Journal of Environmental Science International
22(12); 1661~1669; December 2013

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2013.22.12.1661

ORIGINAL ARTICLE

인공 및 자연강우를 이용한 축산자원화물의 배출특성에 관한 연구

장미향 · 송시훈 · 이현규 · 최윤영 · 황하선[1)] · 김은정[1)] · 김용석[1)] · 이재관[1)] · 류덕희[1)] · 박배경[1)*]
경북대학교 에너지환경연구소, [1)]국립환경과학원

A study on the runoff characteristics of livestock resources using artificial and natural rainfall

Mi Hyang Jang, Si Hoon Song, Hyun Kyu Lee, Yun Young Choi, Ha Sun Hwang[1)], Eun Jung Kim[1)], Yong seok Kim[1)], Jae Kwan Lee[1)], Doug Hee Rhew[1)], Bae Kyung Park[1)*]

Energy and environment research center, Kyungpook national university, Sangju 742-711, Korea
[1)]Water Environment Research Department, National institute of environmental research, Incheon 404-708, Korea

Abstract

This study conducted a laboratory simulation using artificial and natural rainfall in order to investigate the runoff characteristics of livestock resources through the analysis of the surface runoff water and infiltration water by rainfall intensity and fertilization level. Cattle manure and pig liquid fertilizer was used as livestock resource.

As a result of this study, it was observed that the surface runoff occurred over 32 mm/hr rainfall intensity, and flow rate of the surface runoff water and the runoff ratio of contaminant parameters from livestock resource was increased, as rainfall intensity was stronger. With doubled fertilization level, T-N increased in compost and the amount of COD_{Mn} runoff also considerably increased in liquefied fertilizer. In the case of natural rainfall, the runoff ratio of T-P clearly increased in compost and the T-N of final surface runoff ratio in compost and liquefied fertilizer was ranged from 0.13047 to 0.13623 with stronger rainfall intensity.

Key words : Rainfall intensity, Cattle manure, Liquid fertilizer, Livestock resources

1. 서 론

우리나라의 축산업은 국민들의 식생활 패턴의 변화에 따른 육류소비의 급증과 정부의 축산진흥정책 지원 등으로 인해, 사육 가구 수는 감소하는 반면, 가축의 사육두수는 급증하고 있다. 이에 축산농가는 과거 전통적, 산발적, 소규모 축산농가에서 전문화, 기업화된 집약적인 형태로 변화되고 있으며 이로 인해 가축분뇨 발생량은 크게 증가하고 있다. 가축분뇨는 농작물의 거름으로서 토양에 환원시킬 때 하천 및 지하수오염, 호소의 부영양화 등의 자연환경을 오염시키는 중요한 요인으로 잘 알려져 있다. 이로 인해 우리나라의 농어촌지역은 실개천 오염으로부터 시작하여 물환경이 갈수록 열악해지고 있어 수질개선을 위해서는 농업활동에 의한 비점오염원의 관리가 필요하다는 것을 인식하게 되었다(주 등, 2007).

Received 15 May, 2013; **Revised** 19 November, 2013;
Accepted 23 December, 2013
***Corresponding author** : Bae Kyung Park, Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, 404-708, Korea
Phone : +82-10-3004-2805
E-mail : bkpark67@korea.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

통계청(2013) 자료에 의하면, 가축분뇨 처리는 2011년을 기준으로 자원화처리 86%, 정화처리 1%, 기타 위탁처리는 13%이나 2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 전면 금지됨에 따라 축산농가에서 발생하는 대부분의 가축분뇨는 자원화시설을 거쳐 퇴비 또는 액비로 전환되어 농지로 환원되고 있다. 퇴비 또는 액비의 시비량은 토양검정을 거친 후 작물별 표준시비량에 의해 시비하며, 특히 액비는 톱밥 등 수분조절재를 사용하지 않아 경종농가에서 경제적으로 이용될 수 있으나(환경부, 2008), 악취나 안전성 등 해결해야할 문제점들이 남아 있다(남과 이, 2012). 또한 가축분뇨가 농지로 환원될 때, 자원화물(퇴비, 액비)의 과다사용이나 축분 환원으로 인한 2차 오염 등의 문제점이 발생한다. 2차 오염은 자원화물의 농지환원 후 강우 시 오염물질이 고농도로 인접한 수계로 다량 유입되는 경우를 포함하며, 특히 자원화물을 농지에 과다하게 살포하거나 야적한 상태에서 강우로 인해 유출이 발생하는 경우 심각한 수질오염을 야기하기 때문에(홍과 김, 2001), 2차 오염에 대한 조사가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 축산자원화물이 농지에 살포된 후 강우 시 유출되는 오염물질의 거동을 조사하기 위해서 인공 및 자연강우를 이용하여 실험을 실시하였다. 실험실 규모의 반응조를 제작하고 인공강우를 이용하여 강우강도 또는 자원화물의 시비량에 따른 유출비 산정과 반응조를 야외에 두고 자연강우 사상 하에서 발생되는 유출비를 산정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험장치

