

## 쌀가루의 수분함량과 입자크기에 따른 Extrudate의 물성학적 성질

류기형 · 이철호  
고려대학교 식품공학과

### Effects of Moisture Content and Particle Size of Rice Flour on the Physical Properties of the Extrudate

Gi-Hyung Ryu and Cherl-Ho Lee  
*Department of Food Technology, Korea University, Seoul*

#### Abstract

The effects of moisture content and particle size of rice flour on the physical properties of the extrudate were examined by using a autogeneous single screw extruder. The moisture contents tested were in the range of 17-28% and the particle sizes were 18-60mesh and 60-120mesh. Samples were taken at different temperatures from the start-up period to the steady state operation. The expansion ratio increased and bulk density decreased as the moisture content and particle size of the flour decreased. The cutting force decreased and the air cell size became uniform as the moisture content and particle size of the flour decreased. As the moisture content increased, the yellowness of the extrudate powder decreased, while the lightness increased, the apparent viscosity increased and the water soluble index decreased. Gelatinization and partial dextrinization were apparent during the extrusion process, and the degree of dextrinization was appeared to be influenced by the levels of moisture content and particle size of rice flour.

Key words: rice flour, extrudate, extruder

#### 서 론

식품공업에서 주로 사용하는 압출성형은 생물고분자 물질(biopolymer)등을 회전하는 스크류 형태의 기계내에서 자체 발생하는 열 또는 투입되는 열에 의하여 가열 처리함으로써 식품을 삶음과 동시에 성형하는 압출조리 공정이다<sup>(1)</sup>.

최근 곡류식품의 가공분야, 특히 전분의 가공을 위해서 식품산업에서 압출성형기의 이용은 증가상태에 있다. 적용분야는 breakfast cereal 제품 및 스낵, 영양강화 식품, 유아식, 변성전분 제조 등이며, 대두의 조직화 단백질(TVP)제조에 이용되기도 한다<sup>(2-6)</sup>.

지금까지 연구는 주로 옥수수 전분, corn grit, 보리가루 등을 재료로 하여 연구된 것이 많으며<sup>(7-9)</sup>, 쌀가루의 경우 쌀의 종류에 따른 extrudate의 점도에 관한 연

구<sup>(10)</sup> 및 쌀 스낵제조를 위한 장치 및 가공기술, 생산효율, 제품에 영향을 미치는 인자등을 검토한 연구<sup>(11)</sup>가 있으며, 쌀가루에 목화씨와 땅콩가루를 강화하여 압출성형한 제품의 특성을 연구한 것이 보고되고 있다<sup>(12)</sup>.

본 연구에서는 쌀가루의 압출성형 특성을 조사하기 위한 기초연구로서 원료의 수분함량과 입자크기를 달리했을 때 제품의 팽화율, 밀도, 조직감, 색도, 점도, 수용성 지수등의 물리적 성질을 검토 분석하였다.

#### 재료 및 방법

##### 재료

1986년산 밀양 23호를 시중에서 구입하여 사용하였으며 화학성분 조성은 수분 14.0%, 조단백 6.0%, 조지방 0.9% 탄수화물 78.6%, 회분 0.5%였다.

##### 시료의 전처리와 Extrudate Sample의 조제

원료 쌀을 핀밀(경창기계공업사, 서울)로 분쇄하여 입

Corresponding author: Cherl-Ho Lee, Department of Food Technology, Korea University, 1, Anam-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-701

자크기를 18~16mesh와 60-120mesh로 실험목적에 따라 두 수준으로 구분한 다음, Hobart mixer(Model 1-A 200)에서 수분함량 17%, 19%, 22%, 25%, 28%로 각각 가수한 후 15분간 혼합하여 비닐봉지로 밀봉하였다. 밀봉된 시료는 4°C 냉장실에서 하루밤동안 방치하여 수분이 평형상태에 도달하게 하여 압출성형하였다.

