

流動層에 의한 固體食品의 乾燥

유주현 · 이신영 · 변유량 · 양 응
연세대학교 식품공학과
(1978년 11월 3일 수리)

Dehydration of Solid Food Material Immersed in Fluidized-Bed

Ju-Hyun Yu, Shin-Young Lee, Yu-Ryang Pyun and Ryung Yang

Department of Food Engineering, Yonsei University, Seoul

(Received November 3, 1978)

Abstract

Squid was dried on the fluidized-bed in the drying chamber filled with solid particles which were also fluidized with hot-air, and effects of the fluidized particles, the squid's height from the grid and the drying temperature on the drying rate and quality of the squid were observed. The mechanism of moisture transfer during the falling rate period was also derived.

1. Sodium chloride was found to be the most suitable fluidized particles and at an air velocity of 3.8 m/sec, optimal fluidization state of this particle was obtained.
2. Uniform profiles of temperature were obtained at a point 4 cm above the grid and the location of squid on the fluidized-bed observed to be suitable when it was 4 cm above the grid.
3. At an air velocity of 3.8 m/sec and when the location height of the squid on the fluidized-bed was 4 cm, the optimal temperature for the drying time which is required to reduce the moisture from 80.8% to 18-22% was 8.5 hours.
4. Drying data followed the empirical equation of unsteady state diffusion $\log \left(\frac{W - W_e}{W_c - W_e} \right) = -m\theta$ in the region of the moisture contents measured and the drying constant (m) was calculated as 0.32 hr^{-1} . These results suggested that the migration of moisture during the falling rate period is due to a diffusion type mechanism.
5. The short constant rate period was observed in the early stage and thereafter, drying was controlled by the falling rate period, and the time ratio of the fluidized bed drying to the through circulation drying for reducing the squid's moisture contents to the same level at the same drying temperature was 1 : 1.4
6. Comparisons of fluidized-bed dried squid and sun dried squid in sale showed that there was no significant change in qualities such as external appearance and hydrogen ion concentration of dry product.

서 론

流動層技術은 1941년 미국에서 流動觸媒式 석유분해

법으로 gasoline 제조에 응용된 이후 석탄乾溜, 석회석의 燒成, 고온균일가열용 媒體등 물리적 조작으로 널리 이용되어 왔다⁽¹⁻³⁾. 식품공업에 있어서는 비교적

최근에 활용되어 유동층건조, 동결건조, 냉동 등 다방면으로 용도가 개발되고 있으며(4-6) 국내에서도 일부 라면용 수프건조나 제분 및 제약공업에서 이용되고 있다. 특히 유동층건조는 粉粒體재료를 건조하는 데 매우 유효하며 層전체의 온도분포가 균일하고 傳熱速度가 큰 이점을 갖고 있다. (4) 白井(7) 등은 이러한 이점들을 이용하여 자신이 流動化되지 않는 대형 고체식품을 분립체의 流動層內에 浸漬시켜 건조하는 새로운 방법을 보고한 바 있다.

오징어의 건조는 대부분 天日乾燥에만 의존하고 있어 건조에 長時間이 소요될 뿐 아니라 雨期時 대량 어획되는 경우 부패에 의한 손실이 크고 red discoloration 등 품질저하가 뒤따른다. (8,9) 또한 인공건조시에는 오징어의 몸체근육조직이 다른 魚肉의 경우와는 현저하게 다른 특수한 구조로 인하여 수축현상과 표면경화현상이 일어나기 쉽고 이에 따른 품질저하의 문제는 건조 오징어 제조시의 큰 문제점이 되고 있다(10-12).

