

곡류 사료원별 육성기 한우 장내발효에 의한 메탄가스 배출량 비교

설용주¹ · 김경훈¹ · 백열창¹ · 이상철¹ · 옥지운¹ · 이강연¹ · 홍성구¹ · 박규현¹ · 최창원² · 이성실³ · 오영균^{1*}

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²대구대학교 동물자원학과, ³경상대학교 동물생명과학과

Comparison of Methane Production in Korean Native Cattle (Hanwoo) Fed Different Grain Sources

Yong Joo Seol¹, Kyoung Hoon Kim¹, Youl Chang Baek¹, Sang Cheol Lee¹, Ji Woun Ok¹, Kang Yeon Lee¹, Seong Koo Hong¹,
Kyu Hyun Park¹, Chang Weon Choi², Sung Sil Lee³ and Young Kyoon Oh^{1*}

¹National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea, ²Dept. of Animal resources, Daegu University, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-714, Korea, ³Dept. of Animal Science, Gyungsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

ABSTRACT

Methane production during anaerobic fermentation in the rumen represents an energy loss to the host animal and induces emissions of greenhouse gases in the environment. Our study focused on comparison in methane production from growing Korean native steers fed different grain sources. Six Hanwoo steers (BW = 180.6 ± 3.1 kg) were fed, on a DM basis (TDN 2.80 kg), 40% timothy and 60% barley concentrate (Barley) or corn concentrate (Corn), respectively, based on the Korean Feeding Standards. Each period lasted 18 days including a 14-day adaptation and a 4-day measuring times. The steers were in the head hood chamber system (one cattle per chamber) during each measuring time to measure heat and methane production per day. Different grain sources did not affect digestibilities of dry matter, crude protein, crude fiber, crude fat, NDF, ADF and nitrogen-free extract. The mean methane concentrations per day were 202.0 and 177.1 ppm for Barley and Corn, respectively. Methane emission averaged 86.8 and 77.7 g/day for Barley and Corn, respectively. Methane emission factor by maintenance energy requirement for the growing steers fed barley based concentrate was higher than the steers fed corn based concentrate (Barley vs. Corn, 31.7 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹ vs. 28.4 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹). Thus, methane conversion rate was 0.065 (6.5%) and 0.055 (5.5%) for Barley and Corn, respectively.

(Key words : Barley, Corn, Methane, Rumen)

서 론

전 세계적으로 기후 변화에 대응하기 위해 세계적으로 기후협약을 체결하여 각 나라마다 온실가스 감축을 의무화하고 있으며 친환경 산업 육성 등 다양한 정책을 추진하고 있다. 지구온난화에 영향을 미치는 대표적인 온실 가스는 이산화탄소와 메탄인데 축산분야에 있어서는 메탄가스 배출이 문제시 되고 있다. 메탄의 지구온난화에 미치는 영향은 이산화탄소의 21배 이상이고, 반추동물에 의해 방출되는 메탄의 양은 총 메탄발생량의 23% 이상을 차지한다 (IPCC, 2001). 메탄가스는 모든 가축으로부터 연간 8천만 톤 이상이 발생되고, 이중 반추동물에 의해서 대부분이 발생되며 반추동물 중에서도 소가 75%를 차지하고 나머지는 물소, 면양 그리고 산양으로부터 발생된다 (Crutzen 등, 1986).

또한 메탄가스는 반추가축의 장내 발효에 의해서 생성되어 섭취 에너지 중 2~12%의 손실을 가져오는데 (Johnson 등, 2000), 이전의 다른 연구들에서 메탄가스에 의한 에너지 손실 범위가 보리 위주의 사료 급여시험에서 6.5~12%, 옥수수 위주의 사료를 급여한 연구에서 2~4%로 보고된 바 있다 (Hashizume 등, 1968; Whitelaw 등, 1984). 이 에너지 손실 범위는 섭취 사료의 급여수준과 조성 그리고 섭취사료의 소화율에 크게 영향을 받는데 (Johnson과 Johnson 1995; Moss 등, 2000; Benchaar 등, 2001). 섭취한 사료의 조사료와 농후사료의 비율에 따른 반추위 정체시간의 차이에 의해서 메탄생성대사에 영향을 미칠 수 있다 (Blaxter, 1962; Matsuyama 등, 2000). Standard Tables of Feed Composition in Korea (2007)에 의하면 보리의 경우 TND 74.18%, 조단백질 11.62%, 조섬유 4.66%이고 옥수수는 TND

* Corresponding author : Young Kyoon Oh, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea. Tel: 031-290-1665, Fax: 031-290-1660, E-mail: oh665@korea.kr

76.72%, 조단백질 8.25%, 조섬유 2.32%로 구성 영양성분의 차이가 반추위 pH 변화, 휘발성지방산생성량과 가스 발생량에서 차이를 가져온다고 보고하였다 (Beauchemin과 McGinn, 2005).

따라서 본 연구는 곡류사료원에 따른 메탄 배출량의 차이를 비교하기 위하여 한우의 에너지원으로 가장 일반적으로 사용하는 곡물 사료원인 보리와 옥수수 주체사료를 급여하여 육성기 거세한우의 메탄 배출량을 비교 측정하였다.

재료 및 방법

1. 공시가축 및 시험장소

본 시험은 생후 6개월 령의 육성기 거세한우 6두 (180.6 ± 3.1 kg)를 공시하여 농촌진흥청 국립축산과학원 가축 대사실험동에서 수행하였다.

