

粉末 두부의 水分吸着 特性

金 東萬* · 張 奎燮 · 尹 漢教
忠南大學校 食品加工學科
(1980년 9월 26일 수리)

Moisture Sorption Characteristics of Powdered Soybean Curd

Dong Man Kim*, Kyu Seob Chang and Han Kyo Yoon

Department of Food Science and Technology,
Chungnam National University, Daejeon 300-01

(Received September 26, 1980)

Abstract

In order to improve the storage stability of powdered soybean curd, moisture sorption characteristics of the curd stored at specific relative humidity and temperature were investigated. The results obtained are summarized as follows;

1. When the fresh soybean curd (2 cm thickness) was dried in a hot air drier at 55°C, it took 18 hrs to reduce its moisture content from 85% to 8.8%, and drying rate was very high during the first 5 hrs.
2. Equilibrium moisture content (E.M.C.) of powdered soybean curd by freeze drying was higher than that of sample by hot air drying, but the particle size did not influence E.M.C.
3. The monolayer value of freeze dried powder of high E.M.C was higher than that of the hot air dried (8.30 vs 7.35).
4. The free energy for moisture absorption of freeze dried powder at 11% RH were 1285.1 cal/mole, 1323.5 cal/mole at 15°C and 30°C, respectively, and the free energy of freeze dried product was lower that of hot air dried product.
5. The moisture sorption rate constant was not affected by particle size, and it showed that the moisture sorption rate decreased as temperature was increased. The rate constant of powder produced by freeze drying were 0.00804 at 15°C and 0.00696 at 30°C.

序 論

豐富한 蛋白質 供給源인 두부는 우리나라 뿐만 아니라

東南亞에서 널리 食用되는 오랜 傳統을 가진 大豆食品이며 蛋白質의 主成分은 글리신(glycine)이다. 특히 穀類蛋白質에서 缺乏되기 쉬운 라이신(lysine)과 無機質中 칼슘含量이 많은 高蛋白食品으로, 種類로는 豆乳에

* 韓國科學技術研究所 食品工學研究室

* Korea Institute of Science and Technology, Seoul 131

凝固劑를 添加한 後 成型시킨 生豆부, 成型을 시키지 않은 生豆부, 여름철에 貯藏性을 높이기 爲해 기름에 튀긴 유부 등이 있는데 그 種類가 多樣하지 못하다. 또한 製品의 包裝도 流通取扱에 있어서 原始的 段階를 벗어나지 못하고 있으며 非衛生的이고 貯藏性이 낮다. 豆부에 關한 研究로는 貯藏性 및 取扱의 容易性을 考慮하여 乾燥形, 粉末形 및 調味形 등에 關한 것이 있으나^(1~4) 實用化 하기에는 여러가지 問題點이 있으며 특히 乾燥豆부의 貯藏期間(shelf-life)에 큰 影響을 미치는 水分吸着 및 그에 따른 變質에 對한 研究는 極少數에 不遇한 實情이다.^(5~8) 食品의 吸濕特性에서 製品의 貯藏 및 品質에 影響을 미치는 水分含量은 食品에 주어진 環境의 相對濕度에 依해 크게 左右되며 吸着程度에 따라 蛋白質의 構造變化, 脂肪의 酸敗, 微生物의 發生 등을 招來하여 品質에 많은 影響을 준다.

吸濕特性을 究明하는데 重要한 等溫吸濕曲線은 最適乾燥條件의 決定과 食品變質을 防止하기 爲한 安全水分含量 推定, 加工 및 包裝時 大氣의 濕度에 對한 安全限界究明 및 乾燥食品을 混合할 때 各成分間의 水分傳達의 基礎資料가 되며 安全貯藏期間의 延長을 爲한 包裝材料의 決定에도 利用된다.

平衡水分含量을 決定하는 方法으로는, 食品의 水分에 依해 發生하는 水蒸氣의 壓力을 測定하는 蒸氣壓測定法⁽⁹⁾, Landrock 等의 圖上內間法⁽¹⁰⁾ 및 飽和鹽溶液에 依한 一定 相對濕度에서의 平衡水分含量을 測定하는 데시케이터(desiccator) 方法⁽¹¹⁾ 등이 있다.

