

## 참나무류와 리기다소나무 간벌재를 이용한 목질 조사료 제조 및 사료가치 평가<sup>1</sup>

김 석 주<sup>2</sup> · 이 성 숙<sup>2,†</sup> · 백 열 창<sup>3</sup> · 김 용 식<sup>2</sup> · 박 미 진<sup>2</sup> ·  
안 병 준<sup>2</sup> · 조 성 택<sup>2</sup> · 최 돈 하<sup>2</sup>

### Manufacturing and Feed Value Evaluation of Wood-Based Roughage Using Lumber from Thinning of Oak and Pitch Pine<sup>1</sup>

Seok Ju Kim<sup>2</sup> · Sung-Suk Lee<sup>2,†</sup> · Youl Chang Baek<sup>3</sup> · Yong Sik Kim<sup>2</sup> ·  
Mi-Jin Park<sup>2</sup> · Byeong Jun Ahn<sup>2</sup> · Sung-Taig Cho<sup>2</sup> · Don-Ha Choi<sup>2</sup>

#### 요 약

참나무류와 리기다소나무 간벌재 칩을 사용하여 각각 60, 90, 120분 동안 증기 가열(증해) 처리하여 조사료를 제조하고 정유 함량을 비교하였다. 두 수종 모두 증해 처리 시간이 증가됨에 따라 정유 함량이 감소하였으며, 90분과 120분 처리했을 때 0.1 ml/kg 이하의 정유 함량을 보였다. 90분 증해 처리하여 제조된 조사료의 사료료씨의 가치를 화학성분 조성, NRC (National Research Council) 모델링, 반추위 소화율, 영양성분 대비 상대적 경제 가치 분석을 통해 평가하였다. 참나무류 조사료의 DM (dry matter; 건물), CP (crude protein; 조단백), EE (ether extract; 조지방), NDF (neutral detergent fiber; 중성세제섬유소), ADF (acid detergent fiber; 산성세제섬유소), ADL (acid detergent lignin; 산성세제리그닌), NFC (nonfiber carbohydrate; 비섬유소탄수화물) 함량은 각각 95.4, 1.36, 3.11, 90.05, 83.85, 17.33, 6.50 %로 측정되었고, 리기다소나무 조사료는 각각 94.37, 1.33, 5.48, 87.89, 86.88, 30.56, 6.32%로 측정되었다. NRC 모델링을 이용한 영양평가에서는 참나무류 조사료가 TDN (total digestible nutrient) 40.55%, DE (digestible energy) 1.79 Mcal/kg이었고 리기다소나무 조사료가 TDN 31.22%, DE 1.38 Mcal/kg으로 나타나 참나무류 조사료가 더 높은 영양가를 가진 것으로 사료되었다. 반추위 내 건물소화율은 참나무류 조사료(18.07%)가 리기다소나무 조사료(10.02%)보다 높았다. 영양성분 대비 상대적 경제 가치는 참나무류 조사료는 235원, 리기다소나무 조사료는 210원으로 나타났다.

<sup>1</sup> Date Received June 23, 2015, Date Accepted July 17, 2015

<sup>2</sup> 국립산림과학원 화학미생물과. Division of Wood Chemistry & Microbiology, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul, 02455, Republic of Korea

<sup>3</sup> 국립축산과학원 영양생리팀. Animal Nutrition and Physiology Team, Department of Animal Biotechnology & Environment, National Institute of Animal Science, Wanju-gun, 55365, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 이성숙(email: lsungsuk@korea.kr)

## ABSTRACT

The objective of this study was to manufacture the wood based roughage using lumber from thinning of oak and pitch pine (*Pinus rigida*). And the study also aimed to investigate a feed value evaluation of wood based roughages. To investigate the optimization condition of steam-digestion treatment for roughage, the wood chips of oak and pitch pine were steam-digestion treated at 160 °C under pressure 6 atm depending on treatment times (60 min, 90 min and 120 min) followed by the content of essential oils analyzed. The essential oil content of steam-digestion treated roughages for 90 min and 120 min were under 0.1 mL/kg. The evaluation of feed value was carried out from steam-digestion treated roughages for 90 min through feed chemical composition analysis, NRC (National research Council) modeling, ruminal degradability analysis and relative economic value analysis. The feed chemical compositions including DM (dry mater), CP (crude protein), EE (ether extract), NDF (neutral detergent fiber), ADF (acid detergent fiber), ADL (acid detergent lignin), NFC (nonfiber carbohydrate) in oak roughage were 95.4, 1.36, 3.11, 90.05, 83.85, 17.33, 6.50%, respectively, and in pitch pine roughage were 94.37, 1.33, 5.48, 87.89, 86.88, 30.56, 6.32%, respectively. Both roughages showed low level of protein and very high level of NDF. The TDN (total digestible nutrient) levels using NRC (2001) model in oak and pitch pine roughages were 40.55, 31.22%, respectively. The ruminal *in situ* dry matter degradability was higher in oak roughage (23.84%) than in pitch pine roughage (10.02%). The economic values of oak and pitch pine roughages were 235, and 210 ₩, respectively.

