

## 찰성밀과 보통밀간의 이화학적 특성 비교

이춘기<sup>\*†</sup> · 남중현<sup>\*</sup> · 강문석<sup>\*</sup> · 구본철<sup>\*</sup> · 박광근<sup>\*</sup> · 김재철<sup>\*</sup> · 손영구<sup>\*</sup> ·  
박정화<sup>\*</sup> · 이영호<sup>\*</sup> · 손종록<sup>\*</sup> · 민용규<sup>\*\*</sup>

\*농촌진흥청 작물과학원, \*\*충북대학교 식품공학과

## Comparison of Physico-Chemical Properties between Waxy and Non-waxy Wheat Grains

Choon-Ki Lee<sup>\*†</sup>, Jung-Hyun Nam<sup>\*</sup>, Moon-Seok Kang<sup>\*</sup>, Bon-Chol Ku<sup>\*</sup>, Kwang-Keun Park<sup>\*</sup>, Jae-Cheol Kim<sup>\*</sup>, Young-Koo Son<sup>\*</sup>, Jeong-Hwa Park<sup>\*</sup>, Yeong-Ho Lee<sup>\*</sup>, Jong-Rok Son<sup>\*</sup>, and Young-Kyoo Min<sup>\*\*</sup>

\*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

\*\*Dep. of Food Sci. & Technol., Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju 361-763, Korea

**ABSTRACT :** For the purpose to verify the physico-chemical properties of Korean waxy wheat, comparative analyses between waxy wheat lines and their respective maternal parents were performed on mixing and pasting properties, and flour particle sizes. The particle sizes of waxy wheat flour were significantly larger than those of their parents when milled in a same condition. Although the protein contents of flour in waxy wheat lines tested were high as much as those of bread wheat, the quality parameters showed lower baking uses based on sedimentation volumes and mixing characteristics. Waxy flour required more water than non-waxy flour to obtain the proper mixogram. Waxy wheat flour showed more or less higher onset pasting temperatures and much higher breakdown viscosities than their respective parent flour in the Rapid ViscoGraph test. Moreover, peak viscosity temperatures and final viscosities were dramatically reduced in waxy wheat lines by showing 79.4 - 81.7°C and 101 - 116.9 RVU, respectively, compared to their parents in that the temperatures above 95°C and the viscosity ranges of 148 - 171.8 RVU.

**Keywords:** wheat, waxy wheat, physico-chmeical property, quality

밀에서 전분을 구성하는 아밀로펩틴과 아밀로스의 비율은 가열중 전분의 호화와 냉각중 노화 행동에 영향을 줄 뿐 아니라 제품의 조직감이나 물성에도 큰 영향을 미치기 때문에 중요시 하는 품질평가요소중 하나이다.

아밀로펩틴은  $\alpha$ 1,4 결합의 주 사슬에서 매 20~25개 포도당 단위마다  $\alpha$ 1,6 결합의 분기점을 1차, 2차, 3차 이상 형성하게

되어 전체 결합중 4~5%에 달하는 높은 비율로  $\alpha$ 1,6 분기점을 갖는 구조를 지닌다(Manners, 1989). 따라서 아밀로펩틴은 1분자당 1개의 환원말단과 다중의 비 환원말단을 갖는 거대분자로서  $3 \times 10^5$ ~ $3 \times 10^6$ 의 glucose 중합도를 보이며(Zobel, 1988), 전분립의 골격을 형성한다(Jenkins *et al.*, 1995). 종실 발달중 아밀로펩틴의 밑 둥지에 해당하는 환원말단은 전분립 중심에 위치하고, 비환원 말단은 전분립 바깥쪽을 향해 방사선적으로 정교하게 신장되면서 생합성 주기에 맞춰 동심원적으로 반결정형층(semicrystalline layer)과 무정형층(amorphous layer)으로 된 성장환(growth ring)을 반복 생성하면서 전분립을 발달시키게 된다(Gidley, 1992, French, 1984).

전분의 노화를 촉진하는 것으로 알려진 아밀로스는 한 분자당  $\alpha$ 1,6 결합으로 분지된 4~100 glucose 중합도의  $\alpha$ 1,4 결합 사슬을 2~8개정도의 포함하기도 하나(Lineback *et al.*, 1988; Hizukuri *et al.*, 1997), 대부분  $\alpha$ 1,4 glucose 결합으로 된 직선상의 탄수화물로서 500~6,000 glucose 중합도를 가지며 (Zobel, 1988), 전분립의 무정형 층에 축적되는 것으로서 granule 형성을 위해 요구되는 필수성분은 아니다(Jenkins *et al.*, 1995).

밀 배유 전분립은 크기와 모양이 서로 독특한 2~3개 형태로 축적되는데, 이들은 학자에 따라 A형과 B형의 두 가지(Sandstedt *et al.*, 1946, Buttrose 1960, 1962; Evers 1973, 1977; Peterson *et al.*, 2001) 또는 A형, B형 및 C형의 3가지(Bechtel *et al.*, 1990; Igrejas *et al.*, 2002) 유형의 전분립으로 분류되고 있다. 이중 A형 전분립은 크고, 볼록렌즈 모양을 지닌 반면에 B와 C형 전분립은 작고, 공 모양을 갖는다.

밀 전분점도를 직선상의 아밀로스 분자와 가지를 친 아밀로펩틴 분자의 비율로 부분적 설명이 가능한데, 아밀로펩틴의 비율이 높을수록 전분점도를 증가시키게 된다(Yamamori, 2000b). 6배체 찰성밀(waxy-type)과 보통밀(wild-type)을 교배

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6787 (E-mail) lee0ck@rda.go.kr      <Received August 2, 2005>

시켜서 Wx-A1, -B1 및 -D1 단백질의 유무에 따라 1개의 메성(wild-type), 1개의 찰성(waxy-type) 및 6개의 부분찰성(partial waxy type)으로 구성된 8가지의 isotype 개발이 가능하다(Yamamori, 2000a; Nakamura *et al.*, 1993). Yamamori *et al.*(2000b)은 찰성밀과 메성밀을 교배해서 육성된 부분찰성밀을 대상으로 RVA pasting특성의 조사결과에서 최고점도를 제외한 모든 parameter가 아밀로스 함량과 유의적( $p<0.01$ ) 상관을 나타냈는데 breakdown은 부의 상관을 보인 반면에 나머지는 모두 정의 상관을 지녔다고 하였다. Zeng *et al.*(1997)도 아밀로스 함량과 Rapid viscoanalyzer (RVA)의 최고점도와 부의 상관성을 보고하였다.

