

## 홀스타인 젖소 분뇨의 특성과 비료성분 및 오염물질 부하량 추정

최동윤\* · 최홍림\*\* ·곽정훈\* · 김재환\* · 최희철\* · 권두중\* · 강희설\* · 양창범\* · 안희권\*\*\*

농촌진흥청 축산연구소\*, 서울대학교 농생명공학부\*\*, 아이오와주립대\*\*\*

## Characteristics of Manure and Estimation of Nutrient and Pollutant of Holstein Dairy Cattle

D. Y. Choi\*, H. L. Choi\*\*, J. H. Kwag\*, J. H. Kim\*, H. C. Choi\*, D. J. Kwon\*, H. S. Kang\*,  
C. B. Yang\* and H. K. Ahn\*\*\*

National Livestock Research Institute, R.D.A.\*, School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University\*\*, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa State University\*\*\*

### ABSTRACT

This study was conducted to determine fertilizer nutrient and pollutant production of Holstein dairy cattle by estimating manure characteristics. The moisture content of feces was 83.9% and 95.1% for urine. The pH of feces and urine were in the ranges of 7.0~7.4 and 7.5~7.8, respectively. The average BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, T-P concentrations of the dairy feces were 18,294, 52,765, 102,889, 2,575, and 457 mg/ℓ, respectively. Dairy urine showed lower levels of BOD<sub>5</sub>(5,455 mg/ℓ), COD(8,089 mg/ℓ), SS(593 mg/ℓ), T-N(3,401 mg/l), and T-P(13 mg/ℓ) than feces. The total daily produced pollutant amounts of a dairy cow were 924.1 g(Milking cow), 538.8 g(Dry cow), 284.4 g(Heifer) of BOD<sub>5</sub>, 2,336.5 g (Milking cow), 1,651.8 g(Dry cow), 734.1g(Heifer) of COD and 4,210.1g(Milking cow), 2,417.1g(Dry cow), 1,629.1g(Heifer) of SS and 194.8 g(Milking cow), 96.4 g(Dry cow), 58.3 g(Heifer) of T-N and 24.0 g(Milking cow), 10.2 g(Dry cow), 6.1 g(Heifer) of T-P. The calculated amount of pollutants produced by a 450kg dairy cow for one year were 181.3 kg of BOD<sub>5</sub>, 492.5 kg of COD, 899.9 kg of SS, 36.0 kg of T-N and 4.1kg of T-P. The total yearly estimated pollutant production from all head(497,261) of dairy cattle in Korea is 90,149 tons of BOD<sub>5</sub>, 244,890 tons of COD, 447,491 tons of SS, 17,898 tons of T-N and 2,008 tons of T-P. The fertilizer nutrient concentrations of dairy feces was 0.26% N, 0.1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 0.14% K<sub>2</sub>O. Urine was found to contain 0.34% N, 0.003% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 0.31% K<sub>2</sub>O. The total daily fertilizer nutrients produced by dairy cattle were 197.4 g (Milking cow), 97.4 g(Dry cow), and 57.9 g(Heifer) of Nitrogen, 54.2 g(Milking cow), 22.2 g(Dry cow), and 14.2 g(Heifer) of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 110.8 g(Milking cow), 80.4 g (Dry cow), and 39.5g(Heifer) of K<sub>2</sub>O. The total yearly estimated fertilizer nutrient produced by a 450 kg dairy animal is 36.2 kg of N, 8.8 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 24.6 kg of K<sub>2</sub>O. The estimated yearly fertilizer nutrient production from all dairy cattle in Korea is 18,000 tons of N, 4,397 tons of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 12,206 tons of K<sub>2</sub>O. Dairy manure contains useful trace minerals for crops, such as CaO and MgO, which are contained in similar levels to commercial compost being sold in the domestic market. Concentrations of harmful trace minerals, such as As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, met the Korea compost standard regulations, with some of these minerals being in undetected amounts.

**(Key words):** Manure characteristics, Fertilizer nutrient, Pollutant, Mineral)

---

Corresponding author : Choi, D. Y. Livestock Environment Division, National Livestock Research Institute, R.D.A.  
564 Omokchundong, Suwon, Korea.  
Tel : 031-290-1715, E-mail : cdy5760@rda.go.kr

## I. 서 론

2005년 말을 기준으로 우리나라의 농림업 생산액은 총 36.3조원으로 이중 축산업 생산액은 11.8조원으로 전체 생산액의 32.5%를 차지하여 가장 많은 비율을 점유하고 있으며(농림부, 2006), 유제품의 소비량도 꾸준히 증가하여 1인당 63.6 kg의 우유·유제품을 섭취하는 것으로 나타났다(농촌경제연구원, 2005). 이 같은 성장은 축산농가들이 국제 경쟁력 확보를 위해 그동안 보여준 각고의 노력과 꾸준한 투자의 결과로 평가되고 있으며, 이제는 축산물이 국민의 식생활에서 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하게 되었다. 우리나라의 가축사육두수는 1970년대부터 해마다 계속 증가하여 2005년 말 현재 한우 1,819천두, 젖소 479천두, 돼지 8,962천두, 닭 109,628천수가 사육되고 있으며 사육농가의 전업화로 인하여 농가수는 점차 줄어들고 있는 반면에 농가당 사육두수는 증가하고 있는 실정이다(농림부, 2005). 농가당 평균 가축사육두수는 한우 8.8두, 젖소 51.7두, 돼지 671.4두, 닭 813.0수이며, 이중 부업이 아닌 전업농으로 볼 수 있는 한우 50두 이상의 사육농가가 전체 한우농가의 2.9%, 젖소 50두 이상 사육농가가 46.8%, 돼지 1,000두 이상의 농가가 21.6%, 닭 30,000수 이상의 농가가 1.0%를 차지하고 있어, 젖소가 다른 축종에 비해 전업농의 규모가 가장 많이 이루어졌다고 볼 수 있다(농림부, 2005). 따라서 매년 축산농가로부터 발생하는 분뇨의 양도 증가되고 있으며, 1990년초부터는 가축분뇨가 작물의 비료원으로 쓰이는 순기능보다는 환경오염의 한 요인으로 지목되면서 토양, 수질 및 대기오염이라는 역기능이 더 부각됨에 따라 도시근교의 낙농가, 초지나 사료작물포를 확보하지 못한 목장, 상수원 보호구역내에 위치한 목장에서는 분뇨처리에 고심을 하지 않을 수 없게 되었다. 특히 체적이 크고 방목지 및 운동장 등의 야외에서 사육되는 경우가 많은 젖소는 다른 가축에 비해 분뇨배설량이 많은 뿐 아니라, 운동장 등 축사 외부에서 활동하는 시간이 많기 때문에 주변으로부터 환경을 오염시키는 주범으로 지목을 받아 왔다. 또한

