

한우 거세우의 반추위메탄가스 생성량에 대한 곡류사료원의 영향

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

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²대구대학교 동물자원학과, ³경상대학교 동물생명과학과

Effect of Grain Sources on the Ruminant Methane Production in Hanwoo Steers

Yong Joo Seol¹, Kyoung Hoon Kim¹, Youl Chang Baek¹, Sang Cheol Lee¹, Ji Woun Ok¹, Kang Yeon Lee¹,
Chang Weon Choi², Sung Sil Lee³ and Young Kyooh Oh^{1*}

¹National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea, ²Dept. of Animal Resources, Daegu University, Korea,
³Department of Animal Science, Gyeongsang National University, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of grain sources on the ruminant methane production in Hanwoo steers. Six Hanwoo steers (BW = 614.4 ± 8.3 kg) were fed, on a DM basis (TDN 6.91 kg), 10% rice straw and 90% barley or corn based concentrate, respectively, according to Korean Feeding Standards (Hanwoo). Each period lasted 18 days including a 14-day adaptation and a 4-day measuring period. The steers were in the ventilated hood-type respiration chamber system (one cattle per chamber) during each measuring period to measure heat and methane production for 1 day. Nutrient intake and digestibility were not affected by steer fed grain sources. Methane concentration was not affected by steer fed either barley or corn-based concentrate, respectively (0.022% vs. 0.025%). Methane production was greater by steers fed corn than those fed barley (119.3 g/day vs. 139.4 g/day). This result indicated that methane emission factor by maintenance energy requirement for the late fattening Hanwoo fed corn was higher than the steers fed barley (43.6 kg/head/year) vs. corn (50.9 kg/head/year). Methane conversion rate (Ym) was 0.04 Ym and 0.05 Ym for barley and corn, respectively.

(Key words : Barley, Corn, Methane)

서 론

전 세계적으로 기후 변화에 대응하기 위해 기후협약을 체결하여 각 나라마다 온실가스 감축을 의무화하고 있으며 친환경 산업 육성 등 다양한 정책을 추진하고 있다. 이 중 메탄은 강력한 온실가스 중 하나로 축산업 및 다양한 농업분야에서 직접적으로 대기에 방출된다. 메탄가스는 반추동물에 의해서도 발생되며 반추동물 중에서도 소가 75%를 차지하고 나머지는 물소, 면양 그리고 산양으로부터 발생된다(Crutzen 등, 1986). 반추가축에 의한 메탄가스배출은 가축의 품종, 반추위액의 pH, 반추위내 초산과 프로피온산의 생성 비율, 메탄생성 미생물의 수, 섭취 사료의 조성 및 급여수준, 소화율, 선진국과 개발도상국간의 사육 환경 및 사양 기술 차에 의해서 영향을 받는다(Johnson and Johnson 1995; Moss 등, 2000; Benchaar 등, 2001; Sejian 등, 2010). 메탄가스는 섭취 에너지의 손실 경로 중 하나로 총 섭취에너지 중 2~12%의 에너지 손실을 가져오고(Johnson 등, 2000), 곡물사료 위주의 사료급여 시 총 섭취

에너지 중 메탄가스의 손실비율을 3.5%로 평가하였다(Houghton 등, 1996). 이전의 다른 연구들에서 메탄가스에 의한 에너지 손실 범위가 보리 위주의 사료 급여시점에서 6.5~12%, 옥수수 위주의 사료를 급여한 연구에서 2~4%로 보고된 바 있다(Hashizume 등, 1968; Whitelaw 등, 1984).

반추동물에서 생성되는 메탄가스는 섭취에너지의 손실뿐만 아니라 지구온난화에도 영향을 미쳐 유엔 산하 기후변화 단체인 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는 대륙별 가축의 메탄배출 기준을 제시하고 있다(IPCC, 2006). 메탄배출계수는 개체 체중, 일당 증체량, 사육 상황, 우유 생산, 노동, 임신, 사료의 소화 가능성(DE%)과 메탄전환계수(Ym) 등의 각 조건을 고려하여 산정되고 각 나라의 경제수준, 가축 능력, 사양 기술 등 축산 저변환경의 차이도 배출계수 산정에 영향을 미친다. 우리나라에서도 가축의 장내발효에 의한 국가단위 메탄 배출통계 관한 연구(Lee 등, 2003)를 통해서 메탄배출계수를 추정하였지만 우리나라 축종과 사양 환경에 맞는 실제 측정 데이터는 아직까지 없으므로

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

비육기 한우의 사양 환경에 맞는 메탄배출계수 산출 연구가 필요로 한다.

