

## 고압균질처리(microfluidization)가 옥수수전분의 이화학특성에 미치는 영향

강은정 · 이재권\*

경기대학교 식품생물공학과

### Effect of High-Pressure Homogenization (Microfluidization) on the Physicochemical Properties of Maize Starch

Eun-Jung Kang and Jae Kwon Lee\*

Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University

#### Abstract

The physicochemical properties of high-pressure homogenized (microfluidized) maize starch with different preheating temperatures (50, 60°C), levels of pressure (34.5, 69, 138 MPa), and numbers of pass (1, 2, 3 pass) were examined in this study. The enzyme susceptible starch (ESS) content, morphological property, X-ray diffraction, and Rapid Visco Analyzer (RVA) profile of starch were significantly altered via increasing the number of passes and preheating temperatures. The amount of ESS and the diffraction pattern of starch indicated that the granular crystalline structure of starch was severely damaged by increasing the number of passes and preheating temperatures. The morphology of starch granule was changed from angular to spherical shape with the damaged surface as the pressure increased. Moreover, damaged starch particles gathered to form a larger mass when treated at a higher temperature with the increasing number of passes, indicating that different types and extents of damage occurred. The RVA profile of starch showed a moderate peak viscosity with increased pasting stability against shear thinning similar to that of cross-linked starch as the number of passes and preheating temperatures increased. These results suggested that microfluidization combined with preheating might be used as a potential alternative method for the modification of starch such as cross-linked starch.

**Key words:** microfluidization, high pressure homogenization, physicochemical properties

## 서 론

전분은 인간의 가장 중요한 식이탄수화물로서 식품산업에서는 점증, 콜로이드 안정화, 젤화, 증량, 보습 등의 용도로 사용되는 식품소재이다. 전분은 포도당이  $\alpha$ -1,4 결합으로 중합된 직쇄구조의 아밀로오스와  $\alpha$ -1,4 glucan에  $\alpha$ -1,6 결합으로 가지가 형성된 아밀로펙틴으로 구성되어 입자 형태로 존재하며, 출처에 따라 크기, 형태, 화학조성이 상이하다(Pomeranz, 1985; Gallant et al., 1992; Tester et al., 2004). 또한 전분입자는 입자 내 아밀로펙틴의 분자 배열에 따라 무정형과 결정성 영역이 규칙적으로 반복되는 부분 결정성의 구조적 특성을 가지며(Buléon et al., 1988; Zobel, 1988). 이로 인해 상온의 물에 녹지 않고 가공과정

에서 열처리된다.

일반적으로 전분은 수화가열에 따라 점착성 페이스트를 형성하고 냉각 시 젤화 되며 시간경과에 따라 호화전분간의 재결합으로 노화된다(Schoch, 1965). 이 같은 일련의 가공과정에서 전분이 갖는 독특한 물성은 전분질식품의 구조는 물론 질감을 부여하는 기능특성으로 작용한다. 하지만 일반전분에 내재된 열, 전단력, 산에 대한 낮은 내성 등과 같은 물성은 다양한 전분함유 식품의 가공에 부적합하며, 이에 따라 일반전분의 단점을 보완한 변성전분이 대체 사용된다(Pomeranz, 1985; Jobling, 2004). 식품에 사용되는 변성전분으로는 전분분자 내에 특정 작용기를 치환, 가교시킨 전분유도체, 산 처리전분과 같은 화학 변성전분(Singh et al., 2007)을 비롯한 수열, 초고압, 전단력 등의 물리적 방법(Din et al., 2017) 또는 효소 가수분해한 변성전분(Hickman et al., 2008)이 있으며, 기능특성에 따라 다양한 용도로 이용된다. 한편 식품 화학첨가물의 안전성에 대한 소비자 관심이 높아지면서, 최근에는 화학 변성전분을 대신하는 친환경 전분소재로서 물리적 변성전분의 적합성이 검토되었으나 제한적 기능특성으로 대체 사용이 어려

\*Corresponding author: Jae Kwon Lee, Department of Food Science and Biotechnology, College of Natural Science, Kyonggi University, Gwanggyosan-ro 154-42, Yeongtong-gu, Suwon, 16227, Korea  
Tel: +82-31-249-9654; Fax: +82-31-249-9650,  
E-mail: jglee@kyonggi.ac  
Received October 28, 2020; revised November 9, 2020; accepted November 12, 2020

운 실정이다.

