

고추의 熱風乾燥特性

全在根 · 金 恭 煥

서울대학교 農科大學 食品工學科

(1974년 3월 15일 수리)

The Characteristics of Hot Air Drying of Red Pepper

Jae Kun Chun and Kong Hwan Kim

Department of Food Technology, College of Agriculture
Seoul National University

(Received March 15, 1974)

Summary

Hot air thin layer drying method was studied for red pepper, *Capsicum annum var. longum* as the whole and cut pod states, at various temperature and air velocities.

Drying curve of whole pod showed a settling down period followed by the first and second falling rate periods. By lowering the drying temperature, the first falling rate period approached to a constant rate one. Cut drying curve had simple falling rate period and also cut drying method could effectively shorten the drying time.

Drying rate constant, k , was varied with time for both the drying methods and the plots of k vs. time in two methods suggested the different drying mechanisms. When an average k was taken as a constant value, the following equations; $M - M_e / M_0 - M_e = e^{-0.118t}$ and $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.342t^{0.128})$ were applicable for whole and cut drying, respectively.

1. 序 言

우리나라 中部地方에서의 고추수확기는 8月中旬부터 9月末까지로, 수확된 고추는 곧 乾燥에 들어가게 된다. 現行 고추의 乾燥方法은 주로日光露天乾燥에 依存하고 있으며 극히 一部에서 穀物乾燥機등을 利用한 火力乾燥方法을 쓰고있다. 고추를 수확하는 期間中 맑은 날을 보면 서울地方이 30年平均(1931—1960) 8月中 3日, 9月中 6日, 10月中 11日 밖에 안된다.⁽¹⁾ 그런데 露天乾燥를 할 경우 고추의 乾燥期間은 7~8日을 要하므로 平

均 2~3日은 不利한 氣象條件下에서 乾燥를 하게 된다. 고추의 乾燥가 지연되면 고추의 腐敗와 變質을 招來하게 되며 結果的으로 經濟的 損失이 커진다. 더우기 고추는 우리나라 食品의 調味料 및 食品 材料로 광범위하게 使用되며 洗淨이나 殺菌의 過程을 거치지 않기 때문에 衛生的인 面에서도 하루 속히 乾燥方法의 改善이 要望되고있다. 最近 一部에서는 고추乾燥에 穀物乾燥機를 應用하고 있으나 品質이 떨어진다는 理由등으로 忌避하는 傾向이 있다. 이같은 事情때문에 人工乾燥過程에서 고추가 지나는 食品으로서의 特性을 考慮

한 乾燥條件의 選擇이 必要하다. 高추의 乾燥에 關한 研究에서 Lease 等⁽²⁾은 美國産 高추의 最適 乾燥溫度와 乾燥에 따르는 色素의 變化등을 보았으나 高추의 乾燥特性에 關한 研究은 되어있지 못하다. 특히 高추를 乾燥하기에 앞서 前處理方法을 導入함으로서 보다 效率인 乾燥方法을 開發할 必要가 있다. 國內에서의 報告로는 金等⁽³⁾의 穀物 乾燥機를 利用한 高추의 乾燥를 들 수 있다. 著者等은 食品工學的 見地에서 高추 乾燥條件의 選擇을 目的으로 于先 高추의 乾燥特性에 對한 實驗結

果를 報告하는 바이다.

2. 實驗方法 및 材料

〈乾燥裝置〉

本 研究에서 使用한 乾燥裝置는 일련의 高추 乾燥特性을 調査할 目的으로 設計, 製作하였으며 그 構造는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 乾燥室, 加熱裝置, 送風裝置, 溫度調節 및 測定裝置와 溫度測定裝置로 되어있다. 乾燥室은 一定 溫度로 加熱된

