

급여수준에 따른 한우 암소의 온실가스 배출량 평가

김두리¹ · 하재정¹ · 김종택² · 송영한^{1*}

¹강원대학교 동물생명과학대학, ²강원대학교 수의과대학

Evaluation on the Greenhouse Gas Emission According to the Intake Levels of Total Mixed Rations of Hanwoo Cow

Du Ri Kim¹, Jae Jung Ha¹, Jong Taek Kim² and Young Han Song^{1*}

¹College of Animal Life Sciences, ²College of Veterinary Medicine, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of different feeding level of TDN (Total Digestible Nutrients) on the generation of main greenhouse gases such as carbon dioxide and methane in Hanwoo cows. The diet TDN (kg) adjusted to achieve ADG of 0 g/day (Control), 200 g/day (T1), and 400 g/day (T2) of the maintenance level TMR (Total Mixed Ration) delivered twice a day at 08:30 and 17:30. Cow are housed in a respiration chamber and the environmental temperature was maintained at 20°C. The gases were measured for 24 hours using the multi-detector instrument Mamos-300. The analyzed methane emissions of T1 and T2 were 33.5% and 69.6% higher than control, respectively, and the carbon dioxide emissions were 21.1% and 40.6% higher than control. Also, the hourly pattern of carbon dioxide and methane production were showed very similar emission. Gas production showed peak after 1 hour of feeding and this gap was wider in the afternoon than in the morning hours. It is clearly conducted that CO₂ and CH₄ emissions were different by limited intake levels of feed.

(Key words : Carbon dioxide, Hanwoo, Methane gas, TDN, TMR)

서 론

최근 지구온난화 문제에 따라 대기 중 온실가스 감축에 대한 국제적인 관심이 증가하고 있는 추세이다(IPCC, 2006). 교토의정서에서 지정한 감축 대상가스로는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 불화탄소(PFC), 수소화불화탄소(HFC), 불화유황(SF₆)이다. 특히 그 중에서도 메탄은 축산분야의 강력한 온실가스로 반추가축의 장내 발효로 인한 메탄생성이 전 세계 메탄 배출량 중 15%를 차지하는 것으로 알려져 있다(Crutzen, 1995). 가축 사육두수 증가로 인해 메탄 배출량이 2030년에는 1990년 대비 약 1.7배 증가할 것으로 예상되고, 가축분뇨에서 발생하는 메탄배출량은 국내농업 총배출량의 약 3%인 1만5천 톤으로 추정되고 있다(에너지경제연구원, 2003). 또한 국내의 경우 동물이 생산하는 총 메탄배출량 중 반추동물인 소가 차지하는 비율이 약 75%에 육박한다고 보고된 바 있다(에너지경제연구원, 2003). 이에 따라 전 세계적으로 사료급여수준(Shibata 등, 1992; Shibata 등, 1993), 사료의 양과 질(Sekine 등, 1986; Shibata 등, 1992; Shioya 등,

2002; Johnson과 Johnson, 1995; Kurihara 등, 1997) 등 반추동물로부터의 메탄가스 발생량에 관련된 연구가 보고되고 있다.

또한, 최근 섬유질배합사료의 급여가 확산되고 있는데, 섬유질배합사료의 장점은 반추위내 발효를 안정시키고 초산과 프로피온산 생성을 유지시켜주고, 전체 사료 건물 섭취량이 증가(McGilliard 등, 1983; Nock 등, 1986)한다고 알려져 있다. 이는 농후사료와 조사료를 동시에 투입함으로써 반추위 기능을 개선시킨다는 보고와 밀접한 관련이 있다(Cao 등, 2009). 그러나 한우에 있어서 섬유질 배합사료 이용 관련 연구는 최근 들어 진행되기 시작하였으며(임, 2010), 섬유질배합사료를 유지수준별 가소화영양소총량(TDN, total digestible nutrient)에 따라 연구한 실적은 국내외에 거의 없는 수준이다.

따라서, 본 실험은 한우사양표준에 근거하여 섬유질배합사료를 TDN의 유지수준과 일당 증체량 200 g, 400 g을 목표로 급여시, 호흡대에서 발생하는 가스(CO₂, CH₄)의 증감 정도 및 절식시 감소량을 측정함으로써 반추위내 장내발효에 의한 호흡가스의 정확한 산출근거 기반을 만들고자 실시하였다.