따라서 본 연구는 가장 일반적으로 사용하는 한우의 에너지원 곡물사료원인 옥수수나 보리 위주의 농후사료를 급여하여 비육기 거세한우의 메탄 배출량을 비교 측정하였다.

재료 및 방법

1. 공시가축 및 시험장소

본 시험은 생후 24개월령의 비육후기 거세한우 6두(614.4 ± 8.3 kg)를 공시하여 농촌진흥청 국립축산과학원 가축대사실험실에서 수행하였다.

2. 공시사료 및 시험축의 사양관리

공시 사료는 보리나 옥수수 위주의 농후사료 90%와 볏짚 10% 비율로 급여하였고 TDN 함량은 71.77%, CP는 12.71%이었다. 사료급여량은 농촌진흥청(2007)의 한국 사양표준 한우 편에 따라 각각 일당 증체량 0.7 kg/일에 필요한 TDN량 6.91kg의 공시사료를 섭취할 수 있도록 제한 급여하였고, 시험설계는 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 2회 측정하였다. 사료는 오전 9시와 오후 5시에 2회로 균등분할 급여하였고, 물과 깔짚, 인 공급용 린칼 블록은 자유 섭취케 하였다. 사육기에 따른 배합사료의 원료사료 배합 비율과 배합사료, 볏짚의 영양소함량은 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

3. 호흡가스 측정 방법

호흡챔버(Hood type)는 외 내부 공기가 새거나 유입되지 않게 밀폐되어 챔버로부터 O₂, CO₂와 CH₄를 분석할 수 있는 시스템으로 구성되어 있으며, 호흡챔버내 가스의 이동경로 및 주요 측정 장비는 각각 Fig. 1과 Table 3에 나타내었다. 챔버의 대사 틀은 230 cm (L) × 140 cm (H) × 160 cm (W)이며, 호흡챔버는 115 cm (L) × 100 cm (H) × 140 cm (W)로 투명한 아크릴 밀봉되어 있어 챔버

Table 1. Formulas Composition of experimental diets

Items	Barley based diet	Corn based diet
Ingredient composition		
%, as fed basis		
Concentrate (%)		
Corn	—	50.40
Barley	55.80	—
Soybean hull	20.70	9.90
Wheat bran	—	10.80
Corn gluten feed	8.60	11.20
Soybean meal	—	5.60
Corn gluten meal	2.70	—
Avatec Mix ¹⁾	0.60	0.60
Vitamin mix ¹⁾	1.60	1.60
Rice straw	10.00	10.00
Total	100	100
Total digestible nutrient ²⁾	71.71	71.77
Crude protein ³⁾	13.33	12.71

¹⁾ Avatec mix provided following nutrients per kg of diet : Lasalocid sodium: 150 g, calcium carbonate: 410 g.

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, 3)} Calculated values.

내 실험축의 상태 및 사료 섭취 등과 같은 내부 활동을 관찰 할 수가 있게 하였다. 공시축은 후드타입 호흡챔버 환경에서 충분한 적응기간을 갖게 한 후, 호흡챔버에 입식시켜 호흡 가스 량을 측정 하였다.

(1) 호흡챔버 Recovery test

Recovery 시험은 챔버 내에 표준 메탄가스(순도, 99.995%)를 시간당 1.0~1.5L(표준 메탄가스/h)을 흘려주어 10시간 후 메탄가스를 측정하였다(Williams 등, 2007). 각 챔버 당 Recovery (%) 결과는 Table 4와 같다.