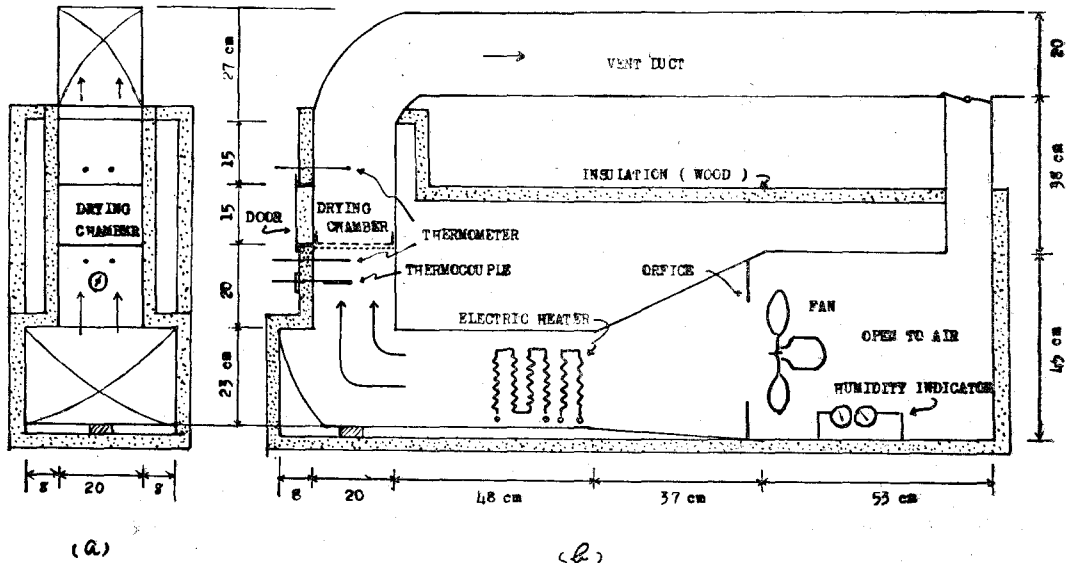


Fig. 1. Schematic Diagram of Dryer a) Drying Chamber Side View b) Front View

空氣가 一定 速度로 乾燥試料에 垂直으로 高추 通過되도록 設計하였으며 高추試料 約 400g을 薄層으로 乾燥할 수 있는 20×20cm의 試料架를 裝置할 수 있도록 하였다. 加熱方法은 電熱로 하였고 溫度의 調節은 thermocouple relay(±1°C)로 하였다. 한편 送風은 axial blade fan(4 fans, 9.8cm×12cm, 100V, 50W, 1500rpm)으로 하고 風速은 여러가지 orifice로 調節하였다.

〈試料〉

乾燥用 高추試料로는 韓國在來種인 *Capsicum annum var. longum*으로 水原所在 서울大學校 農科大學 農場에서 1973年 2月 18日에 播種하여 栽培한 것으로 8月 20日부터 熟成赤果中 比較的 크기와 모양이 비슷한 것을 수확하여 使用하였다. 꼭지는 約 5mm 정도만 남기고 除去하였다.

〈水分의 定量〉

試料의 秤量은 dial balance(0.1g sensitivity)로 하였고 水分含量(M%)은 乾物基準(dry basis, D.

B.)으로 表示하였다. 平衡水分含量(equilibrium moisture content, Me)은 乾燥條件下에서 더 이상 무게의 減量을 나타내지 않을 때의 水分含量으로 하였다.

〈溫度, 風速, 濕度の 測定〉

溫度는 乾濕 alcohol 溫度計(0°C~100°C)를 乾燥室內에 裝置하여 測定하였고 風速은 試料架上에서 Florite Model MLD air velocity meter로 測定하였으며 濕度는 psychrometric chart로부터 換算하였다.

3. 結果 및 考察

高추 乾燥에 미치는 各種 要因들中에서 重要한 것은 溫度, 熱風의 速度 및 大氣의 濕度등을 들 수 있다. 그런데 高추의 構造를 보면 果皮, 種子, 胎座 및 꼭지로 되어있으며 高추를 乾燥한다는 것은 이들中에 含有한 水分을 果皮를 통해 擴散除去하는 것이기 때문에 果皮를 切斷하여 內部를 露出케

하면 水分擴散抵抗을 크게 減少시킬 수 있게 된다. 따라서 實際 高추 乾燥에 이 같은 切斷 乾燥方法 適用할 수 있는 資料를 얻기 위하여 原形고추 乾燥와 相互 比較하였으며 溫度, 風速 등의 影響과 이들의 乾燥機作上的 特性을 보면 다음과 같다.

