

## 日本의 收穫後 處理 技術의 發展(I)\*

## Progress of Post-Harvest Technology in Japan

山 下 律 也\*\* , 李 昇 揆\*\*\*

R. Yamashita, S. K. Lee

## 1. 諸言

近年 稻 消費量은 繼續 減少하는 傾向이지만, 稻은 아직도 日本人의 主食이며 日本의 食糧의 根幹을 이루고 있으므로, 稻의 備蓄과 安定 供給을 위한 諸般方策은 萬全을 기하지 않으면 안된다. 그러나 日本의 最近 情勢를 보면 稻의 消費 減少에 따른 生產 調整에도 不拘하고, 農林水產物의 供給 過剩과 在庫量의 擴大, 海外로부터의 低廉한 農林水產物 및 食品의 輸入增加, 食生活의 多樣化와 高級化에 따른 量에서 質의 向上으로의 轉換等, 새로운 움직임이 있고 이에 對應할 技術的 發展 또한 많은 進展을 보이고 있다.

그동안 農作業의 機械化는 크게 進展되어, 矮은 時期에 大量으로 收穫된 穀物을 迅速하게 乾燥, 貯藏하기 위한 大型 施設의 建設도 꾸준히 增加하고 있으나, 이로 인한 穀物의 品質 低下나 貯藏性의 低下等 많은 問題가 發生하고 있고, 특히 稻의 輸入 開放 壓力에 대한 對處 方案으로 맛의 向上에 관한 研究가 推進되고 있으며, 바이오 테크놀로지나 메카트로닉스 또는 尖端 技術의 새로운 發展을 비롯하여, 再生産 可能한 未利用 生物 資源의 有効 利用에 대한 期待等, 日本에서의 收穫後 處理 技術에 관한 研究는 새로운 段階를 맞이하고 있다.

그러나 收穫後 處理는 收穫에서 消費에 이르기까지 廣範圍에 걸쳐 있고, 取扱하는 農產物 또한 多樣하여, 여기서 收穫後 處理의 全分野를 綱羅해서 言及할 수는 없으므로, 本 講演에서는 穀物, 특히 稻을 中心으로 한 乾燥, 烘精, 貯藏 等에 關連된 日本에서의 技術 發展

過程이나 研究 現況 및 앞으로의 研究 方向이나 課題에 대하여 概括的으로 紹介하고자 한다.

## 2. 發展過程과 技術的 動向

## 가. 乾燥

乾燥方式의 主要한 經過를 보면 그림 1과 같이, 初期에는 氣象條件이 나쁜 地域을 위해 乾燥機가 發展되었으며, 人工乾燥의 幕이 열린 것은 1956年이었다. 그後 15餘年間 定置式 乾燥機가 愛用되었으나, 乾燥機의 急速한 普及에 따라 여러가지 改良이 이루어지고, 콤바인의 普及에 의해 必須의인 것으로 發展되어 現在는 템퍼링 方式에 의한 循環式이 普及의 中心이 되고 있다. 收穫機의 高性能화에 따라 乾燥機도 高性能화가 要求되고, 同時에 品質 向上, 安全性 向上, 無公害性 等이 要請되어 이에 對應한 研究 發展이 進陟되어 왔으며, 本格的인 普及 開始로부터 約 30年만에 自動水分計와 마이크로컴퓨터가 裝着된 全自動乾燥機가 發展되었다. 이 외에도 最近에는 太陽熱 利用 放射乾燥, 실리카겔 利用 乾燥, 마이크로웨이브에 의한 乾燥, 遠赤外線 利用 乾燥, 減壓 環境下에서의 高周波誘電 加熱乾燥 等이 研究되고 있다. 最近의 乾燥 操作에 대한 技術 動向을 보면, 品質에 대한 認識이 形質重視로부터 内部品質 특히 맛으로 옮겨가고 있는 것이 特徵이다.

앞으로의 研究 課題는 品質(胴割, 不均一 乾燥, 過乾燥, 發芽力, 맛 等) 向上, 水分 檢出法과 自動制御,

\* 1988. 7. 15 韓國農業機械學會 第 13 次 定期總會(江原大)에서 特別講演

\*\* 京都大學 教授, 日本農業機械學會 會長

\*\*\* 農尚大學校 農科大學 農業機械工學科

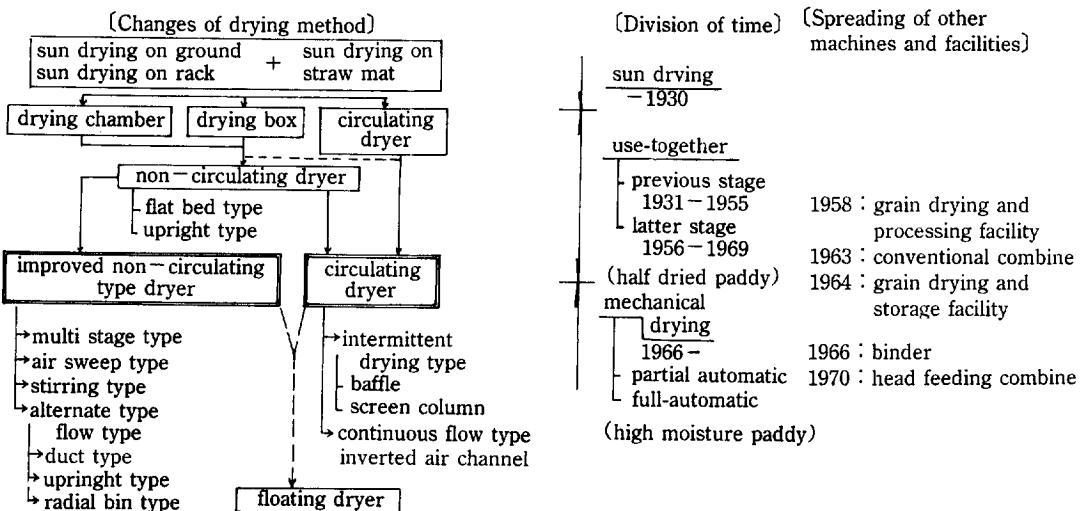


Fig.4. Flow chart of development of grain dryer

處理能力 向上과 勞力 節減, 에너지 節減, 機械 安全性 設의 構造(利用期間, 乾燥速度, 裝置의 크기 等), 經濟 性과 安全性 및 公害 問題 等 상당히 廣範圍에 걸쳐 있다고 하겠다.

#### 나. 捣精과 調質

玄米機는 1922년에 衝擊式이 發明되었고, 現在의 고무를式은 1936년에 實用化되어 普及의 中心이 되었다. 1960年代에는 機械的 自動制御 機構가 考案되어, 最近에는 센서와 컴퓨터를 採用한 것까지 出現하고 있다. 또 팬으로 벼를 加速시켜 팬 케이스 안쪽 라이닝에 滑動시키면서 왕겨를 벗기는 임펠러式도 1980年代에 實用化 되었다. 現行 玄米 檢查에서는 표면이 短는 것, 胚芽의 脱落, 벼混入의 等이 問題視 되지만, 白米 檢查에서는 이것들이 除去된 製品을 檢查하므로, 既往의 시스템을 再檢討하여 白米 檢查를 前提로 하면, 玄米作業은 极히 單純化되어 能率 向上과 費用 節減에 連結될 수 있을 것이다.

精米機는 1870년 방아線式이 發開된 後, 1915년 自動循環式과 研削式이 發開되었다. 炊飯米用은 圓筒摩擦式이 主流이며, 必要量만 精米하는 1回通過式은 1956년에 實用化되어 個人用으로 普及되고 있다. 또 健康食用 胚芽 精米는 研削式의 改良型이 適用되고 있다. 普通의 白米는 높은 捣精收率이 要求되므로 精米機는

더우 性能 向上이 必要하며, 最近에는 縱形 摩擦式도 開發되고 있다.

精白米에 불어 있는 거를 除去하는 研米機는 1915年부터 乾式이 利用되어 왔으나, 1975年에 米粒의 縱溝에 附著된 거를 充分히 除去할 수 있는 濕式이 實用化 되어, 品質과 貯藏性이 높은 清潔米(clean rice) 生產이 可能하여졌으므로, 流通 技術上 새로운 展開가 期待되며, 이를 中心으로 하는 쌀의 收穫後 處理 全體에 걸친 新技術 開發이 進行되고 있다.

