

GOVP1200110242

62218
L2932

GA 0164-0006

최 종
연구보고서

전곡립의 과열수증기 전처리에 의한 Thermal Hydration 및 취반특성 개선 공정개발

Development of Pre-treatment Processing to Improve
the Cooking Properties of Brown Rice

연구기관
한국식품개발연구원

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “전곡립의 과열수증기 전처리에 의한 Thermal Hydration 및 취반특성 개선공정 개발”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 10. 13.

주관연구기관명 : 한국식품개발연구원

총괄연구책임자 : 김 철진

연 구 원 : 김 종태

연 구 원 : 조 용진

연 구 원 : 권 기현

여 백

요 약 문

I. 제 목

전곡립의 과열수증기 전처리에 의한 thermal hydration 및 취반특성 개선공정 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

현미의 취반특성 개선을 위한 과열수증기 전처리 기법으로 처리된 현미의 제반 취반특성을 정백미와 비교 검토하여 과열수증기 전처리 공정을 최적화 하고, 최적화 조건에 맞는 연속식 처리장치의 설계 사양을 도출하는 데 본 연구의 목적이 있음.

현미는 영양학적 장점 및 건강 지향적인 특징으로 인하여, 백미와 혼합하여 취식되는 경우가 빈번하나, 그 조직감이 열등하여 기호성이 떨어진다. 그러므로, 현미의 취반특성을 개선하기 위한 전처리 공정의 개발이 요구되고 있다. 현미의 취반특성을 개선하기 위해서는 현미 강층의 부분적인 변화가 필수적이며, 이는 고압의 건조(과열)수증기에 현미를 순간적으로 노출시켜 현미립의 표면에 균열을 생성시키되, 내부의 전분층은 호화 되지 않는 조건에서 가능하다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1) 현미의 과열수증기 전처리 공정의 조업조건 최적화

- 취반특성 model eq. 및 해법 정립
- Lab. scale 실험장치 설계 및 제작
- 처리 조건별 취반특성 측정을 통한 조건 최적화

2) 최적처리조건 범위 내에서 연속 처리장치 제작을 위한 공정분석 및 장치 사양 결정

- 과열수증기 전처리의 에너지 수치 및 공정 분석
- 원료투입장치 구조개선 및 scale-up 연구
- 주변장치 사양 결정 및 공정 체계 확립

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

○ Lab. scale 전처리 장치를 이용한 처리 현미의 취반특성 측정

1회에 약 300g의 현미를 4 Kg/cm^2 이내의 압력에서 $130\sim 160^\circ\text{C}$ 범위의 온도에서 일정시간 처리할 수 있는 전처리장치를 설계 시작하여, 처리장치내의 압력을 1 Kg/cm^2 , 수증기의 가열장치를 통과한 수증기의 온도를 $127, 150$ 및 160°C 로 유지시키면서, 현미를 1 분간 체류시킨 후 급격히 탈기 시켜 전처리 현미를 제조하였다.

처리 현미를 CCD 카메라가 장착된 현미경을 사용하여 표면을 관찰 한 결과 처리온도가 높을수록 표면 강층에 균열이 나타나는 현상이 뚜렷하였다. 침지온도에 따른 수화속도를 Beck model로 분석하여 확산계수를 계산한 결과 침지온도가 쌀 전분의 호화온도보다 낮은 60°C 인 경우 처리 현미가 정백미 또는 현미보다 높은 값을 보였으나, 호화온도부근인 75°C 에서는 정백미와 현미의 사이의 값을 나타내었다. 이는 호화온도보다 낮은 온도에서는 강층의 균열을 통한 곡립 내부로의 수분흡수가 동시에 일어나나, 호화온도부근에서는 수분 침투 후 전분립의 팽윤에 의하여 생성되었던 균열이 막히기 때문으로 밝혀졌다.

수분을 75%로 평형 시킨 처리현미(대조구 정백미, 현미) 단립을 DSC 온도를 150℃(가열속도 분당 5℃)까지 상승시키면서 2회 반복하여, 1차 thermal curve에서 2차 thermal curve의 값을 뺀 후의 호화개시온도(T_0), peak 온도(T_p) 호화종료온도(T_c) 및 흡열 엔탈피(ΔH)를 상호 비교한 결과 T_0 는 큰 변화가 없었으나, T_p 및 T_c 는 전처리 온도가 높을수록 낮아져 백미의 그것에 접근하는 경향을 나타냈으며, 흡열 엔탈피는 현미가 백미보다 높은 값을 보였으나 처리 현미는 모두 백미보다 낮은 값을 나타내었다. 이는 처리현미의 경우 강층 균열이 곡립내부로도 이어져 있음을 시사하는 것으로, 취반후의 조직특성 측정을 통한 세밀한 관찰이 필요하다.

표준 취반방법으로 취반된 처리 현미의 Texture Profile Analysis에 의한 조직특성은 현미와 정백미의 사이 값을 나타내었으나, Springiness 와 Hardness 만이 통계적 유의차를 나타내었다.

○ 연속식 처리장치 사양결정

시간당 100 ~ 300 kg의 현미를 전처리 할 수 있는 과일 수증기 전처리 장치의 사양을 실험실 규모의 처리장치의 시험운전 결과를 바탕으로 확립하였다. 전처리의 주요 장치는 수평 cylinder로 내부에 ribbon type의 screw에 의하여 투입된 현미가 이송되면서 원하는 압력과 온도의 평형에 도달되도록 이송속도, 즉, screw의 회전속도를 조절 가능하도록 구성하였으며, 배출시 cyclone에서 steam과 처리 현미가 분리되어, steam은 blower 및 가열 장치에 의하여 재사용 가능하도록 system을 구성하였다.

설계 상 사용 steam의 압력 및 온도의 범위는 200 ~ 360 kPa, 및 135- 250 ℃ 로 설계하였다.

여 백

SUMMARY

I. Title

Development of Pre-treatment Processing to Improve the Cooking Properties of Brown Rice

II. Objectives and Significance

This study is aim to establish the specification the continuous equipment of super-heated steam pre-treatment under the basis of the optimum conditions fined out through analysis of effect of the pre-treatment on cooking characteristics of brown rice, which include thermal hydration properties and gelatinization phenomenon.

Brown rice is being preferred because of its high nutritional benefit. But palatability of the mixed cooked rice may be inferior to regular cooed rice since the cooking profile of brown rice may is different with that of white rice. Therefore, the modification of cooking property of brown rice which makes its cooking profile coincide with that of white rice is needed.

III. Contents and Scope

- 1) Optimization of process conditions of super-heated steam pre-treatment for brown rice
 - Establish model equation of cooking parameters for analysis of cooking kinetics
 - Design and fabrication of lab. scale apparatus
 - Analyze the effect of process conditions on change of thermal

hydration rate and cooking properties of treated brown rice

- Find out the optimum range of process conditions for the continuous process equipment

2) Determine the technical specification through process analysis for design continuous equipment

- Analyze the energy balance and process conditions
- Design the continuous loading valve and determine the scale-up strategy
- Determine the specification of key parts and process system

IV. Results and Recommendation

- **Design and fabrication of superheated steam treatment apparatus**

Lab. scale batch type equipment consist of a treatment chamber(dia. 30 cm x height 50cm cylinder with 2.5 Kw electric heater jacket), a pressure meter and two motorized valves which were controlled by PID circuit, and 5 Kw superheater where 6 sheet type baffles were inserted into the steam tunnel to control the degree of superheating. The key process variables (temperature and pressure) were able to control in the range of 125~240 °C and 1~4 Kg_f/cm², respectively. To load and unload the raw brown rice without break of the steady state conditions, two gate valve were attached at the top of the chamber and mesh wire dish was attached at the bottom of the feed throat in order to hold input sample for the desired time.

Brown rice was pre-treated under condition of the temperature of 12

5~160 °C at constant pressure of 1 Kg_f/cm² for 1 min and collected for analysis.

-Measurement of cooking characteristics for treated brown rice

A new model for the gelatinization of brown rice was developed by introducing the time-logging factor as function of time, which predicted well the degree of gelatinization of brown rice ($R^2=0.920$) in the temperature range of 65 to 80 °C and the reaction rate constant have a form of Arrhenius-type equation.

Generation of pitch hole and fissure on the surface bran layer of the treated kernel was observed by using microscope equipped with CCD camera. The trend increased as the treatment temperature increased.

The water diffusion coefficient (D) derived from the Beck's model for treated brown rice showed different values according to the soaking temperature. At 60 °C, far below the gelatinization temperature, the D values of treated brown rices were higher than that of milled rice, but at 75°C, almost same to the gelatinization temperature, the D values were in the middle of those of milled rice and intact brown rice. This was due to the fissure and pitch hole were clogged by swelling th starch granules which imbibed sufficient water above gelatinization temperature

On the DSC thermal curve which determine by subtracting the 2nd heating curve from 1st heating curve obtained with single whole kernel during heating up to 150°C at heating rate of 5°C/min , peak (Tp) and complete temperature (Tc) and endothermic enthalpy of gelatinization for treated brown rice were closed to those of milled rice as the treated temperature increased, but onset temperature (To) of all samples have no

significant difference.

After cooking by a standard method, the texture value of pre-treated brown rice analyzed by texture profile method were between those of milled and intact brown rice. However, springiness and hardness showed the significant difference at level of 95%.

The above results indicate that sudden releasing following the exposing brown rice in super-heated (dried) steam at high pressure for short time can be successfully employed to change closely the cooking quality of brown rice into that of milled rice by induction fissure on the surface bran layer.

- Determine the technical specification through process analysis for design continuous equipment

The continuous pre-treatment apparatus is finally a screw conveyor type using high pressure superheated steam which was determined by analysis of a batch operation. The main body is a horizontal long cylinder, in which the feed material are conveyed by a ribbon type screw and thermally equilibrated during residence. As loading and discharge devices, specially designed rotary valves are used. Operating pressure is from 200 to 360 kPa and steam temperature is 135- 250 °C at the inlet and 120 -200 °C at the outlet. The treatment system is a closed system, and the steam is recycled by a blower and reheated by a superheater.

Its capacity ranges from 100 Kg/h to 300 kg/h. The equipment cost estimated US\$ 25,000 for th 100 Kg/h unit.

CONTENTS

I. Introduction	15
II. Design and Fabrication of the Apparatus	21
1. Specification	21
a. Steam boiler and Super-heater	21
b. Treatment chamber	23
c. Loading/unloading device	24
2. Assembling and measurement system	24
III. Comparison Cooking Properties of treated Brown Rice to white rice	29
1. Materials and Methods	29
2. Preparation of treated brown rice	29
3. Analysis of Cooking Properties	30
a. Observation of surface texture of treated brown rice	30
b. Water sorption rate	30
c. Determination of Gelatinization degree of brown rice	31
d. Cooking Properties	31
(1) DSC thermal curve	31
(2) Texture profile after standard cooking	32
a) Cooking Characteristics	32
b) Texture Profile Analysis	32

2. Results and Discussion	33
1) Thermal hydration rate and constant for gelatinization degree of brown rice	33
a. Hydration rate at various soaking temperature	33
b. Gelatinization degree at various soaking temperature	35
2) Observation the surface texture of treated brown rice	41
3) Comparison cooking properties of treated brown rice	45
a. Hydration rate	45
b. DSC thermal curves of individual kernel	46
c. Texture profiles after standard cooking	49
 IV. Determine the technical specification for design continuous equipment	 51
1. Key parts and Assembles	51
2. Specifications of key equipment	51
2-1 Key parts	51
2-2 Spec. for measurements	55
2-3 Spec. for Piping	57
2-4 Spec. for control panels	57
2-5 Spec. for Steel structure	58
2-6 Consist of Drawings	58
 Appendix	 61
References	63

목 차

제 1장 서론	15
현미와 백미의 취반특성 차이	15
고압 과열 수증기 처리 이용 현황	16
제 2장 과열 수증기 처리장치의 설계 및 제작	21
제 1절 장치사양 및 제원	21
1. 증기 발생장치 및 super-heater	21
2. Treatment chamber	23
3. 투입장치	24
제 2절 Assembling 및 계측 system	24
1. Assembling	24
2. 계측 system	24
제 3장 처리 현미의 취반특성 비교	29
제 1절 재료 및 방법	29
1. 실험재료	29
2. 과열 증기처리	29
3. 취반특성 분석방법	30
가. 처리현미의 표면조직 관찰	30
나. 처리현미의 수분흡수 속도 측정	30
다. 수화시료 호화도 측정	31
라. 처리현미의 취반특성 측정	31
1) DSC thermal curve 비교	31
2) 취반후 조직특성	32
가) 표준 취반특성	32
나) Texture Profile Analysis	32

제 2절 결과 및 고찰	33
1. 현미 및 백미의 수화속도 및 호화상수	33
가). 침지온도별 수화 속도	33
나). 현미의 침지온도별 호화속도	35
2. 처리 현미의 표면조직 관찰 결과	41
3. 처리시료의 취반특성 비교	45
가. 수화속도	45
나. DSC thermal curve	46
다. 표준취반에 의한 조직감	49
제 4장 연속식 장치의 사양 결정	51
1. 주요 장치 및 구성	51
2. 주요장치 spec. 및 제작사양	51
2-1. 주요장치	51
2-2 계장 기기 사양	55
2-3 배관 사양	57
2-4 Control panel 사양	57
2-5 Steel structure 사양	58
2-6 설계도면 사항	58
Appendix	61
참고문헌	63

제 1 장 서 론

현미와 정백미의 취반특성 차이

최근 식량원으로서 전곡립(whole grain) 및 이의 가공제품의 섭취와 소비는 만성병의 예방에 큰 효과를 제공하는 이점으로 인하여 날로 증가하고 있다. 이 전곡립은 정백미를 주식으로 하는 식단으로 부족한 식이 섬유원, 저항전분, 미량원소, 비타민, 기타 phytoestrogen과 항산화제같이 질병예방에 중요한 성분 등의 주요 제공원이 되고 있다(1).