위 方法들 中 데시케이터 方法의 長點으로는 實驗이 簡單하고 測定值가 正確性을 나타내며 平衡水分含量에 따른 變質 등도 檢討할 수 있으나, 平衡水分에 이르는 時間이 10~14日 程度 혹은 그 以上 所要되기 때문에 相對濕度 80% 以上에서는 微生物 發生으로 因한 平衡水分含量의 測定에 困難한 點이 있어⁽¹¹⁾, 이를 補完하기 爲해 Makower 等⁽¹²⁾은 試料에 potassium sorbate를 添加하여 微生物 發生을 抑制하였고, Hogen 等⁽¹³⁾은 平衡水分含量에 到達하는 期間을 短縮하기 爲해 空氣를 送入시켰으며, 相對濕度 80% 以上 條件에서의 乾乾食品은 試驗이 別 意味가 없다고 報告한 바 있다⁽¹⁴⁾.

Karel 等⁽¹⁵⁾은 式에 依한 計算值와 實驗에 依한 吸濕曲線을 比較하였고, Chung 等⁽¹⁶⁾은 이 式을 數物에 適用할 때 食品成分의 多樣性, 組成의 不均一 등에 依해 制限을 받는다 고 하였다. 이 외에도 水分活性도가 낮은 食品에서도 變質이 일어나는데 이 變質의 大部分은 脂肪의 酸敗에 依한 것으로 獨特한 酸敗臭를 發生시킨다고 하였다⁽¹⁷⁾.

따라서 本試驗에서는 豆부의 安全貯藏과 流通을 爲하여, 脂肪大豆로 製造한 豆부를 熱風乾燥와 冷凍乾燥한

다음, 粉粹한 粉末豆부를 試料로 하여 水分吸着 特性과 品質의 低下를 招來하는 微生物 繁殖에 關해 檢討하였으며, 몇가지 結果를 얻었기에 報告하는 바이다.

材料 및 方法

材 料

東邦油糧의 豆부 製造用脫脂大豆粕으로 만든 豆부를 本實驗의 試料로 使用하였다.

方 法

가. 粉末乾燥 豆부製造

試料用 豆부의 製造는 常法⁽¹⁸⁾으로 精選, 水洗, 沈漬하여, 물은 大豆에 물을 조금씩 加하면서 믹서로 磨碎하여 豆糜와 豆乳를 만든 후, 豆乳를 75°C로 加熱하여 3% 飽和鹽化마그네슘 溶液을 添加하여 凝固시켰다. 上澄液과 分離한 凝固物을 고르게 攪拌하여 壓搾, 脫水 成型하여 豆부를 만든다음, 하룻동안 흐르는 물에 담그어 놓았다가 꺼내서 2cm 두께로 썰었다. 이 切片 豆부를 冷凍乾燥와 熱風乾燥하고 이를 粉粹하여 粒子の 크기를 30 mesh 와 50 mesh 로 한 粉末豆부를 試料로 하였으며, 原料 및 製品의 分析은 一般常法에 따랐다.

나. 等溫吸濕曲線

等溫吸濕曲線은 飽和鹽溶液을 使用하는 標準方法으로, 相對濕度와 平衡水分含量과의 關係를 나타냈고, Weast⁽¹⁹⁾에 依한 飽和鹽溶液이 溫度에 따른 相對濕度로 나타내는 것을 適用하였다.

相對濕度 調節容器로는 지름이 22.5 cm인 데시케이터를 使用하였고, 飽和鹽溶液이 平衡을 이루도록 15° ± 1°C, 30° ± 1°C의 恒溫室에서 24時間 放置하였다.

試料는 지름 4 cm, 높이 3 cm인 알루미늄製 容器에 3g 담아 一定하게 水分平衡을 시킨 後 데시케이터에 放置하면서 24時間 間隔으로 重量差가 0.5 mg이 될 때까지 稱量하였으며, 100°C에서 4時間 乾燥後 試料 中の 水分含量을 平衡水分量으로 하였다.