過乾燥 벼의 捣精은 碎米의 多發로 맛이 低下하므로, 1965年부터 玄米의 水分調整(調質)에 관한 研究가開始되었다. 그러나 玄米보다는 白米로 加工한 後 調質하는 것이 맛이 向上되므로, 現在는 白米 調質이主流가 되고 있다. 특히 過乾燥 玄米나 白米는 吸濕時 脫殼發生이 쉬우므로, 吸濕速度에 관한 研究와 그 速度 限界가 밝혀지고 있으며, 加壓 加濕으로 速度를 높이려는 研究와 實用機도 出現하고 있어 맛의 向上에 効果的인 機械로 期待되고 있다.

#### 다. 選別

蜂谷는 選別精度가 높은 縱型이 發開되고 있고, 그 레인 스크린은 網 끝에서 落下하는 벼와 玄米를 色彩 센서로 檢出하여 網의 適正 角度를 컴퓨터로 制御할 수 있는 段階까지 自動化 되고 있다. 또 米選機는 1928

年에 實用化 되었으나, 現在는 1970年에 開發된 回轉米選機로 移行되어 脣粒 除去에 効果를 올리고 있다. 인센트 選別機는 주로 穀子用으로 利用되고 있으며, 이미 選別要素에 관한 最適條件과 測定基準이 정해져 있다. 搖動體 選別機가 벼와 玄米의 分離用으로 實用化 된 것은 1961年인데, 그 後 偏析 및 速度差에 의한 分離現象과 穀粒의 球相當徑이 주로 作用함이 判明되었다. 着色米 等 被害粒의 分離를 위해 使用되는 色彩選別機는 1979年부터 開發品이 市販되어, セン서 및 컴퓨터의 發展 成果로 最近의 精米選別에는 不可缺한 機械의 하나가 되었다. 이 외에도 摩擦, 遠心力, 磁力, 電氣에 의한 選別方法이 利用되고 있어, 米穀選別은 精度나 性能 모두 滿足할만한 段階에 到達해 있다고 할 수 있으나, 콩等 生產量이 적은 穀物의 選別은 아직 人力에 많이 依存하고 있어 앞으로 開發이 必要하다.

#### 라. 貯藏

米穀의 貯藏은 1969年부터 樹脂자루가 使用되어 부대나 가마니는 모습이 사라지고 있으나, 玄米 流通에서는 자루의 封入과 開封에 所要되는 勞力を 줄여 費用을 節減시킬 必要가 있다. 1975年부터 採用된 0.6~1톤용 플렉시를 컨테이너는 1986年 利用量이 49만噸에 달하고 있다. 또 最近 高級米用으로 가스 透過가 극히 적은 알미늄 蒸着 자루로 가스 交換을 하는 機械도 開發되었으며, 脱酸素劑의 開發에 의해 酸素 除去가 容易하게 되어 農家 貯藏米用으로도 利用되기 시작하고 있다. 또 탄산가스나 질소가스의 封入에 관한 研究도 進歩되고 있다.

貯藏性은 凍結 障害가 없는 範圍의 低溫, 過乾燥 障害가 없는 範圍의 低水分이 効果의이다. 그러나 低溫은 穀物 出荷時 結露 問題가 있고, 低水分은 加工性 및 맛 低下의 問題가 있다. 따라서 貯藏時에는 過乾燥 狀態로 하고, 消費者에게 전너가는 最終流通時 加湿하는 것이 効果의이다. 또 最近流通되는 清潔米는 貯藏性이 가장 좋으므로 過剩米 時代인 現在, 内部品質 低下가 적은 清潔米 貯藏方式은 簡易手段으로 적은 清潔米 貯藏方式은 簡易手段으로 有効할 뿐만 아니라 收穫後 處理의 費用節減에도 連結되어 새로운 시스템으로 注目되고 있다.

貯藏에 影響을 주는 要素에서 單獨要素의 規制보다는 綜合化 하는 것이 効果의이다. 특히 다이나믹 貯藏法은 清潔米로 加工한 後, 알미늄 蒸着 플렉시를 컨테이너를 利用하여 溫度, 濕度, 가스 粗成 等을 綜合的으로 制御하는 方法으로 今後 新技術로서 좋은 課題가 될 것이다. 이 외에 最近의 研究 成果로서는 穀物 사일로의 應力解析, 壁面 素材, 容量 推定法, 偏析과 固結等의 研究, 貯藏穀物의 濕度 變化나 穀物層의 水分移動에 관한 연구, 穀物 害蟲의 高周波나 紫外線에 의한 防除法 等이 있으나, 어느 것이나 綜合화할 때 成果를 올릴 수 있을 것이다.

#### 마. 穀物 乾燥 調製 貯藏 施設

穀物의 乾燥, 加工, 貯藏 施設은 運搬, 乾燥, 貯藏 過程의 差異에 따라 個別處理인가 一括處理인가, 1회로 最終水分까지 乾燥하는가 2~3回로 나누어 乾燥하는가, 玄米貯藏인가 벼貯藏인가에 따라 3가지 方式으로 區分되며, 그 設備 内容과 處理 方法은 약간 다르게 되어 있다.

穀物乾燥調製施設(RC : Rice Center)은 1955年부터 建設되기 시작한 것으로, 中小型의 乾燥機를 여러 台設置하고 생 벼에서부터 마무리 乾燥까지 連續的으로 行하는 方式이다. 當初 半乾燥 벼를 農家單位로 取扱하는 個別 處理方式을 취했으나 能率이 比較的 낮고 集中受荷에 對應하기 어려워, 콤바인의 普及에 따라 貯留 bin을 並設하여 集團的으로 處理하는 方式으로 바뀌고 있다.

貯藏乾燥를 주로 하는 穀物貯藏乾燥施設(DS : Dry Store)은 1969年부터 建設되기 시작한 것으로, 收穫時期에 集中的으로 모이는 高水分 벼를 通風裝置가 있는 貯藏bin에 一時 貯留하여豫備乾燥를 한 다음 本 乾燥機에서 마무리 乾燥를 한다. 生벼의 集中受荷에 對應할 수 있으며, 벼 收穫期間 중 2~4回 利用하므로 乾燥가 끝난 벼는 玄米로 加工하여 別途의 倉庫에 貯藏한다.

벼 貯藏을前提로 한 穀物乾燥貯藏施設(CE : Country Elevator)은 1963年부터 建設되기 시작한 것으로, RC나 DS와 크게 다른 점은 生벼를 1차와 2차의 2段階로 나누어 乾燥하며, 1차 乾燥한 半乾燥벼를 全量貯藏하는 사일로가 있고, 마무리 乾燥後도 벼貯藏이

可能하며, 出荷에 맞춰 烘乾을 하는 점이다. 最近에는 생벼의 集中受荷에 對應할 수 있도록 貯留빈이 並設되어 있다.

收穫後 處理作業의 省力化, 費用節減 및 品質向上을 위해 建設된 이와 같은 施設들은 많은 研究 成果와 改善이 이루어져 왔고, 특히 兼業農家の 省力化에 크게 寄與하여 왔지만, 栽培品種의 集中에 따른 作業期間의 短縮이나 퍼크 入荷 等 때문에 充分한 成果를 올리지 못하고 있고, 1987年 現在 3,430個所에 設置되어 貯藏能力 90만噸 程度에 그치고 있다.

乾燥貯藏施設들의 問題点으로는 ①入荷 穀物의 特性豫測(氣象條件, 栽培管理, 收穫方法, 地域特性, 品種, 入荷時機 및 時刻에 따른 入荷量과 水分 및 品質變動), ②, 技術의 인 効果的 方式(區分乾燥時의 充填率과 乾燥休止率, 一貫乾燥方法 等)의 採択 等이 있다. 앞으로의 課題로서는 處理能力의 向上, 入荷時의 檢查法, 品質區分法, 水分別 分離法, 不均一 防止와 로테이션, 乾燥機와 貯留탱크의 組合法, 結露現象, 自主檢定方式, 騒音이나 粉塵의 處理, 熱利用(왕겨 等), 大型化에 따른 勞動力 確保, 經濟效果를 높이기 위한 多目的利用 等이 있다. 따라서, 앞으로 施設診斷法의 確立파 코스트 엔지니어링 面에서의 設計法, 設備內容의 選擇等을 檢討하여 새로운 시스템 技術의 成果를 올려야 할 것이다.

### 3. 最近의 乾燥機와 自動化

農業機械中 가장 自動化되어 있는 機種의 하나인 乾燥機는 마이크로컴퓨터를 利用한 新로운 制御方式이 開發되고 있어 技術 進步가 눈에 띄게 發展하고 있으며, 最近에는 尖端技術을 驅使하여 단추 하나로 老弱者도 簡單히 操作할 수 있도록 自動化되어 乾燥機의 이미지를 一新하고 있다.

