

# 日本에 있어서의 森林 Biomass 와 그 利用에 關한 研究動向\*1

趙 在 明\*2

## Research Trends of Forestry Biomass and its Utilization in Japan

Jae-myong Jo\*2

### 1. Biomass 研究의 現況

(日本國 林業試驗場長 土井 恭次)

石油資源이 有限이라고 하는 것은 當然한 일임에도 不拘하고 우리들은 그 意味를 充分히 理解하지 못하고 있었다.

現今 이들 有限資源에 代替될 만한 것으로서는 太陽 에너지의 蓄積體인 生物資源이 부각되고 있다.

이 生物資源은 生態系의 物質循環의 過程에서 無限히 再生産 될 수 있는 特徵을 지니고 있다.

우리들은 食料의 不足과 푸름의 消滅等 이래로 推移한다면 危機의 狀態에 이르게 될 全世界의 規模의 問題解決에 이 生物資源을 有效適切하게 活用하지 않으면 않된다.

이와 같은 切迫한 實狀에 비추어 日本의 農林水産技術會議에서는 『生物資源의 效率的 利用技術의 開發에 關한 總合研究』(biomass 變換計劃)을 企劃하고 食料나 에너지 危機를 克服하기 위하여 지금까지 利用되지 않았은 生物資源이나 새로운 生物資源의 導入을 꾀하여 이들 資源의 有效適切한 利用法을 開發하고 食料와 에너지를 安定的으로 供給할 수 있는 豐요한 農村社會를 만들기 위해 1981 年度부터 強力한 研究推進을 進행시키고 있다.

여기에서는 이 總合研究에 參劃한 研究中 最近 얻어진 成果의 一部와 森林 biomass 의 에너지 利用에 關한 研究成果를 接해서 살펴보고자 한다.

여기에 앞서 簡單히 biomass 研究의 近年의 成果를 살펴봄으로써 全體의 理解에 도움이 되도록 하고자 한다.

biomass 라고 하는 것은 元來 生態學의 用語로 生物現存量 또는 生物量이라고 理解되고 있으나 最近에

는 生態學의 領域을 넘어서 使用되게 되었다.

biomass 變換計劃에서는 『種類나 形狀을 不問하고 量的으로 모으므로 因하여 에너지와 食糧, 飼料, 工業原材料等의 資源으로 될 수 있는 生物體』라고 하는 意味로 쓰이고 있다.

대저 林業에 關한 研究는 그 對象이 森林 biomass 이어야 하며 넓은 意味로서는 biomass 研究는 오래 전부터 行하여지고 있었으나 여기에서는 森林 biomass 의 變換利用技術 分野를 紹介하고자 한다.

먼저 에너지 變換利用으로서 樹木의 薪炭利用에 關한 歷史는 오래되며 지금도 世界的으로는 木材總需要量의 50% 以上이 燃料로 利用되고 있다.

그러나 日本에서는 불과 1%로 石油依存度가 매우 높다. 따라서 이것에 代替되는 本質系 材料, 例컨데 林地와 工場에서의 廢殘材를 活用하여 그 燃材化를 꾀할 수 있는 技術開發을 推進하고 있다. 그 하나는 『로타리 킬른(rotary kiln)』를 利用한 連續製炭法으로서 그 製法은 實用化의 展望이 밝다.

또 簡易移動炭化爐를 만들어 簡易製炭法을 實用化 하였으며 또한 이 爐로서 燻薪을 製造하는 方法도 確立하였다.

木炭은 燃料뿐만이 아니라 活性炭을 비롯하여 各種의 化學工業用 原料로서도 利用되나 그 외에 土壤改良劑로서도 效果가 있다는 것도 海岸林等에서의 實驗으로 明白하게 되었다.

또 새로운 木質 燃料로서는 리그닌質을 活用하여 流體燃料의 하나인 콜로이달(colloidal) 燃料와 固型 複合燃料의 製法을 開發을 하였다.

다음은 食料와 飼料 變換利用이다. 木材의 主成分인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 다함께 高分子

\*1 이 紹介는 日本國 農林水産省 林業試驗場에서 推進하고 있는 「森林 biomass 와 그 利用에 關한 研究의」 中間研究發表 要旨임.

