

# Auto-Pressure Transducer를 이용한 국내산 고간류의 사료가치평가

이상석\*·하종규\*·장문백\*\*

서울대학교 농생명공학부\*, 중앙대학교 동물자원과학과\*\*

## Evaluation of Feed Values of Korean Straws Using Pressure Transducer

Sang S. Lee\*, J. K. Ha\* and M. B. Chang\*\*

School of Agric. Biotechnol., Seoul National University\*,

Animal Science & Technology, Chung-Ang University\*\*

### ABSTRACT

Accurate and rapid evaluation of the nutritional quality of Korean straws is important because of the recent increase in the use of these feedstuffs in Korean. The aim of the study was to establish with relationships between ruminal fermentation of Korean straws and *in vitro* gas production using a pressure transducer. The pressure transducer system includes pressure sensors, AD board, LED monitor, and the computer with real-time graphics. Both gas production and DM digestibility data were fitted into the exponential equation  $P = a + b(1 - e^{-ct})$ . The initial rate of gas production was highest for rice straw, followed by barley straw and wheat straw. The gas production rate of constant (c) in gas production for rice straw, wheat straw, and barley straw were 3.8, 2.5, and 2.5 %h<sup>-1</sup>, respectively. Total VFA concentration (mM) produced after 72h incubation was similar among three Korean straws, even though was variable during the early (12h) fermentation. Volume of gas production was related ( $P > 0.05$ :  $r = 0.76$  to  $0.83$ ) to DM disappearance and also strongly related ( $p < 0.05$ :  $r = 0.91$  to  $0.98$ ) to VFA concentration at all incubation times. Linear correlation showed between gas production and DM disappearance and VFA by *in vitro* will be matched in *in vivo* digestibility.

(Key words : Pressure transducer, Gas production, VFA, Linear correlation)

### I. 서 론

가스발생량을 이용한 사료의 가치평가는 1974년 Menke와 Ehrensvard에 의하여 시도된 이후 많은 발전을 거듭하여 왔다. 최근에 가스 발생량을 측정하는 방식은 미국, 영국, 네덜란드를 중심으로 약간의 차이를 두고 있지만, 압력센서(pressure transducer)를 이용하여 가스 발

생량을 측정함으로써 발생된 가스량을 보다 쉽고 정확하게 측정할 수 있게 되었다 (Pell and Schofield, 1993; Theodorou 등. 1994; Cone 등, 1996). 사료의 소화율을 측정하는 방법은 1963년 Tilley와 Terry에 의해 고안된 *In vitro* 소화율 방법과 nylon bag에 사료를 넣은 후 반추위 내에서 분해되는 양을 측정하는 *In situ* 소화율 측정방법이 있다. 그러나 이들 방법은 소화된

“본 연구는 1998학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.”

Corresponding author : J. K. Ha, School of Agricultural Biotechnology Seoul National University, Suweon, 441-744. Tel : +82-31-290-2348 Fax : +82-31-295-7875 E-mail : jongha@snu.ac.kr

물질의 양을 측정할 때 발생하는 문제점이나, 입자의 크기가 작은 사료의 경우 분해되지 않고 통과하는 입자까지 분해된 값에 포함하여 계산된다거나 시간에 따른 소화율 측정치를 얻는데 한계가 있기 때문에 소화율 상수를 구하는데 정확성이 떨어진다. 압력센서가 장착된 가스발생량 측정장치는 가스발생량을 디지털 신호 형태로 변환하여 일정시간동안 많은 데이터값을 얻을 수 있어서 사료의 소화율을 정확하고 쉽게 구할 수 있다.

국내산 볶짚, 보리짚 및 밀짚은 반추 동물의 조사료원으로 오랫동안 이용되어 왔다. 그러나 이들 고간류는 단백질 함량이 낮고 단단한 섬유질 결합으로 되어 있어서 반추위내 소화율이나 섭취량이 낮은 결점이 있다. 특히 볶짚내 많이 포함되어 있는 실리카는 반추위내 미생물에 의한 분해를 저하시키고 섬유소 분해효소의 작용을 저해시켜 소화율에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Walli 등, 1988, Balasta 등, 1989). 고간류의 이용효율을 높이기 위해서는 반추위내 발효율과 발효 속도에 관한 보다 정확한 측정값이 요구된다. 가스발생량 기법을 이용한 사료의 가치평가는 사료의 분해율이 낮은 조사료와 사료의 분해에 영향을 미치는 항영양소 인자나 폐놀 화합물이 포함되어 있는 조사료의 평가에 이용이 용이하다고 알려져 있다 (Khazaal 등, 1994).

