Hanguk Nonghwahak Hoechi
(J. Korean Agric. Chem. Soc.)
36(6), 416~423(1993)

건조방법에 따른 분유의 리올로지 특성

이상천* · 장규섭 · 박영덕 · 강현아
*남양유업(주), 충남대학교 농과대학 식품공학과

초록 : 건조방법 및 원료성분을 달리하여 분유를 제조하고 이들분유의 몇 가지 리올로지 특성을 Instron Universal Testing Machine으로 측정하여 얻어진 결과는 다음과 같다. 드럼건조된 전지분유의 부피밀도는 0.382 g/cm^{3}으로 탈지 및 조제 분유보다 높았고, 분무 건조된 탈지 분유의 Hausner ratio, 평정각 및 compressibility 는 각각 1.127, 32.5°, 0.029로 탈지 분유는 자유롭게 흐르는 것을 보여주었으며, 드럼건조된 전지분유의 compressibility는 수분함량이 4.96%에서 3.89%로 감소함에 따라 0.079에서 0.052로 낮아졌다. 전지분유 그래뉼의 compressibility는 0.056으로서 분유의 compressibility보다 낮았다. 분무 건조된 분유는 구형으로서, 동결건조나 드럼건조된 분유보다 더 견고함을 나타냈다(1993년 8월 16일 접수, 1993년 10월 28일 수리).

서 론

분유는 우유를 장기간 저장할 수 있고, 균일한 제품이므로 가공식품의 원료로 사용되어 영양가, 풍미 및 물성의 향상에 이용되고 있다. 식품산업에 이용되는 분유의 수요 및 규모가 점차 증가되고 응용방법도 다양해지므로 제조공정을 위한 공학적인 개념과 가공식품의 원료로 사용하기에 적합한 품질의 제품이 요구된다.[1]

분유의 건조방법은 분무 건조, 드럼 건조, 동결 건조 등이 이용되고 있는데[2] 그 중 분무 건조방법은 건조조건을 다양하게 변화시켜 제품의 물성을 조정하여 품질을 향상시킬수 있다.[3] 또한 폐열 회수로 에너지의 원가를 줄이고, 세균에 의한 제품의 부패를 방지하며, 위생적인 작업이 가능하므로[4] 현재까지 널리 사용되어 왔다.

드럼 건조법은 작은 공간에서 건조가 가능하며 부피가 적은 분말을 얻는 경제적인 잇점이 있는데 반하여 단백질의 변성으로 용해성이 떨어지고 풍미가 저하되는 경우도 나타나는데 유제품의 건조에 종종 이용되고 있다.[5]

건조 방법에 따라 건조된 분유의 물리적인 구조에 대하여 King은 보고 하였고[6] Verhey는 초콜릿 제조시 분무 건조 및 드럼 건조된 전지분유의 물성이 흐름 특성과 제조에 미치는 영향을 보고하였다.[7]

Buma는 분무 건조된 전지 분유의 물리적인 성질을 유리지방이 분유 입자의 크기, 점착력, 입자 기공율 등에 미치는 영향[8-11]과 주사형 전자 현미경을 이용한 입자 구조의 관찰을 보고하였고[11-12] Daeman은 분무 건조된 분유의 입자 밀도, 기공율 등에 관한 연구[13]와 El-Salman의 분무 건조 온도에 따른 부피 밀도, 입자크기 분포에 관한 연구[14] 등과 같이 분무건조된 분유의 물리적 성질에 대한 연구는 지속적으로 이루어 졌다.

리올로지는 물질의 흐름과 변형에 관한 학문으로서[15] 최근 연구가 활발히 진행되고 있으며 유체 식품, 반고체 식품, 고체 식품에 대한 리올로지 특성은 성분 조성의 변화, 공장설계, 품질관리, 관능 평가 등에 중요한 자료로서 제공된다.[16-19]

유제품의 리올로지 특성에 관한 연구로는 치즈를 비롯하여 많은 연구가 진행되고 있으나 분말 유제품에 대한 연구는 미비한 편이다.[20-24]

분체 및 분말 식품의 흐름성[25-27]과 리올로지 특성에 관한 연구[28] 및 조절제를 첨가시켜 리올로지 특성의 변화에 관한 연구[29-31]는 있으나, 건조 방법에 따른 연구는 없었으며 국내에서는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 건조 방법과 다르게 제조한 분말 유제품에 관한 리올로지 특성을 측정하여 공학적인 응용의 기초 자료로서 활용하고 물성의 지표를 확립하고자 본실험을 수행하였다.