Table 2. Chemical composition of experimental diets

Chemical composition	Concentrates barley-based	Concentrates corn-based	Rice straw
Dry matter, % DM	89.21	88.77	89.50
Crude protein, % DM	18.16	17.78	5.99
Crude ash, % DM	3.55	5.17	12.72
Neutral detergent fiber, % DM	46.17	26.40	69.64
Acid detergent fiber, % DM	18.89	12.33	54.58

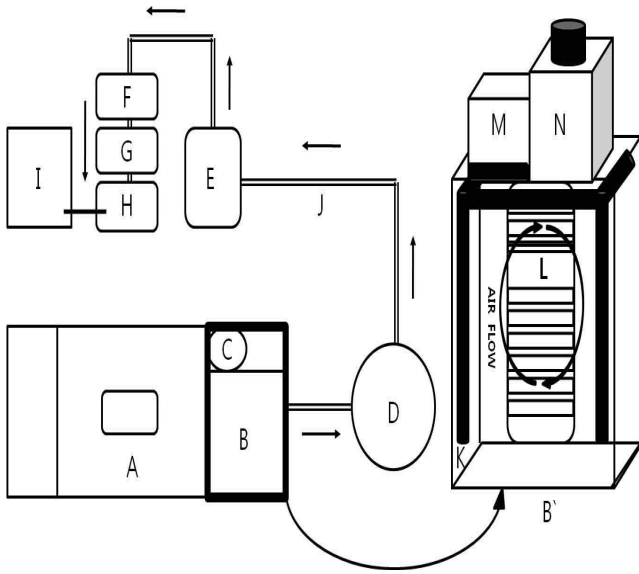


Fig. 1. Schematic diagram of the ventilated hood-type respiration chamber system. The black arrows indicate the direction of air flow through the system. A, Metabolic cage; B, Feed trough, B', Hood-type chamber; C, Water trough; D, Flow meter and diaphragm pump; E, System sample pump; F, Carbon dioxide sensor; G, Oxygen sensor; H, Methane sensor; I, Data 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.

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	Oxygen sensor	Columbus instruments
1	Methane sensor	Horiba Ltd ²⁾
1	System sample pump	Columbus instruments
1	Expansion interface	Columbus instruments

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

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

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

(2) 호흡챔버 Calibration

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

	Methane Released, L	Methane Recovered, L	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

Calibration은 0~21% 산소 센스(Columbus Instruments, Ohio, USA), 0~0.75% 이산화탄소 센스(Columbus Instruments, Ohio, USA), 0~430 ppm 메탄 센스(Horiba Ltd, Kyoto, JAPAN)를 표준 혼합가스를 이용하여 실시하였다.

(3) 메탄가스 측정

메탄배출계수 산출을 위한 메탄가스 측정은 국립 축산과학원 가축대사실험동내 호흡챔버(Hood type)의 메탄가스 센서(Horiba Ltd, Kyoto, JAPAN)를 이용하여 1일 호흡가스 측정, 1일 휴식의 사이클로 반복하였다. 메탄전환계수(Methane conversion rate, Ym)는 섭취한 총에너지 중에서 메탄생성으로 전환된 에너지 비율을 나타낸다(Table 8).

4. 분과 뇨 시료 채취

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

5. 통계분석

본 시험에서 사료섭취 수준별로 급여하여 얻어진 결과의 통계분석은 SAS package (2002)에 포함된 일반선형모형(GLM procedure)을 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 처리 평균간 비교를 위해 Duncan (1955)의 다중 검정 법으로 비교하였고, 95% 신뢰수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 호흡챔버 Recovery test

호흡챔버(Hood type) recovery test는 10시간에 걸쳐 표준메탄 가스를 일정하게 흘려줬으며 메탄가스 검출 결과는 99.7~100%로

