

664 25
L2932

G 1245-0919

최 종
보 고 서

19804605

떡 제조 단순화 및 자동화를 위한 제조장치 개발
Development of Automated Single Equipment
for Rice Cake Production

연구기관
한국식품개발연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “떡 제조 단순화 및 자동화를 위한 제조장치 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 11. 30.

주관연구기관명 : 한국식품개발연구원

총괄연구책임자 : 김 철진

연구 원 : 김 동철

연구 원 : 김 종태

연구 원 : 황 재관

연구 원 : 금 준석

연구 원 : 한 미영

연구 원 : 이 수정

요 약 문

I. 제 목

떡 제조 단순화 및 자동화를 위한 제조장치 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

기존의 가래떡 제조공정은, 쌀(쇄미) -> 수세 -> 침지 -> 분쇄 -> 증숙 -> 성형 -> 냉각 -> 절단 -> 포장등 복잡한 일련의 공정으로 이루어져 있어 공장설비의 현대화에 많은 제약이 따르고 있다. 특히, 수세, 침지공정에서 발생하는 세척 폐·배수는 별도의 공해방지시설을 필요로하며, 증숙공정은 연속식이 제대로 개발되지 않아 회분식 장치를 주로 사용함으로써, 균일한 증숙을 위한 조업조건 조절에 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다.

한편 농민 단체등이 참여하는 중규모의 제조업 수준을 위한 연속식제조장치가 경험에 의하여 시험제작되어 보급되고 있으나, 에너지 과다 투입 및 품질관리에 많은 문제점이 도출되고 있다.

본 연구에서는 떡 제조시의 문제점을 해결하기 위하여, Extrusion Modular System을 응용하여, 단일 장치내에서 일련의 떡제조공정을 이룰 수 있는 기능을 부여한 twin-screw extruder 제조장치를 개발하고, 이의 확대 보급할 기반을 조성하는 것을 목적으로 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1) 단일 장치내에서 떡을 제조할 수 있는 주요 부품의 기능분석 및 구조 정립

- 기존 제조공정의 해석 및 최적조건 적출
- 단위공정의 extrusion화를 위한 부품기능 및 구조적출
- Screw elements 및 heating/cooling barrel 구조 설계 및 제작
- 실험규모 장치시작 및 시제품 생산시험

- 2) 실험규모 장치를 이용한 시제 떡제품의 물성개선연구,
 - 부재료(유화제, 타 곡물전분)의 배합비율, extrusion parameter조합 등의 실험설계
 - 생산 떡의 조직 및 조리 특성 개선을 위한 최적 조건 확립

- 2) 시작장치의 구조개선 및 scale -up 연구,

Lab. scale 장치(시간당 50-100 kg 생산능력)의 생산규모를 시간당 300-1000 kg의 생산 능력을 갖는 장치로 scale-up을 위한 technical/engineering 자료를 적출하여 생산장치의 사양결정
- 3) 주변장치 (자동제어 System포함) 사양결정 및 생산체계확립
 - 장치의 PID controll을 위한 Data acquisition 및 relay controller 구축
 - 압출 떡의 절단, 건조 장치 사양 결정

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과 요약

1). Lab scale 장치개발 및 떡제조실험 결과

가) 가공공정의 공학적 해석

◦ 수세 및 침지: 침지조(1550 Φ X 2640, 2HP)에 1.5-2.5 톤의 원료 쌀을 채운후 침지조의 바닥으로 부터 세척수를 pumping (2.5 톤/hr)하여 탱크상부로 overflow 시켜면서 교반 세척하면서 동시에 침지한다. 1-2 시간 동안 배수한 후, 공기압송기로 분쇄기의 저장조로 이송한다. 침지와 배수시간 3.5-4 시간, 쌀의 수분함량 32-35 %.

◦ 분쇄: 2단 smooth roller mill(25 Φ X 900, 2 step 10 HP), 입도 65 %가 -80 mesh체를 통과 16 mesh 체에 걸리는 량 3 % 미만.

◦ 혼합 및 가수: 분쇄 쌀을 평 conveyor(w 1000)로 이송하면서 식염(0.5%) 및 소맥전분(2%)을 가루상태로 첨가하며, 수분함량을 45 %가되도록 spray nozzle을 이용하여 정제수를 분무함.

◦ 증자: 연속식 증자기(45Φ X 1500) 바닥에 장착된 steam dispensor 및 injector(1Φ)를 통하여 live stem (pressure 4 kg)를 가하여 증자, 이 때 증자기내부에 교반하는 날개에 의하여 증자기의 출구로 이송, 투입후 약 1.5-2.5 분간 머물면서

반죽의 수분함량은 55 - 60 %로 증가되며, 온도는 110 -100 °C 를 유지하며, 시간 당 원료 쌀 500 kg을 처리할 수 있음

◦ 성형: 서로 떨어져 있는 2 축 screw에 의하여 혼합 및 탈기 기능을 이용하여 1 차 떡 가래로 성형한다. 이송기에 의하여 2차 성형기로 이송될 때, 수분회발에 의하여 온도는 70 - 80 °C로 냉각되고 수분함량은 감소하므로, 떡 가래에 물을 분사하여 표면을 적셔 주어 전체적으로 수분함량을 60 %로 유지시켜, 2차 성형기에서 성형을 완성함.

◦ 냉각, 건조, 절단, 포장: 떡국용 떡은 냉장실(5-10 °C)에서 24시간 이상 정치하여 굳힘과 부분건조를 이룬후, 일정크기로 절단 포장하여 출하한다.

나) 압출성형기 부품설계 및 제작

압출성형기에 분쇄·반죽·가열·냉각·성형의 기능을 부여하기 위하여, 특수 screw element와 냉각/가열 barre을 설계 제작하였다.

◦ 분쇄기능 screw elements: Kneading disc로 out diameter 44mm, root diameter 27.2 mm, lead 20 mm에 두께 5mm 4 개의 disc를 45° , 75° , 86° 각도로 왼쪽방향 또는 오른쪽 방향을 갖도록 제작하였다.

◦ 냉각 또는 가열 기능을 갖는 barrel: 길이 4 L/D(176 mm)의 section barrel에 주위에 8개의 연통관을 장착하여 냉각수 또는 가열 열매체가 순환하여 냉각/가열 기능을 부여하였고, 예비실험결과 가열정도가 부족한 경우가 발생하여, 1 section barrel 당 1 KW 용량의 전열기를 부착하여 정밀 온도조절이 가능한 barrel을 제작 부착하였다.

◦ 성형 die 및 bleaker plate제작: 가래떡 성형용 die는 orifice type(내경 18 mm X 36mm)의 insert형, 떡볶이용 성형 die는 2 orifice (내경 8mm X 18 mm)의 insert형 으로 제작하여, die plate (내경 48mm 길이 82 mm)의 끝에 장착할 수 있도록 설계제작하였다. 반죽내 기포제거 및 압출압력 조절용 bleaker plate는 die plate의 입구에 장착이 가능하도록 외경 42 mm 두께 8 mm의 원판에 5mm, 3mm 의 hole을 갖는 perforated plate로 제작하였다.

다) 제작 부품별 성능 시험

(1) 수세 및 침지공정 개선

원료쌀 (90 년도 통일 쌀, 95 년도 도정)을 청결미 제조기(대원산업) 및 색채선별기로 세척 및 정선을 실시한 결과, 청결미 제조기에서 외표면에 부착되었던 미장등 이물질이 약 0.5 % 제거되었고, 색채선별기에서 유색립(착색립)이 0.5 % 제거되어었다. 원료 쌀 1 톤을 처리하는 데 용수등이 100 l가 소요되어 폐수 발생을 극소화시킬 수 있었으며, 예비 실험 결과, 정선된 원료 쌀은 이 후 떡 가공공정중에 변색 또는 이취발생을 억제할 수 있었다.

(2) 분쇄성능 시험

원료 쌀(청결미 제조기 및 색채선별기로 세척 정선한 통일미를 상온에서 4 시간 침지한 후, 배수한 침지 쌀 (수분함량 34 %)을 Screw 조합: 총 screw 길이 528 mm (L/D 12)에 처음 feeding section에 forward conveying elements 198 mm (66R X 3), kneading elements 42mm(45° R + 75 ° R), forward conveying elements 264 mm (66R X 4), forward conveying element(44R X 1/2) 한 쌍의 kneading elements 42mm 를 conveying elements(44R)로 사이를 띄워 조합한 Type 2 [(45° disc 20mm+75° disc 20mm)X2]의 경우는 screw 회전속도를 최적 cooking 및 혼합조건으로 밝혀진 225 rpm으로 고정하고, 투입속도를 20 kg/hr이상에서 분쇄실험을 실시한 결과, 투입속도에 증가에 대한 영향은 type 1 screw와는 달리 16 mesh 의 체에 걸리는 입자의 량에 변화는 미미하여 20 kg/hr에서 약 1 %에서 투입속도를 50kg/hr로 증가시켰을 경우에도 약 3 %로 증가하는 데 그쳤으나, 80 mesh를 통과하는 미세입자의 함량은 처음 43%에서 31 %로 감소하여, 침지 쌀은 type 2 screw 조합을 사용하면 시간당 50 kg (원료 쌀로 환산하면 약 40 kg) 까지는 무리 없이 가래 떡을 제조할 수 있는 분쇄능을 갖고 있음이 판명되었다.

(3) 설계 시작된 Extruder의 떡제조 성능시험 및 물성 개선연구

상기 barrel 조합 (12 L/D)에 가열, 혼합, 냉각 기능을 갖는 barrel section을 연결하고, Type2 screw 조합에 Conveying, Mixing 기능을 갖는 screw elements를 연결하여 (20 L/D) 길이의 Screw와 slit die를 부착한 개발장치를 이용하여, 분쇄 방법을 달리한 쌀 가구 즉, 건조분쇄 및 습식분쇄, 그리고 침지 쌀을 직접 투입하여, 시

협 생산한 떡의 특성은 분쇄방법에 따라서 유의성 있는 차이는 나타나지 않았고, 기존 공정으로 제조한 대조구 (수분함량 45 -50 %)에 비하여 상대적으로 수분함량이 낮아 (약 40 % 내외) 저장중 조직이 빨리 경화되는 경향을 보인 반면에 조리특성은 열수가열중 쉽게 물러지고, 조리액으로의 고형분용출이 증가하는 경향을 나타내었음.

이 현상을 규명하기 위하여 전분분자의 붕괴정도를 측정하기 위하여 시료 떡을 동결건조하여 분말화 한후 cold 및 hot paste의 점도를 측정하였다. 측정결과 extrusion에 의하여 제조된 떡의 겉보기 점도는 대조구 떡 보다 낮아지며, extrusion 시 기계적 에너지 소모율이 높을수록 낮은 겉보기 점도를 나타내어, 전분분자의 붕괴정도가 높았다.

반죽의 수분함량을 증가시키면 기계적 에너지 소모율이 감소하여 전분입자의 붕괴정도는 감소하였으나, 충분한 호화가 일어나지 않아 보다 높은 barrel 가열 온도로 유지할 필요가 있었다.

유화제 (monoglyceride등)을 첨가하여 extrusion 하면 전분입자의 붕괴도를 감소시키고 또한 조리중 조리액으로의 용출 고형분 양을 감소시키는 효과가 있었다.

2) Scale-up 및 자동화 연구

가) Extrusion 중 기계적 및 전열 에너지 분석

lab scale 장치로는 시간당 50 kg 내외의 가래 떡을 생산할 수 있었으며, 이 때 반죽의 수분 함량은 36 % 내외가 최적이었고, 반죽의 온도는 110 C 까지 가열하였다가 die 부근에서는 90 C 로 냉각할 필요가 있었으며, die 직전의 압력은 30 bar로 유지하여야 되었다. 생산중 에너지 수지는 원료반죽 Kg 당 소모된 기계적 에너지 320 KJ 가 필요하였고, cooking 에 필요한 열에너지 325 KJ 중 158 KJ은 기계적 에너지의 약 50 %가 마찰에 의한 열로 전환되어 충당되었고, 나머지 167 KJ 은 barrel 외벽을 통한 열전달에 의하였다. 냉각에 의하여 소실되는 열량은 75 KJ 이었다.

나) Breaker plate 부착효과 분석

생산량을 500 kg/hr로 scale-up 할 때 가장 문제가되는 부분은 전열면적으로, barrel 내벽의 표면적을 증가하는 일은 screw 직경(66mm, lab의 1.5 배)이 한정되어 순 표면적은 2.25배 이상으로 증가 시키는 것은 불가능하였다. 그러므로 barrel 내

의 반죽충진도를 증가 시킬 목적으로 압출/성형 직전에 opening ratio를 10, 20 및 30%로 달리한 bleaker plate(perforated plate))를 장착하여 기계적 에너지에 의한 열 발생정도를 측정하는 실험을 실시한 결과 break plate의 restriction이 증가하면 기계적 에너지에 의한 열 발생정도의 증가는 미미하였으나(유의차 없음), Barrel 외벽으로부터의 전열량의 증가(25 %증가)는 뚜렷하였으며, 전분 분자의 붕괴도는 restriction 이 증가할 수록 약간 증가하는 데 그쳤다.

다) 조업조건 자동화

Process variables (원료 투입량, 가수량, 회전속도) 및 기계적 에너지투입량등을 운전중에 매 10초마다 측정기록하고, Feeder 및 main motor의 회전수를 조절할 수 있는 PID controller 시스템을 시작완료하고, 가수량을 조절할 수있도록, motorized valve 및 digital 식 flow meter를 장착하여 가수량을 자동 조절할 수 있는 조절시스템 개발.

2. 활용에 대한 건의

1) 신규 사업예정 떡 제조업자를 대상으로 수요조사를 실시한 후, 기계제작업체와 공동으로 scale-up된 장치 (예상 제조비용 4억원)에 대한 개발 완료 후 산업화 추진

2) 분쇄기능, 유화제 첨가효과등은 학술지에 발표하여 관련 업계에 홍보할 예정임

SUMMARY

Development of Automated Single Equipment for Rice Cake Production

Kim, C.J., Kim, D.C., Kim, C.T., Hwang, J.K., Keum, J.S., Han, M.Y. and Lee, S.J. Korea Food Research Institute,

Rice cake is called "*Ga-Rae-Dduk*" have been used as the staple dish at New Years Day in Korea. The rice cake was produced by small manufacturer scattered all around the nation by using 7,000 metric ton of rice as raw material in 1995.

The conventional process for producing rice cake involves a series of complex stages, such as washing and cleaning the rice, wet-milling into the fine flour, steaming the flour to gelatinize, kneading and extruding the batter under pressure through a shaping die, cutting, cooling and packaging. The manufactures have been faced with the modernization of the processing method in order to save labor cost and to reduce waste water.

Extrusion cooking is a more efficient method for producing rice cake than the convetional method. It would be more attractive if the rice could be used directry as the raw material instead of powder form. Thus an extruder combining the four stages of milling, cooking, kneading and forming could save labor and make the process automated.

The effect of milling methods on the physicochemical properties of extruded *Ga-Rae-Dduk* was evaluated on the aspect of proximate compositions, particle size distribution, degree of gelatinization, rheological property, storage stability, extractable solid, cooking time, water absorption index(WAI), and change of hardness after cooking. The manufacturing method of *Ga-Rae-Dduk* included; 1) CON: *Ga-Rae- Dduk* prepared by the conventional method of rice miller, 2)DE1: extruded *Ga- Rae-Dduk* at low screw-speed using rice flours prepared by dry grinding, 3) DE2: extruded *Ga-Rae-Dduk* at high screw-speed using rice flours prepared by dry grinding, 4) WE1: extruded *Ga-Rae-Dduk* at low

screw-speed using rice flours prepared by wet grinding, and 5) WE2: extruded *Ga-Rae-Dduk* at high screw-speed using rice flours prepared by wet grinding,

The rice flours of particle size distribution revealed 294.9 μm , 329.3 μm for rice flours prepared by dry grinding, rice flours prepared by wet grinding.

The moisture content of *Ga-Rae-Dduk* revealed 46.7, 38.9, 39.3, 38.7 and 39.5% for CON, DE1, DE2, WE1, and WE2, respectively.

CON showed a significantly higher ($p < 0.05$) degree of gelatinization (89.6%) than other while those of DE1 and WE1 remained lowest (73.8%, each) after extrusion. The apparent viscosity of *Ga-Rae-Dduk* paste was increased by raising the screw speed of the extruder.

The hardness of *Ga-Rae-Dduk* stored at 5°C increased gradually and then showed a sharp rise after 15 hr. Generally, more extent of increase was noted from WE1 and WE2 in contrast with DE1 and DE2. At 25°C, negligible change of hardness was observed from CON while all the extruded samples (DE1, DE2, WE1, and WE2) became ten times as hard as 0 time storage samples. In contrast, significantly higher increases of hardness were noted from DE1 and DE2 as compared with WE1 and WE2 ($p < 0.05$).

A relatively higher amount of solid from *Ga-Rae-Dduk* was extracted into water with boiling time in DE1 and DE2 while the amount was significantly lower in WE1 and WE2 ($P < 0.05$). The WAI value and related increase of softness in boiling water were significantly higher in DE1 and DE2 than WE1 and WE2 ($p < 0.05$).

The overall quality parameters were mostly influenced by screw speed of the extruder and more favorable result was brought from the higher screw speeds. With respect to milling methods, drying milling caused higher amounts of damaged starch and the subordinating increases in extractable solids, WAI, and hardness of *Ga-Rae-Dduk*. A cooking (boiling) time of four to six minutes was most appropriate to recover the initial softness of the *Ga-Rae-Dduk* pieces.

여 백

목 차

제 1 장 서 론	15
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	17
제 2 절 연구 내용	18
제 2 장 기존 공정 분석 및 필요 부품 시작 및 성능시험	19
제 1 절 기존공장 조사 및 공학적해석	19
1. 국내 쌀 떡가공공장 현황	19
2. 가공공정의 공학적 해석	19
제 2 절 떡 제조용 압출성형기 구성 및 시험생산	21
1. 가래 떡 제조용 부품 설계 및 제작	21
가. 분쇄기능 screw elements	21
나. 냉각/가열 barrel	22
다. 성형 die 및 breaker plate	22
2. 제작 부품별 성능시험	25
가. 전처리(수세 및 침지) 공정 개선	25
나. 분쇄성능 시험	25
다. 떡 제조실험	30
제 3 장 Scale-up 방안제시 및 자동화 및 주변기기 구성	59
제 1 절 Scale-Up	59
1. 문헌 및 이론적 고찰	59
2. lab. extruder의 screw 및 barrel 구조 분석	66
3. 떡 제조중 SME 및 thermal energy 수지분석	70
제 2 절 Process Parameter 자동 조절 및 System parameter 자동 기록	72
1. 측정장치 구성	72
2. 신호전환 및 display	72
3. Monitoring 결과	72
제 3 절 주변기기 사양	75
1. 절단 및 냉각 conveyor	75
2. 건조기	75
참 고 문 헌	76

여 백

제 1 장 서 론

오래전부터 전통적으로 곡물을 조리해 온 방법 중 떡은 우리민족의 대표적인 식품으로서 명적음식 또는 의례음식으로 자리잡아 왔다. 떡을 조리형태로 정의하면 “곡물의 분식형태의 음식”¹⁾이라고 할 수 있는데 떡은 밥짓기가 일반화되기 이전에는 상용음식의 하나였다가 밥의 상용화가 정착된 이후로 의례적인 음식이 된 것으로 추정되며 또한 쌀에 콩류, 깨류 및 각종 견과류와 과일 등을 배합하여 영양적으로도 균형을 이루었다.²⁾ 이처럼 떡은 오랜 옛날부터 우리민족의 보편적인 음식이었으나 오늘날에 와서는 의례의 간소화 및 식생활의 서구화 등으로 인하여 그 소비가 감소하고 있는 실정이며 물론 조리법도 단순화되고 점차 그 맛도 잃어가고 있는 실정이다.

