

Single-screw Food Extruder의 제작과 Corn Grits 팽화시의 기계적 성질과 제품 특성

이철호 · 임재각 · 김재득* · 이문희*

고려대학교 식품공학과 * 주식회사 농심 기술 개발연구소

(1983년 6월 20일 수리)

Construction of Single-screw Food Extruder and its Mechanical Properties and Product Characteristics for Corn Grits Extrusion-cooking

Lee, C. H., Lim, J. K., Kim, J. D.*, and Lee, M. H.*

Dept. of Food Tech., Korea University *Food Research Inst., Nong Shim Co. LTD.

(Received June 20, 1983)

Abstract

A pilot single-screw food extruder was constructed, and its mechanical properties and product characteristics were investigated by using corn grits.

The screw rotational speed was varied and the changes in temperature profile of the barrel for the start-up period of operation were measured. The rate of heat generation for the start-up period was affected by the screw speed and feed rate.

The screw speed resulted in a great influence on the estimated dough viscosity. The changes in the dough viscosity could indicate the on-set of thermoplastic reaction in the barrel.

The expansion ratio during the start-up period mainly depended on the barrel temperature and the degree of thermoplastic reaction in the barrel. The barrel temperatures for the gelatinization and burning of corn grits depended on the screw speed as well as the feed rate.

서 론

식품의 압출성형 가공법은 원래 플라스틱 공업의 압출성형기술⁽¹⁾을 식품 가공에 도입 적용한 것으로서 Breakfast cereal 제품, 스낵 및 과자류와 조직화 단백질 제품(TVP) 등의 제조에 널리 이용되고 있다.⁽²⁻⁴⁾ 식품의 압출가공 기작은 압출기 내부에서 발생하는 마찰열에 의하여 식품 재료가 용융 혼합되는 열용융(thermoplastic) 반응과 고압의 용융물질이 작은 구멍을 통하여 저압으로 급격히 밀려나오는 과정에서 이루어지는 배열과 팽윤(die swell)에 의하여 특징적인 조직과 형태를 가지

게 된다.^(8,10) 그러므로 압출가공 제품의 품질 특성은 식품 성분의 열용융 반응성 혹은 유체변형성, 압출기 내부에서의 흐름패턴, die의 구조와 압력변화의 처리방법에 따라 결정되는데,^(11,12) 여기에 대한 기초 연구가 상당히 부족한 실정이다.

식품의 압출성형 가공법은 밀가루, 옥수수가루, 대두박, 생선박과 같은 일정형태를 가지지 않은 저렴한 식품원료로부터 과자류, 인조육, 생선 소세지등과 같은 고급식품을 만들어 낼 수 있는 방법이므로 세계의 식량사정이 점점 악화되는 현재의 상황과 식량자원의 자급 능력이 절대로 부족하여 외국의 값싼 자원을 수입하여 고 영양 식품으로 가공하여야 하는 우리나라의 여건에 지

극히 필요한 공법인 것이다. 이러한 공법에 대한 기초 연구가 우리 힘으로 이루어져야 하며 실제로 많은 식품 생산업체에서 현재 필요로 하는 것이다.

본 연구에서는 식품재료 특히 단백질, 전분과 같은 고분자 물질들이 압출기의 내부구조와 마찰력에 의하여 어떠한 영향을 받는지를 연구하기 위하여 다목적 압출성형기를 제작하고, 일차적으로 corn grits를 사용하여 압출기의 Start-up 기간에서의 스크류(screw) 회전속도에 따른 내부마찰열 발생속도와 생산된 제품(extrudate)의 품질을 평가 하였다.

재료 및 방법

재료

동일산업에서 제조된 corn grits를 사용하였으며 그 화학성분 조성은 수분 13%, 조단백 7.2%, 조지방 2.4%, 탄수화물 76.7%, 회분 0.7% 이었다.