조사료 생산기반인 동시에 생산된 분뇨를 환원해야 할 경지면적이 협소한 상황에서 이루어진 젖소의 규모확대는 가축분뇨의 토양에 대한 부하를 높이게 되었고, 하천의 수질을 오염시키는 환경오염의 주범으로 인식되어 왔다. 이와같은 대내외적인 요인으로 인해 낙농가들은 목장의 규모에 관계없이, 분뇨를 적절하게 처리하는 것이 목장관리에 필수적인 사항으로 인식하게 되었다.

가축분뇨는 2, 3차 산업에서 발생하는 폐기물과는 그 성격 자체가 판이하게 달라 제도적 접근 방식도 나라와 환경에 따라 현격하게 다르다. 미국과 EC의 경우는 가축분뇨 자체를 환경보존재(Natural Resource)로 규정하고 적절한 사용방법을 정립하여 계도(Guide) 하므로써 환경을 보존하는 적극적인 환경보존 제도를 채택하고 있으며, 일본의 경우는 방류수의 수질을 규제하는 소극적 환경보존 제도로 출발했으나 1993년부터는 환경보존형 농업(축산)으로 정책방향을 전환하여 실행해 오고 있다. 우리나라도 이미 1981년부터 가축분뇨에 의한 환경오염 방지제도(법)가 시행되어 왔으나 법의 시행으로부터 25년이 경과한 현재까지도 가축분뇨에 의한 환경오염은 사회로부터 계속 지탄을 받고 있는 상태이다. 가축분뇨의 처리방식은 축종이나 농가 경영여건별로 크게 다르나, 궁극적으로는 경작지에 퇴비·액비 형태로 살포하여 이용하거나 또는 정화하여 방류하는 방법으로 이루어지고 있다. 따라서 젖소분뇨 또는 슬러리 처리에 필요한 시설 또는 활용계획을 세우기 위해서는 젖소로부터 배출되는 분뇨의 특성뿐만 아니라 오염물질 및 비료성분 배출량 추정이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 본 연구는 젖소분뇨를 효율적이고 적절하게 처리하기 위한 기초자료를 제공하고 국가단위 관리방안을 제시하기 위하여 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

젖소 분뇨의 특성, 오염물질 및 비료성분 배출량 조사는 홀스타인 착유우, 건유우, 육성우를 대상으로 축산연구소 유우사에 있는 계류식

우사에서 개체별로 계류하여 발생한 분뇨를 수집하여 조사하였다.

## 1. 공시재료

홀스타인 착유우(평균체중 566.7 kg), 건유우(평균체중 612.6 kg) 및 육성우(평균체중 363.1 kg)를 각각 6두씩 공시하여 축산연구소 유우사에 설치되어 있는 계류식 우사에서 개체별로 잠금장치(스탄첸)가 설치된 곳에 계류(규격 : 가로 123×세로 166 cm)하여 개체별로 5일간의 예비 적응시험을 거친 후 5일간의 본 시험 기간에 배설된 분과 뇨를 개체별로 채취하여 분석용 시료로 사용하였다.

## 2. 급여사료

착유우, 건유우 및 육성우의 사료급여는 배합 사료를 착유우는 산유량의 50%, 건유우 2.0 kg, 육성우는 체중 300 kg 기준 2.0 kg을 오전 9시, 오후 5시 등 2회로 나누어 급여하였고, 조사료는 옥수수 사일레지를 착유우 및 건유우는 30 kg, 육성우는 체중 300 kg 기준 20 kg, 목건초(오차드그라스 위주)를 착유우 및 건유우는 3.0 kg, 육성우는 체중 300 kg 기준 2.0 kg을 오전, 오후 2회로 나누어 급여하였다.

## 3. 분뇨시료 채취방법

젖소의 분과 뇨의 시료는 시험기간중 매일 오전 10시에 개체별로 500 g씩 채취를 하였으며, 분은 젖소의 후구에 위치한 분뇨구 피트에 설치된 분 수집통(규격 : 너비 75×길이 120×깊이 60 cm)에서 채취하였으며, 뇨는 젖소의 요도구에 카테타(Eschmann Healthcare Hythe, Kent, England CT21 6JL)를 부착하여 수집통에 수집된 뇨의 일부를 채취하였다.

## 4. 분석항목 및 방법

### 가. 수분 함량 및 pH

젖소 분과 뇨의 수분 함량과 pH는 표준사료

성분분석법(1996)에 의해 측정하였다. 수분 함량은 채취한 시료를 건조되기 전에 무게를 잰 항량병에 10 ml 정도 취하여 80℃ 건조기(dry oven)에서 10~16시간 또는 105℃에서 5시간 정도 건조시켜 데시케이터에 옮겨 30분간 식힌 후 평량하여 건조 전후의 무게를 측정하였고, pH는 채취한 시료 원액을 100 ml 비이커에 취하여 유리봉으로 저어주면서 Digital pH meter (Model : Orion 520A)를 Buffer 용액으로 잘 맞춘 다음 깨끗하게 씻은 초차 및 표준전극을 넣고 60초 이내에 측정하였다.

