최종보고서

농산물 가공공정 핵심 제어기술 개발

Development of New Processing Control technologies for the Rural Agricultural Processing Industry

주관연구기관: 서울대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "농산물 가공공정 핵심 제어기술 개발"에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12. 27.

주관연구기관명 : **서울대학교**

총괄연구책임자 : **전재근**

연 구 원 : **문태화**

연 구 원 : **김용득**

연 구 원 : **정구민**

연 구 원 : **정대훈**

연 구 보 조 원 : 이영진

연 구 보 조 원 : 서동욱

연 구 보 조 원 : 성장훈

연 구 보 조 원 : 김현정

연 구 보 조 원 : 김영환

연 구 보 조 원 : 장영기

연 구 보 조 원 : 염경식

연 구 보 조 원 : 이성주

연 구 보 조 원 : 곽택종

연 구 보 조 원 : 강춘길

연 구 보 조 원 : 전수진

연 구 보 조 원 : 구동주

연 구 보 조 원 : 이충률

연 구 보 조 원 : 김희연

연 구 보 조 원 : 고상훈

연 구 보 조 원 : 이지훈

연 구 보 조 원 : 김보천

연 구 보 조 원 : 한기문

연 구 보 조 원 : 조완일

연 구 보 조 원 : 최정남

연 구 보 조 원 : 박인명

연 구 보 조 원 : 변재언

연 구 보 조 원 : 김용훈

연 구 보 조 원 : 이상문

요 약 문

Ⅰ. 제 목

농산물 가공공정 핵심 제어기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

우리 나라의 산지 농촌형 가공 산업은 정부의 시책으로 장려되고 있으나 농촌에는 공장을 운영할 우수인력이 부족하며 농촌환경에 적합한 공정이 개발되지 못하여 많은 어려움을 겪고 있다. 가장 시급한 기술적 문제는 고 임금시대에 대처할 인력절감이며 그 해결방법은 공장 자동화 기술의 도입이 필요하다. 그러나 장기적으로는 우리 국민의 건강 추구 경향이 증대됨에 따라 농촌형 산지 가공 제품의 선호도가 증가할 것으로 예상되므로 농촌형 공장의 가공 식품 경쟁력을 획기적으로 향상시킬 필요가 있다. 한편, 가공 산업에서 필수적인 가공 설비는 대부분 수입하여 사용하고 있으며, 최근의 가공 시설은 90% 이상이 단위 공정별로 수입되고 있다. 또한 각 단위 공정은 첨단 자동화되어 있어 가공 기술을 전적으로 가공제품의 경쟁 대상국인 해외 기술에 의존하고 있는 실정이다.

농촌형 가공 산업에서 생산하고자 하는 제품의 대부분이 전통식품이며, 가공 기술을 우리가 보유하고 있으나 생산 공정의 핵심 제어 기술을 보유하지 못한 실정이며, 핵심 제어장치의 hardware는 물론 software를 충분히 개발할 수 있는 역량을 갖고 있음에도 불구하고 자체 개발을 하지 않아 우리의 기술과 know-how를 활용하지 못하고 있다. 오히려 우리 전통 식품 가공의 know-how를 무료로 제공하고 이를 바탕으로 개발된 첨단 가공 장치를 고가로 다시 역수입하고 있다.

국산 농산물의 경쟁력을 갖기 위해서는 농촌형 공장에서 고품위 제품이 생산되고 식품 산업체의 제품과 경쟁하여야 한다. 전통식품 가공의 know-how를 갖고 있으나 그

제조 공정의 핵심 제어 기술은 보유치 못한 상태에서 국내외 대형 식품산업체와 경쟁할 수 없으며, know-how를 상업 기술화해야 경쟁력을 가질 수 있다. 그러나, 농산 가공식품의 생산에 필요한 가공기계 및 장치는 첨단 자동화 기술로 제어되고 있고, 핵심 제어기술은 공정별로 microprocessor로 제어 운영되고 있고 network를 통하여 host computer와 연결되어 computer 생산 공정이 이루어지고 있다. 그러므로 농촌형 농산물 가공 공장의 생산 공정을 첨단화하는 산업화 기술을 개발하여야 하며, 이를 위해서는 우선 pilot규모에서 실용성이 입증되고 실제 생산 공장 규모에 적용할 수 있는 핵심 computer 제어장치를 one chip micom으로 설계•제작하고, 전통식품 가공 기술을 산업적 생산 기술로 전환할 수 있는 제어장치의 hardware 및 software를 국내 기술로 개발하여야 한다. 한편 전통식품이 경쟁력을 갖기 위해서는 기존의 공정보다 우수한 생산성을 가진 공정을 개발하고, 농산물가공에 활용성이 높은 첨단가공기술의 도입이 필요하다. 따라서 microwave 추출 기술, ohmic 열 이용기술, color image 활용기술, 초음파 여과 기술 등을 개발하여 전통식품 제조에 도입하고 품질 특성 분석을 통해 가공공정을 최적화 하고자 하였다.

농산물 가공은 우리 나라 전통식품을 대상으로 이루어지게 됨으로 주요 전분식품과 단백질 식품에 대한 물성 및 가공 적성에 관한 연구로 시도하였다. 전분식품으로는 쌀, 녹두를 대상으로, 단백질 식품은 대두를 중심으로 연구하였다. 밥, 김밥, 도시락 등이 상품화되고 있는 점을 감안하여 쌀밥의 열전달 특성, 녹두, 대두 제품의 물성 연구를 수행하였다. 특히 대두 가공공정으로는 두부공정을 대상으로 추출, 여과, 성형, 즉석 두부제조 공정을 대상으로 연구하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 우리 나라의 산지 농촌형 가공산업을 육성하기 위한 농산물 가공공정 핵심 제어기술 개발하고자 하였다. pilot로 실제 생산 공장 규모에 적용할 수 있는 핵심 computer 제어장치를 one chip micom으로 설계•제작하였고, 전통식품 가공 기술을 산업적 생산 기술로 전환할 수 있는 제어장치의 hardware 및 software를 개발하였다. 그리

고 최신 첨단 공정 기술인 microwave 추출 기술, ohmic 열 이용기술, color image 활용기술, 초음파 여과기술 등을 전통식품 제조에 도입하고 품질 특성 분석을 통해 가공공정을 최적화 하였다. 본 연구 사업을 통해 수행된 연구개발 내용과 범위는 다음과 같다.

1. 전통 농산물 가공식품공정의 개발 분야

○ 농촌형 식품가공공정의 종류 및 특징 분석
○ 농촌형 전통식품 가공 공정 주요 공정 분석
○ 전통 두류 가공 공정의 첨단화 단위 공정 연구
○ 연속식 두부제조기술의 연구
○ 두부 무면포 성형공정의 개발
○ 즉석 두부의 제조기술의 개발
○ 식품 공정 가공 pilot 설계

2. 전통 농산물 가공공정 신기술개발 분야

○ Ultrasound 여과 공정의 개발
○ Ohmic heat 열 이용 기술의 개발
○ Microwave 추출공정의 개발
○ Color image analysis system 개발

3. 전통 두류식품의 물성 및 가공 분야

○ 대두식품의 물성 규명
○ 압출성형법에 의한 종국제조
○ 가공 공정 제품 분석
○ 생산 제품 품질 평가
○ 가공 공정 최적화

4. 전통 전분식품의 물성분야

○ 녹두전분의 물리적 변성
○ Annealing(수분-열처리) 처리하여 제조한 묵의 성질 연구
○ Sonication(초음파) 처리한 전분의 이화학적 성질의 연구
○ 밥의 가공조건에 따른 열 특성과 저장중 밥의 온도변화 예측모델의 개발

5. 농촌형 식품가공공정의 핵심제어기술개발분야

○ 제어장치용 제어반 CAD 설계
○ 제어 표시 방식 설계
○ 제어장치용 부품 선정
○ 핵심 제어 장치 PCB 제작
○ 운영 방식 설계
○ 공정 제어·계측 기술 개발
○ 제어장치용 제어반 BOX 시작품 제작
○ 제어장치용 제어반내 micom 설치
○ 자동/수동 전환 장치 설계 및 제작
○ 식품가공 공정 제어장치용 제어반 설치
○ 식품가공공정 제어장치 시운전 및 수정
○ 핵심 제어 장치를 통한 계측, 제어
○ 핵심 제어 장치 운영 프로그램
○ 최종 핵심 제어 장치 제작
○ 농촌형 공장 설치

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

가. 전통 농산물 가공식품공정의 개발 분야

1) 우리 나라의 전통 단백질 식품인 두부를 대상으로 하여 가공공정을 개발하였다.
2) 연속적인 두부제조공정의 개발을 위해 응고관을 통한 연속적 응고공정을 개발하였으며, 응고관의 유변특성은 응고개시 6분까지는 Newtonian fluid의 성질을 보였으나, 14분후에 이르러 완전한 pseudoplastic fluid의 성질을 보였다. 연속적 응고공정에서의 응고두유는 viscosity가 5분후부터 급격히 증가하기 때문에 응고관 내에서의 원활한 흐름을 방해하였으며, 이를 보정할 수 있는 개선공정을 제시하였다.
3) 두부 압착공정에서 면포를 사용하지 않는 두부압착공정을 설계하였으며, 새로운 형태의 성형틀을 고안하였다. 면포를 배제한 공정으로 위생적 두부의 생산과 원가절감의 효과를 얻을 수 있었으며, 독특한 무늬를 가진 균일한 모양의 제품을 생산할 수 있었다.
4) spray dryer를 이용하여 두유를 건조 분말로 만들어 즉석에서 두부로 만들 수 있는 즉석 두부 제조공정을 개발하였다. 완성된 두부제품은 유통 중 보존의 문제와 유통비용상승문제를 가지고 있으나 즉석두부의 제조공정은 이를 해결할 수 있는 획기적인 해결 방안으로 제시될 수 있었다.

나. 전통 농산물 가공공정 신기술개발 분야

1) 초음파 여과 장치를 설계제작하여 장류의 여과에 적용하여 여과 속도 증가 효과를 거두었다.
2) Ohmic heat 열 이용 기술의 개발 통전 가열장치를 국산화하여 농산물의 해동 및 가열 수단으로 활용할 수 있도록 하였다.
3) Microwave의 식물세포조직의 파괴 현상을 응용하여 식품내 유효성분을 효과적으로 추출할 수 있는 기술을 개발하였다. 두유의 추출과, 녹차, 커피등의 추출에서 40% 이상의 추출효율 증대 효과를 거두었다.
4) 초단파 가열을 연속식 추출공정에 적용한 결과, 콩기질:가수량이 1:10에서 수율, 수

용성 단백질 농도, 투입에너지당 단백질 추출 효율이 가장 높게 나타났다. 반면, 단위시간당 단백질 추출량은 1:15에서 가장 많았다. microwave 추출시스템의 경우가 conventional water bath system에서 추출한 시료보다 높은 단백질 농도를 보였다. 또한 초단파로 가열 처리하였을 경우 세포벽 파괴 현상이 뚜렷이 관찰되었으며 세포 내부에 존재하는 단백체가 용출되는 모습도 관찰되었다.

다. 전통 두류식품의 물성 및 가공 분야

1) 즉석두부를 제조하기 위한 두유원액, 응고공정중의 유동특성변화를 측정하였다. 즉석두부 제품의 품질 평가를위한 조직감 검사방법을 개발하였다.
2) 간장의 총질소 함량은 숙성기간이 경과함에 따라 증가하여 숙성60일에 최대치를 나타내고 이 후 변화가 거의 없었다. 아미노태 질소는 숙성 45일까지는 증가하다 이후 감소하였다. 환원당은 모든 처리구에서 숙성 60일까지는 빠른 증가를 보였다. pH는 미생물이 발효되면서 생산되는 유기산류와 관련되어 있으며, 숙성 30일 된 간장에서 가장 낮았고, 이 후 약간 증가하였다. 색도는 숙성이 진행됨에 따라 감소하여 어두운 쪽으로 변했다.

라. 전통 전분식품의 물성분야

1) Annealing에 의해 전분의 팽윤력과 용해도는 감소하였으며 이에 따라 호화가 지연되었다. Annealing에 의해 전분겔의 표면강도는 증가하였으나 항복강도와 항복거리는 조건에 따라 달랐다. 따라서 녹두전분으로 묵을 만들 경우 55℃에서시간 annealing 처리하면 생전분(8%)보다 표면강도는 33%, 항복강도는 23% 증가한 겔을 만들 수 있을 것이며 이때 항복깊이와 호화도는 생전분과 별 차이가 없었다. 이는 8% 녹두전분을 annealing하면 강도면에서 9% 혹은 10%의 농도로 제조한 것과 유사한 것을 의미한다.
2) 호화된 전분을 초음파 처리하면 겔이 형성이 안되고 졸상태로 남아있게 되는데 이는 초음파 처리로 팽윤된 전분립이 파괴되기 때문으로 생각되

며 붕괴도는 전분마다 달랐다. 그 이유는 전분마다 전분의 결정구조가 다르기 때문이라 여겨진다. 처리정도에 따라 붕괴되는 정도도 달랐다.

4) 알카리 점도(겉보기 점도와 고유 점도)를 보면 초음파 처리로 전분의 포도당간의 결합이 분해되는 것으로 보이나 환원력은 별로 변하지 않는 것으로 나타나 이에 대한 보완 실험이 진행중이다.

5) 초음파 처리된 전분액의 점도는 저장중 전분의 노화로 감소하였으며,저장중 효소분해로 측정한 호화도변화를 보면 쌀전분에서 가장 큰 초음파 처리 효과를 나타나 처리시간이 길수록 더 호화상태를 유지(노화지연)하였다.

6) 초음파 처리의 최대 효과는 겔이 안되는 전분유동액을 만들 수 있다는 것이다. 따라서 이를 전분질 식품에 응용한다면 저장함에 따라 필연적으로 일어나는 노화현상(굳어짐)을 억제하는 식품을 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

7) 밥의 비열은 밥의 수분함량이 60%에서 66%증가함에 따라 2.92에서 3.26kJ/kg℃로 증가하였다. 밥의 열 전도도는 된밥, 밥, 진밥에서 0.167 0.306W/m℃, 0.170 0.331W/m℃, 0.244 0.383W/m℃으로 부피밀도가 증가함에 따라, 온도가 상승함에 따라 증가함을 보였다. 이 자료를 바탕으로 원통형 밥의 온도변화를 예측할 수 있는 모델식을 explicit method로 열저항 요소를 이용하여 제시하였으며, 실온과 냉동실에 저장 중인 원통형 밥블록의 온도변화를 예측한 결과 잘 일치함을 보였다.

마. 농촌형 식품가공공정의 핵심제어기술개발분야

1) 가공공정의 자동제어, 계측을 수행할 수 있는 핵심 제어장치를 설계, 제작하였으며 다음과 같은 성능을 갖도록 제작하였다. 공정온도 10지점, 공장 실내 온도 2지점, 원료 저장고 온도 2지점, 용수온도 2지점, 습도 2지점, 문자, 숫자, 문자, 시간, 표시기능, 통신기능, 원격제어기능, 시스템의 조작 key의등을 갖도록 하였다.

2) 핵심 제어 장치 PCB 제작제어 장치용 micom 설치 및 제어반 box 시작품 제작하였다. 자동/수동 전환 장치 설계 및 제작하였다.

3) 핵심제어장치의 운영 software를 개발하였다.

4) 핵심제어장치는 장류용 종국제조에 성공적으로 활용 할 수 있었다.

2. 활용에 대한 건의

본 연구사업을 통하여 개발에 성공한 식품가공용 제어장치와 첨단 가공기술을 농촌형 가공산업 현장에 적용되어야 할 것이다.

가. 마이크로 콘트롤러형 제어장치는 농가형 공장에 적합하도록 개발되었으므로 그 활용 연구가 계속되어야 할 것이다.

나. 두부제조 공정의 첨단화에 성공하였는데, 두부의 무면포 성형기술은 두부공정의 공정 수률을 줄이고 위생 및 용수량을 획기적으로 감소시켰다. 따라서 생산 현장에 적용하는 연구가 있어야 하겠다.

다. 첨단 가공기술로 개발된 ohmic heating 장치는 국내 기술로 개발에 성공하였으며, image분석기술은 공정의 모니터 및 품질 관리기술로 적용할 수 있다. 따라서 산업현장에 적용할 수 있는 연구가 계속되어야 한다.

라. Microwave 추출 기술은 추출 수율을 40% 이상 획기적으로 높일 수 있어 농산물 유효성분 추출에 효과적이다. 특히, 두유의 추출에 효과적이므로 지속적 연구가 필요하다.

마. 묵제조시 annealing하는 것은 묵제조 공정의 가열 전에 손쉽게 할 수 있는 것이므로 실용가능할 것이며 물성이 개선된 묵제조가 가능할 것이다.

바. 초음파 처리는 추가연구를 통해 효과를 구명한 후 실용화 할 수 있을 것이다.

SUMMARY

I. Title

Development of new processing control technologies for the rural agricultural processing industry

II. Objectives and Significance

Major products of the rural food processing plants operated by agricultural producers are traditional fermented soybean products, various kinds of kimchi, soybean curds, pickles, dried vegetables and teas. The number of the plants established by the government financial support are approximately 1,200 and their annual sales are over 100 billion Won. For continuing growth of these agricultural food processing industry it is essential to develop new products constantly, to improve distribution and marketing, as well as to manufacture of high quality products through improvement of quality control programs.

These rural plants suffer from operational difficulties duet to shortage of high quality technical personnel and inefficient plant operation scheme which is not suited to the rural environment. One of the ways to overcome these difficulties is to make use of modern automation in all phases of the operation in order to keep the product costs in line including labor cost. Although a few machines and equipments for food-processing plant have been automated, the core technologies depend on the foreign manufacturers. In addition, more than 95% of the technologies for process control essential to uniformity of product output are being imported.

Without having the core process control technologies, rural agricultural food-processing plants with only know-how of the traditional food processing can not compete with large domestic and foreign food companies. Therefore, it is essential to develop core process controllers which are well suited to the process of the rural plants. These controllers should be operable at each stage of the process and linked to the host computer through network.

Development of the process providing superior productivity to the existing processes and the introduction of state-of-the-art processing technology are required for competency of the traditional processed food. Thus, various frontier technologies such as microwave extraction, ohmic heating, color image analysis, and ultrasonic filtration should be applied in traditional food processing.

In order to develop process control technologies, physical properties and processability of starchy foods and protein foods such as rice and soybeans should be studied as they are principal materials for traditional food processing.

Thus, major objectives of this research are to develop core technology of automation using microcontrollers and to apply state-of-the-art processing technologies including image analysis, microwave extraction, ultrasonic filtration and ohmic heating for domestic manufacturing of core control devices and cultivation of competitive power for rural food processing plants.

III. Contents and Scopes of Research

1. Development of process for traditional foods
 - Characterization of rural food processing
 - Analysis major processes of traditional agricultural food processing
 - Studies on frontier unit processes for traditional soybean products
 - Technology development for continuous soybean curd production
 - Development of manufacturing techniques for instant soybean curds
 - Pilot design for rural food processing
2. New technologies for traditional agricultural processing
 - Ultrasonic filtration technology
 - Application of ohmic heating
 - Process development for microwave extraction
 - Development of color image analysis system
3. Studies on rhelogical properties and processability of soy foods
 - Characterization of rheological properties of soybean products
 - Production of starter culture mass using extrusion technology
 - Analysis and quality evaluation of the new products
 - Optimization of processing
4. Characterization of traditional starchy foods
 - Physical modification of mung bean starch
 - Properties of annealed mung bean starch gel
 - Physicochemical properties of sonicated starches
   - Effect of cooking conditions on thermal properties of rice and development of a model for prediction of temperature change in

cooked rice

5. Development of core control technologies for rural food processing

- CAD design of control box
- Design of display
- Selection of the parts for controller
- Manufacture of PCB for core controller
- Development of operating programs
- Techniques for measurement and control of processing variables
- Trial manufacture of control box
- Design and manufacture of automatic/manual converter
- Trial operation of the process controller for food processing
  - Measurement and control of process variables with core process controller
- Operation of core process controller
- Manufacture of final process controller

IV. Results and Proposal for Future Application

1. Results

Results of this research are briefly presented in five categories, i.e. process development for traditional food processing, development of new technologies for traditional agricultural processing, studies on rheological properties and processing of traditional soy foods, characterization of traditional starchy foods, and development of core control technologies for rural food processing.

1) Rural food processing has been evaluated for type, process

characteristics and principal processes with a view to thorough analysis of traditional soybean processing and modernization of unit operation. In regard to continuous soybean curd making a new molding technology has been developed which does not require cotton cloth. Techniques for instant soybean curd manufacture have been established as well considering the necessity of developing new products.

2) In the area of developing new technologies for traditional agricultural processing, studies have been carried out on ultrasonic filtration technology, application of ohmic heating, process development for microwave extraction, and development of color image analysis system. Especially, the microwave extraction system have been proved promising as it increases the yield by up to 40% as compared to the conventional extraction method.

3) Basic informations for design and improvement of process have been obtained through the studies on rheological properties and processing of traditional soy foods. Rheological properties of soybean products have been analyzed and starter culture mass for fermented soybean products has been prepared by using extrusion technology. In addition, quality evaluation of the new product and optimization of processing variables have been carried out.

4) Characterization of traditional starchy foods has been accomplished with regard to development of new processing technology and improvement of current process. Physical modification of mung bean starch has been carried out and properties of annealed mung bean starch gel have been determined. Also, physicochemical properties of sonicated starches have

been studied. Prediction model for temperature change of cooked rice has been successfully developed as well.

5) With a view to developing basic technologies for factory automation of rural food processing, process controller has been designed and manufactured employing modern microprocessor. This process controller is of excellent performance providing real-time on-line monitoring, measurement, control, and communication. Operation program has been also developed, and this core technology has been successfully utilized in Koji preparation.

2. Proposal for future application

Newly developed process controller for traditional food processing and frontier technologies should be applied to rural agricultural food processing plants.

1) The developed controller based on microcontroller is designed to be suitable for rural food processing plant. Thus, its application study should be followed.

2) New molding techniques have been developed for soybean curd manufacturing. This molding technology does not require cotton cloth, shortens the processing steps, and improves the sanitation. Assessment in combination with other processing variables is suggested.

3) Further application studies are required for such frontier systems as ohmic heating system and image analysis system for monitoring of process and quality control

4) Microwave extraction increases the yield by more than 40% and is

very efficient for extraction of valuable constituents of the plant. It is especially efficient in soy milk processing, and scale-up studies should be carried out.

5) Annealing starch during Mook (a Korean starch gel food) preparation does not require a complicated process. Therefore, it can be applied easily to the rural processing plant, and be utilized for texture improvement.

6) Sonication of starch after gelatinization can be utilized as a new process for starch food after a further evaluation of its effects on overall functionality in the real food systems.

CONTENTS

목 차

제 1 장 서론

농업생산은 자연 조건에 따라 크게 영향을 받는 유기적 생산체계이므로 기후조건에 상관없이 연중 계속해서 생산활동을 할 수 있는 공업적 생산방식에 비해 언제나 불리한 조건을 감수할 수밖에 없다. 더욱이 농업생산물이 갖는 저장성의 취약점은 서둘러 출하하는 경향이 높아져 농가소득이 감소로 직결된다. 뿐만 아니라 수입농산물의 도입은 가격 경쟁 면에서도 어려움을 겪게 되었다. 따라서 이를 극복하는 방법으로 시행되고 있는 것이 농촌형 공장의 활성화로 농산물 산지에서 가공처리하는 것이다. 그 결과는 농업생산물을 가공식품으로 출하된다면 생산된 농산물의 부가 가치를 높일 수 있고 농가의 소득증대효과를 가질 수 있다.

농산물 산지 가공을 성공적으로 이끌기 위해서는 원료와 기술에 관한 충분한 연구가 선행되어야 한다. 우리 나라 농산물은 그 종류가 다양한 만큼 가공제품의 종류도 많으므로 농촌형 규모의 공장에서 행해질 수 있는 적절한 품목을 선택하는 것이 필요하다. 우리의 식문화는 쌀을 중심으로한 전분식품과 대두 단백질 식품이 주종을 이루고 있다. 경기도내의 유망전통식품의 생산규모와 분포를 보면 전분식품과 대두식품의 가공업체 분포가 전체의 60%를 차지하고 있으며, 연간 생산액이 100억에 이르고 있다. 따라서 가공대상 농산물로는 쌀, 콩, 메밀을 원료로 하여 가공하는 가공기술을 연구대상으로 하였다.

쌀, 메밀, 콩을 가공하는데 필요한 가공기술이 연구되었는데 본연구는 전통적 가공기술을 분석하고 핵심적인 공정을 도출하여 첨단 가공기술을 활용할 수 있도록 하였다. 밥, 두부, 묵 등의 제조공적과 공정개선을 위한 필수적 물성의 연구, 생산성을 높일 수 있는 자동화 기술의 개발 등을 들 수 있다. 전분식품인 밥, 묵과 대두식품인 두부, 메주 등의 전통 농산 가공식품을 대상으로 하여 생산성의 향상과 품질을 표준화를 이룩할 수 있도록 제조 공정을

개선하였다.

첨단 가공 기술로는 초음파 여과 기술, 초단파 추출기술, ohmic 열처리기술, 화상분석등의 신 공정 기술을 개발하여 식품가공 공정에 응용할 수 있는 기초를 마련하였다. 이와 더불어 개발된 공정에 의해 생산된 제품의 품질 분석과 생산 최적조건을 연구함으로써 본 연구의 주 연구 목표인 농촌형 식품가공공정의 핵심제어 기술과 연계시켜 제품생산에 응용할 수 있도록 하였다.

본 보고서는 전통식품 가공공정의 개발분야, 전통농산물 가공공정 신기술개발분야, 전통두류식품의 물성 및 가공분야, 전통전분식품의 물성분석분야와 농촌형 식품가공 공저의 핵심제어기술 개발분야로 분류하여 연구결과를 정리하였다.

제 2 장 전통 식품 가공 공정의 개발 분야

제 1 절 서 설

우리나라의 주요 부식인 두부는 그 제조 방법에 따라 판두부, 전두부, 자루두부의 생두부와 얼림두부, 튀김두부 등으로 분류되는데, 일반적으로 두부라 함은 두유를 간수로 응고시켜 압착하여 탈수·성형을 시킨 두부를 일컬으며 소비되는 두부의 대부분을 점유하고 있다. 두부는 식물성 단백질 공급원으로 많은 양이 소비되고 있으나 두부의 생산 제조 특성과 품질 특성으로 인해 많은 문제점을 가지고 있다.

두부(김등, 1994)는 수 시간 물에 침지시킨 콩을 마쇄하여 조직을 파괴한 후 뜨거운 물로 가용성 부분을 용출시켜 얻은 두유에 소량의 염을 첨가하여 수용성 단백질을 응고시키고 성형하여 제조된다.

두부 제조공정은 수세, 침지, 마쇄, 증자, 여과, 응고, 성형, 절단 및 포장 등의 단위 조작과 공정등이 사용되는데 이 중에서 응고 공정과 성형 공정은 두부의 품질과 수율에 영향을 미치는 핵심공정이다(김, 1982).

두부 응고 공정은 두유내의 단백질을 석출시켜 gel을 형성시키는 과정으로 응고 온도(Miura Y. *et al*, 1982)와 시간(Sato E. *et al*, 1995), 응고제의 종류(이등, 1983 ; deMan *et al*, 1986 ; Kohyama *et al*, 1995 ; Dongwon *et al*, 1994)나 첨가량(Beddows *et al*, 1987)이 중요한 인자로 작용한다. 그러나 우리나라 두부 공장에서는 대부분 경험자의 판단에 의존하므로 균일한 제품 생산을 하지 못하고 있다.

두부의 제조를 공정면에서 볼 때, 회분식 공정을 채택하고 있어서 설비와 노임비의 비율이 높아 생산성이 낮다. 최종 제품이 만들어지는 성형 공정을 보면, 회분식 압착 방법을 사용하고 있다. 압착 성형 공정은 성형틀에 면포로

된 여제를 설치하고, 두유응고물을 담아 압착기로 압착하여 육면체로 성형시키고 있는데, 이 공정은 대부분 수작업에 의존하고 있어 많은 노동력이 소용되어 노동생산성이 아주 낮고 사용된 면포는 세척과정을 거처 반복 사용되므로 용수의 낭비와 위생상의 문제를 야기 시키고 있다. 또한 성형된 제품은 면포에 의한 불규칙한 무늬 형성으로 제품의 균일성을 떨어뜨리고 있다.

두부제조공장의 생산성과 품질은 주로 응고, 성형공정의 복잡한 작업방법과 회분식 공정에 기인하기 때문에 이 두 공정에 관계되는 설비를 개선하고 공정을 연속화하는 것이 자동화 기술에 앞서 해결하여야 할 문제이다.

한편으로, 완성된 두부의 경우 쉽게 변성되는 단백질의 특성 때문에 두부는 상온에서 수 시간 내에 변질이 되어 유통에 많은 어려움이 있다. 그러므로 두부는 제조 후 빠른 시간 내에 소비되어야 하나 우리 나라의 경우 유통체계가 정립되지 못하여 두부시장은 지역적 한계성을 가지고 있다. 또한 유통기한 내에 소비되지 못한 제품의 경우 회수비용과 변질 제품의 처리비용 및 환경처리비용이 증가하게 되고, 두부 제품의 무균포장 냉장유통이 비용이 추가되어야 하므로 가격 경쟁력이 떨어지게 된다.

따라서, 본 연구는 기존의 두부제조 공정을 개선하는 연구와 두부의 유통문제를 보완하기 위한 즉석 두부 제조용 신공정을 개발하고자 하였다. 기존 두부 생산 라인 중에서 응고공정과 성형공정 간의 물류 이동을 생략할 수 있는 연속식 응고관을 설계하고자 하였다. 또한, 두부 성형공정에서 사용되고 있는 무면포사용을 배제할 수 있는 새로운 형식의 성형틀과 작업방식을 개발하였다.그리고, 즉석 두부 제조를 위한 두유의 분무건조 공정을 연구하여, 대두 단백질의 열변성을 최소화 할 수 있다. 두유 분말의 경우, 보존성을 높고 부피도 작으며 냉장 유통이 필요 없어, 유통비용을 최소화 할 수 있는 두유의 제조 조건, 두유의 물성 및 두유의 분무 건조 공정 조건에 관하여 연구하였고, 즉석 두부용분말로 제조된 두부의 품질에 관한 연구를 일부 수행하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 재료

가. 콩

두부 제조용 콩은 백태(연천군, 97년산)를 시중의 농협에서 구입하여 사용하였다.

나. 응고제

두부 응고제로 시약급의 황산칼슘($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) (시약급)과 glucono-δ-lactone($C_6H_{10}O_6$) (Sigma 사)을 사용하였다.

다. 압착용 여제

두부 성형에 사용된 여제 재료로는 면포와 stainless steel gauze(30 300 mesh)을 사용하였다.

2. 방법

가. 두유 및 두부 제조 방법

콩 300g을 수도물에서 2회 수세한 후 상온에서 6시간 침지시킨 후, 콩을 3배 용량의 물을 가수하여 분쇄기로 2분간 마쇄하였다. 마쇄된 콩은 10분간 끓인 후 면 여과포(cotton bag)에 넣고 압착·여과한 두유를 만들었다. 두유는 원료콩 무게의 10배가 되도록 가수하여 농도를 일정하게 조절하여 여러수준의 비율로 희석하여 두부 제조용 두유로 사용하였다.

두부는 전통적인 방법에 따라 제조하였는데, 두유 100ml에 0.5%의 황산칼슘을 첨가하고, 65℃에서 20분간 응고시킨 후, 성형틀에 넣고 0.05kgf/cm2의 압력으로 압착 및 성형하여 제조하였다.

나. 즉석두부용 두유 조제

원료콩을 2 3번 세척 후 원래 무게의 약 2배 가량의 물을 흡수할 수 있도록 상온의 물에서 약 10 12시간 침지한 후 1시간 물 빼기를 하였다. 물 빼기 끝난 침지 콩의 4배량의 물을 첨가하면서 grinder (AC 220V, 60Hz, 1.1kW, 1700rpm, 1.5HP)로 마쇄하였다. 마쇄 두유는 면포를 사용하여 여과하여 두유를 제조하였다. 이 때 두유와 비지는 무게비는 6 : 4정도였다.

다. 두유분말의 제조

두유를 분무건조하기 위해 pilot spray dryer (Zeus. Co. Korea)를 사용하였다. 사용된 Table 1과 spray dryer의 사양과 조작 조건은 Table 2-1과 같다.

Table 2-1. The specification of spray dryer

ITEM	SPECIFICATION
Hot air	Inlet 250℃, Outlet 80℃
Air flow rate	120kg/h
Rotary atomizer revolution	5,000 40,000 rpm
Thyrister temperature control	Range : 150 250℃ ±5%
Air flow pattern	Parallel
Atomizer	centrifugal
Air properties	Prassure : 760mmHg
	Temperature : 15℃
	RH% : 70%
	Humidity : 0.0071kg
	Specific gravity : 1.2kg/m3
Power	AC 220V, 60Hz

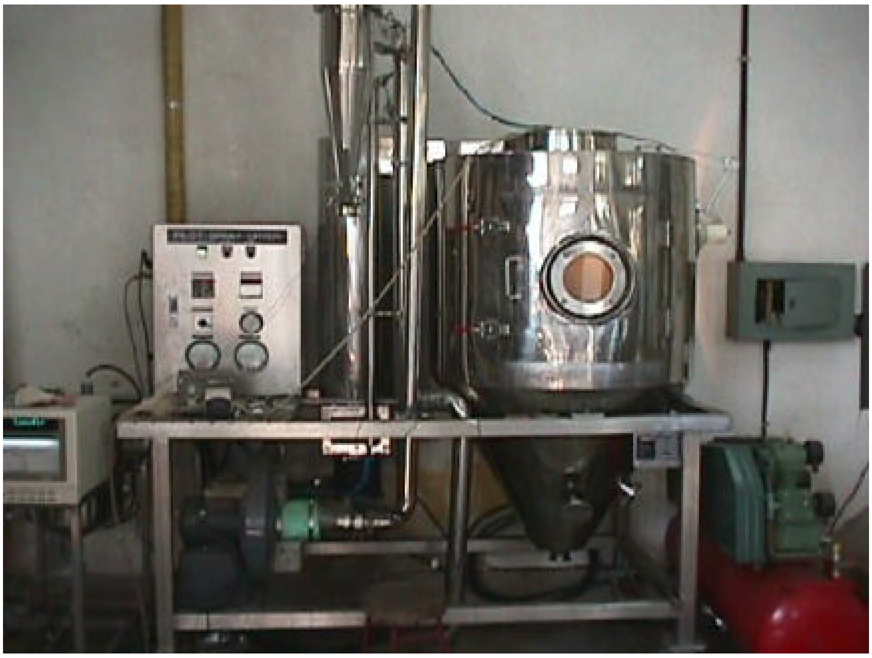


Fig. 2-1. The experimental set for Spray drying of soy milk

라. 무면포 압착틀에서 여과면적에 따른 탈수량 측정

면포를 사용하지 않고, 스테인레스 망 (stainless mesh)으로 여과면을 갖도록 특별히 설계·제작된 두부 성형틀에서 두부를 압착할 때, 발생하는 순물의 배출량을 Fig. 2-2와 같이 성형틀의 위치별로 회수되는 순물을 mess cylinder로 측정함으로써 측정하였다.

