

## 다양한 조사료 급여조건에서 한우 암소 경산우의 에너지분배 및 메탄배출량

오영균<sup>1</sup> · 김도형<sup>1</sup> · 문상호<sup>2</sup> · 박재현<sup>2</sup> · 남인식<sup>3</sup> · Arokiyaraj Selvaraj<sup>4</sup> · 김경훈<sup>4,5\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립축산과학원 영양생리팀, <sup>2</sup>건국대학교 식품생명과학부, <sup>3</sup>한경대학교 동물생명환경과학과,  
<sup>4</sup>서울대학교 그린바이오과학기술연구원, <sup>5</sup>서울대학교 국제농업기술대학원

## Energy Balance and Methane Production of Hanwoo Cows Fed Various Kind of Roughage

Young Kyoon Oh<sup>1</sup>, Do Hyung Kim<sup>1</sup>, Sang Ho Moon<sup>2</sup>, Jae Hyun Park<sup>2</sup>, In Sik Nam<sup>3</sup>, Selvaraj Arokiyaraj<sup>4</sup>  
and Kyoung Hoon Kim<sup>4,5\*</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, 441-706, Korea,

<sup>2</sup>School of Food Bioscience, Konkuk University, Chungju, 380-701, Korea,

<sup>3</sup>Department of Animal Life and Environment Science, Hankyung National University, Ansoong, 456-749, Korea,

<sup>4</sup>Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, 232-916, Korea,

<sup>5</sup>Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang, 232-916, Korea

### ABSTRACT

This experiment was conducted to determine methane production and emission factors for a range of roughage diets fed to Hanwoo cows at a level of maintenance energy requirement. Seven cows were fed mixed hay only, 12 cows were fed mixed hay containing 30~50% rice straw and 6 cows were fed a mixed hay diet supplemented with 1.0 kg of wheat bran. Each cow was placed in a metabolic crate for 10 consecutive days, including last 7 days for sampling of feces and urine. At the end of the sampling period, the cows were transferred to an open-circuit respiration chamber for 24 consecutive hours. Methane conversion rate (5.5~6.2%, mean value = 5.8%) and emission factor (33.6~38.6 kg/head/year, mean value = 35.2) were not significantly affected by the diets although the mixed hay only diet resulted in 11 and 15% higher respective rates than the other two. However, in light of the many assumptions that forage with good quality might reduce methane production, additional experiments should be required for participation in the greenhouse gas emission trading system.

(**Key words** : Hanwoo cow, Maintenance, Methane emission factor, Roughage sources)

### I. 서 론

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)에 보고된 3차 대한민국 국가보고서(2011, The Republic of Korea)에 따르면, 우리나라의 2009년 장내발효의 메탄(CH<sub>4</sub>) 배출량은 3.8백만 톤 CO<sub>2</sub>-eq이고, 국가 전체 온실가스의 0.64%에 해당한다. 에너지부분과 비교하면 지구 온난화의 원인에서 차지하는 비중은 적지만, 메탄에너지 손실이라는 섭취에너지 효율 관점에서도 장내발효 메탄 저감 연구는 꾸준히 진행되어 왔다.

우리나라는 2020년까지 국가 온실가스 배출 전망치(Business

As Usual, BAU) 대비 35%를 자발적으로 감축한다는 “농림수산식품분야 기후변화 대응 기본계획(2012~ 2020년)”을 확정·발표하였고, 이 목표를 달성하기 위해서 체계적인 관리에 들어갔으며, 2015년에는 온실가스 배출권 거래제가 본격 도입된다. 이와 연계하여 농업·농촌에서도 온실가스 감축실적을 거래할 수 있는 방법론을 만들고, 시범사업을 추진하고 있지만 축산분야 방법과 관련해서 배출계수 및 검증 방법 개발이 충분치 않아서 현재 사례를 찾아 볼 수 없다. 특히 장내발효 메탄 배출계수(emission factor, kg/head/year) 자료는 메탄배출량을 측정할 특수시설 의존적 성격 때문에 최근 국책기술개발사업으로 수행된 국립축산

\* Corresponding author : Kyoung Hoon Kim, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang, 232-916, Korea Tel: +82-33-339-5726, Fax: +82-33-339-5763, E-mail: khkim@snu.ac.kr

