

고압처리가 찹쌀 및 멥쌀 전분의 결정구조에 미치는 영향

천기철 · 김광중 · 하연철 · 백무열 · 장영일* · 장규섭*
국방과학연구소, *충남대학교 식품공학과

Effect of High Pressure on the Crystalline Structure of Waxy and Non-Waxy Rice starch

Ki-Cheol Cheon, Kwang-Joong Kim, Yeon-Chul Ha, Moo-Yeol Baik,
Young-Il Chang* and Kyu-Seob Chang*

Agency for Defense Development

*Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

Abstract

Effect of high pressure (600 MPa) treatment on the crystalline structure of waxy and non waxy rice starches with 60% moisture content using Scanning Electron Microscopy, Differential Scanning Calorimetry and X-ray diffractometer was investigated. Surface structures of waxy and non waxy rice starches were partially collapsed by pressure treatment at 20°C for 60 min. Under the constant temperature condition (20°C), the crystal melting enthalpies of both rice starches decreased with increasing treatment time. When treatment time was fixed for 60min, the crystal melting enthalpies also decreased as temperature increased. Crystal melting temperatures of both rice starches treated with high pressure were higher than those of untreated starches. Crystal melting enthalpies of waxy and non waxy rice starches after all treatments were lowered to 17.2~29.7% and 12.5~26.8% respectively, compared with gelatinization enthalpies. The recrystallization degrees against gelatinized portion by treatment for waxy and non waxy rice starches after stored at 4°C for 14 days were 52.8~64.4% and 55.1~60.9%, respectively. Crystal patterns of both native rice starches were typical A type, those of the retrograded starches became B+V types. High pressure treated starches showed faint V type as well as A type, but their patterns were changed to A+B types during storage. The peak intensities of starches varied with treated times, temperatures and starch types.

Key words: high pressure, starch crystalline structure, DSC, X-ray diffractometry

서 론

전분의 결정용해 현상, 즉 호화는 가열과정중에 발생하는 하나의 상전이 현상으로 가열온도와 수분 함량, 그리고 가열시간에 의해 영향을 받는데, 결정용해 온도(Tm) 이상에서는 전분의 결정성이 없어지고 점성과 투명도가 증가하며, 효소에 의한 작용도 용이해진다(Biliaderis *et al.*, 1986). 이와 같이 수분과 온도 등에 의해 결정이 용해되어 무정형 상태로 된 용융액은 냉각에 의해 겔을 형성하여 결정상태 또는 규칙적으로 배열된 상태로 변화하게 되는 노화(retrogradation)현상이 일어난다(Slade와 Levine, 1993). 전분의 주요 구성성

분에 대한 노화과정은 일반적으로 초기에 아밀로오스가 배열의 변화를 가져오고 그 후 아밀로펙틴의 결정화가 서서히 진행된다는 두 단계의 구조적 변화로 해석되며, 노화된 전분을 재가열하면 아밀로펙틴은 일부 가역적인 구조변화가 일어나지만 아밀로오스는 비가역적이다(Miles *et al.*, 1985).

전분의 호화 및 노화에 영향을 줄 수 있는 방법중에서 최근 주목되고 있는 것은 초고압 기술이다. 이 기술은 레토르트 장치의 압력이 0.3~0.5 MPa정도인 것과 비교할 때 100~900 MPa(약1,000~9,000기압)의 압력을 이용하여 식품의 살균, 가공, 조리가 가능한 새로운 식품가공 기술로서 파스칼의 원리(Pascal's principle)에 의해 압력매체인 물을 통해 주어진 압력이 계에 순간적으로 균일하게 전달되는 것을 이용한 것이다(Hayashi, 1989). 이 때 생체고분자에 미치는 압력

Corresponding author: Ki-Cheol Cheon, CBR Department, Agency for Defense Development, Yuseong P.O. Box 35-1, Taejeon 305-600, Korea

효과는 분자간의 공간을 줄이고 사슬간의 반응을 촉진시키는데(Hoover *et al.*, 1989), 손경현(1996)은 압력이 살균과 효소불활성화를 유도하여 김치 및 주스류의 품질과 저장성을 향상시킬 수 있다는 연구 결과를 제시하였다.