압출조건

본 실험에 사용된 screw는 L/D=10/1, 압축비(compression ratio)=2/1 이고, 3mm 출구(die hole)를 1개 사용하였으며 스크류 끝부분은 tip angle이 72° 이고 원추형의 tip을 사용하였다. (Fig. 1)

스크류의 회전속도는 120, 210, 300rpm으로 하였고 원료사입속도는 300-570g/min 으로 조절하였다.

가수량은 유량조절계(용량 8-80ml/min)를 사용하여 80-15ml/min에서 계속 감소시키면서 조절하였다.

측정방법

Fig. 1에서와 같이 thermocouple을 출구판(die plate), 메터링 부위(metering section), 압축부위(compression section)에 각각 부착하여 바렐(barrel) 내부의 온도 변화를 6-channel 온도 기록계(Chino model EH 127-06)에 기록하였다.

소비되는 전력은 모터에 부착된 ampere gauge로 측정하였다.

분석방법

수분함량은 Ultra-X 수분 측정기를 사용하여 측정하

였다. 팽화율(e. r.)은 extrudate의 직경과 출구 직경의 비로서 정의되며 10개 sample의 평균값을 사용하였다.⁽¹²⁾

$$\text{팽화율 (e. r.)} = \frac{\text{extrudate의 직경 (d_e)}}{\text{die hole의 직경 (d_m)}} \dots\dots\dots (1)$$

전분호화도(D. G.)는 디아스타제를 사용하여 한국공업규격(KS H2111)에 준하여 결정하였다.⁽¹³⁾

즉 시료약 1g을 정확히 달아 4개의 삼각후라스코에 넣어 증류수 50ml를 가한 후 이를 각각 A₁, A₂, A₃, A₄로 한다. 따로 시료를 넣지 않은 용기에 물 50ml를 넣고 B로 한다.

A₁, A₂를 15분간 끓이고 A₁, A₃ 및 B의 flask에 5% diastase 용액을 5ml씩을 가하고 37°C에서 90분간 보온 후 100ml messflask에 옮기고 1N 염산 2ml씩을 가한 다음 물로 눈금까지 채운 후 이를 거른다. 이액을 각각 a₁, a₂, a₃, a₄ 및 b로 하고 검액 10ml를 취한후 0.1N 요오드 용액 10ml 및 0.1N NaOH용액 18ml를 가한다. 방치후 10% 황산 2ml를 가하고 0.1N Na₂S₂O₃로 적정하여 소비된 양을 p₁, p₂, p₃, p₄ 및 q라 한다. 따로 0.1N 요오드 용액 10ml를 가지고 바탕실험을 하고 그 값을 r로 한다.

$$D. G. (\%) = \frac{(r-p_2) - (r-p_4) - (r-q)}{(r-p_1) - (r-p_2) - (r-q)} \times 100 \dots\dots (2)$$

바렐 내부의 점도는 Harper등⁽⁸⁾이 80% corn grits와 20% 귀리가루로 된 반죽을 Instron capillary viscometer를 사용하여 측정된 상수값, 즉, η* = 7.85 × 10¹ Ns/m², n = 0.51, ΔEη/R = 2500°K, K = -7.9을 식(3)의 modified Arrhenius식에 적용하여 측정하였다.

$$\eta = \eta^* \dot{\gamma}^{n-1} \exp(\Delta E\eta/RT) \exp(KM) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $\dot{\gamma} = \frac{\pi ND}{\delta}$ 이며 shear rate (s⁻¹)을,

M = 수분함량 (%) N = screw speed (rpm)

D = screw 직경 (cm) δ = clearance (cm)

n = flow behavior index를 가르킨다.

