

인공강우를 이용한 축종별 축분퇴비침출수의 수질특성 조사

Assessment of Leachate Characteristics of Manure Compost under Rainfall Simulation

홍성구*, 김진태*

*환경대학교 농촌공학과

Hong, Seonggu* · Kim, Jintae*

ABSTRACT

Animal manure and manure compost produced from livestock farms are widely applied in crop lands. Leachate and runoff water from them are presumed to be one of the major sources of water quality deterioration in rural streams. Laboratory experiments were conducted to investigate water quality characteristics and loading of leachate obtained under rainfall simulation. Manure composts for the experiments were collected from beef cattle farms, dairy farms, and pig farms. Water quality parameters include SS, COD, TN, and TP. Most parameters of leachate from pig manure compost was higher than others. Both TN and TP concentrations were reflecting the composition of manure itself. It is recommended, therefore that the leachate from the manure composts should be controlled not to be discharged into streams.

I. 서론

전통적으로 소규모 혹은 부업 수준의 축산농가에서 발생하는 축산분뇨는 귀중한 비료자원으로서 이용되어 왔다. 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 4,500만

톤이며 이 가운데 우분뇨가 60%, 돈분뇨 32%, 계분이 8% 정도 차지하고 있다(최, 2000). 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(가축분뇨자원화협회, 1997). 이러한 비율은 지역에 따라서 다소 차이를 보이고 있으나 대부분의

농가에서 퇴비사, 톱밥축사, 각종 발효시설, 액비화 시설 등의 자원화시설을 선호, 이용하고 있다.

가축분뇨의 자원화는 농지로 환원 유기질 비료로서 이용하는 것을 의미한다. 즉, 축산농가에서 발생하는 대부분의 가축분뇨는 자원화 시설을 통해 퇴비 혹은 액비로서 농지로 환원된다고 볼 수 있다. 축분퇴비의 농지 환원을 위하여 다양한 연구와 적절한 이용방안이 제시되고 있으며, 작물별 적정 시용기준 등이 제시되고 있다. 특히 축분퇴비 중 질소 함량을 기준으로 살포하는 지금까지의 시용방법은 토양 내 인산의 과다 집적을 초래하므로 퇴비 중 인산함량을 기준으로 시용하고 부족되는 질소는 화학비료로 보충토록하는 개선된 방안 등이 제시되고 있다(권과 정, 1994)

가축분뇨는 이화학적 특성상 인위적인 조작 및 공정을 통해서 오염물질을 제거하는 방식의 환경공학적인 시각에서 처리하는 것은 곤란하다. 경제성이나 자원의 재활용이라는 측면에서 그러한 "처리" 방식에는 한계가 있다. 따라서 농촌지역의 특성, 즉 자연 생태계 내 작물생산과 관련된 물질이동의 순환고리에 연결시키는 것이 바람직하다.

그러나 가축분뇨의 농지환원 과정에서 발생하는 문제점이 있다. 대표적인 것으로서 축분퇴비의 과다시용 문제와 축분 환원으로 인한 2차오염 등을 꼽을 수 있다. 2차 오염은 축분퇴비의 농지환원으로 강우시 오염물질이 고농도로 다량 인접한 수계로 유입되는 경우를 포함한다. 특히 축분을 농지에 과다하게 살포하거나 야적한 상태에서 강우로 인한 유출이 발생하는 경우 수질오염문제는 심각할 수 있다. 다행히 우리나라에서 축분퇴비를 농지에 환원하는 시기가 대체로 강수량이 적은 봄철이어서 오염부하 포텐셜은 높지 않다(홍과 이, 2001). 그러나 일부 과수농가나 밭작물의 경우 강수량이 많은 시기에 축분퇴비를 사용하기 때문에 농촌지역의 하천 수질관리를 위해서는 이에 대한 조사가 요구된다. 홍과 김(2000)은 이러한 필요성을 바탕으로 우분에 대해서 인공강우 조건하에서 발생하는 침출수에 대한 수질분석을 통해서 항목별 농도 및 부하량을 제시한 바 있다. 이들은 우분에 대해서 강우지속시간에 따른 항목별 수질변화를 중심으로 농도 및 부하량에 대해 고찰하였다. 따라서 타 축종에 대한 항목별 오염물질의 농도와 부하량에 대한 자료가 제시되고 비교될 필요성이 있다.

