

누에가루 첨가 반죽의 물성 변화 및 빵의 품질 특성

김영호* · 조남지 · 임무혁¹

혜전대학 호텔제과제빵과, 식품의약품안전청¹

Rheological Properties of Dough and Quality Characteristics of Bread Added with Silkworm Powder

Young-Ho Kim*, Nam-ji Cho, and Moo-Hyeog Im¹

Department of Hotel Baking Technology, Hyejeon College

¹Korea Food and Drug Administration

Effects of silkworm powder addition on rheological properties of dough and quality characteristics of bread were investigated. Protein content of silkworm powder was 53.98%, much higher than 12.46% of wheat powder. Crude fiber, fat, and protease contents of silkworm powder were higher than those of wheat flour. Acid analysis revealed glutamic acid content was highest 4,046.16 mg thus, significant depreciation of breadmaking was expected due to weakened gluten structure of dough. Addition of silkworm powder(optimum at 2%) with protease inactivated by heat treatment resulted in significant improvement of volume and bread quality, with external and internal scores close to those of the control.

Key words: silkworm powder, dough, bread, amylograph, extensograph

서 론

양잠산물인 뽕잎, 뽕나무 열매(오디), 뿌리껍질(상백피), 실크 피브로인, 누에 등은 기능성 식품 소재로의 활용이 학술적으로 규명됨에 따라 양잠산물들은 이제 기능성 천연식품 소재로서 높은 부가가치를 지니게 되었다.

누에는 예로부터 단백질을 풍부하게 함유하고 있어 약용보다는 식품으로 주로 이용되어 왔으며 누에는 음식 섭취 후에 당분의 분해와 흡수를 지연시킴으로써 혈당강하에 효과를 나타내었다고 하였다. 지금까지 누에분말에 대한 생리작용에 관한 연구로는 주로 당뇨병 치료 효과에 관한 것이었다. 우리나라 당뇨병 환자의 민간요법 실태에 대한 조사에서 82.9%가 누에분말 복용 경험이 있었으며(1), 인슐린 비의존형 당뇨환자에게 하루에 누에분말 500 mg을 투여했을 때 65%의 혈당강하 효과를 보았다고 보고되었다(2). 누에분말의 제조 조건에 따른 혈당 강하 효과의 비교(3), 누에분말의 투여기간에 따른 혈당 강하효과 등이 보고되어 있다(4). 이러한 누에분말 투여에 의한 혈당강하작용의 기작은 α -glucosidase 활성 억제작용에 기인한다고 알려져 있다(5). 또한 Lee 등(6)은 rat의 사료로 누에가루를 투여함으로써 장관기능이 유의성 있게 개선되었다고 보고하였다.

빵의 품질과 기능성을 향상시키기 위해서 제빵에 여러 가지 기능성 재료를 첨가한 연구가 되어 있다. 천연물질을 이용한 빵 제조는 솔잎추출물(7)과 미생물(8)이나 효소(9)를 이용한 빵 품질 개선 연구 등이 보고되었다. 단백질의 영양적인 질을 개선하기 위하여 옥수수 혼합분(10), 귀리혼합분(11) 등과 채소 및 과일(12)을 이용한 보고도 있었다. 빵 제조에 곡분 및 여러 소재를 첨가한 보고에서 Cho 등(13)은 식이섬유가 풍부한 보리 가루를 이용한 빵 제조에서 보리가루를 10% 첨가한 빵이 관능적으로 양호하다고 하였으며, Hwang 등(14)과 Wang 등(15)은 밀가울의 이용도를 증가시키기 위해 열처리한 밀가울의 화학적 조성, 식이섬유 성분과 기능특성 등에 관해 보고하였다. Kim 등(16)은 미강 식이섬유가 첨가된 밀가루의 리올로지에 대해 조사하였고, Kang 등(17)은 빵·과자에 식이섬유 첨가는 보수력, 노화 지연의 효과가 있는 것으로 보고하였다.

이상의 연구결과들에서 보여준 바와 같이 빵의 첨가제 이용 연구에서 밀가루의 제한 아미노산인 lysine 첨가에 의한 빵의 영양개선, ascorbic acid나 potassium bromate 같은 산화제 첨가에 의한 빵의 부피개선, pentosan첨가에 의한 빵의 부피나 crumb texture개선, cystein, protease 첨가에 의한 반죽연화나 반죽시간 단축을 위한 연구 등은 있었으나 병의 치료나 예방의 기능성을 부여하기 위한 연구는 많지 않았다. 따라서 지금까지 연구 보고에 의한 α -glucosidase 억제작용에 의한 혈당강하기능, 혈청 콜레스테롤과 중성지질 감소기능 및 당뇨병 치료 기능을 가진 누에가루를 빵의 소재로 사용하여 이를 기능성을 가진 빵을 제조하는 기술을 개발하는 것은 이들 질병의 치료나 예방을 위하여 필요하다고 생각되었다. 그러나 예비 제빵 실험에서

*Corresponding author: Young-Ho Kim, Department of Hotel Baking Technology, Hyejeon College, Hongsung 350-702, Korea
 Tel: 82-41-630-5239
 Fax: 82-41-631-4405
 E-mail: kimyh77@hyejeon.ac.kr

누에가루는 고단백질, 고무기질 함유 원료로 pH가 높고 비교적 많은 섬유질과 효소를 함유하고 있으며 제빵 첨가시 반죽의 신장저항도를 지나치게 약화시켜 혼합 및 발효저해에 영향을 미침이 관측되는 누에가루의 제빵성 문제점을 가지고 있음을 발견하였다.

본 연구에서는 누에가루를 빵의 기능성 소재로 사용하였을 때 제빵시 나타나는 결점의 원인을 규명하고 이를 문제점을 해결하는 방법을 연구하여 식미가 우수하고 빵의 영양적, 기능적 품질을 향상시키는 빵의 제조기술 개발을 주목적으로 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 밀가루는 (주)대한제분 강력분, 누에가루는 경남 산청농협에서 5령 3일 누에를 동결건조로 제조한 제품, 이스트는 오뚜기사 생이스트, 식염은 (주)한주 정제염, 쇼트닝은 삼립유지 제품, 탈지분유는 서울우유협동조합 제품을 각각 사용하였다.

반죽의 배합비

제빵에 사용한 원료의 기본 배합비는 Table 1과 같다. 여기서 누에가루 첨가시 제빵성의 문제점을 보완한 개선배합비는 기본배합비를 기준으로 하여 누에가루 2.0% (SW2.0%) 첨가구에 ascorbic acid, lactic acid 및 SSL를 첨가하여 조절하였다. SW2.0%A는 스텀으로 열처리한 누에가루에 ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2% 첨가하였다. 그리고 SW2.0%B는 SW2.0%A에 SSL 0.15%를 추가로 첨가하였다. SW0.2%C는 끓는 물에 열처리한 누에가루에 ascorbic acid 130ppm, lactic acid 0.2%를 첨가하여 배합비를 조정하였다. 누에가루는 끓는 물에 2분 동안 열처리한 것과 스텀으로 열처리한 것 2가지를 각각 사용하였으며, lactic acid, ascorbic acid, SSL를 첨가하였다. 배합비의 누에가루 첨가량은 베이커 퍼센트(baker's percent)로 밀가루 100% 기준에 대해 0, 0.5, 1, 2, 3 및 4%로 각각 달리하여 첨가하였다.

제빵 방법

제빵은 직접반죽법(straight dough method)을 사용하였다. 제조공정은 호바터 믹서(Mode200, Hobart Co., USA)를 이용하여 쇼트닝을 제외한 나머지 원료를 첨가하여 크린-업 상태까지 혼합하였다. 크린-업된 반죽에 쇼트닝을 첨가하여 1단 속도에서 3분간 혼합한 후 2단 속도에서 최적 상태의 반죽이 형성될 때까지 혼합하였다. 혼합 후 최종 반죽온도는 26°C가 되도록 하였고 1차 발효는 27°C, 상대습도 80%의 발효기(BP-40, Dae

Young Co., Korea)에서 최적의 발효상태까지 실시하였다. 1차 발효가 끝난 반죽은 180 g으로 분할하여 등글리기 한 후 15분간 중간 발효를 시켰다. 중간 발효가 끝난 후 밀대를 사용하여 가스빼기를 하고 반죽을 원통형으로 성형하여 빵틀에 3개씩(180 × 3) 넣고, 발효실 37°C 상대습도 85%에서 빵틀에 1 cm 높이 까지 반죽이 팽창할 때까지 2차 발효를 실시하였다. 2차 발효가 끝난 반죽은 190-200°C의 오븐(FDO-7102, Dae Young Co., Korea)에서 굽기를 하였다.

일반성분

누에가루와 밀가루의 일반성분은 AOAC방법(18)에 따라 분석하였다. 즉 수분 함량은 105°C의 상압 가열건조법, 회분은 600°C의 직접회화법, 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl 법을 사용하였고, 조지방 함량은 Soxhlet 추출법으로 측정하였다. 조섬유는 Prosky 등(19)의 방법으로 total dietary fiber 측정용(Sigma Co., USA)시약을 사용하여 측정하였다.

pH

반죽 및 시료가루의 pH 측정은 시료 10 g을 각각 취해 250 mL 비이커에 넣고 100 mL 증류수를 가한 다음 균일하게 혼합하고 25°C에서 30분간 방치 후 상동액을 pH 미터기로 측정하였다. 반죽은 발효시간 30분 간격으로 150분까지 측정하였다.

