

압착여과와 열풍에 의한 비지의 건조

정 성 수* · 장 호 남 · 박 무 영

한국과학원, 주식회사 정·식품*

(1977년 6월 28일 수리)

Dehydration of Soybean Residue by Hot-air in Conjunction with Filter Pressing

by

Sung-Soo Chung*, Ho-Nam Chang and Moo-Young Park

Korea Advanced Institute of Science, *Chung's Foods Co., Ltd. Seoul

(Received June 28, 1977)

Abstract

The wet soybean residue, a byproduct of soymilk industry having potential food value has been dried to dehydrate for the purpose of storage. The total solid of the byproduct was composed of 28.9% protein, 13.6% fat, 4.4% ash and 53.0% carbohydrates.

The original water content of 593% (dry-weight basis) was reduced to 378% by pressing mechanically. The sufficient pressure and time for the pressing were found to be 0.5M/T and 5minutes, respectively.

The partially dehydrated soybean residue was formed into pellets of 3mm in diameter and 10mm in length. By applying hot air on the thin layer of pellets the moisture could be further reduced to the level of 10% which is equivalent to that of the commercial wheat flour. No significant color deterioration in the product was observed if the hot air dehydration procedure was within the limit of 95 minutes at 120°C under the air flow velocity of 160 feet per minute.

서 론

우리나라에서 두부 또는 豆乳를 제조하고 부산물로 얻어지는 비지는 가정에서 비지찌게를 조리해 먹는 것이 고작이고 대부분이 동물사료로 이용되거나 부패된 상태로 폐기 처리되는 것이 우리의 실정이다. 이렇게 비지를 폐기처리할 경우 대두의 단백질 함량의 18%, 지방함량의 8.1%가 유실되는데 이러한 비지단백질의 Protein Efficiency Ratio(P.E.R.)가 대두, 두부, 두유의 그것보다 높은 양질의 단백질임이 밝혀졌다⁽¹⁾. 이러한 영양가 높은 자원의 유실을 막기위하여 비지의 저장성을 높이고 나아가서는 식품으로 이용할 수 있도록

하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 실험을 실시하여 그 일부를 이에 보고하는 바이다.

술어 및 약어해설

D : 액체의 확산계수, cm^2/sec

sd : 건조시료의 두께, cm

m : 건조상수

θ : 건조시간, hr.

W : θ 시간이 경과했을 때의 수분함량

(g-water/g-solid) \times 100

W_c : 임계수분함량

W_o : 평형수분함량

- Dbt. : Dry-bulb temperature
- Wbt. : Wet-bulb temperature
- D.B. : Dry-weight basis
- W.B. : Wet-weight basis
- R.H. : Relative humidity
- fpm : ft/min.

실험방법 및 재료

1. 실험재료

두유 생산공장에서 다음 Fig. 1에서 보는바와 같은 공정을 거쳐 생산된 비지를 냉간고에 5°C로 보관하여 실험에 사용하였다.

2. 실험방법

가) 비지의 초기 수분함량

열풍건조에 사용된 비지 시료는 항상 건조전에 초기 수분함량을 측정하여 건조시료의 수분함량을 계산에 의하여 구할 수 있도록 하였다.

나) 비지의 열풍건조 실험

실험에 사용된 건조기는 Fig. 2에서 보는 구조의 Fully Proportional Saturable Reactor Temp. Controlled Oven으로 가열장치, 송풍장치, 온도 조절장치, 온도지시계가 설치되어 있다. 열풍속도는 Hasting Air-

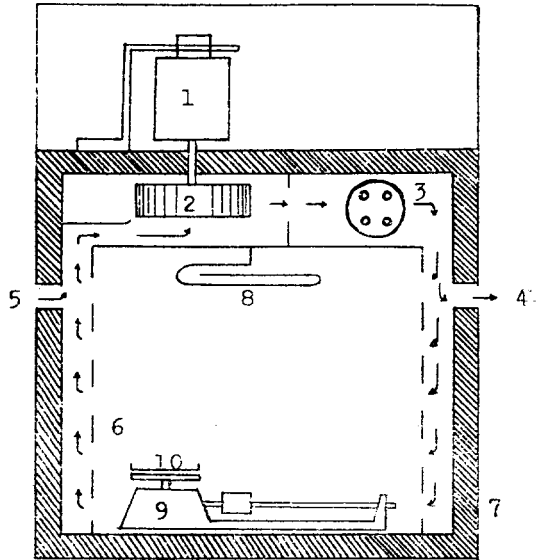


Fig. 2. Front sectional view of dryer.

