

통옥수수 및 Steam-flaked 옥수수 기초사료가 반추위미생물 발효성상과 한국재래산양 반추위대사 특성에 미치는 영향

배귀석* · 배정희* · 윤석준* · 장문백* · 고종렬** · 하종규***

중앙대학교 동물자원과학과*, 농협중앙회 사료축산연구소**, 서울대학교 농생명공학부***

Effect of Whole or Steam-flaked Corn Based Diet on Ruminant Fermentation Characteristics *In Vitro* and Ruminant Metabolism in Korean Native Goat *In Vivo*

Bae, G. S.*, J. H. Bae*, S. J. Yun*, M. B. Chang*, J. Y. Ko** and Jong K. Ha***

Department of Animal Science & Technology, Chung-Ang University*,
Feed and Livestock Research Institute, NACF**,
School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University***

ABSTRACT

These study were conducted to determine the effects of a whole or steam-flaked corn based diet on rumen microbial fermentation *in vitro* and ruminal metabolism in the Korean Native Goat(KNG) *in vivo*. The experiments consisted of two dietary treatments: control, steam-flaked corn(SFC) based diet(80%) + rice straw mixed(20%)(SFCR); 100% whole corn based diet(WC). The first experiment was conducted to investigate the effect of whole corn on ruminal metabolism *in vitro* for 0 to 48 h. pH values were optimally maintained during incubation time, and were not significantly different between treatments. Gas production of SFCR was significantly higher than WC($p<0.01$). $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration tended to increase for WC, but not significantly different between treatments. The mean value of total volatile fatty acid concentration of WC was significantly lower than SFCR($p<0.01$), but SFCR and WC linearly increased as the time of incubation approached 48 h. Mean value of acetate concentration of SFCR was significantly higher than WC($p<0.01$). Propionate concentration of WC for the total incubation time was significantly higher than SFCR($p<0.01$). The digestibility of dry matter was not significantly different between treatments, but SFCR was somewhat higher than WC. The second experiment was conducted to effect of whole shelled corn based diet on rumen metabolism in KNG. pH values tended to decrease through all treatments. There was not a significantly difference between treatments. Microbial protein yield of SFCR was significantly higher than WC($p<0.01$). $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration of WC was significantly ($p<0.01$) higher than SFCR. Total VFA and propionate concentration of WC was significantly higher than SFCR($p<0.01$), but acetate concentrate of WC was not significantly higher than SFCR. The mean value of total lactate concentration was significantly($p<0.01$) different but the value of SFCR and WC were lower than the average concentration of acidosis. *In sacco* DM disappearance rate of SFC was significantly($p<0.01$) higher than WC.

(Key words : Whole corn, Steam-flaked corn, *In vitro*, *In vivo*, Korean native goat)

본 연구는 농협중앙회 사료축산연구소에서 제공한 연구비로 수행하였음.

Corresponding author : G. S. Bae, Department of Animal Science & Technology, College of Industrial Sciences
Chung-Ang University, NaeRi 72-1, DaeDuk, AnSung, KyungGi. 456-756, Korea.
Tel: 031-670-3029 e-mail: stonbae@post.cau.ac.kr

I. 서 론

국내 조사료 수급 현황은 자체 생산 감소에 따른 수입물량이 매년 증가 추세를 나타내고 있고 이에 따른 해외 수입에 의한 의존도가 심화 되고 있으며, 특히 조사료를 급여하여야 하는 반추동물에 있어서 농후사료만을 급여한 반추위 대사나 소화율에 대한 정확한 정보가 없어 계속적인 연구가 이루어지고 있다(Murphy 등, 1994; Nocek, 1997; Owens 등, 1998; Garrett 등, 1999; Zinn 등, 1990, 1995, 2002). 반추동물의 사료 이용성을 향상시키기 위해 곡류를 가공하는 많은 방법들이 연구되어 왔다(Vance 등, 1972, Cole 등, 1976, Theurer, 1986).

이론적으로 분쇄를 통한 사료입자도의 감소는 사료의 표면적을 증가시키며 실제 비반추동물에 있어서는 소화율 증가에 의한 생산성의 증가를 가져오나, 사료의 입자도를 작게 할수록 분쇄 가공비용은 증가하며, 또한 미세 입자에 의한 생리적 기능의 변화로 각종 부작용 또한 가지고 있다. Sharp 등(1982)은 육우에 있어서 통옥수수가 분쇄 옥수수 보다 반추위 내에서 acetate가 propionate와 butyrate로의 전환율이 높아 반추위 내 에너지 이용율이 증가하였다고 보고하였으며, Oltjen 등(1966)은 비육우에 있어 조사료를 급여하지 않고 100% 농후사료만을 급여한 결과 통옥수수를 급여하였을 때 기호성과 증체율이 증가하였고, 반추위 내 VFA와 NH₃-N 함량이 낮은 반면 pH는 높아졌다고 하였다. 일반적으로 6개월령 이하의 어린 반추가 축도 저작행위가 가능하므로 가공 처리된 옥수수가 소화율을 증가시킬 수 있으나, 가공비용의 상승수준 이상으로 사료적 가치상승은 어렵다. 또한 비육우에 있어 고수준의 농후사료를 급여하는 경우 분쇄 옥수수를 급여하는 것 보다 알곡상태의 통옥수수를 급여할 때 5%의 성장률과 7%의 사료효율 개선 효과가 나타났으며, 가공 비용을 감안 할 경우 통옥수수 급여가 생산성 면에서 높았다(Hixon 등 1969; Reinhardt 등, 1998).