재료 및 방법

재료

원료 우유는 충남지역에서 생산된 우유를 이용하였으

Key words : Dry method, milk powders, rheological properties.
Corresponding author : K.-S. Chang

며, 살균, 농축, 균질 처리한 후 분무 건조하여 전지 분유, 탈지 분유를 얻었다. 균질된 농축유는 드럼건조 및 동결건조하여 전지분유를 제조 하였고 이를 분쇄시켜 50 mesh의 체로 사별한 후 Al-foil/P.E. 포장하여 4℃ 에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

분무 건조

원유를 고온 순간살균하고 농축기를 이용하여 농축시킨뒤 60℃ 에서 2100 psi의 압력으로 균질화한 후 분무 건조하였다. 노즐과 아토마이저를 이용하여 분무 건조하였으며 건조 작업 조건은 Table 1과 같고 조건에 따라 4종류의 분유를 제조하였다. 분유입자 중 미립자는 사이클론을 이용하여 회수하고 이를 휘드백시켜 재분사하였으며, 건조된 분유는 진동 유동층을 이용하여 수분함량을 조정하고 입자가 서로 응집되도록 하였다.

드럼 건조

살균된 원유를 고형분 함량 41%로 농축시킨뒤 균질하여 드럼 건조기 Model 4420(Richard Simpson & Sons Co.)로 건조 하였다. 드럼과 드럼 사이의 간격은 0.254 mm로 하였고 수증기 압력은 70 psi, 드럼 표면의 온도는 약 100℃, 드럼의 회전은 2.5 rpm으로 하였다.

동결 건조

균질된 41%의 농축유를 −43℃ 온도에서 냉동시켜 동결 건조기(Atlas Co., Denmark)로 건조한 후 50 mesh의 체로 쳐서 시료로 사용하였다.

일반 성분 분석

분유 중의 수분은 105℃ 건조법으로 정량하였으며 단백질, 지방, 탄수화물 및 회분은 상법으로 정량하였다.[32,33]

입자 크기 분포

10 mesh 간격으로 30 mesh~120 mesh의 체를 이용하여 El-Salman과 A/S Niro Atomizer의 방법으로 측정하였다.[14,32] 분유 100 g을 정확히 계량한 뒤 체로쳐 각각의 체에 남아있는 분유의 무게를 측정하고 이 무게를 누적하여 나타냈다.

부피 밀도의 측정

일정한 용기에 담기는 분유의 무게를 용기의 체적으로 나눈 값으로 나타내었고, g/cm^{3}으로 표기하였다.[18]

Hausner ratio 측정

용기에 담긴 분유를 100회 두드린다음 부피밀도를 측정하여 이를 tapped bulk density로 하고 최초의 부피밀도와 tapped bulk density의 관계를 Malave 등에 의한 방법으로 다음 (1)식을 이용하여 산출하였다.[34]

$$H_R = \rho_T / \rho_O \quad (1)$$

여기서, H_R: Hausner ratio
ρ_T: tapped bulk density
ρ_O: 최초의 부피밀도

압축 시험

Test cell 안에 분유를 충전시킨뒤 test cell 윗부분을 제거하고 위에 남아있는 분유를 모두 제거시킨 뒤 덮개를 올려놓고 압축시험을 실시하였다. Instron Universal Testing Machine Model 1000(Instron Engineering Co. Canton)을 사용하였으며 측정조건은 50 kg compression load cell을 장치하여 cross head speed를 2.0 mm/min, chart speed를 cross head speed의 20배로 하여 17% 변형(deformation)시켰다. Test cell은 스테인레스강으로 제작하였고 윗부분과 아랫부분이 분리가능하도록 했으며 내부직경을 45 mm, 아랫부분의 내부깊이를 30 mm로 하였고 cell의 덮개는 두께 3 mm, cell 덮개와 cell 내

Table 1. Drying condition for spray dried milk powders

Milk powder	Spraying method	Air temp. (℃)*		Liquid feed		Nozzle pressure (Kgf/cm^3) Atomizer speed (r.p.m.)
		Inlet	Outlet	Concentrate (%)	Temp.* (℃)	
W.M.P.**	Nozzle	173	95	41	78	80
M.M.P.	Nozzle	171	96	51	78	180
W.M.P.	Atomizer	170	78	40	45	12,000
S.M.P.	Atomizer	170	78	36	45	12,000

* temp.: Temperature.
**W.M.P., whole milk powder; M.M.P., modified milk powder; S.M.P., skim milk powder.

