

말쥐치肉의 乾燥特性

李 炳 昊

東義工業專門大學 食品工業科
(1982년 1월 10일 수리)

Drying Characteristics of Filefish Fillet

Byeong Ho Lee

Department of Food Technology, Dongeui Technical Junior College
(Received January 10, 1982)

Abstract

Constant rate period, falling rate period and diffusion coefficient using filefish fillet as sample during drying in hot air drier were determined under controlled conditions of temperature, humidity and air velocity.

Drying rate curve consisted of a short period of constant rate and two stages of falling rate period.

When 1 to 3m/sec of air velocities were applied, diffusion coefficients were in the range of 1.9130 to 2.6187 X 10⁻⁶ cm²/sec at 50°C, 2.4806 to 3.5342 X 10⁻⁶ cm²/sec at 60°C and 4.3405 to 5.3042 cm²/sec at 70°C, respectively.

Available lysine content was decreased by 15%, 16% and 20% in the fillet dried at 50°C, 60°C and 70°C, respectively.

序 論

乾燥法은 加工過程이 簡便하고, 成分의 濃縮으로 風味效果를 높힐 수 있을 뿐만 아니라, 貯藏性 또한 크기 때문에 우리나라의 食品加工業界에서는 옛날부터 널리 行하고 있는 方法이다.

그러나 아직도 非能率의이고 非衛生的인 天日乾燥法에 依存하고 있으므로, 生産效率의 向上을 爲하여는 機械의 人工乾燥方法의 導入이 切實하며, 機械의 乾燥方法에 있어서의 乾燥特性에 關하여는 많은 論文이 發表되어 있다.

Lee¹⁾는 콩을 試料로 하여, 그리고 Jung²⁾은 고구마를 試料로 각각 乾燥特性을 報告하였으며, Saravacos와 Charm³⁾은 과일과 채소의 乾燥特性을 調査 發表하였다. 또 Kim과 Shon⁴⁾은 脫脂糠의 乾燥를 위하여 試驗規模의 乾燥機를 製作하여 乾燥條件을 研究 報告하였으며, Hwang-bo와 Shon⁵⁾은 米糖의 乾燥特性과 回

轉乾燥機의 乾燥效率에 關하여 發表하였다.

Lee⁶⁾는 고구마의 乾燥特性을 形態에 따라 研究하여 乾燥中의 內部水分의 移動은 Fick의 第2法則에 따라 表面을 向한 擴散이 일어난다고 報告하였다.

Brennan⁷⁾은 대구肉을 熱風乾燥한 結果 減速乾燥區間에 있어서는 Fick의 第2法則에 의한다고 發表하였다.

本 研究은 沿近海漁業에서 特히 漁獲高가 높고 乾製品으로 主로 加工되고 있는 魚種인 말쥐치를, 品質과 能率面에서 뛰어난 人工乾燥法을 導入하기 위하여, 基礎試驗으로써 熱風乾燥를 위한 溫度와 風速을 몇 段階로 달리 했을 때의 乾燥特性에 該當하는 몇가지 條件을 實驗 檢討하였기에 報告한다.

材料 및 方法

1. 材 料

市販 말쥐치 *Novodan modestus*를 脫皮하여 肉片

(fillet)을 떼서 Fig. 1에 나타낸 乾燥機 속의 tray에 담아 乾燥特性에 관한 實驗을 하였다.

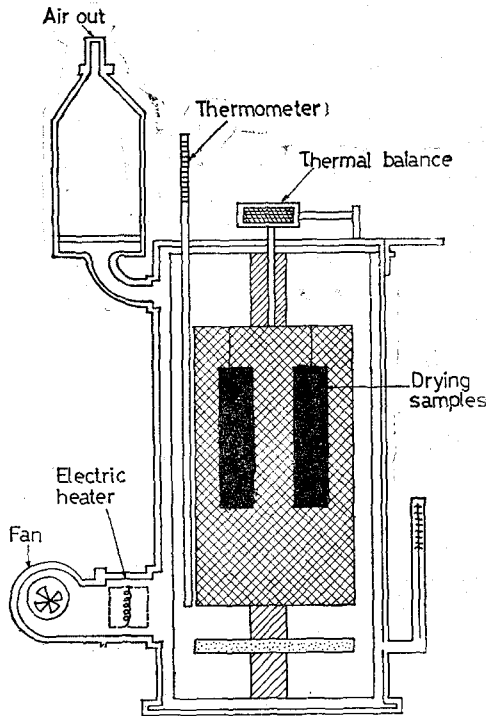


Fig. 1. Schematic drawing of experimental drying apparatus.