#### 가. 燃燒機와 送風機

從來의 直接加熱式 燃燒機는 포트形 버너로서, 技術의으로 安定되어 있고廉價이며 穀物乾燥機에 適合하나, 그을음을 除去하지 않으면 燃燒量이 減少하여 所定의 热風溫度를 얻을 수 없고, 未燃燒ガス나 그을음이 飛散하여 穀物의 品質이 損傷되고, 瞬間消火가 困

難해지는 缺點이 있다. 回轉式 噴霧氣化型(rotary type) 燃燒機는 IC 制御回路의 制御모터와 精密 燃燒供給裝置를 設置한 마이크로컴퓨터에 乾燥熱風溫度를 最適으로 維持하도록 信號를 보내, 燃燒供給用 펌프와 風量調節用 모터를 制御하고, 必要한 燃料와 空氣를 버너에 보낸다.

從來의 送風機은 大部分 軸流型으로서 風量을 增加시키면 風路抵抗이 增加하였으나, 最近에는 壓力型 送風機인 斜流型이 나오고 있으며, 2重 팬으로 하여 騒音을 줄인 送風機도 開發되었다. 且 送風機의 電動機直結化도 進展되고 있다.

乾燥貯藏施設에서는 送風機와 燃燒機를 2대씩 具備하여, 穀類 乾燥時에는 豫備乾燥部와 乾燥部를 使用하여 빨리 말리고, 벼 乾燥時에는 豫備乾燥部를 使用하지 않고 乾燥하는 方式도 利用되고 있다.

#### 나. 乾燥機의 自動化

穀物乾燥機의 自動化 制御機能은 穀物, 機械, 環境等의 條件에 맞는 最適 乾燥條件를 設定하고, 設定值대로 實際 乾燥가 이루어지도록 制御하는 것이다 計算한 設定溫度와 热風室內 溫度를 比較하여 버너에 供給하는 燃料量을 增減시키므로서 溫度를 制御하며, 이때 乾燥溫度의 計算은 穀物의 種類, 狀態, 氣象條件等 間接的 條件과 穀物量等 直接的 條件으로 나누어 別途로 入力하고 있다. 穀物의 水分 狀態는 繼續 監視하여 隨時로 運轉條件를 補正하고 最適狀態에서 乾燥를 停止시키며, 乾燥中 사람이 機械를 떠나있어도 安全한 運轉을 하는 等, 共通된 作業의 性格上 機械의 自動化에 要求되는 内容은 무척 많다.

이러한 制御시스템의 한 例를 보면 그림 2와 같이 콘트롤 박스, 乾燥機驅動 모터, 異常警報부저, 버너制御器機, 各種 센서(아날로그 및 디지털 入力系) 및 自動水分計로 構成되어 있다. 燃料펌프는 定壓式으로 點火밸브와 主밸브를 펄스 信號로 開閉하여 燃料流量을 制御한다. 溫度센서는 더미스터를 使用하고, 乾燥溫度變換스위치는 穀物의 種類 等 乾燥條件를 選擇 指定할 수 있는 ロ터리 스위치로 되어 있다. 異常檢出센서는 마이크로 스위치, 리드스위치, 더미스텟, CT 等이 使用되며, 自動水分計는 抵抗式의 固定 및 移動 測定電極部, 콘텐서모터와 시퀀스回路로 되어 있는 電極驅動

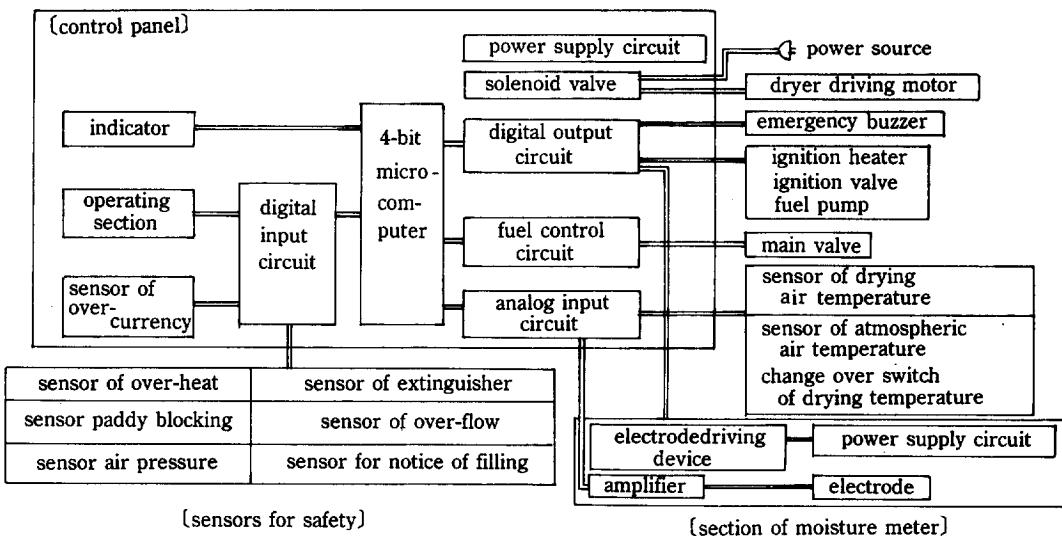


Fig. 2. System block diagram of drying control

部 및 增幅機部로 構成되어 있다.

그러나 마이크로컴퓨터를 實際로 使用할 境遇에는, 例를 들어 穀物의 水分測定時 测定点이나 試料 取扱方法, 試料의 乾燥사이클中 狀態 等이 프로그램 作成上 重要 포인트가 되는데, 이러한 것들은 本體側에서 解決되어야 할 技術上의 課題들이므로, 하나 하나 解決해 나가야 自動化가 爽실히 進展될 것이다.

#### 다. 乾燥速度의 制御

從來에는 乾燥時間表나 計算에 의해 乾燥時間を 정하고 타이머를 設定하여 水分을 確認해가면서 適正水分까지 乾燥하였으므로 穀粒水分에 많은 注意가 必要하였다. 그러나 最近에는 이와 같은 乾燥 終了時의 單純한 自動停止에 그치지 않고, 精度가 向上된 自動水分檢出 및 乾燥停止裝置를 附着시켜 作業性을 높이고 있다. 또 從來의 乾燥機는 機種에 따라 다른 热風溫度表에 의해 乾燥하였으므로, 氣象條件 等에 의해 乾燥速度가 빨라져 脊割이 많이 생기거나 脊割을 걱정하여 溫度를 낮게 設定하므로서 乾燥時間이 길어져 追後作業에 差跌이 생길 念慮가 많았다. 그러나 새로운 乾燥速度 制御方式은 高水分域에서는 热風溫度를 높여 乾燥速度를 빠르게 하고, 低水分域에서는 溫度를 낮춰 乾燥速度를 느리게 하는 方式, 一定 乾燥速度를 基準

으로 하여 热風溫度를 制御하는 方式, 溫度 뿐만 아니라 濕度센서로 濕度를 加味한 方法, 風量을 制御하는 方法 等이 使用되고 있다. 또 乾燥速度를 變化시킬 때는 水分에 따라 몇段階의 스텝制御를 하고 있다.

乾燥方法도 最近에는 間歇乾燥나 調質二段乾燥法 等 自動化 可能한 方式이 台頭되고 있는데, 共同乾燥施設에서 採用하고 있는 2段乾燥法은 乾燥中 任意時期에 運轉停止와 乾燥를 反復하는 プログラム型이 利用되고 있다. 또 乾燥部 穀物屑을 多層化하여 風路抵抗을 減少시킴과 同時に 高水分 麦類의 流動性을 向上시킨 것도 있다. 이 외에도 損傷粒 發生의 防止를 위하여 水分이 높고 投入量이 적을수록 循環速度를 높추는 機能을 가진 것, 乾燥效率 向上을 위한 混合流型等도 나오고 있으며, 未熟粒이 많을 境遇의 템퍼링 效果의 增大, 夜間騒音의 防止, 高濕時 運轉停止에 의한 乾燥의 効率化 等도 試圖되고 있다.