### 나. 오염성분 및 비료성분

젖소 분뇨의 오염성분 농도를 나타내는 생물학적 산소요구량(BOD : Biochemical Oxygen Demand), 화학적 산소요구량(COD:Chemical Oxygen Demand), 부유물질(SS : Suspended Solid), 총질소(Total Nitrogen) 및 총인(Total Phosphorus)은 수질오염 공정시험법(환경부, 1992)에 의해 분석하였으며, 비료성분인 질소, 인산, 가리의 분석은 축산연구소 분석기준(1996)에 준하였다.

### 다. 미량성분

젖소 분뇨중의 미량성분(K, Ca, Mg, Cu, Cr, Pb, Cd, As, Hg)의 농도는 전처리한 시료의 여액을 일정량 취하여 희석한 후 원자흡광도계(AA : Atomic Absorption Spectrophotometry) 또는 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP : Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy)에서 각 성분의 표준용액으로 검량선을 작성한 후 측정하였다(A.O.A.C., 1990).

## 5. 통계처리

본 시험에서 얻어진 자료는 SAS package(1985)를 이용하여 통계분석 처리하였으며, 각 처리 평균간의 유의성 검정은 General Linear Model을 이용하여 Duncan(1955)의 Multiple Range Test로 수행하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 젖소분뇨의 수분함량 및 pH

젖소분뇨의 처리 및 이용을 원활하게 하고, 그 특성에 따른 처리방법을 맞게 적용하기 위해서는 무엇보다도 젖소로부터 배설되는 분뇨의 수분 함량을 정확히 알아야 할 필요가 있다. 착유우, 건유우, 육성우에서 분의 수분 함량은 각각 83.6, 84.5, 83.5%로 평균 83.9%였고, 뇨의 수분 함량은 각각 95.4, 95.3, 94.6%로 평균 95.1%를 나타냈다. 이와같은 결과는 국립환경연구소(1986)에서 젖소분뇨의 물리화학적 특성을 조사한 결과 분과 뇨의 수분함량이 각각 82.5%, 96.1% 였다는 성적과 비슷하였으며, 일본중앙축산회(1989)에서 조사한 젖소 경산우의 수분함량이 80%였다는 보고와도 유사한 경향을 보였다. 또한 山川(1980)이 젖소 분의 수분함량이 74.5~84.7% 였다는 보고와 일본농림성(1974)이 젖소 생분의 수분함량이 81.9%였다는 보고, 原田과 山口(1997)가 착유우, 건유우 및 육성우를 대상으로 이들 분의 수분함량을 조사한 결과, 78~86% 범위였다는 보고와도 비슷한 경향을 보였다. 분과 뇨의 pH는 각각 7.0~7.4, 7.5~7.8의 범위로 평균 7.2, 7.6을 나타내어 뇨의 pH가 분에 비하여 다소 높은 경향을 보였다(Table 1).

Table 1. Moisture content and pH of feces and urine at different growth phases

Item	Feces		Urine	
	Moisture(%)	pH	Moisture(%)	pH
Milking cow	83.6	7.1	95.4	7.8
Dry cow	84.5	7.0	95.3	7.5
Heifer	83.5	7.4	94.6	7.5
Mean	83.9	7.2	95.1	7.6

#### 2. 젖소분뇨의 오염물질 성분 및 농도

우리나라의 낙농에서는 일부 농가가 초지 및 사료작물 재배지를 확보하고 있어 농가내에서 분뇨를 자체적으로 처리하여 이용하고 있지만, 아직도 많은 농가가 사육두수에 비해 농경지 확

보 면적이 적다. 따라서 젖소분뇨에 의한 환경오염을 방지하기 위해서는 분뇨를 적정하게 처리해 취급하기 쉽게, 안전하게 장기 보존되도록 하고, 무엇보다 먼저 젖소 분뇨의 오염물질 성분 및 농도를 알고, 이에 따라 농가의 사육두수를 감안한 적정 관리체계를 수립해야 한다.

착유우, 건유우, 육성우 분의 BOD<sub>5</sub>는 각각 19,961, 16,874, 18,048 mg/l로 평균 18,294 mg/l였으며, COD는 각각 52,418, 55,763, 50,114 mg/l로 평균 52,765 mg/l, SS는 각각 101,500, 87,333, 119,833 mg/l로 평균 102,889 mg/l 였다. 착유우, 건유우, 육성우 뇨의 BOD<sub>5</sub>는 각각 5,309, 5,621, 5,434 mg/l로 평균 5,455 mg/l 였으며, COD는 각각 9,044, 8,673, 6,550 mg/l 로 평균 8,089 mg/l, SS는 각각 436, 518, 825 mg/l 로 평균 593 mg/l로 조사되었다. 이와 관련된 국내의 연구 결과를 보면, 국립환경연구소(1986)가 젖소의 분과 뇨의 BOD<sub>5</sub>가 각각 20,821, 3,575 mg/l 였다는 보고와 비슷한 경향을 보였고, 일본중앙축산회(1989)의 자료에 의하면 분과 뇨의 BOD<sub>5</sub>가 각각 24,000, 뇨 4,000 mg/l로 나타난다고 보고하였으며, A.S.A.E (1992)는 체중 635.6 kg의 젖소에서 배설된 분뇨(혼합)의 BOD<sub>5</sub>는 20,695 mg/l, 체중 453.6 kg의 젖소에서 배설된 분뇨는 20,729 mg/l, 체중 226.8 kg인 육성우는 20,433 mg/l 라고 보고하였다.