챔버 간 차이가 없었다. 그 결과 후드타입 호흡챔버는 내·외부에서 가스가 유입되거나 빠져나가지 않는다는 것을 확인하였다. 후드타입 호흡챔버 시스템의 특징상 두부 부분만 챔버에 입식되어 있어 향문으로 배출되어 나가는 메탄을 측정할 수가 없다. 향문으로 배출되는 메탄가스 발생량에 대해서 Murray 등(1976)의 보고에 의하면 총 발생되는 메탄발생량 95~100% 중 87%가 반추위에서 트림을 통해서 배출되고 나머지 7~13%는 하부 소화 장기를 통해서 생성되는데 그 중 89%가 다시 폐를 통해 호흡작용으로 배출되며 나머지는 최종 향문을 통해서 배출된다. 따라서 전체 발생량에 대하여 향문으로 배출되는 메탄가스는 실제로 0.7% 최대 1.4%에 불과하다. 그리고 실험동물의 챔버 내 환경 적응에 관련해서 호흡챔버 시스템을 이용하는 실험의 경우 호흡챔버 내에서 실험동물과 함께 많은 시간을 보내는 것이 시험의 진행을 위해서 무엇보다 중요하다(Williams 등, 2007). 따라서 본 시험에 사용하는 한우는 일정기간 지속적으로 호흡챔버 시스템에 적응시켜 시험에 공시하였다.

2. 영양소 급여량 및 소화율

비육기 한우에게 보리나 옥수수 위주의 시험사료를 급여하였을 때 시험사료의 건물섭취량과 영양소 섭취량을 Table 5에 나타내었다. 사료는 일일 TDN 섭취량이 6.9 kg이 유지될 수 있도록 제한 급여하였다. 건물섭취량은 보리나 옥수수 위주의 시험사료 처리 구에서 차이가 없었으나, 조사료를 제외한 농후사료에서 보리가 62%, 옥수수가 56%로 구성되어 있어 보리와 옥수수의 영양성분의 차이에 의해서 조단백질, 조섬유, 가용무질소물, 유기물,

Neutral detergent fiber와 Acid detergent fiber 섭취량에서는 보리 위주의 농후사료 급여구가 유의적으로 높았고 (p<0.05), 조지방과 조회분 섭취량은 옥수수 위주의 농후사료 급여구가 유의적으로 높았다(p<0.05). 섭취 사료에 대한 각 영양소별 소화율은 Table 6에 나타내었다. 보리나 옥수수 위주의 농후사료 급여구간 건물, 조단백질, 조지방, 조회분 소화율에서 차이가 없었으나 조섬유, Neutral detergent fiber와 Acid detergent fiber 소화율은 보리 위주의 농후사료 급여 구에서 유의적으로 높았다(p<0.05). 보리 위주의 농후사료 급여 구는 옥수수 위주의 농후사료 급여구보다 반추위에서 체제시간(Matsuyama 등, 2000)이 길어져 사료 내 섬유질 소화율이 높은 것으로 사료된다.

3. 호흡가스 발생량

호흡가스 발생량을 측정하기 위해 보리나 옥수수 위주의 농후사료를 TDN 섭취량 기준 6.91 kg으로 제한 급여하여 일일 메탄 농도 및 호흡 가스 발생량을 Fig. 2와 Table 7에 나타내었다. 일일 메탄 농도의 변화는 보리와 옥수수 위주의 농후사료 급여 구는 각각 평균 0.022 %와 0.025%로 사료급여 후 메탄농도가 증가하였다가 일정 수준으로 유지되는 양상을 보였다. 하루 동안 메탄 농도 변화는 되새김질과 연관이 있는데 비육 기에는 농후사료 급여량을 늘리고 조사료를 줄임에 따라 되새김 기간도 2.5~3.3시간 정도로 줄어든다. 섭취사료에 가스화조섬유소 함량에 따라 되새김 시간이 달라지는데 Neutral detergent fiber 함량 28, 31, 34%일 때 되새김 시간은 각각 108.3, 130.2, 196.2분으로 증가하고 보고하였다(Kim 등, 1994). 보리나 옥수수 위주의 농후사료를 급여했을 때

Table 5. Effect of different grain sources on nutrient intakes of Hanwoo steers in late fattening phase

Items	Grain source ¹⁾		SEM ²⁾	P - values
	Barley	Corn		
Body weight, kg	613.9	614.8	8.758	0.966
Intake, g/day				
Dry matter	8398.9	8306.2	32.194	0.091
Crude protein	1484.9 ^a	1441.5 ^b	6.848	<.0001
Ether extract	165.1 ^b	243.0 ^a	12.284	<.0001
Crude fiber	919.4 ^a	906.0 ^b	3.892	0.042
Crude ash	366.1 ^b	484.4 ^a	18.701	<.0001
Nitrogen free extract	7303.3 ^a	6969.6 ^b	58.067	<.0001
Organic matter	8032.8 ^a	7821.8 ^b	42.885	0.002
Neutral detergent fiber	4112.0 ^a	2552.0 ^b	245.579	<.0001
Acid detergent fiber	1881.0 ^a	1358.0 ^b	82.392	<.0001

¹⁾ Barley and Corn-based diets : TDN intake : 6.91 kg/day.

