

Research Article

# 수분 함량이 이탈리아 라이그라스 큐브의 물리적 및 화학적 성상에 미치는 영향

문병현<sup>3</sup> · 박형수<sup>4</sup> · 신중서<sup>5</sup> · 박병기<sup>6</sup> · 김종근<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 국제농업기술대학원, <sup>2</sup>그린바이오과학기술연구원, <sup>3</sup>(주)셀텍, <sup>4</sup>국립축산과학원, <sup>5</sup>강원대학교 동물생명과학대학, <sup>6</sup>농협사료

## Effect of Moisture Content on Physical and Chemical Characteristics of Italian Ryegrass Cube

Byeong Heoun Moon<sup>3</sup>, Hyung Soo Park<sup>4</sup>, Jong Seo Shin<sup>5</sup>, Byeong Ki Park<sup>6</sup> and Jong Geun Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 232-916, Korea,

<sup>2</sup>INSTITUTE of GREEN BIO SCIENCE & TECHNOLOGY, Seoul National University, Pyeongchang 232-916, Korea,

<sup>3</sup>CellTech Co., LTD., Eumsung 369-841, Korea,

<sup>4</sup>Grassland & Forages Division, National Institute of Animal Science, Cheonan 330-801, Korea,

<sup>5</sup>Department of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea,

<sup>6</sup>Nonghyup Feed Co., LTD., Seoul, 134-763, Korea

### ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of moisture content on the physical and chemical characteristics of Italian ryegrass cube. Cube quality according to moisture contents (15, 20, 25, and 30%) was determined. Cubes made with 15 to 20% moisture showed a little cracks. But, the amount of powder generate from these cubes were lower by 10 to 16% compared to other cubes made with 25 to 30% moisture contents. The highest hardness at 159 kg/f was obtained when the cube was made with 15% moisture content and the lowest was 70 kg/f when the cube was made with 30% moisture content. The electrical loading and surface temperature were increased when moisture content was decreased. The chemical compositions of cube were differ from those of raw materials. Crude protein (CP) and ether extract (EE) contents were increased after cubing works. However, crude fiber (CF), acid detergent fiber (ADF), and neutral detergent fiber (NDF) contents were decreased after cubing. The crude ash content was not significantly ( $p > 0.05$ ) different between raw material and cube. Higher moisture content resulted in higher crude protein content. However, crude fiber and crude ash content were not significantly ( $p > 0.05$ ) different between each other. The contents of ADF and NDF were the lowest in cubes made with 30% moisture content. Our results suggest that the proper moisture content of Italian ryegrass cubing is recommended to be 15 to 20% and that cubing works should help increase forage quality.

(**Key words** : Cube, Hardness, Durability, Italian ryegrass, Moisture content)

### I. 서 론

최근의 조사료 산업은 날로 확대되고 있으며 이로 인하여 조사료를 이용하여 새로운 부가가치를 만들려는 움직임이 있다. 특히 사일리지 위주의 조사료 생산, 유통은 우리나라 조사료 이용 확대에 큰 기여를 하였으나 품질문제에 있어 지속적으로 생산자와 소비자간의 불신이 발생하여 새

로운 가공 조사료의 필요성이 대두되고 있다. 이에 정부에서는 건조 및 헤일리지의 유통, 이용을 확산시키고자 다양한 정책을 개발하여 추진하고 있다(MAFRA, 2013).

우리나라의 가공 조사료(펠렛, 큐브 등)는 대부분 해외에서 수입을 하고 있으며 축우용으로 사용되는 비중이 높고 일부 반려동물에 이용이 되고 있다. 근래의 추세에 따르면 향후 반려동물을 기르는 사람들은 지속적으로 늘어갈

\* Corresponding author : Jong Geun Kim, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea. Tel : 033-339-5728, Fax : 033-339-5727, E-mail : forage@snu.ac.kr

것으로 추산되며 이에 따른 반려동물의 조사료도 수요가 늘어날 것이다. 조사료 측면에서 보면 반려동물의 조사료는 고부가가치를 가진 틈새시장으로 국내산 조사료로 충당이 가능할 것으로 판단된다.