* Corresponding author : Young Han Song, Dept. of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.
Tel: +82-33-250-8617, E-mail: yhsong@kangwon.ac.kr

재료 및 방법

1. 시험동물 및 시험방법

본 시험의 시험시간은 2010년 8월부터 2010년 12월까지 5개월 동안 진행되었다. 시험동물은 43개월령 평균 체중 372±11.31 kg의 한우 암소 2마리를 공시하였으며 후드식 호흡 chamber를 이용하여 호흡대사시험을 실시하였다. 공시사료의 일반 조성분은 Table 1

Table 1. Ingredient composition and chemical composition of experimental diets

| Ingredient composition | % |
|----------------------------|---------|
| Barley whole crop silage | 44.42 |
| Bio-mix ¹⁾ | 12.00 |
| Corn gluten feed | 6.78 |
| Corn | 7.46 |
| Lactic acid bacteria | 0.32 |
| Molasses | 4.20 |
| Rice bran | 5.01 |
| Rice straw | 13.00 |
| Soy sauce cake | 2.40 |
| Sugar cane hay | 4.09 |
| Yeast | 0.32 |
| Total | 99.68 |
| Chemical composition | % of DM |
| Moisture | 40.0 |
| Crude protein | 13.0 |
| Crude fiber | 15.0 |
| Neutral Detergent Fiber | 36.3 |
| Acid Detergent Fiber | 18.1 |
| Crude ash | 18.0 |
| Total Digestible Nutrients | 69.0 |

¹⁾ Mineral and vitamin.

과 같으며 한우사양표준 (축산과학원, 2007)의 일당증체에 따른 소화영양소총량 (TDN), 조단백질 (CP) 및 건물섭취량 (DMI)은 Table 2와 같다. 한우사양표준 (2007)에 의거하여 섬유질배합사료 중 유지수준 (대조구), 성장수준은 각각 200g/일 (처리구 1) 및 400g/일 (처리구 2)의 증체에 필요한 적정 TDN가를 산출하였다. 사료섭취량은 사료급여량을 측정하여 급여한 후 다음 사료급여시 잔량을 측정하여 시험사료의 양에 적응시킨 후 7일간의 예비시험과 30일간의 본 시험을 실시하였다. 사료급여는 08시 30분과 17시 30분에 2회 급여하였으며 물과 Mineral block은 자유 섭취하도록 하였다. Chamber의 환경온도는 20℃를 유지하였다.

Table 2. Feeding standard level of experimental diet

| Cow | ADG (kg) | TDN (kg) | | CP (%) | DMI (kg) |
|-------------|----------|----------|---------|--------|----------|
| | | Standard | Feeding | | |
| Maintaining | — | 2.78 | 2.85 | 8.1 | 5.6 |
| Growing | 0.2 | 3.43 | 3.52 | 7.9 | 6.24 |
| Growing | 0.4 | 4.12 | 4.22 | 7.6 | 7.10 |

2. 가스다중검출기를 이용한 CO₂, CH₄ 측정

시험개시 전 CO₂, CH₄의 표준가스를 통과시켜 조정점을 맞춘 후 Chamber내 gas 농도를 측정하여 24시간동안 발생량을 측정하였다. 온실가스 측정은 NDIR (Non-dispersive infrared absorption) 센서를 이용한 가스다중검출기를 이용하였다. CO₂나 CH₄ 등의 가스상 물질들이 적외선 (Infrared light)에 대해 특정한 스펙트럼을 갖는 것을 이용해서 특정성분의 농도를 구하는 방법으로 대기의 오염물질을 연속적으로 측정하는 비분산 정필터형 적외선 가스분석계에 대해 적용한다. 원리는 광원 (Infrared source)에서 방출되는 넓은 파장의 IR 복사선이 광학색타 (Gas filter wheel)에서 광학필터 (Bandpass filter)를 거치며 특정 IR 파장을 불활성 기체 (질소, 아르곤)가 충전된 기준셀과 시료가 흐르는 시료셀을 번갈아 통과시키게 되는데 기준셀은 IR 파장이 모두 통과하고 시료셀에서는 가스에 의해 흡수가 일어나게 된다. 이때의 흡수도를 검출기 (IR



Fig. 1. Respiratory chamber of hood-type.

