

# 熱解纖 및 爆碎處理에 의한 현사시 나무의 粗飼料化 研究\*<sup>1</sup>

姜 鎮 河\*<sup>2</sup> 白 起 鉉\*<sup>3</sup>

## Studies on the Production of Roughages from Hyun-aspen (*Populus Alba* × *P. Glandulosa*) by Steaming-Defibration and Steaming-Explosion\*<sup>1</sup>

Chin Ha Kang\*<sup>2</sup>. Ki Hyon Paik\*<sup>3</sup>

### SUMMARY

Roughage feeds were produced from Hyun-aspen (*Populus alba* x *p. glandulosa*) by steaming-defibration and steaming-explosion. The objectives of this work were to find proper conditions for the treatment of Hyun-aspen by analyzing the compositional change and digestibility and to investigate the change of physical properties of exploded woods.

The results of this work were as follows;

1. The method of steaming-defibration gave the best producing rate of feedstuffs when the chips were steamed (9 kg/cm<sup>2</sup> under the pressure) for 10 minutes. The yield and the digestibility of feedstuffs were 84.2% and 38.1%, respectively. It is the merit of this method that feedstuffs manufactured by this method was uniformity in particle size, and facilities of fiberboard factory could be used directly.
2. For defibration of the chip by explosion, the proper condition was steamed under the pressure (20 kg/cm<sup>2</sup>) for 4 minutes. The yield and the digestibility of feedstuffs were 93.4% and 68.1%, respectively. The feedstuffs produced under these conditions had higher nutritional quality than rice straw and this method was considered as the best for making feedstuffs from Hyun-aspen chip. But it is defect that exploded feedstuffs was ununiformity in particle size and had unique odor. The physical properties of the feedstuffs were investigated by a light microscope and a TEM. The feedstuffs produced under the low pressure (20 kg/cm<sup>2</sup>) still maintained the structure of fibers. However, the feedstuffs produced under the high pressure (28 kg/cm<sup>2</sup>) resulted in higher defibration than these prepared under the low pressure. The highly defibrated feedstuffs recombined with solublized lignin.

\* 1. 接受 1989年 7月 11日, Received July 11, 1989

\* 2. 林業 研究院, Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

\* 3. 高麗大學校 農科大學, College of Agriculture, Korea University, Seoul 136-701, Korea

The crystallinity of feedstuffs was increased by 10% and micelle width increased double after treatment.

## 1. 緒 論

最近 우리나라는 國民所得水準의 향상에 따른 食品消費傾向의 변화로 年間 1人당 肉類消費量이 1960년에 0.5kg이었던 것이 1987년에는 15.8kg으로 大幅增加하는 등 畜産物의 消費增大에 따라 粗飼料의 需要量도 크게 增加되었다. 이에 따라 1987年度 粗飼料 供給量은 480萬톤에 달하여 1975年度の 90萬톤에 비하여 5배이상 증가하였는데 이는 주로 牧草, 山野草, 벚짚이 利用되고 있다. 牧草生産을 위하여 草地를 造成할 경우 山地開發로 因하여 山林資源과 環境保存上의 問題가 惹起되며, 벚짚은 農地肥培管理上 논으로 되돌려져야 할 뿐더러 珪素含量이 높아 長期間 給與時 消化障害을 유발할 우려도 있다. 그리고 牧草와 벚짚은 계절적, 지역적으로 需給不均衡이 招來되기도 한다.

이로 因하여 貯藏性과 運搬性이 양호하여 安定的으로 供給할 수 있는 木質粗飼料를 製造하는 研究가 各國에서 수행되어 오고 있다. 山林에서 生産되는 바이오매스는 年間 70x10<sup>6</sup>톤이나, 일부만 利用되고 있으므로 炭水化合物이 65~75%로서 豊富한 木材를 粗飼料로 開發하면 粗飼料源이 多邊化될 뿐더러 林産資源의 새로운 需要도 創出될 수 있다. 그러나 木材는 牧草와 벚짚 등 草本類에 비하여 높은 리그닌含量, 炭水化合物-리그닌結合, 셀룰로오스의 높은 重合度 및 結晶化度, 리그닌의 巨大分子性 등의 特性을 가지므로 消化率이 낮아 어떤 種類의 前處理를 하지 않으면 木材內 炭水化合物은 反추동물의 第1胃 (rumen)에 있는 微生物이 일부분 밖에 分解하지 못한다. 그러므로 木材構成成分을 分解하여 消化率을 높이기 위하여 autohydrolysis, 酸加水分解, 알칼리處理, 熱解纖 및 爆碎方法 등이 研究되고 있다.

熱解纖方法은 高圧容器內에서 蒸煮 後 高溫狀態에서 defibrator로 解纖하여 粗飼料를 製造하는 方法인데, 高溫에서 蒸煮時 hemicellulose의 側枝인 acetyl group이 遊離되어 acetic acid가 生成된다.

이로 因하여 木材內 hemicellulose가 加水分解되어 可溶性이 되고, 리그닌은 低分子化되므로 (Shimizu, 1983; Tanahashi, 1983), 日本産 활엽수 45種의 chips을 180°C로 15分間 蒸煮 後 1分間 解纖한 結果 酵素糖化率이 樹種에 따라 16.8~82.1%에 달하였다 (Shimizu, 1983). 특히 자작나무 chips을 上記와 같은 條件으로 處理하였을 때 消化率 (in sacco)이 85%로 增加하였다 (Shimizu, 1983).

爆碎法은 木材chips을 200°C 이상의 포화수증기로 蒸煮한 後 大氣壓에 放出, 爆碎하여 解纖하는 方法인데, Masonite 法이라 부르기도 한다. 이 方法은 高溫에서 蒸煮處理하므로써 木材構成成分의 化學的인 分解反應이 熱解纖과 同하게 일어날 뿐더러, 大氣壓으로 放出時 爆碎되므로써 物理的인 狀態도 變化된다 (Tanahashi 등, 1983; Shimizu, 1985). 이에따라 자작나무를 28kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 4分間 蒸煮 後 爆碎하였을 때, 消化率이 13.3%에서 76.5%로 增加되었으며 (Tanahashi, 1983). 또한 木材chips에 SO<sub>2</sub> 가스, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 有機酸 및 無機鹽을 침투시키고 爆碎하면 酵素糖化率이 더욱 增加되기도 한다 (Mackie 등, 1985; Sudo 등, 1987).