그러나 전분에 대한 연구는 극히 미미한 실정으로, 600 MPa로 처리시 amylase에 의한 분해능력의 향상(Hayashi와 Hayashida, 1989), 전분 호화온도의 상승(Muhr와 Blanshard, 1982; Muhr *et al.*, 1982) 그리고 Hibi 등(1993)이 발표한 압력, 처리시간에 따른 전분의 상대적 결정도 변화 연구 정도에 그치고 있으며, 열적 분석방법에 의한 노화특성 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내생산 멥쌀 및 찹쌀 중에서 가장 대표적인 동진멥쌀 및 신선찹쌀로부터 전분을 분리하고, 이들 전분으로 제조한 수분함량별 전분겔과 초고압처리 전분겔에 대하여 열적 분석기기인 DSC 및 결정화 정도를 분석할 수 있는 X-ray diffractometer를 이용해서 호화 및 노화특성을 측정하고 상호관련성을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

재료

멥쌀(동진벼)과 찹쌀(신선찰벼)은 1995년산으로 농촌진흥청에서 구입하였으며 전분은 알칼리침지법(Wilson *et al.*, 1984)을 이용하여 분리한 후, 열풍건조기를 사용하여 30°C에서 수분함량 10%로 건조시키고 100 mesh 체를 통과시켜 desiccator에 보관하면서 전분 시료로 사용하였다.

수분함량별 전분겔 시료

수분함량 40~90%인 전분겔을 제조하기 위해, 일정한량의 쌀 전분을 40 µl용 알루미늄 DSC sample pan에 넣고 microsyringe를 이용하여 수분이 고루 침투하도록 과량의 증류수를 첨가한 후, 이를 microbalance 위에서 자연건조하고 밀봉하여 시료로 사용하였으며, 이때 시료의 총량은 10 mg이 되도록 조정하였다. 밀봉 후 전분과 물의 혼합물계가 평형이 유지되도록 25°C incubator에서 1일간 방치하고 다시 칭량하여 수분손실 유무를 확인한 후 분석을 위한 시료로 사용하였다.

고압 처리 전분겔 시료

수분함량 60%의 전분현탁액을 플라스틱 파우치(5×5 cm)에 넣고 초고압장치(MFP-7000, Mistubishi

Heavy Industry, Japan)를 사용하여 전분겔을 제조하였다. 처리조건은 압력 600 MPa, 처리시간 20분, 40분, 60분, 80분, pressure vessel 내부의 중심온도 20, 40, 60°C로 설정하였다. 이와 같이 제조된 전분겔을 DSC pan에 10~15 mg이 되도록 일정량을 취해 열분석을 위한 시료로 사용하였다.

SEM, X-Ray diffractometry 분석용 시료

수분함량 60%의 전분현탁액을 항온수조에서 호화시킨 겔과 고압 처리겔, 그리고 이들의 저장시료를 ethanol로 탈수하고 25°C에서 진공건조한 후, 분쇄하고 100 mesh 체를 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다.

전분의 표면형태 관찰

멥쌀과 찹쌀의 생전분, 이들 전분의 호화전분 및 노화전분, 그리고 고압처리 전분의 표면구조는 주사전자현미경(JXA-840, Jeol Ltd. Japan)을 사용하여 4000배 또는 2000배로 확대하여 관찰하였다.

X-선 회절도

X-선 회절도는 X-ray diffractometer (JPX-8030, Jeol Ltd. Japan)를 이용하여 회절 각도(2θ) 5°~35°의 범위에서 측정하였으며, 측정 조건은 Table 1과 같다.

전분겔의 열적 특성

전분겔의 열역학적 특성은 DSC (Mettler TA-4000 System, DSC-30 U.K.)를 사용해서 측정하였고, reference pan으로는 빈 pan을 사용하였으며, indium, 납(lead), 아연(zinc)을 사용하여 2주일 간격으로 보정하였다. 호화 및 저장중 결정 용해 온도(Tm) 및 결정 용해 엔탈피(ΔHo, ΔHt)의 측정은 시료를 실온에서부터 수분함량별로 전분이 호화될 수 있는 온도까지 10°C/min의 속도로 가열하여 얻은 특성 곡선에서 To, Tp, Tc 등 결정 용해 관련 온도들을 구하였으며, 결정 용해 엔탈피(ΔHo, ΔHt)는 결정 용해 peak의 면적으로부터 구하였다.

결과 및 고찰

전분의 표면구조

Table 1. Analytical condition of X-ray diffractometer

Target: Cu-Kα	Time constant: 0.2 sec
Filter: Ni	Chart Speed: 2 cm/min
Voltage: 40 KV	Scanning Speed: 80°/min
Current: 20 mA	2θ range: 5°~35°

