



인공강우를 이용한 축산 자원화물의 비점오염 배출 특성 분석

Analysis of Livestock Resources on NPS Pollution Characteristics by Rainfall Simulation

원철희* · 최용훈** · 신민환** · 서지연** · 최중대**†

Won, Chul Hee · Choi, Yong Hun · Shin, Min Hwan · Seo, Ji Yeon · Choi, Joong Dae

ABSTRACT

This research focused on the investigation of runoff and nonpoint sources (NPS) pollution characteristics from small soil box plots treated by livestock waste composts. An indoor rainfall simulation was performed over the plots for 60 minutes. Simulated rainfall intensities were 32.4, 43.2, 50.3 and 57.1 mm/hr respectively. Slope of soil box plots was 10° and 20°, respectively. Rainfall simulation replicated 5 times and the experiment was conducted every four days five times. As the slope of soil box increased, NPS pollution loads increased. And as rainfall intensity was increased from 32.4 to 57.1 mm/hr, NPS pollution loads gradually increased, too. Discharge of NPS pollution loads was the largest in the first simulation and thereafter decreased gradually. Discharged BOD load to the total applied load from 10° plots, ranged 0.2 to 0.7 %, was 8.4 to 50.0 % lower than slope 20° plots. When the application rate increased twice, the increase of pollution load was between 1.7~5.7 times. Analysis of Pearson's correlation coefficient showed that organic matter content in pig compost and NPS pollution loads were correlated well. While under liquid compost application, the correlation coefficients between them were not good. It was concluded that application of livestock resources need to consider long-term weather forecast and if necessary, NPS reduction measures must be preceded in order to reduce NPS pollution discharge.

Keywords: NPS pollution; livestock waste compost; rainfall simulation; slope

1. 서 론

국내 축산농가의 가축 사육두수는 해마다 증가하고 있으며, 이에 따라 축산분뇨 발생량도 증가하고 있는 추세이다. 농가에서 배출되는 축산분뇨는 퇴비사, 톱밥축사, 각종 발효시설 그리고 액비화 시설을 이용하여 자원화하거나 정화시설에서 처리되고 있다 (Ministry of Environment, 2003; National Institute of Environmental Research, 2005). 이중 자원화 과정을 통해 농지에 환원되는 축산분뇨는 과다사용 문제와 축분 환원으로 인한 2차 오염이 발생할 수 있다. 2차 오염은 자원화물이 살포된 농지에서 강우시 비점오염물질이 인근 수계로 유입되거나, 지하로 침투하여 지하수를 오염시키는 것을 말한다. 특히 축분을 농지에 과다하게 살포하거나 야적한 상태로 방치할 경우 강우시

발생할 수 있는 수질오염문제는 심각해질 수 있다. 다행히 국내의 퇴비 살포 시기는 대체로 강수량이 적은 봄철이라서 오염부하의 잠재적 가능성은 높지 않다 (Hong and Lee, 2001). 그러나 일부 과수농가나 밭작물의 경우 강수량이 많은 시기에 퇴비를 사용하기 때문에 한강수계와 같이 음용수의 상수원으로 이용되는 지역에서는 축산계 자원화물의 농지 환원시 발생할 수 있는 2차 오염에 대한 조사가 필요하다. 국내의 경우 우분을 시비한 농경지에서의 강우시 유출특성 조사 (Lee et al., 2008) 와 인공강우의 조건에서 시비량 및 경사도의 변화에 따른 오염물질의 배출특성을 조사하는 연구가 수행되고 있다 (Shin et al., 2010). 그러나 강우시 비점오염물질의 배출특성은 강우강도, 강우지속시간, 경사도, 토성, 영농방법 등에 따라 달라진다. 따라서 수질오염을 저감하기 위해서는 인위적 조절이 가능한 인자들에 대한 충분한 연구가 필요하다 (Shin et al., 2009). 또한 농경지에 환원되는 축분 퇴비의 양적 문제, 강우강도에 따른 유출특성, 농경지의 경사도에 따른 오염물질의 배출량에 대한 조사 등도 필요하다. 그러나 이와 관련한 연구는 초기 단계에 머물고 있다.

따라서 본 연구에서는 농지에 주입한 축산 자원화물이 강우시 유출되는 특성을 파악하여 농촌 지역의 비점오염원 관리를 위한

* 강원대학교 BK21 친환경건설전문기양성사업단

** 강원대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6464

Fax: +82-33-244-6702

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2011년 1월 21일 투고

2011년 3월 18일 심사완료

2011년 3월 18일 게재확정

기초 자료로 이용될 수 있도록 인공강우의 조건에서 강우강도, 경사도, 자원화물의 투입량에 따른 유출특성을 조사하였다.

II. 실험 방법

1. 실험장치

실험 장치는 두께 1 cm의 코팅된 나무 합판으로 제작한 토양상자와 아크릴로 제작한 살수장치를 이용하였다. 토양상자의 규격은 가로 70 cm×세로 70 cm×높이 55 cm로 실 유효용적은 0.245 m³이며, 총 5개를 제작하였다. 흙은 8 mm 체를 통하여 고르게 거른 후 50 cm 두께로 채웠는데, 10 cm 마다 다짐하면서 채웠다. 실험은 토양상자내의 흙이 자연 다짐이 되게 약 2개월간 방치한 후에 실시하였다. 살수장치는 강우가 일정하게 공급될 수 있도록 아크릴판에 구멍을 뚫어서 제작하였다 (Fig. 1). 살수장치는 가로 90 cm×세로 90 cm인 상판과 하판으로 구성되며, 상판과 하판 사이의 간격은 3 mm가 되도록 제작하였다. 살수장치의 상판은 지름 5 mm의 구멍을 뚫어 실리콘 튜브로 연결하여 물을 공급하였으며, 하판은 2 cm 간격으로 1 mm 이하의 구멍을 뚫어 물의 공급시 충분한 압력을 받도록 하였다. 살수장치는 빗물의 타격력이 충분히 토양에 전달되도록 토양상자보다 2 m 높게 설치하였다.

