

두류 전분의 호화와 겔화 성질

— 총 설 —

이애랑[†] · 김성곤*

송의여자전문대학 식품영양과
*단국대학교 식품영양학과

Gelatinization and Gelling Properties of Legume Starches

Ae-Rang Lee[†] and Sung-Kon Kim*

Dept. of Food and Nutrition, Sungeui Women's Junior College, Seoul 100-250, Korea

*Dept. of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

Abstract

The important legumes in Korea are mungbean, red bean, kidney bean and cowpea. Mungbean has traditionally been used for mook (jelly-like starch gel) preparation. Cowpea has recently been utilized for substitution of mungbean. The major use of sediment of red bean is for the sweet paste. The studies related to legume starches and flours (air-dried sediment) in Korea are concentrated on the understanding of the properties of mook. The structure of starch, gelatinization and gelling properties of legume starches and flours are reviewed with emphasis of Korean literatures.

Key words : legume, starch, mook (jelly-like starch gel)

서 론

우리나라에서 널리 쓰이는 두류는 녹두, 팥, 강낭콩과 동부로서, 녹두는 주로 목의 제조에, 팥은 고물이나 속으로, 동부와 강낭콩은 밥에 두거나 고물로 쓰이고 있다.

목은 전분의 겔형성의 특성을 이용한 우리나라 고유의 겔상 식품이다. 전분입자는 그 출처에 따라 특징적인 구조와 성질을 가지므로 과량의 수분조건에서 가열에 의한 호화, 호화액의 냉각에 따른 겔화와 노화 성질이 달라 궁극적으로 겔의 텍스처가 달라지게 된다. 따라서 목의 독특한 텍스처를 형성하는 전분(또는 앙금)으로는 녹두, 메밀과 도토리도 한정되어 왔으며 최근

녹두대신에 동부가 이용되고 있다.

그러나 목에 대한 연구는 연구자들 사이에 목 제조 방법이 다르고, 목 재료에 대한 연구가 미흡하여 목에 대한 체계적인 결과가 없는 실정이다. 전분의 호화와 겔화 성질을 이해하기 위하여는 먼저 전분의 구조와 성질을 이해하여야 한다. 이 고찰에서는 두류 전분의 구조와 성질, 호화와 겔화에 대하여 우리나라에서 널리 쓰이는 두류를 중심으로 서술하였다.

전분 분자의 구조

전분은 기본적으로 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 이루어진 알파글루칸(α -glucan)이나, Colonna와 Mercier¹⁾는 wrinkled pea 전분입자에서 짧은 사슬(중합도 15)과 긴 사슬(중합도 45)을 갖는 중간물질을 확인하

[†]To whom all correspondence should be addressed

고 직쇄상이 아닌 아밀로오스와 비슷한 물질이 존재함을 시사하였다.

오랫동안 아밀로오스는 글루코오스가 α -1, 4 결합만으로 연결된 직선상의 중합체로 생각되어 왔으나 아밀로오스도 일부 α -1, 6 결합에 의한 가지구조를 갖는 것으로 알려져 있으며²⁾ 그 정도는 글루코오스 1,000개당 2~6개이다³⁾. 두류아밀로오스의 중합도를 보면 Table 1과 같다. 두류아밀로오스의 중합도는 방법에 따라 차이를 보이나, 고유점도를 기준으로 하면 중합도는 1,000~1,900 글루코오스 단위¹⁰⁾로서, 곡류의 중합도 330~435나 감자의 중합도 410¹⁴⁾보다는 큰 값을 보인다. 동부아밀로오스의 Sepharose 2B-CL 겔크로마토그래피에 의한 분자량의 분포는 40,000이하가 4.8%, 40,000이상 400만까지가 94.2%로 보고¹⁵⁾되어 있다.

아밀로펙틴은 94~96% 정도의 α -1, 4 결합과 4~6%의 α -1, 6 결합을 갖는 가지구조를 가지고 있는데, 아밀로펙틴의 구조중 가장 합리적인 것으로 수용되고 있는 것은 French¹⁵⁾가 제안한 cluster 모델로서 Robin 등¹⁶⁾은 감자전분을 산처리와 효소처리하여 아밀로펙틴의 구조를 제안하였다(Fig. 1). 이 모델에서 A와 B사슬은 직선상으로 평균 중합도는 각각 15와 45이다. B사슬은 아밀로펙틴분자의 기본 골격을 형성하며 두개 이상의 cluster에 걸쳐 있게 된다. 각 cluster는 서로 가까이 회합되어 있는 A사슬을 가지며, A사슬의 cluster는 입자내의 결정지역을 형성하게 된다. 비결정지역은 60~70

A 간격으로 일어나며, 대부분의 α -1, 6 결합은 이 지역에 분포되고 효소와 산에 의해 쉽게 가수분해된다. Biliaderis 등¹⁰⁾은 두류 전분의 아밀로펙틴을 pullulanase로 가수분해하여 겔크로마토그래피에 의한 분자량 분

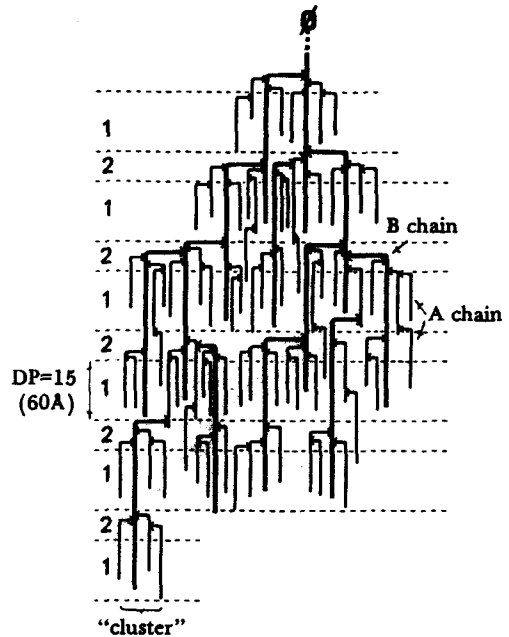


Fig. 1. Currently accepted structure for amylopectin¹⁶⁾.