축산농가에서의 조사료 이용 실태는 직접 재배하기 보다는 유통 조사료를 구매하는 비중이 높으며 사일리지 위주의 구매는 저장기간 동안 여러 가지 요인으로 품질이 변화하기 쉬워 장기 저장시 부패로 낭비되는 소지가 많다. 따라서 유통비용을 줄이고 장기 저장이 가능하도록 새로운 조사료의 가공 방법이 필요한 시점에 이르렀다. 그러나 큐브 제조에 있어서는 여러 가지 요인으로 인해 우리나라에서의 가공은 어려움이 있어 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 외국은 대량 생산체계를 갖추고 큐브를 성형하여 상업적으로 판매를 하고 있다.

조사료 가공을 위해 펠렛이나 큐브를 제조하는 경우 고온 고압으로 인해 내부의 화학적 조성이 변성이 일어나며 또한 압축으로 인해 사료가치가 상승한다는 연구 결과 (Rexen and Thomsen, 1976)가 보고된 바 있다. 조사료 가공을 통하여 사료가치의 상승 (압축효과) 및 세균류의 억제 (Peisker, 1994; Behnke, 1994) 등으로 인하여 가축에 대한 긍정적인 효과가 기대되고 있는 실정이나 국내에서의 조사료 가공에 대한 연구를 추진한 실적은 거의 없다. 과거 축협에서 외국의 기계를 도입하여 큐브를 생산하여 현장에서 이용하였다는 기록이 있지만 큐브 조제를 위한 기계 개발 및 조제 기술에 대한 정밀한 연구는 수행되지 않았다.

따라서 본 연구는 우리나라 실정에 맞는 큐브 조제 기술을 확립하고 이를 통하여 가공 조사료의 이용을 확대하기 위하여 이탈리아인 라이그라스를 대상으로 큐브 조제를 위한 기계의 개발과 개발 된 기계를 활용하여 큐브 조제 기술을

확립하기 위하여 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 큐브 제조기 개발

본 시험에 필요한 큐브 제조기는 직접 설계하고 제작하여 큐브를 성형하였다. 큐브 제조기를 만들기 위해서는 농가용 소형 펠렛기의 구동원리에 착안하여 설계 제작하였다. 소형 펠렛기와 다른 점은 회전하는 평판 다이스의 두께가 훨씬 넓고, 평판 다이스에 타공된 구경 (Die)이 클 뿐만 아니라 원료 도입부분의 각도와 모양도 변화를 주었다. 펠렛 제조기는 원료가 압출되는 다이스에 타공된 구경 (Die)의 지름이 대체적으로 작고 (2.5~9 mm), 다이스의 두께는 농후사료 펠렛 제조에 적합하도록 얇게 설계되어 있으므로 농후사료처럼 입자가 미세하게 분쇄된 원료의 성형에 적합하지만 입자가 거친 건초류를 성형하기 위해서는 별도의 설계 변경이 요구되었다.

건초큐브 성형에 사용되는 건초는 절단된 길이가 불규칙하고 거친 특성이 있으므로 평판 다이스의 타공된 구경 (Die)의 크기를 4~5 cm 정도로 크게 하고, 구경 (Die)의 도입각도를 60° 정도로 넓게 설계하여 구경 (Die) 내부로 도입되는 원료량을 증가시켰고 평판 다이스의 두께를 높여 적합한 압축력을 갖도록 제작하였다. 제작된 평판 다이스로울러 압축방식의 큐브 제조기의 부품 배치도 및 조립 완성도는 Fig. 1과 같다. 압력다이 위에 압축 로울러가 적재된 형태로 되어 있으며 캡을 통하여 압력을 조절할 수 있다.