2. 실험방법

실험은 강우강도와 경사도, 자원화물 투입량의 각기 다른 조건을 주어 인공강우의 조건에서 실시하였다. 토양상자는 작은 규모의 두둑을 평행경으로 조성하였다. 강우강도는 춘천지역의 재현기간별 확률강우량 자료를 토대로 작성한 IDF 그래프를 기준으로 1시간 지속시간에 해당하는 2년 확률빈도, 5년 확률

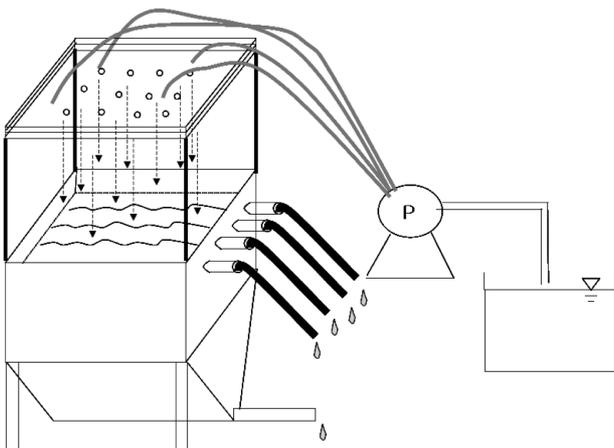


Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

Table 1 Characteristics of livestock's resources

Parameter	Pig compost (mg/kg)	Liquid compost (mg/L)	Chicken compost (mg/kg)
BOD	130,005±5,130	23,935±525	58,290±1,100
COD _{Cr}	238,725±3,120	45,135±258	151,140±9,560
COD _{Mn}	67,500±2,680	13,860±282	41,760±1,200
SS	178,200±1,800	8,640±360	350,100±6,600
TN	7,821±1,550	4,908±213	7,207±240
TP	3,020±137	402±28	3,450±23
TOC	80,797±1,095	18,607±807	22,743±648

빈도, 10년 확률빈도, 20년 확률빈도의 강우강도를 선택하였다 (Choi, 2005). 즉, 32.4 mm/hr, 43.3 mm/hr, 50.3 mm/hr, 57.1 mm/hr이다. 1시간 지속시간을 둔 이유는 유역면적이 작고 경사가 급한 유역에서는 지속적으로 일정한 강우가 유지될 경우, 30분~1시간 이내에 유출이 발생하기 때문이다. 강우강도의 변화에 따른 유출 실험은 돈분퇴비와 액비를 이용하였다. 경사도에 따른 인공강우 실험은 계분퇴비를 이용하였으며, 경사도는 10°와 20°로 구분하여 수행하였다. 자원화물의 투입량에 따른 비점오염물질의 유출 실험은 돈분퇴비와 액비를 이용하였다. 돈분 퇴비의 투입량은 4 kg, 6 kg, 8 kg으로 조절하였으며, 액비의 투입량은 4 L, 6 L 그리고 8 L로 변화시켰다. 실험은 강우강도, 경사도, 자원화물 투입량의 실험처리에 따라 각각 5회씩 수행하였는데, 4일마다 실험을 반복하였다. 초기 실험은 자원화물을 투입하고 표토와 고르게 섞어 준 후, 1주일 이 경과한 후에 수행하였다. 강우강도의 조건을 맞추기 위하여 사전에 펌프와 살수장치를 이용하여 강우량을 보정하였다. 인공강우 유출시험은 1시간 동안 진행하였다. Table 1에는 본 연구에 이용된 축산자원화물의 성상을 제시하였다.

3. 분석방법

인공강우 실험시 표면 유출수량은 메스실린더를 이용하여 측정하였다. 수질시료는 복합수질 시료로 채취하였다. 채취된 시료는 오염부하량을 산정하기 위하여 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS, TN, TP를 Standard Methods (APHA et al., 1995)와 수질오염공정시험법 (Ministry of Environment, 2001)에 준하여 분석하였다. Biochemical oxygen demand (BOD₅)는 winkler method azide modification 법을 이용하였다. Chemical oxygen demand (COD_{Cr})는 K₂Cr₂O₇과 황산 (H₂SO₄)을 이용하여 분해 후, FAS로 적정하는 closed reflux titrimetric method를 이용하였으며, Chemical oxygen demand (COD_{Mn})은 과망간산칼륨법을 사용하였다. Suspended solids (SS)는 GF/C 여지를 이용한 gravimetric method로 분석하였으며, Total phosphate

(TP)의 분석은 persulfate digestion과 ascorbic acid method를 이용하여 분석하였다. Total nitrogen (TN)은 알칼리성 과황산칼륨을 분해용액으로 이용한 자외선 흡광광도법을 이용하였으며, Total organic carbon (TOC)은 TOC-5000A (Japan) analyzer를 이용하여 분석하였다. 토양의 물리적 특성은 입도시험 (KS F2039)과 비중시험 (KS F2308) 방법을 이용하여 분석하였다. 실험처리에 따른 오염항목간의 상관관계는 SPSS Ver. 12를 이용하여 산정한 Pearson 상관계수를 통하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토성

