

옥수수 사일리지 이용 섬유질배합사료의 배합시간에 따른 *In situ* 반추위 분해율 및 착유우의 산유특성에 미치는 영향

임동현 · 기광석 · 최순호 · 김태일 · 박성민 · 박수범 · 권응기 · 김언태*

국립축산과학원 낙농과

Effects of Mixing Time for Total Mixed Rations using Corn Silage on Ruminal *In situ* Dry Matter Degradation and Milk Production in Dairy Cows

Dong-Hyun Lim, Kwang-Seok Ki, Sun-Ho Choi, Tae-Il Kim, Seong-Min Park, Su-Bum Park, Eung-Gi Kwon and Eun-Tae Kim*

Dairy Science Division, National Institute of Animal Science, Cheonan, 331-801, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of mixing time for TMR (total mixed rations) mixed with corn silage on particle size, peNDF (physically effective neutral detergent fiber), laceration, and ruminal *in situ* dry matter degradation. The study also aimed to evaluate the effect of consumption of the TMR on the milk yield and milk components of mid-lactational dairy cows. TMRs were mixed for 30 minutes (T1) and 50 minutes (T2) using the same material. All samples were then analyzed with a Penn State Particle Size Separator (PSPS). The particle size of T1 was significantly lower in the bottom pan (8 mm $>$) than that of T2 ($p<0.01$). peNDF $_{>8.0}$ was significantly higher in T1 (17.18%) than in T2 (13.85%) ($p<0.01$). For ruminal *in situ* dry matter degradation of particle retention (>19 mm), no significant difference was found after 72 hours incubation, although T1 degradation was significantly higher after 24 hours incubation ($p<0.01$). Milk yield was no different between the groups of cows, whereas the milk fat from T1 fed cows was significantly higher ($p<0.01$). The results show that feeding TMR mixed for 30 minutes to dairy cows may improve the physical value of forage without negative effects on the milk yield and milk components.

(Key words : Corn silage, Dairy cows, Laceration, Particle size, Total mixed rations)

I. 서 론

반추동물의 생산성뿐만 아니라 반추위 발효에 대해 사료의 물리적 특성이 영향을 미치므로, 조사료의 양과 물리적 형태를 적절하게 유지하는 것이 매우 중요하다. National Research Council (NRC, 2001)는 사료에 NDF (neutral detergent fiber)가 최소한 25%는 함유되어야 하고, 착유우의 사료 중 조사료로부터 19%가 공급되어야 한다고 하였다. 이와 같은 최소 섬유소 요구량을 섭취하지 못한 젖소에서 총 건물소 화율의 감소, 유지율 저하, 제4위 전위, 반추위 부전 각화 증의 발병 증가, 제염염, 과산증, 과비중후군 등이 발생한다 (Sudweeks et al., 1981). 또 착유우에 급여하는 섬유소의 비율과 조사료의 입자가 커지면 저작활동이 향상되어 타액

분비, 반추위 pH, acetate 대 propionate (A/P) 비율 및 유지율 등이 증가하지만 (Beauchemin et al., 1997), 과량의 길고 거친 섬유소는 오히려 사료섭취량과 반추위 내 분해율을 저해하여 개체의 에너지 균형에 악영향을 미친다고 보고하고 있다 (Allen and Grant, 2000). 최근 저작과 반추 활동, 타액분비 및 유지방 함량 등에 영향을 미치는 조사료나 섬유질배합사료 (total mixed rations, TMR)의 입자크기를 명확하게 하기 위해 물리적 유효 요소 (physical effectiveness factor, pef)와 물리적 유효 NDF (physically effective NDF, peNDF)라는 용어가 등장하였다 (Mertens, 2000; Sudweeks et al., 1981). Lammers et al. (1996)는 조사료나 섬유질배합 사료의 peNDF 함량에 대해 사료 전체의 섬유소 함량과 Penn State Particle Size Separator (PSPS)를 이용하여 쉽게

* Corresponding author : Eun-Tae Kim, Dairy Science Division, National Institute of Animal Science, 114, Sinbang 1-gil, Seonghwan-eup, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 331-801, Korea, Tel: +82-41-580-3399, Fax: +82-41-580-3419, E-mail: etkim77@korea.kr

측정할 수 있다고 하였다. Zebeli et al. (2010)은 사료 중 8 mm 이상의 입자에서 peNDF 비율 (peNDF_{>8.0})이 반추 및 저작 활동을 자극하고, 최적의 반추위 pH를 유지하며, 섬유소 소화를 촉진시킨다고 하였다. 뿐만 아니라, 고능력우의 경우엔 사료의 peNDF_{>8.0}가 17~18.5%일 때 최적의 반추위 pH가 유지되고 건물섭취량이 향상될 수 있다고 하였다.