본 연구에서는 통옥수수와 면실에 펠릿으로 구성된 조사료 무급여사료와 후레이크처리 옥

수수로 구성된 기초 비육사료에 있어서 대사성 질병 예방과 소화율 개선 효과를 조사 하기 위해 한우 반추위미생물에 의한 *in vitro* 발효특성과 한국재래산양을 이용한 반추위 내 발효특성을 비교하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 한우 반추위 미생물을 이용한 조사료 무급여사료의 *in vitro* 발효특성(실험 1)

(1) 시험사료, *in vitro* 배양 및 시료채취

대조구 (SFCR)는 후레이크처리 옥수수가 25%인 시판 큰소비육전기 후레이크 배합사료(80%), 볏짚(20%)로 구성되었고 시험구(WC)는 통옥수수가 60%인 시판 큰소비육 조사료무급여 배합사료를 100%로 이용하였다. *In vitro* 접종액은 도축장에서 채취한 한우 반추위 내용물을 McDougall's artificial saliva(1948)(Table 1)와 각각 1:1로 혼합 후 24시간 동안 강화배양 후 사용되었다. 각각의 시험시료는 각각 *in vitro* 시험을 위해 Willey mill을 이용하여 1-mm screen로 분쇄 후 100ml serum bottle에 각 처리구에 기질 0.5g씩과 McDougall's artificial saliva 50ml와 접종액 10ml를 혐기적 방법으로 접종 후 39°C water bath에서 배양되었다. 시료는 각 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48 시간마다 채취한 직후 pH와 가스 발생량을 측정 후 25,000×g로 15분간 원심분리 후 상층액과 내용물을 -40°C에서 분석을 위해 냉동 보관하였다.

(2) 분석

각 시간대별 시료 채취 즉시 pH meter (Model 420A, Orion, USA)를 이용하여 pH를 측정하였고, 가스 발생량은 Theodorou (1994)의 방법에 의한 pressure transducer에 의해 가스발생량 측정장치(AD-5210, Aitec Ind. Company, Korea)를 이용하여 측정하였다. Volatile fatty acids 함량은 Erwin 등(1961)의 방법을 이용하여 gas chromatography (Varian 540, USA)로 측정하였다. 건물소화율은 60°C drying oven에서 48시간 동안 건조 후 측정하였다(AOAC, 1980).

Table 1. Composition of McDougall's buffer solution¹⁾

Ingredients	Amounts (g)
Sodium Hydrogen Carbonate (NaHCO ₃)	29.40
Disodium Hydrogen Ortho Phosphate (Na ₂ HPO ₄)	27.90
Potassium Chloride (KCl)	1.70
Sodium Chloride (NaCl)	1.41
Magnesium Chloride (MgCl ₂)	0.18
Calcium Chloride (CaCl ₂ · 2H ₂ O)	0.14

¹⁾ Mix the first 6 chemicals and 5l distilled water in volumetric and stir until dissolved (pH=8.0).

Table 2. Chemical composition of experimental diet

Chemical composition	SFC	WC	Rice straw
	... (% DM bases) ...		
Dry matter	89.43	89.66	92.30
Crude protein	14.03	13.97	4.42
Ether extract	5.36	5.36	2.71
Crude ash	5.71	7.75	12.65
NDF	52.65	51.62	65.21
ADF	19.60	16.53	41.09

SFC : steam flaked corn based diet.

WC : whole corn based diet.

2. 한국재래산양에 의한 조사료 무급여 사료의 반추위 내 발효특성(실험 2)

(1) 시험설계

각각 4개의 metal metabolism cage에 시험을 위한 fistula가 장착된 4마리의 한국재래산양을 이용하여 4×2의 Latin square를 이용하였다. 사료는 실험 1에서 사용하였던 것과 동일하였으며, 매일 08:00과 20:00에 사료를 급여하였고,

각 사료에 대해 7일 동안 적응기간을 가졌다. 반추위 내용물은 각 2, 4, 6, 8, 10, 12 시간대에 50g씩 채취하였으며 25,000×g에서 15분간 원심분리 후 상층액과 내용물을 각각 -40℃에서 냉동 보관하였다.

(2) 분석

pH는 pH meter(EcoScan, Euteoh, USA)를 이용하여 반추위 내에서 직접 측정하였으며, 상층액을 이용한 NH₃-N 함량, VFA 함량은 실험 1과 동일한 방법으로 측정하였다. 반추위미생물단백질 함량은 Lowry 등 (1951)의 방법에 의해 측정하였다. Total lactic acid의 분석은 Barker 등(1940)의 방법을 이용하여 spectrophotometer(Spectronics 21D, Milton Roy, USA)를 이용하여 560nm에서 측정하였다.

(3) 조사료 무급여사료의 반추위 내 *in sacco* disappearance rate

한국 재래 산양을 이용하여 *in sacco* 시험이 실시되었으며, nylon bag (pore size: 45µm)을 실험 1의 사료 SFC와 WC만을 선별하여 각각 3g 씩 취하여 현수 시켜 0, 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 시간대별 배양시간에 따른 반추위 내에서의 옥수수 건물 소실율을 측정하였으며, 모든 시료의 건물 소실율은 증류수에 세척하여 60℃ drying oven에서 48시간 동안 건조 후 측정하였다.