입도시험과 비중시험을 통하여 산정한 토양의 성질을 Table 2에 제시하였다. 각각의 시험은 4회씩 실시하였다. 경작지에서 강우시 오염물질의 표면유출과 하부침투는 강우량 혹은 강우강도에 많은 영향을 받지만, 토성에 따라서도 많은 영향을 받을 것으로 판단된다. 국내 토지 (밭)의 대표적 지질층은 모래, 점토, 실트로 구성되어 있으며, 각각의 구성성분의 차이에 따라

Table 2 Soil characteristics of lab scale experiments

No.	Specific gravity	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
1	2.62	94.2	2.1	1.3
2	2.66	94.2	2.1	1.3
3	2.64	94.6	1.4	1.3
4	2.67	94.6	1.4	1.3

사질점토, 점토, 사질토로 분류될 수 있다. 입도시험결과 모래 (Sand)는 94.2~94.6 %의 범위로 조사되었으며, 실트 (Silt)는 1.4~2.1 % 그리고 점토 (Clay)는 1.3 %로 나타났다. 삼각분류법에 따른 토성은 양질사토 (Loamy Sand)로 나타났다. 토양의 비중은 평균 2.65로 조사되었다.

2. 경사도에 따른 유출 특성

Fig. 2는 경사도에 따른 비점오염물질의 유출율과 유출부하량을 나타낸 것이다. 실험에 이용된 축산자원화물은 계분퇴비이며, 경사도는 10° (17.6 %)와 20° (36.4 %)로 실험처리 하였다. 강우강도는 춘천지역의 IDF 곡선을 작성하여 2년 확률빈

