

이유식 제조 시 유동층 과립화 공정의 최적화

이상천 · 김은미* · 장규섭
(주)남양유업, *충남대학교 식품공학과

Optimization of Fluidized Bed Agglomeration in the Production of Weaning Food

Sang-Cheon Lee, Eun-Mi Kim and Kyu-Seob Chang

Nanyang Dairy Products Co. LTD.

*Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

Abstract

This study was conducted for increasing solubility of weaning food by fluidized bed agglomeration. The conditions of the fluidized bed agglomeration affected the physical properties of weaning food. To elucidate the optimal conditions for fluidized bed agglomeration of weaning food, the influence of spraying quantity, spraying rate, binder solutions and inlet air temperature were investigated. Bulk density of agglomerated weaning food was reduced with the increase of spraying quantity. Flow ability of agglomerated weaning food was increased with the increase of spraying rate. Maximum flow ability of spraying rate was on 340 g/min being very good condition. Effect of binder solution (fructose 5%, 15%, 30%) was not significant. The best agglomeration was observed when inlet air temperature was 115°C. Fine particle (below 250 μm) was reduced from 60.4% to 7.0%, significantly. Mean diameter of particle increased from 233 μm to 542 μm showing growth rate as 133.6%.

Key words: weaning food, fluidized bed agglomeration, optimal conditions

서 론

유아에게는 영유아기에 필요한 영양분은 최초로 모유나 조제분유에 의해 제공되고 이어서 성장과 발육이 시작되는 시점부터는 이유식을 통하여 다양한 음식과 영양성분을 섭취하게 된다. 유아기의 알맞은 영양공급은 평생의 건강한 신체 유지 여부를 결정하는데 중요한 역할을 하며, 유아는 성장발달이 출생 후 첫 1년 동안 가장 빠른 시기로 신체적 발달뿐만 아니라 정신적, 정서적으로 발달이 함께 이루어지는 중요한 시기가 된다. 즉 성장과 발달이 동시에 이루어지는 생후 5~6월 이후에는 모유나 조

제유로 정상적 발육이 어려우므로 이유식이 필요하게 된다. 영아기의 수유와 이유식의 섭취는 영아기의 건강 및 성장뿐만 아니라 일생 동안 건강에 영향을 미치는 점에서 매우 중요시되고 있으며 적절한 성장발달을 위한 영양을 공급하는 것이 중요하다(Song, Y.S., 1991).

국내에서는 분말로 된 이유식 제품은 시판 이유식 중 가장 많이 이용되는 형태로서 주원료로서는 미분을 비롯한 곡물가루를 기본으로 하여 야채, 과일 및 유제품 등 여러 가지 다양한 원료를 혼합하여 제조되고 수분 함량이 낮고 비타민과 무기질이 강화되어 열량, 주요 영양소, 비타민 및 무기질을 영유아에게 공급해 주고 있다. 우유나 유제품을 주원료로 사용하는 조제분유나 영유아식은 물에 잘 녹는 특성을 가지고 있으나, 이유식은 곡류를 주원료로 사용되어지므로 유제품에 비하여 상대적으로 물에 잘 녹지 않기 때문에 소비자는 용해에 많은

Corresponding author: Kyu-Seob Chang, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-764, Republic of Korea
Phone: 042-821-6727, Fax: 042-821-8897
E-mail: changks@cnu.ac.kr

불편을 겪고 있는 실정이다. 곡류가 주성분인 제품으로서 성인들의 기호식으로 사용되고 있는 미숫가루 역시 물에 녹지 않기 때문에 용해 및 분산성을 개선하기 위한 연구가 국내에서 진행되었다(Lee, C.S. and Lee, K.T., 1998).

과립(agglomeration)을 이용한 기술은 오늘날 150년 역사지만, 실제로 1950년대부터 과학적으로 과립을 이용하기 시작하였다. 응집을 이용한 기술로 입자 크기 확대하여 제품에 필요한 특성을 얻는 방법이 계속 연구되어 왔다(Pietsch, 2003; Djamarani, Clark, 1997). 이 기술은 화학 및 제약 분야에서는 다양한 방법으로 응용되어 왔으며 식품분야에서도 점차 폭 넓게 활용되고 있는 실정이다(Schuchmann, 1995; Aguilera *et al.*, 1995). 과립화된 분말을 식품에 응용하고자 하는 큰 목적으로서는 용해성을 향상시켜 상품성을 높이는 것이며 다른 효과로는 미세 분말이 감소됨으로써 취급이 간편하므로 위생적이고, 분말의 흐름성이 개선되어 이송, 저장 및 포장 작업 시 용이하게 작업이 가능한 이점이 있다 (Teunou와 Fitzpatrick, 2000; Fitzpatrick와 Ahrne, 2005).

