報 文
화학공학 第3卷第2號
J. KIChE, Vol. 3, No. 2
Aug. 30, 1965

氣 · 固體流動層의 乾燥操作에의 應用*

南宮 寔** · 白 寅基**

Application of Gas-solid Fluidized Bed to Operation of Drying

Shik Namkoong **and Ingee Paik**

Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Hanyang Univ.

Shirai et al have applied the air fluidized salt particle bed to the drying of fishes and others, and reported that the drying time could be shortened from one tenth to one hundredth as compared with that in case of natural drying.

In this work, cuttle fishes and potatos were used as the sample species and drying rates of in the fluidized bed, hot gas, and vacuum dryer measured under various conditions.

And the method of fluidized bed is economical one, but it should be noticed that the products contain salt more than several per cent.

緒 論

우리나라에서는 옛날부터 魚類貯藏에 있어 鹽藏法과 自然乾燥法을 使用해 왔으며 지금도 그대로 利用하고 있는 實情이다. 近來에 와서는 어느 程度 機械化하고 있으나 極少에 不過하며 그것도 特殊한 部門에 局限되어 있다. 그러므로 鹽藏法과 自然乾燥法이 魚類貯藏에 있어 主된 方法으로 行해지고 있다.

鹽藏法은 魚肉을 食鹽中에 數日間 放置하므로써 魚肉內의 水分과 鹽分이 서로 擴散하여 魚肉內로 鹽分이 滲透되고 魚肉으로부터 水分이 滲出되어 주위의 食鹽이 稀釋되므로 食鹽의 損失이 많다. 自然乾燥는 乾燥速度가 느릴뿐만 아니라 天候, 季節의 制限을 받는다. 現在 우리나라에서 많이 잡히는 오징어의 경우, 自然乾燥法에 依存하고 있으므로, 雨期로 因해서 魚獲量의 半以上이 제대로의 商品化가 곤란하다. 自然乾燥에 있어서나, 蛋白質이 變하지 않는 溫度範圍內에서의 通風乾燥에 있어서 乾燥速度는 極히 느리다.

그 外의 冷凍, 高眞空, 赤外線乾燥法등이 많이 있지만 거기에 따르는 機械가 複雜하고 高價이기 때문에 局限된 部門에서만 使用될 수 있다.

最近에는 silica gel 같은 吸濕劑中에 放置하여 乾燥하는 方法도 있으나 吸濕된 silica gel 등을 乾燥, 再生하여 使用하기 때문에 別途로 다른 裝置가 必要하여, 實用化가 困難하다.

食鹽같은 衛生上 無害한 固體를 가는 粉粒子로 만들어 주위에서 加熱하던가 入口 gas를 加熱하여 gas로 流動化시키므로서 魚類를 乾燥할 수 있다. 食鹽의 融點이 800°C 이므로 800°C 以內의 溫度範圍에서는 어떤 乾燥도 可能하다. 그러나 魚類等 食品乾燥에서는 100°C 以上의 溫度에서의 乾燥는 別 意味가 없다.

流動層을 利用하는 乾燥는 自然乾燥, 熱風, 眞空, 冷凍乾燥보다 能率的으로 行할 수 있다. 食鹽의 流動層內에서 食鹽粒子가 試料에 付着하여 一部는 內部로 滲透하며 同時에 水分이 表面에 滲出蒸發되고 固體의 熱容量이 氣體의 熱容量보다 훨씬 크므로 熱損失이 다른 方法보다 적으므로 어느 다른 乾燥方法보다 能率的으로 行할 수 있다. 또 表面에 滲透된 鹽分이 腐敗, 變質原因을 除去시키므로 오랫동안 貯藏도 可能하다.

* 1965年 7月 26日 受理
** 漢陽大學校 工大 化學工學科

實驗裝置 및 實驗方法

實驗裝置는 Fig. 1에 表示한 바와 같이 塔徑 150 mmφ, 높이 600mm의 합석製圓筒形의 流動層으로 多孔板을 通해 空氣로 食鹽粒子를 流動化시킨다.

多孔板 : 孔徑 D_o=1mmφ, 孔數 200個의 Al板에 200 mesh 구멍의 천으로 쌈.