최근 건강식 등의 이유로 전곡립 혼합 취반이 가정에서 폭 넓게 시도되고 있으나, 현미는 정백미의 취반특성과 크게 달라 백미와 같은 취반특성을 갖는 현미에 대한 수요가 급증하고 있는 실정이다.

현미는 치밀한 쌀겨 층으로 쌓여 있어 수화는 물론 취반에 있어서도 그 속도가 약 2배 늦을 뿐 아니라 특성도 백미와는 다르다(2). 현미의 긴 취반시간은 정백미에 비하여 취반 중 수분흡수속도가 느리기 때문이다. 최외층으로부터 현미의 1%중량의 wax층을 제거하면 수분흡수속도를 느리게 하는 것과 관련이 있다. 아울러 현미와 정백미의 취반시간의 차이는 전분의 호화온도 차이에서도 기인한다. 높은 호화온도를 보이는 전분시료는 낮은 호화온도를 보이는 것보다 오랜 조리시간을 요한다(4). 또한, 아밀로스 및 아밀로펙틴과 지질과의 결합은 호화온도의 상승을 초래한다(5).

정백미 상태 그대로 존재하는 전분입자의 호화에 대한 연구는 1980년대 말에 처음 시도되기 시작하였다(6). 최초의 연구는 현미의 부분 도정과 지질 제거 또는 정백미의 지질 및 단백질 제거가 전분입자의 호화에 미치는 연구를 촉진하게 되어, Marshall 등(7)은 정백미에 알코올등 용제와 단백분해효소를 처리하면 전분의 호화온도가 충분히 낮아짐을 밝히고, 이 호화온도 하강 효과는 지질과 단백질의 제거인 것보다는 이러한 처리에 의하여 곡립에 균열 및 작은 구멍이 형성되어 전분입자가 물에 보다 넓게 노출되기 때문이라고 설명하였다.

정백립의 DSC의 흡열곡선은 쌀가루의 그것 보다 훨씬 복잡한 양상을 나타냄을 밝히고, 그 이유는 수분의 전분입자호의 접근용이성 차이의 결과로 각 전분입자의 호화온도의 차이에 기인할 것이라는 가설을 세우고, 수분의 접근용이성은 현미 또는 정백미 곡립의 독특한 층을 이루는 세포물질의 조성의 차이에 의하여 조절되므로, 현미 등의 강층은 전분입자로의 수분이동의 장벽으로 작용하여, 전분의 호화를 지연시켜 높은 온도에서 호화를 일어나도록 한다고 하였다.

본 연구에서는 현미의 강층 또는 전분층에 물리적인 손상을 가하여 현미의 취반특성을 개선할 수 있는 고압 과열수증기 처리의 효과를 살펴보았다.

고압 과열수증기 처리 이용현황

RTE(Ready to Eat) 곡류식품의 국내시장 점유율은 매년 급신장하고 있어 곡류식품 가공업계에서는 신제품 개발에 많은 연구비와 인력을 투자하고 있다. RTE곡류제품 제조의 근본적인 기술은 quick-cooking공정에 의한 것으로서 프레이크, 팽화, 과립형 등으로 분류할 수 있으며, 이론적 배경을 빠른 수분의 이동에 의한 열적인 재수화(thermal rehydration)에 이은 호화가 일어날 수 있도록 곡류내부에 크기가 작은 수많은 세공(pore)이 형성되게 효율적으로 물리적인 처리를 행하는 물질전달에 근거한 가공기술이라고 할 수 있다.

Akao와 Tsukada(8)는 초고압 수증기를 열 매체로 한 pneumatic형태의 연속식 압력조리장치를 대두와 밀의 조리가공에 사용한 보고가 있으며, 고춧가루, 생강, 파프리카 등과 같은 분말식품의 살균에 응용을 시도하였다. 특히 분립체 식품을 처리할 경우 해충, 충란, 박테리아, 곰팡이 효소활성 등을 살균시킬 수 있다. 한편, quick-cooking한 현미제품을 제조하기 위하여 원심력식 유동층 건조방식을 이용한 연구 경우에 장치 내에서 공기의 유속이 높으면 열전달 속도가 커져 다공성의 quick-cooking 특성을 갖는 미리 조리된 현미제품을 생산할 수 있는 것으로 보고하고 있다.

Glycemic Index는 식품의 조성, 조리 및 가공에 의하여 큰 변화를 보이는데, 한 예로 지방과 단백질이 GI를 낮추는 작용을 하는 것 때문에 식이에 있어서 지방함량을 증가시키는 것은 바람직하지 않은 방법이다. 탄수화물의 경우 점성의 겔 형성 능이 있는 수용성 섬유질은 GI를 감소시켜 혈당 및 인슐린 곡선을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 쌀에 있어서, GI의 정도가 큰 것은 전분 중 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비가 다른 것이 가장 큰 요인이다. 일반적으로 쌀은 20% 정도의 아밀로오스를 함유하고 있으나, 아밀로오스 함량이 높은 경우(28% 정도) 소화속도가 떨어지며, 이에 따라서 GI가 낮게 되는 것으로 보고되고 있다. Table 1에 시판중인 quick-cooking 쌀 제품, 아밀로오스 함량이 20%와 28%인 현미와 백미, quick-cooking한 현미, 팽화 쌀과자, 쌀 페스타, 미강 등과 같은 식품의 GI와 II(insulin index)를 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 아밀로오스 함량이 높은 현미와 백미(Doongara)가 아밀로오스 함량 20% 수준의 쌀(Calrose, Pelde)보다 GI와 II가 현저하게 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있다.

그러므로 아밀로오스 함량과 가열처리의 정도가 GI의 변화에 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 예측되며, 본 연구에서 수행하고자 하는 quick-cooking 공정은 GI의 변화양상을 조정할 수 있는 적절한 가공기법인 것으로 판단되기 때문에 전곡립 원료의 영양적 고찰측면에서 가열공정과 관계한 연구는 의미가 있다고 판단된다.

현재까지 개발된 super-heated steam 공정은 과실, 과채류의 박피(peeling)시 전처리(10, 11, 12), 식품건조(13, 14, 15), 특히 면류의 건조와 전분의 호화(16, 17)처리 기술에 대하여 일본특허가 출원되었고, 곡류의 팽화(18, 19)와 단립체(團粒體) 원료의 순간살균(22)등의 식품공업전반에 걸쳐 활용되고 있다.

순간 가열공정의 산업적 이용은 고압 또는 과열 수증기를 이용하여 건조상태 분립 또는 단립체(powdery or granular) 식품의 살균에 응용하여 건식 살균 공정을 개발하게 된 것이 효시로서 기존의 방사선의 조사나 화학약품에 의한

살균 시 인체에 유해함으로 인하여 법적인 규제를 받는 잔여 독성물질의 발생이 없는 안전성을 제공한다는 의미에서 유용한 식품가공 기술로 평가되고 있다. 이 공정의 최대 강점은 물리적 처리와 삼투효과를 의하여 조리정도를 폭 넓게 조절할 수 있을 뿐만 아니라 조리시간을 5분 이내에서 조절하여 원하는 제품을 처리할 수 있는 신속하고 경제적인 공정이라는데 있다. 초고압 수증기를 열매체로 한 조리와 살균처리를 할 수 있는 기류식 살균 quick-cooking 장치를 예로 들면, 장치의 구성은 살균장치, 냉각기, 초고온 가열기, 로타리 밸브, 사이클론, blower등으로 이루어 졌다. 한편 Table 2는 대표적인 분말과립식품을 기류식 과열수증기 처리하였을 때 살균과 품질특성에 대한 결과를 타내었다.

일반적으로 전곡립 식품은 주로 쌀, 보리, 밀, 옥수수 등이 원료로 사용되고 있으며, 대부분이 ready-to-eat(RTE) 곡류식품 형태로 가공소비 되고 있다.

한편, 식품의 가공 및 조리공정은 향미, 조직감, 색상 등의 변화를 수반하며, 이화학적인 변화의 정도는 식품 개개의 고유 특성에 좌우된다. 이들 변화와 관련한 조리는 식용성과 좋은 맛의 증가, 위생적인 품질의 증가, 소화성과 영양가의 증가, 특정 식품에 있어서 저장성과 수명의 증가, 새로운 식품 또는 섭취육구의 창조 등과 같은 광범위한 효과를 준다.

곡류 가공시 영양학적인 측면에서 중요하게 고려되는 것은 단백질, 탄수화물, glycemic index(GI) 의 3가지 인자에 대한 것이다. 포도당, 과당, 라이신 등과 같은 환원당이 존재하는 조건에서 높은 열이 가해지는 공정에 있어서 Mailliard반응이나 비효소적 갈색화 반응은 라이신의 이용성을 저해하고 단백질의 품질을 감소시키나 대부분의 전곡립을 다른 식품과 함께 섭취할 경우 제한 아미노산 형태를 보정하며 품질도 증가시킨다. 전곡립에 있어서 주된 탄수화물은 전분과 섬유소인데, 가공과정 중 호화와 부분적으로 노화현상이 일어나 인체에 흡수시 에너지원으로서 이용을 저해하며, 난소화성을 조절할 수 있는 기능을 제공한다.

공정변수는 노화와 난소화성 전분의 형성에 지배적으로 작용하여 빵에 있어

서는 노화, 껍에 있어서는 synergy 현상과 같은 바람직하지 않은 결과를 초래한다. 특히, 노화진행의 속도의 범위는 온도, 전분분자의 크기와 형태 및 농도 외에 다른 성분의 존재여부에 영향을 받는다. 따라서 이러한 영향과 품질측면에서 보여지는 단점을 극복하기 위하여서는 가공공정 변수의 최적화 외에 곡류의 품종, 분자 전분분자의 구조와 노화 메커니즘에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

최종제품 종류에 따른 각각의 특성에 맞는 적절한 품질조절 기술이 적정수준에 도달하지 못하여 완전한 응용기술의 개발에 한계가 있는 실정이다. 한 예로 현미제품의 생산 시 탄 냄새 또는 호도냄새가 나는 정도의 가공된 제품은 상품성을 상상해버리게 된다. 이러한 원인은 SSQC공정에 의하여 고온과 단시간 처리를 하는 과정에서 시스템 전반에 걸친 물질과 열의 정량적인 계측과 제품의 품질인자에 대한 정교한 공정제어 기술개발이 뒤따르지 못한 것 때문인 것으로 분석된다.

SSQC 공정변수와 품질인자의 상관관계를 확립하는 체계적인 연구는 국내 식품시장에서 큰 비중을 차지하고 있는 곡류와 채소류 등의 분립체 식품의 고품질화와 안전성에 큰 기여를 할 것으로 기대되기 때문에 필요성이 절대적으로 요구된다고 할 수 있다.

본 연구는 과열 수증기 처리기법에 의한 현미의 취반특성 개선 공정을 개발하기 위한 응용연구로써, 공정분석 및 개발에 필수적인 공정변수를 조절/기록 할 수 있는 실험실적 처리장치를 설계·시험제작하고, 이를 이용하여 온도/압력/처리시간 별로 현미를 전처리한 후, 이들 시료의 열수화속도, Differential Scanning Calorimeter에 의한 단립의 thermal curve 및 표준 취반방법에 의한 취반 량의 조직 등을 정백미 및 현미 자체의 그것과 비교하여, 과열수증기 전처리가 현미의 취반 특성에 미치는 영향을 분석하고, 전처리 공정의 주요 변수의 범위를 설정하고 이를 바탕으로 연속식 처리장치의 제작기준을 도출하기 위하여 수행하였다.