2. 공시사료 및 시험축의 사양관리

공시 사료는 보리와 옥수수 위주의 농후사료 60%와 티모시 건초 40% 비율로 급여하였고 TDN 함량은 71.4%, CP는 14.6%이었다. 시험은 Korean Feeding Standard for Hanwoo(2007)에 따라 각각 일당 증체량 0.7kg/일에 필요한 각각의 TDN 함량 2.80 kg의 공시사료를 섭취할 수 있도록 하는 tripled 2 × 2 Latin square design으로 수행하였다. 시험기간은 사료 적응기간 2주, 분뇨 채취 및 호흡가스 측정 4일로 하여 한 period당 18일이 소요되었다. 단 가스 측정은 4일 중 격일로 총 이틀간 측정하였다. 사료는 오전 9시와 5시에 2회로 균등분할 급여하였고, 물과 칼슘, 인 공급용 린칼 블록은 자유 섭취케 하였다. 사육기에 따른 배합사료의 원료사료 배합 비율과 배합사료, 티모시의 화학 조성분은 Table 1과 2에 나타내었다.

3. 호흡가스 측정 방법

후드타입 호흡 챔버는 공기가 새지 않게 밀폐되어 챔버로부터 O₂, CO₂와 CH₄를 분석할 수 있는 분석시스템으로 구성되어 있으며, 후드타입 호흡 챔버의 샘플링 가스의 이동 경로 및 주요 측정장비를 Fig. 1과 Table 3과 같다. 챔버의 대사틀 치수는 230 cm L × 140 cm H × 160 cm W이고, 후드타입 챔버는 115 cm L × 100 cm H × 140 cm W 사이즈로 제작되었다. 사료조와 급수구가 내부에 위치하고 투명한 아크릴로 밀봉되어 있어 챔버 내에서 실험축의 상태 및 활동을 관찰 할 수가 있다. 호흡 가스측정은 후드타입 호흡 챔버 환경에서 충분한 적응기간을 갖게 한 후 후드타입 호흡 챔버에 입식하여 호흡 가스량을 측정한다.

(1) 후드타입 호흡 챔버 Recovery test

Recovery 시험은 챔버 내에 표준 메탄가스(순도, 99.995%)를

Table 1. Ingredient composition of experimental diets

Items	Barley-based diet	Corn-based diet
	%, as fed basis	
Timothy	39.56	39.56
Corn	—	31.55
Barley	35.70	—
Corn gluten feed	15.91	12.26
Rapeseed meal	7.03	14.57
Limestone	1.32	1.57
Salt	0.22	0.23
Vitamin and mineral ¹⁾	0.26	0.26
Total	100	100
TDN ²⁾ (%)	71.82	71.42
CP ³⁾ (%)	13.91	14.63
ME ⁴⁾ (kcal/kg)	2,276	2,213

¹⁾ Vitamin and mineral provided following nutrients per kg of diet: vitamin A: 2,650,000 IU; vitamin D3: 530,000 IU; vitamin E: 1,050 IU; B.H.T: 10,000 mg; Fe: 13,200 mg; Mn: 4,400 mg; Zn: 4,400 mg.

²⁾ Total digestible nutrient.

³⁾ Crude protein.

⁴⁾ Calculated ME values.

Table 2. Chemical composition of experimental feed

Chemical composition	Barley-based concentrates	Corn-based concentrates	Timothy
Dry matter, %	86.12	87.30	92.09
Crude protein, %	17.40	18.23	9.44
Crude ash, %	8.19	8.51	6.99
NDF ¹⁾ , %	28.10	26.24	67.59
ADF ²⁾ , %	5.35	7.58	40.84

¹⁾ Neutral detergent fiber.

²⁾ Acid detergent fiber.

SET Regulator dial (Kofloc, Japan)을 이용하여 시간당 1.0~1.5L (표준 메탄가스/h)를 흘려주어 10시간 후 메탄가스를 측정하였다 (Williams 등, 2007).

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{\text{Liter chamber output}}{\text{Liter methane released}} \times 100$$

(2) 후드타입 호흡 챔버 Calibration

칼리브레이션은 0~21% 산소 센스 (Columbus Instruments,

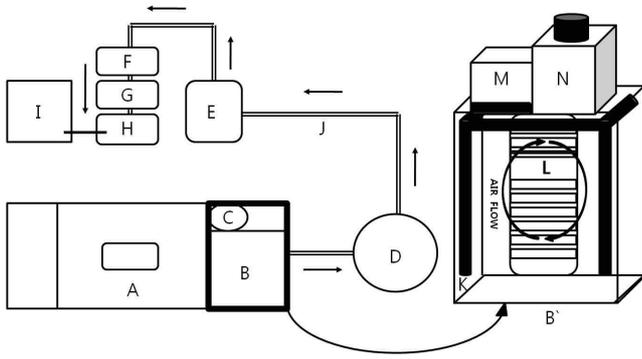


Fig. 1. Schematic diagram of the ventilated hood-type respiration chamber system. The black arrows indicate the direction of air flow through the system. A, Metabolic cage; B, feed trough, B', Hood-type chamber; C, Water trough; D, Flow meter and diaphragm pump; E, System sample pump; F, Carbon Dioxide Sensor; G, Oxygen Sensor; H, Methane Sensor; I, Date Collecting computer; J, Sample gas stream tube (Ø 0.2cm); K, Main gas stream pipe (Ø 5.5cm); L, Loose-fitting collar; M, Dehumidifier; N, Air filter cage.