섬유질 배합사료 (Total mixed rations, TMR)는 모든 영양소를 섭취할 수 있도록 소에 급여하고자 하는 모든 사료를 혼합하여 하나로 만든 먹이로 정의된 바 있다 (McCullough, 1991). TMR을 이용한 사양관리는 생리적 조건에 따라 우군을 분리하므로 가축관리에 소모되는 노동력이 절감되고, 자가 배합 시 사료비가 절감되며 (Howard et al., 1968), 사료 취급과정을 단순화할 수 있다 (Rakes, 1969). 그리고 사료의 선택적인 채식을 방지하여 조사료와 농후사료의 균형적인 섭취를 유도하며, 젖소의 경우 반추위 미생물 조성의 안정을 통해 pH의 유지, 사료섭취량 증가 및 영양소 이용 효율 개선으로 생산성이 향상될 수 있는 것으로 알려져 있다 (Kleiber et al., 1952). Ki et al. (2003)에 의해 국내에서 생산되어 이용되고 있는 TMR을 대상으로 입자크기의 분포를 측정된 결과 상층 (>19 mm), 중층(19-8 mm) 및 하층 (<8 mm)이 자가 TMR의 경우 24.9%, 22.8%, 52.3%이고, 유통 TMR의 경우 26.2%, 12.8%, 61.0%라고 하였다. 이는 Heinrichs (1996)에 의해 보고된 결과와는 차이가 있다. 즉, PSPS (2-sieve model, 19 mm와 8 mm)을 이용하여 옥수수 사일리지, 헤일리지 및 TMR의 입자크기에 대한 분포 범위를 제시하였으며, 상층 (>19 mm), 중층(19-8 mm) 및 하층 (<8 mm)이 옥수수 사일리지의 경우 각각 10~15%, 40~50%, 40~50%의 분포이고, TMR의 경우 각각 6~10%, 30~50%, 30~40%의 분포가 적당하다고 추천하였다. 이러한 차이에 대해 Heinrichs et al. (1999)는 TMR 제조 시 사용된 조사료의 초종, 조사료의 수확이나 저장상태 및 TMR 제조 시 배합시간 등의 차이에 의한 영향이라고 하였다.

TMR 사양관리 시 습기가 없는 건조한 단미사료만 사용하여 TMR을 제조할 경우 조사료와 농후사료의 분리현상이 일어나 TMR의 본래 효과를 감소시키는 결과를 초래할 수 있으므로 (Ki et al., 2003), silage와 같이 습기가 있는 사료가 필요하다. 최근 다양한 사일리지를 이용한 TMR의 우유생산성에 미치는 영향에 대한 많은 연구결과가 보고된 바 있으나 (Broderick and Radloff, 2004; Beauchemin and Yang, 2005; Oelker et al., 2009), 국내의 경우 거의 연구된 바가 없다.

TMR 제조 시 배합시간에 대해 Kammel (1999)는 3~6분 이내에 배합할 것을 추천하였고, Rippel et al. (1998)는 추

천된 배합시간보다 15분을 추가 배합 시 수평형 TMR 배합기보다 수직형 배합기에서 조사료 입자도가 감소한다고 하였다. Ki et al. (2003)에 의해 조사된 국내 자가 TMR 농가의 1회 총 배합시간이 평균 48.6분으로, 이전 연구결과보다 배합소요시간이 길어 조사료 입자도의 감소에 따른 사료가치 저하뿐만 아니라, 노동 및 장비운영 등에 소요되는 시간의 연장에 따른 경제적 손실이 예상된다.

따라서 본 실험은 국내에서 생산된 옥수수 사일리지를 이용하여 동일한 배합조건에서 TMR을 제조하고, TMR 제조 시 배합시간의 차이에 따라 입자 크기 (Particle size), 종절도 (Laceration), peNDF 함량 및 반추위 내 건물분해율에 미치는 영향을 분석하고, 젖소에 급여 시 산유량 및 우유 성분에 미치는 영향을 살펴보고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험사료 제조

본 실험에 사용된 섬유질배합사료는 Table 1과 같이 공시축의 체중, 유량 및 유성분을 고려하여 제조하였다. 공시 재료인 옥수수는 2012년 생산된 사일리지로, Table 1에 나타낸 바와 같이 이론적 세절 길이 (Theoretical length of cut, TLC)를 20 mm로 세절하여 수확한 옥수수 사일리지를 이용하여 TMR을 제조하였다. 각 시험구의 TMR 시료는 배합기의 물리적 자극이 동일하도록 원물 기준으로 동량의 배합사료, 혼합건초 (tall fescue와 orchardgrass 혼파) 및 옥수수 사일리지를 순차적으로 투입한 후 T1은 30분간 배합하고, T2는 50분간 배합한 후 젖소에 급여하였다. TMR 배합기는 용량이 12 m³이고, 수평형 2오거 (Auger)가 장착되어 있으며, 오거 당 칼날은 70개이다. 배합 시 오거의 회전 속도는 동력 인출 장치 (Power take-off, PTO) 회전축이 540회/분 (20 rpm)이며, 오거가 26회/분 회전하도록 조절하였다.