반응조는 두께 2 mm의 Stainless steel을 이용하여 Fig. 1과 같이 제작하였다. 반응조의 규격은 가로 70 cm × 세로 70 cm × 높이 40 cm로 반응조의 앞면에 유로를 만들어 유출수를 채수할 수 있도록 하였다. 반응조 바닥은 5 mm간격으로 직경 5 mm의 구멍을 내어 침투된 강우가 하부로 배수되도록 하였다. 반응조의 경사는 물 빠짐 등을 고려하여 토양의 경사가 10 °가 되도록 조절하였으며, 반응조 하단에 토양침투수를 채취할 수 있도록 삼각 웨어 형태의 빈 공간을 두고 시료 채취구를 설치하였다.

인공강우 실험을 위한 강우발생장치는 정량펌프(JWSE600, JenieWell, Korea)에 실리콘튜브를 연결

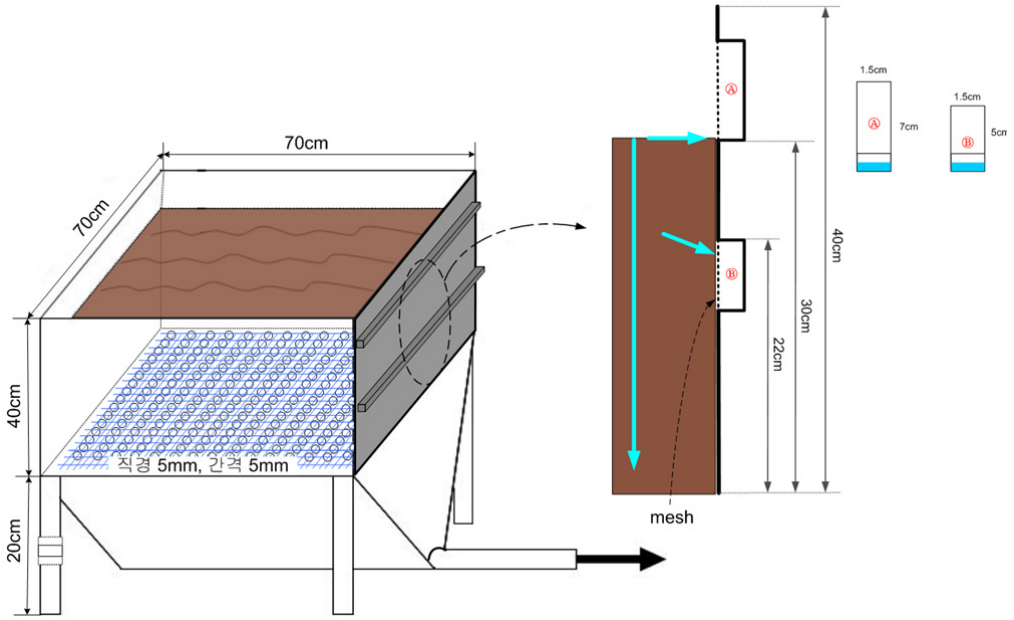

Fig. 1. Schematic diagram of laboratory reactor (Stainless steel).

Table 1. Rainfall intensity duration frequency relationship of Y city

Return period (years)	Rainfall intensity according to rainfall duration (㎜/hr)						
	10min	60min	120min	180min	360min	720min	1440min
2	76.80	31.80	22.40	17.13	11.07	7.58	4.73
3	90.60	36.20	25.35	19.23	12.48	8.52	5.32
5	105.60	41.00	28.60	21.57	14.05	9.57	5.98
10	124.20	47.10	32.70	24.47	16.03	10.89	6.80
20	142.20	52.90	36.65	27.30	17.93	12.16	7.59
30	153.00	56.20	38.90	28.90	19.02	12.88	8.05
50	165.60	60.40	41.75	30.93	20.38	13.79	8.62
80	177.60	64.20	44.35	32.77	21.63	14.63	9.13
100	183.60	66.00	45.55	33.63	22.23	15.03	9.38
200	201.00	71.70	49.40	36.37	24.07	16.24	10.15

하여 제작하였다. 실리콘튜브는 3 cm 간격으로 구멍을 내고, 살수 분포가 균등하게 되도록 튜브의 방향 및 각도를 조정한 후 제작한 프레임에 연결하고 고정하였다.