1=crystalline area ; 2=amorphous area ; ϕ =reducing end group ; \rightarrow = α -(1 \rightarrow 6) branch points ; -= α -(1 \rightarrow 4) glucan

Table 1. Degree of polymerization (DP) of legume amyloses

Legume	DP	Method	Reference
Cowpea	1,510	Intrinsic viscosity	4
	1,427	Intrinsic viscosity	5
	146	Periodate oxidation	6
	185	Periodate oxidation	7
Mungbean	1,512	Osmotic pressure	8
	1,580	Reducing power	9
	1,900	Intrinsic viscosity	10
	1,838	Intrinsic viscosity	5
	590	Periodate oxidation	11
	180	Periodate oxidation	7
Red bean	726	Periodate oxidation	12
	186	Periodate oxidation	7
	1,225	Intrinsic viscosity	5
Small red bean	185 ; 222	Periodate oxidation	13
Kidney bean	443	Intrinsic viscosity	5
	290	Periodate oxidation	7

Table 2. Average chain length of legume amylopectins

Legume	Degree of branching (%)	Average unit chain ^a			Reference
		CL	OCL	ICL	
Cowpea	3.63	27.6	-	-	7
	-	23.9	17.7	5.2	5
	3.40	29.3	-	-	6
	-	-	-	-	-
Mungbean	3.72	26.8	-	-	7
	-	24.4	17.8	5.6	5
	5.40	18.6	-	-	11
	-	23.0	-	-	10
Small red bean	-	22.6	-	-	9
	7.77	10.9	-	-	13
	9.15	12.9	-	-	13
Red bean	7.77	12.9	-	-	7
	-	26.8	19.9	5.9	5
Kidney bean	5.45	18.3	-	-	7
	-	23.4	17.6	4.8	5

^aCL=chain length ; OCL=outer chain length ; ICL=inner chain length

Table 3. Characteristics of debranched legume amylopectins

Legume	Percent by weight			Ratio (III/I)	Chain length		Reference
	I	II	III		II	III	
Cowpea	13.2	13.4	74.0	5.5	37.8	15.1	5
Mungbean	5.8	14.2	79.8	5.6	40.1	15.6	5
	4.8	26.8	68.4	7.2	-	-	10
	12.7	25.5	61.8	2.4	40	13	9
Red bean	14.0	15.5	71.8	4.6	42.5	17.1	5
Kidney bean	10.9	15.8	73.6	4.6	35.7	15.1	5

포를 조사하고 아밀로펙틴의 구조가 Robin 등¹⁶⁾의 cluster 모델에 부합한다고 하였다.

두류 아밀로펙틴의 평균사슬 길이는 Table 2와 같다. 평균 사슬 길이는 동부 아밀로펙틴이 24~29 글루코오스 단위, 녹두는 19~27 글루코오스 단위이다. Biladeris 등¹⁰⁾은 두류 아밀로펙틴의 평균 사슬 길이가 20~26 글루코오스 단위라고 하였다. 동부나 녹두 아밀로펙틴은 평균 사슬 길이, 바깥 사슬 길이, 안쪽 사슬 길이 모두 서로 큰 차이를 보이지 않는다. 곡류 전분 아밀로펙틴의 평균 사슬 길이는 17~22 글루코오스 단위¹⁷⁾, 감자는 20~24 글루코오스 단위¹⁷⁾, 고구마 아밀로펙틴은 22~25 글루코오스 단위¹⁸⁾로 알려져 있다.

가지를 제거한 아밀로펙틴을 Sephadex G-50 겔크로마토그래피로 분리하고 가지 분포를 보면 세개의 피크(peak)로 구분된다^{5,9,10)}. 이들 피크의 특성을 보면 Table 3과 같다. 피크 I은 void volume 부근에서 나타나는데, 이것은 아밀로오스의 혼입 또는 효소에 의하여 분해되지 않은 부분 때문이라고 생각된다⁹⁾. 피크 II와 III은 각각 B사슬과 A사슬에 해당하며 이들의 비율(III/I)은 동부와 녹두가 각각 5.5와 5.6으로 차이를 보이지 않는다⁵⁾. 그러나 정⁹⁾은 녹두 아밀로펙틴의 경우 2.4라고 하였다. Hizukuri²⁰⁾는 곡류 전분 아밀로펙틴의 경우, A사슬과 B사슬의 비율은 밀이 3.6, 옥수수가 2.9, 인도형 쌀이 2.6, 일본형 쌀이 3.5이며, 이 비율은 사슬 길이와 부의 상관 관계($r = -0.95$)를 보여, 비율이 클수록 사슬 길이가 짧다고 하였다. 이러한 결과는 도토리, 메밀, 녹두, 옥수수와 밀의 아밀로펙틴을 대상으로 한 정⁹⁾의 보고와 같은 것이었다.

전분과 양금의 호화

전분은 모든 다당류 중에서 입자 형태로 존재하는 유일한 다당류이다. 전분입자의 크기와 형태는 식물의 종(species)과 숙성에 따라 영향을 받게 된다. 두류전분

Table 4. Granule size and shape of legume starches

Legume	Granule size (μm)	Shape	Reference
Cowpea	6~22	ellipse	21
	5~35	oval	22
	6~30	ellipse	23
	4~39	oval	24
	5~30	oval	5
	8~24	ellipse	25
	8~30	oval	22
Mung bean	6~31	ellipse	23
	8~35	oval	5
	17~31	ellipse	11
	8~24	ellipse	25
	12~32	oval/irregular	8
	10~30	ellipse/irregular	26
	18~30	ellipse	27
Red bean	13~50	round/ellipse	5
	10~47	ellipse	12
Kidney bean	11~45	oval	22
	11~45	ellipse	5
	16~59	ellipse/irregular	26

의 크기와 형태는 Table 4와 같다. 광학 현미경하에서 두류전분은 모두 형태가 비슷하며²⁶⁾, 대개 큰 입자와 작은 입자로 구성되어 있다^{26,28)}.

전분입자는 찬물에 녹지 않으나 가열적으로 물과 결합하여 약간 팽윤하며, 온도가 올라감에 따라 전분분자는 격렬하게 진동하고 점차 분자간의 결합이 파괴되어 물분자가 전분 분자와 새로운 수소 결합을 하게 된다. 물의 침투는 전분의 비가역적 팽윤을 초래하며, 이에 따라 입자의 구조는 크게 달라지게 되는데, 이 과정을 호화라고 하고 호화가 일어나는 온도를 호화온도라고 하며 비교적 좁은 온도 범위(5°C ~ 10°C)에서 일어난다²⁸⁾. 호화 온도가 어느 범위에서 일어나는 것은 전분 입자가 균일하지 않으며 입자들의 호화 온도가 서로 다름을 가리킨다²⁹⁾. 이 온도에서 전분입자는 복굴절성을 상실하며 입자로부터 물질이 수용액으로 확산된다²⁸⁾.