3. 통계 분석

본 실험의 모든 통계처리는 SAS(1999)의 program package의 GLM(General Linear Model) 방법에 의해 표준오차를 구하였고, 분산분석 후 Duncan's multiple range test(Steel 등, 1981)를 통하여 처리간 평균의 유의차를 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 한우 반추위 미생물을 이용한 조사료 무급여사료의 발효특성

(1) pH 변화

배양시간에 따른 pH 변화는 처리에 상관없이 배양 2시간 때에 다소 높았으나 배양 4시간 때에 급격히 감소하였으며, 유의성은 없었으나 SFCR구에서 더 낮은 pH를 나타내었다. 이는 SFCR구의 SFC의 가공처리에 의해 가용성 탄수화물인 starch granule의 용해와 분해가 단시간 내에 빨리 이루어진 것으로 판단된다(Trei 등, 1966; Zinn 등, 2002). 전체 배양시간 동안 평균 pH는 SFCR과 WC구에서 각각 6.58과 6.57로 처리간에 차이는 없었으나 WC이 배양 8시간 때에 유의하게 낮은 경향($p < 0.05$)을 보여 주었다. 이와 같은 결과는 SFCR구가 벧짚 첨가에 의해 반추위 미생물에 의한 발효가 WC구 보다 느리게 진행 되었으며, 전체 배양기간 동안 평균 pH는 WC구에서 다소 높은 경향을 나타내었는데 이는 *in vivo* 시험에서 옥수수 급여시 particle size가 증가하고 통옥수수 일수록 pH가 증가한다는 Galyean 등(1979)의 보고와 일치하였다.

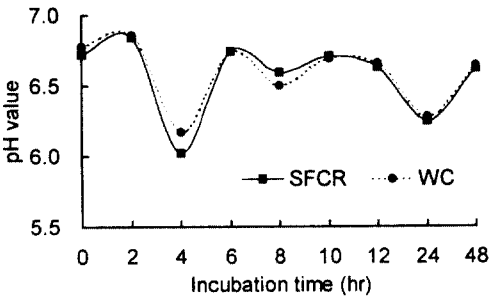


Fig. 1. Change of ruminal pH at various incubation times between SFCR and WC *in vitro*.

(2) Total gas 발생량

전체 배양시간동안의 gas 발생량은 WC구에서 유의하게 낮았으며($p < 0.01$), 두 처리구 모두 시간이 지남에 따라 gas 발생량은 증가하였다 (Table 3). *In vivo* 시험에서 WC나 SFC의 경우 소화율이 증가하면 methane 발생량이 30% 이상 감소한다는 보고가 있으나(Johnson 등, 1968; Zinn, 1987; Zinn 등, 1995), 본 실험에서는 SFCR구가 건물소화율이 높았음에도 불구하고

Table 3. Change of total gas production at various incubation times between SFCR and WC *in vitro*

Incubation time (hr)	SFCR	WC	SEM
	..... ml .....	..... ml	
0	-	-	
2	5.50 ^A	2.80 ^B	0.30
4	8.37 ^A	5.73 ^B	0.31
6	10.83 ^A	7.27 ^B	0.21
8	14.50 ^A	10.47 ^B	0.27
10	18.37 ^A	14.50 ^B	0.26
12	23.63 ^A	19.83 ^B	0.24
24	49.97	44.83	0.38
48	67.97 ^A	64.83 ^B	0.81
Mean	21.65 ^A	18.88 ^B	0.21

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.01$).

고 gas 발생량이 높았던 것은 WC구에 CO₂ gas 증가 때문으로 판단된다. Callaway 등(1996)의 WC와 cracked-roll corn을 기질로 한 *in vitro* 비교시험에서 methane 발생량은 감소하고 CO₂ 발생량이 증가하였으나 total gas 발생량은 WC구에서 감소하였다는 보고와 일치하였고, Ramirez 등(1985)의 *in vitro* 실험에서 gas 발생량과 곡류의 젤라틴 함량 사이에는 높은 상관관계가 있어 전분 입자의 젤라틴 정도가 높을수록 gas 발생량이 높다고 보고하였는데, SFCR구의 gas 발생량이 유의하게 높았던 것도 SFC의 가공처리에 의한 표면적 증가에 따른 전분 입자의 젤라틴 함량의 증가로 때문이며, 특히 methane 보다는 CO₂ gas의 증가에 의한 것으로 판단된다.

(3) Ammonia nitrogen (NH₃-N) 농도변화

전체 배양시간에 따른 NH₃-N의 농도변화는 8.81~15.40mg/100ml 수준이었으며, 두 처리구에서 큰 차이는 보이지 않았다(Callaway 등, 1996;

Russell 등, 1989). 배양 8시간 때에 WC 구에서 유의하게 높은 경향을 나타내었는데 ($p<0.01$), 볏짚이 첨가되었던 SFCR구에 비해 반추위 섬유소 분해 박테리아에 의한 섬유소 분해 작용이 상대적으로 낮았기 때문에 8시간 이후 NH_3-N 함량이 WC구에서 높았다고 판단된다(Table 4).

Table 4. Change of NH_3-N concentration at various incubation times between SFCR and WC *in vitro*

Incubation time (hr)	SFCR	WC	SEM
	..... ml	.....
0	8.81	8.82	0.48
2	9.15	9.81	0.48
4	8.86	9.52	0.94
6	9.95	9.60	0.78
8	11.34 ^A	12.76 ^B	0.08
10	11.03	11.98	0.72
12	10.30	10.41	0.42
24	14.74	15.40	0.39
48	14.74	15.40	0.81
Mean	10.54	10.91	0.21

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.01$).