Microfluidizer는 물질의 유화, 분산, 파쇄 등의 용도로 사용되는 동적 고압균질기(dynamic high pressure homogenizer)이다. Microfluidizer는 기존 밸브 형 고압균질기와 달리, 가압한 고압의 유체가 micro channel을 통해 interaction chamber에서 고속으로 충돌할 때 발생하는 충격에너지, 전단력, 고주파 진동, 공동현상 등의 작용으로 액체-액체 또는 액체-고체 계를 분산시킨다(Villalobos-Castillejos et al., 2018; Liu et al., 2009). 최근에는 단백질(Iordache & Jelen, 2008; Gong et al., 2019), 효소(Liu et al., 2009), 다당류(Lagoueyte & Paquin, 1998; Zhang et al., 2017), 식이섬유(Wang et al., 2012; Mert et al., 2014)와 같은 고분자화합물을 대상으로 Microfluidizer의 고압균질공정의 기능성 및 물성개선 효과가 보고되었다. 또한 전분관련 연구로서 고압균질처리에 의한 쌀 전분 분리(Guraya & James, 2002), 난소화성 저항전분의 용해도 개선(Augustin et al., 2003), 칩쌀전분의 구조특성(Tu et al., 2010), 아밀로오스의 유동학적 특성(Duan et al., 2017)에 대한 연구가 보고되었으나, 고압균질 공정조건이 전분 물성에 미치는 영향과 기작에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 예열온도, 압력수준 및 처리횟수를 달리하여 고압균질처리한 옥수수전분의 이화학적특성 변화를 통하여, 고압균질 처리조건이 전분 물성에 미치는 영향을 규명하고, 물리적 변성방법으로서의 고압균질처리의 적용 가능성을 확인하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구의 시료로는 아밀로오스함량 27% (w/w)의 일반 옥수수전분을 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

### 고압균질처리

고압균질처리는 Microfluidizer (M-110L, Microfluidics, Newton, MA, USA)를 사용하여, 약 200 mL의 옥수수전분 현탁액을 일정 온도로 예열한 다음 고압균질기의 압력과 처리횟수를 달리하여 행하였다. 즉, 압력수준을 달리한 시료는 전분현탁액(10%, w/w)을 50 및 60°C로 예열 후 34.5, 69 및 138 MPa의 압력에서 고압균질처리하여 제조하였고, 처리횟수를 달리한 시료는 50 및 60°C로 예열한 전분현탁액을 138 MPa의 압력에서 1, 2 또는 3회 처리하여 제조하였다. 이때 전분현탁액은 Microfluidizer의 주입 조(inlet reservoir)에 투입 전 유리막대로 충분히 저어 침전을 최소화하였으며, 고압균질 처리과정에서의 발열 방지를 위하여 Microfluidizer의 interaction chamber는 얼음물을 채워 냉각하였다. 고압균질처리한 전분현탁액은 상온에서

감압 여과 후 50°C의 진공오븐(Model 280, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)에서 24시간 건조한 다음 냉장 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

### 손상전분(Enzyme susceptible starch)

고압균질처리에 따른 전분의 손상도는 Megazyme kit (Megazyme Starch Damage Assay Kit, Megazyme Ltd., Wicklow, Ireland)를 사용하여, 시료의 총 전분함량 대비 손상전분함량을 측정하는 효소분해법(AACC 76-31.01, 2000)으로 측정하였다.

### 전분입자의 형태학적 특성

고압균질처리에 따른 전분입자의 형태학적 변화는 주사전자현미경(Hitachi S-4800, Hitachi High-Tech Corp., Tokyo, Japan)을 사용하여, 시료를 카본 양면테이프에 부착 후 gold-palladium으로 코팅한 다음 15 kV의 가속전압에서 관측하였다.

### X-선 회절분석

전분시료의 결정성은 X-선 회절분석기(D/Max-2500V/PC, Rigaku Denki Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 가속전압 30 kV, 15 mA에서 회절각도 3-40°, 스캔속도 3.0°/min의 조건으로 측정된 시료의 X-선 회절양상으로 조사하였다.

### 페이스팅 특성

고압균질처리조건에 따른 전분시료의 페이스팅 특성은 신속점도분석기(Rapid Visco Analyzer, RVA, RVA-3D, Newport Scientific Ltd., Warriewood, Australia)를 사용하여 측정하였다. 고형분농도 10% (w/w)의 전분현탁액을 50°C까지 가열 후 1분간 유지한 다음 50°C에서 95°C까지 4.5분 동안 가열, 95°C에서 2분간 유지, 95°C에서 50°C까지 4.5분 동안 냉각, 50°C에서 1분간 유지하는 가열, 가열 유지, 냉각, 냉각유지 단계에서의 점도(RVA unit) 변화로서 페이스팅 특성을 조사하였다.

### 통계분석

모든 자료는 평균과 표준편차를 산출하여 표시하였으며, 처리시료의 유의 차는 분산분석(ANOVA) 후 Duncan의 다중비교법으로 검증하였다( $p < 0.05$ ). 통계분석은 SPSS 통계 프로그램(SPSS Statistics 21, IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 전분손상도

예열온도와 고압균질 압력수준에 따른 옥수수전분의 손상전분함량을 Table 1에 표시하였다. 손상전분함량은 34.5

MPa의 압력수준에서는 예열온도에 관계없이 무처리전분시료와 동일하였으나, 69 MPa로 압력이 증가함에 따라 50 및 60°C 예열의 처리시료는 손상전분함량이 각각  $3.53 \pm 0.31$  및  $3.80 \pm 0.74\%$ 로 미미하게 증가하며 예열온도에 따른 유의적 차이는 없었다. 반면 138 MPa의 압력에서는 50 및 60°C 처리시료의 손상전분함량은 각각  $5.38 \pm 0.54$  및  $6.75 \pm 0.81\%$ 로서 압력수준과 예열온도에 비례하여 증가하였으나 손상수준은 그다지 높지 않았다. 이 같은 결과는 짧은 처리시간(<20 s)을 갖는 고압균질공정의 특성으로 전분 손상이 압력수준에 비해 낮은 수준으로 발생하는 것으로 판단된다.