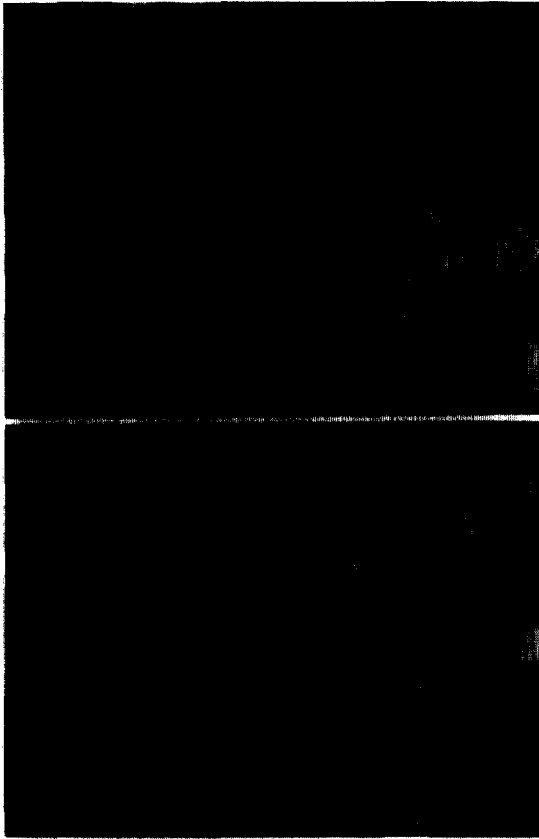


Fig. 1. Scanning electron micrograph of non-waxy rice (A) and waxy rice (B) starches.

멥쌀 및 찹쌀전분의 표면구조는 모두 불규칙한 다변형(polygonal) 성상이며, 크기는 멥쌀 2~6 μm, 찹쌀 3~7 μm 범위로 Jane et al. (1994)에 의한 결과와 유사하였다(Fig. 1).

결정용해 특성

Table 2는 멥쌀 및 찹쌀전분의 결정 용해온도(Tm) 및 용해 엔탈피(ΔHo)를 측정된 결과이다. 두 전분 모두 수분함량 50% 이하에서는 상전이온도의 범위, 즉 시작온도(To)부터 종료온도(Tc) 까지의 범위가 넓고 2개의 peak로 나타났으며 수분함량 60% 이상에서는 충분한 수화에 의한 단일 peak를 보였다. 두 전분의 차이로, 찹쌀전분이 멥쌀전분에 비해 Tp, Tc는 높았으나 To는 일정한 경향을 보이지 않았다.

전분입자 결정용해의 DSC 특성곡선은 수분함량에 따라 변화하게 되는데, 약 60%이상의 수분함량에서는 하나의 흡열반응 peak만이 관찰되고 그 이하의 수분함량에서는 한 개이상의 흡열반응 peak가 나타난다

Table 2. Effects of moisture contents on the DSC characteristics of rice starches

Type	Moisture content (%)	Transition temp. (°C)				ΔHo (J/g) ⁵⁾
		To ¹⁾	Tp ₁ ²⁾	Tp ₂ ³⁾	Tc ⁴⁾	
Non-waxy	40	53.9	73.0	76.1	104.6	9.4
	50	54.3	72.4	86.2	90.8	6.6
	60	63.3	72.3	-	86.6	5.6
	70	65.9	71.8	-	80.2	3.2
	80	66.2	71.8	-	80.8	2.0
90	65.6	69.8	-	77.2	1.1	
Waxy	40	58.5	74.0	96.5	105.9	10.9
	50	59.6	73.4	86.8	94.5	7.3
	60	58.2	73.5	-	87.8	6.4
	70	55.9	72.8	-	83.8	4.0
	80	55.9	72.3	-	81.5	2.6
90	54.9	72.0	-	80.6	1.4	

¹⁾To: Onset temperature
²⁾Tp₁: First peak temperature
³⁾Tp₂: Second peak temperature
⁴⁾Tc: Conclusion temperature
⁵⁾ΔHo: Melting enthalpy

(Biliaderis, 1992). 과량의 물이 존재하는 경우, 모든 전분결정이 일시에 용해되는 과정은 전분 무정형 영역의 수화 및 팽윤에 기인하며, 수분이 제한되면 일부 결정이 부분적으로 이 기작을 따르게 되고 잔여결정은 더 높은 온도에서 또 하나의 흡열반응을 보이면서 용해한다(Donovan, 1979). 결정용해 엔탈피는 멥쌀전분 1.1~9.48 J/g, 찹쌀전분 1.4~10.9 J/g의 범위로 찹쌀전분이 상대적으로 높은 값을 나타내었는데, 이러한 결과는 형태 및 품종에 따라 쌀가루의 소화특성을 분석한 Huang 등(1994)의 보고와 유사한 결과로 아밀로펙틴 함량이 높은 찹쌀전분에서 호화에 필요한 에너지가 더 많이 요구되는 것으로 해석할 수 있다.

초고압 처리 전분겔의 표면구조

수분함량 60%로 조정된 멥쌀 및 찹쌀 전분의 현탁액을 20°C에서 600 MPa의 압력으로 60분간 처리하고 그 표면구조를 관찰한 결과는 Fig. 2와 같다. 멥쌀 및 찹쌀 전분은 모두 압력에 의해 손상을 받아서 생전분에 비해 불규칙한 형태를 보이고 있으며, 일부는 완전히 붕괴되어 있는 것이 관찰되었다. 입자크기 분포는 멥쌀에서 2~5 μm, 찹쌀에서 3~6 μm로 이러한 크기범위는 생전분 상태와 비교할 때 다소 작은 수치라 할 수 있다.