Ronald 등(1994)도 체중 1,400 파운드(636 kg)의 젖소에서 발생하는 분뇨의 BOD<sub>5</sub> 농도는 18,335 mg/l, 체중 1,000 파운드(454 kg)인 젖소 육성우는 18,611 mg/l 의 BOD<sub>5</sub>를 분뇨를 통해 배설한다고 보고하여, 본 시험의 성적과 거의 유사한 경향을 나타냈다. COD의 경우 젖소의 분과 뇨가 각각 12,000, 3,000 mg/l 라는 일본중앙축산회(1989)의 보고와 차이를 나타내고 있으며, 국립환경연구소(1986)의 분과 뇨의 COD가 각각 200,712, 11,368 mg/l 라는 보고와도 차이를 나타내고 있었고, Ronald 등(1994)이 체중 1,400 파운드(636 kg)의 젖소에서 발생하는 분뇨의 COD 농도가 128,328 mg/l, 체중 1,000 파운드(454 kg)인 젖소 육성우는 127,890 mg/l의 COD를 분뇨를 통해 배설한다고 보고한 결과와도 많은 차이가 있었다. 이와같은 분석치의 차이는 국립환경연구소 및 Ronald 등은 COD 분석을 중크롬

산칼륨( $K_2CrO_7$ )에 의한 화학적 산소요구량을 측정할 반면, 본 시험에서는 과망간산칼륨( $KMnO_4$ )에 의한 화학적 산소요구량을 측정하므로써 생기는 측정치의 차이 때문이라고 여겨진다. SS는 분의 경우 118,667 mg/l 였다는 국립환경연구소(1986)의 보고와 120,000 mg/l 였다는 일본중앙축산회(1989)의 보고와 비슷한 결과를 나타냈으나, 뇨의 경우에는 많은 차이를 나타내었다.

본 시험에서 나타난 젖소 분뇨중 T-N, T-P 농도를 살펴보면, 착유우 분에는 각각 2,854, 577 mg/l, 건유우는 2,353, 368 mg/l, 육성우 2,519, 427 mg/l로서 평균 T-N, T-P는 각각 2,576, 457 mg/l 였고, 뇨의 경우에는 착유우가 각각 4,164, 7 mg/l, 건유우는 2,423, 3 mg/l, 육성우 3,616, 28 mg/l로서 평균 T-N, T-P는 각각 3,401, 13 mg/l 였다. 이와같은 성적은 原田과 山口(1997)가 착유우, 건·미경산우 및 육성우를 대상으로 이들 분과 뇨로부터 배설되는 T-N과 T-P를 분석한 결과, 분의 경우 T-N이 각각 3,358, 1,296, 4,735 mg/l, T-P가 각각 943, 539, 821 mg/l, 뇨의 경우 T-N이 각각 11,396, 9,475, 10,940 mg/l, T-P가 각각 97, 623, 209 mg/l로 조사되어 본시험의 결과

와 비슷한 경향을 보였으며, 착유우 분뇨가 혼합된 슬러리의 경우, T-N, T-P가 각각 5,187 mg/l, 444 mg/l 라고 보고(築城과 原田, 1997)한 결과와도 다소 비슷한 경향을 나타내었다. 또한 젖소 분뇨로부터 배출되는 T-N, T-P가 각각 4,706, 2,209 mg/l 였다는 농촌경제연구원(1990) 보고 및 A.S.A.E(1985)가 체중 635.6 kg의 젖소에서 배설된 분뇨(혼합)의 T-N, T-P가 각각 4,757 mg/l, 1,570 mg/l 였다는 보고와도 비슷한 결과를 보였다.

### 3. 젖소 분뇨의 오염물질 부하량

젖소 착유우, 건유우, 육성우의 분뇨로부터 발생하는 두당 일일 오염물질 부하량은 Table 4 와 같다. 착유우의 오염부하량은  $BOD_5$ 가 924.1 g(분 826.4, 뇨 97.7) 이었으며, COD는 2,336.5 g(분 2,170.1, 뇨 166.4) 였고, SS는 4,210.1 g(분 4,202.1, 뇨 8.0) 이었다. T-N은 194.8 g(분 118.2, 뇨 76.6) 이었으며, T-P는 24.0g(분 23.9, 뇨 0.1) 이었다. 건유우의 오염부하량은  $BOD_5$ 가 538.8 g(분 465.7, 뇨 73.1) 이었으며, COD는 1,651.8 g

Table 2. Concentration of water pollutants from feces at different growth phases<sup>1), 2)</sup> (unit : mg/l)

Item	Milking cow	Dry cow	Heifer	Mean
$BOD_5$	19,961 ± 2,990	16,874 ± 2,731	18,048 ± 512	18,294 ± 1,558
COD	52,418 ± 10,512	55,763 ± 8,204	50,114 ± 2,281	52,765 ± 2,841
SS	101,500 ± 23,785	87,333 ± 6,506	119,833 ± 21,577	102,889 ± 16,294
T-N	2,854 ± 436	2,353 ± 511	2,519 ± 146	2,576 ± 255
T-P	577 ± 116 <sup>a</sup>	368 ± 68 <sup>b</sup>	427 ± 94 <sup>ab</sup>	457 ± 108

<sup>1)</sup> Mean ± S.D.

<sup>2)</sup> Means with the same superscript letter within a row are not significantly different( $p < 0.05$ ).

Table 3. Concentration of water pollutants from urine at different growth phases<sup>1), 2)</sup> (unit : mg/l)

Item	Milking cow	Dry cow	Heifer	Mean
$BOD_5$	5,309 ± 2,080	5,621 ± 1,088	5,434 ± 1,719	5,455 ± 157
COD	9,044 ± 4,043	8,673 ± 3,068	6,550 ± 3,408	8,089 ± 1,346
SS	436 ± 106	518 ± 96	825 ± 701	593 ± 205
T-N	4,164 ± 1,181	2,423 ± 683	3,616 ± 998	3,401 ± 890
T-P	7 ± 4 <sup>b</sup>	3 ± 1 <sup>b</sup>	28 ± 12 <sup>a</sup>	13 ± 13

<sup>1)</sup> Mean ± S.D.