아미노산

총 아미노산 분석을 위한 누에가루와 밀가루의 전처리는 Bidlingmeyer 등(20)의 방법에 의해 일정량의 시료 0.5 g을 6 N-HCl 용액과 혼합하여 질소 충전 후 110°C에서 24시간 동안 가수분해한 후 40°C 이하 감압하에서 건조하고 lithium citrate buffer 50 mL로 정용하였다. 유리아미노산 분석을 위한 전처리는 시료 2 g을 칭량하여 200 mL의 80% ethanol로 80°C에서 6 시간 환류 추출한 후 여과하여 감압 건조시키고 lithium citrate buffer 5 mL로 정용하였다. 정용된 액을 0.45 μm membrane filter로 여과하고, 아미노산 자동분석기(Bio chrom 20 amino acid analyzer, USA)에 주입하여 분석하였다.

유리당

누에가루와 밀가루의 유리당 분석은 시료 2 g을 칭량하여 200 mL의 80% ethanol로 80°C에서 6시간 환류 추출한 후 여과하였다. 이를 감압 건조시키고 초순수를 첨가하여 20 mL로 정용하여 시료 추출액으로 하였다. 시료 추출액 0.2 mL를 질소기류 하에 완전히 건조시킨 후 pyridine 1 mL를 가하여 가온하면서 초음파로 완전히 녹이고 Sin 등(21)의 방법에 따라 hexamethyl-disilazane 0.2 mL와 trimethylchlorosilane 0.1 mL를 가하여 반응

Table 1. Formula of white pan bread with silkworm powder by straight dough method

Sample	Wheat flour	SW ¹⁾	Sugar	Shortening	Salt	NFDM ²⁾	Yeast	Water
Control ³⁾	100	-	5	4	2	3	3	63
SW0.	100	0.5	5	4	2	3	3	63
SW1.0	100	1.0	5	4	2	3	3	63
SW2.0	100	2.0	5	4	2	3	3	63
SW3.0	100	3.0	5	4	2	3	3	63
SW4.0	100	4.0	5	4	2	3	3	63

¹⁾SW: Silkworm powder.

²⁾NFDM: Non fat dry milk.

³⁾Control: Wheat flour 100%.

시킨 후 GC(HP 5890 series II plus, Agilent, USA)에 주입하여 분석하였다. 칼럼은 HP-5(30 m × 0.25 mmID), 분석온도는 150(0 min)-10/min-250(5 min)-20/min-280(7 min), 주입부 온도 250°C, 검출기 온도 280°C, 운반기체는 질소(1 mL/min)의 조건으로 분석하였다.

초미세구조 분석

반죽의 초미세구조는 주사전자현미경으로 관찰하였다. 시료 반죽은 혼합 후와 2차 발효 후 구분하여 동결 건조하여 사용하였다. 시료(40×40×30 mm)를 알루미늄 표본 지지대위에 얹고 금박으로 씌우고 주사전자현미경(XL30 ESEM, Philips, Netherlands)을 이용하여 가속전압 15 KV에서 촬영하였다.

Protease 활성

Protease 활성을 측정하기 위한 시료는 분말시료 0.1 g에 0.1 M sodium phosphate 20 mL를 가하여 10분간 균질한 후 10,000 ×g에서 원심 분리한 상등액을 Whatman No. 4 여과지로 통과하여 그 여액을 사용하였다. 단백질 농도 측정은 bicinchoninic acid(BCA) protein assay kit(Sigma chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하여 측정하였다. Bovine serum albumin을 표준단백질로 하여 용액의 단백질 농도를 구하였다. 누에가루, 열처리누에가루의 단백질 농도를 100 µg/mL로 보정한 후 효소활성 실험에 사용하였다.

효소활성을 Anson(22)의 방법을 변형하여 누에가루, 열처리누에가루에 있는 중성 단백질 분해효소의 활성을 측정하였다. 시료 추출액(조효소액) 1 mL(100 µg/mL)과 0.6% casein 1 mL 혼합하여 37°C의 항온수조에서 30분간 반응시키고 5% TCA 2.5 mL를 넣어 효소반응을 정지시켰다. 효소활성의 측정은 12,000 ×g에서 10분간 원심 분리한 후 상등액 1mL에 0.55 M Na₂CO₃, 2.5 mL, 증류수 3배로 회색한 Folin-ciocalteau 시약 0.5 mL를 넣어 37°C에서 30분간 반응시키고 660 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소활성은 반응액 및 대조구 차이를 표준곡선에서 tyrosine 함량으로 환산하여 표시하였다. 활성단위는 효소액 1 mL이 1분간 1 µg에 상당하는 tyrosine을 생성하는 양을 1 unit로 정의하였다.

전기영동은 Laemmli(23)의 방법을 사용하여 SDS-PAGE(15% acrylamide)를 실시하였다. 각 시료로 부터 추출한 SSPF와 SMPF에 대한 SDS-PAGE(15% acrylamide)를 실시하여 누에가루 단백질의 전기영동 분리형태의 변화를 관찰하였다. 표준분자량 marker는 myosin(200 KDa), β-galactosidase(116.3 KDa), phosphorylase b(97.4 KDa), serum albumin(66.2 KDa), ovalbumin(45 KDa), carbonic anhydrase(31 KDa), trypsin inhibitor(21.5 KDa), lysozyme(14.4 KDa) and aprotinin(6.5 KDa)으로 Bio-lab laboratories(Hercules, CA, USA)에서 구입하여 사용하였다.

Farinograph

AACC방법(24)에 따라 farinograph(Brabender사, 독일)를 이용하였다. Farinograph mixing bowl을 30±0.2°C로 유지하도록 하였다. 시료는 수분함량 14.0% 기준으로 300 g을 사용하였고, 곡선의 중심선이 500 B.U.(Brabender Unit)에 도달하도록 증류수를 가하였다. 그리고 흡수율, 반죽도달시간, 반죽형성시간, 안정도 및 약화도 등을 측정하였다.

Amylograph

AACC방법(25)에 따라 amylograph (Brabender Co., Ger-

many)를 사용하여 분석하였다. 시료 65 g(수분 14% 기준)에 증류수 450 mL를 첨가한 후 혼탁액으로 하여 사용하였다. 25°C부터 95°C까지 1.5°C/min로 승온시키면서 점도변화를 측정하였다. 측정개시온도는 25°C부터 시작하여 호화개시온도, 최고점도온도 및 최고점도의 특성값을 측정하였다. 호화개시 온도는 초기점도가 10 B.U.에 도달하는 온도로 나타내었다.

Extensograph

AACC방법(26)에 따라 시료 300 g(수분 14%기준)을 farinograph 혼합기에 넣고 farinograph의 흡수율보다 2-5%의 적은 양의 증류수에 소금 2%(6 g)를 용해시킨 용액을 사용하였다. 1분간 혼합한 다음 5분간 방치하고 다시 반죽을 시작하여 farinograph의 500 B.U.에 곡선의 중심이 도달하도록 필요에 따라 흡수량을 조절하였다. 반죽이 끝난 다음 150 g(2개)의 반죽을 extensograph(Brabender Co., Germany) rounder에서 20번 정도 둑글리기를 하여 원통형으로 성형하였다. 이를 30±2°C의 발효조에서 45, 90 및 135분간 발효시킨 후 각 시간마다 반죽의 신장도, 저항도 및 전체면적을 측정하였다. 신장도(E)는 시작점으로부터 끝까지의 거리(mm), 저항도(R)는 그래프의 최고 높이(B.U.)로 나타내며 이들 비율은 R/E로 나타내었다.

빵의 texture 측정

빵의 texture측정은 Rheometer(Compac-100II, Sun Scientific Co. Ltd., Japan)를 사용하여 경도, 응집성, 탄력성, 점착성 및 괴쇄성을 측정하였다. 시료는 30×30×30 mm로 하여 3회 반복하여 측정하여 평균값을 구하였다. 측정 조건은 압착율은 50%, table speed 60 mm/min, adaptor diameter 30 mm, load cell 2 kg로 하였다. 빵은 구운 후 실온에서 2시간 방치 후 폴리에틸렌 비닐 백에 넣고 4일간 보관하면서 빵의 물성을 측정하였다.

빵의 평가

빵의 무게는 구운 후 실온에서 1시간 동안 냉각한 후 측정하였고, 부피는 종자 치환법에 의해 세 개의 시료를 각각 세 번씩 측정한 후 비용적(mL/g)값으로 나타내었다. 빵의 외상과 내상 평가는 대칭성, 겹질색, 조직감, 기공 및 내부색상 등을 관찰하였다.