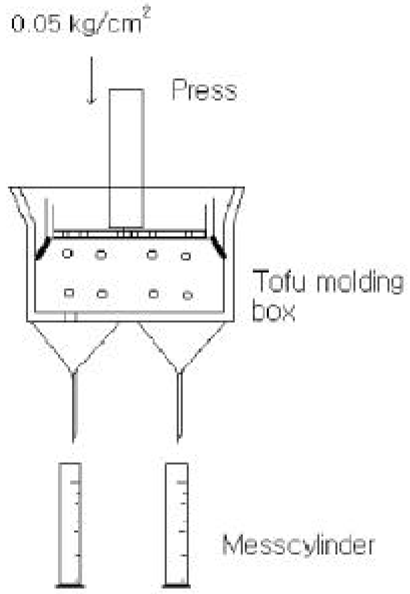


Fig. 2-2. Measurement of Tofu whey at the press operation

즉 성형틀 내의 구역을 4개의 구역으로 나눈 후 일정한 크기(지름 6.8mm)의 순물 배출공의 수를 달리하였다. 이 배출공에는 상형상자의 4개의 측면에는 각각 동일 간격으로 4개씩의 배출공을 만들고 X방향의 효과를 일정하게 마련하였고, 밑바닥 면만을 4개의 구간(A, B, C, D)으로 나누어 Fig. 2-3과 같이 배출공의 수를 달리 배치하였다. 따라서, A, B, C, D구간의 여과면적은 2, 4, 6, 8배가 되도록 하였으며, 구멍 한 개의 면적은 36.32 mm2이었다.

이 배출공에는 stainless steel gauze 60mesh를 접착제로 고정시켜 여제의 역할을 하게 하였다.

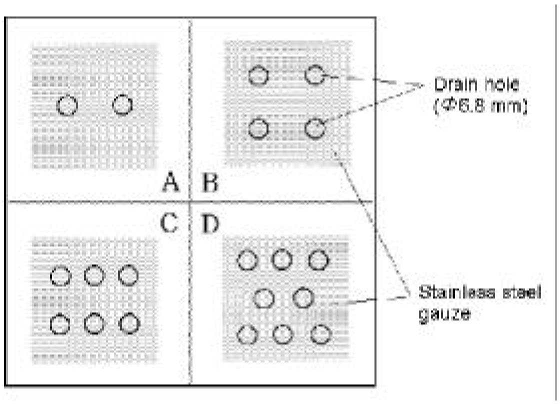


Fig. 2-3. Configuration of drain hole with various filtering areas at the bottom of the molder

마. 무면포 압착틀의 mesh수에 따른 탈수량 측정

Stainless steel망의 mesh수에 따른 탈수율을 측정하기 위해, 성형장치를 '라.'의 방법과 같이 성형틀을 4개의 구역으로 나눈 후, 구역별로 각기 다른 규격의 여과망을 설치하여, 순물의 배출량을 측정하였다.

4개 구역의 접촉면엔 각각 4개의 동일한 여과구멍을 내었다. 성형틀 바닥의 여과면은 각각 30, 60, 150, 500 mesh의 stainless steel망을 부착한 후, '바.'의 방법과 동일하게 탈수량을 측정하였다.

바. 두유의 분무 건조 온도 측정

분무 건조기 각 부위의 온도는 hybrid recorder(LE9000, ±0.1℃, Chino, Japan)로 측정하였다.

사. 분무 건조기의 feed rate 조절

분무 건조기에 유입되는 두유의 feed rate는 peristaltic pump (10

600RPM, Model No. 7523-20, Barnant, USA)로 조절하였다.

아. 분무 건조온도와 atomizer 회전속도의 조절

건조 온도와 atomizer의 회전속도는 건조기의 control box에서 제어하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 연속식 두부 제조 공정의 개발

가. 재래식 두부제조공정의 분석

우리나라의 소규모 또는 중규모의 두부공장에서 사용되고 있는 두부 제조 공정을 조사한 결과, 다음 Fig. 2-4와 같이 침지, 마쇄, 증자, 여과, 응고, 성형, 절단, 포장 공정으로 구성되어 있었다. 공정의 작업은 회분식이 대부분이었으며, 규모가 큰 규모에서는 침지, 마쇄, 증자, 여과까지는 연속식 작업이 이루어지고있으며, 압착 공정은 회분식으로 면포를 사용하고 있다. 증자와 여과 과정에서 증자를 생략하는 공정도 있었으며, 여과는 원심식 규모에 관계없이 연속 여과 법을 사용하고 있었다.

응고 공정은 $CaSO_4$, 간수 $CaCO_3$등을 사용하고 있으며, 첨가량이 정확히 관리 되고 있지 않았다.

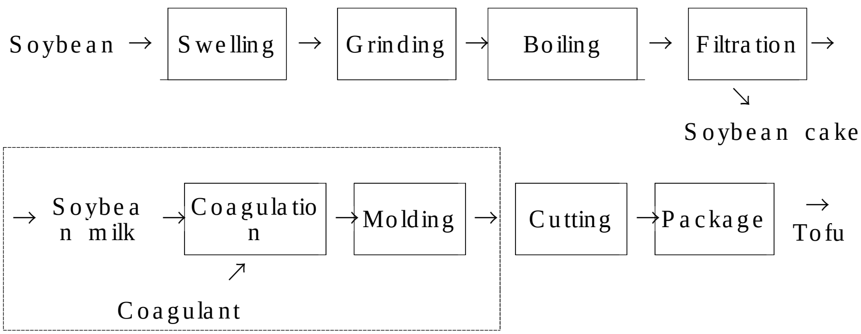


Fig. 2-4. The process flowchart of soybean curd manufacturing factory

([dotted box] : process under study)

또한, 응고 온도와 시간도 엄격히 관리되지 않았으며, 응고 공정은 두부 품

질에 가장 큰 영향을 미치는 공정으로 분석되었다. 따라서, 공정 설계 작업을 위해서는 두유의 응고 기작, 물성 변화 등을 모두 감안하여야 한다.

나. 연속식 응고공정의 설계

응고제가 첨가된 두유가 응고관을 따라 흘러가며 응고가 진행되어 관의 출구에 이르렀을 때 응고 공정이 종료되는 연속공정을 설계하고자 하였다. 즉, 일정한 온도를 유지한 상태에서 관속을 흐르게 하면서 응고 기작에 따라 두유를 gel형성에 알맞은 최적 조건에서 응고가 이루어질 수 있도록 하는 연속 응고 시스템 모형을 구상하였다.

1) 응고관의 길이

두유에 응고제를 혼합한 후에, 응고 과정을 관내에서 완료할 수 있는 충분한 길이를 확보하고 응고 진행 과정에 알맞는 유체역학적 조건을 마련하도록 하였다. 응고에 필요한 통과 소요 시간(θ)이 확보되어야 하므로 응고관의 길이(L)가 주요 설계변수가 된다.

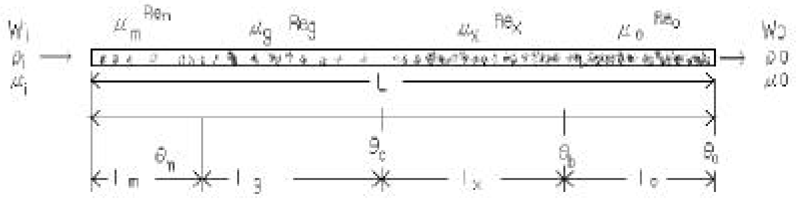


Fig. 2-5. The modeling of the continuous coagulating tube

응고 기작면에서 응고관의 전체 길이 L을 Fig. 2-5와 같이 4구간으로 구분하였다.

① Lm : 두유와 응고제의 혼합부

② Lg : 두부 gel 형성부

③ Lx : 두부 gel 혼합 및 파쇄를 위한 교반부

④ Lo : 두부모액 배출부

따라서 응고관의 총길이는 다음 식(1)과 같다.

$$L = L_m + L_g + L_x + \cdots\cdots \quad (1)$$

이 때, θm, θg, θx, θo 는 각 구간을 통과하는 데 소요되는 각각의 소요 시간이다.

다. 연속식 두부응고 장치의 설계

'나.'의 연구결과로부터 응고 두유의 viscosity가 5분 경과 후부터 급격히 증가하기 때문에, 응고관 내에서의 원활한 흐름이 방해되었다. 따라서, 응고관을 통한 연속식 응고보다 회분식 응고 기작을 응용하되, 응고장치의 구조를 개선하여 실질적인 연속식 작업을 수행할 수 있다는 결론에 도달하였다.

Fig. 2-6은 4개의 구간으로 구분된 회전식 응고조를 만들고 1, 2, 3, 4응고 용기에 일정한 시간 주기를 응고시간을 차등화시키고 응고가 완료된 응고조로부터 응고된 두유를 배출하는 방법을 택하도록 공정을 개발하여야 할 것이다.

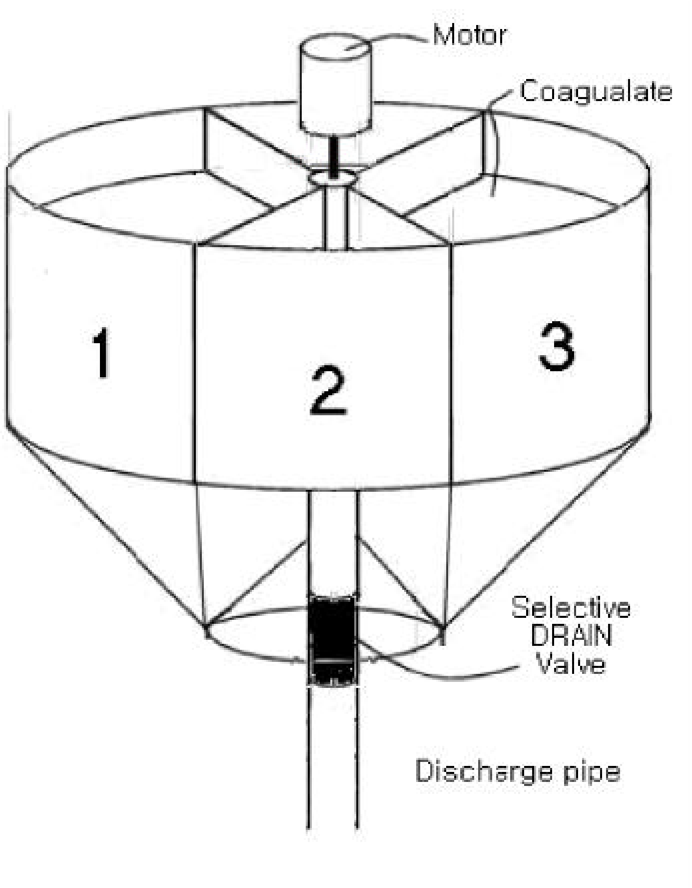


Fig. 2-6. The structure of rotary coagulating tank

2. 무면포 두부 성형 공정 개발

압착 공정에서 면포를 사용하지 않고 압착할 수 있는 두부 압착기를 제작하기 위하여 먼저 새로운 형태의 무면포 성형틀을 고안하였다. 이 성형틀은 다음과 같은 4가지 특징을 갖도록 설계하였다.

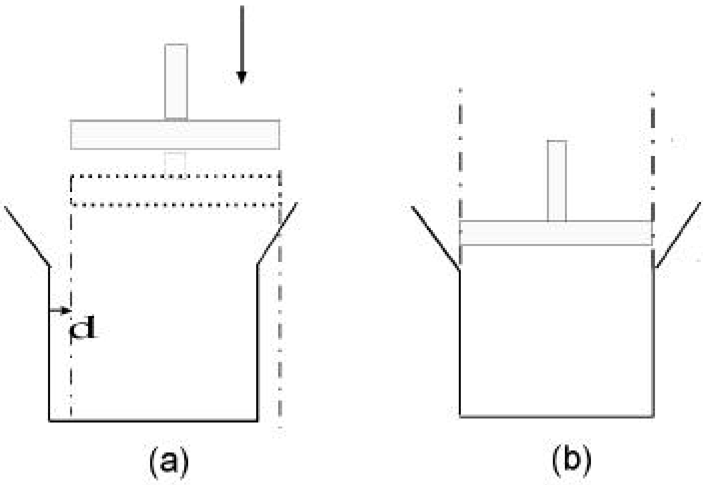
① 면포 대신 stainless gauge를 성형틀에 접착하였다.

② 성형상자의 입구를 넓게 하여 Fig. 2-7과 같이 경사진 벽을 갖도록 하였

다. 압착판이 하강할 때 충분한 유격을 갖고 위치를 자동적으로 교정할 수 있도록 하였다.

③ 성형틀 벽을 통한 응고 두부의 leak를 방지하기 위하여 유연성이 높은 합성수지를 seal로 사용하였다. 성형틀의 직경이 바뀌어도 압착판의 계속 전진이 가능하도록 하였다.

④ Flexible seal을 press plate에 설치하여 molding box의 벽을 따라 하강하는과정에서 주걱효과를 내어 벽면에 부착된 두유 응고물을 긁어 내려 안으로 모으는 효과를 갖도록 하였다.



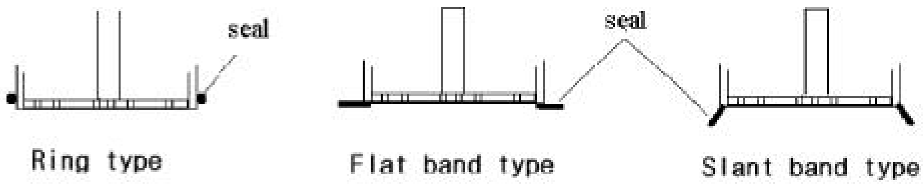
d : Refers the distance to be corrected by the press

Fig. 2-7. Self alignment mechanism of soybean curd-press system by using wide-mouth rectangular molding box

가. 무면포 압착 성형틀의 상판설계

면포를 사용하지 않기 때문에 압착판과 압착상자 벽사이의 응고물 일출을 방지하기 위한 seal이 필요하다. 그 방법으로 밀폐성과 유연성을 동시에 만족시

킬 수 있는 slant band type의 seal을 설계, 제작하였다. Slant band type은 압착기가 내려가면서 band가 유도날개를 따라 안쪽으로 휘도록(P1) 하였는데, 압착압력(P2)이 바로 성형틀과의 밀착압(P3)이 되어, 높은 압력이 가해져도 두유 응고물의 손실없이 성형이 가능하였으며, 하강시 추가적으로 주걱효과를 얻을 수 있었다.



(a) (b) (c)

Fig. 2-8. The types of seal of the soybean curd-molding process

나. 무면포 압착 성형틀의 제작

광구 사각형의 구조를 설계된 성형틀은 acryl plate(두께 5mm)를 제작하였고 press plate 역시 같은 acryl plate로 제작하였다. 두부의 압착에 필요한 0.04 0.10kg/cm2의 압력에 견딜 수 있도록 벽 외부에 보강하였다. 바닥에는 철재 빔을 나사로 고정시켰으며 벽면은 acryl beam(width 5mm, thickness 25mm)으로 둘러싸 상자의 변형을 방지하였다.

Press plate에는 (W 25mm×L 190mm×D 3mm) polyurethane rubber seal을 강력접착제로 부착하고 nut-bolt로 보강하였다. 사각형의 네 모서리는 얇은 urethan tape(0.3mm 두께)로 접착하였다. 여과 면적을 확보하기 위하여 16개의 drain hole을 마련하여 순물이 빠져나갈 수 있도록 하였다. Fig. 2-8은 시험 제작한 광구형 사각 성형틀의 사진이다.

무면포 압착장치는 면포를 사용하지 않게 되므로 성형작업에서 가장 문제가

되는 면포의 사용을 배제 할 수 있었다. 면포를 사용하지 않은데서 오는 잇점은 다음과 같다. 첫째, 면포에서 오는 오염문제를 해결할 수 있었다. 둘째는 면포를 세척하는데 따르는 세척수의 절약은 물론 환경오염을 극소화시킬 수 있는 장점을 갖고 있다. 셋째, 면포를 성형틀에 설치할 필요가 없어 노동력을 절감할 수 있었다. 넷째, 면포의 불규칙한 무늬를 남기지 않아 균일한 두부 제품을 얻을 수 있었다. 다섯째, 성형틀은 광구구조를 갖고 있어서 누름판과 성형틀이 쉽게 정위치 결합이 가능하였다. 여섯째, 두부 압착 공정은 자동화 하는데 크게 기여 할 수 있게 되었다. 일곱 번째, 성형틀의 따라서 면포 세척 공정을 크게 개선 할 수 있었다. Stainless 망의 세척은 공기 세척으로 충분 하였다.

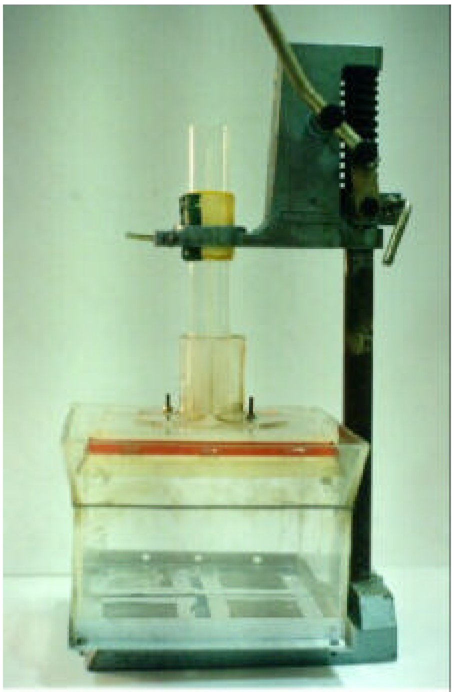


Fig. 2-9. Experimental Tofu-press with the wide-mouth rectangular molding box

다. 무면포 성형틀로 제조된 두부의 외형

새 성형틀로 제작된 두부는 두부 표면에 stainless steel의 mesh 무늬가 규칙적으로 인각되어, 면포를 사용할 때 발생하는 불균일한 무늬의 발생을 피할 수 있었다. 뿐만 아니라 press 판에 적당한 무늬를 양각 또는 음각하면 독특한 무늬를 갖는 두부제품을 얻을 수 있는 장점을 발견하였다.

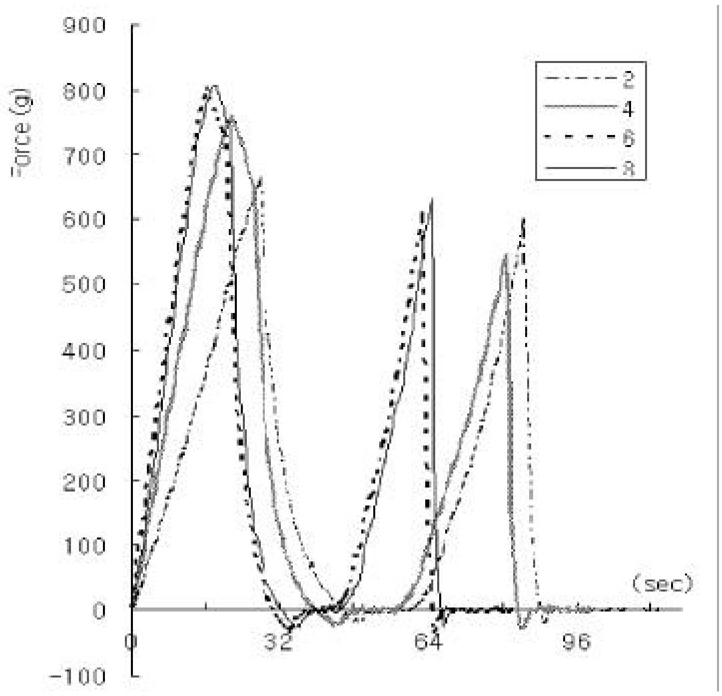


Fig. 2-10. Texture profiles of soybean curd product at various numbers of drain holes

3. 즉석 두부제조의 신공정 개발

즉석두부는 두유를 건조한 건조 두유분을 원료로 간편하게 가정에서 두부

를 만들 수 있도록 하는 두유가공 제품이다. 즉석두부는 일반 두부에서 두유에 응고제를 첨가하는 대신에 분말 두유분을 물에 녹여 응고제를 첨가하여 대두 단백질의 응고가 일어나도록 하는 제품이다. 이 제품은 수분함량이 10% 내외이므로 미생물에 의한 변패 위험이 없으므로 두부가 갖는 유통상의 문제를 해결할 수 있으며, 순두부, 판두부용 원료로도 널리 이용될 수 있을 것이다.

두유를 분무건조하여 만든 분말로 두부를 생산하는 공정은 Fig. 2-11과 같다.

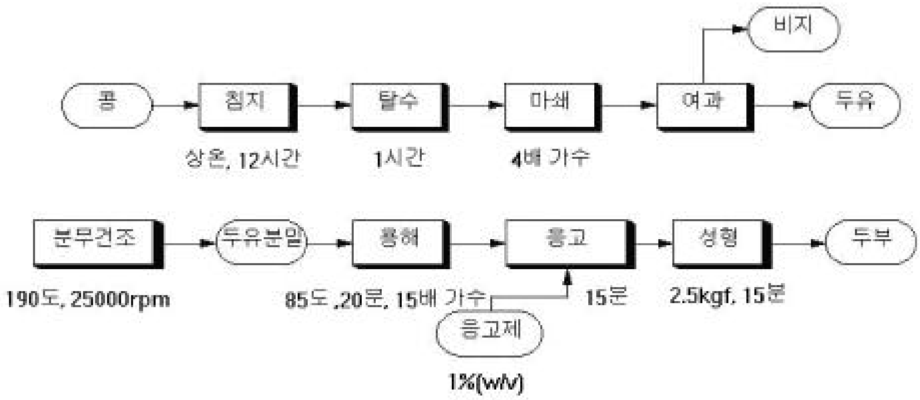


Fig. 2-11. The flowchart of instant Tofu manufacture

가. 분무 건조용 두유의 제조

두유의 열변성을 최소화 하기 위해서는 분무건조실 내에서 두유 액적이 머무는 시간이 짧아야 하기 때문에 고농도 두유의 조제가 필요하였다.

따라서, 일반두부 제조에서 사용되고 있는 8 10배 가수법과는 달리, 즉석두부용 두유 제조시에는 4배 가수법을 택하였다. 즉, 침지시 콩 무게가 2배로 증가하는 것을 고려하여 원료콩 무게의 4배가 되도록 나머지의 물을 첨가하

면서 마쇄하였다. 4배의 가수비를 택한 것은 침지콩의 분쇄과정에서 작업상 최소로 요구되는 양이기 때문이다.

나. 두유의 분무 건조

두유분을 제조하기 위해서는 두유를 분말 건조하여야 하는데 건조 중에 발생하는 열변성이 문제가 되었다. 따라서 대두단백의 열변성을 최소화할 수 있는 분무 건조 조건이 연구되었다.

분무 건조실에 공급되는 공기의 온도는 170℃, 180℃, 190℃와 200℃이었으며, feed rate는 100㎖/min, 140㎖/min, 175㎖/min, 200㎖/min, 240㎖/min, 280㎖/min에서, atomizer의 회전속도는 15000rpm, 17000rpm, 20000rpm, 23000rpm, 25000rpm, 27000rpm, 30000rpm에서 각각 조합 실험하였다.

170℃에서는 건조효율이 떨어졌으며, 175㎖/min 이상의 feed rate에서는 미세액적이 잘 만들어지지 않아 건조율이 현저히 떨어졌다. 또한 15000 17000rpm 에서도 미세액적이 잘 만들어지지 않고 건조기 내의 체류시간도 상대적으로 짧아 건조율이 떨어졌으며, 30000rpm 이상에서는 만들어진 미세액적이 너무 빨리 건조기 내벽에 부딪혀 건조되기보다는 벽면에 눌어붙는 경우가 많았다. 따라서, atomizer의 회전속도는 23000 27000rpm 이 가장 적당하였다.

이상과 같은 최적조건에서 건조된 powder의 순수득률은 두유의 10 13%wt에 달하였고, product의 모습이 Fig. 2-12에 나와 있다.

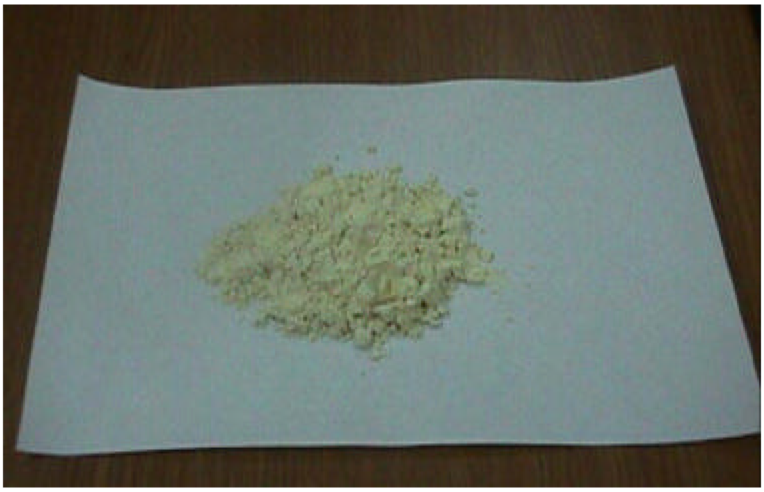


Fig. 2-12. Spray dried product of Soybean milk

다. 즉석 두부 조직감 측정장치의 설계 및 제작

즉석 두부를 만든 후, 바로 두부 조직감을 분석하기 위해서 이 장치를 고안하였으며, 상부의 압착부, 하부의 성형부와 순물 수거부의 세 부분으로 구성되도록 하였다. 두부의 조직은 단백질 고형분의 함량, 성형온도, 성형시간, 그리고, 성형압축력 등에 영향을 받는다. 따라서, 이러한 요인들을 감안하여, 장치를 설계하였고, 여과포를 사용할 경우, 면포의 표면에 두부가 묻고, 두부 표면이 매끄럽지 못하게 되므로, 면포를 사용하지 않는 무면포 성형틀을 고안하였다.

1) 실험용 무면포 두부 성형틀

두부 조직감 분석용 무면포 압착 성형틀은 Fig.2-13과 같이 하부의 성형부는 압착시 상부의 압축부와 마찰을 최소화 하기 위하여 입구 부분을 넓게 만들 수 있도록 광구형으로 설계하였다. 또 성형시 항온을 유지하기 위하여 항온jacket을 설치하였고, 여과포 대신 60mesh의 stainless steel망(c)을 이용

하였다. 성형부 아래에 순물 수거부(d)를 두어 성형시 배출되는 순물을 정량 할 수 있도록 하였다. 또한 여판의 설치 및 제거와 시료의 수거가 용이하도록 각 부분은 분리할 수 있도록 하였다.

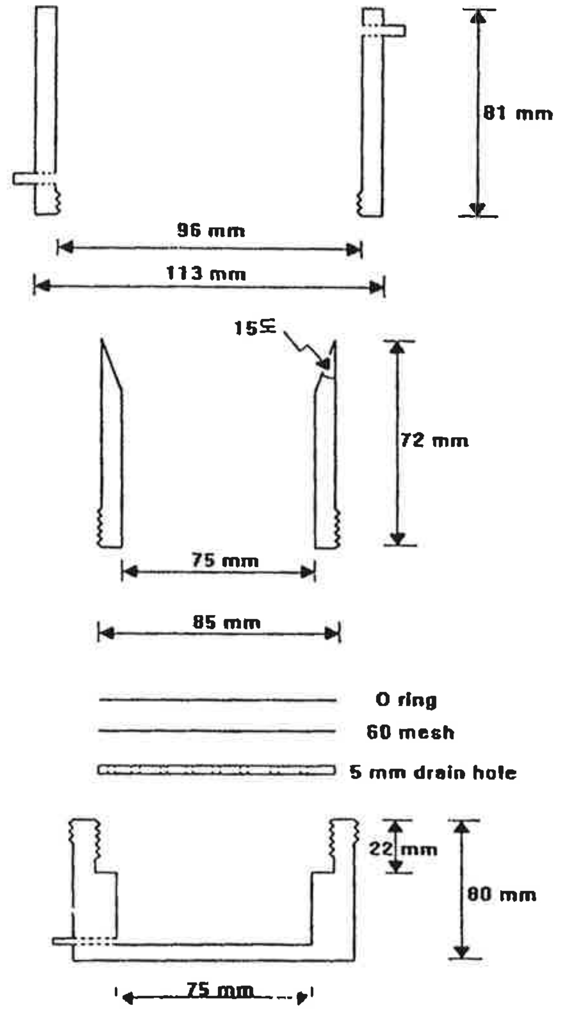


Fig. 2-13. The structure of lower molding frame for instant Tofu

무면포 두부 성형틀은 stainless steel과 Teflon을 원료로 제작하였으며

(a) The parts of lower molding frame

a: 항온 jacket b: 성형부 c: O-ring d: 여과판

e: 순물 수거부 f: stainless steel망

(b) The assembled lower molding frame

Fig. 2-14. The lower part of Tofu with thermostatic jacket

2) **무면포 성형 압축장치**

상부의 압착부는 Fig. 2-15**와 같이 압착 성형시 두유 응고물이 빠져 나오는 것을 방지하기 위해** silicon blade(d)**를 설치하였고**, **이것을 지지하는 지지하는 지지부**(b,c)**와 순물 배출구**(e)**를 만들었다**. **또한**, **압축힘을 자유자재로 조절할 수 있도록 압착부는** Texture Analyser**의** probe **에 연결하여 사용할 수 있도록 고안되었다** (a).

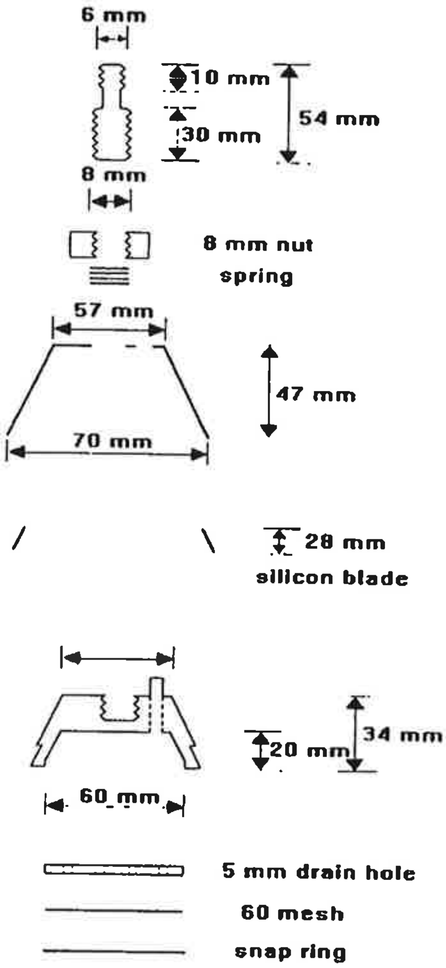
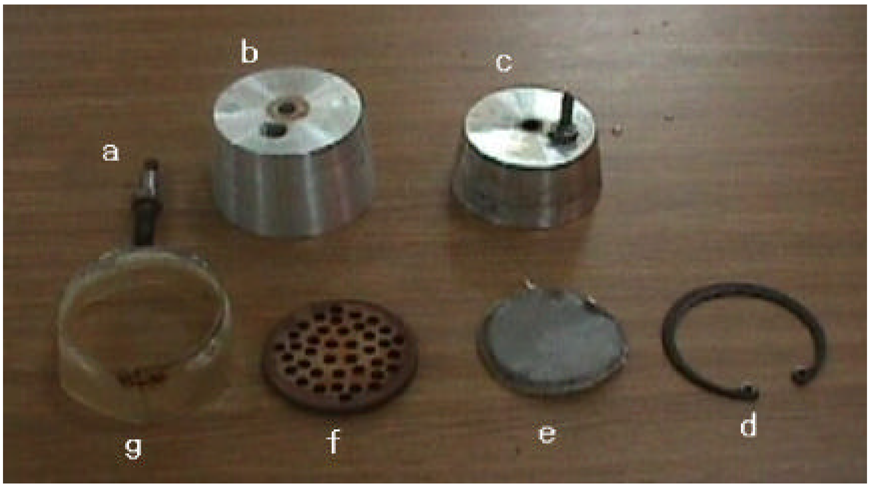


Fig. 2-15. The structure of the upper part of Tofu molder

Fig. 2-16에는 이에 따라 제작된 압축장치 부품(a)과 조립된 압축부를 나타내었다.



(a) The parts of upper molding frame

a: probe connector b: blade 지지부 c: 압착부 d: snap ring

e: stainless steel망 f: 여과판 g: silicon blade sealer

(b) The assembled upper molding frame

Fig. 2-16. The photographs of the upper part of Tofu molder

라. 물성 분석용 즉석두부의 제조법

1) 용해 및 끓임

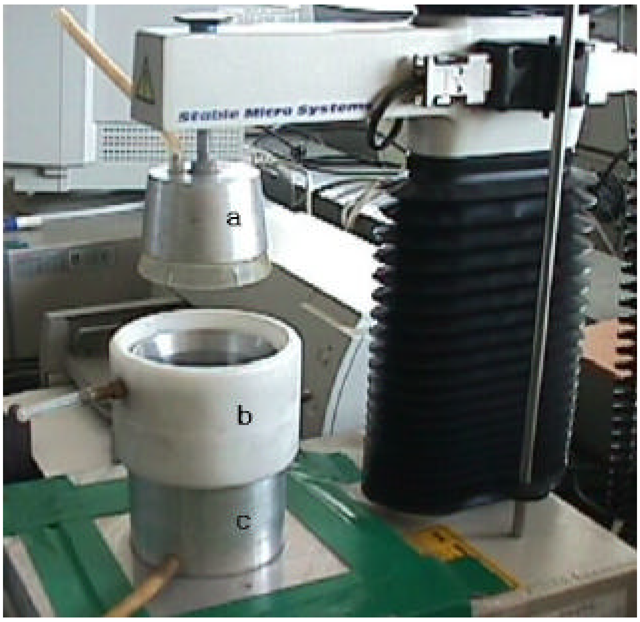
분말두유 20g에 300ml의 물을 가하여 85℃가 될 때까지 두유분이 덩어리지지 않도록 잘 저어 주면서 20분간 용해시켰다. 이 때 발생하는 거품은 제거하였다.

2) 응고

용해된 두유는 85℃까지 가열하여 heating을 중지하고, 1% w/v의 응고제를 첨가하였다. 응고제가 첨가된 두유를 2 3회 가볍게 저어 준 후, 항온상태에서 15분간 응고시켰다.

