

젖소의 성장 및 생산 단계에 따른 분뇨배설량 및 성분의 변화

이현준 · 이왕식* · 김현섭 · 조원모 · 양승학 · 기광석 · 김상범 · 박중국

농촌진흥청 국립축산과학원

Effects of the Growth and Production Phase on Manure Production and Compositions in Holstein Dairy Cattle

Hyun June Lee, Wang Shik Lee*, Hyeon Shup Kim, Won Mo Cho, Seung Hak Yang, Kwang Seok Ki, Sang Bum Kim and Joong Kook Park

National Institute of Animal Science, RDA

Summary

This work was carried out to investigate the quantity of manure excreta and characteristics in growth and production phase of Holstein dairy cattle. The average manure production of dairy cattle under condition of *ad libitum* feeding was 41.5 kg/head/day (feces 24.9, urine 16.4 kg). The average moisture contents of feces and urine were 85.0% and 93.9%, respectively. Water pollutant concentration, BOD₅, COD_{Mn} and SS excreted from dairy cattle were 15,444 mg/ℓ, 53,159 mg/ℓ, and 40,528 mg/ℓ in feces and 8,454 mg/ℓ, 1,116 mg/ℓ, and 962 mg/ℓ in urine, respectively. And The daily loading amount of BOD₅, COD_{Mn}, SS in dairy cattle manure were 523 g, 1,416 g and 1,025 g, respectively. N, P and K contents of manure produced by dairy cattle were 0.33, 0.49 and 0.20% in feces, and 1.02, 0.27 and 1.03 in urine, respectively. In the concentrations of mineral and heavy metal of manure, Ca, Na and Mg contents were 1.56, 0.24 and 0.69%, and Zn, Cu, Cr, Pb and As were 69.23, 19.14, 2.89, 7.73 and 2.94 ppm, respectively. In conclusion, Dairy farms can be estimated optimum nutrient and pollutant balance to effectively manage the manure produced.

(Key words : Dairy cattle, Manure, Excreta, Feces, Urine)

서 론

우리나라의 젖소사육농가와 사육두수는 2000년도에 542천두 및 14천호이던 것이 낙농여건의 변화와 함께 농가수와 사육두수는 감소하여 2010년에는 432천두 및 6.4천호로 조사되었다. 반면 농가 호당사육두수는 2000

년도에 39두이던 것이 2010년도에는 65두로 약 60% 이상 증가하여 전업형 낙농가가 증가한 것을 알 수 있다. 국내 우유시장에서는 시유소비의 감소와 분유재고 증가 등의 수급 불안이 가중됨으로써, 이를 해소하기 위하여 정책적으로 집유일원화에 이어 농가별 생산량 제한제(쿼터제)가 도입되었다. 하지만 각

* 제주대학교 생명공학부 (Faculty of Biotechnology, Jeju National University)

Corresponding author : Joong Kook Park, Dairy Science Division, National Institute of Animal Science, RDA, #9, Eoryong-ri, Seonghwan-eup, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 331-801, Rep. of Korea.

Tel: +82-41-580-3399, Fax: +82-41-580-3419, E-mail: jkpark203@korea.kr

2010년 12월 16일 투고, 2011년 2월 25일 심사완료, 2011년 3월 28일 게재확정

중 환경규제 강화, 인건비 상승, 사료비 증가 등 여건이 갈수록 악화됨에 따라 경영포기 농가 혹은 업종전환농이 증가하고 있는 실정이다¹⁴⁾.

한편 분뇨배설량, 오염물질 및 비료성분 부하량은 사료의 물리적 특성에 의한 품질, 소화율 및 섭취량 등에 따라 다르며, 생리적으로 계절, 산차, 산유량, 체중 등에 따라서 다르게 나타난다. 또한 착유시 발생하는 세척수량도 농가가 보유하고 있는 착유시스템의 유형에 따라 차이가 있다.

우리나라 전체 젖소사육농가에서 연간 배출되는 분뇨의 정확한 발생량을 조사하는 것은 불가능하므로 이를 추정하기 위해 젖소사육농가의 환경오염물질 배출량을 적정선으로 설정하여 관리하기 위한 기준을 확립하는 것이 중요하다. 그러나 이에 대한 연구는 소수의 연구기관^{15,16)}에 의한 제한적인 연구보고서 밖에 없어 이에 대한 추가적인 연구가 지속적으로 이루어져야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 국내 낙농농가에서 일반적으로 이용되고 있는 사료 및 사양방법을 선정하여 젖소의 성장단계별, 최대사료섭취 조건에서의 정확한 개체별 사료와 물 섭취량 조사를 기반으로 하여 발생된 분과 뇨의 배설량과 이화학적 성분함량을 조사하여 국내 젖소농가의 분뇨발생량과 오염물질 및 비료 성분 배출량의 기준을 설정하기 위한 기준자료를 제시하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시축과 시험기간

공시된 젖소는 Table 1과 같이 젖소의 성장단계를 4단계로 나누어 성장단계별로 4두씩 공시하여 시험을 수행하였다. 젖소 육성우는 육성초기우 (6개월령, 체중 206 kg)와 육성후기우 (15개월령, 체중 413 kg)로 구분하여 4~5월에 4두씩 개체별로 각각 4주 동안(사료순치기간 25일, 시료채취 3일) 사양시험을 실시하였다. 젖소 건유우는 42개월령 (체중 577 kg)의 건유우 4두를 고온기인 7월에 공시하여 개체별 사양시험을 4주(사료순치기간 25일, 시료채취 3일) 동안 실시하였으며, 젖소 착유우 (64개월령, 체중 694 kg, 일일산유량 31 kg) 4두를 흑한기인 12월에 공시하여 개체별 사양시험을 4주간(사료순치기간 25일, 시료채취 3일) 실시하였다.