본 연구에서는 국내 육성중인 찰성밀 계통의 품질특성과 식품 신소재로서 기능성을 구명할 목적으로 전보에 이어 국내 보통밀과 찰성밀간 이화학적 품질의 비교시험이 이루어졌다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

본시험에 사용된 시료중 SW97134-B-WF1-12 (금강밀/찰4 조합에서 육성된 계통으로서 SW97134로 표기), 수원 292호(올그루밀/찰2 조합), SW97105-B-WF14 (우리밀/찰1 조합에서 육성된 계통으로서 SW97105로 표기) 및 SW97110-B-WF23-13 (그루밀/찰2 조합에서 육성된 계통으로서 SW97110으로 표기)는 찰성밀로서 국내 보통밀 11개 품종(고분밀, 그루밀, 은파밀, 탑동밀, 우리밀, 올그루밀, 알찬밀, 진풀밀, 금강밀, 서둔

밀, 조은밀)과 함께 2001년도에 작물시험장에서 재배 생산된 종실을 대상으로 시험이 이루어졌고, 표 1에 수록된 그 밖의 찰성밀 계통(이탈릭체 표기)은 2002년도에 작물시험장에서 재배 생산된 종실을 대상으로 조사가 이루어졌다.

### 일반성분 분석

AACC 방법(1990)에 준해 수분은 분쇄된 가루를 사용 130°C 상압에서 오븐 건조법(AACC Method 44-15A), 조단백질은 micro Kjeldahl법(AACC Method 46-13), 회분은 570 °C회화로(Electric Muffle Furance Model 501-1B, Sam Duk Science & Ind., Korea)에서 AACC Method 08-01에 준해 각각 측정하였으며, 정량된 수치는 수분 14%기준으로 환산하였다.

아밀로스의 분석은 William 방법(1977)에 준해 100 mesh체로 쳐서 얻어진 밀가루를 100mg 평량하여 100ml mass flask에 담아 95% ethanol 1ml와 IN NaOH 9ml를 가해 20분 정도 둔 다음 끓는 수조에 넣고 10분간 호화시켜 식힌 다음 20°C 중류수로 100ml가 되게 채워 잘 섞은 뒤 피펫으로 5ml를 취해 50ml 정도의 중류수가 담긴 100ml mass flask에 옮긴 다음 IN acetic acid 용액 1ml와 I2-KI용액 2ml를 첨가한 후 100ml가 되게 중류수를 채워서 잘 흔들어 발색반응이 일어나도록 20분 정치하였다. 요오드 발색이 완료된 시료용액은 Colorimeter (Spectronic 20, USA) 620nm에서 흡광도를 측정하여 감자전분 아밀로스를 표준으로 해서 apparent 아밀로스 함량으로 환산하였다. 시약은 모두 시약급 이상을 이용하였다.

Table 1. List of samples tested.

Sample name	Variety or pedigree name	Features <sup>†</sup>	Starch type
Keumgang	Keumgangmil	Hard wheat	Non-waxy
Olgeuru	Olgeurumil	Soft wheat	"
Woorimil	Woorimil	Soft wheat	"
Geurumil	Geurumil	Semi-hard wheat	"
SW97134	SW97134-B-WF1-12	Descendant of Keumgangmil and Chal #4	Waxy
Suwon 292	Suwon 292	Descendant of Olgeurumil and Chal #2	"
SW97105	SW97105-B-WF14	Descendant of Woorimil and Chal #1	"
SW97110	SW97110-B-WF23-13	Descendant of Geurumil and Chal #2	"
SW97113	SW97113-B-WF8-23	Descendant of Olgeurumil and Chal #1	"
SW97114	SW97114-B-WF2-11	Descendant of Olgeurumil and Chal #2	"
SW97106	SW97106-B-WF20-12	Descendant of Woorimil and Chal #2	"
SW97116	SW97116-B-4-1-3-1-1	Descendant of Olgeurumil and Chal #4	"
Kobun	Kobunmil	Semi-hard wheat	Non-waxy
Eunpa	Eunpamil	Semi-hard wheat	"
Tapdong	Tapdongmil	Hard wheat	"
Alchan	Alchannmil	Semi-hard wheat	"
Jinpum	Jinpummil	Semi-hard wheat	"
Seodun	Seodunmil	Semi-hard wheat	"
Joeun	Joeunmil	Semi-hard wheat	"

<sup>†</sup>Chal #1-4 : Progenies obtained from the cross between Kanto 107 and Baihuo

## 제분

정선된 종실시료 1 kg을 뚜껑을 닫아 밀폐할 수 있는 플라스틱 용기에 담아 재분하기 18~24시간 전에 14% 수분함량이 되도록 물을 가하여 표면에 고루 물이 묻하게 충분히 섞어 준 다음 상온에서 *tempering* 과정을 거쳐 Buhler 제분기(Buhler Ltd, 스위스)에서 제분하였다.

## Mixogram

AACC Method 54-40A(1990)에 준해 10g 측정용 믹소그라프(National MFG, USA)를 사용 밀가루시료 10g(14% MB)에 대해 증류수를 6.5와 7.0ml의 두 가수조건에서 각각 7분간 mixograph를 가동하여 반죽곡선을 얻었다. 반죽곡선이 최고높이까지 도달되는데 걸린 시간을 반죽시간으로 나타냈고, 최고높이를 반죽높이, 최고높이를 기준으로 반죽곡선의 상단이 머무는 시간을 안정도로 나타냈다.

## 침전가 및 백도

침전가는 밀가루를 대상으로 AACC Method 56-61A(150)에 준해 측정하였고, 밀가루 및 밀쌀의 백도는 백도계(Kett, 일본)를 사용 시료당 10반복 측정한 값을 평균하였다.

## 밀가루의 입도분포

Buhler에서 제분된 밀가루를 대상으로 Particle Size Analyzer(Coulter KS200, U.S.A.)에서 용매로 ethanol을 사용하여 입자의 크기, 비 표면적 및 입도 분포를 측정하였다.

## Pasting 특성

수분함량 14%기준으로 밀가루 시료 3g에 대하여 증류수

25ml를 가해 Rapid Visco-Analyser에서 초기온도 50°C에서 1분간 유지한 다음 1분당 12.16°C씩 가온하여 3.7분동안 95°C 까지 승온시켰고, 이 온도로 2.5분간 유지하였다. 뒤 이어 1분당 12.16°C씩 온도를 하강시켜 3.8분에 걸쳐 50°C까지 냉각시킨 다음 2분간 유지시키면서 온도에 따른 밀가루 혼탁액의 점도변화를 측정하였다. 변수로는 호화개시온도, 최고점도, 최고점도시 온도, 최저점도 및 최종점도가 측정되었다. Breakdown 점도는 최고점도에서 최저점도를 감해서 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 찰성밀과 그 모본 밀가루간의 입자크기 비교