초고압 처리 전분겔의 열적 특성

Table 3은 600 MPa에서 처리시간과 온도를 달리 하였을 때의 DSC 특성값이다. 멥쌀전분겔 및 찹쌀전분

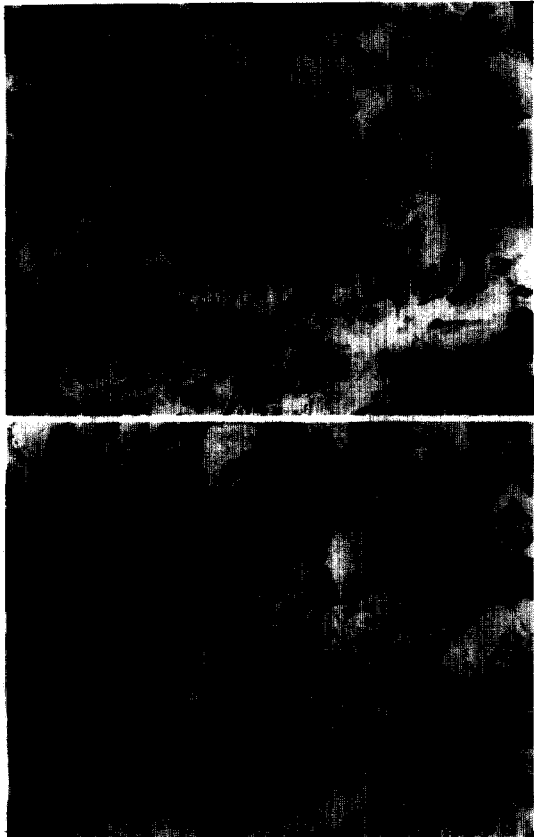


Fig. 2. Scanning electron micrograph of non-waxy rice (A) and waxy rice (B) starch gels treated at 600 MPa, 20°C for 60 min.

겔에서 공통적으로 호화가 지연되었으며, 처리시간이 길고 처리온도가 상승할수록 지연효과가 커서 T_o , T_p 및 T_c 가 높게 나타났다. 초고압처리한 후의 결정용해 엔탈피를 측정된 결과 모든 처리조건 범위에서 멥쌀전분겔에서의 값은 0.7~1.5 J/g, 찹쌀전분겔에서의 값은 1.1~1.9 J/g으로 압력처리 하지 않은 생전분의 결정용해값인 5.6 J/g, 6.4 J/g과 비교할 때 잔존 결정비율이 각각 12.5~26.8%, 17.2~29.7% 이었다. 따라서 초고압 처리에 의한 효과는 멥쌀전분겔에서 우수하다고 할 수 있다. 또한 초고압 처리한 겔을 4°C에서 14일간 저장한 후에 결정용해 엔탈피를 측정된 결과, 멥쌀 전분겔은 3.4~4.0 J/g으로 생전분 호화엔탈피의 60.7~71.4% 이었으며, 찹쌀전분겔은 3.9~4.8 J/g으로 60.9~75.0% 이었다. 초고압 처리에 의해 무정형으로 변한 부분 (생전분의 ΔH_o -초고압처리 후의 ΔH_o)에 대한 재결정화도는 멥쌀전분겔 55.1~60.9%로 20°C, 20분 처리한 경우를 제외하고는 비슷한 값을 나타내었으며, 찹쌀 전분겔은 52.8~64.4%로 처리시간의 증가 또는 온도상승에 따라 감소하는 경향이였다. 이 비율은 초고압처리를 하지 않은 대조구의 재결정화도값(멥쌀전분겔 42.5%, 찹쌀전분겔 46.9%)에 비해 큰 값이다.

X-ray diffractometry에 의한 결정도

멥쌀 및 찹쌀 생전분의 X-선 회절각도에 의한 peak는 Fig. 3 및 Fig. 4에서와 같이 모두 회절각도(2θ) 15.0°, 17.2°, 23.5°에서 peak를 보이는 전형적인 A형이였고, 호화전분은 회절각도(2θ), 19.6°~20°에서 peak를 나타

Table 3. DSC characteristics of 60% moisture rice starch gels treated with various conditions