가래떡과 절편의 인절미와 함께 찰떡의 가장 기본이 되는 대중적인 떡으로 멥쌀가루에 물을 내려 찼 후 쳐서 만든 떡을 말하며 섞는 재료에 따라 다양하게 만들 수 있다. 이러한 떡류에 있어서 가래떡을 굳혀 엽전같이 얇게 황으로 썰어서 만든 떡국이 있는데 세일에는 반드시 탕병을 썼다고 陸放翁의 歲首, “徐事詩”에 쓰여 있다. 우리가 보통 말하는 떡국의 모양은 절편 모양의 떡인데 이를 곤떡이라고도 하며 시중에 유통되고 있는 가래떡을 지칭한다.

가래떡을 이용한 떡국은 쌀농사가 가장 빨리 전파된 곳인 한강,금강 유역 중에서 특히 서울지방의 쌀음식으로 발달되었다. 서울에서는 가래떡의 원료로 여주, 이천 쌀을 가장 우수하다고 인정하였다.³⁾ 또한 모양에 있어서도 경기도 지역에서는 정초에 길함을 표시하기 위하여 떡을 일일이 정성들여 누에 고치 모양으로 만들기도 하며 충청도 지방에서는 익반죽한 원료를 양손 바닥에 놓고 약간 납작하게 직접 만들어 떡기도 하였다.³⁾ 재래식으로 만드는 방법은 쌀을 뿔아 가루로 만들어 시루에 고시래 떡을 찼 후 안반이나 절구에 놓고 옹기 솥에 장국이 끓을 때 가래떡을 넣고 끓여서 국자로 떠 반병두리나 대접에 담아 먹는 것이다. 지금은 대개 가래떡을 뽑을 때 압출성형 공정을 이용하여 만들고 있으며 즉석건조가래떡의 개발도 보고되고 있다.⁴⁾

식품공업에서 주로 사용하는 압출성형은 생물고분자 물질 등을 회전하는 스크류 형태의 기계내에서 자체 발생하는 열과 가해지는 열에 의하여 가열처리함으로써 식품을 익히는 것과 동시에 성형하는 압출조리 공정이다.⁵⁾ 최근 곡류 식품의 가공분야, 특히 전분의 가공을 위해서 식품산업에서 압출성형기의 응용은 증가되고 있으며, 적용분야로는 cereal제품, 스낵, 영양강화식품, 유아식, 변성전분제조 등이며 대두의 조직화 단백질(TVP)제조에 이용되기도 한다.^{6~10)}

압출성형 공정에서 Doublier등^{11~12)}은 압출공정에서 전분입자를 무작위로 분해하여 텍스트린 등으로 저분자화시킨다고 하였고, Gomez등¹³⁾에 의해 제안된 압출성형에 의한 옥수수 전분의 분해 모델은 낮은 수분함량에서 전분입자의 기계적 파괴와 텍스트린화가 일어남을 보여주었고, 경우에 따라서는 전분의 호화단계가 없이 곧바로 자유고분자(free polymer)단계로 갈 수 있는 방법을 제시하였다.

이들 전분은 단순 열처리에 의해서는 분자구조의 변화가 거의 일어나지 않는데 비해 압출성형 시에는 내부에서 일어나는 충밀립 변형과 열발생 및 압력변화에 의해 전분분자의 무작위 분해(dextrinization)가 일어나 상당한 구조적 변화를 동반함을 의미한다.¹⁴⁾

또한 쌀가루의 제조는 쌀의 품종에 따른 전분의 특성차이 이외에도 쌀가루 제조시 사용되는 제분기의 종류 및 제분방법 또한 쌀가루의 기능성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있고^{15~18)}, 전식제분은 손상전분의 양을 많게 하므로 습식제분이 권장되나 공정상의 문제 및 비용면에서 개선이 요구되고 있다.¹⁶⁾ 전분입자는 제분과정 중 기계적 손상을 받게 되고, 손상받은 전분들은 손상을 받지 않은전분과는 여러 가지 면에서 다른 특성을 가지고 있다.^{19~24)} 또한 입자크기에 따라 호화도, 결합력, 수분흡수력, 전분손상도, 반죽의 물성들이 변화되어지게 된다.^{20,25)} 이와 같이 쌀을 가공하는 과정에서도 물리화학적 성질의 변화가 일어나므로 가공용도에 적합한 쌀가루의 제조방법이 필요하다.

제 1절 연구개발 목적과 범위

· 가래떡 제조공정은 쌀 -> 수세 -> 침지 -> 분쇄 -> 증숙 -> 성형 -> 냉각 -> 절단 -> 포장등 복잡한 공정으로 이루어져 있어 설비의 현대화에 많은 제약이 따르고 있다.

특히, 수세, 침지공정에서 발생하는 세척 폐·배수는 별도의 공해방지시설을 필요로 하며, 증숙공정은 연속식이 제대로 개발되지 않아 회분식 장치를 주로 사용함으로써, 균일한 증숙을 위한 조업조건 조절에 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다. 한편 제과공업등 식품산업에서 스낵제품의 제조에 널리 활용되고 있는 식품 압출성형기는 이축형인 screw의 zone마다 각기 다른 기능을 갖는 screw elements를 조합·사용함으로써, 단일 장치에서 복합적 기능을 나타낼 수 있다. 최근 일본을 중심으로 고수분함량 원료물질을 가공할 수 있는 기능 및 분쇄기능을 갖는 kneading용 screw elements가 개발되어 활용되고 있다.

Extruder에 screw modular system 활용하여 장치내 screw part별 분쇄, 혼합·반죽, 마찰에 의한 열발생 및 높은 압력하에서의 이송등 기능을 갖는 screw elements를 조합배치하면, 투입된 원료 쌀이 Extruder 내에서 출구 방향으로 이송되면서, 각 screw zone 에서 갖는 기능에 따라 분쇄, 혼합, 반죽, 증숙 공정을 거쳐 최종 성형 Die를 통하여 성형시켜 단일 장치내에서 기존 일련의 떡 제조공정을 이룰 수 있어, 공장의 면적을 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 장치내에서 필요 수분을 균일하게 분산 혼합하여 균일한 반죽을 형성시킬 수 있어 폐·배수의 양을 최소화 하여 별도의 폐수처리장의 설치를 생략할 수 있다. 또한, 증숙공정을 자체 마찰열에 크게 의존하기 때문에 증숙에너지를 크게 절감 하고, 운전조건의 단순화를 꾀하여, 노동력 투입 절감과 아울러 품질의 균일화를 이루기 쉽다.

개발된 장치의 가공능력을 다양화하고 자동화함으로써 소량 다품목 생산 체계를 이루기 쉽다. 또한, 개발될 장치는 투입원료가 쌀만으로 국한되지 않으며, 조업조건 확립을 통하여 잡곡류 및 속등을 혼합한 혼합 떡을 단일 장치만으로 제조할 수 있으며, 2 대의 장치를 통하여 co-extrusion 시키면 조직감, 색상 및 맛이 서로 다른 다단 층의 떡등 다양한 종류의 떡을 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 Screw의 회전속도 와 가수량의 조절, Barrel의 가열 및 냉각에 의한 외벽온도조절 및 다양한 구조의 Die 사용등의 조업조건의 조절로 열발생 및 쌀

전분의 변형조절을 통하여 제조되는 떡의 조직감을 조절할 수 있는 가래 떡 제조장치를 Lab scale Twin-Screw Extruder를 기본으로하여 개발하고, 적용 시험 및 공학적 분석에 의하여 상용(시간당 500-1000 kg) 장치를 제조할 수 있는 설계자료를 구축하고, 장치의 자동화를 기하기위한 계측장치 및 조절장치의 사양 및 주변기기의 사양을 적출하여 최적 떡 생산 시스템을 구축할 목적으로 수행되었다.

즉, 떡 제조공정을 단일장치내에서 이룰 수 있는 장치개발 및 보급할 기틀을 마련하기 위하여 다음과 같은 내용의 실험연구를 수행하였다.

제 2 절 연구 내용

1) 실험규모 장치를 이용한 시제 떡제품 생산실험 및 물성개선연구,

○ 보유하고 있는 Lab scale Twin-screw extruder에 분쇄기능을 갖는 disc type의 kneading disc등 특수기능을 부여한 screw element 부품, 가열 barrel, 성형 die등을 시작하여 실험실 규모의 떡 제조장치 시작

○ 부재료(유화제, 타 곡물전분)의 배합비율, extrusion process parameter 조합 등의 실험설계에 의하여 생산 떡의 조직특성 및 저장기간 연장을 위한 최적 조건 확립

2) 시작장치의 구조개선 및 scale-up 연구,

Lab. scale 장치(시간당 50 -100 kg 생산능력)의 생산규모를 시간당 300 - 500 kg 의 생산능력을 갖는 장치로 scale-up을 위한 Technical/engineering 자료를 적출하여 생산장치의 사양결정

3) 주변장치 (자동제어 System포함) 사양결정 및 생산체계확립

장치의 PID controll을 위한 Data acquisition 및 relay controller 구축

제 2 장 기존 공정 분석 및 부품 시작 및 성능시험

제 1 절 기존공장 조사 및 공학적해석

1. 국내 쌀 떡가공공장 현황

- 전국 100 여개 정부미 사용 떡 공장에서 약 6.8 천톤의 쌀을 원료로 사용하여, 쌀떡(가래떡), 떡볶이 떡 및 질편등을 생산하고 있음.

- 서울, 인천, 경기도 등 경인지역에 57 개소의 공장에서 전국물량의 약 80 %를 생산하고 있으며, 이를 규모별로 살펴보면, 연간 2,000 톤 이상의 쌀을 사용하는 공장수는 9 개소, 2,000-1,000 톤의 공장수는 15 개소, 1,000 - 500 톤의 공장수는 16 개소, 500 -100 톤의 공장수는 7 개소, 연간 100 톤 미만의 생산실적을 갖는 공장수도 10 개소에 달하여, 몇 공장을 제외하고는 주 종목이 아니며, 가동율도 지극히 낮았다.

- 직접방문한 3 개소의 떡 공장의 주요 가공공정을 요약하면, 투입→ 세미 및 침지→ 분쇄→ 증자 → 성형→ 냉각→ 절단→ 포장의 일련의 생산 line을 구축하고, 각 line의 생산능력은 시간당 쌀 500-650 kg 을 처리할 수 있는 능력을 갖추고 있다.

2. 가공공정의 공학적 해석

- 수세 및 침지: 침지조(1550 Φ X 2640, 2HP)에 1.5 - 2.5 톤의 원료 쌀을 채운후 침지조의 바닥으로 부터 세척수를 pumping (2.5 톤 /hr)하여 탱크상부로 overflow 시켜면서 교반 세척하면서 동시에 침지한다. 1 - 2 시간 동안 배수한 후, 공기압송기로 분쇄기의 저장조로 이송한다. 침지와 배수시간 3.5 - 4 시간, 쌀의 수분함량 32 - 35 %.

- 분쇄 : 2단 smooth roller mill(25 Φ X 900, 2 step 10 HP) , 입도 65 %가 -80 mesh체를 통과 16 mesh 체에 걸리는 량 3 % 미만.

- 혼합 및 가수: 분쇄 쌀을 평 conveyor(w 1000)로 이송하면서 식염(0.5%) 및 소맥전분 (2%)을 가루상태로 첨가하며, 수분함량을 45 %가되도록 spray nozzle을 이용

하여 정제수를 분무함.

- 증자 : 연속식 증자기(45Φ X1500)의 바닥에 장착된 steam dispenser 및 steam injector (Φ 1mm)를 통하여 live steam (pressure 4 kg)를 가하여 증자, 이 때 증자기내부에 교반하는 날개에 의하여 증자기의 출구로 이송, 투입후 약 1.5 -2.5 분간 머물면서 반죽의 수분함량은 투입 증기의 응축에 의하여 40 - 50 %로 증가되며, 온도는 110 -100 °C 를 유지하며, 시간당 원료 쌀 500 kg을 처리할 수 있음

- 성형: 서로 떨어져 있는 2 축 screw에 의하여 주로 혼합 및 탈기 기능을 이용하여 1차 떡 가래로 성형한다. 이송기에 의하여 2차 성형기로 이송될 때, 수분휘발에 의하여 온도는 70 - 80 °C로 냉각되고 수분함량은 감소하므로, 떡 가래에 물을 분사하여 표면을 적셔 주어 전체적으로 수분함량을 50 %로 유지시켜, 2차 성형기에서 성형을 완성함.

- 냉각, 건조, 절단, 포장: 떡국용 떡은 냉장실(5-10 °C)에서 24시간 이상 정치하여 굳힘과 부분건조를 이룬후, 일정크기로 절단 포장하여 출하한다.

제 2 절 떡 제조용 압출성형기 구성 및 시험생산

1. 가래 떡 제조용 부품 설계 및 제작

원료 쌀의 전처리 즉 수세 및 침지는 먼저 원료 쌀의 이물질제거 및 세척은 기 개발된 청결미 제조 장치 및 color sorter를 사용하여 실시하는 것으로 하였으며, 수 침은 상온의 물에 일정시간 정치후 체에 올려 탈 수 하는 공정으로 대체하기로 하였다.

압출성형기에 분쇄·반죽·가열·냉각·성형의 기능을 부여하기 위하여, 특수 screw element와 냉각/가열 barre을 설계 제작하였다.

가. 분쇄기능 screw elements:

Self-wiping 기능을 갖는 kneading disc 또는 paddle 형 설계하였다. 즉, 같은 형태를 갖는 screw element가 같은 방향과 속도로 회전할 때, 각 상대 screw의 root 와 flight 끝이 어떠한 위치에서도 항상 접촉하여야 만 self-cleaning 기능을 갖게 된다. 이 때 disc의 단면은 2 개의 tip, 2 개의 root 및 각각의 tip과 root 부분을 연결하는 4개의 flank로 나누어지며, 각각의 tip 과 root는 같은 angle을 갖고, 모든 각 부분의 angle의 합은 360° 이므로, 축과 평행한 단면의 기하학적 구조는 screw의 직경($2R_s$)과 두 screw 사이의 거리 center line(C_L)과의 비(ρ_c)에 의하여 결정된다.

분쇄기능을 갖는 disc element의 단면은 out dia. 44mm, root dia. ($C_L/2$) 27.2 mm 로 $\rho_c = 1.236$ 으로 tip과 root의 중심은 disc의 중심과 일치하며 angle은 13.63° 이며, flank의 중심은 disc를 중심으로하고 screw의 반경과 일치하는 원의 궤적상에 root 또는 tip의 끝 부분과 중심을 잇는 선분과 $13.63^\circ/2$ 의 각도를 이루는 선분과의 교차점이며 angle은 각각 76.37° 인 볼록렌즈 형태를 갖는 disc이며 두께가 5 mm인 4 개의 disc를 45° , 75° , 86° 각도로 왼쪽방향 또는 오른쪽 방향을 갖도록 제작하였다. (그림 1)

각 disc flight의 끝 부분은 0.2 mm 씩 절삭하여 leakage flow를 발생토록 설계하여 reverse 경우에도 흐름이 일어날 수 있도록 고려하였으며, shaft에 설치시에는 각 Disc element 사이에 1 mm 두께의 insert ring을 삽입하여 조립시 약간의 유격을 유지하도록 하였다.

나. 냉각 또는 가열 기능을 갖는 barrel:

길이 4 L/D(176 mm)의 section barrel의 8자형 주위에 8개의 연통관을 장착하여 냉각수 또는 가열 열매체가 순환하여 냉각/가열 기능을 부여하였고, 가열을 위하여 열매체 순환기 (max temp 210 ° C, heating capacity 6 kW, thermal medium flow rate 600 l/hr)를 장착하고, 열매체의 순환속도를 측정할 수 있는 rotpmeter type의 flow meter를 장착하고, in let 및 our let의 온도를 측정기록하기 위한 thermocouple 및 기록계를 장착하였다

예비실험결과 가열정도가 부족한 경우가 발생하여, 1 section barrel당 1 KW 용량의 전열기(그림 2)를 부착하여 정밀 온도조절이 가능한 barrel을 제작하였다. 냉각을 위하여서는 상온의 냉각수를 barrel 당 300 l/hr의 속도로 순환시킬 수 있으며, 냉각수 순환속도를 조절할 수 있는 rotameter를 부착하여 냉각에 의한 온도조절 및 냉각 열량을 측정할 수 있도록 in let 및 out let 물의 온도를 측정할 수 있는 thermocouple(PT 100 Ω)를 장착하였다.

다. 성형 die 및 bleaker plate제작:

가래떡 성형용 die는 orifice type(내경 18 mm X 36mm)의 insert형, 떡볶이용 성형 die는 2 orifice (내경 8mm X 18 mm)의 insert 형으로 제작하여, die plate (내경 48mm 길이 82 mm, jacketde for cooling)의 끝에 장착할 수 있도록 설계제작하였다 (그림 3). 반죽내 기포제거 및 압출압력 조절용 bleaker plate는 die plate의 입구에 장착이 가능하도록 외경 42 mm 두께 8 mm의 원판에 5mm, 3mm 의 hole을 갖는 perforated plate로 제작하였다 (그림 4).