(4) VFA 농도 측정

배양시간에 따른 total VFA농도는 배양 8시간 때까지 SFCR구가 유의적으로 높았고($p<0.05$), 이후 계속 증가하는 경향을 보였으며 전체 배양기간 평균 total VFA농도 또한 SFCR에서 유의적으로 높았다($p<0.01$)(Table 5). 배양시간 8시간 이후 두 처리구에서 Total VFA농도는 비슷한 경향을 보였는데, 발효초기에 사료 입자도에 따른 반추위미생물의 발효 조건의 차이와 때문이다(Callaway 등, 1996). Acetate의 평균농도 변화는 전체 배양기간 동안 SFCR구가 유의적으로 높았으나($P<0.01$), propionate의

Table 5. Chang of total VFA concentration at various incubation times between SFCR and WC *in vitro*

Incubation time (hr)	SFCR	WC	SEM
	..... mM/l	.....
0	36.09 ^a	23.15 ^b	2.00
2	40.07 ^A	22.61 ^B	1.75
4	38.46 ^A	23.73 ^B	2.14
6	39.76 ^A	22.78 ^B	2.20
8	39.18 ^a	23.09 ^b	3.22
10	36.55	31.44	4.85
12	40.80	39.45	6.16
24	104.53	91.64	4.09
48	108.92	107.68	15.27
Mean	53.74 ^A	43.65 ^B	3.79

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.01$).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.05$).

함량은 WC구에서 유의적으로 높았는데($p<0.01$), Galyean 등 (1979)의 *in vivo* 육우에서 옥수수의 particle size가 증가할수록 반추위 내 pH와 propionate 함량이 증가한다는 보고와 일치 하였다(Fig. 2).

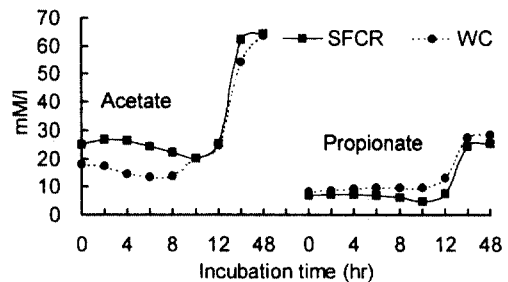


Fig. 2. Change of acetate, propionate and butyrate concentration at various incubation times between SFCR and WC *in vitro*.

(5) 건물소화를 측정

전체 배양시간에 따른 건물소화율의 변화는 큰 차이는 없었으나, 배양 12시간대까지 SFCR구가 WC구보다 다소 높았으며 특히 6시간대에는 SFCR구가 유의하게 높았다($p < 0.05$). 배양 12, 24, 48시간대에서의 건물소화율은 WC구가 SFCR구 보다 높은 소화율을 나타내었는데 (Table 6), 일반적으로 *in vivo* 실험에서 SFC가 WC나 dry-rolled corn 보다 starch 함량의 증가로 인하여 초기 배양시간 대에 반추위 내 소화율이 높았다는 보고와 일치하였으며(Ramirez 등, 1985; Zinn 등, 1983; Owens 등, 1986; Kim 등 1985; Firkins 등, 2001), WC와 cracked corn 또는 grounded corn의 *in vivo* 비교실험에서 WC구에서 소화율이 다소 감소하였다는 보고와 일치 하였다(Moe 등, 1973; Murphy 등, 1994).

2. 한국재래산양에 의한 조사료 무급여 사료의 반추위 내 발효특성 (실험 2)

(1) pH 측정

사료급여 후 시간대에 따른 전체적인 평균 pH의 변화는 SFCR구에서 6.05, WC구에서 5.96으로 WC구가 다소 낮은 경향을 보였지만 전체적으로 반추위 적정수준의 pH를 유지하였는데, 면양 시험에서 분쇄옥수수나 Pelleted 옥수수 보다 WC 급여가 안정한 반추위 내 pH를 유지하였다는 보고와 일치하였다(Hart 등, 1991; Hejazi 등, 1999). 배양 4시간대에 SFCR구의 pH가 감소는 경향은 SFC 가공처리에 의해 starch의 가수분해에 의한 효과이고(Walker 등, 1995), 이후 다시 증가하였다가 8시간대 이후 감소하는 현상은 반추위 내 cellulolytic bacteria의 분해활동 및 수의 감소 때문이다(Russell 등, 1979) (Fig. 3). WC구가 SFCR구에 비해 propionate의 함량이 높으나(Table 9) 반추위 내 정상 pH를 유지 할 수 있었던 것은 WC 급여에 의한 lactate의 생성이 감소되었기 때문이다(Dennis 등, 1980; 1981; Callaway 등, 1996). 사료급여 후 시간에 따른 pH의 변화는 전반적으로 사료급여 후 WC구는 전반적으로 안정된 pH를 보였으나 SFCR구에서는 시간대에 따라

Table 6. Change of dry matter digestibility at various incubation times between SFCR and WC *in vitro*

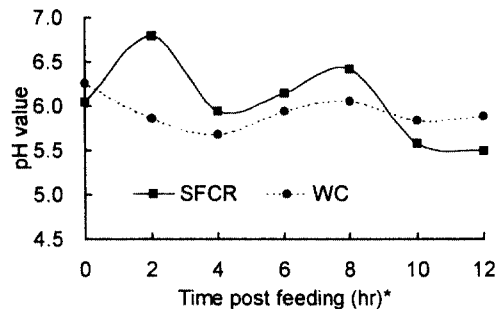
Incubation time (hr)	SFCR	WC	SEM
 %	
0	-	-	-
2	4.46	3.45	0.31
4	5.40	6.18	0.60
6	9.82 ^a	6.35 ^b	0.76
8	10.50	9.97	0.93
10	15.16	16.00	0.82
12	22.40	22.17	1.24
24	48.14	50.36	0.71
48	60.52 ^B	65.16 ^A	0.67
Mean	20.10	19.77	0.46

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.01$).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.05$).