本 研究은 현사시나무를 利用하여 熱解纖法 및 爆碎法으로 木材粗飼料를 製造時 適正製造條件과 爆碎材의 物理的 性質 變化를 究明하는데 目的을 두었다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1. 材料

#### 2.1.1. 供試木

강원도 횡성군 서원면 유현리 所在 國有林 內에서 生長이 良好한 현사시나무 (*Populus alba* × *P. glandulosa*)를 5本 選定, 伐採하여 供試木으로 하였으며 그 性狀은 table 1과 같다.

#### 2.1.2. 칩 (chip) 製造

供試木을 剝皮, 製材 後 칩피 (portable type chip-

Table 1. Characteristics of sample tree.

Species	D.B.H. (cm)	Height (m)	Age (yr.)
<i>Populus alba</i> x <i>P. glandulosa</i>	16 14-20	16 15-17	9

per ; Fuji co.)를 사용하여 2×3×0.3cm 程度 크기로 칩을 製造하고, 음지에서 3日間 氣乾시킨 後 칩 選別機로 精選하여 粗飼料 製造에 使用하였다.

2.2. 實驗方法

2.2.1. 粗飼料 製造

熱解纖處理는 칩 100g씩을 1日間 水沈시킨 後, asplund (defibrator AB, Sweden)에서 table 2와 같은 條件으로 蒸煮處理하고 2分間 解纖하였다. 爆碎處理는 칩 250g씩을 爆碎裝置 (韓國化學研究所 製作)로

Table 2. Steaming conditions.

Process	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Steaming time (min.)
Steaming-defibration	7, 9	10, 15, 20
Steaming-explosion	20, 24, 28	2, 4, 8

table 2와 같은 條件으로 蒸煮 後 爆碎하였다.

2.2.2. 粗飼料 成分分析

熱解纖 및 爆碎方法으로 製造한 粗飼料의 飼料價値를 究明코져 粗飼料를 willey mill로 粉碎하고 調査項目에 따라 일정한 크기 粒子로 精選하여 成分을 分析하였다. 調査項目 및 方法은 다음과 같다.

2.2.2.1. 收率

製造된 粗飼料를 氣乾시켜 다음式에 의거 收率을 計算하였다.

$$\text{收率(\%)} = \frac{\text{粗飼料 乾物量(g)}}{\text{試料 乾物量(g)}} \times 100$$

2.2.2.2. 水分, 粗蛋白質, 粗脂肪, 粗纖維, 粗灰分, 可溶 無窒素物,

粉碎한 試料를 20mesh 이하로 精選하여 Weende 分析法에 의하여 分析하였다 (AOAC 標準方法, 1985).

2.2.2.3. NDF, ADF, Hemicellulose, Cellulose, Lignin, Silica

粉碎한 試料를 20mesh 이하로 精選하여 Van Soest 方法으로 分析하였다 (Goering and Van Soest, 1970).

2.2.2.4. Klason lignin

40~60 mesh로 精選한 試料로 Tappi standard T 13 os-54에 의거 定量하였다.

2.2.2.5. 消化率

20~140mesh로 精選한 試料로 in sacco 方法으로 求하였다 (Mehrez and Ørskov, 1977).

2.2.3. 爆碎處理材의 物理的性質 調査

2.2.3.1. 粒子의 크기 分布

處理條件에 따른 粒子크기의 分布를 調査코져 7, 16, 30, 45, 80mesh의 표준체로 精選하여, mesh 別로 区分된 試料의 重量을 測定하였다.

2.2.3.2. 結晶化度 및 미셀의 幅 測定

X-ray diffraction에 의하여 cellulose의 結晶化度 및 미셀(micelle)의 幅을 調査하였다. 냉동건조시킨 爆碎材를 200kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에서 3分間 압착하여 tablet을 만들고, Rigaku Geiger Flex (Cu Kα)에 걸어 X-ray diffraction curve를 얻었다. 結晶化度는 Segal's 式에 따라 求하였다 (Segal 等, 1959).

$$Cr I = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100(\%)$$

또한 미셀幅은 Scherrer's 式에 準하여 計算하였다 (Scherrer, 1918).

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta}$$

2.2.3.3. 顯微鏡 觀察

2.2.3.3.1. 光學顯微鏡 觀察

爆碎材를 증류수에 懸濁시키고, 여기에서 少量을 取하여 슬라이드 글라스에 놓아 광학현미경 (Olympus co. 製品)으로 觀察하였다.

2.2.3.3.2. TEM 觀察

Tanahashi 等 (1983) 方法에 따라 爆碎材를 2次 증류수에 넣어 물 윗部分에 뜬 것을 마운딩시켰으며, uranyl acetate로 染色시켰다. 過度한 溶液은 여과 지로 吸着, 除去시켰고, 空氣中에서 氣乾시켰다. 乾

燥된 試料를 100KV에서 transmission electron microscope (Hitachi H-500)를 통하여 觀察하였다.

### 3. 結果 및 考察

#### 3.1. 粗飼料 製造 및 成分分析

##### 3.1.1. 無處理

無處理木材와 芻草를 飼料價値面에서 成分을 分析, 比較한 結果는 table 3과 같다.

Table 3. Proximate components, cell wall components and digestibility of untreated wood (Hyun-aspen) and rice straw.

Constituents	<i>Populus alba x P. glandulosa</i> (%)	Rice straw (%)
Moisture	10.96	12.62
Crude protein	0.38	3.33
Crude fat	0.81	1.26
Nitrogen free extra.	35.05	45.35
Crude fiber	53.35	32.36
Crude ash	0.26	8.41
NDF (Cell wall constituents)	88.95	72.68
ADF (Lignocellulose)	67.26	49.26
Hemicellulose	21.69	23.42
Cellulose	53.96	35.19
Lignin	13.18	8.44
Klason lignin	17.85	14.69
Silica	0.02	5.18
Digestibility (DM)*	13.8	40.2

\* Determined by *in sacco* method

현사시나무의 粗蛋白質, 粗脂肪, 粗灰分은 各各 0.4, 0.8, 0.3%로서 芻草의 3.3, 1.3, 8.4% 보다 적어 營養價値가 낮았다.

NFE는 主로 可溶性糖과 澱分으로 構成되어 있으며 一部 cellulose, hemicellulose와 lignin도 包含된다. 이 NFE가 현사시나무는 35.1%이나 芻草는 45.4%로서 높았다.

粗纖維는 현사시나무가 53.4%이나 芻草는 32.4%이며 이들 成分은 cellulose, hemicellulose 및 lignin으로 構成되어 있다.

細胞模 物質의 總合인 NDF는 cellulose, hemicellulose 및 lignin 으로서 현사시나무에는 89.0%, 芻草는 72.7%가 含有되어 있으므로 芻草가 完全히 消化可能物質인 sugar, starch, protein, NPN, lipid 등의 細胞內容物이 많다.