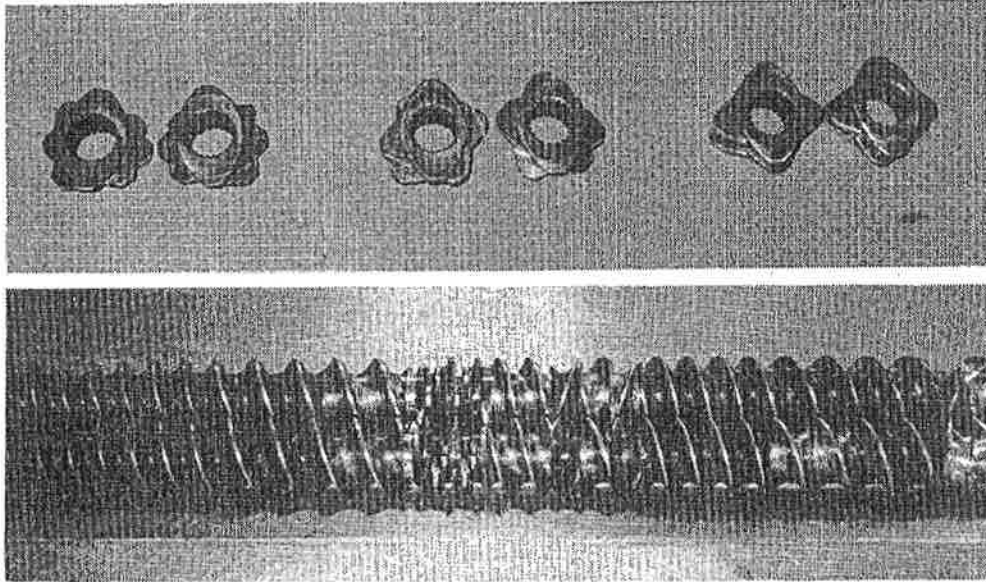


그림 1. 분쇄기능 screw elements의 구조 및 조합된 screw 전경

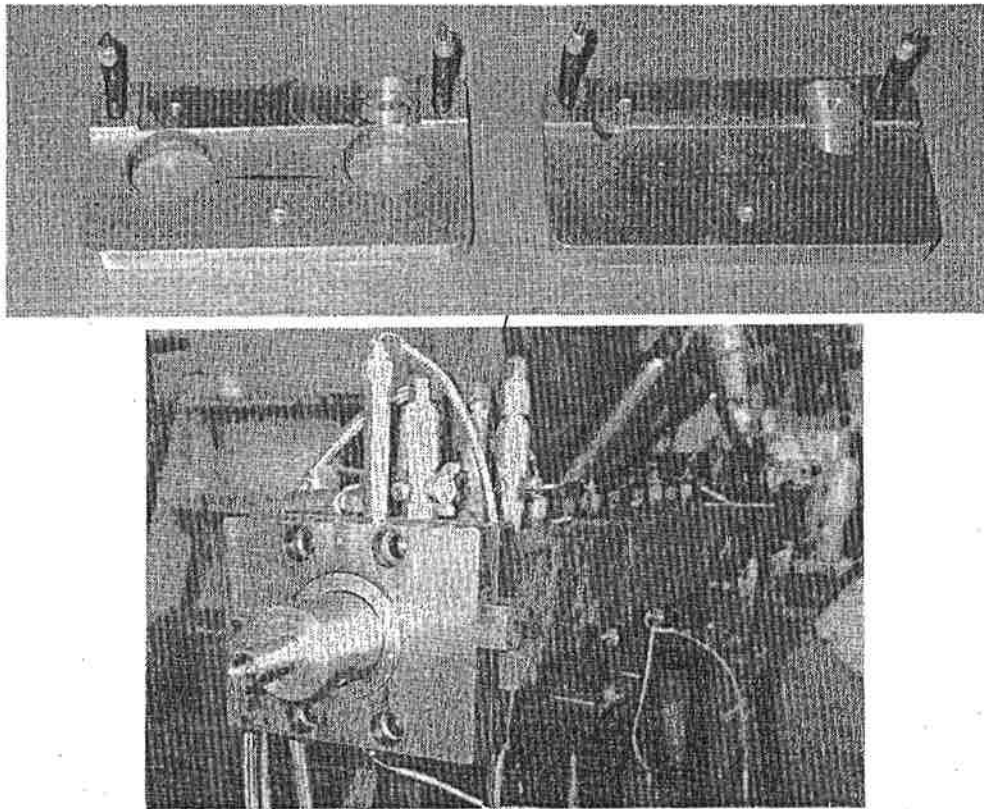


그림 2. Barrel Heater 및 Heater 장착 barrel의 조합후 전경

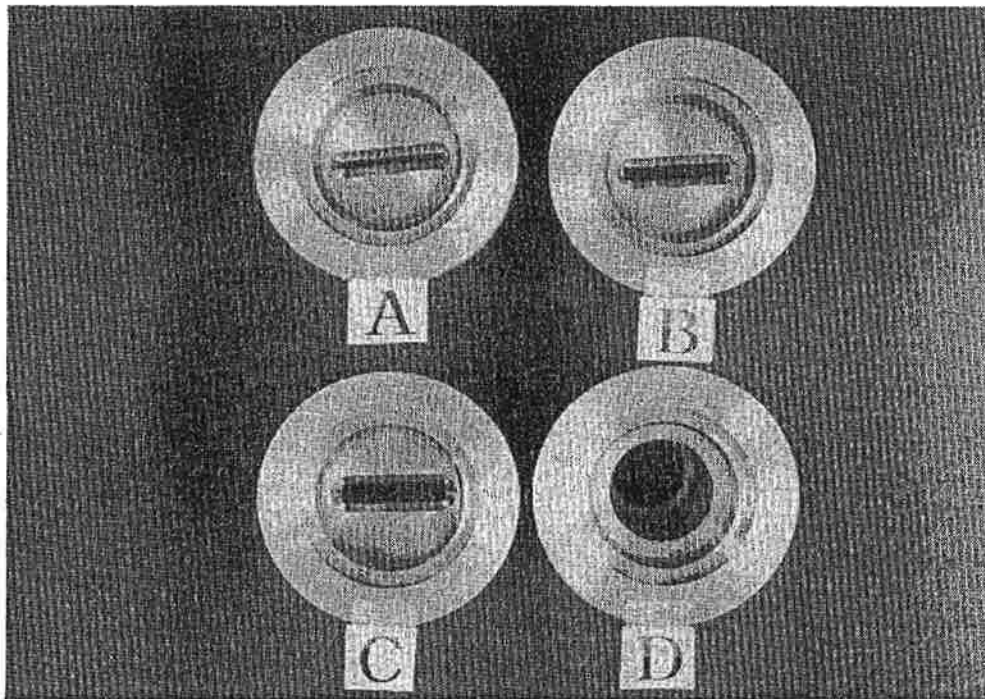


그림 3. 각종 실험용 Die plate의 Breaker plate insert seat

Die openings A: 2 X 20 X 60 mm, B: 3 X 20 X 60 mm

C: 6 X 20 X 60 mm, D: Rod type Die plate

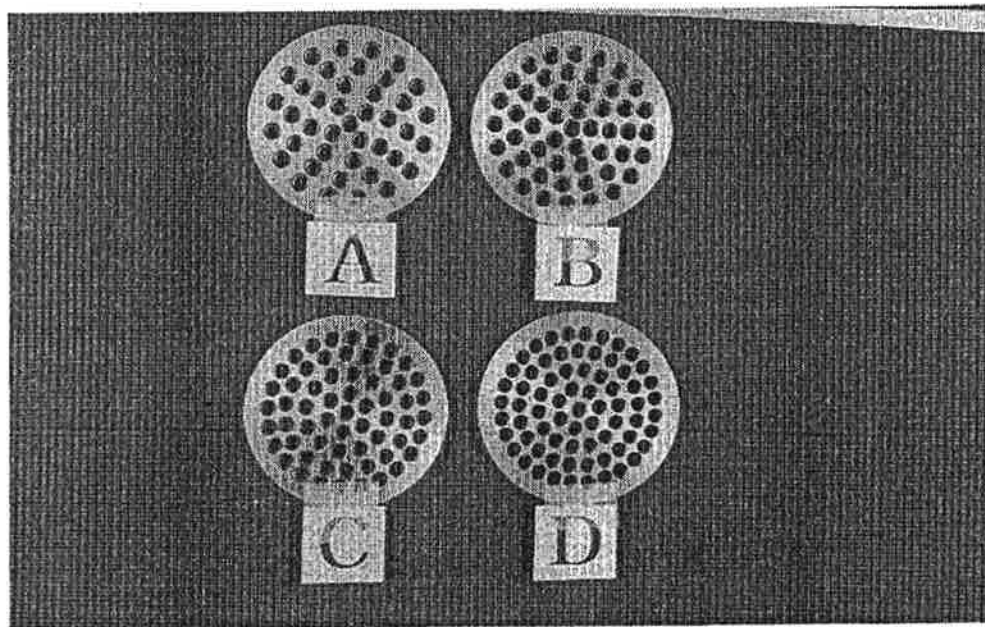


그림 4. Die 전 Bleaker Plates 사진

A: 15 % openings B: 20 % openings C: 25% openings D: 30% openings

2. 제작 부품별 성능시험

가. 전처리(수세 및 침지) 공정 개선

원료쌀 (90 년도 통일 쌀, 95 년도 도정)을 청결미 제조기 (대원산업) 및 색채선별기로 세척 및 정선을 실시한 결과, 청결미 제조기에서 외표면에 부착되었던 미강 등 이물질이 약 0.5 % 제거되었고, 색채선별기에서 유색립(착색립)이 0.5 % 제거되어었다. 원료 쌀 1 톤을 처리하는 데 용수등이 100 l가 소요되어 폐수 발생을 극소화 시킬 수 있었으며, 예비 실험 결과, 정선된 원료 쌀은 이 후 떡 가공과정중에 변색 또는 이취발생을 억제할 수 있었다.

나. 분쇄성능 시험

1) 실험 재료 및 방법

가) 실험재료

원료 쌀은 청결미 제조기 및 색채선별기로 세척 정선한 통일미를 상온에서 4 시간 침지한 후, 배수한 침지 쌀 (수분함량 34 %)

나) Lab Twin Screw Extruder 구성

본 연구에 사용한 실험규모 압출성형기는 동방향 완전맞물림형 이축압출성형기 (corotation, intermeshing type twin-screw extruder, Biex-DNDL 44, Bhuler Brothers Co., Swiss)로서 20 kW 직류전동기로 구동되며 원료의 투입은 분말원료용 용적식 투입장치인 K-tron L-10을 사용하고, 가수는 투입 barrel의 throat를 통하여 주입되며 이 때 가수량의 조절은 powered valve와 flowmeter를 이용하여 조절할 수 있다. Barrel은 4D(44 x 4 = 176 mm) 길이로 section화 되어 필요에 따라 L/D ratio를 최소 12에서 최고 40 까지 조절할 수 있으며, 각 sectioned barrel은 가열/냉각을 위한 연통형의 jacket을 장착하고 있다. Screw 는 24 강선을 갖는 일정 길이의 shaft와 다양한 형태의 screw elements로 구성할 수 있으며, 각 elements는 forward elements (lead 1.5, 1.0 및 0.75)와 reverse elements(lead 0.75, length 1/3 D) 및 45° angle kneading disk를 기본으로 하고 있다. Barrel의 외부가열을 위하여서는 열매체 가열순환장치(Regloplas temperature control unit, 250kL, 6 kW, Swiss)를 이용하여 250 °C 까지 가열할 수 있다.

운전중 스크류 회전속도, motor torque, 압출온도 및 압력, 원료투입량 및 가수량

등은 기록장치(DNDC)에 의하여 매 10초간 자동으로 기록할 수 있다.

분쇄능 실험에서는 다음과 같은 barrel 및 screw 조합을 사용하였으며, die 는 full open, 냉각 가열을 전혀하지 않은 상태로 압출성형기의 분쇄능만을 측정할 수 있는 구조이다.

Barrel 조합 : 4 section barrel (feeding/cooling/cooling/conveying 17.6mm x 4),
full open discharge

Screw 조합: 총 screw 길이 528 mm (L/D 12)에 처음 feeding section에 forward conveying elements 198 mm (66R X 3), kneading elements 42mm(45° R + 75 ° R), forward conveying elements 264 mm (66R X 4), forward conveying element(44R X 1/2)을 조합한 Type 1 과 한 쌍의 kneading elements 42mm 를 conveying elements(44R)로 사이를 띄워 조합한 Ytype 2의 2 종의 screw 조합.

다) 운전 방법:

침지 쌀을 hopper에서 일정 속도 (시간당 10 - 60 kg)로 extruder내에 투입할 때, 수량 조절하여 투입 원료반죽의 수분함량이 40 %가 유지하도록 하면서, screw 회전속도를 135, 180, 225, 270 rpm의 4 단계로 조절하여 통과된 쌀 분쇄물을 분쇄도 측정 원료로 사용하였다.

분쇄도 측정은 쌀 분쇄물을 일정량 (100 g) 을 취하여 물에 분산시킨 후, 일련의 체 (16, 36, 60, 80 mesh)을 통과시켜, 체 위의 쌀입자를 조심스럽게 평량병으로 옮겨 건조하여 체 위의 건조물의 무게를 구하여, 취한 고품분량의 백분율로 나타내었다.

쌀 가루 입도별 호화양상 (호화 개시온도 및 호화 enthalpy)을 측정하기 위하여, 분쇄된 쌀가루를 냉동건조한 후, 체(Tyler equivalent sieve designation, 18, 40, 50, 80 및 230 mesh)로 5 가지 입도 범위 별로 분획한 시료를 Differential Scanning Calorimeter(DSC, Perkin Elmer thermal Analysis system 7)를 이용하여 측정하였다. 이 때, syainless steel pan을 사용하여 수분함량 70 %가 되도록 가수하여 10 ° C/min 의 가열속도로 50 ° C에서 120 ° C 까지 가열하여 thermogram을 얻어 Lund(1984)의 방법에 의하여 호화양상을 분석하였다.

2) 실험 결과 및 고찰:

표 1 에 screw 의 type(kneading disc의 갯 수 2, 4)별로 침지 쌀의 투입속도 및 screw의 회전속에 따른 분쇄물의 입도분포 변화 양상을 나타내었다.

Type 1 screw 조합(45° disc 20mm + 75° disc 20mm)을 이용한 경우에는 투입량이 증가할 수록 분쇄물의 입도가 커지는 경향이 뚜렷하였고, 6 kg/hr의 투입속도에서는 screw의 회전속도가 증가할 수록 입도가 거칠어지는 경향을 보여, 16 mesh 체에 걸리는 입자의 함량이 screw 회전속도 135 rpm 인 경우 1.6 % 에서 225 rpm인 경우에는 6.05%로 증가하였다. 예비실험 결과 밝혀진 16 mesh 의 체에 걸리는 입자는 extrusion에 의하여 가열, 혼합반죽을 하더라도 최종 성형 떡의 입안의 촉감이 거칠은 감을 제공하기 때문에 보다 강력한 분쇄기능을 부여하여야만 하였다. 특히 screw의 회전속도는 180 rpm 이상을 유지하여야 충분한 cooking과 혼합을 이룰 수 있으므로 type 1 screw 조합은 투입 원료의 량이 증가하면 분쇄기능이 불충분함이 밝혀 졌다.

Type 2 screw 조합 [(45° disc 20mm+75° disc 20mm)X2]의 경우는 screw 회전속도를 최적 cooking 및 혼합조건으로 밝혀진 225 rpm으로 고정하고, 투입속도를 20 kg/hr이상에서 분쇄실험을 실시한 결과, 투입속도에 증가에 대한 영향은 type 1 screw와는 달리 16 mesh의 체에 걸리는 입자의 량에 변화는 미미하여 20 kg/hr에서 약 1 %에서 투입속도를 50kg/hr로 증가시켰을 경우에도 약 3 %로 증가하는 데 그쳤으나, 80 mesh를 통과하는 미세입자의 함량은 처음 43%에서 31 %로 감소하였다.

한편 표 2 에는 쌀 가루의 입도별 호화양상을 측정된 결과를 나타내었다. 입도가 클 수록 호화 또는 상변화에 필요한 enthalpy가 증가하였고, 호화 최고 온도 및 호화 종료온도가 증가하는 경향을 나타내었다. 쌀가루는 입도에 따라 약간의 성분 조성의 변화가 가능할 것이지만, 쌀 전분의 호화 양상이 granule 상태로 존재할 때와 분쇄에 의하여 전분 granule이 붕괴되었을 때의 전분의 물리적 구조변화에 기인하는 결과로 생각된다. 이와 함께 쌀 가루의 입자내로의 수분확산도에도 입도로별 큰 차이가 나므로 (Yeh, 1991), 쌀가루의 입도는 제조되는 떡의 조직특성에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되므로 압출공정에 의한 떡 제조공정 개발에 있어서도 원 쌀 분쇄물의 입도분포는 중요한 인자가 된다. 그러나, 압출성형 공정의 강력한 혼합·반죽의 특징상 투입된 원료가루가 가열 section에 도달전에 즉, 반죽이 호화개시온도 72 °C

표 1. Screw 조합별 원료투입속도와 screw의 속도에 따른 분쇄물의 입도분포

Screw type 1			Screw type 2			
Feed(kg/hr)	Speed(rpm)	Distribution (%)	Feed(kg/hr)	Speed(rpm)	Distribution(%)	
6	135	+16 mesh	20	225	+16 mesh	
		1.65			1.08	
		+35 mesh			17.01	22.72
		+50 mesh			8.00	17.11
		+80 mesh			6.61	15.45
-80 mesh	66.73	43.64				
6	180	+16	25	225	+16	
		5.07			1.66	
		+35			25.72	22.98
		+50			7.86	19.40
		+80			5.72	13.42
-80	55.63	42.53				
6	225	+16	30	225	+16	
		6.05			2.87	
		+35			28.20	22.80
		+50			8.98	18.88
		+80			4.79	13.76
-80	51.98	41.69				
10	225	+16	35	225	+16	
		10.01			2.88	
		+35			30.14	21.66
		+50			6.86	20.14
		+80			5.74	13.20
-80	47.25	42.13				
15	225	+16	40	225	+16	
		10.56			2.85	
		+35			29.67	21.81
		+50			7.04	17.23
		+80			5.26	15.85
-80	47.48	42.26				
20	225	+16	45	225	+16	
		15.68			2.96	
		+35			27.30	23.19
		+50			7.04	19.97
		+80			4.62	16.66
-80	45.36	37.22				
25	225	+16	50	225	+16	
		17.07			3.07	
		+35			26.03	27.33
		+50			6.50	21.82
		+80			4.95	16.42
-80	45.45	31.36				

에 이르기 전에 수분흡수가 이루어지면 충분하다. Yeh에 의하면 75 °C에서 입도 250 μm 의 입자가 포화 수분함량에 도달하는 시간은 약 20초 내외로 통상의 압출공정상의 체류시간(2-3 분)보다 짧다고하였다. 그러므로 통상 체류시간과 압출시 가열 온도등을 고려하면 압출성형에 의한 떡 제조시 입자 크기의 한계는 1000 μm 로 예상할 수 있다. 이상의 결과를 미루어 볼 때, 찹지 쌀은 type 2 screw 조합을 사용하면 시간당 50 kg (원료 쌀로 환산하면 약 40 kg) 까지는 무리 없이 가래 떡을 제조할 수 있는 분쇄능을 갖고 있음이 판명되었다.