**Keywords :** wood-based roughage, oak, *Pinus rigida*, essential oil, chemical composition, total digestible nutrient, ruminal degradability

## 1. 서 론

현재 산림청은 제3단계 숲가꾸기 5개년 추진계획(2014년~2018년)에 의거 연간 약 28만 ha의 숲가꾸기를 실시하여 연간 약 130만 m<sup>3</sup> 이상의 산물을 수집할 예정이다. 이 중 일부는 원목 제재, 톱밥 가공, 펠릿 제조 등으로 활용되고 있으나 산지에 방치되고 있는 산물도 많아 이들의 용도 개발이 시급한 실정이다.

한편, 축산 분야에서 소와 같은 반추위 가축을 사육하는 경우 조사료의 안정적인 공급은 매우 중요하다. 조사료는 지방, 단백질, 전분 등의 함량이 적고 섬유질이 18% 이상으로 가소화총영양소 함량이 적고 섬유질이 많은 사료의 총칭을 말하며, 영양소 공급을 목적으로 하는 농후사료와는 달리 거친 입자와 섬유소로 구성되어 반추동물의 위벽에 물리적 자극을 가해 되새김과 침의 분비를 촉진하고 장기적으로 반추위와 장을 발달시켜 소화기관의 용적을 크게 하며, 사료 흡수율을 높여서 지속적인 성장발육을 향상시키는데 그 목적이 있다(Korea Rural Economic Institute, 2006). 우리나라에서 이용되고 있는 조사료

의 공급량은 2013년 기준 연간 5,731천톤이며 이 중 국내산(목초, 사료작물, 볏짚 등)은 4,699천톤(82%)이고 나머지 1,032천톤(18%)은 수입산이 차지하고 있다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2014). 국내산 조사료 중 볏짚이 차지하고 있는 비율은 45%에 달하고 있는데 반해 지속적인 쌀 수요 감소에 따라 향후 10년간 250천 ha의 휴경논 발생이 예상됨에 따라 볏짚의 공급량이 줄어들 것으로 예상되고 있다(Ki 등, 2013). 뿐만 아니라 우리나라의 한우산업은 FTA로 인한 소고기 수입증가, 원료사료 가격 인상 등으로 인해 어려움을 겪고 있으며 이를 극복하기 위해 생산비의 70% 이상을 차지하는 사료비 절감, 대체사료 개발 및 사료 자급률 향상이 절실히 요구되고 있다(Chang 등, 2013). 이러한 상황에서 숲가꾸기 사업에 의해 발생되는 간벌재를 이용하여 비육우용 조사료를 개발하면 산림자원의 효율적 이용뿐만 아니라 수입 조사료를 대체할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

목재는 셀룰로오스가 높은 중합도와 결정화를 가지고 고도의 목질화(lignification)가 되어 있어서 반추동물의 위에서 생육하는 미생물이 셀룰로오스를



Fig. 1. Digester for steam digestion of wood chips.

분해하는데 어려움이 있다(Han과 Park, 1982). 그러므로 조사료로 이용하기 위해서는 전처리를 하여야 하며, 전처리 방법은 물리적, 화학적 및 미생물 처리법 등이 연구되어 왔다. 자작나무나 현사시나무 칩을 증기 처리 후 해섬 또는 폭쇄하여 제조하는 시험에서 적정 증기 처리 조건으로 4~15분이 제안되었다(Jhun 등, 1989; Kang과 Paik, 1989). 그러나 자작나무나 현사시나무를 이용한 조사료는 상용화되기에는 지속적으로 공급되기 어렵고, 짧은 증해 처리 시간에 따른 잔류 추출물들에 대한 연구 등이 부족하다고 판단된다. Paik 등(1992)은 자작나무 칩을 물리적 처리와 함께 1% NaOH, Methanol 등을 사용하여 높은 소화율을 가진 조사료를 제조하였으나 섬유수율이 낮은 단점이 있다고 보고하였다. Han과 Park (1982)은 포플러 톱밥을 9% NaOH로 처리하여 제조한 조사료를 면양에 급여했을 때, 소화율과 증체량의 증가가 나타나 조사료 대용의 활용가능성을 보였다. 이러한 화학적 처리는 리그닌의 연화 및 분해하는데 유리하지만 동시에 헤미셀룰로오스도 같이 분해시키는 단점이 있으며, 제조과정과 제조비용이 늘어날 뿐만 아니라 화학 물질에 대한 환경 부담을 감안했을 때 비경제적이다. Koh 등(1991)은 참나무류 톱밥을 1% NaOH처리 후에 표고버섯 균주를 사용하여 3-6개월 배양을 통해 버섯생산과 소화율이 높은 조사료를 제조하였다. Jhun 등(1989)은 자작나무 톱밥을 노랑느타리, 표고, 영지, 버들송이 균주를 6개월 배양하여 버섯 재배와 함께 리그닌 함량을 낮추고 소화율을 높인 조사료를 제조하였다. 이 방법은 오랜 기간과 배양 조건의 세밀한 조절이 필요하므로 대량 생산에