2. 乾燥實驗

試料肉片 10×5×1.1cm의 크기로 잘른 것을 秤量한 다음 2片씩을 乾燥機(日本島律製作所製, SM type)에 넣고 風速 1, 1.5 및 3m/sec와 溫度를 50°C, 60°C 및 70°C로 變化시키면서 直示天秤을 使用하여 初期에는 每分 간격으로, 그리고 乾燥 30分 後부터는 30分 간격으로 乾燥減量을 秤量하였다.

平衡水分含量은 乾燥後에 繼續 90分間 試料의 含水率의 變化가 없을 때의 水分含量을 基準으로 하였다. 그리고 乾物의 重量은 試料中の 水分含量이 平衡水分含量에 이른 試料를 105±5°C의 乾燥爐中에서 3時間 동안 乾燥 恒量에 이른 것을 計算 乾物重量을 나타내었다.

3. 分析方法

1) 一般成分

試料中の 水分, 灰分, 相蛋白質 및 粗脂肪은 AOAC 法⁸⁾으로 測定하였다.

2) 有効性라이신量的 測定

Carpenter⁹⁾등의 方法으로 다음의 段階에 따라 測定 하였다.

1 단계—시료 약 2g을 分解用 플라스크에 取하여 8% NaHCO₃ 용액 8ml를 加하고 잘 혼든 다음 2.5% FDNB (1-fluoro-2,4-dinitrobenzen)—에탄올 용액 12ml를 加하고 暗所에서 2時間 攪拌하여 디니트로페니화 (dinitrophenyl, DNP)하였다. DNP 化한 試料는 沸騰 水槽에서 끓여 에탄올을 除去한 다음 0.1N HCl 24ml를 加하여 모래중탕(sand bath, 110°C)으로써 16시간 분해여과한 후에 200ml로 定容하였다.

2 단계—위에서 DNP 化한 시료용액을 마개달린 시험관 A, B 및 코니컬 비이커 C에 각각 2ml씩 取하고 에테르 5ml로 두 번 抽出한 다음 남은 에테르를 除去하여 試驗管 A의 DNP 化한 용액을 1N HCl 로써 10ml로 定容하였다.

3 단계—코니컬 비이커 C의 용액은 페놀프탈레인 지시약을 써서 10% NaOH 용액으로 滴定하여 中和에 所要된 알칼리의 量을 안 다음, 소비된 10% NaOH 해당 량을 시험관 B에 加하고 pH 8.5 NaHCO₃ 완충액 2ml를 加하였다. 여기에 염화메톡시카르보닐 (methoxycarbonyl chloride) 0.05ml를 加하여 振盪한 후에 진한 염산 0.75ml를 加하였다. 다음에 에테르 5ml로 두 번 추출하고 에테르를 除去한 後에 蒸溜水로써 定容하였다.

4 단계—2 단계와 3 단계의 各 정용량을 435nm에서 흡광도를 測定하고, 別途로 DNP-lysine 標準液에 對하여도 吸光度를 求하여 위의 (A-B) 값을 標準液의 吸光度와 比較하여 有効라이신의 含量을 求하였다.

試料中の 有効라이신의 계산에 있어서는 本實驗法에 依한 加水分解時의 有効라이신의 손실량은 표준 DNP 化라이신으로 미리 검정한 結果 8%이었으므로 실험에서 얻은 값에 1.09를 곱하여 계산하였다.