2. 공시사료와 급여방법

공시사료는 국내 농가에서 주로 사용하는 사료조성으로 배합된 상용 TMR사료 (Table. 2)를 이용하였는데, 육성우에는 『큰송아지 TMR』, 건유우에는 『건유우 TMR』, 그리고 착유우에는 『착유우(유량 30 kg 기준) TMR』을 구입하여 사용하였다. 사료급여는 매일 3회로 나누어 사료가 모자라지 않게 충분히 공급해주어 시험축이 하루 종일 무제한으로

Table 1. Characteristics of animals in the experiment

Animals	Head	Age (month)	Weight (kg)	Average milk yield (kg/d)	Experiment season (Month)
Young cattle	4	6.7±0.5	206.0±10.3	—	5
Heifer	4	15.7±0.6	413.3±21.9	—	4
Dry cow	4	41.9±5.0	577.3±73.4	—	7
Dairy cow	4	64.1±9.6	694.3±72.9	31.4±8.2	12

Table 2. Formulas and chemical compositions of TMR diets for dairy cattle

Ingredients (%)	Young cattle/ Heifer	Dry cow	Dairy cow
Brewers grain	8.0	4.0	7.8
Distillwrs dried grains	9.8	2.6	9.5
Hay mixture ¹⁾	9.0	9.5	8.1
Alfalfa hay	11.0	11.4	10.6
Oat hay	6.0	6.5	3.4
Klein grass	4.0	6.0	2.8
Timothy hay	3.0	7.3	4.3
Tall fescue straw	2.5	6.0	3.1
Concentrate	28.0	29.6	32.7
Mineral/Vitamin premix ²⁾	0.7	0.6	1.3
Cotton seed	12.0	11.2	10.5
Beet pulp	4.7	3.0	3.3
Fermentation feeds	0.9	1.4	1.7
Salt	0.2	0.3	0.3
Sodium bicarbonate	0.2	0.6	0.6
Total	100.0	100.0	100.0
Chemical compositions (%/DM)			
DM (%)	62.8	80.3	63.0
TDN (%)	63.2	65.2	71.8
NE _L (Mcal)	1.43	1.48	1.68
TCP (%)	12.2	12.3	15.7
NFC (%)	27.8	28.7	33.2
NDF (%)	86.8	50.6	38.1
CF (%)	21.9	22.7	18.9
Ca (%)	0.4	0.6	0.8
P (%)	0.4	0.4	0.4
Forage/Concentrate	52.6	62.4	46.9

¹⁾ Contained tall fescue hay and orchardgrass hay.

²⁾ Contained per kg diet: vitamin A, 18,000 IU; vitamin D₃, 3,600 IU; vitamin E, 15 IU; I, 1.5 mg Fe, 120 mg; Mn, 135 mg; Zn, 135 mg; Cu, 30 mg and Co, 0.3 mg.

섭취하도록 하였으며, 물과 미네랄 블록을 별도로 제공하여 자유채식할 수 있게 하였다.

또한, 본 시험의 편이성과 정확성을 확보하기 위하여 젖소의 크기에 따라 장치의 길이를 전동으로 조정할 수 있으며, 착유작업

이 가능하고, 분뇨의 분리수집 및 채취가 용이하며, 전자동 사료섭취량조사장치와 온도 조절과 수량계가 부착된 급수기를 장착한 4대의 가축 생리대사 측정장치(특허 제 10-0979526호)를 개발하여 공시하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Metabolic cage for dairy cows.

3. 조사항목과 조사방법

(1) 사료 섭취량
 사료섭취량조사는 수작업과 컴퓨터조사장치를 병용하여 섭취량의 정확성을 기하였으며, 물 섭취량은 매일의 개체별 수량계를 이용하여 기록하였다.

(2) 분뇨의 발생량
 분뇨 발생량은 예비기간은 일일1회 수집 계량하고, 시료채취기간(시험 종료 3일전부터 72시간 동안)은 배설 즉시 수집하고 4시간 간격으로 계량하였다.

(3) 시험기간 중 기후변화
 각기 다른 기후조건에서 수행됨에 따라 시험기간 중 디지털 온습도 측정기(Datalogger SK-L200THⅡα, SATO Co., Japan)을 이용하여 시험 전체기간 동안 매 1시간 단위의 온도와 습도자료를 얻고 이를 이용하여 불쾌지수(THI; temperature humidity index, $THI = (건구온도 + 습구온도) \times 0.72 + 40.6$)를 변환하고, 시험기간 중 누적 값을 구하여 환경변화에 따른 공시축의 사료 섭취량에 영향을 미치는 영향을 조사하였다.

(4) 분뇨시료채취
 공시축의 분과뇨는 배설즉시 바닥에 닿는 등의 오염이 없도록 실시간으로 채변 및 채분하고 4시간 단위로 시료를 혼합하여 분석

에 공시하였다.

(5) 시료의 성분분석
 뇨와 생분의 pH, BOD, CODmn, SS 및 Ni 함량을 분석하였으며, 일반영양성분은 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분 및 N의 6성분에 대하여, 광물질함량은 Ca, P, K, Na, Mg, Zn, Cu, Cr, Pb 및 As의 10개 성분에 대하여 분석하였다.