開口比 : 0.89%(實驗前)

力熱方法 : 筒下部 300mm의 塔壁에 1KW의 니크롬線 3個로 加熱한다. 모두 變壓器를 通해 AC 100 V의 電源에 連結한다.

溫度測定 : 筒壁 二個所에, 層內 2個所, 試料 1個所에서 크로멜—아로멜의 熱電對로 測定한다. 層內의 경우는 熱電對 한개로 상하로 움직여 測定한다.

流動粒子 : 主로 60∼140 mesh의 食鹽粒子를 使用한다. 이 粒子의 最小流動化速度 u_{mf}[1]는 2.5cm/sec 이다.

實驗方法 : 食鹽 5∼5.5kg(層高 : 280∼300 mm)를 塔內에 넣고 空氣로 流動化시키며 塔壁에서 加熱하여 指定溫度로 維持시킨 後 試料를 層內에 걸어 놓는다. 그때부터 時間에 따라 重量變化와 試料의 溫度를 測定한다. 오징어의 경우는 얇기 때문에 바로 流動層의 溫度로 되나 감자(50×35×10)와 牛肉(50×30×20)의 경우는 상당한 時間이 걸려야 한다(低溫에서 數十分).

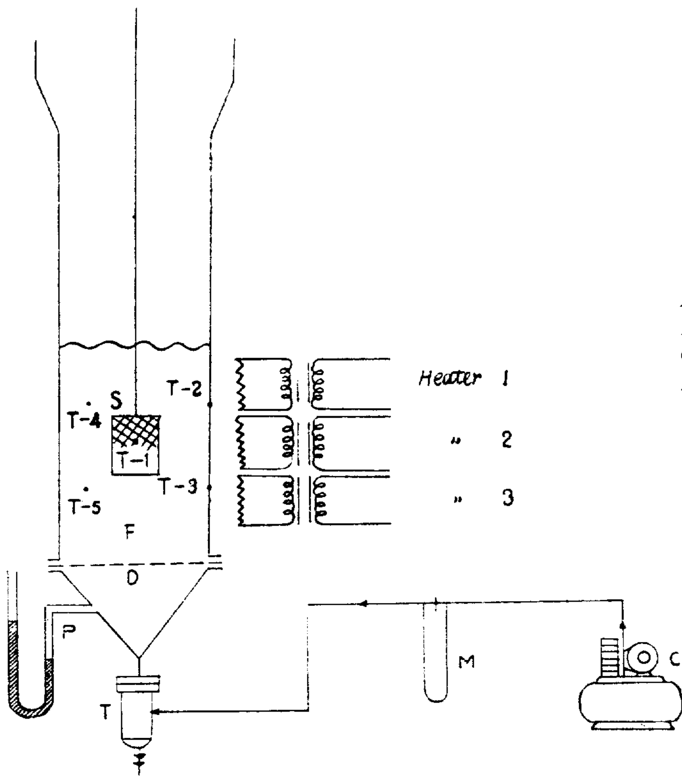

Fig. 1 Experimental Apparatus

D: Perforated-plate Gas Distributor
F: Fluidized Bed
C: Compressor
M: Manometer
P: Pressure tap
S: Sample
T: Trap
T-1, *T*-2, *T*-3,
T-4, *T*-5 : Temperature

實驗結果

時間에 對한 試料의 重量減率을 Fig. 2∼10.에 表示했다. Parameter를 溫度로 取했다. 流動層內에서의 空氣線速度, u=5[cm/sec](u/u_{mf}=2)인때의 結果가 Fig. 2이며, u=7.5[cm/sec](u/u_{mf}=3), u=10[cm/sec](u/u_{mf}=4)때의 結果를 Fig. 3, 4에 表示했다.

流動層에 依한 乾燥의 結果와 比較하기 위해 通風乾燥와 眞空乾燥를 했다. 그 結果는 Fig. 5, 6과 같다. 通風乾燥는 筒속의 食鹽을 除去한 後 筒 속에서 行한 것이다.

Fig. 7은 試料를 牛肉으로 바꾸어 流動, 通風, 眞空乾燥를 比較해 보았다. 이때의 通風乾燥는 流動層 위에서 行한 것으로 流動乾燥와 同時에 行한 것이다.