2. 사료 성분 분석

공시재료 및 TMR의 일반성분은 AOAC법 (1995)으로 분석하였으며, NDF (Neutral detergent fiber)는 Van Soest et al. (1991)의 방법으로 분석하였다. pH는 각 시험사료 1g을 증류수 10 ml에 넣어 진탕한 후 여과지로 걸러 pH 미터측정기 (HI 8424 Micro-computer pH meter, HANNA Instruments)로 측정하였다. 또한 암모니아태질소 (NH₃-N) 함량은 각 시험사료 1g을 증류수 10 ml에 넣고 0~4°C에서 24시간 진탕

한 후 여과지로 걸러 -20℃에서 보관하고 분석 시 해동하여 3,000 rpm에서 15분간 원심 분리하였다. Chaney and Marbach (1962)의 방법에 따라 phenol 용액으로 상층액 중의 암모니아를 발색시킨 후 spectrophotometer (UV-1201, SHIMADZU)를 이용하여 630 nm로 흡광도 (Optical density, OD)를 측정하였다.

3. 물리적 특성 측정

입자 크기 (Particle size)는 Lammers et al. (1996) 방법에 따라 상층에 19 mm의 체, 중층에 8 mm의 체 그리고 체가 없는 하층으로 구성된 Penn State Particle Size Separator (PSPS)를 이용하여 측정하였다. 배합시간에 따라 제조한 TMR 시료는 PSPS의 상층 체에 약 450 g (원물 기준) 놓은 후 평평한 바닥에 놓고 체를 한 방향으로 5회씩 흔들었다. 한 방향으로 5회 흔들 후 1/4씩 돌려가면서 총 40회가 되게 흔들 다음 각 체의 잔량을 측정하였다. 각 시료의 peNDF 함량은 Zebeli et al. (2010)에 따라 8 mm 이상 입자 크기의 비율에 NDF 함량을 곱하여 계산하였다. TMR 배합기에 의한 조사료의 물리적 중절도 (Laceration)는 입자 크기를 분리한 후 상층 (>19 mm)에 남아 있는 내용물을 수거하여 60℃ dry oven에서 건조한 후 조사료 굵기를 1 mm 이상과 미만으로 구분한 후 각각의 무게를 측정하였다.

4. *In situ* 반추위 건물분해율 측정

반추위 캐놀라가 장착된 홀스타인종 3두 (평균 체중 625

± 20.1 kg)를 사용하였다. 시험기간에는 건초, 옥수수 사일리지 및 농후사료를 혼합하여 제조한 TMR을 기초사료로 하여 건물 기준 체중의 3%를 일일 2회로 나누어 급여하였다. 음수와 미네랄 블록은 자유롭게 섭취할 수 있도록 하였다. 각 시험구의 TMR에 대한 입자 크기를 분리한 후 상층 (>19 mm)에 남아 있는 내용물을 수거하여 60℃ dry oven에서 건조한 다음 시료로 사용하였으며, 각 시료는 2 g씩 nylon bag (5×10 cm; 50 μm pore size)에 담고 입구를 봉한 후 아침 사료 급여 전에 반추위 내 투입하여 3, 6, 12, 24, 48, 72시간 동안 배양하였다. 각 시간대별 배양 후 nylon bag은 반추위 누관에서 꺼내어 얼음물에 10분간 침지시킨 후 흐르는 수돗물로 30분간 세척한 다음 60℃ dry oven에서 48시간 동안 건조하였다. 한편, 0시간대 nylon bag은 반추위 내 배양 없이 동일한 방법으로 침지 및 세척을 한 후 건조하였다. 모든 시료는 48시간 건조한 후 건물 함량을 측정하였으며, *in situ* 실험에서 반추위 내 건물분해율은 배양기간 동안 소실된 양을 배양 전 시료의 양에 대한 백분율로 계산하였다.