과학원의 연구결과 (RDA, 2013)에 한정되어 있다. 이러한 이유로 3차 국가보고서에서는 IPCC (1996)에서 제안된 배출계수 (emission factor, kg/head/year)를 사용하는 Tier 1 방법을 사용하고 있지만, 우리나라 가축의 품종과 성장 특성 그리고 사양단계별 세분류 등에 기초한 고유의 배출계수 자료 축적을 위해서 장기적인 연구 투자가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 한우 성빈우를 공시한 기존의 연구자료 (Thak et al., 1983)에서 메탄배출계수를 산출하기 위해서 풍건물기준 총 6~7 kg의 사료를 급여한, 혼합 목건초 단독 급여, 혼합 목건초 + 볏짚, 혼합 목건초 + 볏짚 + 밀기울 급여시험을 비교 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

Thak et al. (1983)의 대사실험 자료 중에서 양(+)의 에너지 균형 결과를 보여준 오차드그라스 (orchard grass) 위주의 혼합목건초 섭취 7두, 혼합목건초의 30~50%를 볏짚 (rice straw)으로 대체한 12두, 혼합목건초와 볏짚에 밀기울 (wheat bran) 1 kg 추가 급여한 6두, 총 25 개체의 대사실험 성적을 분석하였다. 대사실험 수행방법과 조사항목을 간단히 요약하면 다음과 같다. 한우 성빈우는 10일간 유지 수준의 해당 급여사료를 1일 2회 (09:30과 16:30) 균등 분할 급여하면서 대사물에 적응한 후에 7일간 오전 사료급여 전에 사료섭취량 조사와 분과 뇨를 매일 전량 채취하였고, 7일째 마지막 날에는 산소 소비량, 이산화탄소 및 메탄 발생량을 24시간 측정하기 위해 1기의 호흡챔버 (indirect respiratory chamber)에 순차적으로 수용하였다. 시험사료는 1일 2회 균등 분할 급여하였고, 볏짚은 절단기로 4~5 cm로 절단하여 급여하였다. 매일 수거한 분과 뇨는 동일 비율로 시료를 채취하여 혼합한 후 질소, 칼로리 분석용 시료만을 저장하였다.

통계분석은 SAS (2002)의 General Linear Model (GLM)

procedure를 이용하여 분산분석을 실시한 후, Duncan's multiple range test를 이용하여 유의수준 0.05 이하에서 검정하였다.

## III. 결과 및 고찰

혼합목건초 단독 급여구와 비교하여 나머지 두 처리구의 평균 건물섭취량은 약 11%, 15% 높았으나 통계적인 유의성은 없었고, gross energy 섭취량도 차이가 없었다 (Table 1, 2). 에너지 손실에서 가장 높은 비율을 차지하는 분과 체열 결과는 각각 처리간의 유의적인 차이 ( $p < 0.05$ )가 있었지만, 서로 상쇄되는 증감의 값을 보여 주었다. 이 결과는 가소화에너지 비율과 체열 손실 비율이 정(+)의 관계를 보여줌으로서 유지에너지 이상 급여 수준에서 사료섭취량이 증가하면서 에너지와 단백질 섭취량이 모두 증가하는 실험 조건의 Kim et al. (2004)의 결과와 같았지만, 사료섭취량이 증가하면서 단백질 섭취량은 변화 없이 에너지 섭취량만 증가하는 조건이었던 Patle and Mudgal (1975)의 결과와는 반대였다. 본 실험은 주 조사료인 혼합목건초의 질소 함량이 대사실험 회차별로 큰 차이가 있었지만 (Table 1), 처리 3이 평균 건물섭취량이 가장 높았고, 밀기울이 포함되어 있었기 때문에 Kim et al. (2004)의 실험과 같이 가소화에너지와 단백질 섭취량이 모두 증가했을 것으로 추정된다. 즉, 가소화에너지 비율과 체열 손실 비율의 관계는 사료섭취량이 증가 조건에서 단백질과 에너지 섭취량 비율에 의해 달라질 수 있다는 것을 시사하고 있다.