4. 분석항목 및 방법

(1) 수분함량 및 pH
 공시축의 뇨 수분 함량과 pH는 농촌진흥청 축산연구소¹⁷⁾에 의해 측정하였다. 수분함량은 미리 항량으로 한 대형 칭량병(秤量瓶)에 일정량의 시료를 달아 60~70℃의 건조기 내에서 48~72시간 예비 건조한 다음 실험실 내 상온에서 24일간 방치하여 원물의 수분함량을 구한 후, 분쇄하여 다시 분쇄된 시료를 정량 후 다음과 같이 수분함량을 계산하였다.

$$W = W_1 + \frac{(100 - W_1) \times W_2}{100}$$

- W = 원물의 수분함량 (%)
- W₁ = 예비건조시의 감량 (%)
- W₂ = 풍건물 공시품의 수분함량 (%)

pH는 채취한 시료 원액을 100 ml 비이커에

취하여 유리병으로 저어주면서 Digital pH meter (Model: Orion 520A)를 Buffer 용액으로 잘 맞춘 다음 깨끗하게 씻은 초자 및 표준 전극을 넣고 60초 이내에 측정하였다.

(2) 오염성분 및 비료성분

분뇨의 오염성분 농도를 나타내는 생물학적 산소요구량 (BOD: Biochemical Oxygen Demend), 화학적 산소요구량 (COD: Chemical Oxygen Demend), 부유물질 (SS = Suspended Solid), 니켈(Ni)은 수질오염 공정시험법²²⁾에 의해 분석하였으며, 비료성분인 질소 (N), 인산 (P₂O₅), 가리 (K₂O)의 분석은 농촌진흥청 축산연구소¹⁶⁾ 분석기준에 준하였다.

(3) 광물질과 중금속

분뇨의 미량성분(Na, Ca, Mg, Zn, Cu, Cr, Pb, As)은 건식분해법에 의한 전 처리 후 유도결합 플라즈마 발광광도계 (Spectro Flame)에서 표준검량선을 작성 후 측정하였으며, 시료의 일반성분 및 광물질분석은 AOAC²⁾에 의해 분석하였다.

불쾌지수 계산치는 Table 3과 같다. 처너우와 육성우는 4월과 5월로써 평균온도는 14.4℃, 22.9℃, THI는 57.4, 75.3 누적 THI는 1,378 및 1,807로 각각 나타나 5월의 불쾌지수가 다소 높게 나타났는데, 이는 2008년 5월 한 달 동안 비오는 날이 많음에 따라 과도한 습도로 인한 것으로 판단된다.

건유우는 7월에 시험을 수행하였으며, 축사내 습도와 온도를 낮추기 위하여 선풍기를 설치하여 가동하였으나, 시험축 호흡위치에서의 평균온도는 27.6℃, THI는 79.9, 누적 THI는 1,918로 매우 습하고 더운 날씨를 보였다. 한편 착유우는 12월에 시험을 수행하였고 시험축사내 온풍기를 가동하였으며, 시험축 호흡위치에서의 평균온도는 5.1℃, THI는 43.5, 누적 THI는 1,043으로 다소 춥지만 쾌적한 상태였다. Linn⁶⁾와 Beede³⁾의 보고에 의하면 외부온도와 습도는 음수섭취에 많은 영향을 주며, 뜨겁고 건조한 기상조건은 증발작용과 배뇨작용을 통하여 수분손실을 증가시키는 반면, 분의 배출을 통하여 수분손실을 감소시킨다. 본 연구에서도 이러한 계절에 따른 온도와 습도변화로 음수섭취 및 배설량에 영향을 준 것으로 판단된다.

결과 및 고찰

1. 시험기간 중 기후 조건

시험기간 중 시험축사내 온도와 습도 및

2. 사료와 음수섭취량 및 배설량

성장단계별 사료건물섭취량과 섭취율은

Table 3. Climatic changes in the experiment

Item	Young cattle			Heifer			Dry cow			Dairy cow		
	May			April			July			December		
	℃	%rh	THI*	℃	%rh	THI	℃	%rh	THI	℃	%rh	THI
Average	22.9	73.3	75.3	14.4	57.8	57.4	27.6	79.5	79.9	5.1	74.6	43.5
High	26.4	99.6	78.3	33.9	89.1	79.1	31.9	97.3	85.1	10.6	93.1	52.8
Low	17.6	42.9	69.2	4.6	22.7	43.3	22.3	49.2	76.0	1.0	50.4	36.7
Average cumulative value	551	1,760	1,807	344	1,388	1,378	662	1,908	1,918	123	1,790	1,043

* THI; temperature humidity index.

Table 4에서와 같이 일일 두당 사료건물섭취량은 착유우, 건유우, 처녀우 및 육성우의 순서로 20.8 kg, 13.8 kg, 9.6±1.5 kg, 9.2 kg을 나타내어 체중과 연령에 따라 섭취량이 높은 것으로 나타났다. 체중대비 건물섭취율은 육성우가 4.47%로 가장 높게 나타났으며, 처녀우는 2.32%로 가장 낮았다. 이러한 이유는 육성우의 경우, 건물섭취율은 높은 성장과 비례하며, 처녀우는 비록 체중은 증가하지만 건유우와 젖소의 태아와 산유량으로 인한 높은 섭취율과 비교하여 섭취율이 낮기 때문이다^{8,10}.