결과 및 고찰

Start-up 기간 동안의 바렐내부 온도 변화

Fig. 2는 스크류 회전속도 300rpm에서, 원료사입속도와 가수량의 변화 그리고 6-channel 온도 기록계에 기록된 각 바렐부위에서의 온도 단면을 나타낸 것으로 가동시간 약 15분 이후부터는 원료사입속도와 가수량을 일정하게 해 주었다. 1번은 die plate의 온도 변화로 최초 온도가 170°C 정도로 높은 것은 시동을 용이하게 하기 위해 예열을 해 주었기 때문이고, 2번이 metering 부위 3, 4, 5번이 압축부위에서의 온도변화를 보여주고 있다. (Fig. 1 참조)

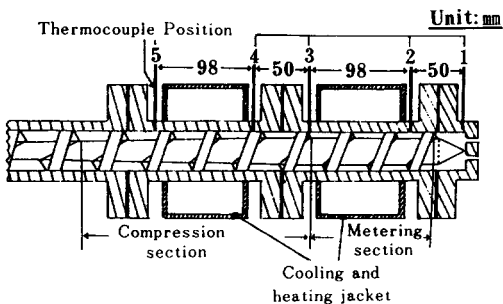


Fig. 1. Cross-section of single screw extruder barrel.

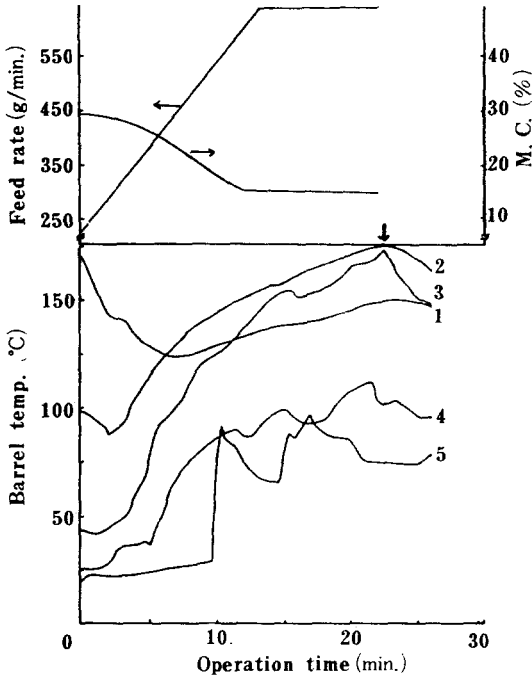


Fig. 2. Temperature profile of barrel, feed rate and rate of water addition at screw speed 300 rpm.

Thermo couple position; 1. die plate, 2. metering section. 3. 4. 5. compression section; See Fig. 1.

가동직전에 출구관에 부착된 예열코일을 제거하면 출구부위의 온도(1)는 10분간 125°C 까지 계속 감소하다가 그후부터는 압출기 내에서 발생하는 열에 의하여 다시 가열되어 150°C 까지 상승한다. 출구부위의 온도는 실제 온도 보다 다소 낮게 기록된 것으로 판단되는데 이것은 Fig. 1의 바렐구조에서 제 1 thermocouple의 위치가 출구에서 다소 떨어진 곳에 위치하여 스크류우 끝부분과 바렐 끝부분 사이의 빈 공간에 차있는 내용물 때문에 출구온도를 정확하게 측정하지 못하고 다소 낮게 측정된 것으로 생각된다.

미터링 부위의 온도 (2)는 최초 출구관 예열의 효과를 받아 97°C 에서 다소 감소하다가 가동 시작후 2분이 내에 자체의 열 발생으로 증가하기 시작하였다.

가동 12분 후 가수를 중지하고 원료 사입 속도를 650 g/min 으로 고정한 후에도 미터링 부위의 온도는 155°C 이상으로 계속 증가하여 가동 22분에는 175°C 에 도달 하였으며 이때부터는 탄화가 일어나기 시작하였다.

미터링 부위와 압축부위의 경계지점의 온도 (3)는 가동시간 2분후 미터링 부위의 온도 (2)보다 40°C 정도 낮았으나 그 차이는 점차 줄어들어 가동 12분 후에는 15

°C 내외, 22분 후에는 미터링 부위보다 5°C 낮은 170°C 부근에 달하게 되었다.