전분의 호화는 초기의 빠른 입자의 팽윤과 복굴절성의 소실로 특징지어지며, Olkku와 Rha¹⁰⁾는 아밀로그래프를 사용하여 호화단계를 입자의 수화와 원래 크기의 수배로 팽윤, 복굴절성의 소실, 투명도의 증가, 급격한 점도의 증가, 붕괴된 입자로부터 전분분자(주로 직선상의 분자)의 용해와 확산, 냉각에 따라 균일하게 분산된 매트릭스의 겔형성의 여섯단계로 설명하였다.

전분 입자는 결정과 비결정 지역을 갖고 있는 반고체의 중합체이므로 호화란 이러한 지역의 상 전이(phase

transition), 즉 결정의 용융과정으로 볼 수 있다³¹⁾. 결정성의 합성중합체의 용융온도와 희석제(diluent)의 농도와의 관계는 Flory-Huggins식³²⁾으로 분석될 수 있다. Lillievre³³⁾는 이 개념을 도입하여 평형 조건에서 전분입자의 호화온도와 전분입자 분산계의 수분함량과의 관계를 조사하였다. 시차주사열량기의 분석결과를 Flory-Huggins식에의 적용가능성에 대하여는 감자전분³¹⁾, 몇가지 두류전분³⁴⁾, 그리고 쌀 전분³⁵⁾에서 검토되었다. 이들 연구를 보면 시차주사열량기의 흡열 피크로부터 얻은 호화종료온도의 역수는 물의 용적 분율(물의 부피/물과 전분 전체의 부피)과 직선적인 관계를 보여, 전분의 호화는 반고체 중합체의 용융 전이과정으로 생각할 수 있음을 암시하고 있다.

전분의 호화도를 측정하는 방법으로 가장 널리 쓰이는 방법으로는 광학현미경을 이용한 복굴절성의 소실, 호화 중의 점도변화의 측정, 아밀로오스와 요오드와의 반응정도 측정, X-선 회절법에 의한 전분의 결정도의 변화측정, 시차주사열량기에 의한 방법 따위가 있다²⁶⁾. 이 외에도 전분현탁액의 가열에 따른 광투과도 측정³⁷⁾, 핵자기공명³⁸⁾, 효소 소화법³⁹⁾, 팽윤력과 용해도²⁸⁾ 따위가 있으나 이들 방법들은 과정이 복잡하고 호화도의 측정에서 정확성이 낮은 단점이 있다.

복굴절성 소실에 의한 호화도 측정 방법은 호화온도를 측정하는데 널리 쓰이는 방법으로서 방법이 단순하고 빠르며 정확한 장점이 있으나²⁹⁾, 아주 묽은 희석용액(0.1~0.2%)을 사용하는 단점이 있다. 실용적인 측면에서 호화도의 측정에 가장 널리 쓰이는 방법은 호화중 점도의 변화에 기초를 둔 것으로서 보통 viscoamylograph(또는 amylograph)를 사용한다³⁶⁾. 호화온도를 측정할 수 있는 또 다른 방법은 시차주사열량기(differential scanning calorimetry)로서 이것은 전분-물의 가열에 의한 상전이의 연구에 효율적인 기기로서 소량의 시료(mg단위)를 사용하므로 열전달이 신속하며, 밀봉된 용기를 사용하므로 측정중에 수분손실에 따른 농도 변화가 없고, 광범위한 온도와 수분함량에서 호화현상을 연구할 수 있으며, 상 전이에 따른 엔탈피를 측정할 수 있는 장점이 있다³⁴⁾. 복굴절성소실(hot stage), 아밀로그래프와 시차주사열량기에 의한 두류전분의 호화온도를 보면 Table 5와 같다.

아밀로그래프는 호화 온도뿐만 아니라 전분의 호화 성질에 대한 자료를 제공하는 장점이 있는데 두류전분과 양금의 호화성질을 보면 Table 6과 같다. Schoch와 Maywald⁴¹⁾는 아밀로그래프에 의한 전분 가열액의 점도

Table 5. Gelatinization temperature of legume starches

Legume	Initial (°C)	Terminal (°C)	Method ^a	Reference
Cowpea	67.0	110	DSC	22
	70.5	—	Amylograph	22
	62.5	101.5	DSC	5
	65.0	73.0	Hot stage	24
	64.0	78.0	Hot stage	40
Mung bean	62.0	105	DSC	22
	71.5	—	Amylograph	22
	57.5	102.5	DSC	5
	64.0	76.0	Hot stage	41
Red bean	56.5	101.0	DSC	5
Kidney bean	75.0	80.0	DSC	22
	77.5	—	Amylograph	22
	65.0	103.0	DSC	5

^a Ratio of starch to water for DSC was 1 : 1 and concentration used for amylograph was 10% (w/w)

가 전분입자의 팽윤정도과 팽윤된 입자의 열과 전단(shear)에 대한 저항정도에 따라 결정된다고 하였으며, 이에 따라 전분의 점도패턴을 A-D형의 네가지로 구분하였다. 윤과 이⁸⁾는 6% 동부전분이 B형(낮은 최고 점도와 낮은 점도붕괴도)에 속한다고 하였고, El Faki 등²⁴⁾은 10% 동부전분이 A형(높은 최고 점도와 높은 점도 붕괴도)에 속한다고 하였다. Schoch와 Maywald⁴¹⁾는 녹두전분의 경우 낮은 농도(7%이하)에서 다른 두류 전분과 같은 C형(최고점도가 없으며 가열중 점도 증가)을 보이며, 높은 농도(8%)에서 B형을 보인다고 하였다. 그러나, 김 등²⁷⁾과 권 등⁴²⁾은 녹두전분이 6~8% 농도에서 모두 C형을 보인다고 하였다.