Fig. 3, 4에서 보는 바와 같이 미리 乾燥한 後에 行한 實驗이 많기 때문에 乾燥速度定數 k[hr^{-1}]의 값이 溫度와 空氣의 流速에 無關한 結果가 되고 말았다. 乾燥速度定數의 溫度, 流速에 對한 依存性을 밝히기 위해 감자를 試料(50×35×10)로 擇해서 實驗한 結果를 Fig 8, 9, 10에 表示했다.

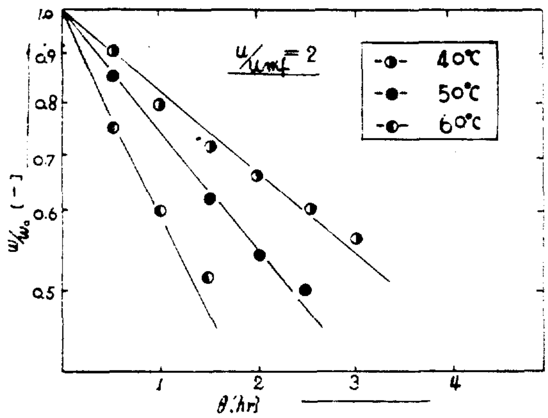

Fig. 2. ln(w/w_o) vs θ. Cuttle-fish Dried in Fluidized Bed

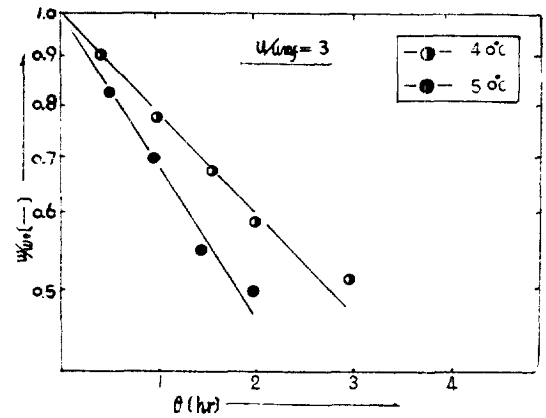

Fig. 3. ln(w/w_o) vs θ. Cuttle-fish Dried in Fluidized Bed

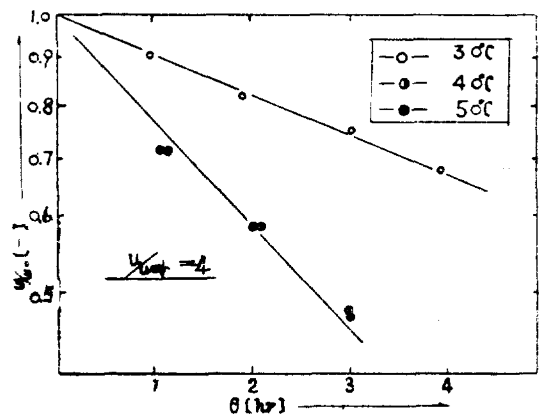

Fig. 4. ln (w/w_o) vs θ. Cuttle-fish Dried in Fluidized Bed

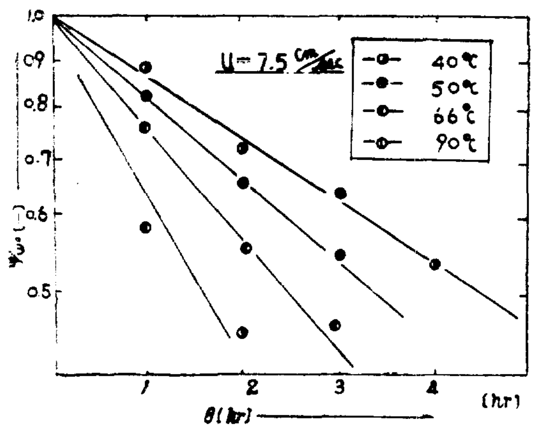

Fig. 5. ln (w/w_o) vs θ. Cuttle-fish Dried by Hot Air

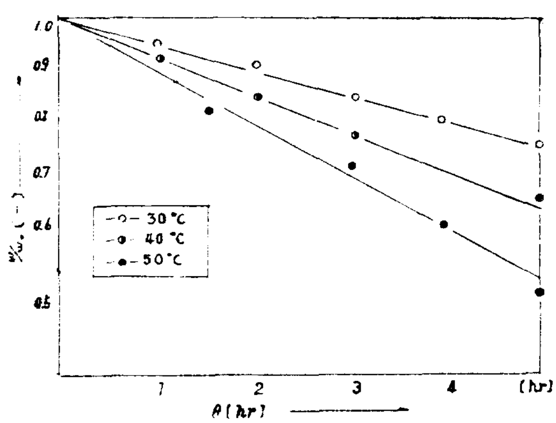

Fig. 6. ln w/w_o vs θ. Cuttle-Fish Dried in Vacuum Dryer