#### 라. 安全 對策

火災에 대한 安全對策은 燃燒部가 重要하며, 先火나 過熱로 인한 異常이 發生한 境遇에도 火災로 發展하는 것을 防止하기 위하여 그림 3과 같은 對應策을 취하고 있다. 自動消火裝置는 버너 周辺部에 異常火苗이 發生할 境遇, 消火液을 自動 噴射한다. 더마스텟은 異常燃

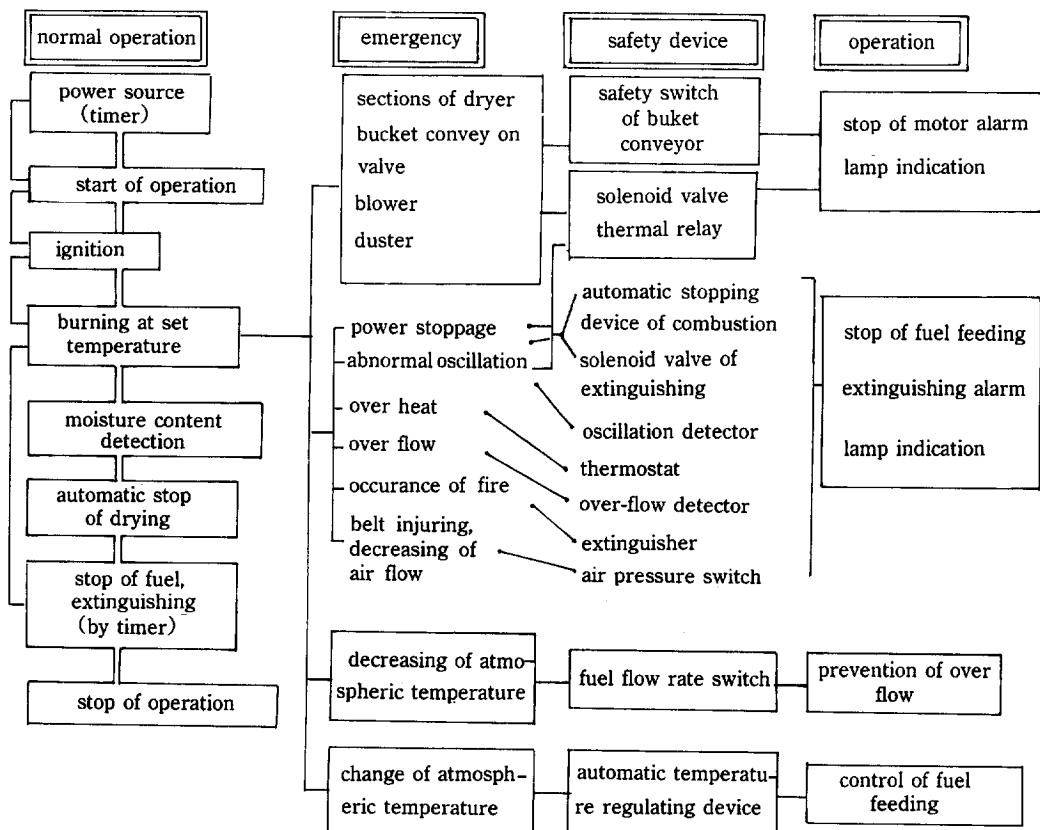


Fig. 3. Flow chart of safety mechanism of dryer.

燒發生時異常高溫을感知하여燃料供給을中止하는高溫用파, 불꽃이 갑자기 거칠 때의燃料의機外流出을防止하기 위하여燃料供給을中斷하는低溫用이 있다. 風壓스위치는送風機回轉數의異常低下나急停止를感知하여燃料를遮斷하며,自動溫度制御裝置는外氣溫의變化에 따라熱風을規定溫度로維持하기 위하여燃料供給을自動制御한다. 또燃料回路에燃料펌프나電子밸브를裝置하여停電時燃料供給을停止시키는自動燃料遮斷裝置,外氣溫의大幅低下로인한燃料의過大供給을防止하는流量變換 스위치,消火時燃燒機內의燃料의殘留를防止하여ガス等에의한火災防止와作業終了時消火時間의短縮을 위한消火電子밸브, 바너가不時에꺼지거나燃料가燃燒부밖으로넘칠때燃料供給을中止시키는燃料オーバーフロー檢知裝置等도使用되고 있다.

最近에는異常發生時 버저로 알리고 表示燈으로

故障內容을 나타냄과同時に그래픽表示로異常發生場所를點滅表示하는것,音聲으로異常을알림과同時に카드모니터로對應方法을表示하는것들이나와,乾燥作業에서問題가發生해도容易하게對處할수있게되었다.後者는設定條件(投入量,穀物種類,設定水分),乾燥經過等을音聲으로確認하고設定미스나乾燥미스를防止하여作業性의向上을꾀하고있다.

또從來에는벨트나폴리等덮개附着이複雜한것이 많았으나,最近에는커버를디자인의一部로생각하여補修點檢이容易하도록製作되고있다.散物搬送에있어서도投入作業을大幅合理化하고있으며,低床호퍼에穀物자루를들어올리는勞力を解消하고시간을줄이기 위하여横投入이나全面投入等으로改良하여省力効果를높이고있다.

#### 4. 乾燥의 에너지 節減 對策

農產物 乾燥에 대한 에너지 節減 問題를 大別하면 그림 4와 같이 太陽熱의 有効 利用, 未利用 資源의 活用과 代替燃料의 利用 및 乾燥의 热效率 向上을 위한 热의 有効 利用으로 나눌 수 있다. 이들 方法에 관해서는 많은 研究가 發表되어 있으나, 現實的으로 그 活用이 적은 것은 石油에 비하여 取扱이 어렵고, 勞力이 나 時間이 많이 所要되며, 많은 設備와 空間을 必要로

하는 等, 반드시 經濟的이 되지만은 않는다는 것이 그 原因으로 指摘되고 있다. 따라서 設備費의 負擔이 작으면서 省力的인 方法으로 講究되어야 하며, 특히 穀物 乾燥에만 利用되는 設備는 年間 利用日數가 짧으므로 償却費 問題가 큰 점에 有意하여야 한다. 또한 太陽熱이나 未利用 資源의 活用 以外에, 供給한 에너지를 어떻게 잘 利用하는 가도 커다란 課題이므로, 에너지 節減 對策은 綜合的 見地에서 對應해야 할 問題이다.

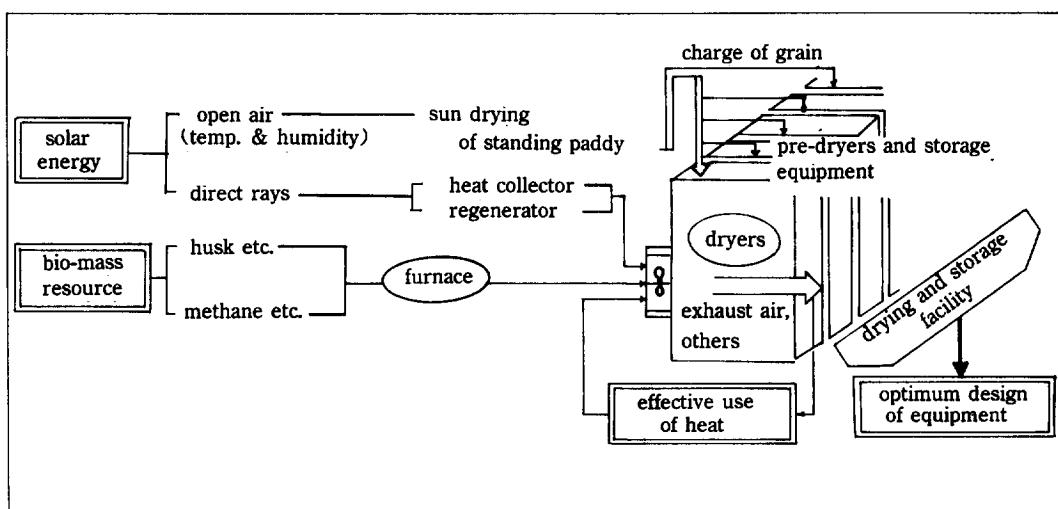


Fig. 4. Flow chart of energy saving in grain drying.

##### 가. 當面의 에너지 節減法

乾燥에 所要되는 에너지는 除去水分量에 比例하여 增大되며, 봄바인으로 收穫한 高水分 穀物을 그대로 乾燥하면 除去水分量이 많아지므로, 乾燥機에 投入하기 前의 穀物水分을 어떻게 줄이는 가가 課題가 된다. 즉, 乾燥 에너지 節約面에서 가장 먼저 檢討되어야 할 것은 收穫時期이다.水分이 낮을수록 乾燥所要에너지 는 적게 들 것이다, 늦게 收穫하면 收量이나 品質의 低下를 招來하므로, 收穫量이나 品質 等을 綜合的으로 檢討하여 가장 效果的인 收穫時期를 選擇할 必要가 있다.