벽과의 간격은 1 mm로 제작하였다.[18] 압축시험에서 압축응력에 대한 부피밀도값의 관계식을 Peleg 등의 방법에 따라 다음 (2)식으로 구하였다.[28-30,35,36]

$$\rho_B = a + b \cdot \log\sigma_N \quad (2)$$

여기서, ρ_B: 부피 밀도(g/cm^3)
σ_N: 압축 응력
a, b: 상수

압축응력(σ_N)의 변화에 따른 부피밀도의 변화를 (2)식을 이용하여 semilog graph에 도식하면 직선으로 표시되며, 이 직선의 기울기를 나타내는 상수값 b는 분체의 리올로지 특성값인 compressibility를 나타냈다.[28-30] 상수값 a는 1 kg/cm^{2}의 압축응력에서의 부피밀도 값이 된다. Malave[34] 등은 1 kg/cm^{2}에서의 부피밀도와 처음의 부피밀도의 비율을 compaction ratio로 나타내었고 식으로 표기하면 (3)식과 같다.

$$R = a + 1 \quad (3)$$

여기서 R: compaction ratio
a: (2)식에서의 상수값 a

평정각 및 미끄럼각 측정

평정각의 측정은 직경 68 mm, 높이 90 mm의 용기에 분유 70 g를 넣고 용기 밑면에 직경 12 mm의 구멍을 통하여 평면위로 낙하시켜 원추형으로 쌓이게 하였다. 진폭 0.5 cm, 2 strokes/sec의 속도로 진동시켰고 용기 밑면과 평면 사이의 거리는 17.4 cm로 하였다. 이때의 원추의 모선과 수평면과 이루는 각을 측정하였다.

미끄럼각은 평활한 스테인레스 강판위에 분유를 올려놓고 이판을 서서히 경사시켜 분유가 흘러내리기 시작하는 순간의 경사각으로 측정하였다.[38,41]

입자 구조의 관찰

건조방법에 따라 제조된 분유의 입자 구조를 주사형 전자 현미경 Steroscan 100(Cambridge Instruments Ltd., England)을 사용하여 촬영, 관찰하였다.

결과 및 고찰

시료의 일반성분

건조방법에 따라 제조된 분유의 일반성분은 Table 2와 같으며 드럼건조된 전지분유와 분무건조된 탈지분유의 수분함량이 다른 분유보다 높게 나타났다.

분유의 입자 크기 분포

분무 건조된 전지 분유, 탈지 분유의 입자크기 분포가 노즐과 아토마이저를 사용하였을 때 각각 다르게 나타남을 Fig. 1에서 알 수 있다.

노즐 분무 방식이 아토마이저 분무 방식보다 입자가 더 컸으며 아토마이저 분무된 분유중 전지 분유가 탈지 분유보다 좀더 큰 것으로 나타났다. Hall[5]은 drop size는 압력의 제곱근에 반비례로 변화한다고 하였으며, 노즐 분무보다 아토마이저 분무시 압력이 더 크기 때문에

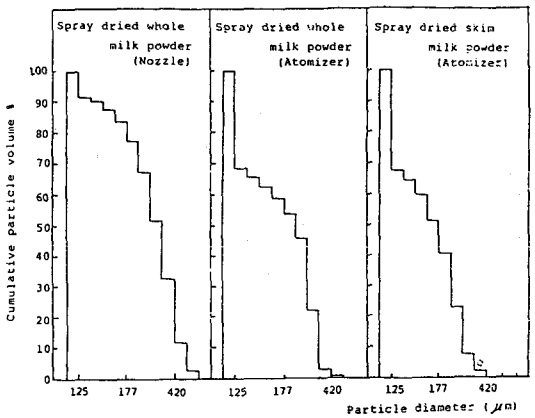

Fig. 1. Particle size distribution as cumulative percentage of volume of spray dried milk powder.