관능검사

빵의 관능검사는 실온에서 1일 저장한 빵으로 실시하였다. 훈련된 관능검사요원 혜전대학 제과제빵과 2학년 학생 12명으로 구성하여 10점 체점법의 기호도 검사를 사용하여 비교 체점하였다. 시료는 난수표에 의한 세자리 숫자가 기록된 수로 표시하고 접시에 담아 칸막이 있는 개인 검사대에 제공하였다. 평가는 맛, 향미, 조직감 및 색상에 대하여 냄새와 색상을 먼저 평가하도록 하였다. 평가는 매우 좋다 10점, 좋다 8점, 보통이다 6점, 나쁘다 4점, 매우 나쁘다 2점으로 하였다. 결과의 통계처리는 SAS(Statistical analysis system) program을 이용한 Duncan's multiple range test로 유의성을 검정하였다.

통계처리

통계적 유의성을 검토하기 위하여 대조치로부터의 변동을 Student's t-test에 의해 판정하였다. p값은 5% 미만일 때 통계적으로 유의성이 있다고 판정하였다.

Table 2. Compositions of wheat flour and silkworm powder

	Moisture (%)	Ash (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude fiber (%)	pH
Wheat flour	14.0	0.413	12.46	1.23	0.14	5.80
Silkworm powder	10.2	8.742	53.98	10.10	6.54	8.31

Table 3. Total amino acid compositions of wheat flour and silkworm powder
(Unit: mg%)

Amino acids	Wheat flour	Silkworm powder
Aspartic acid	272	2,195
Threonine	177	1,164
Serine	342	1,818
Glutamic acid	4,443	4,046
Proline	794	631
Glycine	241	2,223
Alanine	177	2,078
Cystine	94	137
Valine	270	1,276
Methionine	72	312
Isoleucine	232	1,034
Leucine	475	1,556
Tyrosine	93	1,274
Phenylalanine	351	1,136
Histidine	154	912
Lysine	157	1,602
Arginine	203	1,285
Total	8,547	24,679

결과 및 고찰

일반성분

밀가루 및 누에가루의 일반성분은 Table 2와 같다. 밀가루의 수분은 14.0%, 단백질 12.46%, 회분 0.413%, 조섬유소 0.14%로 나타났다. 누에가루의 조단백질은 53.98%, 회분 8.742%, 지방은 10.10%로 단백질과 조지방이 밀가루보다 월등히 많았다. 누에는 5령 3일, 5령 6일로 발육시기에 따라 주요 성분의 차이가 다소 있는데, 본 실험에 사용한 누에가루는 5령 3일 누에 성분과 비슷한 수준이었다. 밀가루의 pH는 5.80, 누에가루의 pH는 8.31로 누에가루의 pH는 상당히 높게 나타났다. 누에가루는 무기질 함량 및 pH가 높고 비교적 많은 섬유질을 함유하고 있으며, 단백질 함량 역시 높아 완충효과 등의 영향으로 제빵에 누에가루 첨가시는 혼합 및 발효에 많은 영향을 주어 제빵성의 저하가 예측된다. 이스트의 발효 속도는 첨가된 원료의 pH에 영향을 받으며 제빵에서 pH는 중요한 역할을 한다(27). 누에가루는 pH와 단백질 함량이 높게 나타나 빵제조시 이스트 발효에 대한 영향을 고려해야 할 것이다.

Table 4. Free sugar content of wheat flour and silkworm powder

	Sucrose	Maltose	Glucose	Fructose	Trehalose	Galactose
Wheat flour	117	36	28	7	ND ¹⁾	ND
Silkworm powder	11	18	7	24	452	125

¹⁾ND: Not detected.

아미노산

누에가루와 밀가루의 총아미노산의 조성은 Table 3과 같다. 총아미노산은 밀가루 8,547 mg%, 누에가루 24,679 mg%로 밀가루보다 누에가루가 매우 높았다. 누에가루는 glutamic acid가 4,046.16 mg%로 함량이 제일 높았고 다음은 aspartic acid, glycine, leucine, lysine 및 tyrosine이 많았다. 밀가루의 제한아미노산인 lysine의 경우는 밀가루의 157 mg%보다 10배 이상 높은 1,602 mg%로 많은 함량을 보였다. 밀가루에 부족한 제한아미노산의 보충을 위하여 대두가루, lysine 및 methionine 등을 혼합 할 경우 단백질의 영양가 등을 증가시킬 수 있다는 보고가 있다(28,29). 본 실험에서도 누에가루를 빵에 첨가함으로서 밀가루에 부족한 lysine을 보강하는 영양적인 효과가 있을 것이다.

밀가루의 아미노산은 전체적으로 glutamic acid, proline의 함량은 각각 4,443 mg%, 794 mg%로 높았고, lysine, methionine, tyrosine 및 cystine 등의 함량이 낮았다. 이는 Kim 등(30)의 밀가루 아미노산 조성 연구보고와 유사하였다. 밀가루의 영양성분 및 제빵 적성에 있어 중요한 인자는 단백질 특히 아미노산 성분이다.

유리당

밀가루와 누에가루의 유리당은 Table 4와 같다. 당은 이스트 발효에 이용되기 때문에 제빵에 있어서 중요한 역할을 하며 밀가루에 존재하는 당은 발효제품에 발효성 당으로 제공되는 것으로 제빵에 있어서 중요한 역할을 한다. 누에가루의 유리당은 trehalose가 452 mg%로 함유량이 높은 특징을 보였다. 다음으로 galactose가 125 mg%로 나타났고, 그 외 sucrose, maltose, glucose 및 fructose가 함유되어 있었다.

초미세구조

누에가루를 첨가한 혼합 후 반죽과 발효 후 반죽의 초미세구조를 촬영한 결과는 Fig. 1과 같다. 대조구인 밀가루 반죽의 혼합 후 초미세구조는 전체적으로 protein-starch matrix로 형성되어 크고 작은 전분입자가 불규칙적으로 밀도 있게 잘 분포되어 있고 표면이 매끄럽고 깨끗한 상태였다. 또한 구형의 크고 작은 전분 입자들이 반죽내부에 형성된 protein matrix와 상호 작용하면서 분포되어 있었다. 전분 입자의 크기는 큰 것이 직경 15-25 μm 정도이고 작은 전분 입자는 2-10 μm 정도로 크기가 다양하였다. Parkkonen 등(31)은 반죽이 적절하게 혼합되면 반죽 속의 글루텐은 얇은 막으로 변형되고 그 막을 중심으로 전분이나 다른 부재료들이 침투되어 있거나 분산되어 있으며 발효가 전

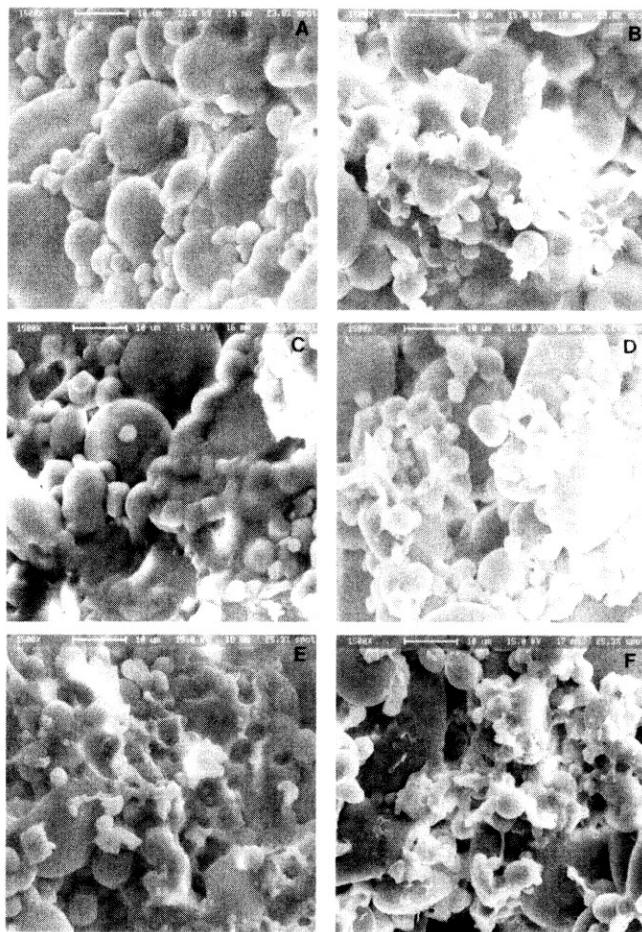


Fig. 1. Scanning electron micrograph (1,500 X) of a fresh mixed dough and fermented dough added with silkworm powder.

A: fresh mixed dough of 100% wheat flour, B: fermented dough of 100% wheat flour, C: fresh mixed dough with 1.0% silkworm powder, D: fermented dough with 1.0% silkworm powder, E: fresh mixed dough with 3.0% silkworm powder, F: fermented dough with 3.0% silkworm powder.

행됨에 따라 반죽에 가스 기공이 형성된다고 하였는데, 본 실험의 미세구조 관찰에서도 Fig. 1(A)의 대조구 경우 글루텐 matrix에 전분이 분산되어 있는 것을 관찰할 수 있었다. 발효 후 대조구 반죽의 초미세구조는 protein-starch matrix의 구조가 약간 gm 트러져 보였으며 가스 발생으로 인해 가스세포가 커지면서 전분 입자를 덮고 있던 단백질 막이 벗겨져 있는 것이 관찰되었고 protein matrix 내부에는 작은 기공이 나타났다.