2.2. 강우강도

강우강도는 Y시의 연도별 30년 강우자료를 바탕으로 각 재현기간에 해당하는 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100, 200년 재현기간별 강우강도를 산정하였다. 강우빈도의 해석 시 사용한 기본 자료인 연 최대강우는 지속시간이 10분에서 24시간까지로 해석을 실시하였으며, 재현기간별 확률강우강도는 Table 1과 같다. 실험에 적용할 강우강도는 표면유출이 충분히 일어날 수 있는 강우강도를 고려하여 2, 5, 10, 20, 30년 재현기간에 해당하는 지속시간 60분의 강우강도 32, 41, 48, 53, 57 mm/hr로 실험 강우량을 채택하였다.

2.3. 토양 및 자원화물

본 실험에 사용한 토양은 Y시의 양파 경작지에서 불교란으로 채취하였다(Fig. 2). 두께 3 mm의 Stainless steel을 이용하여 반응조의 1/4크기의 토양상자 4개를 제작하고 각각 30 cm 높이의 토양을 압밀 채취하여 별도의 다짐 또는 체거름이 없는 자연상태로 반응조에 채워 넣었다. 토양의 성질에 따라 강우 시 오염물질의 표면유출 및 토양침투의 특성에 영향을 줄 것으로 판단되어 본 실험에 이용한 토양의 물성을 분석하였으며 그 결과는 Table 2에 제시하였다.

자원화물은 Y시의 개인농가로부터 소퇴비와 돈사

Fig. 2. Image of undisturbed soil sampling.

Table 2. Characteristics of Soil

Test	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Characteristic	Water content (w)	Specific weight (γ_t)	Coefficient of permeability (k)
1	6.0	58.3	39.9	1.8	Sandy loam	15.7%	1.53t/㎥	3.08×10^{-3}㎝/sec
2	6.1	57.9	40.9	1.2	Sandy loam			
3	5.9	62.1	36.5	1.4	Sandy loam			
Ave.	6.0	59.4	39.1	1.5	Sandy loam			

Table 3. Characteristics of cattle manure and pig liquid fertilizer

Items	BOD	COD_{Mn}	T-N	T-P	TOC
Cattle manure (mg/kg)	66,200	24,682	7,465	2,609	26,577
Pig liquid fertilizer (mg/L)	5,080	10,647	11,546	348	13,050

액비를 협조 받았다. 개별농가의 사육특성 및 부숙정도에 의한 자원화물의 특성이 상이할 수 있으므로 실험에 사용한 자원화물의 성상을 분석하였으며, 결과는 Table 3과 같다.

2.4. 인공강우 및 자연강우에 의한 유출비 산정

강우강도와 자원화물의 시비량에 따른 자원화물의 유형별 유출비를 도출하기 위하여 인공강우를 이용한 실험을 실시하였다. 먼저 강우강도에 따른 유출비를 산정하기 위해 Y시의 강우지속 기간별 확률강우 강도를 토대로 32, 41, 48, 53, 57 mm/hr의 강우강도를 선정하였다. 반응조에는 각각 다른 반응조에 퇴비와 액비를 적정량 시비하였으며, 시비 직후의 강우의 발생은 자원화물의 급격한 농도유출을 야기할 수 있으므로(Song et al., 2012), 시비 후 3일 이상의 안정화 시간을 두고 실험을 실시하였으며, 인공강우 후 표면유출수 및 토양침투수가 더 이상 유출되지 않을 때까지 채수 하였다.

자원화물의 시비량에 따른 유출비를 비교하기 위해 Y시의 2년확률빈도에 해당하는 31.80 mm/hr를 고려하여 예비실험을 실시한 결과 표면유출이 충분히 일어나고, 과다한 표면침식이 발생하지 않아 실험에 사용할 강우강도는 32 mm/hr로 선정하였으며, 자원화물은 퇴비와 액비를 사용하였다. 자원화물은 작물별 시비처방기준(농촌진흥청, 2006)에 의해 포도밭의 표준시비량을 기준으로, 반응조의 면적을 고려하여 적정 시비량을 환산하였을 때 퇴비는 2 kg, 액비는 700 mL로 산정되었고, 이를 기준으로 자원화물을 1배, 1.5배, 2배 그리고 3배로 시비량을 증가시켜서 자원화물이 적정기준 이상으로 시비되었을 때의 유출거동을 비교하였다.