〈고추의 原形 및 切斷乾燥에 溫度가 미치는 影響〉

乾燥室內로 送風되는 熱風의 速度를 1.8m/sec로 하고 最低 55°C로부터 最高 80°C까지 여러가지 溫度下에서 乾燥하였을 때 原形 및 切斷고추의 乾

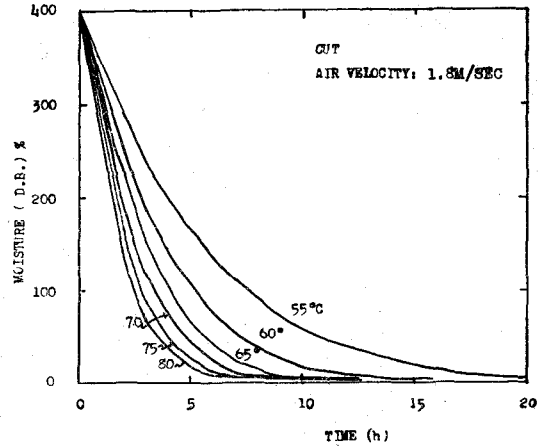
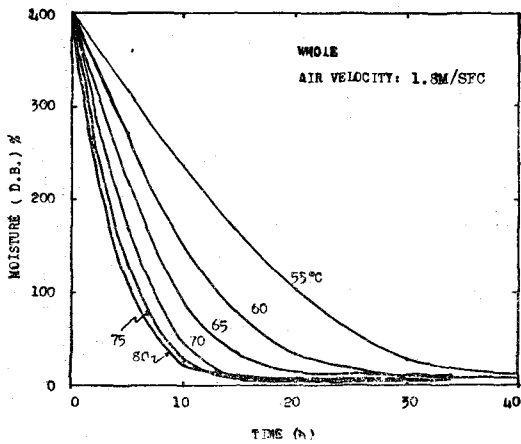


Fig. 2. Drying Curve of Red Pepper for Whole(a) and Cut(b) Drying

燥曲線들은 Fig. 2-a, b와 같았다. 即 (各 溫度下에서) 乾燥에 所要되는 時間을 比較해 볼때 乾燥物의 水分含量이 15%에 이르는 時間은 顯격한 差異를 보였다. 即, 最低溫度인 55°C에서는 原形乾燥로 35時間, 切斷乾燥로는 12時間이 所要되어, 2倍以上 乾燥時間의 短縮을 보였고 最高溫度인 80°C에서는 16.5時間을 5.5時間으로 約 3배의 短縮效果를 보였다. 乾燥速度를 時間에 對하여

圖示한 Fig. 3-a, b를 보면 原形 및 切斷乾燥의 樣相을 알 수 있다. 即 原形乾燥의 경우 乾燥初期의 安定期(settling down period)를 가지며 高溫인 80°C, 75°C, 70°C에서는 恒率乾燥期를 거치지않고 바로 減率乾燥期로 들어가는데 比해 熱量投入이 적은 低溫乾燥일수록 어느정도의 恒率乾燥의 樣相을 갖고 있어서 臨界水分含量에 이르는 時間도 상당히 길어졌다. 한편 切斷乾燥의 경우는 安定期