본 연구의 큐브 성형기의 주요 제원은 Table 1에서 나타내었다. 모터는 15 kw형으로 구동을 하고 롤러의 회전비는

#### Part-List

- ① Pressure regulator cap
- ② Roller bearing cap
- ③ Roller bearing
- ④ Main roller rigid shaft
- ⑤ Roller cap
- ⑥ Main roller rigid shaft
- ⑦ Main shaft
- ⑧ Die

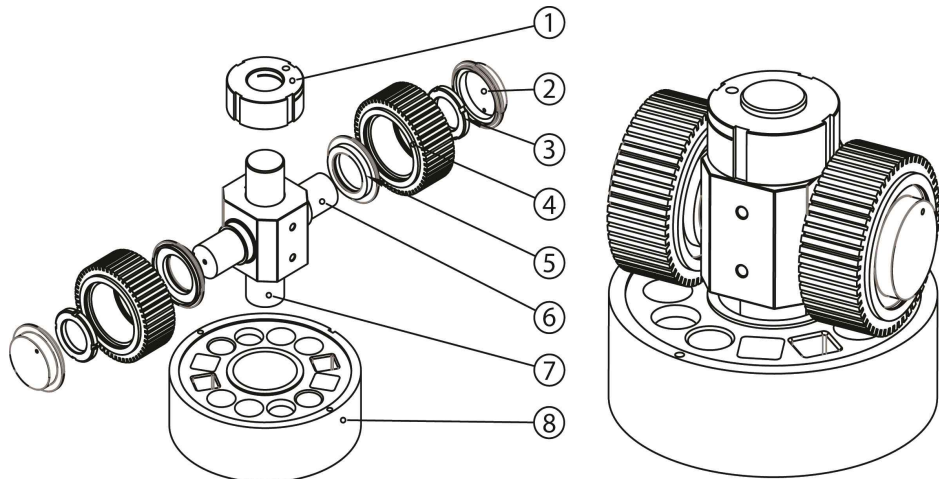


Fig. 1. Roller and ring die assembly of experimental cube machine.

Table 1. Specification of new cube machine mounted on roller-press type

Item	Factor	Level
Motor ability	380V / 60Hz / 3phase	15 kw
Plat dies	Diameter (mm)	300 mm
	Hole diameter (mm)	35 mm
	Thickness (mm)	80 mm
Roller	Speed ration	170 rpm

170 rpm으로 제작하였다. 평판 다이의 직경은 300 mm를 기본으로 하여 홀 직경은 35 mm 그리고 두께는 80 mm로 하였다.

2. 큐브 생산시험

1) 이탈리아인 라이그라스의 준비와 수분함량 조절방법

압축 곤포 포장된 이탈리아인 라이그라스를 해체하여 햇빛에서 자연 건조한 다음, 건조 절단기를 이용하여 절단하였다. 이때 절단된 이탈리아인 라이그라스의 길이는 4~5 cm 정도였으며 수분함량은 건조 전에는 65%, 건조 후에는 약 15%로 감소하였다. 수분함량의 조절은 물을 분사 첨가하는 방법으로 수분함량을 조절하였으며 다른 사료원료나 첨가제를 별도로 사용하지 않았다.

2) 이탈리아인 라이그라스 큐브의 생산방법 및 시료의 채취

본 시험에서 제작한 큐브 제조기는 설계 요인별 최적의 큐브 생산조건을 규명하기 위하여 타공된 구경(Die diameter)의 도입각도와 원판 다이스의 두께를 설계 변경하면서 본

시험을 수행하였다. 큐브성형에 따른 화학적 성분변화를 분석하기 위하여 성형 후 2시간 이상 충분히 식힌 다음 샘플을 채취하여 냉동 보관하였다.

3) 이탈리아인 라이그라스 큐브의 품질평가

(1) 큐브 경도의 측정

본 시험의 큐브 경도 측정 장치는 직접 설계 제작하였는데 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 경도의 측정을 위한 시험 장치의 구성은 유압실린더의 압축력으로 작동하는 압력을 가하는 부분과 누를 때 발생하는 압력을 측정하는 측정부분 및 하단의 시료의 받침대로 구성되어 있다. 측정방법은 측정기기 하단에 큐브 시료를 놓고 상단에서 압력으로 눌러서 파쇄될 때 받은 압축력을 측정하였으며 10반복이상 시행하여 평균치를 구하였다.