\*2 林業試驗場 利用部 Division of Utilization, Forest Research Institute, Seoul, Korea

의 炭水化合物이기 때문에 原理的으로는 食料와 飼料源으로 될 수 있다는 것이다. 그러나 이들에 포함되어 分解를 妨害하고 있는 리그닌이 있기 때문에 이것을 除去하지 않으면 안된다. 그를 爲한 前處理法에는 磨碎, 加熱, 爆碎, 蒸餾 등의 物理的 方法과 알칼리나 酸 등을 使用하는 化學的 方法外에 省에너지의으로 脫 리그닌을 促進하도록 하는 微生物處理도 새로히 생각 하고 있다.

이와 같은 簡單한 前處理를 거친 素材를 糖化하여 酵母菌體를 生産하면 S. C. P. (Single Cell Protein) 即 微生物蛋白質이 되며 이것은 新蛋白質源으로서 現在 注目을 받고 있다.

日本林業試驗場에서는 1975년부터 主로 效率의인 前處理技術의 開發에 重點을 두고 強力한 菌類의 檢索이나 糖化方法의 改良開發을 實施하고 있다.

이밖에 抽出成分에 關한 研究도 活潑히 推進되고 있으며, 이로 인해 이번의 biomass 變換計劃의 總合 研究로 發展하게 된 것이다.

## 2 森林 Biomass 의 에너지 利用 研究

(日本國 林業試驗場 紙野 伸二)

木材를 燃料로서 利用하게 된 것은 人類의 歷史와 함께 있었던 것으로 極히 最近까지 木炭이나 장작은 우리들의 주변에 있는 에너지源이었다.

2회에 걸친 世界的인 石油波動에 휩쓸린 오늘날 未利用 狀態로 放置되어 있는 林地廢殘材나 低利用 瀝葉樹材 등을 에너지源으로서 다시 평가한다는 것은 매우 意義가 있는 일이다.

그러나 이들 여러 資源은 자기 低カロ리의 狀態로 넓은 範圍에 걸쳐서 散在하고 있는 것이기 때문에 산에서 모아가지고 쓰기 便한 燃料로 改質할 必要가 있다.

특히 石油製品과 對抗하여 木質系에너지의 利用을 進척시키기 爲하여서는 價格面뿐만이 아니라 安全性이나 利便性에 配慮를 加하지 않으면 普及할 수가 없다.

또 收集, 改質을 爲하여 많은 에너지를 消費하여서는 效果가 그만큼 떨어져 버리고 만다.

그 위에 山林에서 뿌리째 有機物을 除去하여 버리면 林地의 再生力이나 水資源保全上 容易하지 않은 問題가 일어나게 된다.

오늘날 世界的 木材利用에 있어서 그 半以上은 에너지로 使用되나 日本과 같은 高度로 發展한 社會에

있어서는 森林系 에너지의 利用을 促進한다 하더라도 에너지 自給도가 눈에 띄게 높아지는 것은 아니다.

또 그러한 일을 하느니보다 木材는 住宅이나 紙類等 보다 價値가 높은 利用方途를 갖고 있고 그 위에 高度利用의 方法을 開拓하여 나가는 것이 本來의 技術開發의 方向이 된다.

따라서 에너지로서의 利用은 이들 主要用途로 보내진 후의 殘査物을 對象으로 하고 그 위에 現代人에 어울리는 形態로 推進되지 않으면 안된다.

이와 같이 森林 biomass의 에너지利用을 開發하는데 있어서의 여러가지 制約을 克服하지 않으면 안 된다.

日本 全體만으로는 大端한 것이 아닐지 모르지만 森林資源이 豊富한 山村地域에 가면 森林 biomass는 매우 큰 力量을 갖고 있다. 다행스럽게 電氣나 動力用에너지를 別途로 한다면 熱에너지의 많은 部分을 自給할 수 있는 곳이 많다.