따라서 본 연구는 품질의 균일성과 건조시간의 단축을 목표로 열매체 유동층내에 오징어를 고정시켜 건조하고 유동층에 의한 오징어 건조최적조건을 구하였으며 실험결과로부터 오징어의 건조 메카니즘을 해석하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용한 오징어는 시중 일반어물시장에서 구입한 피동어 오징어(Squid; *Watacenia Scintillans*)⁸⁾로서 slab상태로 절단하여 Be' 2~3⁹⁾의 염수로 점액을 제거하고 tap water로 수회 세척한 다음 염분을 제거후 몸통부분만을 취하여 시료로 하였다. 한편 流動化粒子로서 식염, 조, 설탕, M.S.G. (Mono sodium glutamate)결정입자를 사용하였으며, 식염의 경우 원만한 유동화상태를 얻기 위하여 drying oven에서 70~80°C, 20~30분간 가열하고 9~24 mesh범위의 것을 선정하여 사용하였다.

2. 실험방법

Vojtech(13) 등이 사용한 실험실용 유동층 건조기와 Swenson社(14)의 유동층건조기를 조합 개량한 유동층건조기를 제작하여 본 건조실험에 사용하였으며 그 구조는 Fig. 1과 같다.

여기서 ⑩는 상단 acryl, 하단 강판으로된 직경 100mm 높이 250 mm의 원통형이며 分散板(distributor) ⑨는 開口面積比(孔의 全面積/裝置斷面積)가 5~20%되는 다공판에 금속망을 씌운 것으로 풍속분포를 균일하게

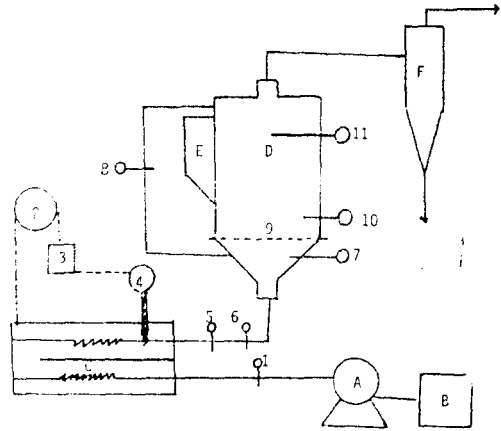


Fig. 1. Schematic arrangement of measurements for a bench scale fluidized bed dryer

- A: Fan
- B: Slidac
- C: Air Heater
- D: Fluidized Bed Dryer
- E: Wet Feed
- F: Dust Separator
- 1: Orifice & Manometer
- 2: Electric Source
- 3: Relay
- 4: Thermoregulator
- 5: Wet-bulb Thermometer
- 6: Dry-bulb Thermometer
- 7: Thermometer
- 8: U-tube Manometer
- 9: Porous Plate (distributor)
- 10: Thermometer
- 11: Holding rod of Sample

하기 위하여 오목형으로 하였다. 한편 공기가열기 ③는 철판으로 만든 상자형 duct내에 단속(100V, 2KW) 계속(100V, 2KW)의 열선을 설치한 것이다. 공기의 온도는 relay ③과 thermoregulator ④에 의하여 조절하였고 풍속은 orifice와 manometer ①에 의하여 측정하였다. 습도는 습구온도계 ⑤와 건구온도계 ⑥의 온도차로부터 습도도표(15)에 의하여 구하였으며 manometer ⑧로부터 입자층의 압력강하를 측정하여 吉留(16)의 방법에 따라 각 유동화입자의 유동화개시속도를 구하였다. 한편 건조중 시료중량의 변화는 적당한 시간 간격으로 건조실 ⑩로부터 꺼내어 재빨리 화학천칭으로 칭량하므로써 구하였으며 무수중량으로 표현하여 필요한 건조제산을 하였다. 건조제품의 평형수분함량(17-18)은 진한 황산용액을 사용하여 결정하였다. 기타 최종제품의 품질평가를 위해 측정된 용출물의 pH(20)는 100°C의 끓는물 100 ml에 10~15분간 용출시킨 후 여과하여 Beckman Model 72 pH메타를 사용하여 결정하였고 색도는 색도분포에 의하여 구하였다.