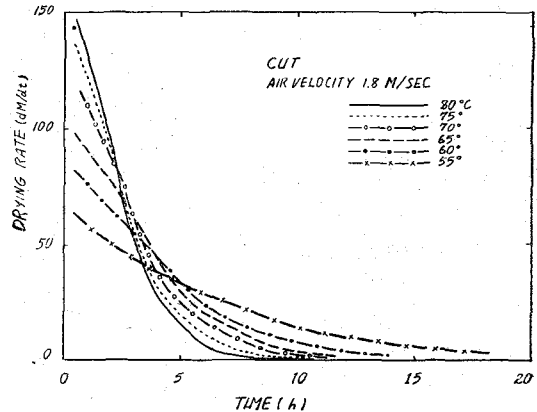
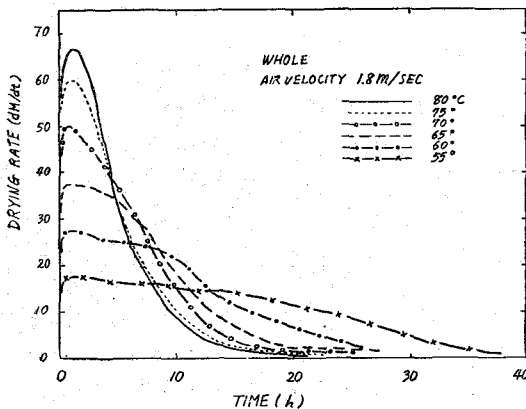


Fig. 3. Drying Rate* Curve of Red Pepper for Whole(a) and Cut(b) Drying

* moisture (%) difference per hour

없이 곧 減率乾燥期에 들어가는 對照的 乾燥 速度 曲線을 보였다. Fig. 4-a, b는 乾燥速度를 水分含量

에 對하여 圖示한 것으로 兩乾燥方法 사이의 差異를 쉽게 알 수 있다.

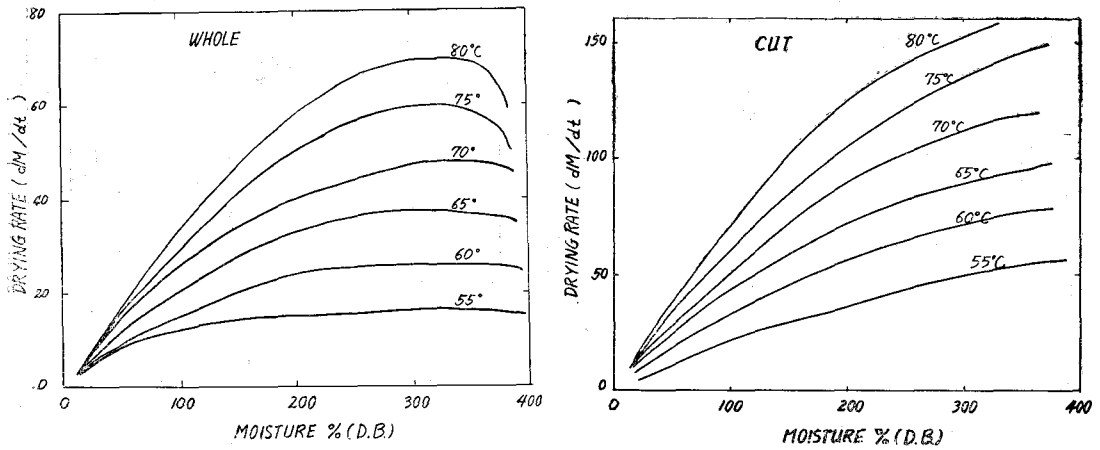


Fig. 4. Drying Rate vs. Moisture Content for Whole(a) and Cut(b) Drying

〈熱風速度가 고추의 原形 및 切斷乾燥에 미치는 影響〉

以上에서 본 바와 같이 고추의 乾燥樣相이 減率 乾燥樣相을 보이고 있으므로 原形乾燥의 경우 風速이 乾燥速度에 別영향을 주지 못함은 自明하다.