OHIO, USA), 0~0.75% 이산화탄소 센스(Columbus Instruments, OHIO, USA), 0~430 ppm 메탄 센스(Horiba Ltd, Kyoto, JAPAN)를 표준 혼합가스를 이용하여 calibration을 실시하였다.

Table 3. Principal components of the ventilated hood-type respiration chamber system

Quantity	Description	Manufacturer
1	CI-Bus Serial interface	Columbus Instruments ¹⁾
1	Carbon Dioxide Sensor	Columbus Instruments ¹⁾
1	Oxygen Sensor	Columbus Instruments ¹⁾
1	Methane Sensor	Horiba Ltd ²⁾
1	System sample pump	Columbus Instruments ¹⁾
1	Expansion Interface	Columbus Instruments ¹⁾

¹⁾ Columbus Instruments, 950 N. Hague Ave., Columbus, OH 43204, UAS.

²⁾ Horiba Ltd, 2, Miyano Higashi-cho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto 601-8510, Japan.

(3) 메탄가스 측정

메탄배출계수 산출을 위한 메탄가스 측정은 국립 축산과학원 가축대사실험동내 후드타입 호흡 챔버 메탄가스 센서(Horiba Ltd, Kyoto, Japan)를 이용하여 1일 호흡가스 측정, 1일 휴식의 사이클로 반복 측정하였다. 메탄가스 배출량을 측정하기 위해서는 기압과

온도 및 airflow를 이용하여 산출한다.

$$\text{Methane out (g)} = \text{methane output (L)} / 22.4 \times 16$$

4. 분과 뇨 시료 채취

분·뇨는 본 실험 기간 중 전량 채취하였는데, 뇨 시료 채취 시 4N의 황산 300 ml을 매일 아침 뇨 채집용기에 넣어 암모니아테질소의 휘발을 방지하였다. 분은 1일 총 배설량을 정량한 후 혼합기에서 15~20분간 교반하여 10%량을 채취, -15℃ 냉동실에 보관하거나 48시간동안 건조시켜 분석하였다. 뇨는 배설량의 10%를 채취하여 냉동실에 보관하거나 분석을 실시하였다. 사료, 분뇨의 일반성분은 AOAC (1990) 법에 의하여 분석하였다.

5. 통계분석

본 시험에서 곡물사료별로 급여하여 얻어진 결과는 SAS package (2002) GLM(general linear model) procedure 이용하여 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 후드식 호흡 챔버 Recovery test

후드식 호흡 챔버 recovery test 결과는 Table 4와 같다. Recovery test는 10시간에 걸쳐 10리터의 메탄가스 일정량을 흘려 주었고, 챔버 별 메탄가스 검출 결과는 99.7~100%로 거의 전량이 검출되었다. Recovery test간 외부로 빠져나가는 가스는 거의 없었으며 챔버 간 차이도 없는 것으로 확인되었다. 실험동물의 챔버 내 환경 적응에 관해서 Williams 등(2007)의 보고에 의하면 호흡 챔버 시스템을 이용하는 실험의 경우 실험동물과 함께 많은 시간을 호흡 챔버 내에서 같이 하는 것이 무엇보다 중요하고 공식측의 챔버 내외 환경 적응, 관리자의 사양 관리에 많은 노력을 필요로 한다.

Table 4. Results of methane recovery check in the ventilated hood-type respiration chamber system

	Methane Released, Liter	Methane Recovered, Liter	Recovery, %
Chamber 1	10.00	9.92	99.2
Chamber 2	10.00	10.63	100.6
Chamber 3	10.00	10.12	100.1
Chamber 4	10.00	10.00	100.0

2. 사료섭취량 및 소화율

보리와 옥수수 위주의 농후사료를 급여한 사료섭취량과 소화율을

Table 5. Effect of different grain feeds on nutrient intake of dry matter, crude protein, crude fiber, crude ash and nitrogen free extract in growing Hanwoo steers

Items ¹⁾	Grain feeds ²⁾		SEM ³⁾	P value ⁴⁾
	Barley	Corn		
Body weight (kg)	183.3	178.0	9.424	0.944
Intake (g/day)				
DM	3924.6 ^a	3880.9 ^b	6.581	<.0001
CP	517.9 ^b	542.0 ^a	3.639	<.0001
EE	71.7 ^b	106.2 ^a	5.194	<.0001
CF	679.2 ^b	725.9 ^a	7.040	<.0001
CA	250.3 ^b	270.5 ^a	7.027	<.0001
NFE	2715.5 ^a	2481.8 ^b	35.254	<.0001
NDF	1841.7 ^a	1773.9 ^b	10.218	<.0001
ADF	823.5 ^b	872.7 ^a	7.427	<.0001

¹⁾ DM: dry matter; CP: crude protein; EE: ether extract; CF: crude fiber; CA: crude ash; NFE: nitrogen free extract.

²⁾ Barley and Corn-based feed : TDN intake 2.80 kg/day.

³⁾ Standard error of means.

⁴⁾ The effect of grain source.

^{ab} Means with different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

Table 6. Effect of different grain feeds on nutrient digestibility of experimental diets in growing Hanwoo steers

Items ¹⁾	Grain feeds ²⁾		SEM ³⁾	P value ⁴⁾
	Barley	Corn		
DM	72.91	70.88	0.815	0.206
CP	67.97	69.62	0.981	0.426
EE	70.35	79.29	2.843	0.126
CF	60.82	59.96	1.561	0.760
CA	32.74	38.57	3.331	0.373
NFE	82.44	80.04	1.968	0.507
NDF	64.51	59.62	1.704	0.161
ADF	54.34	49.02	2.022	0.191

¹⁾ DM: dry matter; CP: crude protein; EE: ether extract; CF: crude fiber; CA: crude ash; NFE: nitrogen free extract; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber.