다. 單分子層 水分含量

粉末豆부 貯藏의 最大安全範圍인 單分子層 水分含量을 測定하기 爲하여 다음과 같은 Brunauer-Emmett-Teller式(BET式)⁽²⁰⁾을 適用하였다.

$$\frac{A_w}{(1-A_w)X_s} = \frac{1}{X_n \cdot C} + \frac{(C-1)A_w}{X_n \cdot C} \dots\dots\dots(1)$$

여기서

- A_w : 水分活性度, % ERH/100
- C : 常數
- X_s : 平衡水分含量 (乾物重, %)
- X_n : 單分子層 水分含量 (乾物重, %)이었다.

라. 吸濕速度常數

Table. 1. General composition of defatted soybean and its products

(Unit : %)

Sample	Moisture	Crude Protein	Crude fat	Carbohydrate	Crude ash
Defatted soybean	9.5	47.2	0.2	37.7	5.4
Fresh soybean curd	85.0	12.7	0.0	3.7	0.6
Freeze dried soybean curd	6.5	84.5	0.0	8.2	0.8
Hot air dried soybean curd	8.1	81.8	0.0	9.2	0.9

Paine식⁽²¹⁾을 適用하여, $\log \frac{X_e - X_t}{X_e - X_i}$ 를 從軸으로 t 를 橫軸으로 하여 얻은 直線의 기울기를 K 로 나타냈으며, 그 값은 最小自乘法에 의해 求하였다.

$$\log \frac{X_e - X_t}{X_e - X_i} = -Kt \dots \dots \dots (2)$$

여기서

- X_i : 初期水分含量 (%)
- X_t : 一定時間後의 水分含量 (%)
- X_e : 平衡水分含量 (%)
- K : 吸濕速度常數
- t : 露出時間(時間)이었다.

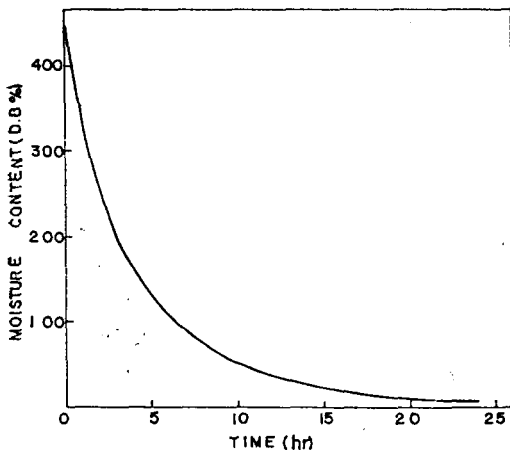


Fig. 1. Drying curve of soybean curd in hot air drier maintained at 55°C in 2 cm thickness

마. 自由에너지

水分平衡에 到達하는데 必要한 自由에너지 ΔG° 는 理想氣體와 純粹凝縮狀과의 關係를 나타낸 Gibbs-Helmholtz式을 使用하였으며 다음과 같다.

$$\Delta G^\circ = RT \ln P_{e,e} \dots \dots \dots (3)$$

여기서

ΔG° : 自由에너지, (cal/mole)

R : 氣體常數, (cal/mole^oK)

T : 絕對溫度, (°K)

$P_{e,e}$: 平衡狀態에서의 水蒸氣의 部分壓

바. 復水率

부엌을 利用하여 試料 5g에 40 ml를 正確히 注入한 後 約 1分間 水分이 고루 吸收하도록 저어주었다. 이것을 2,000 rpm에서 5分間 遠心分離 後 上澄液을 다시 부엌에 넣어 吸收된 물의 量을 計算하는 Anon方法⁽²²⁾을 따랐고 그 式은 다음과 같다.

$$\text{復水率} = \frac{\text{吸收된 水分量} (\%) }{\text{生두부의 水分含量} (\%) } \dots \dots \dots (4)$$

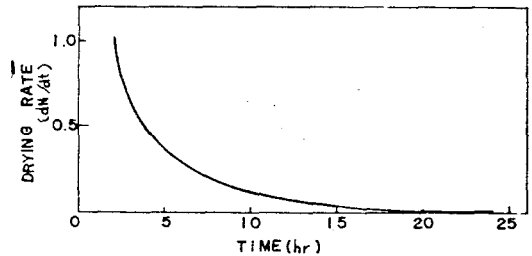


Fig. 2. Drying rate curve of soybean curd in hot air drier maintained at 55°C in 2 cm thickness

結果 및 考察

試料의 組成

두부原料의 脫脂大豆, 生두부 및 乾燥한 粉末두부의 一般組成은 Table 1과 같다.

