

축분퇴비의 농지환원시 오염부하 포텐셜 평가

Assessment of Pollutant Loading Potential during Land Application of Animal Waste

홍 성 구* · 이 남 호*
Hong, Seong gu · Lee, Nam ho

Summary

Pollutant loading potential was evaluated for manure application practices on farm fields, through survey and pot experiments. The survey indicated that most farmers applied the manure during the early spring. About 74% farmers apply the manure during the period from December to May. Considering the monthly rainfall amount in this period, the pollutant loading potential is not high. Leachate obtained from pot piled up with manure compost, using a rainfall simulator, showed that average concentrations of COD, SS, TKN, NO₃-N, TP were up to 2,000mg/L, 240mg/L, 107mg/L, 10mg/L, 50mg/L, respectively. These concentrations could be affected by rainfall intensity and the amount of piled manure compost. Therefore, implementation of management practices are recommended to control or minimize of leachate from manure compost piled on farm field.

I. 서 론

우리 나라의 1인당 연간 육류 소비량은 1998년 현재 쇠고기 7.4kg, 돼지고기 15.1kg, 가금육 5.6kg으로서 외환위기로 인해 다소 영향을 받았지만 지속적인 증가세를 보여왔다(농림부, 1999). 사육두수를 보면 한우 238만여 두, 유우 54만여 두, 돼지 754만여 두, 닭 8,585만여 수이며, 축산농가의 수는 점점 줄어들어 사육규모가 커지고 있는 실정이다. 이와 더불어 축산농가로부터 발생하는 축산분뇨에 의한 수질오염을 억제하기 위하여 축산폐수처리 관련 각종 규제가 강화되어 오고 있으며, 축산폐수에 의한 수계 수질오염을 막기 위하여 여

러 가지 처리방안이 모색되어 오고 있다.

축산분뇨처리시설 가운데 70% 이상이 자원화시설이고 나머지는 정화시설이 차지하고 있다(최, 1998). 축산분뇨 및 폐수는 전통적으로 농지로 환원, 작물의 중요한 비료로서 재활용되어 왔다. 이러한 자원화방안은 수질오염을 최소화하고 중요한 유기질비료로서 농지로 환원시키는 것이다. 최근에 축산분뇨 발생량의 증가와 수질관련 규제의 강화로 인해 자원화 및 처리관련 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 축산분뇨처리와 관련된 연구는 처리기술에 관련된 연구와 생산된 퇴비의 적절한 시용과 관련된 연구로 나눌 수 있다. 처리 및 자원화 과정과 관련된 연구는 대체로 처리 및 자

*한경대학교 농촌공학과

키워드 : 농지환원, 인공강우기, 퇴비침출수, 오염부하량

원화의 효율 또는 경제성 향상, 퇴비사용 관련 연구는 토양의 이화학적성과 작물생육에 바탕을 둔 최대 사용량 결정을 목적으로 하고 있다.

그러나 농촌지역의 수계 수질관리를 위해서는 이러한 처리·자원화 기술개발 및 현장적용 뿐 만 아니라, 농지환원과정 및 살포 후 유출수에 의한 하천수질오염 가능성을 고려하여, 생산된 퇴비를 적절히 관리하고 사용하는 것이 필요하다. 퇴비사용으로 인한 수질오염 가능성을 배제하고 토양의 이화학적성이나 작물생육만을 고려한 퇴비 사용은 축산분뇨처리의 취지를 상실하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 축분퇴비의 농지환원 과정에서 발생할 수 있는 오염부하 포텐셜을 평가하여 농촌 지역의 하천 수질관리를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 축분퇴비의 사용 기준 및 문제점

1. 축분퇴비의 사용기준

축분이 가지는 비료성분은 축종과 사료의 질에 따라 크게 다르다(Table 1). 가축분의 일반적인 비료성분 함유량은 현물 톤당 질소 2~18kg, 인산 3~26kg, 칼리 1~11kg으로서 성분함량의 차이가 크

Table 1 Nutrient level in animal manure

Manure type	Animal	N	P	K
		kg/ton		
Solid manure (feces)	Cow	3~5	3~8	0.4~21
	Pig	4~16	8~26	1~3
	Chicken	5~32	7~25	3~7
	Compost	2~18	3~26	1~11
Liquid manure (slurry)	Cow	3.7	1.9	4.2
	Pig	4.1	2.2	2.0
Urine	Cow	10.0	0.1	15.0
	Pig	5.0	0.5	10.0
Effluent from septic tank	Cow	1.0	0.8	0.9
	Pig	1.1	1.5	1.9

(Chung, 1997)

다(정, 1997). 따라서 10a 당 퇴비의 적정 사용량은 작물의 비료성분 요구량과 축분이 가지는 비료성분을 분석하여 사용량을 결정하여야 한다. 지금까지는 축분 중의 질소량을 기준으로 사용량을 결정해왔으나, 인산이 토양 중에 과다하게 집적되는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위하여 인산을 기준으로 축분 사용량을 결정하고 질소 부족분은 화학비료로 보완하는 방안이 제시되기도 하였다(조, 1997).