실제 강우에 대한 자원화물의 유출비를 산정하기 위해 반응조를 야외에 두고 실험을 실시하였다. 실험지역에 자동강우량계(Rain Gauge RG20, Environdata, Australia)를 설치하여 보다 정확한 지역강우량을 측정하였다. 자원화물은 인공강우 실험과 동일한 방법으로 시비량을 산정하여 적정량을 시비하였으며, 총 5개월간의 자연강우 사상시 표면유출수를 채수하여 분석실험을 실시하였다.

2.5. 분 석

자원화물은 폐기물공정시험기준(환경부, 2011)에 따라 용출실험으로 실시하였다. 인공강우 및 자연강우에 따른 표면유출수와 토양침투수는 수질오염공정시험기준(환경부, 2011)에 따라 BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P를 분석하였으며, TOC는 TOC analyzer(TOC-V_{CPH}, SHIMADZU, Japan)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인공강우를 이용한 강우강도별 유출특성

퇴비를 시비한 반응조에서는 강우강도 32 mm/hr 이상일 때 표면유출이 발생하였으며, 최초 표면유출이 발생하는 시간은 액비를 시비한 반응조가 더 빠르

게 나타났다(Table 4). 이와 이(2009)의 연구결과에서도 강우강도 20 mm/hr에서 일부 유출은 있었으나 그 양이 극히 미량이었고 32.4 mm/hr의 강우강도에서 표면최대유출량이 나타나 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 한편 강우강도가 증가할수록 표면유출수의 유출유량이 증가하였는데, 강우강도 32, 41, 48, 53, 57 mm/hr에서 각각 2.8, 3.1, 3.5, 4.5, 4.8 L로 나타나 최대 2 L의 유출유량의 차이를 보였다. 표면유출유량은 실험에 사용한 토양의 구성성분, 다짐의 유무 및 정도에 따라 차이가 날 것으로 판단되며, 토양의 조건이 같다면 표면유출량은 강우강도가 커질수록 증가할 것으로 판단된다.

Table 4와 같이 표면유출수 및 토양침투수의 오염물질 농도는 강우강도가 커질수록 증가하는 것으로 나타났다. 오염물질의 항목별 유출농도를 살펴보면, 표면유출수의 T-N(mg/L)과 T-P(mg/L) 농도는 각각 32 mm/hr에서 7.72, 3.79, 41 mm/hr에서 8.55, 4.15, 48 mm/hr에서 44.45, 4.78, 53 mm/hr에서 121.51, 7.43으로 나타났다. 토양침투수의 T-N(mg/L)과 T-P(mg/L) 농도는 각각 32 mm/hr에서 63.71, 14.92, 41 mm/hr에서 67.13, 16.08, 48 mm/hr에서 160.73, 19.15, 53 mm/hr에서 290.35, 17.44로 나타났다. 표면유출수 및 토양침투수는 강우강도가 48 mm/hr일 때 T-N의 유출농도가 현저히 증가하였는데, 이는 질소가 토양에 흡수되는 능력이 높기 때문에 일정량 이상의 강우시 유출되는 것으로 사료되며, 이와 이(2009)에서도 50.3 mm/hr의 강우까지는 유출되는 양이 많지 않았으나, 57.1 mm/hr의 강우시 최대유출량을 보이는 것으로 나타났다. 한편 강우강도가 57 mm/hr일 때 표면유출수의 T-P농도가 매우 낮게 나타났는데, 이는 실험 시 인공강우에 의해 T-P가 충분히 용출되지 않았거나 표면유출수량의 증가로 일부 희석된 효과가 나타난 것으로 판단된다(한강물환경연구소, 2005).

3.2. 인공강우 조건에서의 시비량 차이에 따른 유출특성

32 mm/hr의 강우강도에서 소퇴비와 돈사액비의 시비량을 증가시키는 조건에서 실험을 실시하였다. Table 5와 Fig. 3에서와 같이 퇴비를 시비한 반응조에서는 시비량이 증가할수록 BOD, COD_{Mn}의 유출비가 증가하였으나 큰 차이를 나타내지 않았다. 반면 T-N 및 TOC항목은 시비량이 2배일 때 유출비가 각각 0.0435에서 0.0962, 0.0122에서 0.0251로 뚜렷하게 증가하였으며, T-P는 3배일 때 유출비가 0.0269에서 0.0532로 크게 증가하였다.