(2) 화학적 성분 분석

화학 분석은 AOAC (1995)의 방법에 따라 시료의 고형물(dry matter)과 조단백질(crude protein), 조지방(ether extract)을 분석하였으며, Van Soest(1987) 및 Van Soest et al. (1991)의 분석방법에 따라 ADF(acid detergent fiber), NDF(neutral detergent fiber) 및 ADL(acid detergent lignin)를 분석하였다.

4) 통계분석

본 실험의 통계분석은 SAS (1999)의 GLM을 이용하여 분산분석을 하였고 처리간 유의성 검정은 Duncan의 다중 검정법을 이용하여 분석하였다.

Part-List

- ① Compression cylinder
- ② Indicator
- ③ Pressure gauge
- ④ Hydraulic motor
- ⑤ Compossion stroke
- ⑥ Compression load cell
- ⑦ Relief valve
- ⑧ Oil tank

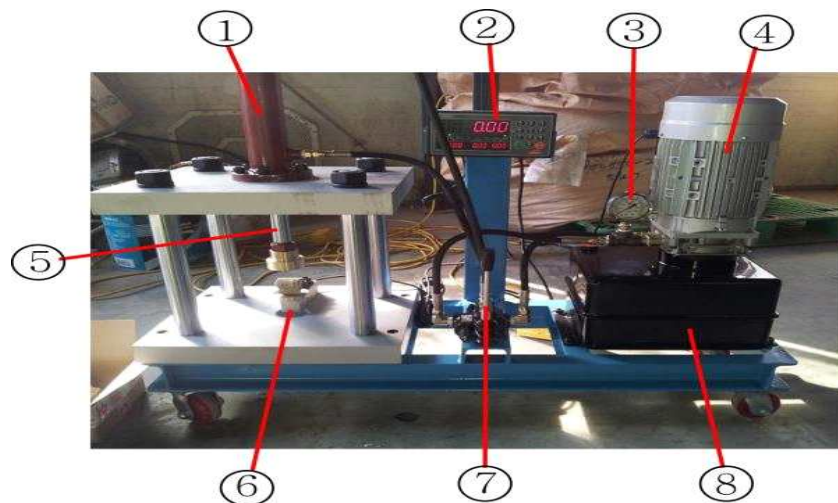


Fig. 2. Hardness measuring apparatus of cubes.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 큐브 제조기의 주요설계 요인별 제조효과

평판 다이스 로울러 압축방식의 큐브 제조기는 수평형 펠렛기에 비해 회전하는 평판 다이스의 두께가 훨씬 넓고, 평판 다이스에 타공된 구경(Die)이 훨씬 클 뿐만 아니라 원료 도입부분의 각도와 모양도 다르게 제작되었다.

제작된 기기 시험결과 평판 다이스 로울러 압축방식의 조건으로 큐브를 제조한 시험에서는 이탈리아 라이그라스 건초원료가 원판다이스에 타공된 구경(Die)을 빠져나오지 못하고 막힘 현상이 발생했을 뿐만 아니라 많은 양의 가루가 발생하였다. 또한 물을 첨가하여 수분함량을 조절하였지만 역시 정상적인 모양의 큐브를 얻을 수가 없었다. 그러나 핵심부분의 구조변경을 시행하여 큐브 제조시험을 시행한 결과, 정상적으로 완전한 모양의 큐브를 생산할 수 있었을 뿐만 아니라 품질 면에서도 문제점이 없었다(Fig. 3).

#### 2. 수분함량에 따른 큐브의 생산성

본 연구는 건초에 수분을 첨가하여 각각 15%, 20%, 25%,

30%의 수분함량으로 조절하여 펠렛을 제조하고 생산성과 품질을 평가하였으며 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다.

건초 큐브의 성형효과나 생산성은 큐브 제조기의 기계적 설계요인 이외에 건초 내의 수분함량이 매우 중요한 영향을 미쳤다. 즉 수분함량이 높아질수록 큐브의 경도는 감소하여 가루 발생량은 증가하는 경향을 보였으며 토출구로 큐브가 밀려나올 때 큐브성형 온도가 낮아지는 경향을 보였다.