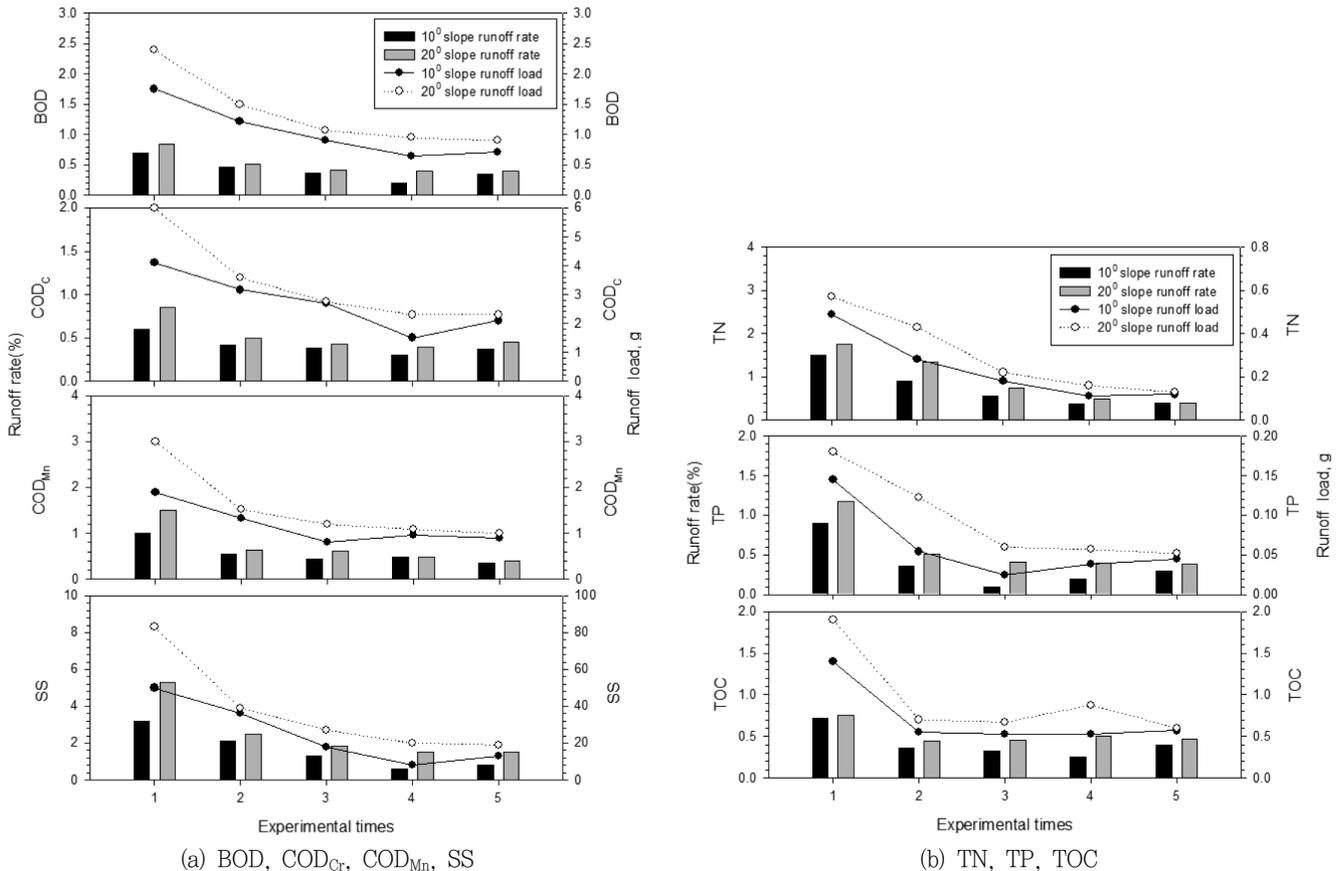


Fig. 2 Runoff rate and runoff loads with slope variation

도에 해당하는 32.4 mm/hr로 고정하였다. 경사도 20°의 BOD 유출율은 0.40~0.85의 범위로 조사되었으며, 경사도 10° BOD의 유출율은 0.2~0.7의 범위로서 경사도 20°와 비교시 8.4~50.0 % 낮게 나타났다. 그리고 경사도 10°와 20° 모두 1차 실험에서 오염물질의 유출률이 가장 높았으며, 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 자원화물 시비 직후 표면에 있던 오염물질이 1차 실험시 많이 유출된 것에 기인하는 것으로 판단된다. 초기 자원화물의 투입량 대비 오염물질 유출량은 1차 실험에서 높게 나타났으며, 실험이 진행됨에 점차 감소하였다. 따라서 실제 농경지에 자원화물을 시비하였을 경우 강우시 유출되는 비점오염물질을 저감하기 위해서는 시비 후 처음 내리는 강우시 오염물질의 유출을 최소화 할 수 있는 방안의 모색이 필요할 것으로 판단된다. 유출수내에 포함된 BOD의 오염부하는 경사도 20°에서 높게 나타났다. 1차 실험에서 경사도 20°의 오염부하는 10°보다 0.65 g이 큰 2.40 g이었으나, 이후 오염부하량의 차이는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 TP의 오염부하량은 10°의 경사조건에서 3차 실험이후 증가하는 경향을 보였으며, 20°의 경사 조건에서는 3차 실험부터 일정한 값을 보였다. 또한 TOC 오염부하량은 경사도 20°의 4차 실험을 제외하면 거의 변화가 없었다. 이는 규모가 작은 실험실 조건에서 연구가 수행되었기 때문에 경사도나 토양표면의 조건에 쉽게 영향을 받아 나타난 것으로 사료되며, 실 경작지를 대상으로 하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 이상의 연구 결과에 기초할 때 농경지에 시비된 자원화물의 대부분은 농지에 잔류할 것으로 판단된다.

Table 3에는 인공강우 실험 (32.4 mm/hr)에 기초하여 산정한 계분퇴비의 오염부하량 (kg/ha)을 경사도에 따라 나타내었다. 경사도 10° BOD의 오염부하는 19.4 kg/ha로 조사되었으며, 영양염류인 TN과 TP는 각각 5.7과 2.7 kg/ha로 조사되었다. 경사도 20°의 BOD, TN, TP의 오염부하량은 각각 26.5, 8.5, 그리고 4.9 kg/ha로서 경사도 10°의 오염부하량에 비하여 TP의 오염부하량이 81.5 %가 증가된 것으로 조사되었다. 이는 경사도가 두 배 증가될 경우 TP의 오염부하가 23.6~32.3 % 증가한다고 보고한 Shin et al. (2010)의 연구보다 높은 값으로 본 연구의 경사도 10° (17.6 %)와 20° (36.4 %)가 약 2배 이상 높기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 한편 Shin et al. (2010)

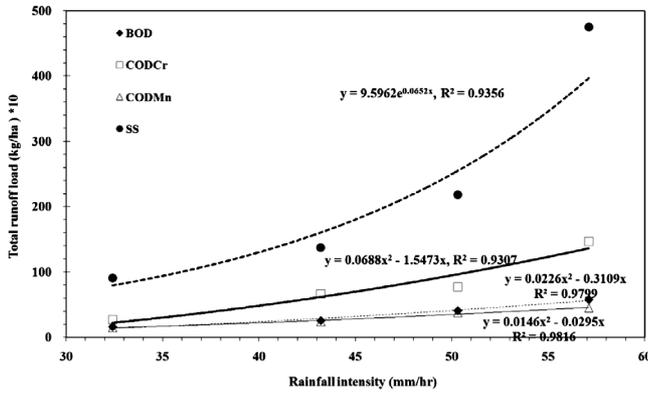
의 연구에 의하면 TN의 경우 표면유출수의 오염부하보다는 하부로 배출되는 기저유출수의 오염부하가 높다고 하였다. 이는 오염물질의 농도에는 큰 차이가 없지만 표면보다 하부 유출수량이 많은 것에 기인하는 것으로 사질토인 토성의 영향으로 판단된다. 따라서 농경지에서 발생하는 비점오염물질을 정량화하기 위해서는 토성에 따른 배출특성을 규명할 필요가 있으며, 특히 액비 등을 이용할 경우 퇴비보다 지하로의 침투가 증가할 수 있기 때문에 지하수의 오염에 대한 연구도 수행되어야 할 것으로 판단된다. SS의 오염부하량은 경사도 10°에서 426.8 kg/ha로 조사되었으며, 경사도 20°에서는 642.5 kg/ha로서 경사도 10° 대비 50.6 %가 증가된 것으로 조사되었다. 경사도가 10°에서 20°로 증가함에 따라 모든 항목의 오염부하량이 증가하였다. 특히 SS와 TP의 오염부하량이 크게 증가하였는데, 이는 인과 토립자의 배출특성에 기인하는 것으로 판단된다. Kim et al. (2004)은 강우시 토양 내의 인은 토립자에 직접유출수와 함께 배출된다고 하였으며, Won et al. (2009)도 강우시 배출되는 인과 SS는 높은 상관관계가 있다고 보고한 바 있다.