한 例로서 그림 5를 보면 未熟粒은 出穗後 日數에 따라 急減하며, 收穫量은 出穗後 35日頃 最大가 되나 인디카형 벼는 그 以後부터 收穫量이 減少한다. 또 發

芽率은 出穗後 日數에 따라 增加하여 28日頃부터는 거의 一定해지며, 穀粒水分은 出穗後 32日頃부터는 18% 以下로 減少한다. 따라서 이 景況 最適 收穫時期는 出穗後 32~38日이 된다. 또 穀物은 成熟過程에서 粒形이 变하며 品質은 形狀에 의한 影響을 받으므로, 生育過程과 形狀變化의 特性을 把握하여 어느 時點에서 收穫할 것인가를 檢討할 必要가 있다. 例를 들어 細ネ시로 벼는 開花後 25日頃부터 米粒의 3軸長이 모두 거의 一定值에 到達하며, 두께는 比重에 거의 正比例하고, 幅은 比重 1.0 以下에서 一定值를 나타내며, 길이는 比重이 0.9~1.0일 때 最少가 된다.

收穫時期와 마찬가지로 收穫時間도 省에너지 面에서 重要하다. 曙間은 外氣溫의 上昇과 溫度 低下에 의해 穀粒水分이 낮아지므로, 午後부터 해지기 前까지 收穫하는 것이 보다 有利해진다.

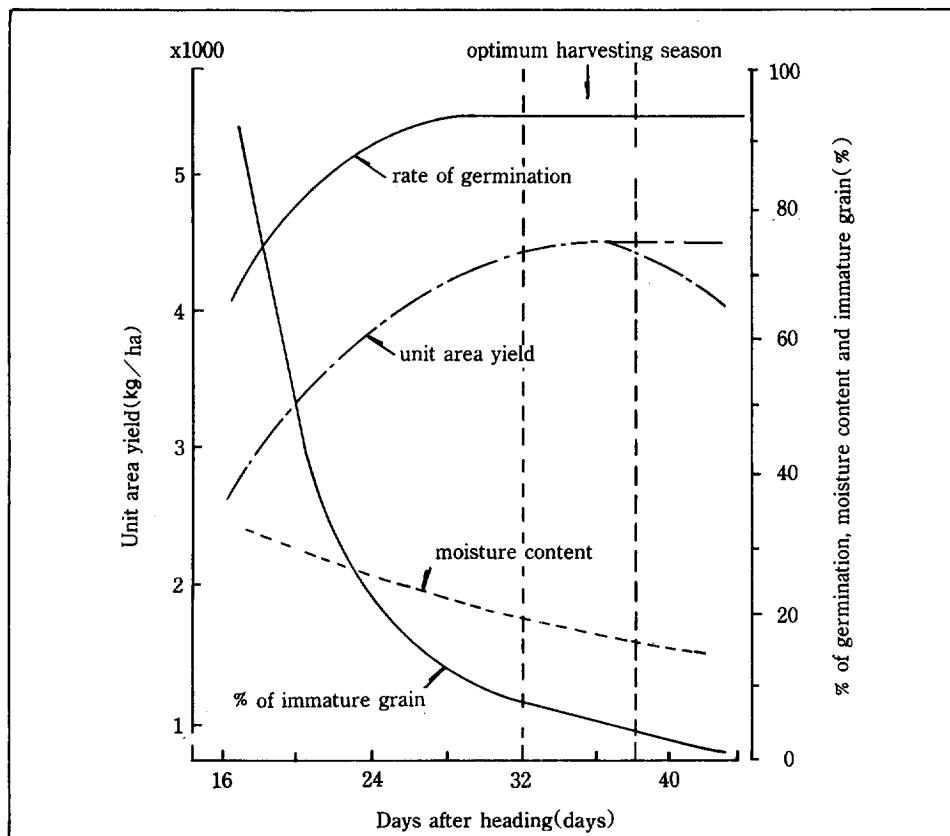


Fig. 5. Percentage of germination, moisture content, immature grain and unit area yield at harvesting season

다음으로 檢討되어야 할 當面課題는 過乾燥의 防止이다. 1985年產 糜의 檢定概況을 보면 過乾燥로 생각되는 것이 政府米 14.0%, 自主流通米 7.6%로 거의 1割以上이 問題가 있는 것으로 들어났다. 따라서 이것을 規格水分으로 乾燥할 境遇, 全國的으로 約 200억kg의 收益이增加할 것으로 推定된다. 最近에는 比較的 正確한 水分計가 乾燥機에 附着되어 乾燥終了의 自動制御에 使用 되므로 過乾燥의 防止에 有効하다고 생각된다.

#### 나. 消費 에너지의 再檢討

現在의 乾燥機는 热附加型이 大部分으로서, 循環式 乾燥機는 水分 1kg을 除去하는데 平均 1,300Kcal의 热量을 必要로 하고 있다. 물론 乾燥機의 使用條件에 따라 상당한 差異가 있으나, 水分蒸散에 必要한 理論 热

量의 거의 2배가 使用되고 있는 實情이다. 따라서 에너지 節約型 乾燥機의 開發이 要求되며, 乾燥機의 热効率 向上에 관한 問題 즉, 排氣가 가지고 있는 热에너지を利用하는 方法이나 기타 热에너지を利用하는 方法이나 기타 热의 有効 利用에 관한 研究가 큰 關心을 끌고 있다.

에너지 効率을 向上시키기 위해서는 먼저 供給된 一定量의 热이 어떻게 흘러가는가 그 收支를 檢討할 必要가 있으며, 벼 热風乾燥機의 供給에너지와 그 消費 内諳의 한 例를 보면 그림 6과 같다. 벼에서 供給되는 热量은 벼와 덱트로부터의 貨流 热損失을 뺀 나머지가 1次 및 2次 空氣와 함께 乾燥室内에 들어간다. 乾燥室 内部에서는 穀物의 水分蒸發潜熱 및 溫度上昇顯熱과, 機壁으로부터의 貨流热損失로 消費되고, 나머지가 排氣로서 機外로 放出된다. 排氣엔탈피에는 水分蒸發에 寄與한 排氣潛熱과, 水分蒸發에 寄與하지

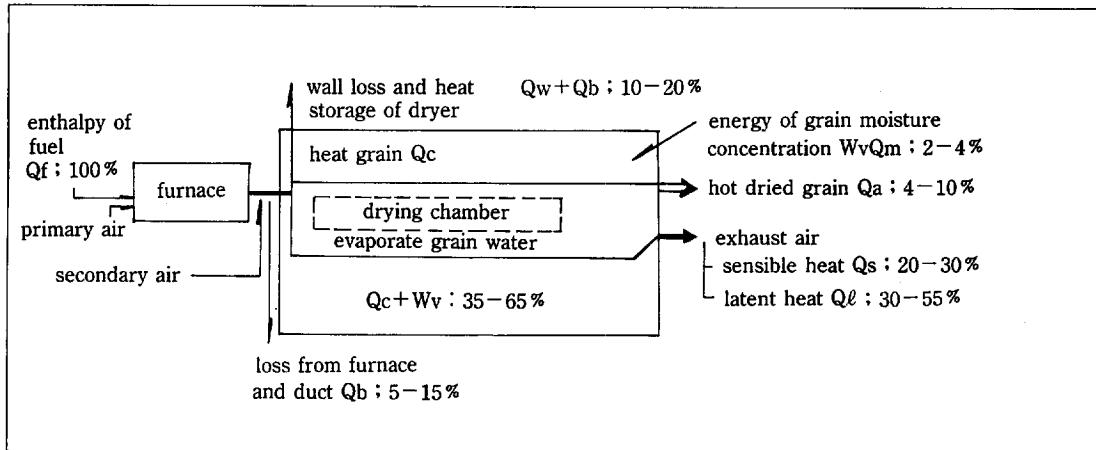


Fig. 6. Energy flow of grain dryer.

않은 排氣顯熱 및 吸入空氣의 엔탈피가 포함되어 있다. 또 穀粒水分의 蒸發時에 湿潤熱에 상당하는 離脫 에너지가 穀粒에 남게 된다. 그러나 穀物溫度 上昇에 必要한 热과 穀物로부터水分을 除去하기 위해 必要한 에너지(純水分의 潜熱 除去)는 그다지 많지 않다. 이 러한 热收支는 設計, 스케일, 穀物層 두께, 外氣溫과의 溫度差, 運轉條件 等에 따라 变하게 된다.