는 쉽지 않은 것이 단점이다. 또한 Choi 등(2002)은 숲가꾸기 사업시 발생하는 잎과 잔가지를 잘게 썰어 혐기 발효시켜 벚짚 37% 소화율 대비 71%의 높은 소화율과 벚짚 100%급여한 경우 대비 13%의 증체 효과를 보이는 조사료 기술을 개발하였다. 그러나 발효 시 수분 및 햇빛의 조절, 부패 방지 등의 관리가 필요하고 임신우에서 유산이 발생하는 등의 문제가 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 숲가꾸기 사업시 발생하는 주요 수종들 중에서 참나무류와 리기다소나무를 공시재료로 하여 증해-해섬 과정에 의한 조사료 제조 조건을 구명하고, 조사료의 이용성을 검증하기 위해 정유함량, 화학조성분, TDN 추정, 반추위 소화율 측정 및 상대적인 경제적 가치 평가를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

박피하지 않은 참나무류와 리기다소나무 통나무를 각각 칩퍼를 사용하여 3~5 cm 길이의 칩으로 파쇄한 다음 기건하여 공시재료로 하였다.

### 2.2. 목질 조사료의 제조

칩 5 kg을 증해기(Digester, Fig. 1)에 넣고 6기압, 160℃에서 각각 60분, 90분, 120분 동안 증기 가열(증해)처리한 다음, 증해된 칩을 물과 함께 두 개의 원형디스크가 평행으로 설치된 해섬기(Refiner, Fig. 2, 디스크 간격: 2~2.5 mm, 1500 mm, 1500 rpm)에 넣어 으갠 후 기건하여 조사료를 제조하였다.

### 2.3. 목질 조사료의 정유함량 분석

제조한 참나무류와 리기다소나무 목질 조사료는 정유추출장치(Fig. 3)을 이용한 증류추출법(hydrodistillation)으로 정유를 추출하였다. 대조구는 증해처리를 하지 않고 해섬기로 분쇄하였다. 제조한 조사료 500 g을 증류수 약 5 l와 함께 반응조에 넣고 정유추출장치와 냉각관을 연결한 다음 히팅맨틀



**Fig. 2.** Refiner for wood based roughage manufacture.

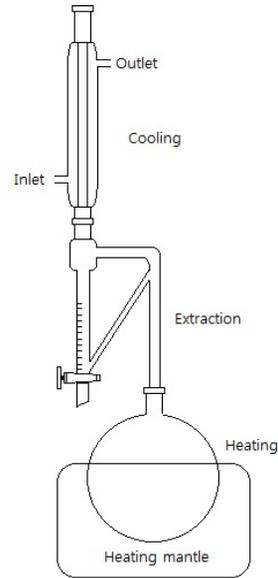
을 사용하여 105℃로 가열하였다. 추출 시간은 정유가 더 이상 추출되지 않을 때까지 진행하였고, 정유 추출 종료 후 트랩에 모인 정유는 추출량을 기록한 다음 n-hexane 1 ml를 첨가하여 회수하였고, 무수황산나트륨을 사용하여 잔류 수분을 제거하였다.

정유 성분 분석은 추출된 정유 5 µl를 n-hexane 2 ml로 희석한 다음 Agilent 5975C MSD와 FID를 병렬로 연결한 Agilent 7890A GC (Agilent Technologies, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석 컬럼은 DB-5ms (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm, Agilent Technologies, USA)를 사용하였다. 온도 조건은 50℃에서 5분간 유지 후, 3℃/min로 280℃까지 승온하고 5분 동안 유지하였다. Injector, auxiliary line은 250℃, 시료 주입량은 1µl, split는 1 : 20으로 하였다. 질량분석기는 EI 방식으로 source는 70 eV, 정성 분석은 NIST 2.0 library를 이용하였다.

## 2.4. 목질 조사료의 사료 가치 평가

### 2.4.1. 화학성분 분석

화학성분 분석은 AOAC 법(AOAC international, 2013)에 따라 건물(dry mater, DM; AOAC official method 930.15), 조단백질(crude protein, CP; AOAC official method 984.13), 조지방(ether extract, EE; AOAC official method 2003.05), 조회분(crude ash, Ash; AOAC official method 942.05), 산성세제리그닌(acid detergent lignin, ADL; AOAC official method 973.19) 분석을 실시하였다. 중성세제섬유소(neutral detergent fiber, NDF)와 산성세제섬유소(acid



**Fig. 3.** Apparatus for the extracts of essential oils from wood based roughage.

detergent fiber, ADF)는 ANKOM2000 fiber analyzer (ANKOM Technology Corporation, USA), 중성세제 불용조단백질(neutral detergent insoluble crude protein, NDICP)과 산성세제불용조단백질(acid detergent insoluble crude protein, ADICP)은 Licitra 등(1996)의 방법으로 측정하였다. 비섬유소탄수화물(nonfiber carbohydrate, NFC)는 아래와 같은 식 (1)을 이용하여 산출하였다. 모든 화학 분석결과는 건물함량(% 원물)을 제외하고 건물기준으로 환산하여 나타내었다.