3. 강우강도에 따른 유출 특성

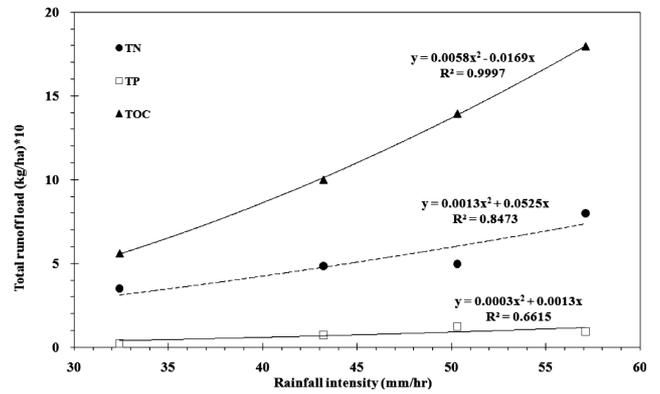
비점오염물질은 유출오염이다. 농지에 투입된 자원화물은 강우시 유출될 수 있으며, 강우량에 따라 유출되는 정도가 다르다. 특히 강우강도나 순간강우강도에 따라서 유출되는 양상은 많은 차이가 날 수 있다. 따라서 강우강도에 따른 오염물질의 유출량을 비교·검토할 필요가 있다. 강우강도는 춘천시의 강우량에 기초하여 작성한 IDF 곡선 상에서 2년 확률빈도, 5년 확률빈도, 10년 확률빈도, 20년 확률빈도에 해당하는 강우강도를 선택하였다. 각각의 강우강도는 32.4 mm/hr, 43.2 mm/hr, 50.3 mm/hr 그리고 57.1 mm/hr이다. 자원화물은 돈분 퇴비와 액비를 이용하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 돈분 퇴비와 액비를 투입한 토양상자에서 유출된 총 오염부하량을 강우강도에 따라 나타낸 것이다. 유기물인 BOD, COD_{Cr}, COD_{Min}, TOC와 영양염류 (TN, TP) 그리고 SS의 오염부하량은 강우강도의 증가와 더불어 비선형적인 증가추세를 보였다. 특히 50 mm/hr 이상의 강우강도 조건에서 SS의 오염부하량은 두드러진 증가추세를 보였다. 일반적으로 밭 이랑 및 두둑을 경사에 따라 상하경으로 조성할 경우 강우 유출수는 쉽게 하류로 이송되며, 두둑의 손실이 크지 않다. 반면 두둑을 평행경으로 조성할 경우 강우 초기에는 두둑이 일종의 댐 역할을 하기 때문에 유출수가 적게 발생할 수 있다. 그러나 강우가 지속되거나 큰 강우강도로 집중호우가 발생할 경우에는 두둑이 붕괴되면서 고랑에 고여 있던 물이 일시에 유출될 수 있다. 이러한 경우 유출수에 의해 혐곡침식이 발생할 수 있으며, 이를 통하여 토양유실량이 갑자기 증가할 수 있

Table 3 NPS pollution loads of chicken dung as a soil box slope (Unit: kg/ha)

Classification	BOD	COD _{Cr}	COD _{Min}	SS	TN	TP	TOC
10° slope	19.4	47.8	21.7	426.8	5.7	2.7	13.8
20° slope	26.5	61.0	29.8	642.8	8.5	4.9	19.5
Increment (%)	36.6	27.6	37.3	50.6	49.1	81.5	41.3

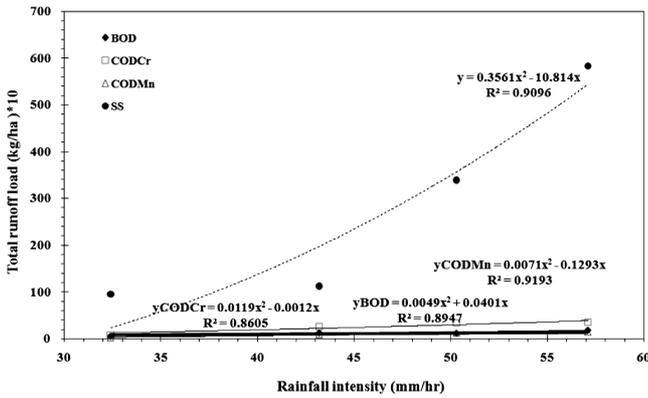


(a) BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS

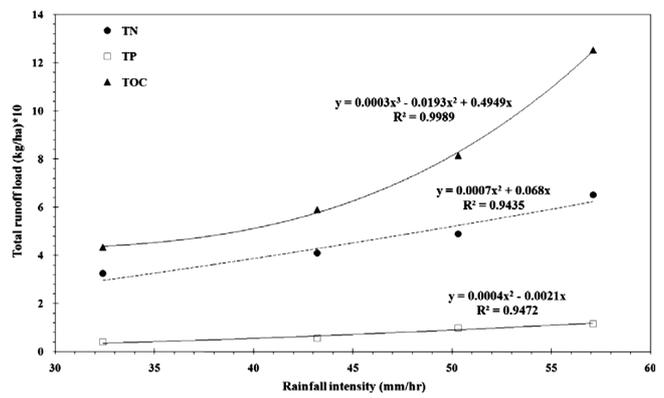


(b) TN, TP, TOC

Fig. 3 Total NPS pollution loads as rainfall intensity (Pig compost)