액비는 수분함량이 90% 이상으로서 생분에 비하여 질소성분이 상대적으로 높고 작물이 쉽게 흡수할 수 있는 형태로 존재한다. 액비의 적정 사용량은 질소성분에 따라서 결정한다. 예를들어 액비 중 질소가 0.5% 수준에서는 10a 당 2.2ton을 권장하고 있다(농림부, 1994). 살포시기는 봄과 가을로 제한하고 있으며, 식용작물을 재배하는 경우 밀거름으로만 사용할 것을 권장하고 있다.

미국 Missouri주에서는 봄철을 최적의 축분사용 시기로 제시하고 있다(Fulhage, 1989). 봄철에 사용한 축분이 분해되어 작물에게 유효한 비료성분으로 작용하기 때문이다. 여름과 가을에도 필요한 경우 사용이 가능하다고 하나 우리 나라와 같이 여름철에 강우가 집중되는 경우에는 적용하기 곤란하다고 판단된다. 겨울철은 토양의 동결 및 작물에 의한 흡수가 이루어지지 않기 때문에 회피하여야 한다.

2. 축분퇴비사용의 현실과 문제점

육 등(1999)은 우분액비를 사용한 토양 중 질산태 질소의 농도를 조사한 결과, 사용량을 증가시켜도 심토층의 NO₃-N 함량이 거의 변하지 않기 때문에 외국에서 적용하고 있는 계절별 분뇨살포 규제조치가 필요치 않고, 추가적인 분뇨질소 사용이 가능하다고 하였다. 그러나 이것은 지표 유출수에 의한 오염부하를 전혀 고려하지 않았기 때문이다. 김 등(1997)은 축산분뇨 살포지역에서 강우 유출수에 대한 조사를 통해서 우기를 피해야 함을 지적한 바 있다. 강우량이 많은 시기에 분뇨를 농

지에 살포한 경우에는 유출수에 의한 하천오염 가능성이 반드시 고려되어야 한다.

축분퇴비사용에 있어서 또 하나의 문제점은 축산농가가 제한된 면적의 경지를 가지고 있다는 것이다. 양돈농가에 대한 조사 결과, 규제 대상별 사육농가의 호당 경지면적은 사육규모가 커질수록 작은 것으로 나타났다(송 등, 1996). 축산업이 발달하지 않은 지역에서는 퇴비로서 가축분뇨가 부족하나 축산밀집지역에서는 적절한 살포 대상농지가 부족하여 과다하게 사용하는 경우를 볼 수 있다.

가. 축산농가의 농지환원 실태조사

축산농가에서 발생하는 축분 또는 축분퇴비의 농지환원에 대한 실태를 파악하기 위하여 경기도 안성지역에 거주하는 107호의 중소규모 축산농가를 대상으로 설문조사를 하였다. 설문에 응한 농가의 축종, 축분퇴비사용 농지면적, 처리방법 등은 Table 2에 나타난 바와 같다. 소, 닭, 돼지를 사육하는 농가가 각각 79.4%, 15.9%, 10.3%로 나타났으며, 전체 농가 중 61.7%가 톱밥을 이용하여 퇴비화처리하는 것으로 나타났다. 그 외의 처리방법에는 액비화, 정화조, 무처리방류, 위탁처리, 2가지 이상의 방법의 병용 등이 있었으며, 약 12%는 응답하지 않았다. Table 2는 2종 이상의 가축을 사육하는 농가의 경우 각각의 축종에 모두 포함시켜 산출한 결과이다.

Table 2 Description of livestock farms surveyed(%)

	No. of farms	SDC	SLD	AD	DNT	ENT	MT	NA
Beef cow	52	65.4	9.6	9.6	0	0	3.8	11.5
Milking cow	39	66.7	2.6	12.8	2.6	0	5.1	10.3
Cow (beef+milking)	85	64.7	5.9	11.8	1.2	0	4.7	11.8
Hog	11	54.5	0	9.1	0	18.2	18.2	0
Chicken	17	70.6	0	5.9	5.9	5.9	0	11.8
Total		61.7	4.7	11.2	1.9	2.8	5.6	12.1

SDC : composing with saw dust, SLD : slurry, liquid digestion, AD : anaerobic digestion DNT : discharge with no treatment, ENT : treatment by entrusting MT : treatment by multiple processes, NA : not answered