본 실험에서는 국내에서 제조되고 있는 이유식 제품의 용해성을 개선하기 위하여 연속식 유동층 과립화 방법을 적용하여 이유식 과립화 제품을 만들어 물성의 변화를 관찰하였고 용해성이 향상되는 최적조건을 찾고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에 사용된 이유식 분말은 남양유업(주) 공

주공장에서 생산한 드럼건조분말 51.36%와 혼합곡분, 농축유청단백분말, 분리대두단백분말, 결정과당, 바나나푸레분말, 분리우유단백분말 및 기타 8종류의 원료로 구성된 혼합 분말 40.33%를 사용하였으며 여기에 알파화 미분 분말 8% 그리고 비타민-C 0.07%와 함께 믹서를 이용하여 혼합하고 균일하게 한 뒤 과립과 공정에 공급하여 사용하였다.

유동층 과립화 공정

실험에 사용할 연속식 유동층 과립과 공정의 모식도는 Fig. 1과 같다. 분말은 일정한 속도로 과립기에 공급되도록 연속식 저울인 감량식 정량공급 방식 공급기(Loss-in Weight Feeder)를 이용하였고 공급된 분말은 자체 진동에 의하여 오른쪽으로 이동하게 된다. 분말층 상부에 있는 노즐(nozzle)의 압축공기에 의해 일정한 온도의 물이 분사되고 하부 바닥에서는 열풍이 공급되므로 분말은 상호 응집되어 입자의 크기가 커지게 된다. 공급된 열풍은 상부에 설치된 공기 휠타를 거쳐 밖으로 배출되며 과립화된 입자는 오른쪽 출구로 나오게 된다. 유동층 과립기의 내부 구간은 설비의 규모에 따라 3~5 구간으로 구분되며 각종 가동 조건은 설정된 값에 따라 자동으로 작동되도록 하였다.

유동층 과립화 공정의 가동 조건

물 분무량이 과립화에 미치는 영향을 알아보기 위한 유동층 과립화 공정의 가동 조건은 Table 1과 같다. 이유식 분말 투입은 6.5 kg으로 동일한 조건으로 하였고, 물 분무량을 1.750 kg, 2.000 kg 및 2.725 kg으로 각각 가동하였으며 분무 속도는 물 분무량에 따라 각각 90, 150, 240 g/min 순차적으로

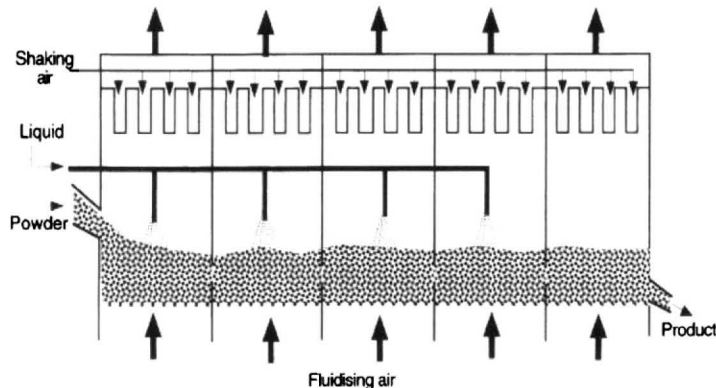


Fig. 1. The multicell continuous fluidized bed agglomeration.

증가시켰다. 물 분무 속도를 180, 240, 300 그리고 340g/min으로 변경시킨 과립화 가동 조건은 Table 2와 같으며 열풍 건조 공기의 유량과 유속은 분무 되는 물의 양에 따라 조정하였다. 이때 본 연구의 목적이 분말을 과립화시키는 것이므로 물 분무 속도가 증가됨에 따라 최적 입자화까지 물 공급이 되었기 때문에 조건별로 물 공급량이 다를 수 있다.

