

원료곡분의 성상과 압출 조건이 Extruder 내부 온도분포에 미치는 영향

류기형 · 이철호
고려대학교 식품공학과

The Effects of the Type of Cereal Powder and Extruder Operation Conditions on the Barrel Temp.-distribution

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

Abstract

The heat generation at the start-up period of an autogeneous single screw extruder was determined with various feed materials, die structure and operational conditions. The highest heat generation rate was observed with defatted soybean meal, while the lowest value was obtained with rice flour, and wheat and barley flour showed the intermediate rate. As the moisture content of the flour decreased and the screw speed increased, the electric power requirement and heat generation rate increased. The temperature at compression section increased with the decrease in the particle size. The same effect was also observed as breaker plate was installed. The optimum operation was established as the temperature profile was maintained in decreasing order of metering section, die and compression section.

Key words: extruder, cereal powder, operation condition of extruder

서 론

Extruder 조작 조건에 관여하는 변수는 대단히 많으며 이들 가운데 독립변수로는 원료의 사입량, 수분함량, 스크류, 바렐 및 사출구의 형태, 스크류의 회전속도, 바렐벽면의 온도등으로 구성되며, 종속변수로는 점도, 총 밀립속도, 내부압력, 동력요구량, 체류시간, 내부물질의 온도, 제품의 특성등이 있다^(1,2). 그러므로 이들 독립변수의 변화에 따라 종속변수가 어떻게 달라지는가를 규명하여 제품의 품질을 최적화하기 위한 조건을 찾아내야 한다.

Extruder 내부 온도는 외부에서 가열될 경우에는 바렐 내벽온도로 측정되는 독립변수이나 자가발열형 extruder에서는 원료의 종류, 사입량, 스크류회전속도 등에 의존하는 종속변수가 되며 이것은 제품의 품질을 결정하는 매우 중요한 요소가 된다.

압출 성형중에 동력으로 투입되는 기계적 에너지는 열로 소산되어 내부물질의 온도상승, 내부압력증가, 화학반응 및 내부물질의相변화등에 사용된다⁽²⁾.

Haper 등⁽²⁾은 70% 대두분과 30% corngrit를 원료로 하여 압출성형할 때 투입된 총에너지의 약 75%는 내부물질의 온도상승에 필요한 열로 사용된다고 보고하였다.

Extruder 내부물질의 온도 측정은 위치, 외부의 열전도등의 조건에 따라 오차가 생길 수 있으므로 정확히 내부물질의 온도를 측정할 수 있는 방법을 고안하는 것이 필요하다^(3,4).

전분질곡류를 압출성형할 때 원료가 내부에서 받은 열처리 정도에 따라 제품의 색도, 강도, 호화도, 점도, aircell의 크기, 밀도등이 달라지며 대두조직단백의 조직화 정도도 달라지게 된다^(5,7). 그리고 extruder를 이용하여 비타민이나 무기질 등의 영양소를 강화시킬 때 원료의 수분함량, 스크류 회전속도와 함께 내부 온도분포는 중요한 인자가 된다⁽⁶⁾.

본 실험에서는 자가발열형 single screw extruder를

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

사용하여 몇가지 독립변수를 즉 수분함량과 입자크기, 원료의 종류와 같은 사입원료 조건과 바렐, 사출구, breaker와 같은 기계적 요소를 변화시켰으며 냉각방법 및 스크류 회전속도 등의 extruder 작동 조건을 달리했을 때의 내부온도 분포를 검토 분석하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 시료 쌀가루는 전보(7)와 같다. 보리가루는 1986년산 겉보리를 사용했고 일반성분은 수분 11.1%, 조단백 11.6%, 조지방 1.8%, 탄수화물 72.8%, 회분 2.7%였고, 밀가루는 수분 12.3%, 조단백 12.2%, 조지방 3.0%, 탄수화물 70.8%, 회분 1.7%였으며, 탈지대두분의 일반성분은 수분 7.2%, 조단백 47.4%, 조지방 1.4%, 탄수화물 37.7%, 회분 6.3%였다. 입자크기는 18-60mesh 수준으로 조정하였으며 입자크기에 따른 영향을 알아보기 위해 쌀가루 시료의 입자크기를 18-60mesh, 60-120mesh 두가지 수준으로 하였다. 수분함량 조절과 원료의 조제는 전보(7)와 같이 행하였다.