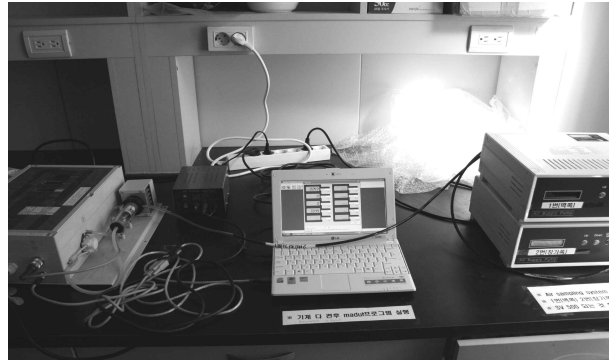
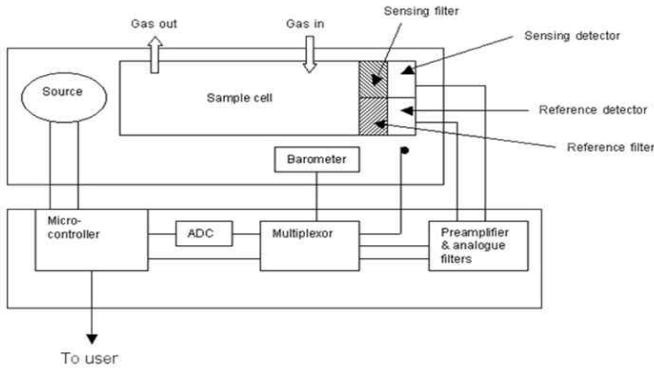


Fig. 2. Methods of measuring greenhouse gases and gas analyzer (mamos-300).

Detector)에서 검출하고 변환, 증폭하여 농도를 측정하여 메탄 및 이산화탄소의 발생량을 측정하였다.

3. 통계분석

시험에서 얻어진 모든 분석치는 각 처리구별로 평균치를 제시하였다. 분석치의 유의성 검정은 SAS 9.1 Package/PC software (SAS, 2003) 프로그램을 이용하여 GLM (General Linear Model) 분석 후 Duncan의 다중검정 (Multiple range test)에 의해 처리간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 온실가스 발생량

섬유질배합사료의 사양표준에 따른 유지수준과 일당증체량 200 g/일 및 400 g/일의 육성에 필요한 적정 급여수준에 따른 시간당 평균 이산화탄소와 메탄 발생량은 Table 3과 같다. TDN 급여수준에 따른 이산화탄소 발생량은 유의적 ($p < 0.05$)인 차이를 각각 나타내었다. 전체적으로 급여수준이 증가할수록 이산화탄소 발생이 높게 나타났으며 유지수준에 비해 200 g/일에서 21.1%, 400 g/일에서 40.6% 수준의 높은 이산화탄소 발생량을 나타내었다.

Table 3. Effect of TDN feeding level on carbon dioxide and methane generation in Hanwoo cow

| Item | ADG (g/d) | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0 | 200 | 400 |
| CO ₂ (g/h) | 21.81±4.06 ^{1)c} | 23.41±3.64 ^b | 30.68±3.17 ^a |
| CH ₄ (g/h) | 5.94±2.96 ^{1)c} | 7.93±3.63 ^b | 10.08±3.63 ^a |

¹⁾ Means ± SD

^{a,b,c} Means in the same row with different letter are statistically different at $p < 0.05$ level of significance.

급여수준에 따른 메탄 발생량은 유의적 ($p < 0.05$)인 차이를 각각 나타내었다. 전체적으로 급여수준이 높을수록 메탄 발생이 현저하게 증가하는 것으로 나타났으며 유지수준에 비해 200 g/일에서 33.5%, 400 g/일에서 69.6% 수준의 높은 메탄발생량을 나타내었다. 이는 사료섭취량을 유지수준의 2배로 증가시켰을 때 총 메탄 발생량이 증가한다는 보고 (Blaxter 등, 1995)와 유사하였다. 또한 CP의 함량과 메탄발생량의 관계에서 유지수준에서 CP 함량이 증가할수록 메탄발생량이 감소하는 경향을 보였는데, 이는 조단백질의 분해시 생성되는 NH₄⁺는 메탄생성의 기질로 이용되는 이산화탄소와 결합함으로써 메탄생성이 감소하게 된다는 보고와 일치하는 경향을 나타내었다 (Getachew 등, 1998). 또한, Kirchgerner와 Muller (1994)도 다른 영양소와 비교해서 단백질 급여시 메탄생성량이 비교적 낮아졌다고 보고한 바 있다.