따라서 본 실험은 국내산 고간류의 정확한 사료적 가치를 평가하는 방안으로 압력센서가 장착된 측정장치를 사용하여 고간류의 분해율을 조사하고 가스발생량과 발효 산물과의 상관관계를 알아보고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 가스발생량 측정장치

가스발생량 측정장치는 Pell과 Schofield (1993) 방법과 Theodorou 등 (1994)의 장치를

기초로 제작하였다. 장치의 구성은 압력센서 (pressure transducer), A/D 변환기, LED 디지털 변환 장치 및 컴퓨터로 구성되었으며, 각각의 구성 장치는 외부로부터 오염을 막기 위해 제한된 공간에서 조합하여 제작하였다 (Fig. 1). 압력센서의 측정 범위는 0~15 psi (0~103.4 kPa)이며, 오차 범위는 0.0±0.1% 미만이다. 압력센서의 후미부분은 3 방향 luer-lock stopcock를 연결하여 한 부분은 주사기 바늘 (21 gauge ×1.5 Inch)이 연결되도록 하였으며, 다른 부분은 주사기를 연결하여 발생된 가스를 수집하여 측정할 수 있도록 하였다.

A/D 변환기는 A/D 변환카드, 케이블, 채널로 구분할 수 있으며 입력값은 0~5V로 12bit의 분해능을 가진 A/D converter로 제작하였으며, 16채널까지 연결이 가능하며 오차범위는 0±0.05%로 구성된 변환기를 사용하였다. 컴퓨터에 사용된 소프트웨어는 AXIOM Technology® (Madison, USA)에서 제작한 real time graphics로서 신호 변환기에서 증폭된 자료를 컴퓨터에서 분석, 저장, 수치계산을 할 수 있는 기능을 지니고 있다.

LED 디지털표시기는 측정된 가스발생량을 확인할 수 있도록 만든 장치로서 A/D 판독 표시기라고 할 수 있다. 기본 구성은 입력된 0~5V내의 값을 12bit의 분해능을 가질 수 있도록 동일하게 장치하였으며, 입력된 값은 PSI(Pound per Square Inch) 값으로 변환할 수 있도록 하였다. 또한 기체상태 방정식인  $PV=nRT$ 를 이용하여 압력(Psi)을 가스생성량 (mL)으로 환산할 수 있도록 제작하였다. 위의 법칙을 통해 가스발생량은 다음과 같이 나타내었다.

$$G_p = V_h/P_a \times P_t$$

( $G_p$  = gas volume,  $V_h$  = serum bottle space volume,  $P_a$  = atmospheric pressure,  $P_t$  = Pressure transducer reading)

### 2. 반추위액 채취 및 기질

반추위액은 볶짚과 농후사료를 6:4 비율로



Fig. 1. The pressure transducer system components including the pressure center (A), LED indicator (B), AD converter (C), computer with the real time graphics software (D).

급여한 Holstein 수소에서 채취한 위액을 사용하였다. 반추위 내용물은 4겹의 cheesecloth로 거른 후 O<sub>2</sub>-free-CO<sub>2</sub>가 충전된 용기에 넣어 실험실로 즉시 운반한 후 CO<sub>2</sub> 가스를 계속적으로 주입하면서 *in vitro* 배양에 사용하였다. 기질로 이용된 고간류는 국내산 벣짚, 보릿짚, 밀짚을 사용했으며, 2mm screen size의 wiley mill로 분쇄한 후 본 시험에 사용하기 전까지 polyethylene 용기에 넣어 보관하였다.

### 3. *In vitro* 배양

가스발생량 측정을 위한 *In vitro* 배양은 Theodorou 등(1994)의 방법에 따라 실시하였다. 미생물의 배양은 125ml serum bottle에 90ml의 semi-defined medium(Lowe 등, 1985)과 10ml의 반추위액을 첨가하여 실시하였다. 사용된 기질은 wiley mill로 분쇄한 국내산 벣짚, 보릿짚, 밀짚이었으며, 각 배양용기에 1g씩 첨가하였다. 배양용기는 가스의 누출을 막기 위해 aluminum sealing cap을 사용하여 밀봉하였으며 배양을 시작한 후 3시간 간격으로 72시간까지 가스발

생량을 측정하였다.