- 1. Heavy duty blower motor 2. Blower fan 3. Heating element 4. Adjustable exhaust port 5. Adjustable fresh air intake 6. Perforated plenum walls 7. Fiberglass insulation 8. Thermocouple 9. Balance 10. Tray

Meter Model G-11을 사용하였는데 측정방법은 probe를 건조시료 바로 위에 풍향과 직각 방향으로 설치하여 측정하였다. 습도는 건조기내에 습구 온도계를 설치하여 습구온도를 측정한 다음 Psychrometric Chart로부터 환산하였다.

건조시료의 수분의 정량은 건조기내에 안치한 Triple-Beam Balance (0.1g sensitivity)로 건조시료의 무게를 칭량하고 그 값을 가지고 건조전에 측정된 초기 수분함량으로 부터 계산에 의하여 건물중량비로 수분함량을 구하였다.

건조쟁반은 가로 12cm, 세로 12cm, 깊이 0.5cm 크기이며 재질은 0.5mm 두께의 stainless steel이다. 쟁반은 시료를 담기전에 silicone oil을 발라서 시료가 달라붙지 않도록 하였다.

이러한 방법으로 실시한 열풍건조 실험은 원형비지, 압착비지, 과립상비지의 상태로 건조조건을 각각 달리 실시하였는데 그 조건은 건조온도 70°, 100°, 120°에서 그리고 열풍속도는 0, 160 fpm이었다.

다) 비지의 압착실험

비지의 압착은 압력계가 부착된 Carver Lab Press를 사용하였으며 압력계의 눈금이 요구하는 하중에 도달하였을 때 부터 Gra Lab Universal Timer로 측정하였

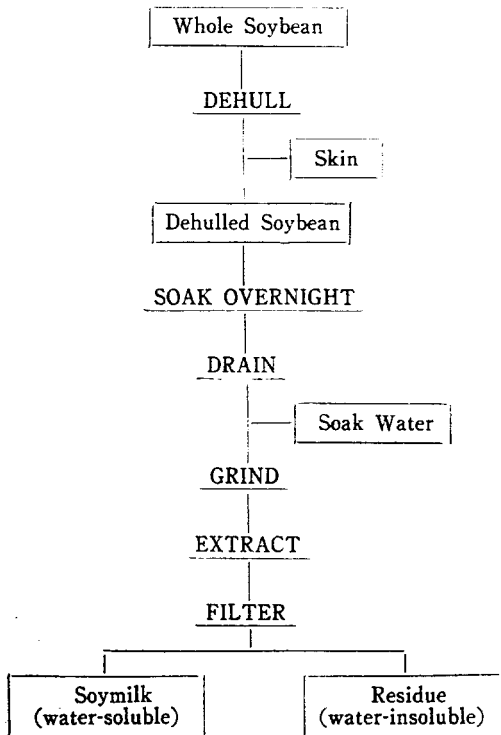


Fig. 1. Flow sheet of soymilk-production process.

고 압착시료의 수분함량은 이미 측정된 초기수분함량으로 부터 계산에 의하여 건물중량비로 산출하였다.

결 과

1. 비지의 일반화확조성

Fig. 1에서와 같은 공정을 거쳐 얻어진 두유와 비지를 동결건조시켜 일반분석을 하여 각 조성의 함량을 조사한 결과 Table 1에서 보는 바와 같다. 또한 Kim과 Byun(2)이 보고한 국내생산 대두의 조성과의 비교 참조하였다.