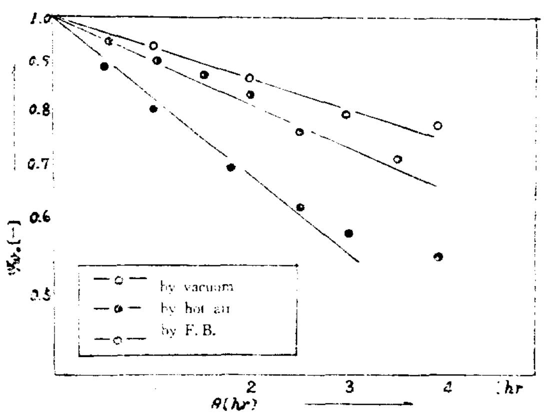

Fig. 7. ln(w/w_o) vs θ. Beef Dsied at 50°C

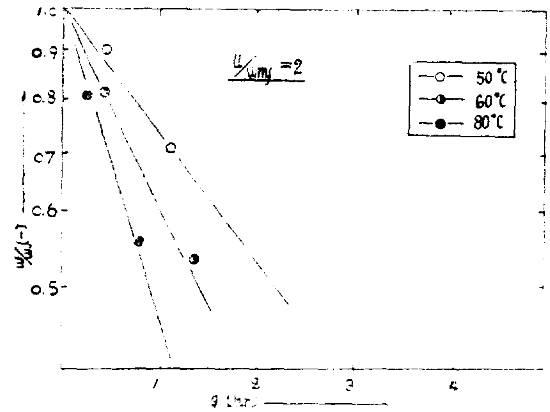

Fig. 8. ln (w/w_o) vs θ. Potato Dried in Fluidized Bed

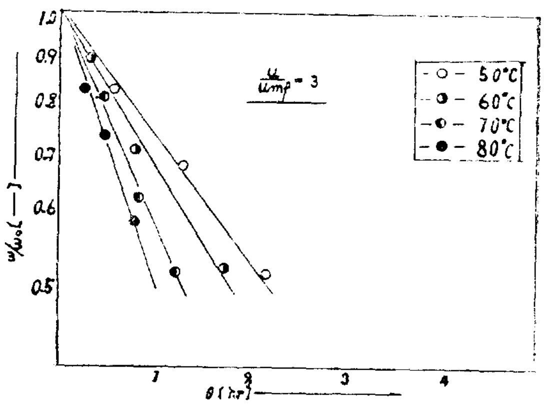

Fig. 9. ln(w/w_o) vs θ. Potato Dried in Fluidized Bed

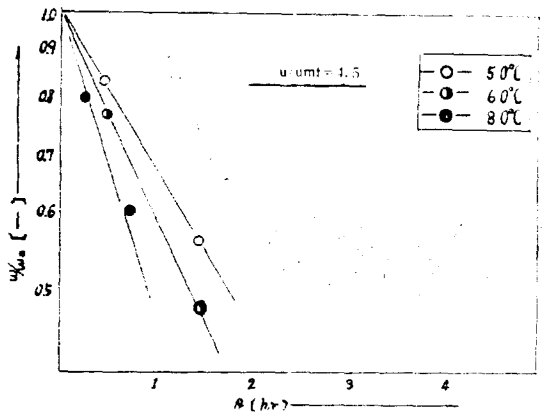

Fig. 10. ln (w/w_o) vs θ. Potato Dried in Fluidized Bed

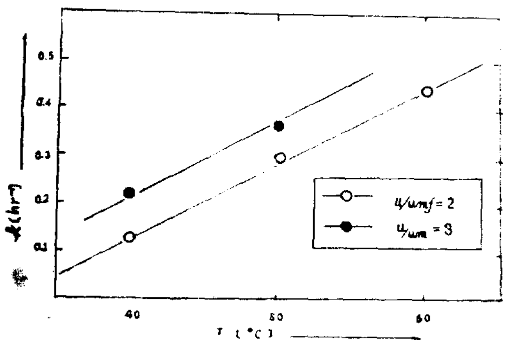

Fig. 11. kvs T. Cuttle-fish Dried in Fluidzed Bed

溫度, 流速에 對한 乾燥速度定數의 依存性을 밝히기 위해 Fig. 11, 12, 13을 點綴했다. Fig. 11은 流動層에 있어서의 오징어乾燥의 경우이며, Fig 12는 通風, 眞空으로 乾燥할 때의 경우를 點綴한 것이다. 감자의 流動層에 있어서의 乾燥結果는 Fig. 13과 같다. 모두 空氣의 流速을 parameter로 取했다.