여 백

제 2 장 Lab. scale 과열수증기 처리장치의 설계 및 제작

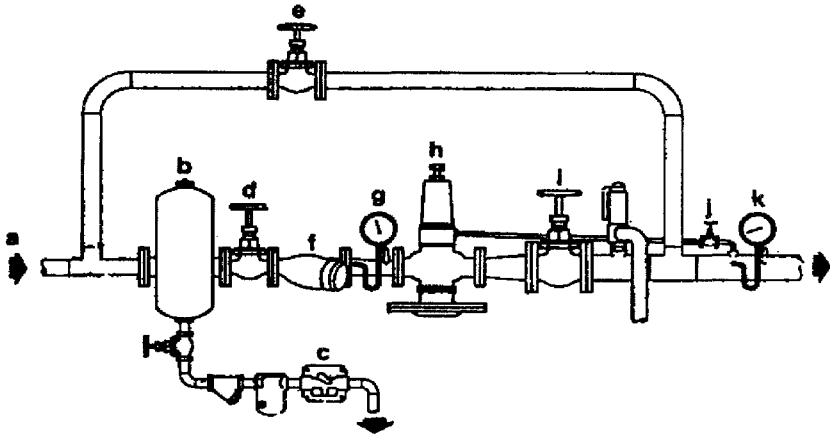
제 1절 장치 사양 및 제원

과열 수증기 처리장치는 lab. scale, 회분식으로, 주요 장치는 증기발생기, super-heater, treatment chamber 및 시료 투입장치로 구성되며, treatment chamber 내의 증기압력과 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는 조절장치를 장착하도록 하였다.

1. 증기발생장치 및 Super-heater

Pilot plant 규모의 boiler(제원: Dong Yang, ELE-MAC. Co. Model: DAB-3000) 설계 최대 압력은 $8\text{Kg}_f/\text{cm}^2$, 시간당 ton/hr증기 발생 능력이 있는 boiler로 실제 가동은 $4.3\text{Kg}_f/\text{cm}^2 \sim 5.0\text{Kg}_f/\text{cm}^2$ 에서 시간당 140kg/hr로 조절하여 사용하였으며 감압장치(그림 1-1 참조)를 통과시켜 장치에 스팀을 공급하였다. 즉, 감압 밸브 앞에 separator를 설치하여 응축수 및 수분을 제거하고, strainer를 통하여 배관내 오물찌꺼기의 침입을 방지하고 감압 밸브를 보호함.

감압 밸브 시스템에 의하여 압력이 조정된 증기를 과열 수증기화하기 위한 장치(그림 1-2 참조)로써 5kw well type의 전기 heater를 중앙에 장착하고 외부관(4B, SUS pipe, dch 20 4.0t)에 6 baffles(space 40% cut)을 부착하여 증기가 통과하는 동안 충분히 가열 받을 수 있도록 하였다. 증기는 하부에서 인입되어 상부로 배출되도록 하였다. 열전대 및 Labview system을 이용하여 PC에서 실시간으로 온도를 조절할 수 있도록 하였다.



- a. steam inlet b. seperator c. steam trap d. 1st gate valve
 e. by-pass valve f. strenna g. gauge h. reducer
 i. 2nd gate valve j. stop valve k. gauge

그림 1-1. Steam Separator

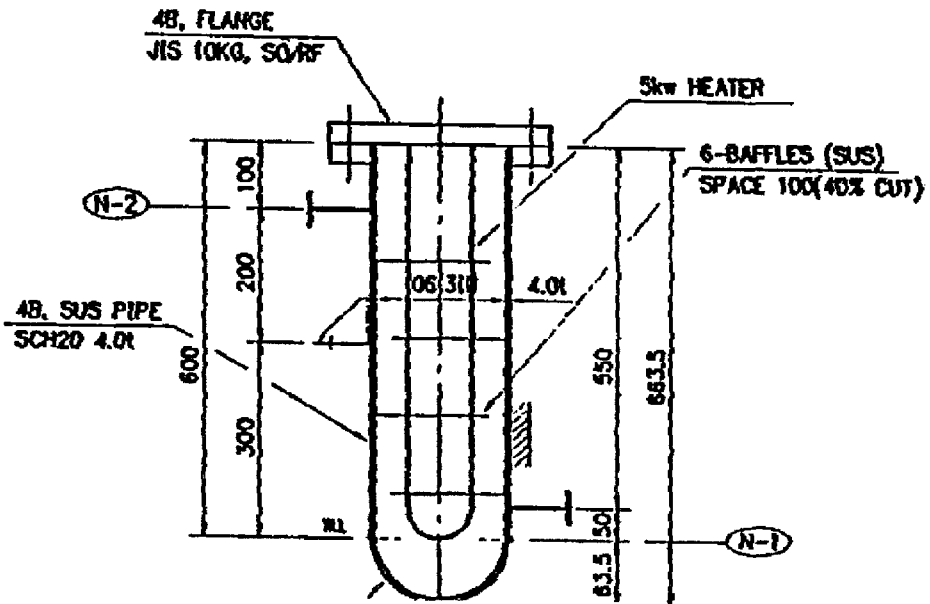


그림 1-2. Steam Super Heater

2. Treatment Chamber

아래 그림 1-3 과 같은 직경 30cm, 길이 50cm의 원통형 밀폐시스템(외부 2.5kw 전열기 부착, 단열처리)으로 증기 입구와 출구에 PID logic에 의하여 자동 개폐되는 motorized valve와 압력 측정장치를 부착함.

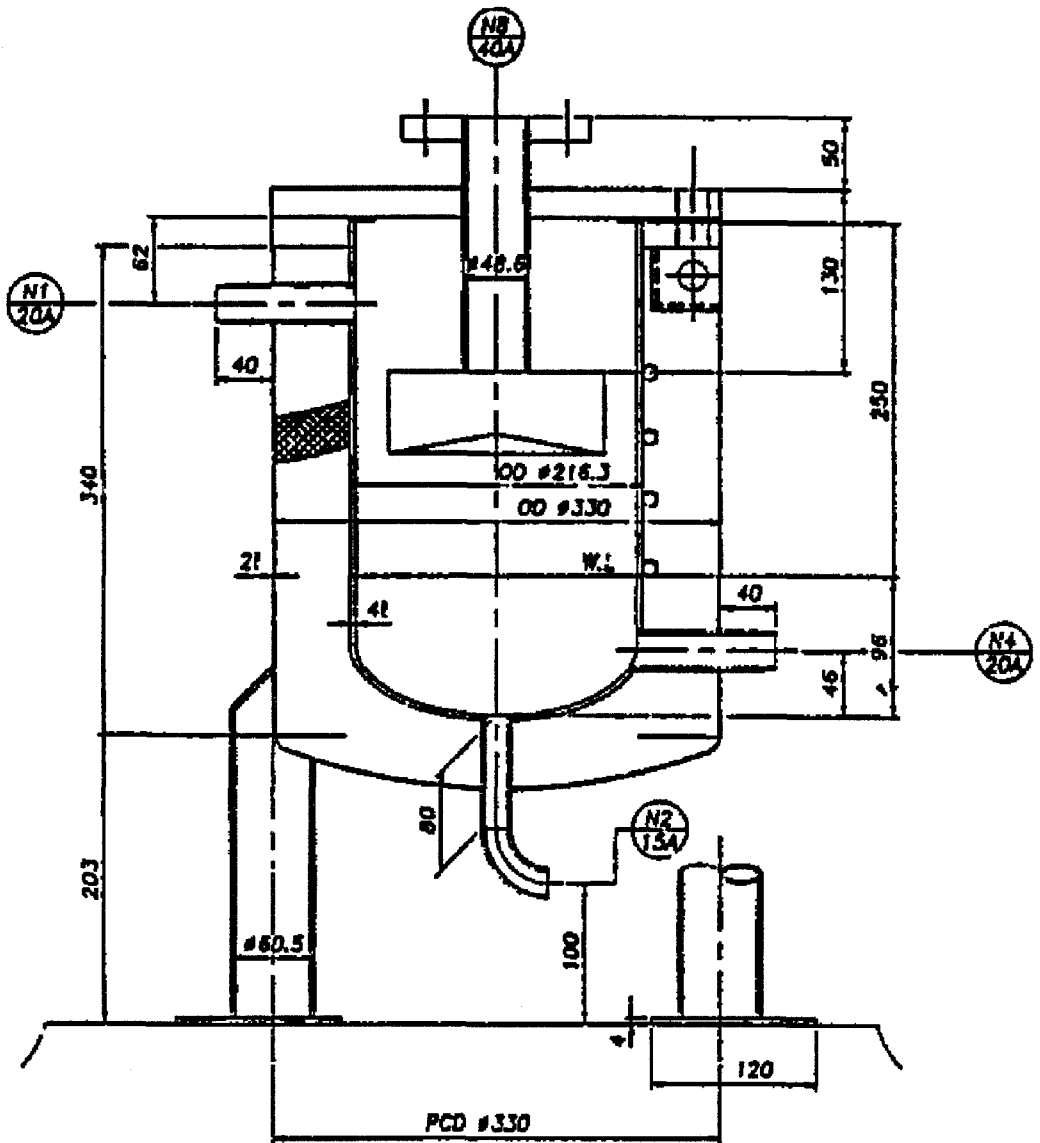


그림 1-3. Super-Heated Steam Treatment Chamber

3. 투입장치

2중 잠금 gate valve를 사용하여 제 1 valve 와 제 2 valve사이에서 시료를 holding할 수 있는 pipe통로(NB 40A)를 두었다. 제 1 valve를 열고 시료를 넣은 후 잠그고 통로에서 예열 처리한 후, chamber가 원하는 조건의 평형에 이룬 후 제 2 valve를 열어 처리장치내의 시료 holding dish wire에 정착하도록 하였다.

제 2 절 Assembling 및 계측 system

1. Assembling

과열 수증기에 의한 전곡립 전처리장치는 그림 1-4와 같은 구성으로 이루어 졌다. Boiler에서 5 Kg의 포화수증기는 1차 및 2차 super-heater를 통과하면서 super-steam 상태로 변하여 treatment chamber로 이송되어 chamber에 부착된 pressure regulator에 의하여 압력 및 온도가 조절된다. 투입원료는 상부에 부착된 2중 valve를 통하여 투입되며, 일정시간 경과 후 system의 valve를 열어 순간적으로 평형을 깬 후, 시료를 채취한다.