2. 비지의 열풍건조

수분함량이 593%인 비지를 건조장반에 5mm두께로 담아 각각의 건조조건(풍속 : 0, 160fpm 건조온도 : 120°, 100°, 70°C)에서 열풍건조를 실시하여 Fig. 3과 같은 건조곡선을 각각 얻었다. 이 건조곡선을 Graphical

Table 1. Chemical composition of freeze-dried soymilk and freeze-dried soybean residue.

	Freeze-dried Soymilk %	Freeze-dried Residue %	Whole Soybean % ⁽²⁾
Moisture	7.30	8.20	11.95
Total Solid	92.70(100)	91.80(100)	88.05(100)
Protein	50.65(54.64)	26.55(28.92)	39.80(45.20)
Fat	23.80(25.67)	12.50(13.62)	19.20(21.81)
Ash	3.89(4.20)	4.04(4.40)	4.60(5.22)
Carbohydrate (by difference)	14.36(15.49)	49.71(53.06)	24.55(27.88)

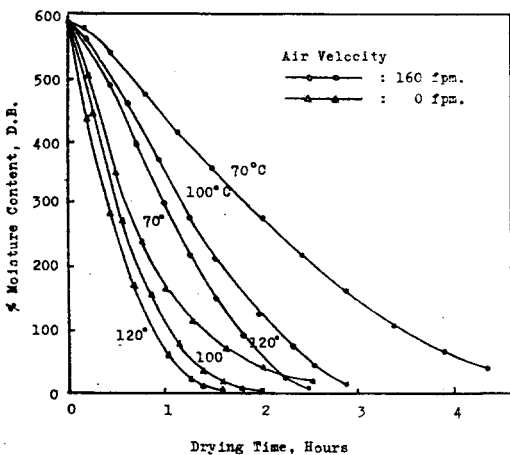


Fig. 3. Effect of temperature, time and hot-air velocity on the drying of unpressed soybean residue.

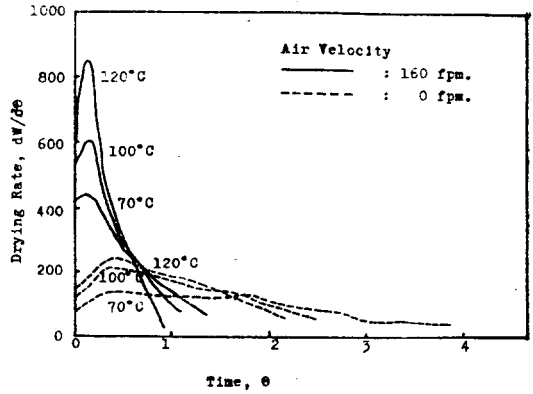


Fig. 4-(a) Drying rate curves for unpressed soybean residue. The rates were computed from the curves of Fig. 3.

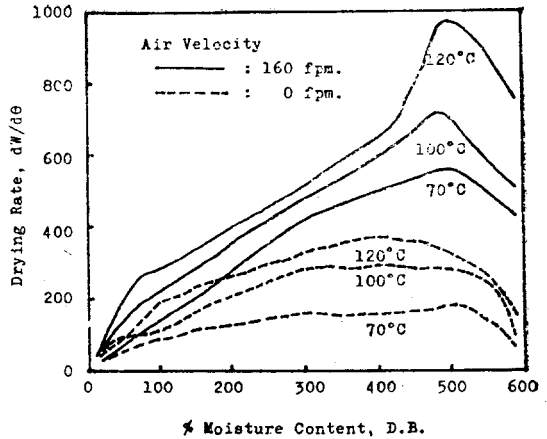


Fig. 4-(b) Drying rate vs. moisture content for drying of unpressed soybean residue.

Differentiation에 의하여 각 구간의 기울기로 부터 건조속도를 구하여 Fig. 4-(a), (b)에 각각 시간과 수분함량에 대한 건조속도의 변화를 도시하였다. 이때에 건조속도가 가장 큰 값을 보인 경우는 건조조건 160fpm, 120°C에서 8분의 평형조절기간이 경과되었을 때 984% Moisture/hr.이었으며 이때의 수분함량은 490%이었다.