<sup>2)</sup> Means with the same superscript letter within a row are not significantly different( $p < 0.05$ ).

Table 4. Daily water pollutant discharges from dairy cattle manure at different growth phases (unit : g/day/cow)

Item		BOD <sub>5</sub>	COD	SS	T-N	T-P
Milking cow	Feces	826.4	2,170.1	4,202.1	118.2	23.9
	Urine	97.7	166.4	8.0	76.6	0.1
	Total	924.1	2,336.5	4,210.1	194.8	24.0
Dry cow	Feces	465.7	1,539.1	2,410.4	64.9	10.2
	Urine	73.1	112.7	6.7	31.5	0
	Total	538.8	1,651.8	2,417.1	96.4	10.2
Heifer	Feces	249.1	691.6	1,653.7	34.8	5.9
	Urine	35.3	42.6	5.4	23.5	0.2
	Total	284.4	734.1	1,659.1	58.3	6.1

(분 1,539.1, 뇨 112.7) 이었고, SS는 2,417.1 g(분 2,410.4, 뇨 6.7) 이었다. T-N은 96.4 g(분 64.9, 뇨 31.5) 였으며, T-P는 10.2 g 이었고, 뇨에는 거의 없었다. 육성우의 오염부하량은 BOD<sub>5</sub>가 284.4 g(분 249.1, 뇨 35.3) 이었으며, COD는 734.1 g(분 691.6, 뇨 42.6) 이었고, SS는 1,659.1 g(분 1,653.7, 뇨 5.4)였다. T-N은 58.3 g(분 34.8, 뇨 23.5) 이었으며, T-P는 6.1 g(분 5.9, 뇨 0.2) 이었다. 이와같은 결과는 BOD<sub>5</sub>의 경우 젖소 성우(체중 635 kg) 두당 일일 오염부하량이 1,080 g, 미경산우(체중 454 kg)는 771 g, 육성우(체중 227kg)가 390 g 이었다는 A.S.A.E.(1985) 보고와 유사한 경향을 나타냈으며, 건유우·미경산우의 T-N, T-P가 각각 96.3, 19.8 g 이라고 보고한 Mikinori and Yasuo(1996)의 자료와도 비슷한 경향을 나타내었다. Ronald 등(1994)은 젖소 성우의 분뇨로부터 발생하는 BOD<sub>5</sub>, CODCr의 두당 일일 부하량은 각각 998, 6,985 g으로 조사되었으며, 젖소 육성우의 경우는 각각 726, 4,989 g이 발생하는 것으로 나타나 본 시험의 결과와 유사한 경향을 보였다. NRCS(1992)가 젖소 착유우, 건유우, 육성우를 대상으로 분뇨로부터 발생하는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, T-N 및 T-P의 두당 일일 부하량을 조사한 결과, 착유우는 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, T-N 및 T-P가 각각 726, 4,037, 204, 32 g이 발생하는 것으로 조사되었고, 건유우는 각각 544, 3,855, 145, 23 g이 발생하였으며, 육성우는 각각 590, 3,765, 141, 18 g이 발생하는 것으로 보고하였다. 原田과 山口(1997)가 착유우, 건·미경산우 및

육성우를 대상으로 이들 분과 뇨로부터 배설되는 T-N과 T-P를 분석한 결과, T-N은 착유우가 일일 두당 305.5 g(분 152.8, 뇨 152.7)이 발생되었고, 건·미경산우는 96.3 g(분 38.5, 뇨 57.8), 육성우는 158.6 g(분 85.3, 뇨 73.3)이 발생되었으며, T-P는 착유우 44.2g(분 42.9, 뇨 1.3), 건·미경산우 19.8 g(분 16.0, 뇨 3.8), 육성우 16.1 g(분 14.7, 뇨 1.4) 발생되었다는 보고와도 유사한 경향을 보여 주었다.

따라서 본시험 결과를 바탕으로 젖소로부터 배출되는 연간 오염부하량은 착유우 BOD<sub>5</sub> 337.3 kg, COD 852.8 kg, SS 1,536.7 kg, T-N 71.1 kg, T-P 8.8 kg, 건유우 각각 196.7, 602.9, 882.2, 35.2, 3.7 kg, 육성우 각각 103.8, 267.9, 605.6, 21.3, 2.2 kg이 배출되는 것으로 추정된다(Fig. 1).

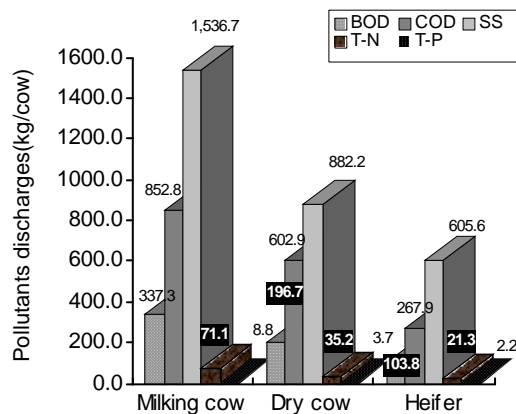


Fig. 1. Annual water pollutant discharges at different growth phases.

## 4. 젖소 분뇨의 비료성분

가축분뇨의 가치는 식물에 영양공급, 토양의 물리적, 화학적 성질의 개선, 토양미생물의 활성유지 등 여러 면에서 평가되나, 비료적 가치는 질소(N), 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 칼리(K<sub>2</sub>O) 등 비료의 3요소를 기준으로 한다. 분뇨중 비료성분 함유비율을 살펴보면, 분의 경우 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 착유우는 각각 0.29, 0.13, 0.13%, 건유우는 0.24, 0.08, 0.15%, 육성우 0.25, 0.10, 0.14%, 뇨의 경우에는 착유우가 각각 0.42, 0.002, 0.31%, 건유우는 0.24, 0.001, 0.30%, 육성우 0.36, 0.006, 0.31%였다(Table 5), (Table 6). 이와같은 결과는 젖소분뇨의 조성에 있어서 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 각각 0.5, 0.1, 0.2%였다는 보고(경상대, 1990)와 유사하였다.