조사대상 농가가 축분퇴비를 사용하는 시기를 12~2월, 3~5월, 6~8월, 9~11월의 4개 분기별로 나누어 응답한 농가에 대하여 분석하였다. 농지의 종류에 관계없이 분석한 결과, 영농을 시작하는 시기인 3-5월에 축분을 사용하는 농가가 47.1%로 가장 많게 나타났으며, 다음으로 12~2월에 26.4%로 나타났다(Table 3). 사용시기에 관한 설문에 답한 농가 중 약 28%는 2~3개 분기에 걸쳐 축분을 사용하였으며, 4개분기 모두 연중에 걸쳐 사용하는 농가 또한 9.8%를 차지하고 있었다. 농가에서 사육하는 축종의 종류에 따라서 다소 차이가 있는 것으로 보여지나, 돼지와 닭을 사육하는 농가의 수가 적기 때문에 축종별 분석은 하지 못했다. 조사 결과를 전체적으로 볼 때 3~5월을 중심으로 농지에 집중적으로 환원됨을 알 수 있으며, 강수량이 많은 여름철에도 적지 않은 농가가 농지에 축분퇴비를 사용하고 있음을 알 수 있다. 단지 본 조사에서 설문응답이 곤란하다고 판단하여 축분 사용량을 조사하지 않아 시기별 사용량을 알 수 없었으나, 사용시기의 분포와 유사하거나 영농개시기에 더 많은 양이 사용될 것으로 판단된다.

나. 월별 강수량을 고려한 오염부하 포텐셜

우리나라의 월평균 강수량은 전국적으로 보아 12월에는 울릉도, 제주도, 강릉지방 등을 제외한 지방은 14~50mm의 분포이며, 영남내륙지방은 14mm 내외로 적은 편이다(기상청, 2000). 1월에 20~60 mm, 2월 30~80 mm의 분포이다. 3월에는 제주도와 남

Table 3 Distribution of period for land application to crop lands(%)

Farms	No. of farms	Period of land application (month)				
		12~2	3~5	6~8	9~11	all year
Beef cow	44	27.3	51.0	5.5	7.3	9.1
Milking cow	28	22.5	50.0	15.0	5.0	7.5
Cow (beef +milking)	67	26.4	50.7	9.2	5.7	8.0
Hog	6	25.0	25.0	0	25.0	25.0
Chicken	12	26.4	31.6	5.3	31.6	5.1
Total		26.4	47.1	7.8	8.8	9.8

해안지방에서는 70~100mm, 울릉도와 동해안 일부지방에서는 60~80mm, 그 밖의 지방은 40~60mm의 분포를 보인다. 4월에는 이보다 많은 100~190mm로 점차 많아진다. 이와같은 강수특성과 앞에서 조사된 축분퇴비시용의 시기별 분포를 고려해볼 때, 축분시용으로 인한 농지로부터의 오염물질의 유출부하 포텐셜은 수계 수질관리 측면에서 다소 긍정적이라고 판단할 수 있다. 특히 일 강수량은 월평균 강수량에 비해 작기 때문에 유출에 의한 오염물질의 유출 가능성은 아주 작다고 생각할 수 있다.

한편, 앞에서 분석된 결과에 의하면 강수량이 많은 6~9월에도 축분의 시용이 이루어지고 있으므로, 강우에 의한 오염물질의 유출부하가 매우 커지게 됨을 알 수 있다. 연중 시용 9.8%와 6~11월의 16.6%를 생각하면 이 시기의 축분퇴비의 농지이용에 대하여 관리가 필요함을 알 수 있다.

Ⅲ. 축분 농지환원시기의 유출부하 포텐셜

축분의 농지환원 및 강우 유출수로 인한 오염물질의 유출부하 포텐셜을 정량적으로 평가하기 위하여 실험적으로 야적된 축분으로부터의 유출부하량을 조사하였다. 인공강우발생장치를 제작하여 축분을 담은 포트에 일정 강우강도로 살수, 침출수를 채취, 분석하여 유출수 중의 SS, COD, TKN, NO₃-N, TP 농도를 분석하였다.

1. 야적 축분으로부터의 유출부하특성

가. 실험방법

1) 강우발생장치

강우발생장치는 양수용 펌프에 농약살포용 노즐을 연결하여 제작하였다. 노즐의 방향 및 각도를 고정시키기 위하여 앵글로 제작한 프레임에 연결, 움직이지 않도록 하였으며 연결호스에 유량조절용 밸브를 연결하여 살수량을 조절할 수 있도록 하였다. 실내에서 직경 약 2cm의 필름통을 일정간격으로 배치한 후 인공강우의 분포를 조사하였다. 실

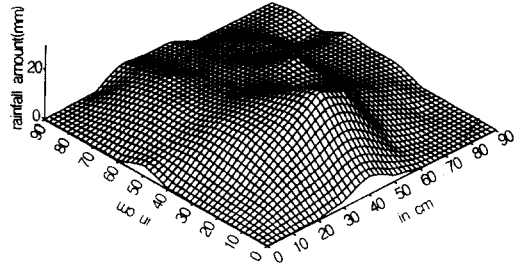


Fig. 1 Distribution of rainfall amount for 10 minutes

측된 강우 분포를 이용하여 포트를 설치할 위치와 강우강도를 계산하였다. 살수 분포는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 등분포를 나타내지 않고 있으나 사용되는 포트에 살수량이 최대한 등분포를 갖도록 위치를 선정하였다.