²⁾ Standard error of means.

^{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 late fattening Hanwoo steers

Items	Grain source ¹⁾		SEM ²⁾	P - values
	Barley	Corn		
	Digestibility, %			
Dry matter	77.0	77.4	0.823	0.845
Crude protein	73.9	77.3	0.910	0.090
Ether extract	75.4	84.0	2.317	0.179
Crude fiber	52.2	58.2	1.895	0.050
Crude ash	22.3	38.0	3.701	0.957
Nitrogen free extract	86.8	86.9	0.613	0.865
Organic matter	79.5	79.9	0.757	0.865
Neutral detergent fiber	72.7 ^a	55.9 ^b	2.987	0.002
Acid detergent fiber	62.3 ^a	42.8 ^b	4.146	0.002

¹⁾ Barley and Corn-based diets : TDN intake : 6.91 kg/day.

²⁾ Standard error of means.

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

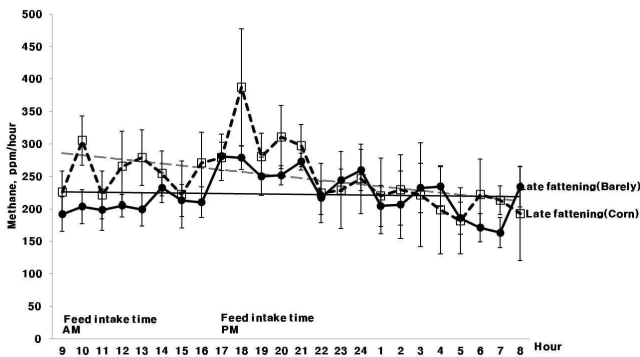


Fig. 2. Postprandial changes of methane concentration in the rumen of Hanwoo steers fed barley based or corn based diets.

대사체중 당 호흡가스의 변화량 중 일일 산소 소모량은 각각 29.0L 및 31.4L, 일일 이산화탄소 생성량은 각각 40.0L 및 46.8L 이었으며, 일일 메탄 생성량도 각각 1.0 g 및 1.1 g로 나타났다. 옥수수 위주의 농후사료 급여구가 보리구보다 산소 소모량은 6.4%, 이산화탄소와 메탄생성량은 각각 15.4%와 16.8%로 많았다. 일반적으로 보리와 옥수수 사료의 영양적 구성성분차이에 의해서 반추위내 발효 정상에서도 차이를 보이는데 옥수수 위주의 농후사료를 급여하였을 때 반추위 pH가 더 낮아지고 총 휘발성지방산 생성량과 아세트산 생성비율 증가(Beauchemin and McGinn, 2005)로 인해 반추위 pH가 6 이하로 낮아져 반추위 미생물의 섬유소 분해 및 소화 작용에 영향을 주고 메탄생성 반응에 관여하는 메탄생성 미생물의 생육에 영향을 미쳐 메탄 생성이 줄어든다(Van Kessel

and Russell, 1996). 이전에 보고된 연구들에서도 보리 위주의 사료 급여에 의해 메탄의 에너지 손실 범위가 6.5~12%이었고(Hashizume 등, 1968; Whitelaw 등, 1984), 사료 중 옥수수를 80% 급여한(Beauchemin and McGinn, 2005)의 연구에서도 메탄가스의 의한 에너지 손실 범위가 2~4%로 옥수수 위주의 농후사료를 급여했을 때 메탄 발생량이 낮았다. 위의 결과들이 보여주는 메탄발생량의 차이는 사료 내 조단백질이나 조섬유 등 구성성분의 반추위 통과 시간(passage rate)의 차이가 특히 사료의 소화율과 메탄생성반응에 영향을 미친다고 하였다(Yang 등, 1997). 본 연구에서 옥수수 위주의 농후사료 급여 구에서 산소 소모량(p=0.32), 이산화탄소(p=0.09)와 메탄가스 발생량(p=0.09)이 보리구보다 높은 경향을 보였다.