$$NFC = 100 - CP - (NDF - NDICP) - EE - Ash \dots (1)$$

### 2.4.2. NRC 모델링 방법을 이용한 목질 조사료의 잠재적 사료 영양 평가

90분간 증해하여 제조한 참나무류와 리기다소나무 목질 조사료의 잠재적인 사료 영양 평가는 National Research Council (NRC, 2001)의 nutrient requirement of dairy cattle에서 가소화영양소총량(total digestible nutrient, TDN) 추정식 모델을 사용

하여 수행하였다. NRC 모델은 Weiss (1992) 모델을 기본으로 하여 NFC 소화율에 가공보정계수 (processing adjustment factor, PAF) 보정을 거친 모델이다. TDN 진정 소화율 추정 공식은 식 (2), (3), (4), (5), (6), (7)이며 TDN 값으로부터 추정되는 소화 에너지(digestible energy, DE)는 식 (8)를 사용하여 계산하였다.

$$\text{Truly digestible NFC} = 0.98 \times \{100 - [(NDF + NDICP) + CP + EE + Ash]\} \times \text{PAF} \dots\dots (2)$$

$$\text{Truly digestible CP for forages (tdCPc)} = CP \times \exp[-1.2 \times (ADICP / CP)] \dots\dots (3)$$

$$\text{Truly digestible CP for concentrate (tdCPc)} = CP \times [1 - (0.4 \times ADICP / CP)] \dots\dots (4)$$

$$\text{Truly digestible FA (tdFA, fatty acids)} = EE - 1 \dots\dots (5)$$

$$\text{Truly digestible NDF (tdNDF)} = 0.75 \times [(NDF - NDICP) - ADL] \times \{1 - [ADL / (NDF - NDICP)]^{0.667}\} \dots\dots (6)$$

$$\text{TDN}_{IX} (\%) = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \dots\dots (7)$$

$$\text{DE (Mcal/kg)} = \text{TDN}_{IX} \times 0.04409 \dots\dots (8)$$

#### 2.4.3. 목질 조사료의 반추위 건물분해율 측정

90분간 증해하여 제조한 참나무류와 리기다소나무 목질 조사료의 반추위 건물분해율은 NRC (2001)의 *in situ* Nylon bag 시험방법으로 국립축산과학원 영양생리팀에서 수행하였다. 가로 8 cm, 세로 15 cm, pore size 45 μm인 nylon bag을 칭량하여 시료 5 g을 넣은 후 상단을 묶고 고무줄로 단단히 고정한 후, 양파망에 넣어 각 시간대 별(4, 8, 16, 24, 48, 72, 96, 120시간)로 반추위 내에서 배양하고, 반추위에서 꺼내 찬물로 30분간 세척한 후 60℃ 오븐에서 48시간 건조를 하였다. 0시간 배양은 반추위 배양 없이 세척 후 건조하여 사용하였다. 반추위내 유효건물분해율의 계산은 반추위 통과속도(k)를 0.02h<sup>-1</sup>로 적용하여 Ørskov와 McDonald (1979)가 제안한 식 (9)을 이용하여 추정하였다.

$$P = a + b (1 - e^{-ct}) ; ED = a + bc / (c + k) \dots\dots (9)$$

P : the actual degradation after time 't'

a : rapidly degradable fraction

b : fraction degraded over time

c : constant for b fraction

t : rumen suspension time

k : rumen passage rate per time

ED : effective degradability

#### 2.4.4. 영양성분 대비 상대적 경제 가치 평가

90분간 증해하여 제조한 참나무류와 리기다소나무 목질 조사료의 영양성분 대비 상대적 경제 가치를 2009년 국내 거래 사료가격을 기준으로 수정한 Petersen식(Seo 등, 2012, 식 10)을 사용하여 비교하였다.

$$\text{가치(원/kg)} = \text{TDN 함량}(\%) / 100 \times 231\text{원} + \text{CP 함량}(\%) / 100 \times 742\text{원} + \text{NDF 함량}(\%) / 100 \times 164\text{원} \dots\dots (10)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 목질 조사료의 제조

수종 및 증해 처리 시간에 관계없이 칩 10 kg 대비 약 9.1~9.4 kg의 조사료가 제조되었다. 이러한 중량 손실은 1차적으로 증해 과정에서 추출되는 정유성분 및 극성 추출물과 헤미셀룰로오스의 측쇄에 존재하는 acetyl기와 uronyl기가 유리되어 생성되는 acetic acid와 uronic acid에 의한 autohydrolysis 반응에 의해 가수분해된 산물들이 제거되면서 발생하고, 2차적으로는 해섬기에서 조사료를 제조할 때 투입된 칩 또는 해섬된 조사료 일부가 디스크 날과 날 사이의 틈과 디스크와 해섬기 본체 사이의 틈에 끼여서 회수되지 못하는 시료가 발생되어서 나타났다. 90분 증해 처리하여 제조한 목질 조사료를 Fig. 4에 나타내었다.