Particle size analyzer(Coulter KS200, U.S.A.)에서는 입자크기별 입자 수, 입자표면적 및 용적율의 세 가지 특성을 측정할 수가 있는데, 동 기종을 사용해서 찰성밀과 보통밀의 밀가루에서 이들 3가지 요소를 측정한 결과 모든 시료에서 공통적으로 수적으로는 대략 0.496 $\mu\text{m}$  직경에서 가장 많은 입자가 존재하는 unimodal 분포를 나타냈고, 입자크기별 표면적은 0.72~0.79 $\mu\text{m}$ , 17.2~22.7 $\mu\text{m}$  및 101~121 $\mu\text{m}$  직경에서 각각 peak를 나타내는 trimodal 표면적 분포를 보여줬다. 그러나 입자크기별 용적은 표 2에서처럼 시료에 따라 2~3개의 peak를 나타냄으로서 다소 차이가 있었다. 130~150 $\mu\text{m}$  범위의 입자직경이 보이는 용적율 peak는 모든 시료에서 공통적으로 나타나면서 가장 뚜렷한 형태를 보인 반면에 다른 peak는 시료에 따라 결여되기도 하였고, 1.5~2.5 $\mu\text{m}$ 직경의 peak는 유판식별이 곤란할 정도로 작은 높이를 보였다. 제분과정에서 matrix나 비전분물질이 부서져서 일부 포함되기도 하겠지만 1.5~2.5 $\mu\text{m}$ 와 20~35 $\mu\text{m}$  사이에서 나타난 peak는 각각 독립적으로 분리된 C

**Table 2.** Particle size distribution modes of the flours of waxy and non-waxy wheat, and particle size and volume rate at peaks based on volume.

Variety or lines	Particle size distribution	Particle size and volume rate at peak		
		1st peak	2nd peak	3rd peak
SW97134	Bimodal	146.8 $\mu\text{m}$ (6.77%)	-	1.83 $\mu\text{m}$ (0.11%)
Keumgangmil	Bimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.51%)	-	1.67 $\mu\text{m}$ (0.13%)
Suwon 292	Bimodal	146.8 $\mu\text{m}$ (5.38%)	22.73 $\mu\text{m}$ (2.08%)	-
SW97113	Trimodal	146.8 $\mu\text{m}$ (5.84%)	20.70 $\mu\text{m}$ (1.96%)	2.21 $\mu\text{m}$ (0.21%)
SW97114	Bimodal	146.8 $\mu\text{m}$ (5.33%)	22.73 $\mu\text{m}$ (2.23%)	-
Olgeurumil	Trimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (5.47%)	20.70 $\mu\text{m}$ (2.28%)	2.01 $\mu\text{m}$ (0.24%)
SW97105	Trimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.47%)	24.95 $\mu\text{m}$ (1.37%)	1.67 $\mu\text{m}$ (0.14%)
Woorimil	Trimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (5.44%)	22.73 $\mu\text{m}$ (2.50%)	1.83 $\mu\text{m}$ (0.23%)
SW97110	Bimodal	146.8 $\mu\text{m}$ (6.90%)	-	1.67 $\mu\text{m}$ (0.11%)
Geurumil	Bimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.48%)	-	2.01 $\mu\text{m}$ (0.14%)
Seodunmil	Bimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.59%)	-	1.67 $\mu\text{m}$ (0.13%)
Jinmpum	Bimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.60%)	-	1.83 $\mu\text{m}$ (0.11%)
Tapdong	Bimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.75%)	-	1.52 $\mu\text{m}$ (0.13%)
Joeunmil	Bimodal	146.8 $\mu\text{m}$ (7.31%)	-	1.52 $\mu\text{m}$ (0.10%)
Alchanmil	Trimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.70%)	33.0 $\mu\text{m}$ (1.49%)	2.42 $\mu\text{m}$ (0.14%)
Eunpamil	Bimodal	133.7 $\mu\text{m}$ (6.79%)	-	1.69 $\mu\text{m}$ (0.12%)
Kobunmil	Bimodal	121.8 $\mu\text{m}$ (6.31%)	-	1.83 $\mu\text{m}$ (0.14%)

형과 A형 전분립에 의해 주로 구성될 것이고, 130~150 $\mu\text{m}$ 에서 나타내는 peak의 구성원은 밀가루 입자크기를 대변하는 성분일 것으로 여겨진다.

Haddad *et al.*(1999)에 따르면 밀가루 입자 크기가 연질의 경우 25 $\mu\text{m}$ 와 125 $\mu\text{m}$ 의 두 개 peak를 갖는 bimodal, 경질의 경우에는 single mode 입자분포를 이룬다고 하였는데, 본 결과에서도 연질에 속하는 우리밀이나 올그루밀에서 모두 20.7~22.7 $\mu\text{m}$ 과 133.7 $\mu\text{m}$  직경에서 peak를 보였고 추가적으로 1.83~2.01 $\mu\text{m}$ 에서도 peak가 관찰되었다. 그러나 이중 가장 작은 직경의 peak는 그 양이 너무 작기 때문에 측정수치의 비교 없이 입도 분포곡선만으로는 감지하기 어려운 높이를 보였다.

표 3은 본시험에 사용된 시료들의 입자직경별로 용적, 표면적 및 입자수의 비율을 나타낸 것이다. 전체시료를 대상으로 했을 때 용적면에서 100~200 $\mu\text{m}$  직경의 입자들이 38.3~51.0%의 범위로서 가장 높았고, 다음으로 60~100 $\mu\text{m}$ 나 15~45 $\mu\text{m}$  직경의 입자들이 비슷한 수준의 비율을 보였는데, 연질밀에서는 15~45 $\mu\text{m}$  직경의 입자비율이 더 높은 반면에 나머지 품종에서는 60~100 $\mu\text{m}$  직경의 입자비율이 더 높았다. 표면적 비중은 C형 전분립 입자크기로 볼 수 있는 5 $\mu\text{m}$  이하와 5~45 $\mu\text{m}$  직경의 입자들이 각각 56.2~62.1%와 17.7~28.8%로서 가장 높은 비율을 보였고, 용적율에서 가장 높은 비율을 보였던 100~200 $\mu\text{m}$  범위의 직경을 갖는 입자들은 4.7~13.9%에 지나지 않았다. 입자수의 분포에서는 5 $\mu\text{m}$  이하의 직경을

갖는 입자들이 99.7%이상을 차지하였다. 이상의 결과에서 연질밀의 경우는 입자크기 분포에서 다른 밀과 특징적인 차이를 보였으나 국내 밀 품종중에서 중간밀로 구분되고 있는 그루밀, 서둔밀, 진풀밀, 조은밀, 알찬밀, 은파밀 및 고분밀 품종군과 경질밀로 분류되는 금강밀 및 탑동밀 품종군 간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

Kent(1966)는 입자크기가 단백질함량과 부의 상관이 있다고 보고하였는데, 연질밀로 구분되는 우리밀이나 그루밀의 경우 100~200 $\mu\text{m}$  직경의 입자가 차지하는 용적이 다른 품종보다 10%정도 적은 대신에 A-granule 크기에 해당되는 15.7~45 $\mu\text{m}$ , B-와 C-granule에 해당되는 크기인 5.0~15.7 $\mu\text{m}$  및 0~5.0 $\mu\text{m}$  직경 입자의 용적율이 더 높았다. 보통밀과 찰성밀간의 관계에서는 올그루밀과 수원 292호가 서로 유사분포를 이루었고, 나머지의 관계에서는 큰 입자의 용적비율에서 한결같이 찰성 계통들이 모본보다 높게 나타났다.