예열온도와 고압균질 처리횟수에 따른 손상전분함량을 Table 2에 표시하였다. 손상전분함량은 고압균질 처리횟수에 비례하여 큰 폭으로 증가하였고 예열온도가 높을수록 손상 수준 또한 증가하는 양상을 나타내었다. 즉, 50°C 예열 후 2 및 3회 반복처리한 경우 손상전분함량은 각각  $16.79 \pm 1.50$  및  $25.85 \pm 0.73\%$ 로 증가하였고, 상응하는 60°C의 반복처리시료에서는 손상전분함량이 더욱 큰 폭으로 증가하며 3회 반복처리한 경우  $35.02 \pm 0.19\%$ 의 최대 손상전분함량이 측정되었다. 이 같은 결과는 반복처리에 따라 길어진 고압균질 처리시간 때문에 전분손상이 높은 수준으로

일어나며, 높은 예열온도에서 손상이 용이하게 발생하기 때문에 판단된다.

#### 전분입자의 형태학적 특성

예열온도와 고압균질 압력수준에 따른 옥수수전분의 입자형태를 주사전자현미경으로 관측하여 Fig. 1에 표시하였다. 50°C 예열 후 34.5 MPa의 압력으로 처리한 시료는 무처리전분과 비교하여 형태의 차이가 없었으나(Fig. 1(A1)), 69 MPa에서는 표면과 모서리가 부분 마모된 입자형태가 관측되었다(Fig. 1(A2)). 또한 138 MPa의 압력처리에서는 대부분의 입자가 둥글게 마모되고 일부에서는 표면이 얇게 절삭된 형태가 관측되었으나, 파열과 같은 입자 손상은 발생하지 않았다(Fig. 1(A3)). 이와 같은 손상형태는 고압균질과정에서 발생하는 입자간의 충돌과 전단력으로 표면이 마모된 결과로서, 압력이 높을수록 손상된 전분입자의 변형은 높은 수준으로 발생하였다. 고압균질처리에 따른 전분입자의 손상과 관련하여 Guraya & James (2002)는 쌀전분 표면에 결합된 단백질은 고압균질처리에 의해 제거된다고 보고한 바 있다.

한편 60°C 예열 후 34.5 MPa의 압력으로 처리한 시료는 상응하는 50°C 예열 처리 시료와 달리 입자 표면의 마모 발생이 관측되었고, 69 MPa에서는 50°C, 138 MPa 처리시료와 유사한 구형으로 마모된 입자형태가 관측되었다. 또한 138 MPa의 압력에서는 마모된 형상의 입자 손상과 함께 입자들이 덩어리 형태로 뭉침이 관측되어(Fig. 1(B1-3)), 예열온도가 높을수록 전분입자의 변형과 손상은 증가하는 것을 확인하였다. 이 같은 관측결과는 80 MPa의 고압균질처리에 따라 옥수수에서 추출한 입자형태의 아밀로오스는 표면이 손상되고, 160-200 MPa의 압력에서는 입자들이 덩어리를 형성한다는 Tu et al. (2013)의 보고와 유사하였다.

예열온도와 고압균질 처리횟수에 따른 옥수수전분의 입자형태를 Fig. 2에 표시하였다. 50°C 예열 후 138 MPa의 압력에서 반복처리한 시료는 동일 조건의 반복처리하지 않은 시료에 비해 높은 수준으로 표면이 마모되며(Fig. 2(A2)), 3회 반복처리한 경우에는 손상된 작은 입자들이 얇은 전분 막에 둘러 쌓인 형태가 관측되었다(Fig. 2(A3)). 한편 60°C 반복처리시료에서는 손상된 입자간의 뭉침이 발생하고(Fig. 2(B2)), 3회 반복처리한 경우에는 입자들이 하나로 뭉쳐진 덩어리 형태를 나타내었다(Fig. 2(B3)). 이와 같은 반복처리시료의 손상형태는 예열온도에 따라 전분의 손상이 상이한 방식으로 진행되기 때문으로 추정된다. 즉, 50°C 처리시료의 경우 전분입자의 손상은 표면이 마모, 절삭되는 방식으로 일어나는 반면 60°C 처리시료에서는 온도 상승에 따른 전분입자의 가소성 증가로 반복처리과정에서 입자들이 서로 뭉쳐지고 변형, 압착되는 방식으로 전분이 손상되는 것으로 추정된다. 일반적으로 전분입자의 유연성(pliability)과 변형성(deformability)은 온도 상승에 따른 분

**Table 1. Enzyme susceptible starch contents of maize starches microfluidized with different preheating temperature and pressure level**

Microfluidization condition		Enzyme susceptible starch (%) <sup>a</sup>
Temp. (°C)	Pressure (MPa)	
50	34.5	2.53±0.12 <sup>a</sup>
	69.0	3.53±0.31 <sup>b</sup>
	138	5.38±0.54 <sup>c</sup>
60	34.5	1.98±0.50 <sup>a</sup>
	69.0	3.80±0.74 <sup>b</sup>
	138	6.75±0.81 <sup>d</sup>
Untreated maize starch		2.53±0.42 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Values are mean ± standard deviation.