**Fig. 4.** Produced wood-based roughages by digestion for 90 min from oak (left) and *P. rigida* (right).

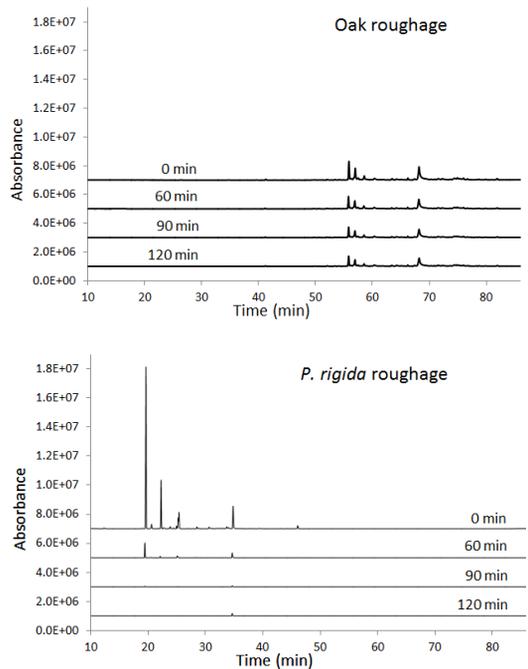
### 3.2. 목질 조사료의 정유함량 분석

원료 칩을 160℃에서 증해 처리하는 것은 리그닌을 연화시켜 해섬기에서 조사료를 제조하기 쉽게 하고 소화율을 높이기 위한 것과 동시에 소에게 해로운 수 있는 성분을 제거하기 위한 목적을 가진다. 이전 연구(Choi 등, 2002; Lacey 등, 1988)에 따르면 잣나무에서 추출되는 정유가 임신한 한우의 유산을 유도시킬 수 있는 물질이 내재되어 있는 것으로 나타났다. 그러므로 목재 기반의 조사료를 이용하려면 정유 성분을 최대한 제거해 주는 것이 필요하다고 판단된다. 따라서 효과적인 증해 처리 시간을 결정하기 위해 증해 처리 시간에 따른 정유 추출량의 추이를 조사하였고, 일본 미야자키미도리제약에서 판매 중인 삼나무 조사료의 정유함량이 0.1 ml/kg 이하이므로 이를 정유 함량 기준으로 하였다.

참나무류와 리기다소나무 조사료에서 정유를 추출한 결과, 증해 시간 경과에 따라 정유 추출량이 감소되는 것으로 나타났다(Table 1). 참나무류 조사료는 증해 처리하지 않은 대조구와 증해 처리한 모든 조사료에서 0.1 ml/kg 이하의 정유가 추출되었다. 무처리와 60분 및 90분 증해 처리한 참나무류 조사료의 정유 추출량은 증해 시간 경과에 따라 정유 추출량이 감소된 것이 육안 상으로 관찰되었지만 정유 추출 장치의 눈금으로는 0.1 ml 이하는 측정이 불가능하기 때문에 이 경우 모두 0.1 ml/kg 이하로 표시하였다. 90분과 120분간 증해 처리한 참나무류 조사료에서 정유 추출량의 차이는 없었다. 리기다소나무

**Table 1.** The yield of essential oils extracted from wood based roughage of oak and *P. rigida*

	The yield of Essential oil extracts (mL/kg)			
	none treatment	60 min	90 min	120 min
Oak	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
<i>P. rigida</i>	1.4	0.8	< 0.1	< 0.1



**Fig. 5.** GC chromatograms of essential oils from oak and *P. rigida* roughage by steam distillation treatment for 0 min, 60 min, 90 min and 120 min.

조사료는 대조구에서 1.4 ml/kg의 정유가 추출되었고, 60분 증해 조건에서 제조된 조사료는 0.8 ml/kg의 정유가 추출되었으며, 90분 및 120분 증해 조건에서 제조된 조사료는 0.1 ml/kg 이하로 정유 추출량이 크게 감소하였고 둘 사이의 차이는 나타나지 않았다. 추출한 정유를 동일한 희석배수로 희석하여 GC로 분석한 결과(Fig. 5)를 보면 리기다소나무와 참나무류 조사료 모두 90분까지는 증해 처리 시간이 늘어날수록 점차 정유 성분들의 피크가 작아지는 것

**Table 2.** The chemical composition of Oak and *P. rigida* roughage

Item	(% DM)		
	Oak	<i>P. rigida</i>	Rice straw <sup>1)</sup>
DM	95.40	94.37	90.91
CP	1.36	1.33	5.07
-NDICP	1.02	1.02	-
-ADICP	0.73	0.64	-
EE	3.11	5.48	1.99
NDF	90.05	87.89	66.70
ADF	83.85	86.88	45.13
ADL	17.33	30.56	5.23
NFC	6.50	6.32	14.68
Ash	trace	trace	16.73

1) RDA (2013)

이 관찰되었고, 90분과 120분 증해 처리한 시료 사이에서는 그 차이가 나타나지 않았다. 따라서 정유 성분을 최소화할 수 있는 증해 처리 시간은 두 조사료 모두 90분이 효과적이라고 판단되며, 사료 평가 분석은 90분 증해 처리하여 제조한 조사료를 사용하였다. 한편, 참나무류류 조사료에서 추출된 정유의 주요 성분은 biformene,  $\alpha$ -longifinene,  $\beta$ -cadinene,  $\alpha$ -elemene 등이었으며, 리기다소나무 조사료에서 추출된 정유의 주요 성분은  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene,  $\beta$ -phellandrene,  $\alpha$ -terpineol 등이었다.