Table 2. Composition of various milk powders (unit: %)

Milk powder	Drying method	Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Ash
W.M.P.*	Spray, nozzle	3.01	25.43	27.51	38.24	5.81
W.M.P.	Spray, atomizer	2.95	25.34	27.62	38.33	5.76
W.M.P.	Drum	4.96	24.39	26.46	38.66	5.53
W.M.P.	Freeze	2.87	24.58	27.27	39.68	5.60
S.M.P.	Spray, atomizer	4.44	28.19	1.31	58.43	7.63
M.M.P.	Spray, nozzle	2.62	17.18	23.14	53.62	3.44

*W.M.P., whole milk powder; S.M.P., skim milk powder; M.M.P., modified milk powder.

아토마이저 분무된 입자가 작게 나타난 것으로 보인다.

분유 입자의 구조

건조 방법이 각각 다른 분유를 주사형 전자 현미경을 사용하여 입자의 구조를 관찰하였다. Fig. 2는 동결 건조된 분유로서 사진에서 보는 바와 같이 다공질의 흔적이 보이고 Fig. 3은 드럼 건조된 전지 분유로 얇고 편편한 조각들로 나타났다.

Fig. 2. Microphotograph of freeze dried whole milk powder (×400).

Fig. 4는 노즐로 분무건조된 전지분유이며, Fig. 5는 아토마이저로 분무건조된 전지분유로 전형적인 형태인 구형으로 나타났고 아토마이저로 분무건조된 전지분유는 작은 입자들이 서로 엉긴 상태로 노즐 분무된 전지분유와 큰 차이가 없었다.

Fig. 6은 아토마이저로 분무된 탈지분유이며 작은 입자들이 서로 엉긴 상태임을 나타냈다. 노즐에 의한 분무건조는 고압 분무로 액체 입자가 분쇄되고 이 입자는 외부 모양 및 내부 조직에 적합하게 되며 이 입자들이 건조공기에 분산되는데 반해 원심식 분무 방식에선 액체가 얇은 박판 혹은 실모양으로 분사되고 이들 형태가 불안정한 상태로 응집화 과정을 거치면서 형성된 모습이다. 불규칙한 모양과 다공성의 동결 건조된 분유는 부드럽고 솜털같고, 드럼 건조된 분유는 불규칙한 박편으로서 주름진 표면과 거친 가장자리등 각진 모양을

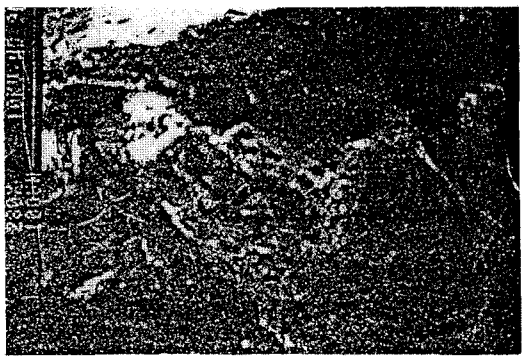

Fig. 3. Microphotograph of drum dried whole milk powder (×280).

Fig. 5. Microphotograph of spray dried whole milk powder (Atomizer)(×760).

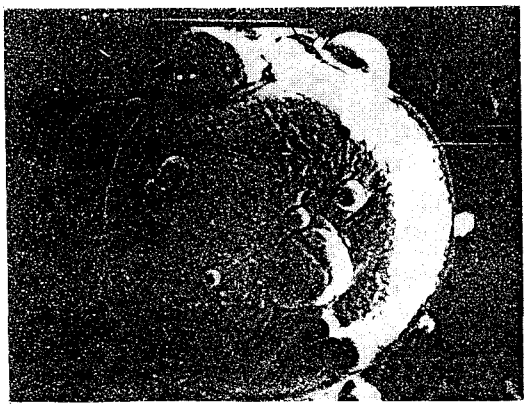

Fig. 4. Microphotograph of spray dried whole milk powder (Nozzle)(×570).

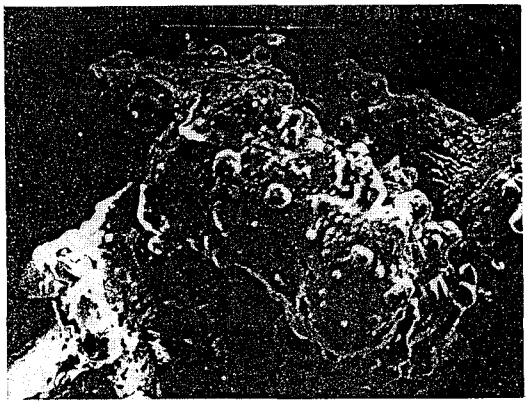

Fig. 6. Microphotograph of spray dried skim milk powder (Atomizer)(×380).