시료의 채취는 extruder 작동초기 단계에서부터 정상상태에 도달할 때까지 계량부위 온도를 기준으로 50°C에서 10°C 증가할 때마다 경시적으로 사출구 입구에서 소량 채취하여 24시간 동안 상온에서 방치한 후 extrudate의 팽화율, 밀도, 파괴력과 같은 물리적 성질을 측정하였다. Extrudate 분말의 조제는 가정용 소형 분쇄기를 사용하여 분쇄한 다음, 입자크기 70-140mesh의 extrudate 분말을 만들어 실험하였다(Fig. 1).

#### 압출 조건

자가발열형 single screw extruder를 사용하였으며 기계적 조건은 screw 직경은 54mm, L/D는 11, 바렐 직경은 59mm, 압축비(C, R)은 2:1이고 screw tip의 모양은 원추형이며 tip의 각도는 120°인 스크류를 사용하였다. 사출구 직경이 3.08mm인 사출구 하나만을 열었다.

원료사입기는 일정한 부피로 사입되는 volumetric feeder와 일정한 무게로 사입되는 gravimetric feeder로 나눌 수 있다<sup>(4)</sup>. 본 실험에서는 일정한 무게로 사입될

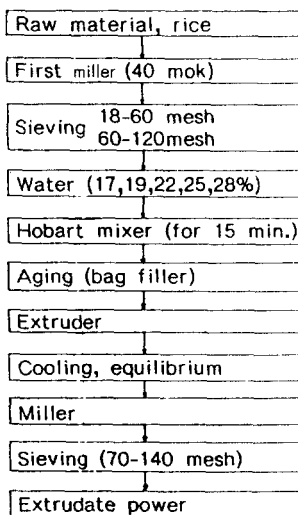


Fig. 1. Extrusion processing flow chart.

수 있도록 feed screw 회전속도를 수분함량에 따라 조절하여 일정하게 사입하였으며 수분함량이 높은 원료는 hopper에서 bridge를 형성하여 균일한 사입이 되지 않으므로 hopper에 진동모터를 장착하여 일정한 사입속도를 유지하게 하였다.

Extruder screw 회전속도 300rpm에서 압출성형하였다. 냉각은 계량부위와 압축부위에 냉각자켓을 설치하여 냉각수를 통과시켜 냉각이 필요할 경우 냉각하였다.

#### 팽화율 측정

팽화율은 extrudate 직경과 사출구 직경의 비로서 정의되며 압출성형 후 extrudate를 상온에서 방치한 시료 10개를 취하여 측정된 평균값으로 나타내었다<sup>(13)</sup>.

#### 밀도 측정

밀도(bulk density)는 1/용량 graduated cylinder에 일정한 무게의 시료와 좁쌀을 넣고 cylinder의 밀부분을 가볍게 30회 쳐서 부피를 측정한 다음, extrudate 무게와 부피의 비로 나타내었으며 3회 측정된 평균값을 사용하였다<sup>(14)</sup>.

#### 절단 시험

건조 extrudate의 파괴력의 측정은 rheometer를 사용하였으며 작동조건은 force scale 5kg, Table speed 0.3mm/sec, chart speed 60mm/min이며 probe는 칼날형을 사용하였다. 절단력은 기록된 힘-거리 곡선에서 5개의 최대 force의 평균값으로 나타내었다.

#### 색도 측정

색도는 extrudate 분말을 Hunter Tristimulus Colorimeter(Model D25 A-2)로 측정하여 L(명도)과 b(황색도)를 구했다.

#### 점도 및 수용성 지수(WSI)

점도는 2% extrudate 분말의 현탁액에 1N KOH 10%를 가하여 1시간 동안 80°C 수조에서 충분히 팽윤시킨 뒤 HAAKE viscometer로 층밀림속도 22, 8, 244, 8, 489.5, 979 s<sup>-1</sup>에서 점도를 구하였다.