Type	Condition			DSC Characteristics						
	Pres (Mpa)	Temp. (°C)	Time (min.)	T_o	T_p	T_c	ΔH_o	$\Delta H_t^{1)}$	R.C. ²⁾	R.D. ³⁾
Non-Waxy	600	20	20	64.9	80.4	89.8	1.5	4.0	26.8	60.9
			40	66.5	80.6	89.7	1.2	3.7	21.4	56.8
			60	72.9	82.7	93.0	1.1	3.6	19.6	55.6
	600	40	60	74.3	88.0	88.6	1.0	3.6	19.6	55.6
			60	74.6	80.8	90.9	0.9	3.5	16.1	55.3
	600	60	60	75.6	80.7	89.7	0.7	3.4	12.5	55.1
		Control (Untreated)			63.3	72.3	84.6	5.6	2.4	-
Waxy	600	20	20	72.9	80.1	89.9	1.9	4.8	29.7	64.4
			40	73.2	80.2	87.9	1.5	4.5	23.4	61.2
			60	74.1	81.4	91.1	1.5	4.3	23.4	57.1
	600	40	60	72.6	80.9	90.6	1.4	4.2	21.9	56.0
			60	75.0	88.5	89.1	1.3	4.1	20.3	54.9
	600	60	60	77.5	81.4	88.9	1.1	3.9	17.2	52.8
		Control (Untreated)			58.2	73.5	86.9	6.4	3.0	-

¹⁾Enthalpy of starch gels stored at 4°C for 14 days.

²⁾Remaining Crystallinity (%): $(\Delta H_o, \text{treat}/\Delta H_o, \text{untreat}) \times 100$.

³⁾Recrystallization Degree of gelatinized proportion (%): $(\Delta H_t - \Delta H_o)/(\Delta H_o, \text{untreat} - \Delta H_o, \text{treat}) \times 100$.

내는 V형을 보였다. 수분함량 60%인 멍쌀 및 찹쌀전분 현탁액을 600 MPa, 20°C 조건에서 시간별로 처리했을 때의 X-선 회절도는 두 전분겔에서 모두 처리시간이 길어질수록 생전분에서 보였던 peak의 강도가 점점 낮아지고 있으나 60분과 80분 처리한 시료간의 차이는 크지 않았다. 멍쌀전분에서는 생전분의 A형 peak외에도 V형 peak가 나타났는데, 이 V형 peak의 강도는 처리시간이 길어짐에 따라 커지는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 초고압에 의해 일부 전분구조의 결정이 무정형으로 변했기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 찹쌀전분에서는 A형 peak만이 뚜렷하게 나타나고 V형 peak는 아주 약하게 나타났다.

처리시간별로 제조된 멍쌀 및 찹쌀전분겔을 4°C에서 14일간 저장한 후, X-선 회절 양상을 비교한 결과는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 멍쌀전분의 경우, 압력을 처리하지 않고 가열호화시킨 후 동일조건으로 저장한 대조구는 B형과 V형 peak를 보이는 전형적인 노화전분의 결정형 양상이나 압력처리한 전분은 이와 같은 결정의 성장 이외에도 2θ=15.0°, 23.5°에서의 peak의 강도가 대조구에 비해 뚜렷하게 증가하였다(Fig. 5). 찹쌀전분에서도(Fig. 6), 멍쌀전분과 같은 경향을 보이

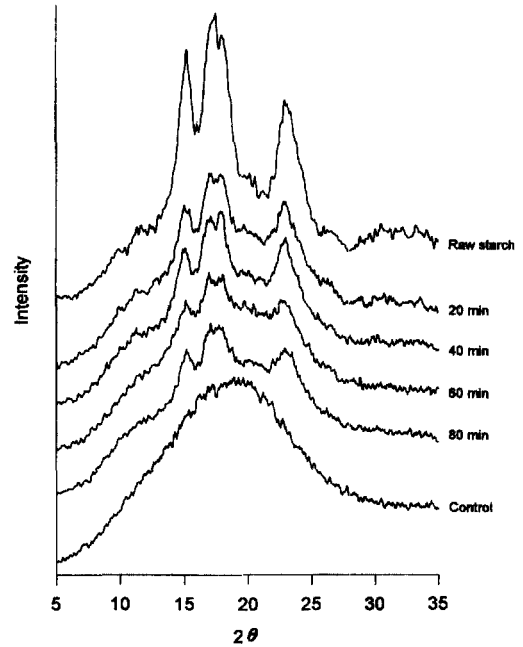


Fig. 4. X-ray diffractograms for waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa at 20°C during 80 min pressurizing process. Control was a gelatinized waxy rice starch without high pressure treatment.