다음은 비지를 기계적인 방법으로 수분함량을 가능한 한 감소시킨 후 열풍건조를 실시하였다. 이때 압착 실험은 하중변화에 따른 수분함량의 변화를 Fig. 5-(a)에서 살펴 보았고 Fig. 5-(b)에서는 압착시간에 대한 수분함량의 변화를 보았으며 Fig. 5-(c)에서는 시료량에 따른 수분함량의 변화를 보았다. 그 결과 하중 0.5%, 압착시간 5분 정도가 적합한 압착 조건임을 알 수 있었으며 이러한 조건에서 시료가 500g이상일때 타당성 있는 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 이렇게

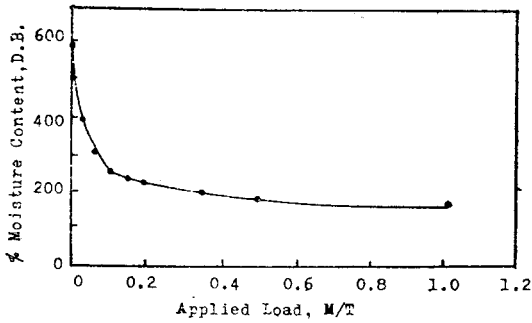


Fig. 5-(a) Effect of pressure on the removal of moisture from the soybean residue. The samples were pressed for 5 minutes.

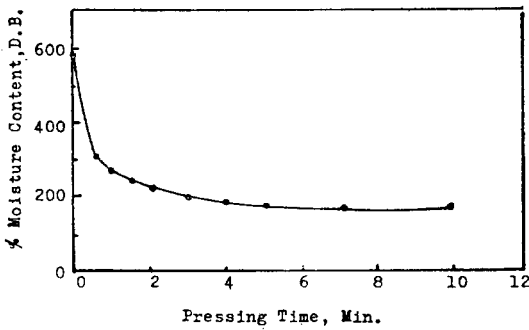


Fig. 5-(b) Effect of pressing time on the removal of moisture from the soybean residue. The samples were pressed at 0.5 M/T load.

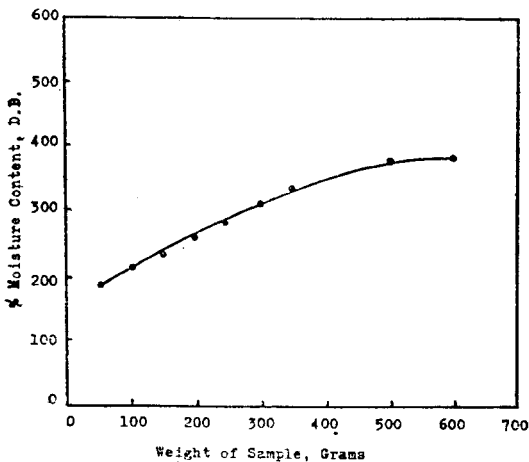


Fig. 5-(c) Effect of sample size on the removal of moisture from the soybean residue. The samples were pressed for 5 min. at 0.5M/T load.

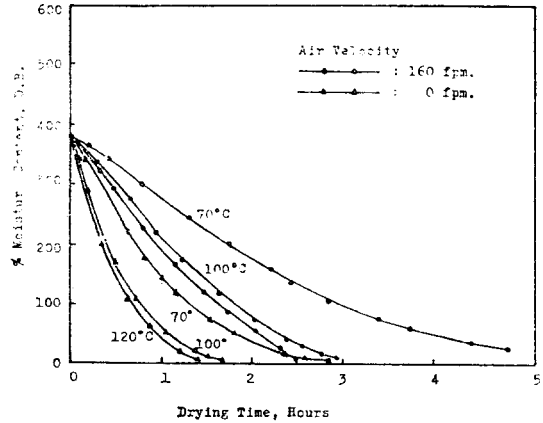


Fig. 6. Effect of temperature, time and hot-air velocity on the drying of pressed soybean residue.