<sup>a-d</sup>Values with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 2. Enzyme susceptible starch contents of maize starches microfluidized at 138 MPa with different preheating temperature and pass number**

Microfluidization condition		Enzyme susceptible starch (%) <sup>a</sup>
Temp. (°C)	Pass number	
50	1	5.38 ± 0.54 <sup>a</sup>
	2	16.79±1.50 <sup>b</sup>
	3	25.85±0.73 <sup>d</sup>
60	1	6.75±0.81 <sup>a</sup>
	2	19.39±0.93 <sup>c</sup>
	3	35.02±0.19 <sup>e</sup>

<sup>a</sup>Values are mean ± SD.

<sup>a-e</sup>Values with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ).

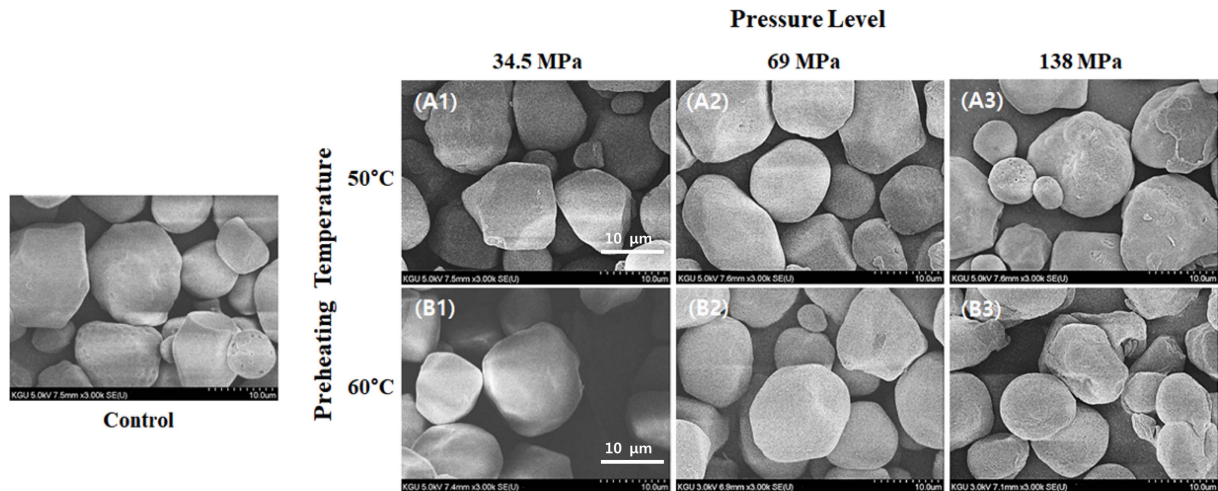


Fig. 1. Scanning electron micrographs of maize starch granules microfluidized at different preheating temperature and pressure level ( $\times 3,000$ ).

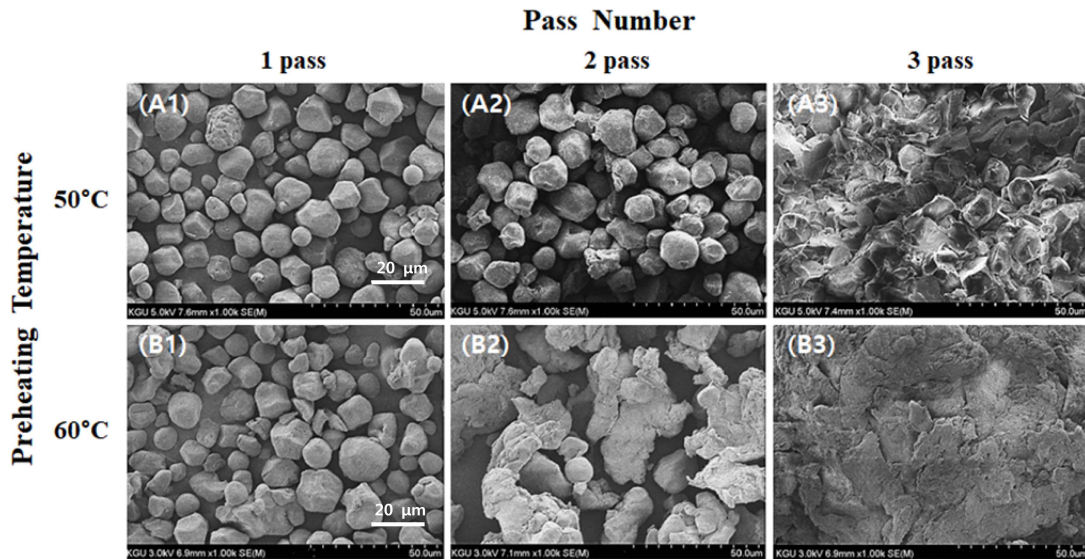


Fig. 2. Scanning electron micrographs of maize starch granules microfluidized at 138 MPa with different preheating temperature and pass number ( $\times 1,000$ ).