3) 확산계수의 결정

本 실험의 乾燥現象은 毛細管現象과 擴散에 依하여 일어난다고 가정할 때 모세관현상에 의한 수분전조속 도식은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= -K(w-w_e) \\ \text{또는} \\ \frac{dw}{w-w_e} &= -K \cdot dt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ①$$

①에서 t=0, w=w_c로부터 t=t까지 적분하면

$$\ln \frac{w-w_e}{w_c-w_e} = -K \cdot t + C_1 \dots\dots\dots ②$$

이 된다. 또 sherwood¹⁰⁾는 미분관형이 수없이 겹쳐진 고체식품의 한쪽면에서 水分蒸發에 의한 乾燥가 일어나고 擴散現象에 의한 乾燥일 때 Fick의 제2법칙 $\frac{\partial w}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$

에서 다음 식 ③을 유도하였다.

$$\frac{w-w_e}{w_c-w_e} = \frac{8}{\pi^2} [\exp\{-D \cdot t(\pi/2d)^2\} + \frac{1}{9} \exp\{-D \cdot t(\pi/2d)^2\} + \frac{1}{25} \exp\{-D \cdot t(\pi/2d)^2\} + \dots] \dots\dots ③$$

위 식은 t가 大端히 큰 값일 때

$$\frac{w-w_e}{w_c-w_e} \approx \frac{8}{\pi^2} \exp\{-D \cdot t(\pi/2d)^2\}$$

혹은

$$\ln \frac{w-w_e}{w_c-w_e} = \ln \frac{8}{\pi^2} - D \cdot (\pi/2d)^2 \cdot t \dots\dots\dots ④$$

로 되며 $\frac{w-w_e}{w_c-w_e} < 0.6$ 이면 감속건조에 잘 適用된다.

실제 實驗에서 이 값은 0.6 이하였다 (Table 4).

식 ②, ④를 서로 比較하면

$$K = D \cdot (\pi/2d)^2$$

$$C_1 = \ln \frac{8}{\pi^2} \text{ 로 두었을 때 서로 잘 일치된다.}$$

따라서 식 ④의 $\ln \frac{w-w_e}{w_c-w_e}$ 를 t에 대하여 반대수방안에 圖示하면 直線이 되고 slope는 $-D(\pi/2d)^2$ 이고 절편은 $\ln \frac{8}{\pi^2}$ 이 된다.

$\ln \frac{w-w_e}{w_c-w_e}$ 의 t에 대한 直線部의 slope를 圖示적으로 求하여 다음 ⑤式으로부터 乾燥擴散係數 D를 計算하였다.

$$\text{slope} = \frac{\ln\left(\frac{wt_1-w_e}{w_c-w_e}\right) - \ln\left(\frac{wt_2-w_e}{w_c-w_e}\right)}{t_2-t_1} = D \cdot (\pi/2d)^2 \dots\dots\dots ⑤$$

또

$$\Delta t = \frac{\ln\left(\frac{wt-w_e}{w_c-w_e}\right)}{D \cdot \left(\frac{\pi}{2d}\right)^2} \dots\dots\dots ⑥$$

가 된다.

結果 및 考察

1. 生試料의 成分과 乾燥條件에 따른 成分變化

Table 1에서 보는 바와 같이 試料고기에는 脂肪含量이 0.35%로서 脂肪含量이 적은 대구(0.6%), 명태(0.9%)보다도 더 적고, 상대적으로 蛋白質含量이 많아서 乾燥中 脂肪의 酸敗나 油燒(oil-rusting) 現象같은 것이 極히 적은 原料로써 乾燥食品製造에 適當하다고 볼 수 있다. 乾燥過程에서 成分變化는 Table 1과 같이 거의 없었다.

한편 건조온도에 따라 蛋白質을 構成하는 라이신 등은 활성이 강한 아미노라디칼(E-amino radical)을 가지고 있어 熱處理나 그밖의 加工貯藏中에 不用化된다는 報告¹¹⁾가 있으며, 그 結果 蛋白質의 營養價는 많은 影響을 받는 것으로 알려져 있고 有効性라이신을 測定해 본 結果 Table 1과 같이 生試料에 比하여 50°C

Table 1. Chemical compositions of raw and dried filefish fillet

	(dry basis %)			
	Crude fat	Crude protein	Ash	Available lysine (g/100g)
Raw sample	1.62	91.66	6.72	6.82
Drying sample at 50°C	2.61	89.57	7.82	6.51
Drying sample at 60°C	2.75	91.55	5.70	6.42
Drying sample at 70°C	2.95	89.86	7.19	5.46

에서 乾燥한 것은 16%, 70°C에서 乾燥한 것은 20% 정도로 건조온도에 따라 減少됨을 볼 수 있다.