따라서 地域의으로 賦存하고 있는 資源이 어느 程度의 力量을 갖고 있으나 하는 것을 豫算이 들지 않으면서 簡單하게 넓은 範圍에 걸쳐 評價할 수 있는 方法으로서 리모우트센싱(remote sensing) 등의 方法을 應用하는 것이 고려되고 있다.

石油危機를 克服하기 위하여 一部事業體에 있어서 木質에너지의 活用을 이미 始作하고 있는 곳도 있다. 施設園藝나 生표고의 保溫等에 그 事例가 많으나 公共施設이나 세멘트工場等 大量으로 消費되는 事例도 散見된다.

都市 쓰레기는 公的인 機關에 의하여 組織的으로 收集되는 體制가 整備되고 있으나 林地廢殘材나 製材工場의 廢材는 自己 손으로 모으지 않으면 안된다.

過疎化가 進行된 山村에서 效率的으로 搬出하기 爲하여서는 많은 숙고가 必要한 것으로 全幹(木)集材의 시스템이나 地形을 利用한 搬出 시스템을 檢討하고 있다.

木炭이나 장작은 사람의 손이 所要되는 燃料이다. 石油나 가스에 길들여진 現代人에게는 自動制御效果가 있는 燃料供給 시스템을 開發할 必要가 있다.

그러기 위하여서는 木質燃料 그 自體를 어떠한 形態로든 成形化하는 同時에 當該燃料를 效果的으로 燃燒시키는 爐의 開發이 必要하다.

이미 各種 펠렛(pellet)類나 燃燒爐가 試作되어 그 中에서는 市販되고 있는 것도 있어서 期待를 갖게 하고 있다.

이와 같은 各部分 部分의 技術을 總合化하고 地域에 適合한 活用시스템으로서 만들어 나가는 것도 必要한 研究課題이다.

이 分野에 있어서의 日本 林業試驗場의 研究蓄積이 적기 때문에 몇 개의 모델시스템의 設計를 통하여 森林 biomass의 에너지利用 促進上의 問題를 整理 檢討하고 있다.

더욱이 森林 biomass의 에너지化에 關한 技術開發은 여기에서 言及된 것 以外에 보다 近代的 燃料로 加工하는 가스化, 液化, 콜로이드( colloidal ) 化 등々の 方向이 있을 수 있으나 여기에서는 이미 實用 可能性이 높은 直接燃料에 限定하였다는 것에 關하여 양해를 얻고자 한다.

### 3. 새로운 Biomass 資源에 關한 研究

(日本國 林業試驗場 蜂屋 欣二)

biomass 라고 하며는 生物現存量을 뜻하는 것이나 여기에서는 『種類나 形狀을 不問하고 量의으로 存在하는 生物體와 그 排泄物이나 廢棄物로서 變換하여 利用可能한 것』으로 한다.

biomass는 適切한 管理를 行하므로써 枯渴하는 일이 없이 恒續的 再生産이 可能한 資源이 된다. 특히 森林 biomass는 永年生이고 每年의 生長量이 加算되어서 蓄積하는 利點을 갖고 있다. 더구나 一般의으로 含水率이 높은 biomass 中에서는, 成分含有量이 높고 濃縮된 資源이 많다.

이와 같은 利點에 對하여는 資源으로서의 缺點도 많다. biomass 資源은 一般의으로 넓고 얇게 分布하고 資源의 密度가 낮다.

그 위에 森林 biomass에는 山地라고 하는 土地의 制約도 加하여진다. 이 때문에 biomass 利用에 있어서는 收穫과 搬送等의 生産費가 品質과 分量에 比해서 비싸게 됨으로 이 點의 解決이 매우 重要하게 된다.

本 研究에서는 用材를 除外한 木質原料의 多目的 이면서 效率的 利用을 꾀하고 森林 biomass의 有效한 利用法을 確立하는 것을 目標로 하고 있다.

특히 木質의 組成을 利用하고 食料와 飼料, 燃料, 有用成分等으로의 變換을 考慮하고 있다.