3) 압착 성형

응고가 완료된 시료를 앞서 제작한 성형틀 (Fig. 2-17b)에 넣고 50 60g/㎠의 압력으로 압착 성형(Fig. 2-17a)하였다.



a: **압착부** b: **성형부** c: **순물 수거부**

Fig. 2-17. The experimental set up equipped with the thermostate Tofu molder

이상과 같이 성형된 두부는 두부 조직감 측정방법에 따라 hardness, bending force **등을 측정할 수 있었다.**

참고문헌

Christie J. G.: Transport process and unit operations, Prentice- Hall International, 3rd ed., 153 158(1993)

Horvath I.: An original rheological model material. I. Theoretical considerations, Elelmezesi Ipar, 43 : 91 96(1989)

Iibuchi S., Yano T., Kawashima M., Nakagawa K.: Energy analysis of a kori- tofu plant, J. of Food Eng., 1 : 17 29(1982)

Lin B. F., Miyawaki O., Torikata Y., Yano T.: Energy saving in the extraction- denaturation stage of kori- tofu production and its optimization, J. of Food Eng., 6 : 333 344(1987)

Ohara T., Kurokouchi K., Ohihinata H., Matsuhashi T.: Studies on the coagulation of soymilk in the manufacture of tofu and kori- tofu, VI. Relationships of coagulation characteristics and properties of kori- tofu in a controlled soymilk coagulation system, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., 39, 543 554(1992)

Ohara T., Kurokouchi K., Ohinata H., Matsuhashi T.: Studies on the coagulation of soymilk in the manufacture of tofu and kori- tofu, V. Effect of chemical constituents of soymilk on the optimum concentration of coagulant, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., 39, 586 595(1992)

Toshimasa Y.: Linkage among unit operation, Korean Soc. for Industrial Food Eng., Foundatation proceeding, 5 11, Seoul, Korea(1996)

Mao A. S. L., Hill A. R.: The coagulating and textural characterization of soybean curd (tofu) made with the combined utilization of soy milk and skimmed bovine milk, J. of Dairy Science, vol. 73, 116(1990)

Wang H. L., Hesseltine C. W.: Coagulation conditions in tofu processing, Process

Biochemistry, 17(1), 7 8, 11 12(1982)

Beddows C. G., Wong J.: Optimization of yield and properties of silken tofu from soybeans. III. Coagulant concentration, mixing and filtration pressure, International J. of Food Sci. & Tech., 22 : 29 34(1987)

Zang G. H., Chang K. C.: Optimization of mixing and pressing for small-scale tofu-making, IFT Annual Meeting 1995, poster, 79(1995)

Kohyama K., Sano Y., Doi E.: Rheological characteristics andgelation mechanism of tofu (soybean curd), J. of Agri. & Food Chem., 43(7) : 1808 1812(1995)

Aoki H., Shirase Y., Kato J., Watanabe Y.: Studies on emulsifying properties of soyabean proteins. VII, Viscosity and emulsion stabilizing property of soya protein isolate-sodium caseinate mixture, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., vol 31, 333-338(1984)

deMan J. M., deMan L., Gupta S.: Texture and microstructure of soybean curd (tofu) as affected by different coagulants, Food Microstructure, 5 : 83 89(1986)

James E. B., David F. O.: Biochemical engineering fundamentals, McGraw-Hill, 2nd ed., 501 508(1986)

Dongwon K., Sunnam K., Woojung K: Effects of mixed coagulants ratio on SPI-tofu charateristics, J. of the Korean Soc. of Food & Nutrition, 21 : 8 103(1994)

Brookfield: More solution to sticky problems : A guide to getting more from your brookfield viscometer, Brookfield engineering Lab. Inc., 3 21(1989)

Brookfield: Technical papers on viscosity measurement and control, Brookfield engineering Lab. Inc., 1 10(1989)

Ohara T., Kurokouchi K., Ohihinata H., Matsuhashi T.: Studies on the coagulation of soymilk in the manufacture of tofu and kori-tofu, III. Measurement of soymilk coagulation by a rotational viscometer (viscograph), J. of Japanese Soc. of Food

Sci. & Tech., 39 : 578-585(1992)

Miura Y., Komeyasu M.: Analysis of rheological properties of soybean milk by the use of a cone-and-plate viscometer, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., 27 : 252-254(1980)

Hashizume K., Maeda M., Watanabe T.: Preparaton of soymilk for tofu making. II. Relationship of heating and cooling conditions to hardness of tofu, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., 25, 387-391(1978)

Yasuda M., Hokoma I.: Studies on manufacture of tofuyo in Okinawa. VI. Production of soybean curd for tofuyo manufacturing, J. of Japanese of Food Sci. & Tech., 31: 19 23(1984)

Sato E., Miki E., Gohtani S., Yamano Y.: The effects of preparation conditions on the physical properties and microstructure of gomatofu, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., 42 : 737 747(1995)

Miura Y., Komeyasu M.: Food technological studies on gelation of soybean protein. III. Effects of heating conditions on rheological properties of soy milk, J. of Japanese Soc. of Food Sci. & Tech., 29 : 45-57(1982)

최서규: **두부제품에 있어서의 당면과제**, **한국콩연구회지**, 5, 1(1989)

김재욱, **조성환**: **농산식품가공**, 208 220(1994)

김학정, **김병용**, **함영태**: **초음파의 지연 시간을 이용한 두부 조직의 물성변화 예측에 관한 연구**, **한국농화학회지**, Vol 38, No 4 : 325 329(1995)

이명환, **안혜숙**: **두부제조시 응고제 및 성형압력이 미치는 영향**, **서울여자대학 논문집**, 12**호** : 345(1983)

전재근: **식품공학**, **개문사**, 4**판**, 29 33(1993)

농수산물 가공산업 육성을 위한 조사 연구, **경기도**(1992)

제 3 장 전통 농산 가공 공정 신기술 개발 분야

제 1 절 서설

1. Microwave 기술의 적용 필요성

Microwave는 300MHz에서 300GHz의 주파수를 생성해내는 전자기파로서, 그 기술은 2차 세계 대전 경 개발되었다. Microwave 에너지를 이용한 가열장치인 microwave 오븐은 magnetron 관과, 전력 공급기, 그리고 금속상자와 공동(空洞)으로 구성되어 있다.

Microwave 기술은 식품 가공분야에서는 감자 칩의 건조, 데치기, 냉동 건조, 진공 건조, 살균, 해동에 활용되고 있다. 한편 식품 추출 공정에도 일부 적용되어 설탕, 단백질, 아미노산, 색소, 효소 제조에 폭 넓게 이용되고있으며, 우리 나라의 경우 전자레인지의 생산 기술이 세계적인 수준이어서 microwave 기술을 농산물 가공 공정에 활용하는데 유리한 조건을 갖고 있다.

2. 초음파 여과 공정

초음파는 일반적으로 사람의 귀로는 들을 수 없는 20KHz 이상의 높은 주파수의 세로파(longitudinal wave)이다. 초음파는 매질의 종류에 따라 세로파외에 가로파 또는 횡파(transverse wave)와 표면파(surface wave)도 함께 발생되어 음파와 구별되기 어려우나 귀로들을 것을 목적으로 하지 않는 세로파로 정의할 수 있다. 초음파는 발생기술 및 출력 감지기술이 주로 군사적 목적으로 개발되어 왔기 때문에 산업적 응용이 늦게 시작되었다.

초음파 기술의 실용화는 1921년 프랑스의 Langevin에 의해 고출력의 측심기가 개발되면서부터이다(Frederick, 1965). 1927년에는 Wood 등에 의해 미립자의 응집, 유화, 콜로이드의 분산, 세포파괴 등에 관한 연구가 수행되었다(전자

기술 연구회, 1989). 1946년 이후 초음파가 산업적으로 본격적으로 응용되기 시작하면서 금속용접, 에칭, 도금, 전기광, 주조, 천공 등의 작업과 화학 공정에 활용되었으며 유속, 수위 측정 등의 계측과 공정의 제어에 쓰이고 있다. 초음파 기술은 의학분야에서 성과를 거두어 치료, 수술, 진단용 등에 각광을 받고 있다(Frederick, 1965, 전자 기술 연구회, 1989, 권혁남, 1989, Steinberg, 1965, Erikson, 1974).

초음파의 식품산업에서 응용은 비교적 최근에 시작되었는데, 원료 및 용기의 세척, 호프 등의 단백질이나 지방의 추출, 건조, 맥주 및 음료의 거품 조절, 초코렛 제조, 술이나 음료의 숙성 등에 이용되고 있다(Atkins 등, 1965, Heath 등, 1980, Dawson 등, 1961, Wang 등, 1978, 1983, 1984, Schroder, 1953). 초음파는 식품공정의 계측용으로도 사용되고 있는데, 육류의 조직검사, 액체식품의 점도측정, 저장 및 반응기 내의 액위 측정, 식품 품질평가 등에 응용되고 있다(Azhar 등, 1979).

이와 같이 초음파의 응용분야는 점차 넓어지고 있으며, 새로운 응용 분야로서 초음파를 여과 공정에 활용 할 수 있는 가능성이 크다. 여과 공정에서는 여과박의 압축 변형에 따른 여재의 공극 감소로 인한 여과 속도의 감소 현상 때문에 여과는 시간이 많이 소요되어 주류, 제당공업 등에 생산공정의 흐름에 병목현상을 유발한다(Sarker 등, 1988). 이러한 문제점을 해결하기 위해 숯, 규조토 등의 여과 보조제나 접선류 여과방식을 이용하여 여과속도의 증가를 꾀하고 있으며 어느 정도 성과를 거두고 있다(Robinson 등, 1974). 그러나 여과 공정은 그 자체가 복잡하고 다양한 변수가 관여되며 여과박의 형성과 여재 공극의 막힘 등의 장애요인은 본질적으로 제거되기는 어렵다.

초음파의 특성인 액체 중에서 기포의 형성과 소멸로 인한 공동화와 매질의 진동현상은(Frederick, 1965, 전자 기술 연구회, 1989) 여과박의 구조를 바람직한 방향으로 개선할 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 초음파 기술을 식

품의 여과 공정에 활용할 수 있는지를 확인하고자하였다. 특히 초음파 여과에 필수적인 초음파 발생장치 및 초음파 여과 시스템을 제작하여 대두가공 식품을 대상으로 실험하였다.

3. Ohmic heating을 이용한 식품의 선택적 가열 공정

전기저항 가열(Ohmic heating)이란 식품에 전기적 에너지를 가진 전류를 통과시켰을 때 식품 자체가 가지는 전기적 저항성에 의해 발생하는 열을 이용하여 식품을 가열하는 방법이다.

일반 가열방법에서는 식품내부에서 불균일한 가열현상이 일어나게 되고 액체·고체 혼합식품의 가열 살균시 액체성분이 과열되는 현상이 일어나는데 비하여 Ohmic heating은 식품 내부가 균일하게 가열되며 고·액 혼합식품에서는 고체가 먼저 가열되는 현상을 보이고 있으며, microwave 가열에서와 같이 식품을 투과하는 두께에 제한이 없다.

Ohmic heating은 교류전류 공급장치가 필요하고 인가전압을 높이면 열전달속도는 증가하며 주파수를 높이면 통전량을 증가시킬 수 있어 가열효율을 더 높일 수 있다. 이 밖에도 Ohmic heating은 whiting surimi gel의 기능성의 향상과 미생물 배지살균, 해동, blanching, 추출 등 일반적인 가공목적에 다양하게 이용되고 있다. 또한 식품 내에 존재하는 전해질에 따라 통전율이 변화하므로 식품에 첨가하는 식염의 농도가 높은 부분이 선택적으로 가열되는 현상이 일어난다. 이와 같은 가열현상은 기존 가열방법과는 전혀 다른 것이므로 염의 농도를 부위별로 조절한 식품을 가열할 경우 특정부분의 선택적인 가열이 가능하게 된다. 즉 같은 식품이라도 염 첨가량이 다를 때 가열속도에 차이가 발생한다는 것을 이용하면 염농도를 달리한 gel이나 얼음 혹은 기타 식품을 여러 모양으로 가공하는 데 이용할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 Ohmic heating에 이용될 수 있는 가변주파수발생 교류

장치를 설계 제작하여 액체 및 반고체 모형식품과 염의 종류 및 첨가량에 따른 품온의 변화와 통전량을 계측하고 선택적 부분가열 현상을 이용한 가공방법 개발을 시도하였다.

4. 초단파를 이용한 두유 추출 공정의 특성

초단파는 전기장의 급격한 역전을 통해 물과 같은 극성 분자의 진동을 유도하여 식품 내에서 열을 발생시킨다(Owusu, 1992). 이러한 초단파의 작용은 추출 공정에서 원료 식물 세포 및 조직의 변화를 유발한다(Maheshwari 등, 1981). 본 연구에서는 초단파에 의한 분자의 진동과 함께 식품의 미세구조가 파괴되어 (Rosenberg and Bogl, 1987) 세포 내용물이 용매로 이동되는 추출 현상이(Fig. 3-1) 촉진됨을 확인하고자 6종의 국내 장려 품종 콩에 대하여 conventional water bath system과 microwave water bath system에 의한 두유 추출 공정을 비교하였다. 수용성 단백질 농도와 수율을 결정하고 6개 품종 중 선택된 품종에 대하여 반응표면분석을 통해 동적 변화를 모니터링 하였다. 수용성 단백질의 조성을 전기영동으로써 분석 하였으며 전자 현미경으로 초단파 처리가 콩의 세포 구조에 미치는 영향을 조사하였다.

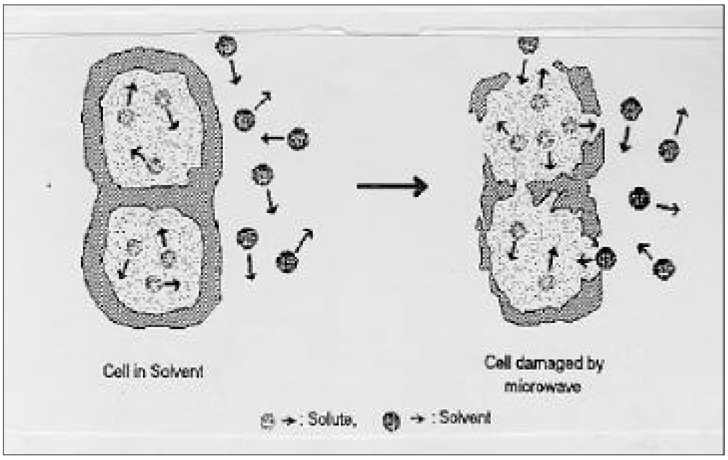


Fig. 3-1. Effect of the microwave heating on microstructure of food tissue

제 2 절 이 론

1. 초음파의 이론적 성질 및 여료내에서의 작용

산업적으로 사용되고 있는 초음파는 20KHz 이상의 세로파로서 500KHz까지 사용되고 있다. 일반적으로 초음파는 매질의 진동에 의해 전달된다. 초음파가 방사됨에 따라 음원의 표면에는 음압이 발생하고, 음압발생의 결과로 음파의 진행방향으로 액체의 흐름, 즉 직진전류가 발생한다. 초음파의 강도는 이러한 유체의 평균흐름 속도를 일으키는 에너지를 의미하며, 초음파의 전달은 매질의 저항을 받게 되는데 임피던스로 정의된다. 이때 임피던스 Zac는 다음과 같다.

$$Zac = \frac{Cr}{Ps} \quad \text{-------------} \ (1)$$

$$= R + jX \quad \text{-------------} \ (2)$$

Ps : 음압의 평균값 Pa
Cr : 방사속도 m/s
R : 음향저항 ρC Pas/m
jX : 매질강도와 관성으로 인한 저항 Pas/m

이때 방사파가 평면 진행파 일시는 방사저항은 매질의 밀도와 음속의 곱으로 나타나고, 경계면에서 반사 및 투과도의 차이가 생기게 된다. 특히 초음파가 경계면에 수직으로 입사시에는 음압반사비(Pr), 음압투과비(Pt), 초음파 강도의 반사계수(Ir) 및 투과계수(It)는 다음과 같다.

$$Pr = \frac{Pr}{Pi} = \frac{\rho_2 C_2}{\rho_1 C_1} \quad \text{------------} \ (3)$$

$$Pt = \frac{Pt}{Pi} = \frac{2\rho_2 C_2}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \quad \text{------} \ (4)$$

$$Ir = \frac{(\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1)^2}{(\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2} \text{ --------- } (5)$$

$$It = \frac{4\rho_2 C_2 \rho_1 C_1}{(\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2} \text{ --------- } (6)$$

Pi, Pr, Pt : 입사, 반사, 투과음압(Pa)

초음파는 매질의 방사저항에 의해 매질속에서 흡수되거나 혹은 경계면에서 투과가 일어난다. 특히 고유저항이 1.48x106 Pas/m로 동일한 물과 천연고무와 같은 두 매질의 경우 $\rho_2 C_2 = \rho_1 C_1$이 되어 음압반사비와 강도반사계수는 0이 되므로 음압의 반사와 강도의 감쇠가 일어나지 않고, 음압과 강도는 물과 고무의 경계면을 통과한 후에도 그대로 보존되어 효율적으로 이용된다. 다른 예로 세포내나 호프 등에서 단백질, 그리고 육류 등에서 지방의 선택적 추출 시에도 응용되고 있다. 여과시스템의 경우, 매질은 식물성 및 동물성조직의 혼합체이나. 대부분이 물이므로 ρ food ≒ ρ water이다. 따라서 초음파의 여료내에서의 전달은 무난할 것이나 입자사이에서의 명확한 행동은 예측되기 힘들다.

한편 초음파가 입사되는 물질 고유의 방사저항($\rho_2 C_2$)이 클수록 음압투과비와 강도투과비가 커지므로 음압과 강도가 잘 유지되며, 고유저항이 작을수록 매질에 잘 흡수된다. 이로 인해 초음파 흡수 부분에서 국부적으로 에너지를 발산하여 발열이나 압력의 증감을 일으키게 된다. 이는 여과 공정에 응용시 아주 유익할 것으로 추측된다. 여재나 여료를 적절히 선택하여 상대적으로 고유방사저항이 클 것으로 예상되는 여과박부와 고유방사저항이 적을 것으로 예상되는 여제부위를 선택하여 집중적으로 초음파를 흡수, 반사시킴으로써 여과효율을 극대화 시킬 수 있을 것이다.

여료는 고체 함량이 적고 액체의 함량이 많아서 액체와 같이 취급될 수 있

다. 액체내 초음파 강도가 3.5kW/m^2 이상이 될 때, 압력진폭이 1기압 이상이 되어 기포가 생성되고 소멸되는 공동화 현상이 일어난다. Webster 등이 발표한 바 있는 공동현상이 발생할 때는 주기성과 밀접한 관련성이 있을 것이다. 기포 생성시에는 핵이 필요한데, 지름 2×10^{-5} ~ 10^{-6}cm로 액체중에 이미 존재하던 기포, 용기틈이나 먼지, 그리고 액체격자 사이의 빈 구조가 핵으로 작용하여, 이들이 초음파 조사시 감압측의 반주기로 발생하는 액체를 가르는 힘에 의해 공동(cavity)을 생성한다.

초음파는 몇 번 주기의 진동이 계속되면서 기포의 주위로 부터 기체나 증기를 받아들이고, 평균 직경을 $2x10^{-3}$ ~ 10^{-2}cm로 증대시키며 진폭도 커지므로 내부 중심의 압력은 약 7500psi로, 온도는 약 700℃로 올라가게 된다. 다음의 압력측의 반주기에 기포는 밀려서 일그러지고 순간적으로 붕괴되면서 충격적으로 큰 압력을 매우 국소화된 부위에 방사함으로써 기계적인 작용을 하게 된다. 이러한 공동화 현상이 여과에 있어서는 도움을 줄 것인지 또는 좋지 않은 결과를 초래할지는 예측하기 힘들다. 그러나 여액을 제품으로 생산하는 여과공정에서는 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 초음파는 조사시 공동화 현상뿐만 아니라 전도매체를 진동시키며, 용존산소나 기포를 액외로 방출시키는 탈기현상을 일으키므로 이들이 서로 액체와 상호 작용하면서 상승작용을 일으키게되다.

2. 초음파 공정에서의 주요 요소

여과는 다공성의 여재를 사용하여 고-액 혼합물을 분리하는 공정이다. 일반적으로 여과속도는 여과저항에 크게 영향을 받는데, 이는 주로 여과박에 의한 저항 Rc와 여재의 저항 Rm에 기인한다.

$$\frac{1dV}{AdT} = \frac{\Delta P}{\mu(Rm+Rc)} \quad ----------- \quad (7)$$

초음파가 액체 중에 조사시에는 맹렬한 공동화나 진동 현상이 일어나 여재를 직접 자극하거나 여과박에 작용하여 여과박이 본질적으로 쌓이지 않도록 방사압을 분사하거나 기계적 작용으로 여재를 흔들어 고형물이 막힘을 방지하여 pore의 확보가 가능하다. 이로써 여재 저항성 R_m과 여과박 저항성 R_c를 동시에 낮춘다.

또한 초음파 조사시의 강렬한 공동화 현상은 순간적으로 국소화된 부위에 500-1000기압을 방출함으로써 여과 구동력인 압력차 ΔP에는 영향을 끼치지 않고 국소적으로만 증대시켜 여과박의 구조변경이나 여재를 진동시켜 여재공극을 확보하여 여과속도를 증대시키는 한 요인이 될 수 있다. 공동화 현상으로 인해 고압이 발생시에 기포중심부에서는 약 700℃의 고온이 된다. 기포 하나하나의 열은 크지 않고 다수의 기포가 동시에 생성, 소멸하므로 용기내 액체의 온도는 약 2시간 정도 조사시에 5-10℃ 상승하게 된다. 이러한 온도상승은 여과액의 점도에 영향을 줄 수 있다.

한편 공동화가 발생하면 큰 분자량의 물질은 변형 또는 파괴되므로 응력이 감소하게 된다(1, 13). 이 또한 점도를 감소시키므로 여과속도 증대의 한 요인이 될 수 있다.

이상과 같이 초음파를 식품의 여과에 사용시 공동화를 이용하여 여과속도를 본질적으로 증대시킬 수 있으리라 생각된다.

3. 초음파 여과시스템의 설계요소

초음파 여과에 있어서 중요한 것은 정선된 초음파의 발생 및 이의 감시와

제어이다. 최근 반도체 공업의 발전은 이러한 장치의 설계와 제작을 용이하게 해 주었는데, 특히 Op. Amp., Linear IC 등의 반도체 소자의 기술발전은 이에 기여한 바 크다. Fig. 3-2는 이러한 반도체 소자를 사용한 시스템의 전체 block diagram이다.

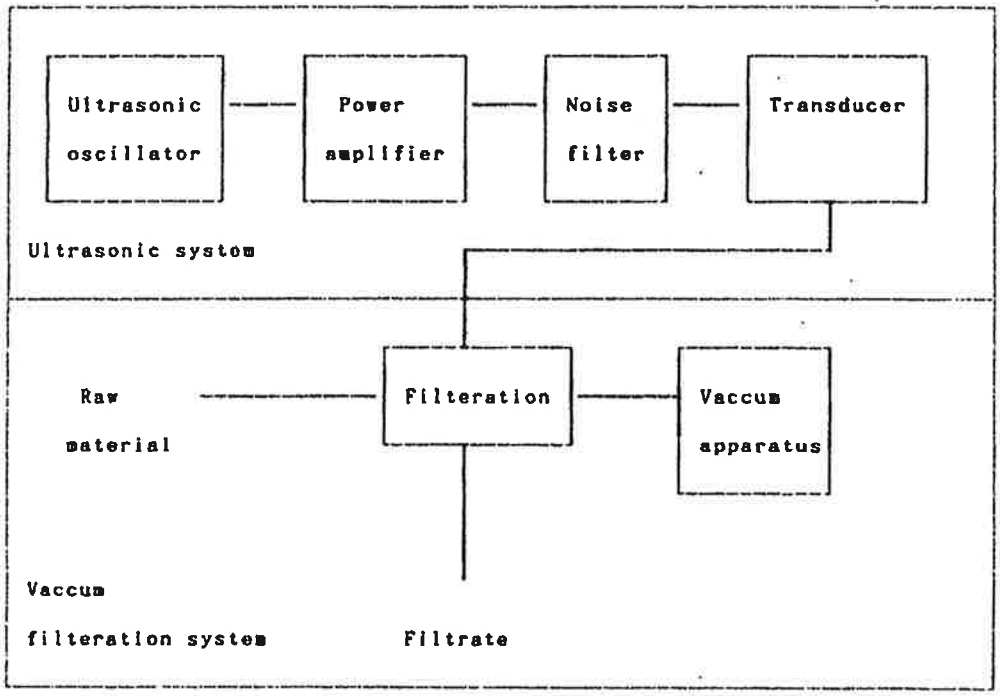


Fig. 3-2. The schematic diagram of ultrasonic filtration system

초음파 발진회로는 정형파 발생장치이면 무엇이나 가능하다. 발진회로는 크게 자려방식과 타려방식(주발진 전력증폭식)으로 크게 나누어진다. 자려발진방식은 발진부를 출력부와 구분하지 않고, 출력관이나 파워 트랜지스터로 발진시켜 그때 공진점 부근에서 주파수 및 전력이 급상승하는 인입현상을 일으켜서 불안정한 발진을 하고, 이를 보정하기 위해 결합도를 낮추면 충분한 전력을 내기가 어렵고 조정이 까다로운 단점이 있다. 한편 타려방식의 경우

발진부와 출력부가 분리되어 있고, 발진기는 비교적 작은 전력의 소자로 구성되어 그 출력을 전압 및 전력 증폭하는 것이다. 따라서 부하의 상태가 발진부에 영향을 주지않고 발진도 안정하여 인입현상을 일으키지 않으며, 필요시 주파수 변이도 간단하므로 사용목적이 다양한 실험 연구용에도 적합하다.

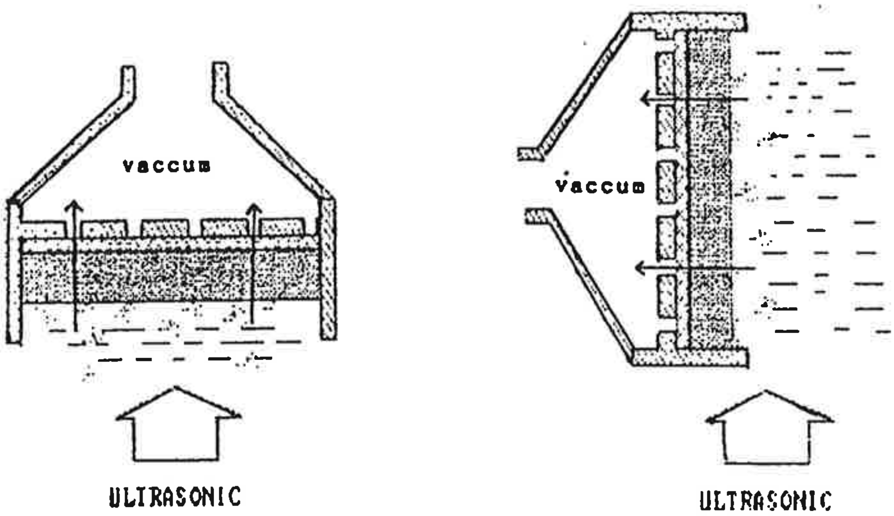
진동자(transducer)는 발진된 정형파를 상응하는 음압으로 바꾸어 주는 변환기로 압전방식(piezoelectric)과 자왜방식(magnetostrictive)이 있다. 압전방식에는 수정, Rochelle염 등의 전압을 인가시 압축 또는 팽창하는 물질을 사용한 압전식과 Barium titanate와 PZT(lead zirconate-titanate)등의 쌍극자를 지닌 물질을 사용하는 전왜식(electrostrictive)이 있고, 자왜방식은 니켈, 페라이트 등의 자기장하에서 진동하는 물질을 이용하게 된다. 수십 kHz의 낮은 주파수에는 압전방식의 경우 랑지방형을 사용하는 데, 이는 2개의 금속괴 사이에 압전형 진동자를 끼워 전체적으로 수십 kHz에서 공진하도록 한 것으로 최근에는 큰 출력에서 요구되는 기계적 강도에도 견디도록 설계한 볼트 조임 랑지방형 진동자가 널리 사용되고 있다.

발진된 초음파는 여과공정이 일어나는 여재와 여과박 부분에 효율적으로 조사되는 것이 필요한데, 될수록 초음파 투과능이 좋은 용기를 사용하여 손실이 적게 일어나게 하는 것과 용기내 상태에 따라 초음파 강도가 최대가 되는 부분에서 여과가 일어나게 거리를 조절해 주는 것이다. 일반적으로 용기는 초음파의 공동화에 의해 적게 침식이 일어나고 투과능이 좋은 스텐레스 스틸이 널리 쓰이고 있다. 진동자와의 거리는 통상 가까운 것이 좋으나 용기내에 정재파가 발생시에는 파장의 1/4, 3/4이 방사면과 2/4 파장보다 출력이 커지므로 용기내 물질의 종류, 액체의 높이, 주파수, 주위 온도나 압력에 따라 총괄적으로 조절하여야 한다.

초음파를 여과부에 조사시 직접 여료 속에 조사하여 여과하는 방식과 여과장치를 수조 속에 두고 물을 통하여 간접적으로 조사하는 방식이 있을 수 있

다. 일반적으로 직접조사식은 수직형 여과방식과, 간접조사식은 수평형 여과방식과 잘 정합된다고 할 수 있다.

Fig. 3-3은 전체 개략도이다.



(a) vertical irradiation type (b) horizontal irradiation type

Fig. 3-3. Ultrasonic irradiation method for the vacuum filtration

4. Ohmic heating의 특성 및 주파수 설정

가. Ohmic heating의 특성

식품은 완전한 전도체가 아니므로 식품에 전류가 통과하게 될 때 저항열이 발생하게 되는데 상용교류를 사용할 때 기본적인 에너지 발생은 식 (8)과 같이 Joule의 법칙을 따른다.

$$Q = V \cdot I = I^2 \cdot R$$

또는

$$Q = V^2 \cdot K \quad (8)$$

V : voltage gradient(V), I : current(A), R : resistance(Ω)
Q : energy-generation rate per unit volume (W · h)
K : electrical conductivity

Ohmic heating 현상에서 가열시간(θ)에 따른 품온의 상승속도는 다음 식 (9)와 같이 식품의 통전에 의한 발열량 Q에 비례하며 밀도와 비열에 반비례하는 것으로 밝혀졌다.

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{Q}{\rho C_p} \quad (9)$$

또는

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{V^2 K}{\rho C_p} \quad (10)$$

식에서

C_p : heat capacity (J/kg · K)
ρ : density (kg/m^3)

Ohmic heating은 전압(V)이 구동력이기 때문에 열원과 식품의 온도차이에 관계없이 가열되어 품온이 상승하고 구동력의 감소현상이 발생하지 않는 특징을 갖는다.

Ohmic heating과 같이 저주파교류 가열은 유전체적 관점을 도입하여 전기저항체적 관점과 접목시켜 해석하고 있는데 가열장치에 쓰이는 양단의 평판전극은 콘덴서로 보며 가열재료는 유전체로 볼 수 있다. 유전체는 외부에서 가해진 전기장에 의해 분극을 일으키는데 이 분극이 교류전기장에 대해 편기, 편향이 반복되며 이로 인한 마찰과 제동력에 따라 위상차를 일으키며 콘덴서가 가지는 정전용량은 다음과 같이 유전율에 영향을 받는다.

$$C = \varepsilon^* \frac{S}{d} \qquad (11)$$

식에서

ε^* : 유전율, S : 전극면적(m^2), d : 전극사이의거리(m)

이때 유전체의 유전율은 식 (12)와 같이 복소수 함수로 정의된다.

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \frac{\varepsilon_0}{1 + R^2C^2\omega^2} - i\frac{\varepsilon_0 RC\omega}{1 + R^2C^2\omega^2} \qquad (12)$$

식에서

ε' : 유전율의 실부, ε'' : 유전손실율,
R : 유전손실에 따른 저항(Ω), i : 복소수

따라서 유전체 안에서 발생되는 열은 유전손실에너지(P)로 나타낼 수 있는데 식(13)과 같다.

$$P = \frac{1}{2}\omega\varepsilon''\frac{S}{d}V^2 \qquad (13)$$

대부분의 고체물질은 60℃근처에서 세포벽 분자의 파괴로 전도도가 급격히 증가한다. 따라서 기존의 가열공정 특히 살균시 cold point까지 동일하게 가열해야 하며 열전달이 동일한 속도로 진행되지 못할 경우 과열되는 문제점을 가지고 있다. 특히 고체입자가 함유된 식품(길이가 25mm이상)의 경우 액상이 과열될 우려가 있다. 그러나 ohmic heating의 경우 전도도와 온도가 전기장의 세기가 증가함에 따라 비례적으로 증가하므로 식품 내외부의 온도차에 관계없이 균일하게 가열되기 때문에 고체의 농도가 높거나 입자의 크기가 큰 경우에도 유용하게 이용될 수 있다.

나. Twin-T 회로에서의 주파수 설정

전류가 일정한 방향으로 흐르는 직류와는 달리 교류는 일정한 주기를 가지며

전류의 방향이 바뀌므로 직류를 사용하여 가열할 때보다 극판에서 발생되는 전기분해물질이 적고 안정적이다. Ohmic heating에서는 식품이 전기저항체로 작용한다고 볼 때 교류전원의 주파수에 영향을 받게 된다.

Twin-T 회로에서는 저항값과 콘덴서의 값이 주파수와 반비례관계가 성립되기 때문에 주파수를 크게 할 경우 통전량을 높일 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (14)$$

따라서 60Hz 전원을 사용하여 주파수를 높여 가열할 수 있도록 콘덴서의 용량(C)을 일정값으로 고정하고(104pF, 102pF) 저항값을 변화시켜 다양한 주파수를 발생시켜 ohmic heater의 전원으로 사용할 수 있다.

제 3 절 재료 및 방법

1. 재료

가. Microwave 추출 공정 개발

Microwave 추출공정개발을 위해 원통형 cavity와 도파관은 stainless steel (thickness: 3mm)로 제작하였고 2.45GHz의 주파수를 발생하는 magnetron (삼성전자)을 채택하였다.

MAE(Microwave Aided Extraction) 추출 공정을 위한 시료는 녹차 분말 (-10 +20 mesh)과 치자 분말(-6 + 8 mesh)이 사용되었다.

추출용매로는 증류수를 사용하였으며, 온도 조절기에 의해 20℃로 유지되었다.

나. 초음파 여과 실험 재료

장류여료는 서울대 식품공학과 식품공장에서 제조한 2개월간 숙성된 된장(콩:보리 = 2:1) 50g을 물 5L에 넣어 2일간 침지시키고, Waring blender로 약 3분간 균질화시킨 후 사용하였다.

전분여료는 건조된 밀전분 50g을 물 2.5L에 혼합하여 2시간 침지시키고 2.5L의 물을 첨가한 후, 0.4기압에서 2시간 탈기시켜 조제하였다.