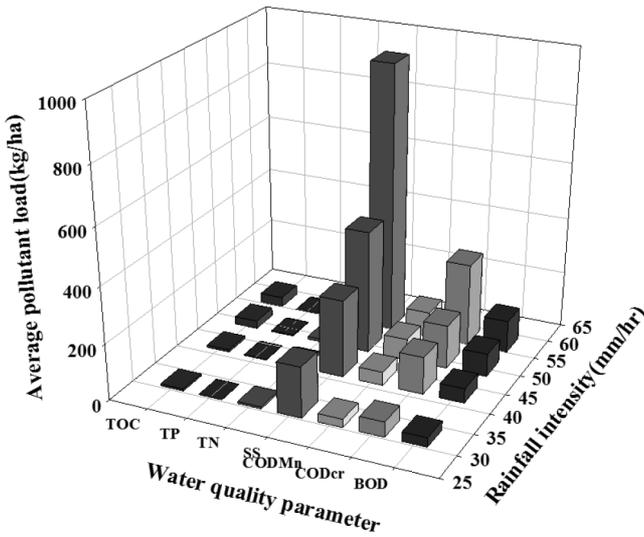


(a) BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS

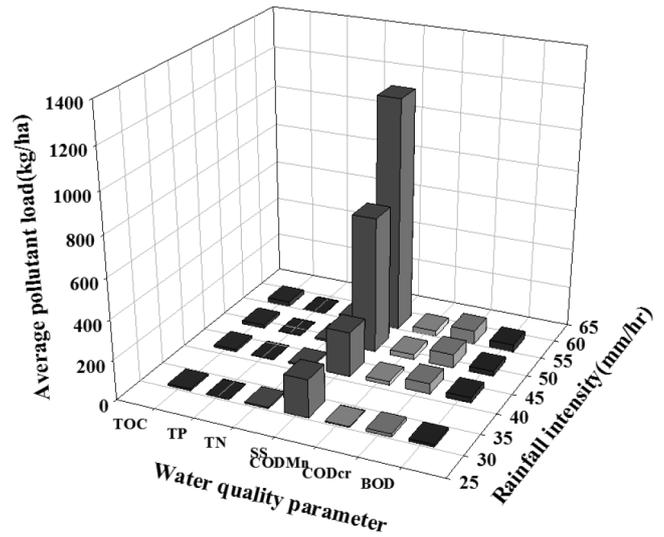


(b) TN, TP, TOC

Fig. 4 Total NPS pollution loads as rainfall intensity (Liquid compost)



(a) Pig compost



(b) Liquid compost

Fig. 5 Average NPS pollution loads as rainfall intensity

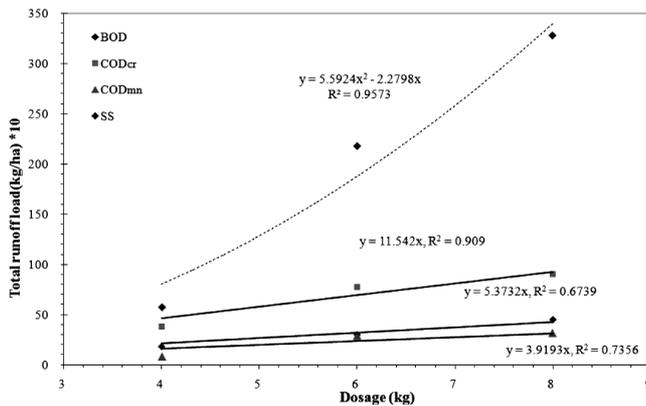
다. 특히 SS를 유발할 수 있는 미세립자의 유출량은 크게 증가할 수 있다. 이를 반영하듯 강우강도에 따른 SS의 유출량은 타 오염물질 항목에 비하여 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 돈분 퇴비에서 SS와 강우강도의 사이의 상관계수는 $R^2 = 0.9356$ 으로 조사되었으며, 액비를 시비한 토양상자에서는 $R^2 = 0.9096$ 으로서 높은 상관성을 보였다.

Fig. 5는 강우강도별로 5회씩 수행된 자료에 기초하여 산정한 평균 오염부하량을 나타낸 것이다. 돈분퇴비를 투여한 토양상자의 BOD, COD_{Cr} , SS, TN, TP의 오염부하량은 각각 32.4~115.2, 53.6~293.5, 180.7~950.5, 7.0~16.0, 0.43~1.89 kg/ha의 범위를 보였다. 액비를 투여한 토양상자에서 유출된 BOD, COD_{Cr} , SS, TN, TP의 오염부하량은 각각 11.4~37.5, 15.7~69.6, 190.0~1,166.4, 6.5~13.0, 0.79~2.34 kg/ha의 범위로서 돈분퇴비를 시비한 토양상자에서 높은 오염부하량 값을 보였다. 이는 액비의 경우 토양하부로의 침투량이 많은 반면 퇴비의 경우 토양표면에 대부분이 존재하여 인공강

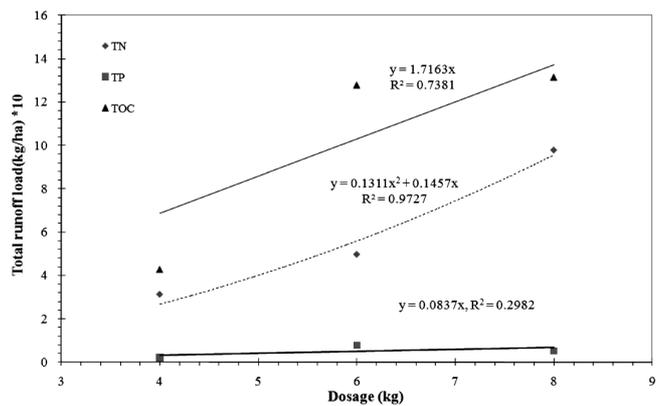
우 실험시 많은 오염물이 유출된 것으로 판단된다.