표 4는 찰성밀과 보통밀 가루의 입자 용적, 표면적 및 입자수에서 각각 평균치를 갖는 입자직경 분포와 각 밀가루 1g당 나타내는 표면적 크기를 비교한 것이다. 연질밀 품종인 올그루밀과 우리밀이 가장 작은 입자직경과 가장 넓은 비표면적을 나타냈다. 찰성밀과 보통밀 모본간의 비교에서는 찰성밀 계통들이 한결같이 그 모본보다 입자직경이 크고 표면적은 작게 나타났다. 동일한 제분조건에서 입자직경이 작다는 것은 배유조직이 잘 부스러진다는 것을 의미하는데, 모본에 비해 찰성

Table 3. Particle size distributions of flours of waxy lines and their parents based on volumes, surface areas and numbers of flour particles.

Particle diameter	Keum-gang	SW 97134	Ol-geuru	Suwon 292	SW 97113	SW 97114	Woori	SW 97105	Geu-ru	SW 97110
Volume basis (%)										
0.0~5.0 $\mu\text{m}$	3.1	2.6	5.6	5.3	4.9	5.5	5.3	3.3	3.3	2.5
5.0~15.7 $\mu\text{m}$	4.1	3.8	10.0	8.7	9.0	9.3	9.4	5.1	4.8	3.2
15.7~45.0 $\mu\text{m}$	13.0	10.8	19.6	18.4	17.0	19.4	21.8	14.0	13.6	10.3
45.0~60.0 $\mu\text{m}$	6.1	5.0	4.9	5.0	4.3	4.8	4.3	4.9	5.8	5.4
60.0~100 $\mu\text{m}$	18.7	16.2	13.6	13.4	13.2	13.5	12.8	15.7	18.1	16.8
100~200 $\mu\text{m}$	46.0	48.6	38.3	38.3	41.2	37.9	38.4	46.2	45.7	49.3
>200 $\mu\text{m}$	9.1	13.0	7.9	11.0	10.3	9.6	8.1	10.8	8.8	10.5
Surface area basis (%)										
0.0~5.0 $\mu\text{m}$	58.4	56.2	62.1	61.5	61.3	61.7	61.9	58.6	58.2	56.3
5.0~15.7 $\mu\text{m}$	10.2	10.9	15.5	14.9	15.5	15.1	14.4	11.8	11.5	9.6
15.7~45.0 $\mu\text{m}$	12.2	11.7	12.9	13.1	12.5	13.3	14.4	12.9	12.3	11.4
45.0~60.0 $\mu\text{m}$	3.0	2.8	1.5	1.7	1.5	1.6	1.4	2.3	2.7	3.2
60.0~100 $\mu\text{m}$	6.3	6.2	2.9	3.1	3.1	3.0	2.7	4.9	5.8	6.7
100~200 $\mu\text{m}$	8.9	10.6	4.6	5.0	5.4	4.7	4.7	8.3	8.5	11.1
>200 $\mu\text{m}$	1.0	1.6	0.5	0.8	0.8	0.7	0.5	1.1	0.9	1.6
Particle number basis (%)										
0.0~5.0 $\mu\text{m}$	99.83	99.82	99.76	99.75	99.76	99.72	99.78	99.79	99.80	99.82
5.0~15.7 $\mu\text{m}$	0.14	0.16	0.21	0.22	0.21	0.22	0.18	0.16	0.17	0.14
15.7~45.0 $\mu\text{m}$	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
45.0~60.0 $\mu\text{m}$	1.2E-03	1.2E-03	6.1E-04	7.1E-04	5.9E-04	6.6E-04	5.3E-04	9.3E-04	1.1E-03	1.3E-03
60.0~100 $\mu\text{m}$	1.2E-03	1.2E-03	5.5E-04	6.3E-04	5.8E-04	6.0E-04	5.0E-04	9.4E-04	1.1E-03	1.3E-03
100~200 $\mu\text{m}$	6.0E-04	7.3E-04	3.1E-04	3.4E-04	3.6E-04	3.3E-04	3.0E-04	5.5E-04	5.9E-04	7.5E-04
>200 $\mu\text{m}$	1.9E-05	3.3E-05	1.1E-05	1.6E-05	1.5E-05	1.4E-05	1.1E-05	2.2E-05	1.9E-05	3.2E-05

**Table 4.** Properties of flour particle sizes of waxy and normal wheats.

Variety or line	Particle diameter ( $\mu\text{m}$ ) based on mean			Specific surface area ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Characteristics
	Volume	Surface area	Number		
Keumgangmil	117.1	28.4	0.75	2,115	Non-waxy
SW97134	128.1	31.9	0.76	1,881	Waxy
Olgeurumil	97.8	17.1	0.77	3,518	Non-waxy
Suwon 292	106.4	18.6	0.78	3,223	Waxy
Woorimil	98.7	17.6	0.77	3,414	Non-waxy
SW97105	120.1	26.5	0.76	2,267	Waxy
Geurumil	116.3	27.2	0.75	2,207	Non-waxy
SW97110	128.5	32.9	0.75	1,823	Waxy
Seodunmil	123.1	29.7	0.75	2,020	Non-waxy
Jinpummil	122.3	30.1	0.76	1,994	"
Tapdongmil	116.0	26.8	0.75	2,237	"
Joeunmil	134.2	33.8	0.74	1,781	"
Alchanmil	114.1	26.0	0.76	2,313	"
Eunpamil	123.7	11.5	0.75	1,938	"
Kobunmil	117.1	27.1	0.75	2,214	"

밀의 입자직경이 크다는 것은 역으로 찰성밀의 배유조직이 모본보다 잘 부스러지지 않는 성질을 지님을 암시해준다.

용적기준으로 볼 때 모본의 경우 평균입자 직경이 97.8~128.5 $\mu\text{m}$  범위로서 올그루밀<우리밀<금강밀<그루밀의 내립순위로 큰 직경을 보였고, 찰성밀 계통의 경우는 106.8~128.5 $\mu\text{m}$  범위로서 수원 292호<SW97105<SW97134<SW 97110의 내립순위로 큰 직경을 보였다. 평균표면적 입자직경에서는 모본의 경우 17.1~21.4 $\mu\text{m}$  범위로서 금강밀과 그루밀이 비슷한 크기로서 큰 값을 지니고, 올그루밀과 우리밀이 비슷한 값으로서 작은 수치를 보였다. 찰성밀의 경우는 수원 292호가 18.6 $\mu\text{m}$ 로 가장 작았고, SW97105, SW97134 및 SW97110은 각각 26.5, 31.9 및 32.9 $\mu\text{m}$  직경을 보였다. 입자 비표면적이 보통밀의 경우 금강밀, 그루밀, 우리밀 및 올그루밀에서 각각

2,115, 2,117, 3,414 및 3,518 $\text{cm}^2/\text{g}$ 을 보였고, 찰성밀의 경우 SW97110, SW97134, SW97105 및 수원 292호가 각각 1,823, 1,881, 2,267 및 3,223 $\text{cm}^2/\text{g}$ 을 보였다. 한편 본시험에 공시된 국내 주요 보통밀 품종들을 전체 대상으로 해서 보면 밀가루 입자크기 분포에서는 97.8(올그루밀)~134.2 $\mu\text{m}$ (조은밀) 범위를 보였고, 올그루밀<우리밀<알찬밀<탑동밀<금강밀=고분밀<그루밀<진풀밀<서둔밀<은파밀<조은밀의 입자크기를 보았다.