脫脂大豆의 蛋白質 및 水分含量은 脫脂大豆粉의 基準量과 비슷하였고 脂肪은 基準值인 2.0% 以下였다. 生두부의 경우 脂肪은 거의 없었으며 蛋白質은 冷凍乾燥한 粉末두부가 84.5%로 熱風乾燥 粉末두부보다 多少 높았다.

두부의 乾燥曲線

初期水分含量이 85%인 生두부를 粉末두부로 만들기 爲해 55°C의 熱風乾燥機(流速; 1.2m/sec)에서 2 cm

Table 2. Monolayer moisture content of powdered soybean curd

(Unit: g of moisture absorbed/100 g of solid)

Temp. (°C)	Freeze dried powder		Hot air dried powder	
	30 mesh	50 mesh	30 mesh	50 mesh
15	8.30	9.02	7.35	7.18
30	8.07	8.07	7.10	7.06

두께로 건조하였을 때 건조시간에 따른 수분함량은 건조물중으로 8.8%까지 떨어뜨리는데 18시간 所要였으며 (Fig. 1) 건조특성을 究明하기 爲하여 Fig. 1의 건조速度 曲線을 圖上微分하여 건조速度(dM/dt)를 求한 結果는 Fig. 2와 같다. 時間別 수분함량 減少率은 5 時間 까지는 急速히 減少되었다가 緩慢한 기울기로 되었다고 初期에 恒率 乾燥期를 거치지 않고 減率 乾燥期로 들어간 것이 特徵으로 나타났다.

等溫吸濕曲線

平衡水분함량은 건조물 %로 나타냈으며 相對濕도에 따른 平衡水분함량과의 關係는 Fig. 3과 같다.

冷凍乾燥 및 熱風乾燥에 依한 粉末두부를 15°C와 30°C에서 各 相對濕도에 따라 放置하였을 때 平衡水분함

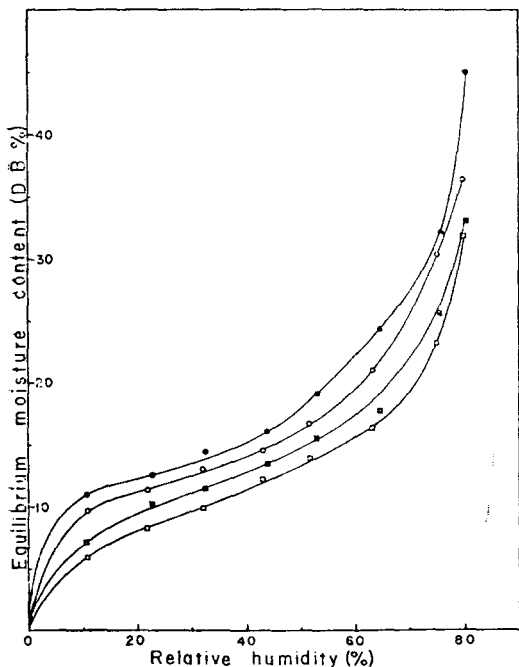


Fig. 3. Sorption isotherm of powdered soybean curd stored at 15°C and 30°C

- ; freeze dried, stored at 15°C,
- ; freeze dried, stored at 30°C,
- ; hot air dried, stored at 15°C,
- ; hot air dried, stored at 30°C.

량은 溫度가 높을수록 減少하였다. 一般的으로 낮은 相對濕度에서는 平衡水분함량도 낮았으며 相對濕度 50% 以上에서는 急速히 增加하였는데, 이는 蛋白質 構造가 膨脹할 때 吸着基의 增加에 따른 多分子層의 吸着과 두부組織內의 毛細管에 水分子가 凝縮되어 나타나는 現象으로 생각된다.