乾燥機의 에너지를 節減하기 위해서는 損失熱量을 最小限으로 하여야 하며, 특히 燃料 에너지의 60~80 %로 推定되는 排氣熱을 回收 利用하여 热効率을 向上시켜야 할 것이다. 그러나 乾燥機는 屋内에 設置되는 境遇가 많아 損失된 热이 다시 吸入空氣로 利用되므로, 完全히 잊어버리는 热은 이처럼 많지는 않을 것이다.

#### 다. 热損失의 防止와 回收

##### 1) 버너, 덕트 및 機壁으로부터의 賦流 热

###### 損失

小型 乾燥機는 이 損失이 적으나 施設用 乾燥機는 상당한 量이 된다. 이것을 줄이기 위해서는 버너와 덕트 및 機壁의 材質의 斷熱性을 向上시키고, 덕트를 可能한限 窄게, 그리고 機體 表面積을 작게 設計한다. 또 排氣를 한곳에 모아놓고 斷熱材로 機體를 둘러싼 例도 있다.

##### 2) 穀溫上昇 顯熱

이 損失量을 決定하는 热風溫度는 本來 品質 및 乾燥速度 面에서 決定되어야만 하므로, 그러한 意味에서 所定의 热風溫度에 대한 不可缺한 热量의 하나이다. 또 穀物 排出時의水分蒸發에 의해 이 顯熱은水分蒸發 潜熱로 轉換되는 境遇도 있다.

##### 3) 排氣 潜熱

이것은 蒸氣의 形態로 穀物에서水分을 빼앗는 限必要 不可缺한 것임으로 通常 損失에는 包含시키지 않으며, 热効率이 높을수록 큰 값을 나타낸다. 乾燥前半期에는 供給熱量의 大部分을 차지하므로 이것을 回收, 利用하면 그 効果가 크나, 潜熱 形態로만 有効하게 利用하려면水分과 分離시킬 必要가 있다. 이에는 열펌프를 使用하여水分과 分離해서 热만을 回收하는 方法과,水分과 热을 分離하지 않고 그대로 排氣와 함께 吸氣에 混合시켜 循環시키는 方法이 있다.

##### 4) 排氣 顯熱

通常 乾燥前半에는 排氣溫度가 낮고 濕度가 높기 때문에 이 損失이 적으나, 乾燥의 進行에 따라 排氣溫度의 上昇과 더불어 低濕度가 되므로, 아직 乾燥能力을 갖고 있는 空氣가 排出되는 結果가 되어 이 損失이增加한다. 특히 穀物層이 얇은 境遇에 이 損失이 크다. 이것을 防止 또는 回收하기 위한 對策은 다음과 같은

方法들이 있다.

가) 穀物層을 두껍게 하고 热風을 向流로 보내어 排氣溫度를 높인다.

#### 나) 排氣의 直接 利用 方法

보리류나 牧草 等 高水分 材料를 高溫으로 乾燥할 境遇, 즉 頸熱 損失이 높은 高溫 乾燥에 有利한 方法이다.

(1) 多段 堆積法 : 穀物을 多段으로 堆積하고, 乾燥한 最下層부터 차례로 빼내면서 上層에 새로운 穀物을 投入해가는 方式이다. 排氣에너지를 最大限 活用하기 위하여, 排氣를 높 高濕度로 維持하므로서 頸熱損失을 最小限으로 줄일 수 있다.

(2) 排氣 循環法 : 아직 乾燥能力이 있는 排氣를 吸氣로 遺元시키는 方法으로, 排氣가 高濕度인 乾燥前半期 동안은 利用되지 않고, 乾燥 中期부터 後期에 걸쳐 利用한다. 實用的으로는 排氣 濕度 60% 以下에서 循環을 開始하거나, 全期間 運轉의 境遇에는 循環量이 60% 를 넘지 않도록 하고 있다. 屋内에 乾燥機가 設置된 境遇에는 窓의 開閉操作으로 간단히 活用할 수 있다.

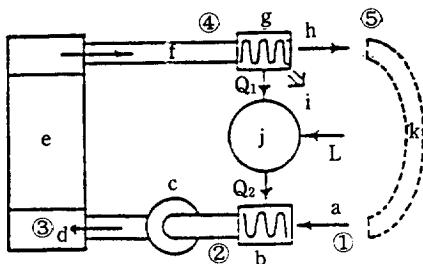
#### (다) 排氣 에너지의 回收法

(1) 热交換器에 의한 排氣頸熱의 利用 : 排氣엔탈피 中 頸熱相當分을 热交換器로 回收하여 吸氣를 加熱하는 方法으로, 排氣와 吸氣의 溫度差가 큰, 즉 排氣頸熱이 를 境遇에 效果가 크다.

(2) 열펌프에 의한 排氣엔탈피의 回收 : 排氣엔탈피를 穀物水分의 蒸發潛熱을 包含하여 열펌프로 回收하여 吸氣의 热源으로 利用하는 方法으로서, 그림7(A)와 같이 吸氣側에 癯縮器, 排氣側에 蒸發器가 設置되어 있다. 乾燥室로부터 나오는 排氣는 蒸發器에 의해 热을 빼앗기면서水分의 一部가 癱結水로 除去되고, 나머지가 外氣로 放出된다. 이때 排氣로부터 빼앗은 頸熱과 潛熱(液化熱)은 열펌프에 合流되어 癱縮器에서 吸氣를 加熱하게 된다. 따라서 热만이 乾燥機와 열펌프 사이를 循環하고水分은 外部로 放出된다. 이때 通氣의 狀態變化는 그림 7(B)의 濕空氣線圖에 나타낸 바와 같이, 通常 ④의 狀態로 放出되는 排氣는 열펌프에서 热을 빼앗겨 ⑤의 狀態로 버려지고, 열펌프에서 빼앗은 热은 吸氣를 ①에서 ②의 狀態로 加熱한다. 따라서 外氣가 갖고 있는 乾燥能力과 保有熱을 吸氣로 有効하게 利用하게 되므로, 所要 에너지는 一般 乾燥機의 約 1/4로서 에너지 效率을大幅 增大시킬 수 있다. 또 열펌프는 热交換器와는 달리 吸氣溫度를 排氣溫度以上으로 높일 수 있으므로, 반드시 히터를 使用하지 않더라도 通氣溫度를 높일 수 있다. 한편 蒸發器로부터 나오는 排氣를 外部에 放出하기지 않고 循環duct를 통하여 吸氣로 誘導하는 閉鎖型도 있으나, 이것은 低溫이나 多濕한 外氣條件에 適合한 方法이다.

열펌프를 利用하는 方法은 火災의 念慮가 없고, 燃燒 氣體가 없으며, 取扱이 簡單하고, 高濕度 條件下에

A) Mechanism of dryer with heat pump



a: inlet air b: condensing unit c: blower d: heated air e: drying chamber  
f: exhaust air from dryer g: evaporator h: exhaust air from condensing unit  
i: condensed water j: heat pump k: circulation duct L: electric power

B) Changes of air condition with heat pump

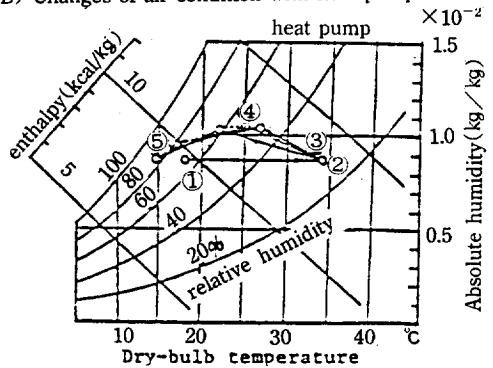


Fig. 7. Mechanism of dryer and changes of air condition with heat pump.

서도 热節減에 有効한 等의 長點이 있으나, 열펌프의 製造費用이나 採熱器의 防塵對策 等의 問題點이 남아 있다. 한편 열펌프는 農產物의 冷藏用이나 農家의 冷房用으로 積用할 수가 있으므로, 年間 2個月 程度의 利用이 可能하면 經濟性도 있게 된다.

5) 材料 水分에 따른 溫濕度 調節 送風量 및 溫濕度 가一定한 條件으로 乾燥하면 乾燥 初期와 末期에서 排氣의 溫濕度가 크게 변하므로, 乾燥後期일수록 热損失이 커지게 된다. 따라서 乾燥의 進行에 따라 溫度를 낮추든가 送風量을 적게 하면 热損失을 줄일 수 있다. 溫度, 風量, 水分 等의 檢出機構나 自動制御法이 發展되어 制御法은 比較的 容易하나, 에너지 節減에 어느 程度의 效果가 있는가는 今後 檢討를 必要로 한다.

