

穀物乾燥의 基礎知識

高 學 均*

1. 序 言

여기서 論議하고자하는 乾燥(drying)라는 말은 穀物中에 包含되어 있는 水分을 大氣中의 空氣와 平衡狀態가 될때까지 그 一部를 除去하므로써 곡물이 昆蟲이나 곰팡이등으로 인하여 品質이 低下되는 것을 最大限으로 防止하는 작업을 말한다. 그러므로 건조는 脫水(dehydration) 即 水分을 完全히 除去하는 作業과는 다른 意味를 지니고 있다.

곡물의 건조작업은 農業의 발전에 따라 그 重要性이 增大하고 있으며 특히 다음과 같은 理由때문에 건조작업으로 인한 農民의 利益을 크게 向上시킬 수 있다.

- 1) 收穫期를 앞당기므로써 圃場損失(새, 곤충 또는 日氣不順으로 인한 손실)을 감소시킬뿐만 아니라 後作을 容易하게 한다. 一例를 들면 收穫前에 곡물의 含水率이 14~16% 정도로 낮을 경우 10% 이상의 圃場損失이 發生한다고 推定되고있다.
- 2) 건조를 하므로써 品質을 損傷하지 않고 長期間 저장이 가능하며 따라서 貯藏後에 높은 價格으로 팔 수 있다.
- 3) 적당히 건조된 벼는 搗精收率이 높다.
- 4) 種子의 發芽力을 오래동안 維持할 수 있다.
- 5) 곡물 이외의 農産物의 경우 건조된 것은 乾燥前의 것보다 價格이 높다.

2. 水分含量(含水率) (Moisture Content)

水分은 곡물을 安全하게 저장하기위한 건조작업에 있어서 가장 重要한 要因이다. 即 穀物中에 어느정도의 水分이 포함되어 있는 가를 알아야 하며 이것은 다음과 같이 두가지 方法으로 表示된다.

- 1) 濕量基準含水率(Moisture Content, wet basis)
이것은 濕量을 기준으로 할 경우의 重量比, 即

試料 100g當의 水分의 重量比로서 다음과 같이 表示한다.

$$m=100w_m/(w_m+w_d)$$

여기서 m 은 濕量을 기준으로 하였을때의 含水率(%)이고 w_m 은 穀物內에 包含되어 있는 水分의 무게, w_d 는 完全히 건조된 후의 곡물의 무게를 말한다.

이와같은 表示法은 처음에 測定한 含水率의 基準値가 건조가 進行됨에 따라 변하기 때문에 乾燥에 適用한다는 것은 不適合하다고 할 수 있다. 그러나 단일 含水率을 乾量基準으로 表示하면 乾燥時除去되는 水分의 量(表1 參照)과 乾燥速度를 쉽게 求할 수 있다. 그 이유는 위 公式에서 分母로 사용된 乾物量(w_d)은 水分이 증발하더라도 변하지 않고 항상 一定하기 때문이다.

2) 乾量基準含水率(Moisture Content, dry basis)

이것은 다음과 같이 表示한다.

$$M=100(w_m/w_d)=100m/(100-m)$$

表 1. 穀物을 13%(濕量基準)까지 건조시킬 경우 除去되는 水分의 量

初期含水率(% , 濕量基準)	1kg의 穀物當 除去되는 水分의 量(kg)
25	0.1380
24	0.1265
23	0.1150
22	0.1035
21	0.0920
20	0.0804
19	0.0690
18	0.0575
17	0.0460
16	0.0345
15	0.0230
14	0.0115
13	0.0000

*서울大 農大

一般的으로 濕量基準은 商業用으로 乾量基準은 學術用으로 使用된다. 表示法은 萬一 어떤 곡물의 含水率이 20%일 경우 濕量基準含水率은 20%(wb)로 表示하며 乾量基準含水率은 20%(db)로 表示한다. 現在 政府에서 通用하고 있는 含水率은 모두 濕量基準含水率을 말한다. 참고로 濕量基準含水率과 乾量基準含水率과의 關係를 表 2에 表示하였다.