표 2. 쌀 가루의 입도별 호화 양상의 변화

Particl Size range (μ m)	Gelatinization Temperature(° C)			Enthalpy, ΔH (J/g)
	T _o	T _p	T _c	
1000-1600	73.1	82.1	91.0	12.1
420-1000	73.5	81.2	89.8	12.0
300-420	73.4	77.6	89.6	11.6
170-300	72.4	77.2	86.1	9.7
170-64	72.4	77.2	84.6	6.7
64-1600	72.9	77.5	86.3	10.1

Values are means of the duplicated determinations.

Moisture content of samples was 70 %.

Thermograms were obtained at the heating rate of 10 ° C/min.

T_o, T_p and T_c is onset, peak, conculusion temperaure, respectively.

다. 떡 제조 실험 및 특성분석

1) 실험재료

본 실험에서는 1996년도 경기도 화성에서 재배된 화성벼로서 화성농협에서 도정하여 가공한 청결미를 경기도 판교농협에서 구입하여 -5°C 에서 저장하고 사용하였다.

대조용 쌀가가루의 제조: 쌀가루는 건식제분방법과 습식제분방법에 의해 제조하였다. 건식제분에 의한 경우 냉장저장된 쌀을 체(60메쉬)가 장치된 Fize mill (Elmhurst, IL, U.S.A.)로 3회 분쇄하였고, 습식제분에 의한 경우는 쌀 중량의 2배의 물을 첨가하여 12시간 침지후 2시간 체에 받쳐 여분의 물을 제거하고 Roll mill(경창기계)로 3회 분쇄한 후 0°C 에서 밀폐 냉장보관하면서 압출성형에 의한 떡 제조용 대조구로 사용하였다.

2) 압출성형에 의한 떡 제조

가) 압출 성형기

Barrel 및 Screw 조합: 떡 제조를 위한 압출성형기는 대조구로 분쇄 미를 원료로 사용할 때와 침지 쌀을 직접 원료로 사용할 때의 2 가지 조합 유형을 사용하였다. 먼저 쌀가루를 원료로 사용할 경우 L/D 20의 screw 조합을 사용하였으며 barrel은 5 개의 sectioned barrel(길이 20D, 325 cm)을 연결하여 투입 barrel은 냉각수로 냉각하고, 2 및 3 번 barrel은 원하는 온도로 가열된 열매체를 순환시켜 가열하고, 마지막 5번 barrel은 냉각수의 유속을 조절하여 원하는 냉각온도로 일정하게 유지시켰다. 침지 쌀을 직접 사용한 경우는 분쇄성능 분석 시험에서 사용한 screw type 2에다 쌀가루용 screw 조합을 직렬로 연결한 screw module을 사용하였으며 이 때 barrel의 길이는 32D (12D + 20D, 563 cm)로 8 개의 sectioned barrel을 연결하여 사용하였고 투입 barrel은 냉각수로 냉각하고, 2, 3, 4, 5 번 barrel은 열매체 순환 또는 전열기부착 barrel을 사용하여 가열 온도를 조절하고, 6, 7, 8번 barrel은 냉각수의 유속을 조절하여 냉각온도를 조절하였다.

성형 Die 및 Breaker Plate: 그림 3 및 4 에 나타난 것과 같이 die 직전에 두께 5 mm, 직경 42 mm 의 원형 plate에 직경 3 mm의 구멍갯수를 달리하여 opening ratio를 15 - 30 %로한 breaker를 장착하고, 그림 4과 같은 여러 형태의 die plate를 장착하여 앞에서 설명한 screw와 barrel module에 적합한 breaker와 die의 선정을 위한 예비실험을 실시하여, opening ratio가 20 -25 %인 breaker와 die plate의 opening size는 land length를 조절하여 적정압력을 유지할 수 있었다.

나) 압출성형기 운전조건

압출성형기의 운전조건의 여러 process parameter중 원료 투입속도와 가수량 및 screw 회전속도를 달리하여 표 3 및 4와 같은 조건범위에서 시험생산하면서 평형에 도달한 후 system parameter(SME, 압출 온도 및 압력)를 측정하고, 시험생산된 떡은 냉각 conveyor에서 일정크기로 절단한 후 PE film 포장하여 분석시료로 사용하였다.

Table 3 . Extrusion configuration and extrusion condition for preparation of rice cake

Parameters	Extrusion condition
Screw speed	248, 337.5 rpm
Type of screw	
L/D ratio	20 : 1
Die size	slit (18 X 4 mm)
Preheating temp	130 °C
Die temp	90 °C

Table 4. Experimental design for samples

	Sample			
	DE1	DE2	WE1	WE2
Feed rate(kg/m)	56.4	54.9	55.0	58.0
MC%	36.25	36.52	38.7	39.45
RPM(%)	248.0	337.5	248.0	337.5
Press(bar)	34.5	26.0	29.0	30.0
SME(wh/kg)	72.0	52.3	92.1	68.8

SME: specific mechanical energy input (wh/kg)

DE: rice cake extruded with dry milling flour

WE: rice cake extruded with wet milling flour

3) 제조된 떡의 이화학적 특성 분석방법

가) 가래떡의 수분함량

A.O.A.C. 의 105 °C건조법에 의하여 수분함량을 측정하였다.

나) 가래 떡의 호화도

시료의 호화특성은 Dintzis and Harris²⁹⁾의 방법과 AACCC³⁰⁾을 약간 수정하여 측정하였다. 가래떡의 호화도를 측정하기 위하여 사용한 효소는 amyloglucosidase

(from Rhizopus mold, 22500unit/g)를 10 IU/ml의 용액으로 제조하여 시료를 반응시킨 후 생성된 glucose을 glucose assay kit(Sigma chemical Co)를 이용하여 450nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다. 호화도의 기준시료는 쌀에서 추출한 전분을 이용하였다.

다) 가래떡 paste의 rheology 특성

(1) 떡의 분말제조: 압출성형에 의하여 제조된 가래떡 시료를 -70°C 에서 급속냉동시켜 동결건조하였다. 건조 시료를 Cyclon sample mill로 80 mesh 체를 통과시켜 분말로하였다.

(2) 호화액 조제: 압출성형에 의해 제조한 가래떡 분말을 5% 호화용액(cold paste)으로 조제하였고, 완전호화액을 조제하기 위하여 5% 호화액을 교반 항온수조에서 일정한 속도로 교반하면서 액의 온도를 95°C 에 도달시키고 이로부터 25분간 유지시켜 5% 완전호화액(Hot paste)으로 하였다.

(3) 리올로지 성질의 측정: 호화액의 흐름성질은 회전점도계(Haake Viscometer, Model RV-20)를 사용하였고 25°C 에서 측정하였다. 기록계(Model 1705 BXY-t Record)를 이용하여 기록하였다. 외부 실린더의 내반경은 21.7mm, 내부 실린더의 외반경 20.0mm의 측정용 컵에 5%농도의 시료액 9ml를 넣고 측정온도(25°C)를 유지하면서 회전속도 0 - $1500(\text{S}^{-1})$ 까지 연속적 변화에 따른 토오그값을 Ostwald de Waale model식³⁵⁾으로부터 구하였다.

$$\tau = a \dot{\gamma}^b$$

여기서 a = 점조도 지수($\text{Pa} \cdot \text{S}^{-n}$), b = 유동거동지수, τ = 전단응력(Pa), $\dot{\gamma}$ = 전단속도(S^{-1})이며, 결보기 점도 전단속도는 600 S^{-1} 에서의 값을 나타내었다.

라) 가래떡의 저장온도, 저장시간의 다른 물성적 특성

(1) Rheometer에 의한 hardness 측정

실험에 사용된 시료는 제분방법(건식제분과 습식제분)이 다른 쌀가루를 가지고 압출성형하여 제조한 가래떡과 시중 방앗간에서 일반적인 방법으로 제조한 가래떡을 대조구로 삼아 Rheometer(Model CR-200D Sun Scientific

CO.,Japan)를 사용하여 저장 중 경도(Hardness)의 변화를 측정하였으며, 데이터는 7회 측정된 평균값이다. 가래떡의 경도는 가로 30mm, 세로 30mm, 높이 3mm로 자르고 직경 5mm의 plunger를 사용하여 시료 표면에서 2mm를 진입시켜 경도를 표 5와 같은 조건에서 측정하였다.

Table 5. Operating condition of Rheometer for measuring of rice cake

Load cell	: 1 Kg
Table speed	: 100 mm/min
Chart speed	: 120 mm/min
Clarence	: 2 mm
Plunger	: ϕ 5mm cylindrical type
Sample size	: ϕ 30 × 30 × 3mm

(2) Avrami방정식에 의한 노화특성

압출성형 가래 떡의 저장 중 노화에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 기계적 조직감을 측정하고 가래 떡의 노화특성을 저장중 Hardness의 변화로부터 Avrami이론^{32~34)}에 의해 다음과 같이 구하였다.

$$\theta = \exp(-kt^n) \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\frac{E_L - E_t}{E_L - E_0} = \exp(kt^n) \quad \text{-----} \quad (2)$$

따라서

$$\ln \frac{E_L - E_t}{E_L - E_0} = -kt^n \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\log\left(-\ln \frac{E_L - E_t}{E_L - E_0}\right) = \log k + n \log t \quad \text{-----} \quad (4)$$

또는

$$\ln(E_L - E_t) = -kt^n + \ln(E_L - E_0) \quad \text{-----} \quad (5)$$

이때 θ 는 일정한 시간(t)후 결정화되지 않는 부분, k 는 속도 상수, n 은 결정화 mode에 따라 1~4의 값을 갖는 Avrami지수이다. E_0 E_t 는 각각 0 및 t 시간 후에 추정된 Hardness이고 E_L 은 이론적으로 도달할 수 있는 최고 Hardness값을 나타낸다.

본 실험에서 Avrami지수 n 은 $\log(\ln(E_L - E_t/E_L - E_0))$ 을 $\log t$ 에 대하여 좌표로 나타낸 후 기울기로부터 구하였다.

$E_L - E_0$

속도상수 k 는 방정식 (5)로부터 구하여 속도 상수의 역수인 time constant를 구하였다. 가래떡의 이론적 최고 Hardness(limiting modulus)는 4°C에서 7일간 보관하면서 측정하여 얻었다.

마). 압출성형 가래 떡의 조리특성 측정

압출성형을 통해 제조한 가래떡의 조리특성을 보기 위하여 조리후 가래떡의 고형분 용출량, 수분흡수율, 조리액의 혼탁도, 조리후 가래떡의 물성변화 등을 측정하였다. 조리시간은 2, 4, 6, 8, 10분씩으로 각각 조리하였으며 수분흡수율은 각각 수분용해도지수(water soluble index)와 수분흡수지수(water absorption index) 측정방법을 변형하여 측정하였다.³⁶⁾

즉 수분 흡수율은 5°C에서 25시간 저장한 가래떡 50g을 1ℓ의 비이커에 10배 중량의 끓는 물에서 조리후 각각 체로 걸러내어 떡 표면의 물기를 제거한 후에 무게를 측정하였으며, 이 때 조리액의 10ml를 수분수기에 담아 105°C건조기에서 10시간 건조하여 수분을 완전히 제거한 후 무게를 측정하여 고형물 용출량을 측정하였다. 조리액의 혼탁도는 조리액에 대한 625nm에서의 광투과도를 측정하였다.²⁷⁾ 조리후 가래떡의 경도는 조리전 가래떡의 경도측정과 동일한 방법으로 실시하였다.

$$\text{고형분용출량(\%)t} = \frac{(\text{건조된 고형분량g} / 10\text{ml}) \times \text{조리액ml}}{\text{취한 시료량 g}} \times 100$$

$$\text{수분흡수지수} = \frac{(\text{가열조리후시료량, g} - \text{초기시료량, g})}{\text{초기시료량, g}} \times 100$$

(g water/g solid)

바). 통계 처리

이상의 실험결과는 SAS/PC program³⁷⁾을 이용하여 분산분석(anova)으로 유의차를 검증하고, 유의차가 있는 항목에 대하여서는 Duncan's multiple range test로 시료간의 유의차를 검증하였다.

4) 압출성형 가래 떡의 이화학적 특성

가) 일반성분

본 실험에 사용한 쌀가루의 일반성분 조성은 Table 6과 같이 수분함량 15.1%, 탄수화물 76.6%였다.

Table 6. Proximate composition of rice flour
(%, as is dry basis)

Moisture	Crude protein (N×6.25)	Crude fat	Crude ash	Carbohydrate	Total
15.1	7.1	0.7	0.5	76.6	100.00

나) 압출성형 가래떡의 이화학적 특성

(1) 압출성형 가래떡의 수분함량

A.O.A.C.의 105℃ 건조법²⁹⁾에 의하여 가래떡의 수분함량을 측정한 결과는 Table 6와 같다. 대조구(CON)가 46.7%로 수분함량이 가장 많았고, DE1, DE2 와 WE1, WE2는 38~39%로 비교적 거의 같은 수준의 수분함량을 나타냈다.

예비실험한 결과 본 실험에서 사용한 압출성형기의 특성상 수분이 40%이상이면 기계의 냉각 면적이 증가함에 따라 호화가 되지 않았기 때문에 수분함량이 38~39% 수준에서 대조구와 가장 비슷한 가래떡이 제조될 수 있었다. Table 7에서 보는 바와 같이 대조구의 수분함량과 같은 압출성형 가래떡

을 제조하기 위하여 원료와 수분을 조절하여 투입했지만 대조구와 동일한 수
분함량으로 제조하기에는 어려웠다.

Table 7. Moisture contents of extruded Ga-Rae-Ddeok

(%)

Moisture contents				
CON ¹⁾	DE1 ²⁾	DE2 ³⁾	WE1 ⁴⁾	WE2 ⁵⁾
46.7	38.9	39.3	38.7	39.5

¹⁾ CON : Control

²⁾ DE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

³⁾ DE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

⁴⁾ WE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

⁵⁾ WE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

(2) 제분방법에 따른 압출성형 가래떡의 호화 특성

가래떡의 호화특성을 알아보기 위하여 효소법에 의한 호화도를 측정하였으며 그 결과는 Table 8과 같다.

압출성형된 가래떡분말을 glucoamylase로 처리하여 호화도를 측정한 호화특성을 보면, 대조구는 89.6%, DE1는 73.8%, DE2는 78.4%, WE1는 73.8%, WE2는 81.5%였다. 대조구의 호화도가 89.6%로 가장 높았고, DE1는 가장 낮은 호화도를 나타내었다($P < 0.05$).

건식제분미로 제조한 가래떡인 DE1, DE2에서는 DE2가 높았고, 습식분쇄미로 제조한 가래떡인 WE1, WE2에서는 WE2가 높은 호화도를 보였다 ($P < 0.05$). 압출공정조건 중 screw speed가 248 rpm인 DE1과 WE1이 337.5 rpm인 DE2와 WE2에 비하여 호화도가 낮게 나타났는데 screw speed가 높을수록 유의적으로 높은 호화도를 보여주었다($P < 0.05$). 압출공정 조건 중 동일한 screw speed(248 rpm)로 제조된 DE1과 WE1는 제분방법에 따른 호화도에서 유의적인 차이가 없었고, 쌀가루의 제분방법에 따라서 유의적인 차이를 보이지 않았다.

가열에 의해 호화된 부분과 가열하기 이전에 생전분이라 하더라도 전분입자가 전분제조시 milling에 의해 손상을 받기 때문에 이 손상전분(damaged starch)이 효소에 의해 가수분해되어 glucose의 증가를 가져올 수 있다고 하였다^{17~19,42}. 곡류의 압출성형시 전분이 높은 온도와 압력에 의해 작은 분자량을 갖는 당으로 변화⁴³한다고 하였는데 본 실험의 경우 압출성형기에 의해 제조된 DE1, DE2, WE1, WE2 는 대조구(CON)에 비하여 분쇄과정에서 발생된 손상전분의 증가로 인하여 호화도의 차이를 나타낸 것으로도 보여 이들 보고와도 일치하였다. DE1, DE2의 호화도 차이와 WE1, WE2의 호화도 차이는 압출성형기의 screw speed가 증가할수록 호화도가 증가한다는 Chiang의 결과⁴⁴와도 일치하였다.

Table 8. Gelatinization degree of extruded Ga-rae-Ddeok

	CON ¹⁾	DE1 ²⁾	DE2 ³⁾	WE1 ⁴⁾	WE2 ⁵⁾
Degree of gelatinization	89.6 ^a ±0.5	73.8 ^d ±0.5	78.4 ^c ±1.1	73.8 ^d ±2.2	81.5 ^b ±2.4

Mean ± S.D.

Means with the same letter in the row are not significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test method

¹⁾ CON : Control

²⁾ DE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

³⁾ DE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

⁴⁾ WE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

⁵⁾ WE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

다) 가래떡 paste의 rheology 특성

가래떡 건조분말의 5% 호화액의 점도상수를 Table 9에 나타내었다. 유동거동지수(b)는 시료 모두 1보다 작은 값을 갖는 의가소성 유체의 성질을 보였기 때문에 의가소성 유체에 적용되는 Ostwald de Vaale model (power law)³⁵⁾을 이용하여 겔보기 점도를 구하였다. Hot paste의 전단속도(s⁻¹)와 전단응력(Pa)의 변화는 Fig.5에 나타냈다.

시료들의 점조도 지수(a)는 CON, DE1, DE2, WE1 WE2는 각각 0.95, 0.59, 0.87, 0.36, 0.56으로 대조구(CON)가 유의적으로 가장 큰 값을 나타내었다(P<0.05). 유동거동지수(b)는 CON, DE1, DE2, WE1, WE2는 0.6, 0.78, 0.76, 0.84, 0.82로 WE1이 가장 높은 값을 나타내었다. Hot paste에서 겔보기 점도(μ_a)는 CON(0.0652) > DE2(0.0229) > WE2(0.0174) > DE1(0.0139) > WE1 (0.0126)로 대조구(CON)가 가장 높은 값을 보였고, WE1이 가장 낮은 겔보기 점도를 나타내었다. 대조구보다 본 실험

험에서 압출성형에 의해 제조한 DE1, DE2, WE1, WE2 모두 겉보기 점도가 현저하게 감소되는 경향을 나타내었다. 또한 DE1이 DE2보다 겉보기 점도가 낮게 나타났고, WE1이 WE2보다 겉보기 점도가 낮게 나타났다($P < 0.05$).