두유여료는 시장에서 구입한 신선한 대두를 필요에 따라 50, 100, 150g을 물 5L에 혼합하여 2일간 침지시킨 후 Waring blender로 3분간 균질화시켜서 조제하였다.

다. Ohmic heating시료

모형식품으로는 NaCl용액과 agar gel 및 얼음을 사용하였다. NaCl 용액의 농도는 0.0~0.5% 수준이었고, agar gel은 2%(w/w)의 agar와 여러 농도의 NaCl

을 포함하도록 만들어 실온에서 응고시켜 사용하였다. 그리고 여러 수준의 NaCl 용액을 동결시킨 얼음을 사용하였다.

라. 초단파를 이용한 두유 추출

시료는 서울대학교 농학과에서 제공한 화성북, 단백, 두유, 남천, 신팔달 2호, 백운등 6종의 국내 장려 품종 콩을 구하여 분쇄기로 분쇄한 후 30 mesh 체를 통과시켜 준비하였다.

추출 시스템은 일반 항온수조(conventional water bath system, KMC-1205SW1 Vision Co., Korea)로 분쇄한 콩 시료를 추출하였다. 초단파 추출 시스템으로는 microwave oven(RE-390BM, 삼성전자)을 사용하였고, microwave power control에는 Green-kit 88(ESD Co., Japan)을 이용하였다. Hybrid recorder (HR-2500E, Yokogawa Co., Japan)를 사용하여 온도를 계측하였는데, 온도센서로는 microwave용 thermister를 사용하여 온도를 측정하였다. Green-kit와 hybrid recorder를 RS232C 전송방식(serial communication)으로 개인용 컴퓨터에 연결하고 software로는 Lab Windows/CVI (ver 3.1, National Instruments Co., USA)를 사용하였다. 전력는 미분 제어 방식을 사용하였고, ON/OFF의 duty time을 부분적으로 조절하여 설정된 온도 값에 수렴하도록 하였다. 수용성 단백질의 추출은 1g의 시료를 10ml 증류수로 80℃에서 10분간 행하였다.

2. 방법

가. MAE 시스템을 이용한 농산물 추출 시험

1) 녹차의 추출

녹차의 추출 효율은 Spectrophotometer를 이용하여 270nm에서 흡광도를 측정하여 나타내었다.

2) 치자 색소의 추출

치자의 추출물은 spectrophotometer의 파장 주사에 의해 관찰된 최대점인 440nm에서 측정되었다.

3) 온도의 측정

온도의 측정은 T-type thermocouple로 측정하였으며 측정된 자료는 hybrid record(HR-2300, Yokogawa, Japan)으로 수집하였다.

4) Electric field intensity 분포 측정

Cylinder형 cavity 안의 electric field intensity의 분포를 알기 위해 I-DEAS Master Series 3 : simulation program을 이용하여 cavity의 무부하 상태에서의 simulation을 수행하였다.

나. 초음파 여과 실험 방법

1) 초음파 여과 방법

자체 설계 제작한 감압여과 장치에 초음파 발생장치를 설치하여 28.2kHz의 초음파 조사하에서, 감압으로 압력차이를 0.1-0.2bar 사이의 일정한 감압하에서 여과를 하였다(Fig. 3-19, 20 참조). 이때 사용한 여재로는 여지(Whatman filterpaper No.43)와 직물(polyester, 평직, 밀도 72x72)을 사용하였다. 초음파의 감시는 초음파 장치에 별도로 설계 제작한 감시용 LED array의 점멸로 하였다.(Fig. 3-18 참조)

2) 초음파 회로 출력검사 방법

알루미늄 호일(미성, 두께 0.1mm)을 물에 담그어 초음파 발생면에 평행한

위치로 하였을 시, 초음파에 의해 발생하는 천공도로 판별하였다. 발진 장치 및 계측장치의 설계 및 제작시 전기 특성은 디지탈 볼터미터와 오실로스코프 등을 사용하여 측정하였다.

다. Ohmic heating 장치 개발 방법

1) Ohmic heater의 전원 발생장치

Twin-T 회로를 사용한 100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz의 6개 주파수별 교류 전원을 발생시키는 발진부와 이곳에서 발생된 신호를 150W까지 증폭시킬 수 있도록 STK4048II IC를 사용한 증폭장치를 이용하여 실험에 사용할 수 있도록 구성된 Ohmic heating 장치를 설계 및 제작하였다.

2) 온도 계측 방법

가열 중 식품의 품온을 측정하기 위하여 에폭시로 코팅된 thermocouple (Type T)을 사용하였으며 이 thermocouple의 welding 부분은 epoxy resin으로 coating하여 절연시켰다. Thermocouple 계측신호는 multi-channel recorder(HR2300, YOKOGAWA)로 기록하고 GPIB(General Purpose Interface Bus, IEEE-488) 통신 방법을 통해 personal computer에 전송하였다.

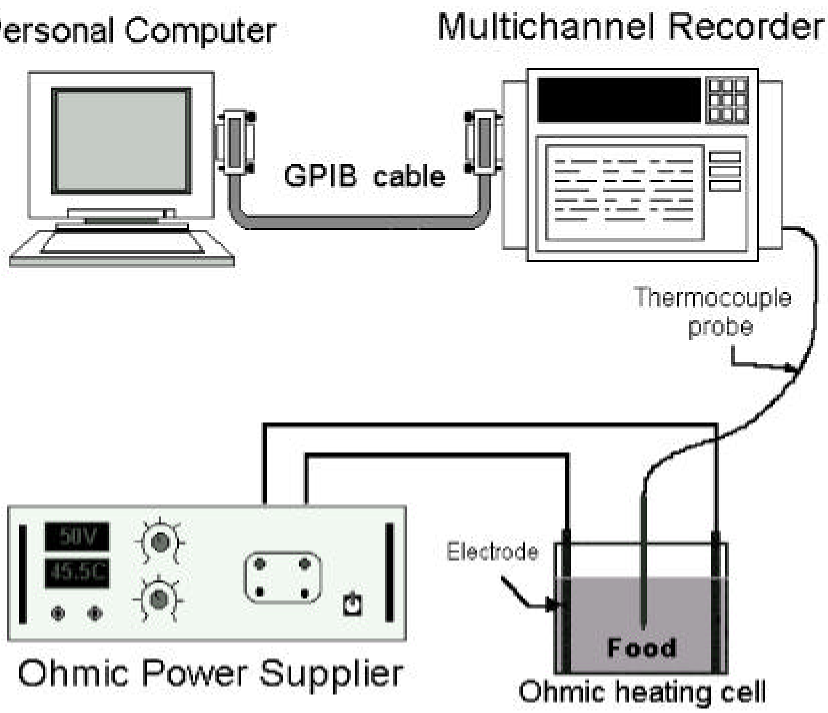


Fig. 3-4 Schematic diagram of salt solution heating system

3) Ohmic heating system의 주파수 측정

전원의 파형과 주파수는 digital oscilloscope (DCS7020, 10Mhz, KENWOOD)로 측정하였다.

4) Voltage, Current 및 Power의 측정방법

식품에 흐르는 전류의 양은 digital powermeter (2533, YOKOGAWA)로 측정하였다. 즉 Fig 3-5와 같이 Ohmic power supplier의 출력을 powermeter를 통해서 Ohmic heating cell에 공급되도록 하였다. 전원공급부에서 가열장

치까지 연결된 도선에서 손실되는 전압과 극판에서 손실되는 전압은 고려하지 않았다.

Powermeter에서 측정된 전압, 전류 및 전력값은 GPIB 통신을 통해 PC에서 값을 저장할 수 있는 프로그램을 개발하여 사용하였다.

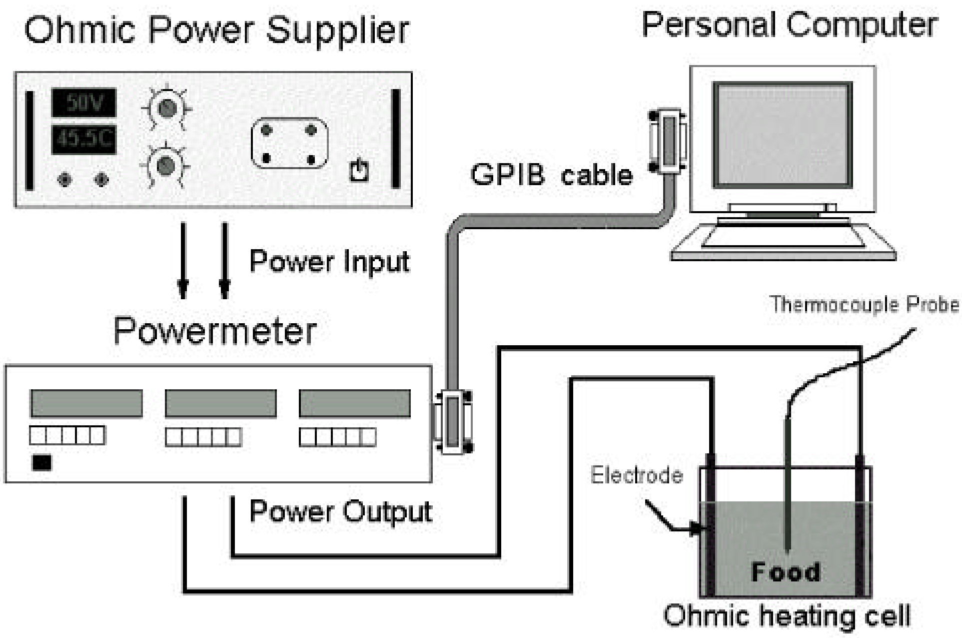


Fig. 3-5 Schematic diagram of power measuring system

5) 액상 식품의 가열방법

농도가 각각 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5%인 NaCl용액 500ml를 Fig. 3-8과 같이 사각형 poly propylene용기(150×100×80mm3)의 양쪽에 알루미늄 전극판을 설치한 Ohmic 가열용기에 액체식품을 넣고 통전하여 가열하였다. 전원은 100V, 60Hz의 상용교류를 사용하였다.

6) Gel의 가열방법

알루미늄 극판을 고정시킨 폴리프로필렌 용기(110×70×35mm3)에 agar gel용액을 응고시킨 후 극판에 전극을 접촉시켜 가열하였다.

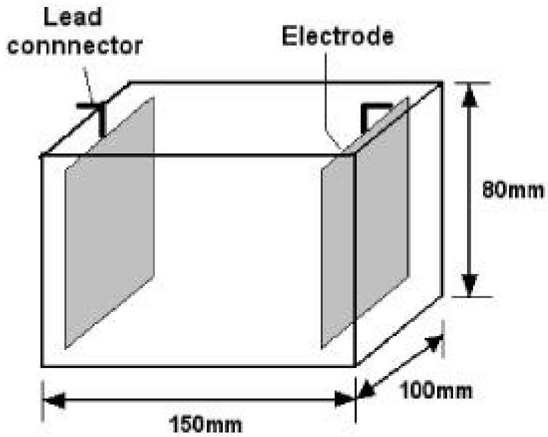
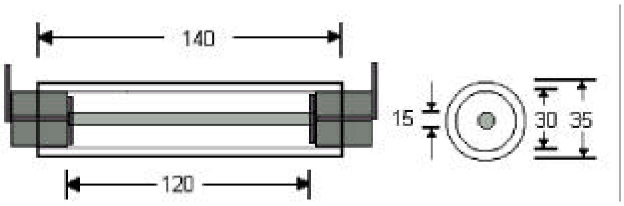


Fig. 3-6. Ohmic heating cell for liquid food of NaCl solution

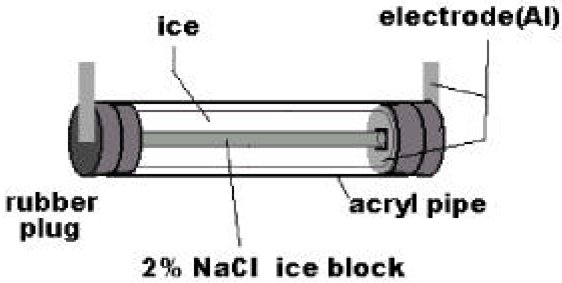
7) 重層 NaCl용액의 동결 및 해동

원통형 중층 얼음막대를 만들기 위하여 Fig. 3-9와 같은 cell을 사용하였다. 동 cell은 NaCl 농도가 상이한 부분에 대한 ohmic 해동 현상을 관찰할 목적으로 투명 acryl pipe(ID:30mm, OD:35mm, L:140mm)로 제작하였다. Cell의 중앙에는 또 다른 acryl관(ID:10mm, OD:15mm, L:120mm)을 Fig. 3-9의 (a)와 같이 삽입할 수 있도록 하였다. 우선 중앙의 아크릴관을 넣은 상태에서 shell 부분에 증류수를 채우고 마개를 한 후 -20℃로 동결하였다. 그 후 작은 acryl pipe를 제거한 후 빈공간에 미리 0℃ 냉각한 2% NaCl 용액을 넣어 -20℃로 급냉하였다. 그 결과 Fig. 3-9의 (b)와 같은 동심원의 NaCl 용액 중층 얼음막대를 만들었다. 제조된 중층 얼음막대는 그대로 해동시험에 사용하였는데 해동시 누출되는 액체의 손실을 막고 전극과 얼음이 밀착하여 가열될 수 있도

록 관의 양 끝을 전극이 부착된 탄력성이 있는 고무마개로 막은 후 전원을 인가하였다.



(a) Ice heating cylinder cell (Unit:mm)



(b) Ice cylinder showing co-centric 2% NaCl ice bar

Fig. 3-7. Heating system of ice block

라. 초단파 가열을 이용한 두유 추출 공정의 특성

연속식 초단파 추출 장치는 다음과 같이 제작하여 운용하였다. 실린더형의 공극 안에 열교환기를 설치하고 파이프의 양단에 실리콘 튜빙을 통해 콩 슬러리를 공급하고 추출액을 받았다. Microwave cavity내의 heat exchanger로서 다음과 같은 유리관을 제작하였다.

- One long coil type : diameter 10mm, length 20 cm (coil 1)
- Two short coil type : diameter 10mm, length 7cm × 2 (coil 2)

- Small cylindrical type : diameter 15mm, length 20cm (cylinder 1)
- Large cylindrical type : diameter 20mm, length 20cm (cylinder 2)

콩 슬러리와 가수량의 비를 1:100, 1:50, 1:20, 1:15, 1:10의 5가지 수준으로 설정하여 실험하였다.

조성 분석을 위하여 수분 함량은 적외선 수분 측정기(FD-100,Ketto Co.,Japan)를 사용하여 측정하였고, 총 질소 정량에는 Kjeltec system(Tecator Co., Sweden)을 사용하였으며, 조단백질은 6.25×N으로 계산하였다. 조지방 정량에는 diethylether를 용매로 Soxtec system(Tecator Co., Sweden)을 사용하였고, 회분의 함량은 550℃ furnace에서 시료를 회화시켜 구하였다. 모든 분석은 A.O.A.C.방법을 이용해 두 번씩 시행하였다.(Sullivan and Carpenter, 1993)

수용성 단백질의 전기영동은 Acrylamide : bis acrylamide = 19 : 1로 5% stacking gel과 8% separating gel로 단백질 밴드를 분리하였다.(Laemmli, 1970) Protein marker로는 분자량이 45 205 kDa인 것을 사용하였다. Gel 염색은 0.1% Coomassie brilliant blue R-250을 사용하였고 10% acetic acid와 10% methanol로 탈색하였다. Polyacrylamide gel에서 분리된 단백질 밴드를 densitometer로 정량하여 단백질의 상대적 농도의 변화 양상을 조사하였다.(Bollg등, 1996)

선택한 품종으로 중심합성계획에 따라 16개의 실험구를 계획하여 반응표면분석을 수행하여 가열시간, 가열온도, 가수량과 기질비의 수율과의 동적 변화를 모니터링 하였다.(Box등, 1978)

콩을 12시간 동안 상온의 물에서 불린 후 초단파 추출 시스템으로 80℃에서 10분 및 15분 처리하였다. 처리한 시료를 phosphate buffered saline(PBS)에 담그고 5% paraformaldehyde와 5% glutaraldehyde를 첨가한 후 4℃에서

4시간 동안 정치하여 단백질을 고정시켰다. 0.1M PBS로 3번 세척한 후 2% OsO_4를 첨가한 PBS에 시료를 담그고 4℃에서 4시간동안 지방 고정을 하였다.(Mills and Chong ,1977) 0.1M PBS로 3번 세척하고 에탄올로 탈수한 다음 금으로 코팅하여 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope, Model JSM-5410LV, JEOL Co., Japan)으로 관찰하였다.(Hayat, 1970)

제 4 절 결과 및 고찰

1. Microwave 추출 공정 개발

가. Microwave 추출 system의 설계 및 제작

1) 기존의 가정용 microwave oven을 이용한 추출 system 제작

가) 가정용 microwave oven cavity(삼성, RE-652N)

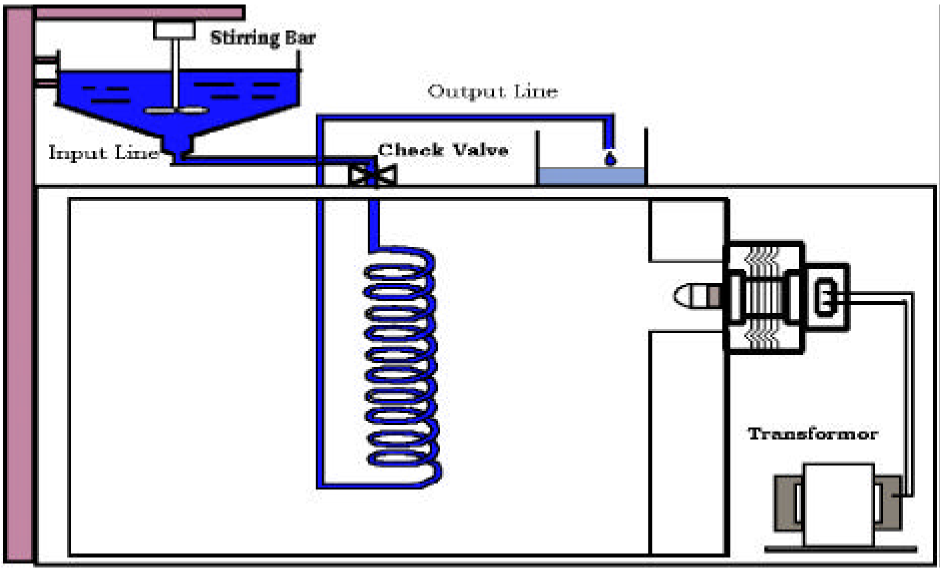


Fig. 3-8. Microwave assisted extraction system using conventional microwave oven

최초의 microwave 추출 시스템은 Fig. 3-8에서와 같이 가정용 microwave oven 내에 추출관을 넣는 것을 시도하였다. 그러나 가정용 microwave oven은 내부 공간 전체를 위해 도파관이 설계되었으므로 추출관에 전체 microwave power가 모일 수 없어서 효율이 대단히 낮게 되었다. 따라서 가정용 microwave oven의 전체 공간이 아닌 일부에 cavity를 넣은 시스템으로

개선하였다.

나) Rectangular cavity in microwave oven

가정용 microwave oven 안에 steel로 제작한 사각형의 cavity를 도파관에 연결하여 최대의 microwave power를 얻고자 하였다(Fig. 3-9). 그러나 도파관 자체의 설계가 가정용 microwave oven를 위한 것이라서 기대했던 효율 상승 효과는 얻을 수 없었다.

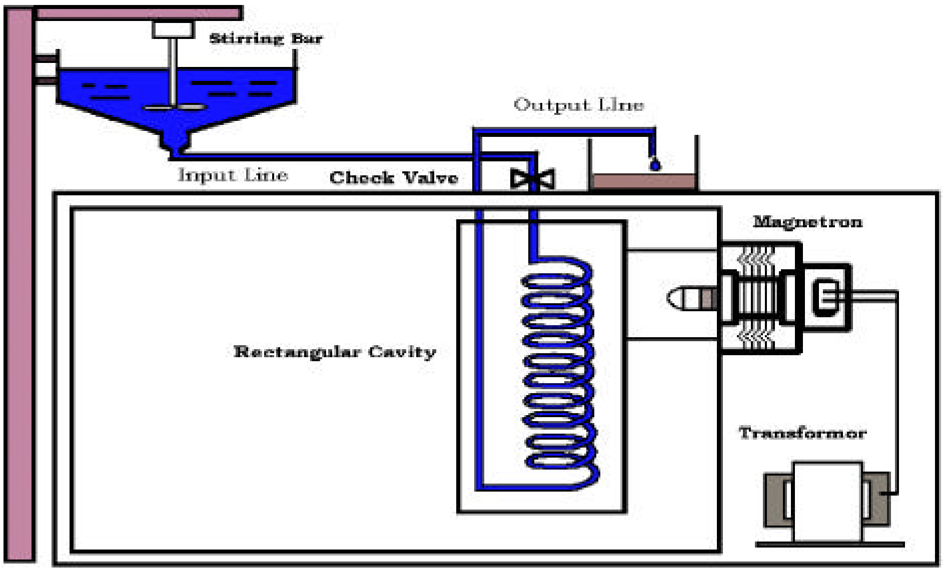


Fig. 3-9 Microwave assisted extraction system of rectangular cavity type

나. 독립적인 cylinder형 microwave 추출 system 개발

앞에서의 실험을 바탕으로 electric field intensity의 최적화와 용질의 추출 수율의 향상, auto-feeding capability의 향상 등을 위하여 가정용 microwave oven이 아닌 별도의 추출 시스템을 설계하였다.

1) Cylinder형 microwave 추출 system 설계

가정용 microwave oven은 도파관에 setting된 impedence matching이 microwave oven 전체에 electric field intensity가 골고루 분산되도록 함으로써 auto-feeding에 필요한 power의 집중이 어렵다. 따라서 새로운 도파관과 cavity를 제작하였다.

제작된 도파관과 cavity의 설계 요소는 다음과 같다.

도파관 : WR340 형 (가로 8.64 cm, 세로 4.32 cm, 관내 파장(λg) 17.3 cm)

Cavity : cylinder 형 (반지름 9.8 cm(λg/2 +α), 높이 21 cm(λg +α))

재질 : steel

최대의 microwave power(700W)를 얻기 위해 Network Analyzer(HP 8753C, Hewlett Packard, USA)를 사용하여 도파관의 stub 정합을 하였다. 설계요소를 고려한 cylinder형 microwave 추출 system 은 다음그림과 같다.

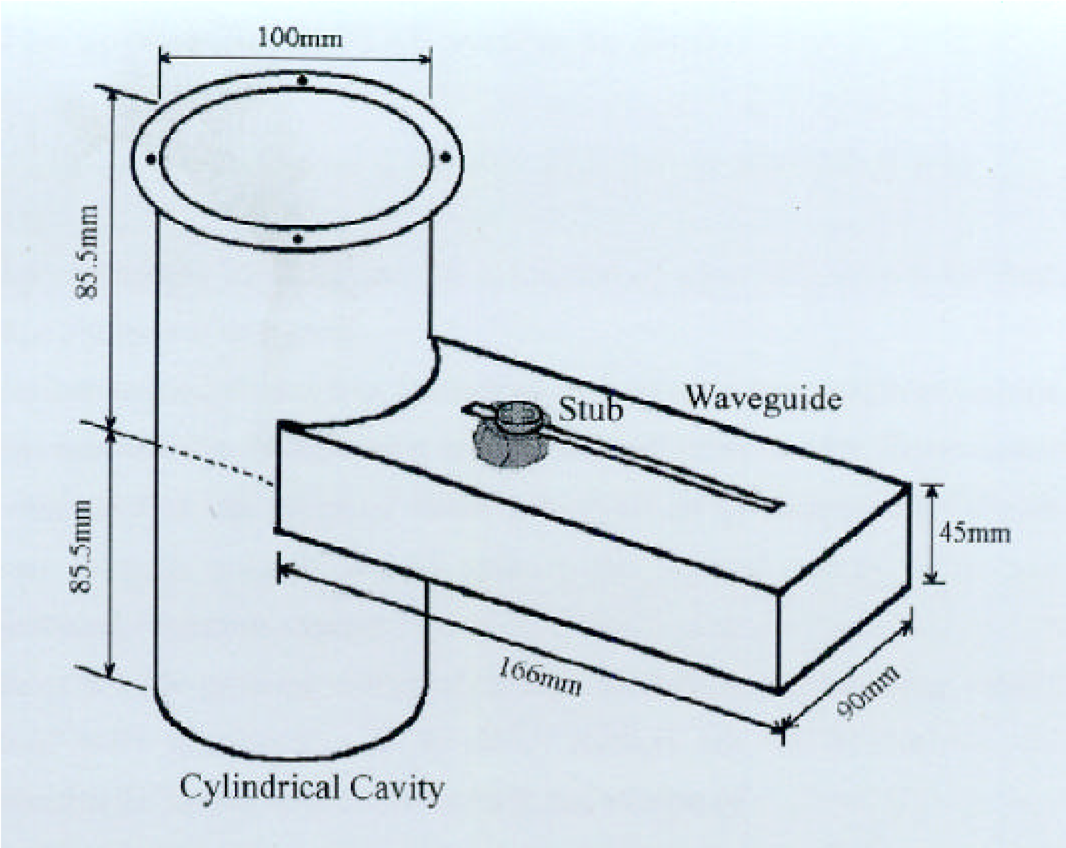


Fig. 3-10. Structures of the cylindrical cavity and waveguide

2) Microwave cavity simulation

Cylinder형 cavity 안의 electric field intensity의 분포를 알기 위해 삼성전자의 협조로 I-DEAS Master Series 3 : simulation program을 이용하여 cavity의 무부하 상태에서의 simulation을 수행하였다.

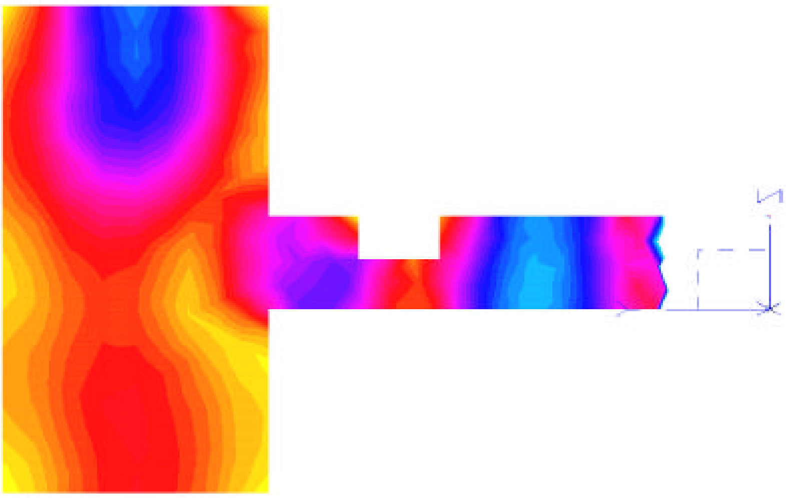


Fig. 3-11. Side view simulation data of microwave power

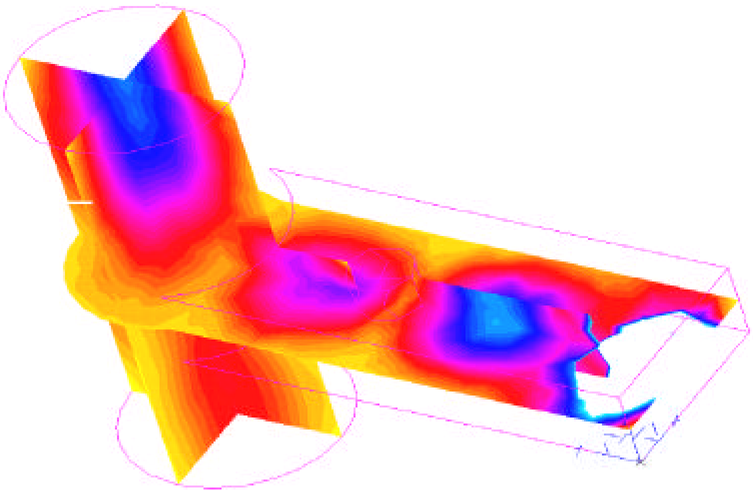


Fig. 3-12. 3D simulation image of microwave power

3) **각** cavity**에서의** power **비교**

각 cavity에서 물 100㎖를 가열할 때 heating rate를 측정하고 power(W)를 계산, 비교하였다. 그 결과 cylindrical cavity를 사용하는 경우가 가장 좋은 효율을 나타냄을 알 수 있었다. 다음 Table 3-1에 그 결과를 나타내었다.

Table 3-1. The comparison of heating rate and power in each cavity

	Microwave cavity		
	Household MW oven	Rectangular cavity	Cylindrical cavity
Heating rate(℃/sec)	0.9	1.3	1.7
Power(W)	380	541	700

표에서 보는 바와 같이 사용전원 700W에서 1.7의 heating rate를 올릴 수 있었다. 그리고 각 cavity를 가진 system에서 물의 연속 공급 시에 auto-feeding에 의한 output velocity를 비교하였다. Table 3-2는 그 결과이다.

Table 3-2. The comparison of output velocity in each cavity

	Output velocities at Microwave cavity		
	Household MW oven	Rectangular cavity	Cylindrical cavity
Velocity(mL/min)	40	50	130

다. 연속식 microwave 추출 시스템 개발

Microwave cavity내의 열 교환기로서 다음과 같은 유리관을 제작하고, Fig. 3-13에 나타낸 방식으로 배치하여 연속식 추출 시스템을 구성하였다.

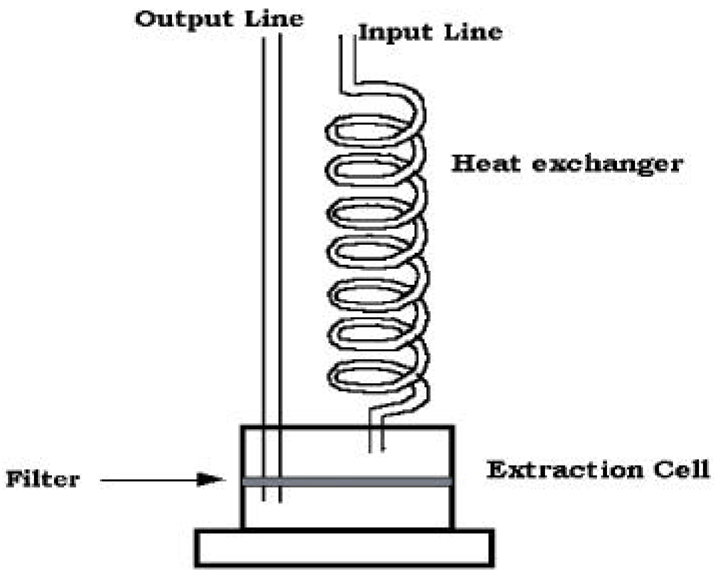


Fig. 3-13. Continuous microwave extraction system

추출원료는 코일형의 추출관 상부에서 공급되어 extration cell내의 추출물을 통과하여 다시 상부로 배출될 수 있도록 설계되었다.

라. 연속식 microwave 추출 시스템을 이용한 녹차 추출 공정

1) 추출관 제작

추채를 충진하지 않은 무 부하상태에서 cavity 안의 electric field intesity의 분포를 보인 simulation data를 이용하여 용매인 물은 연속적으로 공급되고 용질인 녹차는 extraction cell에서 추출되는 system을 개발하였다.

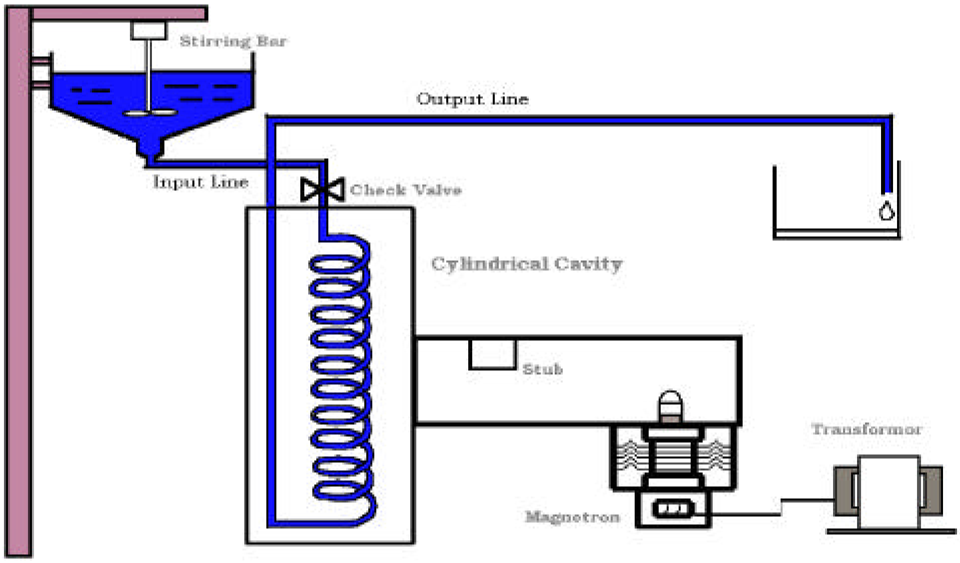


Fig. 3-14. Semicontinuous microwave extraction system

2) microwave 와 water bath에서의 녹차 추출 비교

녹차 추출물은 Spectrophotometer에서 wave scan을 하여 뚜렷한 peak를 보인 271nm에서의 흡광도를 측정하였다. 같은 조건하에 water bath에서 녹차를 microwave를 이용하여 추출한 값과 비교하였다. 그 결과 녹차 추출 수율은 microwave를 이용하여 추출하였을 때가 water bath로 추출하였을 때보다 2.9배 높았다(Fig. 3-15).

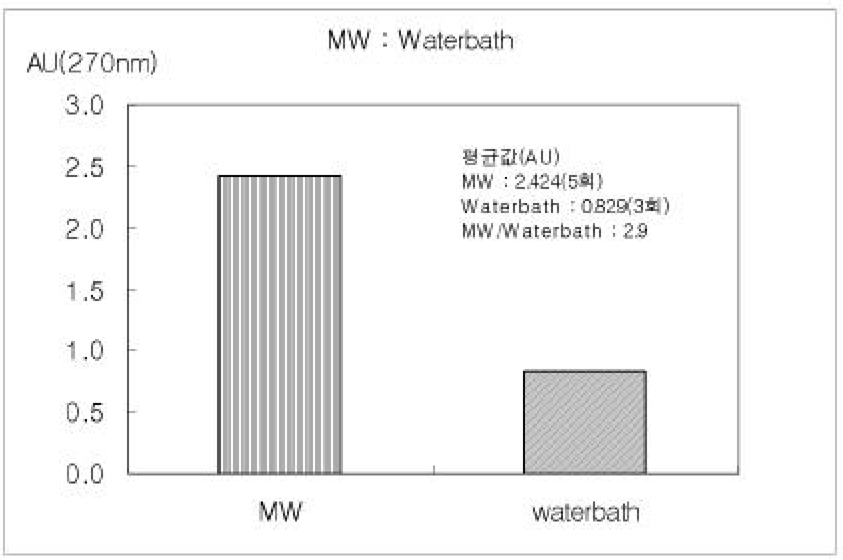


Fig. 3-15. Comparision of yield at MW and WB

이 결과로부터 microwave의 추출효과가 지대함을 발견할 수 있었다.