²⁾ Barley and Corn-based feed : TDN intake 2.80 kg/day.

³⁾ Standard error of means.

⁴⁾ The effect of grain source.

각각 Table 5와 6에 나타내었다. 급여한 보리와 옥수수 위주의 급여한 시험사료는 전량 섭취하였고 건물 섭취량은 보리 처리구에서 3.92 kg, 옥수수 처리구는 3.88 kg으로 보리처리구가 유의적으로 섭취량이 많았다(P<0.05). 건물 섭취량 대비 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분 섭취량은 옥수수 처리구에서 유의적으로 섭취량이 높았다(P<0.05). 소화율은 일반적으로 건물섭취량의 증가가 반추위 통과속도를 높이기 때문에 소화율이 낮아지는 원인이 되고 급여사

료의 구성분성에 의해서 소화율이 달라진다. 본 시험에서는 조사료와 농후사료의 급여 비율과 급여량이 같았고 보리와 옥수수의 영양소적 구성성분 섭취량에서는 차이가 있으나 DM, CF, NFE, NDF와 ADF 소화율에서 유의적인 차이는 나타나지 않았다. DM 섭취량 중의 CP 섭취량 비율은 보리와 옥수수 급여구 13.2와 13.9% 수준으로 나타났다. 육용우의 제 1위 내에서의 사료의 소화와 발효를 최대한 높이기 위해서는 건물 중의 CP 함량은 11% 혹은 그

이상이 필요하다고 한다(Hungate, 1966). 사료 중 CP 함량은 12% 전후일 때 사료의 섭취량과 에너지의 이용효율이 최대로 나타났고 Korean Feeding Standard for Hanwoo (National Institute of Animal Science, RDA, 2007)에서도 육성기 때 15~16%를 권장하고 있다.

3. 에너지 균형

보리와 옥수수 위주의 사료를 급여했을 때 평균 대사체중 당 총 에너지 섭취량을 Table 7에 나타내었다. 보리와 옥수수 급여구 섭취에너지는 대사체중 당 총에너지 섭취량은 보리 337.6 kcal/BW^{0.75}와 옥수수 337.2 kcal/BW^{0.75}이었다. 총 섭취에너지 중 분으로 손실된 에너지는 보리 26.5%와 옥수수 29.6% 수준이었고, 뇨로 손실된 에너지는 보리 2.8%와 옥수수 2.3% 수준이었다. 또한 메탄가스에 의한 에너지 손실도 보리 6.5%와 옥수수 6.1% 수준이었고 체열에 의한 손실량도 보리 32.4%와 옥수수 34.0% 이었다. 거세한우 유지에너지 요구량 결정한 Kim 등 (2004)의 실험결과에 의하면 섭취에너지에 대한 손실에너지의 비율이 분에 의한 손실은 약 41%, 뇨는 1.4%에서 0.91%까지 감소하는 경향이 나타났고 메탄가스에 의한 손실은 9%에서 5%까지 감소하였는데 본 연구에서는 분에 의한 에너지 손실이 각각 26.5와 29.6%로 41% 보단 낮았다. 이는 건물 소화율 56%, 조단백질 69%, 조섬유 56%로 Kim 등 (2004)의 결과와 건물 소화율 72%, 조단백질 70%와 조섬유 60%로 본 연구의 평균 소화율이 높았는데 이는 분에 의한 에너지 손실이 적은 이유가 섭취 사료의 소화율이 높기 때문이다. 뇨와 메탄가스에 의한 에너지 손실은 농후사료와 조사료의 급여비율과 조사료로 이용된 벧짚과 티모시의 차이가 반추위내 소화율이나 섬유소 등의 영양성분에 의한 차이로 생각된다. 체열발생량 비율은 총 에너지 섭취량 중 보리와 옥수수 급여구에서 각각 32.1과 34.1%

로 나타났고 두 사료 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 체열 발생에 의한 에너지 손실에서 Chung 등(1992)은 사료섭취량이 증가할수록 체열발생량 증가한다고 하였고, 농후사료급여 비율이 높아질 때도 체열발생에 의한 에너지 손실이 높아지는 것으로 보고되고 있다. 본 시험에서는 사료급여량이나 조사료와 농후사료 비율이 동일하기 때문에 차이가 나지 않았다. 체열발생량은 섭취 시간, 사료의 섬유질 함량과도 밀접한 관계가 있다고 보고되었다(Blach, 1971; Osuji 등, 1975).