DE1과 DE2의 겉보기 점도의 차이와 WE1과 WE2의 차이는 screw speed가 커질수록 전분입자의 붕괴가 감소한다는 Stanley의 결과⁴⁵⁾와 일치하였다. 압출성형을 통하여 제조된 가래떡의 조직 중 손상전분에 의한 전분구조의 붕괴^{12,46~48)}는 가열에 의해 호화된 것과는 다른 성질로 완전호화액 상태에서의 겉보기 점도를 통하여 현저한 차이를 볼 수 있었다. 대조구(CON)에 비하여 압출성형 가래떡(DE1, DE2, WE1, WE2)의 겉보기 점도의 감소는 전분구조의 붕괴에 의한 것이라는 김⁴⁸⁾의 결과와 일치하였다. 전분이 열과 압력을 받았을 경우에 전분입자가 파괴되면서 물리적 성질의 변화가 초래된 것으로 볼 수 있다^{15,48,49)}. 또한 압출공정을 거치면서 전분입자는 수분함량에 따라 호화단계를 지나 전분구조가 파괴되어 호정화를 유발한다는 보고⁵⁰⁾와 Gomez와 Aguilera⁴⁷⁾는 옥수수 전분을 낮은 수분함량하에서 압출성형할 때 전분입자들은 기계적 충밀립에 의해 균열, 텍스트린화, 과당류, 포도당의 단계가 없이 바로 자유고분자(free polymer)단계로 갈 수 있다는 모델을 제시한 것과 일치한 결과였다. Fig. 5에서 paste의 rheology특성은 DE2, WE2가 DE1, WE1보다 겉보기 점도가 유의적으로 높게 나타났는데 압출성형 시 전분입자의 붕괴의 영향은 screw speed가 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

Table 9. Apparent viscosity of 5% hot paste of extruded Ga-rae-Ddeok

Sample	a ¹⁾	b ²⁾	τ ³⁾	μ_a ⁴⁾
CON	0.95±0.2 ^a	0.60±0.4 ^c	39.1±1.3 ^a	0.0652
DE1	0.59±0.1 ^c	0.78±0.3 ^{ab}	8.32±0.5 ^d	0.0139
DE2	0.87±0.2 ^b	0.76±0.4 ^b	13.8±0.3 ^b	0.0229
WE1	0.36±0.6 ^d	0.84±0.2 ^a	7.53±0.2 ^e	0.0126
WE2	0.56±0.4 ^c	0.82±0.3 ^a	10.5±0.2 ^c	0.0174

Mean ± S.D.

Means with the same letter in the column are not significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test method

¹⁾ a : consistency index(Pa · s⁻ⁿ)

²⁾ b : flow behavior index

³⁾ τ : shear stress(Pa) at shear rate 600 s⁻¹

⁴⁾ μ_a : apparent viscosity(Pa · S) at shear rate 600 s⁻¹

CON : Control

DE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

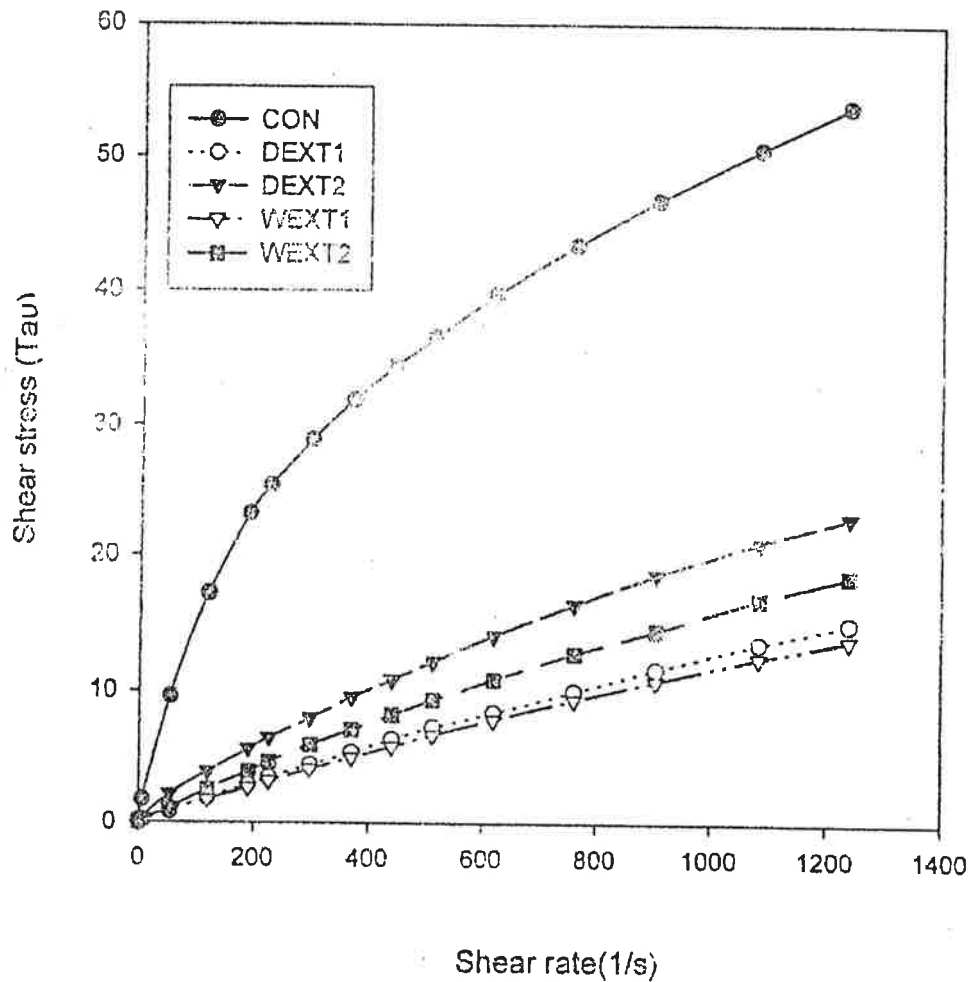


Fig. 5 Shear stress against shear rate from 5% hot paste of Ga-rae-Ddeok

CON : Control

DE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

라). 압출성형 가래떡의 저장온도, 시간에 따른 경도 변화

(1) 저장온도, 시간에 따른 경도 변화

압출성형 가래떡을 만든 후 실온(25℃)에서 2시간 식힌 다음 polyethylene bag에 넣고 5℃와 25℃에서 45시간 저장하면서 경도를 측정하였다.

5℃에 저장한 가래떡의 시간경과에 따른 hardness의 변화는 Table 10에 나타내었다. 대조구(CON)의 초기 경도는 1.8로 유의적으로 가장 낮은 경도를 나타내었고, WE1, WE2가 각각 2.80, 2.98로 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었는데 수분함량에서 오는 차이로 생각된다($P < 0.05$). 5시간 저장 시 경도는 처음 경도와 유의적인 차이가 없었고 15시간 저장 후 5시간 저장 경도와 각각의 시료간에 유의적인 차이가 있었다($P < 0.05$). 15시간 저장 후 경도는 DE1와 WE2가 각각 26.9와 30.6로 유의적으로 높은 값을 나타내었고, 15시간 저장후 경도가 급격히 증가되면서 초기 경도의 8~10배이상 증가되었음을 알 수 있었다. 25시간 저장 후 대조구(CON)이 35.97로 가장 낮은 값을 나타내었으며 압출성형 가래떡의 시료간에는 차이가 없었다($P < 0.05$).

30시간 저장 시 경도는 WE1, WE2가 59.41, 59.33으로 유의적으로 가장 높았고, 대조구(CON)이 39.36으로 가장 낮은 경도를 나타내으며 40시간 후 경도의 변화는 유의적으로 차이가 있었고, 45시간 저장 시 경도는 각각의 시료간에 유의적인 차이가 있었다($P < 0.05$). Table 9에서 보는 것처럼 대조구(CON)의 경도가 현저하게 느리게 진행되었고, 습식분쇄로 만든 WE1, WE2의 경도가 건식분쇄로 만든 DEXT1, 2에 비하여 빠르게 진행되었다. 전분의 노화현상은 전분 분자들간의 직·간접 수소결합의 결과⁵¹⁾로 더욱 더 결정형의 상태로 변하는 것이기 때문에 수분함량이 40.7%로 가장 많았던 대조구(CON)의 경도가 느리게 진행되었던 것으로 생각된다.

Table 10. Changes in hardness of Ga-rae-Ddeok stored at 5°C

(kg/cm²)

Time (hr)	CON ¹⁾	DE1 ²⁾	DE2 ³⁾	WE1 ⁴⁾	WE2 ⁵⁾
0	F1.80±0.07 ^c	D2.16±0.16 ^b	D1.94±0.12 ^{bc}	E2.84±0.41 ^a	F2.98±0.11 ^a
5	F2.56±0.14 ^d	D5.14±0.28 ^a	D3.69±0.52 ^c	E3.57±0.17 ^c	D4.57±0.27 ^b
15	E20.08±1.12 ^b	C26.91±4.21 ^a	C22.74±2.09 ^b	D22.79±1.39 ^b	E30.60±3.02 ^a
25	D35.97±1.2 ^b	B51.08±5.79 ^a	B46.76±2.71 ^a	C46.82±5.39 ^a	B48.41±4.09 ^a
30	C39.36±1.18 ^c	B53.52±1.02 ^b	A52.30±1.65 ^b	B59.41±4.37 ^a	C59.33±2.18 ^a
40	B41.87±1.50 ^c	A55.23±2.29 ^b	A54.32±1.98 ^b	B62.16±3.14 ^a	B64.71±2.96 ^a
45	A44.15±2.08 ^c	A55.67±2.69 ^b	A54.83±2.46 ^b	A68.80±2.29 ^a	A69.54±4.08 ^a

Mean ± S.D.

Means with the same letter are not significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test method.

1) A,B means Duncan's multiple range test for the storage time (Column).

2) a,b means Duncan's multiple range test for different milling method (Row)

Table 11. Changes in hardness of Ga-Rae-Ddeok stored at 25°C
(kg/cm²)

Time (hr)	CON ¹⁾	DE1 ²⁾	DE2 ³⁾	WE1 ⁴⁾	WE2 ⁵⁾
0	^E 1.80±0.07 ^c	^D 2.16±0.16 ^b	^D 1.94±0.12 ^{bc}	^E 2.84±0.41 ^a	^E 2.98±0.11 ^a
5	^D 2.21±0.12 ^d	^D 4.42±0.16 ^a	^D 3.71±0.26 ^b	^E 3.11±0.39 ^c	^E 3.27±0.33 ^c
15	^D 2.49±0.21 ^d	^C 18.04±1.19 ^a	^C 17.13±1.32 ^a	^D 11.72±1.67 ^a	^D 8.82±0.97 ^c
25	^C 2.80±0.2 ^d	^B 27.41±4.13 ^a	^B 23.88±3.23 ^b	^C 21.92±0.89 ^{bc}	^C 19.95±1.40 ^a
30	^B 3.47±0.29 ^d	^A 44.50±3.09 ^a	^A 40.14±4.08 ^b	^B 25.11±1.33 ^c	^B 25.99±1.84 ^c
40	^A 5.37±0.30 ^c	^A 45.68±3.66 ^a	^A 40.37±3.27 ^b	^A 36.00±3.18 ^a	^A 37.08±3.28 ^b
45	^A 5.39±0.24 ^d	^A 46.31±1.67 ^a	^A 42.31±2.97 ^b	^A 37.12±3.44 ^c	^A 38.93±2.18 ^c

Mean ± S.D.

Means with the same letter are not significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test method.

1) A,B means Duncan's multiple range test for the storage time of Ga-Rae-Ddeok (Column)

2) a,b means Duncan's multiple range test for different milling method Ga-Rae-Ddeok (Row)

¹⁾ CON : Control

²⁾ DE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

³⁾ DE2 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

⁴⁾ WE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

⁵⁾ WE2 : Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

25℃저장 중 경도의 변화는 Table 11에 나타냈는데 5시간 경과후 대조구(CON)은 유의적인 경도차이를 보였고, 실험구는 유의적인 경도의 차이를 보이지 않았고, 15시간 저장 후 모든 시료간에 유의적인 차이를 보여주었다. 5시간 저장 후 DE1이 4.42로 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었고 CON이 2.21로 가장 낮은 값을 나타내었다. DE1, DE2 경도는 25시간 저장후 초기 경도의 10배정도로 증가됨을 볼 수 있었고 5℃저장 시 10배의 경도가 증가되는데 15시간 이상 경과되는데 비하여 25℃에서 저장시 25시간 이상의 시간이 소요됨을 볼 수 있었다. DE1, DE2는 30, 40, 45시간 저장시간에 따라 25시간에 비하여서는 유의적으로 높은 경도를 나타내었지만 30~45시간 저장함에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대조구(CON)의 경도변화는 45시간 저장하는 동안 초기 경도의 2.5배 가량 증가하였을 뿐 경도변화의 폭이 실험구에 비하여 크게 나타나지 않았다.

5℃와 25℃저장시 경도차이는 0℃부근에서 급격히 진행되는 노화현상에 의하여 5℃의 경우 25℃저장시 보다 노화가 촉진되며 온도가 낮아지게 되면 전분의 점도가 증가하게 되고 이는 낮은 온도에서 전분 분자들간의 결합력이 증가하여 분자들 간의 결합을 유발하게 되기 때문에 수소결합을 촉진⁵²⁾시켜 노화가 가속되어 가래떡의 경도가 증가된 것으로 생각된다.

(2) Avrami방정식에 의한 노화특성

Rheometer를 이용하여 측정된 경도를 Avrami방정식에 따라 분석함으로써 노화 경향을 살펴보았다. 가래떡의 저장 중 경도의 변화를 Avrami방정식으로 분석하기 위해 Fig. 6에 나타난 $\log t$ 에 대한 $\log\{-\ln(E_L - E_T)/(E_L - E_0)\}$ 의 그래프의 기울기로부터 Avrami지수값(n)을 구하였다. 또한 시간에 대한 $\ln(E_L - E_T)$ 의 그래프로부터 속도 상수(k)를 구하였으며, 그 역수값으로 시간상수값($1/k$)을 얻었다. Sharples의 이론⁴⁹⁾에 의하면 Avrami지수는 결정핵 형성시간 및 결정체 형성속도에 의존하는 복합된 값으로 결정화의 형태를 나타내 주는데 2은 결정핵 형성 즉 결정체의 성장이 산재해 있는 결정핵^{32,33)}에 의해서 급속히 일어나는 것을 의미하며 결정핵의 모양은 원통형(rod-like)와 얇은 판(disc)모양을 띠고 노화가 시작될 때 결정체의 모양을 알 수는 값을 의미하는 것으로 Table 12에서 Avrami지수는 CON, DE1, DE2, WE1, WE2는 거의 1~2사이 값을 나타낸다. 5℃ 저장 중 시간상수의 경우 CON은 53.53으로 가장 높은 값을 보여 노화의 진행속도가 가장 느림을 알 수 있었고, DE1(34.71), DE2(34.13), WE1(21.83), WE2(21.83)의 순으로 노화속도가 빠르게 나타났고 WE1,

WE2의 경우 가장 빠른 노화속도를 보였는데 앞에서 언급한 저장 중 경도변화와 일치됨을 알 수 있었다. 건식 제분미에 의하여 제조된 DE1, DE2가 습식제분미에 의해서 제조된 WE1, WE2보다 노화속도가 지연된 결과는 김⁵³⁾ 등의 결과와 일치하였는데 손상전분의 양이 많이 생성될수록 노화도는 감소하는 것으로 나타났다.

25℃ 저장 시 시간상수의 경우 대조구(CON)는 95.69로 가장 느린 노화의 진행속도를 나타내었고, DE2(34.71), DE1(34.13), WE1, WE2(21.83)의 순으로 노화속도가 느리게 나타났다.

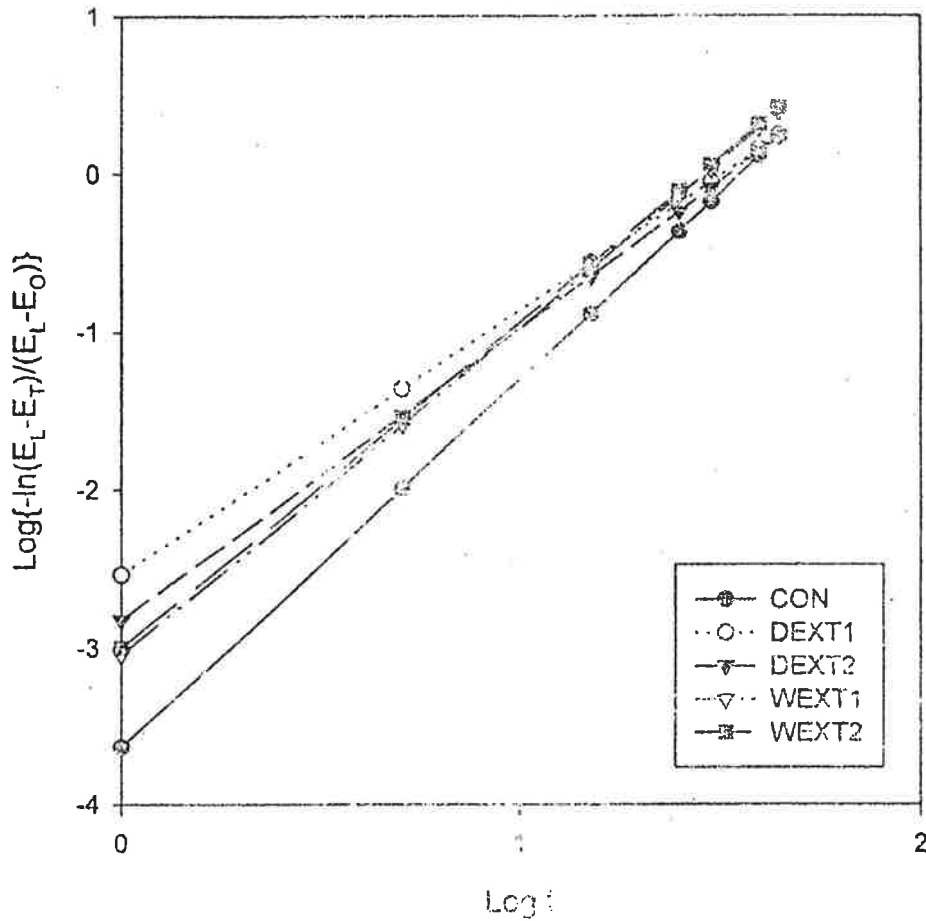


Fig. 6 Plot of $\log\{-\ln(EL-ET)/(EL-E_0)\}$ against $\log t$ of Ga-rae-Ddeok at 5°C

CON : Control

DE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2 : Ga-rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

Table 12. Comparison of hardness value, the Avrami exponents, time constants and rate constants of Ga-Rae-Ddeok stored at 5°C and 25°C