수용성 지수는 Anderson 등<sup>(8)</sup>의 방법을 수정하여 사용하였는데, extrudate 분말 2g(d.b)에 30m<sup>l</sup>의 증류수를 가해 50m<sup>l</sup> 원심분리 튜브에 옮겨서 현탁액을 만든 다음 30°C 수조에서 교반하면서 30분 동안 두었다가

3000×G로 10분 동안 원심분리한 후 상등액을 무게를 알고 있는 증발접시에 옮겨 건조시킨 후 건조무게와 시료 무게의 비를 백분율로 나타내었다.

결과 및 고찰

팽화율

팽화는 압출성형기 내부에서 고압상태의 물질이 사출구를 통과할 때 일어나는 압력저하에 의해 일어나며 이때 수분이 급격하게 기화하므로 extrudate의 수분함량은 감소하게 된다.

압출성형기 내부에서 열처리를 받은 반죽은 사출구 안에서 길이 방향으로 확장되어 사출구 밖으로 나갈 때 급격하게 팽화가 일어나게 된다. 또한 extrudate의 증기로 차 있는 기포가 붕괴되어 사출된 extrudate는 약간 수축하게 되는데 이러한 현상은 extrudate가 충분히 굳어질 때까지 계속된다. 이러한 냉각수축 현상은 원료의 수분함량과 처리온도가 높을수록 심하게 나타났으며 원료 수분함량이 높고 처리온도가 높을 때 기공이 차 있는 증기의 양이 많게 되어 일어나는 현상이라고 사료된다.

수분함량과 온도에 따른 팽화율의 변화는 원료의 수분함량이 낮을수록 낮은 온도에서 팽화가 시작되었으며 수분함량이 높을수록 팽화율은 낮게 나타났다. 특히 원료 수분함량 28%에서는 급격하게 팽화율이 저하되었는데 이러한 현상은 수분함량이 높으면 압출성형기 내부물질의 흐름이 원활하여 압력이 낮아지기 때문이라고 생각된다(Fig. 2).

수분함량 22%와 25%에서 입자크기를 각각 18-60

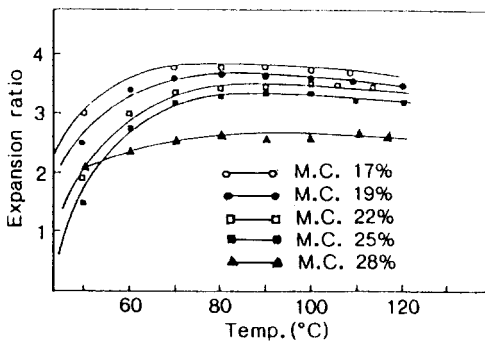


Fig. 2. The effect of moisture content on expansion ratio of rice extrudate (particle size 18-60 mesh).

mesh와 60-120mesh로 달리했을 때의 팽화율의 변화는 입자크기가 작을 수록 낮은 온도에서 팽화가 시작되었으며 팽화율도 높게 나타났다(Fig. 3). 이러한 현상은 입자크기가 작을 수록 표면적이 증가하여 낮은 온도에서도 원료는 충분한 열을 받게 되므로 입자크기가 큰 원료에 비하여 계량부위 온도가 비교적 낮아도 팽화가 일어난다고 생각된다.

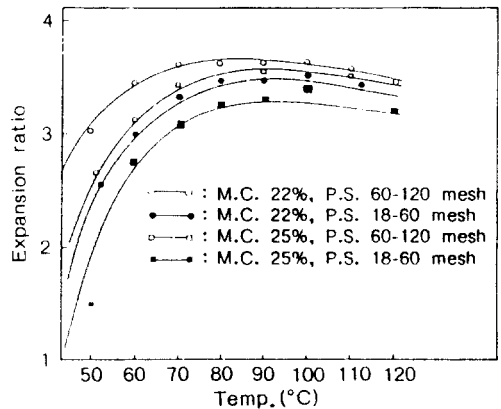


Fig. 3. The effect of particle size and moisture content on expansion ratio of rice extrudate.