地球上의 biomass는  $1,841 \times 10^9$  ton 이고, 그 年間 生産量은  $172.5 \times 10^9$  ton 으로 推定되고 있다. 森林 biomass는 地球上의 biomass의 約 90%에 該當되는  $1,650 \times 10^9$  ton 이라고 말하고 있어서 이

것은 에너지로서 石油의 確認埋藏量의 約 7배에 達한다. 日本에 있어서도 國土의 68%가 山林으로 덮혀 있고 그 biomass는  $1.7 \times 10^9$  ton 으로 이것은 日本의 一次에너지 供給量의 2배 가까운 數値가 된다. 이와 같이 森林 biomass는 極히 큰 것이다.

變換利用의 對象이 되는 森林 biomass 資源은 大量으로 存在하는 것이 必要하다. 그 위에 市場價値가 높은 用材는 對象에서 除外하지 않으면 안된다. 따라서 比較的 低利用 狀態로 存在하고 있는 박달나무, 참나무, 그밖에 低利用의 雜木을 包含하는 濶葉樹, 특히 舊薪炭林이 主體가 되는 山村의 濶葉樹林의 利用을 생각하지 않으면 안된다. 또 하나는 조릿대 類이다. 조릿대의 自生地는 700 萬ha 以上 存在하고 그 蓄積은 1億 ton 以上이라고 전하여지고 있다.

이 資源을 恒續的으로 利用하기 爲하여서는 生態系가 지닌 再生産機能의 限界를 明確히 하고 恒常再生産力 및 環境許容量의 限界內에서 施業하는 시스템을 確立하지 않으면 안된다.

積極的으로 森林 biomass의 生産性を 向上시키기 爲하여 高生長樹種의 導入을 꾀하고 高密度植栽에 의하여 短期間에 最大收量을 얻을 수 있는 方法을 檢討하고 있다.

사시나무, 양황철나무 등의 山地모푸라와 자작나무, 유칼리, 아카시나무 등의 生長 및 密度反應等を 試驗中에 있다.

用材生産에 있어서의 除,間 伐材와 林地廢殘材의 利用法에 關하여서도 研究를 推進하고 있다.

특히 針葉樹의 枝葉에서 精油分을 抽出하는 경우에는 林地의 肥沃度에 미치는 影響을 檢討하지 않으면 안된다.

收穫과 搬送이 biomass의 利用에 있어 매우 重要한 問題로 되어 있다. 生産費를 可及的 低減시키기 爲하여 重力利用과 리모우콘윈치(remoconwinch) 등 省力省에너지 技術의 利用化를 檢討하고 있다. 또 조릿대 收穫機와 不整地走行을 위한 段軸走行機構를 갖고 있는 濶葉樹 收穫機를 비롯하여 架空線 收穫機 등의 새로운 機器開發을 推進하고 있다.

### 4. 酵素糖化에 依한 木材成分의 利用研究

(日本國 林業試驗場 志水一允)

○ 研究의 目的

木材의 主成分은 셀룰로오스(40-50%)와 헤미셀룰로오스(20-35%) 및 리그닌(20-35%)이다.

이들 成分을 糖化(加水分解)에 依하여 總合적으로 利用하는 시도는 木材糖化工業으로서 오래전부터 綿密히 檢討되어 一應 確立된 技術로 되어 있다.

한편, 지금까지의 糖化法에서는 硫酸이나 鹽酸等의 酸類가 使用되어 왔으나 最近의 微生物工業의 發展에 依하여 酵素에 依한 糖化法에도 많은 關心이 모 아지고 있다.

本 研究에서는 酵素糖化에 依한 木材成分의 總合的 利用法을 確立하는 것을 目的으로 하고 있다.

○ 木質系物質의 酵素糖化에 있어서의 問題點

木材中の 多糖類의 糖化에 酸類代身에 酵素를 使用하였을 境遇 耐酸, 耐壓의 反應容器를 必要로 하지 않는 것이라든지 糖의 二次分解가 없이 理論值의 糖收率을 얻을 수 있다는 利點이 있으나 한편, 木材 多糖類와 酵素間의 反應性을 높이기 爲한 前處理를 必要로 하는 難點이 있다.