가축분뇨의 적절한 처리방안으로서 퇴비화 후 농지환원이

이루어지는 경우, 강우로 인한 유출수가 발생함에 따라서 인접 하천에 고농도의 오염물질이 유입될 가능성이 있다. 따라서 축분퇴비의 농지환원이 이루어지는 농촌지역의 하천 수질관리를 위해서는 축분환원이 이루어지는 농지로부터의 오염부하량에 대한 기초자료가 요구된다. 본 연구에서는 축분퇴비의 환원으로 인해 농지로부터 발생하는 오염부하량에 대한 기초자료로서, 유우분, 육우분, 그리고 돈분에 대해 인공강우 조건하에서 발생하는 침출수 중의 주요 항목별 수질 특성을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

축종별 축분퇴비로부터 일정 강우조건에서 발생하는 침출수의 수질특성을 파악하기 위해서 인공강우발생장치를 제작하였다. 제작된 인공강우발생장치를 이용하여 축분을 담은 포트에 일정 강우강도로 살수, 침출수를 채취, 분석하여 유출수 중의 SS, COD, TN, 그리고 TP의 네가지 항목에 대해서 분석하였다. 축종은 축분뇨의 발생량이 많은 유우, 한우, 그리고 돼지를 선택하였다. 시료채취를 위한 실험은 축종별 축분량과 강우강도의 조건을 달리하여 수행하였다.

1. 강우발생장치

강우발생장치는 양수용 펌프(신일 SP-133A)에 농약살포용 노즐(한국농기계, 쌍구)을 연결하여 제작하였다. 노즐의 방향 및 각도는 살수분포가 균등하게 되도록 조정된 후 앵글로 제작한 프레임에 연결, 고정하였다. 살수량 즉, 강우강도를 조절하기 위해서 연결호스에 유량조절용 밸브를 연결하였다. 살수분포는 홍과 김(2000)에 제시된 바와 같다. 노즐에서 분출되는 물방울 입자의 크기는 자연강우와 다르기 때문에 강우에 의한 운동에너지가 동일한 강우강도의 자연강우와 같지는 않으나 이로 인한 영향은 크지 않다고 가정하고 실험에 임하였다.

2. 강우량 선정

실내에서 직경 약 2cm의 필름통을 일정간격으로 배치한

후 인공강우기를 이용 살수하여 인공강우의 분포를 조사하였다(홍과 이, 2001). 실측된 강우 분포를 이용하여 포트를 설치할 위치와 강우강도를 계산하였다. 살수 분포는 살수되는 전체 면적에 대해서 등분포를 나타내지 않고 있으나 사용되는 포트에 살수량이 일정한 분포를 갖도록 위치를 선정하였다.

실험에서 적용한 강우강도는 강우발생장치의 특성 및 실험여건을 고려하였고, 시료분석을 위한 침출수의 충분한 양을 얻기 위해서는 다소 높은 강우조건이 요구되어 100mm/hr 와 50mm/hr의 두 가지로 결정하였다. 매회 실험에 앞서서 강우발생장치에 의해 발생된 측정 살수량은 포트내에 필름통을 일정간격으로 배치한 후 살수하여 포트내의 살수량을 점검하였다. 수조의 수위 등 조건이 다소 변화에 따라서 노즐에서 분사되는 살수량은 약 10%내외로 변하나 평균 94 mm/hr 와 65 mm/hr로 나타났다. 반복실험을 거쳐 측정치를 평균하였기 때문에 침출수량, 농도, 그리고 부하량을 파악하는데는 큰 영향이 없다고 판단하였다. 강우발생은 1시간 동안 지속하였으며, 유량측정은 5분 간격으로 하였으며 분석을 위한 시료는 1시간동안 유출된 침출수 전체를 혼합하여 얻었다. 홍과 김(2000)의 결과에 의하면 우분의 경우 1시간동안의 침출수의 시간변화에 따른 농도변화는 COD는 지속시간에 따라 감소하는 경향을 나타냈고, TP와 TKN은 뚜렷한 농도의 변화를 나타내지 않았으며, NO₃-N의 경우 강우종료후 급격히 농도가 증가하는 특성을 보인다.