밀도

Fig. 4는 수분함량과 바렐내부온도에 따른 밀도(bulk density)변화를 나타낸 것으로 수분함량 17%에서 압출성형기 내부온도가 급격하게 높아져 팽화가 일어나기 시작하게 되면 밀도는 급격하게 저하하였다. 수분함량 22%이하가 되면 80°C에서도 충분한 팽화가 일어나 밀도는 0.4g/cm³ 이하가 됨을 알 수 있었다. 수분함량 25%를 초과하면 100°C가 넘어도 밀도는 높은 수준에서 계속 감소하는 추세를 나타내었으며 이는 원료의 수분함량이 높으면 팽화현상이 현저히 저해를 받기 때문이라고 생각된다.

동일한 수분함량에서 입자크기를 달리했을 때 입자크기가 작을수록 밀도는 낮았으며 평형에 도달하는 온도도 낮게 나타났다(Fig. 5). 밀도와 팽화율과의 관계는 역 상관 관계를 나타내었으며, 수분함량과 온도, 원료의 입자크기가 팽화현상과 extrudate 밀도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

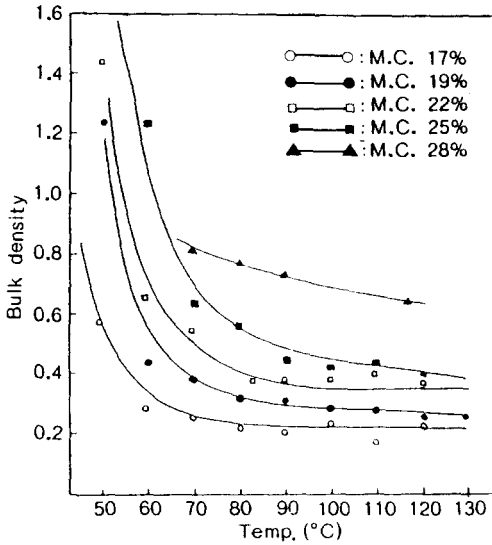


Fig. 4. The effect of moisture content on bulk density of rice extrudate (P.S. 18-60 mesh).

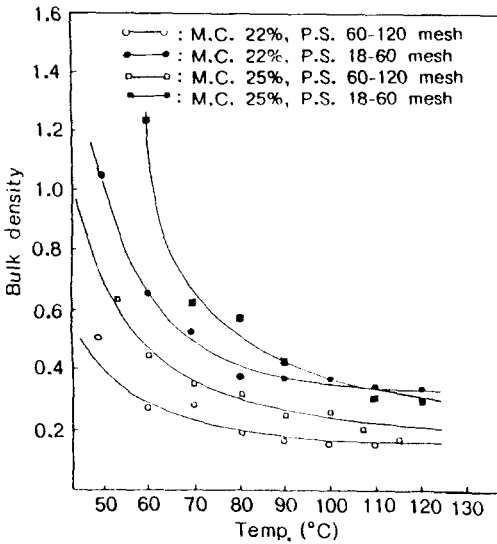


Fig. 5. The effect of particle size and moisture content on bulk density of rice extrudate.

Extrudate 절단력

수분함량 25%인 원료로 만들어진 extrudate의 최대 절단력은 원료 수분함량 17%에 비하여 4배 이상 높게 나타났으며 처리온도가 증가할 수록 최대 절단력은 감소하

는 경향을 보였다(Fig. 6). 이것은 원료 수분함량이 높은 경우 extrudate 밀도가 높고 조직이 견고하였으며 낮은 경우 팽화율이 높아서 조직이 약함을 나타내는 것이다.

Fig. 7과 Fig. 8은 수분함량과 입자크기에 따른 힘-거리 곡선으로 extrudate의 기공의 수나 균일성과 같은 미세구조를 예측할 수가 있었다. 즉 extrudate가 파괴되면서 기록된 힘-거리 곡선에서 peak의 수는 기공의 수와 관련성이 있었다.

원료의 수분함량과 입자크기가 작을 수록 peak 수가 많고 peak의 높이가 균일하므로 기공의 수가 많고 균일함을 알 수 있었다. 따라서 최대 파괴력도 낮았다. 이상의 결과들은 extrudate의 관능적 특성을 나타내는 지표로 사용할 수 있다고 생각된다.