누에가루를 첨가한 혼합 후의 반죽 구조를 나타낸 Fig. 1(C,E)을 보면 누에가루 1.0% 첨가시 대조구에 비해 matrix구조가 다소 불안정하고 불연속적이었다. 3.0% 첨가시는 전체적인 구조가 치밀하지 못하고 엉성하여 더욱 불안정한 모양이 관찰되었다. 전분 입자와 단백질 matrix 상호간의 결합형태도 밀가루 반죽과 달리 연속적인 matrix를 형성하지 못하였다. 따라서 누에가루를 첨가함으로써 matrix는 비연속적으로 불안정한 상태를 가지고 있기 때문에 반죽의 점탄성, 오븐스프링 및 가스 보유력 상태가 정상적인 밀가루 반죽보다는 낮을 것이며 제빵성이 저하되어 빵의 부피가 감소될 것으로 예측된다.

발효 후 누에가루를 첨가한 반죽의 미세구조를 나타낸 Fig. 1(D,F)은 대조구와 같이 protein-starch matrix의 구조가 약간 호

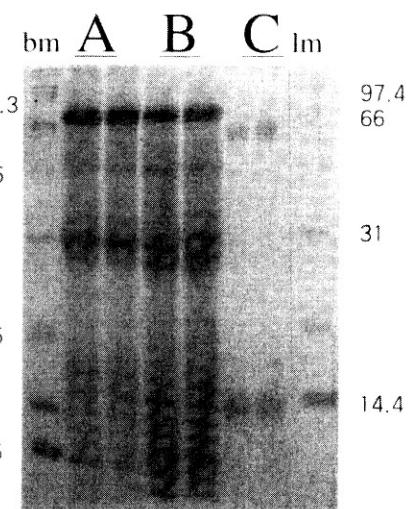


Fig. 2. SDS-PAGE (15% gradient acrylamide) of heated silkworm powder, non-heated silkworm powder and wheat flour protein solution.

A: heated silkworm powder, B: non-heated silkworm powder, C: wheat flour, bm: broad range molecular weight marker, lm: low range molecular weight marker.

트러져 보였고 가스 발생으로 인해 세포가 커지면서 전분 입자를 덮고 있던 단백질 막이 벗겨져 있는 것이 관찰되었다. 누에가루 3.0% 첨가구는 1.0% 첨가구보다 protein matrix 내부에는 크고 작은 기공이 더 많이 형성됨을 관찰할 수 있었다. 따라서 누에가루를 첨가할 경우 발효시에 생성되는 이산화탄소를 보유하는 능력이 저하되고 탄력성과 신장성이 결여로 인하여 빵의 팽창이 제대로 이루어지지 않아 빵의 부피가 작고 불규칙적인 세포막이 형성되어 좋지 않은 기공상태를 형성하게 될 것이다. 따라서 누에가루 첨가시는 이러한 반죽형성에 문제점이 발생됨으로 이를 보완하는 반죽개량제의 사용이 필요할 것으로 생각된다.

Protease 활성

Protease는 반죽 중의 글루텐에 작용하여 아미노산으로 분해시키기 때문에 반죽의 혼합시간을 단축시키고 반죽의 연화숙성을 촉진시킨다. 또한 활원성 작용으로 반죽의 골격을 이루는 글루텐 조직을 파괴하여 구조를 약화시키는 것으로 알려져 있다(32). 발효시간 경과 시 저항도가 증가하고 신장성이 감소되는 것이 정상적인 반죽에서 발효 현상이다. 그러나 누에가루를 첨가한 반죽은 정상반죽과는 반대로 발효시간 경과에 따라 저항도가 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 글루텐이 약화되는 현상이며 이는 발효 시 글루텐이 파괴되는 원인으로 판단되어 단백질 분해효소와 관련된 누에가루에 존재하는 protease 활성을 측정하였다.

Fig. 2는 열처리하지 않은 누에가루와 효소의 활성을 불활성화시키기 위해 스텝으로 열처리한 누에가루 및 밀가루의 protease를 측정한 전기영동 결과이며, Fig. 3은 열처리에 따른 누에가루의 protease의 활성도를 측정한 결과이다. Fig. 2의 열처리한 누에가루(A), 열처리하지 않은 누에가루(B) 및 밀가루(C)에 대한 전기영동 결과를 보면 누에가루에 모두 31 KDa의 분자량을 가지는 단백질들이 모두 존재하였으나 밀가루에는 거의 나타나지 않았다. 이 단백질들은 protease의 활성을 갖는 효소들로 판단되었다. 특히 누에가루에 존재하는 이 단백질의 양은

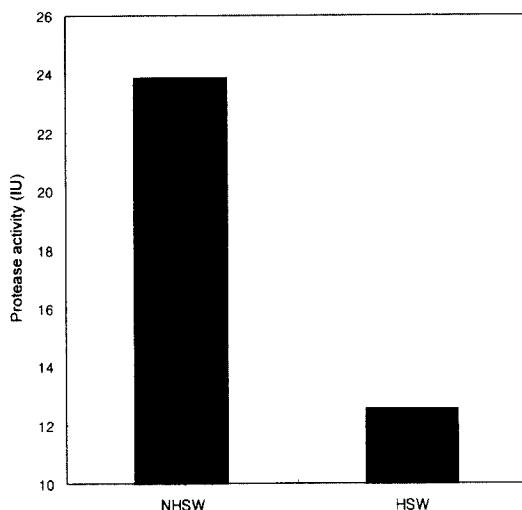


Fig. 3. Protease activities of heated silkworm powder and non-heated silkworm powder.

NHSW: non-heated silkworm powder, HSW: heated silkworm powder.

매우 높아 밀가루보다 진한 band를 형성하여 누에가루에는 상당량의 protease가 존재하는 것으로 나타났다. 가열처리하지 않은 누에가루(B)에서 28.5 KDa와 14.4 KDa의 band들이 관찰되었는데 이 band들은 가열처리한 누에가루(A)에서는 발견되지 않은 것으로 나타나 가열처리에 의해 이 단백질들이 변성되고 불용화된 것으로 판단된다. Fig. 3은 누에가루의 protease 활성도를 측정한 결과이다. 열처리한 누에가루의 casein 분해능은 12.53 IU인데 반해, 열처리하지 않은 누에가루의 protease 활성도는 23.87 IU로 열처리에 의해 일부 protease의 불활성화가 발생된 것으로 관찰되었다.

생된 것으로 관찰되었다. 이 결과는 전기영동에서 나타난 바와 같이 가열처리하지 않은 누에가루에 존재하는 단백질들(28.5와 14.4 KDa)이 protease의 활성을 갖고 있는 단백질들이라는 사실을 간접적으로 시사하고 있으며, 특히 28.5 KDa의 단백질은 가열처리에 의해 변성된 단백질로서 글루텐의 분해에 주요하게 관여하는 효소라고 판단된다.

따라서 제빵 시 누에가루에 존재하고 있는 protease의 과도한 활성을 그대로 유지시키게 되면 제빵 과정 중 protease 작용으로 글루텐이 파괴되어 가스 보유력 저하와 신장성 및 탄력성이 떨어지기 때문에 누에가루 첨가시 제빵성을 향상시키기 위해서는 누에가루 속에 존재하고 있는 protease를 불활성화시켜 원료로 사용해야 할 것이다.

Farinograph

누에가루 첨가량에 따른 farinogram은 특성값은 Table 5와 같다. 대조구의 흡수율은 63.1%, 누에가루 1.0%, 2.0% 및 4.0% 첨가시 각각 63.5%, 63.7% 및 64.2%로 나타나 누에가루 증가시 흡수율이 약간씩 증가하는 경향을 보였다. 반죽의 수화 속도를 나타내는 반죽도달시간은 대조구가 1.5분으로 누에가루 0.5%에서 첨가량을 증가한 4.0%까지도 1.5분으로 대조구와 차이를 보이지 않았다.

반죽형성시간은 대조구가 5.0분이었다. 누에가루 2.0% 첨가까지 4.0분으로 대조구의 5.0분에 비해 약간 짧아지는 변화를 보였으나, 4.0%첨가에서는 6.5분으로 대조구보다 시간이 연장되었다. 안정도는 대조구가 15분, 누에가루 0.5%는 15.2분, 4.0%는 14.0분으로 전반적으로 안정도의 시간이 짧아지는 경향을 보였으나 큰 변화는 나타나지 않았다. 약화도는 대조구가 40 B.U.였고 1.0%는 50 B.U., 4.0%는 65 B.U.로 누에가루가 증가할수록 약화도가 커지는 경향을 보였다.