압축부위의 시발점 (5)과 중간지점 (4)의 온도는 비교적 낮아 제품의 탄화가 일어나는 가동 22분 까지 80-110°C 수준에 달하고 있었다.

Fig. 3 은 스크류우 회전속도 210rpm일때 바렐내부의 온도변화를 나타내고 있다. 앞에서 중요하다고 판단되는 미터링부위(2)와 압축부위 끝부분(3)의 온도만을 나타내고 있다. 300rpm의 경우와 비슷하나 가동 22분 후의 미터링부위 온도는 150°C 이며 압축부위 온도 역시 150°C 에 거의 도달하게 된다.

210rpm에서 가수를 중지하고 원료사입 속도를 550g/min로 일정하게 된 것은 가동후 16분이 경과한 때였다.

Fig. 3-1은 스크류우 회전속도 120rpm일때 바렐내부의 온도변화를 나타내고 있다.

가동시간 22분 경과후 미터링 부위 온도는 140°C, 압축부위 온도는 130°C 였으며, 가동 27분후에야 미터링 부위 온도가 150°C 에 도달할 수 있었다. 가동 13분 후에 가수를 중단할 수 있었으나 원료 사입속도는 가동 27분까지 계속 증가하여 450g/min 수준까지 될 수 있었다.

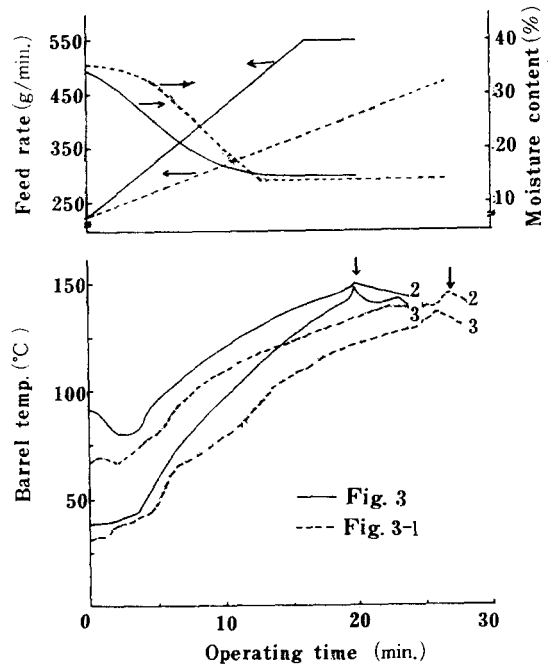


Fig. 3. Temperature profile of barrel, feed rate and rate of water addition at screw speed 210 rpm and 120 rpm.

Thermocouple position; 2. metering section, 3. compression section.

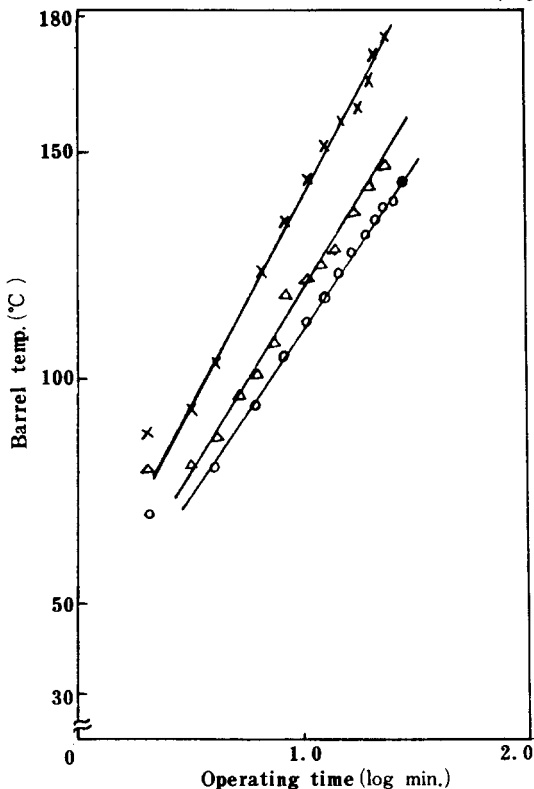


Fig. 4. Effect of screw speed on the heat generation at metering section during the start-up period.