총 섭취에너지 중 메탄으로 손실된 에너지 비율을 메탄 전환율 (methane conversion rate, Ym)이라 하고 본 실험에서는 0.055~0.062 (평균 0.058)로 처리간 유의성이 없었고, 메탄배출계수 (emission factor, kg/head/year)는 33.6~38.6 (평균 35.2)이었다 (Table 3). 국내 연구결과에서 유일하게 찾아볼 수 있는 국립축산과학원의 한우 암소 시험결과를 보면 (RDA, 2013). 평균 체중이 150 kg인 한우 암소 6두와

Table 1. Live weight and feed intake of Hanwoo cow fed on various roughage sources

	Mixed hay alone (n=7)	Mixed hay + Rice straw <sup>1)</sup> (n=12)	Mixed hay + Rice straw + wheat bran <sup>2)</sup> (n=6)
Live body weight (kg)	384 ± 33	337 ± 21	338 ± 26
Dry matter intake (kg/d)			
Average (Max.~Min.)	4.8(5.3~4.0)	5.3(6.2~4.0)	6.1(6.3~5.3)
Nitrogen intake (g/d)			
Average (Max.~Min.)	92.4(66~120)	67.6(47~77)	88.7(74~98)

<sup>1)</sup> Mixed hay replaced with 30~50% rice straw, <sup>2)</sup> supplemented by 1.0 kg of wheat bran.

Table 2. Energy balance of Hanwoo cow fed on various roughage sources

	Mixed hay alone (n=7)	Mixed hay + Rice straw <sup>1)</sup> (n=12)	Mixed hay + Rice straw + wheat bran <sup>2)</sup> (n=6)	SEM
Gross energy intake (Mcal/d)	21.1	22.4	22.4	1.23
Feces (% GE)	52.9 <sup>a</sup>	49.9 <sup>b</sup>	46.9 <sup>c</sup>	0.83
Urine	1.8	1.4	1.8	0.15
Methane	5.9	5.5	6.2	0.42
Heat production	33.1 <sup>b</sup>	35.4 <sup>ab</sup>	37.5 <sup>a</sup>	1.02
Balance	6.4	7.8	7.5	0.96

<sup>1)</sup> Mixed hay replaced with 30~50% rice straw, <sup>2)</sup> supplemented by 1.0 kg of wheat bran.  
Means with different superscript in the same row are different ( $p < 0.05$ ).

Table 3. Methane production by Hanwoo cow fed on various roughage sources

	Mixed hay alone (n=7)	Mixed hay + Rice straw <sup>1)</sup> (n=12)	Mixed hay + Rice straw + wheat bran <sup>2)</sup> (n=6)	SEM
Conversion rate (Ym)	0.058	0.055	0.062	0.004
CH <sub>4</sub> (kg/yr)	33.7	33.6	38.6	2.87
g CH <sub>4</sub> /kg DMI	19.0	17.4	20.2	1.15

<sup>1)</sup> Mixed hay replaced with 30~50% rice straw, <sup>2)</sup> supplemented by 1.0 kg of wheat bran.

199 kg인 한우 암소 6두에게 볏짚 50%와 배합사료 50%의 사료를 각각 1일 0.3 kg와 0.5 kg 증체 목표 (RDA, 2012)에 맞추어 급여하였고, 각각의 메탄 전변율은 0.059, 0.069 그리고 메탄배출계수는 25.5와 38.5이었다. 본 실험의 공시축 평균체중은 RDA(2013)과 비교하면 2.3배와 1.8배 높고, 조사료 위주의 평균 건물섭취량도 50%, 14% 높았지만, 199 kg 암소보다도 약 9% 낮고 또한 평균 메탄 전변율도 가장 낮았던 이유는 대사체중당 에너지 섭취량이 유지 수준을 조금 상회하는 정도였기 때문으로 판단된다. 본 실험의 평균 축적 에너지 비율은 총 섭취에너지의 7.4%로 RDA (2013) 실험 결과 (약 25%)와 비교하면 30% 수준이었다.