나타낸 것과는 달리 분무 건조된 분유는 완전한 구형임을 나타냈다.

부피밀도와 Hausner ratio

두드려 감소된 부피를 부피 밀도로 나타낸 tapped bulk density를 초기의 부피밀도로 나눈 값인 Hausner ratio는 Table 3 에서 보는바와 같다. 동결 건조된 분유의 부피 밀도는 0.264로서 다른 분유에 비해 작으며 이는 분유 입자가 다공성의 부드러운 것임을 보여준다. 불규칙한 박판 형태의 드럼건조된 분유는 이들 입자의 쌓인 상태가 다른 입자보다 공극이 적어 0.382의 큰 수치로 나타냈다. 아토마이저로 분무건조된 전지분유 및 탈지분유의 부피 밀도를 비교하면 비중이 0.9인 유지방을 함유한 전지분유가 작게 나타났다.[2)]

탈지분유는 전지 분유에 비해 Hausner ratio 값이 작게 나타냈으며, 이는 외부의 충격이나 진동에 의한 부피의 변화가 작고 안정된 상태를 나타낸다. Peleg 등[34,40)]은 Hausner ratio를 분체의 유동능력 지표로 사용하였고, 특히 점착성 있는 분체 식품에 적용하여 흐름에 주된 장애물인 마찰을 Hausner ratio로 해석하여 분체의 취급과정 및 충전공정에 응용하였다. 탈지분유가 전지분유보다 잘 흐르는 것은 Hausner ratio 값이 작으며 따라서 안정된 상태를 나타내고 입자들의 내부 마찰력이 작기 때문으로 풀이될 수 있다. 동결건조된 그래뉼이 가장 작은 Hausner ratio 값을 나타냈으며 그 이유로는 분유 입자 상태와 그래뉼 형태의 구조적인 차이 때문이다.

평정각 및 미끄럼각

분체식품의 흐름을 서로 비교하는 수단으로서 사용되는 평정각및 미끄럼각의 결과는 Table 4와 같다. 일반적으로 평정각이 미끄럼각보다 크게 나타났다. 평정각은 분체의 제조, 저장, 운반 및 시스템의 설계에 필요하고 대략적인 유동능력지수로 사용되며, Peleg[40)]에 의하면 평정각이 35°까지는 자유로운 유동능력을 나타냈고, 35°~45°는 약간 응집력이 있는 분체이며, 45°~55°는 응집력이 있는 분체로 유동력이 약간 감소되고, 55° 이상은 매우 응집력이 강한 분체로 유동능력이 한계적인 상태라고 하였다.

탈지분유의 평정각은 32°로서 자유로운 유동능력을 나타냈고, 여러가지 건조방법으로 제조된 전지 분유는 대체로 약간 응집력이 있는 상태임을 알 수 있다.

Baker 등[38)]은 분체의 흐름특성에 영향을 주는 인자가 수분함량, 입자, 입자크기분포, 모양 등의 물리적인 성질이라 하였고, Buma[8,10)]는 표면지방의 존재가 유동성질을 저해하는 요인이라 한것과 일치하는 경향이었다.

압축시험

일정한 부피의 분유는 응력이 가해짐에 따라 부피가 줄어들며 따라서 부피밀도는 증가한다. 응력의 변화에 대한 부피밀도의 변화를 (2)식을 이용하여 semi-log graph에 표시하여 Fig. 7, Fig. 8 을 얻었다. 분무건조시킨

Table 4. Flow properties of various milk powders

Milk powder	Drying method	Flow property	
		Angle of repose (deg.)	Angle of slide (deg.)
W.M.P.*	Spray, (N)**	44.9	17.5
W.M.P.	Spray, (A)	46.4	16.8
W.M.P.	Drum	42.9	31.4
W.M.P.	Freeze	44.2	24.6
S.M.P.	Spray, (A)	32.5	23.7
M.M.P.	Spray, (N)	43.7	16.3

* W.M.P., whole milk powder; M.M.P., modified milk powder ; S.M.P., skim milk powder.
**(N), nozzle; (A), atomizer.