이 等溫吸濕曲線은 Emmett 等⁽²⁰⁾이 無機物表面에 對한 窒素의 吸着特性 研究에서 나타난 典型的인 S型 曲線과 類似하게 나타났고, Saravacos 等⁽²³⁾이 實驗한 大豆의 等溫吸濕曲線과 비슷한 傾向을 보였다. 粒子의 大小에 따른 平衡水분함량과의 關係는 Fig. 4에서와 같이 各溫度에서 큰 差異를 찾아볼 수 없었다.

또한 乾燥方法이 平衡水분함량에 及한 影響은 熱風乾燥 粉末의 경우 各 相度濕度에서 比較的 낮은 傾向이었는데 이것은 乾燥溫度 上昇에 따른 蛋白質變性으로 因하여 親水性基의 減少에 기인된 것으로 풀이된다.

單分子層 水분함량

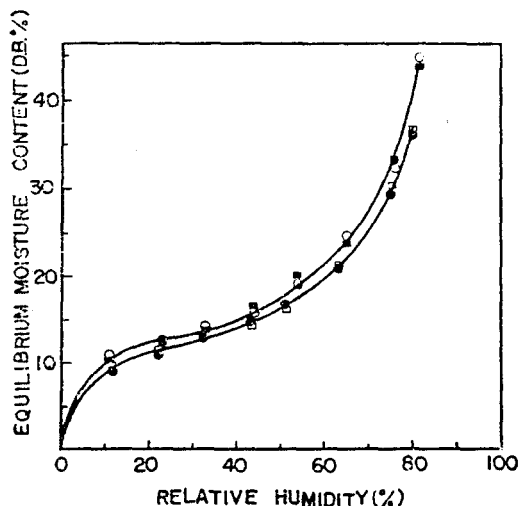


Fig. 4. Comparison of sorption characteristics on different particle size of freeze dried powder

- ; 30 mesh at 15°C,
- ; 50 mesh at 15°C,
- ; 30 mesh at 30°C,
- ; 50 mesh at 30°C.

乾燥食品의 極性基에 結合된 水分과 關聯있는 單分子層 水分含量을 BET式에 依해 求하였으며 그 값은 Table 2와 같다.

乾燥方法에 따라서는 冷凍乾燥方法에 依한 粉末두부가 熱風乾燥 粉末보다 1% 程度 컸으며, 15°C에서 放置時 冷凍乾燥한 30 mesh粉末의 값이 8.30으로 가장 높았는데 이 값은 Okamura 等⁽²⁴⁾이 NMR에 依한 脫脂大豆 粉末의 結合水 含有能 40.5%보다 8 倍程度 낮았으나 Iglesias 等^(25,26)이 算出한 大豆의 單分子層 水分含量 2.5%보다는 3 倍程度 높았다.

溫度에 依한 影響으로는 溫度가 높을수록 그 값이 낮은 傾向을 보여 30 mesh粒子的 冷凍乾燥 粉末두부의 境遇 15°C에서 8.30, 30°C에서 8.07을 나타냈다.

Karel 等⁽²⁶⁾은 BET單分子層 水分含量이 食品構造內 低分子物質의 移動과 食品內 結合水 및 親水性基의 數와 깊은 關係가 있다고 報告하였다.

冷凍乾燥 粉末두부의 安全貯藏範圍는 單分子層 水分含量이 相對濕度 8.4%~50%이었고 熱風乾燥의 境遇 7.2%~64%이었다.

自由에너지

粉末두부에 對한 水分의 親化力은 水分含量에 따라 달라지며 水蒸氣 狀態의 물이 粉末두부 表面에 吸濕되는데 必要한 自由에너지와 關聯이 있다. 이때 必要로 하는 自由에너지는 앞의 (3)式으로 求하였으며 그에 따른 平衡水分含量과의 關係는 Table 3 및 Table 4와 같다. Labuza 等⁽²⁷⁾은 大部分의 食品이 水分吸着에 必要한 自由에너지가 2,000~10,000 cal/mole이라고 하였고 Bull 等⁽²⁸⁾이 報告한 젤라틴의 自由에너지는 大體적으로 本 實驗의 結果와 比較하여 다소 높았다.