Extruder 의 제원

실험에 사용된 extruder 는 자가발열형 single screw extruder 로서 스크류 직경 54mm, 스크류의 길이 58cm, 바렐직경 59mm, L/D=11, 압축비=1.5, screw tip 의 각은 120°인 원추형을 사용하였다.

사출구와 breaker 의 구조가 내부온도 분포에 미치는 영향을 검토하기 위해서 다음과 같은 조건에서 비교하여 실험하였다. 사출구는 원형(k=1.12)인 것과 평관형(k=1.74)인 것을 각각 사용하였으며 k값은 Rossen 등(8)의 식을 적용하였다. 원형인 경우 $k = \frac{\pi R^4}{8ld}$, 평관형

인 경우 $k = \frac{wh^3}{12ld}$ 를 적용하여 계산했다. 이 식에서 R : 원형 사출구 반경, ld; 사출구의 길이, W; 평관형 사출구의 너비, h; 평관형 사출구의 높이이다. Breaker 의 형태는 원형의 구멍을 6개 설치한 circle 형과 두개의 slit 형 breaker 를 사출구 앞부분에 설치하였다. Fig. 1 은 본 실험에 사용된 die assembly 를 도시한 것이다.

압출조건

원료사입 속도는 200g/min, 스크류의 회전속도는 300rpm 으로 실험하였으며, 스크류 회전속도가 내부온

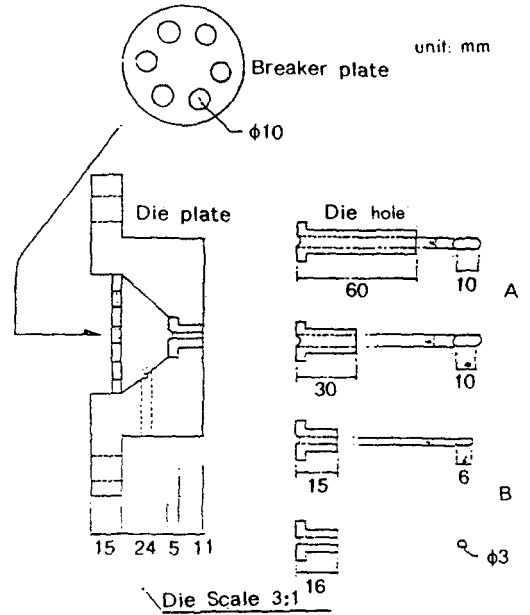


Fig. 1. Structure and dimension of die plate and, die hole and breaker.

A: K=1.74, B: K=1.12

도 분포에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 200rpm 로 조절 비교하였다. 냉각수의 양은 계량부위 200cc/min, 압출부위 100cc/min 양으로 작동초기부터 동일한 양의 냉각수를 냉각자켓에 공급하였다.

측정방법

열전대의 위치는 내부온도를 정확하게 측정하기 위해서 spline 과 spline 의 중간에 위치하게 하였으며 probe 의 끝부분은 Teflon tape 로 감아서 외부의 열전도를 방지하였다(Fig. 2).

내부온도 측정은 열전대를 사출구관, 계량부위, 압출부위에 각각 장착하여 내부온도가 자동온도기록계 (Chino Model EH 127-66)에 기록되게 하였다.

동력요구량은 모터 (3상, 동일전기)가 소비하는 동력을 Watt(W)로 환산하여 나타내었다.