실험에 이용한 강우강도는 강우발생장치의 특성 및 실험여건을 고려하여 100mm/h 와 50mm/h의 두가지로 결정하였다. 수조의 수위 등 조건이 다소 변함에 따라서 노즐에서 분사되는 살수량은 약 10% 내외로 변하나 반복실험을 통하여 침출수량, 농도, 그리고 부하량을 파악하는데는 큰 영향이 없다고 판단된다. 강우발생은 1시간 동안 지속하였으며, 유량측정은 5분간격으로 하였으며 분석을 위한 시료는 유량측정을 위해 채취한 2개의 5분간격 시료를 혼합하여 얻었다.

2) 축분포트

실험에 이용한 축분은 한우를 사육하는 농가에서 얻은 것으로서, 발효조에서 10여일 퇴비화가 진행된 톱발발효우분이다. 농가에서 얻은 약 100kg의 축분은 먼저 균질한 상태가 될 수 있도록 삼으로 혼합 후 포트에 담았다. 강우발생장치를 이용한 침출수 채취는 7일 간격으로 3회에 걸쳐 실시하였다. 앞에서 언급한 2가지 강우조건과 축분 3kg과 6kg에 대하여 각각 2 반복 실험을 수행하기 위해서 총 24개의 포트를 준비하였다. 유출 실험 직전에 포트별로 약 30g을 채취하여 함수비

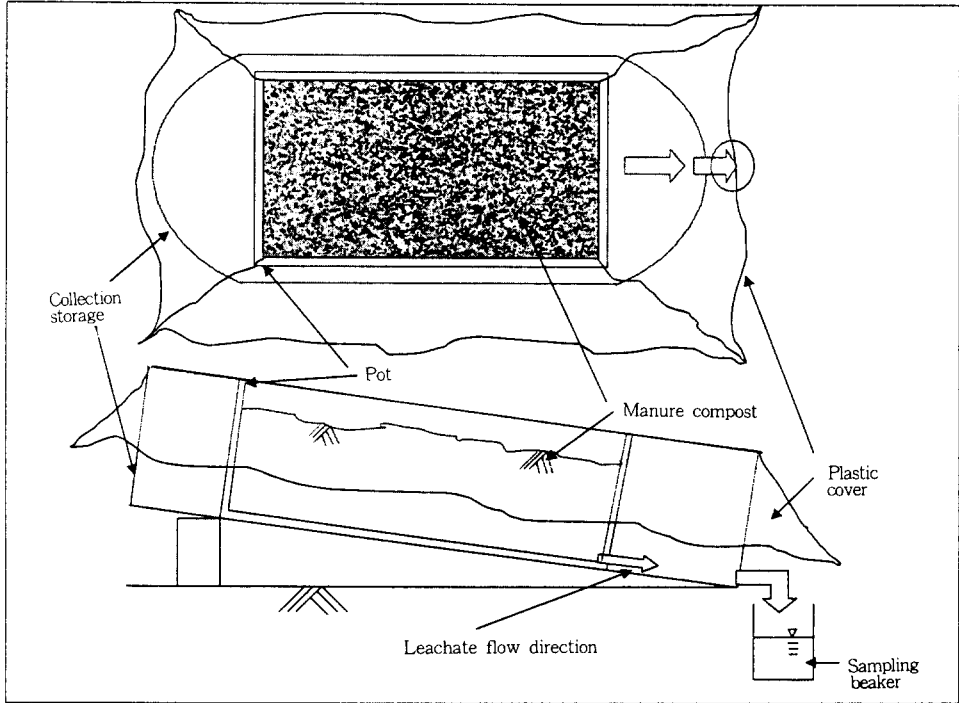


Fig. 2 Schematics for leachate collection from a pot with manure compost

를 측정하였다. 축분은 35cm×50cm의 직사각형 포트에 약 10cm 내외의 두께로 담아 10%로 경사지게 하여 바닥부에서 침출수를 모아 유량을 측정하고 시료통에 담은 후, 분석하였다. 시료채취를 위한 포트 및 집수조는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 축분이 담겨진 포트의 측면의 아래와 바닥에는 침출수가 집수조로 배제될 수 있도록 구멍을 뚫었으며, 포트에서 배제된 침출수는 경사진 집수조의 방출구를 통해 채취하였다.