아밀로오스는 요오드와 복합체를 형성하여 밝은 파란색을 띄우는데 이 특성을 이용하여 아밀로오스의 정량에 쓰이고 있다. 아밀로오스의 정량방법은 McCready와 Hassid⁴²⁾에 의하여 개발되었고, 그 후 Gilbert와 Spragg⁴³⁾에 의하여 일부 변형되었다. 이 방법은 아밀로오스의 노화 또는 불완전한 용해에 의하여 파란색이 완전히 발색되지 않을 수 있는 단점이 있다. 그러나 이 방법은 대부분의 경우 신속하게 아밀로오스 함량을 정량하는데 있어서 적절한것으로 인식되고 있다⁴⁹⁾. 두류 전분과 양금의 아밀로오스 함량은 Table 7과 같다.

전분과 양금 호화액의 리올로지

가열에 의한 전분입자의 변화는 흔히 Leach 등²⁸⁾이 개발한 팽윤력으로 표시한다. 팽윤력은 기본적으로 수화능력(hydration capacity)을 측정하는 것으로서 전분

Table 6. Amylograph data for legume flours and starches

Legume	Concentration (%)	Initial pasting temperature (°C)	Viscosity at 94.5° C or 95° C (B. U.)	15-min height (B. U.)	Viscosity at 50° C (B. U.)	Reference	
Cowpea flour	6	70.8	1,110	1,030	1,810	6	
	6	71.5	600	545	>1,000	25	
	6	72.0	620	590	>1,000	43	
	starch	6	77.0	560	578	778	44
		6	69.0	690	660	1,160	21
		6	71.5	935	890	1,640	6
		6	70.0	1,130	1,130	2,250	23
		8	71.0	1,240	1,205	2,140	5
		10	70.5	1,460	1,260	2,240	22
	Mungbean flour	6	68.5	500	610	1,250	23
6		74.5	200	250	360	11	
6		70.0	290	330	710	43	
7		70.0	530	590	>1,000	25	
8		73.5	750	780	—	45	
starch		6	70.0	308	377	514	44
		6	70.0	350	360	650	27
		6	75.5	370	440	630	42
		7	68.5	680	720	1,200	27
		7	73.0	760	780	1,110	42
		8	71.0	1,060	1,055	2,025	5
		8	66.0	1,760	1,390	1,800	9
		8	67.0	1,020	1,040	1,550	27
8		72.7	1,330	1,390	2,000	42	
10	71.5	1,150	1,150	2,240	22		
Red bean flour	6	69.5	440	490	600	12	
	8	67.0	1,220	1,350	2,600	5	
Kidney bean flour	6	79.8	32	65	100	46	
	8	78.3	132	280	500	46	
	starch	6	82.0	15	20	50	46
		8	76.0	110	150	240	5
		8	80.5	70	140	200	46
		8	77.7	110	195	330	22

의 용해도, 투명도, 점도와 밀접한 관계를 가지며 전분의 팽윤 성질은 입자내의 미셀구조의 강도와 성질에 크게 영향을 받게 된다.

Miller 등⁵⁰과 Allen 등⁵¹은 각각 밀과 타피오카 전분의 가열에 의한 구조와 점도연구에서 입자로부터 아밀로오스가 용출되어 입자밖의 망상구조(extracellular network)를 이루는데 가열초기 단계에서의 점도증가는 이 물질에 기인하며, 최고 점도에 도달하는 시점에서는 팽윤된 입자와 입자밖의 물질 모두 점도에 관여한다고 하였다.

최근 Tester와 Morrison⁵²은 50°C~85°C에서의 밀전분의 팽윤력(초기 건조된 전분의 부피에 대한 팽윤된

부피의 비율)이 전체 수용성 탄수화물 뿐만 아니라 가용성 아밀로오스 함량과 높은 상관관계($p < 0.001$)를 보인다고 하였다. Lindqvist⁵³도 전해질(즉, 알카리용액)에 의한 냉호화에도 호화가 일어나려면 먼저 아밀로오스가 용출되어야 한다고 하였다. Tester와 Morrison⁵⁴은 찹쌀전분을 대상으로 팽윤력과 시차주사열량기에 의한 호화온도를 조사하고 찹쌀전분의 팽윤과 호화의 시작이 아밀로펙틴 분자내의 결정에 의해 결정되며 최대 팽윤력은 아밀로펙틴의 분자량과 아밀로펙틴 분자의 형태에 의해 좌우된다고 보고하였다.

전분 분산액과 겔의 성질은 온도, 혼합속도, 에너지 투입량과 성분간의 상호작용에 영향을 받는다⁵⁵. 이러

Table 7. Amylose content and blue value of legume flours and starches

Legume	Amylose content (%)	Blue value	Reference	
Cowpea flour	—	0.37	6	
	30.5	0.41	7,23	
	27.8	—	25,43	
	26.2	—	44	
	26.9	—	21	
	—	0.38	6	
	28.0	—	22	
	33.0	—	24	
	26.6	—	5	
	25.1	—	4	
Mungbean flour	32.1	0.47	7,23	
	78.0	—	11	
	22.7	—	25,43	
	35.0	—	22	
	28.9	—	5	
	33.3	0.49	9	
	19.5	—	8	
	22.7	0.36	27	
	Red bean flour	66.0	0.50	7
		48.6	0.84	12
25.6		—	5	
Kidney bean flour	45.0	0.42	7	
	—	0.38	46	
	40.0	—	22	
starch	28.5	—	5	
	77.0	0.41	46	

한 인자들의 영향을 이해하기 위하여는 먼저 전분입자의 팽윤, 호화와 용해가 미치는 정도를 결정해야 한다. Sandsted와 Abbot⁵⁰⁾는 아밀로그래프를 이용하여 전분의 호화과정을 해석하는 방법을 정리하였다. 그러나 아밀로그래프는 실용적으로 전분의 호화를 이해하는데 있어 유용한 기기이나 측정중 온도가 계속적으로 변하므로 정량적인 분석이 불가능한 단점이 있다⁵⁵⁾. 이러한 문제점을 극복하고자 용도 적성의 중요지표인 전분의 농도, 가열온도와 시간에 따른 점도 연구가 시도되고 있다^{55,57,58)}.

Christianson과 Bagley⁵⁵⁾는 회전점도계를 이용하여 옥수수전분의 농도(5~26%), 온도(65°C~80°C)와 가열시간(15~75분)에 따른 점도 변화를 조사하고 각 온도에서 점도와 농도와의 관계는 η/CQ 와 CQ 와의 관계로 설명될 수 있다고 하였다. 여기에서 η 는 점도(cp), C는 농도, Q는 팽윤력이다. CQ는 분산액중 전분의 부피분

율(volume fraction)과 거의 같으므로 전분의 점도가 가열에 의한 전분의 부피분율에 따라 좌우됨을 가리킨다. 밀에서도 같은 결과가 보고되어 있다⁵⁶⁾.