색도 변화

Table 1는 제량부위의 온도변화와 수분함량과 입자크기에 따른 색도변화로서 명도(L)와 황색도(b)를 나타낸 것이다. 수분함량이 낮고 원료의 처리온도가 높을수록 명도는 낮아졌고 황색도는 증가하는 경향을 보였으며 수분함량 22%와 25%에서 입자크기에 따른 색도변화는 입자크기가 작을수록 명도는 낮고 황색도는 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 수분함량이 낮고 입자크기가 작으면 충밀립을 많이 받으므로 extrudate의 갈변화가 일어나기 때문이며 온도의 증가에 따라서도 같은 현상이 나타났

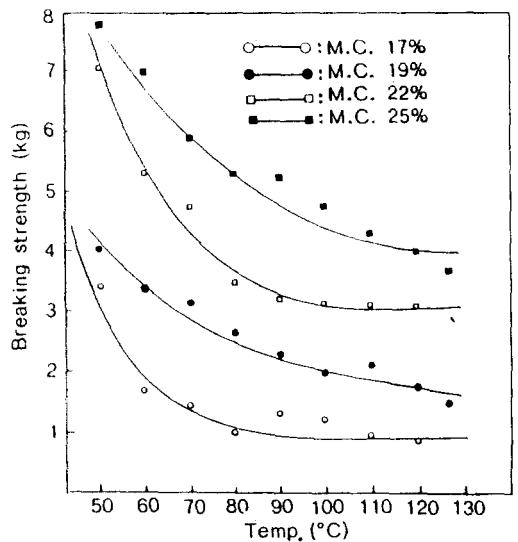


Fig. 6. The effect of M.C. on breaking strength of rice extrudate at particle size 18-60 mesh.

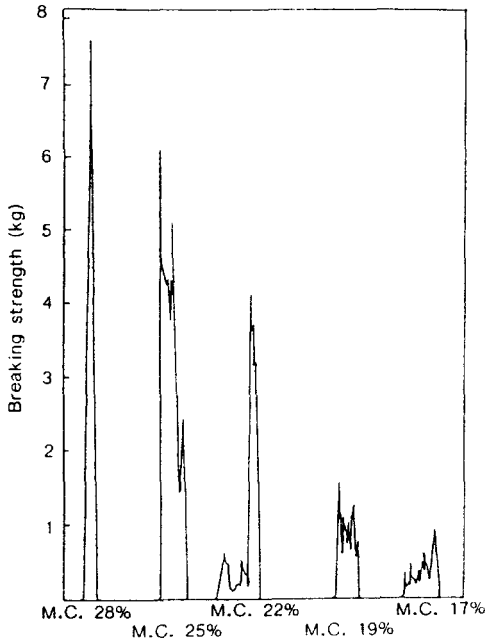


Fig. 7. Force-deformation curve of rice extrudate made from different moisture content of raw material.

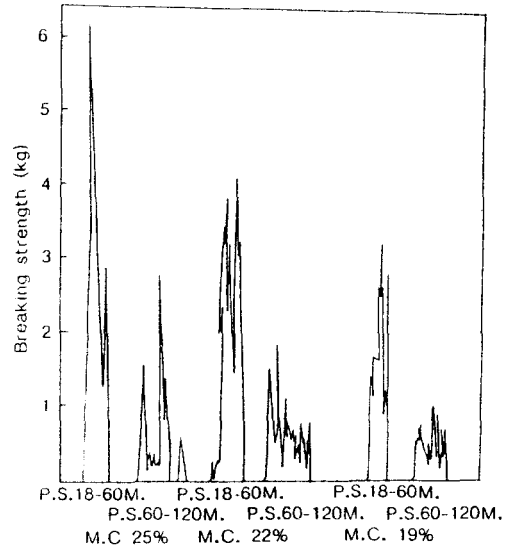


Fig. 8. Force-deformation curve of rice extrudate by moisture content and particle size.