2. 이산화탄소 발생량 추이

Fig. 3은 급여수준에 따른 시간대별 이산화탄소의 변화를 나타낸 것이다. 사료급여 후 한 시간 동안 높은 수준의 이산화탄소 발생을 보이다 2시간 후 감소하는 것으로 나타났으며, 오후 사료급여에서도 이산화탄소 발생량은 2시간 내까지 급격히 증가하는 경향을 보였다. 각 처리구별 비교에서 오전에는 사료급여수준별 일정한 간격으로 차이를 보였으며 오후부터 밤사이에는 유지수준과 200 g 성장

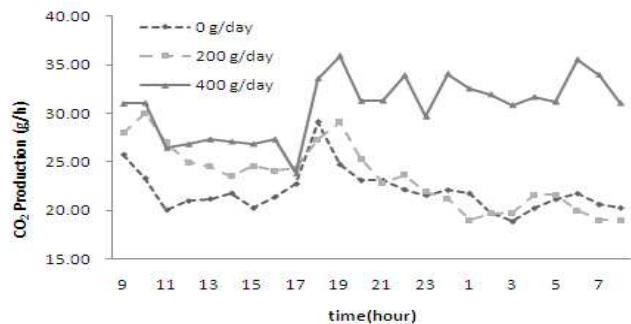


Fig. 3. Carbon dioxide production rates at different hours due to TDN of diets in Hanwoo cow.

처리구에서 유사한 경향을 보이다가, 400 g 성장 처리구와의 차이가 더욱 현저해지는 경향을 보였다.

3. 메탄 발생량 추이

Fig. 4는 급여수준에 따른 시간대별 메탄의 변화를 나타낸 것이다. 메탄의 최대발생량은 사료급여 한 시간 후 가장 급격한 변화를 나타내었다. 이는 사료섭취시 반추위내의 가스압이 높아지면서 반사적으로 일어나는 트림에 의한 것으로 발효가 활발한 사료섭취 후 1~2시간에 왕성하다는 보고와(송, 2008) 관계가 있는 것으로 판단된다. 김(2000)의 메탄발생균의 *in-vitro* 실험에 관한 보고에서 사료급여 직후는 혐기도가 낮지 않기 때문에 메탄발생균의 활성은 낮고, 메탄생성량도 감소하지만 3~4시간이 지나면 산화환원 전위도 낮아서 메탄발생균의 활동도 활발하게 된다는 보고와는 다른 경향을 나타내었는데 이는 *in-vitro* 환경 즉, 배양시간 제한에 따른 소화율의 문제 등 실제로 *in-vivo*와 *in-vitro*간 시험조건에서 의한 차이에서 기인한 것으로 추정된다.

또한 가스발생 패턴에서 오전 시간에는 차츰 감소하는 경향을 보이다가 오후 사료 급여시 가장 많은 가스 발생량을 나타내었으며, 2시간 간격으로 가스량이 급격히 증가하는 패턴을 나타냈는데 이는 소의 반추행동에서 기인된 가스발생으로 판단되며 소의 반추행동은 낮보다 밤에 많이 하고 하루 13번에서 20번으로 나누어한다는 보고(전, 1988)와 일치하는 경향으로 판단된다.