* Diets were fed twice daily at 08:00 and 20:00.

Fig. 3. Change of ruminal pH at various post feeding times between SFCR and WC on KNG.

큰 차이가 보였는데, WC가 FC보다 더 안정된 반추위 내 산도를 유지한다는 Lee 등(1982)의 보고와 일치하였다. 사료급여 12시간대 SFCR구에서 유의하게 pH가 낮았는데 ($p < 0.05$) SFCR구가 반추위 내에서 발효 속도가 SFC의

가공처리에 의해 더 빠르게 진행 되었기 때문이다(Murphy 등, 1994).

(2) 반추위 내 미생물단백질 함량 측정

사료급여 후 시간대별 미생물단백질 함량은 SFCR구가 WC구에 비해 유의적으로 높았으며 ($p < 0.01$), 사료급여 후 8시간까지 증가하다가 이후 감소하는 경향을 나타내었다(Table 7). 이와 같은 결과는 SFCR구의 옥수수 steam-flaking 가공처리에 의한 영향 때문이며, 비육우 시험(Zinn 등, 1990; Theurer 등, 1996, 1999) 과 면양 시험(문 등, 1986)에서 사료 내 단백질 원이 steam-flaking되면 반추위 내에서 미생물단백질 함량과 starch 소화율은 증가시킨다는 보고와 일치하였으며, 유우시험에서도 비슷한 결과가 보고 되었다 Plascencia 등, 1996).

(3) Ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) 농도 측정

전체적인 배양기간 동안 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 WC구가 SFCR구 보다 유의하게 높았다($p < 0.01$). 사료급여 후 시간대별 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 WC구에서는 농도의 변화가 심하지 않았으나 SFCR구에서 사료급여 후 4시간대에 급격히 감소하였고 10시간대 이후 다시 증가하였는데(Table 8), 이는 SFCR의 가공처리과정 중 열처리에 의한 가용성단백질의 함량이 감소하였고(Lee 등, 1982), 반면 starch의 분해속도 증가(Zinn 등, 2002)에 의해 6시간대에 가장 낮은 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도를 나타내었으며, 이는 "protein sparing" 효과 때문이다(Russell과 Strobel, 1989). 그러나 Murphy 등(1994)의 실험에서 옥수수의 급여 형태에 따른 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 변화가 없었다는 결과와 상이하였다.

(4) Total VFA와 acetate, propionate 농도 측정

반추위 내 total VFA 함량은 WC구가 유의하게 높았으며($p < 0.01$), Lee 등(1982)의 보고와 같았다. 사료급여 후 시간대에 따른 total VFA의 변화는 0~2시간대까지 증가하였으나 그 이후 감소하는 경향을 나타내었다. Acetate의 함량은 유의적 차이를 보이지 않았으나 propionate의 평균 발생량은 WC구가 유의하게 높았다($p <$

Table 7. Change of ruminal microbial protein at various post feeding times between SFCR and WC on KNG

Time post feeding (hr)*	SFCR	WC	SEM
	mg/100ml		
0	25.59	13.36	5.72
2	20.90	15.46	8.31
4	21.92 ^a	14.41 ^b	6.37
6	24.55 ^A	13.37 ^B	3.99
8	24.00 ^A	15.40 ^B	4.49
10	22.17 ^a	13.47 ^b	5.52
12	22.55 ^a	17.04 ^b	3.93
Mean	23.09 ^A	15.79 ^B	5.48

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

* Diets were fed twice daily at 08:00 and 20:00.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.01$).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.05$).

Table 8. Change of $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration at various post feeding times between SFCR and WC on KNG

Time post feeding (hr)*	SFCR	WC	SEM
	mg/100ml		
0	9.07	10.49	0.58
2	9.31	10.35	0.85
4	5.39 ^b	10.78 ^a	0.59
6	4.62 ^b	10.56 ^a	0.66
8	5.77 ^b	10.43 ^a	0.57
10	8.46	11.26	0.50
12	6.33 ^b	12.72 ^a	0.69
Mean	6.99 ^B	10.94 ^A	0.64

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

* Diets were fed twice daily at 08:00 and 20:00.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.01$).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.05$).