### 3.3. 목질 조사료의 화학성분 분석

90분 증해 처리하여 제조한 참나무류와 리기다소나무 조사료의 성분 함량은 Table 2와 같이 나타내었다. 대조구인 일반 볏짚은 국립축산과학원 한국표준사료성분표(Rural Development Administration, 2013)의 자료를 사용하였다. 조단백질 함량은 참나무류와 리기다소나무 조사료에서 각각 1.36과 1.33%로써 두 목질 조사료에서 차이가 없었으나 일반 볏짚 5.07 %에 비하여 낮았으며, 조지방 함량은 각각 3.11과 5.48%로 리기다소나무 조사료가 높았으나 둘 모두 일반 볏짚 1.99%에 비하여 높게 측정되었다. NDF 함량에서는 각각 90.05와 87.89%로써

두 목질 조사료에서 큰 차이가 없었으나 볏짚 66.70%에 비하여 매우 높게 측정되었고, ADF 함량에서는 각각 83.85와 86.88%로써 NDF와 마찬가지로 큰 차이가 없었으며, ADL 함량은 각각 17.33과 30.56%로 참나무류 조사료가 낮은 함량을 보였다. NFC는 각각 6.50과 6.32%로 서로 비슷한 수치를 보였다. 일반적으로 NDF, ADF, ADL의 함량은 낮을수록 조사료의 가치가 높아지므로(Lee와 Nahm, 1996), 화학성분 분석결과에 의하면 리기다소나무 조사료에 비해 참나무류 조사료가 사료 가치가 더 높을 것으로 판단된다. 볏짚과 비교하여 낮은 조단백질 함량, 높은 NDF 함량을 보이므로 참나무류 및 리기다소나무 조사료는 저단백 고섬유소 사료자원으로 볼 수 있다.

### 3.4. NRC 모델링 방법을 이용한 목질 조사료의 잠재적 사료 영양 평가

사료 내 각 영양소에 고유의 소화율을 곱한 값이 가소화영양소(digestible nutrient)이고 가소화 단백질, 가소화 지방, 가소화 탄수화물의 에너지 합이 TDN이다. TDN은 사료의 열량소의 함량과 그들의 소화율에 기초한 에너지 함량을 나타내기 때문에 전통적으로 반추동물 사료의 에너지를 표현하는데 가장 많이 이용되고 있다(Baek, 2013). NRC (2001) 모델은 이론적인 영양소의 소화율을 근거로 하였기 때문에 실험적 방법에 의해 도출된 공식에 비해 새로운 사료자원에 적용할 수 있는 장점이 있다. Table 2에 나타나 있는 영양소 분석결과를 바탕으로 NRC (2001) 공식에 따라 참나무류와 리기다소나무 조사료의 영양소별 진정소화율 및 TDN을 예측하였고 그 결과는 Table 3과 같다. 참나무류와 리기다소나무 조사료의 tdNFC는 각각 6.37과 6.19%로 계산되었으며 따라서 NFC의 소화율은 두 목질조사료 모두 98%로 추정되었다. 이는 Table 2에서 보인 참나무류 조사료의 경우 NFC 함량 6.50% 중 진정소화율 6.37%만 소화될 것이라는 의미를 나타낸다. 진정소화율 tdCP는 각각 0.71과 0.75로 NFC와 마찬가지로 서로 비슷하였다. 진정소화율 tdFA가 각각 2.11와 4.48%로 리기다소

**Table 3.** Digestible nutrients, estimated true digestibility of nutrients and energy value of Oak and *P. rigida* roughage

Item	Oak	<i>P. rigida</i>	Rice straw <sup>1)</sup>
True digestible nutrients (% DM)			
tdNFC	6.37	6.19	-
tdCP	0.71	0.75	-
tdFA	2.11	4.48	-
tdNDF	35.73	21.20	-
Estimated true digestibility of nutrients (% DM)			
NFC	98.00	98.00	-
CP	52.34	56.35	-
FA	67.85	84.75	-
NDF	39.67	24.12	-
Energy value			
TDNIX (%)	40.55	31.22	43.66
DE (Mcal/kg)	1.79	1.38	1.93

1) RDA (2013)

나무 조사료가 참나무류 조사료보다 높게 나온 반면 진정소화율 tdNDF는 참나무류 조사료가 35.73%로써 리기다소나무 조사료 21.20%보다 높게 나타났다. 기본적으로 NDF의 함량이 다른 영양소에 비해 매우 크기 때문에 결과적으로 참나무류 조사료가 리기다소나무 조사료보다 많은 에너지 함량을 가질 것으로 예측할 수 있으며, 실제 추정치 역시 TDN이 각각 40.55와 31.22%로 참나무류 조사료가 높게 나타났고 이로부터 소화되는 에너지는 각각 1.79와 1.38 Mcal/kg으로 예측되었다. 한편, 한국표준사료성분표 (Rural Development Administration, 2013)에 의하면 볏짚의 TDN은 43.66%이고 DE는 1.93 Mcal/kg이므로 참나무류와 리기다소나무 조사료는 볏짚보다 TDN이 낮았다.