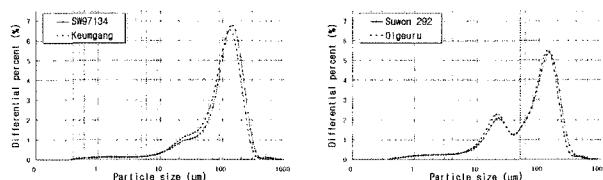
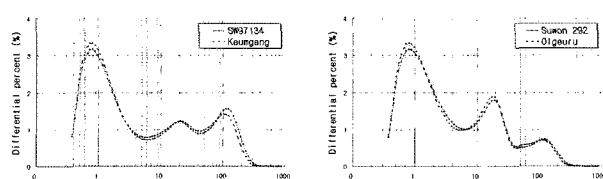
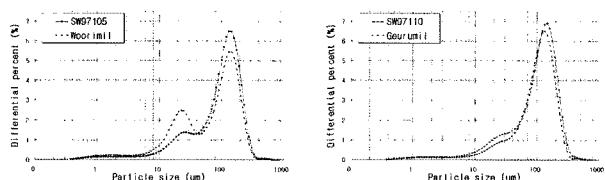
밀가루 입자크기 분포는 품종 고유특성으로 나타날 것으로 여겨지는데, 그럼 1과 2는 찰성밀계통과 그 모본의 입자크기 분포를 비교하기 위해 대비해서 나타낸 것이다. SW97105를 제외한 찰성밀 3 계통 모두 모본과 매우 유사한 입도분포를 나타냈는데, 이들 입자크기 분포는 찰성밀 계통들이 모본의 형질을 상당히 물려받았음을 암시해주는 결과이다.

### 찰성밀의 이화학 특성 비교

SW97134, 수원 292호, SW97106 및 SW97110은 가시적 아밀로스 함량에서 보통밀 21.6~29.3%의 범위보다 현저히 낮은 3.5~4.1% 범위를 지님으로서 주로 아밀로펩틴으로 된 찰성 계통임을 나타내고 있다(표 5).

6배체 밀에서 찰성밀 경우 아밀로스를 생성하는 3개의 GBSSI가 모두 결여되어 아밀로스의 합성이 전혀 일어나지 않기 때문에(Takeda *et al.*, 1987) 이론적으로는 100% 아밀로펩틴만으로 구성된 전분을 함유하여야 할 것이나 본 시험에 사용된 요오드 비색법의 특성상 아밀로펩틴 역시 100mg 당 1mg 정도의 요오드를 흡착(아밀로스 흡착능력의 1/20)하여 적색을 띠기 때문에 흡광도에 간접효과(Gerard *et al.*, 2001)를 주게 되어 실제 함량보다는 다소 과장되었을 것으로 판단된다. amperometer나 potentiometer를 사용한 결과(Yasui *et al.*, 1996)에서는 찰성전분이 0.2~2.0% 정도의 아밀로스 함량이 보고된 바 있다.

단백질 함량이 보통밀의 경우 9.6%(우리밀)에서 13.6%(금강밀)까지 큰 변이를 보인 반면에 찰성 계통의 경우는 그 범위

**Fig. 1.** Comparison of flour particle size distributions based on volume of waxy and non-waxy wheat**Fig. 2.** Comparison of flour particle size distributions based on surface area of waxy and non-waxy wheat.

**Table 5.** Physico-chemical properties of wheat flours of normal and waxy.

Variety or breeding lines	Amylose (%)	Protein (%)	Sedimentation value (ml)	Whiteness
Keumgangmil	21.6	13.6	50.0	74.6
SW97134	4.0	13.6	41.3	72.9
Olgeurumil	23.6	10.7	30.0	77.6
Suwon 292	4.1	12.7	39.0	77.3
Woorimill	29.3	9.6	32.8	77.1
SW97105	3.6	12.8	44.3	71.8
Geurumil	25.9	13.5	34.3	72.4
SW97110	3.5	13.3	33.8	73.2

가 12.7~13.6%로서 계통간 큰 차이 없이 비교적 높은 수치를 보였다. 본 시험재료는 동일조건에서 재배되었기 때문에 나타난 단백질 함량차이가 유전적인 영향을 대변할 것으로 여겨지는데 찰성밀이 양친중 母本보다 단백질이 높은 점은 낮은 전보의 재분율에서 유추할 수 있듯이 유전적 영향 외에도 찰성밀 단백질 절대량에 비해 전분의 상대적 축적량이 적어서 나타났을 수도 있음이 암시되었다. 단백질의 양과 질을 평가할 수 있는 검정치중 하나인 침전가 성격에서 찰성밀 계통이 그들의 단백질 함량으로부터 기대할 수 있는 수준만큼 높은 수치를 보이지 않음으로서 이들 찰성밀 계통의 단백질이 양적으로는 경질에 벼금같 만큼 많을지라도 질적으로는 크게 못 미치는 것으로 나타났다.

bran 혼입정도를 관정하기 위해 측정된 밀가루 백도에서 SW97105를 제외한 나머지 찰성밀 계통들이 모본과 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 SW97105는 백도가 모본인 우리밀의 밀가루에 비해 5.3이나 낮은 수치를 보임으로서 다른 밀에 비해 bran 등 종파 성분의 혼입이 높은 것으로 추정되었다. 전보에서 SW97105가 모본에 비해 현저히 높은 밀가루 회분 함량을 지녔다는 점도 이를 뒷받침하고 있다.

### 반죽특성

일반 밀가루에서 단백질의 양적 및 질적 품질과 연계시켜 반죽특성 조사가 많이 이루어졌기 때문에 단백질의 양과 질이

반죽 점탄성에 미치는 영향, 단백질 함량에 따른 반죽의 가수량 설정 등의 이론은 잘 확립되어 있는 편이나, 찰성밀가루와 관련된 반죽특성은 철밀 연구역사가 짧아 거의 이루어져 있지 못한 실정이다. 본 시험에서는 반죽 가수량을 6.5ml와 7.0ml 조건으로 해서 찰성밀과 보통밀의 반죽특성이 조사되었고 그 결과가 표 6에 수록되어 있다.

peak 높이가 가수량에 상관없이 금강밀, 그루밀, 올그루밀 및 우리밀 순으로 높았다. 보통밀가루에서는 적정 가수조건에서 단백질함량이 증가할수록 Mixograph 반죽높이가 증가하고 글루텐의 양과 질이 우수할수록 반죽 발달시간과 반죽의 안정도는 길어지는 경향을 보이는데, 찰성 밀가루에서는 최대 반죽높이와 7분 후 반죽높이가 가수량이나 단백질 함량과 상관없이 보통밀보다 월등히 높고, 반죽 발달시간은 단축됨으로서 보통밀가루와는 다소 상이한 반죽특성을 보였다(예. 그림 3).