○ - ○ : 120 rpm △ - △ : 210 rpm
 × - × : 300 rpm

Start-up 기간 동안의 바렐 내부 온도증가를 가동시간의 대수를 사용한 semi-log 좌표에 그려보면 Fig. 4에서 처럼 메터링부위와 압축부위에서 모두 직선관계를 나타내고 있었으며 스크류 회전속도가 커질수록 그 기울기는 커짐을 알 수 있었다. 그러나 Fig. 2와 3에 표시한 바와같이 최초 가동시간 약 13-16분간은 가수량이 계속적으로 감소하며 원료사입 속도가 계속적으로 증가하는 기간이므로 바렐 내부온도 증가는 가동 시간만의 함수가 아닌 것이다.

원료사입 속도와 가수량이 일정하게 조절되는 기간중 (120rpm의 경우 사입속도는 예외)의 열발생속도는 메터링 부위에서 log 가동시간과 직선적인 관계를 나타내었다. Fig. 5에 표시한 바와같이 메터링 부위에서의 온도증가는 가동시간과 직선적인 관계를 가지며 열발생속도를 나타내는 이 좌표의 기울기는 스크류 회전속도가 클수록 커짐을 알 수 있다.

스크류 회전속도는 또한 최적 원료사입 속도와 비례하므로 열발생속도는 원료사입 속도와와의 함수관계를

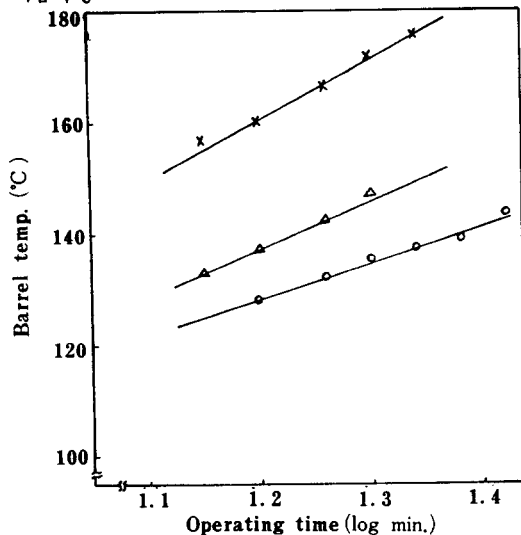


Fig. 5. Rate of heat generation at metering section for the period of constant feed rate and constant water supply.

○ : 120 rpm △ : 210 rpm × : 300 rpm

가질 수 있을 것으로 고려된다.

Barrel온도에 따른 extrudate의 팽화율

Start-up 기간 동안에 출구를 빠져나온 extrudate의 팽화율은 Fig. 6 7에 보여주고 있다. 팽화율은 스크류 회전속도 보다는 바렐 내부 온도와 상관관계를 보이고 있으며 최대 팽화율을 나타내는 바렐 내부 온도는 metering 부위에서 약 130°C, 압축부위에서 약 100°C로 나타났다.

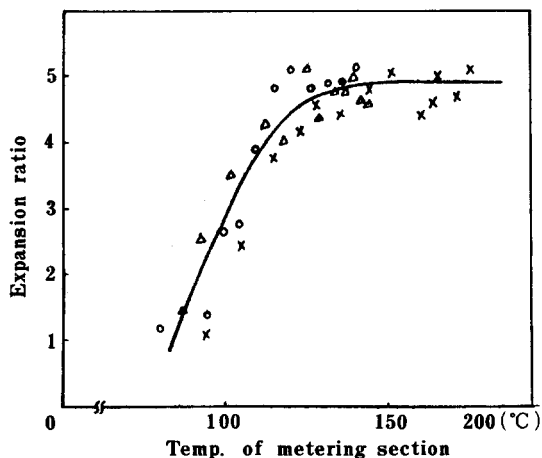


Fig. 6. Relation between expansion ratio of the extrudate and the temp. of metering section during the start-up period.