ADF는 主로 cellulose, lignin 과 silica로 構成되어 있는데, 현사시나무는 67.3%이고 芻草는 49.3%이었다. hemicellulose는 cellulose나 lignin 보다 分子量이 적어 消化가 比較的 容易한 物質인데 현사시나무는 21.7%이었고 芻草는 23.4%이었다.

현사시나무의 cellulose, lignin 및 Klason lignin은 各各 54.0, 13.2, 17.9%로서 芻草의 35.2, 8.4, 14.7% 보다 높았다. 즉 飼料로 利用可能한 cellulose 含量은 木材가 높으나 反對로 消化障礙因子인 lignin 含量이 높아 芻草보다 消化率이 낮은 要因中의 하나이다. Silica는 芻草가 5.2%인 反面 현사시나무는 0.02%로서 극히 少量이었다. 특히 芻草의 높은 silica 含量은 芻草 粗飼料의 問題點이기도 하다.

消化率은 현사시나무가 13.8%로서 芻草의 40.2%보다 크게 낮았다. 이는 현사시나무가 芻草보다 消化障礙因子인 lignin 含量이 높고, 比較的 消化가 容易한 hemicellulose 含量이 적을뿐 아니라 sugar, sta-

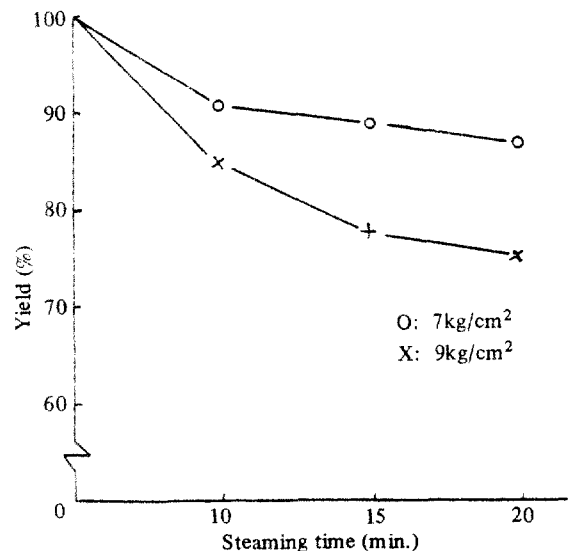


Fig. 1. Yield of roughages manufactured by steaming-defibrillation from Hyun-aspen.

rch, protein, lipid 등 完全히 消化可能한 細胞內容物이 적은데 起因하는 것으로 思料된다. 또한 현사시 나무는 芻草보다 蛋白質과 脂肪成分도 적어 營養價値面에서 質이 떨어진다. 이에따라 木質資源을 飼料化하기 위해서는 各種 處理가 必要하게 된다.

3.1.2. 熱解纖

Asplund에서 木材칩을 蒸煮하고 이를 defibrator로 解纖하는 熱解纖法으로 粗飼料를 製造하고 成分을 分析한 結果는 다음과 같다.

3.1.2.1. 收率

壓力과 증자시간을 變化시켜 熱解纖法으로 粗飼料를 製造하였을 때 收率은 fig.1과 같았다.

處理條件에 따라 收率이 91.2%에서 75.2%까지 감소하였는데, 7kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서는 증자시간이 10분에서 15분으로 되었을 때 보다 15분에서 20분으로 延長되었을 때가 감소폭이 컸다. 그러나 9kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서는 증자시간을 15분에서 20분으로 延長시켰을 때 보다 10분에서 15분으로 延長시켰을 때가 감소폭이 컸는데, 이는 蒸氣壓力이 높아짐에 따라 短時間에 木材構成成分의 分解效果가 나타나는데 起因하는 것으로 思料된다. Shimizu 等 (1983)이 황칠나무를 蒸煮(10kg/cm<sup>2</sup>, 30分)하여 解纖하였을 때 收率이 68%로서, 本實驗에서 가장 강한 條件(9 kg/cm<sup>2</sup>, 20分)의 75.2% 보다 壓力과 時間의 差異로 收

Table 4. Proximate components, cell wall components and digestibility of roughages manufactured by steaming-defibrination from Hyun-aspen.

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	7			9		
	steaming time (min.)					
constituents (%)	10	15	20	10	15	20
Moisture	9.12	8.33	8.51	8.40	7.87	8.46
Crude protein	0.71	0.65	0.74	0.67	0.73	0.62
Crude fat	2.57	1.87	1.81	2.45	2.74	1.10
Nitrogen free extra.	36.28	38.03	36.75	35.73	33.11	29.38
Crude fiber	53.69	52.89	53.93	55.10	58.22	61.44
Crude ash	0.20	0.10	0.07	0.10	0.07	0.10
NDF (Cell wall constituents)	85.49	84.74	83.24	83.25	83.51	83.06
ADF (Lignocellulose)	67.04	69.00	70.27	70.60	73.51	73.81
Hemicellulose	18.45	15.74	12.97	12.65	10.00	9.25
Cellulose	(16.8)	(14.0)	(11.3)	(10.7)	( 7.73)	( 6.95)
Lignin	54.61	56.24	59.05	58.78	61.69	64.02
Klason lignin	(49.8)	(50.1)	(51.7)	(49.5)	(47.7)	(48.1)
Silica	12.09	12.04	10.68	11.47	11.37	9.40
Digestibility (DM)*	(11.0)	(10.7)	( 9.35)	( 9.66)	( 8.79)	( 7.07)
	15.97	15.79	15.72	15.45	15.64	15.34
	(14.6)	(14.1)	(13.8)	(13.0)	(12.1)	(11.5)
	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.08
	22.0	23.4	29.4	38.1	39.7	41.6

\* Determined by *in sacco* method  
( ): Based on original sample

률이 낮았다.

### 3.1.2.2. 粗飼料 成分分析

熱解纖處理로 粗飼料를 제조하고 成分을 分析한 結果는 table 4와 같다.

粗회분은 1% 이하로서 無處理時와 비슷하였으나, 粗단백질은 處理條件에 따라 0.7% 内外로서 無處理時(0.4%)보다 약간 增加하였다. 粗지방은 無處理時 0.8% 이었으나 處理條件에 따라 1.1~2.6%로 상당히 增加하였다.