表 2. 濕量基準含水率과 乾量基準含水率과의 關係

濕量基準含水率(%)	乾量基準含水率(%)
12	13.6
13	15.0
14	16.3
15	17.6
16	19.0
17	20.5
18	21.9
19	23.5
20	25.0
21	26.5
22	28.2
23	29.9
24	31.6
25	33.3
26	35.1
27	37.0
28	38.9

3. 含水率의 測定

含水率의 測定方法에는 크게 直接的인 方法과 間接的인 方法의 두가지로 나눈다. 직접적인 방법은 곡물을 오븐(oven)에서 직접 건조시켜 含水率을 計算하는 方法이며 間接적인 방법은 穀物內의 水分 含量程度에 따라 電氣抵抗이 달라지는 原理를 利用한 含水率測定器 等の 器具를 利用하는 方法을 말한다. 含水율측정기는 전기 또는 乾電池를 利用한 小型의 것이 國內에서 많이 使用되고 있으므로 使用法은 여기서 說明을 생략한다. 그러나 측정기구를 오랫동안 使用하면 커다란 誤差가 생기기 때문에 가장 精確한 직접적인 方法을 使用하여 含水率을 測定하므로써 그 器具의 正確度를 確認할 수가 있다

직접적인 方法에는 증류법 등 여러가지 方法이 있으나 가장 簡便하고 일반적인 경우는 穀物試料 約 100그램을 적은 容器에 담아 오븐 속에 넣어 溫度 115°C에서 4時間가량 말린후 무게를 잰다. 이때의 무게가 w_d 이며 말리기 전에 乾 무게에서 w_d 를 뺀

무게가 w_m 이 된다. 試料는 穀物 全體를 代表할 수 있어야 하며 가능하면 여러곳에서 採取하면 좋다. 特히 試料를 採取하는 동안이나 含水率을 測定하는 동안에는 密閉된 容器에 넣어 水分이 變化하지 않도록 주의하여야 한다.

4. 平衡含水率(Equilibrium Moisture Content, EMC)

自然狀態의 것이든 加工된 것이든 곡물은 水分을 포함하고 있으며 含水率에 따라 水分을 吸水 또는 脫水하는 性質을 가지고 있다. 平衡含水率이란 곡물을 一定한 溫度와 濕度를 가진 空氣中에 놓아 두면 一定한 含水率로 되어 結果的으로 大氣와 平衡狀態를 이루게 되며 이때의 곡물의 含水率을 平衡含水率이라고 한다. 韓國의 가을날씨의 경우 大氣의 溫度는 비록 낮으나 濕도가 亦是 낮기때문에 (乾燥한 날씨) 곡물은 14~15%까지 自然空氣에 의하여 건조시킬 수가 있는 것이다. 일단 곡물이 平衡含水율에 도달하게 되면 아무리 送風量을 증가시키더라도 그 以上으로는 含水率이 떨어지지 않는다. 또한 平衡含水율은 일반적으로 大氣의 濕도가 높을수록 또 溫度가 낮을수록 높아지게 된다. 穀物에 공기를 불어 넣으면 곡물의 含水率이 공기에 대한 平衡含水율보다 높을 경우 脫水되어 平衡含水율까지 含水率은 떨어진다. 이 때 공기를 加熱하면 공기의 溫度가 增加되며 相對濕度는 감소하게 되어 곡물의 平衡含水率은 낮아지게 되고 乾燥速度가 빨라지게 된다. 따라서 곡물을 매우 적은 含水率까지 건조시키더라도 密閉貯藏하지 않는 限 空氣中의 水分을 吸收하여 다시 周圍의 공기와 平衡狀態로 되돌아가게 되므로 過乾燥는 無意味하게 된다.