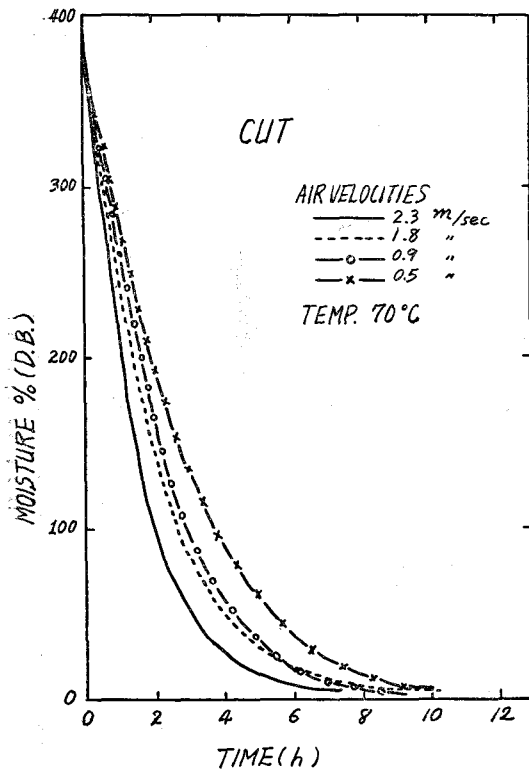


Fig. 5. Drying Curve for Various Air Velocities

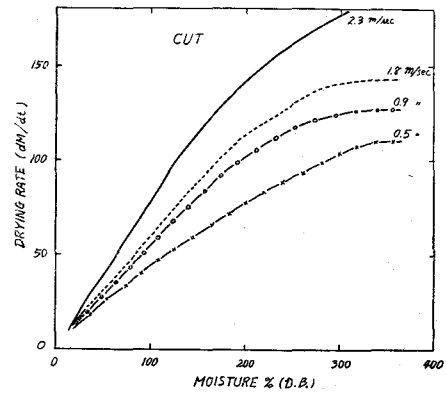
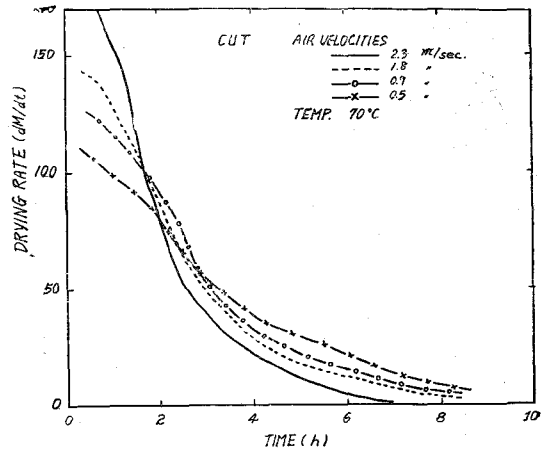


Fig. 6. Velocity Effect on Cut Drying
Drying Rate vs. Time(a) and Drying Rate vs. Moisture Content(b)

그러므로 初期乾燥速度가 急激한 切斷乾燥에 對해서만 風速의 影響을 보기 위하여 70°C 下에서 乾燥할때 Fig. 5 및 Fig. 6-a에서 보는 바와 같은 結果를 얻었다. 즉 風速은 初期 2時間 乾燥速度에 뚜렷한 影響을 보였으며 2時間을 起點으로 乾燥速度가 80~100으로 거의 一定한 값에 도달하면 뚜렷한 影響이 없이 乾燥가 進行되므로 切斷乾燥을 行할 경우 初期乾燥期間中 風速의 增加는 效果의 印을 보여 주었다. 乾燥速度에 미치는 風速의 影響을 水分含量基準으로 볼 때 Fig. 6-b와 같이 水分含量이 100%(dry basis)程度에 달할 때까지는 그 影響이 뚜렷하였으나 그 以後는 微弱하였다. 고추의 品質에 미치는 影響은 化學的 分析 없이는 論하기 곤란하므로 오직 外觀上 赤色變化만을 觀察하였다. 乾燥고추의 赤色色素는 乾燥溫度가 높을수록 검은색을 많이 나타내었으며 原形고추는 75°C 以上, 切斷 고추는 80°C 以上일때 黑赤色을 띠었다. 한편 切斷고추의 경우는 酸化作用에 依한 部分的 脫色現象이 일어나므로 이를 防止하는 適切한 處理方法이 研究되어야 할 것이다. 따라서 高추를 火力乾燥方法으로 乾燥시킬때 乾燥溫度를 70°C 以下에서 行한다면 日光乾燥 高추에 비해 조금도 손색이 없었으며 오히려 高추가 전혀 腐敗되지 않기 때문에 良質의 乾燥高추를 얻을 수 있었다.