4. 메탄배출계수 (Methane emission factor) 산출

보리나 옥수수 위주의 농후사료를 급여하여 산출된 메탄 배출계수는 Table 7에 나타내었다. 메탄 배출계수는 보리나 옥수수 위주의 농후사료 급여 시 각각 43.6 (kg/Head/Year)과 50.9 (kg/Head/Year)로 산출되었다. IPCC (2006)에서는 아시아 지역의 농업용(450 kg)과 방목용(400 kg) 수소 각각의 배출계수는 59 (kg/Head/Year)와 48 (kg/Head/Year)로 본 시험축의 체중이 100~150 kg 정도 많이 나감에도 불구하고 메탄배출계수가 유사하게 나타났다. 이외의 축산경영형태가 기업형인 북아메리카 지역의 주요 축종의 메탄 배출계수를 살펴보면 젖소가 121 kg (kg/Head/Year), 체중 800 kg대의 수소가 81 (kg/Head/Year)이었다(IPCC, 2006). 가축의 장내발효에 의한 국가단위 메탄 배출통계 관한 연구

Table 7. Effect of different grain sources on oxygen consumption and emissions of carbon dioxide and methane of Hanwoo steers in late fattening phase

Item	Grain source ¹⁾		SEM ²⁾	P - value
	Barley	Corn		
Oxygen				
L/ day	3581.3	3808.8	133.446	0.311
kg / day	3.6	3.8	0.133	0.315
Carbon dioxide				
L/ day	4931.6	5686.9	287.505	0.085
kg / day	4.9	5.7	0.287	0.085
Methane				
g / day	119.3	139.4	7.059	0.095
kg/ head /year	43.6	50.9	2.577	0.095

¹⁾ Barley and Corn-based diets : TDN intake : 6.91 kg/day.

²⁾ Standard error of means.

(Lee 등, 2003)에서 산출된 비육기 한우의 메탄배출계수는 50.7 (kg/Head/Year)로 본 연구의 43.6 (kg/Head/Year)과 50.9 (kg/Head/Year)의 결과에서 옥수수 위주의 농후사료 급여구와는 거의 일치하였다. 이 결과는 배출계수 산출에 이용한 비육기의 사료의 소화율 (Digestible energy, %)과 메탄전환계수 등 일반적인 통계 자료가 시험을 통한 실제 측정값과 유사했을 것으로 추측할 수 있는데, 본 연구의 사육 상황, 급여사료의 양 및 구성 비율 등에 의해서 사료의 소화율 76.8%와 메탄전환계수 0.056 (Ym)로 이 등 (2003)의 국가단위 메탄 배출통계에 관한 연구의 비육기 한우의 메탄배출계수 추정에 이용된 사료의 소화율 74.5%와 메탄전환계수 0.04 (Ym)의 적용 값이 유사하였고 옥수수 위주의 농후사료 급여 구에서는 산출된 메탄배출계수도 거의 일치하는 결과를 보였다. 따라서 메탄배출계수는 개체 체중, 일당중체량, 사육 환경, 사료의 소화율과 메탄전환계수 등 모든 조건을 적용하여 산출되므로 산출이 이용되는 요소들을 정확하게 적용해야한다. 그리고 배출계수는 반 추가축 경우 선진국과 개발도상국 등의 지역 및 국가별로 사육 환

경에 따라서 차이를 보이는데 선진국 메탄 배출량이 150.7 (g/animal/day)로 개발도상국의 95.9 (g/animal/day)와 큰 차이를 보이는데 이는 선진국일수록 GWP (Global warming potential) 즉 잠재적 온난화 지수 높은 온실가스를 배출하는 착유 우와 같은 가축의 구성 비율이 높기 때문이다 (Leng, 1991; EPA, 1999). 그러므로 본 시험의 비육기 한우 메탄배출계수 결과는 이 등 (2003)의 추정치와 아시아 지역의 IPCC (2006) 제시한 값보다 낮거나 유사하게 산출되었지만 다양한 사양 조건에서 메탄 배출계수 자료를 축적하여 메탄배출계수의 산출의 정확성을 높여야 할 것이다.