### 4. 조사항목

시료는 AOAC(1990) 방법에 따라 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분을 분석하였고, 건물은 65°C dry oven에서 48시간 건조한 후 측정하였다. 배양이 완료된 후 가스발생량은 압력센서가 장착된 가스발생량 측정장치를 이용하였다. 측정된 압력은 가스생성량(ml)으로 환산하여 표시된 값과 발생된 압력수치가 다시 0의 값으로 표시될 때까지의 주사기내의 가스의 양을 비교하여 결정하였다. 건물소화율을 측정하기 위하여 기질을 배지의 1% (1.0g/100ml)로 첨가하였으며, 건물소화율 계산시 반추위액으로부터 유래하는 건물량을 보정하기 위하여, 기질을 첨가하지 않은 시험구도 함께 공시하였다. 휘발성 지방산(VFA)은 배양액을 5ml를 취하여 Erwin(1961)의 방법에 따라 전 처리한 후, GC(HP5890, Hewlett Packard, Co.)로 분석하였다.

## 5. 통계분석

가스발생량 측정결과는 Ørskov와 McDonald (1979)의 단일지수방정식인  $P=a+b(1-e^{-c})$ 를 기초로 하여 추정하였는데 이는 Neway 소프트웨어(version 5.0, X. B. Chen, IFRU, RRI; Aberdeen, U.K)를 이용하여 a (가용성부분), b (주어진 시간내 기질에 의해 발생한 가스양), a+b (사료의 잠재적 가스발생량), c (가스발생상수)를 구하였다. 또한 본 실험에서 얻어진 결과는 SAS(Statistical analysis system) package program(1999)에 의하여 통계분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 가스발생량 측정장치

초기 Menke (1979)에 의해 개발된 주사기를 이용한 가스발생량 측정법은 측정값이 정확하지 않고 배양시간 동안에 많은 측정치를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 개발된 장치는 압력센서를 이용하여 측정된 결과를 디지털화시켜 컴퓨터에 측정값을 저장하는 장점을 가지고 있다. 압력센서를 이용한 자동화된 가스발생량 측정장치는 크게 영국의 Therodorou 시스템과 미국의 Pell과 Schofield 시스템으로 구분할 수 있다. 최근 보완된 Davies 등 (2000)이 개발한 시스템은 일정량의 가스가 발생되면 밸브가 열려 발생한 가스를 배출할 수 있는 반면에, Pell과 Schofield (1993) 시스템은 밸브에 의한 가스방출이 없이 압력센서에 의해 발생한 가스를 측정하며 배양액과 기질양이 적은 특징을 지니고 있다. 본 실험에 사용된 가스발생장치는 두 시스템을 기초로 하여 제작된 Semi-automated 가스발생량 측정장치이다. 가스발생량을 수동으로 측정할 수 있도록 추가로 LED 변환장치를 장착했으며, 또한 자동화시스템을 위해 발생한 가스값을 저장할 수 있도록 컴퓨터에 real time

graphics 프로그램을 활용하였다. 가스 측정방식은 가스배출이 없는 Pell과 Schofield (1993) 방식을 따랐으며, 배양액과 기질양은 Theodorou 등(1994)이 사용한 방법을 따라 실시하였다. 본 실험에서는 배양시간 동안에 발생한 가스량은 LED 장치를 이용하여 기록하였으며, 발생한 가스는 화면에 표시된 압력값과 주사기로 수집된 가스량을 비교, 확인함으로써 발생량을 측정하였다.

*In vitro*상에서 배양용기내 발생한 가스를 압력센서를 이용하여 측정하기 시작한 것은 Theodorou 등(1991)에 의해서이다. 수동으로 가스압력과 가스량은 3시간마다 측정하였고, 최대 120시간 또는 144시간까지 측정함으로써 사료의 발효양상을 알 수 있도록 하였다. 자동화된 가스발생량 측정장치는 Beuvink 등(1993)에 의해 시도되었으나 컴퓨터를 통해서 자동화된 장치는 Pell과 Schofield(1993)에 의해 개발되었으며, 장치를 구성하고 있는 배양액, 배양용기, 시료량, 위액량, 압력센서의 종류를 구체적으로 조사함으로써 정확한 발생량을 측정할 수 있게 되었다. Corn 등 (1996)에 의해 사용된 가스발생량 측정장치는 압력센서와 전기밸브를 장착하여 일정한 수준의 가스압이 발생하면 외부로 가스를 배출할 수 있도록 제작하였다.