일반적으로 전분현탁액을 포함한 비뉴튼유체의 흐름 성질은 리올로지 상태 방정식인 Hershel Bulkley모형⁵⁹⁾으로 설명될 수 있다. 손과 윤⁶⁰⁾은 동부와 녹두앙금(3~8%)을 95°C에서 30분간 가열시킨 호화액의 흐름 성질이 Hershel - Bulkley모형에 잘 적용되었으며 항복응력을 갖는 의가소성유체의 성질을 보인다고 하였다. 농도에 관계없이 항복응력값은 녹두앙금액이 높았으나, 점조도지수값은 6%농도 이하에서 동부앙금액이, 7~8%농도에서 녹두앙금액이 높았다. 권 등⁴²⁾은 녹두전분(5~6%)을 여러온도(80°C~95°C)에서 40분간 가열한 액의 흐름성질을 Herschel-Bulkley모형으로 분석하고 항복응력과 점조도지수가 농도와 온도의존성을 갖는다고 하였다.

전분의 겔화와 노화

최근 Morris⁶¹⁾는 전분 겔이 기본적으로 팽윤된 전분입자가 아밀로오스 매트릭스 겔을 채우고 있는 형태이므로 아밀로오스 겔 매트릭스, 팽윤된 전분입자, 팽윤된 전분입자의 부피분율, 그리고 팽윤된 입자와 매트릭스의 상호작용 따위가 전분의 성질을 이해하는데 중요하다 하였고, Miles 등⁶²⁾은 아밀로오스의 겔화에 대하여 보고하였다.

전분겔의 노화과정의 측정법으로는 X-선 회절법⁶³⁾, 시차주사열량기⁶³⁻⁶⁵⁾, shear modulus측정법^{27,42,63,66,67)} 따위가 있다. Miles 등⁶³⁾은 위의 세 방법을 이용하여 전분 겔(10과 20%농도)과 아밀로오스 겔(2.4와 3.2%)을 26°C에서 저장할 때 전분 겔의 노화과정은 두 개의 독립된 과정, 즉 호화중 용해된 아밀로오스의 노화와 노화된 입자내에 있는 아밀로펙틴의 노화로 이루어져 있으며 노화 초기 단계에서 아밀로오스 겔과 전분 겔의 modulus와 결정의 생성속도는 비슷하나, 아밀로오스의 노화와 노화된 입자내에 있는 아밀로펙틴의 노화로 이루어져 있으며 노화 초기 단계에서 아밀로오스 겔과 전분 겔의 modulus와 결정의 생성속도는 비슷하나, 아밀로오스 겔은 저장 24시간 이후에 일정한 값에 도달하는 반면 전분 겔의 modulus는 계속 증가하였다고 하였다. 노화된 겔을 100°C에서 가열하면 전분 겔의 modulus는 저장 24시간후의 겔의 modulus와 비슷한 값을 보이거나 아밀로오스 겔의 경우에는 가열에 따른 modulus의 변화가 없었으나 아밀로펙틴 겔은 가열에 의해 가역적

인 반응을 보이므로 노화된 전분 겔의 가열에 의한 modulus의 변화는 아밀로펙틴에 기인한다. 따라서 전분 겔의 modulus의 증가와 결정의 변화는 서로 비례하므로 입자내의 부분적인 결정화가 아밀로오스 매트릭스를 강화하여 입자의 단단함을 증가시키게 된다.

Miles 등⁶³⁾의 결과는 기본적으로 빵의 노화에서 아밀로펙틴이 주된 역할을 한다는 Schoch⁶⁰⁾보고와 일치하나 그들⁶³⁾은 아밀로오스와 아밀로펙틴의 동시 침전 또는 동시 결정화에 대한 가능성도 배제하지 않았다. Kim과 D'Appolonia⁶⁷⁾는 전분 겔(50%농도), 전분-아밀로오스 겔, 전분-아밀로펙틴 겔의 모델 시스템을 이용하여 modulus의 변화로부터 전분 겔의 노화가 초기 24시간 이내에는 아밀로오스와 아밀로펙틴의 동시 결정화로, 그 이후에는 아밀로펙틴만의 결정화로 특징지어진다고 하였다.

노화과정을 실용적인 면에서 이해하는데 가장 손쉽게 이용되는 방법은 modulus의 변화를 측정하는 방법으로서 그 결과는 Avrami식⁶⁹⁻⁷¹⁾으로 분석할 수 있다. 이 식은 $\theta = \exp(-kt^n)$ 으로 표시되며 θ 는 t시간 후 결정화되지 않은 물질의 부분, k는 결정화 속도, n은 Avrami 지수로서 결정화 형태에 따라 1~4값을 갖게 된다. 김 등⁷²⁾은 녹두 전분 겔(40%농도)의 노화속도를 Avrami식으로 분석하였다. 권 등⁴²⁾은 녹두 전분(6~8%)을 아밀로 그래프를 이용하여 80°C, 85°C, 90°C와 95°C로 가열하고 50°C로 냉각시킨 액을 4°C에 저장하면서 노화속도를 분석하였다. 이 등⁴²⁾의 결과를 보면 6%농도에서는 가열온도가 높아질수록 노화속도 상수값이 낮아졌으나 7과 8%농도에서는 가열온도에 따른 속도의 차이는 없었다.

전분 겔과 목의 텍스처

두류전분 겔에 대한 연구는 주로 목으로의 이용성에 중점을 두고 연구되어 왔다. 지금까지 우리나라에서 연구된 결과를 보면 양금을 조건분으로 표기하고 있으므로 여기에서는 전분 겔과 목으로 구분하였다. 다만, 팔이나 강낭콩 양금을 사용한 경우에는 양금겔로, 동부 양금겔은 동부 겔로 통일하였다.