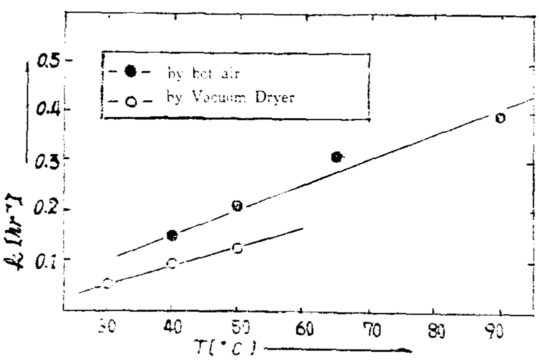

Fig. 12. K vs θ Cuttle-Fish Dried by Hot Air and Vacuum Dryer

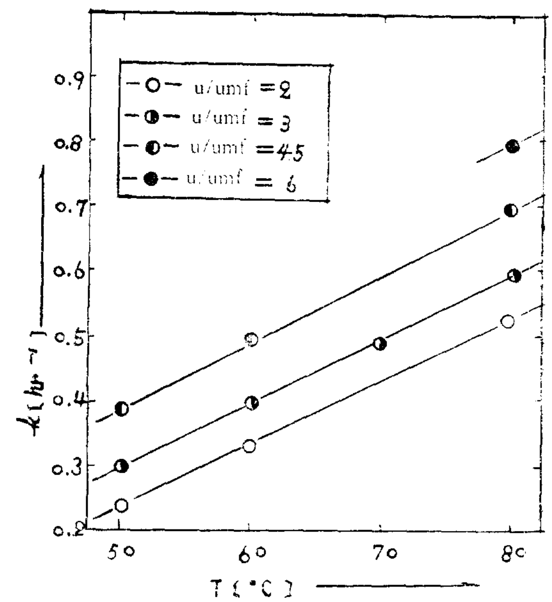

Fig. 13. k vs T. Potato Dried in Fluidized Bed

Table 1—1. w/w_o of Cuttle-Fish in F.B

u/u_{mf}	T[°C] \ θ[hr]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
2	40	0.91	0.80	0.71	0.66	0.61	0.57	—	—
〃	50	0.88	—	0.61	0.55	0.50	0.47	0.44	—
〃	60	0.75	0.60	0.53	0.49	0.45	—	—	—
3	30	—	0.88	—	0.80	—	0.72	—	0.68
〃	40	0.93	0.78	0.69	0.58	—	0.52	—	—
〃	50	0.82	0.69	0.55	0.50	0.46	—	—	—
4	30	—	0.82	—	0.70	—	0.64	—	0.55
〃	40	—	0.77	—	0.57	—	0.50	—	—
〃	40	—	0.69	—	0.57	—	0.47	—	—
〃	50	—	0.70	—	0.59	—	0.48	—	—