이와 같은 前處理를 必要로 하는 理由로는 셀룰로 오스가 結晶인 것까 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스가

物理的, 化學的으로 리그닌과 緊密히 結合되어 있는 것 등으로 因하여 이들의 多糖類와 酵素와의 接觸이 阻害되고 있기 때문이다.

多糖類의 酵素糖化率을 增大시키기 爲하여서는 脫 리그닌 하거나 或은 細胞壁을 物理的으로 破壞할 必要가 있다.

木材中の 多糖類 80% 以上을 酵素로 糖化하기 爲 하여서는 70% 以上の 脫리그닌이 必要하고 磨碎에 依한 微粉化 處理에는 30 $\mu$  以下の 粒子까지 粉碎 할 必要가 있다. 알칼리에 依한 膨潤處理에서는 10% 以上の NaOH 液이 必要하다.

○ 木材成分의 總合利用

木材糖化工業에서는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌을 效率的으로 分別하고 그들의 特性을 살려서 總合적으로 利用하여 나가지 않으면 안된다.

酵素糖化를 爲한 前處理는 이 目的에 따라 거기에 要하는 生産費는 그 處理에 依하여 얻어지는 副産物 에 依하여 回收될 수 있는 것이 理想的이다.

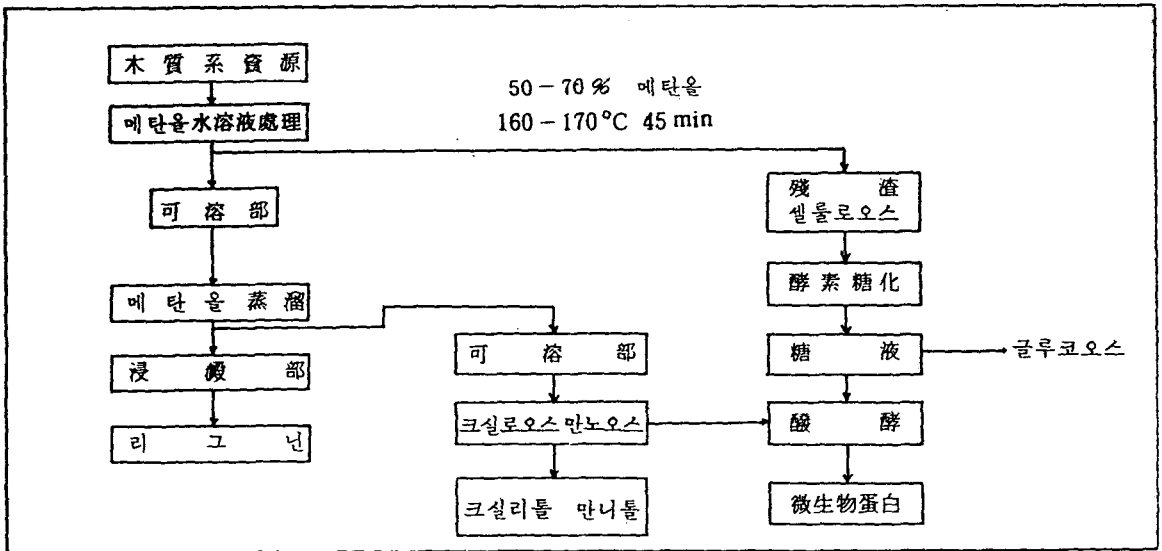


그림 1. 有機溶媒에 依한 脫리그닌을 前處理로 하는 糖化工程.

그림 1에 有機溶媒에 依한 脫리그닌을 前處理하는 糖化工程을 나타내었다. 이 工程에서는 메탄올水溶液으로 少量의 鹽酸을 觸媒로 하여 木粉을 處理하고, 헤미셀룰로오스를 加水分解함과 同時에 리그닌을 溶出하는 것을 特徵으로 하고 있다.

處理液중에 混在하는 리그닌과 헤미셀룰로오스 由來의 糖類는 메탄올을 回收하면서 리그닌이 沈澱하기 때문에 濾過에 依하여 容易하게 分別할 수가 있다.