결과 및 고찰

원료조건에 따른 온도분포

Fig. 3은 쌀가루의 입자크기 18-60mesh, 수분함량을

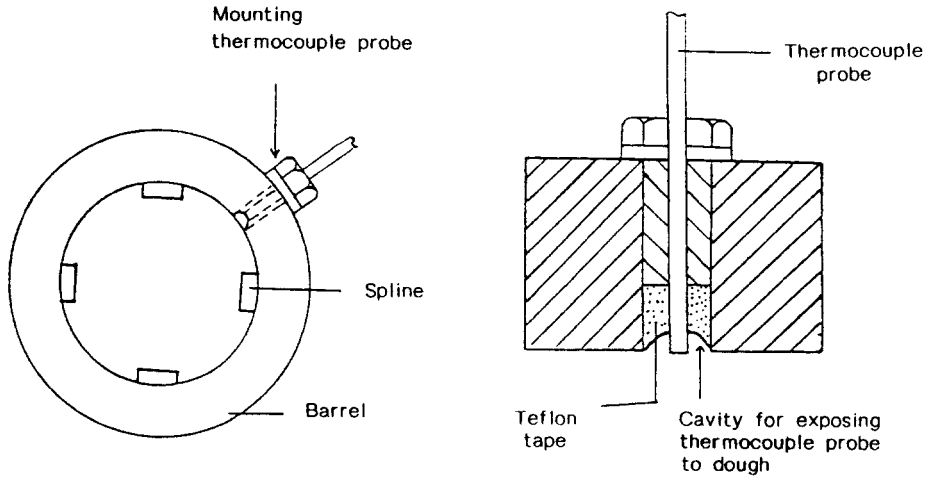


Fig. 2. End of barrel section illustrating location of thermocouple and detail view of mounting thermocouple probe.

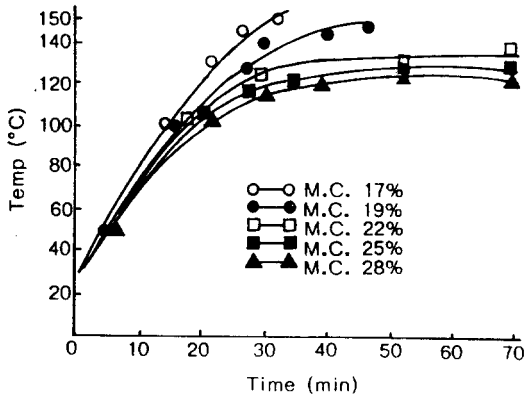


Fig. 3. Changes in metering section temperature by moisture contents of rice flour(18-60mesh) during the start-up period of extrusion.

17%, 19%, 22%, 25%, 28%로 달리했을 때의 계량부위 온도분포를 나타낸 것으로서 이때 냉각수를 작동초기부터 압축부위 100cc/min, 계량부위 200cc/min로 계속 공급하였다.

수분함량이 낮을수록 초기온도가 급격하게 상승하였으며 평형상태에서의 온도도 수분함량 28%의 120°C에 비하여 수분함량 19%인 경우 150°C로 상승하였다. 평형상태에 도달하는 시간은 수분함량에 따라 다소 차이가 있었지만 작동후 30-40분 정도 경과한 후였다. 이것은 수분함량이 낮아지면 계량부위에서 점성에너지 소산에 의한 열발생이 많아져서 온도가 급격하게 상승하는 것으로 사

료되며 열발생이 많게 되면 내부물질의 변화도 심하게 일어난다. 즉 extrudate의 색깔이 변화할 뿐만 아니라 extruder의 작동상태도 원활하지 않게 되어 수분함량이 적은 원료일 경우 수분함량이 높은 원료일 때보다 냉각수의 양을 증가시켜서 작동하는 것이 바람직하다고 생각된다.

Fig 4는 원료 쌀가루의 수분함량 17%, 19%, 22%, 25%에서 입자크기를 각각 18-16mesh로 하여 extrusion했을 때의 수분함량에 따른 동력요구량과 수분함량 22%에서 입자크기를 18-60mesh, 60-120mesh로 했을 때의 입자크기에 따른 작동시간에 대한 동력요구량을 나타낸 것으로 원료의 수분함량이 낮을수록 동력요구량은 증가하였는데 이것은 계량부위의 온도분포와도 일치하는 것으로 보아 투입된 동력의 대부분은 점성에너지 소산에 의한 계량부위에서 열발생에 소요되는 것으로 사료된다. 이런 결과들은 Haper 등⁽⁹⁾이 corn grit를 원료로 했을 때의 결과와도 일치하였다.