Phani et al. (2007)는 알팔파 큐브 제조 시험에서 압축하는 시간이 10초에서 30초로 늘어남에 따라 알팔파 큐브의 밀도가 5% 증가하고 잎의 비율이 높을수록 밀도가 높아졌다고 보고하였는데 밀도가 높다는 것은 큐브의 형태가 정상적으로 성형이 된다고 판단하여 본 시험에서는 수행하지 못했지만 압축시간과 식물체 구성을 고려한 연구가 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

외관상 큐브의 성형효과는 수분함량이 15%와 20%가 수분함량이 가장 적당한 것으로 평가되었고 수분함량이 25% 및 30%로 높아지면 가루 발생량이 많아져서 사료적 가치 저하 뿐만 아니라 유통과정 중에 변질의 우려가 있을 것으로 판단된다. 본 시험의 결과에 나타난 바와 같이 건초내의 수분함량은 큐브의 품질과 생산성에 가장 중요한 요소





Table 2. The design change of experimental cube machine

Item	Factor	Level	
		Before change	After change
Plat dies	Thickness (mm)	80	100
	Diameter (mm)	300	320
Roller	Width (mm)	40	60
	Inducing angle (°)	30	60



Fig. 3. Cube shaping from changed machine (after change).

Table 3. Effect of moisture content on cube shaping

Item	Moisture content (%)			
	15	20	25	30
Shape of cube				
Characteristics	A little crack	A little crack	Crack	A little bad
Powder amount <sup>1)</sup>	10%	16%	22%	30%
Hardness (kg/f)	159	121	82	70
Electrical loading	18A	16A	13A	11A
Temperature (°C) <sup>2)</sup>	68	57	48	43

<sup>1)</sup> Weighting of powder through sieve.

<sup>2)</sup> Measurement of infrared thermometer in output cube.

었다. 즉 적정량의 수분함량은 큐브 성형효과에 도움을 주지만 너무 높아지면 큐브의 내구력이 감소하고 오히려 품질이 저하되는 것으로 판단된다. Theerattananoon et al. (2011)는 다양한 부산물의 펠릿 제조시험에서 펠릿의 수분함량이 높아짐에 따라 Density가 줄어들지만 corn stover 및 wheat straw에서는 수분함량이 9~14%에서는 차이가 없었다고 보고하였다.

Nalladurai and Vance Morey (2009)는 다양한 부산물의 펠릿 또는 큐브 제조에 있어서 품질에 영향을 주는 요인은 영양소함량, 사전 처리(가열, binder 사용 유무 등), 작업기계의 종류 등이 있으며 품질이 높은 펠릿 또는 큐브를 만들기 위해서는 각 단계별 최소한의 작업 기준을 준수하여

만드는 것이 바람직하다고 기술하였다.

### 3. 큐브 제조에 의한 화학적 성분의 변화

큐브 성형에 따른 이탈리아 라이그라스의 화학성분 변화는 Table 4에 나타내었다. 조단백질 함량은 큐브를 만들기 전보다 1.4~1.9% 정도 개선되는 효과를 보였으며 수분함량이 높을수록 조단백질 함량은 늘어났다 ( $p<0.05$ ). 조지방 함량도 조제전 보다는 현저하게 늘어났으나 15% 수분함량에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 한편 조섬유 함량은 큐브 조제로 약 5% 정도 감소되는 결과를 보였으며 ( $p<0.05$ ) 수분함량 간에는 차이가 없었다. 조회분은 큐브

Table 4. Chemical composition of Italian ryegrass cube in relation to moisture content