5. 산유량 및 유성분 측정

본 실험은 충남 천안시에 위치한 국립축산과학원 시험우사에서 실시하였다. 공시축은 산차수 (평균 2.41 ± 1.22산) 및 유량 (평균 29.36 ± 3.48 kg/d)이 비슷한 비유중기 (평균 비유일수 103.43 ± 52.25일)의 Holstein 10두를 공시하였다. 공시축에 급여한 TMR는 Table 1과 같으며, 처리구별로 5두를 임의 배치한 다음 4주간 실시하였다. 착유는 1일 2회

Table 1. Ingredient and chemical composition (% of DM) of TMR

Item % of DM			
Ingredient compositions				
Concentrates	50.6			
Corn silage	18.9			
Hay	25.4			
Limestone	0.4			
Sodium bicarbonate	0.4			
Vitamin & mineral mixture	1.6			
Chemical compositions				
 % of DM			
	Concentrates	Corn silage	Hay	TMR
Dry matter	91.54	45.92	87.80	51.03
Crude protein	27.10	7.76	12.41	16.46
Crude fiber	7.45	7.60	32.26	16.79
Neutral detergent fiber	29.31	56.75	56.37	25.41
Acid detergent fiber	8.76	35.89	31.83	11.44
Ether extract	9.40	1.06	2.38	2.83
Ash	4.35	1.39	7.48	3.09

(06:00, 17:00) 하였으며, 1일 유량은 개체별로 오전과 오후 착유량을 합하여 기록하고, 산유량은 실험 전과 후에 각각 2일 동안을 합산하여 평균하였다. 유성분의 분석을 위해 원유는 실험 전과 후 각 2일 동안 오전 및 오후 착유시간에 4회씩 채취하고, Milko-scan 4000 series (Foss Electric Co., Denmark)를 이용하여 분석한 후 평균하였다.

6. 통계분석

결과 분석은 SPSS 프로그램 (17.0)의 Student's t-test 방법을 이용하여 두 그룹간의 유의성 ($p < 0.01$)을 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 물리적 특성

옥수수 사일리지를 이용한 TMR 제조 시 배합시간의 차이에 따라 입자크기 (particle size)의 분포, $peNDF_{>8.0}$ 및 종절도 (laceration)의 변화에 미치는 영향을 측정된 결과는 Table 2에 보는 바와 같다. TMR 제조에 사용된 옥수수 사일리지는 2012년 생산된 것으로, 수확 시 이론적 절단 길이 (Theoretical cut length, TCL)를 20 mm로 하여 제조되었고, PSPS (19 mm와 8 mm 체)로 분리하여 입자크기의 분포를 분석한 결과 상층 (>19 mm)은 25.55%, 중층 (8-19 mm)은 44.53%, 하층 (<8 mm)은 29.92%이었다. 이 옥수수 사일리지를 이용하여 동일한 조건에서 배합사료와 건초를 배합기에 순차적으로 넣고 배합한 TMR의 입자크기의 분포를 분석한 결과 상층 (>19 mm), 중층 (8-19 mm) 및 하층 (<8 mm)이 30분 (T1)간 배합 시 각각 20.23%, 39.10% 및 40.67%

이었고, 50분 (T2)간 배합 시 각각 17.14%, 30.67% 및 52.19% 이었다. 또한 배합시간이 30분 (T1)에서 50분 (T2)로 증가함에 따라 TMR의 상층 (>19 mm)과 중층 (8-19 mm)의 비율이 각각 3.09%와 8.43%로 감소하면서 하층 (<8 mm)의 비율이 11.52% 유의적으로 증가하였다 ($p < 0.01$). 물리적 유효 섬유소 (Physically effective NDF) 함량은 옥수수 사일리지, T1 및 T2의 $peNDF_{>8.0}$ (%)가 각각 18.26, 17.18 및 13.85%로, 30분 (T1) 보다 50분 (T2) 배합 시 유의적으로 감소하였다 ($p < 0.01$). 또한 처리구별 TMR의 종절도 (Laceration)은 상층 (>19 mm)을 건조하여 1 mm를 기준으로 굵기의 변화를 측정된 것으로, 굵은 비율 (≥ 1 mm)과 가는 비율 (1 mm<)이 옥수수 사일리지의 경우 각각 94.19%와 5.81% 이었고, T1구의 경우 각각 88.51%와 11.50% 이었으며, T2구의 경우 각각 81.49%와 18.51%로, 30분 보다 50분간 배합 시 조사료의 굵기가 유의적으로 감소하였다 ($p < 0.01$).

