼지 자원화물의 BOD 농지 유출비는

0.10~0.12의 범위를 보였으나, 본 실험결과에서는 0.060~0.063의 범위로서 다소 낮은 값을 보였다. 반면 TN의 총 농지 유출비는 0.176~0.223으로 수계오염 총량지침의 0.20~0.25와 유사하게 나타났다. TP의 경우 퇴비의 총 유출비는 0.053으로서 수계오염 총량지침의 0.050과 거의 유사하였으나, 액비는 0.222로서 0.075보다 3배 이상 높은 값을 보였다. 한편, 32.4~57.1mm/hr의 모든 강우강도를 고려할 때, 자원화물이 농지에서 삭감되는 농지 삭감비는 BOD의 경우 퇴비는 94.9~98.4%, 액비는 85.8~98.1%의 높은 범위를 보였다. TN은 퇴비의 경우 96.6~98.4%의 범위를 보였으며, 액비의 농지 삭감율은 97.2~98.5%의 범위로서 대부분의 자원화물이 농지에서 삭감되는 것으로 조사되었다.

### 사사

본 연구는 2009년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 국립환경연구원, 축산폐기물 현황과 환경에 미치는 영향 연구, pp. 56~96 (1986).
2. 최홍림, 우리나라 가축분뇨 대책, 농어촌과 환경, vol 10(2), pp. 16~28 (2000).
3. 가축분뇨자원화협회, 환경축산 무엇이 문제인가 심포지움 발표자료 모음집 (1997).
4. 환경부, 축산폐수배출시설 및 처리시설 관리개선 방안 연구 (2003).
5. 축산기술연구소, 가축분뇨 자원화 및 이용기술 개발 연구 (2000).
6. 권순익, 정광용, 유기성 폐기물 비료성분 표준 단위 설정, 농업과학기술원 시험연구보고서, pp. 74~100 (1994).
7. 한국환경과학협회의, 영양염류 원단위 산정에 관한 연구 (1991).
8. 홍성구, 이남호, 축분퇴비의 농지환원 시 오염 부하 포텐셜 평가, 한국농공학회지, vol

- 43(1), pp. 66~74 (2001).
9. 최의소, 영양염류 원단위 산정에 관한 연구. 한국환경과학연구협의회. (1991).
  10. EPA, National Pollution Discharge Elimination System : NPDES(1991)
  11. 홍성구, 인공강우를 이용한 축종별 축분퇴비 침출수의 수질특성 조사, 농촌계획학회, (2001).
  12. 박영상, 축산환경농지로부터의 오염물질 유출부하특성, (2005).
  13. 한국수자원공사, 다목적댐 홍수조절용지 내 경작관련 호소수질에 미치는 영향조사, (2003).
  14. 환경부, 수질오염공정시험법. (2005).
  15. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. (1998).
  16. 최의소, 음영진, 지속발전을 위한 축산분뇨의 문제점과 개선방향. 한국환경과학연구협의회. (2001).
  17. 농림부, 가축분뇨 자원화 및 이용기술 개발. (2000).
  18. 환경부, 낙동강수계 물관리종합대책 (1999).
  19. 환경부, 대청호 등 금강수계 물관리종합대책 (1999).
  20. 환경부, 오염총량관리계획 수립지침, pp. 5~23 (2002). 