Item	Before cubing	After cubing			
		Moisture content (%)			
		15	20	25	30
Crude protein (%)	3.85±0.02 <sup>c</sup>	5.24±0.04 <sup>d</sup>	5.58±0.01 <sup>b</sup>	5.45±0.03 <sup>c</sup>	5.73±0.06 <sup>a</sup>
Ether extract (%)	0.95±0.23 <sup>c</sup>	1.45±0.16 <sup>b</sup>	2.60±0.59 <sup>a</sup>	1.69±0.14 <sup>b</sup>	1.76±0.06 <sup>b</sup>
Crude fiber (%)	32.84±0.62 <sup>a</sup>	27.16±0.34 <sup>b</sup>	27.16±0.21 <sup>b</sup>	27.85±0.37 <sup>b</sup>	27.16±0.10 <sup>b</sup>
Crude ash (%)	8.11±0.45 <sup>b</sup>	8.41±0.05 <sup>ab</sup>	8.53±0.33 <sup>ab</sup>	8.49±0.18 <sup>ab</sup>	8.87±0.21 <sup>a</sup>
NDF (%)	63.05±0.45 <sup>a</sup>	59.60±0.72 <sup>b</sup>	59.23±0.21 <sup>bc</sup>	59.70±0.59 <sup>b</sup>	58.18±0.97 <sup>c</sup>
ADF (%)	41.22±0.78 <sup>a</sup>	36.87±1.03 <sup>ab</sup>	41.71±5.86 <sup>a</sup>	37.87±0.62 <sup>ab</sup>	36.04±1.04 <sup>b</sup>
ADL (%)	4.44±0.34 <sup>N.S</sup>	3.89±1.53	5.82±0.76	4.46±1.77	5.05±0.85

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in same row differ significantly ( $p<0.05$ ).

\* ADF (acid detergent fiber), NDF (neutral detergent fiber), ADL (acid detergent lignin).

조제로 높아지는 경향을 보였으나 수분함량 30%를 제외하고는 처리간에 유의성은 없었다.

큐브 조제에 따른 영양 성분의 차이는 이탈리아 라이그라스가 큐브 제조기에서 수분 첨가와 가온·가압에 따라 세포의 구조가 변형되고 영양소가 압축되어 이탈리아 라이그라스의 조단백질, 조지방, 조회분, 조섬유, NDF 함량에 변화를 준 것으로 판단된다. 이탈리아 라이그라스의 화학 성분이 수분을 첨가하여 큐브를 제조함에 따라 단백질 함량이 증가하고 섬유소 함량이 감소한다는 것은 사료가치 면에서 고무적인 결과이다. 이는 저질 조사료에 수분을 첨가하여 큐브를 제조한다면 영양소의 이용율이 향상되어 사료가치를 개선할 수 있는 물리적 처리 방법이 될 수 있을 것으로 기대된다. Kay et al. (1970)은 조사료를 물리적으로 처리하는 것을 권장하였으며, Rexen and Thomsen (1976)는 조사료를 화학처리를 하면 섬유소 소화율이 증가한다고 보고하고 있다. 이러한 점을 고려하여 볼 때 조사료의 큐브 처리는 물을 가한 상태에서 열처리와 물리적 처리를 받으므로 조직내 각각의 영양소가 변화되어 가축의 이용면에서 긍정적인 결과를 보인 것으로 판단된다.

Park (2011)은 이탈리아 라이그라스 펠렛 제조시험에서 펠렛 조제 전보다 조제 후의 조단백질 함량이 증가된다고 하였으며 특히 펠렛 조제로 총 세균수가 감소되어 적절한 수분 함량으로 조제 시 세균증식을 억제하여 펠렛의 장기 저장이 가능할 것으로 기대하였다.

Agnew et al. (2003)은 펠렛 처리 시 온도가 높아지면 내부에 남아있는 잡초 종자의 사멸로 잡초 발생이 줄어든다고 하였으며 유해세균의 활동이 억제되고 심지어 사멸 (Peisker, 1994; Behnke, 1994)이 되는 것으로 보고하였다. 한편 Coma (2002)도 사료 내 *Salmonella* sp. 감염의 위험성을 펠렛팅 등의 열 가공방법으로 감소시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

한편 NDF 함량은 큐브 조제로 유의적으로 감소되는 경향을 보였으며, 수분함량 30% 구에서 더 낮게 나타났다. ADF 함량은 수분함량 30%를 제외하고는 큐브 제조 전후에 차이를 보이지는 않았다. 이탈리아 라이그라스 큐브의 리그닌 함량은 제조전의 이탈리아 라이그라스와 수분함량 15, 20, 25 및 30% 처리구의 큐브 간에는 유의적인 차이가 없는 결과를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

이상의 연구결과를 종합하여 볼 때 이탈리아 라이그라스에 수분을 첨가하여 큐브를 제조하면 조단백질 및 조지방 함량이 높아지며, 조섬유 및 NDF 함량이 낮아지는 결과를 초래하였다. 따라서 이탈리아 라이그라스에 수분을 첨가하여 큐브를 조제할 경우 사료적 가치가 향상될 것으로 기대

된다.