Table 5. Farinogram characteristics of wheat flour added with various levels of silkworm powder

	Silkworm powder (%)					
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Abs. ¹⁾ (%)	63.1	63.3	63.5	63.7	64.0	64.2
A.T. ²⁾ (min)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
D.T. ³⁾ (min)	5.0	4.0	4.0	4.0	4.5	6.5
Sta. ⁴⁾ (min)	15	15.2	14.4	14.0	13.5	14.0
W.K. ⁵⁾ (B.U.)	40	50	55	45	55	65

¹⁾Abs.: water absorption.

²⁾A.T.: arrival time.

³⁾D.T.: development time.

⁴⁾Sta.: stability.

⁵⁾W.K.: weakness.

Table 6. Amylogram characteristics of wheat flour added with various levels of silkworm powder

	Silkworm powder (%)					
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
S.T. ¹⁾ (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
G.T. ²⁾ (°C)	59.5	59.5	59.5	59.5	59.5	61.0
M.T. ³⁾ (°C)	90.0	90.0	90.0	91.0	91.0	92.0
M.V. ⁴⁾ (B.U.)	780	770	780	900	995	1,000

¹⁾S.T.: starting temperature.

²⁾G.T.: gelatinization temperature.

³⁾M.T.: temperature at max. viscosity.

⁴⁾M.V.: maximum viscosity.

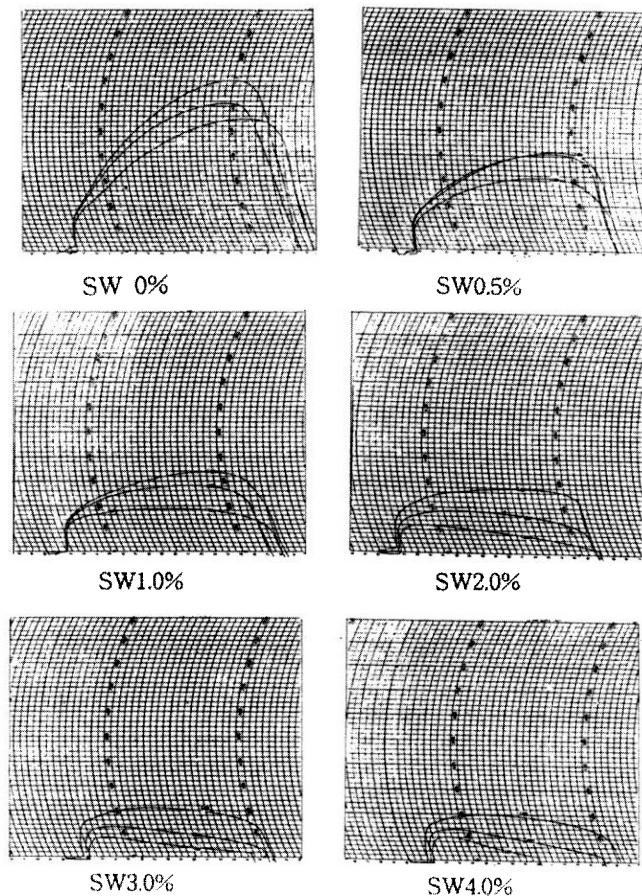


Fig. 4. Extensograms of dough added with various levels of silkworm powder (SW).

Amylograph

누에가루 첨가량에 따른 amylogram은 특성값은 Table 6과 같다. 호화개시온도는 대조구가 59.5°C였고 누에가루 3.0% 첨가까지는 59.5°C로 변화가 없었으나, 4.0% 첨가구는 61.0°C로 높아졌다. 최고점도온도는 대조구인 밀가루가 90°C, 누에가루 첨가 0.5%, 1.0%는 대조구와 같았으나 3.0%는 91°C, 4.0%는 92°C로 첨가량 증가에 따라 높아졌다.

최고점도는 대조구가 780 B.U.였다. 누에가루 1.0%는 780 B.U.로 대조구와 차이를 보이지 않았으나, 2.0%는 900 B.U., 3.0% 995 B.U., 4.0% 첨가는 1000 B.U.로 나타나 누에가루 중

가에 따라 최고점도가 점점 높아지는 경향을 보였다. 최고점도는 제빵과정 중 α -amylase의 효과를 예측하는 지표로 사용되며 최고점도 값이 높아지면 α -amylase 활성도가 낮고, 최고점도 값이 낮아지면 α -amylase 활성도가 높은 것이다. 본 실험에서 최고점도의 상승은 누에가루에 존재하는 이들 당 분해 억제 물질들이 밀가루의 α -amylase 활성에 대해서도 억제작용을 하기 때문에 최고점도가 높아지는 것으로 추측된다.

Extensograph

누에가루 첨가량에 따른 반죽의 extensogram은 Fig. 4, 특성값은 Table 7과 같다. 대조구의 저항도는 45분에 560 B.U.에서 90분 경과 시 610 B.U., 135분 경과 후에는 700 B.U.로 그 값이 시간이 경과함에 따라 증가하였다. 신장도의 값은 처음 45분 183 mm, 90분 170 mm, 135분 경과 후는 162 mm로 짧아졌다.

R/E(resistance/extensibility)비는 45분, 135분까지 시간의 경과에 따라 3.06-4.32이었다. Fig. 4의 대조구인 밀가루 반죽은 저항도와 신장도가 균형을 이루어 가스 보유력이 좋고 제빵성이 적당함을 제시하고 전형적인 강력분의 모양을 보였다.

45분 후의 대조구와 누에가루 4.0%를 비교하면, 신장도는 대조구 183 mm, 4.0% 144 mm, 저항도는 대조구 560 B.U., 4.0% 200 B.U. 그리고 전체면적은 대조구 133 cm², 4.0% 43 cm²로 대조구보다 누에가루 4.0% 첨가구에서 각각 크게 감소되는 경향을 보였다. 시간이 경과한 135분 후에도 신장도는 162 mm에서 85 mm로, 저항도는 700 B.U.에서 100 B.U.로 그리고 전체면적은 149 cm²에서 10 cm²로 누에가루 첨가시 매우 비정상적인 반죽 상태를 보였으며 누에가루가 증가할수록 저항도가 급격히 감소하는 특이한 현상을 보였다. 이러한 결과는 일반적으로 발효시간 경과에 따라 반죽의 신장도는 감소하고 저항도는 증가한다는 Hoseney 등(33)의 보고와는 반대의 결과를 보였다. 신장도와 저항도의 비율 값을 살펴보면 누에가루를 첨가하지 않은 대조구는 시간 경과에 따라 증가하였으나, 누에가루 첨가구는 시간이 경과함에도 불구하고 그 값은 오히려 감소하는 현상을 보여 반죽이 더욱 약화됨을 알 수 있었다. 누에가루 첨가시 발효시간이 경과함에도 불구하고 저항도가 급격히 떨어지는 특이한 현상은 누에가루에 존재하는 다양한의 protease가 발효과정 중 단백질을 분해 시켜 글루텐 구조가 약화되어 반죽의 저항도가 크게 감소되는 것으로 판단된다. 또한 누에가루 첨가로 인해 단백질이 희석되는 효과와 혼합시 글루텐 형성을 방해하는 물질로 작용하여 저항도가 낮아지는 원인도 있다.

Fig. 5와 Table 8은 이러한 원인을 확인하기 위하여 열처리

Table 7. Extensogram characteristics of dough added with silkworm powder after 45, 90 and 135 min rest time

		Silkworm powder (%)					
	Rest time (min)	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Water absorption (%)		60.0	59.9	60.6	60.7	60.9	61.3
Extension (mm)	45	183	163	167	163	146	144
	90	170	144	154	151	139	136
	135	162	164	164	155	125	85
Resistance to extension (B.U.)	45	560	420	340	280	210	200
	90	610	410	290	180	130	130
	135	700	310	180	120	100	100
Area under curve (cm ²)	45	133	96	84	66	45	43
	90	124	86	65	40	25	21
	135	149	72	45	23	13	10

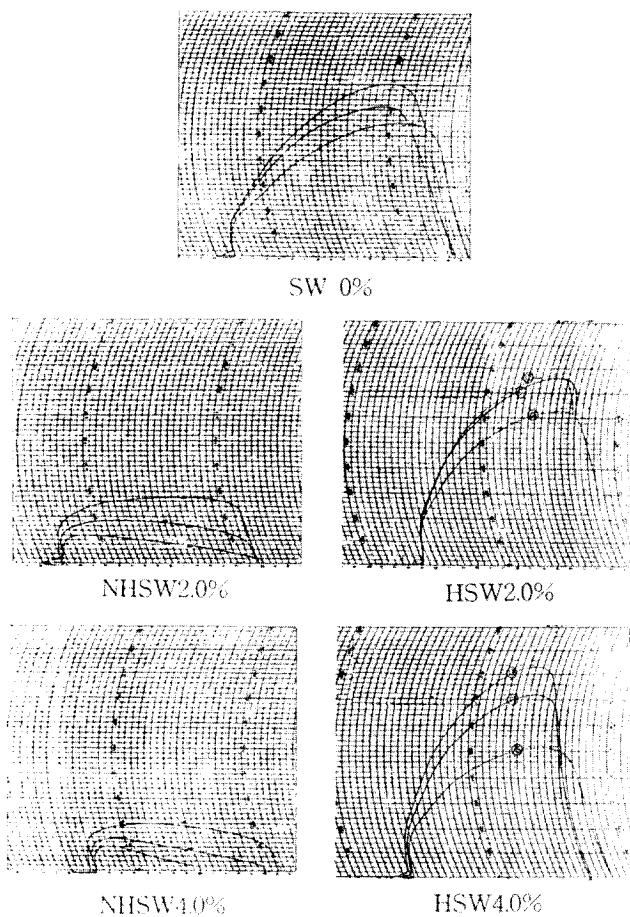


Fig. 5. Extensograms of dough added with non-heated silkworm powder and heated silkworm powder.