보통 적정가수량은 단백질 함량으로부터 산출된 양(산출가수량(14% MB) =  $1.5 \times$  단백질 함량(14% MB) + 43.6)을 기준(AACC, 1990)으로 해서 적정 반죽곡선이 얻어질 때까지 수분을 加減하여 결정하게 된다. 이 기준을 적용해서 산출된 가수량이 SW97134와 SW97105에서 각각 원료중의 64.0%와 62.8%정도에 지나지 않으나, 이들의 실제 반죽곡선(그림 3)은 원료중의 70%까지 가수량을 필요로 하였다. 반면에 보통밀에서는 적정가수량이 단백질을 기준으로 산출된 가수량과 잘 부합되는 것으로 관찰되었다.

수분과 평형상태에서 생전분은 1kg당 0.45kg의 물을 흡수하게 된다(Dengate *et al.*, 1978). 전분의 수분흡수율 증가요인으로 두 가지가 제시되어 있다. 첫째는 손상된 전분립이 온전한 것보다 더 많은 수분을 흡수한다는 설로서(Pomeranz, 1988) 경질밀이 연질밀 보다 가수량을 더 필요로 하는 것은 경질의 종실은 가루로 만드는데 연질 연질의 종실보다 더 많은 분쇄에너지를 요구하게 되고 그에 따라 제분과정에서 물리적으로 더 많은 전분립 손상을 초래함으로서 수분흡수율을 증가시키게 된다는 것이다. 두 번째는 전분립의 크기와 관련한 수분흡수율의 해석으로서(Sahlstrom *et al.*, 1998) 작은 입자는 단위무게당 표면적이 큰 입자보다 훨씬 넓기 때문에 작은 전분립

**Table 6.** Mixing properties of wheat flours of normal and waxy.

Variety or lines	6.5 ml water addition rate <sup>†</sup>				7.0 ml water addition rate <sup>†</sup>			
	Mixing time (min)	Peak height (MU)	Stability (min)	Mixing height after 7 min. (MU)	Mixing time (min)	Peak height (MU)	Stability (min)	Mixing height after 7 min. (MU)
Keumgang	3.3	6.9	2.4	5.6	4.3	6.2	2.0	5.3
SW97134	2.4	7.7	2.8	6.0	2.5	7.3	2.4	5.6
Olgeurumil	3.0	5.1	3.0	4.2	3.3	4.9	2.5	4.1
Suwon 292	2.3	7.1	2.3	5.2	2.4	6.4	2.2	4.7
Woorimill	4.6	4.1	3.2	3.8	5.7	3.8	2.7	3.7
SW97105	3.0	7.3	3.8	6.2	3.5	6.7	3.7	5.3
Geurumil	2.0	6.2	1.5	4.4	2.2	5.7	1.3	4.0
SW97110	2.0	6.9	2.0	4.7	2.2	6.4	2.0	4.6

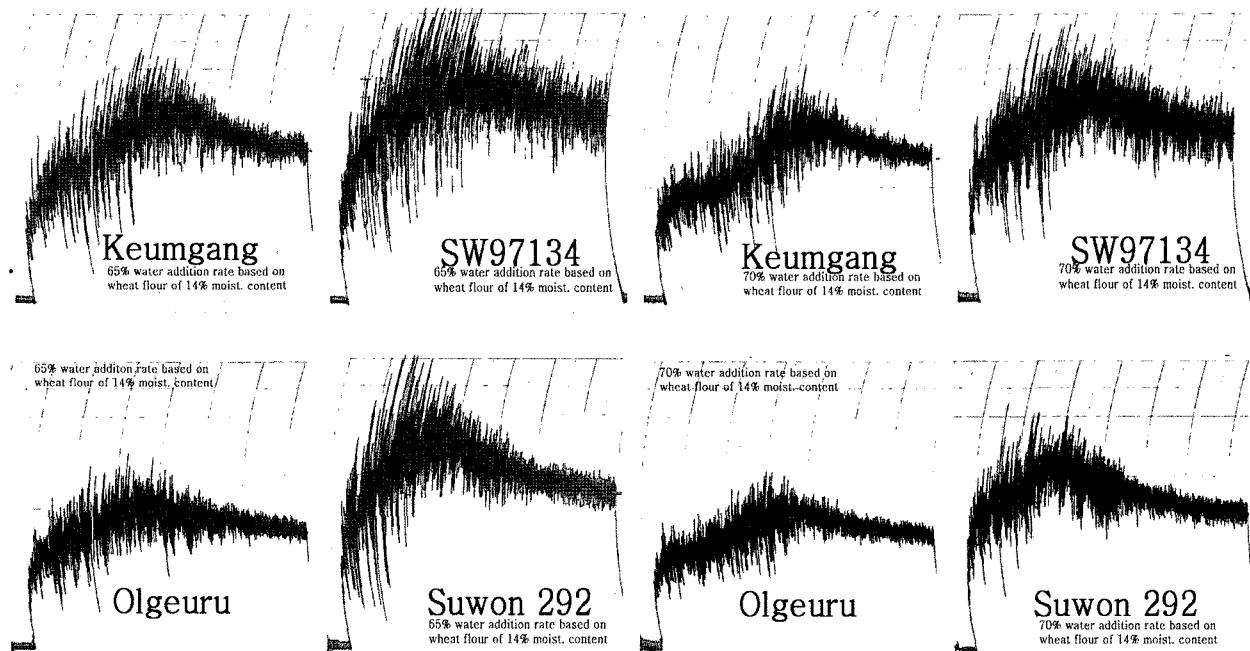


Fig. 3. Mixogram patterns of normal and waxy wheat flours with water addition rates.

이 많을수록 총 표면적은 더 넓어져 수분과 접착면으로 작용하면서 수분흡수를 많이 한다는 것이다. 찰밀이 보통밀보다 가수량을 더 필요로 하는 원인으로 이들 두 요인이 작용했을 수도 있으나 전분립이 작아서 수분요구가 증가되었다면 반죽발달시간도 길어져야(D'Appolonia *et al.*, 1971; Haberer, 1994) 할 것이다. Tang *et al.*(2000)은 생감자 전분립내 수분의 미시적 분포와 동적상태를 NMR relaxometry와 diffusimetry로 조사하였는데, 수분이 감자전분립의 무정형박층과, 반결정층내 무정형박층 및 channel water 3가지 형태로 존재하였다고 보고하였다. 일반 전분립에서 아밀로스 분자는 무정형박층이나 무정형층에 축적되는 것으로 추정되고 있으나, amylose-free mutant인 찰성전분에서는 이들 무정형층이나 무정형 박층이 빈 공간으로 존재할 확률이 높은데 상대적으로 이들 빈 공간에 수분흡수가 훨씬 용이하게 이루어질 수도 있을 것이다. 이 경우 찰밀에서의 높은 반죽높이를 보이는 것도 설명이 가능하나 이 가설을 뒷받침되기 위해서는 더 깊은 연구가 이루어져야 할 것이다.