吸濕速度

앞의 (2)式을 使用하여 吸濕速度常數를 算出하였을 때 直線의 기울기 및 切片의 값은 Table 5와 같다.

72時間 放置 後 相對濕度 40%, 15°C에서 冷凍乾燥 粉末의 吸濕速度常數 K는 0.00804로 가장 높았고 熱風乾燥 粉末두부를 30°C에서 放置하였을 때는 0.00451로 가장 낮았다.

Fig. 5는 溫度와 乾燥方法에 따른 水分活性度와의 關係를 나타낸 것으로 Udani⁽²⁹⁾의 밀가루 水分吸濕速

도와 水分活性度와의 關係에서와 같이 平衡相對濕度가 높을수록 吸濕速度常數 K도 增加하였다.

또한 粉末粒子的 크기에 따라 吸濕速度常數 K는 Fig. 6과 같이 別 差異를 나타내지 않았으며, Langmuir 等⁽³⁰⁾은 吸濕量은 表面의 特殊性으로 因해 粒子가 작을수록 吸濕表面積이 擴大되어 增加시킨다고 하였으나 Gur-Arieh 等⁽³¹⁾은 밀가루의 境遇, 粒子的 크기가 水分吸濕量 및 速度에 影響을 주지 않았으며 水分吸着은 物質의 特殊한 基에 依한다는 報告와 本 實驗의 結果와

Table 3. Relationship between ΔG° and moisture content with given relative humidity at 15°C

RH (%)	ΔG° (cal/mole)	Moisture content (dry basis %)	
		Freeze dried	Hot air dried
11.1	1285.1	10.8	7.2
22.9	858.2	12.5	10.0
32.9	647.2	14.3	11.5
43.9	479.3	16.0	13.4
53.5	364.1	19.4	15.0
64.8	252.6	24.7	18.2
75.5	163.6	34.0	25.1
79.6	132.8	44.8	33.1

Table 4. Relationship between ΔG° and moisture content with given relative humidity at 30°C

RH (%)	ΔG° (cal/mole)	Moisture content (dry basis %)	
		Freeze dried	Hot air dried
11.1	1323.5	9.8	5.9
22.0	911.6	11.3	8.2
32.4	678.5	13.0	9.9
43.5	501.2	14.6	12.1
51.4	400.7	16.6	13.7
63.3	275.3	21.0	16.8
75.2	171.6	30.4	23.2
80.8	133.6	36.4	31.2

Table 5. Moisture sorption rate constant K and its linear equation (m, b) of powdered soybean curd at 40% RH

Sample	K	m	b
Freeze dried powder stored at 15°C	0.00804	0.00279	0.00693
Freeze dried powder stored at 30°C	0.00696	0.00415	0.00530
Hot air dried powder stored at 15°C	0.00591	0.00560	0.00367
Hot air dried powder stored at 30°C	0.00451	0.00324	0.00322

Table 6. Time taken for mold growth after storage in desiccator at different relative humidity at 15°C and 30°C

(Unit : day)

RH (%)	15°C		RH (%)	30°C	
	Freeze dried	Hot air dried		Freeze dried	Hot air dried
76	17	15	75	8	7
81	15	12	80	4	4
97	9	6	96	3	3

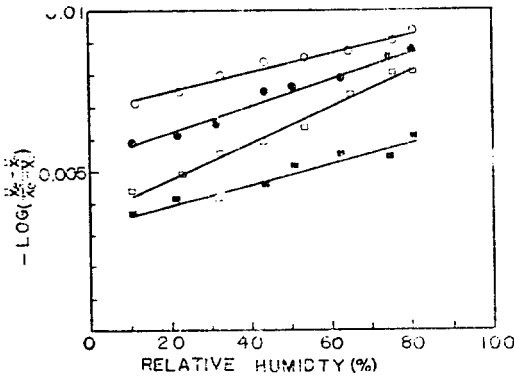


Fig. 5. relationship between $\frac{X_n - X_i}{X_n - X_0}$ and water activity for powdered soybean curd on sample type and storage temperature at 40% RH

- ; Freeze dried, stored at 15°C
- ; Freeze dried, stored at 30°C
- ; Hot air dried, stored at 15°C
- ; Hot air dried, stored at 30°C

一致하는 傾向을 보였다.