#### 라. 王겨爐의 開發과 利用

왕겨는 密度가 커서 空間을 많이 차지하고, 運搬費가 많이 들며, 水分을 잘 吸收하지 않고, 잘 腐敗되지 않으며, 먼지 發生이 많은 等의 理由로 未利用資源으로 남겨져 왔었다. 그러나 王겨는 乾燥되어 있고, 대개 한 場所에 모여 있으므로, 農業副產物로서 가장 利用하기 쉬운 條件에 놓여 있다고도 할 수 있다. 王겨를 農物乾燥에 利用하는 것은 주로 王겨燃燒爐로서, 벼 乾燥用(直火, 間接熱風)으로 시스템화한 境遇는 그림 8과 같이 燃燒室을 中心으로 王겨貯藏庫, 王겨搬送裝置, 벼너, 热交換器, 热配分裝置, 燻炭搬送 및 貯藏庫等으로 構成되는 施設시스템이 있다. 따라서 王겨燃燒爐는 爐自體의 問題 뿐만 아니라, 裝置 全體에 대하여

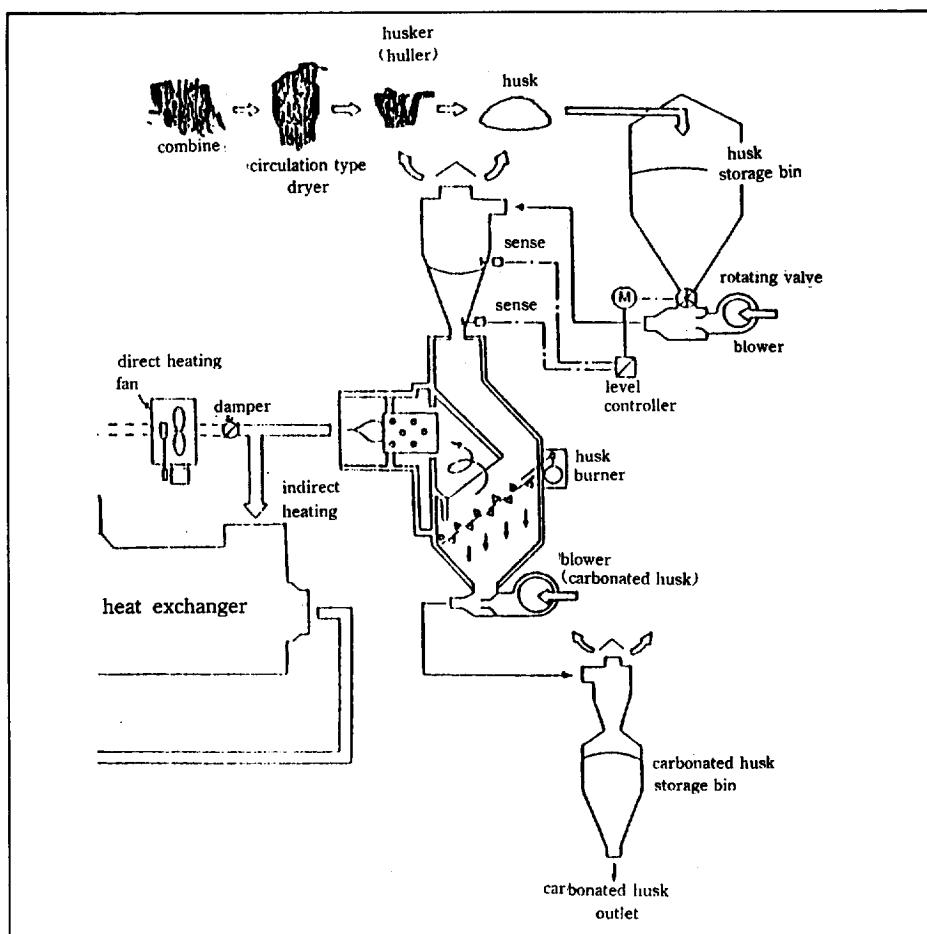


Fig. 8. Utility system of husk furance.

檢討하지 않으면 有効한 利用을 期待할 수 없다. 지금 까지 開發된 烏거爐는 다음과 같은 여러가지 問題點 때문에 아직까지 本格的인 普及段階에는 이르지 못하고 있다.

**왕거 貯藏庫**：왕거는 比重이 0.1로 貯藏空間이 크게 必要하다. 貯藏庫의 容積을 줄이기 위해 粉碎나 壓縮成形의 方法이 있으나, 그를 위해 消費되는 에너지를 無視할 수 없다. 王거를 生產하면서 热源으로 利用하는 方法(RC等)도 있으나, 겨울철 暖房이나 그 以後에 使用하려면 어쨌든 貯藏을 必要로 한다. 또 CE는 벼 貯藏 사일로가 있어 出荷後 그 設備를 그대로 活用할 수 있으나, 搬入·搬出用 器機를 別途로 設置할 必要가 있다.

**왕거 搬送裝置**：왕거는 容積이 크고 먼지가 많으므로 空氣輸送方法에 의해 簡易化하고 있으나, 硅酸分이 많아 王거와 接觸하는 部分의 磨耗가 심하다. 또 貯藏庫로부터 搬送裝置에 供給하는데 必要한 労力を 節減시킬 對策이 必要하다.

**熱交換器**：直接熱風 또는 間接熱風인가에 따라, 또 溫水로 하여 使用할 것인가에 따라 그 構成이 다르나, 热의 質과 热效率을 檢討할 必要가 있다.

**熱의 分配**：當面의 烏거爐는 共同乾燥施設이나 育苗施設에 利用될 수 있으나, 몇 군데의 乾燥機나 하우스에 搬送하여 热을 分配할 必要가 있다. 이때 同一溫度로 均一分配되는 가의 問題가 있다.

**炭分의 除去**：炭分은 一般으로 空氣搬送에 의해 除去되고, 사이클론에 의해 分離된다. 따라서 사이클론의 性能에 左右되나, 薑粉塵의 炭은 除去하기 어렵고, 集塵裝置를 必要로 하는 境遇도 있다.

王거爐의 热收支精算의 例를 보면, 热交換器를 使用하지 않은 境遇 約 49%, 热交換器를 使用할 境遇에는 그림 9와 같이, 王거의 發生熱(89%)과 乾燥空氣의 頸熱 및 燃燒를 위한 空氣의 頸熱로 構成되는 供給에너지中 約 23%가 乾燥 热源에 利用되고 있다.

玄米機에 의해 生產되는 王거의 重量은 벼의 約 20%에相當하고, 散物密度는 벼와 거의 같으므로 王거의 處理가 問題가 된다. 穀物乾燥調製貯藏施設은 相當期間에 걸쳐 活用되므로, 王거버너를 利用하면 王거의 滯荷 處理에 매우 効果的이다. 利用 實績의 例를 보면 燃料費 및 王거 處理費의 節減에 도움이 되어, 버너의 償却費, 運轉費 等의 支出이 充分히 補償되고 있다. 그러나 벼의 乾燥用 热源으로 利用되는 王거量은 排出

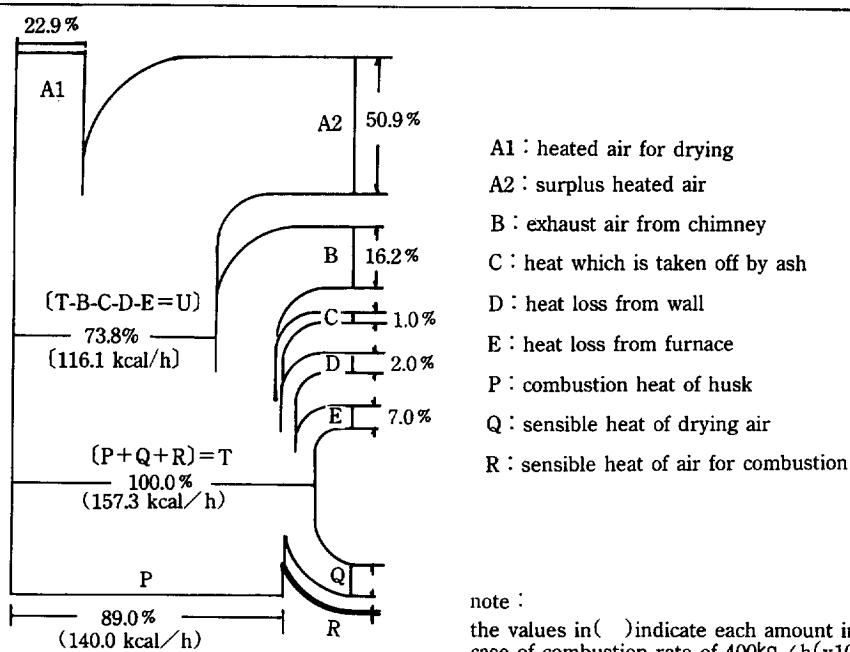


Fig. 9. Heat balance of husk furnace (floating floor type of N company).