3. 축분포트

농가에서 얻은 축분은 먼저 균질한 상태가 될 수 있도록 삼으로 혼합 후 포트에 담았다. 앞에서 언급한 2가지 강우조건과 축분 3kg과 6kg에 대하여 축종별(한우분, 유우분, 돈분) 각각 2 반복 실험을 수행하기 위해서 총 24개의 포트를 준비하였다. 유출실험 직전에 포트별로 약 30g을 채취하여 함수비를 측정하였다. 축분은 35cm*50cm의 직사각형 포트에 약 10cm 내외의 두께로 담아 10%로 경사지게 하여 바닥부에서 침출수를 모아 유량을 측정하고 시료통에 담은 후, 분석하였다(홍과 김, 2000). 토양을 바닥에 까는 경우 토양에 의한 영향이 있을 것으로 판단하여 축분만을 포트에

깔았으며, 시료를 신속하게 채취하기 위해 10%의 경사로 경사지게 하였다.

시료채취를 위한 포트 및 집수조는 축분이 담겨진 포트의 측면의 아래와 바닥에는 침출수가 집수조로 배제될 수 있도록 구멍을 뚫으며, 포트에서 배제된 침출수는 경사진 집수조의 방출구를 통해 채취하였다. 인공강우발생은 1시간 동안 지속하였다.

4. 분석방법

축분 표면에서의 유출은 거의 없고 축분 내부를 침투하여 바닥으로 흘러나오는 침출수 만이 발생되었다. 채취한 침출수는 SS, COD, TP, TN에 대하여 분석을 실시하였다. 분석방법은 공정시험방법 및 Standard method(APHA, 1995)를 따랐다. COD는 중크롬산법을 이용하여 유기물을 중크롬산으로 산화시키고, 남은 중크롬산을 환원제 Ferrous Ammonium Sulfate로 적정하여 유기물 산화에 소모된 중크롬산의 당량수를 계산하여 COD를 계산하였다. TP는 몰리브덴산 암모늄과 염화제일주석으로 발색시켜 분광광도계를 이용하여 정량하였다. TN은 검수중의 질소 화합물을 알칼리성 과황산칼륨의 존재하에 120℃에서 유기물과 함께 30분간 분해하여 질산이온으로 산화시킨 다음 염산 처리하여 산성에서 자외선 흡광을 측정하여 질소를 정량하는 방법을 이용하였다.

Ⅲ. 축종별 침출수 중 항목별 농도

1. 축분의 특성 실험에 이용된 축분의 특성

실험에 이용된 축분퇴비(이하 축분) 경기도 안성시 소재 축산 농가로부터 얻은 것으로서 개별농가의 사육특성에 의한 영향을 최소화하기 위해서 한우, 낙농, 양돈 각각 10농가에서 채취한 축종별로 축분을 혼합하였다. 한우분과 유우분의 경우 톱밥발효사 우분을, 돈분의 경우는 기계식 발효사 톱밥돈분을 이용하였다. 유우분의 경우 부분적으로 생분에 가까운 형태의 고형물이 일부 존재하고 한우분에 비해서 분의 비율이 상대적으로 높고 톱밥의 양이 상대적으로 적은

것으로 나타났다. 그러나 10여 곳의 농가에서 얻은 분을 혼합하였기 때문에 대표성이 있다고 판단하였다.

2. 항목별 수질 특성

(1) 부유물질(SS)

축종에 따른 SS의 농도를 살펴본 결과 돈분이 176~494mg/L 로 가장 높게 나타났고, 유우분(160~244mg/L), 한우분(44~82mg/L) 순으로 나타났다. 축종별 SS의 농도는 일반적으로 돼지가 가장 높은 183 g/L, 한우분은 157 g/L, 유우분은 119 g/L이다(한국과학기술원, 1990). 이러한 관계를 살펴본다면, 본 조사에서 나타난 한우분의 SS농도가 상대적으로 낮다고 볼 수 있다. 강우강도와 축분량에 대해서는 동일 강우강도에서 축분량이 많을수록 높게 나타났고, 같은 축분량 조건에서는 강우강도가 높을수록 농도는 적게 나타남을 알 수 있었다. 강우로 인해 발