Fig. 3-16과 Fig. 3-17에는 각각 microwave와 waterbath를 사용하였을 때의 온도 profile을 나타내었다.

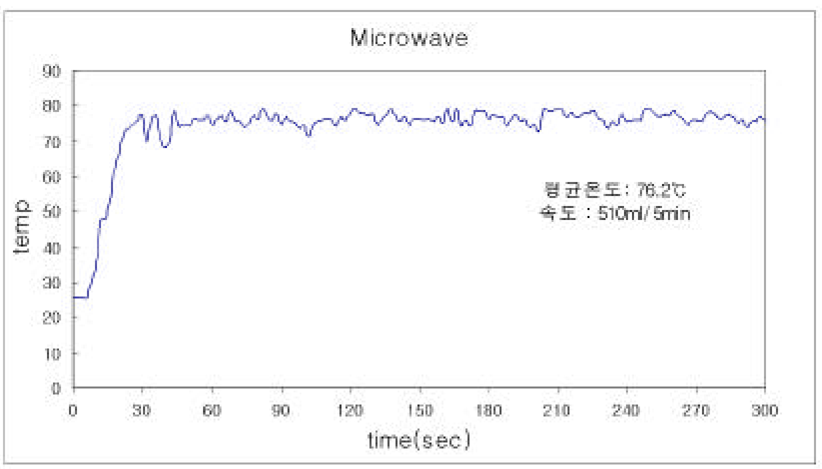


Fig. 3-16. Microwave temperature profile

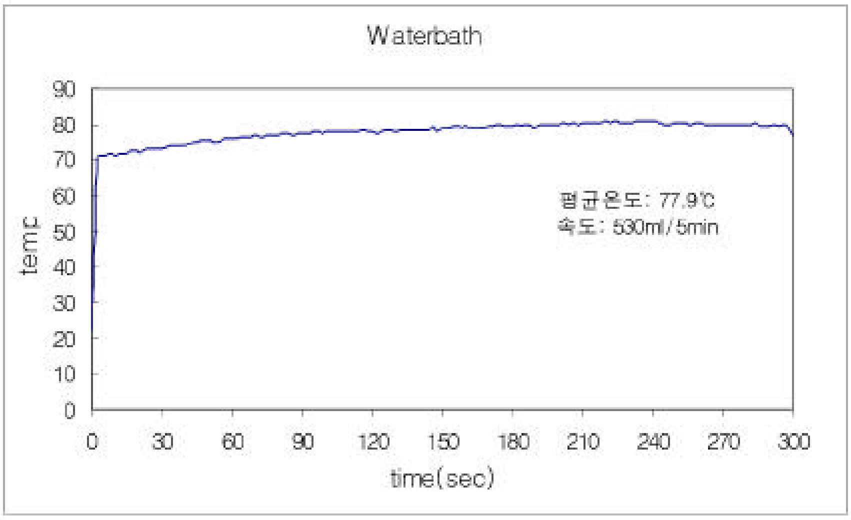


Fig. 3-17. Water bath temperature profile

3) microwave 와 water bath에서의 치자 추출 비교

치자의 추출물은 Spectrophotometer를 이용하여 440nm에서의 흡광도를 연속적으로 측정하였다. 또한 같은 조건하에 water bath에서 치자를 추출하여 microwave를 이용하여 추출한 값과 비교하였다. 그 결과 치자 추출 수율은 microwave를 이용하여 추출하였을 때가 water bath로 추출하였을 때보다 높은 수율을 보였다.

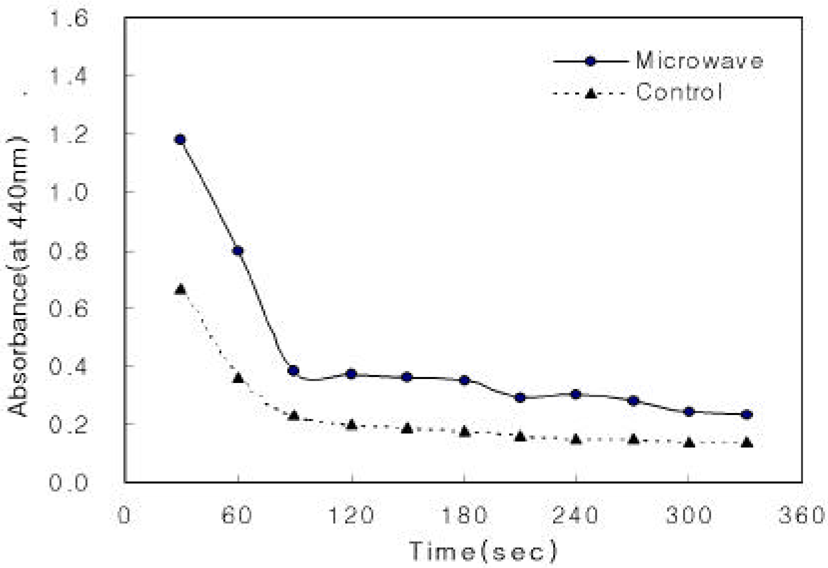


Fig. 3-18. The comparison of extraction yield of gardenia pigment at MW and conventional extraction system

이상의 결과로부터 추출된 기간에 걸쳐 microwave의 추출 촉진 효과를 알 수 있었다.

2. 초음파 여과 공정 개발

가. 초음파 발진회로의 설계 및 제작

초음파의 발진 회로는 28.2kHz의 정형파를 발생시키도록 Op-amp LM358 등을 사용하여 Twin-T형 회로로 설계하였다. 출력 주파수는 25 35kHz 사이에서 변조가 가능하도록 하였고, 10kΩ의 볼륨을 사용하여 출력 전압을 조절할 수 있도록 하였다. 그리고 초음파 진동자를 구동할 수 있도록 초음파 전력 증폭 회로를 트랜지스터와 STK0060 전력 증폭 전용 소자 등을 사용하여 70V로 증폭하였다. 이때 Fig. 3-19의 3, 8 번 단자의 증폭 출력신호는

matching transformer를 거쳐 transducer를 동작시키도록 하였으며, 이때, 신호는 1kΩ : 8Ω 의 변압기(70W)를 역접합시켜 1 1.5 kV로 승압시켰다. 진동자의 용량성 임피던스를 제거하기 위해 코일을 사용하였는데, 약 230 μH의 리액턴스가 되도록 EI형 코어에 0.5 mm의 에나멜 피복동선을 감아 가감하면서 최대 전류치에서 고정시켰다

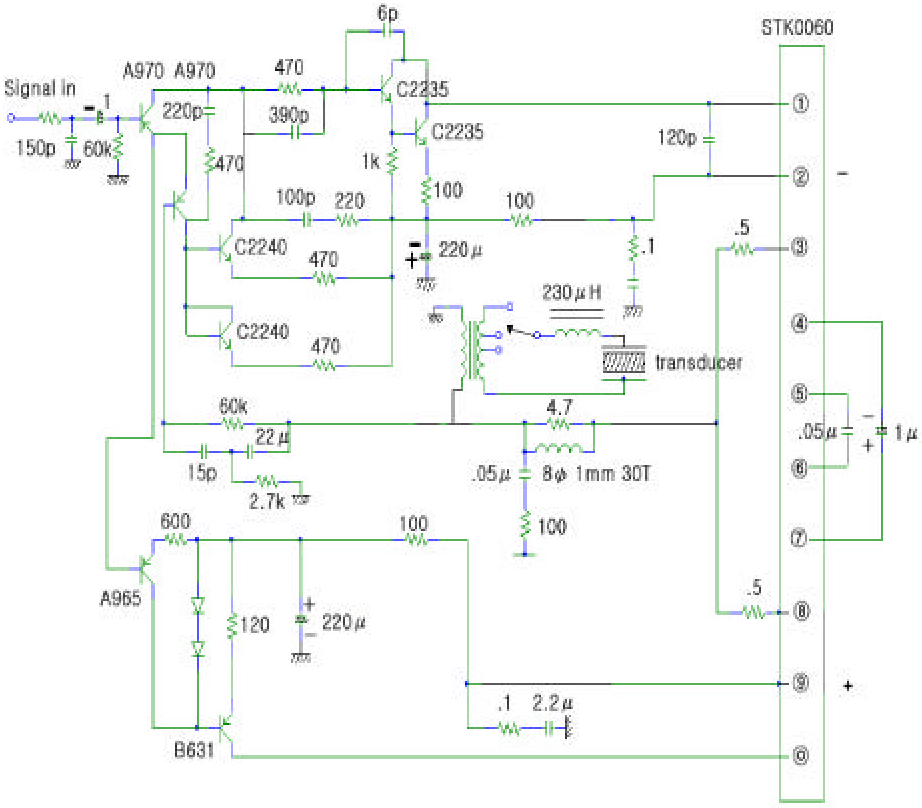


Fig. 3-19. The amplifier circuitry of ultrasonic wave

제작된 수조 내에 감압 여과기를 수직으로 설치하여 여제면을 수조의 바닥면에 수평하게 위치시켜 진동자로 부터 출력되는 초음파가 여제에 수직으로 투사되도록 하였다. 여과 장치가 설치된 수조 내의 여료 중에서 측정된 초음

파는 설계 기준에 맞는 28.2 kHz의 정현파임을 확인할 수 있었다(Fig. 3-20).

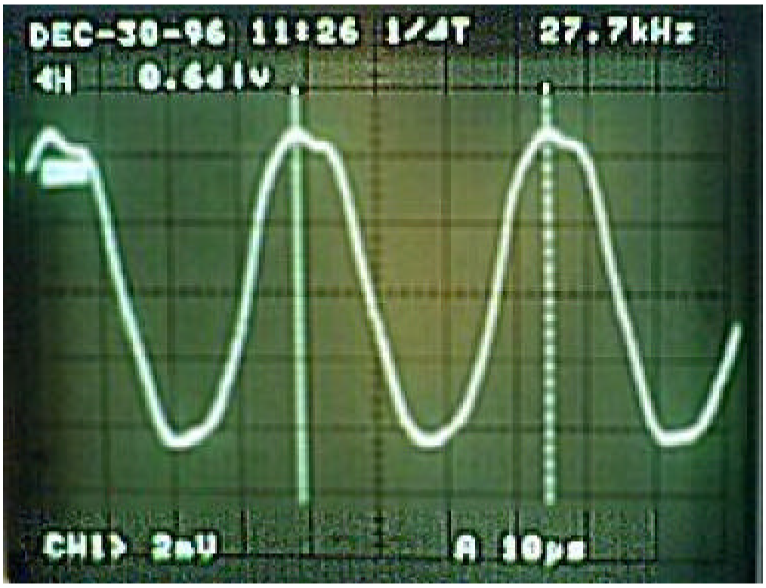


Fig. 3-20. Ultrasonic signal output from ultrasonic device

1) 초음파 여과용 수조의 제작

Fig. 3-21과 같이 스틸 용기(지름 19 cm, 두께 0.7 mm, 5L)의 바닥 바깥에 진동자를 epoxy 수지와 금속 bolt(ϕ 8 mm)로 접착한 초음파 여과용 수조를 아크릴 원통(지름 9.5 cm, 두께 3 mm, 높이 110 mm)의 받침대 위에 고정시켰다.

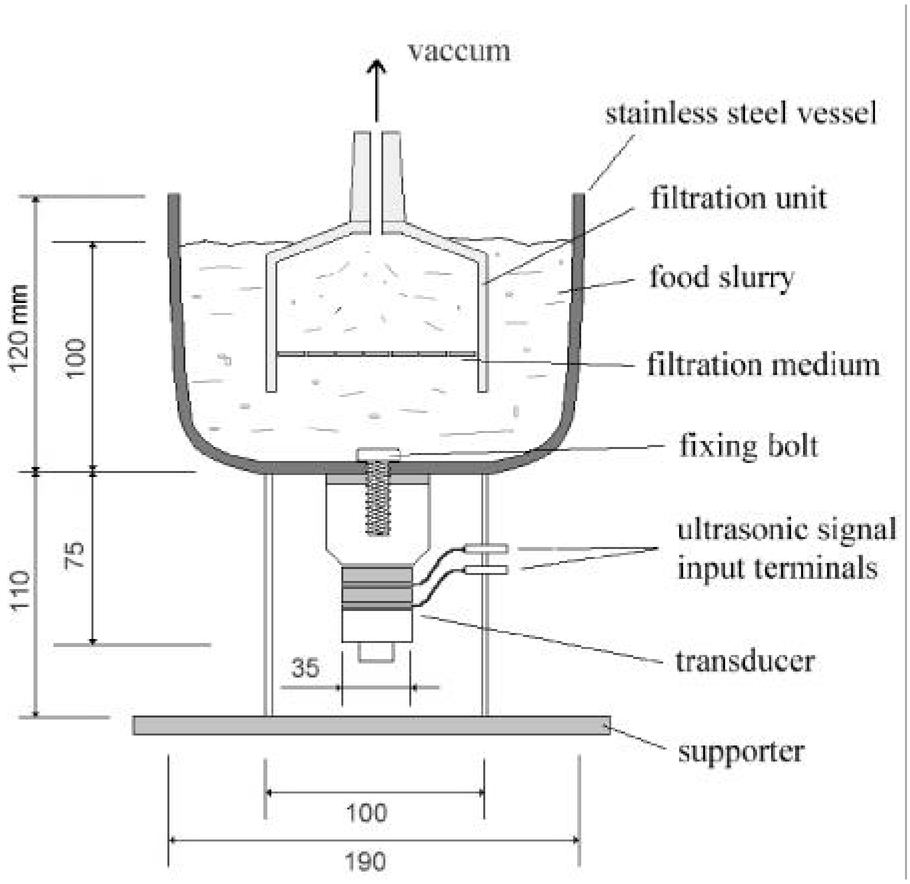


Fig. 3-21. Experimental setup of Ultrasonic bath for filtration of food slurry

2) **초음파 여과 장치의 제작**

여과기는 감압펌프에 고무튜브로 연결하였으며, 여액을 메스 실린더에 수집하도록 하여 초음파 여과 시스템을 제작하였다. 이 시스템으로 장류 침전물을 초음파 장치로 여과한 결과 여과 속도가 현격히 증가하였다.

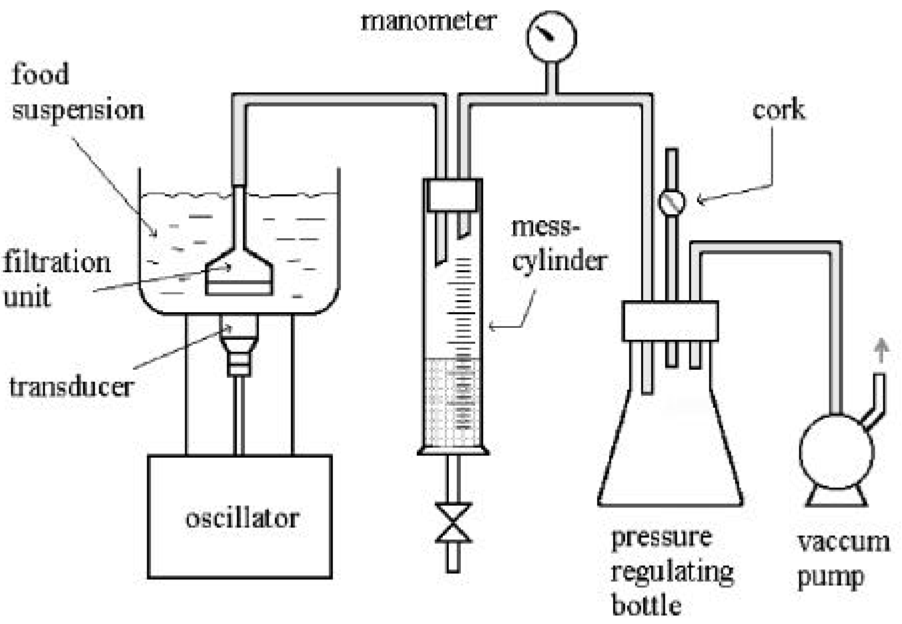


Fig. 3-22. Schematics of Ultrasonic filtration system

나. 전분유액 여과

압력차이를 0.1기압, 여과면적을 56cm2, 진동자로부터 거리를 10mm로 하였을 때 여과 시간에 따른 여과속도 차이를 측정한 결과 Fig. 3-23과 같은 결과를 얻었다.

전분유액에 있어서는 초음파로 인해 속도가 떨어진 현상이 발생하였다. 이는 전분중에 포함된 공기가 초음파의 공동화 현상에 의해 액중에서 다수의 기포를 형성, 이들 기포가 파괴되면서 대형의 보다 큰 기포로 전환되고, 이 기체 발생량이 전체 압력을 감소시키고 튜브내부를 막아서 여과속도를 떨어뜨린다고 볼 수 있다.

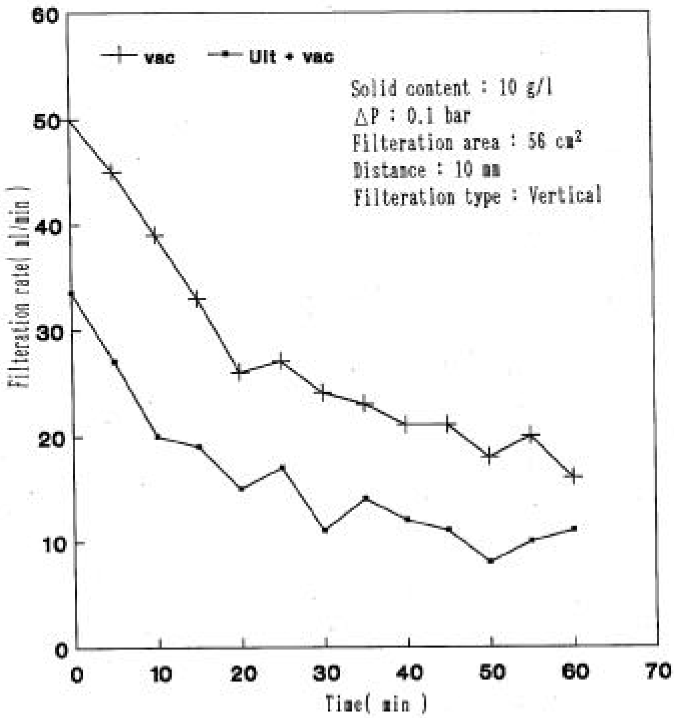


Fig. 3-23. Filtration curve of wheat flour suspension

다. 탈기효과

여과전에 기포를 제거할 목적으로 압차 0.6 기압에서 2시간 탈기 후, 초음파 조사시의 여과 속도를 측정하여 Fig. 3-24와 같은 결과를 얻었다.

탈기함으로써 여과속도는 증가하였으나 시간이 지남에 따라서 초음파 여과에 의해 초기에 발생하지 않던 큰 기포가 발생함으로써 여과압력을 강하시키는 결과를 초래하여 여과속도가 감소된 것으로 생각된다.

따라서 초음파 여과를 수행하는데 있어, 큰 기포의 발생이 하나의 문제점으로 대두되고 있음을 알았고, 이를 방지하기 위해 일정시간 탈기할 필요가 있다고 생각된다.

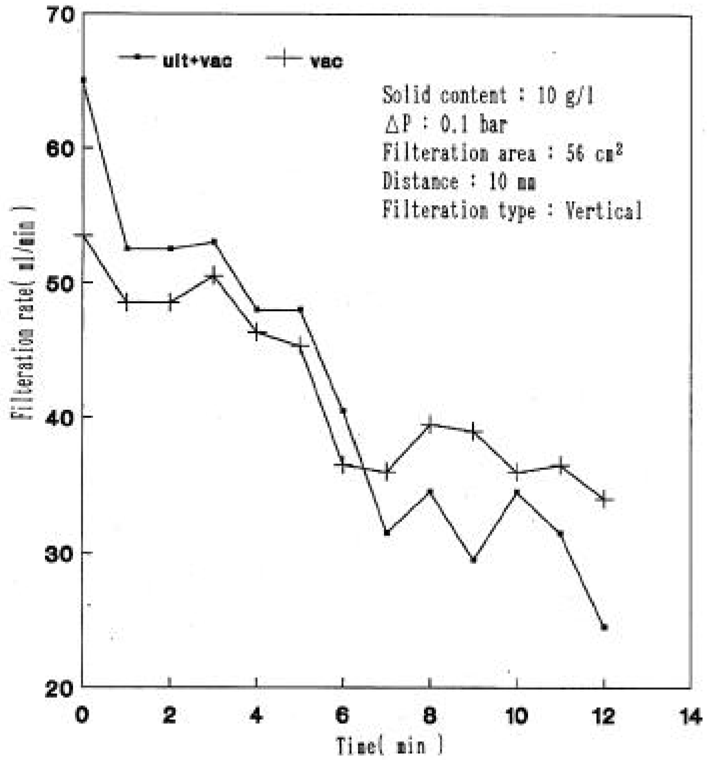


Fig. 3-24. Filtration curve of degassed wheat flour suspension

3. Ohmic heating 장치 개발

가. Ohmic heating system의 설계 및 제작

1) Ohmic heater의 발진부 설계

100, 500, 1k, 5k, 10k, 20kHz의 6종류 sine wave를 발생시킬 수 있도록 operational amplifier를 이용한 Twin-T 발진회로로 설계하였다. 이 회로는 식(7)에서 저항과 콘덴서의 용량을 달리해 원하는 주파수의 sine파를 발진시킬 수 있으며 table 1에 실제 발진장치에 쓰인 저항값과 임피던스 값을 나타내었다. 발진부에서 출력되는 신호는 trimmer를 사용하여 전압을 3V내외로 조절하여 전력증폭부로 보내어 지도록 하였다.

사용 주파수의 선택은 7-In-1-Out Rotary switch를 사용하여 6개의 주파수 중 하나를 선택하도록 하였고, 나머지 1개는 외부입력단자와 연결되어 외부의 신호를 접속하여 사용할 수 있도록 하였다.

Table 3-3. Combination values of Resisters and Capacitors to generate sine waves of various frequencies for ohmic heater (Ra : serial connected resistance to trimmer resistance)

Frequency (kHz)		Register(kΩ)					Capacitor (pF)	
Designed	Measured	R	R1	R2	R4	Ra	C1	C2
0.1	0.1	13.3	30	360	5	10	104	224
0.5	0.51	2.7	6.6	67	5	0	104	224
1	1.03	1.33	3	30	2	0	104	224
5	5.2	0.25	0.52	7.5	0.1	0	104	224
10	10.3	11	22	220	5	7.5	102	202
20	19.5	5.2	10	100	5	2	102	202

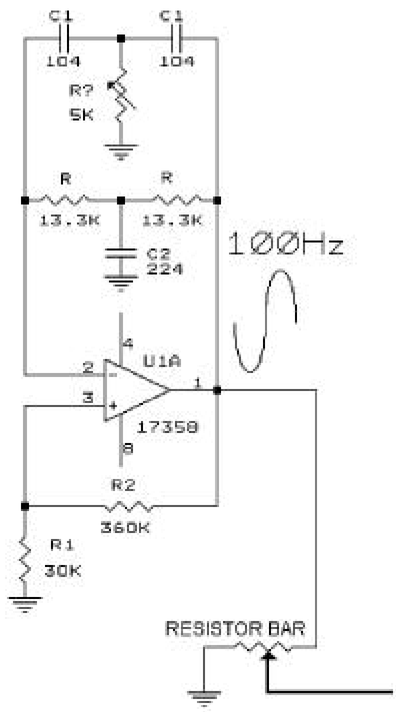


Fig. 3-25. Twin-T oscillator circuits for sine-wave generator

2) **증폭부**

발진부에서 나온 신호는 gain **조절용** volume**을 사용하여 증폭비를 제어하도록 구성하였다**.

신호증폭용 IC**는 일반적인** audio amplifier**에 사용되는** STK 4048II**모델**(Vcc max:±86.0V, Tc max:125℃, closed loop gain : 26~45dB, P0max:150W)**을 사용하였다**. Amplifier**의 최대 전력용량이** 150W**이므로 높은 전압을 인가할 경우 소비전력량이 최대전력량을 초과하게 되어** IC **고장의 원인이 되므로 제작한** system**에서는** IC**의 인가전압을** 40V**로 조절하였다**.

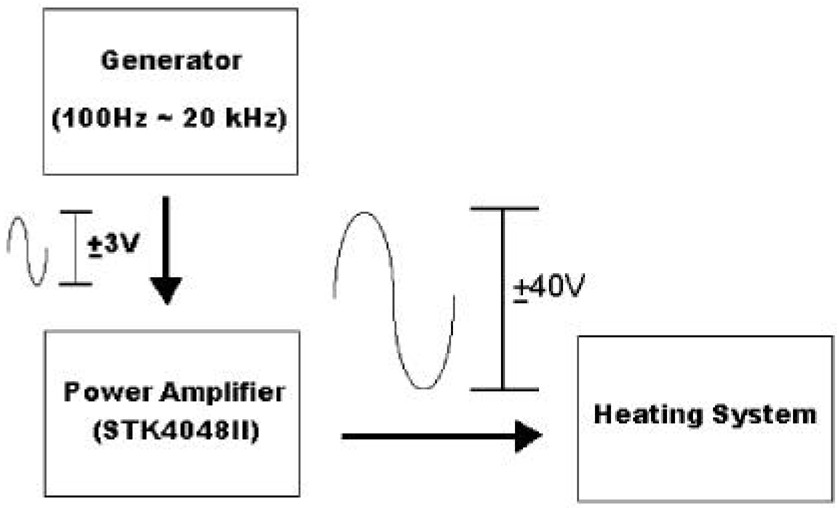


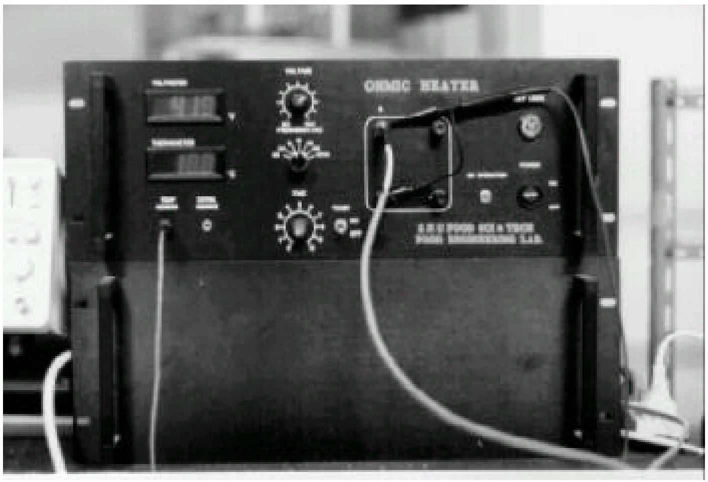
Fig. 3-26. Schematic diagram of power amplifier for ohmic heating system

3) 출력부

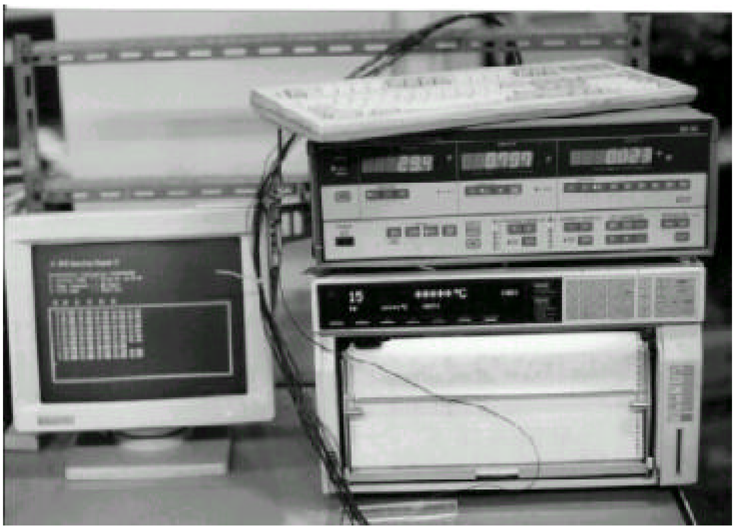
전극 2개를 사용할 경우 두 전극에 0.5 - 5초의 간격으로 on/off 신호를 주기 위해 두 개의 무접점 계전기(SSR : Solid State Relay)를 구동할 timer회로를 구성하였다. 두 출력전극을 사용할 때는 timer와 SSR을 이용해 일정한 시간 간격으로 출력이 번갈아 나오게 하여 가열방향을 조정할 수 있도록 하였다. 상용교류를 사용할 때 발생전압을 조절하기 위해 변압기(Slide Transformer, 1KVA, 한창공업사)를 사용하였다. (Fig. 3-27-a)

4) 데이터 측정 프로그램

GPIB(General Purpose Interface Bus) 통신을 이용해 PC에서 값을 저장할 수 있도록 프로그램을 개발하여 온도 및 사용전력량을 측정하는데 사용하였다. 다음 Fig. 3-27-b는 구성된 data logging system의 사진이다.



(a) Ohmic heating system built (Generator)



(b) Data logging system

Fig. 3-27. Experimental system setup for ohmic heating study

나. Ohmic heating system을 이용한 식품의 가열

1) 액체 식품의 가열과 염농도의 영향

상용전원(100V, 60Hz)을 사용하여 NaCl 수용액(0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5%(w/w)) 500ml를 가열하였을 때, 온도구배(dT/dθ)는 NaCl 농도에 비례하였다. 다음 Fig. 3-28에 그 결과를 나타내었다

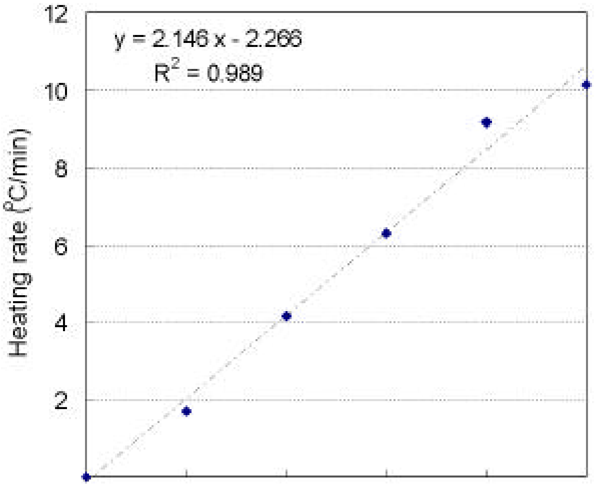


Fig. 3-28. Temperature gradient of various salt concentrations during ohmic heating with 100V, 60Hz power source at working volume of 500ml and electrode distance of 110mm.

2) 반고체 식품(agar gel)의 가열

가) 반고체 식품의 가열과 염류농도의 영향

NaCl의 농도가 0, 0.5, 1, 1.5%(w/w)인 2% gel을 상용전원 50V를 인가하였을 때 시간에 대한 온도 상승률은 각각 0.02, 1.60, 4.69, 7.24(℃/분)이었다. NaCl이 첨가되지 않은 agar gel의 경우 온도 변화가 거의 없었으며, 농도가 높을수록 가열 시간에 대한 온도 상승률은 증가하는 경향을 보였다. 따라서 반고체 식품의 경우도 액체 식품에서와 같이 염농도의 영향이 큼을 알 수 있

었다. 다음 Fig. 3-29에 그 결과를 나타내었다.

반고체식품의 가열시 전극 접촉부에서 많은 문제점이 발견되었다. 첫째로 시료와의 접촉이 균일하지 못하여 통전면적의 변화가 있어다. 둘째로 접촉면적에서 발생하는 과도한 열로 agar gel의 용해 현상이 발생하여 전극과의 접촉자체가 불가능해지는 경우가 발생하였다. 따라서 가열중 접촉을 보장할 수 있는 방법이 강구되어야 하는데 전극판 뒷면에 spring을 달아주는 방법이 있을 수 있다.

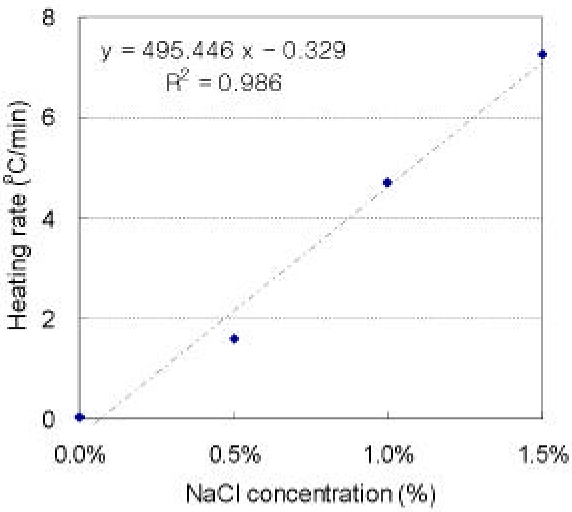


Fig. 3-29. Temperature difference of semi-solid food at various salt concentrations. (50V, 60Hz, 100×50×20mm3)

나) 당 및 염류농도가 가열속도에 미치는 영향

모델식품에 Sucrose, NaCl, CaCl2를 첨가하였을 때 가열속도 차이를 조사하였다.

(1) 비전해질 유기물(Sucrose)

식품가공에 가장 많이 사용되는 당류인 sucrose를 각각 1.0, 2.0, 3.0%(w/w) 첨가한 수용액 500ml를 용기에 담고 100V, 60Hz인 전원을 사용하였을 때 온도구배는 Fig. 3-28와 같이 각각 0.04, 0.06, 0.09(℃/분)이었으며 가열속도에는 큰 영향을 미치지 못하였다.