3) 분석방법

축분 표면에서의 유출은 거의 없고 축분 내부를 침투하여 바닥으로 흘러나오는 침출수 만이 발생되었다. 채취한 침출수는 SS, COD, TKN, NO₃-N, TP에 대하여 분석하였으며, 분석방법은 공정시험방법 및 Standard method를 따랐다. COD는 중크롬산칼륨을 이용하였으며, TKN은 분해 후 암모니아를 0.025N H₂SO₄로 적정하여 정량하였고, NO₃-N

은 카드뮴환원법을 이용하였다. TP는 몰리브덴산 암모늄과 염화제일주석으로 발색시켜 분광광도계를 이용하여 정량하였다.

나. 침출수에 의한 부하량

1) 침출수량

1시간 동안 발생된 침출수의 양을 측정 후, 포트의 면적으로 나누어 수심단위로 계산한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다. 실험에 앞서서 강우발생장치에 의해 발생된 측정 실수량은 116mm/h, 41mm/h로 나타났다. 두 가지 강우조건에서 공통적으로 관찰할 수 있었던 것은 일정 강우 하에서 축분의 양이 3kg에 비해서 6kg인 경우 침출수량이 11%~22% 정도 작았다는 것이다. 톱밥이 상당량 포함되어 있기 때문에 톱밥에 의한 수분흡수로 인한 결과로 판단된다.

축분의 함수비는 50~60% 범위로서 큰 차이는 없었다. 5분 간격으로 측정된 유량은 Fig. 3에 나

Table 4 Total amount of leachate for different rainfall and animal waste amount conditions for 1 hour (mm)

Rainfall	116 mm/h		41 mm/h	
Animal waste(kg)	3	6	3	6
3/31	83.9	65.6	47.5	39.7
4/5	119.5	98.5	40.4	36.1
4/12	104.0	105.3	44.2	41.1

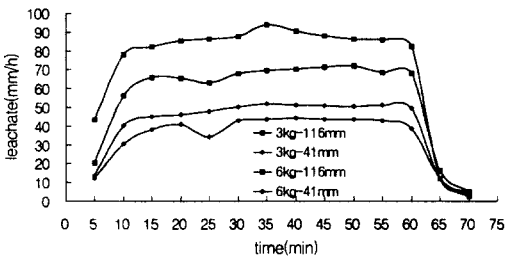


Fig. 3 Average leachate for different rainfall and animal waste amount conditions

타난 바와 같이 초기에 증가하고 10분 이후에 안정되어 강우가 종료되면서 침출수량이 급격하게 감소, 정지하는 모습을 나타내고 있다. 동일한 강우조건에서 포트 내의 축분량에 따라서 유출량의 차이를 확실하게 볼 수 있다.

2) 항목별 농도변화 및 부하량

가) 강우지속시간에 따른 항목별 농도변화

축분량이 동일할 때, 강우강도가 큰 경우 부유물질의 농도가 대체로 다소 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. 부분적으로 차이가 크지 않은 경우도 있으나 침출수량이 증가하여 부유물질의 농도가 다소 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 또한 동일한 강우강도에서는 축분량이 증가함에 따라서 부유물질의 농도가 증가함을 확인할 수 있었다. 강우지속시간에 따른 농도변화에서 뚜렷하게 볼 수 있는 사실은 강우 종료 후에 발생하는 침출수 중의 부유물질 농도가 종료 전의 농도에 비해서 대체로 크게 증가한다는 것이다. 한편, 실험을 수행한 날짜별 또는 축분의 퇴비화진행에 따른 뚜렷

한 경향을 파악하기는 어려웠다.

화학적 산소요구량(COD) 또한 부유물질의 농도 변화 경향과 유사하게 나타났다. 동일 강우강도에 대하여 축분량이 증가함에 따라서 COD 농도가 증가하며, 동일 축분량 조건에서 강우강도가 커짐에 따라서 COD 농도가 다소 감소하는 경향을 파악할 수 있었다. 부유물질과는 달리 강우지속시간에 따라서 COD의 농도는 점차 감소하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 4).

총인(TP)의 경우에는 강우강도와 축분량의 처리조건에 따른 차이가 부유물질이나 COD와 같이 뚜렷하지 않았다. 먼저 축분량 3kg 처리조건에서는 강우강도의 변화에도 불구하고 20mg/L 내외, 6kg의 조건에서는 오히려 강우강도 116mm/h에서의 농도가 다소 높다고 판단되었으나 부유물질이나 COD와 같은 뚜렷한 차이를 볼 수는 없었다.