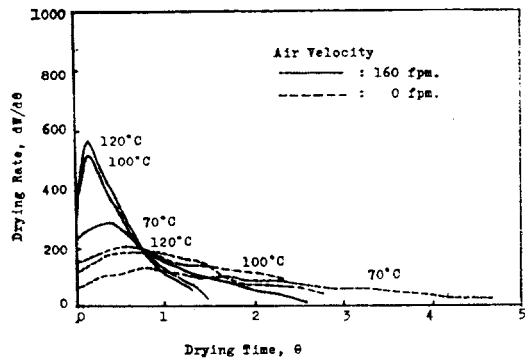


Fig. 7-(a) Drying rate curves for pressed soybean residue. Drying rates were computed from the curves Fig. 6.

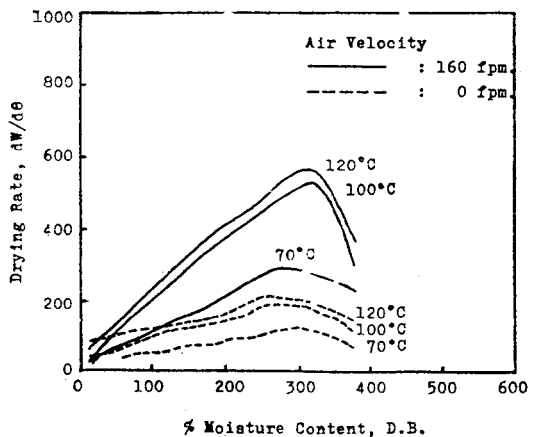


Fig. 7-(b) Drying rate vs. moisture content for drying of pressed soybean residue.

압착에 의해서 비지의 수분을 376%까지 낮출 수 있었다. Fig. 6, Fig. 7-(a) (b)는 376%까지 압착된 비지를 전술한(나, 참조) 조건으로 열풍건조시킨 결과인 바 원형비지의 열풍건조보다 건조시간이 단축되지 않음을 알 수 있었다.

수분함량을 378%까지 낮춘 압착비지를 extruder를 이용하여 지름이 약 3mm, 길이가 10mm정도되는 과립 모양으로 만든 다음(나)와 같은 건조조건에서 열풍건조를 실시하였다. 그 결과가 Fig. 8, Fig. 9-(a)(b)에서 보는 바와 같았으며 압착비지의 경우보다 건조속도가 현저하게 증가함을 볼 수 있으며 따라서 건조시간이 단축됨을 볼 수 있다. 단 이 결과는 앞서 실시한 원형비지, 압착비지의 열풍건조에 사용한 시료와 중량이 같도록 하여 얻은 결과이다.

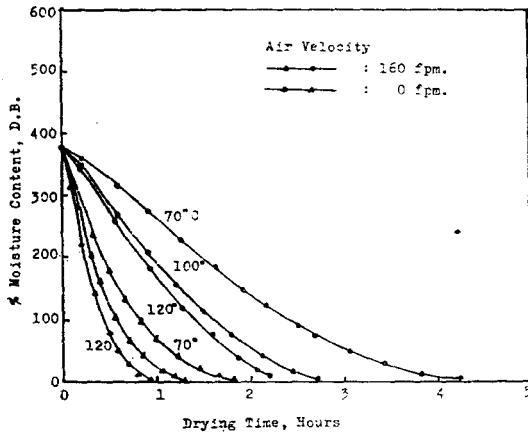


Fig. 8. Effect of temperature, time and hot-air on the drying of pellet-formed soybean residue.

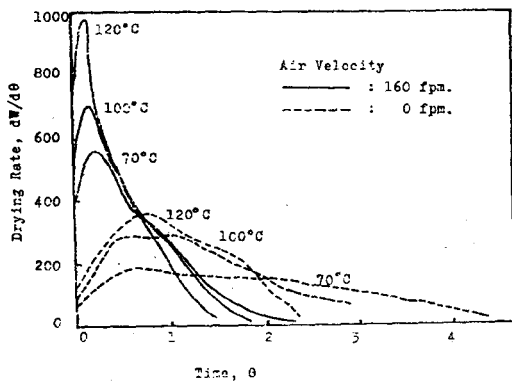


Fig. 9-(a) Drying rate curves for pellet-formed soybean residue. The rates were computed from the curves of Fig. 8.