돈사액비의 경우 BOD, COD_{Mn}는 시비량이 1.5배부터 2배, 3배로 증가함에 따라 유출비가 증가하였으며, T-N은 시비량이 증가할수록 유출비가 증가하여, 특히 시비량이 2배일 때부터 유출비가 0.0450로 1.5배일 때 유출비 0.0328보다 0.0122증가하였다.

정 등(2006)의 연구에서도 퇴비의 경우 투입량이 증가할수록 BOD, COD_{Mn}의 유출량이 증가하였고, 특히 다른 항목에 비해 T-N, TOC의 유출량 증가가 뚜렷

Table 4. Runoff characteristics of surface runoff water(S) and infiltration water(I) depending on rainfall intensity

Rainfall intensity (mm/hr)		32		41		48		53		57	
S	Q(L)/ runoff ratio	2.8	0.089	3.1	0.062	3.5	0.076	4.5	0.087	4.8	0.086
	BOD(mg/L)	23.2		26.0		27.0		43.5		45.5	
	T-N(mg/L)	7.72		8.55		44.45		121.51		125.20	
	T-P(mg/L)	3.79		4.15		4.78		7.43		2.37	
I	Q(L)/ runoff ratio	91.0	0.284	9.8	0.195	15.2	0.330	18.2	0.350	24.2	0.433
	BOD(mg/L)	91.0		90.5		150.2		119.3		184.3	
	T-N(mg/L)	63.71		67.13		160.73		290.35		324.84	
	T-P(mg/L)	14.92		16.08		19.15		17.44		34.75	

Table 5. Total surface runoff ratio of cattle manure and pig liquid fertilizer depending on fertilization level

Input (times)	Total runoff ratio									
	Cattle manure					Pig liquid fertilizer				
	BOD	COD_{Mn}	T-N	T-P	TOC	BOD	COD_{Mn}	T-N	T-P	TOC
1	0.0159	0.0214	0.0435	0.0269	0.0122	0.0182	0.0252	0.0265	0.0264	0.0118
1.5	0.0161	0.0230	0.0533	0.0279	0.0154	0.0214	0.0276	0.0328	0.0266	0.0173
2	0.0173	0.0241	0.0962	0.0310	0.0251	0.0274	0.0312	0.0450	0.0302	0.0195
3	0.0181	0.0253	0.1127	0.0532	0.0323	0.0334	0.0384	0.0520	0.0352	0.0285

한 것으로 제시하였다. 액비의 경우는 BOD, T-N, TOC의 경우 투입량이 증가할수록 유출량이 증가하고, 특히 COD_{Mn}의 유출량 증가가 뚜렷하게 나타났으며, T-P는 오히려 감소하는 경향으로 나타났다.

3.3. 자연강우 조건에서의 자원화물 유출특성

소퇴비 및 돈사액비를 시비한 반응조를 야외에 두고 5개월 간 강우사상에 따른 유출특성을 살펴보았다. Table 6과 같이 표면유출은 초기강우 시 퇴비를 시비한 반응조는 유출이 일어나지 않았고, 액비를 시비한 반응조는 표면유출수가 미량 발생하여 분석 가능한 T-N, T-P, TOC항목의 유출비를 산정하였다. 초기 강우 후 몇 차례 미미한 강우에 의해 토양 함수율이 높아짐에 따라 표면유출수가 발생하였고, 특히 강우강도 30 mm/hr이상일 때 표면유출이 충분히 일어났다. 강우사상별 퇴비 및 액비반응조의 T-N, T-P, TOC의 표면 유출량은 Fig. 4와 같다.

강우에 따른 표면유출수의 항목별 특성을 살펴보면, 퇴비를 시비한 반응조의 경우 BOD와 COD_{Mn} 항목의 최종 표면유출비가 각 0.0214, 0.0222로 비슷한 값을 나타냈으며, 다른 항목에 비하여 유출비가 크게 증가하지 않았다. 반면 Fig. 5(a)와 같이 T-N과 T-P는 강우 시 마다 유출량이 증가하여 최종 표면유출비는 각각 0.1305, 0.0868로 나타났다. T-N의 최종 표면유출비는 액비반응조의 표면유출비 0.1362보다 0.0058 낮게 나타났으며, T-P는 강우강도가 높았던 8월23일(강우량 165.4 mm), 9월17일(73.8 mm)에 유출량이 크게 증가하였는데, 이는 높은 강우강도 조건에서 표면침식에 의한 토사 및 퇴비의 유출에 의한 것으로 판단된다(Oa, 2010). 한편 TOC의 최종 표면유출비는 0.0065로 산정되었으며, 액비반응조의 표면유출비 0.0488과 비교할때 7.5배 낮게 나타났다. Lim et al.(2009)의 연구결과에서는 퇴비를 시비한 경우 강우강도 57.1 mm/hr일 때 T-N의 표면유출비가 0.0217로,