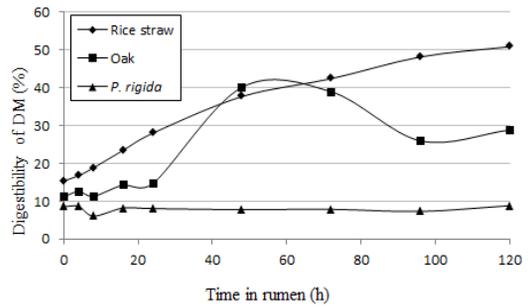
### 3.5. 목질 조사료의 반추위 건물소화율

*In situ* nylon bag을 이용한 건물소화율을 Fig. 6에 나타내었다. 리기다소나무 조사료는 전구간에서 10% 미만의 낮은 건물소화율을 보였는데, 이는 리기다소나무 조사료가 반추위내에서 소화가 거의 이루어

**Table 4.** Estimations of effective-dry matter degradability in the rumen of Hanwoo

	Oak	<i>P. rigida</i>	Rice straw
EDP <sup>1)</sup> (%)	18.07	10.02	23.84

1) EDP : Effective Degradability of value "P" (the actual degradation after time 't') of 48 hours



**Fig. 6.** Digestibility of dry matter (DM) supplements incubated nylon bags in the rumen of Hanwoo.

어지지 않는다는 것을 의미한다. 반면 참나무류 조사료는 전구간에서 리기다소나무 조사료보다 높은 건물소화율을 나타냈다. 그러나 목질 조사료는 참나무류 조사료 48 h 처리구를 제외하고 볏짚 대비 소화율이 낮게 측정되었다. Lim 등(2014)은 조사료의 화학적 조성 및 물리적 특성에 따라 반추위 내 미생물의 접근성에 차이가 나타나서 반추위 내 소화율에 영향을 미칠 것이라고 보고하였는데, 목질 조사료의 경우 높은 리그닌 함량이 미생물의 접근성을 낮추어 이용하기 어렵게 하기 때문에 볏짚에 비해 낮은 소화율을 보인 것이라고 판단된다.

한우 반추위 분해 유효 건물 분해율 측정결과 Table 4에 나타내었다. 볏짚(23.84%)에 비해 목질 조사료가 모두 낮게 측정되었다. 참나무류 조사료 (18.07%)는 리기다소나무 조사료(10.02%)에 비해 높은 소화율을 나타냈다.

### 3.6. 영양성분 대비 상대적 경제 가치 평가

영양성분 대비 구입 적정가격을 산정하기 위해

제조 목질조사료의 상대적 경제 가치를 비교하였다. 그 결과 참나무류 조사료는 235원, 리기다소나무 조사료는 210원, 볏짚은 236원으로 나타났다. 따라서 리기다소나무 조사료의 경우 영양성분 대비 상대적 경제 가치가 볏짚에 비해 낮은 것으로 나타난 반면 참나무류 조사료는 볏짚과 동등한 것으로 확인되었다.

### 3. 결 론

참나무류 및 리기다소나무 각 60분, 90분, 120분 간 증해하여 조사료로 제조하였으며 정유 함량을 기준으로 최적의 증해 시간을 확인하기 위해 증해 시간에 따른 정유 함량을 분석하였다. 참나무류와 리기다소나무 조사료는 증해 처리 시간에 비례하여 정유 추출량이 감소하다가 90분 이상 증해하였을 때 0.1 ml/kg 이하의 정유 함량을 보였다. 90분 증해하여 제조된 참나무류 조사료와 리기다소나무의 DM, CP, EE, NDF, ADF, ADL, NFC함량은 각각 95.4와 94.37, 1.36과 1.33, 3.11과 5.48, 90.05와 87.89, 83.85와 86.88, 17.33과 30.56, 6.50과 6.32%로 측정되어, 두 조사료는 저단백 고섬유소 사료인 것으로 나타났다. NRC 모델링을 이용한 영양 평가에서는 참나무류 조사료의 TDN 40.55%, DE 1.79 Mcal/kg 이었고 리기다소나무 조사료는 TDN 31.22%, DE 1.38 Mcal/kg으로 참나무류 조사료가 더 높은 영양가를 가진 것으로 나타났다. 참나무류와 리기다소나무 조사료의 반추위 건물소화율은 각각 18.07%, 10.02%로 참나무류 조사료가 리기다소나무 조사료보다 높았다. 영양성분 대비 상대적 경제 가치는 참나무류 조사료는 235원, 리기다소나무 조사료는 210원, 볏짚은 236원으로 나타났다. 따라서 리기다소나무는 사료 가치가 낮아 이용가치가 떨어지지만 참나무류는 조사료로써 이용 가능성이 있는 것으로 사료된다. 추후 실제 급여 실험을 통해서 조사료로써 적용이 가능한지에 관한 연구를 수행할 예정이다.