결과 및 고찰

1. 熱媒體 流動粒子의 선정

각 열매체 유동화입자에 대한 최적유동화상태를 얻기

기 위하여 가열공기의 流速에 따른 입자층(하중 204±1g)의 압력강하를 측정해본 결과, Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 유동화 開始속도가 식염 2.4m/sec, 설탕 1.26 m/sec, 조 1.90 m/sec, M.S.G. 1.26 m/sec로 나타났으며 이것은 Kozeny-Carman⁽²¹⁾의 이론식과도 잘 일치 하였다.

아울러 최적 유동화상태의 풍속은 유동화개시속도의 1~2배 풍속범위 즉 식염 3.6~4.2 m/sec, 설탕 1.8~2.5 m/sec, 조 2.6~3.2 m/sec, M.S.G. 2.0~2.3 m/sec에서 각각 얻을 수 있었다. 한편 각 열매체입자를 온도 30~45°C, 습도 12~20%로 조절하고 Fig. 2로부터 얻어진 최적유동화 풍속범위의 일정건조조건으로 하여 유동층을 형성시킨 다음 이 層內에 초기수분 80.8%의 오징어 slab(4cm×5cm)을 고정시켜 오징어의 시간적 중량변화를 본 결과는 Fig. 3과 같았다.

여기서 통기 열풍건조는 열매체 유동화입자 없이 건조를 행한 경우이다. 이 그림에서 식염을 유동화입자로 사용한 경우가 가장 건조속도가 높음을 알 수 있

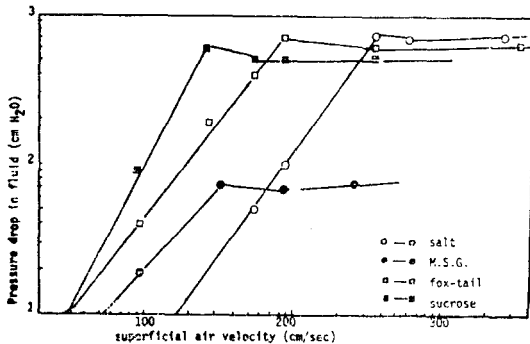


Fig. 2. Dependence of the hydrodynamic resistance of the fluidized bed on the superficial velocity in the determination of the incipient fluidizing velocity

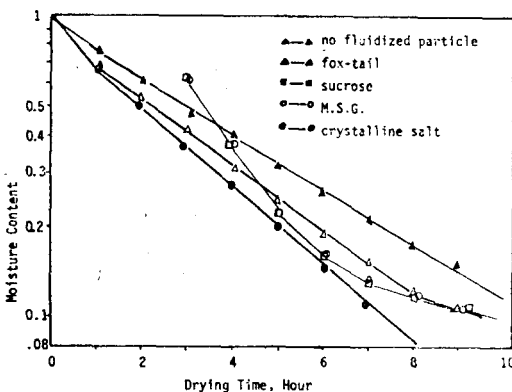


Fig. 3. Moisture content vs. time for various fluidized particles

며 최종수분 18~22%까지 건조시키는 데 소요되는 시간은 약 8.5시간임도 알 수 있다. 따라서 다음의 실험에서는 식염을 열매체 유동화입자로 사용 하였다.

2. 流動層內의 오징어의 固定위치선정

魚體의 인공건조시 나타나는 skin effect를 최소로 방지하기 위해서는 급격한 건조를 피하고 가급적 온도분포를 균일하게 하여주는 것이 바람직하므로⁽²³⁾ 분산판으로 부터의 거리에 따른 層內온도변화를 검토하였다. Fig. 4에 이 결과를 나타냈으며 여기서 grid로부터 4cm 이상의 거리에서는 온도가 균일함을 볼 수 있다.

그러므로 오징어의 고정위치는 grid로부터 4cm이상 떨어져있는 거리에 고정시키는 것이 바람직하다.