5. 메탄전환계수 (Methane conversion rate) 산출

비육기 한우에 보리나 옥수수 위주의 농후사료 급여에 따른 메탄 배출계수를 Table 8에 나타내었다. 보리나 옥수수 위주의 농후사료를 급여하였을 때 총에너지 섭취량은 대사체중 당 0.289 Mcal/d와 0.290 Mcal/d씩 섭취했고 메탄으로 손실된 에너지는 대사체중 당

Table 8. Effects of different grain sources on methane production and methane conversion rate in Hanwoo steers of late fattening phase

Items	Grain source		SEM ¹⁾	P - value
	Barley	Corn		
Gross energy intake (Mcal/day)	35.9	35.5	0.122	0.108
Methane production (g/day)	119.3	139.4	7.460	0.320
Methane energy (Mcal/day)	1.5	1.8	0.098	0.201
Methane conversion rate (Ym) ²⁾	0.04	0.05	0.209	0.282

¹⁾ Standard error of means.

²⁾ Ym : methane conversion rate, per cent of gross energy in feed converted to methane.

Table 9. Effects of different grain sources on energy loss by methane in Hanwoo steers of late fattening phase

Items	Grain source		SEM	P - value
	Barley	Corn		
Intake ¹⁾	289.4	289.7	2.742	0.852
Energy loss ²⁾				
Methane	12.2(4.2) ³⁾	14.9(5.1)	0.786	0.075

^{1,2)} Values represents as kcal/BW^{0.75}.

³⁾ Values in parenthesis represent percentage of energy loss rate.

0.012 Mcal/d와 0.015 Mcal/d로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 위의 메탄배출량의 결과를 바탕으로 산출한 메탄전환계수는 보리 위주의 농후사료 급여 구에서 4%(0.04 Ym)이었고, 옥수수 위주의 농후사료 급여 구에서 5%(0.05 Ym)로 나타났다. 에너지 손실률은 옥수수가 보리 위주의 농후사료 급여 시 보다 높았다. 일반적으로 메탄은 반추가축의 장내 발효에 의해서 생성되어 2~12%까지 섭취 에너지의 손실을 가져온다(Johnson, 2000). 이전 연구결과들에 의하면 보리 위주의 사료를 급여하였을 때 메탄가스 발생으로 인한 에너지 손실 범위가 6.5~12%이었고(Hashizume 등, 1968; Whitelaw 등, 1984), 80% 옥수수 사료를 급여한 연구에서도 에너지 손실 범위가 2~4%로 보고되었다. 본 연구에서 보리나 옥수수 위주의 농후사료를 급여하였을 때 메탄가스 생성에 의한 에너지 손실 비율도 4.2~5.1%로 큰 차이를 보이지 않았다. 대체적으로 반추가축의 메탄가스 전환으로 인한 에너지 손실은 양질의 사료 또는 농후사료 위주로 급여 할 경우 메탄가스 전환비율이 낮아지는데 선진국일 경우 전체 평균 6% 정도이고 농후사료 위주의 사료 급여 체계에서는 4%로 조금 더 낮은 경향을 보인다(Lassey 등, 1997).

요 약

본 연구는 거세 한우의 비육 기간에 보리나 옥수수 위주의 농후사료를 일당 증체량 0.7 kg/일에 필요한 TDN량 6.9 kg씩 급여하였을 때 장내 발효과정에 생성되는 메탄가스를 측정하는데 그 목적이 있다. 보리나 옥수수 급여구의 건물 섭취량은 차이가 없었으나 영양소별 섭취량은 보리와 옥수수의 영양성분의 차이에 의해서 보리 위주의 농후사료 급여구가 조단백질, 조섬유, 가용무질소물, 유기물, Neutral detergent fiber와 Acid detergent fiber의 섭취량이 유의적으로 섭취량이 높았고(p<0.05), 조지방과 조회분 섭취량은 옥수수 위주의 농후사료 급여구가 유의적으로 높았다(p<0.05). 각 영양소별 소화율은 보리나 옥수수 위주의 농후사료 급여 구 모두 건물, 조단백질, 조지방, 조회분 소화율에서 차이가 없었으나 조섬유, Neutral detergent fiber와 Acid detergent fiber 소화율은 보리 위주의 농후사료 급여 구에서 유의적으로 높았다(p<0.05). 호흡가스 발생량은 옥수수 위주의 농후사료를 급여했을 때가 산소 소모량 6.4%(p=0.32), 이산화탄소와 메탄생성량은 각각 15.4%(p=0.09)