3. 비지의 건조이론

원형비지와 과립상비지의 건조조건 160fpm, 120°, 100°, 70°C에서 실시한 열풍건조 결과를 가지고 건조이론에 적용시켜 봄으로써 비지의 대략적인 건조기작을 살펴 보았다. Fig.4-(a), Fig.9-(a)에서 각각 보는 바와 같이 이 건조조건에서 실시한 실험결과는 항속건조기간이 존재하지 않음으로 평형조절기간이 끝날 때의 수분함량을 임계수분함량으로 하고 곧 감속건조기간으로 돌입하는 것으로 보았다. 그리고 이 감속건조기간에 대해서 Fick's law를 해석한 관계식 $(W - W_e) / (W_c - W_e) = 8 / \pi^2 [\exp\{-D\theta(\pi/2d)^2\}]$ 에 대하여(3), 원

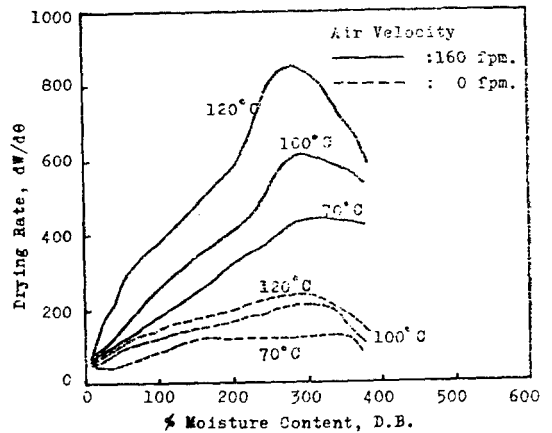


Fig. 9-(b) Drying rate vs. moisture content for drying of pellet-formed soybean residue.

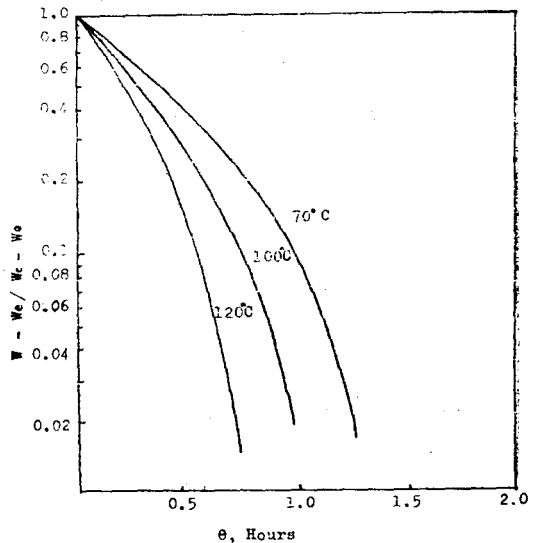


Fig. 10-(a) $(W - W_e) / (W_c - W_e)$ vs. time elapsed in falling rate period for the drying of unpressed soybean residue. Air Velocity: 160 ft/min.

Table 2. drying constants, critical moisture contents and diffusivities of unpressed soybean residue and pellet-formed soybean residue. Air Velocity: 160 ft/min.

Material	Air Conditions			W(D.B.)(%)	Drying Constant, (hr ⁻¹)	Diffusivity (cm ² /sec)
	Dbt.(°C)	Wbt.(°C)	R.H.(%)			
Unpressed Soybean Residue	120	52	4.6	490	5.923	0.0162
	100	46	6.7	474	4.313	0.0118
	70	42	19.0	475	3.137	0.0086
Pellet-formed Soybean Residue	120	52	4.6	260	11.500	0.0314
	100	46	6.7	280	7.666	0.0210
	70	42	19.0	305	6.272	0.0172