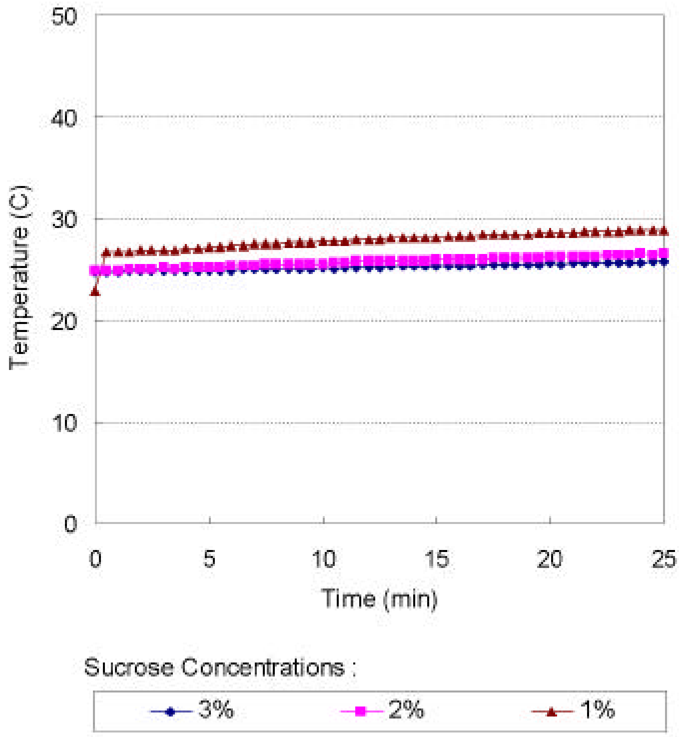


Fig. 3-30. Heating curves of sugar solution at various sugar concentrations (100V, 60Hz, 110×100×35mm3)

(2) **전해질 첨가물**(NaCl, CaCl2)

(가) **액체식품에서 첨가물의 종류에 따른 가열속도**

앞서 액체식품에서와 마찬가지로 CaCl2 **농도가** 0.1, 0.3, 0.5(M)**인 용액** 500ml**를** 100V**의 상용전원을 사용하여 가열하였을 때**, **각각의 온도구배**(dT/dθ)**는** Fig. 3-31**과 같이 염의 농도에 비례적으로 증가하였다**.

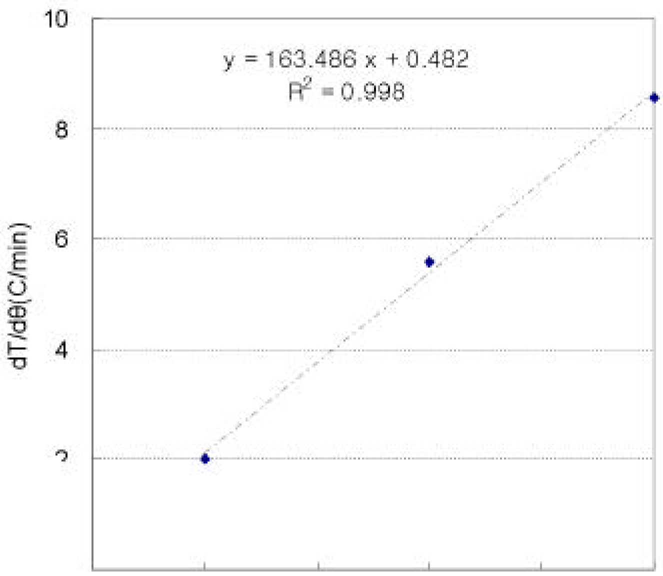


Fig. 3-31. Temperature difference of salt solution at various salt concentrations. (100V, 60Hz, 110×100×35mm3)

(나) Agar gel**에서 첨가물의 농도에 따른 가열속도**

각각 0.1M NaCl**과** CaCl2**이 첨가된** 100×50×30mm3 **크기의** agar gel**을 성형하였다**. **자체 제작한** ohmic heating system**에서 발생하는** 30V, 5kHz**의**

전원을 이용하여 가열하였을때 $CaCl_2$를 첨가한 gel의 상승속도가 크게 나타났다. 이는 식품 내부를 흐르는 전류가 식품이 가지고 있는 이온의 종류와 양에 의해 결정되기 때문이다. 수용액 속에 NaCl과 $CaCl_2$를 같은 mole 농도로 첨가하였을 때 $CaCl_2$가 NaCl보다 더 많은 Cl^- 이온이 해리되므로 교류를 사용하여 가열할 경우 이온의 운동량이 많은 쪽이 열에너지를 더 많이 발생하게 된다.

반면, 같은 양의 NaCl과 $CaCl_2$의 가열효과를 비교해 볼 때는 NaCl의 경우가 더 좋은 효과를 나타내고 있다. 같은 2% 농도를 첨가하였을지라도 수용액의 몰농도는 각각 0.34M(NaCl)과 0.18M($CaCl_2$)이 되므로 수용액 속에 해리되는 이온의 농도는 오히려 NaCl이 약간 높게 된다. 결과는 Fig. 3-32에 잘 나타나 있다.

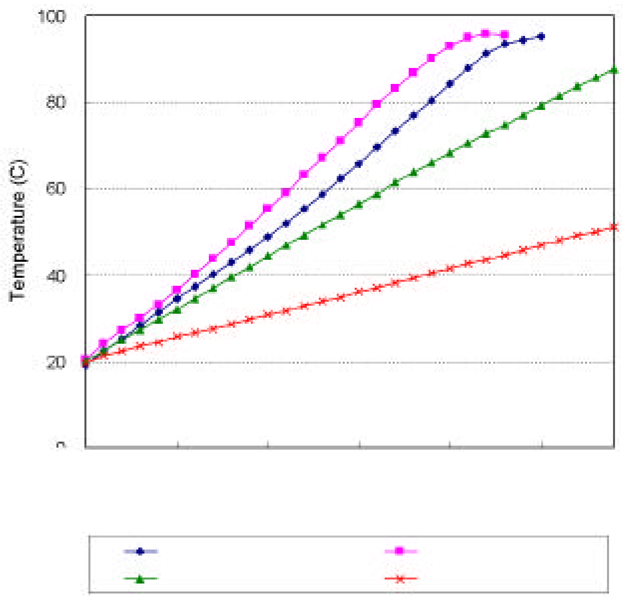


Fig. 3-32. Effect of salts on the heating rate of agar gel (30V, 5kHz, 50×30×100mm^3)

다) 염농도 다층(多層) gel의 통전방향에 따른 가열효과

액체 및 반고체 식품에서 염농도에 따라 가열속도가 상이함을 알 수 있었으며 이는 ohmic heating의 특징이다. 이와 같은 염농도의 영향을 식품가공상 특정 부위를 선택적으로 가열하는데 이용할 수 있을 것이다. 따라서 염농도를 달리한 다층(multilayer) agar gel block을 가열하였다. 사용된 agar gel은 각 부위가 각각 0, 0.5, 1.0, 1.5%의 NaCl 농도를 갖도록 제조하였다.

전류의 방향과 gel layer의 방향이 일치하게 가열할 때 NaCl 농도가 높은 layer의 온도상승률이 다른곳보다 높은 결과를 보였으며 각 layer의 온도분포는 Fig. 3-32와 같다. 한편, 전류의 방향과 gel layer의 방향이 직각방향이 되도록 가열하였을 때 Fig. 3-33에서와 같이 NaCl 농도에 관계없이 모든 agar gel layer의 온도가 상승하는 결과를 보였다.

이상의 결과는 전기회로에서 저항의 연결회로와 유사한 현상을 보였다. 통전률이 높은 gel layer는 저항으로 가정하고 통전률이 낮은 gel은 컨덴서에 비교할 때 전류의 방향과 gel layer의 방향이 일치할 때에는 Fig. 3-33-(a)의 경우에서와 같이 저항과 컨덴서가 병렬로 연결된 회로와 유사하기 때문에 각 layer에 흐르는 통전량에 따라 발열량도 다르게 된다. 한편, gel layer의 방향이 전류의 방향과 직각이 될 경우 Fig. 3-33-(b)에서와 같이 저항과 컨덴서가 직렬로 연결된 회로와 유사하므로 통전량은 모두 동일하게 되어 각 layer의 발열량도 같게 된다.

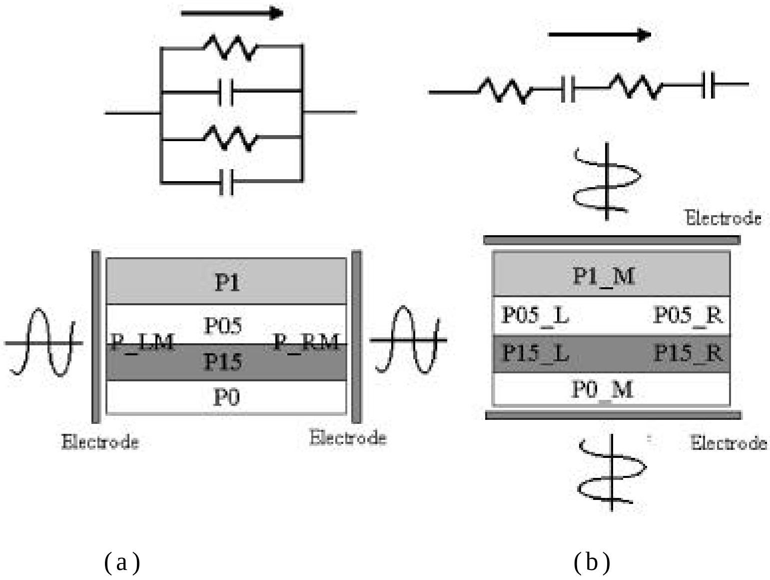


Fig. 3-33. ConFiguration of 4-phase gel layers in semi-solid food (Top View, T:top, B:bottom, M:middle, L:left, R:right, Number:% NaCl)

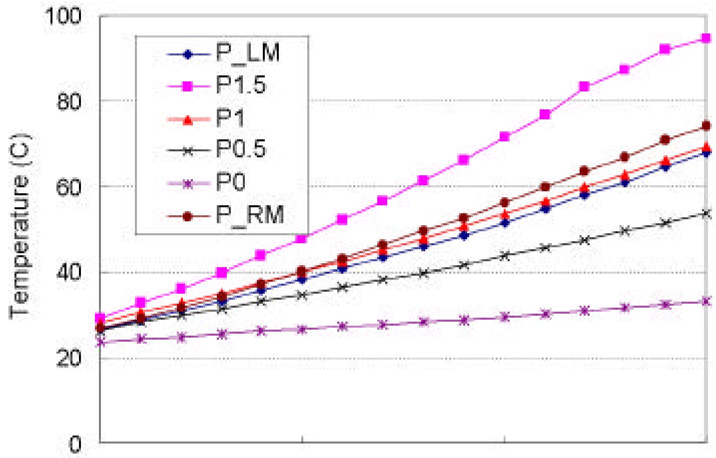


Fig. 3-34. Temperature profile of agar gel layers of different salt concentrations during parallel ohmic heating.

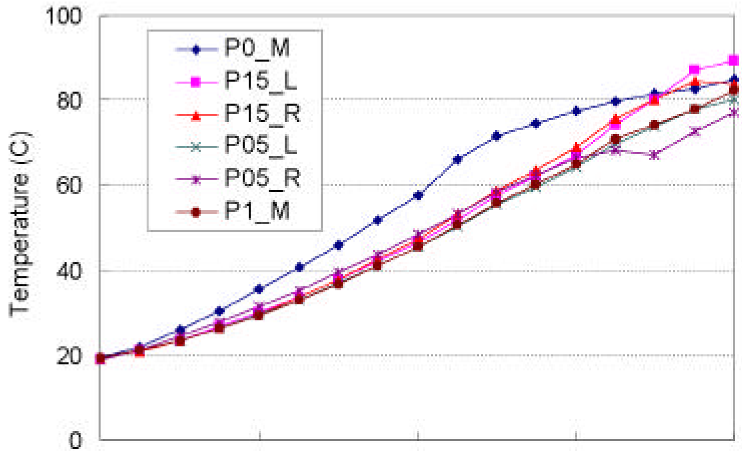


Fig. 3-35. Temperature profile of agar gel layers of different salt concentratio0ns during vertical ohmic heating

라) 염농도 중층(重層) agar gel의 가열방법에 따른 가열효과

Ohmic heating을 이용한 가열시 식품은 고유의 전기전도도와 유전계수에 따라 통전량이 결정되어 각기 다른 온도상승속도를 보인다. 앞서 실험결과에서도 나타난 것과 같이 첨가한 염농도를 달리한 다층 gel block의 통전 시험결과 염농도가 높은 layer에서 높은 가열속도를 보이는 현상을 관찰할 수 있었다. 이런 현상은 전기회로에서 저항의 개념으로 설명하고 있는데 저항의 논리를 적용한다면 염농도층의 모양에 관계없이 높은 통전율을 보여야 할 것이다. 따라서 염농도를 달리한 중층 agar block에서 통전 방법에 따른 가열효과를 관찰할 목적으로 사선형, V자형, N자형 모양의 가염 agar slab을 사용하여 가열하였다.

즉, 전극이 설치된 폴리프로필렌 heating cell에 먼저 0%(w/w) NaCl 농도를 가진 100×50×25mm3 크기의 agar 용해액(50℃)을 부어 성형하였다. 다음 20mm 폭의 경로를 절취하여 공간을 만들고 이곳에 2% NaCl agar solution (식용, 황색 4호)을 부어 응고시켰다. 이때 색소는 육안으로 구별하기 위해 유기물 색소를 미량 첨가하였다. Ohmic heater에서 50V, 60Hz 전원을 인가하였다.

(1) 사선형 가염 agar gel의 가열

Fig. 3-36과 같이 전극에 대하여 가염 agar block이 사선방향으로 놓였을 때 통전은 화살표 방향으로 이루어지고 있는데 전극의 일부(3/10)만이 가염 block에 접촉된 상태이다. 사선으로 놓인 양쪽 비가염 block(P0_TL, P0_BR)의 온도상승은 Fig. 3-37에서와 같이 무시할 정도이나 가염 block(P2_BL, P2_M, P2_TR)의 가열속도는 높게 나타났다. 이 결과는 비록 전극의 접촉면이 작을지라도 대부분의 전류가 가염 block을 통해서 흐름을 확인할 수 있었다.

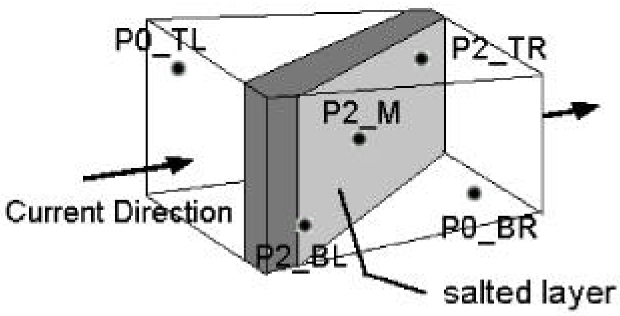


Fig. 3-36. ConFiguration of slash-type gel layers in semi-solid food (T:top, B:bottom, M:middle, L:left, R:right, Number:% NaCl)

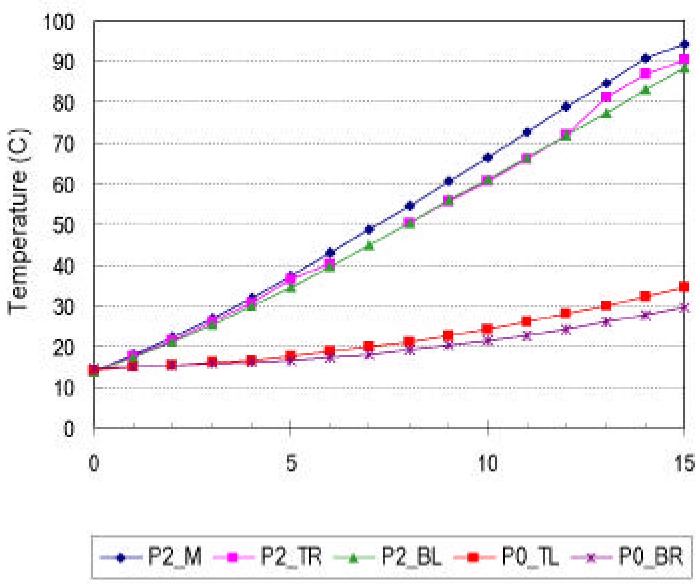


Fig. 3-37. Heating curves of agar gel in slash-type block layers (50V, 60Hz, 100×50×25mm3)

(2) V자형 가염 한천 토막의 가열

Fig. 3-38에서와 같이 V형으로 염농도의 차이를 주고 가열하였을 경우에도 전극의 접촉면적은 동일하나 길이가 사선형보다 33% 길고 경로가 만곡형을 가지고 있다. 또한 양 전극사이에 i, ii, iii에서와 같이 지나는 gel층이 각각 3층, 5층, 3층으로 다르다. 이와 같은 경우 Fig. 3-39에서 보는바와 같이 염농도가 높은 부분(P2_TL, P2_TR)의 온도상승속도가 높은 결과를 나타내었다. 그러나 사선형과 V자형의 무염부(無鹽部)를 상호 비교해 볼 때 V자형에서 가열속도가 큰 것은 무염구간에 비하여 가염구간의 면적이 커서 그만큼 열용량이 커진데 원인이 있다고 본다.

전기장은 연속적이며 가장 짧은 거리를 통과하려는 성질을 가지고 있다. 따라서 V type의 양단에 흐르는 전류는 2% gel의 가장 말단 부분에서부터 가열되기 시작하여 점차적으로 0% gel 의 얇은 부분을 통과하면서 녹은 것이라 추정된다. 다음 Fig. 3-40, Fig. 3-41는 같은 모양의 V type gel의 온도측정부분을 달리하여 얻어낸 결과이다(V-II). gel의 가열부분이 P2_B가 아니라 P0_M인 것을 알 수 있다.

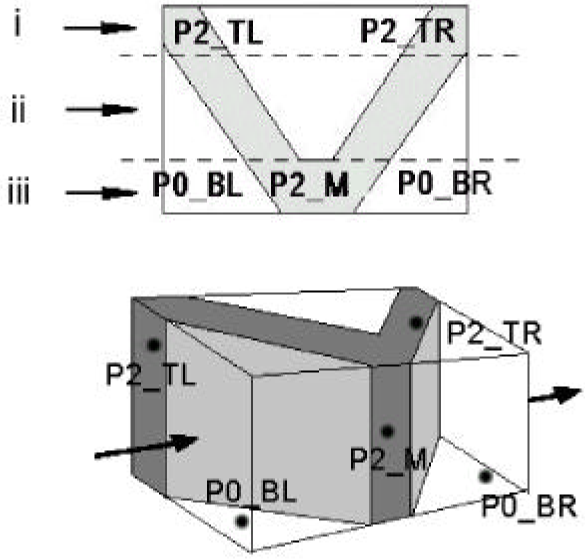


Fig. 3-38. Configuration of V-type gel layers in semi-solid food

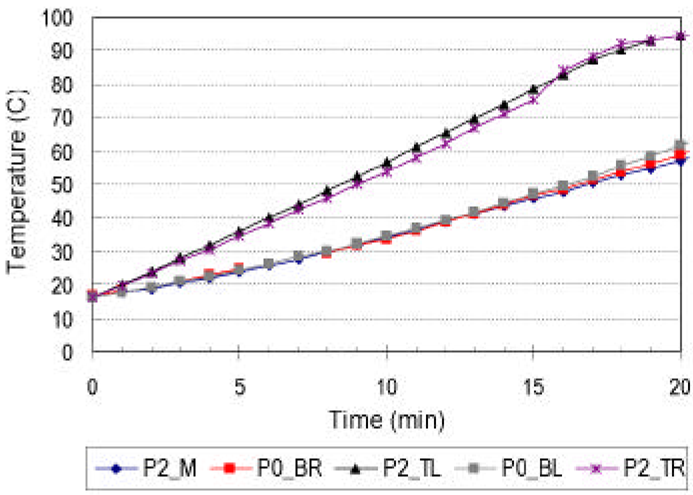


Fig. 3-39. Heating curves of agar gel of V type block layers (50V, 60Hz, 100×50×25mm3)

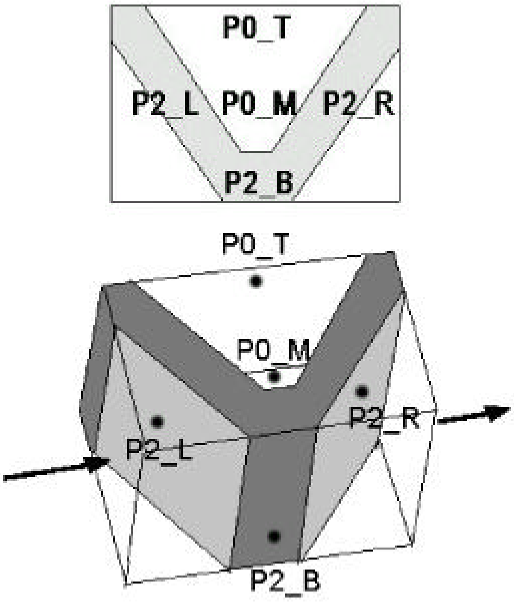


Fig. 3-40. Configuration of V-II type gel layers in semi-solid food

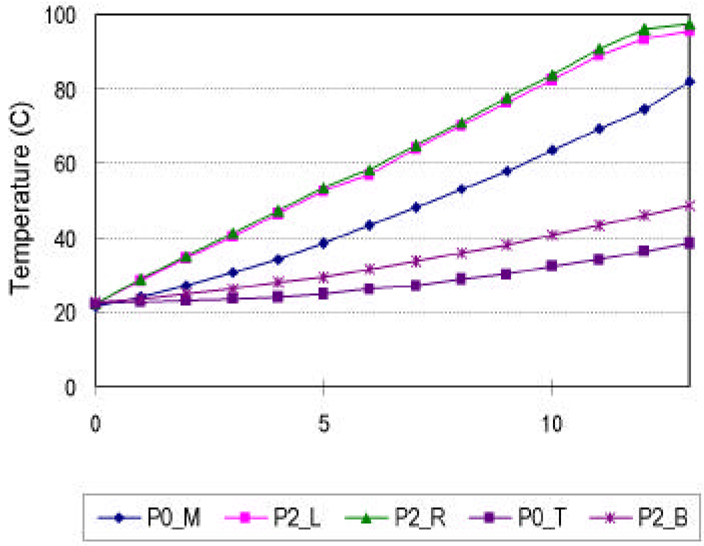


Fig. 3-41. Heating curves of agar gel of V-II type block layers

(50V, 60Hz, 100×50×25mm3).

(3) N자형 가염 한천 토막의 가열

전원으로 교류전원을 사용하고 있기 때문에 전파의 직진성에 의하여 V자형 가염구역을 거쳐 흐르는 전류 이외의 영향이 있는 것 같다. 따라서 가열된 형상은 V자형의 계곡을 완만하게 만든 형태로 바뀌고있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 N자형에서도 분명히 관찰되었는데 Fig. 3-46의 (c)에서 관찰할 수 있는 것처럼 N자형이 ~형으로 직선형에 근접하도록 변형되고 있었다. 온도상승속도를 비교해 보았을 때도 비염첨가부분(P0_TR, P0_BL)과 염첨가부분(P2_M, P2_L, P2_R)이 별다른 차이를 보이지 않았다 (Fig. 3-42). N-II type block의 가열실험 결과에서 볼 때 같은 2%의 염첨가부분(P2_TL, P2_BR)이라도 다른 부분(P2_M, P2_R, P2_L)의 온도상승속도가 다른부분과 차이가 있음을 알 수 있다(Fig. 3-43).

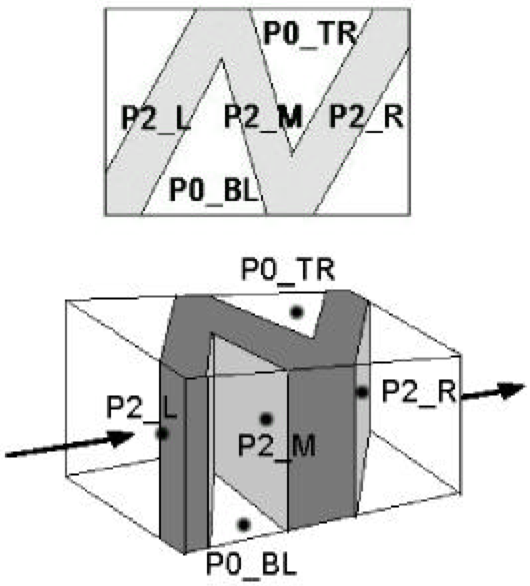


Fig. 3-42. Configuration of N-type gel layers in semi-solid food.

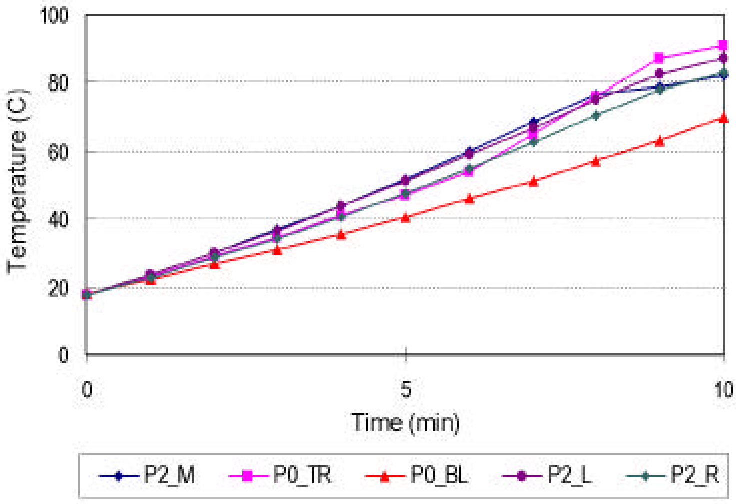


Fig. 3-43. Heating curves of agar gel of N type block layers (50V, 60Hz, 100×50×25mm3).

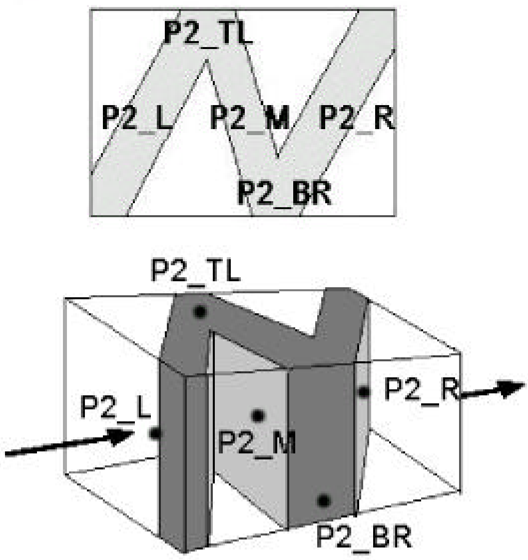


Fig. 3-44. Configuration of N-II type gel layers in semi-solid

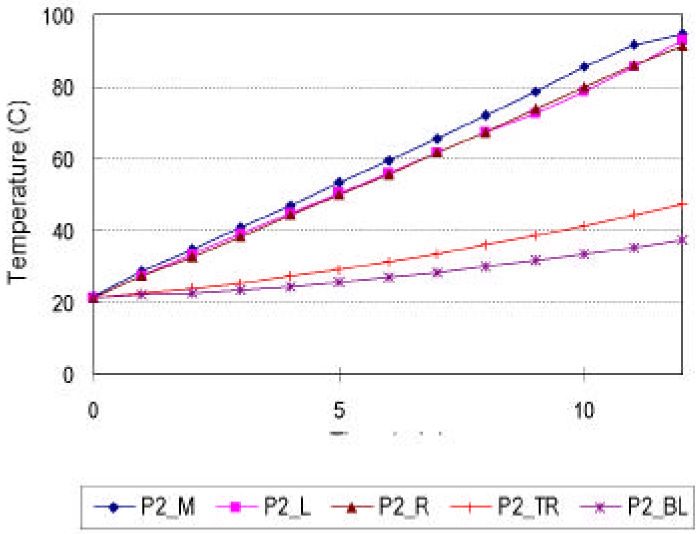


Fig. 3-45. Heating curves of agar gel of N-II type block layers (50V, 60Hz, 100×50×25mm3)

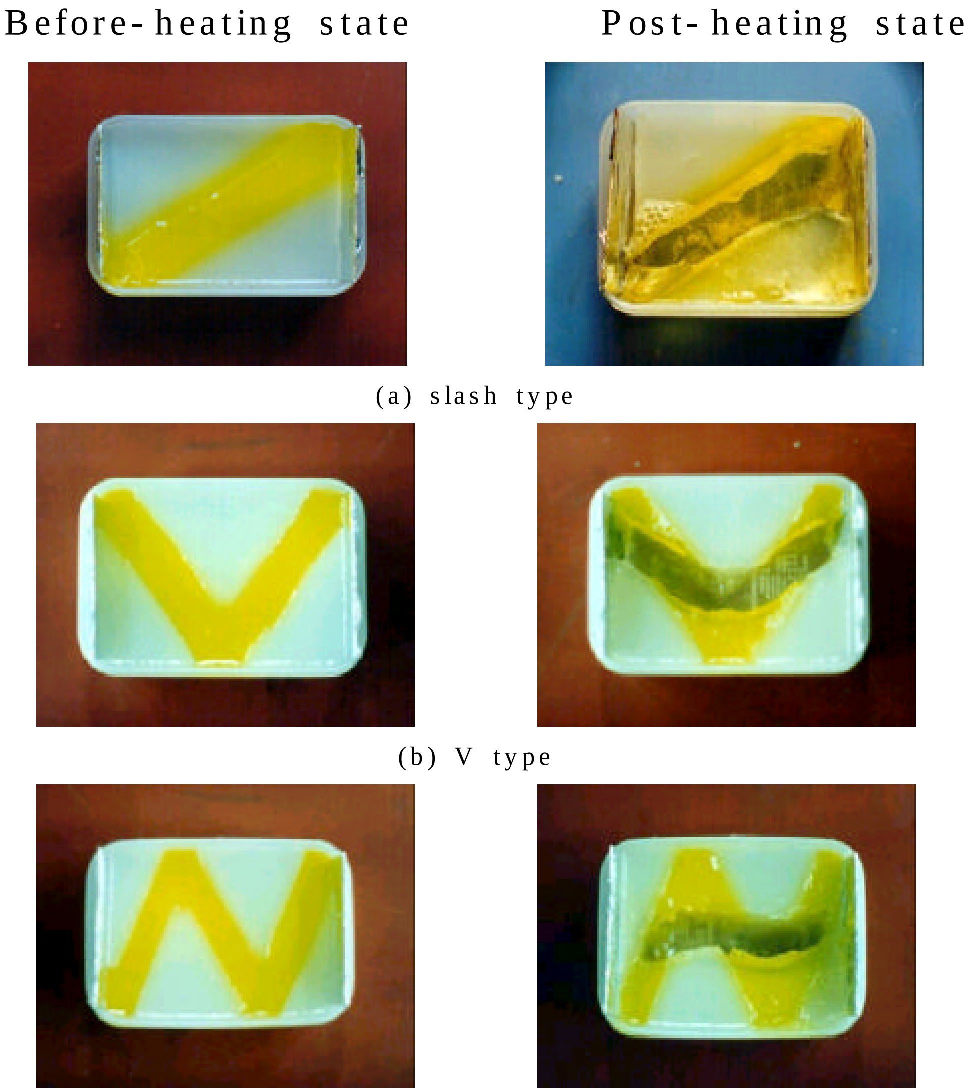


Fig. 3-46. Pre-heating and post-heating state of manufactured agar gels.

3) Ohmic heating **방법에 의한 얼음의 선택적 해동**

반고체 식품의 가열실험에서 나타난 실험 결과를 바탕으로 ohmic heating

방법에 의한 얼음의 선택적 해동에 관한 실험을 수행하였다.

NaCl 농도가 0, 0.5, 1.0, 2.0%(w/w)인 160ml의 용액을 각각 얼린 후 100V, 60Hz의 전원을 공급하였을 때 NaCl의 농도가 얼음의 해동속도에 미치는 영향을 관찰하였다. 각각의 얼음을 완전히 해동시키는데 소비되는 전력량 및 시간은 Fig. 3-47와 같다. 염 농도가 다른 각각의 얼음을 완전히 해동시키는 데 소비되는 총 전력량은 농도에 관계없이 15kW 정도로 일정하였으나 해동시간은 염농도가 높을수록 짧았다.

얼음의 경우에서도 온도상승률은 액체 및 반고체 식품에서와 동일하게 염농도에 비례하였다. 따라서 이를 응용하여 염농도를 달리한 부분이 포함된 얼음 막대를 만들어 ohmic heating의 방법으로 해동시켰다.

Fig. 3-48의 좌측은 염을 첨가하지 않은 얼음내에 2%의 농도를 가진 얼음을 형성시켜 가열극판을 양쪽에 접촉시킨 후 촬영한 모습이며 우측은 이를 ohmic heating의 방법으로 해동시킨 후의 모습을 촬영한 것이다. 얼음 가운데 생성된 hole은 염을 첨가한 부분이 해동되어 나타난 것이다.

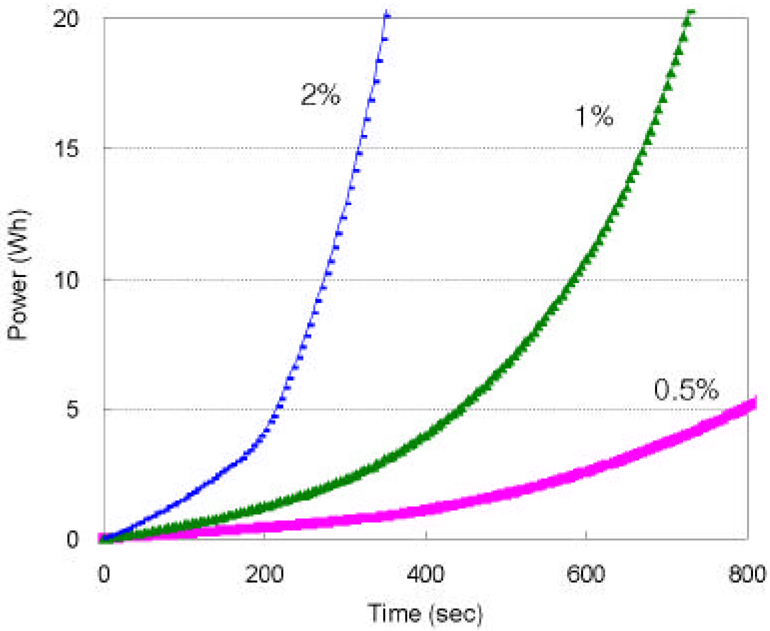
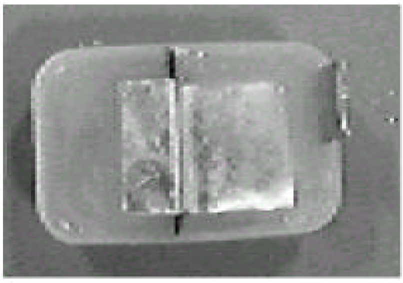
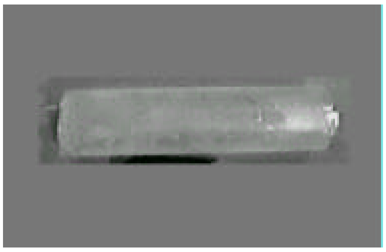


Fig. 3-47. Melting curves of ice block of slat solution during ohmic heating.



Ice slab before
Ohmic heating

holes appeared after
selective Ohmic heating



cylinderical ice bar
containing cocentrical
salted ice bar

ice tube produced
by selective Ohmic heating

Fig. 3-48. Selective melting of salted ice block during Ohmic heating.