지금까지 압력센서를 장착한 가스발생량 측정 장치를 사용하여 조사료의 발효성상을 측정 한 실험이 다양하게 이루어졌다. 식물의 성숙 단계에 따른 목초, 사일리지의 이용성을 조사 하였으며(Stefanon 등, 1996), 곡류사료의 물리적 가공방법에 의한 발효양상을 조사할 수도 있다(Castro 등, 1994) 그 외에 사료내 전분이나 단백질의 함량을 달리한 사료의 조성에 따른 발효양상의 차이를 측정하였다 (Debersaques 등, 1998). CNCPS(cornell net carbohydrates and protein system)에서는 사료의 발효속도에 따른 소화율상수 (digestion rate constant)를 얻기 위하여 가스발생량을 측정하여 이용하고 있다.

2. 국내산 고간류의 건물소화율과 가스발생량

국내산 벼짚, 보리짚 및 밀짚의 조단백질 함량은 벼짚이 타 짚류에 비해 비교적 높았으며, 보리짚과 밀짚의 조단백질 함량은 차이가 없었다(Table 1). 소화율에 영향을 미치는 섬유소의 함량은 보리짚과 밀짚보다 벼짚이 낮았으나 전체적으로 유의한 차이는 없었다. 대부분의 고간류는 조섬유의 함량이 높은 반면에 단백질, 가용 무질소물, 광물질 함량이 부족하다. 국내산 벼짚의 단백질 함량은 약 3~5% 이하이며 섬유질의 함량은 매우 높다. 특히 실리카와 리그닌이 cellulose와 hemicellulose와 결합되어 있어서 반추위내 미생물에 의한 분해가 어렵고 에너지원으로서 이용율이 낮다고 알려져 있다(Nakashima and Ørskov, 1990; Van Sost, 1991). 고간류 중 보리짚은 섬유소의 함량이 높은 반면에 lignin 함량이 비교적 낮아서 에너지원으로 잠재적 가치가 높다고 하였다 (맹 등, 1979). 실제 국내산 벼짚, 보릿짚 및 밀짚의

lignin 함량은 10% 미만으로서 벼짚의 리그닌 함량이 타 짚류에 비해 낮은 편이다 (한인규, 1994).

초기 12시간 배양 후 건물소화율을 측정한 결과 밀짚의 건물소화율이 유의하게 낮았으나 (P<0.05), 그 후 72시간까지의 소화율은 비슷하였다 (Table 2). 72시간 배양 후 건물소화율은 벼짚이 가장 높았으며 보릿짚, 밀짚순이었다. 그러나 전체적으로 배양시간에 따른 고간류의 건물소화율은 유의적인 차이는 없었다. 국내산 짚류의 반추위소화율에 가장 큰 영향을 미치는 성분은 실리카층이다. 일반적으로 사료의 물리·화학적 처리는 실리카층과 리그닌을 손상시켜 소화율을 증가시키는데 있다. 총 가스발생량은 보릿짚이 가장 낮았으며(P<0.05), 벼짚과 밀짚은 비슷하였다 (Table 3). 배양 72시간 후에도 가스는 계속적으로 발생하였으며, 배양 96시간 후 모든 처리구의 총 가스발생량은 비슷한 경향을 보였다. 사료의 가용성부분 가스발생량 (a)은 1ml 미만으로 국내산 짚류에서 모두 낮았다. 이는 초기 가스발생에 이용할 수

Table 1. Chemical composition (% DM) of straws

	CP	EE	Ash	CF	NDF	ADF
Rice straw	5.1	1.8	9.6	32.2	70.1	44.2
Barley straw	4.2	1.9	8.7	40.5	73.0	48.3
Wheat straw	4.2	1.8	5.4	36.0	71.0	45.5

DM : dry matter; CP : crude protein; EE : ethyl ether; CF : crude fiber; NDF : neutral detergent fiber. ADF : acid detergent fiber.