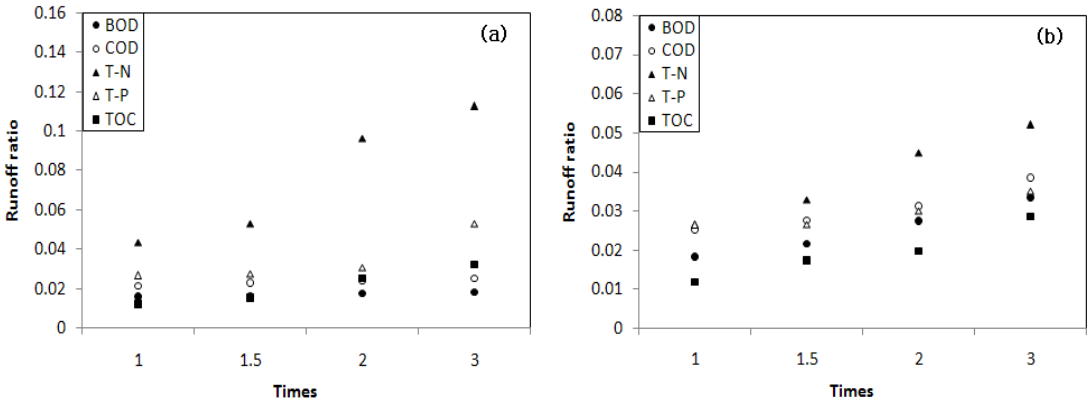

Fig. 3. Accumulated runoff characteristics of cattle manure(a) and pig liquid fertilizer(b) depending on fertilization level.

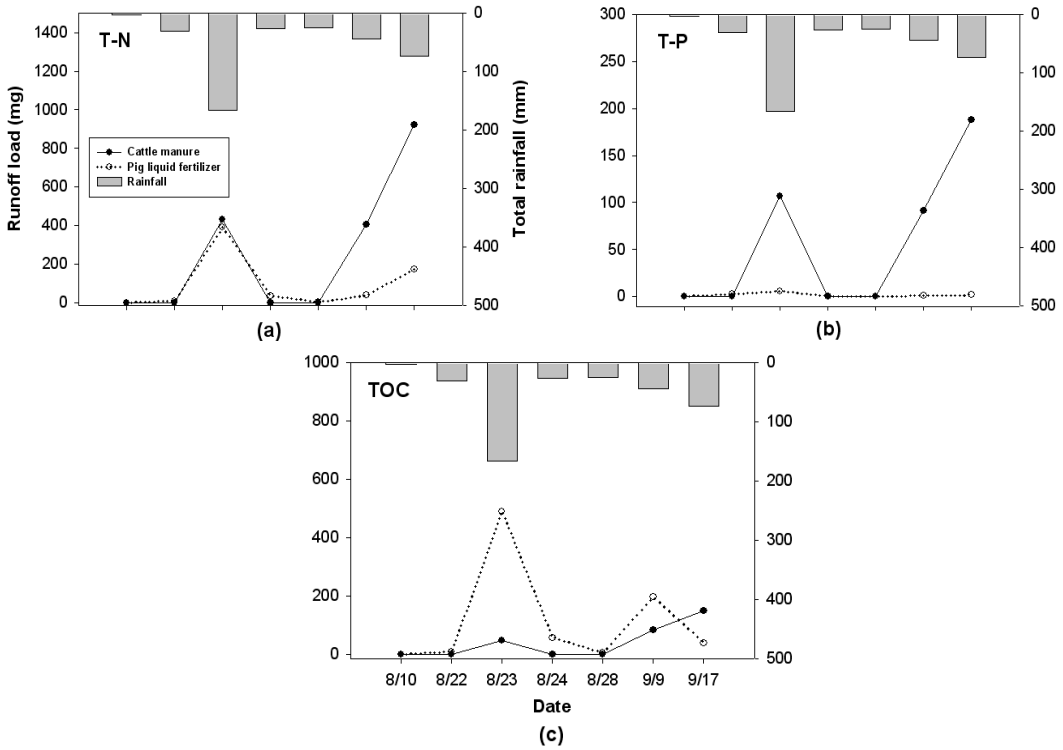

Fig. 4. Effects of surface runoff of cattle manure and pig liquid fertilizer depending on natural rainfall. (a)T-N, (b)T-P, (C)TOC.