2. 平衡含水率과 乾燥條件

Table 2에 나타난 바와 같이 平衡含水率은 溫度가 높을수록 낮은 값을 가졌고, 또 平衡含水率에 이르는 時間도 짧았다. 風速을 1, 1.5 및 3m/sec로 하여 각각 乾燥溫度는 50°C(상대습도 15%), 50°C(상대습도 8%) 및 70°C(상대습도 6%)로 變化시켰을 때 一定한 速度(3m/sec)에서 건조온도가 增加할수록 平衡含水率은 10:3:1로 현저하게 감소하였다.

Table 2. Equilibrium moisture content

Temp.(°C)	Air velocity(m/sec)	EMC(dry basis)
70	3.0	0.015
60	3.0	0.046
50	3.0	0.155

3. 乾燥曲線 및 乾燥特性曲線

乾燥溫度와 相對濕도가 一定한 境遇 即 熱媒體인 空氣中의 蒸氣分壓과 말치肉 表面의 水分이 나타내는 水蒸氣의 壓力差異가 一定한 경우 Fig. 2에서와 같이 空氣速度가 1~3m/sec의 範圍일 때는 全般的으로 乾燥速度에 差異를 보였다.

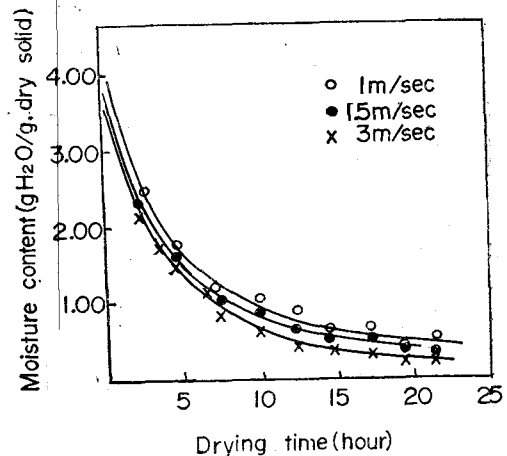


Fig. 2. Effect of air velocity on drying at 50°C of dry-bulb temperature and 25.6°C of wet-bulb temperature.

Table 3. Critical moisture content (g. H₂O/g. dry solid)

Temp.(°C)	Air velocity(m/sec)	1st CMC
50	1.0	3.392
	1.5	3.495
	3.0	3.478
60	1.0	3.379
	1.5	3.335
	3.0	3.297
70	1.0	3.232
	1.5	3.219
	3.0	2.966

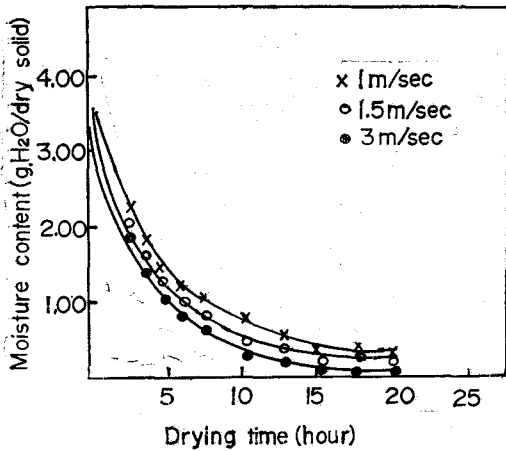


Fig. 3. Effect of air velocity on drying at 60°C of dry-bulbtemperature and 27.8°C of wet-bulb temperature.

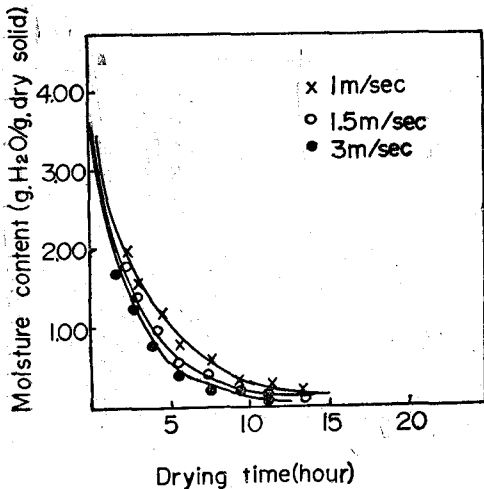


Fig. 4. Effect of air velocity on drying at 70°C of dry-bulb temperature and 30°C of wet-bulb temperature.