4. 자원화물 투입량에 따른 유출 특성

강우시 농경지에서 유출되는 비점오염물질은 토성과 강우량 및 강우강도 그리고 경사도에 영향을 많이 받지만, 시비의 종류와 양에 따라서도 달라질 수 있다. 본 연구에서는 농경지에 시비된 자원화물의 종류와 양에 따른 비점오염물질의 배출특성을 조사하였다. 실험은 돈분퇴비와 액비를 이용하여 강우강도 32.4 mm/hr, 토양 경사도 10°의 조건에서 수행하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 돈분 퇴비와 액비를 시비한 토양상자에서 자원화물의 투입량에 따른 총 오염부하량을 나타낸 것이다. 시비량 4 kg에서 BOD의 유출부하량은 183 kg/ha로 조사되었으며, 시비량이 8 kg에서 BOD의 유출부하량은 451 kg/ha로 약 2.5배가 증가하였다. BOD를 제외한 다른 항목의 유출부하량은 시비량이 4 kg에서 8 kg으로 증가함에 따라 2.4~5.7배로 증가하였으며, SS

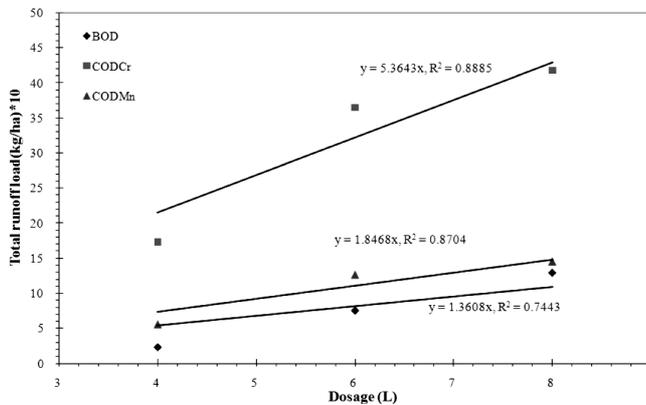


(a) BOD, COD_{Cr} , COD_{Mn} , SS

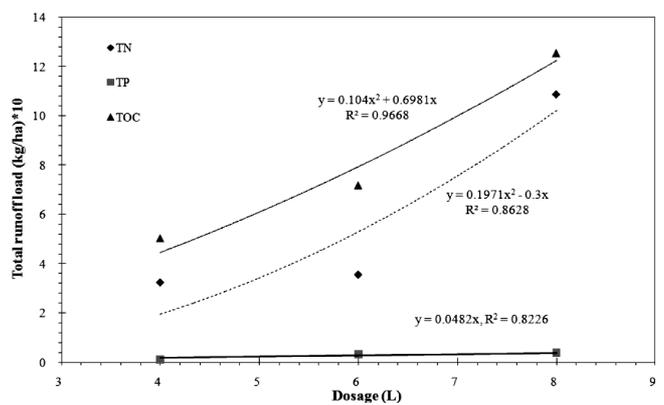


(b) TN, TP, TOC

Fig. 6 Total NPS pollution loads as livestock resources dosage (Pig compost)



(a) BOD, COD_{Cr} , COD_{Mn}



(b) TN, TP, TOC

Fig. 7 Total NPS pollution loads as livestock resources dosage (Liquid compost)

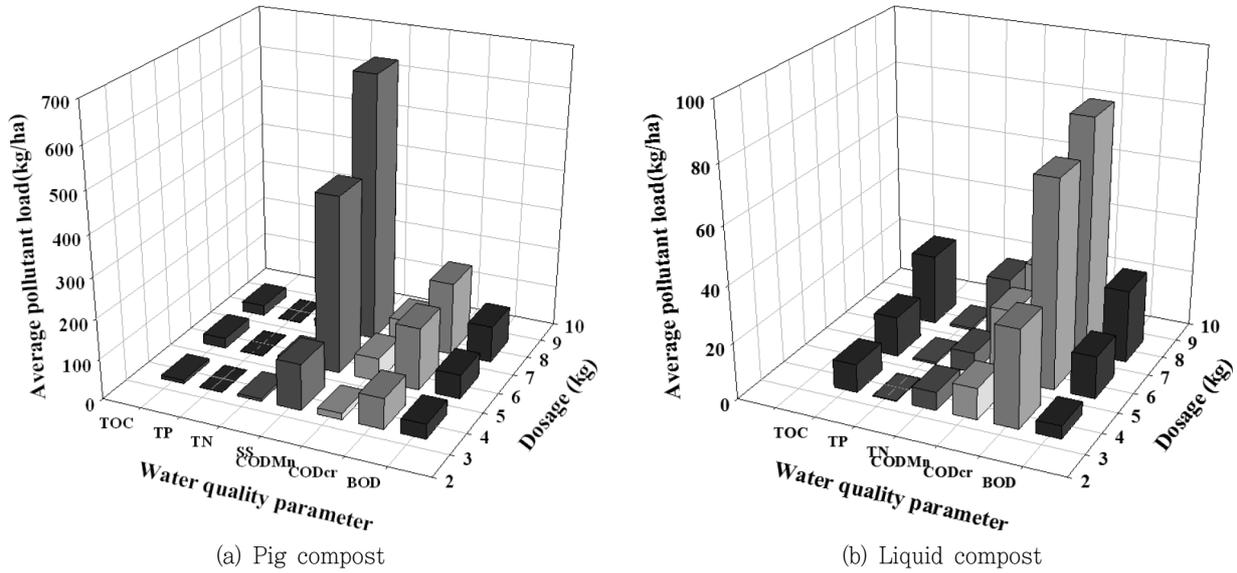


Fig. 8 Average NPS pollution loads as livestock resources dosage

Table 4 Pearson correlation coefficients among the variables

Item	BOD	COD _{Cr}	COD _{Mn}	SS	TN	TP	TOC	
Pig compost	BOD	1	0.7512**	0.7642**	0.6838**	0.1776	0.1149	0.5741**
	COD _{Cr}		1	0.8567**	0.9179**	0.3128	0.2606	0.5695**
	COD _{Mn}			1	0.7213**	0.2146	0.1697	0.4318
	SS				1	0.4199	0.1530	0.6239**
	TN					1	-0.0177	0.3534
	TP						1	0.4264
	TOC							1
Liquid compost	BOD	1	0.3378	0.8227**	0.1608	0.3223	0.4231	0.2854
	COD _{Cr}		1	0.3150	0.4313	-0.0406	0.3974	0.5523*
	COD _{Mn}			1	-0.0193	0.5352*	0.6119**	0.2005
	SS				1	-0.0434	-0.0014	0.4191
	TN					1	0.4112	0.0291
	TP						1	0.0263
	TOC							1

** p<0.01, * p<0.05

가 가장 높은 증가율을 보였다. 액비의 경우 시비량이 4 L에서 8 L로 증가함에 따라 유출부하량은 항목에 따라 차이는 있으나, 2.4~3.5배가 증가되는 나타났다.