4. **초단파를 이용한 두유 추출 공정의 특성**

가. 연속식 초단파 추출

초단파 가열을 연속식 추출공정에 적용한 결과, 콩기질:가수량이 1:10**에서 수율**(Fig. 3-49), **수용성 단백질 농도**(Fig. 3-50), **투입에너지당 단백질 추출 효율**(Fig. 3-51)**이 가장 높게 나타났다. 반면, 단위시간당 단백질 추출량은** 1:15**에서 가장 많았으며, 전반적으로** Coil 1**이** Coil 2**보다 우수한 추출율을 보였다**(Fig. 3-52).

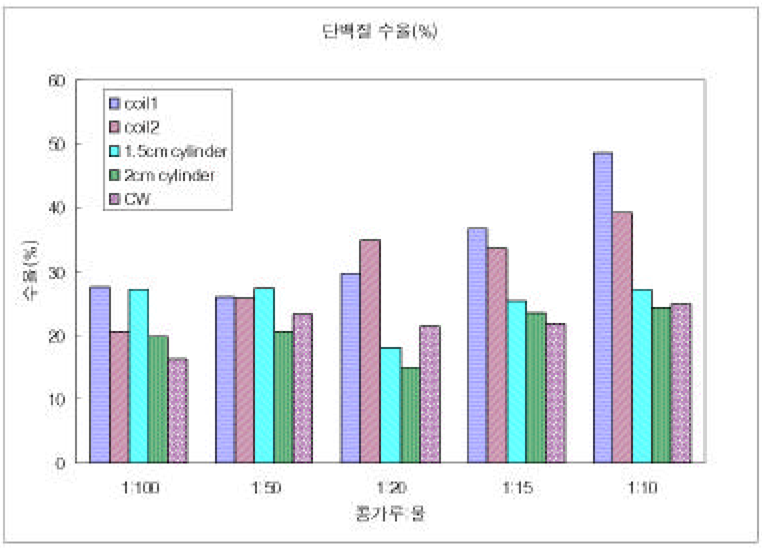


Fig. 3-49. Yield of soluble protein

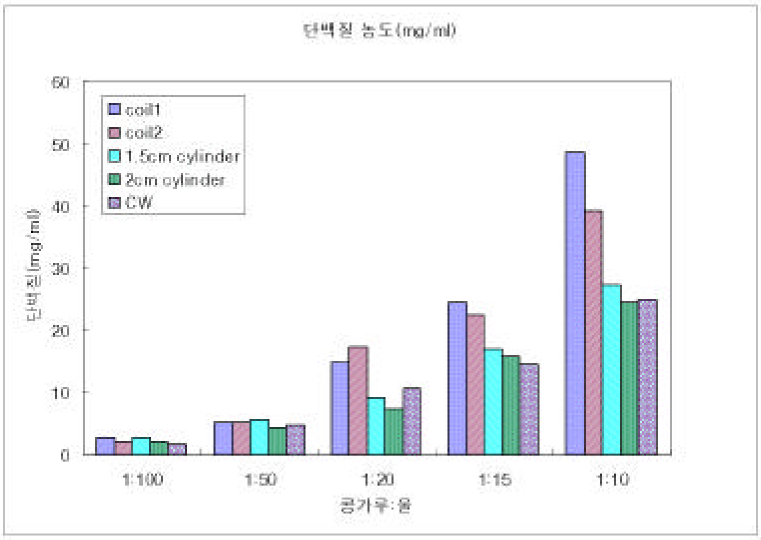


Fig. 3-50. The concentration of soluble protein (mg/ml)

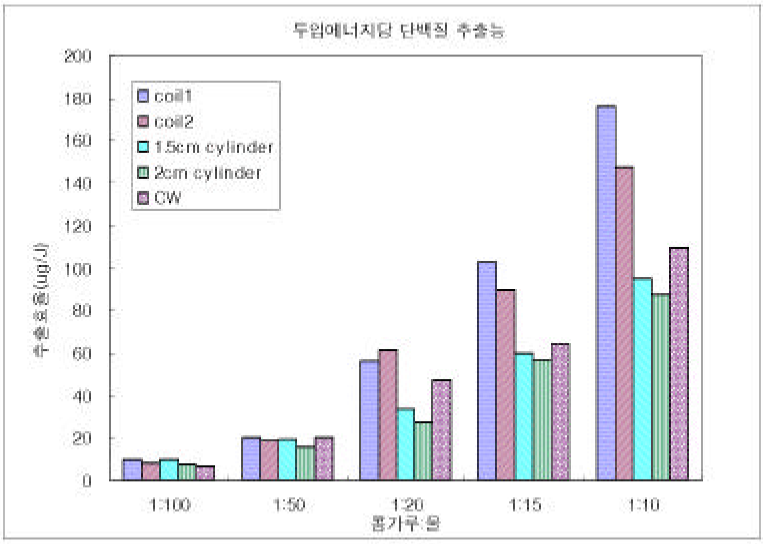


Fig. 3-51. Amount of protein extracted per energy input

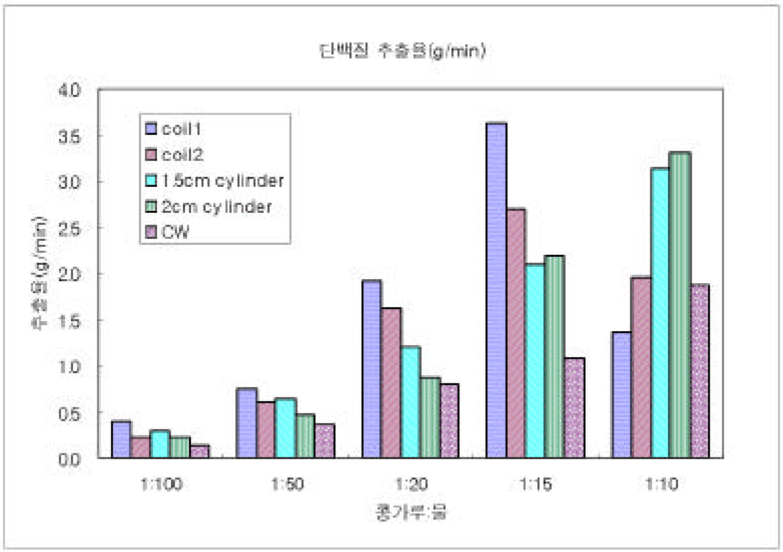


Fig. 3-52. The extraction rate of soluble protein (g/min)

나. 일반 성분 및 단백질 분석

국내 장려 품종 6종의 일반 성분을 분석한 결과 Table 3-4와 같았다. 이 결과는 기존의 콩 성분 분석에 대한 자료와 일치한다.(농촌진흥청 농촌영양 개선원 1986) 그리고 이들 콩에 대하여 conventional water bath system과 microwave water bath system을 사용하여 단백질을 추출한 결과 Fig. 3-53과 같았다. 수용성 단백질의 농도와 수율을 정량하고 분산분석한 결과 처리 및 품종에 유의적인 차이가 있었으며 ($P<0.01$), 품종에 대해 다중비교를 수행하여 신팔달 2호를 선정하였다.(SAS Institute Inc., 1985)

Table 3-4. Approximate composition of soybean varieties (wet basis)[unit : g/100g]

Varieties	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash	NFE*
Hwasungpuk	8.6	41.77	24.56	5.71	19.36
Danbaek	9.0	44.41	24.64	5.37	16.58
Duyou	8.1	36.25	23.71	5.59	26.35
Namcheon	7.4	37.74	20.32	5.62	29.92
Shinpaldal 2	12.9	37.62	19.30	5.45	24.73
Baekun	14.9	36.59	23.48	5.23	19.80

NFE*(nitrogen free extracts) : 100 - others

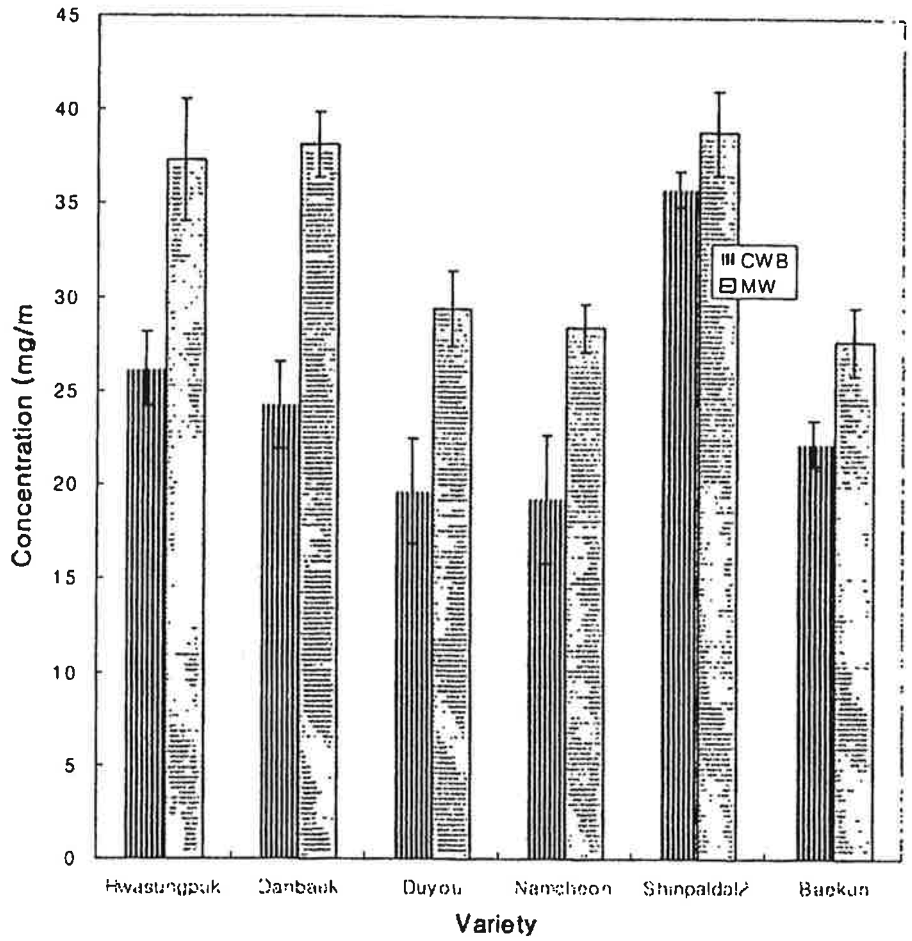


Fig. 3-53. Soluble protein concentration by microwave extraction system and conventional water bath system

다. 수용성 단백질의 전기영동

Polyacrylamide gel에서 분리된 단백질 밴드를 densitometer로 정량하여 단백질의 상대적 농도의 변화 양상을 조사한 결과 수용성 단백질은 19.3kDa

81.3 kDa의 분자량 분포를 보였으며 6개의 띠 모두에서 microwave 추출시스템의 경우가 conventional water bath system에서 추출한 시료보다 높은 단백질 농도를 보였다(Table 3-5). 이것은 Fig. 3-54에 의해서도 확인할 수 있었다. 즉, microwave와 conventional water bath system에서 가열 추출한 시료의 단백질 패턴을 중첩시켜보면 microwave 처리 시료의 피크 면적이 더 큰 것으로 미루어서 microwave 처리 시료의 단백질 농도가 더 높음을 알 수 있었다(Fig. 3-52).

Table 3-5. Relative concentration of protein bands separated by SDS-PAGE

	Molecular weight (kDa)	Peak area	
		Mw	Cw
Band 1	81.3	8542	6281
Band 2	68.1	30460.33	25060.5
Band 3	57.1	41560.33	37879
Band 4	46.8	16595.67	15101.5
Band 5	30.0	36560.67	39155
Band 6	19.3	8302.667	5607.5

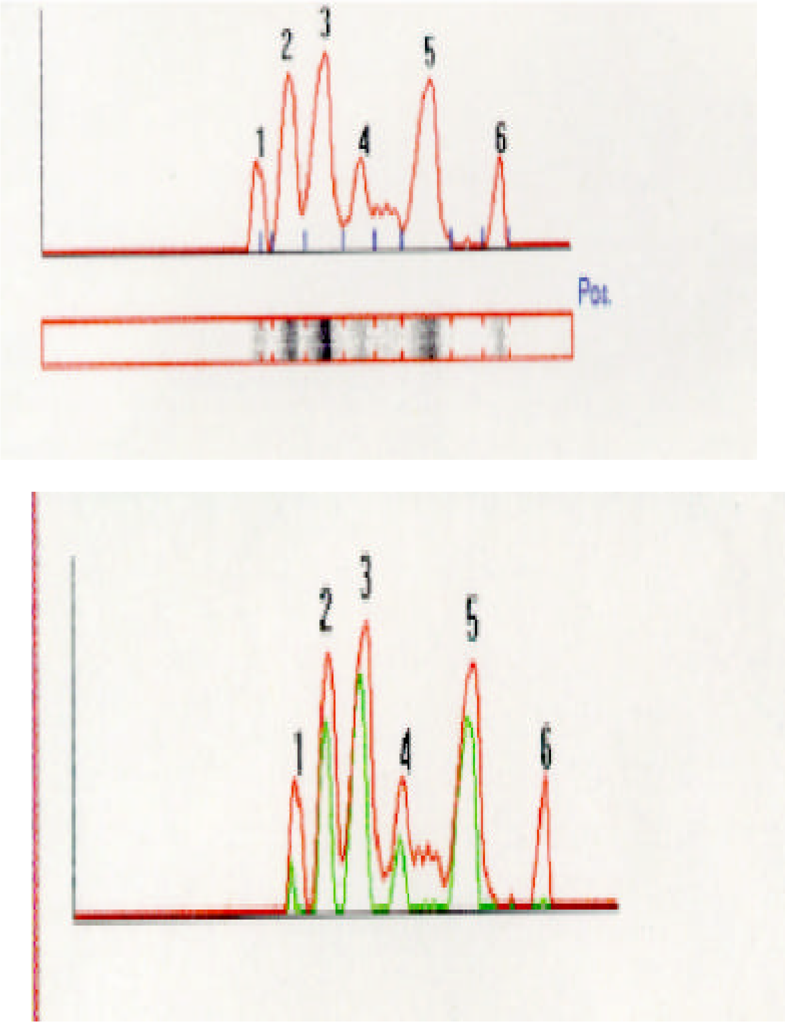


Fig. 3-54. The patterns of soluble protein in SDS-PAGE

라. 반응의 동적 변화 모니터링

선택한 신팔달 2호 품종으로 중심합성계획에 따라 16개의 실험구를 계획하여 반응표면분석을 수행하여 가열시간, 가열온도, 가수량과 기질비의 수율과 의

의 동적 변화를 모니터링한 결과, 온도와 반응 시간은 일차 곡선 효과를 나타내었고 가수량과 기질비는 이차 곡선효과를 나타내었다. 그 결과 온도=60.1℃, 콩:가수량=1:12.6의 임계점을 추정하였고 (Fig. 3-55), 반응 시간은 임계점 없이 30분의 실험 구간내에서는 시간이 증가함에 따라 수율도 증가하는 양상이 관찰되었다.(Fig. 3-56, 57)

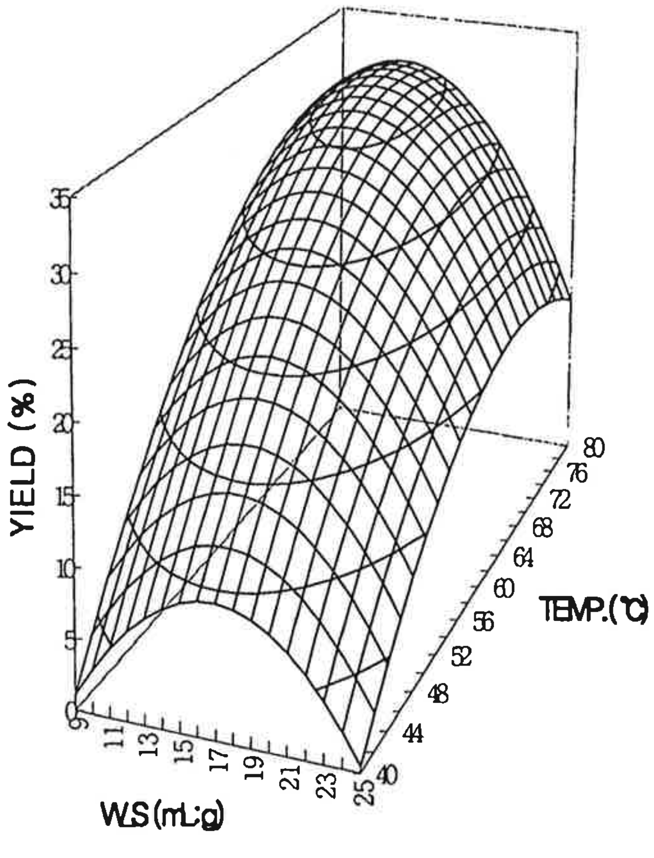


Fig. 3-55. Response surface plot of the effect of W/S ratio and temperature on the yield of soluble protein at 20 min reaction time

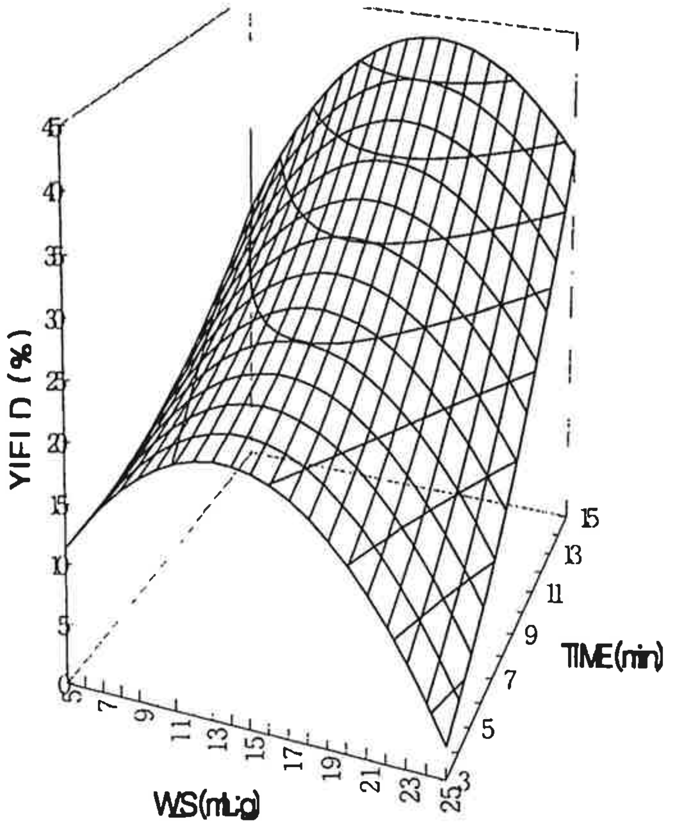


Fig. 3-56. Response surface plot of the effect of W/S ratio and reaction time on the yield of soluble protein at 60℃

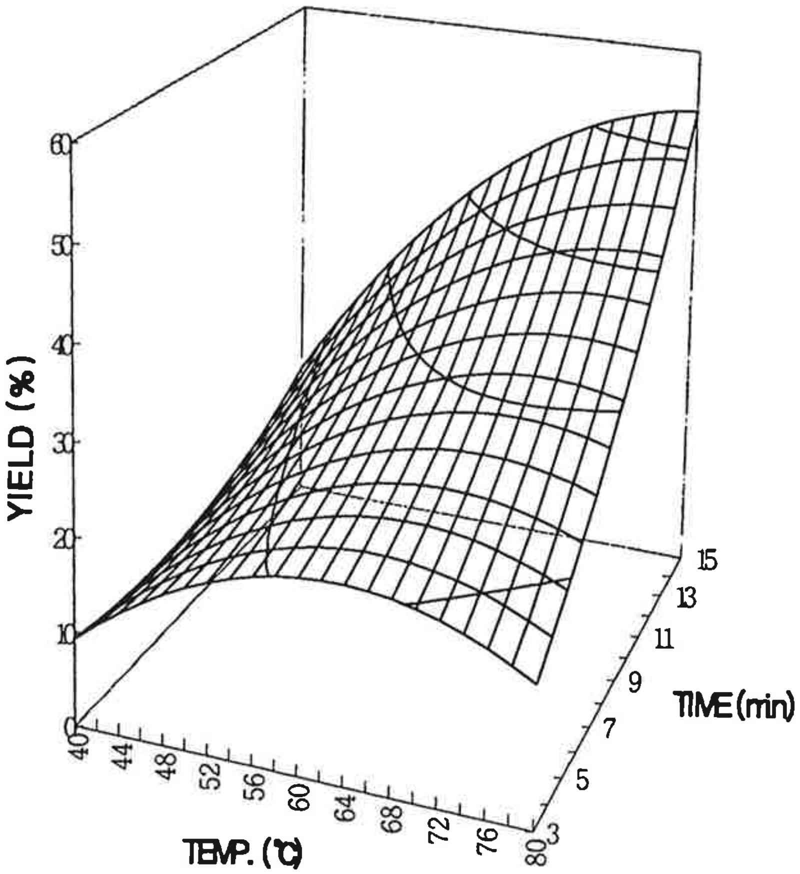


Fig. 3-57. Response surface plot of the effect of temperature and reaction time on the yield of soluble protein at 15 mL:g W/S ratio

마. 초단파가 콩의 세포구조에 미치는 영향

초단파로 처리하지 않은 대조구의 콩 세포벽은 온전하였으나(Fig. 3-58-A) 초단파로 가열 처리하였을 경우 세포벽 파괴 현상이 뚜렷이 관찰되

3-58-B, C, D). 더불어 세포 내부에 존재하는 단백체(protein body)가 용출되는 모습도 관찰되었다.(Wolf and Baker, 1972) Fig. 3-58-A는 12시간 동안 상온의 물에서 불린 콩의 세포벽을 촬영한 것으로 개개의 세포벽의 모습을 보이고 있으며, 세포내 고형물과 유효성분은 관찰되지 않았다. 반면에 Fig. 3-58-B와 C는 초단파로 10분간 가열 처리한 콩으로 세포벽이 파괴되어 세포내에 존재하는 단백체가 밖으로 용출됨을 볼 수 있었다.(Tombs, 1967) 초단파 가열 시간이 증가함에 따라 세포벽 파괴의 정도가 심해짐을 Fig. 3-58-D를 통해 확인하였다. 이러한 결과는 초단파 가열 시간의 증가에 따른 수용성 단백질 추출 농도의 증가와 일치하였다.

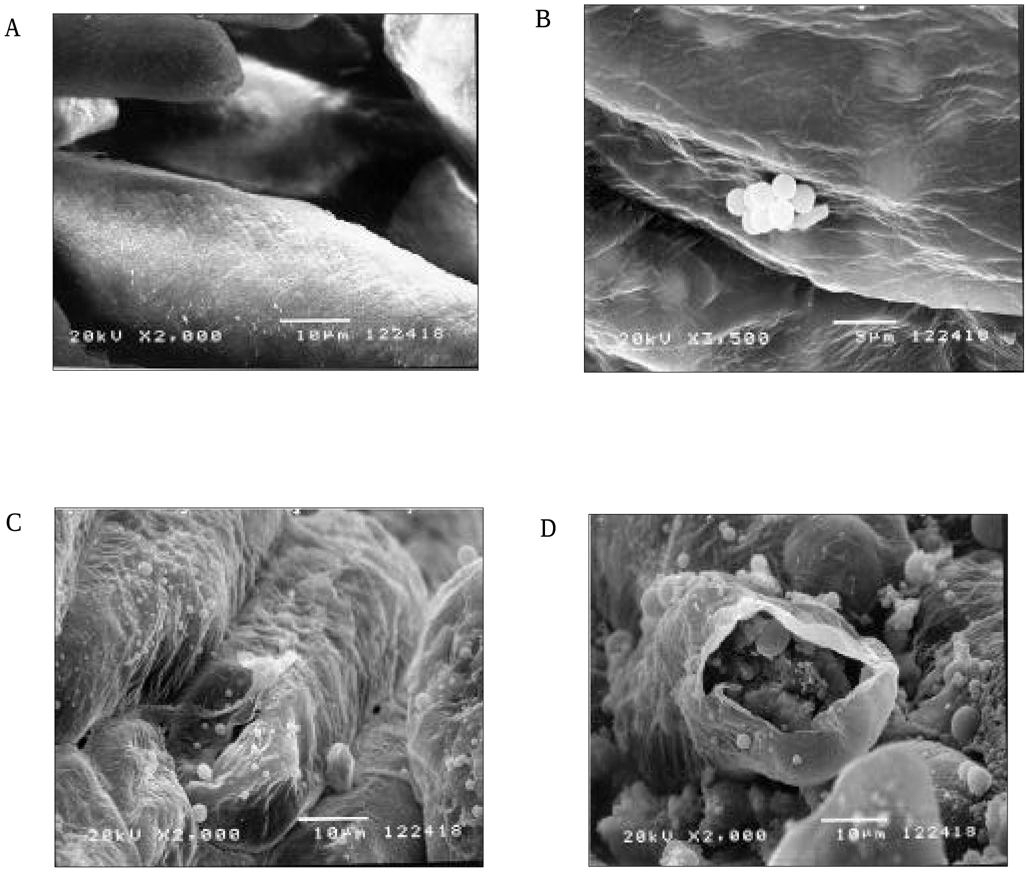


Fig. 3-58. Electron micrographs of microwave-treated soybeans

A : control,
B : microwave-treated for 10 min (magnification × 3500),
C : microwave-treated for 10 min (magnification × 2000),
D : microwave-treated for 15 min (magnification × 2000)

참고 문헌

Spencer, P.(1949) U.S.Patent 2, 480, 679

Spencer, P.(1950) U.S.Patent 2, 495, 429

Charles R. Buffler (1992) Microwave Cooking and Processing, AVI: New York

Robert F. Schiffmann(1986) Food product development for microwave processing. Food Technology June 1986,Pp 94-98

Owusu Y.J. (1991) Advances in microwave drying of foods and food ingredients. J. Inst.Can.Sci.Technol. v.24,Pp. 102-107

T.Kudra, R.R.Van De Voort, G.S.V.Raghavan and H.S.Ramaswamy, (1991) Heating characteristics of milk constituents in a microwave pasteuriztion system. J. Food Sci. v.56, Pp.931-937

Ute Rosenberg, Werner Bö히.(1987) Microwave thawing, drying, and baking in the food industry. Food Tecnol. v.6, Pp.85-89

Yi Hua Ma, Philippe R.Peltre (1975) Freeze dehydration by microwave energy. AIChE Journal. v.21, Pp.335-343

Christie J. Geankoplis (1978) Transport Processes and Unit Operations. Allyn and Bacon, Inc: Massachusetts

Gonzales A.L., Claudio T.R., Buccat E.F., ManalacG.(1982) Effect of particle size on the extraction of oil and protein from fresh coconut meat. Philippine-J. Sci. v. 111, Pp.23-36

Genie G.V. (1994) Juice extraction by diffusion. Int. Sugar Journal v.96, Pp.124- 128

Saska M., Ozer E. (1995) Aqueous extraction of sugarcane bagasse hemicellulose and production of xylose syrup. Biotech. and bioeng. v.45(6), Pp 517- 523

Hernandez T., Martinez C., Hernandez A.(1995) Influence of solvent extraction on the dietary fibre fractions of alfalfa protein concentrates. J. Sc. of Food & Agri. v. 68(2), Pp.187- 190

Hye Keong Jun, Ji Sook Kim, Hong Kyoon No (1994). Chitosan as a coagulant for recovery of proteinacqeous solids from tofu wastewater. j. Agr. & Food Chemistry v. 42(8), Pp.1834- 1838

Saito K. (1993) An improved technique for the extraction of precarthaminn under mild conditions. Food Chemistry v. 48(4), Pp.419- 421

Minuth T., Thoemmes j., Kula M.R.(1995)Extraction of cholesterol oxidase from Nocardia rhodochrous using a nonionic surfactant- based aqueous two- phase system. J. Biotech. v.38(2), Pp.151- 164

Aeschbach R., Baechler R., Rossi P., Sandoz L., Wille H.J. (1994) Mechanical extraction of plant antioxidants by means of oils. Fett Wissenschaft Technologies v.96 Pp.441- 443

P.N.Maheshwari, D.W.Stanley, F.R.Van De Voort and J.I.Gray,(1981) Effect of microwave treatment on the microstructure of dehulled rapeseed. Cereal Chem. v. 58, Pp.381- 384

K.S. Yeum and J.K.Chun(1996) Effect of microwave heating in the extraction yield of soluble solid in food. Seoul National University.

Pominski, J., Vinnett, C. H.(1989) Production of peanut flour from microwave vacuum-dried peanuts. Journal of food science: an official publication of the Institute of Food Technologists, USA, v.54(1), Pp.187-189

Manabe, M., Baohara, J., Sato, T., Okada, -j,(1988) The extraction of pectin by microwave heating. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology v. 35(7), Pp. 497-501

Rocca, B., Arzouyan, C., Estienne, J.(1992) Microwave in laboratory extraction techniques [examples: aromatized products, essential oils, coffee]. Annales des Falsifications de 1 'Expertise Chimique et Toxicologique, France v. 85(911), Pp. 347-354

Frederick, J. R.: Ultrasonic Engineering 1st Ed., John Wiley & Sons (1965)

전자기술연구회: **초음파 응용** (1989)

Steingerg, E. B.: Ultrasonic in industry proceeding of the IEEE, 53(10): 1292 (1965)

Erikson, K. R., Fry, F. J., and Jones, J. P.: Ultrasonic in Medicine, IEEE Transaction on Sonics and Ultrasonics, 21(3): 144 (1974)

Atkins, G., Kor, S. K., and Petrucci, S.: Ultrasonics in Chemistry, Proceedings of the IEEE, 53(1): 1379 (1965)

Heath, J. L., Owens, S. L., and Globe, J. W.: Ultrasoni Vibration as an Aid in the Acetic Acid Method of Cleaning Eggs, Poultry Science, 59: 737 (1980)

Dawson, L. E., Hall, C. W., Farmer, E. H., and Mallmann W. L.: The Use of Ultrasonic Energy for Cleaning, Poultry Science, 41: 620 (1961)

Wang, L. C. and Wolf W. J.: Soybean Protein Aggregation by Sonication, 48: 1260 (1983)

Wang, L. C.: Ultrasonic Peptization of Soybean Proteins from Autoclaved Flakes, Alcohol-Washed Flakes and commercial samples, 43: 1311 (1978)

Wang L. C.: Ultrasonic Extraction of a Heat-Labile 75 Protein Fraction from Autoclaved, Defatted Soybean Flakes, 49: 551 (1984)

Schroder G. W.: Sound Waves Save Ingredients, Food Engineering, 49 (1953)

Azhar, A. and Hamdy, M. K.: Sonication Effect on Potato Starch and Sweet potato Powder, 44: 801 (1979)

Sarker, N. and Wolfe, R. R.: Potential of Ultrasonic Measurements in Food Quality Evaluation, Transactions of the ASAE, 624 (1988)

Schroeder, G. W.: Food Engineering, 25: 48 (1953)

Soloff, R. S.: J. Acoust. Soc. Am., 36: 961 (1964)

Robinson, W. H. and Edgar A.: The Piezoelectric Method of Determing Mechanical Damping at Frequencies of 30 to 200 kHz, IEEE Transactions on sonics and ultrasonics, 21(2): 98 (1974)

Sarvazyan, A. P.: Some General Problems of Biological Action of Ultrasound, IEEE Transaction on sonics and ultrasonics, 30(1): 2 (1983)

Bhatia, M. V. and Cheremisnoff, P. N.: Process Equipment Series, 1:1 (1979)

전재근: **식품공학**, **개문사** (1987)

Geankopolis, C. J.: Transport Precesses and Unit Operation 1st Ed., Allyn and Bacon (1978)

Belter, P. A., cussler, E. L. and Hu, W. S.: Bioseparations, John Eiley & Sons (1988)

Kroger, M. and Shapiro, R.: Changing Food Technology, Technomic Publishing Co. (1978)

Sastry, S.K., Palaniappan, S. (1992) Ohmic heating of liquid-particle mixture. Food Technol., 46(12):64

Fryer P.J. De-Alwis,A.A.P. Koury,-E. Stapley,A.G.F. Zhang,L. (1993) Ohmic processing of solid-liquid mixtures: heat generation and convection effects. J. of Food Eng. 18(2): 101-125

홍석인, (1994), **통전가열**(ohmic heating)**의 원리와 응용**, **식품기술**, Vol 7(1):91-100

Yongsawatdigul, J., Park,J.W.. et al,, (1995), Ohmic heagin maximizes gel functionality of pacific whiting surimi, J. of Food sci. 1(60):10-14

Yongsawatsigul. J., Park. J.W., Kolbe.E. (1995) Electrical conductivity of Pacific whiting surimi paste during ohmic heating. J. of Food Sci. 60(5):922-925, 935.

C. J. Geankopolis (1993) Transport processes and unit operations 3rd ed., New Jersey, Prentice-Hall International.

今井哲哉, (1989), **新しい加熱加工技術--通電加熱の食品加工への　應用ね**, Application of Ohmic heating to food processing.

Sastry, S. K., Palaniappan, S. (1992) Ohmic heating of liquid-particle mixtures, Food Technol. 46(12):64

Peter, F., Zhang, L.(1993) Electrical resistance heating of foods, Trends in Food Sci.&Tech. vol.4:364-369.

Howard, M.B., (1978) Design of op-amp circuits with experiments. p134

Parrott D.L. (1992) Use of Ohmic heating for aseptic processing of food particulates. Food technol. 46(12) : 68-72

Sastry, S.K., Palaniappan. S. (1991) Effects of electroconductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganisms. Biotech. and Bio Eng. 39 : 225-232

Stuart Throne : Mathmatical modelling of food processing operations, p261-265, London, UK

Halden, K., de Alwis, A.A.P., and Fryer, P.J. (1990) Changes in the Electrical Conductivity of Foods During Ohmic Heating. Int.J. Food Sci. Tech. 25 : 9-25

Cho.W.I., Pyun,Y.R., Kim,D.U., Kim,Y.S. (1994) Ohmic heating characteristics of fermented soybean paste and Kochujang. Korean J. of Food Sci. Tech. 26(6):791-798

Kim, J.S., Pyun, Y.R. (1995) Extraction of soybean milk using ohmic heating, Korea-soybean-Digest 1(1):33-38

김진걸 (1992) 전기전자란 무엇인가?, 골든벨

朴聖炫 (1992) 回歸分析(改訂版), 민영사

편집부 (1988) GP-IB 인터페이스의 사용법, 도서출판 세운

NI-488.2 Software Reference Manual for MS-DOS, (1992), National Instruments Corp.

장성익, 김철우, 문성진, 서정원, 황규웅 (1991) 완벽 OrCAD 활용, 가남사

임인건 (1991) Turbo C 정복, 가남사

Wang, W.C., Sastry, S.K. (1993) Salt diffusion into vegetable tissue as a pretreatment for ohmic heating - determination of parameters and mathematical-model verification, J. of Food Eng. Vol20(4):311-323

Dinnage, F.D. Aseptic processing-use of ohmic heating, pp29-41, NewYork, Technomic Publishing Co., Inc.