粗纖維는  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力으로 處理時에는 53% 内外로서 無處理時 (53.4%)와 비슷하였으나,  $9\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서 處理時에는 증자시간에 따라 55.1%에서 61.4%까지 增加하였다. 이는 高温 ( $170^\circ\text{C}$  이상)에서 可溶性 物質과 hemicellulose가 多量 溶出되는데 起因한다 (Goring, 1963)고 思料된다. NFE는  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서 處理時에는 36.3~38.0%로서 無處理時 (35.1%)에 비하여 높았으나,  $9\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서 處理時는 29.4~35.7%로서 오히려 낮아 粗纖維와는 反比例 關係이었다.

NDF는 處理條件에 따라 83.1~85.5%으로서 無處理 (89.0%)보다 낮았다. 處理壓力에 따른 比較 결과  $9\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서 處理時가  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서 處理時 보다 낮았는데, 이는 높은 壓力에서 木質成分의 分解가 增加되는데 起因하는 것으로 思料된다.

ADF는 處理條件에 따라 67.0%에서 73.8%까지 增加하여 無處理 (67.3%)時 보다 높았는데 이는 hemicellulose 量의 감소에 起因한다.

Cellulose는 處理條件에 따라 47.7~51.7%로서 無處理時的 54.0%보다 낮았으며, lignin은 7.1~11.0%로서 無處理時的 13.2%보다 낮아 熱解纖과정에서 木質成分이 상당히 分解된 것으로 思料된다. Silica는 0.1% 미만으로서 極히 微量이었다.

Klason lignin은 處理條件에 따라 11.5~14.6%로서 無處理時 (17.9%)보다 상당히 감소하여, 너도밤 나무 木質을  $180^\circ\text{C}$ 에서 3분간 증자하였을 때 리그닌이 약간 감소하였다는 Shimizu 等 (1983)의 研究 結果와는 相異하였다.

熱解纖時 高温處理로 hemicellulose의 側枝인 acetyl group이 유리되어 醋酸이 生成되는데, 이로 因하여

木材內 hemicellulose가 加水分解되어 可溶化되고 cellulose와 lignin은 低分子化 된다 (Shimizu, 1983; Tanahashi 1983). 이러한 分解反應으로 因하여 消化率은 處理壓力과 蒸煮時間의 增加에 따라 22.0%에서 41.6%까지 增加하였는데, 이는 포플러칩을  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서 15분간 증자후 解纖한 결과 消化率 80% 정도이었다는 Shimizu (1983)의 報告보다 상당히 낮았다. 이 結果는 處理壓力이 낮고 消化率 測定方法이 다른 것에 起因하는 것으로 思料된다. 處理條件別로 變化를 살펴보면  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서는 蒸煮時間을 10分에서 15分으로 延長하였을 때 보다 15分에서 20分으로 延長하였을 때가 增加幅이 컸으나,  $9\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力에서는 10分에서 15分으로 延長하였을 때가 15分에서 20分으로 延長하였을 때보다 增加幅이 컸다. 이는 높은 壓力에서는 短時間에 木質成分이 分解되는데 起因하는 것으로 思料된다. 以上の 結果에서 消化率과 收率을 감안하여 불때 熱解纖法에 의한 粗飼料製造 適正條件은  $9\text{kg}/\text{cm}^2$  壓力下에서 10分間 蒸煮後 解纖處理였으며, 이때 收率은 84.2%, 消化率은 38.1%이었다. 이 以上으로 蒸氣壓力과 時間을 延長시키면 纖維素가 分解되어 可消化 狀態로 되는 效果도 있으나 動物이 消化하기 容易한 低分子 糖과 hemicellulose가 多量 溶出되어, 消化率 增加는 微微하고 收率만 크게 減少하여 經濟的으로 不利하다.

### 3.1.3. 爆碎

木材칩을  $200^\circ\text{C}$  以上の 포화수증기에서 蒸煮한 후 大氣壓에 갑자기 放出시키므로서 爆碎하는 方法으로 粗飼料를 製造하여 成分을 分析한 結果는 다음과 같다.

#### 3.1.3.1. 收率

壓力과 蒸煮時間을 變化시켜 粗飼料를 製造한 結果 收率은 fig. 2와 같다.

蒸氣壓力과 증자시간을 증가시키에 따라 97.6%에서 76.9%까지 감소하였다. 處理壓力變化의 影響을 살펴보면  $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서  $24\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 增加時가  $24\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서  $28\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 增加時 보다 收率 減少幅이 컸다. 증자시간 變化의 影響에 있어서는  $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 증자시간을 2分에서 4分으로 증가 시 보다는 4分에서 8分으로 증가時가 減少幅이 컸

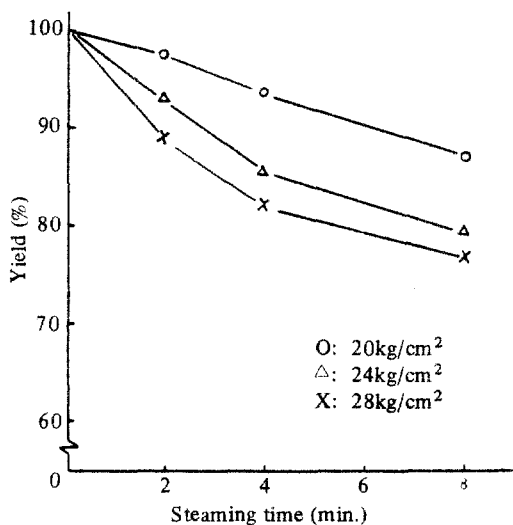


Fig. 2. Yield of roughages manufactured by steaming-explosion from Hyun-aspen.

으나, 24kg/cm<sup>2</sup>와 28kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에서는 이와 반대이었다. 결과적으로 hemicellulose 등 분해가 용이한 物質은 쉽게 溶出되나 殘存物質인 cellulose와 lignin은 분해가 잘 안된다는 것을 의미한다.

3.1.3.2. 粗飼料 成分分析

爆碎處理로 粗飼料를 製造하고 成分을 분석한 결과는 table 5와 같다.

粗회분은 處理條件에 따라 0.3~0.5%로서 無處理時 0.3%보다 약간 증가하였으며, 粗단백질도 0.6~0.9%로서 無處理時 (0.4%)보다 증가하였다. 粗지방은 無處理時 0.8%이었으나 處理壓力과 증자시간이 증가함에 따라 3.7%까지 크게 증가하였는데, 이는 작나무를 爆碎 (26kg/cm<sup>2</sup>, 4分)하여 분석결과 粗脂肪이 3.4%이었다는 Tanahashi 등 (1983)의 報告와

Table 5. Proximate components, cell wall components and digestibility of roughages manufactured by steaming-explosion from Hyun-aspen.