NHSW: non-heated silkworm powder, HSW: heated silkworm powder, SW: silkworm powder.

하지 않은 누에가루(NHSW)와 열처리누에가루(HSW)를 비교 측정한 extensogram이다. Table 11을 보면 45분 경과시 저항도는 NHSW 2.0%, 4.0% 첨가시 각각 280B.U., 210 B.U.였다. HSW 2.0%, 4.0%는 각각 610 B.U., 520 B.U.였다. 135분 경과

시는 NHSW 2.0% 4.0%는 120 B.U., 100 B.U.였으나, HSW 2.0%, 4.0%는 각각 760 B.U., 820 B.U.로 열처리누에가루의 저항도는 대조구와 같은 수준으로 회복되어 정상적인 반죽의 물성을 나타나내었다. 이러한 결과는 Fig. 2와 Fig. 3의 결과와 같이 누에가루에는 많은 양의 protease가 존재하며 누에가루는 열처리에 의해 protease가 불활성화 된 것과 밀접한 관계가 있음이 확인되었다. 따라서 제빵시 누에가루 첨가는 반죽의 가스보유력이 밀가루를 사용하는 경우보다 많이 저하되어 빵의 부피가 크게 감소되고 품질이 떨어지게 됨으로 빵 제조시 누에가루의 효소활성을 억제시키는 전처리가 필요하다.

빵의 texture

누에가루 첨가빵의 texture 특성으로는 경도, 탄력성, 점착성, 응집성 및 파쇄성 등을 측정하였으며 그 결과는 Table 9와 같다. 대조구의 경도는 137 g/cm^2 , 누에가루 0.5%에서 4.0%까지 증가시 158 g/cm^2 에서 192 g/cm^2 로 누에가루 첨가량이 많아짐에 따라 빵의 경도는 대조구보다 증가하였다. Chabot(34)는 빵의 경도에 영향을 미치는 요인에는 빵의 수분 함량, 기공의 발달 정도 및 부피 등이 있는데 기공이 잘 발달된 빵일수록 부피가 크고 부드러움이 증가하여 경도가 낮다고 하였다. 누에가루 첨가시는 빵의 부피 감소로 내상의 기공이 작고 조밀하며 두꺼운 세포벽을 가져 경도가 높아진 것으로 보인다. 탄력성과 응집성은 대조구에 비하여 누에가루 첨가량이 많을수록 높아졌다. 점착성 및 파쇄성도 누에가루 첨가량이 많을수록 값이 증가하여 빵이 단단함을 보였다.

빵의 품질 평가

누에가루를 첨가하여 제조한 빵의 품질은 Table 10과 같다. 발효시간은 대조구가 55분, 누에가루 1.0%, 3.0% 및 4.0% 증가시 63분, 65분 및 70분으로 대조구보다 발효시간 연장되었고 누에가루 증가시 발효시간이 더 길어지는 경향이었다. 따라서 누에가루 첨가에 따른 이스트가 발효 저해의 영향을 받은 것으로 보인다. 반죽의 흡수율은 누에가루 0.5%에서 4.0%까지 증가하여도 대조구 63.0%와 동일한 흡수율을 보였다. 빵의 부피는 대조구이 2,151 mL였다. 누에가루 2.0%, 4.0% 첨가시는 각각 1,773 mL, 1,394 mL로 누에가루 증가시 부피가 감소하였다. 용적비는 대조구가 4.43, 누에가루 2.0%, 4.0%는 각각 3.63,

Table 8. Extensogram characteristics of dough added with heated silkworm powder after 45, 90 and 135 min rest time

	Rest time (min)	SW ¹⁾ 0%	NHSW ²⁾ 2.0%	HSW ³⁾ 2.0%	NHSW 4.0%	HSW 4.0%
Water absorption (%)		60.0	60.7	62.8	61.3	64.2
Extension (mm)	45	183	163	150	146	150
	90	170	151	140	139	135
	135	162	155	131	125	124
Resistance to extension (B.U.)	45	560	280	610	210	520
	90	610	180	740	130	720
	135	700	120	760	100	820
Area under curve (cm ²)	45	133	66	120	45	110
	90	124	40	125	25	117
	135	149	23	127	13	125

¹⁾SW: silkworm powder.

²⁾NHSW: non-heated silkworm powder.

³⁾HSW: heated silkworm powder.

Table 9. Texture characteristics of bread added with various levels of silkworm powder

	Silkworm powder (%)					
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Firmness (g/cm^2)	137	158	162	169	183	192
Springiness	0.838	0.967	0.976	0.983	0.978	0.986
Cohesiveness	0.860	0.875	0.852	0.870	0.902	0.900
Gumminess	76	85	84	108	125	128
Brittleness	74	83	82	106	120	131

Table 10. Qualities of bread added with various levels of silkworm powder

	Bread					
	SW ¹⁾ 0%	SW 0.5%	SW 1.0%	SW 2.0%	SW 3.0%	SW 4.0%
Proofing time (min)	55	58	63	65	65	70
Water absorption (%)	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0
Loaf volume (mL)	2,151	2,112	1,892	1,773	1,512	1,394
Loaf weight (g)	485	486	488	488	490	492
Specific volume	4.43	4.35	3.88	3.63	3.09	2.83
Internal score ²⁾	9.0	8.8	8.2	7.9	5.3	4.1
External score	9.0	8.9	8.1	7.8	5.1	4.5

¹⁾SW: Silkworm powder.²⁾10-point scale with 10=excellent, 6=fair (but acceptable), 5=fair (but not acceptable), 1=poor.

빵의 단면

누에가루 첨가량을 달리하여 제조한 빵의 단면 사진은 Fig. 6과 같다. 누에가루 3.0% 첨가구부터 빵의 부피는 현저히 감소하였고 색상이 다소 어두웠다.

빵의 관능 평가

누에가루 첨가량을 달리하여 빵을 제조한 후 10점 기호척도법을 이용하여 맛, 향기, 조직감, 색 및 종합적 기호도를 평가한 결과는 Table 11과 같다. 평가항목 모두에서 누에가루 2.0% 까지는 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 누에가루 3.0% 이상의 경우는 전체적인 기호도가 유의적으로 떨어져 제빵시 누에가루의 적정 첨가량은 2.0% 수준으로 나타났다. 따라서 누에가루 첨가빵의 품질개선 실험은 종합적 기호도에서 적정 첨가량으로 나타난 누에가루 2.0% 수준에서 실시하였다.

품질개선 빵 평가

Extensogram Fig. 4와 Table 7의 결과와 같이 누에가루 첨가 시 발효 중 반죽의 물성이 크게 약화되는 문제점은 누에가루에 존재하는 protease로 판단된다. 또한 누에가루의 pH는 8.3으로 밀가루보다 매우 높았고 단백질 역시 높아 완충작용으로 발효의 저해 작용이 예측된다. 누에가루 첨가빵은 Fig. 6의 사진과 같이 누에가루 첨가가 빵의 부피를 비롯하여 품질이 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 누에가루 성분 특성으로 인한 제빵성의 문제점을 해결하기 위해 다음과 같이 배합조절 및 누에가루의 효소를 불활성 처리하는 방법으로 빵의 품질을 개선하였다. 누에가루 첨가로 인한 반죽의 글루텐 약화, pH의 조정 등 제반 문제점을 보완하고 누에가루의 protease 불활성처리 방법으로는 스텀처리 및 끓는 물에서 열처리시켜 제조에 사용하였다. 개선배합비는 기본배합비를 기준으로 하여 누에가루 2.0% (SW2.0%) 첨가구에 ascorbic acid, lactic acid 및 SSL를 첨가하

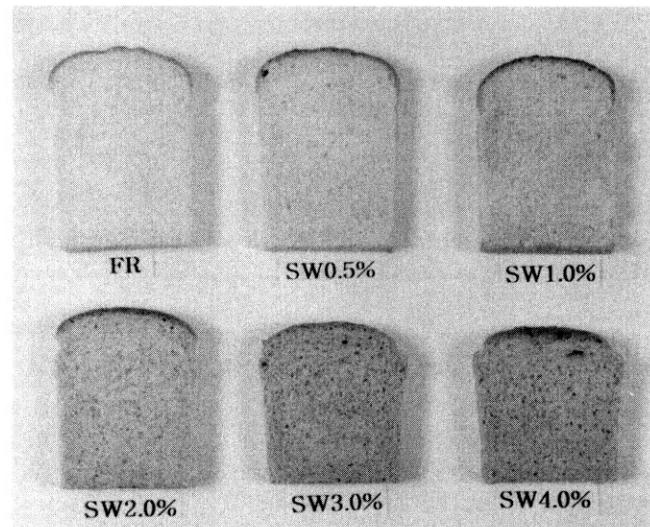


Fig. 6. Cut loaves of bread added with various levels of silkworm powder.