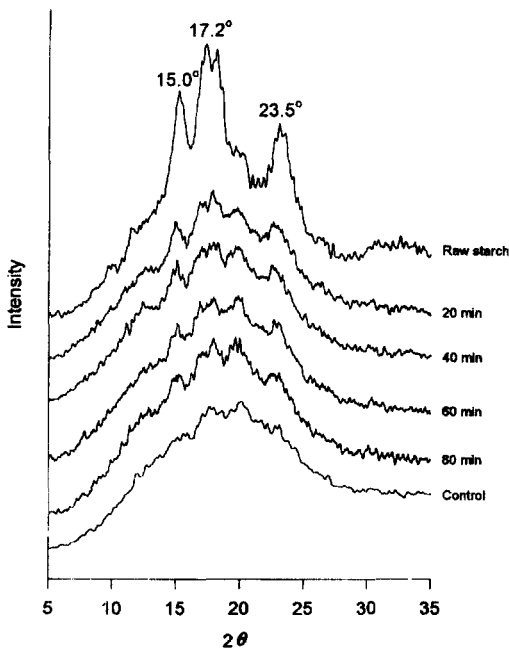


Fig. 3. X-ray diffractograms for non-waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa at 20°C during 80 min pressurizing process. Control was a gelatinized non-waxy rice starch without high pressure treatment.

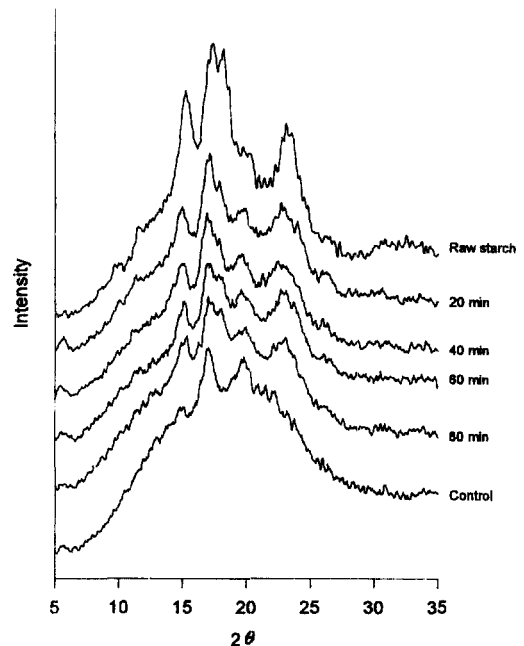


Fig. 5. X-ray diffractograms for non-waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa at 20°C and stored for 14 days at 4°C. Control was a non-waxy rice starch gel without high pressure treatment.

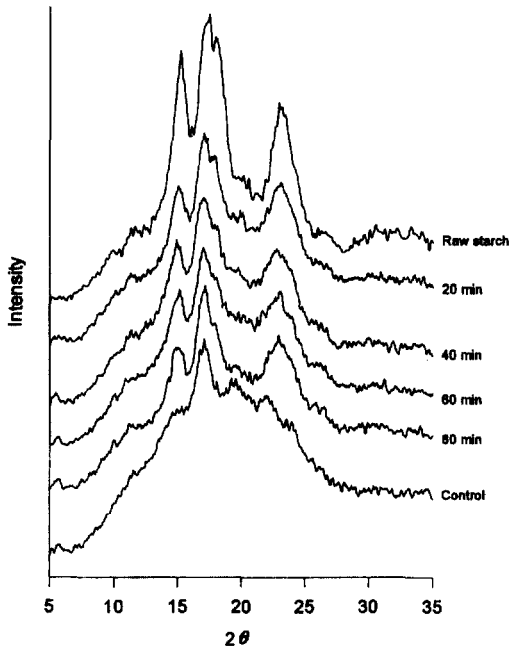


Fig. 6. X-ray diffractograms for waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa at 20°C and stored for 14 days at 4°C. Control was a waxy rice starch gel without high pressure treatment.

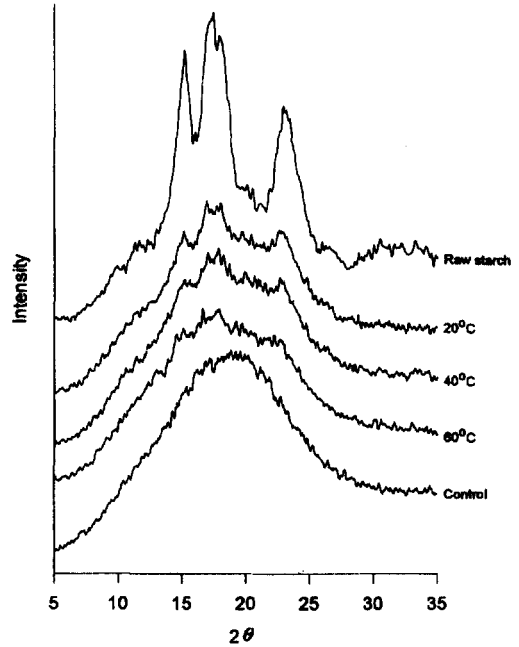


Fig. 8. X-ray diffractograms for waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa during 60 min pressurizing process. Control was a gelatinized waxy rice starch without high pressure treatment.