위의 실험결과로부터 Table 8에 DE, ME 섭취량과 에너지 전환율을 계산하여 나타내었다. 보리와 옥수수 섭취에 따른 대사율 (ME/GE)은 보리 0.64 (ME/GE), 옥수수 0.62 (ME/GE) 이었다. 본 실험에서는 에너지 급여수준과 사료급여 수준의 증가에 따른 대사율의 변화는 보리나 옥수수 모두든 처리구에서 차이가 없었다. 농후사료로 60%, 조사료 40% 급여한 Lee 등 (2003) 실험에서는 조사료원에 따른 소화율 차이로 대사율 (ME/GE) 0.52~0.65의 변화를 보였다. Ørskov 등 (1969)은 대사율이 소화율에 많은 영향을 받는다고 하였는데 본 실험에서도 에너지 수준이나 사료급여량에 따른 소화율의 차이가 없었기 때문에 대사율 (ME/GE)의 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

4. 호흡가스 발생량 비교

보리와 옥수수 위주 사료급여에 따른 산소소비량, 이산화탄소와 메탄가스의 발생량을 Table 9에 나타내었다. 본 실험에서는 보리와 옥수수의 급여에 따른 에너지 섭취 수준과 사료급여량이 산소소비량, 이산화탄소와 메탄가스 발생량에 대한 결과를 얻었다. 호흡가스에 의해 배출되는 산소, 이산화탄소와 메탄생성량은 보리위주 농후사료를 급여했을 때 산소 소모량 1.88 kg/day, 이산화탄소와 메탄 생성량은 2.71 kg/day와 86.8 g/day이고, 옥수수 위주의 농후사

Table 7. Effect of different grain feeds on energy balance of growing Hanwoo steers

Items	Grain feeds ¹⁾		SEM ²⁾	P value ³⁾
	Barley	Corn		
Energy Intake, kcal/BW ^{0.75}	337.6	337.2	4.201	0.955
Energy losses, kcal/BW ^{0.75}				
Feces	89.4(26.5) ⁴⁾	99.7(29.6)	3.701	0.178
Urine	9.5 (2.8)	7.9(2.3)	0.991	0.526
Methane	22.0 (6.5)	20.5(6.1)	1.078	0.508
Heat production	109.4(32.4)	114.8(34.0)	5.664	0.497
Energy balance	107.3	94.3	5.932	0.331

1) Barley and Corn-based feed : TDN intake 2.80 kg/day.
 2) Standard error of means.
 3) The effect of grain source.
 4) Values in parenthesis represent percentage of intake energy.

Table 8. Effect of different grain feeds on energy intake and efficiency of energy utilization in growing Hanwoo steers

Items	Grain feeds ¹⁾		SEM ²⁾	P value ³⁾
	Barley	Corn		
Digested energy, kcal/BW ^{0.75}	248.20	237.40	4.100	0.208
Metabolizable energy, kcal/BW ^{0.75}	216.70	209.10	5.058	0.486
DE/GE ⁴⁾	1.43	1.37	0.019	0.137
ME/GE ⁵⁾	0.64	0.62	0.012	0.479
ME/DE ⁶⁾	0.87	0.88	0.007	0.575

¹⁾ Barley and Corn-based feed : TDN intake 2.80 kg/day.

²⁾ Standard error of means.

³⁾ The effect of grain source.

⁴⁾ Digestible energy/gross energy.

⁵⁾ Metabolizable energy/gross energy.

⁶⁾ Metabolizable energy/digestible energy.

Table 9. Relationships between oxygen consumption, carbon dioxide and methane emissions from Hanwoo fed barley-based or corn-based diet during feeding period

Item	Grain feeds ¹⁾		SEM ²⁾	P value ³⁾
	Barley	Corn		
Oxygen, g / day	1889.5 ^a	1676.4 ^b	56.674	0.024
, kg / day	1.9 ^a	1.7 ^b	0.056	0.025
Carbon dioxide, g / day	2710.9 ^a	2228.4 ^b	95.799	0.005
, kg / day	2.7 ^a	2.2 ^b	0.096	0.005
Methane, g / day	86.8	77.7	4.076	0.197
, kg/ head ⁻¹ yr ⁻¹	31.7	28.4	1.488	0.197

¹⁾ Barley and Corn-based feed : TDN intake 2.80 kg/day.

²⁾ Standard error of means.

³⁾ The effect of grain source.

^{ab} Means with different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

료를 급여했을 때의 산소 소모량 1.68 kg/day, 이산화탄소와 메탄 생성량은 2.23 kg/day와 77.7 g/day이었다. 육성기에서는 보리위주 농후사료와 옥수수 위주 농후사료를 급여하였을 때 산소 소모량이 거의 같았고, 보리위주의 농후사료를 급여하였을 때 이산화탄소 발생량은 유의적으로 높았고 (P<0.05), 메탄 발생량은 높은 경향이 나타났다 (P = 0.19).

본 연구에서는 옥수수 위주의 농후사료를 급여했을 때 보다 보리 위주의 농후사료를 급여했을 때 산소소비량, 이산화탄소와 메탄가스 생성량이 높았는데 이는 반추위내 발효 정상차이에서 그 원인을 찾을 수 있다. 대표적인 에너지 사료인 보리와 옥수수 위주의 사료를 급여했을 때 반추위내 발효 정상에서 차이를 보이는데 일반적으로 옥수수 위주의 사료를 급여했을 때 반추위내 pH가 더 낮아지고

총 휘발성지방산 생성량과 아세트산 생성량이 증가에 (Beauchemin과 McGinn 등, 2005) 따른 산의 생성으로 pH가 6 이하로 낮아져 메탄생성 미생물의 생육에 영향을 미쳐 메탄생성이 감소하는 결과를 가져온다 (Van Kessel과 Russell, 1996). Standard Tables of Feed Composition in Korea (2007)에 의하면 보리의 조섬유 함량이 4.66%로 옥수수의 2.32%보다 약 두 배정도 높는데, 사료를 급여했을 때 급여 사료의 단백질이나 조섬유 등의 구성성분의 차이가 반추위내 정체 시간 (Yang 등, 1997) 및 소화속도에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 영양소별 사료 섭취량에서는 차이가 있었으나 사료섭취량 차이의 의한 영향보다는 두 사료의 영양소적 구성성분의 차이가 반추위내의 정체시간이 소화속도의 차이를 가져와 메탄 발생량에 영향을 미친 것으로 사료된다. 하루 동안 메탄 농도