〈고추의 乾燥理論〉

고추는 그 形態가 원통형이라고 볼 수 있으나 상당히 不規則하며 多樣하다. 또한 構造 역시 物理化學的 性質이 다른 種子, 胎子, 果皮 및 꼭지로 되어 있어서 매우 複雜하다. 따라서 乾燥理論을 數式化한다는 것은 매우 힘들다. 그러나 構造 및 形態가 均一한 食品類나 穀物에 對해 理論적으로 確立된 減率乾燥期의 關係式에 適用시켜 봄으로써 대략적인 乾燥機作을 究明코자 하였다. 即 減率乾燥期에 있어서 水分의 移動은 Fick's law ($\frac{\partial M}{\partial L} = D \frac{\partial M}{\partial t}$)에 따르는 것으로 알려져 있으며 Sherwood(1929)⁽⁴⁾ 등에 의하여 解析된 바 있고 Marshall and Friedman⁽⁵⁾ 은

$$-\frac{dM}{dt} = \frac{\pi^2 D}{4L^2} (M - M_e) \dots\dots\dots ①$$

where

- M: Moisture content (D.B.)%
- t: Time(hr)
- D: Liquid diffusivity of the solid material
- M_e: Equilibrium moisture content(D.B.)%
- L: One half of the thickness of the solid layer

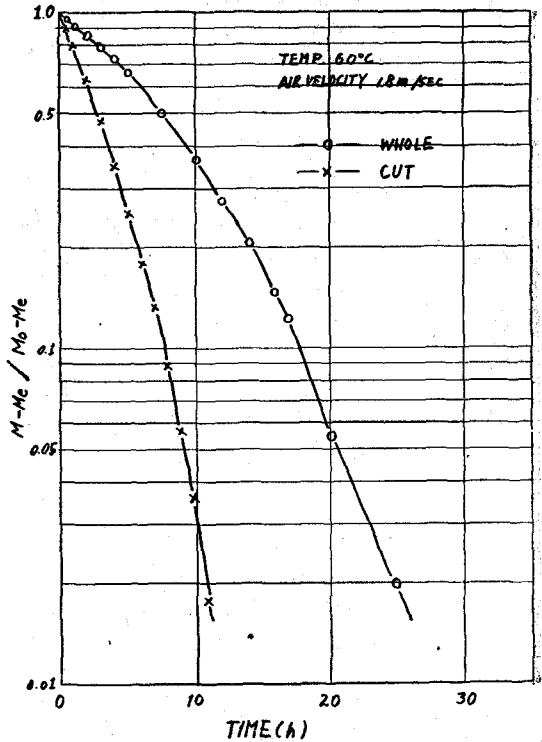


Fig. 7. log (M - M_e / M₀ - M_e) vs. Drying Time Plot 式을 確立하였다. 그런데 D 및 L 값의 變化가 없는 條件下에서는 $\frac{\pi^2 D}{4L^2} = k \dots\dots\dots \text{constant}$ 가 되어

①式은 $-\frac{dM}{dt} = k(M - M_e)$,

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt} \dots\dots\dots ③$$

으로 表示될 수 있으며 一部 穀物에는 ④式

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-k_0 t^\mu} \dots\dots\dots ④$$

where μ : empirical constant

이 適用된다고 알려져 있다⁽⁶⁾. 따라서 60°C, 1.8m/sec에서 行한 原形 및 切斷乾燥의 結果(table 1)를 分析하면 Fig. 7에서 보는 바와같이 ③式에 根據하여 plot 한 結果 一定 k 값을 보이지 못하고 Fig. 8에서 처럼 k 값은 乾燥時間에 따라 계속 變化되었으며 그 關係는 原形乾燥의 경우를 보면

$$k_w = 6.5 \times 10^{-2} + 0.0035t \dots\dots\dots ⑤$$

where k_w : drying rate constant in whole drying 로 表示할 수 있었고 切斷乾燥의 경우 k 값의 變化는 더욱 심했으며 乾燥가 거의 끝나는 10時間을 前後하여 서로 다른 關係를 나타냈다. k 값은 乾燥期間 동안 1.4~2 倍의 增加를 보였으며 이는 果皮두께(L)의 變化에 기인된 것으로 이에 대한 보