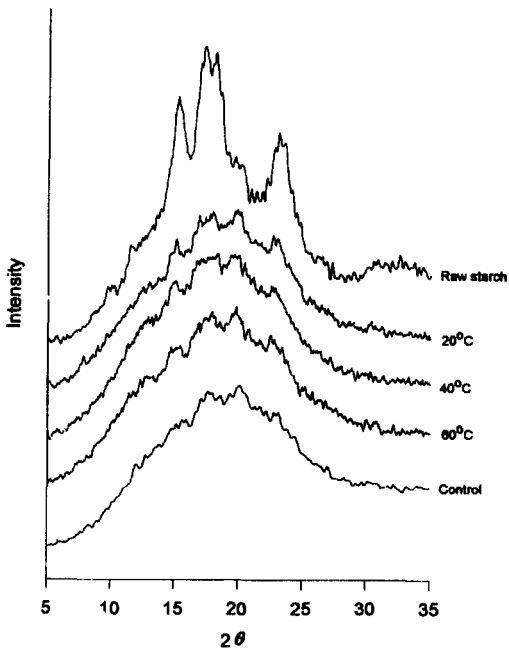


Fig. 7. X-ray diffractograms for non-waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa during 60 min pressurizing process. Control was a gelatinized non-waxy rice starch without high pressure treatment.

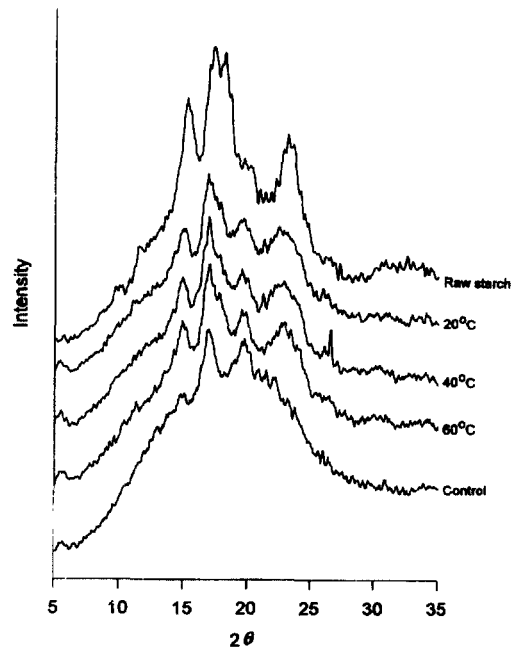


Fig. 9. X-ray diffractograms of non-waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa during 60 min and stored 14 days at 40°C. Control was a non-waxy rice starch without high pressure treatment.

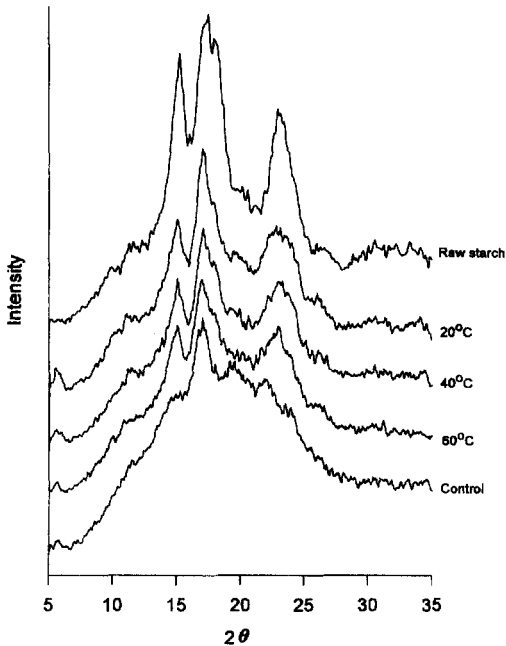


Fig. 10. X-ray diffractograms for waxy rice starch gels treated with high hydrostatic pressure of 600 MPa during 60 min and stored 14 days at 40°C. Control was a waxy rice starch without high pressure treatment.

고 있으나 대조구와 비교할 때 V형 peak가 거의 나타나지 않았으며, 특히 20분간 처리하고 저장한 경우에 강도의 차이는 있으나 생전분의 peak와 유사하였다. 두 전분겔 모두 처리시간이 증가할수록 전분의 결정구조가 비례적으로 파괴되어 나타나는 양상을 보이고 있으나 60분과 80분 처리구간의 차이는 크게 나타나지 않았다.