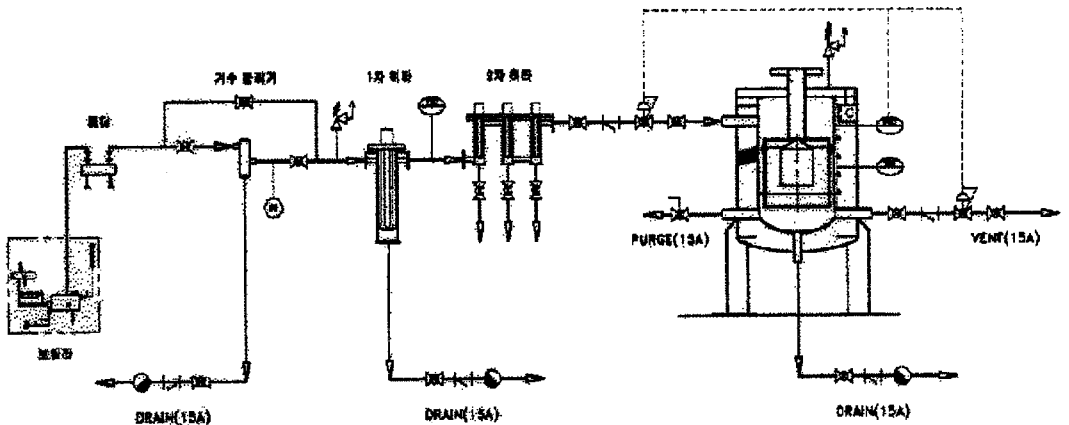


그림 1-4 과열 수증기 발생장치 및 전처리 system 구성도

2. 계측 system

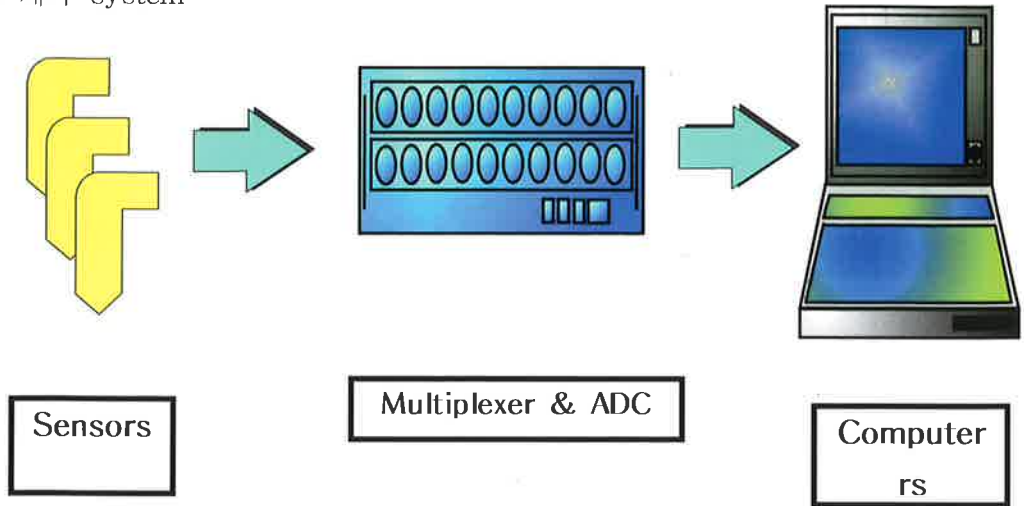


Fig. 1-5 계측시스템 구성도

그림 1-5는 실험용 과열증기 처리장치에서 사용된 계측시스템의 구성도를 나타낸 것이다. National Instruments의 SCXI chassis(model 1000)에 SCXI module과 terminal block을 장착하여 계측시스템을 구성하였다. 본 실험에 사용된 module과 terminal block은 SCXI 1100 및 SCXI 1300로서 32 channel의 differential multiplexor와 amplifier의 기능을 가지고 있다. SCXI 1100은 onboard programmable-gain instrumentation amplifier의 기능을 가지고 있고, analog input의 범위는 $\pm 10V$ 이다. 그리고 이 모듈은 4 Hz 및 10kHz의 jumper-selectable lowpass filter를 가지고 있으며, 1, 2, 5, 10, 20, 100, 200, 500, 1000 및 2,000의 software-selectable module gain을 얻을 수 있다. 이 모듈은 12 bit의 해상도를 가지고 있는 SCXI 1200의 DAQ 모듈에 접속되어 사용되었다. SCXI 1200 모듈은 stand-alone module로서 8개의 아날로그 single-ended input channel 또는 4개의 differential input channel의 접속이 가능하다. 온도계측을 위한 센서로는 T 형의 thermocouple이 사용되

있으며, National Instruments에서 pre-calibrated program에 의해 섭씨 온도로 표시되도록 하였다. 한편, 계측시스템의 구동을 위한 소프트웨어는 National Instruments의 Labview(version 4.0)에 의해 프로그램 되었다. 그림 1-6은 Labview를 이용한 계측용 프로그램의 code를 나타낸 것이며, 그림 1-7과 1-8은 과일증기 처리장치의 온도를 계측한 예를 나타낸 것이다.

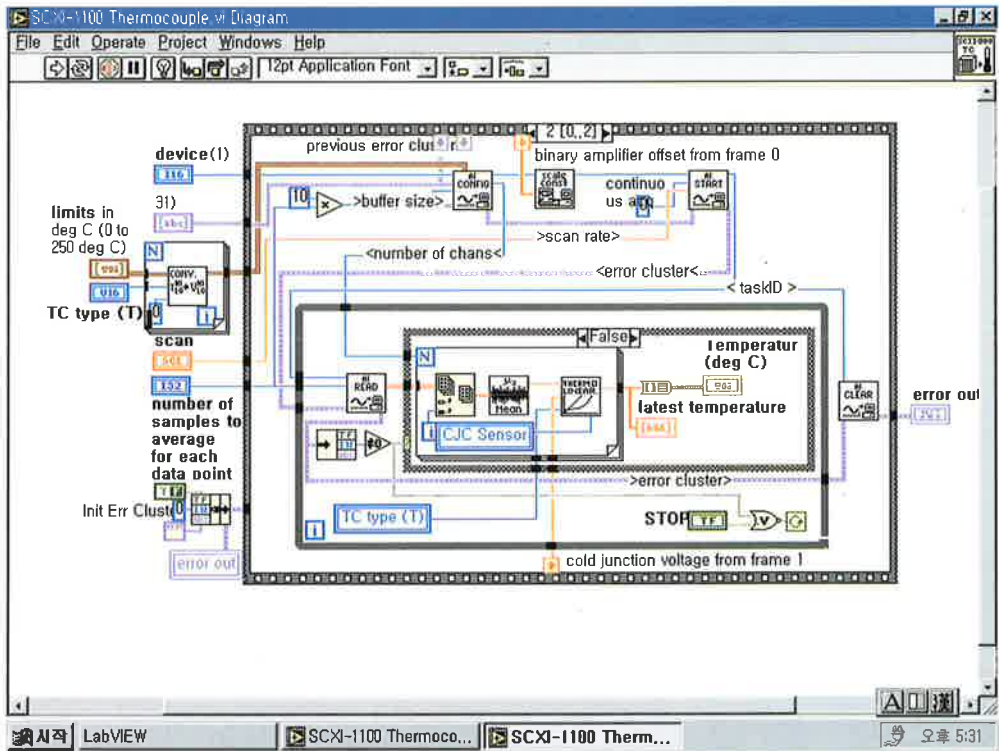


Fig. 1-6. Labview를 이용한 계측용 프로그램

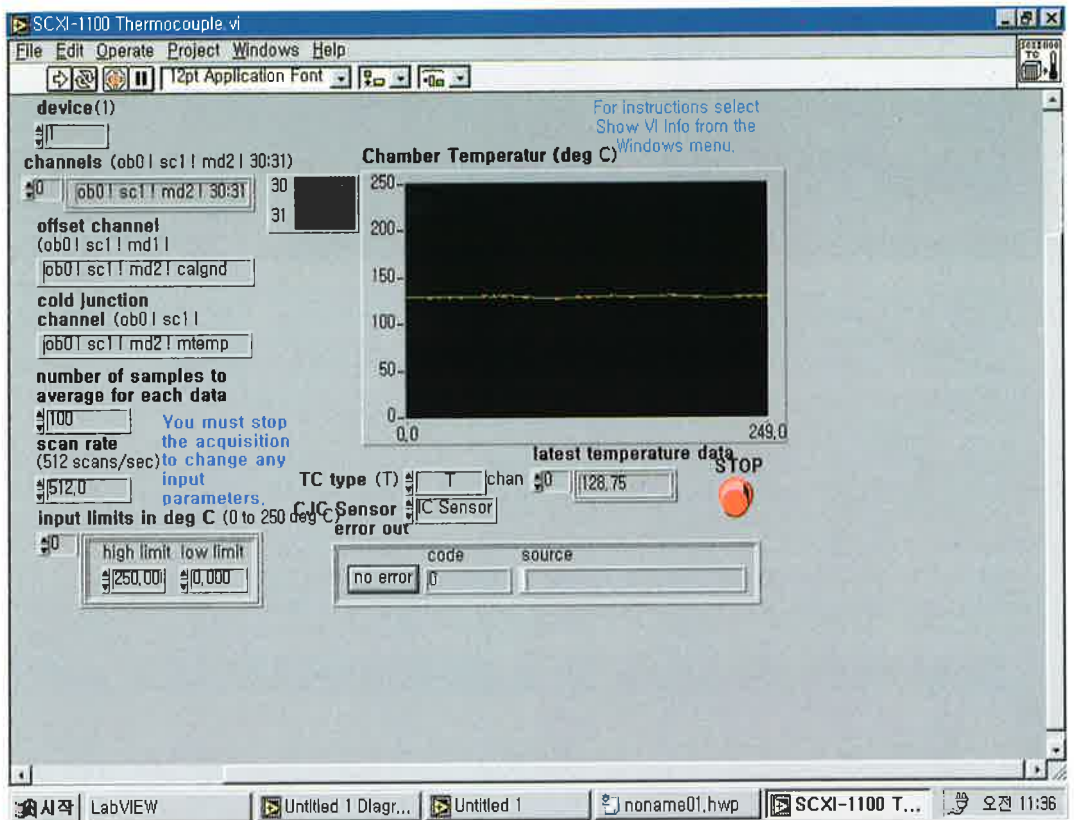


Fig. 1-7. Chamber 내부의 온도분포 (증기온도: 130℃; 증기압: 1kg/cm²)

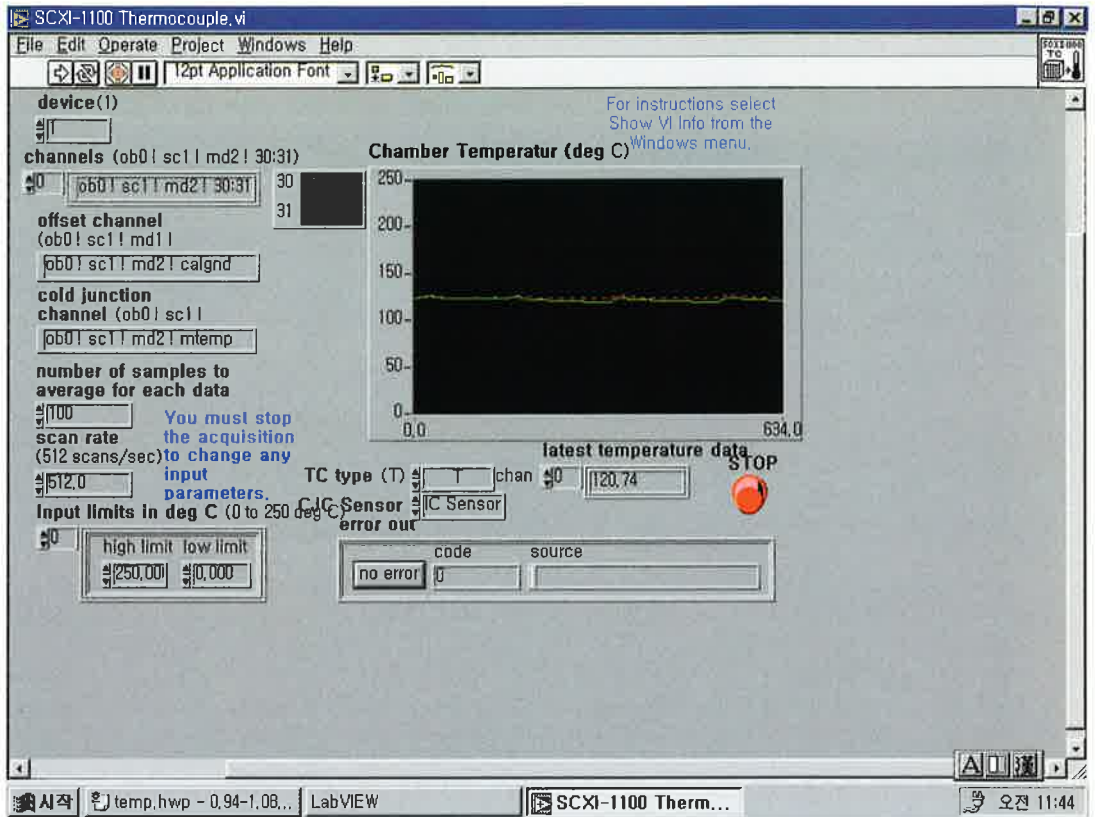


Fig. 1-8. Chamber 내부의 온도분포 (증기온도:130℃; 증기압: 1kgf/cm²).

※ 과열증기의 설정 온도 및 압력이 130℃ 및 1kgf/cm²일 때 온도 및 압력의 진동폭: 각각 2.5℃ 및 0.14Kgf/cm²

제 3 장. 처리 현미의 취반특성 비교

제 1절. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구의 사용된 시료는 일반계 현미(Japonica-type brown rice)인 동진(Dongjin)으로서 1997 년도산 벼를 농협에서 구입하여 실험용 제현기(Satake model 101668, Japan)로 재현하고, 쉼미기, color sorter 등을 사용하여 완전립만을 정선하여 비닐 백으로 포장하여 4℃ 정온실에 보관하면서 시료로 사용하였다. 대조구 백미는 시료현미를 표준 도정방법에 의하여 도정을 11분까지 도정하여 공시료로 사용하였다. 분석 시약은 특별한 언급이 없는 경우는 모두 시약 일급을 사용하였다.

2. 과열증기 처리

본 연구진의 설계사양에 의해 시작된(서강 엔지니어링) 과열 증기 처리장치를 이용하여, 처리 chamber의 압력을 1Kg/cm²로 일정하게 유지하면서, super-heater의 가열 온도를 120~180℃ 범위에서 조절하여 과열 증기의 super degree를 조절하여 chamber의 압력 및 온도가 평형에 도달하였을 때, 시료 현미(약 300g)를 투입 valve를 조작하여 투입한 후, 일정 시간 경과 후, 급격히 vent valve를 열어 처리시간을 조절하였다. 처리된 시료는 30분간 상온에 방치한 후 방습 포장하여 저장하여 다음 분석시료로 사용하였다.