미국의 경우 Texas 지역에서 제조된 옥수수 사일리지 TMR과 건조 TMR의 상, 중, 하층이 각각 18.4%, 42.7%, 38.7%와 22.2%, 31.8%, 35.5% 이었고 (Rippel et al., 1998), 북서부 지역의 TMR은 상, 중, 하층이 각각 6.1%, 35.5%, 58.4% 이었다 (Lammers et al., 1996). Rippel et al. (1998)은 사일리지와 건초를 혼합하여 TMR 제조 시 정상적인 배합 시간에서 상, 중, 하층이 각각 13.13%, 46.38% 및 40.49% 이었고, 15분을 추가하여 배합 시 13.51, 45.49 및 40.99%로, 배합시간의 증가에 따른 입자크기의 변화는 거의 없다고 하였다. 이외에도 많은 연구자들에 의해 세절길이에 따른 옥수수 사일리지 및 이를 이용한 TMR에 대한 입자크기의 분포가 조사되었다 (Bal et al., 2000; Kononoff et al., 2003; Bhandari et al., 2007). 특히 Heinrichs (1996)는 입자

Table 2. Effect of mixing time on particle size distribution, laceration, and $peNDF_{>8.0}$ of TMR used corn silage

Item	Corn silage	T1 ¹⁾	T2	SEM ²⁾
Particle size distribution	 % retained, as-fed basis		
>19.0 mm	25.55	20.23	17.14	0.751*
19.0-8.0 mm	44.53	39.10	30.67	2.085*
<8.0 mm	29.92	40.67	52.19	2.654*
$peNDF_{>8.0}$ ³⁾ , %	18.26	17.18	13.85	0.769*
Laceration	 % retained, as-fed basis		
≥ 1 mm	94.19	88.50	81.49	1.619*
1 mm>	5.81	11.50	18.51	1.619*

¹⁾ T1: TMR used corn silage mixing for 30 mins; T2: TMR used corn silage mixing for 50 mins.

²⁾ SEM: Standard error of the mean.

³⁾ $peNDF_{>8.0}$: particles >8.0 mm of physically effective fiber (peNDF).

* $p < 0.01$

크기의 분포에 대해 옥수수 사일리지의 경우 상층 (>19 mm), 중층 (19-8 mm) 및 하층 (<8 mm)이 각각 10~15%, 40~50%, 40~50%이고, TMR은 각각 6~10%, 30~50%, 30~40%일 때 적절한 범위라고 하였으나, 이는 본 실험을 포함하여 이전 연구결과에서 상층의 비율이 15% 이상으로 차이가 있다. 이는 TMR에 사용한 원료의 종류가 다르고, 특히 조사료의 수분함량, 세절 유무나 길이 등 물리적 특성에 의한 차이가 주된 원인으로 판단된다.

Mertens (2000)에 의해 물리적 유효 NDF 함량이 저작활동, 반추위 pH 및 발효에 영향을 미친다고 보고된 바 있다. NRC (2001)는 착유우에 필요한 사료 중 NDF (건물 기준)가 최소한 25%가 함유해야 하고, 그 중 19%는 조사료로부터 충족되어야 한다고 하였으나, 물리적 형태에 대해서는 명확히 설명하고 있지 않다. 과거 소와 양의 반추위를 통과하는 내용물과 분의 입자크기를 통해 물리적으로 유효한 사료의 입자크기는 1.18 mm라고 하였다 (Poppi et al., 1981). Kononoff et al. (2003)은 입자 크기가 22.3 mm인 옥수수 사일리지로 제조한 TMR의 경우 $peNDF_{>1.18}$ 이 32.1%라고 하였다. 이후 젖소는 반추위를 통과하는 입자크기가 1.18 mm 보다 더 크다고 하였다 (Maulfair et al., 2011). Zebeli et al. (2010)는 사료 (건물 기준) 중 $peNDF_{>1.18}$ 이 31.2% 이거나 $peNDF_{>8.0}$ 이 18.5%일 때 아급성 반추위 과산증 (subacute rumen acidosis, SARA)에 의한 대사장애를 경감시킬 수 있고, $peNDF_{>8.0}$ 이 반추 활동을 자극하고, 최적의 반추위 pH를 유지하며, 섬유소 소화를 촉진하는 중요한 요소라고 하였다. 또한, $peNDF_{>8.0}$ 가 14.9% 이하일 경우 $peNDF$ 을 증가하는 것은 건물섭취량에 의해 저해될 수 있고, 고능력우로 건물섭취량이 상대적으로 높은 경우라면 17~18.5%의 $peNDF_{>8.0}$ 가 적정할 것이라고 하였다. 이 결과로부터 TCL를 20 mm로 하여 제조한 옥수수 사일리지와 건초를 이용하여 TMR 제조할 경우 30분 (T1) 간 배합으로도 젖소에 적정한 $peNDF_{>8.0}$ 가 유지될 수 있을 것으로 평가되었다.