자의 운동성 증가로 높은 온도조건에서 더욱 상승한다 (Delcour & Hosney, 2010). 따라서 전분입자의 손상과 변형은 50°C에서 보다 일반적인 옥수수전분의 호화온도(65-72°C)에 근접한 60°C 예열온도에서 용이하게 발생하는 것으로 예상된다.

전분입자의 결정성

전분의 결정특성은 결정의 크기, 입자 내 결정성영역의 분포수준, 분자사슬의 배향 등에 영향을 받으며, X-선 회절양상에 따라 A, B, C형으로 구분된다(Zobel, 1988). 옥수수전분은 전형적인 A형 결정으로서 회절각도(2θ) 15, 17, 18 및 23° 부근에서 주 회절피크가 발생하는 회절특성을 갖고 있다. 고압균질 압력수준과 처리횟수에 따른 옥수

수전분의 X-선 회절양상을 예열온도에 따라 Fig. 3과 4에 각각 표시하였다. 반복처리하지 않은 모든 시료는 예열온도와 압력수준에 관계없이 무처리시료와 동일한 회절양상을 나타내었다(Fig. 3(a), 4(a)). 이러한 결과는 선행 손상전분함량 및 전자현미경 관측으로 확인한 바와 같이, 전분 손상이 표면에서 낮은 수준으로 발생함에 따라 입자 내의 결정성영역이 손상되지 않기 때문으로 판단된다.

한편 고압균질처리의 반복에 따라 50°C 처리시료는 주 회절피크의 세기가 감소한 회절양상을 보이며, 이러한 회절양상은 3회 반복처리한 시료에서도 동일하게 관찰되었다(Fig. 3(b)). 이에 따라 고압균질 반복처리과정의 높은 전단력과 마찰력에 의해 전분의 결정 유형은 변화하지 않으나, 결정성은 부분 손실되는 것을 확인하였다. 예열온도에 따

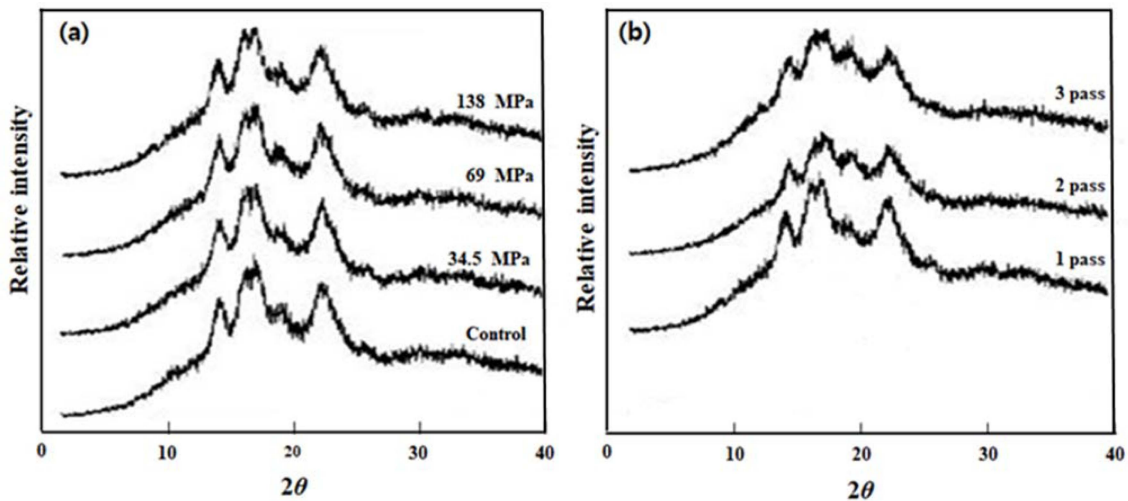


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of microfluidized maize starch preheated at 50°C. (a): microfluidized at different pressure level, (b): microfluidized at 138 MPa with various pass number.