Constituents (%)	20			24			28		
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
Moisture	8.61	9.35	10.24	9.41	10.04	8.88	10.46	9.03	8.42
Crude protein	0.87	0.83	0.89	0.62	0.82	0.80	0.72	0.70	0.71
Crude fat	0.90	1.25	2.58	1.41	1.96	2.34	1.42	2.93	3.65
Nitrogen free extra.	42.11	47.78	47.52	45.72	50.37	55.60	52.83	56.22	60.19
Crude fiber	48.11	41.71	40.99	43.82	38.28	34.24	35.55	33.60	30.23
Crude ash	0.30	0.33	0.36	0.43	0.49	0.48	0.44	0.45	0.45
NDF (Cell wall constituents)	62.91	58.99	58.62	58.59	59.48	57.85	55.84	55.69	59.25
ADF (Lignocellulose)	57.32	57.04	56.87	54.34	55.33	56.44	54.73	54.57	57.41
Hemicellulose	5.59	1.95	1.75	4.25	4.15	1.41	1.11	1.12	1.84
Cellulose	49.93	48.06	49.18	47.83	45.88	48.20	46.82	47.31	47.62
Lignin	7.21	8.87	7.58	6.34	9.36	8.13	7.63	6.91	8.88
Klason lignin	15.82	12.87	11.03	14.54	9.32	7.27	11.54	7.40	7.23
Silica	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Digestibility (DM)*	32.6	68.1	60.5	53.4	58.2	54.0	44.6	43.7	46.2

\* Determined by *in sacco* method  
 ( ): Based on original sample

같았다.

粗纖維는 處理條件에 따라 30.2~48.1% 이었는데 28kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 8分間 증자후 爆碎하였을 때는 30.2%로서 다른 處理時 뿐만 아니라 芻질 (32.4%) 보다 낮았다. NFE는 處理條件에 따라 42.1~60.2% 로서 無處理時 (35.1%)보다 크게 增加하여 處理條件에 따라서는 芻질보다 높았다. 이는 爆碎處理로 木材構成成分이 크게 분해된데 起因하며 芻질보다 사료가치가 우수하다고 할 수 있는 指標이다.

NDF는 處理條件에 따라 55.7~62.9% 이었는데, 모든 處理條件에서 無處理時 (89.0%)보다 크게 낮을 뿐더러 熱解纖維處理時 (83.1~85.5%)나 芻질 (72.7%) 보다도 낮았다. 이는 爆碎處理로 인하여 木質成分이 크게 분해되어 中性可溶性物質이 增加한 結果라 思料된다.

ADF는 處理條件에 따라 54.3~57.4% 범위로서 無處理時 (67.3%)보다 크게 낮았다. 處理條件에 따라 cellulose는 36.6~48.7%, hemicellulose는 0.9~5.5%, lignin은 5.7~8.3%로 無處理時에 比하여 모두 감소하였는데, Schultz 등 (1983)은 활엽수를 爆碎處理 (167~235°C) 결과 cellulose는 비슷하고, hemicellulose는 감소하고, 리그닌은 增加한다고 발표하여 本實驗結果와 부분적으로 相異하였다.

Klason lignin은 無處理時 17.9%이었으나, 處理條件에 따라 15.4%에서 5.6%까지 감소하여 減少率이 3배정도였다. Silica는 0.1%이하로서 極히 미량이었다.

消化率은 無處理時 13.8%이었으나 處理條件에 따라 32.6~68.1%로 크게 增加하였는데, 이는 爆碎時 木材構成成分이 物理·化學的인 作用을 받아 構造나 成分이 變化하여 抽出, 分離가 容易해질 뿐더러 動物에 給與時 消化率도 높아지는데 起因한다 (Tanahashi, 1983). 處理條件中 20kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 4分間 蒸煮後 爆碎時 消化率이 68.1%로 가장 높았는데, 이는 자작나무를 26kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 4分間 蒸煮後 爆碎하였을때 消化率이 52.7%이었다는 Tanahashi 등 (1983)의 결과 보다 處理壓力이 낮음에도 불구하고 높았으므로 木材粗飼料 原料木으로는 자작나무보다 현사시나무가 더 適合한 것으로 思料된다.

處理壓力別로 變化를 살펴보면 20, 24kg/cm<sup>2</sup> 壓

力에서는 蒸煮時間이 延長됨에 따라 消化率이 增加하였다가 減少하나, 28kg/cm<sup>2</sup>에서는 蒸煮時間 增加에 따른 變化가 微少하였다. 蒸煮時間別로는 2分 處理時에는 處理壓力이 높아짐에 따라 增加하나, 4, 8分 處理時에는 處理壓力이 上昇하면 오히려 減少한다. 이는 어느 水準 以上の 蒸氣壓力과 蒸煮時間에서는 爆碎時 分解, 溶出된 리그닌이 잘게 爆碎된 纖維粒子和 顆粒狀으로 再結合되어, 反芻胃內에서 粗飼料에 대한 纖維素 分解 微生物의 分解作用이 制限되므로 消化率이 低下되는 것으로 思料된다.

以上の 分析結果에서 消化率과 收率을 감안하여 볼때 爆碎方法으로 粗飼料를 製造時 適正條件은 20 kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에서 4分間 蒸煮後 爆碎處理였으며, 이때 消化率은 68.1%, 收率은 93.4%이었다. 爆碎하여 製造한 粗飼料는 다른 方法으로 製造한 粗飼料 뿐만아니라 芻질보다도 良質의 粗飼料이었으므로 粗飼料 製造方法 中 가장 좋은 方法이라고 볼 수 있다.

### 3.1.3.3. 爆碎粗飼料의 粒子크기 分布

爆碎處理한 粗飼料의 粒子크기 分布를 조사한 結果는 table 6과 같다.

20kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 8分間 증자후 爆碎한 粗飼料와 24kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 8分間 증자후 爆碎한 粗飼料의 입자크기 分布를 조사한 결과, 處理壓力이 增加함에 따라 7mesh 이상, 45~80mesh 및 80mesh 이하의 입자는 감소한 반면 7~16mesh, 16~30mesh 및 30~45mesh의 입자는 增加하였다.

24kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에서 4分間 증자후 爆碎한 粗飼料와 28kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에서 4分間 증자후 爆碎한 粗飼料의 입자크기 分布를 조사한 結果 7mesh 이상, 7~16mesh, 45~80mesh 및 80mesh이하의 입자는 감소한 반면 16~30mesh, 30~45mesh의 입자는 增加하였다. 이는 壓力이나 증자시간의 增加에 따라 30mesh 이상의 입자는 감소하나 그 미만의 입자는 增加한다는 Tanahashi 등 (1983)의 報告와 部分的으로 相異하였다. 이는 壓力과 증자시간이 增加하면 纖維素等 木材構成成分이 작게 분쇄되나, 溶出된 리그닌과 纖維素가 小粒子로 재결합되는데 起因하는 것으로 思料된다.