Table 2. Dry matter digestibility (%) of straws over the *in vitro* incubation time

Straws	% dry matter degradation					a	b	c
	6	12	24	48	72			
Rice straws	23.20	24.45 <sup>a</sup>	27.15	40.60	43.90	3.4	52.0	0.9
Barley straws	21.35	24.85 <sup>a</sup>	27.50	36.45	41.55	4.1	44.7	1.0
Wheat straws	21.25	23.25 <sup>b</sup>	23.35	38.85	42.80	3.5	47.5	1.1
SEM	1.71	0.96	0.22	1.20	0.68	0.95	0.90	0.1

SEM = Standard errors of mean.

Table 3. *In vitro* gas production from straws at different incubation times using pressure transducer

Straws	Incubation time					b	a+b	c
	6	12	24	48	72			
Rice straws	36.8 <sup>a</sup>	78.5 <sup>a</sup>	129.6	170.6	202.3 <sup>a</sup>	208.9 <sup>b</sup>	209.8 <sup>b</sup>	3.8 <sup>a</sup>
Barley straws	28.4 <sup>b</sup>	57.5 <sup>b</sup>	108.7	158.2	192.4 <sup>b</sup>	229.0 <sup>a</sup>	229.7 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>
Wheat straws	28.9 <sup>b</sup>	61.6 <sup>c</sup>	112.9	168.4	203.1 <sup>a</sup>	242.6 <sup>a</sup>	243.5 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>
SEM	1.74	4.07	4.05	2.49	2.27	6.33	6.34	0.3

SEM = Standard errors of mean.

c = rate constant of gas production (%h<sup>-1</sup>).

있는 가용성부분이 적기 때문인 것으로 보이며, 초기 건물소화율의 가용성부분도 유사한 결과를 보여주고 있다. 짚류의 초기 가용성 가스발생량은 건초와 비슷한 경향을 보이지만 전체적으로 건초의 가스발생량은 짚류보다는 높은 가스발생량을 가지고 있다(Redimio, 1998). 사료의 잠재적 가스발생량 (a+b)은 벯짚, 보리짚, 밀짚에서 209.8ml, 229.7ml, 243.5ml의 순으로 나타났다. 또한 세 처리구의 시간당 가스상수는 3.8, 2.5, 2.5 %h<sup>-1</sup>로 시간당 분해상수는 벯짚이 가장 높았다.

이는 배양 전기의 벯짚의 건물소화율과 가스발생량이 타 처리구에 비해 높은 것과 관련이 있는 것으로 보인다. 고간류의 건물소화율과 가스발생량의 상관관계수 (linear correlation; R<sup>2</sup>)는 벯짚, 보리짚, 밀짚 순으로 0.75, 0.81, 0.83이었다 (Table 5). 가스발생량과 건물소화율의 상관관계수는 비교적 높았으나, 건물소화율의 분해상수(c)와 가스발생량의 분해상수의 상관관계수는 매우 낮았다(R<sup>2</sup>=0.25). 지금까지 가스발생량은 *In situ* 및 *In vivo* 분해율과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Blümmel과 Ørskov, 1993; Doane 등, 1997). 이들 연구에 의하면 보릿짚과 밀짚의 유기물소화율과 가스발생량간의 상관관계수는 0.95와 0.85로서 매우 높았으며 건물소화율과의 상관관계수는 0.85이었다. 또한 알팔파, 티모시, 옥수수대의 NDF소실율과 가스 발생량의 상관관계수는 0.99로서 가스

발생량의 변화에 따라 사료의 종류에 따른 분해속도를 예측할 수 있는 중요한 방법임을 보여주고 있다 (Pell과 Scofield, 1993). 그러나 건물소화율의 분해상수와 가스발생량의 상수(c)간의 낮은 상관관계는 배양 시간이 길어질수록 미생물의 용해작용에 의해 분해된 미생물이 휘발성 지방산과 가스로 발효되어 발효율 및 지수 방정식에 의해 계산된 가스발생량에 영향을 준 까닭으로 보인다.