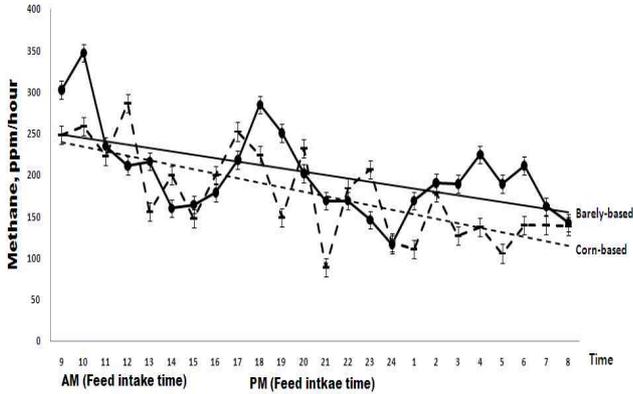


Fig. 2. Changes in daily methane concentration in the rumen of Hanwoo fed barley-based or corn-based diet during feeding period.

의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 육성기 때 보리와 옥수수 위주의 농후사료 급여구에서 각각 보리 202.0 ppm, 옥수수 177.1 ppm으로 사료급여 후 메탄농도가 증가하다가 일정 수준으로 유지되는 패턴을 보였다. 특히 반추가축에 의한 호흡, 트림에 의한 메탄배출은 반추가축의 특이한 소화 시스템 내에서 사료의 발효에 의해서 생성되고, 일반적으로 더 많은 사료의 섭취는 더 많은 메탄을 배출하게 된다.

3. 메탄 배출계수 산출

보리와 옥수수 위주의 농후사료 급여에 따른 메탄 배출계수를 산출하기 위해 육성기 한우에서 산출된 메탄 배출계수를 Table 9와 Fig. 3에 나타내었다. 육성기의 메탄배출계수는 보리와 옥수수 위주의 농후사료 급여 시 31.7 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹과 28.4 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹로 나타났다. 보리 위주의 농후사료를 급여했을 때 옥수수 위주의 농후사료를 급여했을 때 보다 연간 약 10.4% 정도 반추위 메탄발생량이 높은 것으로 나타났다. 국제 유엔 산하 기후변화 단체인 IPCC가 정한 아시아의 메탄배출계수를 살펴보면 축사에서 길러진 450 kg 성숙한 수컷의 경우 59 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹, 325 kg 암소의 경우는 50 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹이다. 본 시험과 비슷한 체중대인 200 kg 송아지는 사육 형태가 목장이나 방목의 경우 메탄 배출 계수가 36 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹로 본 실험의 보리와 옥수수 위주의 사료를 급여 했을 때 보다 높았다. 정확한 메탄 배출 계수를 산정하기 위해서는 개체 체중, 일당증체량, 사육 환경, 사료의 소화률(DE%)과 메탄 전환 계수(Ym) 등 모든 조건 하에서 산정이 이루어지다(IPCC, 2006). 그러나 조건들은 각 나라별로 차이가 있기 때문에 메탄 배출계수는 각 나라의 경제수준, 가축 능력, 사양 환경과 사양 기술수준에 따라 배출계수의 기준을 달리 적용된다. 아시아 지역의 적은 규모 경우 젓소 61 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹, 축사에서 길러진 경우 47 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹이다. 그러나 기업형 축산경영형태인 북아메리카 지역의 메탄 배출계수는

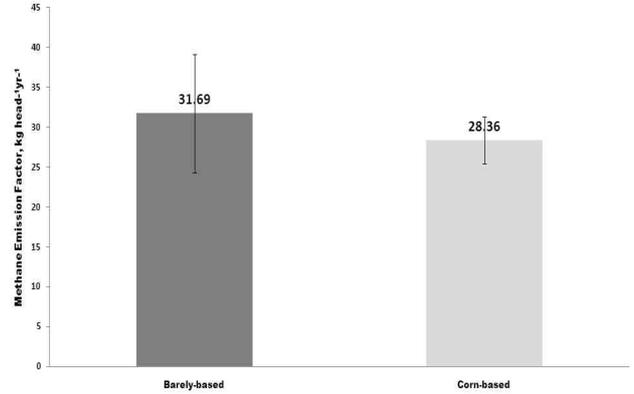


Fig. 3. Changes in methane emission factor in the rumen of Hanwoo fed barley-based or corn-based diet during feeding period.

젓소가 121 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹, 체중 800 kg의 성숙한 수소 81 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹, 체중 185 kg의 목장에서 방목할 경우 48 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹로 상대적으로 배출계수가 높다(IPCC, 2006). 현재의 결과에 의한 한우의 메탄배출계수는 아시아 지역의 IPCC 기준 조건을 충분히 만족하지만 우리나라의 한우 생산력 및 사양기술 발달에 따른 우리나라 고유의 메탄 배출계수를 산정하여야 할 것이다. 그래서 정확한 메탄 배출계수 산출을 위해 다수의 공시축 및 측정기간을 확대하여 메탄배출 계수 자료축적과 더불어 Tier2와 Tier3 방법 적용으로 산출 방법의 정확성을 높여야 할 것이다. 그리고 반추가축을 제외한 대표적인 가축의 한해 메탄배출량은 돼지 4.8 kg, 닭 0.26 kg로 보고되었다(Monteny 등, 2001).