되는 量의 約 1/3로서, 乾燥施設 内에서만으로는 다處理되지 못한다. 따라서 全量 處理를 위해 다른 穀物의 乾燥나 施設園藝의 하우스 暖房 等에 活用하는 것을 考慮하여야 한다.

왕거爐의 앞으로의 課題는 ① 物理性의 研究 및 王거 利用의 擴張, ② 簡便한 運搬 및 貯藏 方法, 衛生的 取扱方法, ③ 円滑한 燃燒를 위해 王거를 燃料部에 連續的으로 定量 供給하는 方法, 재나 燐炭의 連續 除去方法, 最適 通氣量의 調節, 排氣의 無煙化, ④ 재나 通氣量의 調節, 排氣의 懈煙化, ⑤ 재나 먼지의 飛散이나 煙氣 公孩의 防止, ⑥ 効率이 높고 耐久性이 있는 裝置의 開發, ⑦ 勞動力 節減 方法, ⑧ 燐炭을 活用하기 위한 燐炭生產型 베너의 開發, 燐炭 生產費 節減을 위한 排氣熱 利用 시스템의 開發 等을 들 수 있다.

#### 마. 代替 에너지의 利用

##### 1) 外氣와 太陽熱의 利用

自然乾燥法에는 直射光을 直接을 利用하는 方法, 乾燥한 空氣와 自然의 바람을 利用하는 方法 및 兩者를 並用하는 方法이 있다. 또 天日乾燥의 補助手段으로 콘크리트 위에 乾燥場을 設置하는 方法, 乾燥物을 유리나 비닐로 덮어 天日乾燥하는 方法, 비닐하우스 내에서 乾燥하는 方法 等이 利用된다.

間接熱의 利用方法에는 太陽輻射를 集熱器로 모아 닥트를 통해 乾燥室에 送風하는 方法, 對流나 自然風을 利用하는 集熱콜렉터, 外氣를 利用하는 常溫通風乾燥機 等이 있다. 그러나 乾燥物이 高水分일 동안은 畫面에 常溫通風乾燥를 하고, 水分이 낮아진 후 火力並用乾燥를 하거나, 常溫通風乾燥와 集熱콜렉터를 並用하는 複合利用이 한층 效果的이다.

蓄熱에는 콜렉터에 물을 利用하여 蓄熱하는 方法, 可溫空氣를 多孔 콘크리트나 모래 사이에 通過시켜 太陽熱을 貯藏하고 夜間이나 天候가 나쁠 때 使用하는 方法 等이 있다. 또 太陽에너지를 光電素子에 의해 電力으로 바꾸어 利用하는 太陽電池도 있다.

이와 같은 外氣나 太陽熱의 利用은 地域이나 季節의 制約를 받아 年間 活用이 어렵고, 設備에 따른 經濟性에 問題가 있으므로 多目的 活用이 必要하다.

##### 2) 未利用 資源의 利用

家畜糞尿로부터 쉽게 얻을 수 있는 메탄가스는 通年 利用할 수 있으므로, 多角的인 利用計劃中에 乾燥機에의 適用도 必要하다. 그러나 메탄가스의 利用은 겨울철 補助可溫用 裝置가 必要하고, 繼續的인 原料의 確保 問題, 가스 發生後의 汚泥 處理費, 높은 設備費等의 經濟性 問題로 實用化가 늦어지고 있다.

農產物에 高周波를 주어 誘電加熱에 의해 水分을 蒸發시키는 마이크로波 乾燥는 空氣를 介在시키지 않고 電氣에너지로 直接 热에너지로 變換하는 特長이 있으나, 穀物 乾燥에 利用하려면 莫大한 電力源이 必要하다. 또 엔진의 排氣熱의 利用은 驚音이나 長時間 運転 等의 問題가 있으며, 以外에 스텔링엔진의 利用, 터빈을 介在시킨 廢熱과 低質燃料의 利用, 真空乾燥法에 의한 エ너지 節減方法 等도 研究되고 있다.

#### 바. 複合利用과 經濟性의 檢討

에너지 節減對策으로 重要한 몇 가지를 檢討해보았으나, 各各의 方法에는 特徵과 缺點이 있어, 여러 가지 方法을 組合하여 複合的으로 利用하지 않으면 안될 境遇가 많다. 특히 農產物의 乾燥는 季節的 利用에 그치고 短期間 運轉이 大部分으로, 省에너지用 機械나 設備는 採算性에 問題가 있다.

複合利用은 エネルギー 節減効果를 높이기 위한 單獨技術과의 組合 利用法과, 固定設備費의 負擔을 輕減하기 위한 乾燥 以外의 多目的 利用法의 두가지로 나눌 수 있다. 前者は 어느 程度 水分이 低下 했을 때 穀物을 收穫하고, 乾燥한 外氣와 太陽熱을 利用하여 中間乾燥를 한 後, 마무리 乾燥는 열펌프를 利用하는 方法이 좋을 것이다. 또 後자는 王거爐를 農產物 乾燥 以外에 하우스 暖房用이나 王거爐炭用 爐로 活用하는 等 固定費를 減少시키는 方法을 들 수 있다.

에너지 節減을 위한 乾燥機 및 施設의 實用化는 乾燥, 調製, 貯藏機構 全體를 두고 檢討하지 않으면 안되며, 中心이 되는 問題는 热源이다. 또 利用上의 優劣을 정하는 要素는 固定費와 變動費이다. 따라서 實際 選擇에 있어서는 機械 取扱의 難易, 乾燥物의 品質에 대한 影響, 多目的 利用에 대한 可能性, 所要勞力 等의 要因이 附加되므로, 投資額, 燃料費, 設備電力 等의 分析을 通하여 綜合的인 見地에서 判斷하여야 한다.

## 附 記

本特別講演内容은 山下 教授가 슬라이드를 中心으로 原稿 없이 發表하셨기 때문에, 整理者は 넘겨받은 圖面을 參考로 하여 山下 教授의 發表 論文을 中心으로 通譯時의 記憶을 가다듬어 編輯整理하였습니다. 따라서 講演 内容과 다른 점이 많고, 특히 紙面 關係上 많은 圖面이 省略 되었으며, 圖面에 나타낸 것은 詳細한 說明을 피한 점, 그리고 뒤늦게 紹介하게 된 忽慢等을 널리 諒解하여 주시기 바랍니다.

## 參 考 文 獻

1. 京都大學 農產加工機械學研究室.  
1987. 精米の品質・食味向上に關する研究.
2. 農業機械學會. 1987. 美味しい米にするための乾燥・貯藏技術.
3. ————. 1986. 農物乾燥貯藏の新しい課題.
4. ————. 1985. 今後の乾燥調製加工技術の展開.

5. ————. 1982. 米麦乾燥調製貯藏施設の合理化技術.
6. ————. 1981. 農物乾燥調製貯藏施設の近代化.
7. ————. 1981. 農業機械・施設におけるマイクロコソセユータの利用.
8. ————. 1981. もみからの穀物乾燥への利用法.
9. ————. 1979. 農業における省エネルギー.
10. ————. 1976. 穀物の物性および測定法.
11. ————. 1975. 農業におけるエネルギー利用.
12. ————. 1974. 農産物の乾燥.
13. 山下律也. 1985. 穀物乾燥施設の診断.  
日本農業機械學會
14. 蔡慶隆, 山下律也, 後勝清和. 1987. 穀物の収穫・貯留・乾燥中の水分分布. 日本農業機械學會誌 49 (6) : 599-604.
15. Yamashita, R. 1982. Postharvesting. Lab. of Farm Processing Machinery, Kyoto Univ.



## 學 位 取 得



姓 名：盧 壽 榮  
生 年 月 日：1955年 6月 27日  
勤 務 處：忠北大學校 農科大學 農業機械工學科  
取 得 學 位 名：工 學 博 士  
學 位 授 與 大 學：University of Wales(U.K.)  
學 位 取 得 年 月 日：1990年 2月 6日  
學 位 論 文：Processes Involved in Coal Combustion in Non-Slagging Cyclone Combustors