○ : 120 rpm △ : 210 rpm × : 300 rpm

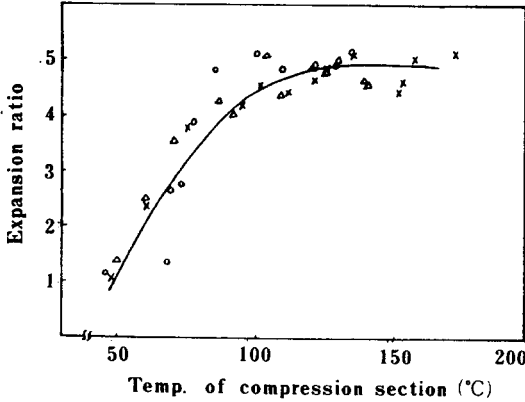


Fig. 7. Relation between expansion ratio of the extrudate and the temp. of compression section during the start-up period.
 ○ : 120 rpm △ : 210 rpm × : 300 rpm

Picture 1에서 보면 120rpm에서는 가동시간 6분 정도에서는 거의 팽화가 일어나지 않았고, 120rpm에서 9분, 210rpm에서 6분 후에 어느 정도 팽화가 일어나고, 120rpm에서 18분, 210rpm에서 9분, 300rpm에서 6분 후에 각각 최대의 팽화를 나타내었다.

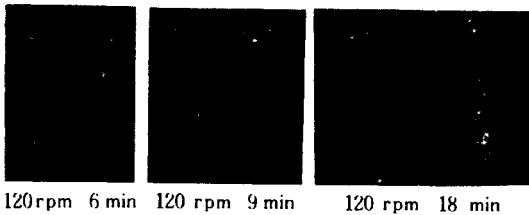
210rpm에서 18분 후와 300rpm에서 9분 후에 extrudate의 표면이 고르고 색도도 상당히 얹어지는 것을 볼 수 있으며 300rpm에서 18분 후에 이미 약간의 탄화가 일어났음을 알 수 있었다.

Barrel 내부의 점도 변화

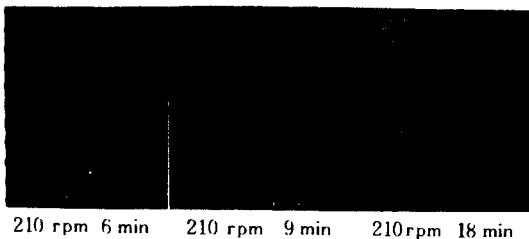
Fig. 8에서 보면 Start-up 기간에서의 최고점도는 스크류우 회전속도 120, 210, 300 rpm에서 각각 1280, 850, 630 N. S/m²으로 스크류우 회전속도가 증가함에 따라 작

Picture 1. Extrudate

1-1.



1-2.



1-3.

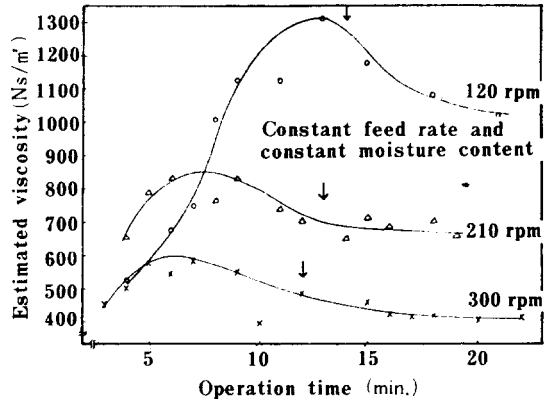
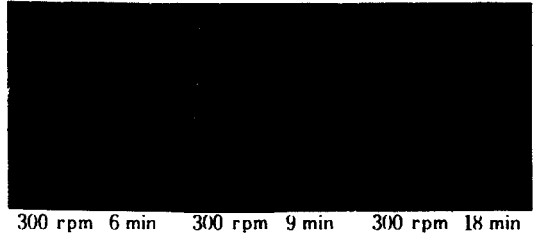