4. 메탄전환계수 산출

육성기 한우에 보리와 옥수수 위주의 농후사료 급여에 따른 메탄 배출계수를 Table 10에 나타내었다. 메탄전환계수는 섭취한 사료 에너지가 메탄가스 발생에 의한 손실율이 보리 급여구에서 6.5% (0.065 Ym) 이었고, 옥수수 급여구에서 5.5% (0.055 Ym)로 메탄 가스에 의한 손실율에서 유의적인 차이가 없었다. Beauchemin과 McGinn (2005)의 보고에 의하면 육성기 때 70% 보리와 옥수수 사일리지, 25% steam-rolled 보리와 옥수수 급여 시 메탄 발생에 의한 손실율이 각각 7.28과 7.55%로 보고되었다. Beauchemin과 McGinn (2005) 결과는 각 처리구별 건물사료 섭취량에서 보리와 옥수수 각각 5.34와 6.94 kg으로 섭취량이 1 kg 이상 차이에 의해서 메탄 전환율의 차이가 나타났으나 본 연구에서는 건물섭취량 보다는 급여 사료의 구성 성분이 반추위에서의 발효 차이가 메탄전환 계수의 차이로 나타난 것으로 사료된다. 메탄가스는 동물의 소화 시스템 내에서 사료의 발효에 생성된다. 일반적으로 메탄가스가 반추가축의 장내 발효에 의해서 생성되어 2~12%까지 섭취 에너지의 손실을 가져온다(Johnson 등, 2000). IPCC에서 제시하고 있는 소에 적용할 default 메탄전환계수(Ym) 값은 개발도상국에는 사육방

Table 10. Effects of different grain feeds on methane production and methane conversion rate in growing Hanwoo steers fed barley-based or corn-based diet during feeding period

Items	Grain feeds ¹⁾		SEM ²⁾	P value ³⁾
	Barley	Corn		
GE intake (Mcal/d)	16.9 ^a	16.4 ^b	0.104	<.0001
Methane production (g/d)	86.8	77.7	4.075	0.197
Methane energy (Mcal/d)	1.1	0.9	0.047	0.174
Methane conversion rate (Ym)	0.065	0.055	0.002	0.507

¹⁾ Barley and Corn-based feed : TDN intake 2.80 kg/day.

²⁾ Standard error of means.

³⁾ The effect of grain source.

^{ab} Means with different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

식의 차이는 있지만 0.06~0.07%의 높은 범위이고, 선진국은 농후 사료중심의 feedlot 방식으로 0.03%가 적용되고 그 밖의 소는 0.06%를 사용하도록 하고 있다(IPCC, 2001).

요 약

본 연구는 거세 한우의 육성기 기간에 각각 보리와 옥수수 위주의 농후사료를 급여하여 발생하는 메탄가스를 측정하는데 그 목적이 있다. 공시 사료는 보리와 옥수수 위주의 농후사료 60%와 티모시 건초 40% 비율로 급여하였고 TDN 함량은 71.4%, CP는 14.6% 이었다. 시험은 Korean Feeding Standard for Hanwoo (2007)에 따라 각각 일당 증체량 0.7kg/일에 필요한 각각의 TDN 량 2.80 kg의 공시사료를 섭취할 수 있도록 하는 tripled 2×2 Latin square design으로 수행하였다. 사료 및 환경 적응기간 총 14일과 분·뇨 가스 측정기간 4일로 하여 진행하였고, 메탄가스는 후드식 챔버에서 입식되어 하루 동안 측정하였다.

건물 섭취량은 보리 처리구에서 3.9 kg, 옥수수 처리구는 3.8 kg으로 보리처리구가 유의적으로 섭취량이 높았다(P<0.05). 보리와 옥수수 위주의 사료를 급여했을 때 사료의 특성상 보리가 옥수수보다 반추위 내 정체 시간 및 소화속도에서 차이가 있었으나 DM, CF, NFE, NDF와 ADF 소화율의 차이는 없었다. 보리와 옥수수 급여구 섭취에너지는 대사체중 당 총에너지 섭취량은 각각 337.6 kcal/BW^{0.75}와 337.2 kcal/BW^{0.75}이었다. 총 섭취에너지 중 분으로 손실된 에너지는 보리 26.5%와 옥수수 29.6% 수준이었고, 뇨로 손실된 에너지는 보리 2.8%와 옥수수 2.3% 수준이었다. 체열에 의한 손실량도 보리와 옥수수 급여구 각각 32.4%와 34.0% 이었다. 보리와 옥수수 섭취에 따른 대사율(ME/GE)은 보리 0.64 (ME/GE), 옥수수 0.62 (ME/GE) 이었다. 호흡가스에 의해 발생하는 산소, 이산화탄소와 메탄생성량은 보리위주 농후사료를 급여했을 때 산소 소모량 1.89 kg/day, 이산화탄소와 메탄 생성량은 2.71 kg/day와 86.8 g/day이고, 옥수수 위주의 농후사료를 급여했을 때의 산소 소모량 1.68 kg/day, 이산화탄소와 메탄 생성량은 2.23

kg/day와 77.7 g/day 이었다. 육성기에서는 보리위주 농후사료와 옥수수위주 농후사료를 급여하였을 때 산소 소모량이 거의 같았고, 보리위주의 농후사료를 급여하였을 때 이산화탄소와 메탄생성량이 각각 19.2%와 8.2% 높았다. 메탄배출계수는 보리와 옥수수 위주의 농후사료 급여 시 31.7 CH₄ head⁻¹ yr⁻¹과 28.4 kg CH₄ head⁻¹ yr⁻¹로 나타났다. 메탄전환계수는 섭취한 사료에 대한 에너지 손실율이 보리는 보리 급여구에서 6.5%(0.065 Ym) 이었고, 옥수수 급여구에서 5.5%(0.055 Ym)으로 나타났다.