원료수분함량 22%에서 입자크기를 달리했을 때의 동력요구량을 보면, 입자크기 18-60mesh의 원료가 입자크기 60-120mesh의 원료보다 extruder 작동후 40분까지는 18-60mesh 원료의 동력요구량이 높았지만 40분 이후에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 현상은 작동초기 내부온도가 평형에 도달하지 않았을 때이므로 입자크기가 크면 원료가 열을 받는 시간이 길어지며 사입부위와 압축 부위에서 원료의 이동 및 스크류 날개와 바렐벽면에서 분쇄하는데 더 많은 에너지가 필요하게 되어 동력요구

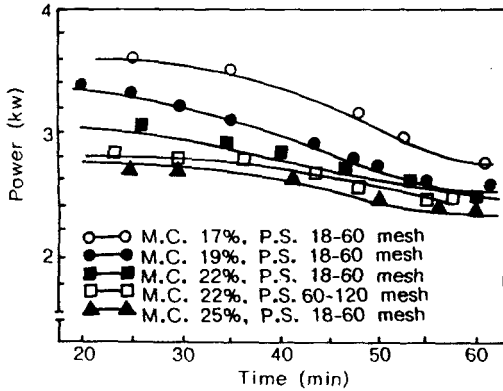


Fig. 4. The effect of moisture content and particle size on required power of rice extrusion.

량이 증가한다고 생각된다.

원료 쌀가루의 수분함량 22%에서 입자크기를 각각 18-60mesh와 60-120mesh로 했을 때의 사출구부위, 압축부위, 계량부위의 온도분포를 Fig. 5에 나타내었으며 입자크기가 작을 수록 각 부위에서의 내부물질의 온도분포는 증가하였다. 특히 입자크기가 작아지면 단시간에 원료가 열을 받게 되므로 압축부위에서부터 점성소산에 의한 열발생이 많아져서 압축부위 온도가 높게 나타난다고 생각된다. 또한 입자크기가 작으면 원료의 밀도가 감소하여 스크류 통로를 통하여 물질이 이송되는 속도가 감소하여 압축부위에 원료가 정체하는 현상때문에 압축부위에서 열발생이 증가한다고 생각된다.

Extruder 작동시 계량부위 온도보다 압축부위 온도가

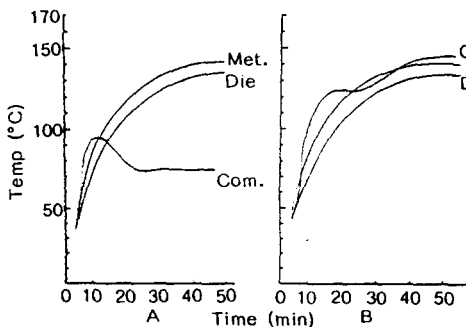


Fig. 5. The effect of particle size on temp. distribution in barrel (Rice M.C. 22%).
A: P.S. 18-60mesh, B: P.S. 60-120mesh.

너무 높아지게 되면 내부물질은 압축부위의 스크류 통로속에서 원활하게 이송되지 않으므로 bridge을 형성한다. 이때 원료가 사입되지 않고 back feeding이 생길 수 있기 때문에 원료의 입자크기가 작은 경우 압축부위의 냉각수량은 늘려서 계량부위와 사출구부위보다 압축부위 온도를 낮게 유지시켜서 작동해야 할 것이다.

입자크기가 작은 원료는 압축부위에서부터 열처리를 많이 받으므로 extrudate의 파괴력이 감소하였고, air cell의 분포가 균일했으며 팽화율도 증가하는 경향을 나타내었다(7).