성장단계별 공시축의 사료 및 음수섭취량과 총 분뇨배설량은 Table 5와 같다. 육성우와 처녀우의 사료와 음용수를 포함한 일일 총 섭취량은 각각 37.2 kg과 48.1 kg이었고, 분뇨 합계량은 각각 20.8 kg, 29.5 kg 이었다. 한편, 건유우의 총 섭취량은 68.7 kg으로 육성우와 처녀우와 비교하여 월등히 높았으나, 사료섭취의 차이가 아닌 음용수 섭취의 차이에 기인하는 것으로 조사되었다.

최¹⁹의 연구보고에 의하면 육성우와 처녀

우의 사료섭취량의 경우, 육성우의 사료건물섭취량은 4.6 kg으로 가장 낮아 건유우의 70%, 착유우의 34% 수준이라고 하였으며, 두당 일일 음수섭취량은 18.3 L로 건유우의 63%, 착유우의 25% 수준이라고 하였다. 본 시험결과, 사료 건물섭취량은 2배정도인 9.2 kg로 건유우의 68%, 착유우의 45% 수준으로 조사되었다. 특히 젖소는 건유우와 비교하여 음수섭취량이 2배 가량 높았으며, 이러한 이유는 우유생산 때문인 것으로 판단된다. 또한 음수 공급방법의 차이로 인한 것으로 본 시험에 공시된 젖소는 항상 일정한 온도와 청결이 유지되는 급수기를 개체별로 제공하여 하루종일 자유채식시킨 것과 관련이 있을 것으로 사료되며, 건유우에 있어서는 고온기로 인한 가축의 섭취증가에 기인한 것으로 사료된다. Adams¹⁾의 보고에 의하면 음수섭취량은 육성우, 건유우 및 착유우 등 성장단계에 따라 다르며, 건유우가 섭취하는 음수량은 26.5~49.2 L이며, 5개월령의 육성우는 14.4~17.4 L을 섭취한다고 하였다.

건유우의 섭취량과 배설량조사결과를 살펴

Table 4. Effects of the growth phase on dry matter intake in dairy cattle

Animals	Body weight (kg)	DMI (kg)	DMI (%/kg BW)
Young cattle	206.0±10.3	9.2±1.1	4.47±0.3
Heifer	413.3±21.9	9.6±1.5	2.32±0.1
Dry cow	577.3±73.4	13.8±1.9	2.39±0.3
Dairy cow	694.3±72.9	20.8±3.0	3.00±0.6

Table 5. Effects of the growth phase on feed and water intake, and manure production in dairy cattle

Animals	Average intake (kg/head/d)			Average manure production (kg/d)			Manure production (%)
	Feed	Water	Total	Feces	Urine	Total	
Young cattle	15.9± 1.9	21.3± 6.1	37.2± 5.8	12.0± 2.7	8.8± 4.1	20.8± 4.5	55.9
Heifer	16.7± 2.6	29.3± 7.0	48.1± 8.2	17.9± 2.6	11.6± 3.1	29.5± 4.5	61.3
Dry cow	16.0± 5.0	52.7±12.5	68.7±16.2	25.7± 6.9	12.7± 3.4	39.5± 6.4	57.5
Dairy cow	37.0± 5.1	98.5±35.4	134.6±12.9	44.0± 5.4	32.3± 6.1	76.3± 6.0	56.6

보면, 사료섭취량은 최¹⁹⁾의 보고에 의하면 여름철 건유우의 사료건물섭취량과 음수섭취량은 각각 10.7 kg 및 52.7 L이며, 본 시험결과에서는 13.8 kg과 52.7 L로써 모든 섭취량이 증가하였다. 이는 무제한 급여방법에 기인한 것으로 생각된다. 또한, 건유우의 여름철 분뇨배설량과 체중대비 배설율(%)은 분 25.7 kg (4.5%), 뇨 12.7 kg (2.2%), 합계 39.5 kg (6.9%)으로 최¹⁹⁾가 보고한 분 26.9 kg (4.3%), 뇨 17.9 kg (2.9%), 합계 44.7 kg (7.2%)과 비슷하게 조사되었다. 이는 섭취량이 증가하면 배설량도 증가한다는 많은 연구자들의 보고와 일치 하지 않는 것이다. 본 시험에서의 공시축이 36% 이상 많은 총섭취량을 보였으나 배설량은 상대적으로 적게 나타났는데, 이는 이전 시험들과 본 시험에서의 섭취량조사와 배설량조사에 사용된 시설로 인한 정확성의 차이인지 그 외 공시사료나 환경의 차이로 인한 것인지 조사두수가 작아 정확한 원인을 찾기 어려우므로 보다 더 많은 시험과 공시두수가 필요하다고 생각된다.

착유우의 일일 평균 음수섭취량은 98.5 L로 총 섭취량은 134.6 kg이었고, 분과 뇨 배설량은 44.0 kg, 32.3 kg으로 합계 76.3 kg으로 나타났는데, 이때 배설율은 56.6%에 달하였다. 착유우에 있어서의 음수섭취량이 다른 연구자의 보고와 상당히 많은 차이가 있는 것을 알 수 있었는데, 최¹⁹⁾는 겨울철 62.2 L, 여름철 85.5 L로 평균 77.2 L라고 하였고, 육¹⁸⁾은 산유량 36 kg인 착유우의 일일 필요 수분량을 86.2 L라고 보고 하였는데, 본 시험에서는 이전 연구보고와 비교하여 최소 일일 12~36 L정도 증가하였다. 이러한 요인은 사료와 물의 무제한적 자유채식조건에서의 시험결과를 통해 국내 낙농현장에서의 젖소의 섭취량과 배설량을 추정하는 기준으로써 최대범위의 값을 얻고자하는 시험의 결과로써, 본 시험의 결과를 국내 낙농현장에서의 기준량 결정시 이를 감안하여 20~30% 정도를 가감하는