Table 9. Change of total VFA, acetate and propionate concentration at various post feeding times SFCR and WC on KNG

Time post feeding (hr)*	SFCR	WC	SEM
	..... mM/l	.....
Total VFA			
0	49.95 ^b	72.81 ^a	2.63
2	85.92	92.15	4.66
4	82.08	90.30	2.93
6	75.52	83.47	2.26
8	62.68 ^B	78.22 ^A	1.35
10	95.67	102.97	3.68
12	92.81	104.90	2.17
Mean	77.80 ^B	89.26 ^A	2.98
Acetate			
0	31.64 ^b	39.10 ^a	0.95
2	49.70	51.69	3.17
4	47.62	49.88	2.18
6	44.67	46.24	1.80
8	38.35	43.92	1.15
10	54.02	57.27	2.63
12	53.51	59.04	1.85
Mean	45.65	49.57	2.09
Propionate			
0	10.02 ^b	24.78 ^a	1.88
2	23.60	28.50	1.59
4	22.64	22.06	1.12
6	20.19	26.84	1.07
8	15.36 ^b	24.20 ^a	1.10
10	27.13	31.61	1.90
12	26.25	30.67	1.35
Mean	20.72 ^B	27.95 ^A	1.47

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

* Diets were fed twice daily at 08:00 and 20:00.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different (p<0.01).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different (p<0.05).

0.01) (Allen, 2000). Van Nevel 등(1977)의 *in vitro* 시험에서 methane gas와 acetate 함량의 감소와 propionate의 함량이 증가하였다는 결과와 일치 하였으며(Table 9), 통옥수수 급여 시 acetate/propionate의 비율의 변화는 통옥수수의 "roughage factor"로 판단된다(Murphy 등, 1994; Vance 등 1972; Callaway 등, 1996).

(5) Total lactic acid농도 변화

사료급여 후 total lactate의 평균농도는 SFCR 구가 유의적으로 높게 나타내었으나(p<0.05), 두 처리구 모두 산독증 징후의 농도 40mM (Owens 등, 1998)에 비해 현저히 적은 농도를 나타내었으며, Vance 등(1972)의 결과와 유사한 경향을 나타내었다 (Table 10). WC구가 propionate의 증가에도 불구하고 lactate를 생성하는 Gram-positive bacteria와 *Streptococcus bovis*, *S. Ruminantium*과 *Lactobacillus*, *Clostridia* 종들의

Table 10. Change of total lactate concentration at various post feeding times between SFCR and WC on KNG

Time post feeding (hr)*	SFCR	WC	SEM
	..... mg/100ml	.....
0	0.20	0.19	0.01
2	0.19	0.15	0.01
4	0.22	0.17	0.11
6	0.21	0.15	0.01
8	0.19	0.17	0.01
10	0.23	0.15	0.01
12	0.21	0.19	0.01
Mean	0.21 ^B	0.17 ^A	0.01

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

* Diets were fed twice daily at 08:00 and 20:00.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different (p<0.01).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different (p<0.05).

성장이 억제되어 lactate 생성이 감소되었기 때문이다(Dennis 등, 1980; 1981; Callaway 등, 1996; Russell 등, 1989).

(6) 조사료 무급여사료의 반추위 내 *in sacco* disappearance rate

Nylon bag을 이용한 방법으로 통옥수수를 가축에게 급여 시 저작에 의한 통옥수수 외피의 손상으로 소실율을 증가시킬 수 있는 요소는 배제 되었으며, 전 배양시간 동안 SFCR가 WC보다 건물 소실율이 유의하게 높았다($p < 0.01$) (Table 11). 일반적으로 SFCR이 WC보다 배양 초기 더 많은 양이 소화되며, 반추동물에 있어서 steam-flaked 옥수수 섭취 반추위 내 미생물이 attach할 수 있는 표면적이 증가하여 소화율을 향상시킬 수 있고 Ramirez 등, 1985), *in vivo* 시험에서 SFC 급여시 starch 소화율이

10% 정도, total OM 소화율이 8.6% 정도 증가하였다고 보고하였으며 Zinn 등, 1995). 한편 McAllister 등 1990)의 결과에서 배양 48시간대에 통옥수수의 건물 소실율이 14%였으나 본 시험에서는 9.52%로 다소 낮은 소실율을 나타내었고, Beauchemin 등 1994) 시험에서 옥수수의 외피 손상 없이 실시한 옥수 *in sacco* 시험에서 소실율이 30%정도 감소하였다는 결과와 일치하였다.

IV. 요약

본 연구는 반추가축에 있어 통옥수수를 주로 이용한 조사료 무급여사료의 발효특징을 알아보기 위하여 실시하였다. 대조구는 steam-flaked corn으로 구성된 농후사료 (80%)와 벃짚 (20%)을 혼합한 사료 SFCR)와 통옥수수와 면실피로 구성된 조사료 무급여사료(WC)를 사용하였다. 실험 1은 한우 반추위 미생물을 이용하여 *in vitro* 시험을 2처리 3반복 시험을 배양 시간 48시간 동안 실시하였고, 실험 2는 한국 재래산양을 이용한 반추위 내 발효 특성을 알아보기 위하여 *in vivo* 시험을 2처리 4반복 실험을 15일간 실시 하였으며, *in sacco* 시험은 2처리 3반복으로 시험을 3일간 실시하였다. 실험 1에서 SFCR구와 WC구 모두 반추위 적정 pH를 유지하였으며 처리간에 유의성은 없었으나 배양 4시간 대에 SFCR에서 다소 낮은 경향을 나타내었다. Gas 발생량은 SFCR구에서 유의적으로 높았으며($p < 0.01$), NH_3-N 농도는 WC구에서 다소 높은 경향을 나타내었다. Total VFA농도는 8시간대까지 WC구에서 유의성있게($p < 0.01$) 낮았고 이후 유의성은 없었으나 두 처리구 모두 점차적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 전체 평균 Acetate 함량은 SFCR구에서 모두 유의적으로 높았으며($p < 0.01$), 전체배양시간에 동안 propionate 함량은 WC구에서 유의적으로 높았다($p < 0.01$). 건물소화율은 두 처리구 모두 유의적 차이가 없으나 SFCR구에서 다소 높은 경향을 보였다. 실험 2에서 두 처리구 모두 전체적으로 다소 낮은 pH를 보였으며 유의적 차이는 없었으나 SFCR구에서 다소 높은 경