Table 3. Tapped bulk density, Loose bulk density and Hausner ratio of various milk powder

Milk powder	Drying method	Tapped bulk density (g/cm^3)	Loose bulk density (g/cm^3)	Hausner ratio (H_R)
W.M.P.*	S.N.**	0.437	0.386	1.132
W.M.P.	S.A.	0.385	0.317	1.215
W.M.P.	D.	0.479	0.382	1.254
W.M.P.	F.	0.343	0.264	1.299
W.M.G.	F.	0.281	0.259	1.085
S.M.P.	S.A.	0.398	0.353	1.127

*W.M.P., whole milk powder; W.M.G., whole milk granule; S.M.P., skim milk powder.
**S.N., spray, nozzle; S.A., spray, atomizer; D., drum; F., freeze.

분유를 Fig. 7에 나타냈는데 직선의 기울기는 노즐을 사용한 전지분유 및 조제분유가 높게 나타났고 아토마이저를 사용한 전지분유 및 탈지분유는 낮게 나타났다. (2)식에서 구한 상수 b값은 compressibility로서 직선의 기울기를 나타내며, 수분함량이 많고 점착성이 있는 분체에서는 compressibility가 높게 나타나며 흐름성이 나쁜 것으로 보고되었다.[40]

노즐분무된 조제분유의 기울기가 높게 나타난 것은 다른 분무건조된 분유보다 compressibility가 높은것이며, 아토마이저로 분무된 탈지분유는 분무건조된 분유 중 가장 낮은 기울기로서 compressibility가 낮아 흐름성이 좋은것으로 나타났다.

Fig. 8은 전지분유를 건조방법에 따라 제조하였을 때 부피밀도와 그때의 압축응력과의 관계를 나타낸 것이다. 드럼건조 및 동결건조된 전지분유는 비슷한 기울기값을 나타냈고 노즐로 분무건조된 전지분유의 기울기가 약간 크게 나타났다.

Fig. 7, Fig. 8에 표시된 각 분유의 상수값은 Table 5에서와 같다. 아토마이지로 분무된 탈지분유의 compressibility가 가장 낮게 나타났고 노즐분무된 조제분유의 경우가 가장 높은 값을 나타냈다.

드럼건조된 전지분유는 4.96%의 수분함량으로서 다른 분유보다 많으며 이 분유를 데시케이터에서 48시간 건

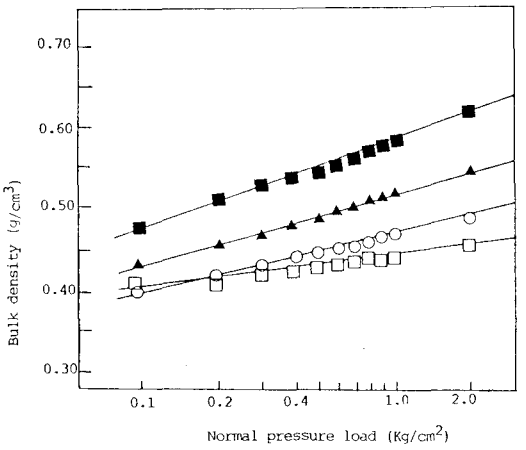

Fig. 7. Relationship between bulk density and normal pressure loads for spray dried milk powers. ■—■, Modified milk powder (nozzle); ▲—▲, Whole milk powder (mozzle); ○—○, Whole milk powder (atomizer); □—□, Skim milk powder (atomizer)

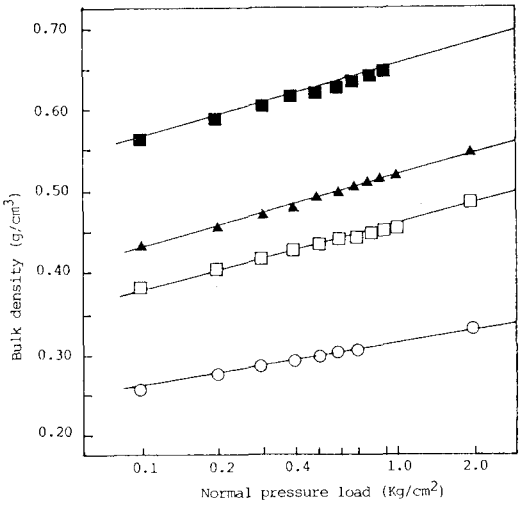

Fig. 8. Relationship between bulk density and normal pressure loads for whole milk powders. ■—■, Drum dried; ▲—▲, Spray dried (nozzle); □—□, Freeze dried powder; ○—○, Freeze dried granule

Table 5. Moisture, density and compressibility of milk powders.