생되는 침출수 중 SS농도는 양돈시설의 1,660 mg/L, 낙농시설 1,270 mg/L, 육우시설 1,230 mg/L에 비해 다소 낮음을 알 수 있다.(한국과학기술원, 1990)

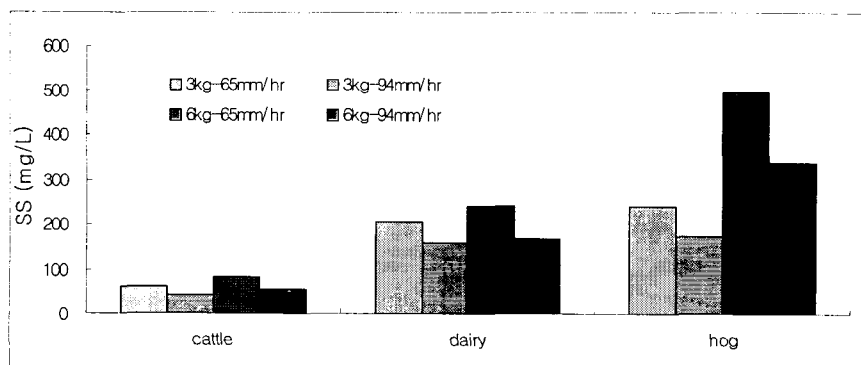
한편, 야적된 축분퇴비로부터 강우로 인한 침출수가 발생하는 경우 야적량, 야적상태 등에 의해서 다소 영향을 받을 수 있다. 특히 침출수의 침투경로와 축분퇴비의 상태에 따라서 SS 농도가 변할 수 있으나 축산농가에서 배출되는 청소수 수준에는 이르지 못할 것으로 판단된다.

(2) COD

COD의 농도를 살펴보면 SS와 유사하게 돈분이 가장 높게 나타났고, 유우분, 우분 순으로 높게 나타났다. 동일 강우강도에서는 축분량이 많은 경우 농도가 높았으며, 동일 축분량에 대해서는 강우강도가 높은 경우 희석으로 인해 농도가 낮았다. 돈분의 경우는 우분보다 10배 이상 농도가 높게 나타났다. 축종별 분의 COD를 살펴보면 한우가 172

<Table 1 > Comparison of SS Concentrations in the composite samples (mg/L)

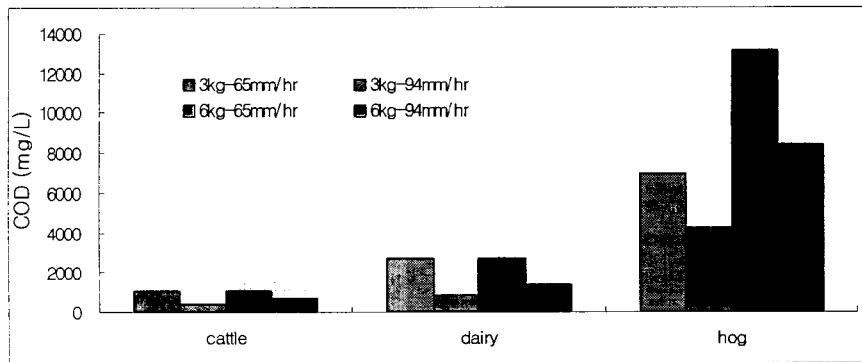
Animal Rainfall intensity	cattle	dairy	hog
3kg-65mm/hr	62	206	244
3kg-94mm/hr	44	160	176
6kg-65mm/hr	82	244	494
6kg-94mm/hr	55	168	340



<Figure 1 > Comparison of SS Concentrations in the composite samples

<Table 2> Comparison of COD concentrations in the composite samples (mg/L)

Animal Rainfall intensity	cattle	dairy	hog
3kg-65mm/hr	1030	2700	6965
3kg-94mm/hr	410	830	4260
6kg-65mm/hr	1050	2735	13155
6kg-94mm/hr	680	1385	8410