3. 온도변화에 따른 건조속도의 영향

오징어의 건조는 대부분 천일건조에 의하며⁸⁾ 丸^{—22)} 등의 보고에 의하면 魚體의 천일건조시 품온은 태양의 복사 에너지에 의하여 10°C가량 높다고 한다. 그러므로 본 실험에서는 이러한 천일건조환경과 유사하게 해주기 위하여 30~50°C의 온도구간에서 건조를 행하고 잔존수분의 경시적 변화를 반대수용지에 plot하여 기울기로부터 건조속도 상수 Kw를 구하였다. 이 결과는 Fig. 5에 나타내었으며 여기서 Kw값은 35°C에서 가장 높은 것으로 나타났다.

또 Fig. 6을 살펴보면 Fig. 5에서 가장 높은 건조속도상수를 보여주었던 35°C를 기준으로 저온에서 고온으로 또는 고온에서 저온으로 온도를 변화시켜 건조하는 것보다 온도변화 없이 35°C에서 일정한 온도로 건조 하는 것이 건조 속도가 더욱 높음을 볼 수 있다.

또한 온도의 상승은 항을 건조기간중 표면증발속도를 증가시키는 데는 유효하나 감율건조기간 후기에는 오히려 건조속도가 급격히 감소함도 알 수 있다. 이러한 사실로 미루어보아 오징어의 건조시에는 항율건조와 감율건조기간중 수분이동속도의 조화²³⁾가 중요한 것으로 예측되며, 이러한 온도증가에 따른 건조속도의

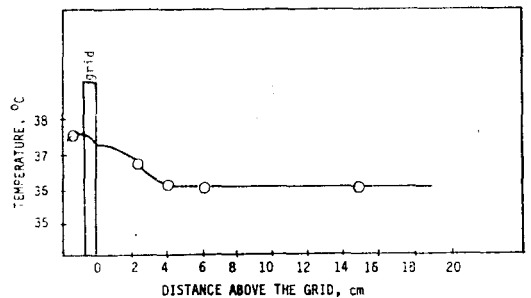


Fig. 4. Dependence of the temperature of the fluidized bed on height above the grid

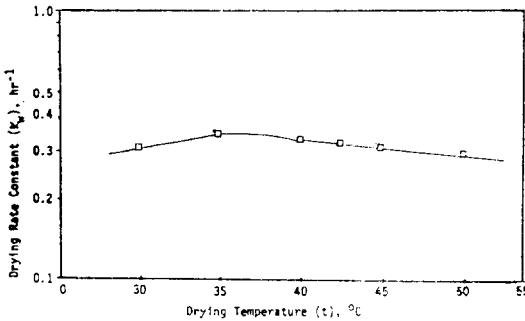


Fig. 5. Effect of drying temperature on drying rate constant(Kw)

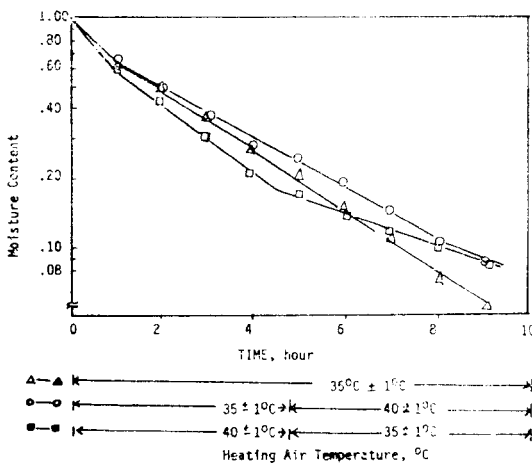


Fig. 6. Effect of variation of air temperature on the drying rate

감소현상은 유동층건조가 표면증발기간의에는 반드시 열효율이 높지않다⁽⁴⁾는 특성과 관련되어 있는 것으로 생각된다.

