

2축 압출기를 이용한 식물성 단백질의 조직화(TPP)제조공정 분석에 관한 연구

Analysis of the TPP(Texturization of Plant Protein) Production Process Using Twin Screw Extruder

송대빈*

D. B. Song

고학균*

H. K. Koh

김용현**

Y. H. Kim

Summary

Texturization of plant protein means the physical or chemical recombination method of plant protein damaged during the extracting process of soybean oil. As a stable protein supplement, substituted for meat, needs of texturized products have been increased. Twin screw extruder is a very effective tool for texturization process as a physical method.

This research, using defatted soy flour as raw material and twin screw extruder manufactured in domestic, showed that plant protein was texturized successfully on the operating conditions of barrel temperature of 120~140°C, material feed rate of 30~36kg/hr and water content of 20~25%. It also showed that the shape of die affected the texturization continuity.

1. 서론

대두를 이용하여 식용유를 추출한 후 유지성분을 제거한 탈지대두분(defatted soy flour, DSF)은 그속에 풍부한 식물성 단백질 성분을 함유하고 있으며, 주로 사료(또는 사료첨가물)로 이용되고 있다. 식물성 단백질의 조직화(texturization of plant protein, TPP)라함은 이러한 탈지대두분을 주원료로 하여 식용유 추출시 파괴된 식물성 단백질 성분을 물리적 또는 화학적인 방법으로 재구성하는 것을 의미한다.

압출기(extruder)를 이용한 식물성 단백질의 조직화는 고온, 고압으로 단백질 구조를 재구성하는 물리적인 조직화 방법으로 1960년대초 미국에서 처음 시도된 이래, 종래의 축산육류에 대응하는 효과적인 단백질 공급원 및 식품(또는 식품 첨가물)을 제조하는 수단으로써 그 이용기술이 급속도로 발전하여 왔다.

축산육류물을 대체하는 조직화된 식물성단백질은 영양가치 측면에서 육류와 비슷하나, 지방 및 콜레스테롤을 비롯한 반영양소(antinutrient)의 함량이 낮고, 가격 및 저장성 면에서 유리하기

+ 본 연구는 1991년도 산학협동재단 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학.

** 전북대학교 농업기계공학과

때문에 70년대 미국과 일본등지에서 이에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.

특히 TPP 제품 제조의 주원료가 되는 탈지대두분은 식용유지 생산시 발생되는 부산물로서, 그 공급이 풍부한 반면 대부분이 사료로 이용되고 있는 실정이다. 그러므로 고가로 수입된 원료의 효율적 이용, 새로운 제품 개발에 의한 부가가치의 창출, 축산육류를 대신하는 안정적인 단백질 공급원의 확보 측면에서 TPP 제품 개발에 관한 지속적인 연구는 매우 필요한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 1990년 국내에서 처음 개발되어 실증실험을 마친 self wiping type twin screw extruder를 사용하여 TPP 제품의 개발실험을 실시하여, 국산장비의 TPP 제품 개발에 관한 성능 확인 및 TPP 제품 생산에 적합한 기계적 요인을 확정하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) 공시기계

본 실험에서는 1990년 국내에서 최초로 개발된 남성산업(주)의 self wiping type twin screw extruder를 공시기계로 사용하였다. 공시기계에 대한 상세한 제원은 표 1과 같다.

Table 1. Specification for the extruder used in this experiment.

Description	Specifications
Model name	FX 40
Screw dia.(mm)	44
Capacity(kg/hr)	~ 200
Screw rev.(rpm)	~ 400
Motor power(kW)	15
L/D	20

2) 공시재료

본 실험에서 사용한 원료는 동방유량(주)의

제품으로 대두로부터 대두유를 추출하고 얻은 탈지대두분 (Defatted Soy Flour, DSF)이며, 원료의 일반조성은 표 2와 같다.

Table 2. Proximate composition of DSF.