Table 1—2. w/w_o of Cuttle-Fish by Hot Air

u[cm/sec]	T[°C] \ θ	1.0	2.0	3.0	4.0
7.5	40	0.88	0.72	0.64	0.54
〃	50	0.80	0.63	0.53	
〃	65	0.75	0.57	0.46	
〃	90	0.55	0.47		

Table 1—3.
w/w_o of Cuttle-Fish in Vacuum Dryer

P[mmHg]	T[°C] \ θ[hr]	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
220	30	0.95	—	0.91	0.83	0.79
	40	0.90	—	0.82	0.72	—
	50	—	0.80	—	0.70	0.60

Table 1—4. w/w_o of Beef

u [cm/sec]	T [°C]	P [mmHg]	Method	Size [mm] \ θ[hr]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
7.5	50	—	F.B.	50×30×20	0.85	0.73	0.67	0.59	0.54	—	—	—
7.5	〃	—	hot air	〃	0.96	0.91	0.88	0.81	0.75	0.70	—	0.66
—	〃	220	V.D.	〃	0.92	0.87	0.82	0.71	0.75	0.71	—	0.68
7.5	〃	—	F.B.	〃	0.88	0.78	0.72	0.67	0.61	0.58	—	0.54
7.5	〃	—	hot air	〃	0.95	0.90	0.88	0.82	0.76	—	0.70	—
—	〃	220	V.D.	〃	0.96	0.92	0.88	0.85	—	0.79	—	0.76

Table 1—5. w/w_o of Potato in Fluidized Bed

u/u_{mf}	T [°C]	w/w_o			
2	80	0.834(0.25)	0.66(0.75)	0.555(1.25)	
〃	60	0.834(0.5)	0.61(1.5)		
〃	50	0.905(0.5)	0.71(1.5)		
3	80	0.82(0.25)	0.728(0.5)	0.637(0.75)	0.41(1.25)
〃	70	0.845(0.38)	0.632(0.88)	0.525(1.38)	
〃	60	0.895(0.25)	0.71(0.75)	0.525(1.7.)	
〃	50	0.83(0.5)	0.653(1.5)	0.522(2.5)	
4.5	80	0.80(0.25)	0.60(0.75)	0.45(1.25)	
〃	60	0.78(0.5)	8.44(1.5)		
〃	50	0.825(0.5)	0.575(1.5)		
6	80	0.79(0.25)	0.58(0.75)		

(　　): θ [hr]

考　察

重量減率(w/w_o)과 時間(θ)와의 關係 : lnw/w_o vs θ에서 直線關係가 나타난다(w/w_o의 50% 以內에서). Shirai의 結果[1]

$$w/w_o=e^{-k\theta}$$

-와 一致한다.

乾燥速度定數와 溫度·流速과의 關係: 流動層, 通風, 眞空乾燥에서 乾燥速度定數 k[hr^{-1}]과 溫度와의 關係는 k vs θ 에서 實驗範圍內에서는 거의 直線關係가 있다. 流動乾燥에서 오징어의 경우 乾燥前에 鹽分의 滲透를 可能한 限 막기 위해 미리 乾燥(電熱乾燥器에서)를 시켰기 때문에 예상한 結果를 밝힐 수 없었으나 (Fig. 11), 감자의 경우(Fig. 13) 空氣線速度를 Parameter로 取했을 때 平行한 直線을 얻은 수 있다. 乾燥速度定數는 空氣의 流速과 流動層內의 溫度에 比例한다.

重量半減時間과 溫度·流速과의 關係: 重量半減時間 ($\theta_{1/2}$)과 溫度(T)·流速(u)과의 關係는 Fig. 14, 15, 16과 같다. 溫度의 範圍가 너무 좁기 때문에 확실한 結論을 내릴 수 없다.