Fig. 6은 원료의 입자크기 18-60mesh, 수분함량 25%의 동일한 원료조건에서 탈지대두분, 밀가루, 보리가루, 쌀가루의 계량부위와 압축부위, 사출구부위의 온도분포로서 탈지대두분이 가장 높게 나타났으며 보리가루와 쌀가루의 경우 계량부위와 사출구부위의 온도분포는 거의 차이가 없었지만 압축부위의 경우 보리가루가 약간 높게 나타났다. 원료의 종류에 따른 온도분포는 원료 자체의 구성성분 및 밀도등에 따라 달라진다고 생각되지

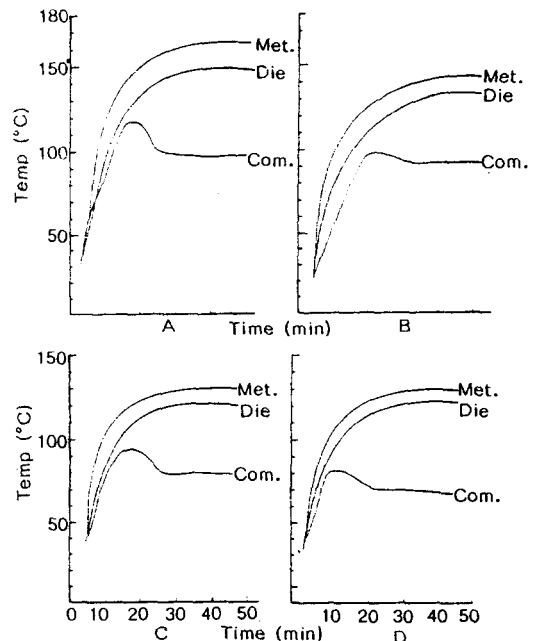


Fig. 6. The effect of raw materials on Temp. distribution in barrel.
M.C. 25%, P.S. 18-60 Mesh.
A: Defatted soybean, B: What, C: Barley, D: Rice

만 앞으로 이 분야의 연구는 더욱 많이 진행되어야 할 것 같다.

작동조건에 따른 온도분포

Extruder의 작동은 원료 및 extruder의 종류와 요구되는 제품의 성질에 따라 다르게 작동해야 하며 작동조건은 작업자가 결정하는 인자이므로 중요하다고 할 수 있다.

Fig. 7은 수분함량 22%, 입자크기 18-60mesh 보리가루를 extrusion했을 때 사출구부위를 선풍기로 냉각시켰을 때와 냉각시키지 않았을 경우의 계량부위, 압축부위, 사출구부위의 온도분포를 나타내었다. 사출구부위를 선풍기로 냉각시켰을 경우의 온도분포는 계량부위>사출구부위>압축부위 순서로 나타났지만 냉각시키지 않았을 경우 초기에는 사출구부위가 계량부위보다 낮았지만 작동시간이 30분 경과한 뒤 교차하여 사출구부위 온도가 계량부위보다 높게 나타났다. 수분함량이 낮은 원료를 extrusion 할 때 사출구부위를 냉각시키지 않으면 온도가 계속 상승하게 되어 사출구가 내부물질에 의해 막힐 가능성이 있으며, 이러한 경우 extrudate의 팽화와외관이 균일하지 않은 것을 관찰할 수 있었다.

Fig. 8은 쌀가루의 수분함량 25% 입자크기 18-60 mesh에서 스크류 회전속도에 따른 내부온도 분포를 나타낸 것으로서 스크류 회전속도 200rpm과 300rpm에서 내부물질의 온도분포를 보면 200rpm에서 초기온도 증가율이 낮았으며 온도가 평형에 도달하는 시간은 200 rpm에서 40분 정도 였지만 300rpm에서는 30분 가량

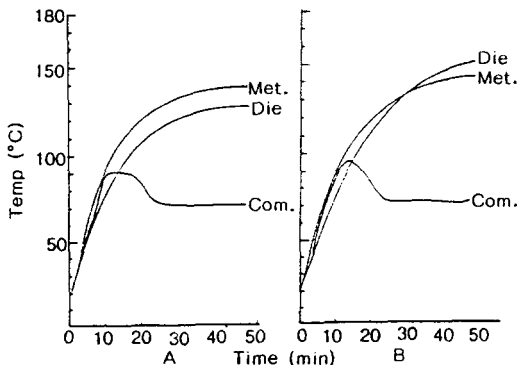


Fig. 7. The effect of die cooling on temp distribution in barrel.