Milk powder	Drying method	Moisture (% dry weight basis)	Initial bulk density (g/cm³)	Constance of regression Eq. 2		Irrecoverable Work in compression (% of total)
				a (g/cm³)	b compress-ibility	
W.M.P.*	Spray, (N)**	3.01	0.348	0.520	0.091	87
W.M.P.	Spray, (A)	2.95	0.308	0.402	0.056	89
W.M.P.	Drum	4.96	0.432	0.647	0.079	85
W.M.P.	Freeze	2.87	0.266	0.457	0.069	82
S.M.P.	Spray, (A)	4.44	0.390	0.438	0.029	85
M.M.P.	Spray, (N)	2.62	0.398	0.584	0.111	74

*W.M.P., whole milk powder; S.M.P., skim milk powder M.M.P.: modified milk powder.
**(N), nozzle; (A), atomizer.

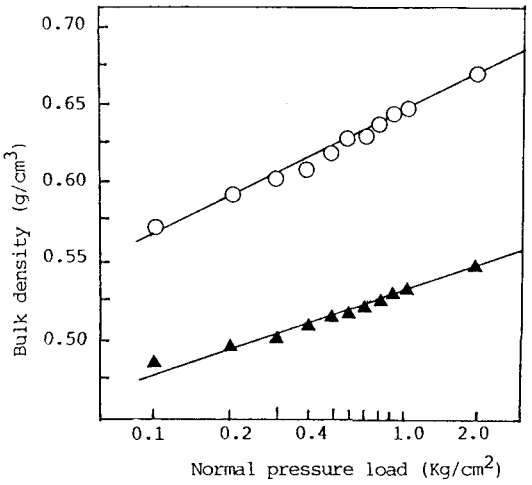

Fig. 9. Relationship between bulk density and normal pressure loads for drum dried whole milk powder. ○—○, 4.96% Moisture; ▲—▲, 3.89% Moisture

조시켜 3.89%의 수분함량으로 조정하여 비교 실험한 바 Fig. 9와 같다. 수분함량이 감소됨에 따라 compressibility도 감소됨을 보여주었다.

수분함량이 4.96%에서 3.89%로 감소됨으로서 최초의 부피밀도는 0.432 g/cm^{3}에서 0.421 g/cm^{3}으로 되었고 1 kg/cm^{2}의 응력에서의 부피밀도값인 상수 a값도 0.647 g/cm^{3}에서 0.533 g/cm^{3}으로 감소하였으며 compressibility는 0.079에서 0.052로 감소되었다. 따라서 분유 중 수분함량이 감소할수록 compressibility는 감소되며 흐름성은 원활해짐을 알 수 있었다. 수분함량이 분체식품의 유동능력에 저해요인이 된다고 Scoville[37] 등이 보고한 것과 일치된다.