Table 1. The effect of moisture contents and particle size on rice extrudate color (L=lightness, b=yellowness)

P.S (mesh)	M.C (%)	Extrusion Temp, (°C)							
		60°C		80		100		120	
		L	b	L	b	L	b	L	b
18-60	17	68.6	11.0	68.4	15.3	67.9	15.5	67.4	15.5
	19	70.6	11.2	70.1	13.8	72.3	14.3	73.8	14.3
	22	74.1	10.1	73.6	10.4	74.6	12.3	75.5	12.2
	25	74.8	8.7	76.2	9.5	76.0	9.8	76.9	10.7
	28	77.3	7.8	76.1	8.7	77.7	9.5	76.7	10.0
60-120	22	71.6	11.3	71.9	12.5	71.2	13.5	69.2	14.8
	25	73.5	11.4	73.1	12.8	73.2	12.5	72.4	13.8

다.

**겉보기점도 및 수용성지수(WSI)**

동일한 처리온도에서 원료의 수분함량이 감소할 수록 겉보기 점도는 감소하였다. 원료 쌀가루와 비교하면 압출 성형 공정을 거친 경우 겉보기 점도는 크게 감소하였다 (Fig. 9). Anderson 등<sup>(7)</sup>과 Gomez 등<sup>(8)</sup>은 고수분 함량

일 때는 호화가 일어나지만 수분함량이 낮은 경우 강한 층밀림을 받으므로 전분입자는 기계적 손상을 입어 일부의 전분분자가 분해되어 호정화 되므로 점도가 감소한다고 보고하였다.

Fig. 10은 원료 수분함량과 처리온도에 따른 extrudate 분말과 원료 쌀가루의 수용성 지수를 나타낸 것으로서 원료 쌀가루의 경우 4%였지만 extrudate의

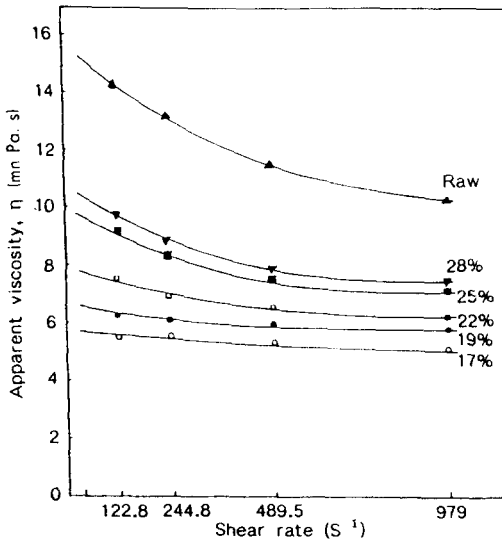


Fig. 9. The effect of moisture content on the apparent viscosity of 2% rice extrudate powder extruded at 100°C.

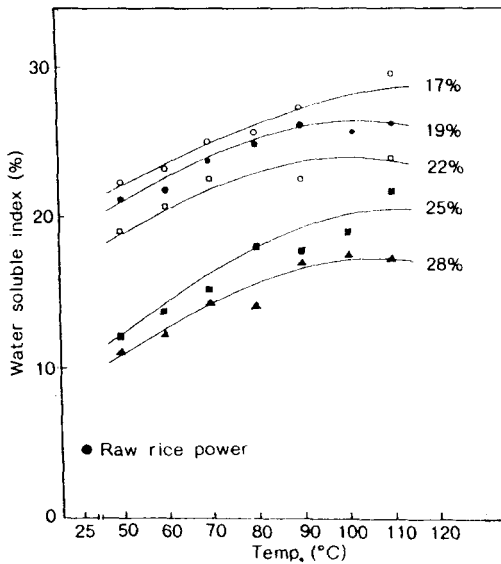


Fig. 10. The effect of moisture content and extrusion temp. on WSI of rice extrudate powder.