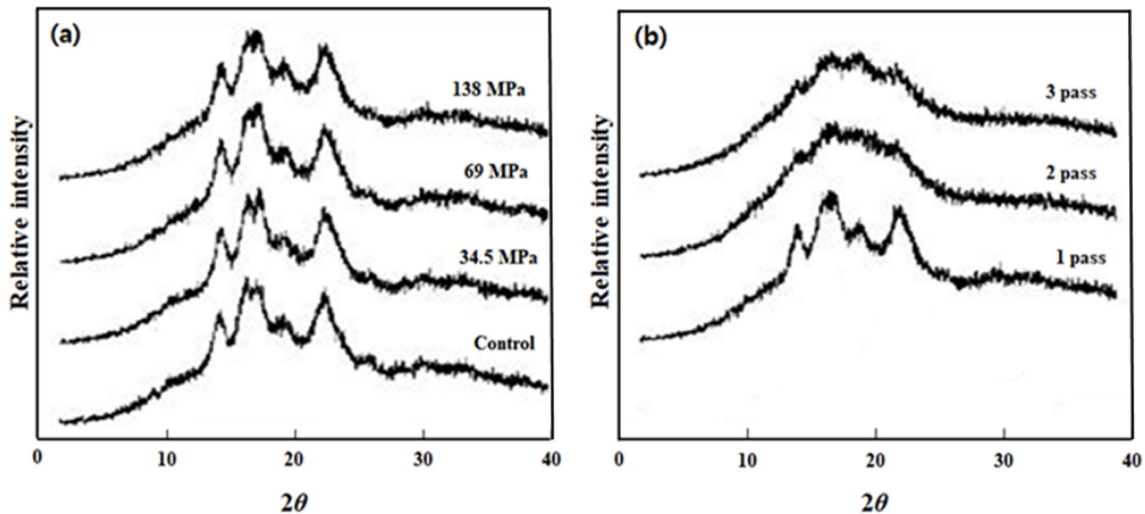


Fig. 4. X-ray diffraction pattern of microfluidized maize starch preheated at 60°C. (a): microfluidized at different pressure level, (b): microfluidized at 138 MPa with various pass number.

라 60°C 반복처리시료의 경우 50°C의 3회 반복처리한 시료에 비해 낮은 손상전분함량에도 불구하고 회절피크가 소실된 무정형의 회절특성을 나타내었는데(Table 2, Fig. 4(b)), 이는 예열온도에 따른 전분 손상방식의 차이에 기인한 결과로 추정된다. 즉, 반복처리과정에서 발생하는 전분 입자의 손상이 표면에서 발생하는 50°C 처리시료와 달리, 60°C 처리시료는 반복처리과정에서의 손상 전분입자간 압착, 파손, 뭉침(Fig. 2(B2))에 따라 입자 내 대부분의 결정성영역이 파손되는 것으로 예상된다.

#### 고압균질처리조건에 따른 전분의 페이스팅 특성변화

50°C에서 138 MPa의 압력으로 1회 처리한 옥수수전분시료는 예상과 같이 RVA 가열, 가열유지 및 냉각 cycle에서 무처리시료에 비해 다소 낮은 점도의 동일한 점도특성을 나

타내었다(Fig. 5). 반면 상응하는 60°C 처리시료에서는 50°C 처리시료에 비해 페이스팅 점도가 낮고 shear thinning이 낮은 수준으로 발생하는 페이스팅 특성이 확인되었다(Fig. 6(B)). 이와 같은 상이한 페이스팅 특성은 시료간의 유사한 손상전분함량을 고려할 때(Table 1), 예열온도에 따른 전분의 손상방식 차이에 기인한 결과로 추정된다.

고압균질 처리횟수에 따른 옥수수전분의 RVA 점도 프로파일을 예열온도에 따라 Fig. 6에 표시하였다. 모든 시료는 처리횟수에 관계없이 가열과정에서 수화속도가 느리지며 페이스팅 점도가 감소하였고 가열유지과정에서는 shear thinning이 낮은 수준으로 발생하는 유사한 페이스팅 양상을 나타내었다(Fig. 6(A, B)). 한편 예열온도에 따라 60°C 반복처리시료는 상응하는 50°C 처리시료에 비해 낮은 페이스팅 점도를 보이며 가열유지과정에서의 shear thinning이



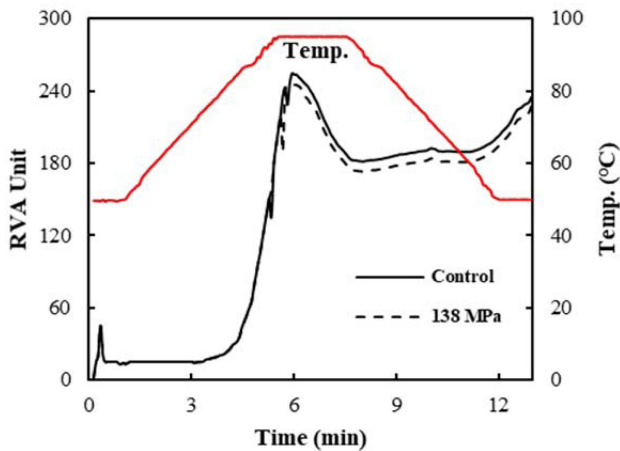


Fig. 5. RVA profiles of maize starches. Control: untreated maize starch, 138 MPa: maize starch preheated at 50°C before microfluidization at 138 MPa without repetition.