것이 타당할 것으로 생각된다. 그러므로 본 시험결과인 성장단계별 배설량은 체중이 450 kg 기준의 젖소로 환산한 배설량인 분 23.2 kg, 뇨 15.5 kg, 합계 38.8 kg에서 각각 표준편차 만큼의 양을 절감한 값으로써 분 19.2 kg, 뇨 10.9 kg, 합계 30.1 kg을 젖소의 두당 일일 배출단위로 보는 것이 타당할 것으로 판단된다.

착유우의 섭취량과 배설량조사결과를 살펴보면, 사료섭취량은 최 등²¹⁾이 보고한 착유우(산유량 23 kg/day)의 겨울철 사료건물섭취량이 15.3 kg인 것에 비해서는 7 kg 정도 많게 나타났는데, 이는 공시축에게 하루 종일 개별사료통에서 무제한급여한 사료급여방법의 차이로 인하여 겨울철인데도 섭취량이 줄지 않고 30 kg 이상의 높은 산유량을 유지하였기 때문인 것으로 판단된다.

음수섭취량은 유 생산량이 30 kg 이상인 착유우에서 가장 많게 나타났으며, 고온기에 사육한 건유우에서도 상당량의 물을 섭취한 것을 알 수 있었다. 그리고 사료섭취량은 착유우에서 가장 증가하였으며, 배설량은 착유우, 건유우, 처녀우, 육성우의 순으로 높았고, 배설율은 처녀우, 건유우, 착유우, 육성우의 순으로 높게 나타났다. 이는 음수섭취량은 환경온도에 따라 차이가 있으며, 10℃에서는 67.4 L, 15℃에서는 67.9 L, 25℃에서는 72.9 L, 35℃에서는 83.6 L로 환경온도가 증가할수록 증가한다고 보고한 Hart⁵⁾의 연구와 일치하였다.

한편 착유우의 분뇨 배설량에 대한 연구들을 살펴보면, 최¹⁹⁾의 연구결과에서 착유우의 분 발생량은 41.4 kg, 뇨 발생량은 18.4 kg으로 일일 분뇨 총 배설량은 59.8 kg으로 체중의 10.5%에 이른다고 보고한 바 있으며, 그 외 많은 연구자들^{4,9,11)}이 체중 550~640 kg인 착유우의 분뇨 배설량은 착유우의 체중과 산유량 및 기후에 따라 차이가 있지만 대체로 50~60 kg 범위를 보고하고 있어 본 시험결과

의 76.3 kg는 상당히 많은 배설량을 나타내고 있다. 이는 사료의 무제한 급여라는 급여체계와 공시착유우의 높은 산유량으로 사료섭취량과 음수섭취량이 크게 증가하였기 때문으로 판단된다.

3. 분뇨 비료성분 및 미량성분 함량

공시축에 사용된 시험사료 중 비료성분인 질소(N), 인(P) 및 칼륨(K)의 평균함량에서 각각 2.24, 1.17, 1.77%로 분석되었다. 공시축의 성장단계별 배설된 분 중에서는 질소 0.33%, 인 0.49%, 칼륨 0.20%로 나타났으며, 뇨 중에서는 질소 1.02%, 인 0.27%, 카리 1.03%로 조사되었다 (Table 6).

이는 최¹⁹⁾의 보고에 따른 젖소에서 배출된 분의 질소함량에 있어서 육성우 0.25%, 건유우 0.24%, 착유우 0.29%와는 다소 높게 나타났으며, 인 함량에 있어서는 육성우 0.10%, 건유우 0.08%, 착유우 0.13%와 비교했을 때 다소 높게 나타난 것이며, 칼륨 함량은 육성우 (0.14%), 건유우 (0.15%), 착유우 (0.13%)와 비교하여 오히려 낮은 것으로 분석되

었다. 한편, 경상대¹²⁾의 보고에 의하면 젖소의 분뇨 조성분에 있어 질소, 인, 칼륨 함량은 각각 0.5, 0.2, 0.2%로 본 연구와 비교하여 낮은 함량을 나타냈다. 이는 급여사료의 종류가 당시의 조사료와 농후사료 분리급여형태인 점과 공급사료의 영양조성이 단백질 등의 성분이 낮은 반면 본 시험에 공시된 사료는 완전배합된 TMR형태로써 당시보다 단백질함량이 높기 때문인 것으로 생각된다.