한우 암소 이외에 Seol et al. (2011)이 보고한 한우 거세우 180 kg (건물섭취량 3.9 kg)의 실험결과는 메탄배출계수 28~32이었고, 약 610 kg의 거세우 실험 (Seol et al., 2012)에서는 43~50을 보고하였다. 이상의 결과들이 지금까지 국내 보고서와 학회지에서 찾아볼 수 있는 모든 한우 메탄배출계수 실험결과이기 때문에, 우리나라 한우 고유의 메탄배출계수 확정 (Tier 3 방법)을 위해서는 국제적 수준에서 전문가들의 검토를 통과할 수 있는 정밀한 연구 결과 축적이 요구된다. 이러한 이유로 UNFCCC에 제출할 우리나라 3차 국가보고서 (The Republic of Korea, 2011)에서는 IPCC

(1996) Tier 1 방법의 제시된 값 (default value)인 장내발효 메탄배출계수 47을 한우의 성별, 성장단계별 구분 없이 한우 전체 두수에 곱하여 배출량을 산출하였다. 그러나 IPCC (2006)은 비육우에게 Tier 2나 Tier 3 방법 적용을 권장하기 때문에 장기적인 관점에서 국가적인 연구투자가 요구된다.

앞서 분석한 한우 암소와 거세우 자료에서의 평균 메탄 전변율 값은 0.04~0.07의 범위였다. Tier 2에서는 메탄전변율이 에너지섭취량 자료와 함께 메탄배출계수 산출에 이용되는 핵심 자료이다. IPCC (1996)에서는 유지 정미에너지와 생산 정미에너지를 구하는 회귀식을 이용하여 최종적으로 총섭취에너지를 구하는 방법을 제시하면서 메탄전변율 default value를 사용하도록 하고 있다. 따라서 이 방법은 메탄전변율 보다는 정미에너지 회귀식에 이용되는 섭취사료의 정미에너지 함량, 생체중, 일당증체량 등이 더 크게 메탄배출계수에 영향을 준다. Lee and Lee (2003)는 이 방법을 적용하면서 메탄전변율은 IPCC가 제시하는 0.06 (비육우만 0.04)을 사용하여 한우와 젖소의 메탄배출계수 유도하였다. 그 결과, 1세 미만의 한우 송아지와 성빈우 메탄배출계수는 각각 39.2와 49.0이었고, RDA (2013) 결과인 199 kg 실험결과 38.5와는 유사하였으나, 성빈우를 이용한

Table 4. Methane emission factor and conversion rate of Hanwoo from other experiments

	Cow			Steers <sup>3)</sup>	
	growing <sup>1)</sup>	heifer <sup>1)</sup>	mature <sup>2)</sup>	growing	fattening
Methane emission factor (kg/head/yr)	26	38	35	30	76.5
Methane conversion rate	0.059	0.069	0.069	0.060	0.045

<sup>1)</sup> Seot al. (2011, 2012), <sup>2)</sup> Current experiment, <sup>3)</sup> RDA(2013).

본 실험 결과보다는 높았다.

2006년의 IPCC 자료에서는 착유우와 함께 저질조사료 또는 방목조건에서의 기타 소들에게는 조금 높아진 메탄전변율 0.065를, 그리고 집약적인 관리를 하는 비육우에게는 조금 낮은 0.03을 제시하고 있다. 본 실험을 포함한 현재까지의 한우 실험결과를 보면 (Table 4), 비육 단계의 한우 거세우 메탄배출계수는 가장 높지만, 메탄전변율은 가장 낮다. 한우 거세우는 비육단계에서 배합사료 섭취량은 점차 증가하면서 조사료 특히 볏짚의 섭취량은 점차 감소하기 때문이다. IPCC (2006)의 집약적 관리 비육우가 한우 거세 비육우보다 메탄전변율이 낮은 이유는 feedlot에서의 농후사료 단기급여 때문으로 판단된다. 그러나 육성기 한우는 농후사료를 체중의 약 1.7% 정도로 제한하면서 최대의 조사료 섭취량을 유도하기 때문에, 암소 육성우 보다는 조금 높은 메탄배출계수를 보여주고 있지만, 메탄전변율은 비슷한 수준을 보여주고 있다. 성간 또는 성장 단계별로 우리나라의 사료급여체계를 기초로 판단할 때, 이들 결과는 타당성이 있다고 사료된다.

우리나라는 녹색성장기본법에 근거하여 부문별로 설정된 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 2015년부터 배출권거래제도가 시행된다. 이에 따라 농업부분에서는 농가의 자발적 참여와 감축을 유도하기 위해 농업탄소상쇄제도 시범사업을 진행하고 있지만, 축산부분에서는 아직 사례를 찾아볼 수 없다. 축산부분 특히 반추가축 장내발효 부문에서 메탄을 저감할 수 있는 기술 투입 전·후의 메탄배출량, 입증 가능한 자료를 통해 산정할 수 있는 방법론이 개발된다면 축산농가에게 메탄은 새로운 소득원이 될 수 있다. 이를 위해서도 해당 방법론에 적용할 수 있는 배출계수 개발은 지속적으로 추진되어야 할 과제이다.