Table 1. Operating conditions of fluidized bed agglomeration on spraying quantity

Spraying quantity (kg)	1.750	2.000	2.725
Hold-up (kg)	6.5	6.5	6.5
Initial bulk density (g/l)	430	430	430
Fluidized bed temperature (°C)	75	75	75
Spraying solution	water	water	water
Spraying pressure (bar)	2.5	2.0	2.0
Spraying rate (g/min)	90	150	240
Spraying quantity (kg)	1.750	2.000	2.725
Spraying solution temperature (°C)	60	60	60
Nozzle position (mm)	200	200	200
Air volume stream (m ³ /h)	380	380	525
Air velocity (m/sec)	0.68	0.67	0.94
Inlet air temperature (°C)	28	35	40
Duration (total, min)	28	35	40
Final product temperature (°C)	47	47	47
Final product bulk density (g/l)	400	360	310
Final product moisture (%)	3.0	5.2	4.5

Table 2. Operating conditions of fluidized bed agglomeration on spraying rate

Spraying rate (g/min)	180	240	300	340
Hold-up (kg)	4.5	6.5	5.5	6.0
Initial bulk density (g/l)	430	430	430	430
Fluidized bed temperature (°C)	75	75	75	75
Spraying solution	water	water	water	water
Spraying pressure (bar)	2.0	2.0	2.0	2.0
Spraying rate (g/min)	180	240	300	340
Spraying quantity (kg)	2.500	2.725	2.725	3.500
Spraying solution temp. (°C)	60	60	60	60
Nozzle position (mm)	250	200	200	200
Air volume stream (m ³ /h)	470	525	670	670
Air velocity (m/sec)	0.89	0.94	1.20	1.24
Inlet air temperature (°C)	75	75	75	75
Final product temp. (°C)	45	47	47	47
Final product bulk density (g/l)	290	310	310	310
Final product moisture (%)	3.0	5.2	5.2	4.5
LS ratio (%)	41.9	50.0	58.3	55.6

유동층 과립화 공정에서 물 분무 방식을 바인더로 변경하여 결정과당을 5%, 15%, 30% 용액상태로 제조하고 입자의 결합력에 미치는 영향을 알아보고자 Table 3과 같은 조건으로 가동시켰으며, 과립화 공정의 가동 조건 중 건조 온도가 미치는 영향을 알아보기 위한 연속식 설비의 조건은 Table 4와 같다. 유동층 과립화 공정의 내부 구조는 5개의 구역으로 구분되어 있으며, 주로 1, 2구역에서는 물이 분무되어 분말입자와 결합되고 3, 4구역에서 건조가 이뤄지며 마지막 5구역에서는 건조된 입자가 냉각이 되도록 설계되어 있다. 특히 4구역은 물 분무가 되지 않고 고온으로 건조하므로 4구역의 열풍 건조 온도를 기준으로 분말 입자의 과립화에 미치는 영향을 비교하였다.

실험방법

입자크기분포와 흐름성

입자크기분포 표준망 체를 이용하여 분말 100g을 계량한 뒤 체로 쳐서 체에 남아있는 분말의 무게를 측정하여 나타내었다. 시료의 부피밀도(bulk density)는 일정한 용기에 담기는 분말의 무게를 용기의 체적으로 나눈 값으로 나타내었고 g/l로 표기하였다. 분말의 흐름성을 측정하기 위하여 Hausner ratio 및 Carr index를 각각 산출하였다.

$$Hausner\ ratio = \frac{\rho_{tapped}}{\rho_{bulk}}$$

Table 3. Operating conditions of fluidized bed agglomeration on spraying solution

Spraying solution	Water	Fructose solution(%)		
		5	15	30
Hold-up (kg)	1.0	1.0	1.0	1.0
Fluidized bed temperature (°C)	75	75	75	75
Spraying pressure (bar)	2.0	2.0	2.0	2.5
Spraying rate (g/min)	30	40	40	50
Spraying quantity (g)	300	300	300	300
Spraying solution temp. (°C)	60	60	60	60
Nozzle position (mm)	350	350	350	350
Air volume stream (m ³ /h)	160	160	160	160
Air velocity (m/sec)	1.42	1.42	1.42	1.42
Inlet air temperature (°C)	75	75	75	75
Duration (total, min)	10	12	12	12
LS ratio (%)	30.0	30.0	30.0	30.0