3. 취반특성 분석방법

가. 처리 현미의 표면조직 관찰

과열증기 처리한 시료의 표면조직을 관찰하기 위하여 영상분석장치를 사용하였다. 무처리 백미와 현미, 처리조건을 달리한 3종의 처리 현미의 표면조직을 동시에 비교하기 위하여 줌 렌즈와 크로스압 렌즈가 장착된 영상분석장치로 화상을 받았으며, 각 시료별로 표면의 높은 해상도로 관찰하기 위하여 CCD 카메라가 장착된 광학현미경을 사용하였다. 광학현미경 (Leica DMRB, Germany)에 X5 대물렌즈가 사용되었으며, 영상분석장치는 color digitizer module (Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada), 2/3" one chip color CCD camera (TMC-74, PULNIX America, Inc., USA), Pentium microcomputer 등으로 구성되었다.

나. 처리 현미의 수분흡수속도 측정

시료 1g을 60~80℃의 증류수에 90분간 침지시키면서 일정 시간별로 꺼내어 여과지위에 올려 표면수를 제거한 다음 무게 증가량으로부터 건물 기준 수분증가량을 계산하였다. 실험은 최소한 2회 이상 반복하여 그 평균값을 취하고, 수분흡수속도 및 확산계수는 Becker의 확산방정식에 의하여 계산하였다.

$$\bar{m} - m_0 = k_0\sqrt{t}$$

m_0 는 쌀알의 초기 수분함량(g H₂O/g dry matter), \bar{m} 는 일정시간 침지시킨 후의 수분함량(g H₂O/g dry matter), t 는 침지시간(min), k 는 수분흡수속도 상수이다.

다. 수화 시료 현미의 호화도 측정

호화도 측정을 위한 amylose/iodine blue value는 Birch와 Priestley²³⁾의 방법을 응용하여 다음과 같이 실시하였다.

열수 처리한 현미를 동결 건조하여 분쇄한 0.2g을 10M-KOH 용액 2ml를 처리하고 증류수 98ml를 가한 후 10 분간 교반하였다. 이를 원심분리하여 상등액 1ml를 취하고 0.5M-KOH 0.4ml로 중화한 후 증류수를 가하여 10ml가 되도록 하였다. 여기에 iodine 용액 0.1ml를 가하고 혼합하여 분광광도계로 600 nm에서 흡광도(A)를 측정하였다. 한편, 10M-KOH용액 5ml, 증류수 95ml로 위와 같이 처리하고 0.5M HCl 1ml로 중화하여 그 흡광도(B)를 측정하여, 두 흡광도의 비(A/B)를 호화도로 하였다. 이때 생시료의 A/B값을 호화도 0으로 하고, 완전호화 시료의 A/B값을 호화도 1로 하며, 두 시료를 1:1로 혼합하였을 때의 A/B값을 호화도 0.5로 하는 표준 호화도 그래프를 작성하여 호화도를 구하였다.

라. 처리 현미의 취반 특성 측정

1) DSC thermal Curve비교

DSC 에 의한 thermal analysis를 위한 시료조제, calorimeter에 의한 scan, curve작성 및 thermal parameter확정은 Mashall등(1989)의 방법을 준용하였다. 즉, 과열증기 처리한 시료와 대조구로서 백미와 현미를 지름 7.54mm, 높이 2.97mm, 두께 0.178mm, 용량 60 μ l인 stainless steel capsule에 물이 2.3배가 되도록 취하여 봉한 후 백미는 실온에서 45분, 현미는 실온에서 5시간 방치 후 DSC (Perkin-Elmer DSC 7)을 이용하여 흡열곡선(thermal curve, 100 data point)을 구하였다. DSC측정조건은 30 $^{\circ}$ C에서 150 $^{\circ}$ C까지 5 $^{\circ}$ C/분의 속도로 가열하고 150 $^{\circ}$ C에서 10분간 holding, 다시 30 $^{\circ}$ C까지 냉각시킨 후 1차와 같은 조건으로 2차 가열하여 1차 가열 시 얻은 흡열곡선에서와 2차 가열시의

얻은 흡열곡선을 제하여 얻은 곡선을 이용하여 호화 개시온도, peak 온도, 취반 완성 온도 등을 구하고, base line위의 면적을 계산하여 흡열 enthalpy를 구하였다.

2) 취반 처리 현미의 조직특성

가) 표준 취반방법

쌀 또는 시료 현미 20g을 100 ml 나사마개병(screw cap 병)에 담아 가수율을 1.40(v/w)으로 한 양의 증류수를 가한 후 뚜껑을 닫고 실온(22℃)에서 30분간 침지시킨 후 미리 가열된 직경 30cm, 높이 25cm의 찜통 속에서 수증기를 이용하여 40분간 가열하고, 열원을 제거한 후 10분간 뜸을 들였다.

나) Texture Profile analysis

취반된 쌀밥의 조직감(texture) 측정은 texture analyzer(MODEL TA-XT2, SMS, England)를 사용, texture profile analysis(TPA)방법에 의하여 행하였으며 이 때 밥알 세 알을 동시에 올려놓은 다음 측정하였다.

측정 중 시료의 변화를 최소화하기 위하여 실온(22℃)에서 나사마개병을 거꾸로 세워 30분간 방치시킨 후 나사마개병 중앙부분의 밥을 발채하여, TA의 probe(flat type dia. 50mm)를 사용하여, speed 60mm/min, strain 0.6의 조건으로 2번 biting 하여 2개의 force × strain curve를 얻었다. curve의 분석은 Appendix 2와 같은 방법을 사용하여 각 조직특성의 값을 계산하였다. 9회 반복 측정한 값의 평균값을 이용하여 SAS통계 프로그램을 사용하여 Student-Newman - Keul multiple difference test를 실시하여 통계적 유의차를 나타내었다. 이 때 각 mechanical parameters의 dimension은 Hardness (force: mlt^{-2}), Cohesiveness(Ratio: dimensionless), Springiness(Distance: l), Adhesiveness(work: ml^2t^{-2}), Chewiness(work: ml^2t^{-2}), Gumminess(force: mlt^{-2})와 같고 이들 값의 관능적 특징은 Appendix 1과 같다.

제 2절 결과 및 고찰

1. 현미 및 백미의 수화속도 및 호화상수

가) 침지온도별 수화속도(By Beck's model)

임의 형태의 고체에 있어서 nonstationary-state 확산 방정식은 다음과 같다.

$$\bar{M} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} X + BX^2 \dots\dots\dots (1)$$

여기서

$$\bar{M} = \frac{m_s - \bar{m}}{m_s - m_0}, \quad X = \frac{S}{V} \sqrt{Dt}$$

만일 X의 값이 작게 되면 BX^2 는 무시할 수 있으므로 식(1)은 다음과 같이 표시된다.

$$1 - M = \frac{2}{\sqrt{\pi}} X \dots\dots\dots (2)$$

이를 실험변수로 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{m} - m_0 = k_0 \sqrt{t}$$

여기서 $k_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (m_s - m_0) \left(\frac{S}{V}\right) \sqrt{D}$

백미 및 현미를 일정온도의 물에 침지한 경우 확산에 의하여 수화된다고 하

면, X의 값이 작은 경우 식(3)에 의하여 수분의 증가는 흡수시간의 제곱근에 비례하게 된다.

사용한 시료를 타원체로 가정하여 부피(V)와 표면적(S)을 구하고, 침지 실험결과의 그래프(Fig. 1)로부터 k_0 값을 구하고, 확산 계수를 구한 결과 Table 3과 같았다. 현미의 수분흡수속도는 $0.03569 \sim 0.1049 \text{min}^{-1/2}$ 로서 백미의 $0.03474 \sim 0.2648 \text{min}^{-1/2}$ 보다 좁은 범위를 보였다.

결론적으로, 확산계수(D)를 Arrhenius 관계식에 의하여 활성화에너지를 구하면, 정백미와 현미 가가 6.98 및 9.59 cal/mole로 되어, 백미와 현미의 hydrothermal 특징이 다를 수 있었다.

Table 2-1. The Calculated values of the hydration rate parameters of milled and brown rice

Soaking temp.(°C)	k_0 (cm/min)		D ($\times 10^{-5}$ cm ² /min)	
	<u>milled</u>	<u>brown</u>	<u>milled</u>	<u>brown</u>
60	0.03653	0.03356	4.916	4.414
65	0.04658	0.04229	7.990	6.576
70	0.05096	0.04780	9.563	8.402
75	0.06970	0.05646	17.89	11.72
80	0.09817	0.06887	35.49	17.44

나) 현미의 침지온도별 호화 속도

전분의 호화 현상을 도형화하기 위해 이용되는 기존의 단순 1차 반응모형은 다음의 식(1)로 주어진다.

$$\frac{d(1-a)}{dt} = -k(1-a) \quad \dots\dots\dots(1) \quad 9$$

여기서 a : 호화도 (decimal)

t : 시간(min)

k : 반응속도상수(min^{-1})

그러나, 분쇄되지 않은 온전한 상태의 현미가 열수 속에 투입된 경우, 충분히 많은 양의 수분이 주어지더라도 가수 및 가열에 따른 호화 현상이 일어나는 동안 시간지연 현상이 나타난다고 가정하면 1차 반응 모형은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$\frac{d(1-a)}{dt} = -kf(t)(1-a) \quad \dots\dots\dots(2)$$

여기서 $f(t)$: 시간지연인자 (무차원)

식 (2)에서 시간에 대해서 임의의 함수 형태로 표시될 수 있는 시간지연인자 $f(t)$ 를 다음의 식 (3)으로 설정한다면 식(2)는 적분이 가능하게 된다.

$$f(t)=nt^{(n-1)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

여기서 n :임의의 상수

$$\alpha = 1 - \exp(-kt^n) \dots \dots \dots (4)$$

위의 식 (4)는 식 (2)가 적분된 형태이다.

호화 과정에서 나타나는 시간지연 효과를 반영하기 위해 본 연구에서 설정된 변형 1차 반응 모형의 적합성을 분석하기 위하여 시간에 따른 반응속도상수의 변화를 분석하고, 기존의 단순 1차 반응모형의 경우와 비교하였다.

먼저 식 (4)를 이용하여 현미의 호화현상을 분석한 결과, 식 (3)의 시간지연 함수의 n 값은 0.175로 나타났다.

Fig. 2-1은 시간지연 효과가 반영된 변형 1차 반응모형에서의 반응속도상수를 나타낸 것이다. Fig. 2-1에서 보는 바와 같이 80℃의 후반부를 제외하면 반응시간에 무관하게 반응속도상수가 일정한 값을 가지므로 본 연구에서 설정한 변형 1차 반응모형 즉, 시간지연인자를 포함하는 1차 반응모형의 1적합성이 양호한 것으로 판단된다. 다만, 80℃의 후반부에서 반응속도상수가 증가하는 현상은 Bakshi Singh(23) 및 Mok 등(24)의 연구 결과와 비교해 볼 때 실험의 오차 때문인 것으로 판단된다.

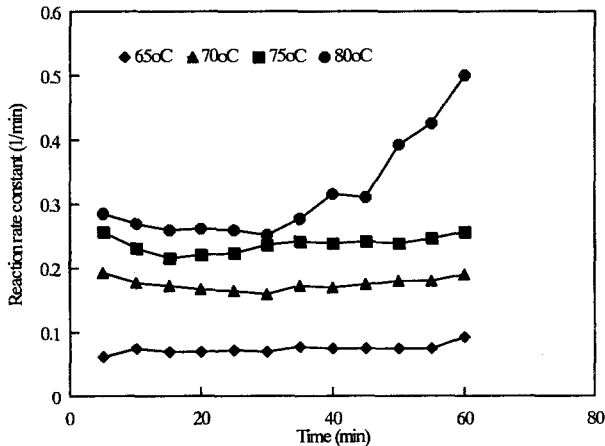


Fig. 2-1. Reaction rate constants in the modified 1st-order reaction model for the gelatinization of brown rice.

반면에, Fig. 2-2는 기존의 단순 1차 반응 모형에서의 반응속도상수를 나타낸 것으로서, 반응속도상수가 시간에 대해서 일정한 값을 가지는 것으로 가정하여 적분한 식을 이용하여 구한 상수값임에도 불구하고 시간에 대해서 지수함수적으로 감소하는 경향을 보이므로 Lund와 Wirakartakusumah(1984)가 지적한 바와 같이 호화 모형에서 시간지연 효과가 반영되지 않은 단순 1차 반응모형은 현미의 호화 모형으로서의 적합성이 미흡한 것으로 판단된다.