Table 1. Experimental Data for Red-pepper Drying

Drying temperature : 60°C
 Air velocity : 1.8ft/sec
 Ambient relative humidity
 55~70% for whole drying
 52~65% for cut drying

Time(hour)	Moisture Content(% dry basis)	
	Whole	Cut
0	400.0	400.0
1	373.3	319.7
2	346.6	251.5
3	319.9	192.4
4	294.7	142.1
5	269.1	105.1
6	243.5	76.7
7	218.5	57.2
8	194.4	40.1
9	172.2	27.8
10	151.0	19.4
11	132.4	12.8
12	115.0	9.0
13	99.9	6.9
14	88.5	6.1
15	76.6	5.4
16	65.3	5.4
17	55.8	
19	40.6	
21	29.3	
23	21.2	
25	15.5	
27	12.1	
29	10.2	
31	8.7	
33	7.8	
35	7.5	
37	7.5	

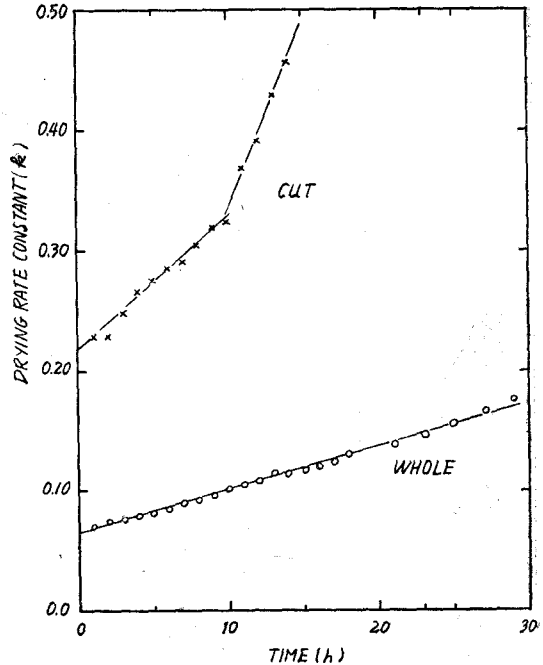


Fig.8. Drying Rate Constant (*k*) vs. Drying Time Plot

므로 더욱 複雜하여 *k* 값의 變化는 時間에 對하여 指數函數의 關係를 갖는 것으로 보아 平均 *k* 값 (0.342, Fig.8 참고)을 취하여 ④式에 비교코자 Fig.9 와 같이 圖示한 結果 $\mu=0.128$ 의 값을 구할 수 있었다. 따라서 liquid diffusivity가 一定한 값을 갖는다는 가정下에서 ④式은 다음과 같이 表示될 수 있었다.

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-0.342t^{0.128}) \dots\dots ⑦$$

그러나 以上の ⑥, ⑦式은 이들 乾燥의 完全한 關係式일 수는 없겠으나 切斷乾燥와 原形乾燥와 相異한 乾燥機作을 따른다는 結論을 내릴 수 있다. 본 실험은 濕度를 制御하지 않은 條件下에서 行하였으나 大氣濕度가 70~80% 범위내에서 行한 結果이고 이 정도의 變化는 실제 乾燥曲線에 別로 영향을 주지 못하였으며 M_e 값은 反復實驗의 平均 値로 하였다.

다 正確한 규명은 L값을 測定하여 Fick's law(①式)에 適用하려 했으나 실제 L값을 測定하기가 곤란하므로 *k*값을 平均値 (0.118)로 볼때만 原形乾燥의 경우 ⑥式의 適用이 可能하였다.