穀物은 그 種類에 따라 또 接하고 있는 空氣의 溫度와 濕도에 따라 각기 다른 平衡含水率을 가지고 있다. 예를 들면 벼의 경우 25°C, 70%의 溫度와 相對濕度를 가진 공기中에서는 13.2%, 25°C, 40%에서는 9.1%의 平衡含水率을 가지고 있다.

5. 濕空氣綫圖(Psychrometric Chart)

穀物乾燥에 使用되는 乾燥媒體는 공기와 수증기의 混合物인 濕空氣이다. 따라서 濕空氣의 여러가지 熱力學的 特性은 穀物乾燥問題를 分析하는데 매우 重要하다. 濕空氣綫圖는 이와같은 濕空氣의 特

성을 쉽게 구하고 不必要하고 복잡한 計算을 하지 않도록 해주는 道具로서 一定한 大氣壓下에서 다음과 같은 濕空氣의 여러가지 性質을 나타내고 있다.

1) 乾球溫度 2) 濕球溫度 3) 露點 4) 絶對濕度 5) 相對濕度(R.H.), 6) 比體積 7) 엔탈피(enthalpy)

이들 特性 가운데서 두가지 特性만 알면 나머지는 다른 特性을 濕空氣線圖로 부터 쉽게 구할 수 있다 습공기선도에서 사용되는 用語에 관한 知識과 습공기선도의 使用法은 穀物の 乾燥와 저장에 포함되는 모든 過程을 이해하고 特定氣候條件에서의 個別的인 要求條件을 分析하는데 필수적인 것이다. 여기서 紙面關係로 그 사용법은 省略하며 자세한 內容은 農産機械學 또는 熱力學책에 설명되어 있다.

6. 溫度, 相對濕度와 乾燥過程

相對濕度란 單位 重量의 공기가 그때의 온도에서 最大로 포함할 수 있는 수증기압에 대한 그때의 수증기압의 百分率을 말한다. 따라서 乾燥過程에서 공기의 상대습도는 穀物로 부터 水分을 충분히 吸水할 만큼 낮아야 한다.

공기의 상대습도를 낮추기 위한 가장 간단한 方法은 加熱이다. 즉 공기의 온도를 11°C 增加시키면 相對濕度는 約 절반으로 감소시킬 수 있다. 예를 들면 만일 溫度가 29°C 이고 相對濕도가 90%인 공기를 41°C 까지 加熱하면 상대습도는 45%로 떨어지게 되며 평형함수열에서 설명한 바와 같이 상대습도가 45%이고 온도가 41°C 인 공기는 비의 含水率을 8%까지 감소시킬 수 있는 것이다. 이를 다시 설명하면 만일 含水率이 8% 이상인 비를 41°C 까지 加熱한 공기와 접촉시키면 비에 포함되어 있는 水分의 一部를 잃으면서 결과적으로 8%까지 건조하게 된다. 또한 加熱된 공기가 젖은 곡물과 접촉하게 되면 뜨거운 공기는 곡물의 온도를 上昇시키며 穀物內의 水分의 蒸氣壓을 增加시켜 준다. 따라서 加熱作用은 곡물로부터 뜨거운 공기로 水分을 빨리 移動시켜 주게 된다. 特別히 重要的 것은 被乾燥物의 使用目的에 따라 공기의 溫度는 一定한 限界가 있다. 예를 들면 乾燥空氣의 온도는 種子用的 경우 $38\sim 43^{\circ}\text{C}$, 搗精用的 경우 옥수수와밀은 60°C , 비는 46°C 이며 飼料用은 82°C 이상을 넘어서는 안된다.