이를 착유우, 건유우, 육성우로부터 배출되는 두당 일일 비료성분량으로 환산해 보면, 분의 경우, N가 각각 120.1, 66.2, 34.5 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 각각 53.8, 22.1, 13.8 g, K<sub>2</sub>O는 각각 53.8, 41.4, 19.3 g 이었으며, 뇨의 경우에는 N가 각각 77.3, 31.2, 23.4 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 각각 0.4, 0.1, 0.4 g, K<sub>2</sub>O는 각각 57.0, 39.0, 20.2 g으로 조사되었다. 따라서 착유우가 배설하는 일일 비료성분량은 질소, 인산 및 칼리가 각각 197.4, 54.2, 110.8 g, 건유우는 각각 97.4, 22.2, 80.4 g, 육성우는 57.9, 14.2, 39.5 g이 발생하는 것으로 나타났다. 이를 젖소 평균체중인 450 kg으로 환산하여 계산해 보면 두당 일일 평균 비료성분량은 N 99.2 g(분 62.1, 뇨 37.1 g), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 24.2 g(분 23.9, 뇨 0.3 g), K<sub>2</sub>O 67.3 g(분 33.5, 뇨 33.8 g)이 발생되었다(Table 7). 이와같은 결과는 A.S.A.E.(1992)가 체중 635 kg

Table 5. The comparative nutrient content of feces at different growth phases<sup>1), 2)</sup> (unit : %)

Item	Milking cow	Dry cow	Heifer	Mean
N	0.29 ± 0.04	0.24 ± 0.05	0.25 ± 0.01	0.26 ± 0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.10 ± 0.02
K <sub>2</sub> O	0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.14 ± 0.01

<sup>1)</sup> Mean ± S.D.

<sup>2)</sup> Means with the same superscript letter within a row are not significantly different(p<0.05).

Table 6. The comparative nutrient content of urine at different growth phases<sup>1), 2)</sup> (unit : %)

Item	Milking cow	Dry cow	Heifer	Mean
N	0.42 ± 0.12	0.24 ± 0.07	0.36 ± 0.10	0.34 ± 0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.002 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.001 ± 0.0003 <sup>b</sup>	0.006 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.003 ± 0.003
K <sub>2</sub> O	0.31 ± 0.07	0.30 ± 0.02	0.31 ± 0.05	0.31 ± 0.01

<sup>1)</sup> Mean ± S.D.

<sup>2)</sup> Means with the same superscript letter within a row are not significantly different(p<0.05).

Table 7. Daily feces and urine based nutrient production at different growth phases (unit : g/day/cow)

Item	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	Feces	Urine	Total	Feces	Urine	Total	Feces	Urine	Total
Milking cow	120.1	77.3	197.4	53.8	0.4	54.2	53.8	57.0	110.8
Dry cow	66.2	31.2	97.4	22.1	0.1	22.2	41.4	39.0	80.4
Heifer	34.5	23.4	57.9	13.8	0.4	14.2	19.3	20.2	39.5
Mean	62.1	37.1	99.2	23.9	0.3	24.2	33.5	33.8	67.3

인 젖소 성우 1두로부터 일일 배출되는 비료성분이 N 270 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 109 g, K<sub>2</sub>O 218 g 이었고, 체중 454 kg의 미경산우는 각각 193, 77, 154 g, 체중 227 kg인 육성우는 각각 97, 41, 77 g으로 보고한 성적과 유사한 경향을 나타내었으며, Mikinori와 Yasuo (1996)가 건유우·미경산우로부터 발생하는 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 각각 96.3, 23.9 g 이라고 보고한 자료와도 비슷한 경향을 나타내었다.

MWPS(1985)은 평균체중 1,400 파운드(635 kg)인 젖소로부터 배출되는 일일 비료성분량은 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 각각 258, 104, 209 g 이었으며, 평균체중 1,000 파운드(454 kg)인 젖소로부터 배출되는 일일 비료성분량은 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 각각 186, 77, 150 g 이었으며, 평균체중 500 파운드(227 kg)인 젖소로부터 배출되는 일일 비료성분량은 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 각각 91, 36, 77 g 이었으며, Ronald 등(1994)은 젖소 성우의 분뇨로부터 배출되는 두당 일일 비료성분량은 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 각각 286, 137, 222 g으로 조사되었으며, 젖소 육성우의 경우는 각각 204, 98, 159 g이 발생하는 것으로 나타나 본 시험의 결과와 유사한 경향을 보였다. 原田과 山口(1997)가 착유우, 건·미경산우 및 육성우를 대상으로 이들 분뇨로부터 배출되는 N과 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 분석한 결과, N은 착유우가 일일 두당 305.5 g(분 152.8g, 뇨 152.7 g)이 발생되었고, 건·미경산우는 96.3 g(분 38.5 g, 뇨 57.8 g), 육성우는 158.6 g(분 85.3 g, 뇨 73.3 g)이 발생되었으며, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 착유우 53.2 g(분 51.7 g, 뇨 1.5 g), 건·미경산우 23.9 g(분 19.3 g, 뇨 4.6 g), 육성우 19.4 g(분 17.7 g, 뇨 1.7 g) 발생하였다고 보고하였고, NRCS(1992)가 젖소 착유우, 건유우, 육성우를 대상으로 분뇨로부터 발생하는 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O의 두당 일일 성분량을 조사한 결과, 착유우는 각각 204, 32, 118 g 발생하였고, 건유우는 각각 163, 23, 104 g, 육성우는 각각 141, 18, 109 g이 발생하라는 보고와도 유사한 경향을 보여 주었다.