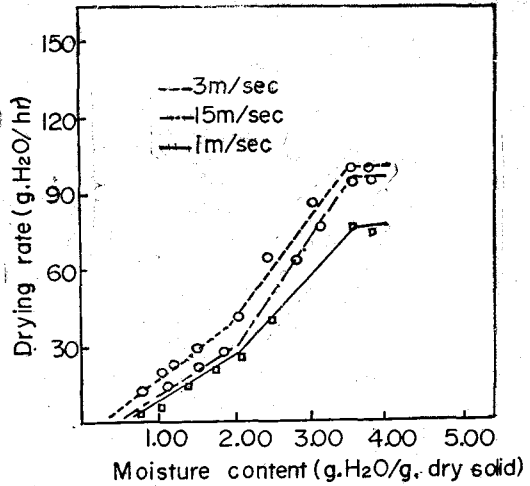


Fig. 5. Effect of air velocity on drying rate at 50°C of dry-bulb temperature and 25.6°C of wet-bulb temperature.

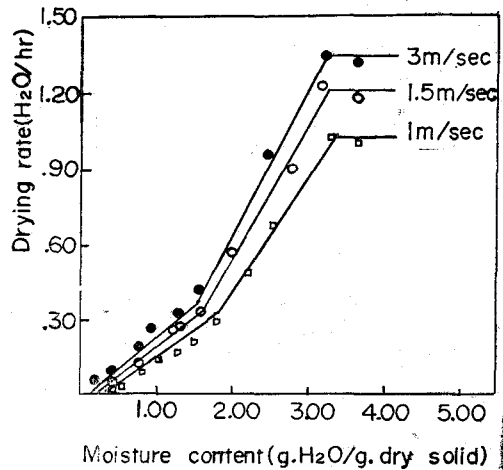


Fig. 6. Effect of air velocity on drying rate at 60°C of dry-bulb temperature and 27.8°C of wet-bulb temperature.

또 臨界含水量(critical moisture content, CMC)은 Table 3과 같이 風速이 낮을수록 작은 값을 나타내었다.

乾球溫度 60°C, 濕球溫度 27.8°C일 때 Fig. 3과 같이 역시 풍속 1~3m/sec의 범위에서는 건조속도에 차이가 있었다.

Fig. 4에서와 같이 乾球溫度 70°C, 濕球溫度 30°C 일 때의 結果는 Fig. 2와 Fig. 3에서와 마찬가지로 結果였으며, 시료는 표면경화가 심하게 일어남을 볼 수 있었다.

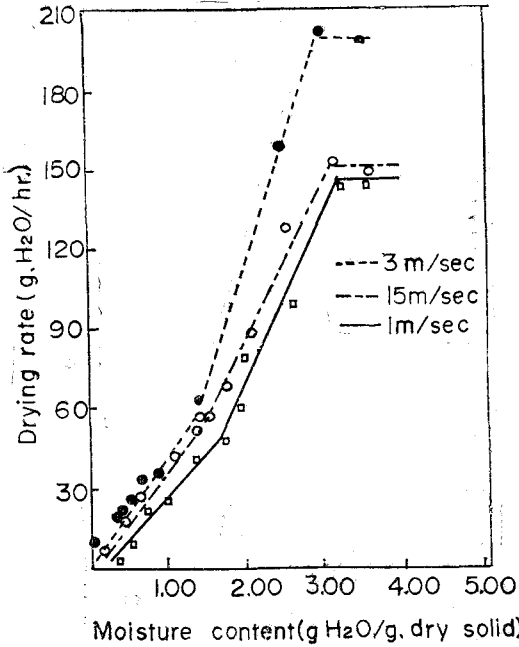


Fig. 7. Effect of air velocity on drying rate at 70°C of dry-bulb temperature and 30°C of wet-bulb temperature.