Fig. 8. Estimated dough viscosity during the start-up period.

게 나타났고 또 최고점도에 도달하는 시간도 각각 14분, 9분, 6분 정도로 스크류우 회전속도가 클수록 작았다. 이 최고점도는 start-up 기간에서 바렐내부에서의 열용융(thermoplastic) 반응이 시작되는 점을 나타내며 이후에는 온도의 증가에 따라 점도가 감소하면서 일정수준의 열용융 상태가 유지되는 것으로 보인다.

이 최고점도는 extrudate의 품질과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며 그 팽화율을 비교해 보면 Picture 1에서 보는 바와같이 스크류우 회전속도 120, 210, 300 rpm에서 각각 18분, 9분, 6분 즉 최고점도를 지난 바로 직후에 최대의 팽화를 보이고 있으며 그 이후에는 extrudate의 표면이 고르고 색도도 상당히 얹어지는 것을 알 수 있다.

전분 호화도와와의 관계

Fig. 9는 metering 부위의 바렐내부 온도에 따른 extrudate의 호화정도를 나타낸 것으로, 관능검사 결과 가장 선호도가 높게 나타난 94% 이상의 호화도에 도달하는 온도는 115°C, 125°C, 135°C로 스크류우 회전속도가 클수록 corn grits가 호화되는데 필요한 바렐내부 온도는 높게 나타났다.

Table 1에서 스크류우 회전속도가 증가함에 따라 corn grits가 호화되는 바렐온도는 115°C, 125°C, 135°C로 증가했고 extrudate의 탄화가 일어나는 온도도 146

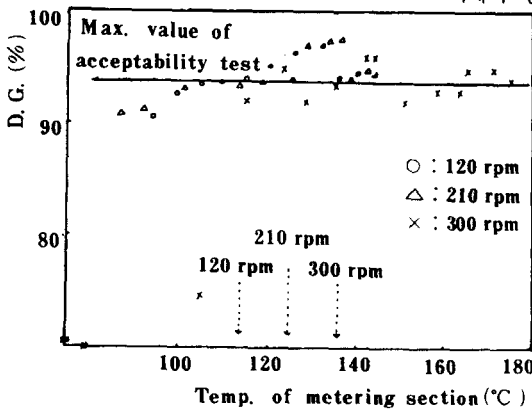


Fig. 9. Relation of the degree of gelatinization and the temp. of metering section for different screw speed.

Table 1. Relation between the rate of feeding material and the barrel temperature for gelatinization and burning of corn grits.

| Screw speed | Feed rate | Barrel temp. for gelatinization | Barrel temp. for burning |
|-------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|
| rpm | g/min | °C | °C |
| 120 | 470 | 115 | 146 |
| 210 | 540 | 125 | 150 |
| 300 | 600 | 135 | 175 |

°C, 150°C, 175°C로 증가하였다.

이는 원료사입속도가 증가함에 따른 체재시간(residence time)의 감소에 의한 영향으로 볼 수 있다. 즉 스크류 회전속도가 120, 210, 300rpm으로 증가함에 따라 원료사입속도도 470, 540, 600g/min으로 증가하며 이와같은 원료사입속도의 증가는 동일한 규격의 extruder내에 corn grits가 체재하는 시간이 감소하는 것을 의미한다. 따라서 체재시간의 감소되는 만큼 호화온도와 탄화가 일어나는 온도가 증가하는 것을 알 수 있다.