2. *In situ* 반추위 건물분해율

TMR 제조 시 배합시간이 다른 처리구별 TMR의 입자 크기를 분리한 후 상층 (>19 mm)을 수거하여 *in situ* 실험을 통한 반추위 내 건물분해율을 측정할 결과는 Table 3과 같다. 반추위 내 12시간까지 30분 (T1) 보다 50분 (T2) 배합한 TMR의 건물분해율이 통계적 유의성은 없었으나 높게 나타났다. 이후 24시간 배양에서는 오히려 30분 (T1)간 배합한 TMR의 건물분해율이 유의적으로 높게 나타났다

Table 3. Effect of mixing time on *in situ* DM degradation of particles >19 mm in TMR based corn silage

Incubation time (hrs)	T1 ¹⁾	T2	SEM ²⁾
 %		
0	31.95	34.39	0.696
3	36.05	37.64	0.637
6	40.85	44.88	1.328
12	43.70	45.03	0.807
24	56.30	51.82	1.080*
48	67.94	68.32	0.567
72	79.11	74.84	1.379

¹⁾ T1: TMR used corn silage mixing for 30 mins; T2: TMR used corn silage mixing for 50 mins.

²⁾ SEM: Standard error of the mean.

* $p < 0.01$.

($p < 0.01$).

Balch et al. (1955)에 의하면 조사료를 종절, 세절 또는 세절하지 않고 제조한 사일리지의 소화율을 비교한 결과 세절하지 않은 처리구보다 종절이나 세절한 사일리지의 소화율이 높았으나, 세절보다 종절 처리가 소화율 개선에 유용하지는 않다고 하였다. 또한 Bal et al. (2000)는 긴 세절 길이 (TLC 1.90 cm)의 옥수수 사일리지와 비교하여 짧은 세절 길이 (TLC 0.95 cm)에서 반추위 내 24시간 배양 이후 건물분해율이 증가한다고 하였다. 일부 연구결과에서 입자 크기가 감소함에 따라 건물분해율이 증가한다고 하였으나 (Kononoff and Heinrichs, 2003), 이와는 반대로 입자 크기가 증가할수록 건물분해율이 증가한다는 연구결과도 있으며 (Yang and Beauchemin, 2005), 입자 크기가 건물분해율에 영향을 미치지 않는다는 연구결과도 있다 (Yang and Beauchemin, 2007). 입자가 큰 사료보다 작은 사료일수록 질량 대비 표면적이 넓어 반추위 내 미생물이 쉽게 이용할 수 있고 (Rode et al., 1985), 미생물의 성장률은 제어된 배양조건에서 분획 희석율 (fractional dilution rate)에 의해 영향을 받는다 (Isaacson et al., 1975). 또한 젖소 사료에 긴 조사료를 추가함에 따라 반추위액 회전율 (liquid turnover rate)이 증가하는 반면, 조사료의 입자 크기가 감소함에 따라 반추위 내 미립자의 회전율은 증가한다고 한다 (Osbourne et al., 1976). 따라서 건물분해율에 대한 연구결과의 차이는 조사료의 화학적 조성뿐만 아니라 입자 크기 및 종절도와 같은 사료의 물리적 특성에 따라 반추위 내 미생물의 접근성에 차이를 나타내고, 이에 따라 반추위 내 소화율

Table 4. Effect of mixing time on milk yield and milk composition of dairy cows

Item	T1 ¹⁾	T2	SEM ²⁾
..... 0 weeks			
Milk yield, kg/day	31.95	31.07	0.75
Milk protein, %	3.06	3.09	0.08
Milk fat, %	3.53	3.54	0.04
Lactose, %	4.61	4.71	0.03
Total solids, %	11.99	12.76	0.14
Milk urea nitrogen, mg/dl	15.51	15.41	0.46
..... 4 weeks			
Milk yield, kg/day	31.22	29.63	0.74
Milk protein, %	2.93	3.13	0.05
Milk fat, %	3.62	3.51	0.02*
Lactose, %	4.57	4.68	0.04
Total solids, %	11.81	12.66	0.16
Milk urea nitrogen, mg/dl	15.66	14.41	0.77

¹⁾ T1: TMR used corn silage mixing for 30 mins; T2: TMR used corn silage mixing for 50 mins.

²⁾ SEM: Standard error of the mean.

* $p < 0.01$.

및 소화물의 통과속도에 영향을 미치기 때문이라고 판단된다.

3. 산유량 및 유성분

TMR 제조 시 배합시간의 차이가 비유중기 젖소의 산유 특성에 미치는 영향을 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 산유량은 시험시작 시 T1과 T2가 각각 31.95와 31.07 kg/d 이었고, 4주간 시험 후 각각 31.22와 29.63 kg/d로, 각각 0.73과 1.77 kg/d이 감소하는 경향을 나타내었다. 우유 성분에 있어서 유단백의 경우 T1과 T2가 각각 3.06과 3.09% 이었으나, 4주간 시험 후 각각 2.93와 3.13%로, 유의적 차이는 없지만 배합시간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 유지방은 T1과 T2가 각각 3.53와 3.54%로 유사하였으나, 4주간 시험 후 각각 3.62와 3.51 kg/d로, T2 보다 T1이 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.01$).