#### IV. 요약

본 연구는 다양한 사료들을 유지수준에서 섭취한 한우 암소 경산우의 에너지 대사 시험의 결과로부터 섭취에너지 균형과 메탄배출계수를 구하였다. 오차드그라스(orchard grass) 위주의 혼합목건초 섭취 7두, 혼합목건초의 30~50%

를 볏짚으로 대체한 12두, 혼합목건초와 볏짚에 밀기울(wheat bran) 1 kg 추가급여한 6두, 총 25 개체의 대사실험 성적을 분석하였다. 실험축은 10일간 대사실에서 개체별로 각각의 실험사료 적응 및 7일간 분·뇨 시료채취 후, indirect respiratory chamber 1대에 교대로 수용되어 1일간 호흡대사 실험이 이루어졌다. 혼합목건초 단독 급여구와 비교하여 나머지 두 처리구의 평균 건물섭취량은 약 11%, 15% 높았으나 통계적인 유의성은 없었고, gross energy (GE) 섭취량도 차이가 없었다. 총 섭취에너지 중 메탄으로 손실된 에너지 비율인 메탄전변율(methane conversion rate, Ym)과 메탄배출계수(emission factor, kg/head/year)도 각각 0.055~0.062 (평균 0.058)와 33.6~38.6(평균 35.2) 범위로 처리간 유의성이 없었다. 본 실험에서는 혼합목건초를 볏짚으로 대체하거나 또는 밀기울 추가급여에 의한 메탄발생량 차이가 없었으나, 메탄발생량을 줄일 수 있는 것으로 알려진 양질 조사료 급여효과 연구는 축산현장의 온실가스 감축 사업 참여가 가능한 분야이기 때문에 추가 연구들을 통해 시급히 증명되어야 한다고 판단된다.

#### V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : PJ010168)의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### VI. REFERENCES

- IPCC (Intergovernmental panel on climate change). 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Workbook. Module 4 Agriculture.
- IPCC (Intergovernmental panel on climate change). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. vol. 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- Kim, H.H., Oh, Y.G., Kim, W., Lee, S.C., Shin, K.J. and Jeon, B.T. 2004. determination of energy requirements for maintenance in Hanwoo steers. Journal of Animal Science & Technology (Kor). 46:193-200.
- Lee, H.J. and Lee, S.C. 2003. National methane inventory relevant to

- livestock enteric fermentation. *Journal of Animal Science & Technology (Kor.)*.45:997-1006.
- Patle, B.R and Mudgal, V.V. 1975. Maintenance requirements for energy in cross-bred cattle. *British Journal of Nutrition*. 33:127-139.
- RDA, 2012. Korean feeding standard for Hanwoo. pp 26-27.
- RDA, 2013. Final Report on determination of methane emission factor from enteric fermentation of large ruminant animal.
- Seol, Y.J., Kim, K.H., Baek, Y.C., Lee, S.C., Ok, J.W., Lee, K.Y., Hong, S.K., Park, K.H., Choi, C.W., Lee, S.S. and Oh, Y.K. 2011. Comparison of methane production in Korean native cattle (Hanwoo) fed different grain sources. *Journal of Animal Science & Technology*. 53:161-169.
- Seol, Y.J., Kim, K.H., Baek, Y.C., Lee, S.C., Ok, J.W., Lee, K.Y., Choi, C.W., Lee, S.S. and Oh, Y.K. 2012. Effect of grain sources on the ruminal methane production on Hanwoo steers. *Journal of Animal Science & Technology*. 54:15-22.
- Thak, T.Y., Kang, T.H. and Kim, K.S. 1983. Studies on maintenance requirements of energy and protein for Korean native cows by metabolism trials. *Korean Journal of Animal Nutrition & Feedstuffs*. 25:117-137.
- The Republic of Korea, 2011. Korea's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. pp. 34-35.
- (Received October 09, 2014 / Revised November 01, 2014 / Accepted November 05, 2014)