공시사료 중 다량 및 중금속 광물질 함량은 Table 7과 같으며, 성장단계별 분 중의 다량 및 중금속 광물질 함량에 있어서는 다량 광물질인 칼슘, 나트륨, 마그네슘함량 (%)은 평균 1.6, 0.2, 0.7로 나타났으며, 중금속 광물질인 아연, 구리, 크롬, 납, 비소의 함량 (ppm)은 69.2, 19.1, 2.9, 7.7 및 2.9로 분석되었다. Nicholson 등⁷⁾의 연구에 의하면 젖소 및 육우를 포함한 가축의 사료와 분뇨의 중금속 함량을 분석한 결과, 가축의 사료에 첨가된 중금속의 농도가 배출되는 분뇨중 중금속 함량에 영향을 주며, 이러한 영향은 축종, 사양관리, 개체간 변이 등에 따라 차이가 발생한다고 하였다. 본 연구에서도 분내 광물

Table 6. Effects of the growth phase on contents of fertilizer ingredient in feed and manure (Mean±SD, %)

Animal	Item	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Young cattle	Feed	2.01±0.10	1.08±0.03	1.76±0.12
	Feces	0.34±0.02	0.30±0.03	0.11±0.04
	Urine	1.00±0.58	0.21±0.22	0.99±0.30
Heifer	Feed	2.01±0.10	1.08±0.03	1.76±0.12
	Feces	0.34±0.04	0.51±0.06	0.25±0.04
	Urine	0.56±0.30	0.03±0.04	0.67±0.73
Dry cow	Feed	2.11±0.18	1.01±0.05	1.80±0.08
	Feces	0.25±0.01	0.46±0.06	0.20±0.01
	Urine	0.63±0.55	0.03±0.04	1.18±1.44
Dairy cow	Feed	2.81±0.05	1.50±0.04	1.76±0.19
	Feces	0.37±0.01	0.68±0.05	0.24±0.04
	Urine	1.88±0.11	0.76±1.08	1.28±0.58

Table 7. Effects of the growth phase on mineral contents in feed and manure (Mean±SD, %)

Animal		Minerals(%)			Heavy metals(ppm)					
		Ca	Na	Mg	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	As
Young cattle	Feed	0.7±0.1	0.7±0.3	0.3±0.0	35.4± 3.2	5.7± 0.5	1.7±0.4	4.0±0.3	ND ¹⁾	2.6±0.4
	Feces	1.2±0.1	0.3±0.1	0.6±0.1	41.1±14.5	8.8± 4.4	3.9±1.6	7.0±0.6	ND	3.4±0.9
Heifer	Feed	0.7±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0	23.7± 3.3	3.1± 0.4	1.7±0.5	4.3±0.1	ND	3.7±0.1
	Feces	1.5±0.1	0.3±0.1	0.6±0.1	50.3± 6.1	31.9±51.3	3.4±1.1	8.3±1.4	ND	2.4±1.1
Dry cow	Feed	0.7±0.1	0.2±0.0	0.3±0.0	72.5± 5.3	8.8±1.02	1.1±0.1	3.7±1.8	ND	2.0±0.1
	Feces	1.5±0.1	0.2±0.1	0.7±0.1	68.3± 7.2	16.4± 6.0	2.2±0.5	7.2±0.4	ND	3.5±0.2
Dairy cow	Feed	0.9±0.1	0.6±0.0	0.4±0.0	115.1± 2.5	16.5± 0.9	0.8±0.1	6.0±0.5	ND	1.3±0.2
	Feces	2.1±0.1	0.3±0.1	0.8±0.1	117.3±29.1	19.5± 6.2	2.0±0.5	8.4±0.5	ND	2.5±0.2

¹⁾ Not detected.

질 함량은 사료내 광물질 함량의 변화와 비례하였다.

4. 성장단계별 수질오염물질 함량과 일일 두당 평균 수질오염물질 부하량

수질오염원인 pH, BOD, COD, SS, Ni의 젖소의 성장단계별 분과 뇨중 함량을 조사한 결과는 Table 8와 같다. 각 성장단계별 분과 뇨의 pH는 착유우에서 8.37과 6.68의 나타났으며, 건유우는 8.74과 8.16, 처녀우는 8.44과 8.32, 육성우는 8.31과 9.13로 범위를 나타냈다. 대체적으로 뇨의 pH가 분에 비하여 다소 낮은 경향을 나타내었다. 최¹⁹⁾의 보고에서는 착유우와 건유우 및 육성우의 분과 뇨의 pH는 성장단계별로는 큰 차이를 보이지 않았지만, 본 시험에서는 착유우의 뇨에서만 다소 높은 6.67을 나타내었으나, 대부분은 pH 8.0 이상의 알칼리성을 띤 분과 뇨를 배출함을 알 수 있었다.

분과 뇨내 생물학적 산소요구량(BOD₅)의 경우, 육성우에서는 7,591, 6,505 mg/L, 처녀우에서는 12,457, 8,964 mg/L 수준이었으며,

건유우에서는 9,742과 8,689 mg/L, 착유우에서는 31,988과 9,659 mg/L으로 착유우에서 가장 높은 생물학적 산소요구량을 나타내었다. 분과 뇨 간에는 대체로 분 중 함량이 높게 나타나는 경향을 보였다. 분뇨내 화학적 산소요구량(COD_{Mn})의 경우, 육성우에서는 55,404, 4,189 mg/L 수준을 보였고, 처녀우에서는 57,840, 6,936 mg/L 수준이었으며, 건유우에서는 56,071, 5,454 mg/L로 나타났으며, 착유우에서는 43,321, 6,005 mg/L로 높은 화학적 산소요구량을 나타내었다. 한편, 국립환경연구원¹³⁾의 보고에 의하면, 젖소의 분과 뇨의 BOD가 각각 20,821, 3,575 mg/L로 조사되었으며, 가축의 성장단계, 능력 및 환경에 따라 차이가 있지만 본 연구결과와 대체로 비슷한 농도를 나타내었다. 한편, 최 등²⁰⁾의 보고에서는 육성우의 분과 뇨내 BOD₅의 경우, 18,048, 5,434, COD_{Mn}는 각각 50,114, 6,550로 조사되어 본 연구와 다소 차이가 있었다. 이러한 결과 차이는 화학적 산소요구량인 경우, 분석시 과망간산칼륨(KMnO₄) 방법과 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇) 방법에 의한 분석차이 이거나, 또는 이전 연구와 비교하여 사료급