이밖에도 높은 相對濕度에서 長期間 放置함에 따라 水分含量的 增加로 곰팡이가 發生하였는데 相對濕度와 放置溫度에 따라 곰팡이 發生에 要하는 時間은 Table 6과 같다. 곰팡이 發生에 所要되는 時間은 相對濕度와 溫度가 높을수록 짧았는데, 96%, 30°C에서 冷凍乾燥 粉末 두부와 熱風乾燥 粉末 두부는 3日로서 가장 빨랐고 相對濕度 70%, 15°C에서 冷凍乾燥 粉末 두부는 17

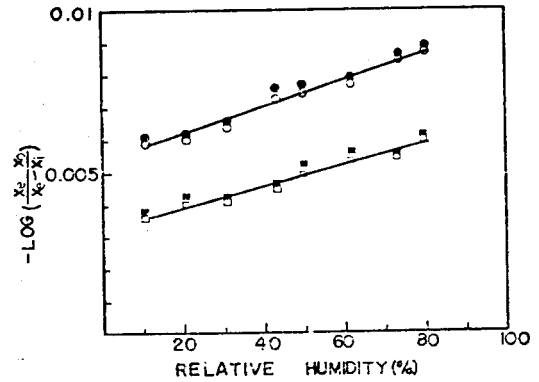


Fig. 6. Comparison of sorption rate on different particle size of powdered soybean curd stored at 15°C, 40% RH

- ; Freeze dried powder, 30 mesh
- ; Freeze dried powder, 50 mesh
- ; Hot air dried powder, 30 mesh
- ; Hot air dried powder, 50 mesh

日로서 가장 길었다.

Pitt 등⁽¹⁷⁾은 乾燥果實에서는 耐乾性 곰팡이인 *Penicillium*屬과 *Aspergillus*屬이 79% 以上の 相對濕度에서 發生했다고 하였으나 本 實驗에서는 그보다 낮은 76%에서도 發生하였다.

復水率

乾燥粉末 두부의 復水率은 Anon方法⁽²²⁾을 利用하였고 結果는 Table 7과 같다.

生두부의 水分含量은 82~85%였고, 粉末두부의 復水率은 50 mesh의 冷凍乾燥 粉末두부가 93.5%로 가장 높았고 30 mesh의 熱風乾燥 粉末두부가 86.8%로 가장 낮았으며, 全體의인 復水率은 比較的 높아서 製品の 原狀복귀能力이 좋음을 나타냈다.

要 約

大豆食品으로 蛋白質이 主成分인 두부의 貯藏性을 높이기 爲한 基礎研究로서, 두부를 熱風乾燥 및 冷凍乾燥 粉末로 하여 一定한 相對濕度에 放置하였을 때의

Table 7. Reconstitution ratio of powdered soybean curd

	Freeze dried		Hot air dried	
	30 mesh	50 mesh	30 mesh	50 mesh
Volume of water adsorbed	17.5	19.1	13.5	14.1
Water adsorption (%)	350	38.2	274	282
Reconstitution ratio	91.8	93.5	86.8	87.5

水分吸着特性和 곰팡이 發生 等에 關係 究明한 바, 그 結果는 다음과 같다.

1. 水分含量이 85%인 生두부를 熱風乾燥機를 利用하여 55°C에서 2cm 두께로 乾燥할 때에 水分含量을 乾物重 8.8%까지 내리는데 18時間 所要했으며, 水分含量 減少率은 5時間까지는 急速히 減少되다가 차츰 緩慢하였다.

2. 水分吸着時 溫度가 높을수록 平衡水分含量은 낮았고, 冷凍乾燥 粉末두부의 境遇 熱風乾燥 粉末두부보다 높았으며 粒子的 크기는 水分吸着에 큰 影響을 미치지 않았다.