액비를 시비했을 때의 유출비 0.0303과 비교하여 0.0086 낮게 나타나 본 연구와 비슷한 경향을 보였으나, TOC의 경우는 퇴비를 시비한 반응조의 표면유출비가 0.0030으로 액비를 시비한 반응조의 유출비 0.0123보다 4배 낮게 나타나 오염물질에 따라 표면유출비다 다르게 나타났다.

액비를 시비한 반응조의 경우 퇴비반응조와 마찬가지로 Fig. 5(b)와 같이 8월23일에 표면유출비가 현저히 증가하였으며, 특히 T-N의 유출비가 0.0839로 가장 높게 나타났다. 반면 액비반응조의 경우 8월23일 강우 후에도 BOD, COD_{Mn}, TOC의 유출이 일정하게 발생하였으며, 강우강도가 높았던 9월17일에도 T-P의 유출비는 크게 증가하지 않았다. 이는 침식에 의해 유출량이 증가했던 퇴비와 비교하여 액체 상태인 액비는 강우강도와 관계없이 강우량에 따라 유출량이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

Table 6. Accumulative surface runoff ratio of cattle manure and pig liquid fertilizer depending on rainfall and rain intensity

Date	Rainfall (mm)	Rain intensity (mm/hr)	Total runoff ratio									
			Cattle manure					Pig liquid fertilizer				
			BOD	COD_{Mn}	TN	TP	TOC	BOD	COD_{Mn}	TN	TP	TOC
8/10	2.4	1.0	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	0.0016	0.0001
8/22	30	5.3	-	-	-	-	-	-	0.0004	0.0021	0.0089	0.0005
8/23	165.4	32.3	0.0076	0.0141	0.0320	0.0240	0.0011	0.0698	0.0479	0.0839	0.0488	0.0240
8/24	25.6	9.8	-	-	-	-	-	0.0781	0.0533	0.0915	0.0507	0.0267
8/28	24.2	4.1	-	-	-	-	-	0.0782	0.0538	0.0920	0.0526	0.0270
9/9	43.6	17.4	0.0152	0.0192	0.0621	0.0446	0.0030	0.0868	0.0677	0.0998	0.0583	0.0364
9/17	73.8	38.1	0.0214	0.0222	0.1305	0.0868	0.0065	0.0940	0.0883	0.1362	0.0699	0.0488

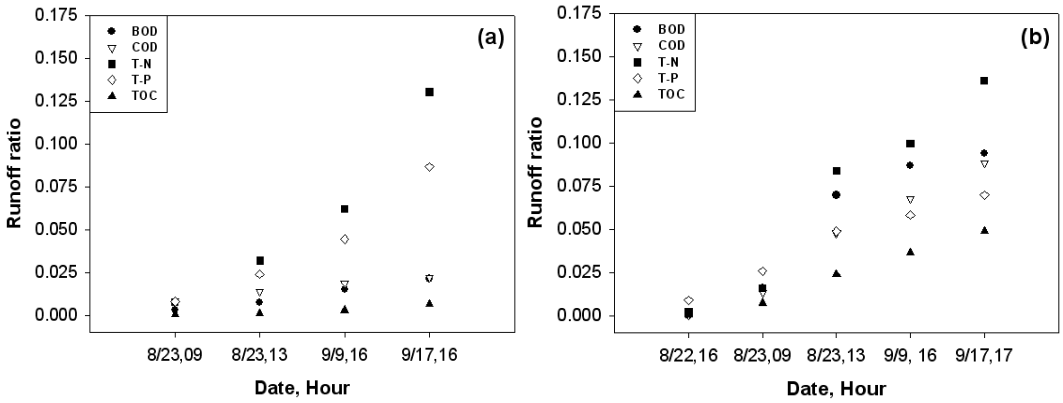

Fig. 5. Accumulative surface runoff ratio of cattle manure(a) and pig liquid fertilizer(b) in natural rainfall.

4. 결 론

본 연구는 축산자원화물이 농지에 살포된 후 강우 시 유출되는 오염물질의 거동을 조사하기 위해서 실험실 규모의 반응조를 제작하고 인공강우를 이용하여 강우강도와 시비량에 따른 축산자원화물의 유출특성을 조사하였으며, 축산자원화물이 적정량 시비된 반응조를 야외에 두고 자연 강우사상 하에서의 유출특성을 분석하였다.