따라서 본시험 결과를 바탕으로 젖소로부터 배출되는 연간 비료성분량은 착유우가 N 72.0 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 19.8 kg, K<sub>2</sub>O 40.5 kg 이었고, 건유우가 각각 35.6, 8.1, 29.3 kg, 육성우가 각각 21.1, 2.2,

14.4 kg 배출되는 것으로 추정된다(Fig. 2).

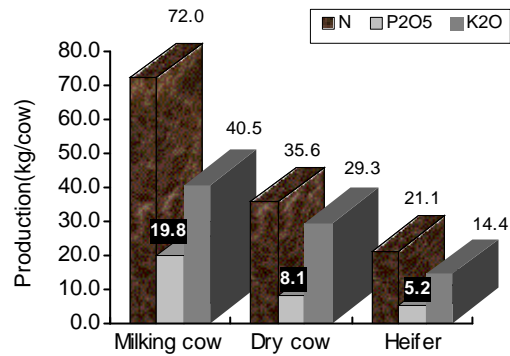


Fig. 2. Annual feces and urine based nutrient production at different growth phases.

### 5. 젖소 분뇨의 미량성분

가축의 분뇨내에는 비료 3요소 외에도 각종 미량성분이 포함되어 있으며, 미량성분 중에는 토양에 환원시 작물에 유효한 성분이 있는 반면에, 농축이 되어 축적되는 유해한 성분도 포함되어 있다. 퇴비화 과정에서 유기물이 분해되면서 농축이 되어 농도가 더 증가되는 유해한 성분으로는 Cu, Cr, Pb, Cd, As, Hg 등을 들 수 있다. 젖소분뇨의 미량성분은 Table 8에서 보는 바와 같이 Ca는 분과 뇨에서 각각 9,100, 59 mg/kg, Mg은 3,900, 279 mg/kg로 나타났다. 이와 같은 결과는 농업과학기술원(1999)이 농협, 축협 등에서 판매되고 있는 축분퇴비 중 CaO, MgO 함량이 평균 1.80, 0.29%라는 보고와도 비슷한 수준이었다. 유해한 성분으로 분류되는 6대 중금속중 Cu는 분과 뇨에서 각각 5.00, 8.34 mg/kg, Pb는 5.53, 0.75 mg/kg로 나타나 다른 성분에 비해서 비교적 높은 수치를 보였으나, Cu의 경우에는 비료관리법에서 정한 유기질비료 허용기준치의 1.0~1.7% 수준이었으며, Pb도 0.5~3.7% 수준에 불과하였다. 나머지 중금속 성분 등은 검출이 되지 않았거나 극히 소량이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 현행 비료관리법 비료공정규격에서는 유기질비료와 부산물비료에 대해 As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni 및 Zn 등 8대 중금속의 기준을 설정하고 있다(농촌진흥



Table 8. Trace elements from feces and urine at different growth phases (unit : mg/kg)

Item	CaO	MgO	Cu	Cr	Pb	Cd	As	Hg
Feces	Milking cow	1,648	781	5.46	0.48	0.45	0	0.001
	Dry cow	1,131	306	0.74	0	1.20	0.03	0.001
	Heifer	1,514	605	0.80	0.32	0.72	0	0.001
	Average	1,431	564	2.33	0.27	0.79	0.01	0.001
Urine	Milking cow	53	249	9.00	0	0.65	0	0.002
	Dry cow	49	250	0.02	0	0.50	0	0.002
	Heifer	74	263	16.00	0	1.14	0	0.003
	Average	59	254	8.34	0	0.75	0	0.002
Limits in law	—	—	300	300	150	5	50	2

청, 2004). Nicholson 등(1999)은 육우, 유우, 돼지 및 닭의 사료와 분뇨의 중금속 함량을 분석한 연구결과, 가축의 사료에 첨가된 중금속의 농도가 배출되는 분뇨중의 중금속 함량에 영향을 미치며, 축종, 사양관리, 개체간 변이 등에 따라 차이가 발생한다고 하였다. 또한 가축분뇨내에 중금속이 존재하는 이유는 성장촉진이나 사료효율 개선 등의 여러 가지 목적으로 사료에 첨가되는 Cu, Zn, As, Mn, Fe 및 Se 같은 미량원소들이 동물체내에서 이용되지 않고 분뇨로 배출되기 때문이라고 보고했다. 따라서 젖소 분뇨내에는 CaO, MgO 등이 시판퇴비 수준으로 함유되었고, 중금속 성분 등은 검출이 되지 않았거나 극히 소량이 함유되어 있는 것으로 나타났다.

#### IV. 요약

본 시험은 젖소 분뇨로부터 발생하는 오염물질, 비료성분 및 미량성분을 구명하여 오염물질 및 비료성분 부하량을 추정하기 위하여 수행하였다. 실험은 착유우, 건유우, 육성우를 공시하여 이들 젖소로부터 배출되는 분과 뇨를 채취한 후 축산연구소 가축분뇨실험실에서 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 젖소 분뇨의 수분 및 pH를 분석해 본 결과, 분의 평균 수분함량은 83.9% 였고, 뇨는 95.1% 였으며, 분의 pH는 7.0~7.4 였고, 뇨의 pH는 7.5~7.8 수준이었다.

2) 젖소 분뇨중 오염물질 농도는 분이 BOD<sub>5</sub> 18,294 mg/l, COD 52,765 mg/l, SS 102,889 mg/l, T-N 2,575 mg/l, T-P 457 mg/l 였고, 뇨가 BOD<sub>5</sub> 5,455 mg/l, COD 8,089 mg/l, SS 593 mg/l, T-N 3,401 mg/l, T-P 13 mg/l 였다.