4. 감율건조 메카니즘의 결정

감율 건조기간중의 건조기구에는 아직 명확하게 알려져 있지 않고 많은 이론이 제안되어 있다. colloid 혹은 gel狀물질로 구성된 單相(single phase) 고체에서는 액체 확산에 의하여 수분이 이동되는 것으로 알려져 있으며⁽²⁴⁾ Hougén 등⁽²⁵⁾은 상호연결된 空隔(pore)나 毛細管(capillary)를 갖는 다공성물질의 경우에는 수분의 이동이 capillary mechanism에 의해 지배된다고 보고하였다. 한편 Göring⁽²⁶⁾은 감자의 건조연구에서 감율 건조기간중 수분의 이동은 capillary force와 diffusion의 조합된 機構에 의한다고 보고한 바 있다. 여기서는 이러한 건조기간중의 건조기구를 결정하기 위하여 감율 건조가 시작되는 점을 기준으로하여 이때 존재하는 全自由水에 대한 θ 시간후의 自由水 비율 즉 $(W -$

$W_e)/(W_c - W_e)$ 를 시간의 함수로서 반대수지에 plot하여 구하였다.⁽²⁷⁾

여기서 W_e 는 평형수분함량, W_c 는 임계수분, W 는 θ 시간에서의 수분함량을 표시하고 있다. 즉 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 $(W - W_e)/(W_c - W_e)$ 와 θ 는 직선 관계를 보여주었다.

이 직선으로부터 얻은 기울기를 구하고 capillary flow를 해석한 방정식⁽²⁷⁾ $(\frac{dw}{d\theta})_f = -k_1 (W - W_e)$ 의 k_1 값과 비교해본 결과 두 값은 일치하지 않았으며 아울러 오징어 재료크기에 따른 건조시간은 두께의 제곱에 비례하는 것으로 나타났다. 여기서 $(\frac{dw}{d\theta})_f$ 는 감율건조 속도이며 k_1 은 항율속도의 함수로서 $k_1 = -(\frac{dw/d\theta})_f / (W_c - W_e)$ 로 구해지는 값이고 $(\frac{dw}{d\theta})_c$ 는 항율건조속도를 표시한다 따라서 이상의 결과로보아 오징어의 감율건조기간 중 수분이동은 액체 확산에 의하는 것으로 추측되었으며 비정상상태의 확산방정식을 해석한 Sherwood의 관계식⁽²⁸⁾에 따르는 것으로 볼 수 있다. 따라서 Fig. 7에서 얻어진 직선은 $\ln(W - W_e / W_c - W_e) = -m\theta$ 로 나타낼 수 있으며 Fig. 7의 직선기울기 S로 부터 재료특성, 건조온도, 재료두께 등에 의존하는 건조상수 m의 값을 구할 수 있다. 즉 $m = -2.3 S$ 로 부터 구한 m의 값은 0.32hr^{-1} 이었다. 야채 및 과일 경우에는 $0.34 \sim 2.12 \text{hr}^{-1}$ 로 보고 되어 있다.⁽²⁴⁾

그러나 실제로 오징어의 감율건조 메카니즘은 더욱 복잡할 것으로 생각되어지며 보다 상세한 연구가 필요하리라 본다.

5. 다른 건조법과의 비교

열매체 유동층에 의한 건조특성을 천일 건조, 통기열 풍건조와 비교하였으며 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