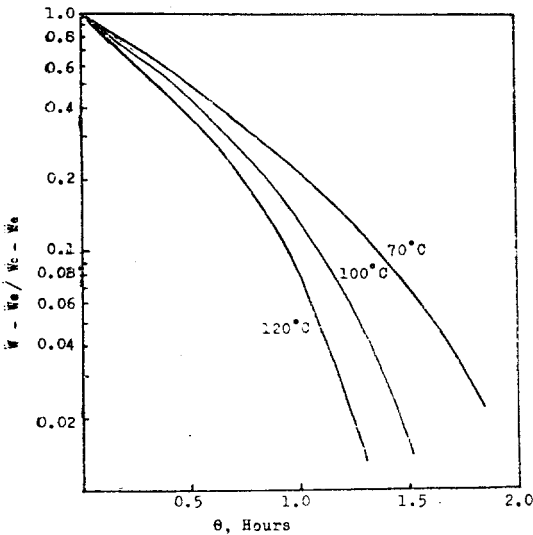


Fig. 10-(b) $W - W_c / W_c - W_c$ vs. time elapsed in falling rate period for the drying of pellet-formed soybean residue. Air Velocity: 160 ft/min.

원형비지와 과립상비지의 경우를 각각 Fig. 10-(a)(b)에서와 같이 Semi-log 그래프에 도시하였다. 그리고 $(W - W_c) / (W_c - W_c)$ 가 0.2되는 점에서 각 곡선의 점근선을 그리고 그 점근선의 기울기 S를 구하였다. 앞의 관계식에서 $\pi^2 D / 4d^2 = m$ (건조상수)이라 한다면 $m = -2.3S$ 가 된다 이러한 관계로 부터 건조상수 m을 구하고 다시 확산계수 D를 구하여 Table 2에 정리하였다. 여기서 건조시료의 두께 d는 0.5cm로 하였다. 이 결과에서 확산계수가 원형비지의 경우보다 과립상비지의 경우가 대체로 큰 것을 알 수 있다.

고 찰

Fig. 3의 원형비지의 건조곡선에서 열풍의 속도가 건

조에 미치는 영향을 살펴 볼 수가 있는데 열풍을 송입하지 않은 상태에서 보다 열풍을 송입함으로써 건조시간이 단축되며 건조온도가 높을수록 건조가 빨라짐을 알 수 있다.

Fig. 4-(a)에서는 건조조건이 풍속 160fpm, 온도 120°, 100°, 70°C의 경우와 온도 120°C에서 열풍을 송입하지 않은 경우를 보면 건조초기에 평형조절기간을 거친후 항속건조기간의 양상을 보이지 않고 곧 감속건조기간으로 돌입하여 Perry(3)가 설명한 일반적인 건조속도곡선과는 차이를 나타내고 있으며, 건조온도 100°, 70°C에서 열풍을 송입하지 않은 경우는 항속건조기간이 존재하고 건조온도가 낮을수록 그 기간이 길어져 임계수분함량에 도달하는 시간이 길어짐을 보여주고 있다.

Fig. 4-(b)에서는 풍속이 건조에 미치는 영향은 주로 수분함량이 높은 건조초기에 크게 나타남을 보여주고 있으며 건조말기에 수분함량이 낮을 때는 거의 영향을 미치지 못함을 보여준다.

이상의 건조결과를 압착비지나 과립상비지의 경우도 거의 비슷한 건조양상을 보여주고 있으나 압착비지에 대해서는 건조속도가 원형비지의 경우보다 현저히 감소하였음을 보여주는데 이러한 이유는 비지를 압착함으로써 그 조직구조가 치밀해져서 내부의 수분이 건조표면으로 이동하기가 어려워졌기 때문일 것이다. 이러한 이유로 수분의 증발을 효과적으로 하기 위하여 압착에 의하여 비지의 수분함량을 593%에서 378%로 낮춘후 과립모양으로 만들어 건조표면적을 넓혀준 과립상비지의 경우 건조속도가 크게 향상되어 원형비지의 경우와 거의 같아짐을 볼 수 있었다. 그러나 건조온도 120°, 100°, 70°C에서 열풍을 송입하지 않은 경우에는 건조속도가 증가되지 않음을 보여주고 있어 건조효과를 높이기 위하여 압착비지를 과립모양으로 만들어 줄 경우 반드시 열풍을 불어넣어 주어야 그 효과가 크게