Table 4. Continuous operating condition of fluidized bed agglomeration

Inlet air temp. zone 4 (°C)	80	90	105	110	115	120
Feed rate (kg/h)	1000	1000	2000	2000	2000	2000
LS ratio (%)	8.00	5.40	7.95	8.85	8.55	8.70
Air volume stream (m ³ /hr)	9500	9500	12500	13000	13500	13500
Inlet air temp.						
Zone 1 (°C)	95	95	100	85	75	85
Zone 2 (°C)	95	95	100	85	75	85
Zone 3 (°C)	70	100	110	85	100	100
Zone 4 (°C)	80	90	105	110	115	120
Zone 5 (°C)	15	15	15	15	15	15
Outlet air temp.						
Zone 1 (°C)	46	59	53	45	43	44
Zone 2 (°C)	47	58	56	43	43	44
Zone 3 (°C)	47	68	58	43	49	46
Zone 4 (°C)	43	58	49	44	43	48
Zone 5 (°C)	25	38	21	33	35	34

$$Carr\ index = \frac{\rho_{tapped} - \rho_{bulk}}{\rho_{tapped}}$$

ρ_{tapped} : Tapped bulk density

ρ_{bulk} : Bulk density

습윤성과 성장률

습윤성(Wettability)은 증류수(20±2°C) 200 ml에 시료 20 g을 입자가 젖어들 때까지 연속적으로 투입하고 물 표면에서 5초 이상 정체되는 시점에서 투입을 중단한 뒤 투입된 시료의 무게를 g으로 표기하였으며, 과립화 공정 중 시료입자의 성장률(Growth rate)은 측정된 평균 입자 크기를 다음 식을 이용하여 입자의 크기 변화 값을 계산하였다.

$$Growth\ rate:X = 100 \times \frac{d_{pm} - d_{po}}{d_{po}}$$

d_{po} : 공급된 이유식 분말의 평균 입자 크기(μm)

d_{pm} : 과립화된 이유식의 평균 입자 크기(μm)

결과 및 고찰

물 분무량의 영향

분말 공급량을 6.5 kg으로 동일한 양을 투입하였고 물 분무량을 각각 1.750 kg, 2.000 kg, 그리고 2.725 kg으로 투입하여 과립화 상태를 비교하였을 때 분말공급량을 기준으로 물 공급량의 비율을 산출하는 LS ratio (liquid solid ratio)는 각각 26.9%, 30.8% 그리고 41.9%이었다. 과립화 공정에서 LS

ratio의 증가는 과립 입자의 형성이 증가하였음을 의미하는데 LS ratio에 따른 건조 공기의 유량, 물 분무속도 및 부피밀도의 변화는 Fig. 2와 같다. LS ratio가 26.9%, 30.8%, 41.9%로 증가될수록 건조 공기의 유량을 380 m³/hr에서 525 m³/hr로 증가시켰고, 물 분무 속도도 90 g/min, 150 g/min 그리고 240 g/min으로 증가시켜 공급하였을 때 반대로 초기 430 g/l의 부피 밀도가 과립화 후 400 g/l, 360 g/l, 310 g/l로 대폭 감소되었다. 이와 같이 부피 밀도 측정치로 과립화 효과를 나타낼 수 있는 것은 부피 밀도가 감소되면 입자의 부피가 커졌음을 의미할 수 있기 때문에 과립의 평균입자크기가 증대된 것으로 판단할 수 있다. 즉, 유동층 과립화 공정에서는 물 공급량이 증가될수록 부피 밀도가 감소되고 과립화 효과는 향상되었다.

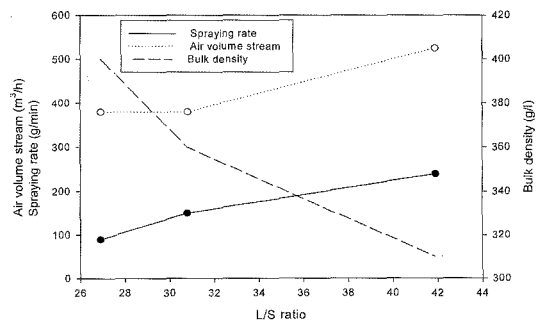


Fig. 2. Effect of LS ratio to bulk density and air volume stream on fluidized bed agglomeration.