### 3.1.3.4. 光學현미경 觀察



Table 6. Distribution of the particle size of fragment of exploded woods.

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Size of sieves steaming time (min.)	meshes	Weight (%) of fragment on sieves					
		mm	7 on	16 on	30 on	45 on	80 on	80 pass
			2.830	1.190	0.590	0.350	0.177	
20	8		40.7	29.0	15.9	6.7	4.3	3.4
24	4		33.0	33.8	19.1	6.9	3.8	3.4
24	8		31.0	34.0	22.8	7.8	2.7	1.7
28	4		28.2	32.4	23.3	8.8	4.1	3.2

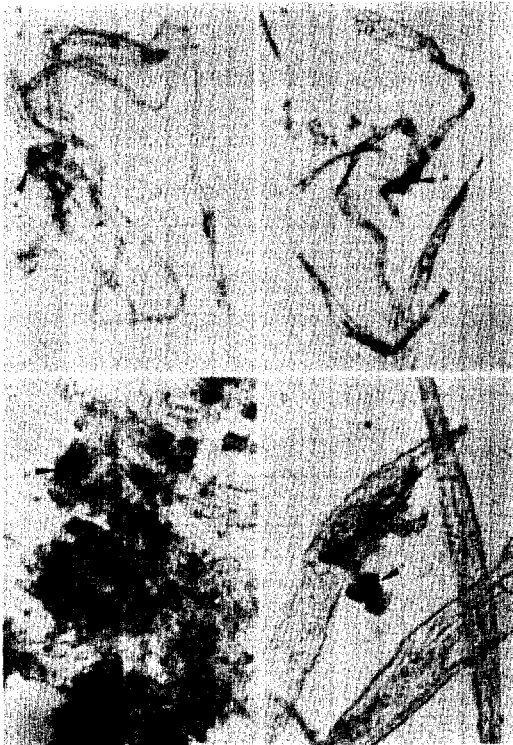


Fig. 3. Observation of exploded woods by an optical microscope.

- A: Hyun-aspen EXW (treated at 20kg/cm<sup>2</sup> for 2 min.) x 70
- B: Hyun-aspen EXW (treated at 24kg/cm<sup>2</sup> for 8 min.) x 70
- C: Hyun-aspen EXW (treated at 28kg/cm<sup>2</sup> for 8 min.) x 140
- D: Hyun-aspen EXW (treated at 28kg/cm<sup>2</sup> for 2 min.) x 280
- a: Lignin-like oily substance released from fibers

fig.3은 蒸氣壓力과 時間에 따른 폭쇄 현사시나무의 목섬유와 도관의 모형이다.

낮은 蒸氣壓力과 짧은 時間에서는 작은 섬유다발들이 자주 출현하나 蒸氣壓力이 높아지면 木材는 주로 각개 섬유로 分離된다. fig.3-A는 20kg/cm<sup>2</sup>에서 2분처리 폭쇄材의 목섬유를 나타내고 있다. 大部分의 목섬유는 다발형태나 약간 分離된 섬유로 存在한다. 목섬유의 끝부분 또는 中間部分들이 임의로 잘라져 있거나 뭉개져 있다. fig.3-B는 24kg/cm<sup>2</sup>에서 8分間 處理 폭쇄材로 fig.3-A보다 목섬유가 더 짧게 끊어져 있거나 崩壞되어 있다. 또한 도관이 觀察되었으나, 一般的으로는 유 조직과 도관이 崩壞되어 거의 보이지 않는다. 목섬유가 길이로 잘라진 部分도 觀察되었다.

즉 섬유다발은 적고 섬유조각이나 分離된 狀態가 주종을 이룬다. schultz等 (1983)은 폭쇄材를 SEM으로 觀察한 結果 도관이 길이 方向으로 잘라진 것을, Tanahashi等 (1983)도 부분 (buckling) 목섬유를 確認하였으나 光學현미경으로는 觀察할 수가 없었다. fig.3-C와 D는 各各 28kg/cm<sup>2</sup>에서 8分, 28kg/cm<sup>2</sup>에서 2分 處理된 爆碎材이다. 아직도 細胞構造가 存在하나 大部分 작은 섬유조각이나 또는 崩壞된 것으로 構成되어 있다. 섬유가 길이 方向으로 잘라진 것도 觀察된다. 진흙과 같이 검은물질들이 섬유内部에 또는 崩壞된 섬유와 섞여서 다발을 이루고 있다. fig.3-A, B에서도 이러한 현상이 간혹 나타났으나 蒸氣壓力條件이 높아질수록 현저하게 나타났다.

3.1.3.5. TEM에 의한 觀察

fig.4-1~3은 현사시나무 칩을 蒸氣壓力을 20kg/cm<sup>2</sup>, 24kg/cm<sup>2</sup>, 28kg/cm<sup>2</sup>로 變化시켜 폭쇄한 것을 TEM으로 觀察한 것이다. fig.4-1은 목섬유가 길고 좁은 形態로 나타나나 蒸氣壓力이 24kg/cm<sup>2</sup>로 增加되면 목섬유의 길이는 짧아지고 두꺼워지며 여러가닥으로 헤진다. (fig.4-2). 光學현미경에서도 觀察된 검은 점 즉 리그닌 物質들이 여기저기에서 나타나고 있다. 이것은 열가소성인 리그닌類가 폭쇄시 高溫狀態에서 차가운 空氣로 분출되면서 굳어진 것이다. Tanahashi 等 (1983)은 이 검은 物質은 물에 용해되지 않으며 메탄올에 용해됨을 볼때 lignin과 같은 polyphenol類임에 틀림없다고 發表하였다. fig.4-3은 28kg/cm<sup>2</sup>에서 4分處理의 폭쇄材로 목섬유가