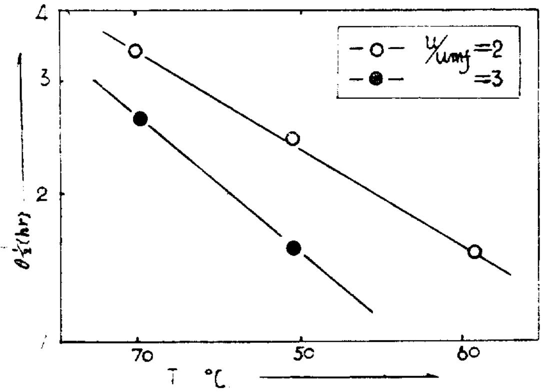

Fig. 14. ln $\theta_{\frac{1}{2}}$ vs T. Cuttle Fish Dried in Fluidized Bed

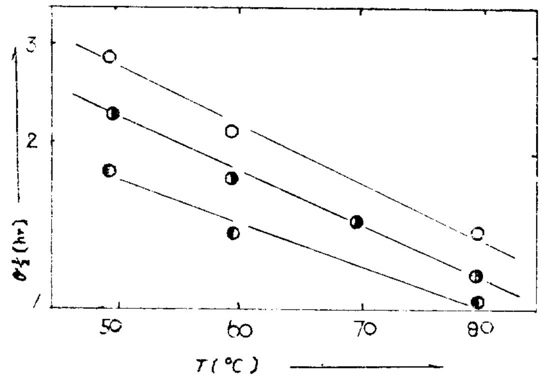

Fig. 15. ln $\theta_{\frac{1}{2}}$ vs T. Potato Dried in Fluidized Bed

Table—2. Comparison of k Value with Shirai's Experiment

Sample	Method	u[cm/sec]	P[mmHg]	k[hr^{-1}]		
Cuttle-Fish	F. D	5.0$\left(\frac{u}{u_{mf}}=2\right)$	—	0.172(40)	0.3(50)	0.44(60)
〃	〃	7.5(=3)	—	0.06(30)	0.26(40)	0.40(50)
〃	hot air	7.5	—	0.16(40)	0.22(50)	0.28(65)
〃	V. D	—	220	0.059(30)	0.1(40)	0.13(50)
Beef	F. D	7.5$\left(\frac{u}{u_{mf}}=3\right)$	—	0.24(50) [50×30×20]		
〃	hot air	7.5	—	0.11(50) [50×30×20]		
〃	V. D	—	220	0.08(50) [50×30×20]		
Sweet Potato	F. D	5.0$\left(\frac{u}{u_{mf}}=2\right)$	—	0.24(50) [50×35×10]	0.33(60) [50×35×10]	0.54(80) [50×35×10]
〃	〃	7.5(〃 =3)	—	0.3(50) [50×35×10]	0.39(60) [50×35×10]	0.6(80) [50×35×10]
〃	〃	11.25(〃=4.5)	—	0.39(50) [50×35×10]	0.50(60) [50×35×10]	0.69(80) [50×35×10]
〃	〃	15.0(〃 =6)	—	0.8(80) [50×35×10]		
Horse-mackerel	〃	12	—	0.186*(40) [40×14×7]	0.22*(60) [40×14×7]	
Whale-meat	〃	11~18	—	0.105*(35) [33×33×43]	1.24*(78) [33×33×34]	1.35*(92) [35×11×20]

( ) : temperature [°C]
[ ] : size [mm]
* : Shirai's k

F. D : fluidized Bed
V. D : Vacuum Dryer

Shirai의 경우 $ln\ k$ vs T에서 直線關係[2]를 보여주고 있다.

熱通風乾燥와 眞空乾燥때는 물오징어를 구할 수가 없었기 때문에 市中의 乾오징어를 물에 불려 實驗했다. 보통 48時間이면 무게가 二培로 된다. 간혹 무게가 잘 늘어나지 않는 때도 있었지만 대개의 경우에는 제대로 무게가 늘어났다. 乾오징어를 불렸기 때문에 乾燥速度定數가 크게 나타났다. 眞空乾燥에서는 完全眞空은 어려웠다. 대개 220mmHg에서 行한 것이다.