물 분무속도의 영향

물 분무속도의 증가가 과립화된 입자의 흐름성에 영향을 주는 Hausner ratio의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다. 물 분무속도가 180 g/min에서 340 g/min으로 증가할수록 건조공기의 유량은 470 m³/hr에서 670 m³/hr으로 증가하였고, Hausner ratio는 1.169에서 1.090으로 감소되었다. Anuar *et al.*(2005)는 Hausner ratio값이 1.4 이상일 경우 흐름성이 어려운 응집력 있는(cohesive) 분말이며, 1.25 이하일 경우 분말의 흐름성이 양호한 것으로 판단하였으므로 물 분무속도 180~340 g/min 범위에서는 모두 우수한 흐름성을 나타내었다. 또한 물 분무속도에 따른 습윤성과 Carr index의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. 물 분무속도가 180 g/min에서 340 g/min으로 증가할수록 습윤성은 모두 2.5초 이내로 과립화 전 120초 이상이었던 결과에 비하여 쉽게 물에 녹아 습윤성이 우수하였고, 분말의 흐름성 지표

인 Carr index의 경우 Turchiuli *et al.*(2005)은 0.15 이하인 경우 매우 우수한 것으로 판명하였으므로 물 분무속도가 증가할수록 Carr index가 모두 0.14 이하로 흐름성이 개선된 것으로 나타났다.

바인더 분무의 영향

이유식의 유동층 과립화 공정에서 물을 사용한 것과 바인더를 사용한 것의 과립화 이후 입자 상태나 품질 향상에 미치는 영향을 비교하고자 바인더로 결정과당을 사용하였다. 이때 결정과당 수용액을 바인더로 이용 시 부피밀도의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다. 과립화 가동조건을 동일 조건으로 하고 LS ratio를 30%로 하였을 때 부피밀도는 240~260 g/l 범위였고, 물을 이용한 동일한 조건의 과립화에서도 260 g/l로 비슷하게 나타났으므로 결정과당을 바인더로 사용한 효과는 없었다.

건조 온도의 영향

건조 온도 80°C의 경우 과립화가 미흡하였고, 90°C의 경우 LS ratio가 8.0%에서 5.4%로 줄어들어 과립자 형성이 감소하였으며 250 μm 이하의 미립자가 줄어드는 정도가 0.6%로 매우 적어 과립화가 불충분하였으나, 105°C 이상에서는 과립화 효과가 향상 되었다. Fig. 6은 건조 온도에 따른 250 μm 이하의 미세 입자의 변화를 나타낸 결과로서 건조 온도가 115°C에서 60.4%에서 7.0%로 대폭 감소되어 과립화 효과가 좋았으며, Fig. 7은 건조 온도에 따른 평균입자의 크기 변화를 나타낸 결과로서 마찬가지로 115°C에서 과립화 전 233 μm에서 과립화 후 542 μm로 평균입자 크기가 증가하였다. 이때 4구역

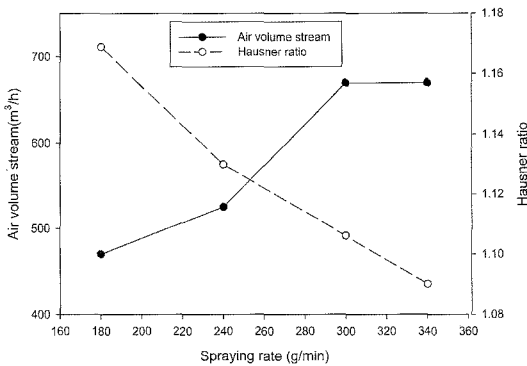


Fig. 3. Effect of spraying rate on the Hausner ratio and air volume stream of fluidized bed agglomeration.