### REFERENCES

- Association of Official Analytical Chemists. 2013. Official methods of analysis. 19th ed. AOAC international, Gaithersburg, USA.
- Baek, Y.C. 2013. Estimation of the total digestible nutrients of spent mushroom substrate in Hanwoo feed. Master's thesis, Chungnam National University, Korea.
- Chang, S.S., Kwon, H.J., Lee, S.M., Cho, Y.M., Chung, K.Y., Choi, N.J., Lee, S.S. 2013. Effects of brewers grain, soybean curd and rice straw as an ingredient of TMR on growth performance, serum parameters and carcass characteristics of Hanwoo steers. *Journal of Animal Science and Technology* 55(1): 51-59.
- Choi, D.H., Joo, R.W., Kang, H.Y., Lee, S.Y., Choi, I.G., Lee, S.S., Bae, J.S., Park, D.K., Oh Y.K., Jeung, E.B. 2002. Development of wood based roughage by anaerobic fermentation. Research report of the Korea Forest Research Institute.
- Han, I.K., Park, H.S. 1982. Improvement in nutritive values of sodium hydroxide treated sawdust. *Journal of Animal Science and Technology* 24(1): 50-56.
- Jhun, K.S., Koo, J.O., Choi, D.H., Park, C.J., Ha, J.K., Moon, Y.S., Cho, K.H. 1989. Studies on the production of roughage from wood, Research report of the Korea Forest Research Institute.
- Kang, C.H., Paik, K.H. 1989. Studies on the production of roughages from Hyun-aspen (*Populus Alba* × *P. Glandulosa*) by steaming-defibration and steaming-explosion. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 17(4): 57-69.
- Ki, K.S., Park, S.B., Lim, D.H., Park, S.M., Kim, S.B., Kwon, E.G., Lee, S.Y., Choi, K.C. 2013. Study on nutritive value and *in situ* ruminal degradability of whole crop rice silage prepared using Chucheongbyeo. *Journal of the Korean*

- Society of Grassland and Forage Science 33(4): 240-244.
- Koh, D.S., Wi, H., Eun, J.S., Kang, C.H., Jeong, I.S. 1991. Studies on the production of roughage from wood by microbiological treatments (II). Journal of Korea Forestry Energy 11(2): 79-91.
- Korea Forest Service. 2014. [http://www.forest.go.kr/newkfsweb/cmm/fms/BoardFileDown.do?atchFileId=FILE\\_000000000452529&fileSn=0&dwldHistYn](http://www.forest.go.kr/newkfsweb/cmm/fms/BoardFileDown.do?atchFileId=FILE_000000000452529&fileSn=0&dwldHistYn)
- Korea Rural Economic Institute, 2006, Agricultural prospect 2006 (II), Korea Rural Economic Institute, p. 551-552.
- Lacey, J. L., Janes, L. F., Short, R. E. 1998. Ponderosa pine; The ecology and economic impact of poisonous plants on livestock production, Westview Press, Boulder, Colo.
- Lee, W.S., Nahm, K.H. 1996. Estimates of nutritive values of dairy feed from laboratory analysis : a field study. Journal of Animal Science and Technology 38(5): 483-496.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Animal Feed Science Technology 57: 347-358.
- Lim, D.H., Ki, K.S., Choi, S.H., Kim, T.I., Park, S.M., Park, S.B., Kwon, E.G., Kim, E.T. 2014. Effects of mixing time for total mixed rations using corm silage on ruminal *in situ* dry matter degradation and milk production in dairy cows. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science 34(4): 288-295.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, MAFRA. 2014. [http://www.mafra.go.kr/list.jsp?id=30228&pageNo=1&NOW\\_YEAR=2014&group\\_id=3&menu\\_id=123&link\\_menu\\_id=&division=B&board\\_kind=C&board\\_skin\\_id=C2&parent\\_code=3&link\\_url=&depth=1](http://www.mafra.go.kr/list.jsp?id=30228&pageNo=1&NOW_YEAR=2014&group_id=3&menu_id=123&link_menu_id=&division=B&board_kind=C&board_skin_id=C2&parent_code=3&link_url=&depth=1)
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 7th ed. National Research Council, National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Ørskov, E.R., McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science Cambridge 92: 499-503.
- Paik, K.H., Kang, C.H., Kim, D.H. 1992. Ruminant feed production from wood by steaming-extraction method (I) - Effect of solvent extraction on asplund pulp and steam exploded wood. Journal of The Korean Wood Science and Technology 20(4): 65-72.
- Rural Development Administration. 2013. <http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psf/psfa/feedSchDtl.ps?pageIndex=1&pageSize=10&menuId=PS00254&feedMenuId=PS00254&hsrrlManageNo=S150223223807636&sType=&sText=%EB%B3%8F%EC%A7%9A>
- Seo, S.W., Park, J.S., Kim, M.K. 2012. A concentrate and formulated feed, cost analysis and quality evaluation of TMR fodder, research report of Chungnam University.