멥쌀 및 찹쌀전분 현탁액을 600 MPa에서 60분 동안 처리할 때 실린더 내부의 중심온도 차이에 따른 결정형의 변화는 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. 중심온도가 높을수록 peak의 강도가 감소되었으나 X-선 회절양상은 유사하였고, 60°C 압력처리 하였을 때 $2\tau=15.0^\circ$, 23.5° 에서의 peak 강도는 찹쌀전분이 멥쌀전분에 비해 끝부분이 둔화되면서 낮게 나타났다. 이러한 현상은 Table 2에서 보는 바와 같이 멥쌀전분의 T_0 (63.3°C)와 찹쌀전분의 T_0 (58.2°C) 차이에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 이와 같이 제조된 전분겔을 4°C에서 14일간 저장 하였을 때의 X-선 회절양상으로 온도에 의한 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 즉 고압처리를 하여도 전분을 충분히 호화시킬 수 있는 온도인 T_c 보다 낮은 온도범위에서는 처리온도가 저장 중 전분의 재결정화에 큰 영향을 주는 요소가 아니라

는 것을 알 수 있다.

요 약

600 MPa의 압력처리가 수분함량 60%인 멥쌀 및 찹쌀전분의 결정구조에 미치는 영향을 Scanning Electron Microscopy, Differential Scanning Calorimetry X-ray diffractometer를 이용하여 조사한 결과, 전분입자의 결정구조는 일부 붕괴된 것으로 확인되었다. 압력처리온도 20°C에서 시간(20, 40, 60 및 80분) 별로 제조한 전분겔의 결정용해 엔탈피는 시간이 증가할수록 감소하였으나 60분 이후에는 큰 영향을 주지 않았다. 또한 처리시간 60분의 조건에서 가열온도(20, 40 및 60°C) 별로 제조한 전분겔의 결정용해 엔탈피는 온도가 높을수록 감소하였다. 위의 모든 조건에서 초고압처리한 전분겔의 결정용해 온도는 생전분에 비해 높게 나타났으며, 처리후에 잔존하는 결정용해 엔탈피의 비율은 멥쌀전분이 12.5~26.8%, 찹쌀전분이 17.2~29.7%이었다. 또한 압력에 의해 무정형으로 변화된 부분의 4°C, 14일 후의 재결정화도는 각각 55.1~60.9%, 52.8~64.4%로 산출되었다. X-선 회절도에 의한 결정도 분석 결과 멥쌀과 찹쌀의 생전분은 전형적인 A형이었고, 4°C에서 14일 저장후에는 B+V형으로 노화전분의 결정형 양상을 보였다. 초고압처리한 전분의 경우, peak의 강도 차이는 있으나 처리시간 및 온도 차이에 관계없이 A형 결정 회절각도에서의 peak가 잔존하고, 일부 호화로 인한 V형을 보였으나 찹쌀전분의 V형은 아주 약하게 나타났으며, 저장 후에는 A형 및 B형 peak가 동시에 커지는 경향을 나타냈다.

참고문헌

- 손경현. 1996. 고압처리에 의한 살균과 효소 불활성화가 식품의 품질과 저장성에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문.
- Biliaderis, C.G., Page, C.M., Maurice, T.J. and Juliano, B.O. 1986. Thermal characterization of rice starches; A polymeric approach to phase transition of granular starch. *J. Agric. Food Chem.*, **34**: 6-14.
- Biliaderis, C.G. 1992. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Tech.*, **46**(6): 98-109.
- Donovan, J.W. 1979. Phase transition of the starch-water system. *Biopolymer*. **18**: 263-275.
- Hayashi, R. 1989. A new approach of food preservation. *J. Agric. Chem. Soc.*, **63**: 330-335.
- Hibi, Y., Matsumoto, T. and Hagiwara, S. 1993. Effect of high pressure on the crystalline structure of various starch granule. *Cereal Chem.*, **70**(6): 671-676.
- Hoover, D.G., Metrick, C., Papineau, A.M. and Knorr, D.

1989. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Tech.* March.
- Huang, R.M., Chang, W.H., Chang, Y.H. and Lii, C. 1994. Phase transitions of rice starch and flour gels. *Cereal Chem.*, **71**(2): 202-207.
- Miles, M.J., Morris, V.J., Oxford, P.D. and Ring, S.G. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation, retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.*, **135**: 271-281.
- Muhr, A.H. and Blanshard, J.M.V. 1982. Effects of hydrostatic pressure on starch gelatinization. *Carbohydr. Polym.*, **2**: 61-74.
- Muhr, A.H., Wetton, R.E. and Blanshard, J.M.V. 1982. Effects of hydrostatic pressure on starch gelatinization as determined by DTA. *Carbohydr. Polym.*, **2**: 91-102.
- Slade, L. and Levine, H. 1993. Water relationships in starch transitions. *Carbohydr. Polym.*, **21**: 105-131.
- Wilson, L.A., Birmingham, V.A., Moon, D.P. and Synder, H.E. 1984. Isolation and characterization of starch from mature and soybeans. *Cereal Chem.*, **55**: 661,