나타남을 알 수 있었다. 이상의 결과로 보아 비지를 압착하지 않고 원형비지 그대로를 과립으로 만들어 열풍 건조를 시킬 경우 더욱 건조효과가 좋을 것으로 사료되나 실제 비지의 수분함량이 생체중량비로 평균 85.6%에 달하여 원형비지 그대로는 과립이 형성되지 않는다는 문제점이 있다. 원형비지와 과립상비지의 경우 감속건조기간에서의 건조기간은 주로 확산에 의한 수분 이동에 의하여 이루어 지는 것으로 짐작할 수 있겠으나 단 이 한가지 기작에 의해서 된다고 결론지을 수는 없으며 실제로 비지의 건조 기작은 더욱 복잡할 것이다. 또한 원형비지의 건조기간과 과립상비지의 건조기간을 모두 같은 건조이론에 적용시킴도 문제점이 있으나 두 시료의 건조효과를 상대적 수치로 비교해 본다는 점에 의미가 있다고 보겠다.

결 론

이상의 결과들로 미루어 보아 비지를 건조시킴에 있어서 열풍건조의 적합성을 알 수 있으며 더우기 비지 그대로를 열풍건조 시키는 것보다 과립이 형성될 수 있도록 압착여과기로 0.5%의 하중으로 5분간 압착하여 593%의 수분함량을 갖는 비지를 378%까지 낮춘후 extruder로 압착비지를 과립모양으로 만들어 열풍건조를 시킴으로써 더욱 건조효과를 높일 수 있었다.

가장 건조효과가 좋았던 과립상비지의 열풍건조에서 본 실험에서 실시한 건조 조건중에서는 열풍속도를 160 fpm으로 하여 120°C에서 건조하였을 경우 최대 건조속도 dw/dθ가 852이였으며 이때의 감속건조기간에서의 확산계수는 0.0314 cm²/sec이었다. 우리나라에서 식품으로의 이용가치를 인정받지 못하고 있는 비지는 이러한 열풍건조에 의해 건조비지 분말로 만들 경우 이유식이나 복합분의 원료 또는 인삼의 특수비료(5) 등 그 쓰여질 범위는 넓을 것으로 사료되는 바이다.

요 약

식품으로의 이용가치가 충분한 것으로 알려진 豆乳

제조시 부산물로 얻어지는 비지를 보존하기 위한 방법의 하나로 열풍건조를 실시하였다. 비지의 고형성분은 단백질 26.55%, 지방 12.50%, 회분 4.04%, 탄수화물 48.71%이었다.

건물중량비로 593%의 수분함량을 갖고 있는 비지를 기계적으로 압착하여 378%까지 수분함량을 감소시켰다. 이때의 적합한 압착조건은 압착하중 0.5%, 압착시간 5분 이었다.

압착에 의하여 수분함량이 감소된 비지를 지름이 3mm, 길이가 10mm정도 크기의 과립모양으로 만들었다. 이러한 과립상 비지를 얇은층으로 쌓아 10%의 수분함량까지 열풍건조를 실시하였다. 그 결과 건조조건(열풍속도 160fpm, 건조온도 120°C)에서 95분간 건조시킨 건조비지의 외관상의 품질변화가 거의 문제가 되지 않음이 밝혀졌다.

참 고 문 헌

- 1) L.R. Hackler, D.B. Hand, K.H. Steinkraus and J.P. VanBuren, *J. Nutrition*, 80; 205(1963)
- 2) Z.U. Kim and S.M. Byun, *J. of the Korean Agric. Chem. Soc.*, 7, 79 (1966)
- 3) R.H. Perry, *Chemical Engineer's Handbook*. 5th ed., McGraw Hill Kogakusha, Tokyo, p.20(1973)
- 4) A.O.A.C., *Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists*. 12th ed., Washington, D.C. (1975)
- 5) 이양희, 두부의 부산물 분석 및 가공이용성 검토 조사연구보고서, 한국과학기술연구원(1973.10)
- 6) S.E. Charm, *The Fundamentals of Food Engineering*. 2nd ed., The AVI Publ. Westport, Connecticut, p.294(1971)
- 7) T.K. Sherwood, *Ind. Eng. Cem.*, 21; 12(1929)
- 8) G.D. Saravacos and S.E. Charm, *Food Technol.*, 16; 78(1962)