참 고 문 헌

1. 이철호: 한국식품과학회지, 11 : 314(1979)
2. Pieter, W., Robert, J.: Dairy Chemistry and Physics', p. 317, John Wiley & Sons, Inc., New York., (1984)
3. Spicer, A.: In 'Advance in Preconcentration and Dehydration of Food', p. 314, Applied Science Publishers Ltd.,(1974)
4. Thorne, S.: In 'Developments in Food Preservation 2', p. 95, Applied Science Publishers Ltd.,(1983)
5. Hall, C. W., Hedric, T. I.: In 'Drying of Milk and Milk Products' p. 59, AVI Publishing Co.,(1971)
6. King, N.: Dairy Sci. Abstr., 27 : 91(1965)
7. Verhey, J.G.P.: Neth. Milk Dairy J., 40 : 261(1986)
8. Buma, T. J.: *Neth. Milk Dairy J.*, 25 : 53(1971)
9. Buma, T. J.: *Neth. Milk Dairy J.*, 25 : 88(1971)
10. Buma, T. J.: *Neth. Milk Dairy J.*, 25 : 107(1971)
11. Buma, T. J.: *Neth. Milk Dairy J.*, 25 : 123(1971)
12. Buma, T. J., Henstra, S.: *Neth, Milk Dairy J.*, 25 : 75 (1971)
13. Daeman, A.L.H.: Neth. Milk Dairy J., 36 : 53(1982)
14. Abd El-Salman, M. H., El-Shibiny, S., El-Atriby, H.: Milchwissenschaft, 39 : 458(1984)
15. 김성곤: 유체 식품의 리올로지, p. 36, 단국대학교 부설 식량개발 연구소(1983)
16. Rao, M. A.: J. Texture Studies. 8 : 135(1977)
17. Rao, M. A.: AIChE Symposium Series, 78 : 144 (1982)
18. Peleg, M. :J. Texture Studies. 15 : 1(1984)
19. Bistany, K. L. and Kokini, J. L.: J. Rheology, 17 : 605(1983)
20. Mpagana, M., Hardy, J.: Milchwissenschaft, 41 : 210 (1986)
21. Gupta, S., Deman, J. M.: Milchwissenschaft, 40 : 321(1985)
22. Awadhwal, N. K. and Singh, C. P.: J. Food Sci, 50 : 1611(1985)
23. Casiraghi, E. M., Bagley, E. B. and Christianson, D. D.: J. Texture Studies, 16 : 281(1985)
24. Vilet, T. V. and Kikkert, A. D.: Neth. Milk Dairy J. M., 36 : 261(1982)
25. Stainforth, P. T. and Berry, R. E. R.: Powder Technology, 8 : 243(1973)
26. Stainforth, P. T. and Berry, R. E. R.: Powder Technology, 12 : 29(1975)
27. Peleg, M.: J. Food Process, Engineering 1, 303 (1977)
28. Peleg, M., Moreyra, R. and Scoville, E.: AIChE Symposium Series. 78 : 138(1982)
29. Hollenbach, A. M., Peleg, M. and Rufner, R.: J. Food Sci., 47 : 538(1982)
30. Hollenbach, A. M. and Peleg, M.: Powder Technology, 46 : 1918(1983)
31. Peleg, M. and Hollenbach, A. M.: Food Technology, 38 : 93(1984)
32. A/S Niro Atomizer: In 'Analytical Method for Dry Milk Products'. 4th Ed. p. 1 A/S Niro Atomizer (1978)
33. A.O.A.C.: Official Method of Analysis. 15th ed. p. 802 Association of Official Analitical Chemists(1984)
34. Malave, J., Barbosa, G. V., Peleg, M.: J. Food Sci., 50 : 1473(1985)
35. Christopher, C. L., Gilbert, S. G. and Mannheim, C. H.: J. Food Sci. 50 : 1618(1985)
36. Peleg, M. and Mannheim, C. H. and Passy, N.: J.

Food Sci., 38 : 959(1973)
37. Scoville, E. and Peleg, M.: J. Food Sci., 46 : 174 (1981)
38. Baker, G. W., Johnson, L. A., Lusas, E. W., Sweat, V. E.: J. Food Sci., 45 : 1370(1980)
39. Heldman, D. R.: In 'Food Process Engineering', p. 25, AVI Publishing Co.,(1975)
40. Peleg, M.: In 'Physical Properties of Foods', p. 293, AVI Publishiing Co.,(1983)
41. Mohsenin, N. N.: In 'Physical Properties of Plant and Animal Materials', p. 583, Gorden and Breach Science Publishers.,(1970)

Effect of drying method on rheological properties of milk powders

Sang-Cheon Lee*, Kyu-Seob Chang, Young-Deok Park and Hyun-Ah Kang (*Namyang airy Prouduct co., Department of Food science and Technology, Chungnam National University, Taejeon, Korea and *Namyang Dairy Product Co.)

Abstract : Milk powders were made by several drying methods and raw materials, and rheological properties of milk powders were investigated by an Instron Universial Testing Machine. The results obtained are summarised as follows. Bulk density of the drum dried whole milk powder was 0.382 g/cm^3 and was higher than that of other milk powders. The Hausner ratio, angle of repose and compressibility of the spray dried skim milk powder were 1.127, 32.5° and 0.029 respectively. This result indicated that skim milk powder showed free flowing characterristics. The compressibility of the drum dried whole milk powder was decreased by the decrease of moisture content. Compressibility of the milk granule was 0.056 and was lower than that of milk powder. The spray dried milk powder of a grobular shape had higher solidity than the freeze or drum dried milk powder. The drum dried milk powder particles consist of irregular shape.