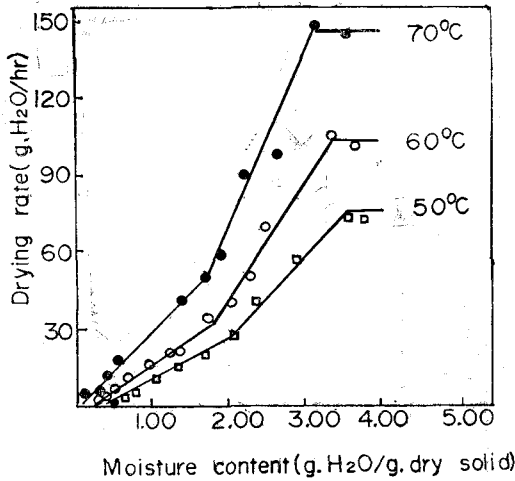


Fig. 8. Effect of temperature on drying rate with 1m/sec of air velocity.

乾燥速度와 含水率을 나타낸 乾燥特性曲線은 Fig. 5 ~7과 같다.

위의 結果로서 各 乾燥特性曲線의 臨界含水率은 Table 4와 같다.

단, Fig. 5~7에서 確認된 바와 같이 肉片으로 했을 때 말쥐치肉 表面의 水分量은 그리 많지 않아서 50°C,

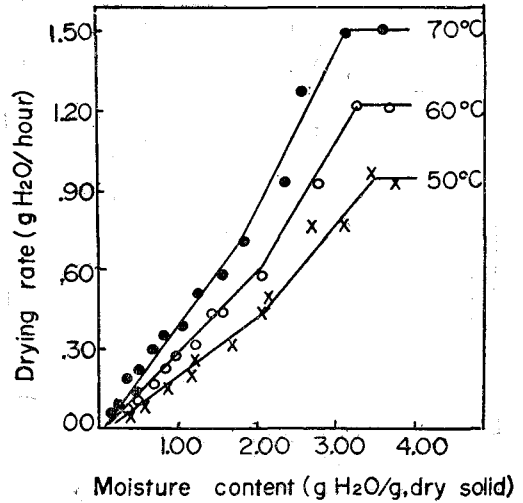


Fig. 9. Effect of temperature on drying rate with 1.5m/sec of air velocity.

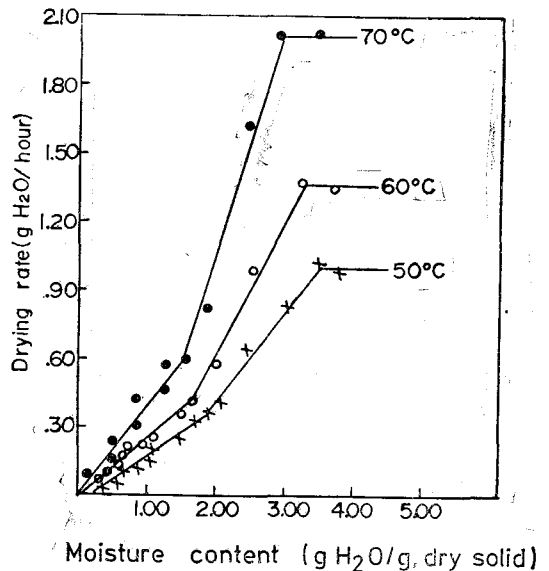


Fig. 10. Effect of temperature on drying rate with 3m/sec of air velocity.

60°C, 70°C의 모든 경우에 恒率乾燥區間은 대단히 짧았으며, 減率乾燥期에서 乾燥가 進行됨을 알 수 있고 減率乾燥區間이 2段階로 區分됨은 Saravacos 와 Charm²⁾이 報告한 감자의 乾燥特性曲線과 비슷하였다.

또 Fig. 5~7에서의 같이 溫度가 一定할 때 風速 1~3m/sec 範圍에서 減率乾燥 第2段의 乾燥速度는 큰 影響이 없음을 알 수 있다.

4. 擴散係數

Table 5에서 보는 바와 같이 擴散係數도 溫度가 높

Table 4. Relative moisture contents* during drying.

($\times 10^{-3}$)

Temp-A. V. (°C-m/sec)	Drying time(hrs.)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
50 1.0	887	787	634	543	476	416	36	314	282	258	223	198	178	160	148
60 1.0	846	650	533	441	366	299	247	205	174	150	124	108	094	081	074
70 1.0	837	597	453	34	256	182	121	094	099	054	043	039	035	032	030
50 1.5	886	664	549	454	391	335	283	250	215	190	173	156	137	122	108
60 1.5	885	613	474	378	295	242	196	157	131	110	095	081	069	059	053
70 1.5	08	567	04	286	203	128	087	063	045	034	027	02	016	013	011
50 3.0	872	654	536	448	370	303	250	203	167	144	118		085	073	063
60 3.0	865	616	475	375	306	235	191	148	109	078	063	051	041	033	026
70 3.0	820	577	403	275	186	111	080	059	042	028	023	020	014	011	010

※ $w_t - w_e / w_c - w_e$

Table 5. Diffusion coefficient of the moisture in the filefish fillet during drying.