Item	Composition
Moisture(%)	10
Bulk density(kg/m ³)	544.0
Lipid(%)	0.1
Ash(%)	6
Protein(%)	45
Protein Solubility(%)	30~40

나. 실험방법

1) 탈지 대두분의 물리적특성 분석

식물성 단백질의 조직화를 위해서는 단백질 함량이 50% 이상 함유된 탈지 대두분을 사용하여야 하며, 보다 향상된 조직화 제품을 얻기 위해 소량의 첨가제를 혼합해서 사용하는 경우가 많다. 특히 압출기를 이용하여 조직화제품을 생산하는 경우, 압출 공정 중에서 배럴내에 투입되는 원료의 양에 따라 배럴내에 형성되는 압력 및 온도에 직접 영향을 미치기 때문에 용적식 나선공급장치의 스크류 회전수 변화에 따른 원료의 투입량을 미리 확인하여야 한다.

따라서 본 실험에 사용된 표 2의 탈지대두분에 대한 산물밀도(bulk density), 스크류 회전수에 따른 원료 공급량을 다음과 같이 측정 하였다.

(1) 산물밀도의 측정

산물밀도 측정장치(burrows, USA)를 이용하여, 3회 반복 측정한, 측정값의 평균치를 원료의 산물밀도로 결정하였다.

(2) 원료 공급량의 측정

그림 1과 같은 용적식 나선공급장치를 사용하여, 각 스크류 회전수 800rpm, 950rpm, 1000rpm, 1500rpm에서 30초간 공급되는 원료의 무게를 측정하여 원료 공급량으로 하였다.

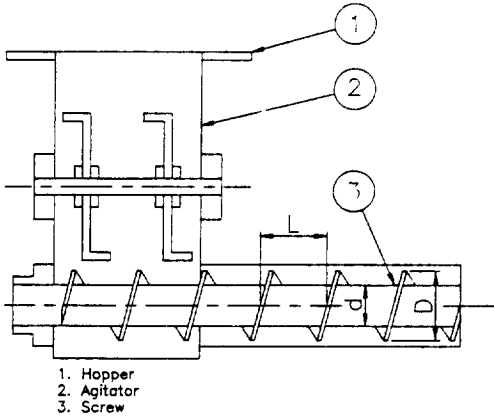


Fig. 1. Cross sectional view of screw feeder.

2) Extruder의 운전

원료의 공급은 기계장치에 부착된 용적식 screw feeder를 사용하여 일정한 속도로 배럴내부로 투입되게 하였으며, 수분은 배럴내에 유입노즐을 설치하여 원료투입구 부분에 투입되도록 하였다. 한편, 배럴내부의 온도는 band heater를 사용하여 조절 하였다.

원료투입량, screw 회전수, 배럴내 온도는 퍼스널 컴퓨터와 프린터를 사용하여 30초 간격으로 자동 기록이 가능하도록 하였고, 다이 선단의 압력과 수분 공급량은 수동으로 기록하였다. 각 운전조건의 변화시 기계 운전상태의 안정화를 위해 5분의 안정시간을 두었으며, 시료는 각 운전조건에서 5분이 경과한 후에 채취하였다.

본 실험에 적용된 스크류의 형상은 그림 2와 같다. 그림 3은 다이(die)의 실물사진을 나타낸 것이며, 세부치수 및 형상이 그림 4에 실려 있다.

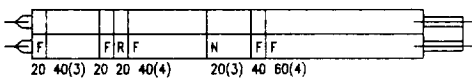
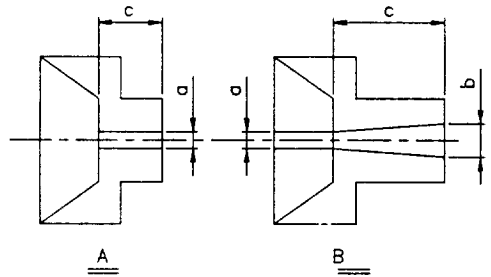


Fig. 2. Screw configuration.



Fig. 3. Photograph of die.



unit : mm

Type	a	b	c	Shape of streamline
A-1	φ5		7.5	straight
A-2	φ5		25	
B-1	φ5	φ10	25	diffuser 2.5/25
B-2	φ5	φ10	50	diffuser 2.5/50

Fig. 4. Die specification.