#### IV. 요약

본 시험은 가공 조사료 이용확대를 위해 압축 방법과 수분 함량이 이탈리아 라이그라스 큐브의 물리적 및 화학적 성상에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행되었다. 이탈리아 라이그라스 큐브 제작을 위해 평판 다이형 큐브 기계를 직접 제작하였으며 이탈리아 라이그라스의 수분 함량을 15, 20, 25 및 35%로 조절하여 큐브를 제조하여 품질을 조사하였다. 수분 함량이 15~20%에서는 간헐적인 균열이 일어났으며 가루 발생량도 10~16%로 다른 처리보다 낮게 나타났다. 경도에 있어서도 15% 수분 함량에서 159 kg/f로 가장 높게 나타났으며 30% 수분 함량에서는 70 kg/f로 가장 낮았다. 그러나 전기 부하량과 큐브의 표면 온도는 수분 함량이 낮은 곳에서 더 높게 나타났다. 수분 함량에 따른 큐브의 일반 조성분은 조제전에 비하여 조단백질과 조지방 함량은 높아졌으며 조섬유, ADF, NDF 함량은 감소하는 것으로 나타났다. 조회분 함량은 수분 함량 30%를 제외하고는 큐브 조제 전후간에 차이를 보이지는 않았다. 수분 함량에 있어서는 수분이 많아질수록 조단백질 함량이 증가되는 경향을 보였으며 조섬유, 조회분 함량은 처리간에 차이가 나타나지 않았다. NDF 및 ADF 함량은 30% 수분 함량에서 가장 낮게 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 이탈리아 라이그라스 큐브 조제를 위한 적정 수분 함량은 15~20% 내외로 추정되며 이로 인해 사료적 가치가 향상되는 것으로 나타났다.

#### V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 PJ010535)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이의 지원에 감사드립니다.

#### VI. REFERENCES

- Agnew, J.M., Leonard, J.J., Feddes, J. and Feng, Y. 2003. A modified air pycnometer for compost air volume and density determination. *Canadian Biosystems Engineering*. 45:627-635.
- A.O.A.C. 1995. Official method of analysis(15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. Washington D.C.
- Behnke, K.C. 1994. Factors affecting pellet quality. Maryland Nutrition Conference. Dept. of Poultry Science and Animal Science, College of Agriculture, University of Maryland, College Park.

- Coma, J. 2002. Securing feed from salmonella. *Feed Technology*. 6: 16-19.
- Kay, M., Macdearmid, A. and Macleod, N.A. 1970. Replacement of cereals with chopped straw. *Animal Production*. 12:261.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2013. The current situation of forage increase production and supplementation policy.
- Nalladurai, K. and Vance Morey, R. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Science Direct* 33:337-359.
- Park, H.S. 2011. Annual report. National Institute of Animal Science, RDA.
- Peisker, M. 1994. Influence of expansion on feed components. *Feed Mixture* 2: 26-31.
- Phani, A., Schoenau, G., Tabil, L., Sokhansanj, S. and Singh, A. 2007. Compression of fractionated sun-cured and dehydrated alfalfa chops into cubes-specific energy models. *Bioresource Technology* 98(1):38-45.
- Rexen, F. and Thomsen, K.V. 1976. The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. *Animal Feed Science and Technology*. 1:73.
- SAS Institute, Inc. 1999. *SAS user's guider : Statistics*. SAS Institution, Inc.
- Theerarattananoon, K., Xu, F., Wilson, J., Ballard, R., Mckinney, L., Staggenborg, S., Vadlani, P., Pei, Z.J. and Wang, D. 2011. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. *Industrial Crops and Products* 33(2):325-332.
- Van Soest, P.J. 1987. Nitrogen metabolism. In *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, New York, pp. 230-248.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.

(Received January 21, 2016 / Revised March 3, 2016 / Accepted March 4, 2016)