Barley, M.C. 22%, P.S.18-60mesh
A: die cooling B: no cooling

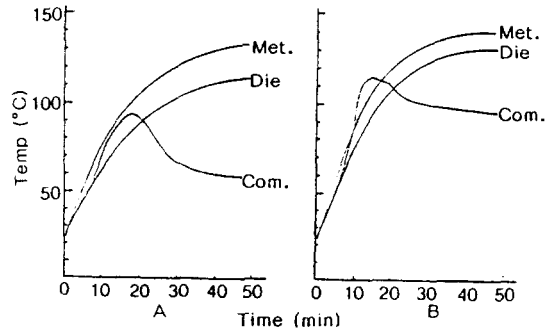


Fig. 8. The effect of screw speed on temperature distribution in barrel.

Rice, M.C. 25%, P.S. 18-60mesh
A: 200rpm B: 300rpm

걸렸다. 이때 계량부위, 압축부위, 사출구부위의 평형상태의 온도는 스크류 회전속도가 300rpm에서 200rpm으로 감소함에 따라 낮아졌다. 스크류 회전속도가 증가할수록 내부물질은 층밀림(shear)을 많이 받으므로 점성소산에 의해 발생되는 열이 증가하게 되어 extruder 내부 온도가 증가함을 알 수 있었다.

Extruder 구조에 따른 온도변화

Breaker를 설치했을 경우의 내부온도 변화를 관찰하기 위하여 circle형과 slit형 breaker를 각각 장착하여 수분함량 25%, 입자크기 18-60 mesh 보리가루를 extrusion했을 때의 온도분포를 Fig. 9에 나타내었다.

Breaker를 설치할 경우 설치하지 않았을 경우보다 사출구부위와 계량부위의 온도는 약간 증가했지만 압축부위 온도는 breaker를 장착했을 때 100°C 이상으로 상승하였고 초기온도도 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

이러한 현상은 breaker의 영향으로 압축부위에서부터 점성소산에 의한 열발생이 급격하게 일어나는 것을 알 수 있었다. 이때 입자크기가 작은 경우와 마찬가지로 압축부위의 냉각수의 양을 늘리지 않으면 스크류 통로에 bridge가 생겨서 back feeding을 유발할 수 있다. 이러한 경우에는 압축부위 냉각수량을 늘려서 내부물질이 원활한 흐름을 형성하도록 작동해야 한다.

Breaker를 설치하면 압력흐름(pressure flow)이 커지므로 내부물질이 바렐내에서 지체하는 시간이 길어지게 되고 압축부위에서부터 원료는 열처리를 많이 받게 된다고 생각되며 breaker를 장착한 extruder에서 사출

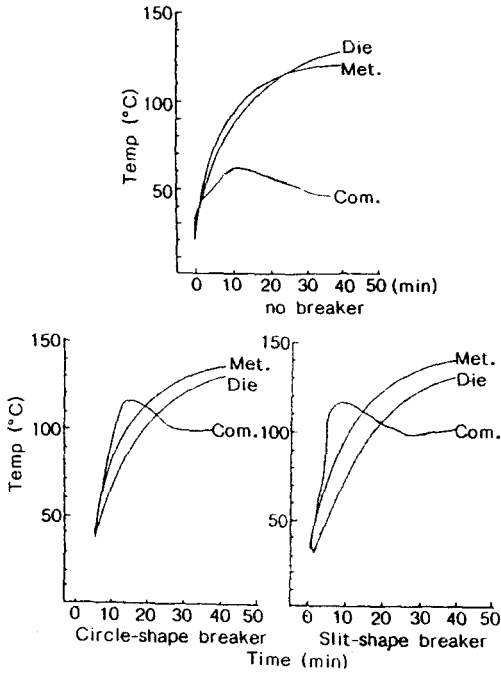


Fig. 9. The effect of breaker shape on temp. distribution in barrel.
Barley, M.C. 25%, P.S. 18-60mesh

된 extrudate의 외관은 황색도가 증가했고, 팽화율이 증가하는 것을 관찰할 수가 있었다.

Fig. 10은 사출구의 구조에 따른 내부온도 분포를 나타낸 것으로 $k=1.74$ 인 평관형과 $k=1.12$ 인 원형사출구를 사용했을 때의 온도분포이다. k 값이 작은 원형사출구의 온도분포가 높게 나타났다. 즉, k 값이 감소하면 압력 흐름이 커지므로 내부압력이 상승뿐만 아니라 extruder 내부에서 물질이 지체하는 시간이 길어지게 되어 각 부위에서의 온도분포가 증가하는 것으로 사료된다.