조 등⁴⁴⁾은 동부전분겔(8%)과 녹두전분겔(9%)의 텍스처와 점탄성 성질을 비교하고, 전자가 후자보다 경도가 낮고 응집성은 크며 탄성율은 낮고 점성율은 크다고 하였다. 정⁹⁾은 목이 되는 도토리, 메밀, 녹두와 곡류(옥수수, 쌀, 밀)전분의 텍스처 성질을 비교하고, 전분겔(농도 8%)의 경도가 아밀로오스 함량(전분의 요

오드친화도)과 밀접한 관계($r=0.95$)가 있다고 하였다. 김²⁰⁾도 두류전분(동부, 녹두, 강낭콩), 도토리전분, 메밀전분과 곡류 전분겔의 경우 겔의 강도계수는 아밀로오스 함량과 정의 상관($r=0.86$)을 보인다고 하였다. Leloup 등⁷³⁾은 아밀로오스와 아밀로펙틴의 혼합물(8%)을 가열하고 4°C에서 5일간 저장한 겔의 단단한 정도를 측정하고, 어느 정도 단단한 겔이 되기 위하여는 아밀로오스의 아밀로펙틴에 대한 비율이 0.25이상(20% 아밀로오스)이어야 하며, 그 이상에서는 아밀로오스의 농도에 비례하여 단단함이 증가한다고 하였다. 이 결과를 기준으로 정⁹⁾은 도토리, 메밀과 녹두가 아밀로오스의 아밀로펙틴에 대한 비율이 각각 0.40, 0.36과 0.50으로서 Leloup 등⁷³⁾의 제안과 부합하였으나 곡류전분은 그 비율이 모두 0.25이하로서 단단한 겔이 될 수 없다고 예측하였다.

정⁹⁾은 전분 겔(8%)의 경도가 아밀로오스의 분자크기(평균 중합도)와는 상관계수가 0.77이었고, 아밀로오스의 사슬길이와는 상관계수가 -0.84, 아밀로펙틴의 사슬길이와는 상관계수가 0.76이었다고 하였다. 따라서, 정⁹⁾의 결과는 아밀로오스의 중합도와 shear modulus와의 관계를 보고한 Clark 등⁷³⁾의 결과와 비슷한 경향이었다.

Lee⁷⁴⁾는 녹두전분(11%)을 연속가열호화(최종온도 93°C)와 순간가열호화(최종온도 92°C)시켜 만든 겔의 저장중 텍스처 성질의 변화를 조사하였다. 겔의 경도는 순간가열호화시킨 것이 연속가열호화시킨 것보다 두 배 정도 높았고 응집성도 약간 높았다. 그러나 bend 성질은 순간가열호화 시킨 것이 높았다. 권⁹⁾은 동부, 녹두, 팔과 강낭콩 전분 겔(8%)의 경도와 응집성을 비교하였다. 동부와 녹두겔은 가열온도 85°C에서 가장 높은 경도를 보였고, 95°C에서 오히려 경도가 감소하였으나 응집성은 가열온도의 증가에 따라 증가하였다. 그러나 팔과 강낭콩 전분겔의 경도와 응집성은 모두 가열온도의 증가에 따라 증가하였다. 최근 주와 전^{45,75)}은 녹두 목의 경우 옥수수기름의 첨가에 의해 경도와 깨짐성이 감소하고 탄성과 찢힘성은 증가한다고 보고하였다.

전분겔의 저장 중 특징적인 변화의 하나는 이수현상(syneresis)이다. 권⁹⁾은 동부와 녹두전분 겔(8%)을 4°C에 저장했을 때 전분을 85°C와 95°C에서 가열하여 만든 겔의 수축정도가 저장 48시간에서 2%정도라고 하였다. 권 등⁴²⁾은 녹두전분(농도 5~8%)을 여러 온도(80~95°C)에서 가열 호화시켜 만든 겔을 4°C에 저장

했을때 겔의 수축정도는 가열온도가 높을 수록 낮았고, 8%농도에서는 저장 2일째부터 뚜렷한 수축현상을 보인다고 하였다.

묵에 대한 연구는 1977년도에 문 등²⁵⁾에 의해 시작되었다. 이들 결과에 의하면 녹두묵과 동부겔의 제조에 적절한 농도는 전자가 9%, 후자가 8%이었고, 관능검사 결과 이들 시료는 색상, 텍스처, 겔모양에서 서로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나, 겔의 수축정도는 동부겔이 높았고 기계적으로 측정할 경도는 녹두묵이, 응집성과 부착성은 동부겔이 높았다. 손과 배⁷⁶⁾는 녹두묵(10%)과 동부겔(10%)의 구조를 주사전자현미경으로 관찰하고 두 시료 모두 비교적 미세하고 조밀한 망상구조를 보인다고 하였다. 그러나 강남콩 앙금 겔(10%)은 녹두묵과 같은 조밀한 구조를 보이지 않는다⁷⁶⁾.

배 등⁷⁷⁾은 녹두묵(8%)의 구조를 주사전자 현미경으로 조사하고 손과 배⁷⁶⁾의 결과와 비슷하다고 하였다.

윤과 손⁶⁶⁾은 녹두묵(8%)과 동부 겔(8%)의 압착율에 따른 텍스처의 변화를 조사했을때 깨짐성(fructurability)은 녹두묵의 경우 변형을 65%에서, 동부겔은 75%에서부터 나타났으며, 경도는 두 시료 모두 변형율 55~75%까지 큰 변화가 없었다고 보고하였다.

손과 윤⁶⁶⁾은 녹두묵(6.8과 10%)과 동부겔(6.8과 10%)의 굳기와 견고성이 시료앙금 호화액의 항복용력 값과 밀접한 관계가 있다고 하였다. 손과 문⁴³⁾은 녹두묵(9%)과 동부겔(8%)을 3°C에 48시간 저장하면서 효소소화방법에 의한 호화도의 변화로부터 노화정도를 비교한 결과 저장시간에 관계없이 녹두묵의 노화정도가 높다고 하였다.

주와 이¹¹⁾는 녹두묵(9%), 동부겔(8%)과 시판 녹두묵의 관능적 특성을 비교하고 단단한 정도와 파들거리는 정도로 묵스러운 정도의 82%가 설명될 수 있으며, 단단한 정도만으로도 74.4%를 설명할 수 있다고 하였다.

요 약

묵은 전분의 겔화 성질을 이용한 우리나라 고유의 식품으로서 묵의 재료로는, 녹두, 메밀과 도토리가 이용되어 왔으나 최근 동부가 녹두의 대용으로 이용되고 있다. 묵에 대하여는 많은 연구가 이루어졌으나, 연구자들 사이에 농도와 가열호화방법의 차이로 아직도 묵에 대한 체계적인 결과가 없는 실정이다. 묵의 성질 규명을 위하여 여러 두류의 전분 또는 앙금을 이용한 겔

의 성질에 대한 연구가 최근 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 아직도 묵에 대한 용어의 정의가 식품학적으로 통일되어있지 못한 실정이므로 앞으로 묵에 대한 체계적인 연구가 요망된다. 이러한 관점에서 우리나라의 주요 두류를 대상으로 전분 또는 앙금의 성질을 종합 정리하였다.