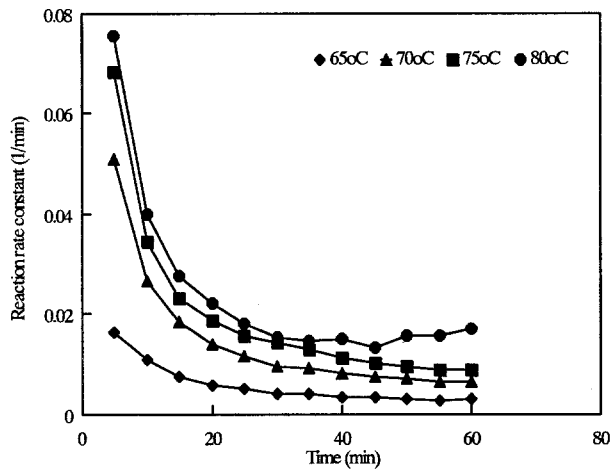


Fig. 2-2. Reaction rate constants in the simple 1st-order reaction model for the gelatinization of brown rice.

Fig. 2-1과 Fig. 2-2를 비교해 보면 알 수 있는 바와 같이 변형 1차 반응 모형은 현미의 호화 모형으로 적합한 것으로 판단된다. 이때 반응속도상수는 다음의 식 (5)와 같이 아레니우스 식으로 나타낼 수 있었다.

$$k=3.69 \times 10^{13} \exp(-11400/T) \dots\dots\dots(5)$$

$$(R^2=0.876)$$

여기서 T: 절대온도 (K)

한편, Fig. 2-3은 현미의 호화 모형에서 반응속도상수의 실측값과 예측값을 나타낸 것이다.

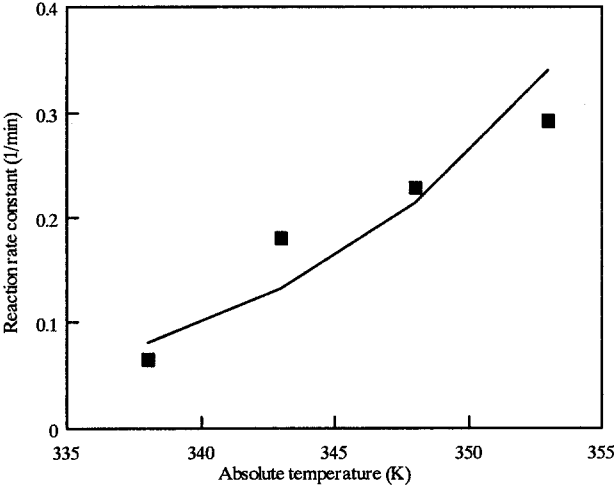


Fig. 2-3. The measured and predicted values of reaction rate constants with respect to absolute temperature in the new model of brown rice gelatinization.

그리고, 침지온도별 현미의 호화도의 실측값과 예측값의 비교하여보면 식(4)에 의한 현미의 호화도 예측값을 실측값과 같이 나타낸 Fig. 2-4 와 같다. 그림에서 보는바와 같이 80℃의 경우를 제외하면 변형 1차 반응모형에 의한 현미의 호화도 예측값은 실측값과 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이때 모형의 결정계수(R²)는 0.920으로 나타났다. 다만, 80℃의 경우는 앞에서 고찰한 바와 같이 예측값과 실측값의 차이가 다소 크게 나타난 것은 실험오차에 기인한 것으로 판단된다.

현미의 호화현상에 대해서 기존의 1차 반응모형에 시간지연인자를 도입하여 변형 1차반응 모형을 설정한 후, 설정된 모형을 이용하여 온도에 따른 호화도를 분석한 결과, 다음과 같은 현미의 호화도 모형을 제시할 수 있었다.

$$\alpha = 1 - \exp(-kt^n)$$

$$\text{여기서 } k = 3.69 \times 10^{13} \exp(-11400/T)$$

$$n = 0.175$$

이때 모형의 결정계수는 0.920으로 나타났다.

결론적으로, 시간지연인자를 포함하고 있는 변형 1차 반응 모형은 호화단계를 인위적으로 구분하지 않으면서 현미의 호화 개시 이후의 호화도 예측을 위해 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

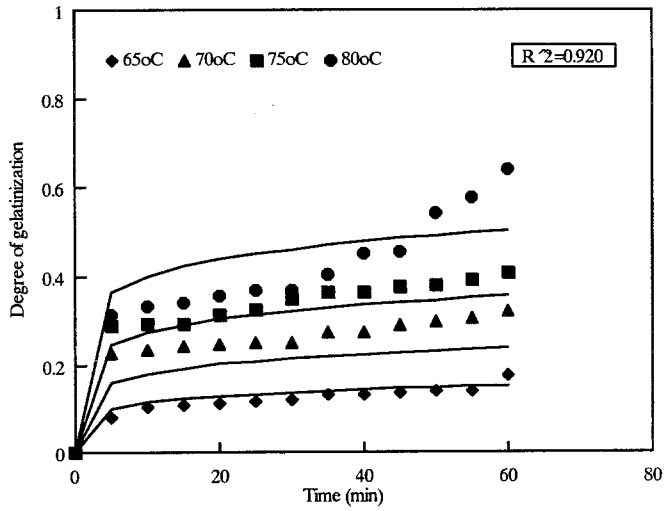


Fig. 2-4. The measured and predicted values of the degree of gelatinization for brown rice.

2. 처리 현미의 표면조직 관찰 결과

과열 수증기 처리시료 3종과 대조구 백미 및 현미의 고립상태는 Fig. 2-5에 나타낸 것과 같이 처리온도가 높을수록 표면에 팽화된 것과 같은 형상이 나타났다. 그리고, 표면을 확대한 사진을 Fig 2-6~10 에 나타내었는데 그림에서 보듯이 백미와는 달리 현미의 표면은 강층으로 둘러 쌓여 있었고, 과열 수증기 처리에 의하여 이 강층이 모여지고, 높은 온도에서는 균열이 일었음을 확실히 알 수 있었다.



Fig. 2-5. Comparison of surface appearance of brown rice treated by super-heated steam to that of control (from left : untreated milled rice, untreated brown rice, brown rice with treatment 1, brown rice with treatment 2, and brown rice with treatment 3).



Fig. 2-6. Surface appearance of untreated milled rice
(viewed by optical microscope with $\times 5$ objective lens).



Fig. 2-7. Surface appearance of untreated brown rice (viewed by
optical microscope with $\times 5$ objective lens).

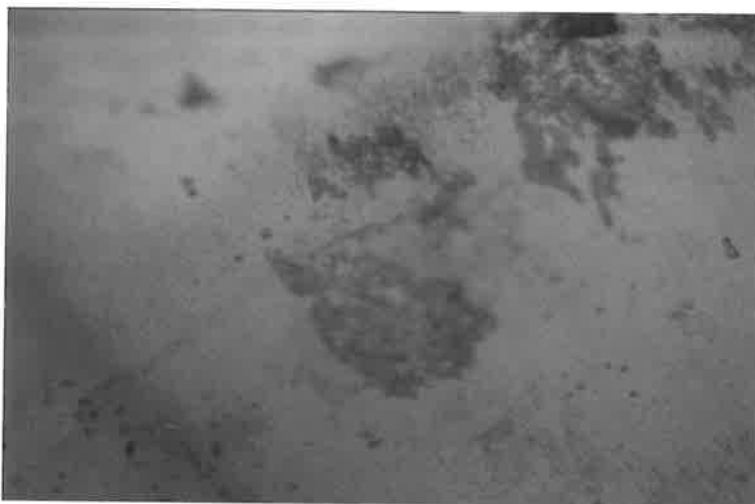


Fig.2-8. Surface appearance of brown rice treated by super-heated steam of 127°C and 1 kgf/cm² for 1 minute



Fig. 2-9. Surface appearance of brown rice treated by super-heated steam of 150°C and 1 kgf/cm² for 1 minute



Fig. 2-10 Surface appearance of brown rice treated by super-heated steam of 160°C and $1 \text{ kg}_t/\text{cm}^2$ for 1 minute

3. 처리시료의 취반특성 비교

가. 수화속도

현미를 처리구별로 65,75℃의 물에 침지시켰을 때의 수화속도 및 수분확산 계수(D)를 Table 2-2 에 나타내었다. 표에 나타낸 것과 같이 처리 현미의 경우 65℃에서의 확산계수는 20이상으로 백미의 7.884보다 큰 값을 나타내어 과열수증기 처리가 표면관찰에서 알 수 있듯이 현미 강층의 구조를 변화시킨 것 뿐만아니라, 내부 전분계층에도 부분적 균열이 일어났음을 알 수 있다. 한편, 75℃에서의 수분확산계수는 35부근으로 백미의 52.76 및 처리하지 않은 현미 22.27의 중간 값을 나타내었는데 이는 온도 75℃는 쌀 전분의 호화온도 부근이기 때문에 내부균열 부근의 전분입자가 수분을 흡수하여 수분을 흡수하여 수분이 높은 상태에서는 팽윤되어 균열이 막혀 더 이상 내부로의 수분이동이 방해받기 때문으로 생각된다.

Table 2-2. The calculated values of the soaking rate parameters of milled and various treated brown rice.

Treatment type	$k_0(\text{cm}/\text{min})$		$D(\times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{min})$	
	65℃	75℃	65℃	75℃
Milled rice	0.04627	0.11970	7.8840	52.764
Brown rice	0.03974	0.07786	5.8036	22.278
Treated 1 ¹⁾	0.08563	0.0962	26.946	34.009
Treated 2 ²⁾	0.07182	0.1031	18.955	39.062
Treated 3 ³⁾	0.07553	0.1015	20.964	37.860

1) Treated by condition of $1\text{Kg}_t/\text{cm}^2$ during 1min at 127℃

2) Treated by condition of $1\text{Kg}_t/\text{cm}^2$ during 1min at 150℃

3) Treated by condition of $1\text{Kg}_t/\text{cm}^2$ during 1min at 160℃

위의 결과로부터 처리한 현미는 처리하지 않은 대조구에 비해 백미의 특성에 가까운 수화속도 및 확산계수 값을 보여 과열증기 처리가 현미강층의 균열과 부분적으로 내부 전분층에도 균열을 생성시켜 조리특성을 변화시킬 수 있음을 시사하였다.

나 DSC thermal curve

쌀 전분 및 쌀가루의 호화현상을 분석하기 위하여 DSC(differential scanning calorimeter)에 의한 thermal analysis는 80년대부터 많이 시도되었다. 그 결과 수분 함량에 의하여 thermal profile이 크게 달라지며, heating 속도를 감소시키면 호화 onset temperature 도 낮아지는 현상이 있어, DSC에 의한 쌀가루의 cooking은 multiple-thermal profile을 보인다고 하였다. 그러나, 전분 및 가루를 대상으로 한 실험결과를 쌀의 취반특성 조사로 확대 해석하는 데는 많은 무리가 따른다. 즉, 대부분의 쌀 취반은 전곡립을 대상으로 하며, 쌀 구성성분(전분, 단백질, 지질 등)이 취반특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여서는 전곡립을 직접 scan하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 Marshall(1989)등의 방법을 준용하였고, 똑같은 조건에서 2번 가열하여 얻은 1차 thermal curve에서 2차 thermal curve 값을 빼 줌으로써, 아밀로스-lipid 복합체의 재결정에 의한 가역적 heat flow 영향을 제하고 순수한 전분호화에 의한 heat flow를 분석하였다.

즉, 그림 2-11 에 나타낸 것과 같이 1,2차 thermal curve 중 90~110℃사이의 흡열곡선은 아밀로스와 lipid 복합체의 풀림에 기인하는 것이며, 130℃이 상에서의 흡열곡선은 단백질의 열변성에 의한 것으로, 아밀로스 복합체는 가역반응으로 나타났고, 단백질변성은 일부 가역반응으로 나타났다. 그림2-12 에는 1차 curve를 제하였을 때, 즉, 전분의 호화에 의하여 나타나는 흡열곡선만을 나타낸 것으로, 이 thermal curve로부터 호화개시온도(T_0)는 base line으로부터 흡열곡선이 시작되는 부분의 접선을 연장하여 base line과 닿는 온

도를 택하였고, peak temperature(T_p)는 흡열이 최대에 이르는 온도이며, 호화완성온도(T_c)는 base line과 흡열곡선이 다시 맞추지는 온도로 하였다.

처리 현미와 백미 및 미처리 현미등 대조구의 DSC thermal curve로부터 얻은 T_o , T_p 및 T_c 와 아울러 이 때 흡열량을 표2-5 에 나타내었다. 표에 나타낸 것과 같이 호화 개시온도는 백미가 78.4°C로 가장 낮았으며, 처리 현미 및 미처리 현미사이에는 87°C내외로 큰 차이를 보이지 않았다. T_p 및 T_c 는 백미가 미처리 현미 보다 훨씬 낮은 값을 나타내었으나, 처리 현미는 처리온도가 높을수록 낮은 값을 보여주는 경향을 나타내어, 160°C로 처리한 경우는 백미의 그것과 같은 온도를 나타내었다. 흡열량은 현미가 백미보다 큰 값을 보였으나, 처리 현미는 백미보다도 낮은 값을 보여 균열 등에 의한 절단효과와 비슷하였다.