결 론

이상의 결과를 종합하여 볼때 extruder의 스크류 회전속도와 원료사입속도는 corn grit에 대한 가열속도에 커다란 영향을 미치며 이때의 가열정도는 corn grit의 호화정도, 팽화에 영향하여 그 조직감을 변화시킬 수 있다. 또한 바렐내부에서의 가열 용융반응(thermoplastic reaction)이 일어나는 정도에 따라 호화, 팽화되는 정도가 달라지며 이것은 제품 표면의 sm-

oothness, 조직감, 색깔등에 직접적인 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

따라서 바렐내부에서의 열 발생속도와 가열정도, 가열 용융반응의 발생, 내부 점도의 변화, 체재시간 등에 미치는 바렐과 스크류의 구조, die의 구조, 스크류 회전속도, 가동시간등의 영향을 구체적으로 연구할 필요가 있다.

기 호

η = apparent viscosity, Ns/m²

η^* = reference apparent viscosity, Ns/m²

r = shear rate, s⁻¹

E = energy of activation for flow, J/g mole

R = gas constant, 8.314J/g mole K

T = absolute temperature, K

K = constant

M = moisture, %

N = screw speed, rpm

D = screw diameter, cm

δ = clearance, cm

n = flow behavior index

요 약

식품 압출성형기(Food Extruder)의 기계적 성질과 제품 특성을 이해하기 위하여 다목적 Pilot plant용 Single-Screw Extruder를 제작하고 corn grits를 사용한 Extrusion-cooking process의 기계적 성질과 제품 특성을 조사 하였다.

Start-up 기간에서 스크류 회전속도에 따른 열 발생속도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Start-up 기간에서의 열 발생속도는 스크류 회전속도 및 원료사입속도에 직접적인 영향을 받았다. 추정된 바렐내부에서의 반죽의 점도는 스크류 회전속도에 크게 영향을 받았으며 이 점도의 변화로 바렐내부에서의 가열 용융반응이 진행되는 정도를 예측할 수 있었다.

Start-up 기간에서의 팽화율은 주로 바렐내부의 온도와 열용융 반응이 일어난 정도에 의존하였다. Corn Grits가 호화되는 바렐온도와 탄화가 일어나는 온도는 회전속도에 따른 체재시간에 크게 영향을 받았다.

Acknowledgement

본 연구에 사용된 경비의 일부는 화암장학회 연구비

에 의하여 보조되었으며 이 자리를 빌어 심심한 감사의 뜻을 표하는 바이다.

문 헌

1. Griff, A. L. : *Plastics Extrusion Technology*, Reinhold Book Corp., New York (1968)
2. Bain, B. K. : *Extrusion today, Cereal Foods*, Vol. 24, 136 (1979)
3. Conway, H. F., Lancaster, E. B., and Bookwalter, G. N. : *Food Eng.*, **40**, 102 (1968)
4. Gordon, H. W. : *Cereal Foods World*, **21**, 14 (1976)
5. Smith, O. B. : *Food Eng.*, **47**, 48 (1975)
6. Smith, O. B. : *Cereal Foods World*, **24**, 132 (1979)
7. Stater, L. E. : *Food Eng.*, **47**, 41 (1975)
8. Williams, M. A. : *Cereal Foods World*, **22**, 152 (1977)
9. Harper, J. M. : *Extrusion of Foods*, Vol. I, CRC Press, Inc., Florida (1981)
10. Harper, J. M. : *Extrusion of Foods*, Vol. II, CRC Press, Inc., Florida (1981)
11. Bossen, J. L., and Miller, R. C. : *Food Technol.*, **27**, 46 (1973)
12. Van, Zuilichem, D. J., Lamers, C., and Stolp, W. : *6th European Symposium-Food Engineering and Food Quality*, Cambridge, September 8-10 (1975)
13. 한국공업규격 KS H 2111, 공업진흥청 (1979)