본 연구는 후드식 챔버를 이용하여 급여사료와 급여 에너지 차이가 사양시기별 한우에 의해서 배출되는 메탄가스를 측정하여 메탄 배출계수와 메탄전환계수를 예측하여 국가 온실가스 인벤토리 작성에 그 목적이 있다.

(주제어: 보리, 옥수수, 메탄, 반추위)

인 용 문 헌

A. O. A. C. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.

Balch, C. C. 1971. Proposal to use time spent for chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristics of roughages. Brit. J. Nutr. 26:383-392.

Beauchemin and McGinn, S. M. 2005. Methane emission from feedlot cattle fed barley or corn diets.

Benchaar, C., Pomar, C. and Chiquette, J. 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modeling approach. Can. J. Anim. Sci. 81:563-574.

Blaxter, K. L. 1962. The energy metabolism of ruminants. Charles C Thomas, Springfield, IL.

Chung, Y. H., Lee, S. C., Kang, S. W., Chung, C. S. and Chung, C. Y. 1992. Estimation of energy and protein requirements for Korean Native Heifers. I. Estimation of energy and protein

- requirements for Korean native heifer by metabolism trial. *Korean J. Anim. Sci.* 34:293-300.
- Crutzen, P. J., Aselmann, I. and Seiler, W. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna and humans. *Tellus.* 388:271-284.
- Hashizume, T., Morimoto, H., Haryu, T., Itch, M. and Tanabe, S. 1968. Utilization of the energy of fattening rations containing ground or steam-rolled barley by Japanese Black Breed cattle. Pages 261-271 in *Energy Metabolism of Farm Animals*, EAAP Publ. No. 12. K. L. Blaxter, J. Kielanowski, and G. Thorbek, ed. Oriel Press, Newcastle upon Tyne, U.K.
- Hungate, R. E. 1966. *The rumen and its microbes.* Academic Press, New York.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis.* [http : // www.grida.no / climate / ipcc_tar / wg1 / index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm) Accessed Apr.11, 2007.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. 2006. *Agriculture, Forestry and Other Land Use.*
- Johnson, D. E., Johnson, K. A., Ward, G. M. and Branine, M. E. 2000. Ruminants and other animals, Chapter 8. Pages 112-133 in *Atmospheric Methane: Its Role in the Global Environment.* M. A. K. Khalil, ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Johnson, K. A. and Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492.
- Kim, K. H., Oh, Y. G., Kim, W., Lee, S. C., Shin, K. J. and Jeon, B.T. 2004. Determination of energy requirement for maintenance in Hanwoo steers. *J. Anim. Sci. & Technol. (kor)* 46(2):193-200.
- Lee, S. C., Thak, T. Y., Kim, K. H. and Yoon, S. G. 2003. Metabolizable energy requirement of growing Hanwoo bulls for maintenance by energy equilibrium method. *J. Anim. Sci. & Technol. (kor).* 45:123-130.
- Matsuyama, H., Horiguchi, K., Takahashi, T., Ishida, M., Ando, S. and Nishida, T. 2000. Control of methane production from expiratory gas by ruminal dosing with mechanical stimulating goods in holstein steer. Page 215 in *Proc. 9th Congr. Asian-australas. Assoc. Anim. Prod. Soc. and 23rd Biennial Conf. Aust. Soc. Anim. Prod., Sydney, Australia.* Asian-australas J. Anim. Sci., Seoul, Korea.
- Monteny, G. J., Groenestein, C. M. and Hilhost, M. A. 2001. Interaction and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 60, 123-132.
- Moss, A. R., Jouany, J. P. and Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49:321-253.
- National Institute of Animal Science, RDA. 2007. *Korean Feeding Standard for Hanwoo.*
- National Institute of Animal Science, RDA. 2007. *Standard Tables of Feed Composition in Korea.*
- Ørskov, E. R., Fracer, C. and Kay, R. N. B. 1969. Dietary factors influencing digestion of starch in the rumen and small and large intestine of early weaned lambs. *Brit. J. Nutr.* 23:2217-226.
- Osuji, P. O., Gordon, J. G. and Webster, A, J. F. 1975. Energy exchanges associated with eating and ruminantion in sheep given grass diets of different physical forms. *Brit. J. Nutr.* 34:59-71.
- SAS User's Guide: Statistics, Version 9.1 Edition. 2002. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Van Kessel, J. A. S. and Russell, J. B. 1996. The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 20:205-210.
- Whitelaw, F. G., Eadie, J. M., Bruce, L. A. and Shand, W. J. 1984. Methane formation in faunated and ciliate-free cattle and its relationship with rumen volatile fatty acid proportions. *Br. J. Nutr.* 52:261-275.
- Williams, Y. J., Klein, L. and Wright, A. -D. G. 2007. A protocol for the operation of open-circuit chambers for measuring methane output in sheep.
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., Koenig, K. M. and Rode, L. M. 1997. Comparison of hull-less barley, barley, or corn for lactating cows: Effects on extent of digestion and milk production *J. Dairy Sci.* 80:2475-2486.

(Received Oct. 19, 2010; Revised Mar. 7, 2011; Accepted Mar. 10, 2011)