<Figure 2> Comparison of COD concentrations in the composite samples

g/L, 유우 200 g/L, 돼지 262 g/L이다 (한국과학기술원, 1990). 분 자체의 COD 차이는 축종간 큰 차이를 나타내지 않음에도 불구하고 침출수 중의 COD 농도 차이는 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 축종별로 분의 특성이 다르다는 것을 의미한다. 즉, 우분에 비해서 돈분에 존재하는 유기물이 침출수와 더불어 보다 쉽게 많은 양이 배출된다고 이해할 수 있다. 우분의 침출수 중 COD 농도는 축산농가의 오폐수 농도 또는 그 이하의 범위로 발생되나 돈분의 경우 그 보다 훨씬 높게 배출되는 것이다. 따라서 돈분 퇴비를 농지에 환원하는 경우 강우 시 고농도의 유기물을 포함하는 침출수가 발생한다는 것을 유의하여야 하며, 이에 대한 관리가 요구된다고 할 수 있다.

(3) 총질소(TN)

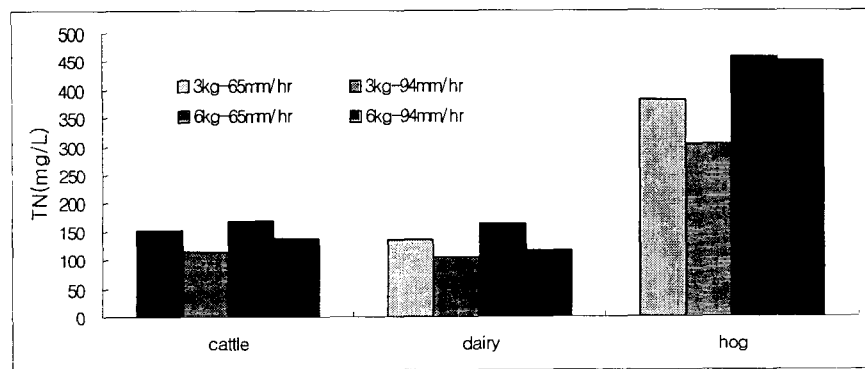
본 연구에서 총질소의 분석은 총 Kjeldahl 질소(TKN)와 질산성질소의 합으로 나타내지 않고 시료 중의 질소화합물

을 산화시킨 후 질산성 질소로 정량하는 방법을 취했기 때문에 합산법과 차이가 있을 수 있다. 동일한 방법으로 축종별 침출수 중 TN 농도를 비교했을 때, 한우분과 유우분이 비슷하게 나타난 반면에 돈분은 우분에 비해 약 2배 정도 높았다. SS와 COD와 같이 동일한 강우강도 조건에서는 축분량이 많은 경우, 동일 축분량 조건에서는 강우강도가 낮은 경우 농도가 높았다.

축종별 분의 TKN 농도를 살펴보면 한우분 6g/L, 유우분 4.7 g/L, 돈분 9.8 g/L 수준이다(한국과학기술원, 1990). 분 중의 질소성분이 대부분 유기태 질소라는 것을 감안, TKN과 TN은 큰 차이가 없다고 생각한다면 침출수 중의 총질소 농도는 축종별 분 중의 총질소와 비례한다고 볼 수 있다. 강우로 인해 축분으로부터 침출수가 발생하는 조건이라면 강우유출수와 함께 인접한 하천이나 호소로 직접 유입될 수 있다. 따라서 수계 조류의 급격한 증식을 초래하는 질소의 유입을 억제하기 위해서는 축분으로부터 침출수가 발생

<Table 3> Comparison of TN concentrations in the composite samples (mg/L)

Animal Rainfall intensity	cattle	dairy	hog
3kg-65mm/hr	151	134	383
3kg-94mm/hr	116	106	305
6kg-65mm/hr	168	164	459
6kg-94mm/hr	136	117	450



<Figure 3> Comparison of TN concentrations in the composite samples

치 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다. 특히 하천에 인접한 농지에 축분을 야적하거나 환원하는 경우는 적절한 관리 대책을 강구하여야 할 것이다.