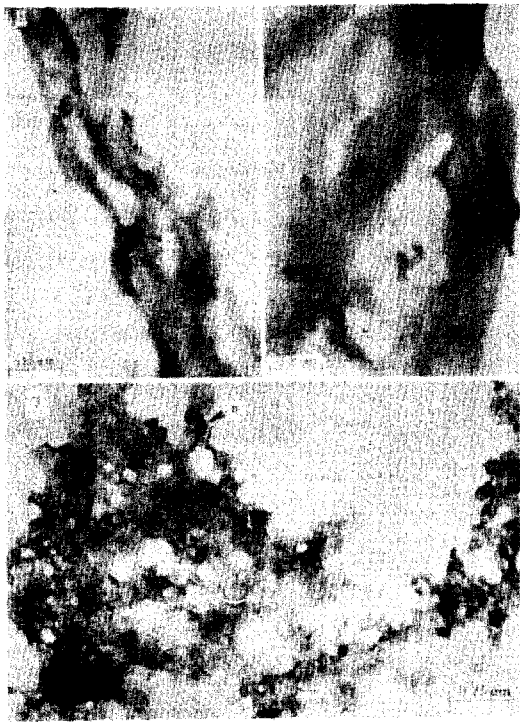


Fig. 4. Observation of EXW by a transmission electron microscope.  
 1: Hyun-aspen EXW (treated at 20kg/cm<sup>2</sup> for 4 min.)  
 2: Hyun-aspen EXW (treated at 24kg/cm<sup>2</sup> for 4 min.)  
 3: Hyun-aspen EXW (treated at 28kg/cm<sup>2</sup> for 4 min.)  
 a: Lignin-like oily substance released from fibers

아주 작아지며 구슬모양으로 變化되고 있다.

고배율로 觀察한 結果 목섬유가 完全히 崩壞됨을 알 수 있었다. 또한 리그닌도 구슬形態로 集積된 狀態를 나타내고 있다. 이는 光學현미경으로 觀察한 fig.3-C와 같은 狀態를 나타내고 있는데, 이와같이 작게

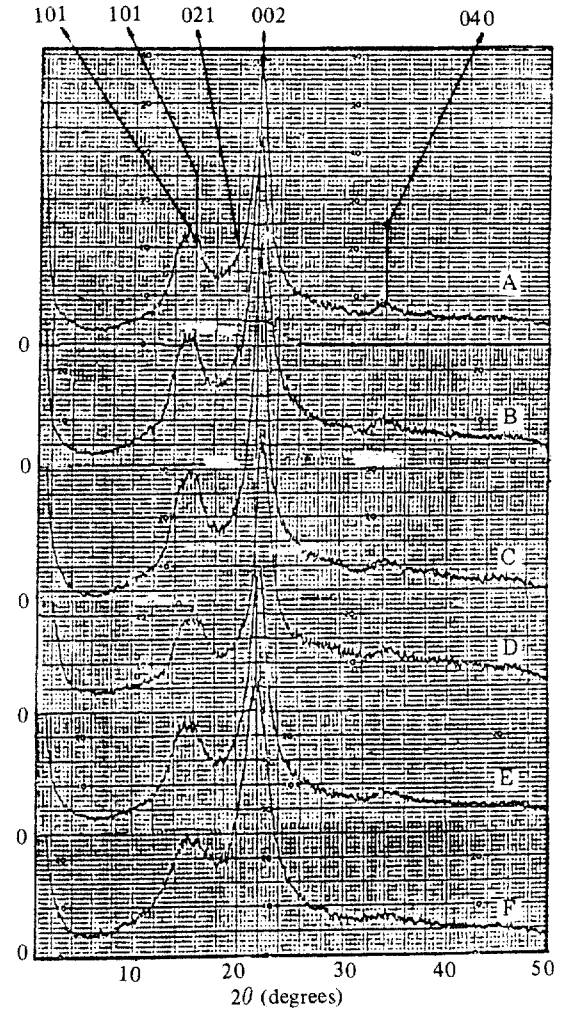


Fig. 5. X-ray diffraction curve of exploded woods.  
 A: Hyun-aspen EXW (treated at 28kg/cm<sup>2</sup> for 4 min.)  
 B: Hyun-aspen EXW (treated at 24kg/cm<sup>2</sup> for 8 min.)  
 C: Hyun-aspen EXW (treated at 24kg/cm<sup>2</sup> for 4 min.)  
 D: Hyun-aspen EXW (treated at 24kg/cm<sup>2</sup> for 2 min.)  
 E: Hyun-aspen EXW (treated at 20kg/cm<sup>2</sup> for 4 min.)  
 F: Hyun-aspen untreated

粉碎된 木纖維는 軟化, 溶出된 리그닌과 再結合하게 된다.

바로 이 點이 蒸氣壓力과 時間이 어느 水準以上으로 增加되면 오히려 消化率이 低下되는 原因이라고 볼 수 있다. 또한 지금까지는 리그닌의 含量이 消化率에 影響을 미치는 가장 重要한 因子로서 리그닌含量과 消化率은 負의 相關關係가 있다 (Baker, 1973) 하여 왔으나, 本 實驗結果에 의하면 폭쇄시에는 粉碎된 纖維粒子和 溶出된 리그닌의 存在狀態도 消化率에 影響을 미치는 매우 重要한 因子라고 思料된다.

3.1.3.6 X-ray diffraction에 의한 結晶化度 및 미셀의 幅

현사시나무 無處理材와 폭쇄材를 X-ray 회절에 의해 피크를 얻고 結晶化도와 미셀幅을 計算하였다. fig. 5와 같이 X-ray 회절굴절곡선은 전형적인 cellulose I의 結晶構造를 나타내고 있으나, 處理材의 피크(002)는 未處理材보다 침예하며 또한 피크(002) 중간에서의 폭이 좁다. 이것은 폭쇄處理로서 結晶化도와 미셀幅이 增加함을 의미한다. Lonikar等(1985)은 자작나무에서, Tanahashi等(1983)은 日本잎갈나무와 자작나무에서 本 實驗과 同一한 傾向을 얻었다. 그러나 Marchessault and pierre (1978)는 Aspen의 경우 폭쇄材와 未處理材의 結晶化도는 差異가 없다고 報告하였다.

Fig. 6에서와 같이 폭쇄材의 結晶化도는 同一한 蒸氣壓力에서는 處理時間에 따른 影響이 크지 않다.

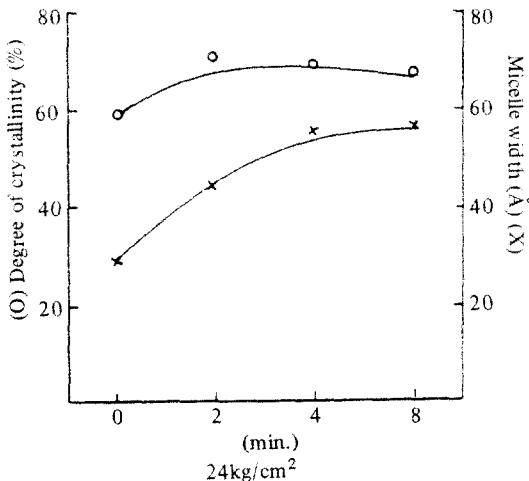


Fig. 6. Effect of steaming time on crystallinity and micelle width of exploded woods.