前處理殘渣는 셀룰로오스로서 이는 酵素에 依하여 糖化하고 글루코오스로 變換한다.

그림 2에는 蒸煮 또는 燥碎를 前處理로 하는 糖化法을 나타내었다. 靑葉樹材를 高壓高壓下에서 蒸煮하며는 헤미셀룰로오스에 包含되어 있는 아세틸基等이 遊離하며 이 有機酸酸性下에서 헤미셀룰로오스는 加水分解를 받게 되어 可溶化한다. 이와 同時에 리그닌은 可塑化하여 有機溶媒에 可溶이 되고 셀룰로오스

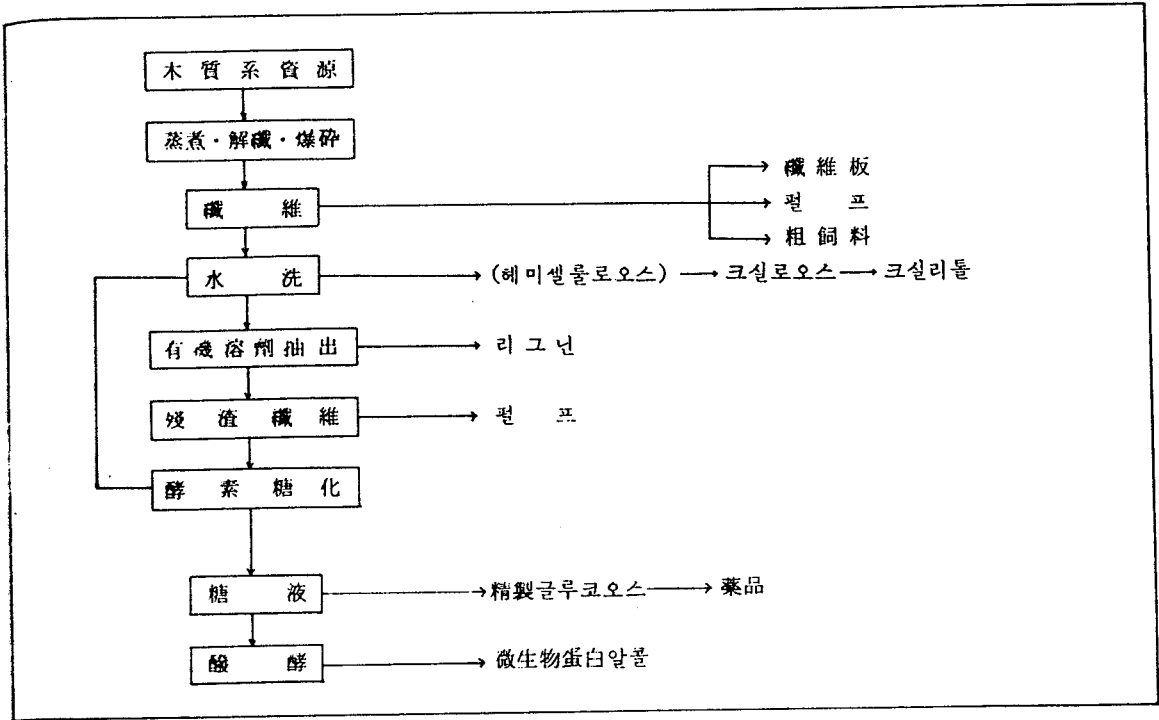


그림 2. 蒸煮 또는 爆碎 前處理에 의한 酵素糖化工程.

의 酵素糖化率도 向上한다.

이들 工程에서 얻게 되는 糖은 酸酵에 의하여 微生物蛋白質으로 變換한다.

蒸煮 또는 爆碎處理에 의하여 얻어지는 纖維는 그대로 反芻(반추)動物의 粗飼料로서 利用할 수도 있다.

潤葉樹 헤미셀룰로오스에서 얻어지는 크실로오스는 프루판이나 크실리톨의 原料로서 貴重하다.

그 위에 이들의 工程에서 얻게되는 리그닌은 反應性이 豊富하여 化學工業原料로의 變換이 容易할 것으로 期待된다.