FR: control, SW: silkworm powder.

2.83로 첨가량 증가에 따라 값이 낮아져 빵의 품질이 저하됨을 보였다. 밀가루 빵 제조에서 글루텐 함량과 질 그리고 혼합시 글루텐 형성 정도가 빵의 부피에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(35). 누에가루 첨가에 따른 부피의 감소는 누에가루에 존재하는 protease의 활성에 의한 글루텐 약화 및 혼합시 글루텐 형성 저해 등의 영향으로 빵의 부피가 감소되었다고 생각한다. 빵의 외관, 내관 평가에서 누에가루 2.0% 첨가까지는 대조구와 다소 비슷한 결과를 얻었으나 3.0% 이상 첨가시는 빵의 부피가 현저히 감소되어 평가 점수가 낮았다.

Table 11. Sensory evaluations of bread added with various levels of silkworm powder

	Bread					
	SW ¹⁾ 0%	SW 0.5%	SW 1.0%	SW 2.0%	SW 3.0%	SW 4.0%
Taste	7.8±0.6 ^a	7.6±0.5 ^a	7.1±0.7 ^a	6.3±0.5 ^{ab}	4.9±0.7 ^b	3.6±0.8 ^c
Flavor	7.7±0.5 ^a	7.6±0.7 ^a	7.1±0.5 ^a	6.8±0.6 ^a	5.1±0.8 ^b	4.3±0.8 ^b
Texture	8.0±0.6 ^a	7.4±0.5 ^a	6.9±0.5 ^{ab}	6.4±0.7 ^b	5.1±0.9 ^c	4.1±0.9 ^c
Color	7.9±0.5 ^a	7.9±0.7 ^a	7.5±0.7 ^a	7.0±0.7 ^a	5.3±0.8 ^b	3.9±0.7 ^c
Overall	8.0±0.6 ^a	7.5±0.5 ^a	7.2±0.7 ^a	6.9±0.5 ^a	4.3±0.8 ^b	4.0±1.0 ^c

¹⁾ SW: silkworm powder.

Each values represent the means and standard deviations of ratio by 12 judges using 10-point scale (2: very poor, 10: very good).

Means and standard deviation in a row followed by different letters are significantly different at $p<0.05$ level by Duncan's multiple range test.**Table 12. Quality improvement of bread added with silkworm powder by heat treatment**

	Bread					
	SW ¹⁾ 0%	SW 2.0%	SW 2.0%A ²⁾	SW 2.0%B ³⁾	SW 2.0%C ⁴⁾	SW 2.0%D ⁵⁾
Proofing time (min)	55	65	55	55	55	55
Water absorption (%)	63.0	63.0	64.3	64.3	63.0	63.0
Loaf volume (mL)	1,151	1,773	2,113	2,123	2,115	2,125
Loaf weight (g)	485	488	485	486	485	485
Specific volume	4.44	3.63	4.36	4.37	4.36	4.38
Internal score ⁶⁾	9.0	7.9	8.8	8.8	8.9	8.8
External score	9.0	7.8	8.9	8.8	8.8	8.9

¹⁾ SW: silkworm powder.²⁾ Prepared from silkworm powder heat treated by steam and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2%.³⁾ Prepared from silkworm powder heat treated by steam and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2%, SSL 0.15%.⁴⁾ Prepared from silkworm powder heat treated by boiling water and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2%.⁵⁾ Prepared from silkworm powder heat treated by boiling water and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2%, SSL 0.15%.⁶⁾ 10-point scale with 10=excellent, 6=fair (but acceptable), 5=fair (but not acceptable), 1=poor.

여 조절하였다. SW2.0%A는 스텀으로 열처리한 누에가루에 ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2% 첨가하였다. 그리고 SW2.0%B는 SW2.0%A에 SSL 0.15%를 추가로 첨가하였다. SW2.0%C는 끓는 물에 열처리한 누에가루에 ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.2%을 첨가하였다. SW2.0%D는 SW2.0%C에 SSL 0.15% 추가로 첨가하였다. Ascorbic acid는 산화제로서 S-H의 가교결합을 S-S결합으로 만들어 고분자량의 glutenin과 2차, 3차적인 망상구조를 형성하여 글루텐 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(36).

이와 같이 개선한 배합비로 제조한 빵의 품질은 Table 12와 같다. 흡수율은 대조구와 SW2.0%는 63.0%이었으나 SW2.0%A, SW2.0%B는 64.3%로 흡수율이 증가하였다. SW2.0%C, SW2.0%D의 흡수율은 63.0%로 대조구와 같았다. 빵의 부피는 SW2.0%는 1773 mL, 대조구는 2151 mL였다. 개선배합비로 제조한 빵의 부피를 보면 SW2.0%A는 2113 mL, SW2.0B 2123 mL, SW2.0%C 2115 mL 및 SW2.0%D 2125 mL로 대조구와 거의 비슷한 부피를 나타내어 품질이 크게 향상되는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 발효시간은 대조구가 55분이었고 SW2.0%는 65분으로 발효시간이 늦었으나 개선배합비 SW2.0%A, SW2.0%B, SW2.0%C 및 SW2.0%D의 발효시간은 대조구와 같은 정상 발효의 경향을 나타내었다. 용적비는 개선구 SW2.0%A, SW2.0%B, SW2.0%C 및 SW2.0%D는 모두 SW2.0%보다 높았고 대조구와 거의 같은 값을 보였다. 빵의 외관 및 내관 평가는 개선 실험구가 대조구의 점수에 근접하였고 SW2.0%보다

는 높은 점수를 얻었다. 이와 같은 개선 방법으로 누에가루 첨가시 제빵의 문제점을 극복하고 품질을 향상시킬 수 있었다.

품질개선 빵 단면

품질 개선한 빵의 단면사진은 Fig. 7과 같다. 누에가루를 열처리하여 protease를 불활성시켜 제조한 빵 개선배합비 SW2.0%A, SW2.0%B, SW2.0%C 및 SW2.0%D의 경우는 열처리하지 않은 SW2.0%보다는 부피가 크게 향상되었음을 확인할 수 있었고 전체적인 빵의 부피는 대조구와 비슷한 수준으로 나타났다.

품질개선 빵 관능평가

개선한 방법으로 제조한 빵의 관능평가는 Table 13과 같다. SW2.0%와 SW2.0%A, SW2.0%B, SW2.0%C 및 SW2.0%D를 10점 기호최도법을 이용하여 맛, 향기, 조직감, 색 및 종합적 기호도를 평가한 결과의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test로 하였다. 평가항목 모두에서 개선 실험구 SW2.0%A, SW2.0%B, SW2.0%C 및 SW2.0%D는 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았고 열처리를 하지 않은 SW2.0%의 기호도는 유의성 있게 떨어졌다. 따라서 개선된 배합비로 제조된 빵은 품질이 향상되어 선호도가 높은 것으로 나타났다.

요약

누에가루는 단백질과 섬유질 함량이 높았고, pH는 누에가루

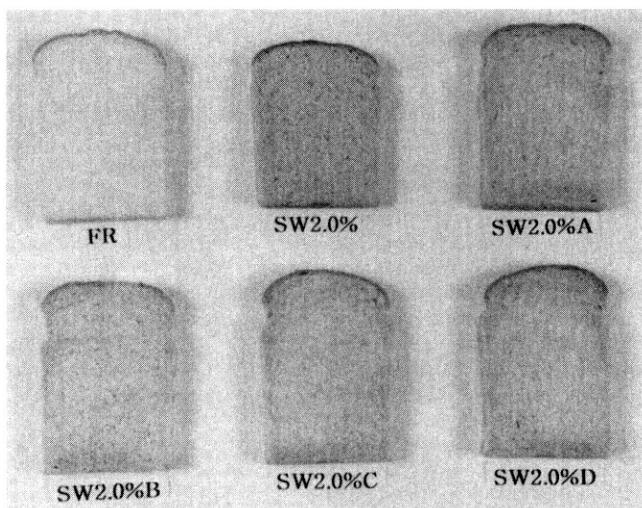


Fig. 7. Cut loaves of improved quality of bread added with silkworm powder by heat treatment.

FR: control, SW: silkworm powder, SW2.0%A: prepared from silkworm powder heat treated by steam and added ascorbic acid 130ppm, lactic acid 0.2%, SW2.0%B: prepared from silkworm powder heat treated by steam and added ascorbic acid 130ppm, lactic acid 0.2%, SSL 0.15%, SW2.0%C: prepared from silkworm powder heat treated by boiling water and added ascorbic acid 130ppm, lactic acid 0.2%, SW2.0%D: prepared from silkworm powder heat treated by boiling water and added ascorbic acid 130ppm, lactic acid 0.2%, SSL 0.15%.