벯짚의 가스발생량 분해상수는 Lie와 Ørskov (2000)이 보고한 3.47%h<sup>-1</sup>과 비슷한 수치를 보였으나, 보릿짚과 밀짚의 분해상수는 Blümmel과 Ørskov(1993)이 보고한 3.8, 4.9%h<sup>-1</sup>보다 낮은 결과를 나타냈다. 이는 본 연구에 사용된 보릿짚과 밀짚의 성분이 벯짚에 비해 낮았으며, 초기 배양기간동안 발효속도가 벯짚보다 낮았기 때문인 것으로 보인다.

### 3. 휘발성지방산과 가스 발생량의 상관관계

휘발성 지방산 생성량 및 가스 발생량과의 상관관계는 Table 4와 Fig. 2와 같다. 배양 초기(12h) 휘발성지방산의 농도는 벯짚에서 가장 유의하게 높았으며(P<0.05), 보리짚과 밀짚의 생성량은 차이가 없었다. 배양 48시간 후 보릿짚은 다른 짚류에 비해 휘발성지방산 생성량이 낮았으며 이러한 경향은 시간별 가스 발생량의 유형과 비슷하였다. 배양 72시간 이후의 총휘

Table 4. Characteristics of volatile fatty acid production(mM) straws over the *in vitro* fermentations

Item	Substrate	Incubation time (h)				
		6	12	24	48	72
Acetate	Rice straw	17.80	23.40 <sup>a</sup>	23.90 <sup>b</sup>	31.35	39.16
	Barley straw	20.58	24.39 <sup>a</sup>	28.66 <sup>a</sup>	31.56	38.11
	Wheat straw	18.64	20.23 <sup>b</sup>	22.59 <sup>b</sup>	32.89	39.40
	SEM	0.82	1.25	1.84	0.48	0.40
Propionate	Rice straw	6.52	10.94	10.54	15.01	19.81
	Barley straw	9.23	9.97	11.6	13.23	17.30
	Wheat straw	8.35	9.38	10.7	15.96	18.51
	SEM	0.80	0.45	0.33	0.80	0.72
Butyrate	Rice straw	3.48	7.88	10.02	10.98	13.91
	Barley straw	3.97	5.85	9.91	10.75	12.31
	Wheat straw	4.09	6.13	9.15	11.08	12.29
	SEM	0.19	0.64	0.27	0.10	0.54
Total VFA	Rice straw	29.53	49.89 <sup>a</sup>	63.27	77.68 <sup>a</sup>	90.23
	Barley straw	36.04	42.97 <sup>b</sup>	62.29	73.07 <sup>b</sup>	90.33
	Wheat straw	33.22	40.60 <sup>b</sup>	65.64	80.44 <sup>a</sup>	92.10
	SEM	3.26	4.83	6.40	3.72	1.05

<sup>a,b</sup> Means in the same column with different superscripts differ (P<0.05).

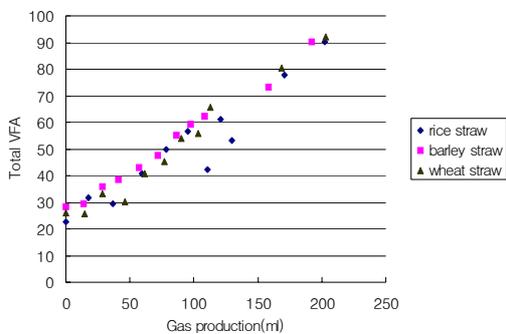


Fig. 2. Relationship between total VFA(mM) and gas production(ml) of straws.

발성 지방산 농도는 세 처리구에서 비슷한 결과를 나타냈다. 한 등(1996)은 초산의 생성량과 사료내 조단백질 함량이 밀접한 관계가 있다고

보고하였는데, 배양 12시간 이전의 총휘발성 지방산과 초산의 비율이 유의하게 높은 것은 볏짚의 조단백질 함량이 타 질류에 비해 비교적 높는데 기인한 것으로 보인다. 휘발성 지방산과 가스발생량의 상관계수(linear correlation; R<sup>2</sup>)는 0.91, 0.99, 0.98로서 매우 높았다. 반추위 내 가스의 생성량은 발효중에 발생하는 휘발성 지방산의 생성량과 매우 밀접한 관계가 있다 (Wolin, 1960; VanSoest, 1994). 쌀전분, cellulose, glucose의 가스발생량을 측정된 결과 휘발성 지방산의 acetate와 butyrate 함량이 높은 쌀전분의 가스발생량은 0.38ml/mgOM으로 cellulose, glucose의 0.30ml/mgOM, 0.29ml/mgOM보다 높았다 (Beuvink과 Spoelstra, 1992). 또한 시간별 배양에 따른 가스발생량의 변화와 휘발성