전분립 특성 외에 pentosan이나 arabinoxylan 또는  $\beta$ -glucan의 함량도 반죽의 수분흡수를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 흡습성이 강한 이들 물질은 대부분 세포막을 구성하는 성분으로 작용하는데, 찰성밀에서 등숙이 불충분하게 일어났을 경우에는 세포벽물질의 비율이 상대적으로 증가될 것이고 그에 따라 반죽시 가수량을 더 많이 요구하게 될 것이다.

#### Pasting 특성

본 시험의 밀가루 RVA pasting특성에서 시료간 호화개시온

도가 65~69°C 범위를 보였는데 금강밀과 올그루밀에서 65°C로 가장 낮았고, 수원 292호에서 69°C로 가장 높았다. 찰성밀 계통중 SW97105와 SW97110은 각각의 모본과 동일한 호화개시온도를 보였으나, SW97134와 수원 292호는 각각 모본보다 높은 호화개시온도를 나타냈다. 그러나 최고점도시 온도에서는 찰성밀이 79.4°C(금강밀)~81.1°C(수원 292호와 SW97110)의 범위를 나타냄으로서 보통밀의 95°C에 비해 현저히 낮은 온도를 보였다. 찰성밀과 보통밀 paste의 최고점도에서는 SW97134(197.5 RVU)과 올그루밀(155.3 RVU)이 각각 가장 높았고, 수원 292호와 그루밀이 각각 152.5와 131.0 RVU로서 가장 낮았다. 최저점도는 SW97105를 제외하고 찰성밀 계통이 각각의 모본보다 점도가 3.5~10.7 RVU 정도 낮았다. Breakdown점도와 최종점도에서 찰성밀과 보통밀간 차이가 명확히 나타났는데, Breakdown점도의 경우는 찰성밀이 80.2(수원 292호)~116.2 RVU (SW97134) 범위로서 보통밀 46.5(그루밀)~63.5RVU (우리밀)에 비해 현저히 높았으나, 최종점도의 경우는 찰성밀이 101.0(SW97110)~116.9RVU (SW97105) 범위로서 보통밀 148.0(우리밀)~171.8RVU(올그루밀) 보다 현저히 낮았다. 하지만 최종점도와 Breakdown 점도 두 가지 모두 찰성밀과 그 모본간 차이에서 변화가 일률적으로 나타나지 않음으로서 교배모본의 선택에 따라 이들 점도가 달라질 수 있음이 암시되었다(표 7).

보통밀의 호화특성과 관련해서 Peterson *et al.*(2001)은 밀 pasting특성에서 큰 전분립의 비율이 호화점도, breakdown 점도 및 setback 점도 모두와 부의 상관이 있다고 보고하였고, D'Appolonia *et al.*(1971)도 춘파형 적색 경질 밀에서 큰 전분

Table 7. Rapid viscometer properties of normal and waxy wheats.

Variety or breeding line	Onset pasting temp. (°C)	Peak viscosity (RVU)	Temp. at peak viscosity (°C)	Minimum viscosity (RVU)	Final viscosity (RVU)	Break down (RVU)
Keumgangmil	65.0	134.5	95.0	84.8	158.5	49.7
SW97134	65.8	197.5	79.4	81.3	110.5	116.2
Olgeurumil	65.0	155.3	95.0	94.3	171.8	61.0
Suwon 292	69.0	152.5	81.1	72.3	106.0	80.2
Woorimill	67.4	138.8	95.0	75.3	148.0	63.5
SW97105	67.4	193.3	80.3	80.4	116.9	112.9
Geurumil	65.8	131.0	95.0	84.5	160.5	46.5
SW97110	65.8	168.9	81.1	73.8	101.0	95.1

럼에 비해 작은 전분립이 더 높은 최고점도, breakdown 및 setback 점도를 나타냈다 하였으며, Sebecic *et al.*(1996)도 pH 2.95에서 큰 전분립의 호화점도가 현저히 저하되었다고 보고가 있는데 찰밀내에서 점도차이는 이를 요인과 밀가루내 전분함량이 복합적으로 작용하여서 나타났을 것으로 생각된다.

## 적  요

1. 밀가루 입자분포가 수적으로는 직경 0.496μm 근처에서 가장 많은 입자가 분포하는 unimodal 곡선형태, 표면적으로 나타낼 경우에는 0.72~0.79μm, 17.2~22.7μm 및 101~121μm의 직경에서 각각 peak를 갖는 trimodal 곡선형태를 보였다.

2. 밀가루 입도분포에서 찰성 밀 계통들 모두가 모본품종보다 밀가루 입자직경이 크고 비표면적은 작게 나타남으로서 모본 품종보다 微粉化가 잘 안됨을 나타내주었다. 용적기준으로 볼 때 모본의 경우 평균입자 직경이 97.8~128.5μm 범위로서 올그루밀<우리밀<금강밀<그루밀의 내림순위로 큰 직경을 보였고, 찰성밀 계통의 경우는 106.8~128.5μm 범위로서 수원 292호< SW97105< SW97134< SW 97110의 내림순위로 큰 직경을 보였다.

3. 단백질 함량이 보통밀의 경우 9.6%(우리밀)에서 13.6%(금강밀)까지 변이가 큰 반면에 찰성 계통의 경우는 그 범위가 12.7~13.6%로서 계통간 큰 차이 없이 높은 수치를 보였으나 침전가는 낮게 나타남으로서 찰성밀 계통의 단백질이 양적으로는 빵용밀에 버금갈 만큼 많을지라도 질적으로는 크게 못 미치는 것으로 나타났다.

4. 보통밀의 경우 peak 높이가 가수량에 상관없이 금강밀, 그루밀, 올그루밀 및 우리밀 순으로 높았다. 찰성 밀가루에서는 최대 반죽높이와 7분 후 반죽높이가 가수량이나 단백질 함량과 상관없이 보통밀보다 월등히 높고, 반죽 발달시간은 단축됨으로서 보통밀가루와는 다소 상이한 반죽특성을 보였다.

5. 최고점도시 온도가 찰성밀에서 79.4°C(금강밀)~81.1°C(수원 292호와 SW97110)의 범위를 나타냄으로서 보통밀의 95°C에 비해 현저히 낮은 온도를 보였다. 최저점도는 SW97105를 제외하고 찰성밀 계통이 각각의 모본보다 점도가 3.5~10.7

RVU 정도 낮았다.