가 8.31로 밀가루의 5.80보다 상당히 높았으며 누에가루에서 protease가 많이 존재하는 것으로 나타났다. Amylograph에서 누에가루 증가시 최고점도는 높아지는 경향이었다. 이는 누에가루에 존재하는 α -glycosidase 활성을 억제하는 물질에 의해서 밀가루의 α -amylas 활성이 억제되어 최고점도가 높아진 것으로 생각되었다. 누에가루 첨가시 반죽의 신장도와 저항도의 급격한 감소로 반죽의 글루텐 구조가 매우 약화되어 제빵성이 크게 저하되는 것으로 나타났으며 이는 누에가루에 있는 protease의 지나친 활성으로 확인되었다. 열처리한 누에가루의 casein 분해능이 16.93 IU인데 비해, 열처리하지 않은 누에가루의 protease 활성도는 23.87 IU였다. 따라서 열처리를 통하여 누에가루의 protease를 불활성시켜 사용함으로서 반죽의 물성이 개선되

고 빵의 부피 증가 및 품질을 크게 향상시킬 수 있는 새로운 방법을 규명하였다. 그리고 ascorbic acid, SSL 및 gluten을 첨가하여 품질 향상을 더욱 보완하였고, 발효 저해는 lactic acid를 첨가함으로서 반죽의 pH를 조절하여 발효력을 향상시켰다. 열처리로 protease를 불활성화 시킨 누에가루를 사용하여 제조한 빵의 관능검사 결과 대조구와 같은 수준의 선호도를 보였으며 누에가루의 적정 첨가량은 2% 수준으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 해전대학 학술연구조성비의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

문 현

- Cho MR, Cho YW. A study of folk remedies in Type II diabetic patients. Korean J. Nutr. 31: 1151-1157 (1998)
- Cho MR, Cho YW, Chung SH, Ryu JH. Effects of silkworm powder on blood glucose and lipid levels in NIDDM (Type II) patients. Korean J. Nutr. 31: 1139-1150 (1998)
- Ryu KS, Lee HS, Chung SH, Kang PD. An activity of lowering blood-glucose levels according to preparative conditions of silkworm powder. Koran J. Seri. 39: 79-85 (1997)
- Kyo HS, Kim SY, Ryu KS, Lee WC. Effect of several sericultural products and blood glucose lowering for alloxan-induced hyperglycemic mice. Koran J. Seri. 40: 38-42 (1998)
- Chung SH, Kim MS, Ryu KS. Effect of silkworm extract on intestinal α -glycosidase activity in mice administered with a high carbohydrate-containing diet. Koran J. Seri. 39: 86-92 (1997)
- Lee HS, Kim SY, Lee YK, Lee WC, Lee SD, Moon JY, Ryu KS. Effects of silkworm powder, mulberry leaves and mulberry root bark administered to rat on gastrointestinal function. Koran J. Seri. 41: 29-35 (1999)
- Kim EJ, Kim SM. Bread properties utilizing extracts of pine needle according to preparation method. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 542-547 (1998)
- Matinez-Anaya PB, Bayarri P, Benedito BC. Microflora of the sour doughs of wheat flour bread. Cereal Chem. 67: 85-91 (1990)
- Chamberlain N, Collins TH, McDermott EE. α -Amylase and bread properties. J. Food Technol. 16: 127-152 (1981)
- Navicks LL. Corn flour addition to wheat flour doughs effect on rheological properties. Cereal Chem. 64: 5-9 (1987)
- Oomah BD. Baking & related properties of wheat-oat composite flours. Cereal Chem. 60: 220-225 (1983)
- Jung HS, Nog KH, Go MK, Song YS. Effect of Leek (*Allium tuberosum*) powder on physicochemical and sensory characteris-

Table 13. Sensory evaluations of quality improvement of bread added with silkworm powder by heat treatment

	Bread					
	SW ¹⁾ 0%	SW 2.0%	SW 2.0%A ²⁾	SW 2.0%B ³⁾	SW 2.0%C ⁴⁾	SW 2.0%D ⁵⁾
Taste	7.8±0.6 ^a	6.6±0.5 ^b	7.3±0.7 ^{ab}	7.3±0.7 ^{ab}	7.4±0.5 ^{ab}	7.3±0.5 ^{ab}
Flavor	7.7±0.5 ^a	6.8±0.6 ^a	7.4±0.5 ^a	7.5±0.5 ^a	7.5±0.5 ^a	7.6±0.5 ^a
Texture	8.0±0.6 ^a	6.4±0.7 ^b	7.6±0.7 ^a	7.5±0.5 ^a	7.5±0.5 ^a	7.6±0.5 ^a
Color	7.9±0.5 ^a	7.2±0.7 ^a	7.5±0.5 ^a	7.6±0.5 ^a	7.6±0.5 ^a	7.7±0.5 ^a
Overall	8.0±0.6 ^a	6.6±0.5 ^b	7.5±0.5 ^{ab}	7.6±0.5 ^a	7.6±0.5 ^a	7.6±0.5 ^a

¹⁾SW: silkworm powder.

²⁾Prepared from silkworm powder heat treated by steam and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.20%.

³⁾Prepared from silkworm powder heat treated by steam and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.20%, SSL 0.15%.

⁴⁾Prepared from silkworm powder heat treated by boiling water and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.20%.

⁵⁾Prepared from silkworm powder heat treated by boiling water and added ascorbic acid 130 ppm, lactic acid 0.20%, SSL 0.15%.

Each values represent the means and standard deviations of ratio by 12 judges using 10-point scale (2: very poor, 10: very good). Means and standard deviation in a row followed by different letters are significantly different at $p<0.05$ level by Duncan's multiple range test.

- tics of breads. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 113-117 (1999)
13. Cho MK, Lee WJ. Preparation of high-fiber bread with barley flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 702-706 (1996)
 14. Hwang JK, Kim JT, Cho SJ, Kim CJ. Characteristics of water soluble fractions of wheat bran treated with various thermal processes. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 934-938 (1995)
 15. Wang WM, Klop CF, Ponte JG. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chem.* 70: 707-711 (1993)
 16. Kim YS, Ha TY, Lee SH, Lee HY. Effect of rice bran dietary fiber on flour rheology and quality of wet noodles. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 90-95 (1997)
 17. Kang KC, Baek SB, Rhee KS. Effect of the addition of dietary fiber on staling of cakes. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22: 19-25 (1995)
 18. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1990)
 19. Prosky L, Asp NG, Furda I, Devreis JW, Scjweozer TF, Harland BA. Determination of total dietary fiber in foods and food products. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 68: 677-684 (1987)
 20. Bidlingmeyer BA, Cohen SA, Taruin TL, Frost BA. new rapid high sensitivity analysis of amino acid in food type samples. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 70: 241-253 (1987)
 21. Sin YM, Cho KW, Lee TH. Synthesis of fructose esters by *Pseudomononas* sp. lipase in anhydrous pyridine. *Biotechnol. lett.* 20: 91-94 (1998)
 22. Anson ML. The estimation of pepsin, papain, cathepsin with hemoglobin. *J. Physiol.* 22: 79-84 (1939)
 23. Laemmli UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685 (1970)
 24. AACC. Approved Method of the AACC. 8th ed. Method 54-21. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN, USA (1985)
 25. AACC. Approved Method of the AACC. 8th ed. Method 22-10. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN, USA (1985)
 26. AACC. Approved Method of the AACC. 8th ed. Method 54-10. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN, USA (1985)
 27. Magoffin CD, Hoseney RC. A review of fermentation. *Baker's Digest* 48: 22-29 (1974)
 28. Sidwell VD, Hammerle OA. Changes in physical and characteristics of doughs and bread containing various amounts fish protein concentrate and lysine. *Cereal Chem.* 47: 739-745 (1970)
 29. Stillings BR, Sidwell VD, Hammerle OA. Nutritive quality of wheat flour and bread supplemented with either fish protein concentrate or lysine. *Cereal Chem.* 48: 292-301 (1971)
 30. Kim CT, Cho SJ, Hwang JK, Kim CJ. Composition of amino acid, sugars and minerals of domestic wheat varieties. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 229-235 (1997)
 31. Parkkonen T, Harkonen H, Autio K. Effect of baking on the microstructure of rye cell walls and protein. *Cereal Chem.* 71: 58-63 (1994)
 32. Pyler EJ. Baking science and technology 3rd ed. vol II. Sosland Pub. Co., KS, USA. pp. 151-158 (1988)
 33. Hoseney RC, Hsu KH, Junge RC. A simple spread test to measure the rheological properties of fermenting dough. *Cereal Chem.* 56: 141-152 (1979)
 34. Chabot JF. Preparation of food science sample for SEM. *Scanning Electron Microscopy* 3: 279-283 (1976)
 35. He H, Hoseney RC. Effect of quality of wheat flour protein on bread loaf volume. *Cereal Chem.* 69: 17-19 (1992)
 36. Yamada Y, Preston KR. Sponge and dough bread; Effects of oxidants on bread and oven rise properties of a canadian red spring wheat patent flour. *Cereal Chem.* 71: 297-300 (1994)

(2005년 1월 16일 접수; 2005년 3월 15일 채택)