수용성 지수는 처리온도가 높고 수분함량이 낮을수록 20-30% 수준으로 크게 증가하는 경향을 보였다. 이것은 일부 전분이 분해되어 수용성 dextrin 및 수용성 전분이

생성되었기 때문이라고 생각되며 이러한 결과는 Merivier 등<sup>(15)</sup>의 연구결과와도 일치하였다.

### 요 약

쌀가루의 압출성형 특성을 조사하기 위하여 원료의 수분함량과 입자크기를 달리하여 자가발열형 single screw extruder로 처리하고 이때 온도변화에 따른 extrudate의 물성학적인 성질을 비교하였다.

원료의 수분함량은 17%, 19%, 22%, 25%, 28%로 했고 입자크기는 18-60mesh와 60-120mesh의 두 범위로 했다. 내부흐름의 온도는 자동 온도기록계에 기록되게 하여 정상상태 가동이 될 때까지 경시적으로 시료를 채취하였다. 팽화율은 수분함량과 입자크기가 감소함에 따라 증가하였으며, bulk density는 팽화율과 역상관 관계를 나타내었다. Extrudate의 절단력은 수분함량이 적고 입자크기가 감소함에 따라 낮아졌으며 기공의 크기도 균일하였다. 색도는 수분함량과 입자크기가 증가함에 따라 명도는 증가하였고 황색도는 감소하였다. 겉보기 점도는 수분함량이 증가함에 따라 증가했고, 수용성 지수는 감소하였다. 원료의 수분이 감소함에 따라 일부의 전분은 호정화를 유발하는 것으로 판단되었다.

### 문 헌

1. 이철호, 김동철, 전제현, 김철진, 김종배, 김재득, 손중천 : 식품 extrusion 기술, 유림문화사, p.13(1987)
2. Smith, O.B. : Extrusion and forming ; creating new foods, *Food Eng.*, **47**(7), 48(1975)
3. Smith, O.B. : Extrusion cooked snacks in a fast growing market, *Cereal Sci. Today*, **19**(8), 312(1975)
4. Haper, J.M. : *Extrusion of Foods*, Vol. I, II, CRC Press, Inc., Florida(1981)
5. Devalle, F.R., Villanueva, H., Reyes-Govea, M., Escobedo, H., Bourges, J., Ponce, J., Munoz, J. : Development, evaluation and industrial production of a powdered soy-oats infant formula using a low-cost extruder, *J. of Food Sci.*, **46**, 192(1981)
6. Clark, J.P. : Texturization by extrusion, *J. Texture stud.* **9**(1), 109(1976)
7. Gomez, M.H., Aguilera, J.M. : Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn, *J. of Food Sci.*, **48**, 378(1983)

8. Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfefter, V.F., Griffin, E.L., Jr. : Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking, *Cereal Sci. Today*, **14**(1), 4(1969)
9. C.Y. Mok, R.E. Pyle, C.E. McDonald, Y.J. Nam, B. Y. Min : Extrusion processing of barley flour for snack process, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **16**(4), 429(1984)
10. Mottern, H.H., Spadaro, J.J., Gallo, A.S. : Cooking -extrusion-expansion of rice, *Food Technol.*, **23**(3), 169(1969)
11. Juliano, B.O. : *Rice, Chemistry and Technology*, AACC, Inc., Minnesota(1972)
12. Spadaro, J.J., Mottern, H.H., Gallo, A.S. : Extrusion of rice with cottonseed and peanut flours, *Cereal Sci. Today*, **16**(8), 238(1971)
13. 이철호, 임재각, 김재득, 이문희 : Single-screw food extruder의 제작과 corn grits 팽화시의 기계적 성질과 제품특성, *한국식품과학회지*, **15**(4), 392(1983)
14. Bhattacharaya, M., Hanna, M.A., Kaufman, R.E. : Textural properties of extruded plant protein blends, *J. Food Sci.*, **51**(4), 988(1986)
15. Mercier, C., Feillet, P. : Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products, *Cereal Chem.*, **52**(3), 283(1975)

(1988년 1월 21일 접수)