젖소에 급여하는 조사료와 유지방 함량에 대해 O'Dell et al. (1968)은 조사료를 곱게 세절하면 우유 내 지방 함성이 저하된다고 하였고, Van Soest (1982)은 사료의 입자크기와 유지방의 감소 사이에 상관관계가 있으며, 미세하게 세절된 조사료는 반추 시간과 반추위의 pH를 저하시키고, 반추위 내 propionate 생성량을 증가시키는 경향이 있다고 하였다. 이는 혈액 내 glucose 농도나 propionate 생성량의 증가 시 insulin의 방출을 자극하고, 증가한 insulin은 지방조직으로부터 유리지방산의 방출이 억제되고 간에서 lipoprotein의

합성이 감소된다 (Emmanuel and Kennelly, 1984). 이러한 감소로 혈액 내 유지방 전구체의 이용성이 감소되어 유지방 함량이 감소된 것으로 사료된다 (Grant et al., 1990).

따라서 착유우를 위한 TMR 제조 시 조사료의 입자 크기, peNDF 및 종절도와 같은 물리적 특성이 적절히 유지될 수 있도록 배합시간을 조절한다면 반추위 내 건물분해율이나 산유량 및 유성분에 대한 부정적 영향 없이 조사료로서의 사료적 가치가 증진될 것으로 기대된다.

IV. 요약

본 연구는 옥수수 사일리지를 이용하여 TMR 제조 시 배합시간에 따른 물리적 특성 (Particle size, peNDF 및 laceration)의 변화를 조사하고, 반추위 내 *in situ* 건물분해율 및 비유중기 착유우의 유생산성에 미치는 영향을 조사하고자 수행되었다. TMR 시험사료는 동일한 원료를 이용하여 배합시간을 30분 (T1구)과 50분 (T2구)으로 제조하였다. Penn State Particle Size Separator (PSPS, 19 mm와 8 mm 체)로 분리하여 입자크기의 분포를 분석한 결과 배합시간이 30분 (T1)에서 50분 (T2)로 증가함에 따라 하층 (<8 mm)의 비율이 유의적으로 증가하였고 ($p < 0.01$), peNDF_{>8.0}는 유의적으로 감소하였으며 ($p < 0.01$), 굵은 비율 (≥ 1 mm)이 유의적으로 감소하였다 ($p < 0.01$). 반추위 내 *in situ* 건물분해율은 모든 배양시간에서 처리구간 차이가 없었지만 24시간 배양에서 T1구에서 유의적으로 높게 나타났다

($p < 0.01$). 산유량은 처리구간 차이가 없었지만 유지방은 T1이 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.01$). 본 연구 결과에서 옥수수 사일리지 위주의 TMR 제조 시 배합시간을 단축 조절함으로써 산유량 및 유성분에 대한 부정적 영향 없이 조사료의 물리적 사료가치를 증진하는데 효과가 있을 것으로 기대된다.

V. 사 사

본 성과물은 농촌진흥청연구사업(세부과제명: 국내산 조사료의 영양가치 증진 및 우유생산성 향상 기술 개발, 세부과제번호: PJ00936302)의 지원에 의해 이루어진 것임.