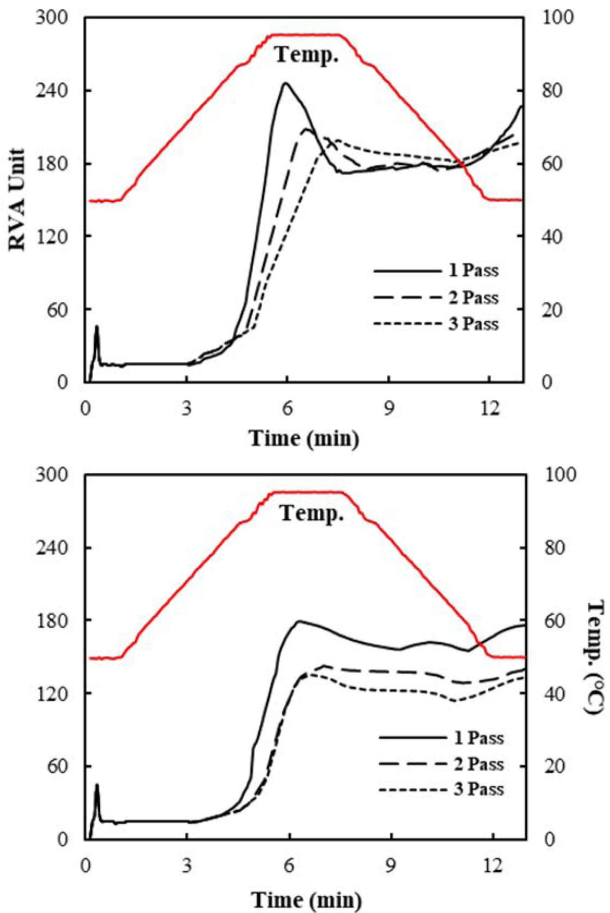


Fig. 6. RVA profiles of preheated maize starches microfluidized at 138 MPa with different pass number. (A): preheated at 50°C before microfluidization, (B): preheated at 60°C before microfluidization.

발생하지 않는 전형적인 가교전분의 페이스팅 특성을 나타내었다. 이와 같은 고압균질 반복처리시료의 페이스팅 특

성에 따라 전분의 물리적 변성방법으로서 고압균질공정의 적용이 가능할 것으로 예상된다.

### 요 약

본 연구에서는 예열온도(50, 60°C), 압력수준(34.5, 69, 138 MPa) 및 처리횟수(1, 2, 3회)에 따른 고압균질처리 옥수수전분의 이화학적특성을 측정하여 처리조건이 전분의 물성에 미치는 영향을 규명하였다. 반복처리하지 않은 옥수수전분의 손상전분함량은 예열온도와 압력에 비례하여 60°C, 138 MPa의 조건에서 6.75±0.81%의 최대 측정치로 증가하였으나, 손상전분함량의 증가 폭은 크지 않았으며 예열온도의 영향은 미미하였다. 반면 동일한 압력조건(138 MPa)에서 반복처리한 경우 손상전분함량은 처리횟수와 예열온도에 비례하여 큰 폭으로 증가하여, 60°C, 3회 처리에서 35.02±0.19%의 높은 손상전분함량을 나타내었다. 이러한 결과는 반복처리하지 않은 경우 고압균질처리의 짧은 처리시간으로 인해 전분이 낮은 수준으로 손상되거나 반복처리의 경우에는 길어진 처리시간으로 전분 손상이 높은 수준으로 발생하며 높은 예열온도에서 전분 손상이 보다 용이하게 일어나기 때문으로 예상된다. 고압균질처리에 의한 전분 손상은 처리과정에서 발생하는 입자간의 충돌과 전단력으로 입자 표면이 마모되는 방식으로 일어나며, 예열온도와 압력이 높을수록 입자 형태는 높은 수준으로 변형되었다. 또한 전분입자의 손상수준과 손상방식은 예열온도와 처리횟수에 따라 상이하여, 50°C 반복처리의 경우 전분입자의 손상은 표면이 마모되는 방식으로 일어나고, 60°C 반복처리에서는 온도상승에 따른 전분입자의 가스성 증가로 손상된 입자들이 처리과정에서 압착, 변형되어 뭉침이 발생하는 것으로 추정된다. 고압균질처리시료의 X-선 회절특성 측정결과, 반복처리하지 않은 모든 시료는 예열온도와 압력수준에 관계없이 무처리시료와 동일한 X-선 회절양상을 나타내었으나, 50°C 반복처리의 경우 주 회절피크 세기가 감소하는 결정성의 부분 손실이 발생하였고 60°C 반복처리에서는 회절피크가 소실된 무정형의 회절양상을 확인하였다. RVA 프로파일 측정결과, 모든 반복처리시료는 가열과정에서 수화속도가 느려지며 페이스팅 점도가 감소하였고 가열유지과정에서는 점도 저하가 낮은 수준으로 발생하는 페이스팅 특성을 나타내었다. 특히 60°C 반복처리시료의 경우 페이스팅 과정의 낮은 호화 점도와 함께 가열유지과정에서의 점도 저하가 발생하지 않는 전형적인 가교전분의 페이스팅 특성을 나타내어, 전분의 물리적 변성방법으로서 고압균질공정의 적용 가능성을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년도 경기대학교 연구년 지원에 의해 수

행되었으며 이에 감사 드립니다.