3) 운전조건

본 실험에 사용된 기계의 운전조건을 먼저 파악하고자 탈지대부분의 조직화에 영향을 끼치는 주요인으로 알려진 원료투입량, 수분공급량, 배럴온도 등을 변화 시켜가면서, 각 조건에서 채취된 시료의 외관 형상 및 물리적 특성에 관한 분석을 시도하여, 1차로 조직화에 적합한 운전 조건을 결정하였고, 2차 실험에서는 다이 (die)의 형상변화에 따른 제품의 물리적 특성 변화를 파악하였다.

1차 실험에서는 구경이 5mm(A-1)인 2개의

다이를 사용하여 표 5와 같이 10가지의 조건에서 시료를 채취하였고, 2차 실험은 1차 실험의 결과를 참고로 1차 실험과 동일한 다이를 사용하여 표 6과 같이 7가지의 조건에서 시료를 채취하여 분석을 시도하였다.

4) 분 석

가) 팽화율

채취된 시료의 직경을 측정하고자 버니어 캘리퍼스(vernier calipers)를 이용하여 시료의 직경을 5회 측정하여 die hole 직경과의 비를 평균치로 산출하였다.

나) 수분 흡수율

채취한 시료 가운데서 5g을 비이커에 담고, 상온의 물을 100ml 가하여 한시간 방치시킨 후 수화전 시료의 무게를 측정하여 흡수된 물의 양을 백분율로 표시하였다.

다) 단백질의 용해도

원료의 단백질 함량은 micro-kjeldahl 방법으로 결정하였고, 채취한 시료의 단백질 용해도는 Jeunink와 Cheftel의 방법에 준하여 결정하였다. 즉, 분말화한 시료 1g에 0.01M Sodium dodecyl sulfate와 0.01M dithiothreitol을 함유한 0.135M 인산완충 용액 (pH 6.9) 12.5ml를 가하여 이 혼합물을 37℃에서 2시간동안 교반하면서 가용성 단백질을 추출하고 27,000×G에서 20분간 원심 분리한 후 상등액의 질소 함량을 측정하였다. 여기서 단백질 함량의 결정에 필요한 환산인자는 5.7을 사용하였다. 단백질 용해도는 아래식에 의해 계산된다.

단백질 용해도(%)

$$= \frac{\text{용액내 단백질 농도}}{\text{시료의 단백질 농도}} \times 100$$

3. 결과 및 고찰

가. 탈지대두분의 물리적 특성

1) 탈지대두분의 산물밀도

탈지대두분의 산물밀도에 대한 측정치가 표 3

에 실려있다.

Table 3. Bulk density of DSF.

Material	Bulk density(kg/m ³)			Mean (kg/m ³)
	# 1	# 2	# 3	
DSF	542.4	544.5	545.2	544.0

2) 원료 공급량

표 4는 각 screw 회전수에서 측정된 원료공급량을 나타낸 것이다.

Table 4. Variation of feed rate due to the revolution of screw.

Screw rev.(rpm)	800	950	1000	1500
Feed rate(kg/hr)	27	31.2	36	50

나. 탈지대두분의 조직화 특성

표 5는 탈지대두분의 조직화에 적합한 기계운전조건을 확정하기 위한 1차 실험의 조건 및 결과이며, 그림 5와 6은 조직화가 형성된 C1, C2, C3, C4, C5, C6의 조건에서 채취된 시료의 외관 사진을 나타낸 것이다. 그림 7은 조직화가 형성되지 않은 C7, C8, C9, C10의 조건에서 채취된 시료의 외관 사진에 해당된다.

사진으로부터 조직화가 형성된 시료와 조직화가 형성되지 않은 시료의 차이가 분명하게 나타남을 확인할 수 있다.

조직화의 특성을 살펴보기 위한 실험중 배럴의 온도가 120℃ 이하일 경우 배럴 내압에 의해 원료가 수분과 함께 단순히 응집된 형태를 나타냈으며, 대두취가 심하게 발생하였다.

그러나, 배럴온도가 120℃ 이상으로 증가하면서 점차로 조직화 현상이 나타났으나 배럴 내부와 외부의 압력차로 인한 급격한 팽화현상이 발생하여 일부 제품이 절단되기도 하였다. 한편, 150℃ 이상에서는 제품이 부분적으로 타는 현상이 관찰되었다.