4. 일당 메탄가스 배출량 추이

본 연구결과 분석에 사용된 일당 메탄가스 추정식¹⁾은 다음과 같다.

$$CH_4 \text{ (g/day)}^{1)} = TDN \text{ (\%)} \times TDN \text{ (kg/feeding)} \times DM \times CH_4 \text{ (g/h)} \times 24 \text{ (h)}$$

추정식에 따른 일당 메탄가스 발생량은 Table 4와 같으며 일당 증체량에 따른 섬유질배합사료의 급여비율이 높을수록 일당 가스 발생량이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 사료섭취량이 많을수

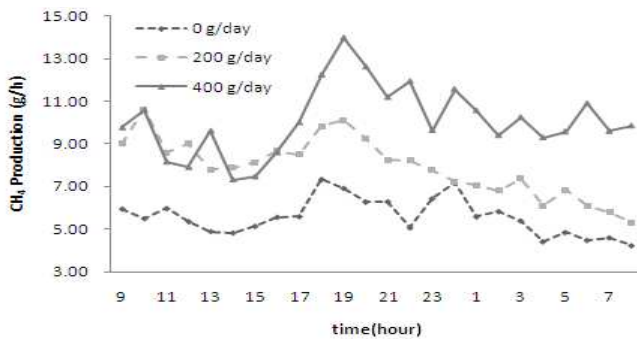


Fig. 4. Methane production rates at different hours due to TDN of diets in Hanwoo cow.

Table 4. Changes of methane emissions with different level of TDN intake level daily in the Hanwoo cow

| Item | ADG (g) | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 0 | 200 | 400 |
| CH ₄ (g/h) | 132.42 ^c | 190.23 ^b | 241.99 ^a |

^{a,b,c} Means in the same row with different letter are statistically different at p<0.05 level of significance.

록 GE의 손실과 메탄발생량이 증가한다는 보고와 동일한 결과로 나타났다 (Johnson 등, 1993). 국내 한우에서 각 축종별 배출계수와 사육두수를 이용하여 축산부문의 메탄배출량을 계산한 수치는 약 47 kg으로 유사한 측정치를 나타내었으며 (이 등, 2003), TDN 조절 급여수준에 따라 9%, 32%, 46% 높은 가스발생량을 나타내었다. 또한, IPCC (2006)에 따른 오세아니아의 무게 400 kg의 성숙한 암소에서 발생하는 메탄배출치인 71 kg과 비교하였을 때 각각 48.33 kg, 69.43 kg, 88.32 kg으로 유사한 범위를 나타낸 것으로 국내에서도 한우의 메탄 인벤토리에 대한 기초 근거자료가 될 수 있을 것이라고 판단된다.

일당증체량이 높을수록 많은 메탄가스 발생량을 나타내는데, 이는 소의 장내발효과정에서 생성되는 메탄가스를 줄이는 것은 축산물의 생산면에서 고기 중 지방함량의 감소나 우유생산량의 감소를 야기할 수 있지만 (Johnson and Johnson, 1995), 장기간의 전망을 본다면 축산분야의 온실가스를 줄일 수 있는 사양체계를 증명하는 연구가 필요할 것이다.

5. 절식 후 온실가스 발생 변화

Table 5은 3일간의 절식 후 일당 온실가스 변화량을 나타낸 표로, 메탄과 이산화탄소 발생량은 일차별로 유의적 (p<0.05)인 차이를 나타내었다. 절식 1일차에서 2일차 사이와 3일차 사이에서 이산화탄소 발생량은 8% 수준과 51% 수준으로 급격한 감소를 보였으며 메탄발생량은 각각 15% 수준과 37% 수준의 감소를 나타내

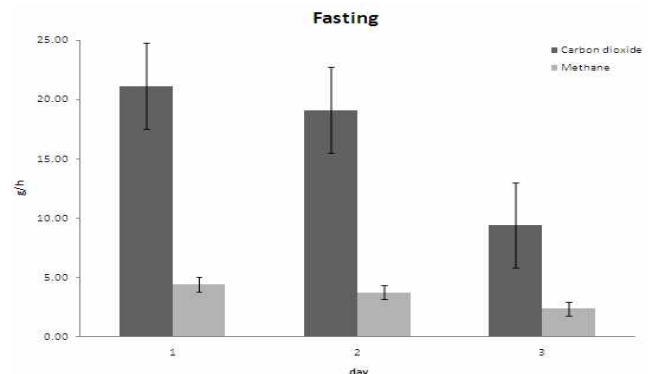


Fig. 5. Changes of carbon dioxide and methane emission on fasting days in Hanwoo cow.