6. Breakdown점도와 최종점도에서 찰성밀과 보통밀간 차이가 명확히 나타났는데, Breakdown점도의 경우는 찰성밀이 80.2 (수원 292호)~116.2 RVU (SW97134) 범위로서 보통밀 46.5 (그루밀)~63.5 RVU (우리밀)에 비해 높았으나, 최종점도의 경우는 찰성밀이 101.0 (SW97110)~116.9 RVU (SW97105) 범위로서 보통밀 148.0 (우리밀)~171.8 RVU (올그루밀) 보다 낮았다.

## 인용문헌

- AACC. 1990. Approved Method of the American Association of Cereal Chemists. 8th ed. Method 44-15A. Method 46-13. Method 08-01. Method 55-10. Method 54-40A. AACC Method 56-61A.
- Bechtel, D. B., I. Zayas, L. Kalcikau, and Y. Pomeranz. 1990. Size distribution of wheat starch granules during endosperm development. Cereal Chemistry 67 : 59-63.
- Buttrose, M. S. 1960. Submicroscopic development, and structure of starch granules in cereal endosperms. J. Ultrastruct. Res. 4 : 231-257.
- Buttrose, M. S. 1962. The influence of environment on the shell structure of starch granules. J. Cell Biol. 14 : 159-167.
- D'Appolonia, B. L. and K. A. Gilles. 1971. Effect of various starches in baking. Cereal Chemistry 48 : 625-636.
- Dengate, H. N., D. W. Baruch, and P. Meredith. 1978. The density of wheat starch granules: A tracer dilution procedure for determining the density of an immiscible dispersed phase. Staerke 30 : 80-84.
- Evers, A. D. 1973. The size distribution among starch granules in wheat endosperm. Starch 25 : 303-308.
- Evers, A. and J. Lindley. 1977. The particle-size distribution in wheat endosperm starch. J. Sci. Food. Agric. 28 : 98-102.
- French, D. 1984. Organization of starch granules. pp 183-247 in: Starch: Chemistry and Technology, 2nd ed. R.I. Whittler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall, eds. Academic Press, New York.
- Gerard, C., C. Barron, P. Colonna, and V. Planchot. 2001. Amylose determination in genetically modified starches. Carbohydrate Polymers 44 : 19-27.
- Gidley, M. J. 1992. Structural order in starch granules and its loss during gelatinisation. In gums and stabilisers for the food industry. 6ed. GO Phillips, PA Williams, DJ Wedlock, pp. 87-92. Oxford: IRL.
- Haberer, K. 1994. Evaluation of starch quality in relation to mixing

- characteristics of Minnesota grown wheat varieties. MSC. Thesis. University of Minnesota, United States of America.
- Haddad, Y. F., A. Mabille, J. A. Mermet, and J. C. Benet. 1999. Rheological properties of wheat endosperm with a view on grinding behaviour. *Powder Technology* 105 : 89-94.
- Hizukuri, S., Y. Takeda, J. Abe, J. Hanashiro, G. Matsunobu, and H. Kiyota. 1997. In: P.J. Frazier, P. Richmond, A.M. Daonald editors. *Starch: Structure and Functionality*. London Royal Society of Chemistry, p 121.
- Igrejas G, B. Faucher, D. Bertrand, D. Guibert, P. Leroy, and G. Brandard. 2002. Genetic analysis of the size of endosperm starch granules in a mapped segregating wheat population. *J. of Cereal Science* 35 : 103-107.
- Jenkins, P. J. and A. M. Donald. 1995. The influence of amylose on starch granule structure. *Int. J. Biol. Macromol.* 17 : 315-321.
- Kent, N. L. 1966. Subaleurone endosperm cells of high protein content. *Cereal Chem.* 43 : 585-601.
- Lineback, D. R. and V. F. Rasper. 1988. Wheat Carbohydrates. Pages 277-322 in: *Wheat Chemistry and Technology*(by Pomeranz ed), Vol I. american Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Manners, D. J. 1989. Recent developments in our understanding in amylopectin structure. *Carbohydrate Polym.* 11 : 87-112.
- Nakamura, T., M. Yamamori, H. Hirano, and S. Hidaka. 1993. Identification of three Wx proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biochem. Genet.* 31 : 75-86.
- Peterson, D. G. and R. G. Fulcher. 2001. Variation in Minnesota HRS wheats: Starch granule size distribution. *Food Research International* 34 : 357-363.
- Pomeranz, Y. 1988. Composition and functionality of wheat flour components. In "Wheat Chemistry and Technology" (Y. Pomeranz ed.), Vol II, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA pp 219-370.
- Sahlstrom, S., E. Brathen, P. Lea, and K. Autio. 1998. Influence of Starch Granule Size Distribution on Bread Characteristics. *J. of Cereal Science* 28 : 157-164.
- Sandstedt, R. M. 1946. Photomicrographic studies of wheat starch. I. Development of the Starch granules. *Cereal Chem.* 23 : 337-359.
- Sebecic, B. and B. Sebecic. 1996. Wheat flour starch granule-size distribution and rheological properties of dough. Part 4. Farinographic measurement. *Die Nahrung* 41 : 256-260.
- Takeda, Y. and S. Hizukuri. 1987. Structures of rice amylopectins with high and low affinities for iodine. *Carbohydr. Res.* 168 : 79-88.
- Tang, H. R., J. Godward, and B. Hills. 2000. The distribution of water in native starch granules- a multinuclear NMR study. *Carbohydrate Polymers* 43 : 375-387.
- Williams, P. C., F. D. Fuzina, and I. Hlynka. 1970. A rapid colorimetric procedure for estimatiiong the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47 : 411-420.
- Yamamori, M., S. Fujita, K. Hayakawa, J. Matsuke, and T. Yasui. 2000a. Genetic limination of starch granule protein, SGP-1, of wheat generates an altered starch with apparent high amylose. *Theor. Appl. Genet.* 101 : 21-29.
- Yamamori, M. and N. T. Quynh. 2000b. Differential effects of Wx-A1, -B1 and -D1 protein deficiencies on apparent amylose content and starch pasting properties in common wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100 : 32-38.
- Yasui, S., T., J. Matsuki, T. Sasaki, and M. Yamamori. 1996. Amylose and lipid contents, amylopectin structure, and gelatinization properties of waxy wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *J. of Cereal Science* 24 : 131-137.
- Yasui, T., J. Matsuki, T. Sasaki, and M. Yamamori. 1997. Waxy endosperm mutants of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and their starch properties. *Breed Science* 47 : 161-163.
- Zeng, M., C. F. Morris, I. L. Betely, and C. W. Wrigley. 1997. Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. *Cereal Chemistry* 74 : 63-71.
- Zobel, H. F. 1988. Molecules to granules: A comprehensive starch reviews. *Starch* 40 : 44-50.
- 이춘기, 남종현, 민용규. 2003. 국산 찰성밀의 이화학적 특성. 충북 대 박사학위논문.
- 작물시험장. 1996. 시험연구보고서(백류편).
- 작물시험장. 1999. 시험연구보고서(백류편).
- 작물시험장. 2000. 시험연구보고서(백류편).