기계적 조건을 달리 했을 경우의 내부온도 분포 및 extrudate의 특성등에 관한 연구는 앞으로 더 많이 연구되어야 한다고 생각된다.

요 약

Extruder 조작조건에 따른 extruder 내부물질의 온도변화는 제품의 물리화학적 특성에 큰 영향을 미치는 요소이다. 자가발열형 single screw extruder를 사용하여 원료의 종류, 입자크기 수분함량과 같은 사료원료

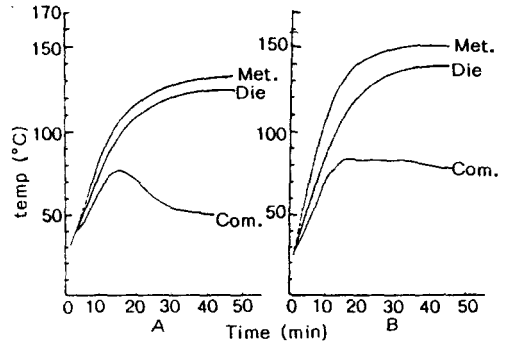


Fig. 10. The effect of die hole diameter and length on temp. distribution in barrel.
Rice M.C. 22%, P.S. 18-60Mesh
A: D=5mm, K=1.74 B: D=3mm, K=1.12

조건과 사출구의 형태, breaker의 형태등과 같은 extruder의 구조적인 요소 및 냉각방법과 스크류 회전속도와 같은 작동조건을 달리했을 때의 작동초기 단계에서 열발생 속도와 평형상태에서 내부온도 분포를 관찰하였다.

쌀가루, 보리가루, 밀가루, 탈지대두분을 원료로 하여 각각 압출성형했을 때 바렐내부 발열상태를 보면 탈지대두분이 가장 급격한 온도증가를 나타내었으며 쌀가루가 가장 낮게 나타났다. 수분함량이 감소함에 따라 각부위 온도 및 동력요구량은 증가했고, 입자크기가 작을 수록 표면적이 증가하여 압축부위 온도가 높았다. 스크류 회전속도가 증가함에 따라 각 부위의 온도는 증가했으며 breaker을 설치했을 경우 압축부위 온도가 높아졌다. 또한 바렐내부 온도분포가 제량부위>사출구부위>압축부위 순서로 이루어질 때 extruder 작동상태가 가장 양호하였다.

문 헌

1. 이철호, 김동철, 전계현, 김철진, 김종배, 김재득, 손중천 : 식품 Extrusion 기술, 유림문화사, p.13(1987)
2. Haper, J.M. : *Extrusion of Foods Vol. I*, CRC Press, Inc. Florida, p.7(1981)
3. D.R. Thompson, J.R. Rosenau : Data acquisition from an extruder for food research, *Transactions of the ASAE*, 20(3), 397(1977)
4. Naofumi Kitabatake, Etsushiro Doi : Measurement of temp. of food materials during extrusion cooking,

- Agric Bio. Chem.*, 50(6), 1677(1986)
5. J.M. Aguilera, F.V. Kosikowski, L.F. Hood: Ultrastructural changes occurring during thermoplastic extrusion of soybean grits, *J. of Food Sci.*, 41, 1209(1976)
 6. G. Beetner, T. Taso, A. Frey, J. Haper: Degradation of thiamine and riboflavin during extrusion processing, *J. of Food Sci.*, 39, 207(1974)
 7. 류기형, 이철호: 쌀가루의 수분함량과 입자크기에 따른 extrudate의 물성학 성질, *한국식품과학회지*, 20(3), (1988)
 8. J.L. Rossen, R.C. Miller: Food extrusion, *Food Technol.*, 27(8), 46(1973)
 9. D.V. Harmann, J.M. Haper: Effect of extruder geometry on torque and flow, *Transactions of the ASAE* 16(6), 1175(1973)
- (1988년 1월 21일 접수)