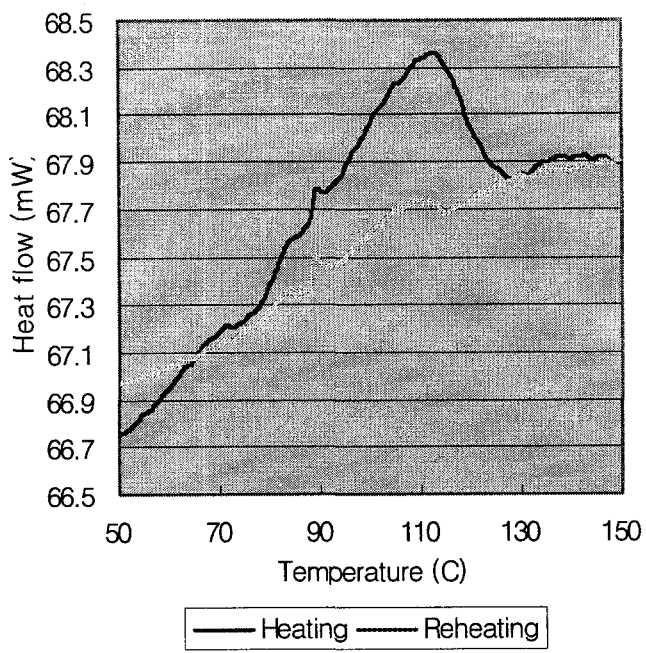


Fig. 2-11. Typical DSC thermal curves of intact rice kernel for heating and reheating.

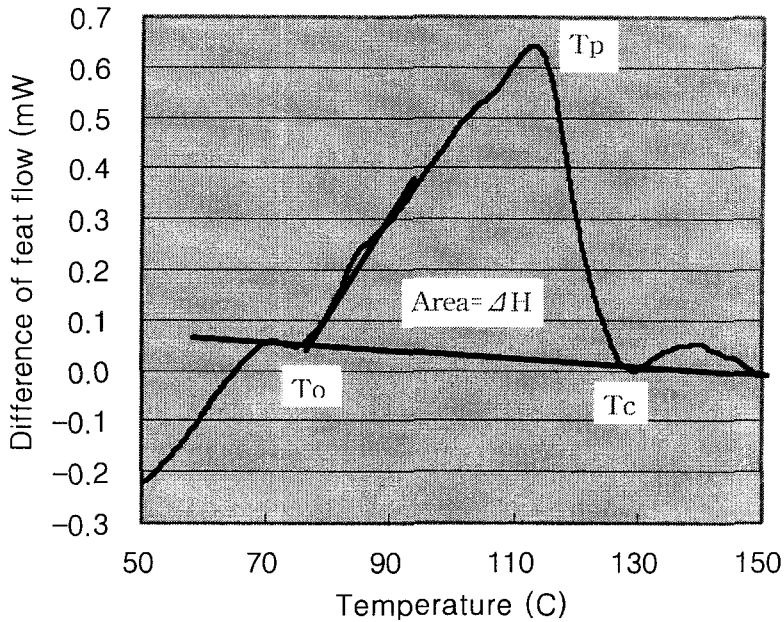


Fig. 2-12. Method for determination of thermal curve parameters for analysis of the cooking property of intact kernel.

Table 2-5. DSC thermal parameters of treated brown rice

Treatment type	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	Gelatinization enthalpy (J/g)
Milled rice	78.4	102.8	126.5	12.6
Brown rice	87.4	109.5	130.1	13.5
Treated 1 ¹⁾	87.0	106.7	129.1	8.4
Treated 2 ²⁾	86.1	102.8	126.2	8.2
Treated 3 ³⁾	86.8	101.7	126.0	7.9

¹⁾ Treated brown rice at 127°C, 1Kg_i/cm² for 1 min

²⁾ Treated brown rice at 150°C, 1Kg_i/cm² for 1 min

³⁾ Treated brown rice at 160°C, 1Kg_i/cm² for 1 min

다. 표준취반에 의한 조직감

표준 취반방법(가수량 1.4 V/W, 가열온도 100℃, 30분)을 이용하여 취반된 처리현미의 texture profile analysis에 의한 조직특성(표 2-6)은 현미와 백미의 그 값 중간을 나타냈으나, Springiness와 hardness만이 통계적 유의차를 나타내었다.

즉, 밥알이 누림 후 원래상태로 돌아오는 일종의 탄력성은 백미가 가장 높은 값인 0.786를 보였고, 무처리 현미가 가장 낮은 값 0.634를 보였으나. 처리현미는 그 사이 값을 나타내었고 처리온도가 높을수록 현미와 같은 작은 탄력성을 나타내었다. 반면에 밥알이 으깨어지는 데드는 최대 힘을 나타내는 hardness의 경우 백미가 현미보다 낮은 값을 나타내었으나, 처리구의 경우 처리온도가 높을수록 백미의 그것에 가까워지는 경향을 나타내었다.

한편, 밥알을 삼킬 수 있는 상태까지 씹는데 필요한 힘을 나타내는 gumminess(cohesiveness와 2차 bite의 hardness의 곱)경우는 백미가 331.9, 현미가 404.8의 값을 나타내고, 처리 현미는 그 사이 값을 나타내었는데. 같은 시료군의 경우에도 편차가 심하여 통계적 유의차를 보이지 않았다. 그리고, cohesiveness 및 chewiness(gumminess*springiness)등의 parameter는 백미의 그것과 무처리 현미의 값이 차이를 보이지 않아서, 처리 현미의 경우도 차이가 없었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 취반후의 조직감의 물리적 parameters 등은 서로 상반되는 경향을 나타내는 경우가 있어, 취반후 처리현미의 조직감을 취반 백미와 일치시키는 일은 불가능 할 것으로 생각되나, 현미를 과열 수증기 전처리에 의하여 백미의 그것에 접근시키는 일은 가능할 것이다.

상기 실험 에 의하여 현미의 취반후 조직감 개선 및 취반 특성의 개선을 위한 전처리 조건은 압력 1~2 kg/kg, 온도 130~150 ℃ 및 시간 2~5 min 범위가 최적이었다.

그러므로, 앞으로 처리공정의 시스템분석을 통하여 연속식 처리가 가능한 장치를 개발함과 아울러 개발된 시스템을 사용하여 현미의 취반후 조직감이 백미의 그것과 유사하도록 하는 조건의 탐색연구를 계속 진행 할 필요가 있다.

Table 2-6 . Texture Properties of treated Brown Rice after Cooked by standard method

Treatment ¹⁾	springiness ^{***}	cohesiveness	chewiness	gumminess	hardness [*]
Milled rice	0.786 ^a	0.364 ^a	258.9 ^a	331.9 ^a	915 ^b
Brown rice	0.634 ^c	0.349 ^a	256.2 ^a	404.8 ^a	1151 ^a
Treatment1	0.716 ^b	0.350 ^a	285.6 ^a	397.4 ^a	1140 ^a
Treatment3	0.667 ^{bc}	0.350 ^a	260.3 ^a	382.6 ^a	1074 ^{ab}
Treatment4	0.647 ^{bc}	0.340 ^a	244.9 ^a	366.2 ^a	1075 ^{ab}

^{abc}:Means with different superscript in the same column are significantly different

(^{***}:P<0.001 and ^{*}: P<0.05) by Student-Newman-Keuls test.

1) Treatment conditions are the same as Table 2.

제 4장 연속식 장치의 사양 결정

1. 주요 장치 및 구성

과열 수증기 전처리장치의 주요 장치 및 구성은 그림 4-1에 나타낸 것과 같다. 즉, 전처리 장치부 (raw material hopper H-101, rotary feeder V-102, steam chamber H-103), 분리장치 (Cyclone C-104, product rotary valve V-105), 증기회수장치 (steam blower B-106, super-heater H-107)로 구성하였으며, 시간 당 현미 처리량은 100 kg를 기준으로 spec.을 작성하였다.

계측장치는 증기압력(2곳), 온도(7곳) 및 증기의 Flow rate(1 곳)를 측정하여 얻은 data를 Multiplexor(Labview interface)를 통하여 계측용 프로그램으로 PC에 display 되도록 구성하였다.

2. 주요 장치 Spec. 및 제작 사양

2-1 주요장치

1) H-101 Raw Material Hopper

가. 용 도 : 시료를 steam dryer에 공급하기 위한 시료저장 시설로 하부에 rotary valve를 부착하여 시료를 일정량 공급한다.

나. 재 질 : stainless steel

다. 사 양 : $\Phi 400 \times 900$ H (약 100 Lit.)

라. 제작방법

- 시료가 원활히 배출될 수 있도록 Cone type으로 제작하고 상부에는 이물질이 들어가지 않도록 cover를 부착하고 쉽게 여닫을 수 있도록 중간에 Hinge를 부착하고 손잡이를 달아 준다.
- 하부에는 Rotary Valve를 부착할 수 있도록 JIS 규격에 맞는 Flange를 부착한다.

- Hopper의 외관은 Buffing 처리하여 식품 용기로서 손색이 없도록 표면처리를 한다.

2) V-102 ROTARY FEEDER

가. 용 도 : 일정량의 시료를 Steam Dryer에 공급하기 위한 장치로서 사용자가 시료의 량을 조절할 수 있는 구조로 제작되어야 한다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 : 100kg/hr.2HP MOTOR

라. 압 력 : 사용압력(2kg/cm²), 설계압력(5kg/cm²)

마. 온 도 : 사용온도(200℃), 설계온도(240℃)

바. 제작방법

- Rotary Valve 운전 중 사용 압력이 2kg/cm²이고 사용 온도가 200℃이기 때문에 제작시 이를 충족시킬 수 있는 구조로 제작한다.
- 속도를 임의로 가변시킬 수 있는 구조로 제작한다.
- 상·하부의 연결 부위는 JIS 10kg/cm² 규격 Flange를 부착하여야 한다.
- 구동부위의 노출부위는 모두 Cover 시설이 되어야 한다.

3) H-103 STEAM CHAMBER

가. 용 도 : 시료와 Steam이 혼합되어 이송되는 동안 시료를 평형에 도달시키는 장치로서 연속 작업이 이루어져야 한다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 125 ϕ ×200L

라. 압 력 : 사용온도(200℃), 설계온도(240℃)

마. 제작방법

- 시료가 공급됨과 동시에 Steam이 함께 공급되어 이송되는 동안 상평형에 도달할 수 있도록 제작한다.

- 장치 내부의 온도와 압력이 있으므로 Shaft Sealing시 Mechanical Seal을 부착해야 한다.
- Impeller Type은 “Ribbon Flight Conveyer with Paddle”로 한다.
- 온도 보호를 하기 위하여 본체를 보온 처리하고 21KW의 Band Heater를 부착하여 주고 온도를 임의로 조절 및 자동 조절할 수 있도록 한다.
- 외부 보온 후 미관을 고려하여 AL Cover로 마감한다.

4) C-104 CYCLONE

가. 용 도 : Steam Chamber에서 배출된 시료를 Steam과 시료를 분리시켜주는 장치다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 : 300 ϕ ×1100H

라. 온 도 : 사용온도(160℃), 설계온도(200℃)

바. 제작방법

- Cyclone 제작 규정에 맞게 제작한다.
- 하부에는 Rotary valve를 부착할 수 있도록 JIS 10kg/cm²에 맞는 Flange를 부착한다.
- 내부 온도보호를 위하여 본체를 보온 처리해야 하며 외관을 고려하여 AL Cover로 마감한다.

5) V-105 PRODUCT ROTARY VALVE

가. 용 도 : Steam과 분리된 시료를 배출하기 위한 장치로서 사용자가 시료의 량을 조절할 수 있도록 제작되어야 한다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 : 100kg/hr, 2HP MOTOR

라. 압 력 : 사용압력(2kg/cm²), 설계압력(5kg/cm²)

마. 온 도 : 사용온도(160℃), 설계온도(200℃)

바. 제작방법

- 사용중 압력(2kg/cm²)과 온도(160℃)가 있기 때문에 제작시 이를 충족시킬 수 있어야 한다.
- 속도를 임의로 가변 시킬 수 있는 구조로 제작한다.
- 상·하부의 연결부분은 JIS 10kg/m² 규격의 Flange를 부착한다.
- 구동부위의 안정성을 고려하여 노출부위를 Cover 처리한다.

6) B-106 STEAM BLOWER

가. 용 도 : Steam을 Recycle 시키기 위하여 강제적인 방법으로 이송시켜 주는 장치이다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 : 70kg/hr (Steam), 2HP MOTOR

라. 압 력 : 2kg/cm²

마. 온 도 : 160℃

바. 제작방법

- 외부 공기가 유입될 수 없도록 제작되어야 한다..
- 온도와 압력을 고려해서 제작되어야 하며 Steam열이 Motor에 직접 전달치 못하게 분리형으로 제작되어야 한다.
- 풍량을 조절하기 위한 Motor rpm 조절 장치가 되어야 한다.
- 온도를 보호하기 위하여 Fan을 보온 처리한다.