(4) 총인(TP)

TP의 농도는 우분과 유우분이 거의 비슷하게 나타났고, 돈분의 경우 약 2배 정도 높게 나타났다. 강우강도나 축분량의 조건에 따른 차이는 다른 항목에 비해서 뚜렷하지 않으나 대체로 동일한 축분량 조건에서 강우강도가 낮은 경우 TP 농도가 높았다. 축분의 TP를 비교해 보면 한우 3.4 g/L, 유우 2.2 g/L, 돼지 4.2 g/L이다. 따라서 축종에 관계 없이 침출수 중의 TP 농도는 분의 TP 농도에 비해 약 1/50 정도로 낮다는 것을 알 수 있다.

3. 항목별 오염부하량

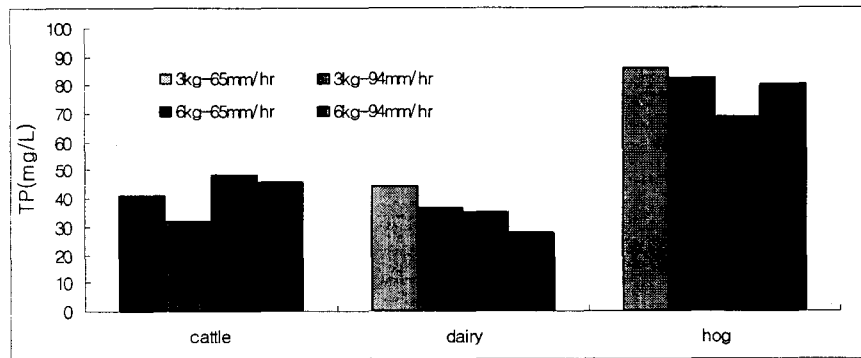
침출수의 축종별 농도를 살펴보면 SS의 경우 돈분, 유우

분, 한우분 순으로 농도가 높게 나타났으며, 유우분과 돈분의 경우 큰 차이를 보이지 않고 한우분에 비해서 약 4~6배 정도 높게 나타났다. COD의 경우는 돈분이 한우분 보다 10배 이상 높게 나타났으며, TN과 TP의 경우는 한우분과 유우분의 경우 비슷한 농도를 나타낸 반면, 돈분의 경우 2배 이상 높은 농도를 보였다. 각각의 강우강도와 축분량의 조건에 대해서 TP를 제외한 나머지 항목에서는 축분량이 많은 경우와 강우강도가 낮은 경우 침출수의 농도가 높게 나타났다.

침출수량은 강우발생량의 약 70-80%으로서 이를 바탕으로 계산된 1 시간 동안 유출부하량을 살펴보면, <Table 5>에 나타난 바와 같다. 축분량이 많거나 강우강도가 높은 경우 유출 부하량은 높음을 알 수 있다. COD의 경우 돈분이 가장 높고, 유우분과 한우분 순으로 유출부하량이 많았으며, TN과 TP의 경우는 한우분과 유우분이 큰 차이가 없는 반면, 돈분의 경우 2배 이상 높게 나타남을 알 수 있었다.

<Table 4> Comparison of TP concentrations in the composite samples (mg/L)

Animal \ Rainfall intensity	cattle	dairy	hog
3kg-65mm/hr	41	45	86
3kg-94mm/hr	32	37	83
6kg-65mm/hr	48	35	69
6kg-94mm/hr	46	28	80



<Figure 4> Comparison of TP concentrations in the composite samples

물론 축분퇴비의 성분에 영향을 미치는 요인과 강우강도 등이 농도 및 부하량에 영향을 미치므로 <Table 5>에 제시된 결과를 수질관련 기초자료로 활용하는 경우 주의를 요한다고 판단된다.

축분퇴비로부터 강우로 인한 침출수가 발생하는 경우 침출수 중 오염물질의 농도가 매우 높기 때문에 일반적인 축분퇴비의 관리 뿐 만 아니라 농지환원과정에서 야적된 축분으로부터의 침출수에 대한 적정 관리방안도 아울러 고려해야 할 것이다. 돈분의 경우 우분에 비해서 상대적으로 높은 농도로 침출수가 발생되므로 축종별 관리 방안도 함께 고려하는 것이 바람직하다.