질산성 질소(NO₃-N)는 강우지속시간에 따른 변화가 거의 없고, 강우 종료후 농도가 크게 증가하였다. 축분량과 강우강도의 조건에 따른 차이도 거의 없이 대체로 10mg/L 이하의 농도로 일정하게 유지되다가, 강우 종료 후 농도가 약 3배로 증

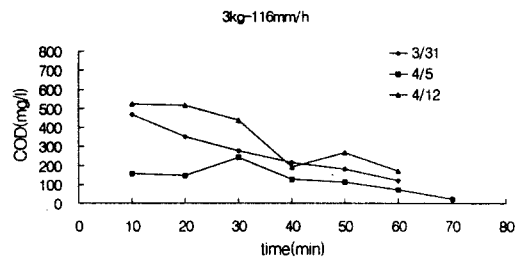


Fig. 4 Chemical oxygen demand(COD) concentrations of leachate over the time

가하는 것을 관찰할 수 있었다. 다른 항목과는 달리 축분의 퇴비화가 진행됨에 따라서 다소 질산성 질소의 농도가 다소 증가했기 때문으로 판단된다. 이것은 호기성 퇴비화과정으로 인해 암모니아태 및 유기태 질소가 분해로 인해 질산태 질소량이 증가하였기 때문으로 이해할 수 있다.

마지막으로 암모니아태와 유기태 질소의 함으로

Table 5. Concentrations of leachate for rainfall and animal waste amount conditions

Rainfall	116mm/h		41mm/h	
	3	6	3	6
Animal waste(kg)	3	6	3	6
SS(mg/L)	10~57.5(72*)	38~138(144*)	19~92(130*)	68~244(456*)
COD(mg/L)	72~599(47.5*)	571~1369(612*)	105~1158(2079*)	411~2070(1201*)
NO ₃ -N(mg/L)	1.97~7.64(27.5*)	3.01~9.03(28.6*)	6.46~9.95(25.7*)	1.28~10.8(36.7*)
TKN(mg/L)	1.29~23.5(23.6*)	1.15~106.9(20.4*)	5.86~47.1(22.7*)	7.12~102.1(52.8*)
TP(mg/L)	8.92~36.18(40.0*)	17.83~50.08(79.7*)	11.9~35.7(33.0*)	16.17~41.9(47.5*)

*: Highest concentrations of leachate after rainfall stops

Table 6. Pollutant loading for different rainfall and animal waste application conditions for 1 hour

Rainfall	116mm/h		41mm/h	
	3	6	3	6
Animal waste(kg)	3	6	3	6
SS(mg)	310~810	1260~1780	210~600	720~1110
COD(g)	2.6~7.4	10.2~21.4	1.4~10.3	4.4~12.0
NO ₃ -N(mg)	34.7~150.6	43.3~145.5	57.0~70.4	10.8~86.9
TKN(mg)	93.8~199.	114.~1163.	36.4~283.	100.7~546.6
TP(mg)	220.8~534.4	387.9~718.8	118.~209.4	137.8~271.6

서 TKN은 동일강우 조건에서 축분량이 증가함에 따라서 농도가 다소 증가하는 반면, 동일한 축분량에서는 강우강도가 커짐에도 불구하고 뚜렷한 경향은 볼 수 없었다. 강우지속시간이나 강우종료 후의 농도변화 또한 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

침출수에 대한 항목별 농도의 범위는 Table 5에 요약된 바와 같다. Table 5에 제시된 농도의 범위는 최종 시료의 농도를 제외한 것으로서, 대체로 모든 항목에서 동일한 강우강도에 대하여 축분량이 증가할수록 농도가 증가함을 알 수 있다. 부유물질(SS)는 116mm 강우 하에서 3kg 포트에서는 10~57.5mg/L로 나타난 반면, 6kg 포트에서는 38~138mg/L로 증가하였다. TKN 역시 116mm/h 강우조건에서 6kg 포트에서는 최고농도가 100mg/L 이상으로서 3kg 포트의 최고치에 비해 4배 이상으로 높았다. NO₃-N의 경우도 유사한 경향을 보였으나 강우강도가 41mm/h인 경우에는 상대적으로 뚜렷하지 않음을 볼 수 있다. 반면 동일한 축분량 조건에서 강우강도가 작은 경우에는 침출수량이 적어 농도가 다소 증가하는 것을 볼 수 있다.

COD와 TKN을 제외한 나머지 항목은 강우 종료 후에 농도가 종료전의 농도에 비하여 다소 높게 나타났다. 특히 질산성 질소는 3배 증가하는 것을 알 수 있다.

1시간 동안의 강우로 인한 항목별 유출부하량은 Table 6에 나타난 바와 같이 축분량의 증가와 강우강도의 증가에 따라서 질산성질소를 제외한 모든 항목이 대체로 증가함을 알 수 있다. 질산성 질소의 농도에 대한 고찰에서 언급된 바와 같이 강우강도나 축분량에 따라서 크게 변화하지 않았기 때문이다.