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = e^{-0.118t} \dots\dots ⑥$$

0.118=average *k* value

한편 切斷乾燥의 경우는 果皮가 兩面 모두 露出될 뿐 아니라 種子, 胎座등의 乾燥가 同時에 進行되

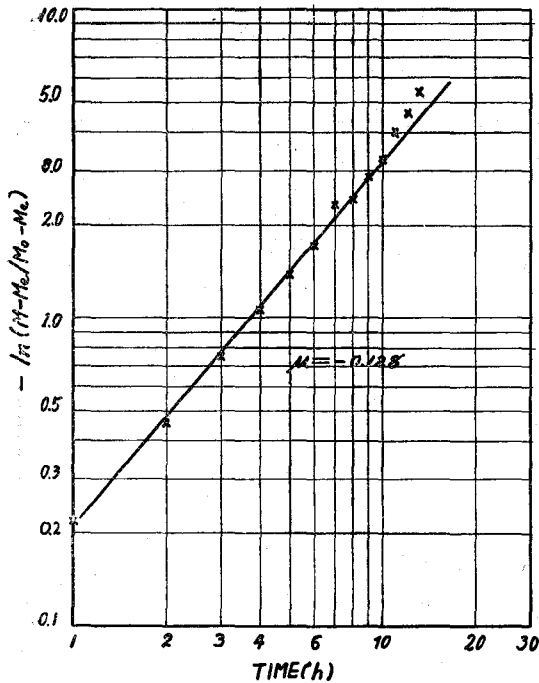


Fig. 9. Graphical Determination of μ -value

4. 要 約

고추 乾燥方法의 改善 및 乾燥特性을 알기 위하여 原形 및 切斷고추에 對하여 溫度 및 風速의 影響을 調査하고 高추 乾燥機作을 考察하였다.

1) 原形고추 乾燥曲線의 特徵은 乾燥初期에는 어느程度의 settling down period를 가졌고 그 이후 第一, 二期 減率乾燥期를 보였으나 低溫乾燥일수록 恒速乾燥樣相을 띠어 臨界水分含量에 이르는 時間이 最低溫度인 55°C에서 15時間이나 되었다.

2) 切斷고추의 乾燥曲線에서는 乾燥速度의 變化

가 急激하였다.

3) 切斷고추의 乾燥方法은 原形乾燥에 비해 보다 效果의이어서 各 乾燥溫度에서 모두 約 2倍 以上の 乾燥時間을 短縮할 수 있었다.

4) 原形 및 切斷乾燥 모두 乾燥速度常數(k)값은 一定하지 않고 時間에 따라 變化하였으나 兩乾燥方法에서 k 값의 時間에 對한 變化樣相이 區別되었다

5) 乾燥速度常數 k 값을 一定한 平均值로 擇할 경우,

原形乾燥에 對하여는

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = e^{-0.118t} \text{ 式이}$$

切斷乾燥에 對하여는 $\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-0.342t^{0.128})$

式이 적용되었다.

5. 謝 意

이 研究는 文敎部 學術助成研究費로 行하였으며 研究隨行에 助力한 鄭建君과 乾燥機의 製作에 도움을 주신 鄭昌柱교수, 高추試料를 供給해 주신 李炳駟교수에게 謝意를 表합니다.

6. 參 考 文 獻

- 1) 중앙관상대: 한국기후포 p.45 (1968)
- 2) J.G. Lease and E.J. Lease; Food Technology 16 (11) 104-6 (1962)
- 3) 한성급, 김성래, 전용운, 류관희; 농림부 농공이용연구소 시험연구보고서 p.273 (1970)
- 4) T.K. Sherwood; Ind. Eng. Chem. 21 976 (1929), 22, 132 (1930), 24, 307 (1932)
- 5) W.R. Marshall and S.J. Friedman; "Chemical Engineer's Handbook" (J.H. Perry ed.) p.807 McGraw-Hill, New-York
- 6) Carl, W. Hall; "Drying Farm Crops" p.254 Edwards Brothers Inc. (1958)