Table 11. Change of dry matter appearance at various post feeding times between SFCR and WC *in sacco*

Time post feeding (hr)*	SFCR%	WC	SEM
0	6.55 ^A	2.43 ^B	0.13
2	12.25 ^A	3.18 ^B	0.33
4	13.44 ^A	3.66 ^B	0.01
8	17.71 ^A	3.83 ^B	0.99
12	23.27 ^A	4.80 ^B	0.12
24	40.22 ^A	8.26 ^B	0.31
48	58.61 ^A	9.52 ^B	0.43
72	80.30 ^A	26.91 ^B	0.65
Mean	31.54 ^A	7.82 ^B	0.30

SFCR : steam-flaked corn based diet 80% + rice straw 20%.

WC : whole corn based diet 100%.

* Diets were fed twice daily at 08:00 and 20:00.

^{A, B} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.01$).

^{a, b} Mean in the same row with different superscript are significantly different ($p < 0.05$).

향을 보였다. 반추위 미생물단백질 함량은 SFCR구에서 유의하게 높았으나, $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 WC구에서 유의하여 높았다($p<0.01$). Total VFA 함량과 propionate 함량도 WC구에서 유의하게 높았으나($p<0.01$), acetate 함량은 유의성은 없었고 WC구에서 다소 높았다. 전체적인 Lactate 함량은 두 처리구에서 유의적 차이를 보였으나($p<0.01$) 산독증 발병 수준 이하의 함량을 나타내었다. Nylon bag에 의한 한국재래산양 반추위 내 *in sacco* 건물소실율은 SFCR에서 유의적으로 높은 경향을 나타내었다($p<0.01$). 이상의 시험 결과에 의하면 농후사료 80%와 볏짚 20%로 구성된 SFCR 사료가 반추위 내 발효 특성에 있어서 통옥수수과 면실피로 구성된 조사료 무급여사료와 큰 차이가 없었으며, 반면 조사료 무급여사료는 사료 가공비용 감소에 의해 경제성이 증가할 것이다.

V. 인용 문헌

- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83:1598.
- AOAC. 1980. Official method of analysis 13thed. Association of Official Analytical Chemists. Washinton D. C.
- Barker, S. B. and Summerson, W. H. 1940. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.* 138:535.
- Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., Dong, Y., Farr, B. I., Chen, K. H., Huber, J. T., Theurer, C. B., Swingle, R. S., Simas, J., Chan, S. C., Wu, Z. and Sullivan, J. L. 1994. Effect of steam flaking of corn and sorghum grains on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77:1038.
- Callaway, Todd T. and Scott A. Martin. 1996. Effect of organic acid and monensin treatment on *in vitro* mixed ruminal microorganism fermentation of cracked corn. *J. Anim. Sci.* 74:1982.
- Cole, N. A., Johnson, R. R. and Owens, F. N. 1976. Influence of roughage level and corn processing method on the site and extent of digestion by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:490.
- Dennis, S. M., Nagaraja, T. G. and Bartley, E. E. 1980. Effect of lasalocid or monensin on lactic acid production by rumen bacteria. *J. Anim. Sci.* 51(Suppl. 1):96.
- Dennis, S. M., Nagaraja, T. G. and Bartley, E. E. 1981. Effect of lasalocid or monensin on lactate-producing or using rumen bacteria. *J. Anim. Sci.* 52:418.
- Erwin, E. S., Marco, G. J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 41:1768.
- Firkins, J. L., Eastridge, M. L., St-Pierre, N. R. and Noftsker, S. M. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 79 (E. Suppl.): E218.
- Galyean, M. L., Wagner, D. G. and Owens, F. N. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. *J. Anim. Sci.* 49:204.
- Garrett, E. F., Pereira, M. N., Nordlund, K. V., Armentano, L. E., Goodger, W. J. and Oetzel, G. R. 1999. Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1170.
- Hart, S. P. and Glimp, H. A. 1991. Effect of diet composition and feed intake level on diet digestibility and ruminal metabolism in growing lambs. *J. Anim. Sci.* 69:1631.
- Hejazi, S., Fluharty, F. L., Perley, J. E., Loerch, S. C. and Lowe, G. D. 1999. Effects of corn processing and dietary fiber source on feedlot performance, visceral organ weigh, diet digestibility, and nitrogen metabolism in lambs. *J. Anim. Sci.* 77:507.
- Hixon, D. L., Hatfield, E. E. and Lamb, P. E. 1969. Comparison of whole shelled corn with cracked corn in cattle finishing diets. *J. Anim. Sci.* 29:161 (Abstr.).
- Johnson, D. E., Matsushima, J. K. and Knox, K. L. 1968. Utilization of flaked vs cracked corn by steers with observations on starch modification. *J. Anim. Sci.* 27:1431.
- Kim, Y. K. and Owens, F. N. 1985. Starch digestion by feedlot cattle: Influence of roughage and intake level and particle size. *Oka. Agric. Exp. Stn. Anim. Sci. Res. Rep.* 117:298.