Table 5. Changes of daily carbon dioxide and methane with fasting condition

| Item | Fasting day | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| CO ₂ emission(g/h) | 21.15±1.92 ^{1)a} | 19.41±3.81 ^b | 9.42±2.22 ^c |
| CH ₄ emission(g/h) | 4.41±1.89 ^a | 3.75±0.7 ^b | 2.36±0.41 ^c |

¹⁾ Means±SD

^{a,b,c} Means in the same row with different letter are statistically different at p<0.05 level of significance.

었다.

사료섭취가 일어나면 반추위 내로 들어온 단백질, 전분, 세포막 중합체 등은 bacteria, protozoa, fungi 등의 1차 분해 미생물들에 의해 분해되어 당과 아미노산 등을 생성하고 이러한 생성물들은 1차, 2차 분해 미생물들에 의해 다시 휘발성 지방산, 수소, 이산화탄소로 분해된다. 이때 메탄 발생균은 생성된 분해산물중 수소와 formate를 기질로 이용하여 메탄을 발생시키는데 사료섭취가 이루어지지 않으면서 메탄 발생량과 이산화탄소 발생량이 감소한 경향으로 판단된다(Hungate 등, 1970; Whitman 등, 1992). 이는 사료급여에 의한 온실가스 발생량으로 추정됨을 뒷받침해 주는 근거자료로서 장기간 절식대사에 의한 발효패턴연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

최근 온실가스 감축에 관한 국제적인 관심이 대두되면서 반추가축의 가스발생을 조절하기 위한 연구가 다양하게 시도되고 있다. 본 실험은 섬유질배합사료를 TDN의 유지수준과 섭취수준별 가스발생량의 증가 정도 및 절식시 감소량을 측정함으로써 반추위내 장내발효에 의한 호흡가스의 정확한 산출근거를 구명하고자 실시하였다. 실험은 43개월령의 평균체중 372±11.2 kg의 Fistula가 장착된 한우 암소를 공시하여 한우사양표준(2007)에 의거하여 TDN(kg) 유지수준의 성장, 200 g/일 및 400 g/일 증체수준으로 TMR 사료를 각각 2회에 걸쳐 급여하였으며 물과 mineral block은 자유 섭취하도록 하였다. 온실가스 측정은 NDIR(Non-dispersive infrared absorption) 센서를 이용한 가스다중검출기를 이용하여 이산화탄소 및 메탄가스를 측정하였으며, 호흡챔버 내 환경온도는 20℃를 유지하였다. 실험결과 급이 수준별 TDN가가 높을수록 가스발생량이 증가하는 경향을 나타내었으며, 이산화탄소 발생량에서는 유지수준에 비해 200 g/일에서 21.1%, 400 g/일에서 40.6% 수준으로 가스발생량을 나타내었다. 메탄 발생량은 유지수준에 비해 200 g/일에서 33.5%, 400 g/일에서 69.6% 수준의 가스발생량을 나타내었다. 또한 절식 대사시 3일차부터 이산화탄소 발생량은 8%와 51% 수준으로 급격한 감소를 보였으며 메탄발생량은 각각 15%와 37%의 감소를 나타내었다. 위 결과는 향후 축산분야의 온실가스를 줄이기 위한 사양체계 및 절식대사를 통해 한우의 장내발효에 의한 가스발

생조절에 대한 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. (주제어: 이산화탄소, 한우, 메탄가스, TDN, 섬유질 배합사료)

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 지원(과제번호: C1006473-01-02)과 2011년도 강원대학교 학술연구조성비로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

Blaxter, K. L. and Clapperton, J. L. 1995. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. Br. J. Nutr. 19:511-522.

Cao, Y., Takahashi T. and Horiguchi, K. I. 2009. Effects of addition of food by-products on the fermentation quality of a total mixed ration with whole crop rice and its digestibility, preference, and rumen fermentation in sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 151:1-11.

Crutzen, P. J. 1995. The role of methane in at-mospheric chemistry and climate. In Ruminant phy-siology : digestion, metabolism, growth and re-production. ed. Engelhardt, W. V. p.291-315.

Getachew, G., Blummel, M., Makkar, H. P. S. and Becker, K. 1998. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Anim. Feed. Sci. Technol. 72:261-281.