3) 젖소 착유우, 건유우, 육성우의 1두당 일일 오염물질 부하량은 BOD<sub>5</sub> 각각 924.1, 538.8, 284.4 g, COD 각각 2,336.5, 1,651.8, 734.1 g, SS 각각 4,210.1, 2,417.1, 1,629.1 g, T-N 각각 194.8, 96.4, 58.3 g, T-P 각각 24.0, 10.2, 6.1 g이 발생하는 것으로 나타났다.

4) 체중 450kg을 기준으로 한 젖소 1두당 연간 오염물질 부하량은 BOD<sub>5</sub> 181.3kg, COD 492.5kg, SS 899.9kg, T-N 36.0kg, T-P 4.1kg 이었다.

5) 우리나라에서 전체 사육되고 있는 497,261두의 젖소로부터 배출되는 연간 오염물질부하량은 BOD<sub>5</sub> 90,149 톤, COD 244,890 톤, SS 447,491 톤, T-N 17,898 톤, T-P 2,008 톤으로 추정되었다.

6) 젖소 분뇨중 비료성분은 분의 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 각각 0.26, 0.10, 0.14% 였고, 뇨는 각각 0.34, 0.003, 0.31% 였다.

7) 젖소 착유우, 건유우, 육성우의 1두당 일일 비료성분 발생량은 N 각각 197.4, 97.4, 57.9g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 각각 54.2, 22.2, 14.2g, K<sub>2</sub>O 각각 110.8, 80.4, 39.5g이 발생하는 것으로 나타났다.

8) 체중 450kg을 기준으로 한 젖소 1두당 연간 비료성분 발생량은 N 36.2kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 8.8kg, K<sub>2</sub>O 24.6kg 이었다.

9) 우리나라에서 전체 사육되고 있는 젓소로부터 배출되는 연간 비료성분 발생량은 N 18,005 톤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4,397 톤, K<sub>2</sub>O 12,206 톤으로 추정되었다.

10) 젓소 분뇨중 미량성분을 조사한 결과, 작물에 유용한 성분인 CaO, MgO는 국내에 유통중인 퇴비수준과 비슷했으며, 유해한 성분으로 분류되는 8대 중금속 성분(As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn)은 비료공정규격 허용기준 이내였거나 거의 함유되지 않은 것으로 나타났다.

이상의 시험결과를 종합해 보면 착유우, 건유우, 육성우로부터 배출되는 오염물질 및 비료성분을 적절하게 관리하기 위해서는 낙농가에서 적절한 양분 밸런스를 유지하는 것이 중요하다. 사료나 화학비료로부터 낙농가로 들어오는 Input과 분뇨로 배출되는 Output의 밸런스를 감안하여 농가실정에 맞게 오염물질 및 비료성분 관리 및 이용체계를 수립하여야 할 것으로 사료된다.

## V. 인 용 문 헌

1. A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
2. A.S.A.E. 1985. Data Adapted from Committee & E-412, Report AW-D1.
3. A.S.A.E. 1992. Manure Production and Characteristics. American Society of Agricultural Engineers, Data Adapted from ASAE Standards D 348.1.
4. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F test. Biometeic. 11:1.
5. Menzi, H. and kessler, J. 1998. Heavy metal content of manure in Switzerland In : proceedings of the Eighth International Conference of the FAO Network on Recycling of Agriculture Municipal and Industrial Residues in Agriculture(In press).
6. M.W.P.S. 1985. Animal Waste Characteristics. Livestock Waste Facilities handbook. Second Edition. Ames, Iowa 50011 : 1 • 1.
7. Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R. and Unwin, R. J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeda and animal manure in England and Wales. Bioresource Tech 70, 23-31.
8. NRCS. 1992. Agricultural Waste Characteristics. Agricultural Waste Management Field Handbook, Chapter 4:4-8.
9. Ronald, E., Hermanson, P. E. and Prasanta, K. K. 1994. Animal Manure Data Sheet. Clean Water for Washington. <http://cru.cahe.wsu.edu/ CEPublications /eb1719/eb1719.html>
10. SAS. 1985. User's guide ; Statistics Analysis System. Inst. Cary. NC.
11. Mikinori Tsuiki and Yasuo Harada. 1996. Proceedings the 8th A.A.A.P. Animal Sci. Congress.
12. 日本農林省. 1974. 技術會議蒐集資料.
13. 山川芳男. 1980. 家畜ふん尿の急速堆肥化とその要點.
14. 日本中央畜産會. 1989. 家畜尿汚水の處理利用技術と事例, 中央畜産會.
15. 原田晴生, 山口武側. 1997. 家畜糞尿の堆肥化の品質實態と問題點. 環境保全と新畜産. 農林水産技術情報協會. 229-246.
16. 築城幹典, 原田晴生. 1994. 家畜の窒素排泄量の推定 SYSTEM. 畜産の研究. 48(7).
17. 築城幹典, 原田端生. 1997. 日本の家畜排泄物發生實態と今後課題. 農林水産技術情報協會. pp. 15-29.
18. 경상대 농업자원이용연구소, 1990, 경남농업기술.
19. 국립환경연구원, 1986, 축산폐기물 현황과 환경에 미치는 영향에 관한 연구.
20. 농림부. 2000. 가축분뇨자원화 및 이용기술개발 최종연구보고서.
21. 농림부. 2005. 축산환경 시책 및 기술교육 자료.
22. 농업과학기술원. 1999. 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비제조와 이용. pp. 47-59.
23. 농촌진흥청. 2004. 비료관련 농촌진흥청 고시(비료공정규격)
24. 축산연구소. 1996. 표준사료성분 분석법.
25. 한국농촌경제연구원. 1990. 가축분뇨 및 축산폐수 처리대책에 관한 연구. pp. 9-14.
26. 환경부. 1992. 수질오염공정시험법. (접수일자 : 2006. 10. 18. / 채택일자 : 2006. 12. 28.)