인공강우를 이용한 실험에서는 퇴비를 시비한 반응조에서는 시비량이 증가할수록 BOD와 COD_{Mn}의 유출비가 증가하였으나 큰 차이를 나타내지 않았다. 반면 T-N과 TOC항목은 시비량이 2배일 때 유출비가 뚜렷하게 증가하며, T-P는 3배일 때 유출비가 0.0532으로 크게 증가하였다. 한편 액비의 경우 BOD 및 COD_{Mn}는 시비량이 1.5배 부터 2배, 3배로 증가함에 따라 유출비가 증가하였으며, T-N은 시비량이 증가할수록 유출비가 증가하여 특히 시비량이 2배일 때부터 유출비가 0.0450로 1.5배일 때 유출비 0.0328보다 0.0122증가하였다.

자연강우를 이용한 실험은 퇴비를 시비한 반응조의 경우 BOD와 COD_{Mn}의 최종 표면유출비는 각각 0.0214, 0.0222로 비슷하게 나타나, 다른 항목에 비하여 유출비가 크게 증가하지는 않았다. 반면 T-N과 T-P는 강우 시 마다 유출량이 증가하여 최종 표면유출비가 각각 0.1305, 0.0868로 나타났다. 한편 액비를 시비한 반응조의 경우 퇴비반응조와 마찬가지로 강우강도가 높을 때(8월23일, 강우량165.4 mm) 유출비가 현저히 증가하였으며, 특히 T-N의 유출비가 0.0839로 가장 높게 나타났다. 반면 퇴비반응조에 비해서는 강우가 발생한 8월23일 이후부터 BOD, COD_{Mn}, TOC의 유출이 일정하게 발생하였다.

본 연구결과 현재 자원화물에 대한 농지삭감 혹은 농지환원비가 제시되어 정책적으로 반영되고 있으나, 인공강우 및 자연강우를 통한 자원화물의 유출특성은 퇴비나 액비 등 자원화물의 종류나 시비량에 따라 현격한 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 자원화물의 유출거동에 대한 연구는 축산 자원화물의 종류, 성상, 시비량과 강우강도 등의 다양한 변수를 고려하여 오염물질의 항목별 유출특성에 대해 좀 더 구체적으로 진행하여 농촌지역의 하천이나 호소의 수질관리를 위한 최적 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Rural Development Administration, 2006, Fertilizer prescription standard by crops.

Nam, J.J., Lee, H.H., 2012, The need for new quality standards setting for extension of utilization of anaerobic digestion liquid fertilizer of livestock manure, Korean National Committee on Irrigation and Drainage Magazine, 3, 43-53.

Statistics Korea, 2013, http://www.index.go.kr.

Han River Environment Research Center, 2005, An investigation study on the discharging unit load and

characteristic of livestock(Ⅱ).

Ministry of environment, 2011, Official Waste Testing Method.

Ministry of environment, 2011, Official Water Testing Method.

Ministry of environment, 2008, Study on the improvement of regulation, retention and relaxation paddy soil required on liquid fertilizer sprinkling.

Hong, S. G., Kim, J. T., 2001, Assessment of Leachate Characteristics of Manure Compost under Rainfall Simulation, Korean Society of Rural Planning, 7(2), 65-73.

Jeong, I. H., Choi, S. C., Won, C. H., Chang, B. S., Rim, J. M., 2006, Runoff Characteristics of Nonpoint Source Pollution with Land Application of Animal Waste, The Korean Society of Water and Wastewater, 959-967.

Joo, J. H., Jung, Y. S., Yang, J. E., Ok, Y. S., Oh, S. E., Yoo, K. Y., Yang, S. C., 2007, Assessment of Pollutant Loads from Alpine Agricultural Practices in Nakdong Rover Basin, Korean journal of environmental agriculture, 26(3), 233-238.

Lee, M. W., Lee, Y. S., 2009, A study on Runoff Characteristics of Non-point Pollutant with Rainfall Intensity, Korean Wetlands Society, 11(1), 91-97.

Lim, J. M., Lee, Y. S., Han, G. B., 2009, A Study on the Livestock Resources regarding on the Discharging Characteristics from Farm Land, J. of KORRA, 17(4), 91-102.

Oa, S. W., 2010, Runoff Characteristics of the Livestock Manure as Fertilizer at Farmland, Journal of Korean Society on Water Quality, 26(5), 775-780.

Song, J. H., Kang, M. S., Song, I. H., Jang, J. R., 2012, Comparing Farming methods in Pollutant runoff loads from Paddy Fields using the CREAMS- PADDY Model, Korean J Environ Agric, 31(4), 318-327.