## References

- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (No. 73-31.01), St. Paul, MN, USA.
- Augustin MA, Sanguansri P, Htoon A. 2003. Functional performance of a resistant starch ingredient modified using a microfluidizer. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4: 367-376.
- Buléon A, Colonna P, Planchot V, Balls S. 1988. Starch granules: structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* 23: 85-112.
- Delcour JA, Hosney RC. 2010. Principles of Cereal Science and Technology. In: Glass Transition and Its Role in Cereals. AACC International Inc., St. Paul, MN, USA, pp. 97-106.
- Din ZU, Xiong H, Fei P. 2017. Physical and chemical modification of starches: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57: 2691-2705.
- Duan D, Tu Z, Wang H, Sha X, Zhu X. 2017. Physicochemical and rheological properties of modified rice amylose by dynamic high-pressure microfluidization. *Int. J. Food Prop.* 20: 734-744.
- Gallant DJ, Bouchet B, Buléon A, Perez S. 1992. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S3-16.
- Gong K, Chen I, Xia H, Dai H, Li X, Sun L. 2019. Driving forces of disaggregation and reaggregation of peanut protein isolates in aqueous dispersion induced by high-pressure microfluidization. *Int. J. Biol. Macromol.* 130: 915-921.
- Guraya HS, James C. 2002. Deagglomeration of rice starch-protein aggregates by high-pressure homogenization. *Starch* 54: 108-116.
- Hickman BE, Janaswamy S, Yao Y. 2008. Properties of starch subjected to partial gelatinization and  $\beta$ -amylolysis. *J. Agric. Food Chem.* 57: 666-674.
- Iordache M, Jelen P. 2008. High pressure microfluidization treatment of heat denatured whey proteins for improving functionality. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 9: 224-231.
- Jobling S. 2004. Improving starch for food and industrial application. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7: 210-218.
- Lagoueyte N, Paquin P. 1998. Effects of microfluidization on the functional properties of xanthan gum. *Food Hydrocolloid.* 12: 365-371.
- Liu W, Liu J, Liu C, Zhong H, Liu W, Wan J. 2009. Activation and conformational changes of mushroom polyphenol oxidase by high pressure microfluidization treatment. *Innov. Food Sci. Emerg.* 10: 142-147.
- Mert B, Tekin A, Demirkesen I, Kocak G. 2014. Production of microfluidized wheat bran fibers and evaluation as an ingredient in reduced flour bakery products. *Food Bioprocess Technol.* 7: 2889-2901.
- Pomeranz Y. 1985. Carbohydrates: Starch. In: Functional properties of food components. Schwegert BS, Hawthorn J. (eds). Academic Press, Orlando, FL, USA, pp. 49-64.
- Schoch TJ. 1965. Starch in bakery products. *Bakers Dig.* 39: 48-57.
- Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications - A review. *Food Hydrocolloid.* 21: 1-22.
- Tester RF, Karkalas J, Qi X. 2004. Starch-Composition, fine structure and architecture. *J. Cereal Sci.* 39: 151-165.
- Tu Z, Zhu XM, Chen G, Wang H, Zhang B, Huang X, Li Z. 2010. Effect of dynamic high-pressure microfluidization on the structure of waxy rice starch. *Spectrosc. Spect. Anal.* 30: 834-837.
- Tu Z, Yin Y, Wang H, Liu G, Chen L, Zang P, Kou Y, Zhang L. 2013. Effect of dynamic high-pressure microfluidization on the morphology characteristics and physicochemical properties of maize amylose. *Starch* 65: 390-397.
- Villalobos-Castillejos F, Granillo-Guerrero VG, Leyva-Daniel DE, Alamilla-Beltran L, Gutierrez-Lopez GF, Monroy-Villagrana A, Jafari SM. 2018. Fabrication of Nanoemulsions by Microfluidization. In: Nanoemulsions: Formulation, Applications and Characterization. Jafari SM, McClements DJ. (eds). Academic Press, Cambridge, MA, USA, pp. 207-232.
- Wang T, Sun X, Zhou Z, Chen G. 2012. Effect of microfluidization process on the physicochemical properties of wheat bran. *Food Res. Inter.* 48: 742-747.
- Zhang W, Xie F, Lan X, Gong S, Wang Z. 2017. Characteristics of pectin from black cherry tomato waste modified by dynamic high pressure microfluidization. *J. Food Eng.* 216: 90-97.
- Zobel HF. 1988. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch* 40: 1-7.

## Author Information

강은정: 경기대학교 식품생물공학과 연구원

이재권: 경기대학교 식품생물공학과 교수