즉 미셀폭재 59.5%에 비하여 處理材는 67.5~71.4%의 範圍로 約 10% 程度 結晶化도가 增加한다. 즉 24kg/cm<sup>2</sup>-2分에서 結晶化도가 급격하게 增加하고 그 以後에는 큰 變化가 없다.

한편 미셀의 폭은 24kg/cm<sup>2</sup>-4分까지는 급격히 增加하여 未處理材 29.1Å에서 55.6Å를 나타내나 그 以上에서는 거의 固定된다. 즉 미셀의 폭은 約 2倍 程度로 增加하였다.

蒸氣壓力에 따른 結晶化도와 미셀폭의 變化는 fig. 7과 같다. 그러나 結晶化도의 增加폭은 約 10% 程度이다. 미셀폭도 蒸氣壓力의 增加와 함께 增加하고 있다. 無處理材 29.1Å이 28kg/cm<sup>2</sup>-4分에서는 50.8 Å 까지 增加하였다. 즉 높은 蒸氣壓力에서 폭쇄시킴에 따라 미셀은 짧게 끊어지거나 폭은 좁어진다.

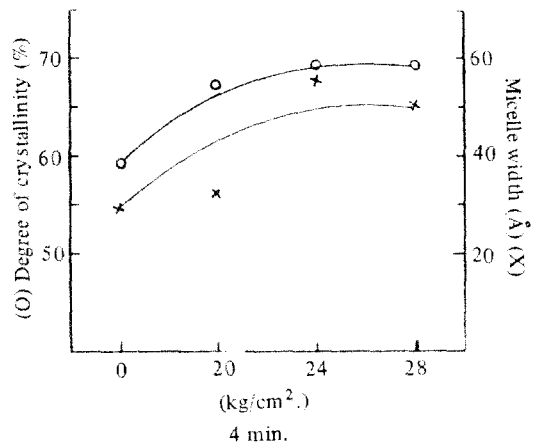


Fig. 7. Effect of steaming pressure on crystallinity and micelle width of exploded woods.

그러나 壓力이 28kg/cm<sup>2</sup>에서 16分間 程度 處理하면 미셀은 完全히 分解되고 만다(Tanahashi, 1983). 結果적으로 爆碎材는 結晶化도가 增加하여 動物에 給與時 消化가 容易한 非結晶部分이 20% 程度 減少되나, 셀룰로오스分子間 結合이 끊어지거나 느슨해져 미셀폭이 2倍程度 增加한다. 이에 따라 反芻胃內에서, 끊어지거나 느슨해진 셀룰로오스分子 사이로 纖維素 分解酵素가 침투하여 消化率이 增加되는 것으로 思料된다. 以上の 結果를 살펴보면 纖維素의 重合도와 리그닌의 分子量 分布도 消化率에 影響을 미치는 因子로 思料되므로, 今後 이에 대한 研究가 必要하다고 본다.

## 4. 結 論

현사시나무를 熱解纖 및 爆碎方法으로 處理하여 반추동물용 粗飼料를 製造하고, 成分을 分析하여 適正製造條件을 究明함과 同時에 爆碎材의 物理的 性質 變化를 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 熱解纖方法으로 粗飼料를 製造時 適正條件은 9 kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 10分間 蒸煮 後 解纖處理였다. 이때 收率은 84.2%, 消化率은 38.1% 이다. 이方法은 飼料가 均一하게 生産되며, 화이하보드工場의 施設을 그대로 利用할 수 있다는 長點이 있다.

2. 爆碎方法으로 粗飼料를 製造時 適正條件은 20 kg/cm<sup>2</sup> 壓力에서 4分間 蒸煮 後 爆碎處理였다. 이때 收率은 93.4%, 消化率은 68.1% 이다. 爆碎處理는 收率이 熱解纖處理보다 높고, 消化率이 벗짚보다 높아 가장 좋은 粗飼料 製造方法이었다. 그러나 粒子的 크기가 不均一하고 特異한 냄새가 나는 短點이 있다. 光學顯微鏡과 TEM으로 纖維狀態를 觀察한 結果 低壓(20kg/cm<sup>2</sup>)에서는 纖維가 다발形態가 많았으나, 高壓(28kg/cm<sup>2</sup>)에서는 纖維粒자가 작아 지나 리그닌溶解物과 구슬모양으로 結合되어 있었다. 爆碎材의 結晶化度는 10%. 미셀幅은 2倍程度 增加하였다.

## 參 考 文 獻

1. AOAC, 1985. Official Methods of Analysis (14th ed.), Association of Official Agricultural Chemists, Washington, D.C.
2. Baker, A.J. 1973. Effect of lignin on the *in vitro* Digestibility of wood pulp, J. Anim. Sci., 36(4), 768-771.
3. Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some application), Agric. Handbook 379, USDA, Washington D.C.
4. Goring, D.A.I. 1963. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose, Pulp and Pap. Mag. Can., 64, T517-T527.
5. Lonikar, S.V., N. Shiraishi, T. Yokota, M. Tanahashi and T. Higuchi. 1985. Effect of the explosion pretreatment on the thermal softening and melting of esterified wood, J. Wood Chem. Technol., 5(1), 111-133.
6. Mackie, K.L., H.H. Brownell, K.L. West and J.N. Saddler. 1985. Effect of sulphur dioxide and sulphuric acid on steam explosion of aspenwood, J. Wood Chem. and Technol., 5(3), 405-425
7. Mehrez, A.Z. and E.R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen, J. Agri. Sci. Camb., 88, 645-650.
8. Scherrer, D. 1918. Gottinger Nachrichtn, 2, 98.
9. Schultz, T.P., C.J. Blermann and G.D. Mcglnnls. 1983. Steam explosion of mixed hardwood chips as a biomass pretreatment, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 22, 344-348.
10. Segal, L., J.J. Creely, A.E. Martin and M. Conrad. 1959. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer, Textile Res. J., 29, 786-794.
11. Shimizu, I., K. Sudo, S. Nagasawa and M. Ishihara. 1983. Enzymatic susceptibility of autohydrolyzed woods, Mokuzai Gakkaishi, 29(6), 428-437.
12. Shimizu, K. 1985. Microbial conversion of biomass, Mokuzai Gakkaishi, 31(10), 783-792.

13. Sudo, K., S. Nagasawa, and T. Ishii. 1987. Catalyzed steam explosion of softwood, Research report of biomass conversion program, 4, 34-46.
14. Tanshashi, M. 1983. Conversion and total utilization of forest-biomass by explosion process, Wood Research and Technical Notes, 18, 34-65.