Table 8. Effects of the growth phase on pollutant contaminants of water manure (Mean±SD, mg/L)

Animals	pH		BOD ₅		COD _{Mn}		SS	
	Feces	Urine	Feces	Urine	Feces	Urine	Feces	Urine
Young cattle	8.3±0.6	9.1±0.11	7,591±2,179	6,505±4,036	55,404±10,945	4,189±1,188	8,900± 2,596	770±242
Heifer	8.4±0.1	8.3±0.13	12,457±1,817	8,964±1,559	57,840± 5,168	6,936± 903	14,000± 2,490	548± 85
Dry cow	8.7±0.2	8.2±0.11	9,742±1,130	8,689±1,213	56,071± 4,991	5,454± 705	5,878± 1,173	841±180
Dairy cow	8.4±0.2	6.7±0.08	31,988±2,908	9,659±1,105	43,321± 3,467	6,005± 631	133,333±22,697	1,691±196

여 형태에 의한 차이일 것으로 생각된다.

부유물질(SS)의 분과 뇨 중의 함량은 육성우에서는 8,900, 770 mg/L 수준을 보였고, 처녀우에서는 14,000, 548 mg/L 수준이었으며, 건유우에서는 5,878, 841 mg/L로 가장 낮게 나타났으며, 착유우에서는 133,333, 1,692 mg/L로 나타나 처녀우와 착유우의 분에서 가장 높은 부유물을 보였다. 분과 뇨 간에는 분에서 7~78배 정도 높은 경향을 보였다. 이는 최¹⁹⁾의 착유우, 건유우, 육성우의 분 중

부유물질 함량이 101,500, 87,333, 119,833 mg/L이었다는 보고와 비슷한 경향을 보였고, 뇨 중 COD_{Mn}는 436, 518, 825 mg/L이었다는 보고와 비슷한 함량을 보인 것이었다.

수질오염원인 BOD₅, COD_{Mn}, SS의 젓소의 성장단계별 일일 두당 평균 수질오염물질 부하량을 분석한 결과는 Table 9와 같다.

분과 뇨를 통한 BOD의 일일 두당 평균 부하량은 육성우에서는 분 91 g, 뇨 57 g, 합계 148g 이었고, 처녀우에서는 분 223±4.7 g, 뇨

Table 9. Effects of the growth phase on pollutant load of water in suspended solids (Mean±SD, g/head/day)

Animals	Average body weight (kg)	Manure production (kg/head)		BOD		
		Feces	Urine	Feces	Urine	Total
Young cattle	206.0±10.3	12.0±2.7	8.8±4.1	91± 5.9	57±16.5	148± 22.4
Heifer	413.3±21.9	17.9±2.6	11.6±3.1	223± 4.7	104± 4.8	327± 9.6
Dry cow	577.3±73.4	25.7±6.9	12.7±3.4	250± 7.8	110± 4.1	361±11.9
Milk cow	694.3±72.9	44.0±5.4	32.3±6.1	1,408±15.7	312± 6.7	1,719±22.4

Animals	COD			SS		
	Feces	Urine	Total	Feces	Urine	Total
Young cattle	665±29.6	37±4.9	702±34.4	107± 7.0	6.8±1.0	114± 8.0
Heifer	1,035±13.4	81±2.8	1,116±16.2	251± 6.5	6.4±0.3	257± 6.7
Dry cow	1,441±34.4	69±2.4	1,510±36.8	151± 8.1	10.7±0.6	162± 8.7
Milk cow	1,906±18.7	194±3.9	2,100±22.6	5,867±122.6	54.6±1.2	5,921±123.8

104±4.8 g, 계 327±9.6 g 수준이었으며, 건유우에서는 250 g, 뇨 110g, 계 361 g으로 나타났으며, 착유우에서는 분 1,408 g, 뇨 312 g, 계 1,719 g을 배출한 것으로 나타나, 착유우의 BOD 부하량이 가장 높게 나타났다.

분과 뇨를 통한 COD의 일일 두당 평균 부하량은 육성우에서는 분 665 g, 뇨 37 g, 계 702 g 이었고, 처녀우에서는 분 1,035 g, 뇨 81 g, 합계 1,116 g 수준이었으며, 건유우에서는 1,441 g, 뇨 69 g, 합계 1,510 g으로 나타났으며, 착유우에서는 분 1,906 g, 뇨 194 g, 합계 2,100 g을 배출한 것으로 나타나 착유우에서 가장 높은 COD 부하량을 나타내었다.

분과 뇨를 통한 부유물질(SS)의 일일 두당 평균 부하량은 육성우에서는 분 107 g, 뇨 6.8 g, 계 114 g 이었고, 처녀우에서는 분 251 g, 뇨 6.4 g, 합계 257 g 수준이었으며, 건유우에서는 151 g, 뇨 10.7 g, 합계 162 g으로 가장 낮게 나타났으며, 착유우에서는 분 5,867 g, 뇨 54.6 g, 합계 5,921 g을 배출한 것으로 나타나, 처녀우와 착유우의 부유물질 일일 두당 부하량이 가장 높은 것으로 조사되었다.