와 16.8%(p=0.09) 높은 경향이 나타났고, 메탄 배출계수는 보리나 옥수수 위주의 농후사료 급여 시 각각 43.6 (kg/Head/Year)과 50.9 (kg/Head/Year)로 산출되었다. 메탄전환계수는 보리와 옥수수 위주의 농후사료를 급여하였을 때 총에너지 섭취량은 각각 35.9 Mcal/d와 35.5 Mcal/d씩 섭취했고 메탄으로 손실된 에너지는 12.2 Mcal/d와 14.9 Mcal/d로 메탄가스 생성에 의한 메탄전환계수는 보리 위주의 농후사료 급여 구에서 4%(0.04 Ym)이었고, 옥수수 위주의 농후사료 급여 구에서 5%(0.05 Ym)로 나타났다. 따라서 위의 결과는 우리나라 한우의 사양 실정에 맞게 적용한 실험으로 향후 축산분야의 온실가스 저감을 위한 사양체계 및 메탄배출계수 산출연구에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. (주제어: 보리, 옥수수, 메탄)

인 용 문 헌

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

Beauchemin, K. A. and McGinn, S. M. 2005. Methane emission from feedlot cattle fed barley or corn diets. J. Anim. Sci. 83:653-661.

Benchaa, 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.

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.

Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multi F test. Biometrics. 11:1-42.

EPA. 1999. Livestock manure management - U.S. Methane emissions 1990-2020: inventories, projections, and opportunities for reductions. US environmental protection agency, Washington D.C. pp 5-15.

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.
- Houghton, J. T., Meira Foilho L. G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D. J. and Callander, B. A. 1996. Greenhouse gas inventory reference manual. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 3. Agriculture, Intergovernmental panel on climate change, Geneva, Switzerland.
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 10: Emission from livestock and manure management.
- Johnson, D. E., Johnson, K. A., Ward, G. M. and Branine, M. E. 2000. Ruminants and other animals: Atmospheric methane: Its role in the global environment. Chapter 8. Pages 112-133 in 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, C. M., Lee, B. S. and Chung, T. Y. 1994. Influence of cutting length of ammoniated barley straw on the eating and ruminating behavior of Korean native cattle. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor)*. 36(5):487-493.
- Lasseby, K. R., Ulyatt, M. J., Martin, J. R., Walker, C. F. and Shelton D. I. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmos Environ* 31:2905-2914.
- Lee, H. J. and Lee, S. C. 2003. National methane inventory relevant to livestock enteric fermentation. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor)*. 45(6):998-999.
- Leng, R. A. 1991. Improving ruminant production and reducing methane emissions from ruminants by strategic supplementation. United States environmental protection agency office of air and radiation. Washington DC.
- 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.
- Moss, A. R., Jouany, J. P. and Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49:321-253.
- Murray, R. M., Bryant, A. M. and Leng, R. A. 1976. Rates of production of methane in rumen and large intestine of sheep. *Br. J. Nutr.* 36(1):1-14.
- National Institute of Animal Science, RDA. 2007. Korean Feeding Standard for Hanwoo.
- SAS User's Guide: Statistics, Version 9.1 Edition. 2002. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Sejian, V., Lal, R., Lakritz, J. and Ezeji, J. T. 2010. Measurement and prediction of enteric methane emission. *Int. J. Biometeorol.* 55:1-16.
- 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. H. P. S. Makkar and P. E. Vercoe (eds), *Measuring Methane Production from Ruminants*, 111-123.
- 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 Jul. 11, 2011; Revised Nov. 8, 2011; Accepted Nov. 30, 2011)