이 그림을 살펴보면 천일 건조는 속도 상수가 거의 변하지 않고 1단계로 건조되는 반면에 통기열풍건조와

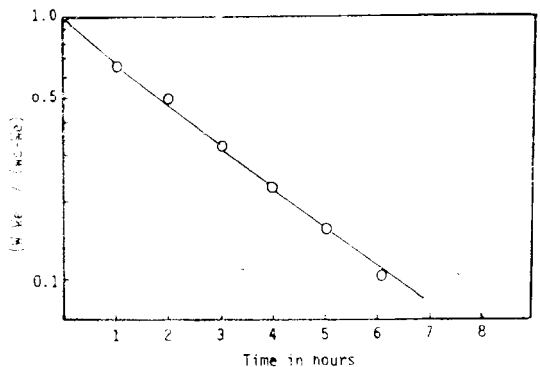


Fig. 7. $(W - W_e)/(W_c - W_e)$ vs. time elapsed in falling rate period

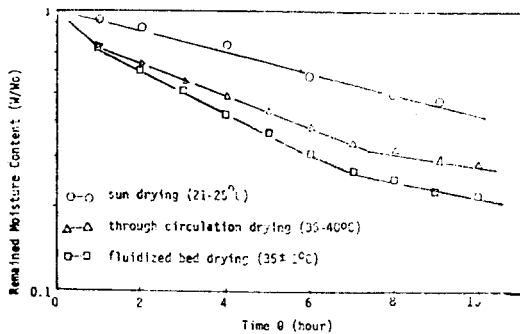


Fig. 8. Weight fraction (W/Wo) vs. drying time for 3 drying types

열매체 유동층에 의한 건조에서는 속도상수가 3단계로 변하여 제 1 단계의 짧은 시간 동안만 항을 건조되고 곧 감율건조로 들어감을 알 수 있다. 따라서 오징어의 건조는 표면증발에 따른 항율건조 보다는 감율건조에 의해 지배됨을 알 수 있으며 건조시 표면증발과 내부 확산을 조화시켜 줄 필요가 있다는 것을 지적 할 수 있다. 한편 동일처리온도에서 동일 잔존수분율까지 건조시키는 데 소요되는 시간은 유동층건조를 1로 볼 때 통기열풍건조에서는 약 1.4임을 알 수 있으며 감율건조기간이 길어질 수록 그 차이는 심하였다.

6. 천일건조제품과의 품질비교

시판 천일건조 오징어를 대조로 하여 외관성상 및 용출물 pH를 비교검토하였으며 그 결과는 Table 1.과 같다.

먼저 용출물 pH는 유동층건조제품이 천일건조제품에 비해 다소 높았으나 이것은 열매체 유동화입자로서 식염을 사용하였으므로 오징어조직중에 염이 침투되었기 때문이라 생각되며 색도에 있어서도 다소 白味를 나타냈음은 오징어 전처리 과정 중 담수침적에 의해 색소세포가 수축되어 작아지고 따라서 세포간의 간격이 증대되므로써 체표면이 외관적으로 白味를 나타낸 것⁽²⁰⁾으로 추측된다. 기타 건조오징어 제조중 흔히 나타나는 morning-meat-burn⁽²⁰⁾ red discoloration⁽⁹⁾은 나타나지 않았다.

Table 1. External appearance and pH of the dry products

Drying type	External appearance (Color)	pH
*Sun drying	Orange	6.4
**Fluidized-bed drying	Whitise orange	6.8

* Drying temp. (°C) 25. Drying time (hr) 72

** Drying temp. (°C) 35. Drying time (hr) 8.5

요 약

오징어열매체를 열매체로 유동화시킨 유동층내에서 오징어를 고정시켜 건조시킬 때 유동화입자, grid로부터의 오징어 고정위치, 온도가 오징어의 건조속도와 품질에 미치는 영향을 검토하였으며 또한 감율건조기간중 수분의 이동 메카니즘을 추론하였다.

1) 유동화입자로는 식염이 가장 바람직했고 풍속 3.8 m/sec에서 최적 유동화상태를 얻었다.

2) 유동층내에서의 균일온도 분포는 grid로부터 4 cm 이상거리에서 얻었으며 따라서 오징어의 고정위치는 이 거리 이상에서 바람직한 것으로 관찰되었다.

3) 풍속 3.8 m/sec, grid로부터 4 cm 이상되는 오징어의 고정위치에서 건조속도에 대한 최적온도는 35°C에서 얻었으며 이 조건에서 초기수분 80.8%로부터 최종수분 18~22%까지 건조하는 데 소요되는 시간은 8.5시간 이었다.

4) 건조자료는 측정된 수분함량범위에서 비정상상태의 확산방정식 $\ln \frac{(W - W_e)}{(W_c - W_e)} = -m\theta$ 의 경험식에 따랐으며 m의 값은 0.32hr⁻¹로 계산되었다. 또 이들 결과는 감율 건조기간중 수분의 이동이 액체확산에 의한 것임을 시사했다.