7) H-107 SUPERHEATER

가. 용 도 : 초기 운전 시 Steam의 온도를 사용자가 원하는 만큼 상승 시켜주고 운전 중 모자라는 열량을 보충해 주는 시설이다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 : 100 Φ (4") \times 600H (5KW)

라. 압 력 : 사용압력(2kg/cm²), 설계압력(5kg/cm²)

마. 온 도 : 사용온도(200℃), 설계온도(240℃)

바. 제작방법

- 5KW의 전력을 공급하기 위한 보호용기로서 Heater와 결합하여 사용한다.
- 온도와 압력을 고려하여 견고하게 제작되어야 하며 Pipe는 SCH20 이상을 사용해야 한다.
- 보온 처리 후 AI Cover로 마감한다.

2-2. 계장 기기 사양

1) FT-11 STEAM FLOW TRANSMITTER

가. 용 도 : Fan에서 나오는 Steam 량을 읽을 수 있는 시설로서 구성은 FT-31, FE-31, FI-31로 되어 있다.

나. 재 질 : Stainless Steel

다. 사 양 : 2" (50A), 70kg Steam/hr

라. 압 력 : 2kg/m²

마. 온 도 : 160℃

바. 특기사항 : 기기 선정시 사용온도 및 압력에 견딜 수 있는 구조이어야 한다.

2) FI-01, 02 STEAM FLOW METER

가. 용 도 : Steam을 공급하고 배출 시킬 때 유량을 읽을 수 있는 Gauge이다.

나. 재 질 : SUS + GLASS

다. 사 양 : ½" (15A)

라. 압 력 : 2kg/cm²

마. 온 도 : 120℃, 160℃ (2개)

바. 특기사항

- 응축수 제거를 위한 시설이 되어 있어야 하며 Steam용으로 제작 된 것 이어야 한다.

3) HE-01 STEAM SUPERHEATER

가. 용 도 : Steam의 온도(120℃)를 200℃까지 올려 주기 위한 Heater로서 사이에 Baffle을 부착하여 준다.

나. 재 질 : Stainless Steel (쉬즈)

다. 용 량 : 5KW, 220V × 3Φ

라. 온 도 : INLET 160℃, OUTLET 200℃

마. 제작방법

- Heater의 Blind Flange는 JIS 10kg/cm²의 규격품을 부착하고 Heater 부착 부위를 완전 밀폐시켜야 한다.

4) HE-02 BAND HEATER

가. 용 도 : Dryer의 온도 유지를 위한 Heater로서 Pipe에 맞추어 Band Type 으로 제작한다.

나. 재 질 : Stainless Steel (쉬즈)

다. 용 량 : 21KW, 220V × 3Φ

라. 온 도 : 200℃

마. 제작방법

- 21KW를 7KW씩 3개로 분리하여 Band Type으로 제작한다.

2-3. 배관사양

- 1) Pipe의 재질은 SUS304이며 SCH206으로 시공한다.
- 2) Valve는 JIS 10kg/cm²를 사용하며 2"는 Welding 및 Flange Type, ½"는 Screw Type을 사용한다.
- 3) Fitting (Elbow, Tee, Union)류는 JIS 10kg/cm²을 사용하며 2"는 Welding, ½"는 Screw Type을 사용한다.
- 4) Gasket는 METAL을 사용하며 모든 Bolt, Nut는 SUS를 사용한다.
- 5) 보온은 ½" (25), 2" (50) Glass Wool을 사용하고 마감은 Al cover로 처리한다.

2-4. CONTROL PANEL 사양

- 1) Panel System은 기기를 가동하기 위한 전원 공급과 Gauge를 볼 수 있고 조절 할 수 있는 기능으로 제작되어야 한다.
- 2) 모든 조작 Switch는 사용자가 편하게 조작할 수 있도록 적절한 높이에 배치되어야 한다.
- 3) 구성은 Main On-Off Switch가 있어야 하고, 각 기기의 On-Off와 AM가 있어야 한다.
- 4) 각 Switch에는 Name Plate를 부착하여 운전자가 쉽게 찾아보고 운전할 수 있도록 한다.
- 5) Panel은 Steel Plate로 절곡하여 제작하고 특수 코팅하여 외관을 깨끗하게 제작한다.

2-5. STEEL STRUCTURE 사양

- 1) FRAME은 Channel 및 Angle로 제작한다.
- 2) Frame의 크기는 장치의 크기를 검토하고 시설 현장의 상황을 고려하여 Layout 를 잡도록 한다.
- 3) Frame의 접합은 Bolting을 원칙으로 하되 Welding도 함께 병행한다.
- 4) 마감 처리는 녹막이 페인팅 후 지정색의 Epoxy Coating한다.

2-6. 설계도면사항

설계도면의 구성은 다음과 같다.

- Piping & Instrument Diagram
- Plot Plan & Layont
- Equipment (Data Sheet, Eng ' g Dwg)
- Instrumentation
- Piping
- Utility Summary
- Standard Drawing
- Appendix
- Engineering Spec.

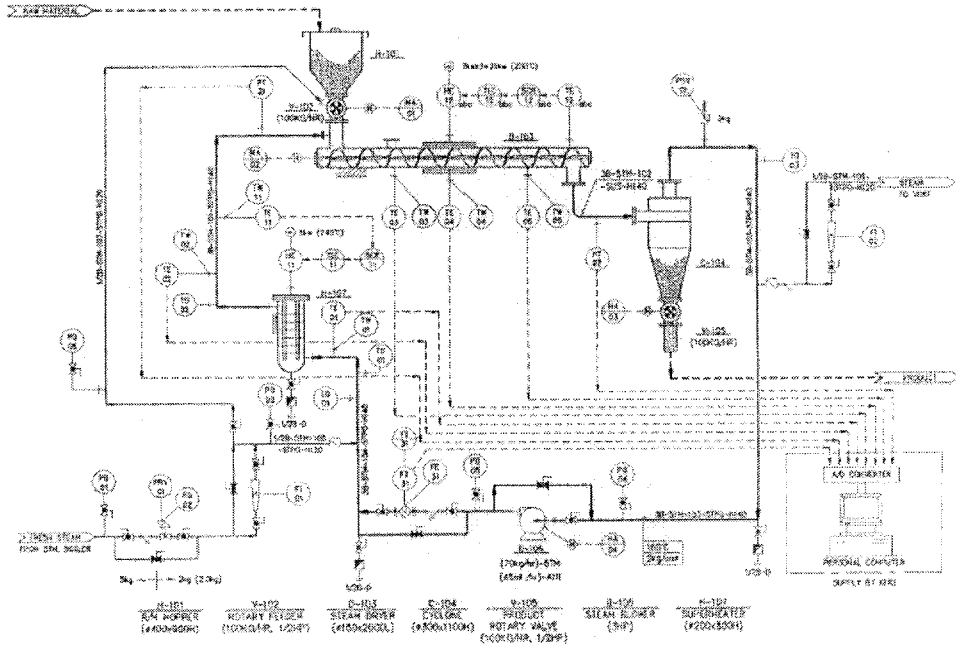


Fig. 4-1. 과열 수증기 전처리 연속장치의 주요 기능의 구성 및 배치도

여 백

Appendix 1. 텍스처 특성 정의 및 dimension

Hardness(경도)

밥알이 깨지는데 드는 최대힘으로, 힘을 많이 필요로 할수록 경도가 강하다.

Springiness(탄력성)

밥알을 입 천정과 혀 사이에 넣고 부분적으로 누른 후, 떼었을 때 원래 상태로 회복되는 정도. 원래의 상태로 돌아오는 정도가 강할수록 탄력성이 강하다.

Cohesiveness(응집성)

식품의 형태를 구성하는 내부적 결합에 필요한 힘(시료가 파괴되기 전까지 변형되는 정도) 변형되는 정도가 적을수록 응집성이 강하다.

예) 같은 힘을 들었을 때 탄력성이 강한 밥에 비해 진밥이 밥알 형태의 변형이 많이 되므로 응집성이 강하다.

푸슬푸슬한 밥 < 진밥 < 탄력성이 있는 밥

Adhesiveness(부착성)

식품의 표면과 타물체의 표면이 부착되어 있는 인력을 분리시키는데 필요한 힘으로 밥에서는 혀로 밥덩어리를 낚알낚알로 흠어지게 하는데 드는 힘. 낚알로 흠어지게 하는데 힘이 드는 밥은 부착성이 강하다.

예)진밥인 경우 밥알 표면의 부착성이 강하다.

Chewiness(씹힘성)

식품을 삼킬 수 있을 정도로 씹는데 필요한 힘으로 경도, 응집성 및 탄력성이 관련된다.

Gumminess(겉성)

반고체 식품을 삼킬 수 있는 상태까지 씹는데 필요한 힘. 경도와 응집성이 관련된다.

여 백

참 고 문 헌

1. Slavin, J. L. : Epidemiological evidence for the impact of whole grains on health, Whole grains: health and nutritional issues, In *Critical reviews in food science and nutrition*, Anderson, G. H., Clydersdale F. and Slavin, J., CRC Press, Boca Raton, FL, 1994, 427
2. 김광중, 변유량, 조은경, 이상규, 김성곤 : 아끼바레와 밀양 23호 현미의 수화속도. 한국식품과학회, **16**, 297(1984)
3. Desikachar, H.S.R., Raghavendra Rao, S.N., and Ananthachar, T.K. : Effect of degree of milling on water absorption of rice during cooking. *J. Food Sci, Technol.*, **2**, 110(1965)
4. Juliano, B.O., and Perez, C.M. : Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. *J. Texture Stud.*, **14**, 235(1983)
5. Ohashi, K., Goshima, G., Kusuda, H., and Tsuge, H. : Effect of embraced lipid on the gelatinization of rice starch. *Staerke*, **32**, 34(1980)
6. Normand, F.L. and Marshall, W.E. : Differential scanning calorimetry of whole grain milled rice and milled rice flour. *Cereal Chem.*, **66**, 317(1989)
7. Marshall, W.E., Normand, F.L., and Goynes, W.R. : Effect of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. *Cereal Chem.*, **167**, 458(1990)
8. Akao, T. and Tsukada, N.: Sterilization of powery food by superheated stream
9. Miller, J.B., Pang, E. and Branall, L.: Rice: a high or low glycemic index food?, *Am, J. Clin. Nutr.*, **34**, 362(1981)
10. 山口正一郎, 日本特許, 昭 46-40747 (1971)

11. 家田直, 平山達雄, 赤尾剛, 일본화학공업협회, 제 14회 추계대회강연요약집, p.431 (1980)
12. 家田, 平山, 日本特許, 昭 56-46753 (1981)
13. Leonard, W.and Robert, W.R.: *Industrial and Engineering Chemistry*, **43**, 1829 (1951)
14. Chin, C. J., Lane, A. M. and Couklin, D: *Industrial and Engineering Chemistry*, **45**, 1586 (1953)
15. Louis, B. and Edward, G.: *Chemical Engineering Progress*, **58**, 949 (1966)
16. 馬場宗次朗, 日本特許, 昭 28-3188 (1952)
17. 鄭江明, 日本特許, 昭 39-17307 (1964)
18. 桐場, 青沼, 日本特許, 昭 46-34747 (1971)
19. 橫島昭章, 식품공업, 23, 31 (1980)
20. 青沼, 安田, 日本特許, 昭 49-43159 (1974)
21. 赤尾 剛, 青沼辰雄, 逆井利夫, 화학공학, **39**, 307 (1975)
22. 家田 直, 食品工業における科學, 技術の進歩(I), 日本食品工業學會編 (光琳, 東京), p. 71(1983)
23. Lewis, D.and Lewis, V.: New quick-cooking whole-grain foods to be marked in Australia, *Food Tech in Australia*, **35**(10), 461 (1993)

24. 家田値: 高壓水蒸氣と過熱水蒸氣の利用, 最先端食品加工技術, 木村進, 尾田光男, CMC, 東京, 137(1985)
25. Carlxon, R. A., Robert, R. L. and Farkas, D. F.: Preparation of quick-cookong rice products using a centrifugal fluidized bed, *J. Food Sci.*, **41**, 1177(1976)
26. Carlson, R. A., Robert, R. L. and Farkas, D. F.: Process for perparing quicking-cooking rice, *U. S. Patent*, 4, 133, 898 (1979)
27. Roberts, R. L., Carlson, R. A. and Farkas, D. F.: Application of a continuous centrifugal fluidized bed drier to the preparation of quick-cooking rice products, *J. Food Sci.*, **44**, 248 (1979)
28. Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Taylor, R.H., Barker, H,M., Fielden, H., Baldwin, J. M. and Bowling, A.C.: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate, *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 362 (1981)