Sample	$E_0^{a)}$		$E_L^{b)}$		$n^{c)}$		$1/k^{d)}$	
	5°C	25°C	5°C	25°C	5°C	25°C	5°C	25°C
CON	1.80	1.80	80.12	81.05	2.34	1.02	53.53	95.69
DE1	2.16	2.16	81.05	80.12	1.68	1.57	34.13	48.43
DE2	1.94	1.94	80.24	80.24	1.85	1.61	34.71	56.21
WE1	2.84	2.84	80.21	80.21	2.08	1.88	21.83	70.96
WE2	2.98	2.98	79.85	79.85	2.07	1.95	21.83	66.07

^{a)} E_0 : Hardness of Ga-rae-Ddeok at 0 time

^{b)} E_L : Limiting modulus (limiting modulus was determined after storage for 7 day at 4°C)

^{c)} n : Avrami exponent

^{d)} $1/k$: Time constants(hour)

CON : Control

DE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2 : Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

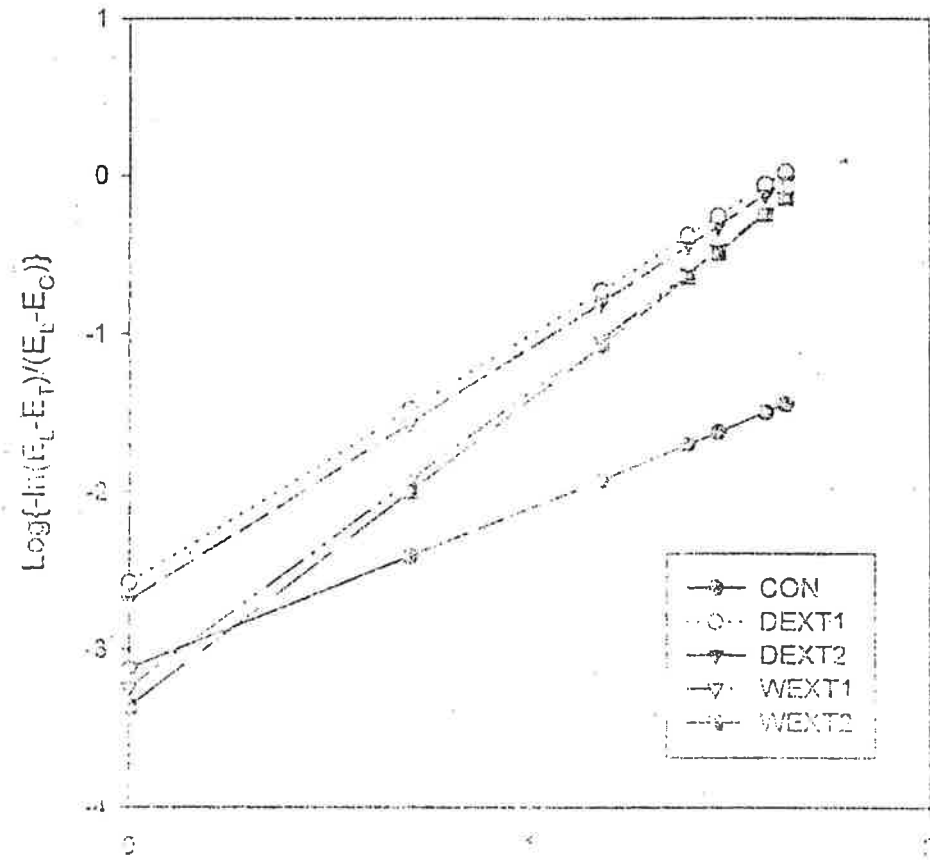


Fig. 7 Plot of $\log\{-\ln(EL-ET)/(EL-E_0)\}$ v.s. $\log t$ of Ga-Rae-Ddeok stored at 25°C

CON : Control

DE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2 : Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1 : Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2 : Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

마) 조리특성

(1) 고형분 용출량

대조구(CON)와 압출성형에 의해 제조된 DE1, DE2, WE1, WE2의 가열특성을 알아보기 위하여 가열 후의 가래떡의 고형분 용출량, 수분흡수지수, 가열후 경도 등을 측정된 결과는 다음과 같다.

가열시간에 따른 고형분 용출량의 결과를 Table 13 에서 보면 2분 및 4분 가열 시 조리액으로 빠져나온 고형분 용출량에 대한 각 시료간의 유의적 차이가 없었으나, 대조구(CON)는 다른 시료보다 낮은 값을 나타내었다($P < 0.05$). 6분간 가열하는 동안 DE2가 0.16%로 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었고 CON이 0.08%로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 8분 가열시 WE1이 0.19%로 가장 많은 고형분 용출량을 나타내었고, CON이 0.12%로 가장 적은 고형분 용출량을 나타내었다($P < 0.05$). 10분간 조리하는 동안 $DE2 > DE1 > WE1 > WE2 > CON$ 의 순서로 시료간의 유의적인 차이가 있었다($P < 0.05$).

조리액의 고형분 용출량에서는 가열조리시간이 증가할수록 압출성형 가래떡에 비하여 CON이 고형분 용출량이 가장 적었고, DE1, DE2가 WE1, WE2보다 고형분 용출량이 유의적으로 많았는데 먼저 압출성형에 의한 열과 압력에 의해 DE1, DE2, WE1, WE2 모두 CON에 비하여 전분손상이 많았기 때문에 고형분 용출량 역시 많았던 것으로 생각된다. 쌀제분과정에서 건식제분에 의해 제조된 가래떡이 습식제분한 가래떡보다 전분의 분해가 많이 일어났기 때문이라 생각된다. 또한 전분이 분해되어 수용성 dextrin 및 수용성 전분이 생성되었기 때문이라 생각되며 이러한 결과는 Mervier 등⁵⁴⁾의 연구결과와도 일치하였고

전분을 압출성형방식에 의해 처리할 경우 전분의 구성성분인 아밀로오스와 아밀로펙틴을 부분적으로 분해시켜 저분자화시키며 전분의 수분흡수력과 수용성 성분의 양을 증가시킨다는 Colonna 등^{55,56)}의 보고와도 일치하였다.

Table 13. Effects of time on solid contents of cooking liquid of Ga-Rae-Ddeok

Cooking time(min)	Ga-Rae-Ddeok (%)				
	CON	DE1	DE2	WE1	WE2
2	^b 0.02±0.01 ^a	^b 0.05±0.01 ^a	^u 0.04±0.01 ^a	^u 0.05±0.01 ^a	^u 0.05±0.01 ^a
4	^u 0.05±0.02 ^b	^u 0.08±0.01 ^a	^u 0.10±0.17 ^a	^u 0.12±0.02 ^a	^b 0.11±0.01 ^a
6	^u 0.08±0.02 ^b	^u 0.13±0.01 ^b	^b 0.16±0.01 ^a	^u 0.12±0.01 ^b	^b 0.12±0.01 ^b
8	^b 0.12±0.01 ^d	^b 0.14±0.01 ^c	^b 0.17±0.01 ^b	^b 0.15±0.01 ^c	^A 0.19±0.01 ^a
10	^A 0.17±0.01 ^e	^A 0.23±0.01 ^b	^A 0.24±0.01 ^a	^A 0.20±0.02 ^c	^A 0.19±0.02 ^d

Mean ± S.D.

Means with the same letter are not significantly different(p<0.05) by Duncan's multiple range test method

1) A,B means Duncan's multiple range test for cooking time of Ga-rae-Ddeok (Column)

2) a,b means Duncan's multiple range test for different milling of Ga-rae-Ddeok (Row)

CON: Control

DE1: Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2: Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1: Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2: Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

(2) 수분 흡수율

압출성형 가래떡을 2, 4, 6, 8, 10분간 가열조리하였을 때의 수분흡수율을 알아 보기 위하여 수분흡수지수(WAI, Water Absorption Index)로 나타낸 결과는 Table 14 과 같다.

조리전 WAI의 유의적인 차이는 앞서 언급한 가래떡시료의 수분함량의 차이로 인해 실험구에 비해 대조구(CON)가 가장 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$).

2분간 조리하였을 때 대조구(CON)는 1.08로 가장 높은 수분흡수가 일어났고, WE1가 0.71로 낮은 값을 나타내었다. 2분 조리하는 동안 수분흡수가 급격히 일어났고, 조리시간이 증가함에 따라 수분흡수는 서서히 증가하는 경향을 나타내었다 ($P < 0.05$). 2분, 6분, 8분간 조리하는 동안 DE1, 2 사이에서는 DE2가 높은 값을 나타내었고, 10분 조리시에는 차이가 없었다. WE1, WE2에서도 WE2가 모두 높은 값을 나타내었으며, 10분 조리시 차이가 없었다($P < 0.05$).

조리시간이 증가함에 따라 수분흡수율에서 건식제분에 의해 제조된 DE가 습식제분에 의해 제조된 WE보다 유의적으로 높게 나타내었다($P < 0.05$). DE가 WE에 비하여 수분흡수지수가 높았던 이유는 건식분쇄시 전분의 손상이 습식제분미보다 많이 생겨남으로써 손상전분이 증가된 것으로 생각된다. 손상전분이나 호화전분의 경우 전분분자의 친수성에 의한 결합수에 의하기 보다는 전분입자가 미세다공구조로 변하기 때문에 모세관 현상에 의하여 흡수력이 증가한다는 Multon⁵⁷⁾의 보고와 손상전분일수록 수분의 포집능력이 증가한다는 김⁵⁸⁾ 등의 결과와도 일치한다.

Table 14. Change Water Absorption Index(WAI) of extruded Ga-Rae-Dduck during boiling

Cooking time(min)	(g water/ g solid)				
	CON	DE1	DE2	WE1	WE2
0	^W 0.88±0.03 ^a	^B 0.63±0.03 ^b	^D 0.65±0.04 ^b	^C 0.63±0.03 ^b	^D 0.65±0.02 ^b
2	^C 1.08±0.01 ^a	^D 0.73±0.3 ^{cd}	^C 0.82±0.02 ^b	^C 0.71±0.01 ^d	^C 0.74±0.01 ^c
4	^{BC} 1.09±0.01 ^a	^C 0.82±0.01 ^c	^B 0.86±0.02 ^b	^{BC} 0.72±0.01 ^e	^C 0.76±0.01 ^d
6	^B 1.12±0.03 ^a	^B 0.87±0.02 ^c	^A 0.96±0.02 ^b	^{BC} 0.73±0.01 ^e	^{BC} 0.76±0.01 ^d
8	^A 1.18±0.01 ^a	^B 0.89±0.02 ^c	^A 0.96±0.02 ^b	^B 0.75±0.01 ^c	^A 0.80±0.01 ^a
10	^A 1.20±0.01 ^a	^A 0.98±0.01 ^b	^A 0.99±0.01 ^b	^A 0.80±0.01 ^c	^A 0.82±0.02 ^c

Mean ± S.D.

Means with the same letter are not significantly different(p<0.05) by Duncan's multiple range test method

1) A,B means Duncan's multiple range test for cooking time of Ga-Rae-Ddeok (Column)

2) a,b means Duncan's multiple range test for different milling of Ga-Rae-Ddeok (Row)

CON: Control

DE1: Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 248 rpm

DE2: Ga-Rae-Ddeok extruded with dry milling flour, screw speed 337.5 rpm

WE1: Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 248 rpm

WE2: Ga-Rae-Ddeok extruded with wet milling flour, screw speed 337.5 rpm

(3) 가열조리 후 경도변화

건식분쇄미와 습식분쇄미로 압출성형한 가래떡의 조리 후의 경도를 Table 15에서 보면 2분간 가열조리하는 동안에 WE2가 2.61로 유의적으로 가장 경도가 작았고, 다른 시료간에는 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). 4분간 조리하는 동안 DE2가 2.95로 유의적으로 가장 높았고, WE1이 2.0으로 유의적으로 가장 낮았다($P < 0.05$). 6분간 조리하는 동안 WE1이 1.86으로 가장 낮았고, 다른 시료간에는 차이가 없었다($P < 0.05$). 8분간 조리하는 동안 WE2가 2.02로 가장 높은 경도를 나타내었다. 10분간 조리하는 동안 WE2가 1.98로 유의적으로 가장 높은 경도를 나타내었고, DE1이 1.33로 유의적으로 가장 낮은 경도를 나타내었다 ($P < 0.05$).

Table 10에서 CON 1.8, DE1 2.16, DE2 1.94, WE1 2.84, WE2 2.98이었는데 CON은 8분간 조리했을 때 1.97로 초기 경도와 가장 유사한 경도를 나타내었고, DE1은 4분 조리시 2.24로 가장 유사한 경도를 나타내었으며 DE2는 6분간 조리하였을 때 2.09로 초기 경도와 가장 가까운 정도였고, WE1과 WE2는 2분 조리하는 동안 초기 경도와 유사한 값을 나타내었다.

조리시간이 증가함에 따라서 DE1, DE2에는 DE1이 유의적으로 높은 경도를 나타내었고 WE1, WE2에는 WE2가 유의적으로 높은 경도를 나타내었다($P < 0.05$). 조리시간에 따른 경도변화가 4 ~ 6분간 조리 후 경도가 가래떡 초기 경도와 가장 유사한 값을 나타내었다. 조리시간에 따른 경도는 DE2, WE2가 전체적으로 높았는데 가래떡의 제조시 extruder의 screw speed의 차이가 조리 후 경도 변화에 영향을 미친 것으로 생각되며, screw speed가 클수록 가래떡의 조리시 조직감의 변화가 서서히 진행되는 경향을 볼 수 있었다.

Table 15. Changes in hardness of Ga-Rae-Ddeok as affected by boiling time
(kg/cm²)

Cooking Time(min)	CON	DE1	DE2	WE1	WE2
2	^A 3.54±0.32 ^a	^A 3.69±0.12 ^a	^A 3.65±1.83 ^a	^A 2.61±0.24 ^b	^A 3.20±0.38 ^a
4	^B 2.42±0.24 ^b	^B 2.24±0.12 ^{cd}	^B 2.95±1.41 ^a	^B 2.00±0.04 ^d	^B 2.43±0.12 ^{b^c}
6	^C 1.99±0.22 ^a	^B 2.00±0.1 ^a	^C 2.09±0.12 ^a	^B 1.86±0.13 ^b	^{BC} 2.09±0.03 ^a
8	^C 1.97±0.06 ^{ab}	^C 1.74±0.2 ^{bc}	^{CD} 1.70±0.8b ^c	^C 1.66±0.07 ^c	^{BC} 2.02±0.28 ^a
10	^D 1.59±0.1 ^b	^D 1.33±0.17 ^c	^D 1.25±0.54 ^d	^C 1.49±0.2 ^c	^C 1.98±0.28 ^a

Mean ± S.D.

Means with the same letter are not significantly different(p<0.05) by Duncan's multiple range test method

- 1) A,B means Duncan's multiple range test for cooking time of Ga-Rae-Ddeok (Column)
- 2) a,b means Duncan's multiple range test for different milling of Ga-rae-Ddeok (Row)

4) 요약

제분방법을 달리하여 제조한(건식제분, 습식제분) 쌀가루를 원료로 사용하여 재래식 제조방법과 압출성형기를 이용하여 가래떡을 제조하였다. 건식제조법(DE1, DE2)은 쌀을 건식분쇄하여 압출성형기로 제조하였고, 습식제조법(WE1, WE2)은 쌀을 침지 후 분쇄하여 압출성형기로 제조하였으며, 방앗간 가래떡을 대조구(CON)로 하고 건식제조 쌀가루를 저속회전 screw로써 압출성형(DE1), 건식제조 쌀가루를 고속회전 screw로써 압출성형(DE2), 습식제조 쌀가루를 저속회전 screw로써 압출성형(WE1), 습식제조 쌀가루를 고속회전 screw로써 압출성형(WE2)하여 제조한 가래떡의 품질을 비교하기 위해 쌀가루의 일반성분, 입도분석, 호화도, 가래떡 paste의 rheology 특성, 가래떡의 저장성, 가열조리 시간에 따른 가래떡의 고형분 용출량, 수분흡수지수(WAI), 가열조리후 경도 변화 등의 이화학적 특성을 비교한 결과는 다음과 같다.

1) 제분방법에 따른 쌀가루의 평균입자크기는 건식분쇄미는 294.9 μm 였고, 습식분쇄미는 329.3 μm 였다.

2) 가래떡의 수분함량은 대조구(CON)는 46.7%, 건식분쇄미로 제조한 DE1, DE2와 습식분쇄미로 제조한 WE1, WE2는 각각 38.9%, 39.3%, 38.7%, 39.5%였다.

3) 가래떡의 소화도는 CON이 89.6%로 유의적으로 가장 높았고, 압출성형 가래떡 시료 중 DE1과 WE1이 73.8%로 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P < 0.05$).

4) 가래떡 paste의 겉보기 점도에서 CON, DE1, DE2, WE1, WE2는 각각 0.0652, 0.0139, 0.0229, 0.0126, 0.0174로 나타났고 screw speed가 증가할 수록 겉보기 점도가 증가했다.

5) 압출성형한 가래떡의 경도는 5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 저장하는 동안 저장시간이 경과됨에 따라 증가하였고 15시간 저장 후 경도변화가 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. DE1, DE2에 비하여 WE1, WE2의 경도가 높게 나타났다. 25 $^{\circ}\text{C}$ 저장시 45시간 저장하는 동안 CON의 경도변화는 거의 일어나지 않았으며, 압출성형 가래떡의 경도변화(DE1, DE2, WE1, WE2)는 15시간 이후 초기 경도의 10배가 증가되었다. 25 $^{\circ}\text{C}$ 저장시 DE1, DE2가 WE1, WE2에 비하여 유의적으로 경도가 급속히 진행되었다($P < 0.05$).

6) 가래떡의 가열조리 특성실험에서 가열시간이 증가할수록 DE1, DE2가 WE1, WE2에 비하여 고형분 용출량이 유의적으로 많았고, 수분흡수지수(WAI) 역시 DE1, DE2가 WE1, WE2에 비하여 유의적으로 높았다. 가열시간에 따른 가래떡의 경도는 DE1과 WE1이 DE2, WE2에 비하여 낮은 값을 나타 내었고 DE1, DE2가 습식제분미로 제조한 WE1, WE2에 비하여 고형분용출량, 수분 흡수지수, 가열조리 후 경도변화에 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$).

본 실험에서는 쌀의 제분방법(건식제분, 습식제분)을 달리하여 재래식 방법과 압출성형기를 이용한 방법으로 가래떡을 제조하였다. 가래떡의 소화도, 점도, 가열조리 특성 등의 전반적인 영향을 미치는 것은 압출 성형 조건중 screw speed로 rpm이 높은 것이 양호하게 나타났다.