따라서 이러한 젖소의 성장단계별, 최대의 섭취 조건에서 배출되는 분뇨 배설량, 오염물질 및 비료성분을 파악함으로써, 국내에서 가축분뇨로 공급 가능한 비료 공급량과 농경지 비료수요량에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

젖소는 성장단계 및 생산단계별 사료 급여 및 사양 관리 방법을 다르게 하여 사육되고 있어, 이에 따라 사료섭취량, 음수량 및 분뇨 배설량과 특성이 달라질 수 있는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 이에 대한 정확한 자료가 조사되고 제시되지 않아 축산분뇨 정책을 수립하고 낙농농가가 적절하게 분뇨처리를 실시하도록 유도하는데 어려움이 있어왔다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 성장 단계와 생산 단계별로 젖소를 공시하여 사료섭취량, 음수량 및 분뇨 배설량과 분뇨 특성의 변화를 조사하였다. 시험 결과를 요약하면 다음과 같다. 사료와 물의 최대 섭취조건에서의 젖소의 평균 분뇨 발생량은 41.5 kg/두/일(분 24.9, 뇨 16.4 kg)이고 분뇨의 평균 수분함량은 각각 85.0% 과 93.9% 이었다. 젖소 분뇨의 BOD₅, COD, SS의 오염물질농도는 각각 분에서 15,444, 53,159, 40,528 mg/L이었고, 뇨에서 8,454, 1,116, 962 mg/L이었다. 그리고 분과 뇨를 통한 수질오염물질인 BOD₅, COD_{Mn}, SS의 일일부하량은 523, 1,416 및 1,025g 인 것으로 조사되었다. 또한, 비료성분인 N, P, K의 함량은 분 중에는 0.33, 0.49 및 0.20% 으로 나타났고, 뇨 중에는 1.02, 0.27, 1.03으로 나타났다. 광물질인 Ca, Na, Mg 함량은 1.56, 0.24, 0.69% 이었으며, 중금속물질인 Zn, Cu, Cr, Pb, As의 분중의 함량은 69.23, 19.14, 2.89, 7.73, 2.94 ppm 수준으로 조사되었다. 따라서 농가에서 젖소의 성장단계별 배출되는 분뇨를 파악함으로써 영양과 오염물질의 최적 균형을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. Adams, R. S. 1995. Calculating Drinking Water Intake for Lactating Cows. Dairy Reference Manual (NRAES-63). Ithaca, NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service.
2. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
3. Beede, D. K. 1991. Water for Dairy Cattle: Quality and Cooling Effects. Proceedings from the Southwest Nutrition and Management Conference. University of

- Arizona.
4. EPA. 2004. Common Manure Handling System for Dairy Production.<<http://www.epa.gov/agriculture/ag101/dairymanure.html>>.
 5. Hart, G. H. 1955. Climate stress in animal health, Texas.
 6. Linn, J. G. 1991. Water Quality for Dairy and Beef Cattle. Proceedings from the Four State Applied Nutrition Conference. Lacrosse, WI.
 7. Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R. and Uniwin, R. J. 1999. Heavy metal contents of livestock feed and animal manure in England and Wales. Bioresource Tech. 70:23-31.
 8. Quigley, J., James, III, R. E. and McGilliard, M. L. 1986. Dairy matter intake in dairy heifer. 2. Equation to predict intake of heifers under intensive management. J. Dairy Sci. 69:2863-2867.
 9. Safley, Jr. L., Westerman, M. P. W. and Barker, J. C. 1985. Fresh Dairy Manure Characteristics and Barnlot Nutrient Losses. Proceeding of the 5th Inter. Sym. on Agricultural Wastes, Chicago Illinois, pp. 191-199.
 10. Stalling, C. C., Kroll, G., Kelley, J. C. and McGilliard, M. L. 1985. A computer ration evaluation program for heifer, dry cows and lactating cows. J. Dairy Sci. 68:1015-1019.
 11. Westerman, P. W., Safley, Jr. L. M., Barker, J. C. and Chescheir, G. M. 1985. Available Nutrients in Livestock Waste. Proceeding of the 5th Inter. Sym. on Agricultural Waste, Chicago Illinois, pp. 295-307.
 12. 경상대 농업자원이용연구소. 1990. 경남 농업기술.
 13. 국립환경연구원. 1986. 축산폐기물 현황과 환경에 미치는 영향 연구. pp. 56-96.
 14. 농림수산식품부. 2008. 농림수산식품 주요통계.
 15. 농촌진흥청. 2000. 가축분뇨 발생량 및 주요성분 조사.
 16. 농촌진흥청. 2007. 가축분뇨 처리와 자원화. 표준영농교본-109(개정판).
 17. 농촌진흥청 축산기술연구소. 2001. 표준 사료분석방법
 18. 육종룡. 1993. 가축관리학. 가축환경관리. pp. 73-74.
 19. 최동윤. 2006. 젖소의 분뇨 및 착유폐수의 발생특성에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
 20. 최동윤, 광정훈, 박치호, 정광화, 김재환, 유용희, 양창범, 최홍림. 2006. 홀스타인 육성우의 계절별 분뇨 배설량 및 특성에 관한 연구. 축산시설환경학회지. 12:123-132.
 21. 최동윤, 광정훈, 박치호, 정광화, 김재환, 유용희, 양창범, 최홍림, 안희권. 2007. 착유우의 사료섭취량과 음수량이 산유량과 분뇨 배설량에 미치는 영향. 축산시설환경학회지. 13:21-28.
 22. 환경부. 1999. 사육두수 및 가축별배출원 단위. 환경부고시 제1999-109호.