Temperature (°C)	Air velocity (m/sec)	D (cm ² /sec)
50	1.0	1.4910×10^{-6}
		1.3336×10^{-6}
		1.1668×10^{-6}
60	1.0	2.6092×10^{-6}
		1.8682×10^{-6}
		1.6681×10^{-6}
70	1.0	4.3405×10^{-6}
		2.6230×10^{-6}
		1.6681×10^{-6}
50	1.5	3.3340×10^{-6}
		2.8854×10^{-6}
		2.6817×10^{-6}
60	1.5	4.8964×10^{-6}
		2.6817×10^{-6}
		2.6817×10^{-6}
70	1.5	5.3042×10^{-6}
		3.5342×10^{-6}
		5.3042×10^{-6}

을수록 큰 값을 가지게 됨을 알 수 있었다.

그리고 확산속도는 風速의 變化에 따라 크게 영향을 받지 않고 비슷함을 알았다.

이런 結果는 後半部の 乾燥速度는 固體内部의 水分 移動條件에 支配되며 風速 等과 같은 外的條件에는 影響을 거의 받지 않는다는 Brennan⁷⁾ 등의 報告와 一致한다.

Table 5에서 얻은 대수그래프(Fig. 11~13)에서 70°C (풍속 1~3m/sec) 때와 풍속 3m/sec(온도 50~70°C) 때는 어느 條件에서도 하나의 直線인데 50°C와 60°C, 風速 1m/sec와 1.5m/sec 때는 두 개의 直線이 낮은 條件에서만 Brennan⁷⁾ 등이 생선육에 대하여 發表한 結果와 비슷하였다.

Table 5와 같이 각 구간에서의 확산係數는 一定한데 이는 收縮함에 따라 확산係數가 달라지지 않는다는 것을 알 수 있다. 단지, 첫째 區間의 확산係數가 둘째 區間の 그것보다 크다는 것을 알 수 있다.

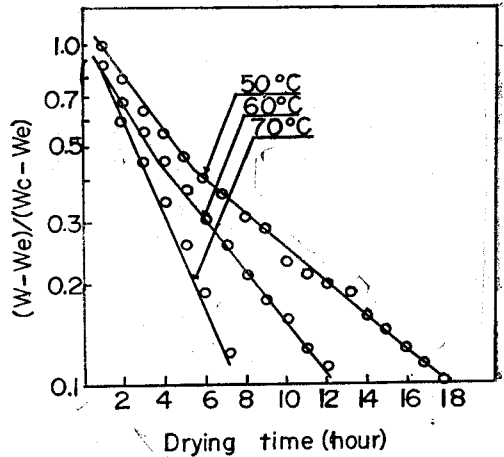


Fig. 11. Log $w - w_e / w_c - w_e$ vs. time at different temperature with 1m/sec of air velocity.

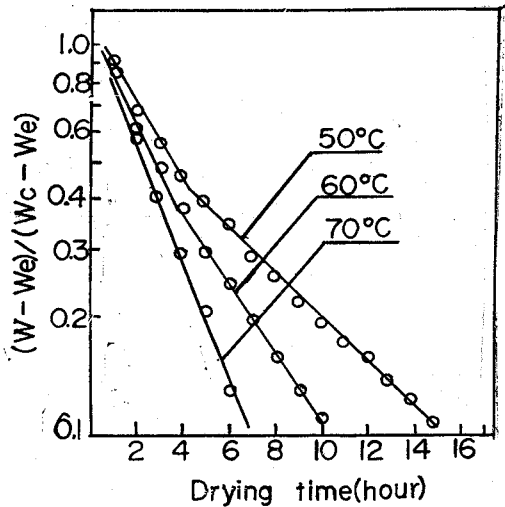


Fig. 12. Log $w - w_e / w_c - w_e$ vs. time at different temperature with 1.5m/sec of air velocity.