문 헌

1. Colonna, P. and Mercier, C. : Macromolecular structure of wrinkled and smooth pea starch components. *Carbohydr. Res.*, **126**, 233(1984)
2. Banks, W. and Greenwood, C. T. : Physicochemical studies on starches : Part XXXII. The incomplete β -amylolysis of amylose : A discussion of its cause and implications. *Stærke*, **19**, 197(1967)
3. Lineback, D. R. : Current concepts of starch structure and its impact on properties. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **33**, 80(1986)
4. 권미라, 안승요 : 동부 전분의 아밀로오스 특성. 한국농화학회지, **33**, 39(1990)
5. 권미라 : 두류전분의 분자구조와 겔특성. 서울대학교 박사학위논문(1992)
6. 윤해현, 이해수 : 동부 조건분 및 정제 전분의 이화학적 특성. 한국조리과학회지, **3**, 31(1987)
7. 손경희, 윤계순, 정혜정, 채선회 : 두류 전분의 이화학적 특성 비교 -동부, 녹두, 강남콩, 팥-. 한국조리과학회지, **6**, 13(1990)
8. Naivikul, O. and D'Appolonia, B. L. : Carbohydrates of legume flours compared with wheat flour. II. *Starch Cereal Chem.*, **56**, 24(1979)
9. 정구민 : 묵제조용 전분의 분자구조와 지방질. 한국식품과학회지, **23**, 633(1991)
10. Biliaderis, C. G., Grant, D. R. and Vose, J. R. : Structural characteristics of legume starches. I. Studies on amylose, amylopectin, and beta-limit dextrins. *Cereal Chem.*, **58**, 496(1981)
11. 주난영, 이해수 : 녹두와 메밀 조건분의 이화학적 특성 및 겔 형성. 한국조리과학회지, **5**(2), 1(1989)
12. 노정혜, 이해수 : 옥수수과 팥 조건분의 이화학적 특성 및 겔형성. 한국조리과학회지, **4**(1), 1(1988)
13. 채선회, 손경희 : 거두와 적두 전분의 이화학적 특성 및 겔특성에 관한 연구. 한국조리과학회지, **6**(2), 7(1990)
14. Banks, W., Greenwood, C. T. and Khan, K. M. : The interaction of linear, amylose oligomers with iodine. *Carbohydr. Res.*, **17**, 25(1971)
15. French, D. : Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **19**, 8(1972)
16. Robin, J. P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbot, A. : Lintnerized starches. Gels filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.*, **51**,

- 389(1974)
17. Takeda, Y., Tokunaga, N., Takeda, C. and Hizukuri, S. : Physicochemical properties of sweet potato starches. *Stärke*, **38**, 345(1986)
 18. 김성란, 안승요 : 분질 및 점질 고구마 전분의 아밀로펙틴 특성. *한국농화학회지*, **34**, 26(1991)
 19. Hood, C. F. : Unmodified and chemically modified manioc starches. *Carbohydr. Res.*, **61**, 53(1979)
 20. Hizukuri, S. : Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. *Carbohydr. Res.*, **141**, 295(1985)
 21. 김향숙, 권미라, 안승요 : 동부 전분의 이화학적 특성. *한국식품과학회지*, **19**, 18(1987)
 22. 김향숙 : 아밀로오스와 아밀로펙틴이 목의 텍스처에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문(1987)
 23. 윤계순, 손경희, 정혜정 : 동부와 녹두 전분의 이화학적 특성비교. *대한가정학회지*, **27**, 39(1989)
 24. El Faki, H. A., Desikachar, H. S. R., Paramahans, S. V. and Tharanathan, R. N. : Physicochemical characteristics of starches from chick pea, cowpea and horse gram. *Stärke*, **35**, 118(1983)
 25. 문수재, 손경희, 박혜원 : 목의 식품과학적 연구. 제1보. 목 재료의 물리, 화학적 성질을 중심으로. *대한가정학회지*, **15**(4), 31(1977)
 26. Kawamura, S. : Studies on the starches of edible legume seeds. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **17**, 19(1969)
 27. 김완수, 이해수, 김성곤 : 각종 전분으로 만든 교질상 식품의 특성에 관한 연구 - 녹두 전분의 이화학적 특성. *한국농화학회지*, **23**, 166(1980)
 28. Leach, H. W., McCowen, L. D. and Schoch, T. J. : Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.*, **36**, 534(1959)
 29. Schoch, T. J. and Maywald, E. C. : Microscopic examination of modified starches. *Anal. Chem.*, **28**, 382(1956)
 30. Olkku, J. and Rha, C. K. : Gelatinization of starch and wheat flour starch-A review. *Food Chem.*, **3**, 293(1978)
 31. Donovan, J. W. : Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*, **18**, 263(1979)
 32. Flory, P. J. : *Principles of polymer chemistry*. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York(1953)
 33. Lillievre, J. : Starch gelatinization. *J. Appl. Poly. Sci.*, **18**, 293(1973)
 34. Biliaderis, C. G., Maurice, T. J. and Vose, J. R. : Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.*, **45**, 1669(1980)
 35. Wirakartakusumah, M. A. : Kinetics of starch gelatinization and water absorption in rice. *Ph. D. thesis*, University of Wisconsin, Madison, U. S. A. (1981)
 36. Lund, D. : Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. *CRC Critical Reviews in Food Sci. and Nutrition*, **20**, 249(1983)
 37. Wilson, L. A., Birmingham, V. A., Moon, D. P. and Snyder, H. E. : Isolation and characterization of starch from mature soybeans. *Cereal Chem.*, **55**, 661(1978)
 38. Lelievre, J. and Mitchell, J. : A pulsed NMR study of some aspects of starch gelatinization. *Stärke*, **27**, 113(1975)
 39. Shetty, R. M., Lineback, D. R. and Seib, P. A. : Determining the degree of starch gelatinization. *Cereal Chem.*, **51**, 364(1974)
 40. Tolomasquim, E., Conea, A. M. N. and Tolomasquim, S. T. : New starches. Properties of five varieties of cowpea starch. *Cereal Chem.*, **48**, 132(1971)
 41. Schoch, T. J. and Maywald, E. C. : Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.*, **45**, 564(1968)
 42. 권순혜, 김명희, 김성곤 : 녹두 전분의 리올로지 성질. *한국식품과학회지*, **22**, 38(1990)
 43. 손경희, 문수재 : Gel상 식품에 관한 실험 조리적 검토. I. 각종 전분의 교질성을 이용한 식품. *연세논총*, **15**, 191(1978)
 44. 조연화, 장정옥, 구성자 : 동부의 이화학적 특성과 동부 목의 rheology에 대하여. *한국조리과학회지*, **3**, 54(1987)
 45. 주나미, 전희정 : 지방첨가가 녹두전분 gel의 texture에 미치는 영향. 제1보. 이화학적 특성 및 기계적검사에 의한 평가. *한국조리과학회지*, **7**(4), 63(1991)
 46. 이진영, 안승요, 이해수 : 전분의 겔화에 관한 연구 - 강남콩 조전분 및 정제전분의 이화학적 특성 - *한국조리과학회지*, **3**, 47(1987)
 47. McCready, R. M. and Hassid, W. Z. : The separation and quantitative estimation of amylose and amylopectin in potato starch. *J. Am. Chem. Soc.*, **65**, 1154(1943)
 48. Gilbert, G. A. and Spragg, S. P. : Iodimetric determination of amylose : Iodine sorption : "Blue value". In *Methods in carbohydrate chemistry* Whistler, R. L., Smith, R. J., BeMiller, J. N. and Wolfrom, M. L.(eds.), Academic Press, New York, Vol. 4, p.168(1964)
 49. Banks, W., Greenwood, C. T. and Muir, D. D. : The characterization of starch and its components. Part 6. A critical comparison of the estimation of amylose-content by calorimetric determination and potentiometric titration of the iodine-complex. *Stärke*, **26**, 73(1974)
 50. Miller, B. S., Derby, R. I. and Trimbo, H. B. : A pictorial explanation for the increase in viscosity of a heated wheat starch-water suspension. *Cereal Chem.*, **50**, 271(1973)
 51. Allen, J. E., Hood, L. F. and Chabot, J. F. : Effect of heating on the freeze-etch ultrastructure of hydroxypropyl distarch phosphate and unmodified tapioca starches. *Cereal Chem.*, **54**, 783(1977)
 52. Tester, R. F. and Morrison, W. R. : Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.*, **67**, 551(1990)
 53. Lindqvist, I. : Cold gelatinization of starch. *Stärke*, **31**, 195(1979)