Table 5. Relationships between gas production (x; ml per 1g) and dry matter degradation (y; %) and total VFA (mM) of straws after 72 h incubation

Item	Equation	R <sup>2</sup>
Relationships between gas production and DM degradation		
Rice straw	y= 0.126x + 14.681	0.755
Barley straw	y= 0.130x + 14.321	0.805
Wheat straw	y= 0.138x + 13.204	0.831
Relationships between gas production and total VFA		
Rice straw	y= 0.312x + 21.585	0.907
Barley straw	y= 0.321x + 26.128	0.989
Wheat straw	y= 0.350x + 21.087	0.976

지방산의 생성량은 매우 밀접한 상관관계가 있는 것으로 나타났다 (Dijkstra 등, 1999) 이것은 반추위내 발효과정에서 발생하는 가스량과 휘발성지방산의 생성량에 밀접한 상관관계가 있음을 보여주는 것이다.

사료의 질이 낮은 국내산 고간류의 사료가치를 평가하기는 쉽지 않다. 지금까지 휘발성지방산, 유기물소화율, 건물소화율 등은 가스발생량과 매우 밀접한 관계를 보였다. 따라서 가스발생량의 유형에 의한 국내산 고간류의 가치평가는 *in vivo* 상에서 이루어지는 사료의 가치를 손 쉽게 평가할 뿐만 아니라 반추위 발효성상을 예측할 수 있는 장점을 지니고 있다.

초기 가스발생량은 벼짚이 가장 높았으며 보리짚, 밀짚순이었다. 시간당 분해상수는 3.8, 2.5, 2.5%h<sup>-1</sup>로서 벼짚, 보리짚, 밀짚순이었다. 전체 휘발성 지방산은 초기 12시간에 유의한 차이가 있었지만 배양 72시간 이후의 농도는 세 처리구에서 비슷한 결과를 나타냈다. 가스발생량과 건물소화율의 상관지수(r)는 0.76~0.83으로 밀접한 관계가 있었으며 또한 휘발성지방산과 가스발생량의 상관지수는 0.91~0.98로 매우 밀접한 관계가 있었다. 따라서 가스발생량, 건물소화율 및 휘발성 지방산의 단일상관관계는 고간류의 *in vivo* 소화율에서도 유사할 것으로 보인다.

#### IV. 요약

국내산 고간류의 영양학적 평가는 매우 중요하다. 본 연구는 압력센서를 이용하여 국내산 고간류의 가스발생량과 반추위발효산물과의 상관관계를 비교하고자 실시하였다. 가스발생량 측정장치는 압력센서, AD board, LED 모니터 및 real-time graphics가 설치된 컴퓨터로 구성되었다. 가스발생량과 건물소화율은 지수방정식  $P_t = a + b(1 - e^{-ct})$ 을 기초로 추정하였다.

#### V. 인용 문헌

1. A. O. A. C. 1990. Official Methods of Analysis. 15<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
2. Beuvinck, J. M. W. and Kogut, J. 1993. Modelling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. J. Anim. Sci. 71: 1041-1046.
3. Beuvinck, J. M. W. and Spoelstra, S. F. 1992. Interactions between substrate, fermentation end products, buffering systems and gas production

- upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. Appl. Micro. Biotech. 37:505-509.
4. Blummel, M. and Ørskov, E. R. 1993. Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting food intake in cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 40: 109-119.
  5. Castro, F. B., Hotten, P. M. and Ørskov, E. R. 1994. Inhibition of rumen microbes by compounds formed in the steam treatment of wheat straw. Bioresource Technology 50:24-30.
  6. Cone, J. W., van Gelder, A. H., Gert J W. V. and Leen Oudshoorn. 1996. Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully automated time related gas production apparatus. Anim. Feed Sci. Technol. 61:113-128.
  7. Davies, Z. S., Mason, D., Brooks, A. E., Griffith, G. W., Merry, R. J. and Theodorou, M. K. 2000. An automated system for measuring gas production from forages inoculated with rumen fluid and its use in determining the effect of enzymes on grass silage. Anim. Feed Sci. Technol. 83: 205-221.
  8. Debersaques, F., Williams, B. A. and Tamminga, S. 1998. Effect of nitrogen source on fermentation characteristics of citrus pulp. In: Proceedings of the BSAS Winter Meeting Held in Scarborough, 23-25 March, Abstract 174.
  9. Dijkstra, J. France J, Lopez. S. and Dhanoa, M. S. 1999. Impact of variation in yield of gas during incubation on simulated gas production and extent of ruminal degradation. In Proceeding of the British Society of Animal Science, P. 38. Edinburgh: British Society of Animal Science.
  10. Doane, P. H., Schofield, P. and Pell, A. N. 1997. Neutral detergent fiber disappearance and gas and volatile fatty acid production during the *in vitro* fermentation of six forages. J. Anim Sci. 75: 3342-3352.
  11. Erwin, W. S., Macro, J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluids by gas chromatography. J. Dairy Sci. 44: 1786.
  12. Khazaal, K., Boza, J. and Ørskov, E. R. 1994. Assessment of phenolic related antinutritive effects in Mediterranean browse: a comparison between the use of the *in vitro* gas production technique with or without insoluble polyvinylpyrrolidone or nylon bag. Anim. Feed Sci. Technol. 49: 133-149.
  13. Lie, J. X and Ørskov, E. R. 2000. Cellulase treatment of untreated and steam pre-treated rice straw-effect on *in vitro* fermentation characteristics. Anim. Feed Sci. Technol. 88:189-200.
  14. Lowe, S. E., Theodorou, M. K., Trinci, A. P. J. and Hespell, R. B. 1985. Growth of anaerobic rumen fungi on defined and semi-defined media lacking rumen fluid. J. Gen. Microbiol., 131: 2225-2229.
  15. Menke, K. H., Raab., L., Salewski., A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. J. Agri. Sci. 93: 217-222.
  16. Nakashima, Y. and Ørskov, E. R. 1990. Rumen degradation of straw. 9. Effect of cellulose and ammonia treatment on different varieties of rice straw and their botanical fraction. Anim. Prod. 50:309-317.
  17. Ørskov, E. R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agri. Sci. Camb., 92:499-503.
  18. Pell, A. N. and Schofield, P. 1993. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. J. Dairy Sci. 76:1063-1073.
  19. Rdimio M. P. O. 1998. Use of *in vitro* gas production technique to assess the contribution of both soluble and insoluble fractions on the nutritive value of forages. M. A. thesis in Universidad de Camaguey.
  20. SAS. 1999. SAS/GLM user guide (Version 6.4 th Ed.). SAS Inst, Inc., Cary, NC.
  21. Stefanon, B., Pell, A. N. and Schofield. 1996. Effect of maturity on digestion kinetics of water-soluble and water-insoluble fractions of alfalfa and brome hay. J. Anim. Sci. 74:1104-

- 1115.
22. Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S. and McAllan, A. B. 1991. A new laboratory procedure for estimating kinetic parameters associated with the digestibility of forages. Int. Sym. On Forage cell wall structure and digestibility, US dairy Forage Research Center and USDA Agricultural Research Service, Madison, WI, 7-10 October 1991 Poster B3.
  23. Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B. and France, J. 1994. A simple gas production method using pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 48:185-197.
  24. Tilley, J. M. and Terry, R. A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. British Grassland Society. 18:10-111.
  25. Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.
  26. Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminants (2<sup>nd</sup> Ed.) Cornell University Press, Ithaca, NY.
  27. Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. J. Dairy Sci. 43:1452-1459.
  28. Walli, T. K., Ørskov, E. R. and Bhargava, P. K. 1988. Rumen degradation of straw. 3. Botanical fractions of two rice straw varieties and effect of ammonia treatment. Anim Prod. 46:347-352.
  29. 맹원재, 윤광로, 신형태. 1979. 사료자원 개발에 관한 연구. 한축지. 21:143-148.
  30. 한인규, 하종규, 문태현, 이성실, 김창현, 김홍대. 1996. 조사료의 종류와 급여수준이 VFA 생산 및 반추위내 발효성상에 미치는 영향. 한영사지. 20 (1):77-86.
  31. 한인규. 1994. 사료자원핸드북. (집수일자 : 2003. 1. 13 / 채택일자 : 2003. 3. 18)