제품 팽화율의 경우 조직화가 형성된 경우는 약 1.8~2배, 조직화가 형성되지 않은 경우는 약

1.5배 이하로 측정되었다. 이러한 결과는 식용유 추출시 파괴된 단백질 구조가 재결합을 하려할 때 적당한 온도와 압력이 필요한 것과 일치하는 경향이었다.

수분 흡수율의 경우 조직화된 제품과 조직화 되지 못한 제품사이에 차이가 없는 것으로 나타난 가운데 300~350%로서 비교적 균일한 경향을 보였다. 이는 조직화된 제품의 내부에 형성되는 벌집형태의 구조가 미세하게 형성되지 못하고 제품내부의 수분이 급격히 팽창하여 형성되는 기포의 영향 때문인 것으로 생각된다.

단백질 용해도의 경우는 조직화가 형성된 경우 약 9~10%, 형성이 되지 않은 경우는 약 5~7% 정도로 측정되었다.

이상의 실험 및 분석결과 탈지대부분의 조직화에 영향을 미치는 주요요인으로 배럴의 온도는 120℃~140℃, 수분함량은 20~25%, 원료 투입속도는 30~36kg/hr로 나타났다. 그림 8은 배럴온도와 팽화율과의 관계를 나타낸 도표로서 배럴온도 110℃를 경계로 하여 팽화율이 급격하게 증가하는 것을 보여준다.

Table 5. Results of the 1st experimental condition.

Condition	Temperature (°C)	Die pressure (Kg/cm ²)	Water feeding (%)
C 1	150	17	12
C 2	140	17	26
C 3	130	27	13
C 4	130	24	23
C 5	130	30	23
C 6	130	31	20
C 7	110	29	22
C 8	100	37	22
C 9	95	38	22
C10	90	35	22

Condition	Expansion ratio(%)	Rehydration (%)	Protein solubility (%)
C 1	204	350	9.48
C 2	200	306	9.00
C 3	193	392	10.28
C 4	170	361	9.41
C 5	168	299	10.28
C 6	185	311	4.76
C 7	151	338	5.44
C 8	143	310	7.71
C 9	136	300	9.79
C10	121	306	7.09

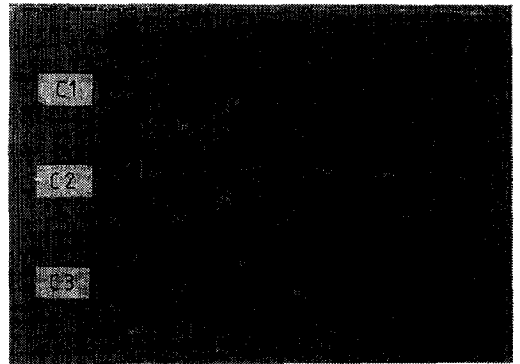


Fig. 5. Photograph of the sample(C1, C2, C3)

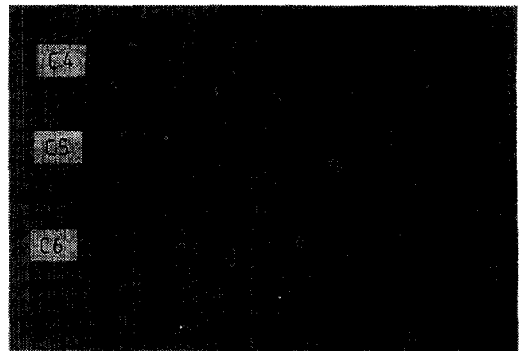


Fig. 6. Photograph of the sample(C4, C5, C6)

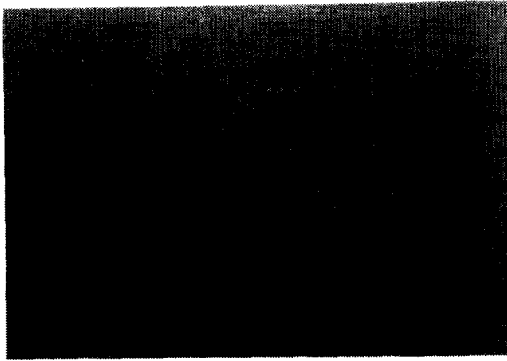


Fig. 7. Photograph of the sample(C7, C8, C9, C10)