### 5. 微生物利用에 의한 木材의 飼料化 研究

(日本國 林業試驗場 古川 久彦)

低利用 潤葉樹와 林地廢殘材等 林産系 biomass의 年間生産量은 約 9,300萬 ton이라고 하며 이 中에서 變換可能量은 996萬 ton/年間으로 推定되고 있다.

이들 資源은 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스 등의 炭水化合物과 리그닌을 主成分으로 하여 構成되고 있음은 이미 알려져 있는 事實이다.

이와 같이 莫大한 炭水化合物을 飼料와 燃料 등으로 變換·利用하기 爲하여서는 事전에 리그닌을 除去할 必要가 있다.

여기에서는 生物 特히 微生物을 使用하여 그들이 갖고 있는 生物機能을 活用하여 省에너지의 前處理에 의하여 脫리그닌을 行하고자 하는 것이다.

#### ○ 高能率 리그닌分解菌의 檢索

木材腐朽菌中에는 優先적으로 리그닌을 分解하는 性質을 갖고 있는 一群이 存在한다.

이 한무리를 리그닌分解菌(白色腐朽菌)이라고 부르고 *Polystyclus uersicolor* (LINNAEUS) FRIES의 硬質菌과 표고버섯, 느타리버섯 등의 食用菌을 包含하고 있다. 이와 같은 白色腐朽菌을 利用하여 리그닌을 除去할 수가 있다면 省에너지의 素材化技術로서 極히 有效한 것이다.

그러나 이들 白色腐朽菌은 리그닌을 分解하는 同時에 炭水化合物도 또한 分解減少시키는 것이다.

微生物處理의 目的이 微生物에 의하여 리그닌을 除去하고 炭水化合物을 남겨두어 이것을 利用하고자 하는 것이기 때문에 따라서 리그닌을 選擇적으로 分解하고 그 위에 또 炭水化合物의 損失을 最少限으로 멈추게 하는 性質을 갖고 있는 微生物을 選拔할 必要가 있다.

그 때문에 널리 自然界에서 리그닌分解菌을 蒐集, 分離하고 培養菌株를 얻어서 이들의 培養의 性質과

리그닌分解力 및 材質腐朽力等の 여러性質을 檢討하고 있다. 그리고 이에 依하여 選擇指數(= 리그닌分解量/炭水化物分解量)을 求하고 이 數値가 큰 것을 選拔한다. 또 同時に 重量損失과 分解에 必要한 日數가 各各 적은 것도 重要한 포인트가 된다.

그 위에 野生菌의 蒐集選拔 뿐만이 아니라 交配 또는 細胞融合 等の 育種의 手法에 依하여 더욱 더 有效한 菌株를 만들어 내는 試圖도 行하여지고 있다.

#### ○ 리그닌分解菌 利用에 依한 木材의 飼料化

木材를 飼料化하는데 있어서나 또는 燃料化 하는데 있어서는 먼저 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스 等の 多糖類를 加水分解할 必要가 있다. 그리고 그 程度는 試料의 셀룰레이스糖化率의 값에 따라 評價할 수가 있다.

그러나 셀룰레이스糖化率은 리그닌의 含量과 反比例한다고 한다.

여기에 脫리그닌의 必要性이 있게 된다. 그런데 微生物에 依한 리그닌分解能의 測定은 다음에 依하여 檢討되고 있다.

※ 케놀酸化酵素의 有無: 탄닌酸 또는 沒食子酸添加培地에 依하여 菌을 培養하고 酸化質의 形成이 認定되면 리그닌分解菌으로 判定한다.

※ 木材分解: 微生物로 處理한 腐朽材의 化學分析 또는 炭水化物의 損失을 極力 누르기 爲한 培養法(例, 아스파라긴의 添加가 有效)의 檢討나 分解速度를 빠르게 하기 爲한 手段으로서의 複數의 菌에 依한 遂次培養이라든지 或은 分解를 阻害하는 因子의 除去法(例, 簡單한 溶媒에 依한 材의 前抽出處理, 水蒸氣等)의 檢討에 關하여서도 銳意 推進하고 있다.■