VI. REFERENCES

- Allen, D.M. and Grant, R.J. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 83:322-331.
- AOAC. 1995. Official method of analysis (15th ed). Association & Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Bal, M.A., Shaver, R.D., Jirovec, A.G., Shinnors, K.J. and Coors, J. G. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 83:1264-1273.
- Balch, C.C., Murdoch, J.C. and Turner, J. 1955. The effect of chopping and lacerating before ensiling on the digestibility of silage by cows and steers. *The Journal of the British Grassland Society*. 10:326-329.
- Beauchemin, K.A., Rode, L.M. and Eliason, M.V. 1997. Chewing activities and milk production of dairy cows fed alfalfa as hay, silage, or dried cubes or silage. *Journal of Dairy Science*. 80:324-333.
- Beauchemin, K.A. and Yang, W.Z. 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cow fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*. 88:2117-2129.
- Bhandari, S.K., Ominski, K.H., Wittenberg, K.M. and Plaizier, J.C. 2007. Effects of chop length of alfalfa and corn silage on milk production and rumen fermentation of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90:2355-2366.
- Broderick, G.A. and Radloff, W.J. 2004. Effect of molasses supplementation on the production of lactating dairy cows fed diets based on alfalfa and corn silage. *Journal of Dairy Science*. 87:2997-3009.
- Chaney, A.L. and Marbach, E.P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8:130-132.
- Emmanuel, B. and Kennelly, J.J. 1984. Effect of propionic acid on kinetics of acetate and oleate and on plasma and milk fatty acid composition of goats. *Journal of Dairy Science*. 67:1199-1208.
- Grant, R.J., Colenbrander, V.F. and Mertens, D.R. 1990. Milk fat depression in dairy cows: Role of silage particle size. *Journal of Dairy Science*. 73:1834-1842.
- Heinrichs, A.J. 1996. Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle size Separator. Technical Bulletin of the Pennsylvania State University, College of Agriculture Science, Cooperative Extension. DAS. 96.
- Heinrichs, A.J., Buckmaster, D.R. and Lammers, B.P. 1999. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 77:180-186.
- Howard, W.T., Albright, J.L., Cunningham, M.D., Harrington, R.B. and Noller, C.J. 1968. Least cost complete ration for dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 51:595-600.
- Isaacson, H.R., Hinds, F.C., Bryant, M.P. and Owens, F.N. 1975. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 58:1645-1659.
- Kammel, D.W. 1999. Design, selection, and use of TMR mixers. Proc. of 10th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville, FL.
- Ki, K.S., Kim, H.S., Jeong, H.Y., Lee, H.J., Ahn, B.S., Kim, J.S., Kwang, S.W., Kim, Y.K. and Ha, J.K. 2003. The survey of particle size of total mixed ration in Korea. *Journal of Animal Science and Technology*. 45:813-818.
- Kleiber, M., Smith, A.H., Black, A.L., Brown, M.A. and Tolbert, B. M. 1952. Acetate as a precursor of milk constituents in the intact dairy cow. *The Journal of Biological Chemistry*. 197:371-379.
- Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J. and Lehman, H.A. 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86:3343-3353.
- Kononoff, P.J. and Heinrichs, A.J. 2003. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 86:2438-2451.
- Lammers, B.P., Buckmaster, D.R. and Heinrichs, A.J. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 79:922-928.
- Maulfair, D.D., Fustini, M. and Heinrichs, A.J. 2011. Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94:3527-3536.

- McCullough, M. 1991. Feeding strategies for the dairy herd require careful selection. *Feedstuffs*. 18:14-50.
- Mertens, D.R. 2000. Physically effective NDF and its use in dairy rations explored. *Feedstuffs*. 10:11-14.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- O'Dell, G.D., King, W.A. and Cook, W.C. 1968. Effect of grinding, pelleting, and frequency of feeding of forage on fat percentage of milk and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 51:50-55.
- Oelker, E.R., Reveneau, C. and Firkins, J.L. 2009. Interaction of molasses and monensin in alfalfa hay or corn silage-based diets on rumen fermentation, total tract digestibility, and milk production by Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 92:270-285.
- Osbourne, D.F., Beever, D.E. and Thomson, D.J. 1976. The influence of physical processing on the intake, digestion and utilization of dried herbage. *Proceedings of The Nutrition Society*. 35:191-199.
- Poppi, D.P., Minson, D.J. and Ternourth, J.H. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 3. The retention time in the rumen of large feed particles. *Australian Journal of Agricultural Research*. 32:123-137.
- Rakes, A.H. 1969. Complete ration for dairy cow. *Journal of Dairy Science*. 52:870-875.
- Rippel, C.M., Jordan, E.R. and Stokes, S.R. 1998. Evaluation of particle size distribution and ration uniformity in total mixed rations fed in northcentral Texas. *The Professional Animal Scientist*. 14:44-50.
- Rode, L.M., Weakley, D.C. and Satter, L.D. 1985. Effect of forage amount and particle size in diets of lactating dairy cows on site of digestion and microbial protein synthesis. *Canadian Journal of Animal Science*. 65:101-111.
- Sudweeks, E.M., Ely, L.O., Mertens, D.R. and Sisk, L.R. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: Roughage value index system. *Journal of Animal Science*. 53:1406-1411.
- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O & B Books, Inc., Corvallis, OR.
- Van Soest, P.J., Roberston, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583-3597.
- Yang, W.Z. and Beauchemin, K.A. 2005. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*. 88:1090-1098.
- Yang, W.Z. and Beauchemin, K.A. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. *Journal of Dairy Science*. 90: 3410-3421.
- Zebeli, Q., Mansmann, D., Ametaj, B.N., Steingäß, H. and Drochner, W. 2010. A model to optimise the requirements of lactating dairy cows for physically effective neutral detergent fibre. *Archives of Animal Nutrition*. 64:265-278.

(Received October 14, 2014 / Revised November 10, 2014 / Accepted November 13, 2014)