54. Tester, R. F. and Morrison, W. R. : Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chem.*, **67**, 558(1990)
55. Christianson, D. D. and Bagley, E. B. : Apparent viscosities of dispersions of swollen cornstarch granules. *Cereal Chem.*, **60**, 116(1983)
56. Sandsted, R. M. and Abbot, R. C. : A comparison of methods for studying the course of starch gelatinization. *Cereal Science Today*, **9**, 13(1964)
57. Evans, I. D. and Haisman, D. R. : Rheology of gelatinized starch suspensions. *J. Texture Studies*, **10**, 347(1978)
58. Bagley, E. B. and Christianson, D. D. : Swelling capacity of starch and its relationship to suspension viscosity—Effect of cooking time, temperature and concentration. *J. Texture Studies*, **13**, 115(1982)
59. Charm, S. E. : *The fundamentals of food engineering*. 2nd ed., The AVI Publishing Co., Inc. Westport, Conn, Chap. 3(1971)
60. 손경희, 윤계순 : 동부와 녹두 전분 gel 및 paste의 rheological properties. *대한가정학회지*, **26**, 93(1988)
61. Morris, V. J. : Starch gelation and retrogradation. *Trends in Food Sci. Technol.*, **1**, 2(1990)
62. Miles, M. J., Morris, V. J. and Ring, S. D. : Gelation of amylose. *Carbohydr. Res.*, **135**, 257(1985)
63. Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D. and Ring, S. G. : The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.*, **135**, 271(1985)
64. Colwell, K. H., Axford, D. W. E., Chamberlain, N. and Elton, G. A. H. : Effect of storage temperature on the aging of concentrated wheat starch gels. *J. Sci. Fd. Agric.*, **20**, 550(1969)
65. Biliaderis, C. G. : Differential scanning calorimetry in food research—a review. *Food Chem.*, **10**, 239(1983)
66. 윤계순, 손경희 : 압착율에 따른 전분 gel의 texture profile parameter의 변화. *대한가정학회지*, **26**, 103(1988)
67. Kim, S. K. and D'Appolonia, B. L. : Effects of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. *Cereal Chem.*, **54**, 150(1977)
68. Schoch, T. J. : Starch in bakery products. *Baker's Digest*, **39**(2), 48(1965)
69. Avrami, M. : Kinetics of phase change I. *J. Phys. Chem.*, **7**, 1103(1939)
70. Avrami, M. : Kinetics of phase change II. *J. Phys. Chem.*, **8**, 212(1940)
71. Avrami, M. : Kinetics of phase change III. *J. Phys. Chem.*, **9**, 177(1941)
72. Leloup, V. M., Colonna, P. and Buleon, A. : Influence of amylose-amylopectin ratio on gel properties. *J. Cereal Sci.*, **13**, 1(1991)
73. Clark, A. H., Gidley, M. J., Richardson, R. K. and Ross-Murphy, S. B. : Rheological studies of aqueous amylose gels : The effect of chain length and concentration on gel modulus. *Macromolecules*, **22**, 346(1989)
74. Lee, C. S. : Studies on the cooking quality of mung-bean starch(Part 2). The properties of starch gel. *Science of Cookery*(Japan), **14**, 130(1981)
75. 주나미, 전희정 : 지방첨가가 녹두전분 gel의 texture에 미치는 영향. 제2보 : 관능검사에 의한 평가 및 관능검사와 기계적 검사의 상관관계. *한국조리과학회지*, **8**(1), 21(1992)
76. 손경희, 배광순 : 각종 전분 gel의 구조 및 질감특성에 관한 연구. *연세논총*, **21**, 319(1985)
77. 배광순, 손경희, 문수재 : 목의 구조와 텍스처. *한국식품과학회지*, **16**, 185(1984)

(1992년 7월 30일 접수)