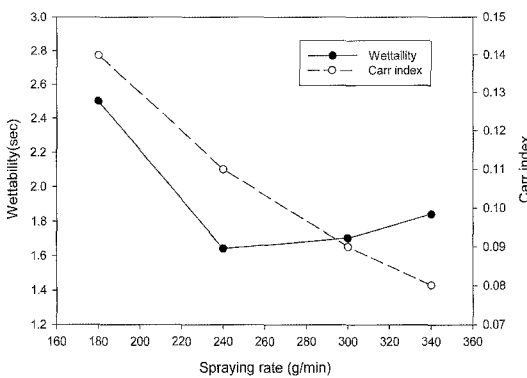


Fig. 4. Effect of spraying rate on wettability and Carr index of fluidized bed agglomeration.

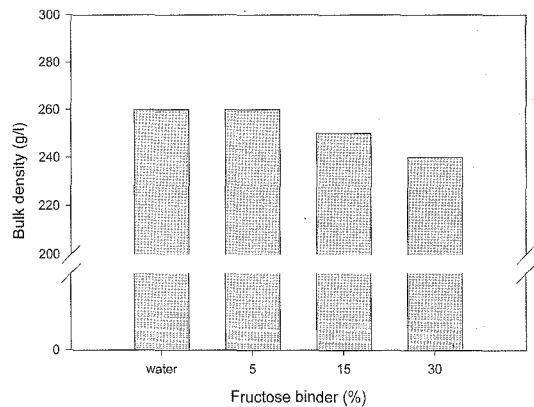


Fig. 5. Effect of binder on bulk density of weaning food by fluidized bed agglomeration.

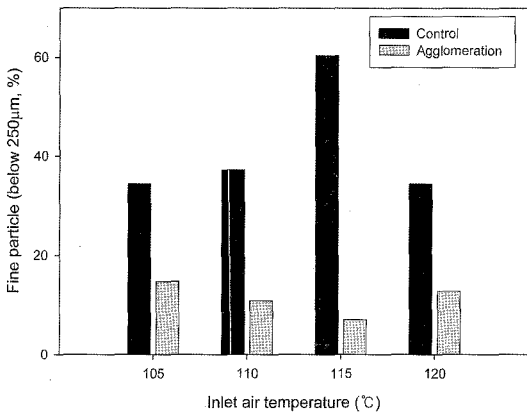


Fig. 6. Effect of inlet air temperature on fine particle of weaning food by fluidized bed agglomeration.

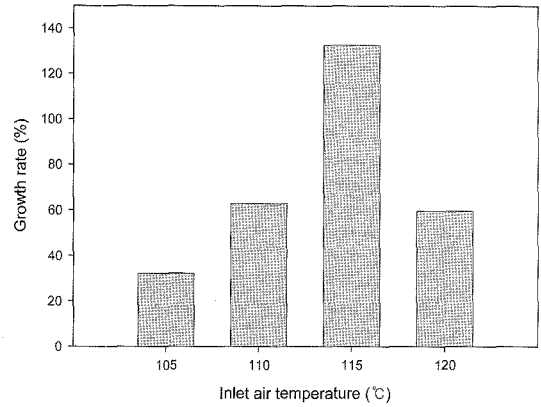


Fig. 8. Effect of inlet air temperature on growth rate of weaning food by fluidized bed agglomeration.

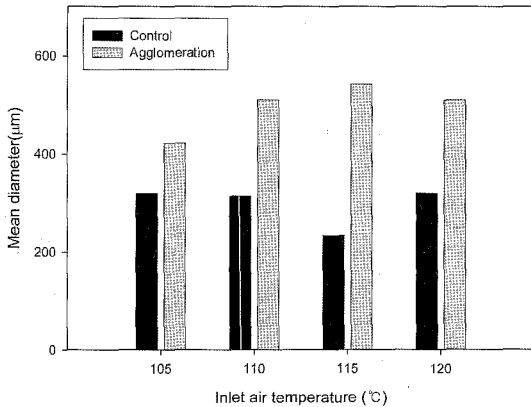


Fig. 7. Effect of inlet air temperature on mean diameter of weaning food by fluidized bed agglomeration.