축분퇴비의 사용시기는 비교적 강우량이 적은 3~5월에 이루어지고 있으나, 강우량이 많은 여름철과 12~2월 사이도 적지않은 농가가 사용하고 있다(홍과 이, 2001). 여름철에 축분을 살포하면 강우발생시 강우로 인한 침출수에 의해 수질 오염문제를 야기시킬 수 있다. 겨울철 액비를 살포할

경우는 표면이 얼어서 토양 중에 침투되지 못 하므로, 가능한 한 이러한 시기를 피하여 봄과 가을에 축분을 적절하게 살포함으로써 시비효과를 높이는 동시에 수질오염을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

농촌지역의 하천이나 호소 수질관리를 위해서는 축분퇴비의 농지환원이 널리 이용되는 경우 이 과정에서 강우시 발생하는 유출수나 침출수에 의한 오염부하량이 적절히 파악되어야 한다. 이를 위해서 인공강우발생장치를 제작하여 한우, 유우, 돼지 3개 축종에 대해서 축분으로부터 인공강우 조건에서 발생하는 침출수 중 항목별 수질을 분석하였다. 분석 결과 침출수 중 항목별 농도와 축분량과 강우강도와의 관계를 살펴볼 수 있었다.

축종에 따른 항목별 농도를 살펴보면 SS의 경우 돈분, 유

<Table 5> Pollutant loading for different rainfall and animal waste application conditions for 1 hour

Rainfall		94 mm/hr		65 mm/hr	
Animal waste		3 kg	6 kg	3 kg	6 kg
SS(mg)	cattle	732.3	867.2	468.4	637.8
	dairy	2,349.2	3,511.5	1,305.5	1,353.8
	hog	2,563.8	4,630.6	1,273.1	2,143.0
COD(mg)	cattle	7,324.7	10,358.8	7,954.4	8,155.5
	dairy	12,122.9	32,653.5	17,441.6	14,936.0
	hog	61,733.0	110,854.8	36,029.6	55,552.6
TN(mg)	cattle	1,969.8	2,157.1	1,143.8	1,314.4
	dairy	1,550.0	2,851.2	876.5	885.2
	hog	4,382.2	5,895.1	1,976.5	1,867.6
TP(mg)	cattle	551.4	736.5	311.9	374.8
	dairy	540.0	627.7	295.2	198.1
	hog	1189.6	1048.9	441.6	275.2

우분, 한우분 순으로 농도가 높게 나타났으며, 유우분과 돈분의 경우 우분보다 4~6배 정도 높게 나타났다. COD의 경우는 돈분의 경우 한우분보다 10배 이상 높게 나타남을 알 수 있었다. 분 자체의 COD는 축종간 큰 차이가 없음에도 불구하고 침출수 중의 COD 농도 차이는 매우 크게 나타났다. 우분의 침출수 중 COD 농도는 축산농가의 오폐수 농도 또는 그 이하의 범위로 발생되나 돈분의 경우 그 보다 훨씬 높게 배출되었다. 침출수 중의 TN과 TP는 축종별 분 자체의 성분과 밀접한 관계를 가지면서 배출되며, 일반적인 생활오폐수에 비해 높게 나타났다. 따라서 축분퇴비를 농지에 환원하는 경우 특히 강우유출 및 침출수가 발생할 경우를 대비하여 고농도의 침출수가 하천에 직접 유입되지 않도록 다양한 방안이 강구되어야 할 것이다.

参 考 文 献

1. 가축분뇨자원화협회, 1997, 환경축산 무엇이 문제인가? 심포지움 발표자료모음집.
2. 권순익, 정광용, 1994, 유기성 폐기물 비료성분 표준단위 설정, 농업과학기술원 시험연구보고서, pp.74-100.
3. 최홍림, 2000, 우리나라 가축분뇨 대책, 농어촌과 환경 Vol.10(2) pp. 16-28.
4. 한국과학기술원, 전국축산분뇨 적정관리대책 연구, 한국환경과학연구협의회, 1990
5. 홍성구, 김진태, 2000, 축분퇴비의 침출수 수질특성, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 584-589.
6. 홍성구, 이남호, 2001, 축분퇴비의 농지환원시 오염부하 포텐셜 평가, 한국농공학회지, 43(1) pp. 66-74.
7. American Public Health Association(APHA),

1995, Standard Methods for the Water and Wastewater Examination, 19th ed., Washington, D. C.

“이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-99-041-G00003).”