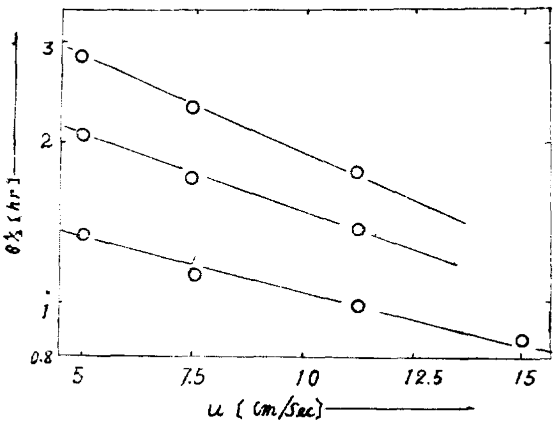

Fig. 19. Potato Dried in Fluidized Bed

Shirai의 k 値와의 比較 : Table 2에서 보는 바와 같이 Shirai의 k 値와 별 차이는 없다. k 値가 클때는 溫度나 流速이 큰 때이다. 本實驗에서는 미리 乾燥를 시켰기 때문에 아주 작은 값의 値도 있다.

乾오징어 中의 蛋白質 含量分析 : 完全乾燥가 아니기 때문에 水分의 含量이 많고 鹽分의 量도 無視못할 程度로 많기 때문에 蛋白質의 比가 적게 나타났다. Table 3은 實驗의 試料分析結果이며 Table 4는 梨大家庭學科 教材에서 參照한 것이다.

Table 3. Protein Contained in Samples

Part	Protein	Condition
head	32.2	$u/u_{mf}=2$ $T=50°C$ for 3 hrs
body	43.97	〃
tentacles	42.6	〃
head	42.5	$u/u_{mf}=3$ $T=40°C$ for 3 hrs
body	51.8	〃
tentacle	43.0	〃

Table 4. Nutritious Contents of Cuttle-Fish

	Water(%)	Protein(%)	Fat(%)
Cuttle-Fish	81.4	15.7	1.5
Dried Cuttle-Fish	30.4	58.5	4.9

食鹽分의 含量 : 流動乾燥의 短點中에서 제일 곤란한 것은 流動粒子가 試料에 둘러 붙는 것이다. 食鹽이 젖어 있는 試料에 둘러 붙으므로서 水分이 滲出되지만 食鹽分도 滲透해 드러가므로 짠맛이 대단하다. 미리 乾燥한 것과 乾燥하지 않은 것과는 약간의 食鹽含量 차가 있다. 즉

미리 乾燥할 경우	6.5%
미리 乾燥하지 않은 경우	9 %

流動層을 利用하는 乾燥의 長·短點 :

長點 : (1) 流動化로 因해서 層內의 溫度가 均一하다.

(2) 固體의 粒子이므로 空氣보다 熱容量이 커서 熱損失이 적다.

(3) 熱傳達係數가 크기 때문에 處理能力이 크다.

(4) 滯留時間을 길게하면 低含水率의 乾燥製品을 얻을 수 있다.

短點 : 水分이 너무 많은 것은 粉粒體가 둘러 붙으므로 滲透作用에 依해서 製品에 制限을 준다.

結　論

(1) 本實驗에서 行한 乾燥方法中에서 流動層에 依한 乾燥方法의 乾燥速度가 가장 빠르며 熱通風乾燥, 眞空乾燥의 順으로 느리다.

(2) 本實驗範圍內에서 流動層乾燥의 乾燥速度定數는 溫度와 空氣의 流速에 比例한다.

(3) 本實驗中 오징어의 경우는 流速 7.5[cm/sec], 溫度 40°C 때가 가장 좋은 條件이다. 다른 裝置에서 미리 熱風乾燥를 시키면 많은 量의 食鹽分 滲透를 막을 수 있다.

(4) 앞으로는 高溫에서의 乾燥速度測定과 試料의 形態變化에 따르는 乾燥速度定數에 對한 硏究를 繼續해 보겠다.

〔追記〕 本實驗硏究의 硏究費를 補助해주신 伽倻産業株式會社와 基礎資料를 提供해주신 日本工業大學 白井隆教授에게 感謝드린다.

參考文獻

1). 南宮·鄭 : J. Korean Inst. Chem. Eng. **3**.36 (1965).

2). 白井硏究室 : 流動層을 利用하는 食品 乾燥에 關한 硏究. No 1 豫備實驗報告(1963) 東京工業大學.

3). 白井硏究室 : 流動層을 利用하는 食品 乾燥에 關한 硏究. No 2 D—高溫流動層을 利用하는 各種 食品의 乾燥(1964) 東京工業大學