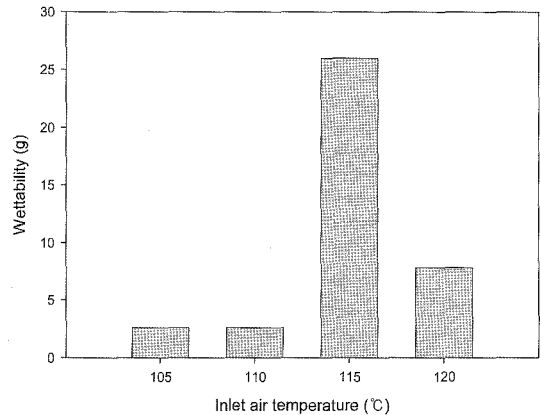


Fig. 9. Effect of inlet air temperature on wettability of weaning food by fluidized bed agglomeration.

의 건조 온도에 따른 control은 연속식 과립화 공정 진행 중인 분말이 5구역에서 냉각되기 직전 순간적으로 채취하여 미세입자(250 µm이하)의 양과 평균 입자의 크기를 측정하였다. 유동층 과립 공정에서 4구역의 건조 온도에 따른 성장률과 습윤성을 나타낸 결과는 각각 Fig. 8과 Fig. 9와 같다. 건조 온도가 115°C에서 성장률이 132.6%로 가장 컸으며, 습윤성도 26.0 g으로 용해성이 매우 우수하였다.

요 약

이유식 제품의 용해성을 개선하기 위한 유동층 과립화 공정에서 물 분무량, 물 분무속도, 바인더 용액 그리고 건조 온도에 따른 용해성이 향상되는 최적 조건을 연구하였다. 동일한 양의 분말을 투입시키고 물 분무량을 증가시켰을 때 LS ratio는 각

각 26.9%, 30.8% 그리고 41.9%로 증가하여 과립 입자의 형성이 증가하였고 부피 밀도는 대폭 감소되어 입자의 부피가 커져 과립화 효과가 향상되었다. 또한 물 분무 속도가 증가할수록 Hausner ratio와 Carr index가 감소되어 흐름성이 개선되었고, 340 g/m 속도에서 흐름성이 가장 우수하였다. 이유식의 유동층 과립화 공정에서 물을 사용한 것과 결정과 당 바인더를 사용한 것의 입자 상태에 미치는 영향을 비교한 결과 부피 밀도가 비슷하게 나타났으므로 과립화 효과는 미약하였다. 연속식 과립화 공정의 열풍 건조 온도가 입자에 미치는 영향을 비교한 결과 115°C에서 250 µm 이하의 미세입자가 대폭 감소되었고 성장률이 132.6%로 가장 컸으며 용해성도 매우 우수하였다.

참고문헌

- Aguilera, J.M., J.M. del Valle and M. Karel. 1995. Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends Food Sci Technol* **6**: 149-155
- Anuar, M.S. and S.M. Tasirin. 2005. Effect of impeller speed, atomizing air flow rate and fluidising temperature in agitated fluidised bed granulating of cocoa-milk powders. *Intl J. Food Eng.* **1**: 1-17
- Djamarani, K.M. and I.M. Clark. 1997. Characterization of particle size based on fine and coarse fractions. *Powder Technol.* **93**: 101-108
- Fitzpatrick, J.J. and L. Ahrne. 2005. Food powder handling and processing : Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. *Chemical Engineering and Processing.* **44**: 209-214
- Lee, C.S. and K.T. Lee. 1998. Improvement of dispersibility of parched cereal powder by agglomeration treatment. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**: 385-290
- Malave, J., G.V. Barvosa and M. Peleg. 1980. Comparison of the compaction characteristics of selected food powder by vibration, tapping and mechanical compression. *J. Food Sci.* **45**: 864-868
- Pietsch, W. 2003. An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. *Powder Technol.* **130**: 8-13
- Schuchmann, H. 1995. Production of instant foods by jet agglomeration. *Food Control* **6(2)**: 95-100
- Song, Y.S. 1991. The present status of infant feeding in Korea and suggestions for its improvement. *Korean J. Nutr.* **24**: 282-291
- Teunou, E. and J.J. Fitzpatrick. 2000. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. *J. Food Eng.* **43**: 97-101
- Turchiuli, C., M. Fuchs, M. Bohin, M.E. Cuvelier, C. Ordonnaud, M.N. Peyrat-Maillard and E. Dumoulin. 2005. Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. *Inno. Food Sci. Emerging Technol.* **6**: 29-35