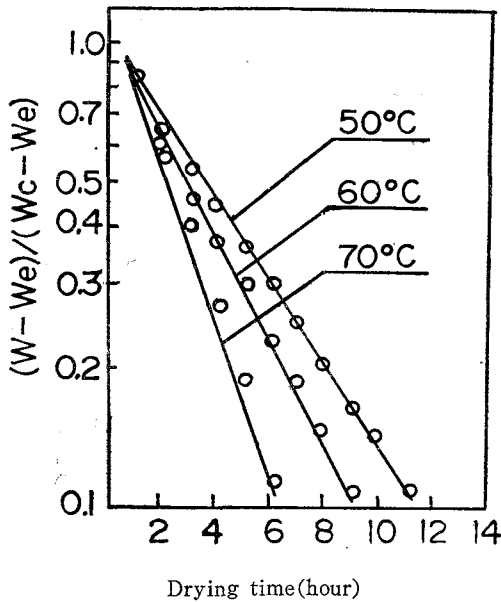


Fig. 13. Log $w - w_e / w_c - w_e$ vs. time at different temperature with 3m/sec of air velocity.

要 約

말쥐치肉의 乾燥速度는 熱風溫度가 높을수록 熱風速度가 빠를수록 크다.

여러 가지 條件中 70°C(상대습도 6%) 3m/sec에서 材料가 過速乾燥로 因하여 表面硬化現象이 현저하게 일어남을 관찰할 수 있었다.

온도가 낮고 風速이 느린 경우는 平衡含水率에 到達하는 乾燥時間이 길어져서 非能率의임을 알았다.

따라서 온도가 60°C(상대습도 8%)이고 風速이 3m/sec 때는 表面硬化現象이 적은 상태에서 乾燥가 進行되어 平衡含水率에 이르는 時間은 70°C, 1m/sec 때보다 2시간이나 빠르고 다른 條件보다는 월등히 짧고 含水率을 20% (wet basis)에 이르는 시간은 1.5시간 정도 느리나, 70°C보다 有效라이신의 변화나 表面硬化 등 品質變化가 적으므로 適切한 條件이라 할 수 있겠다.

또 式에 依하여 算出된 擴散係數로 계산한 乾燥시간과 實驗에서 나타난 乾燥時間이 一致됨을 알았다.

NOMENCLATURE

- C_1 : constant of integration
- D : diffusion coefficient.....(cm^2/sec)
- d : half thick of sample.....(cm)
- K : mass transfer coefficient...($g H_2O/m_2 \cdot sec \cdot \Delta d$)
- t : time(sec)
- W : moisture content($g H_2O/g \cdot dry solid$)
- W_c : critical moisture content($g H_2O/g \cdot dry solid$)
- W_e : equilibrium moisture content($g H_2O/g \cdot dry solid$)
- W_t : moisture content at time t ($g H_2O/g \cdot dry solid$)
- RH : relative humidity($\%$)

References

1. Lee, C.C.: Unpublished Ph.O. Thesis, Univ. of Minn.(1959)
2. Jung, B.J.: *Korean Agr. Soc. Res. Bull.* 7, 189 (1961)
3. Saravacos, G.D. and Oharm, S.E.: *Fd. Technol. Champaign.* 16, 78(1962)
4. Kim, J.B. and Shon, J.U.: Thesis of college of engineering, Dong-A Univ., 21, 11(1968)
5. Hwang-bo, H. and Shon, J.U.: *J. Kiche.* 5, 1 (1967)
6. Lee, Y.K.: M.S. Thes, Dep of agricultural engineering, Seoul national Univ. (1967)
7. Brennan, J.G., Butters J.R., Cowell, N.D. and Lilly, A. E.: *Food engineering operations.* 2nd ed., 313-359, Applied Science Publishers, London, England,(1976)
8. Association of Official Agricultural Chemists, "Official Methods of Analysis," 12th ed, 1975, p.129-135.
9. Carpenter, K.J., Morgan, B.C., Lea, C.H. and Parr, L.J.: *Brit. J. Nutr.*, 16, 451(1962)
10. Sehrwood, T.K.: *Ind. Eng. Chem.*, 21, 12(1929)
11. Lea, C.H., Parr, L.J. and Carpenter, K.J.: *Brit. J. Nutr.*, 12, 297(1958)