送風量을 增加시키면 乾燥速度가 빨라지나 너무 빨리 건조되면 胴割米가 생기는 등의 品質問題 以外

에 所要動力이나 經濟性を 고려하여야 하므로 적당한 값을 가져야 한다. 곡물의 경우 대개 $0.5\sim 1.0\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{ton}$ 정도가 적당하다. 따라서 곡물의 건조속도는 공기의 온도, 공기의 相對濕度 및 곡물을 通過하는 공기의 速度에 主로 영향을 받는다.

一般的으로 乾燥過程은 恒率乾燥期間과 減率乾燥期間의 두 期間을 通하여 이루어진다. 恒率乾燥期間(constant drying rate period)이란 건조가 一定한 比率로 이루어지는 것을 말한다. 이것은 自由水面에서 물이 증발하는 것과 비슷한 過程이라고 할 수 있다. 減率乾燥期間(falling drying rate period)은 乾燥中 乾燥速度가 계속적으로 감소하는 경우를 말한다. 대개의 農産物은 이 두가지 期間을 모두 거치면서 乾燥가 進行되지만 穀物의 경우 水分이 穀物內에 密着되어 있기 때문에 主로 減率乾燥期間을 거치면서 乾燥가 이루어지며 따라서 穀物의 乾燥過程은 다른 農産物에 比하여 더욱 복잡하게 된다.

7. 乾燥裝置

完全한 乾燥裝置는 一般的으로 공기의 加熱方法, 加熱된 공기를 곡물로 불어 넣어주는 送風機, 乾燥시킬 곡물을 담은장치, 이 장치안에서 곡물을 移動시키는 장치 또는 投入, 排出하는 장치, 곡물의 品質損傷을 막기위한 調節裝置, 그리고 安全裝置 등으로 構成되어 있다.

乾燥裝置에는 여러가지 種類가 있으나 穀物乾燥用에는 두가지로 크게 나눌 수 있다. 即 穀物을 移動시키지 않고 정지상에서 건조시키는 方法과 곡물을 이동시키면서 건조시키는 方法이 있다. 우리나라의 平面式乾燥機가 前者에 속하며 循環式乾燥機는 後者에 속한다. 平面式은 構造 및 操作이 간단한 利點이 있으나 熱風이 한 方向에서만 通過하기 때문에 곡물의 堆積두께가 두꺼울 경우에는 上下層間의 含水率의 差異가 크게 나타나고 따라서 均一한 乾燥가 이루어지지 않는다는 點이다. 이와같은 差異는 熱風溫度가 높을 때, 곡물의 堆積두께가 30cm 이상으로 너무 두꺼울 때, 初期含水率이 20% 이상 훨씬 넘을 때, 堆積重量當送風量이 너무 적을 때 더욱 심하게 나타난다. 그리고 含水率의 차이가 크게 나타나면 비록 곡물 全體의 平均含水率이 낮다 하더라도 저장중에 곡물이 부패되기 쉬우므로 可能하면 均一하게 건조시키도록 乾燥作業中 한두번 섞어 주는 方法을 擇하는 것이 좋다.

이와같은 短點을 줄임과 同時에 乾燥能力을 크게 하기위한 乾燥機가 循環式乾燥機이다. 이것은 穀物이 自動的으로 엘리베이터에 의하여 순환되면서 特殊한 熱風裝置에 의하여 乾燥가 進行된다. 따라서 乾燥狀態가 均一하게 될뿐만 아니라 穀물의 種類, 作業量, 含水率에 따라 循環速度를 調節할 수 있기 때문에 効果적인 作業을 할 수 있는 利點이 있으나 購入價格이 비싸기때문에 可能하면 作業量을 늘려 稼動時間을 높이는 것이 바람직하다.

이밖에 先進國에서는 鋼鐵빈(bin)을 이용하여 自然空氣 또는 熱風을 이용한 乾燥方法이 널리 이용되고 있으며 冷却過程 및 貯藏이 같은 빈에서 同時에 이루어지도록 되어 있다. 빈에 循環裝置, 自動排出裝置 등을 附着한 것도 있다.