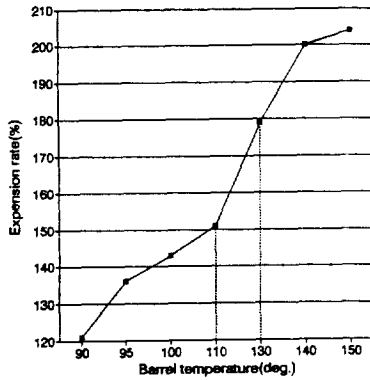


Fig. 8. Barrel temperature vs. expansion rate.

다. 다이(die) 형상이 조직화에 미치는 영향

표 6은 1차 실험에서 얻은 결과를 토대로 하여

조직형성이 가능한 범위로 고정시킨, 기계의 운전 조건을 나타낸 것으로서 그림 5의 다이를 사용하여 실험한 결과이다. 그림 9는 1차 실험과 동일한 다이(A-1)를 사용한 경우로서, 외관형상이 1차 실험결과와 비슷하게 나타났다. 그림 10은 다이내의 원료의 이송길이를 길게한 다이(A-2)를 사용한 경우(C12)로서, 급격한 팽화현상으로 대부분의 제품이 절단되면서 압출되었으며, 팽화된 부분은 수분의 급격한 팽화로 인한 기포가 대부분을 차지하였다. 따라서 이송길이가 짧은 다이(A-1)를 사용한 C11의 운전조건에 비하여 제품 상태가 양호하지 않은 것으로 나타났다.

그림 11은 다이내의 원료 이송 구간에 구배를 갖는 다이(B-1)를 사용한 경우(C14)로서, C11의 조건보다 외관형상 및 제품 압출상태의 연속성이 현저하게 개선되었다.

그림 12는 C12조건인 다이(A-2)보다 원료 흐름구간을 길게하고, 구배를 갖는 다이(B-2)를 사용한 C17의 결과로서 C12의 경우보다 팽화현상이 더욱 심하게 나타났다.

이상 4가지 조건인 다이를 사용한 결과, C14에 사용한 형태의 다이(B-1)가 제품의 외관 및 조직화의 연속성을 개선하는데 유리함을 확인하였다.

Table 6. Results of the 2nd experimental condition.

Condition	Die type	Feeding rate (kg/hr)	Screw rev. (rpm)	Water feeding rate (kg/hr)	Temperature (°C)
C11	A-1	30	400	6	125
C12	A-2	30	400	6	125
C13	B-1	30	400	6	125
C14	B-1	30	400	6	135
C15	B-2	30	400	6	125
C16	B-2	30	400	6	125
C17	B-2	30	400	6	130



Fig. 9. Photograph of the sample(C11)

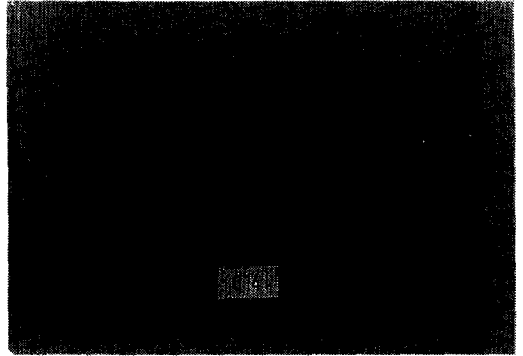


Fig. 11. Photograph of the sample(C14)

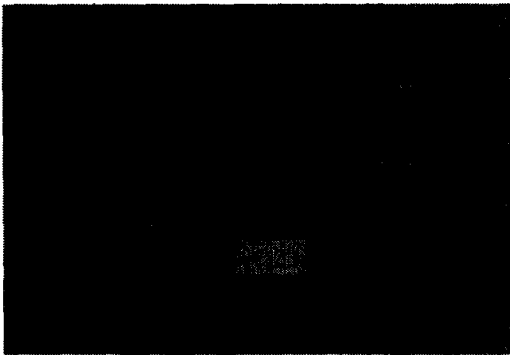


Fig. 10. Photograph of the sample(C12)