5) 오징어의 건조는 초기 짧은 시간 동안만 항율건조되고 그 이후는 감율건조에 의해 지배되는 것으로 나타났으며 동일온도에서 동일잔존수분까지 건조시키는 데 소요되는 유동층건조에 대한 통기 열풍건조의 건조시간비율은 1 : 1.4였다.

6) 유동층건조된 오징어 제품은 시판 천일건조 오징어 제품과 비교하여 품질상 유의차가 없었다.

참 고 문 헌

1. Vanecek, V., Markuart, M. and Drbohlav, R.: *Fluidized-Bed Drying*, Leonard Hill, (1966).
2. Kunii, D. and Levenspiel, O.: *Fluidization Engineering*, John Wiley and Sons, Inc. p.1-31 (1969).
3. 國井大藏: 流動化法, 日刊工業新聞社. (1962).
4. 吉留浩: *J. Ferment. Technol.*, **48**, 704 (1970).
5. Scott, K. R., Tape, N. W. and Aref, M. M.: *Food. Technol.*, **21**, 1090 (1967).
6. Trauberman, L.: *Food. Eng.*, **46** (Aug. 1962).
7. 白井, 吉留浩: *化學工學*, **29**, 880 (1965).
8. Tanikawa, E.: *Marine Products in Japan*, Ko-

- seisha-Koseikaku Company, Tokyo, p. 216-223 (1971).
9. 谷川英一, 秋場稔, 沼倉忠弘: 北大水研彙報 4, 332 (1954).
 10. 榎井方人, 齊藤道雄, 東秀雄: 食料工業, 厚生閣版 p.506-512 (1962).
 11. 谷川英一: 水産加工學, 恒星社厚生閣版, p.3-6 (1963).
 12. 田中: 東區水研報告, 20, 77 (1958).
 13. Vaneck, V., Markuart, M. and Drbohlav, R.: *Fluidized Bed Drying*, Leonard Hill, p.119-121 (1966).
 14. Swenson Evaporator Co., Division of Whiting Cooperation: *Rotary and Fluidized-Bed Dryer and Cooler* (Nov. 6, 1968).
 15. Charm, S. E.: *Fundamentals of Food Engineering*, 2nd Ed. AVI p.297 (1971).
 16. 吉留浩: 化學裝置, 7, 42 (1965).
 17. Labuza, T. P.: *Food Technol.*, 22, 263 (1968).
 18. Wilson, R. E.: *J. Ind. Eng. Chem.*, 13, 326 (1921).
 19. Makower, B. and Dehority, G. L.: *Ind. Eng. Chem.* 35 (2), 193 (1943).
 20. 京都大學 食品工學教室 (編): 食品工學實驗書(下) p.617-633 (1969).
 21. McCabe and Smith: *Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw Hill, p.171-181 (1967).
 22. 丸一, 日野: 島根水試月報, 3 (12), 28 (1958).
 23. 谷川英一: 水産加工學, 恒星社厚生閣版, p.52-54 (1963).
 24. Saravacos, G. D. and Charm, S. E.: *Food Technol.*, 16 (1), 78 (1962).
 25. Lealgski, N. H. and Hougen, O. A.: *Trans. Am. Inst. Chem. Engrs.*, 23, 283 (1937).
 26. Görling, P.: *Conference on Fundamental Aspects of the Dehydration of Foodstuffs*, Macmillan, London, p.42 (1958).
 27. Perry, R. H.: *Chem. Eng. Handbook*, 5th ed. McGraw Hill 20-14-15 (1973).
 28. Sherwood, T.K.: *Ind. Eng. Chem.*, 21, 21 (1929).
 29. Tanikawa, E.: *Marine Products in Japan*, Koseisha-Kosei Kau Company, Tokyo, p.223-225 (1971).