3. 單分子層 水分含量은 平衡水分含量이 큰 冷凍乾燥 粉末두부가 8.3%로 가장 높았다.

4. 水分吸着에 要하는 自由에너지는 相對濕度 11%, 15°C에서 1,285.1 cal/mole, 30°C에서 1,323.5 cal/mole로 38.4 cal/mole이 낮았으며 冷凍乾燥 粉末두부의 吸着에 必要로 하는 自由에너지가 熱風乾燥에 依한 것보다 낮았다.

5. 粒子的 크기가 吸濕速度에서는 影響을 주지 않았고 溫度가 높을수록 常數가 낮아지는 傾向을 나타냈으며, 冷凍乾燥 粉末두부의 境遇, 15°C에서 0.00804, 30°C에서 0.00696이었다.

文 獻

1. 한판주, 최광수, 윤인화 : 농사시험보고, 9, 11 (1966)
2. 김성기 : 조미 건두부의 제조방법, 한국특허 505 (1968)
3. 문용채 : 즉석두부 제조방법, 한국특허 517 (1965)
4. 송석훈, 장진형 : 육기연 보고, 3, 5 (1964)
5. 정규철 : 건두부 제조방법, 한국특허 965 (1958)
6. 정재원 : 영양성 두부제조 방법, 한국특허 803 (1966)
7. 노일성 : 건조성 조미두부의 제조법, 한국특허 1762 (1959)
8. 윤장식, 김복성, 송석훈 : 육기연 보고, 6, 12 (1967)
9. Heldman, D. R. : *J. Food Sci.*, 39, 1011 (1974)
10. Landrock, A. H. and Proctor, B. E. : *Food Technol.*, 5, 332 (1951)

11. Wink, W. A. : *Mod. Packag.*, 20, 135 (1947)
12. Makower, B. and Dehrity, G. L. : *Ind. Eng. Chem.*, 35, 193 (1943)
13. Hogen, J. T. and Karon, M. L. : *Agr. Food Chem.*, 3, 855 (1955)
14. Wink, W. A. : *Ind. Eng. Chem., Anal.*, 35, 193 (1964)
15. Karel, M. and Labuza, T. P. : *J. Cryobiology*, 3, 1288 (1967)
16. Chung, D. S. and Pfost, H. A. : *Trans. Am. Chem. Soc.*, 66, 1944 (1967)
17. Pitt, J. I. : *Water Relations of Foods*, Academy Press, New York (1974)
18. 김재욱 : 농산식품가공학, 문운당, p.236 (1976)
19. Weast, R. C. : *Handbook of Chemistry and Physics*, Chem. Rubber Co., 59, E-40 (1979)
20. Emmett, H., Brunauer, P. and Teller, E. : *J. Am. Chem. Soc.*, 60, 39 (1938)
21. Paine, F. A. : *Fundamentals of Packaging*, Blackie and Son Ltd., London, p. 275 (1963)
22. Anon : *Handbook of analytical methods for soybean and soybean products*, Natl. Soybaan Proc. Assoc. (1946)
23. Saravacos, G. D., and Stinchifield, R. M. : *J. Food Sci.*, 30, 719 (1965)
24. Okamura, T., Toyoy, M. and Nelson, A. : *J. Food Sci.*, 43, 553 (1978)
25. Iglesias, H. A. and Chirife, J. : *Lebensm. Wiss. U. Technol.*, 9, 107 (1976)
26. Karel, M. and Issenberg, P. : *Food Technol.*, 17, 91 (1963)
27. Labuza, T. P. : *Food Technol.*, 22, 263 (1968)
28. Bull, H. H. : *J. Am. Chem. Soc.*, 66, 1499 (1944)
29. Udani, K. H., Nelson, A. L. and Steiberg, M. P. : *J. Food Technol.*, 22, 1561 (1965)
30. Langmuir, I. : *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1358 (1918)
31. Gur-Arieh, C. and Nelson, A. L. : *Food Technol.*, 21, 94 (1967)