8. 結 言

乾燥作業은 앞에서 설명한 바 있는 여러가지 目的에 副應하기 위하여 보다 優秀한 乾燥裝置를 必要로 하며 이때 乾燥能力, 價格, 操作의 簡便과 安全, 乾燥溫度의 調節, 均一한 乾燥作業 등을 고려하여 선택하여야 한다. 그러나 一般的으로 需要者는 乾燥時間만을 重要視하여 너무 높은 溫度를 사용하므로써 穀물이 過乾燥가 된다든지 또는 너무 많은 熱風量을 使用하여 乾燥速度가 너무 빨리 進行되므로 因하여 穀物의 品質에 큰 損傷을 입히는 結果를 자주 招來하고 있다. 結論的으로 빠른 乾燥作業이 最上의 것이 아님을 強調하며 以上의 基本的인 知識이 乾燥問題를 다스리나마 이해하는데 도움이 되기를 바란다.

穀物の貯藏·乾燥·管理에 관한 短期講習會 및

韓國의 食糧貯藏問題에 관한 세미나 盛了

서울大學校附設 農業開發研究所와 農水產部가 共同主催하고 美國 Kansas州立大學校의 食糧 및 飼料研究所가 後援한 「穀物の貯藏·乾燥·管理에 관한 短期講習會」와 「韓國의 食糧貯藏問題에 관한 세미나」가 開催되었다.

短期講習會는 農水產部를 비롯하여 各市道, 農產物檢査所, 農村振興廳, 農協中央會, 韓國糧穀保管協會, 大韓運送 등의 糧穀管理實務者 60餘名을 對象으로 3月 20일부터 25일까지 1週日間に 걸쳐 서울大學校 農科大學에서 實施되었으며 講議의 大部分은 Kansas州立大學校 農業工學科 教授이며 收穫後作業技術에 관한 世界的인 權威인 丁道燮博士와 同大學의 農業 昆虫學科 教授인 R. Mills博士가 擔當하였으며 서울大學校 農科大學의 鄭昌柱 博士, 趙鏞涉 博士, 高學均 博士 및 農產物檢査所의 김희갑 博士가 部分的으로 擔當하였다.

또한 서울大學校 冠岳캠퍼스 教授會館에서 3月 27일부터 29일까지 3日 동안 開催된 「韓國의 食糧貯藏問題에 관한 세미나」에는 各大學의 農工學科 教授를 위시하여 糧穀貯藏關係 專門家 30餘名이 參席한 가운데 서울大學校 副總長 高炳翊 博士의 歡迎辭,

農業開發研究所長 吳殿國 博士의 開會辭에 이어 서울大學校 農科大學 李殷雄 博士, 農水產部 糧穀管理局 河龍珠局長, 서울大學校 農科大學 鄭昌柱 博士, Kansas州立大學 丁道燮 博士, Kansas州立大學校 Phillips 博士 의 主題發表가 있었다.

主題發表 가운데 특히 Phillips博士의 「뎡글라다쉬」를 例로한 國家 또는 國際間地域的 糧穀備蓄事業의 妥當性分析에 관한 發表內容은 關係 專門家들의 큰 關心을 불러 일으켰고 우리나라 糧穀貯藏의 技術開發 및 政策方向에 관한 綜合的인 討論이 이루어졌다.

서울大學校 農科大學의 鄭昌柱, 高學均 두 教授의 主導下에 이루어진 本講習會와 세미나는 史上類例없는 米穀을 生産하므로써 食穀貯藏問題가 深刻하게 臺頭되기 始作한 時點에서 이루어졌고 특히 世界的으로 널리 알려진 Kansas州立大學校 食穀飼料研究所의 後援下에서 次元 높은 內容이 다루어졌으며 우리나라에서 最初로 收穫後 作業技術開發과 政策方向을 廣範圍하게 論議할 수 있었던 點에 이 講座와 세미나의 意義가 있었다.