2. 축분의 농지환원 특성과 오염부하 포텐셜

축분(퇴비)을 농지에 환원하는 과정은 축분의 야적과 토양으로의 혼입으로 나누어 생각해볼 수 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 대부분의 농민들은 축분을 본격적인 영농기 이전에 농지에 살포하게 된다. 일차적으로 경운기 등을 농지로 운반하여 농지에 살포 혹은 쌓아둔다. 이르면 2월부터

이러한 야적작업이 이루어지며, 4~5월의 영농기까지 지속된다. 야적 이후 축분은 이 시기의 강수량이 적기 때문에 건조해지기 마련이다. 충분히 건조된 후, 과중 또는 이양전에 토양 내 혼합을 위하여 경운(로타리)작업을 거치게 된다.

야적된 축분의 크기는 이용되는 작업기구에 따라 좌우되며, 트럭을 이용한 환원작업은 높이 1.5m 반경 2~3m 이상의 경우도 관찰할 수 있다. 대부분의 경우 경운기를 이용하게 되는데, 이때 야적축분의 높이는 0.5m 내외, 반경 1m 미만인 경우가 다수임을 현장조사를 통해 알 수 있었다. 트럭을 이용한 대규모 농지환원 작업은 주로 축분의 처리를 목적으로 하는 것으로서, 적정 시용량과는 관계없이 과다하게 시용하는 것을 알 수 있었다. 반면에 과수의 추비로 이용되는 경우에는 2-3kg 수준으로 적게 이용되기도 한다.

농지에 야적된 축분은 태양복사에너지와 내부 발효과정에 의해 시간이 경과함에 따라서 어느 정도 건조과정을 거치기 때문에 함수비가 점차 낮아지게 된다. 또한 12~3월의 기간동안의 강수량이 대체로 적기 때문에 농지에 야적된 축분으로부터 발생될 수 있는 오염부하량은 크지 않다고 판단할 수 있다. 특히 축분에 톱밥이 다량 포함되어 있는 것과 톱밥의 수분 흡수율이 대단히 높다는 것을 감안하면, 12~3월의 강수량은 축분에 의해 흡수될 수 있으며, 발생되는 침출수량도 극히 적어 오염부하 포텐셜은 극히 작다고 할 수 있다. 설문조사에서도 나타난 바와같이 일부 농가에서 강수량이 많은 시기에 축분을 농지에 시용하는 경우에는 오염부하 포텐셜은 크게 증가하게 된다. 지역적으로 볼 때, 남부지방에서는 12~3월에도 상대적으로 강수량이 많기 때문에 이에 대한 관리방안이 모색되어야 할 것이다.

본 연구에서는 축분야적된 농지에서 발생하는 유출부하량은 조사되지 않았지만, 강우유출이 발생하는 경우, 농지에서 희석, 토양흡착 등으로 인해 농도가 다소 낮아질 가능성이 있다 하더라도 고농도의 오염물질이 하천으로 유입될 수 있으므로 대처방안이 강구되어야 한다.

IV. 축분 농지환원시 오염부하 저감방안

축분을 농지에 살포하고 토양과 혼합한 후에 발생하는 오염물질의 유출부하는 토양관리와 관련된 비점오염원 차원의 관리를 요한다. 야적된 축분의 경우에는 경운 이전단계에서 이루어져야 하는 축분퇴비의 관리라는 관점에서 저감방안을 생각할 수 있다. 따라서 야적된 축분퇴비로부터 오염물질의 유출부하를 저감시키기 위해서는 강우의 차단이나 침출수의 이동을 억제하는 방법을 생각할 수 있다.

강우의 차단은 야적된 퇴비를 비닐 등을 이용하여 축분으로부터 침출수가 발생하지 않도록 하는 것이다. 강수량이 적은 경우에는 축분에 의해서 흡수되어 침출수가 생기지 않겠지만 특히 강수량이 많은 하절기에 축분퇴비를 농지에 살포하는 경우에는 반드시 도입되어야 할 방안이라고 판단된다.

침출수의 발생을 방지하기 위한 강우차단 등의 방법뿐만 아니라, 일단 침출수가 발생한 경우에는 수계로의 이동을 억제하여야 한다. 지표면의 유출수와 더불어 수계로의 이동을 억제하는 방법으로는 축분을 쌓는 곳의 바닥을 일부 파내거나 주변에 토양을 쌓아 축분이 야적된 곳의 침출수 저류능이 증가하도록 하는 것이 있다. 또다른 방안으로서는 축분을 쌓는 위치를 유출수의 이동경로가 단순하지 않도록 정하는 것을 생각할 수 있다. 농지에서 침투, 침전시키거나 또는 토양에 의한 흡착을 꾀하는 방법이다. 특히 실험결과에서 나타난 바와 같이 축분량이 증가함에 따라서 오염물질의 농도가 증가하므로, 농지에 살포하기 위해 야적하는 축분량이 많은 경우 저감방안을 복합적으로 적용해야 할 것이다.