제 3 장 scale-up 방안 및 자동화 및 주변기기 구성

제 1 절 scale-up

1. 문헌 및 이론적 고찰

Extrusion process의 scale-up에서 직면하는 문제는 소요동력과 처리용량등에 국한하는 단순한 것이 아니라 Lab-scale에서 생산된 제품과 같은 품질을 full scale extruder로 이루는 것이 문제이다. 일반적으로 식품공정, 특히 extrusion공정의 scaleup 에 관한 발표논문은 극히 제한되어 있다. 이것은 발표를 위한 연구는 주로 사업적 scale의 공정설계에는 관심이 덜한 학문적 연구자에 의하여 이루어지며, 산업적 공정의 설계자들은 그들의 연구결과를 발표하는 일이 드물기 때문으로 자연스러운 일이라 할 수 있다.

식품공정 특히 extrusion process의 scale-up에 관한 문헌은 일반적으로 공학적 parameters(생산속도, 소요동력, 전열속도등)의 예측 범주에 들어간다 할 수 있다.

지금까지 extrusion process scale이 제품품질에 미치는 영향에 대하여 논할 때 주요 공학적 관점에서 고려하여야 할 parameters를 요약하면 표 3-1과 같다. 이 표 16의 parameters는 단지 primary scale-up criterion과 plant scale의 extruder를 설계하기 위해서는 단지 extrudate의 품질에 큰 영향을 미치는 specific mechanical energy input 과 specific thermal energy input의 양상 뿐만아니라, scale과 전열양상과의 관계, 소요동력과 scale 및 output과 scale의 secondary scale-up criterion을 혼용하여 나타내었다. 이를 보다 세분하여 extrudate의 품질에 직접적으로 영향을 미치는 주요 primary criteria를 표 17에 그리고 이를 근사적으로 구하는 식을 표 18에 나타내었다.

Table 16. Scale-up Parameters Discussed in the Literature

Effect of scaleup on product quality
Power input and production rate
Shear rate and/or total strain
Residence time
Temperature and temperature profiles
Heat transfer
Extent of chemical and physical reaction
Extent of mixing
Stability of extrusion operation

Table 17. Candidates for primary criterion for Extrusion Problems

For the screw
Shear rate developed
Shear stress developed
Specific mechanical energy input
Specific thermal energy input
Weighted average total of shear strain
Residence time
A time-temp. integral representing extent of a reaction or physical process
Product temperature
Press changes
Any combination of above

For the die
Shear rate
Shear stress
Pressure drop
Extrudate temperature

Table 18. Approximations for Unmeasurable Primary Criterion Candidates

Shear rate developed

approximation: $\gamma \approx \pi ND/H$

power law: $\gamma \approx (P_o/m \pi^2 N D^2 L)^{1/n}$

Shear stress developed

Power law: $\tau = m \gamma^n$

Total shear strain

approximation: $\bar{\gamma} = \gamma t$

Integral time/temperature history of a physical or chemical reaction

approximation: $\phi = T_{avg} t$

temperature profile and an activation energy are available

$$\phi = A \int_0^t e^{-(\Delta E/RT)} dt$$

Secondary Scale-Up Criteria:

Extrusion의 scale-up에서는 다음의 2차 기준을 확립하여야만 한다

1) choke-feed extruder의 경우는 output 과 스크류의 속도, 구조 및 back-pressure와의 관계, starved screw의 경우는 충전길리와 스크류 구조, 투입량, back-pressure와의 관련이 중요하다.

2) 에너지소모, 스크류 속도, 구조, 충전 길이 및 스크류 back-pressure의 상호관계

3) die pressure drop과 flow rate의 관계

4) Barrel 내벽의 온도 예측 및 가열/냉각시스템의 설계를 위하여서는 전열 계수와 extrusion 조건과의 관계

5) 배합비 변화, 특히 수분함량 변화에 따른 extruder performance의 변동이 있다.

상기 secondary criteria를 측정하기 위하여서는 여러 가지 방법이 있으나, 거의 model 또는 차원 분석에 의존하고 있으며, model parameter를 확립하기 위하여서 실험에 의존하고 있다.

내부흐름

Screw extruder의 흐름은 평행 평판 model을 채용하고 extrudate가 power law에 따른다고 가정하면 다음 상태 방정식으로 나타낼 수 있다.

즉, $\frac{\Delta P}{L} = m \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{\partial v_z}{\partial y} \right)^n \right]$ 여기서 n 은 power law의 flow index, m 은 렛 consistency, L 은 스크류 길이, y 좌표는 channel의 높이, z 좌표는 흐름방향을 나타내며, P 는 extruder 내부의 압력을 나타낸다. 상기 방정식의 boundary condition은

$$v=0 \text{ (no slip) at } y=0$$

$v=V$ at $y=H$ 이며, 여기서 v 는 유체의 흐름속도, V 는 screw tip의 속도, H 는 screw flight의 깊이이다.

여기서 scale factor ($v^* = v/V$, $y^* = y/H$)를 도입하여 상기 식을 정리하면

$$\frac{\Delta P H^{n+1}}{mL V^n} = \frac{\partial}{\partial y^*} \left[\left(\frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right)^n \right] = \pi_1 \text{ 이 되며 이 때 boundary condition은}$$

$v^*=0$ at $y^*=0$ 및 $v^*=1$ at $y^*=1$ 이며, 여기서 π_1 은 Buckingham

theorem의 dimensionless group이다. 그러므로 velocity(v^*)는 다음과같이 3개의 dimensionless group의 함수로 표시할 수 있다. 즉, $v^* = f(\pi_1, n, y^*)$.

실제 extruder 설계에서는 local velocity 보다 총 흐름량은 각 부분의 속도를 적분 하여 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉, $\frac{Q}{WVH} = g(\pi_1, n)$, 여기서 Q 는 extruder의 volumetric flow rate, W 는 channel width이다.

소요동력

Extruder의 소요동력은 extrudate의 성질이 운전중 변하지 않고, screw의 channel 이 팽창해서 운전된다면, 간단하게 다음과같이 나타낼 수 있다. 즉, $P_o = F V$ 여기서 P_o 는 소요동력이고, F 는 평행판 model의 평행판의 drag force이다. Drag force는 평행판의 면적과 평행판에 미치는 shear stress의 곱이며, shear stress는 power law에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

즉, 움직이는 평행판의 shear stress는 $\tau_{z=H} = m \left(\frac{dv_z}{dy} \right)^n$ $y=H$ 의 식으로 나타

낼 수 있으며, dimensionless 관계는 $\frac{P_o H^n}{m V^{n+1} WL} = h_1(\pi_1, n)$ 으로 표시할 수

있으며, 여기서 알 수 있듯이 함수 h_1 은 압력 term을 포함하고 있으며, screw의 discharge에서 압력이 발생하지 않으면, 일정한 값을 갖는다. 일반적으로 Food extrusion은 압출압력증가보다는 screw의 회전에 많은 에너지가 소요되므로 상기식은 다음과 같은 근사식으로 나타낼 수 있다. 즉, $\frac{P_o}{\rho V^3 WL} = \frac{m}{\rho V^{2-n} H^n}$,

여기서 ρ 는 extrudate의 밀도이며, WL 의 값은 채워진 screw 부분의 표면적과 근사적으로 같다. 그리고, 상기식의 좌측항은 Lagrange group으로 알려진 power number(또는 specific energy consumption index)이며 우측항은 Reynold number의 역수이다. 또한 상기식은 주어진 flow index를 갖는 extrudate에 대한 필요 또는 소요동력을 산출하는 데 유용하다. 즉, extrudate가 완전히 용융된 상태로 가정하면 screw speed의 log 값과 소요동력의 log 값을 plotting 하면, 이 plot의 기울기는 $1+n$ 의 값을 나타내므로 쉽게 flow index를 계산할 수 있다.

이상은 확장 screw의 경우이고 대부분의 twin-screw extruder 경우에는 부분적으

로 channel을 채우는 경우가 많다. 이 경우는 채운 screw의 길이가 종속변수가 된다.

즉, $\frac{L}{L_{full}} = f\left(\frac{Q}{WVH}, \pi_1, n\right)$ 이 되며, 동력소모의 dimensionless 관계 함수는

$$\frac{P_o}{m V^{n+1} WL_{full}} = g\left(\frac{Q}{WVH}, \pi_1, n\right)$$

이며, 상기 각각의 함수는 실험에 의하여 구해지며, 한 pilot-scale에서 구하여지면, 유과 구조의 plant scale까지 예측값을 연장할 수 있다.

외부가열

Extrusion 중 extrudate의 온도변화가 더욱 복잡하여지는 것은 외부가열 또는 냉각에 의한 것이다. 만약 screw 내의 물질이 균일하게 혼합되고, 투입시와 압출시의 온도가 고정된 상태에서 온도상승의 대부분이 viscous dissipation에 의한다면, pilot 또는 plant scale 모두다 거의 같은 temperature profile을 나타낸다. 이러한 관찰에 근거를 두고 dimensionless equation은 충분한 해는 아니지만 경향을 파악할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있다.

Extruder내의 temperature profile을 조절하기 위한 가열/냉각 시스템을 적절히 설계하기 위해서는 Extruders 내부의 대류열전도에 대한 scale-up 이 필요하다.

Extruder의 평행한 평판 model을 바탕으로, 전열은 다음과 같은 상태방정식으로 나타낼 수 있다. 즉,

$$v_z \rho C_p \frac{dT}{dz} = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \left(\frac{\partial v_z}{\partial y}\right)^{n+1} \quad \text{여기서 } k = \text{extrudate}$$

의 thermal conductivity 이며, boundary condition은 다음과 같다.

$$T = T_0 \quad \text{at } z=0$$

$$T = T_b \quad \text{at } y=H$$

$$T = f(z) \quad \text{at } y=0$$

스크류 표면에서의 extrudate의 온도는 처음 온도와 같다고 가정하고, 스크류를 통한

열전도가 없다고 가정하여, 위의 미분방정식을 풀어 normalization하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{\rho C_p V H^2}{HL}\right) v^* \frac{dT^*}{dz^*} = \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} + \frac{m V^{n+1}}{k(T_0 - T_b) H^{n+1}}$$

상기 식에는 2개의 무차원 group이 나타나는 데, 좌측항에는 bulk flow에 의한 열 전달과 전도에 의한 열전도비를 나타내는 Graetz number(Gr)가 있으며, 이는 $Gr=Pe(H/L)$ 의 형태로 더 잘알려져 있다(여기서 Pe 는 Peclet number).

우측항에는 viscous dissipation에 의한 열전달에 대한 전도에 의한 열전도의 상대적 중요성을 나타내는 Brinkman number(Br)가 나타나 있다.

상기 식의 해는 $T^*=F(Gr, Br, y^*, z^*, v^*)$ 의 함수로 나타낼 수 있다.

여기서 dimensionless velocity(v^*)는 $f(\pi_1, n, y^*)$ 로 나타낼 수 있으며 여기서 n 은

flow index 이며, π_1 은 Buckingham π theorem에서의 $\frac{\partial}{\partial y^*} \left[\left(\frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right)^n \right]$ 이 된다.

즉, 실제 스크류의 geometry factor를 대입하면 screw 내의 velocity profile에 따른 결과로도 상기 함수를 연장하여 응용할 수 있다.

한편, extruder design engineer는 평균 열 전도도를 알 필요가 있으며, 이는 다음식으로 정의할 수 있다. 즉, $q=h(T_b - T_o)$ 여기서 h 는 전열계수, q 는 heat flux 이다.

평형상태에서 표면에서 전도에 의한 전열과 같으므로,

$$k \left(\frac{dT}{dy} \right) \Big|_{y=H} = h(T_0 - T_b)$$

이를 dimensionless scaling factor를 이용하여 $\frac{hH}{k} = \left(\frac{\partial T^*}{\partial y^*} \right)_{y^*=1}$ 로 나타낼 수 있으며, 좌측항은 전도에 의한 전열과 대류에 의한 전열의 비를 나타내는 Nusselt number (Nu)를 나타내며, 이러한 현상에서는 barrel 벽으로부터의 dimensionless heat flow를 의미하며, $Nu_z = f(y^*, Gr, Br, n, \pi_1)$ 또는 $Nu_{avg} = g(Gr, Br, n, \pi_1)$ 의 함수로 나타낼 수 있다.

2. Lab. Extruder의 screw 및 barrel 구조분석

Twin-screw의 구조의 이해는 기기의 설계, 내부 물질이동의 분석 및 내부 열 전달을 분석하는 데 매우 중요하다. 이는 barrel과 screw 사이의 빈 공간 및 barrel 및 screw의 표면적등을 산출을 통하여 가능하고, shear rate 및 energy등은 한 screw의 tip이 짝을 이루는 다른 screw의 flank사이의 상대속도를 알아야 가능하다.

완전 맞물림-동방향형 Twin screw의 단면은 단일 screw의 직경, 중심거리 및 평행 channel의 개수에 의하여 결정되는 특징적인 모양을 갖는다. 이 특징적인 형태는 kinematic analysis를 통하여 결정된다.

본 실험에 사용한 food extruder는 완전 맞물림-동방향 회전형 twin-screw가 장착되어 있으며, 같은 2개의 평행 channel, 직경, lead, 속도, 방향을 갖는 한쌍의 screw를 장착하고 있다. 그림 8에 한 쌍의 screw의 축방향 단면과 축의 수직 방향 단면을 나타내었다. Tip angle α , channel의 수(n) 및 중심축거리(C_L)와의 관계는 다음식과 같다. 즉,

$\rho_c = 2 \cos(\pi/2n - \alpha/2)$ 여기서 $\rho_c = C_L/2R_s$ 이며 중심축간거리와 screw의 직경의 비이다.

Screw의 channel depth(h) = $2R_s - C_L$, 상대 channel depth (x) = $2 - \rho_c$ 가 된다.

그림 에 나타낸 것과 같이 축에 수직인 단면상의 점 p1 과 p2는 screw의 tip 부분이고 b1과 b2는 screw의 root 부분이며, 축(z)방향의 좌표계를 변형시키면, $z = t\theta/2\pi$ 가 되며, p1에서 p2 까지의 거리는 lead(t)/n(2)이며, angular distance는 $2\pi/n(2)$ 이다.

tip과 root 사이의 channel depth(h_θ)는 다음 식으로 표시된다.

$$\text{즉, } h_\theta = R_s(1 + \cos \theta) - \sqrt{C_L^2 - R_s^2 \sin^2 \theta}$$

Twin-screw를 single-screw pump로 볼 때 상대 직경(equivalent diameter, D_E) 과 평균 축방향 유체흐름 속도(v_a)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

즉, $D_E = 2D(1 - \phi/\pi)$ 및 $v_a = \frac{1}{2} Nt \cos^2 \phi$ 이며, 여기서 ϕ 는 screw tip과 root angle을 제외한 angle의 1/4 이고 ϕ 는 helix angle을 나타낸다.

열 전달, 흐름 및 물질이동의 측정에 중요한 각 부분의 표면적과 용적은 다음식으로 계산할 수 있다.

$$\text{barrel 내부표면적 } (A_B) = 2LD(\pi - \phi) = k_B R_s^2(L/D)$$

screw의 표면적 (A_{SI})은 tip, root 및 flank 의 3 부분으로 나누어 계산할 수 있다.

$$\text{tip 부분 } (A_T) = \alpha R_s L = 2 R_s^2(L/D)$$

$$\text{root 부분 } (A_R) = \alpha R_B L = 2\alpha R_s^2(L/D)$$

$$\text{flank 부분 } (A_{CI}) = k_{CI} R_s^2(L/D)$$

$$\text{여기서 } k_{CI} = 2 \int_0^{2\phi} \left\{ \sqrt{\rho_c^2 - \sin^2 \theta} \right\} \sqrt{1 + \frac{\sin \theta}{\sin^2 \phi_r (\rho_c^2 - \sin^2 \theta)}} d\theta$$

$$\text{Screw 단면적 } (A_D) = 2[\phi C_L^2 - C_L R_s \sin \phi] + \alpha(R_s^2 - R_B^2) = k_D R_s^2$$

$$\text{barrel 내부단면적 } (A_{BC}) = 2(\pi - \phi) R_s^2 + C_L R_s \sin \phi = k_{BC} R_s^2$$

$$\text{barrel과 screw 사이의 공간 } (V_o) = k_v R_s^3(L/D)$$

$$\text{여기서 } k_v = k_{BC} - 2k_D$$

$$= 2(\pi - \phi) + \rho_c \sin \phi - 4 \left[\phi \rho_c^2 - \rho_c \sin \phi + \frac{1}{2} \alpha (\rho_c - 1)^2 \right]$$

Table 19 Technical geometry data of Lab. scale Twin-screw extruder

basic geometry:

screw diameter (mm)	44.0
root diameter (mm)	27.2
centerline dist. (mm)	35.6
channel depth (mm)	8.4
ρ_c	1.61818
tip angle (α)	18.0
flank angle (ψ)	36.0

cross-sectional area:

barrel cross-sectional area	2748 mm ²
screw cross-sectional area	964 mm ²
free cross-sectional area	820 mm ²

3. 가래떡 제조중 형태별 투입에너지의 측정

Lab scale 장치로는 시간당 50 kg 내외의 가래 떡을 생산할 수 있었으며, 이 때 반죽의 수분 함량은 36 % 내외가 최적이었고, 반죽의 온도는 110°C 까지 가열하였다가 die 에서는 90°C로 냉각할 필요가 있었으며, die 직전의 압력은 30 bar로 유지하여야 되었다.

그러나, 생산량을 500 kg/hr로 scale-up 할 때 가장 문제가되는 부분은 전열면적으로, barrel 내벽의 표면적을 증가시키는 일은 screw 직경(1.5 배)이 한정되어 순 표면적은 2.25배 이상으로 증가 시키는 것은 불가능할 것으로 예상되어, Extruder의 가열/냉각 시스템의 inlet 및 outlet에 온도측정장치와 flowmeter를 장착하여 thermal energy의 전열정도를 측정하였다.

Table 20. Specific mechanical energy input and extrusion pressure at various conditions of dough moisture and screw speed with Lab. scale extruder

run number	dough moisture(%)	total feed rate (Kg/hr)	screw speed (rpm)	SME (wh/Kg)	press (bar)
1	0.3400	53.1	247.5	169	35
2	0.3514	53.0	247.5	145	28
3	0.3520	56.4	247.5	154	30
4	0.3633	53.4	247.5	140	33
5	0.3841	58.0	337.5	111	30
6	0.3914	58.7	337.5	106	30
7	0.3976	63.5	270.0	98	30
8	0.4000	42.5	220.5	94	26
9	0.4464	52.2	274.5	90	20
10	0.4547	53.0	297.0	92	18

* Screw configuration was Type 2, die plate was 3 x 20 x 60 mm flat forming die.

* The pressure was the value measured by pressure meter inserted between the screw top and the die inlet.