Fig. 8은 자원화물의 종류와 투여량에 따라 5회씩 수행된 인공강우 실험의 평균 유출 부하량을 나타낸 것이다. 돈분퇴비 BOD의 오염부하는 36.5~90.3 kg/ha의 범위로 조사되었으며, TN과 TP는 각각 6.3~19.6와 0.4~1.0 kg/ha의 범위로 조사되었다. 액비의 경우 BOD의 오염부하는 4.6~25.9 kg/ha의 범위로 조사되었으며, TP는 0.2~0.8 kg/ha의 범위를 보였다. 돈분

퇴비의 시비량이 4 kg에서 8 kg으로 2배 증가시 유출부하량은 2.4~5.7배가 증가되었다. 액비의 시비량이 2배 증가할 때 유출부하량은 2.4~5.6배가 증가되는 것으로 조사되었다.

5. 상관관계

Table 4에는 강우강도에 따른 항목별 오염물질 부하량의 상관관계를 제시하였다. 돈분퇴비의 경우 유기물간에는 유의수준 0.01에서 매우 높은 상관관계를 보였으며, 영양염류인 TN과 TP는 유의성이 낮게 나타났다. 액비의 경우 BOD-COD_{Mn}과 COD_{Mn}-TP가 각각 0.8227과 0.6119로서 유의수준 0.01에서 높은 상관성을 보였으며, COD_{Mn}-TN과 COD_{Cr}-TOC가 유의수준 0.05에서 유의성이 있었다. 이외의 항목에서는 유의성이 낮게 나타났다.

IV. 결 론

축산계 자원화물을 이용하여 경사도와 강우강도 그리고 자원화물 투여량에 따른 실내인공강우실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 농지에 투입된 축산자원화물은 경사도가 증가할수록 강우시 유출량이 증가하였으며, 오염물질은 시비 직후 내리는 강우시 가장 많이 유출되는 것으로 조사되었다. 따라서 비점오염물질의 유출을 줄이기 위해서는 시비 직후 내리는 강우 유출을 최소화시켜야 하며, 필요에 따라서는 오염물질을 저감할 수 있는 방안의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 한편 강우강도와 축산자원화물의 투입량이 증가함에 따라 오염물질의 배출량은 증가하였는데, 특히 자원화물의 시비량이 4 kg에서 8 kg으

로 증가 시 오염부하량은 두 배 이상 (1.7~5.7 배) 증가되는 것으로 조사되었다. 따라서 농지에 축산자원화물을 적용시에는 시비 기준을 엄격히 준수해야 강우시 배출되는 비점오염물질을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 오염물질 상호간의 상관관계를 분석한 결과 돈분 퇴비의 경우 유기물간에는 유의수준 0.01에서 매우 유의성을 보였으나, 영양염류인 TN과 TP는 유의성이 낮게 나타났다. 액비의 경우 오염항목별 상관성이 돈분 퇴비에 비하여 낮은 것으로 조사되었다.

본 연구는 환경부 Eco-Star project (과제번호 07-II-6)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

1. APHA, AWWA, WEF, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater (19th). American Public Health Association, Washington.
2. Choi, S. C., 2005. A study on the characteristics of infiltration/inflow(I/I) and the assessment on intercepted volume of sewer overflows. Ph. D. diss.: Kangwon National University (in Korean).
3. Hong, S. G., and N. H. Lee, 2001. Assessment of Pollutant Loading Potential during Land Application of Animal Waste, *Journal of the Korean Society of Agriculture Engineers* 43(1): 66-74 (in Korean).
4. Kim, H. S., J. S. Kim, Y. I. Kim, and B. H. Cheong, 2004. Analysis of the characteristics of nutrients loading and the water purification function in the paddy-fields. *KCID J* 11(1): 36-44 (in Korean).
5. Lee, M. W., D. M. Oh, Y. S. Lee, and K. Y. Choi, 2008. A study on the effect of land application of animal waste in the watershed-A case of cow manure-. *In Proc. of Korean Society of Environmental Engineers*: 1249-1255 (in Korean).
6. Ministry of Environment, 2001. Official test methods for water pollution (in Korean).
7. Ministry of Environment, 2003. Sewage and wastewater treatment sewage statistics, Gyeonggi, Korea (in Korean).
8. National Institute of Environmental Research, 2005. An investigation study on the discharging unit load and characteristic of livestock wastes and resources, Incheon, Korea (in Korean).
9. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, and J. D. Choi, 2010. Simulation of generable nutritive salts by artificial rainfall simulator in field - by varying amount for fertilization and slope-. *Journal of the Korean Society of Agriculture Engineers* 52(3): 31-38 (in Korean).
10. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, J. W. Lee, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Simulation of soil loss by artificial rainfall simulator - by varying rainfall intensity, surface condition and slope-. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(5): 785-791 (in Korean).
11. Won, C. H., Y. H. Choi, J. Y. Seo, K. C. Kim, M. H. Shin, and J. D. Choi, 2009. Determination of EMC and unit loading of rainfall runoff from forestry-crops field. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(4): 615-623 (in Korean).