Ha, J. J. and Song, Y. H. 2009. Studies on the methane and carbon dioxide generation rates due to feeding different types of diets in hanwoo cattle. Institute of animal resources Kangwon national university. p.37-38.

Hungate, R. E., Smith, W., Bauchop, T., Yu, I. and Rabinowitz, J. C. 1970. Formate as an intermediate in the bobine rumen fermentation. J. Bacteria. 102:389-397.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2008. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. <http://www.ipcc.ch>

Jeon, B. T and Minoru O. 1988. Variability of the rumination-behaviour in steers fed a constant amount of hay. J.Korean Grassl. Sci. 8(2):68-76.

Johnson, D. E., Hill, T. M., Carmean, B. R., Branine, M. E., Lodman, D. W. and Ward, G. M.. 1993. Perspectives in ruminant methane emission. 1993 Beef Program Report. Dept. if Anim. Sci., Colorado State University, Fort Collins.

Johnson, K. A. and Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci. 73, p.2483-2492.

KirechgeBner, M. W. and Muller, H. L. 1994. Methane release from dairy cows and pigs. In: Proc. XIII. Symp. on Energy methabolism of farm animals. Ed. Aguilera, J. F. EAAPPubl. No.

76. CSIC, Spain
- Kim, B. K. 2000. A study on prediction of methane production from feed ingredients in the rumen. Konkuk University paper of master's degree.
- Korea Energy Economics Institute. 2003. Second National Communication of the Republic of Korea under the United Nations Framework Convention on climate change. <http://www.keei.re.kr>
- Kurihara, M., Shibata, M., Nishida, T., Purnomoadi, A. and Terada, F. 1997. Methane production and its dietary manipulation in ruminants. In: Onodera R, Itabashi H, ushida K, Yano H, Sasaki Y (eds), *Rumen Microbes and Digestive Physiology in Ruminants*, pp. 199-208. Japan Scientific Societies Press, Tokyo, Japan and S. Karger AG, Basel, Switzerland.
- Lee, H. J. and Lee S. C. 2006. National methane inventory relevant to livestock enteric fermentation. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor)*. 45(6):998-999.
- McGilliard, M. L., Swisher, J. M. and James, R. E. 1983. Grouping lactating cows by nutritional requirements for feeding. *J. Dairy Sci.* 66:1084.
- National Institute of Animal Science. 2007. Korean Feeding Standard for Hanwoo. p26-27.
- Nock, J. E., Steele, R. L. and Braund, D. G. 1986. Effect of mixed ration nutrient density on milk of cows transferred from high production group. *J. Dairy Sci.* 68:133.
- SAS. 2003. SAS Software for PC. Release 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sekine, J., Kondo, S., Okubo, M. and Asahida, Y. 1986. Estimation of methane production in 6-week-weaned calves up to 25 weeks of age. *Japanese J. of Zootechni. Sci.* 57, p.300-304.
- Shibata, M., Terada, F., Iwasaki, K., Kurihara, M. and Nishida, T. 1992. Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate rations. *Anim. Scie. and Technol.* 63, p.1221-1227.
- Shibata, M., Terada, F., Kurihara, M., Nishida, T. and Iwasaki, K. 1993. Estimation of methane production in ruminants. *Anim. Scie and Technol.* 64, p.790-796.
- Shioya, S., Tanaka, M., Iwama, Y. and Kamiya, M. 2002. Development of nutritional management for controlling methane emissions from ruminants in Southeast Asia. *Elsevier Science, Greenhouse Gases and Animal Agriculture*, p.191.
- Song, Y. H., 2008. Feeding management technology for reducing greenhouse gas emissions. *Greenhouse gas reduction plan for the livestock sector Symposium. Institute of animal resources Kangwon national university.* p.96.
- Um, J. Y. 2010. Effects of TMR feeding level according to the breeding stage on the fattening and reproduction performance in hanwoo. Konkuk University paper of doctor's degree.
- Whitman, W. B., Bowen, T. L. and Boone, D. R. 1992. The methanogenic bacteria. In: *The Procaryotes*. Ed. Truper, H. G. et al. Springer-Verlag, New York.

(Received May 18, 2011; Revised Jul. 13, 2011; Accepted Sep. 23, 2011)