또한 주어진 extrusion 조건내에서 반죽의 수분함량만을 표 3-4와 같이 34 - 45%로 변화시키면서 조업할 때 SME 및 압력의 변화를 측정하였다. 그리고, 가열 시스템의 inlet 온도를 130 ℃로 조절하고 압출온도를 90 ℃로 조절하여 평형에 도달 하였을 때의 가열의 outlet 온도 및 냉각수의 in/outlet 온도 및 유량을 측정하여 specific thermal energy input를 산출한 결과를 표 21 에 나타내었다. 이 때 반죽의 열용량(c_p)은 $1.44+2.74 X_w$ 로 계산하였고 물의 비열은 온도변화와 상관 없이 일정한 값 4.18 KJ/Kg ℃을 적용하였고, 가열매체(thermia x-600)의 비열은 제조업체에서 획득한 값 3.09 KJ/Kg ℃ 값을 적용하였다.

Table 21. Specific thermal energy input and the heat generation ratio of SME at various extrusion conditions

run number	specific thermal energy input (KJ/Kg)	specific cooling energy output (KJ/Kg)	SME (KJ/Kg)	heat generation ratio of SME (%)
1	-	130	608	65.4
2	-	83	522	67.8
3	-	91	554	60.5
4	-	38	504	60.8
5	46		400	57.9
6	120		381	57.0
7	137		352	55.9
8	148		338	50.2
9	167		324	49.8
10	172		331	44.3

최적 조건에서 가래 떡 생산중 에너지 수지는 원료반죽 Kg 당 소모된 기계적 에너지 320 KJ 가 필요하였고, cooking 에 필요한 열에너지 325 KJ 중 158 KJ은 기계적에너지의 약 50 %가 마찰에 의한 열로 전환되어 충당되었고, 나머지 167 KJ 은 barrel 외벽을 통한 열전달에 의하였다. 냉각에 의하여 소실되는 열량은 75 KJ 이었다.

제2절 Process 및 System parameter의 자동기록

Extrusion 공정의 자동화를 위하여서는 정확한 input/output 공정변수의 기록이 중요하다. 가래떡의 extrusion 공정에서는 쌀가루등 분체의 투입량, 수분조절을 위한 가수량, screw의 회전속도등이 일차적으로 조업자가 조절가능한 공정변수이며, 주어진 조건에서 전력소모량, 압출온도 및 압력등이 system 변수가 된다. 본 연구에서 개발된 가래 떡의 압출공정에는 제조된 떡의 물성조절을 위하여 barrel을 통한 외부가열 온도 및 냉각온도도 추가 공정변수가 된다.

1. 측정장치의 구성

1) 분체 및 수분투입량: 분체 투입량은 투입 hopper의 screw 회전속도에 따라 정량적으로 변화하므로, 투입 screw의 최대 속도에서의 투입량을 측정하여, 투입량을 계산하여 시간당 투입량(kg/hr)로 표시할 수 있게 hopper의 DC motor의 회전속도를 feed back control하는 loop를 설계하여 설치하였고, 가수량은 rota-meter와 water flow meter(Boulder U-120W)와 motorized valve를 assemble로하여 시간당 L 수로 표시하며 controll 할 수 있는 actuator system을 도입하였다.

2) 소요동력 측정

2-1) 기계적 에너지: 소요 전류를 측정기록할 수 있게 설계하여 소요동력을 계산하고, 스크류의 회전속도를 동시에 측정하여 motor의 torque를 계산하는 계산식을 입력하고, 이 때 원료투입량을 측정하여 자동적으로 specific mechanical energy input (SME)이 계산되어 기록되도록 하였다.

2-2) Thermal energy: barrel section 마다 열매체 또는 냉각수의 inlet 및 outlet에 thermocouple을 장착하고, flowmeter를 부착하여 온도차 및 랫 rate에 의하여 가열 및 냉각에너지를 측정하였다.

3) 온도 및 압력 측정: barrel section 별로 thermocouple를 barrel 내부로 관통하도록 장착하여 압추물의 온도를 측정하고, die plate 와 screw의 top 사이의 공간에 thermocouple(PT 100 Ω)과 압력계 (dynisco PC1-100)를 장착하여 측정하였다.

2. 신호전환 및 display

각 sensor의 신호는 mv로 출력 받아 그림 8 및 표 22 와 같은 data acquisition system을 이용하여 real time으로 computer에서 출력할 수 있게 하였다.

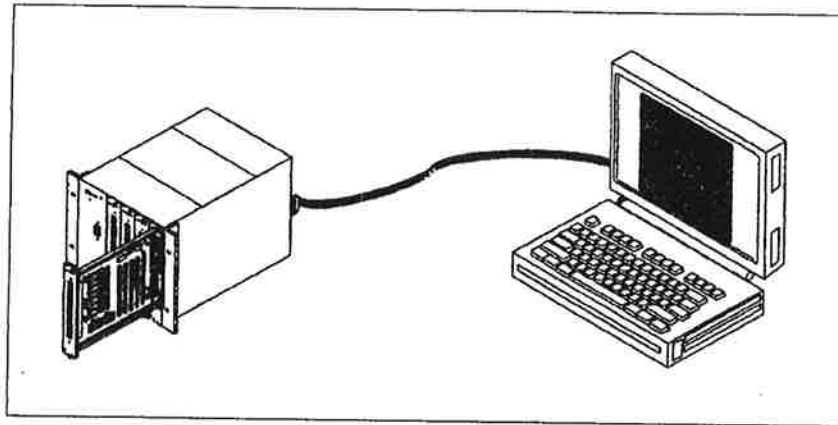


Fig. 8. Configuration of the measuring system with SCXI signal conditioning and data acquisition modules.

Table 22. Specification of the measuring system.

Module	Specification
Host computer	CPU: pentium, 90Mhz Main memory: 8MB Cache memory: 256KB
Data acquisition/control module	12-bit resolution 6 isolated vol./current outputs for control
Multiplexor amplifier	32 differential channels
Isolation amplifier with excitation	4 channels Signal conditioning for strain gauges, RTDs, thermistors, millivolts/volts sources, process current sources, thermocouples
Relay module	16 independent relays

3. Monitoring 결과

상기 data acquisition system과 각종 측정장치를 연결한 후, 자동조절장치에 의하여 먼저 die break의 opening ratio를 33 %로 하고 수분함량을 변화시키고, 다음 RPM 과 cooling temperature를 변화시키면서 이때 SME를 측정한 결과와 braeker의 opening ratio를 23 %로 바꾸고 수분을 변화시키면서 SME를 측정한 결과 표 3- 와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 23 Extrusion operation Data obtained by Data Acquisition System

Moisture (%)	Feed rate (Kg/hr)	RPM	Cooling Temp. (°C)	Ext Temp. (°C)	SME (Kw/Kg)
1. Effect of Moisture change (BP: 33%)					
32.2	33.4	225	42	81	135
34.4	34.4	225	42	78	117
35.5	35.5	225	42	74	103.4
38.5	38.5	225	74	83	63.1
2. Effect of Cooling Temperature (BP: 33%)					
38.26	36.0	225	90	75	58.5
38.26	36.0	225	81	70	66
38.26	36.0	225	84	88	60
38.26	36.0	338	91	81	94.5
38.26	36.0	338	88	80	96.8
38.26	36.0	338	80	76	87.8
38.26	36.0	338	77	76	101.1
38.26	36.0	225	85	71	61.5
38.26	36.0	225	80	70	67.5
3. Effect of moisture and RPM (BP: 23%)					
34.65	34	225	80	86	109.4
34.65	34	338	83	87	135.4
38.26	36	225	75	80	79.5
38.26	36	338	88	86	99.0
41.51	38	225	101	80	56.8
41.51	38	338	81	80	87.4

제 3 절 주변기기 사양 결정

1. 압출 떡의 절단 및 냉각

그림 과 같은 평 conveyor(400X 6000mm)에서 냉각수를 살포 후 절단장치를 갖는 시스템을 설계하고 제작하였다(그림 9). Belt의 속도를 가래 떡의 압출속도에 맞추어 조절할 수 있도록 DC motor(1/4HP)를 사용하였고, 절단 Knife의 속도도 원하는 길이에 맞도록 조절할 수 있게 하였다.

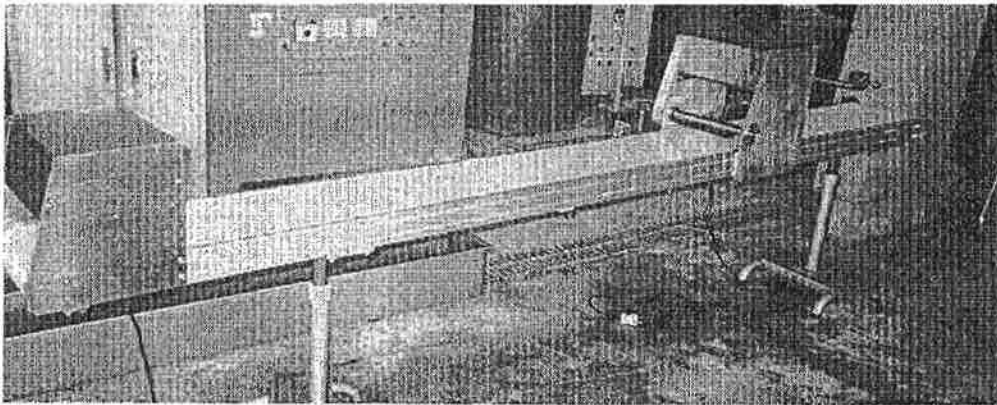


그림 9. 냉각/절단 conveyor 전경

2. 건조 떡 건조기 사양

시제 된 압출 떡을 5 °C에서 24 시간 경화 시킨 후, 3 mm 두께로 절단한 후, 열풍 건조 예비실험을 실시하였다. 열풍의 온도, 습도, 속도를 조절할 수 있는 실험용 건조기를 사용하여 건조한 후, 건조떡의 복원 및 조리 특성을 측정된 결과, 건조중 case hardening을 최소화하기 위하여서는 낮은 온도 (70 °C)와 높은 상대습도(50 %)가 감을 건조기에 필수적임이 밝혀졌다. 그러므로, 절단 떡의 건조기는 tray 식 batch type으로 건조진행에 따라 습도 및 온도가 조절되는 system을 갖추어야 한다.

참고문헌

1. 윤서석 : 증보한국식품사연구, 신광출판사, p252
2. 김천호, 장지현 : 대한가정학회지, 8, p292 (1972)
3. 이철호, 맹영선 : "한국떡에 관한 고찰", 2(2), p117 (1987)
4. 한억, 김영명 : 연구용역 결과보고서, 농수산물유통공사, p43 (1987)
5. 이철호 외 6인 : 식품 extrusion 기술, 유럽문화사, p13 (1987)
6. Smith, O.B.: Extrusion and forming ; creating new foods, Food Eng, 47(7), 48 (1975)
7. Smith, O.B.: Extrusion cooked snacks in a fast growing market, Ceceal Sci. Today, 19(8), 312 (1975)
8. Haper, J.M. : Extrusion of Foods, Vol. I, II, CRC. Press, Inc., Florida (1981)
9. Devalle, F.R., Villanueva, H., Reyes-Govea, M., Escobedo, H., Bourges, J., Ponce, J., Munoz, J.: Development, evaluation and industrial production of a powered soy-oats infant formula using a lowcost extruder, J. of Food Sci., 46, 192 (1981)
10. Clark, J.P.: Texturization by extrusion, J. Texture stud. 9(1), 109 (1976)
11. Colonna, P, Doulier, J.L., Melcion, J.P., de Monredon, F. and Mercier, C.: Extrusion cooking and drum drying of wheat starch, I physical and macromolecular modification, Cereal Chem., 61, 538 (1984)
12. Colonna, P, Doulier, J.L., Melcion, J.P., de Monredon, F. and Mercier, C.: Extrusion cooking and drum drying of wheat starch starch. II. Rheological Characterization of starch pastes. Cereal Chem. 63, 240 (1984)
13. Gomez, M.H. and Aguilera, J.M. : A physicochemical model for extrusion of corn starch. J. of Food Sci., 49, pp40~46, 63 (1984)
14. 전재현 : 단백질 및 전분의 반응, "식품의 Extrusion의 기술(I)", 유럽문화사, 서울, p159, 1990

15. Juliano, B.O. and Sakurai, J.: Miscellaneous rice products. In Rice Chemistry and Technology. 2nd Ed., (Juliano, B.O. Ed.) American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. p.569 (1985)
16. 박용곤, 석호문, 남영중, 신동화 : 제분방법별 쌀가루의 이화학적 특성. 한국식품과학회지, 20, 504 (1988)
17. Nishita, K.D. and Bean, M.M.: Grinding methods—their impacts on rice flour properties. Cereal Chem. 59, 46 (1982)
18. Bean, M.M.: Rice flour—its functional variations. Cereal Food World. 31, 477 (1986)
19. Evers, A.D. and Stevens, D.J.: Starch damages. In Cereal Science and Technology. (Pomeranz, Y. Ed) American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 7, 321 (1986)
20. Luh, B.S. and Liu, Y.: Rice flours in baking. In Rice Utilization. 2nd Ed, Van Nostrand Reinhold, New York. p9 (1991)
21. Mendes, F.P., Brilhante, S., Suzuki, H., Tada, M. and Webb, B.D.: Cooperative test on amylograph of milled rice flour pasting viscosity and starch gelatinization temperature. Starch. 37, 40 (1985)
22. Yamazaki, K., Nakazato, T. and Kosegawa, T.: Cooking quality of rice flour II, Experiment on butter cakes. Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai-Shi. 18, 512 (1971)
23. Bean, M.M., Elliston-Hoops, E.A. and Wishita, K.D.: Rice flour treatment for cake baking applications. Cereal Chem. 60, 445 (1983)
24. Arisaka, M., Nakamura, K. and Yoshii, Y.: Properties of rice flour prepared by different milling methods. Denpun Kagaku. 39, 155 (1992)
25. Evers. A.D. and Stevens, D.J.: Starch damage. In Cereal Science and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 7, 335 (1986)

26. Willson, L.A., V.A. Birmingham, D.P. Moon, H.F. Snyder.: Isolation and characterization of starch from mature soybeans, *Cereal Chem*, 55(5), 661, 1978
27. Nishita, K.D. and Bean, M.M.: Grinding Methods; Their impact on rice flour properties, *Cereal Chem*, 59, 46 (1982)
28. A.O.A.C. : Official Methods of analysis, 15th ed., The Association of official Analysis chemists, Washington, D.C., 1990
29. Dintzis, F.R. and Harris, C.C. : Syarch determination in some dietary fiber sources. *Cereal Chem.*, 58, 467 (1981)
30. A.A.C.C. : Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th ed., AACC Inc., st. paul, MN, Method 88-04 (1983)
31. Lund, D.: Influence of time, temperature, moisture, ingredints and processing *Nutrition*. 20, 249 (1984)
32. 김성곤, 변유량 : 실은 및 고온저장 시 쌀밥의 노화속도, *한국식품과학회지*, 14(1), pp80~81 (1982)
33. S.K. Kim, C.F. Ciacco and B.L. Dappolonia : Kinetic study of retrográdation of cassava starch gels, *J.Food Sci.*, 41, pp1249~1250 (1976)
34. Rhonada G. Mciver, D.W.E. Axford, K.H. Colwell and G.A.H.Elton : Kinetic study of the retrogradation of gelatinized starch, *J. Sci. Food Argic.*, 19, pp560~563 (1968)
35. Rao, M.A. and Anantheswarm, R.C : Rheology of fluid in food processing. *Food Technol.*, 36, 116 (1982)
36. Anderson, R.A.: Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products., *Cereal Chem.*, 59, 265 (1982)
37. SAS. SAS User's guide Statistics : Version 6.03 Ed. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1988

38. 금준석, 이상효, 이현유, 김길환, 김영인: 제분방법이 쌀가루의 입자크기에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 25, 541 (1993)
39. Wirakarata akusumah, M.A.: Kinetics of starch gelatinization and water absorption in rice. Ph.D.Dissertation, Univ. of Wisconsin, Medison, USA, 1981
40. Kugimiya, M., Donovan, J.W. and Wong, R.Y.: Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches : A Calorimetric Study, starch/starke, 32, 265 (1980)
41. Donovan, J.W.: Phase transition of the starch-water system. Biopolymer, 18, 263 (1979)
42. 김영진, 김상숙 : 현미경법, 표준체법, 전기저항법, 공기역학법에 의한 쌀가루의 입도분포의 비교, 한국식품과학회지, 26, p184 (1994)
43. Craig, S.A.S. and Stark, T.R.: The effect of physical damages on the molecular structure of wheat starch. Carbohydrate Res., 125, 117 (1984)
44. Nierle, W., El Baya A.E., Seiler, K., Fretzdorff, B., and Wolff, J. : Getreide Mehl und Brot., 34, 73 (1980)
45. Chiang, B.Y., Johnson, J.A. : Gelatinization of starch in extruded products. Cereal Chem., 54(3), 436~443, 1977a
46. Watson, S.A., Meth. : Cabohyd. Chem., 4, 150 (1964)
47. Radley, J.A. : Starch and its derivatives Vol.1, John Wiley and Sons Inc., 3rd ed. New York, p215 (1954)
48. Schultz A.S., Schoonover, F.D., Fisher, R.A. and Jokel, S.S., : Retrogradation of starch staling commercial bread by bacterial α -amylase, Cereal Chem., 29:200 (1952)
49. Sharples, A., "Introduction to polymer crystallisation", London: Edward Arnold, (1966)
50. Stanley, D.W.:. Textural and microstructural changes in corn starch as a function of extrusion variables. Can. Inst., Food Sci., Technol., 17, 65~70

(1984)

51. Colonna, P. and Mercier, C.: Macromolecular modifications of manio starch components by extrusion cooking, *Carbohydrate polymers*, 3, 87 (1983)
51. Gomez, M.H. and Agailera, J.M.: Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn, *J. Food Sci.*, 48, 378 (1983)
52. Kim. K. and Hamdy, K.K.: Depolymerization of starch by high pressure extrusion, *J. Food Sci.*, 52, 5 (1987)
53. Chinnaswamy, R. and Hanna, A.: Nozzle dimension effect on the expansion of extrusion cooked corn starch, *J. Food Sci.*, 52, 6 (1987)
54. Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfefter, V.F., Griffin, E.L., Jr.: Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking, *Cereal Sci., Today*, 14(1), 4 (1969)
55. 류기형, 이철호 : 쌀가루의 수분함량과 입자크기에 따른 Extrudate의 물성학적 성질. *한국식품과학회지*, 20(4), pp463~469, 1988
56. Mervier, C. Feillet, P.: Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products, *Cereal Chem.*, 52(3), 283 (1975)
57. Colonna, P, Doulier, J.L., Melcion, J.P., de Monredon, F. and Mercier, C.: *Thermal Processing and Quality of Foods*, p96, Elsevier Applied Science Pub., London, 1984
58. Colonna, P, Doulier, J.L., Melcion, J.P., de Monredon, F. and Mercier, C.: Extrusion cooking and drum drying of wheat starch II, Rheological characterization of pasta partes, *Cereal Chem.*, 63(3), 1986