18. Lee, R. W., Galyean, M. L. and Lofgreen, G. P. 1982. Effects of mixing whole shelled and steam-flaked corn in finishing diets on feedlot performance and site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 55:475.
19. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J. and Farr, R. L. and Randall, R. J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265.
20. McAllister, T. A., Rode, L. M., Major, D. J., Cheng, K. J. and Buchan-smith, J. G. 1990. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can. J. Anim. Sci.* 70:571.
21. McDougall. E. I. 1948. Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochem. J.* 43:99.
22. Moe, P. W. and Tyrrell, H. F. 1973. Effects of feed intake and physical form on energy value of corn in timothy hay diets for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 60:752.
23. Murphy, T. A., Fluharty, F. L. and Loerch, S. C. 1994. The influence of intake level and corn processing on digestibility and ruminal metabolism in steers fed all-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 72:1608.
24. Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis: Implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80: 1005.
25. Oltjen, R. R., Putnam, P. A., Williams, Jr. E. E. and Davis, R. E. 1966. Wheat versus corn in all concentrate cattle rations. *J. Anim. Sci.* 25: 1000.
26. Owens, F. N., Raney, R. Y. and Trembiay, J. C. 1986. Influence of level of feed intake and roughage on small intestinal digestion and passage in steers. *Okla. Agric. Exp. Stn. Anim. Sci. Res Rep.* Mp-118:161.
27. Owens, F. N., Secrist, D. S., Hill, W. J. and Gill, D. R. 1998. Acidosis in cattle: A Review. *J. Anim. Sci.* 76:275.
28. Plascencia, A. and Zinn, R. A. 1996. Influence of flake density on the feeding value of steam processed corn in diets for lactating cows. *J. Anim. Sci.* 74:310.
29. Ramirez, R. G., Kiesling, H. E., Galyean, M. L., Lofgreen, G. P. and Elliott, J. K. 1985. Influence of steam-flaked, steamed-whole or whole shelled corn on performance and digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 61(1):1.
30. Reinhardt. C. D., Brandt, Jr., R. T., Eck, T. P. and Titgemeyer, E. C. 1998. Performance, digest0 tion, and mastication efficiency of Holstein steers fed whole or processed corn in limit- or full-fed growing-finishing systems. *J. Anim. Sci.* 76:1778.
31. Russell, J. B., Schcarp, W. M. and Baldwin, R. L. 1979. The effect of pH on maximum bacterial growth rate and of bacterial competition in the rumen. *J. Anim. Sci.* 48:251.
32. Russell, J. B. and Strobel, H. J. 1989. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *App. Environ. Microbiol.* 55:1.
33. SAS. 1999. SAS/STAT guide for personal computers @8.01. SAS Inst. Inc., Gary., NC., USA.
34. Sharp, W. M., Johnson, R. R. and Owen, F. N. 1982. Ruminal VFA production with steers fed whole or ground corn grain. *J. Anim. Sci.* 55: 1505.
35. Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1981. Principles and procedures of statistics, 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
36. Trei, J., Hale, W. H. and Theurer, B. 1966. Influence of grain processing factors on the *in vitro* fermentation rate. *Ariz. Cattle Feeders Day, Tuscon.* pp 34.
37. Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B. and France, J. 1994, A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feedstuffs. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 48:185.
38. Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649.
39. Theurer, C. B., Lozano, O. and Alio, A. 1996. Ruminal vs intestinal starch digestion affects nutrient use and efficiency of gain in feedlot cattle. In: *Proc. Southwest Nutr. Manage. Conf., Phoenix, Az.* p. 97.
40. Theurer, C. B., Lozano, O., Alio, A., Delgado-Elorduy, A., Sadik, M., Huber, J. T. and Zinn, R. A. 1999. Steam-processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and total tract digestibility of starch by steers. *J. Anim. Sci.* 77:2824.

41. Vance, R. D., Preston, R. L., Klosterman, E. W. and Cahill, V. R. 1972. Utilization of whole shelled and crimped corn grain with varying proportions of corn silage by growing-finishing steers. *J. Anim. Sci.* 35:598.
 42. Van Nevel, C. J. and Demeyer, D. I. 1977. Effects of monensin on rumen metabolism *in vitro*. *Appl. Environ. Microbiol.* 34:251.
 43. Walker, J. A. and Harmon, D. L. 1995. Influence of ruminal or abomasal starch hydrolysate infusion on pancreatic exocrine secretion and blood glucose and insulin concentration in steers. *J. Anim. Sci.* 73:3766.
 44. Zinn, R. A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tyrosine on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 65:256.
 45. Zinn, R. A. and Owens, F. N. 1983. Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 56:471.
 46. Zinn, R. A., Adams, C. F. and Tamayo, M. S. 1995. Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry-rolled and steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.* 73:1239.
 47. Zinn, R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:776.
 48. Zinn, R. A., Owen, F. N. and Ware, R. A. 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 2002. 80:1145.
 49. 문태현, 육종룡, 하종규, 한인규. 1986. 면양에 있어서 옥수수의 입자도가 반추위 내 통과속도, 단백질과 건물의 분해 및 소화율에 미치는 영향. *한국축산학회지.* 28:720.
- (접수일자 : 2002. 7. 29 / 채택일자 : 2002. 11. 25)