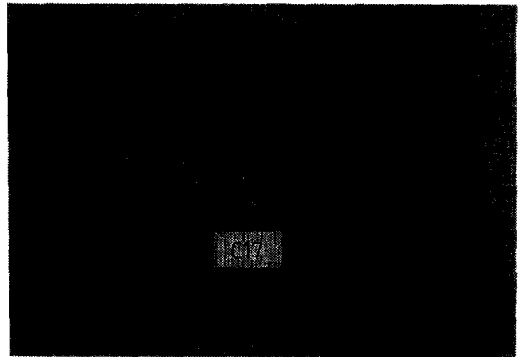


Fig. 12. Photograph of the sample(C17)

4. 결론

본 연구는 식물성 단백질의 조직화를 시도하고자 국내에서 개발된 기계를 사용하여 국산 기계의 성능확인 및 TPP 제품 생산에 적합한 기계적 요인 확정을 위해 수행되었다.

이상의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 탈지대두분의 산물밀도는 544.0kg/m³로 나타났으며, 원료의 적정공급량은 나선공급장치의 스크류 회전수 800~1000rpm의 범위에서 30~36kg/hr로 측정되었다.

2. 제품 팽화율은 조직이 형성된 경우 1.8~2배, 조직이 형성되지 않은 경우 1.5배 이하로 측정되었다. 수분흡수율의 경우 조직형성 정도에 관계없이 300~350%로 균일하게 측정되었다.

단백질용해도는 조직이 형성된 경우 9~10%, 조직이 형성되지 않은 경우 5~7%로 측정되었다.

3. 탈지대두분을 원료로한 식물성 단백질의 조직화(TPP) 실험 결과, 배럴온도 120℃~140℃, 수분 함량 20~25%, 원료 투입 속도 30~36kg/hr의 조건에서 조직이 형성되었다.

4. 다이의 형상을 다양화하면서 제품의 외관을 관찰한 결과 다이 형상이 제품의 외관 및 조직화의 연속성에 큰 영향을 끼치는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1) Atkinson, W.T. 1970. Meat-like protein food

- product. U. S. patent 3,488,770.
- 2) Crocco, S.C. 1976. Better texture for vegetable protein foods. *Food Eng. Int.* 1 : 16-21
 - 3) Sair, L. and D.W. Quass. 1976. Process for producing hydratable, translucent to glassy, proteinaceous products, and their resulting products. U.S. patent 3,968,268.
 - 4) Harper, J.M. 1981. *Extrusion of foods*. CRC press, Inc. Boca Raton, Florida.
 - 5) Akinori Noguchi. 1989. *Extrusion cooking*, pages 343-370, AACC, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
 - 6) 食品産業. エクストルションクツキンク 技術研究組合. *Extrusion Cooking*. (株) 光琳
 - 7) Mercier, C. and P. Linko. *Extrusion cooking*, AACC, inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A. 1989.
 - 8) Booy, M.L. 1980. Isothermal flow of viscous liquids in co-rotating twin screw devices. *Polym. Eng.* 20 : 1220-1228.
 - 9) Denson, C.D. and B.K. Hwang. 1980. The influence of axial pressure gradient on flow rate for Newtonian liquids in a self wiping co-rotating twin screw extruder. *Polym. Eng. Sci.* 20 : 965-971.
 - 10) Kaplan, A. and Tadmor. 1974. Theoretical model for nonintermeshing twin screw extruders. *Polym. Eng. Sci.* 14 : 58-66.
 - 11) Booy, M.L. 1978. Geometry of fully wiped twin screw equipment. *Polym. Eng.* Vol. 18, No. 12
 - 12) Wyman, C.E. 1975. Theoretical model for intermeshing twin screw extruders : Axial velocity profile for shallow channels. *Polym. Eng. Sci.* Vol. 15, No. 8
 - 13) EHUD ben-SABAR and BRUCE CASWELL, 1981. Heat transfer effects in Die Sweet. *J. of Rheology*, 25(5), 537-548