V. 요약 및 결론

축분퇴비의 농지환원과정에서 발생할 수 있는 오염부하 포텐셜을 평가하기 위하여 본 연구에서는 축분퇴비 시용관련 실태를 조사하기 위한 설문 조사와 인공강우발생장치를 이용한 축분으로부터 발생하는 침출수 중의 오염부하특성조사를 하였

다. 설문조사 결과, 12~5월에 축분을 농지에 환원하는 농가가 73.5%로서 대부분을 차지하였으며, 일부 농가에서는 특정시기에 관계없이 또는 강수량이 많은 시기에 살포하고 있는 것으로 나타났다. 다행히 대부분의 농가가 축분을 사용하는 시기에는 강수량이 비교적 적어서 강우유출 및 야적된 축분퇴비로부터의 유출부하 포텐셜이 적다고 판단된다.

인공강우발생장치를 제작하여 축분량을 채운 포트에 살수하여 침출수 중의 항목별 수질을 분석한 결과 축분량과 강우강도와의 관계를 살펴볼 수 있었다. 축분량이 증가함에 따라서 오염물질의 농도가 증가하였으며, 동일한 축분량에 대해서는 강우강도(강수량)이 큰 경우 대체로 농도가 감소하였으나 부하량은 증가함을 알 수 있었다. 본 연구에서의 제한된 실험조건에서 얻은 결과를 종합적으로 살펴볼 때, 야적된 축분으로부터의 침출수 중 오염물질의 평균농도는 축분량과 강우강도의 조건에 따라서 변화하지만, 최고 COD 2,000mg/L, SS 240mg/L, TKN 107 mg/L, NO₃-N 10mg/L, TP 50mg/L 수준까지 이르며, 강우가 종료되는 시점에는 오염물질의 종류에 따라서 이보다 3~4배 이상 증가하게 된다.

축분퇴비를 농지로 환원하는 시기가 대체로 강수량이 적은 12~5월에 이루어지기 때문에 오염물질의 농도가 높다 하더라도 오염부하 포텐셜은 크지 않다고 판단할 수 있으나 하천수질관리를 위해서는 농지에 환원된 축분에 대한 관리가 이루어져야 한다고 판단된다. 일부 농가에서는 강수량이 많은 시기에 축분을 농지에 살포하고 있으므로, 이러한 경우에는 특히 침출수의 저류능 제고 및 강우차단 등의 저감방안을 활용하여야 한다.

본 연구에서는 제한된 강우강도와 축분량의 조건에 대하여 오염부하특성을 바탕으로 축분의 농지환원시 오염부하 포텐셜을 고찰해 보았다. 이에 대한 정량적 평가가 이루어지기 위해서는 농지 내에서의 유출수 및 오염물질의 거동에 대한 조사,

다양한 축분 및 강우조건에 대한 추가실험, 그리고 축분의 농지 내 분해과정 등을 고려한 장기적인 유출부하에 대한 조사연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

“본 연구는 한경대학교 1999년도 학술연구 조성비의 지원에 의한 것임”

참 고 문 헌

1. 기상청, 2000, 한국의 기후특성, <http://203.247.66.235/kor_sp/sp_index.htm> (2000/6/1)
2. 김선주, 김형중, Osamu Tsuji, Fujio Tsuchiya, 여운식, 1997, 부숙처리된 축산분뇨슬러리 살포 지역의 강우에 의한 영양물질 유출에 관한 연구, 한국농공학회지, 제39권 3호, pp.43-51.
3. 농림부, 1994, 가축분뇨(액비)의 사용 지도지침, 농촌진흥청.
4. 농림부, 1999, 농림업 주요통계, 농림부.
5. 송금찬, 박민수, 홍철선, 이철희, 1996, 축산시설 자동화에 관한 경영 경제적 연구, 연구사업보고서, 농촌진흥청, pp.104-123
6. 육완방, 최기춘, 안승현, 이종갑, 1999, 액상발효 우분의 사용시기와 사용량이 호밀경작지 토양의 NO₃- 함량에 미치는 영향, 한국초지학회지 제19권 2호, pp.141-146.
7. 정광용, 1997, 가축분뇨의 비료가치, <<http://www.rda.go.kr/Atidb/K/04/05/K040502.htm>> (2000/4/27).
8. 조현숙, 1997, 가축분 사용시 논토양 이화학성에 미치는 영향, <<http://www.rda.go.kr/Atidb/A/01/06/A010609.htm>> (2000/4/27).
9. 최홍립, 1998, 우리나라 가축분뇨의 처리기술 현황, 한국농공학회지, 제40권 2호, pp. 18-28.
- Fulhage, C. D., 1989, Land application considerations for animal waste, <<http://hermes.ecn.purdue.edu/cgi/convertwq/5876>> (2000/4/27).