Biss, C.H., Coombes, S.A., Skudder, P.J. (1989) Process Engineering in the Food Industry-The development and Application of Ohmic Heating for the Continuous Heating of Particulate Food Stuffs. pp17-25, London, UK

Owusu, Y. J. Advances in microwave drying of foods and food ingredients. J.Inst. Can. Sci. Technol. 24:102.1992

Maheshwari, P. N., Stanley, D. W., Van De Voort, F. R,and Gray, J. I. Effect of microwave treatment on the microstructure of dehulled rapeseed. Cereal Chem. 58:381pp. 1981

Rosenberg, U. and Bögl, W. Microwave thawing, drying, and baking in the food industry. Food Technol. 6:85. 1987

Sullivan, D. M. and Carpenter, D. E. (Ed.). A.O.A.C. International: Methods of Analysis for Nutrition Labelling. 1993

Laemmli, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T. 4. Nature. 227:680. 1970

Bollag, D. M., Rozycki, M. D. and Edelstein, S. J. Protein methods. Wiley-Liss, Inc. 2nd ed. p72. 1996

Box, G. E. P., Hunter, W. G. and Hunter, J. S. Statistics for Experimenters. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1978

Mills, J. T. and Chong, J. Ultrastructure and mineral distribution in heat-damaged rapeseed. Can. J. Plant Sci. 57:21. 1977

Hayat, M. A. Principles and Techniques of Electron Microscopy. Biological Applications. Van Nostrand Reinhold, Co. Vol 1. New York. 1970

Hunter, E. E. Practical Electron Microscopy-Beginner's Illustrated Guide. Praeger Publishers, Co. New York. 1984

Meek, G. A. Practical Electron Microscopy for Biologists. 2nd ed. Part 3. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1976

농촌진흥청 농촌영양 개선연수원. 식품 성분표. 3rd ed. p24. 1986

SAS Institute Inc. SAS User's Guide to the Statistical Analysis System. Raleigh, NC. 1985

Wolf, W. J. and Baker, F. L. Scanning electron microscopy of soybeans. Cereal Science Today. 17:125. 1972

Tombs, M. P. Protein bodies of the soybean. Plant Physiol. 42:797. 1967

제 4 장 전통 두류식품의 물성 및 가공분야

제 1 절 서 설

콩(김 등, 1991)은 타곡류에 비해 우수한 단백질과 높은 지방을 함유하고 있어 우리나라와 일본을 비롯하여 동남아시아인들의 영양에 중요한 식품이다. 그러나 소화와 흡수가 잘 안되는 특성이 있어 이를 가공하여 식품으로 이용하고 있으며, 간장, 된장 등의 전통장류와 두부, 콩나물 등의 종류가 있다.

두부업체는 일반적으로 영세하여 제조기술은 전통적으로 알려진 기술을 바탕으로 생산규모만 증대시킨 정도이다. 두부공정은 수세, 침지, 마쇄, 증자, 여과, 응고, 성형, 절단 및 포장 등의 단위 조작과 공정이 사용되는데 이 중에서 응고 공정과 성형 공정은 생산 두부의 품질과 수율에 영향을 미치는 핵심공정이다(김길환, 1982).

작업자의 경험에 의존하는 두부 제조공정의 많은 문제점을 해결하고자 전기 및 물리, 화학적인 측정방법들이 사용되거나 연구되어왔다. 김 등(1995)은 초음파를 이용하여 두부 조직의 변화를 측정하였고, Ohara 등(1993)은 laser beam을 이용하여 두부 응고시 응고입자의 크기를 측정한 후 시간에 따른 응고진행과의 관계를 규명하고자 하였으며, 응고 진행 과정 중 viscosity(Ohara 등, 1992; Miura and Komeyasu, 1980) 및 electrical conductivity(Ohara 등, 1992a; Ohara 등, 1992b)를 계측하여 응고의 반응의 척도로 사용한 연구가 보고된 바 있다.

최근에는 두부의 응고 반응과 물성 변화에 대한 수학적인 모텔 연구가 진행되고 있다(김 등, 1995; Horvath, 1989). 한편 고추장, 간장 등 대두 발효식품은 메주를 이용하여 제조하는데, 메주는 삶은 콩을 일정한 모양으로 성형한 후 곰팡이와 세균을 자연 접종시켜 발효시키는 것이 예로부터 전해 내려온

전통적인 방법이다(이태녕, 1971; 장지현, 1963, 1969; 이춘영, 1989).

우리 나라에서는 장류를 전통적 방법으로 일반가정에서 제조하여 왔으나 국민소득의 증가와 생활의 간소화 추세에 맞추어 메주의 품질향상과 제조방법 개선에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 김 등(1961)은 메주의 원료로 콩: 보리: 밀의 비율을 달리하고 국균을 접종하여 개량식 메주를 만들었을 때 효소의 활성을 비교하였고, 장(1966)은 국균을 접종하고 콩 이외에 전분질을 첨가하여 메주의 제조방법을 개선하려 연구한바 있다. 또한 한 등(1967)은 콩의 가열처리 조건이 메주제조에 미치는 영향을 보고하였다.

간장을 제조할 때 원료로 사용되는 콩이나 탈지대두, 밀은 증자공정을 거치게 되는데 이를 통해 원료는 살균과 동시에 단백질의 변성과 전분의 호화가 발생하여 분해가 쉬어진다. 생물 질이 발효 과정 중 효소에 의해 가수분해되기 위해서는 조직의 적절한 파괴와 호화, 변성이 선행되어야 하는데, 이러한 전처리를 위해 원료의 분쇄, 가열이 전통적으로 수행되어 왔다.

장류 발효에 사용되는 대두는 비교적 오랫동안 가열, 증자되어야 하므로 이 과정에 많은 에너지가 필요하게 된다. 식품가공분야에 응용되는 압출성형기(extruder)는 발효기질로 사용되는 곡류, 두류 및 기타 원료의 혼합, 가열, 팽화, 성형을 단일공정으로 수행할 수 있다. 그 결과 제조 공정의 단순화와 노동력과 에너지 절감, 생산성 및 제품의 품질향상 등 여러 가지 이점이 제시되고 있다(오 등, 1993; Akio등, 1980; Hirochumi등, 1982). 따라서 압출성형기술이 전통 발효식품의 제조 공정에 활용된다면 산업적 생산에 유용한 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 압출기를 이용해 전처리 하고 종균을 단일 또는 혼합 접종하여 간장 발효를 위한 코오지를 제조하였으며 제국 특성을 관찰하여 압출 전처리가 양조간장 제조에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 또한 koji에 접종한 미생물의 조합을 달리하여 제조한 koji와 간장의 품질과의 관계를 분석하

였다. 압출성형기는 크게 나누어 단축 압출성형기(single-screw extruder)와 쌍축 압출성형기(twin-screw extruder) 두 종류가 있는데, 이 연구과제에서는 설치 및 운용비용이 상대적으로 저렴하여 농촌에서의 소규모 제조 공정에 적합한 단축 압출성형기를 사용하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 대두식품의 물성규명

가. 두유 응고 과정 중의 측정

두유의 응고과정 중의 점도는 점도계(Brookfield Digital Viscometer Model DV-Ⅱ+ version 2.0, USA)를 사용하여 cP단위로 측정하였다. 사용한 spindle은 항온 셀(Thermostat cell) SC4-31을 사용하였다. 응고과정 중 경시적으로 두유의 점도 변화를 측정하기 위하여 시료를 담아 항온 수조내에 넣을 수 있도록 두유 응고관 (acryl tube, 내경 16mm, 두께 2mm, 길이 100mm)을 제작하여 사용하였다.

즉, 70℃의 두유 250mL에 $CaSO_4$를 0.5%(w/v)첨가한 후 2 3회 저어 준 다음, acryl tube 11개에 각각 15mL씩 담고, 항온수조에 정리하면서 2분 간격으로 acryl tube 한 개씩을 꺼내어 동일한 온도로 유지되는 thermostat cell에 넣고 viscosity를 측정하였다.

응고과정 중인 두유의 유변특성은 shear rate를 변화(spindle의 회전속도를 5초 간격으로 증가)시키면서 shear stress 및 torque를 측정하였다.

나. 응고 중인 두유의 흐름도(fluidity)측정

두유 응고시 흐름특성을 분석하기 위하여 특별히 제작된 acryl tube에서 응고시간별로 유속을 측정하였다. 사용된 tube(두께 2.5mm, 내경 11mm, 길이 1000mm)는 열전도율 0.4 0.6W/m·K의 아크릴 재질을 사용하여 Fig. 4-1과 같이 한쪽 끝에 쉽게 여닫을 수 있는 cap을 마련하고 0.9m 간격의 눈금(mark)을 양쪽 끝에 표시하였다.

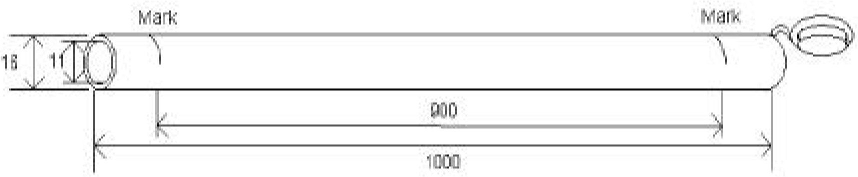


Fig. 4-1. Acryl tube for the measurement of fluidity of soybean coagulator

Acryl 관 4개를 수직으로 세운 다음 두유 400mL에 응고제를 첨가한 직후, 90mL씩 담에 높이를 맞추었다. 이를 응고용 항온수조에 장치한다. 그 후 5분마다 1개씩 꺼내어 Fig. 4-2와 같이 미리 경사각(α。)을 갖도록 만든 지지대에 올려놓고 cap을 열어 응고물이 흐르게 하였다. 이때 두유가 눈금사이의 거리(900mm)를 흐르는 데 소요되는 시간(sec)을 측정하여 유속을 산출하였고 유속은 2 3회 측정값의 평균치를 취하였다.

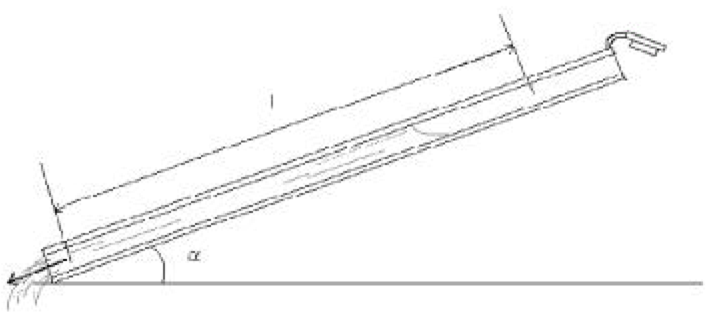


Fig. 4-2. The experimental apparatus for the measurement of fluidity of soy-coagulate

다. 무면포 압착틀에서 두부의 압착력에 따른 조직감 측정

성형틀의 순물배출공수를 달리하여 제조된 두부의 조직감을 Texture analyzer(TA-XT2, Stable Micro Systems, software version 3.7A)로 hardness를 측정하여 순물 배출량과의 상관관계를 조사하였다.

Texture analyzer probe는 지름 20mm의 flat surface, cylinder형을 사용하였으며 strain mode에서 0.5mm/s의 test speed로 측정하였다.

조직감 측정에 사용된 두부시료는 `나' 와 `다'의 실험방법들을 통해 제조된 두부를 상온(20℃)에서 5분간 보관한 후, Fig. 4-3과 같이 특별히 고안된 틀과 0.3mmΦ의 철사줄을 이용하여 두부모(50×50×25(H)mm)를 만들었다. 두부모는 다시 상온에서 3분간 온도평형을 시킨 후 조직감 측정용 시료로 하였다.

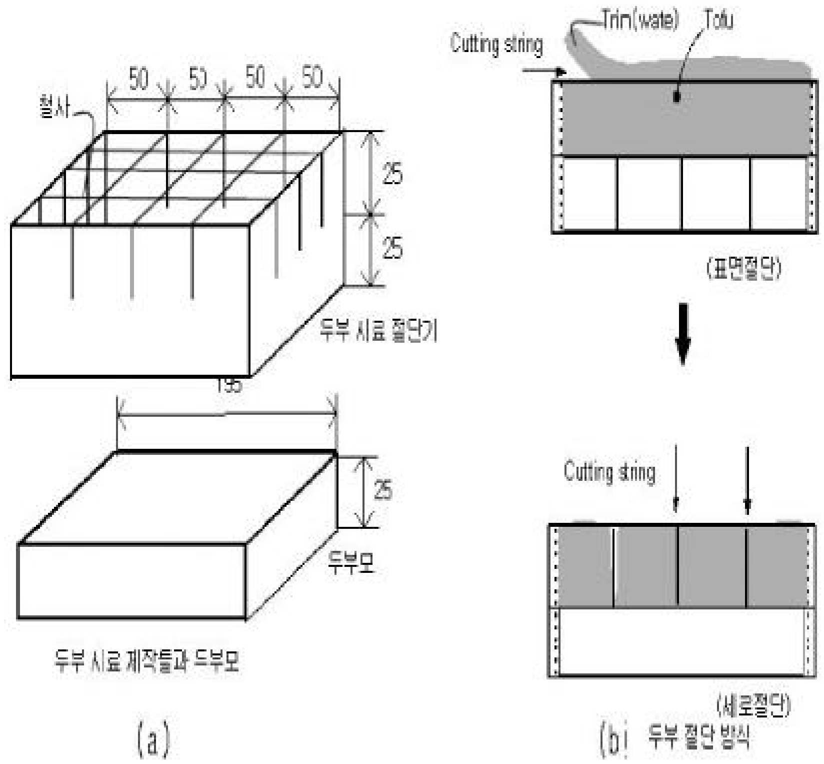


Fig. 4-3. Sample preparation method for texture analysis

2. 압출성형과 혼합접종을 이용한 간장 koji 제조

가. 압출(extrusion)처리 및 최적화

압출 성형기술을 이용한 코오지 제조 연구에서는 단축 압출성형기(NSE 25, 남성산업)를 사용하였으며, 압출물 제조의 주원료로 대두분과 소맥분을 사용하였다(Table 4-1). 압출성형의 최적 조건을 설정하기 위한 실험 설계로 2차 반응표면분석(response surface method, RSM) 에 유용한 Box-Behnken design을 사용하였으며 독립변수는 screw speed, barrel temperature, feed moisture content, starch content의 4개 변수를 3수준으로 계획하였다(Table 4-2).

종속변수로서 팽화율(expansion ratio), 수분 흡수율(water absorption)과 하적 밀도(bulk density)를 측정하였다. Statistical Analysis System(SAS)의 RSREG와 RS/1을 사용하여 분산분석 및 회귀분석을 수행하였으며, 회귀계수, 주효과, 교호작용 등을 조사하여 종속변수에 대한 회귀 방정식을 얻음으로써 각각의 최적 압출 조건을 설정하였다

나. 압출물의 물리적 특성 측정

팽화율은 압출물의 지름을 캘리퍼로 한 시료당 10번씩 측정하여 얻은 평균값과 extruder die의 지름간의 비로 나타내었다.

수분 흡수율은 압출물 5g을 250mL 비이커에 담고 상온의 물을 100mL가하여 1시간 동안 방치한 다음 수화된 시료의 무게를 측정하여 흡수된 물의 양을 백분율로 표시하였다.

하적 밀도는 압출물을 분쇄하고 30mesh 체에 통과시켜 조제한 시료를 250mL 실린더에 채우고 부피가 더 이상 감소하지 않을 때까지 반복해서 두드린 다음 압출물이 차지한 부피와 무게를 각각 측정하여 단위 무게당 부피의 비로 나타내었다. 수분 흡수율과 하적 밀도는 각각 3회씩 측정하여 평균값

으로 나타내었다.

압출성형물의 미세 구조는 시료를 냉동건조 하여 절단한 다음 그 단면을 gold-palladium으로 도금하고 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope, Model JSM-5410LV, JEOL Co., Japan)으로 관찰하였다.

Table 4-1. Proximate composition of soy flour used in extrusion study (Unit : %)

Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Ash
8.7	36.87	18.74	30.19	5.5

Table 4-2. Experimental design for response surface analysis of extrusion conditions

Level	Screw speed(rpm)	Barrel temp(℃)	Moisture content(mL/min)	Starch content(%)
1	250	160	35	40
0	200	150	30	30
-1	150	140	25	20

다. 코오지의 제조 및 효소 활성 측정

압출성형물의 물리적 특성을 최대로 나타내는 최적 조건에서 제조한 압출물에 전통 장류의 품질 특성을 결정짓는 데 중요한 미생물인 *Aspergillus oryzae*, *Bacillus subtilis*, *Rhizopus. delemar* 균주를 접종하고 코오지 제조 중 장류 발효의 기본이 되는 단백질 가수분해효소, 탄수화물 가수분해효소 등의 활성을 측정하였다. 각 균주의 접종 조합은 Table 3과 같다.

Table 4-3. Combinations of three different microorganism for koji preparation

Control	Optimal expansion ratio	Optimal water absorption
A	A	A
B	B	B
R	R	R
A+B	A+B	A+B
A+R	A+R	A+R
B+R	B+R	B+R
A+B+R	A+B+R	A+B+R

A:*Asp. oryzae*, B:*B. subtilis*, R:*Rhi. delemar*

1) 원료의 전처리 및 사용균주

원료 대두는 서원농협에서 구입한 대두분을, 소맥분은 시판용 중력분(제일제분, 한국)을, 식염은 순도 97%인 정제염((주)한주)을 사용하였다.

제국에는 서울대학교 식품공학과 공장에서 분양받은 *Asp. oryzae* 단모균과 서울대학교 식품공학과 미생물실에서 분양받은 *B. subtilis* 그리고 *Rhi. delemar*를 종균으로 사용하였다.

2) 코오지 제조

각 물리적 특성의 최적 압출 조건에서 처리한 압출물들을 일정 크기로 분쇄한 다음 수분함량이 44%가 되도록 가수하였으며. 최종적으로 대두분과 소맥분의 비율이 1:1이 되게 하였다.

접종균주들은 단계희석법으로 haematometer를 사용하여 포자수를 일정(2.4×107 colony/mL)하게 한 다음 *Asp.oryzae*는 0.5%, *B.subtilis*와 *Rhi.delemar*는 각각 20mL씩 접종하여 상대습도를 90% 이상으로 유지하면서 30℃에서 72시간 배양하였다

대조구는 autoclave로 121℃, 0.8kg/㎠에서 30분간 증자한 후 냉각한 다음 대두와 동량의 밀가루를 혼합하고 수분함량이 44% 되게 가수한 후 상대습도

를 90% 이상으로 유지하면서 30℃에서 72시간 배양하였다.

3) 코오지 효소활성의 측정

코오지 5g을 증류수 100mL에 첨가하여 밀봉 후 25℃에서 3시간 동안 진탕시켰다. 이 추출액을 Whatman No.2 여과지에 통과시켜 그 여액을 5% 조효소액으로 하였다.

Protease는 shoyu시험법(김 등,1993)에 따라 활성도를 측정하되 기질로 1% casein(Sigma Chemical Co.)을, 완충액은 0.1M sodium phosphate buffer(pH 7)를 사용하였다. 완충액에 녹인 1% casein 1mL와 증류수 1mL를 시험관에 넣고 항온수조에서 30℃로 조정한 후 역시 30℃로 조정한 조효소액 1mL를 첨가하였다. 정확히 10분 후 0.4M trichloroacetic acid(TCA) 3mL를 넣어 반응을 정지시킨 후 30분간 정치하였다. 이 반응액을 여과한 후 여액 2mL를 취해 0.55M sodium carbonate 5mL 와 3배 희석한 Folin reagent 3mL를 넣고 30℃에서 30분간 반응시킨 후 660nm 흡광도를 측정하였다. 이 반응조건에서 1분간 tyrosine 1mg을 유리하는 효소량을 1 unit로 하였다.

α-Amylase 경우 shoyu modified method에 따라 활성도를 측정하였다. 1% 전분용액이 포함된 0.2M acetic acid buffer 1mL를 30℃에서 5분간 방치 후 30℃로 조제한 효소액 1mL를 첨가하여 30℃에서 30분간 반응시킨 후 0.5M acetic acid 5mL로 반응을 정지시키고 1/3000N 요오드 용액 10mL를 넣고 700nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소액 1mL가 나타내는 흡광도의 차이(blank-시료)를 unit로 표시하였다.

β-Amylase의 활성은 dinitrosalicylic acid법(Miller,1959)으로 측정하였다. 1% 가용성 전분이 포함된 0.016M acetic acid buffer 0.5mL를 30℃에서 5분간 정치한 후 30℃로 조정한 조효소액 0.5mL를 첨가하여 30℃에서 30분간 반응시켰다. 그 후 dinitrosalicylic acid 1mL를 첨가하였다. 이것을 5분간 끓

는 물에 방치한 후 냉각시키고 10mL의 증류수를 첨가하고 잘 섞어서 540nm에서 흡광도를 측정하였다. Maltose로 표준곡선을 작성하여 효소액 1mL가 maltose 1mg을 유리시킬 때의 효소량을 1unit로 하였다.

라. 간장의 제조

간장담금의 원료 배합비율은 코오지:물:소금=1:4:1의 비율로 하였다.

마. 화학성분의 분석

전질소 함량(total nitrogen content)은 Kjeltec Auto 1035/1038 system(TecatorAB, Sweden)을 사용하여 측정하였으며, 아미노태 질소량(amino type nitrogen)은 formal적정법(채수규, 1998)을 사용하였다. 환원당은 dinitrosalicylic acid method(Chaplin and Kennedy, 1986))로 정량하였으며, pH는 pH meter(DMP 400)로, 색도는 tristimulus colorimeter(Croma meter CR-300, Minolta)로 측정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 대두식품의 물성규명

가. 연속 응고관에서의 유변 특성

응고공정은 두부의 품질에 직접적인 영향을 미치므로 gel 형성 단계에 따라 응고관내 두유의 흐름은 다음의 조건을 갖추어야 할 것이다.

① Lm : 두유와 응고제가 별도의 혼합기로부터 이미 잘 혼합된 경우에는 생략할 수도 있다

② Lg : 두부 gel이 형성되는 부분으로 흐름은 층류로 하여야 할 것이다.

③ Lx : 형성된 gel이 균일하게 혼합되도록 유로를 분기와 통합시켜 혼합효과를 줄 필요가 있다.

④ Lo : 생성된 gel이 파괴되지 않는 범위에서 gel의 이동을 유도할 수 있는 구조가 필요하다. 그런데 응고관내의 흐름 상태는 Reynolds number에 의해서 결정되므로 각 구간 단계에 두유의 유변학적 특성이 고려되어야 한다.

응고 중인 두유의 유변특성을 파악하기 위해 응고시간에 따라 두유의 shear rate와 shear stress를 측정하였는데 결과는 다음 Table 4-4와 같다.

Fig. 4-4에서 볼 수 있는 바와 같이 응고 개시 6분까지는 Newtonian fluid에 가까운 성질을 보였다. 그리고 10분부터는 pseudoplastic fluid의 성질이 나타나기 시작하여 14분에 이르러서는 완전한 pseudoplastic fluid 성질을 나타내었다.

Table 4-4. Rheological properties of soymilk-coagulate during coagulation process

Coagulation time (min)	Shear stress at various shear rates (N/m2)					
	0.51 (1/s)	1.02 (1/s)	2.04 (1/s)	4.08 (1/s)	10.2 (1/s)	20.4 (1/s)
0	0.10	0.12	0.20	0.51	0.72	1.10
2	0.10	0.15	0.29	0.49	0.88	1.20
4	0.13	0.15	0.33	0.40	0.79	1.98
6	0.20	0.20	0.50	0.61	1.42	1.98
8	0.30	0.51	0.61	1.02	2.35	3.20
10	0.70	0.81	1.61	2.02	3.04	5.86
12	0.93	1.61	2.82	3.22	5.10	6.90
14	1.60	2.00	3.77	5.10	6.83	8.42
16	3.00	1.95	2.45	5.98	5.01	10.50
18	4.00	4.32	6.45	8.81	10.30	12.90
20	5.12	5.61	5.92	7.24	10.30	12.29

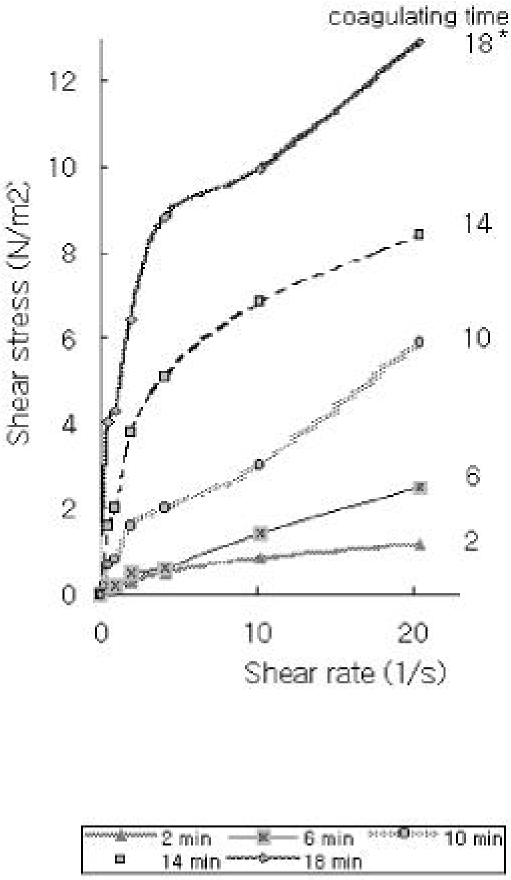


Fig. 4-4. Plot of shear stress at various shear rates during coagulation period

따라서 pseudoplastic fluid**의 유변특성식**(**식**(2))**에서 점조계수**(consistency coefficient, m)**와 유동지수**(flow index, n)**를 산출하였다**.

$$\tau = m\left(-\frac{dv}{dr}\right)^{n} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

위 식에서 τ**는** shear stress, $-\frac{dv}{dr}$**는** shear rate**이다**.

식(2)**의 양변에** log**를 취하여 아래 식과 같이 변형할 경우**, log ㄷ**를** x**축**,

log $-\frac{dv}{dr}$**를** y**축으로 하는** 1**차함수로 나타낼 수 있으므로**(**식**(3)),

$$\log ㄷ = n \log \left(-\frac{dv}{dr}\right) + \log \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

선형회귀법을 이용하여 n, m **값을 계산하였다**.

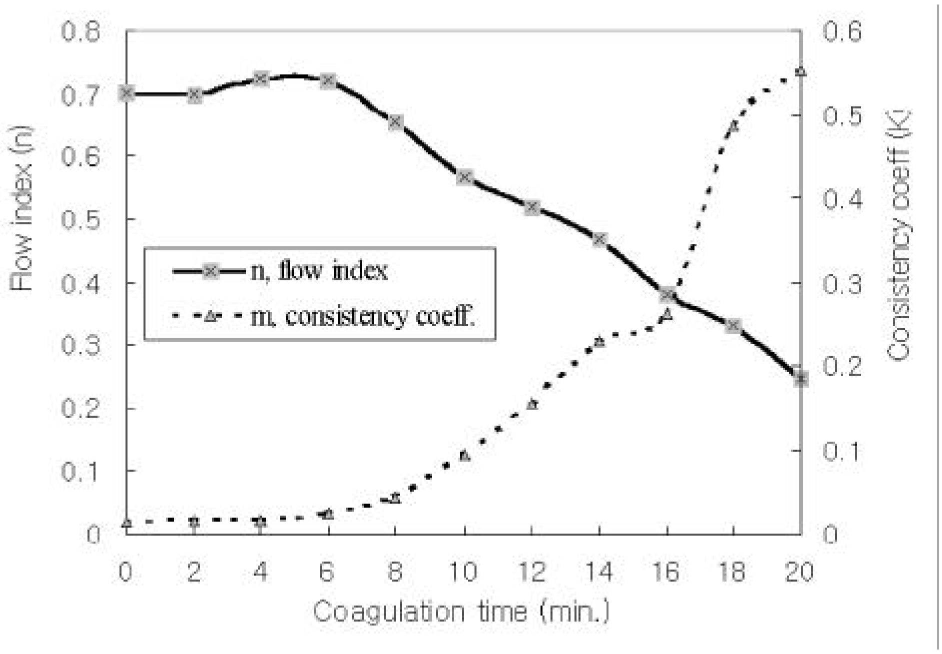


Fig. 4-5. Changes in rheological parameters of soya-coagulate during coagulation period

나. 응고두유의 흐름특성

관내 유체의 흐름특성은 non-Newtonian fluid**로 간주하여 다음 식을 사용하였다**.

$$N_{Re,gen} = \frac{D^n v^{2-n} \rho}{\gamma_{gen}} \quad \cdots\cdots (4)$$

위 식에서 D는 관의 직경(m), v는 유체의 유속(m/s), ρ는 밀도(kg/m3)를 나타내며 γ_{gen}는 generalized viscosity coefficient로 non-Newtonian fluid에 적용되어 apparent viscosity (N•s/m2)로 쓰인다.

$$\gamma_{gen} = m\ 8^{n-1} \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \quad \cdots\cdots (5)$$

위 식들로 산출된 m과 n값을 위 식(5)에 대입하면 다음과 같이 응고시간에 따른 두유의 점도 변화를 볼 수 있다. Fig. 4-6과 같이 응고초기에는 점도는 변화하지 않았으나 보이지 않다가 4분부터 서서히 증가하기 시작하여 8분 경과 후에는 급격한 상승을 보였다.

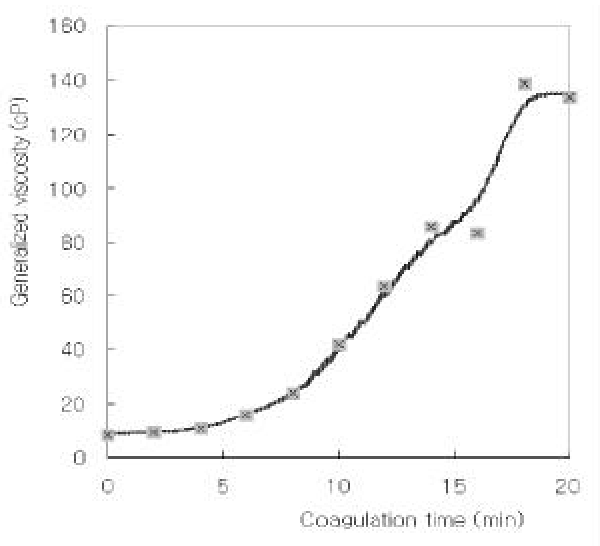


Fig. 4-6. Generalized viscosity profiles of soy-coagulate during coagulation period

응고 관내에서 응고액의 점성 변화를 분석한 결과를 통해 gel 형성 단계에 따른 각 구간의 소요시간을 산출한 결과는 Table 4-5와 같다.

Table. 4-5 The resident time of the coagulation periods

Coagulation periods	Elapsed time* (min)	Resident time (min)
Mixing	3 4	3 4 (θm)
Gelation	10 11	6 8 (θg)
Agitation	15	4 5 (θx)
Outgoing	> 16 (θ)	> 1 (θo)

*Time elapsed to arrive each coagulation period

다. 두유 응고액의 유속

두유의 응고 중 두유의 유속을 유속측정용 acryl tube를 이용하여 측정한 결과, 관의 경사각 5, 10, 15° 에서 Fig. 4-7과 같은 결과를 보였다.

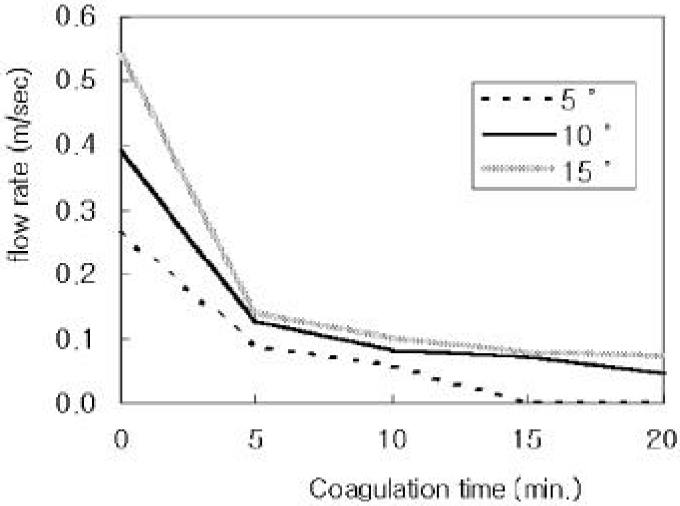


Fig. 4-7 Velocities of soymilk-coagulate during the coagulation process at various slopes

2. **압출성형과 혼합접종을 이용한 간장** koji **제조**

가. 압출물의 물리적 특성

Table 4-6. Experimental data for expansion(ER), water absorption(WAB), and bulk density(DEN) with different combination of screw speed, moisture content, barrel temperature and starch content

	SP	W	T	ST	EXP	DEN	WAB
1	150	25	150	30	1.29	0.45	170.41
2	250	25	150	30	0.20	0.43	208.82
3	150	35	150	30	1.37	0.46	150.38
4	250	35	150	30	1.51	0.46	169.56
5	200	30	140	20	1.20	0.52	217.46
6	200	30	160	20	1.22	0.49	329.78
7	200	30	140	40	1.65	0.50	168.10
8	200	30	160	40	1.71	0.48	219.34
9	150	30	150	20	1.15	0.53	236.43
10	250	30	150	20	1.15	0.51	254.40
11	150	30	150	40	1.73	0.51	187.44
12	250	30	150	40	1.93	0.52	205.07
13	200	25	140	30	1.17	0.46	183.53
14	200	35	140	30	1.30	0.48	161.98
15	200	25	160	30	1.52	0.47	260.04
16	200	35	160	30	1.50	0.51	179.75
17	150	30	140	30	1.44	0.49	164.37
18	250	30	140	30	1.31	0.47	174.06
18	150	30	160	30	1.34	0.47	224.67
20	250	30	160	30	1.45	0.48	168.54
21	200	25	150	20	1.21	0.46	355.01
22	200	35	150	20	1.19	0.51	249.01
23	200	25	150	40	1.62	0.50	201.98
24	200	35	150	40	1.69	0.49	224.23
25	200	30	150	30	1.34	0.51	215.02
26	200	30	150	30	1.34	0.51	215.02
27	200	30	150	30	1.34	0.51	215.02

1) **팽화율의 최적화**

Fig. 4-8에서 볼 수 있듯이 screw 속도, 가수량, barrel 온도, 전분 첨가량 등 각 독립변수들이 모두 팽화율에 영향을 미쳤으며, 특히 전분 첨가량이 미

치는 영향이 다른 변수의 영향보다 큰 것으로 나타났다. Table 4-7은 압출물의 팽화율을 최대로 하기 위한 4가지 독립변수의 최적조건을 분석한 결과를 나타내었다.

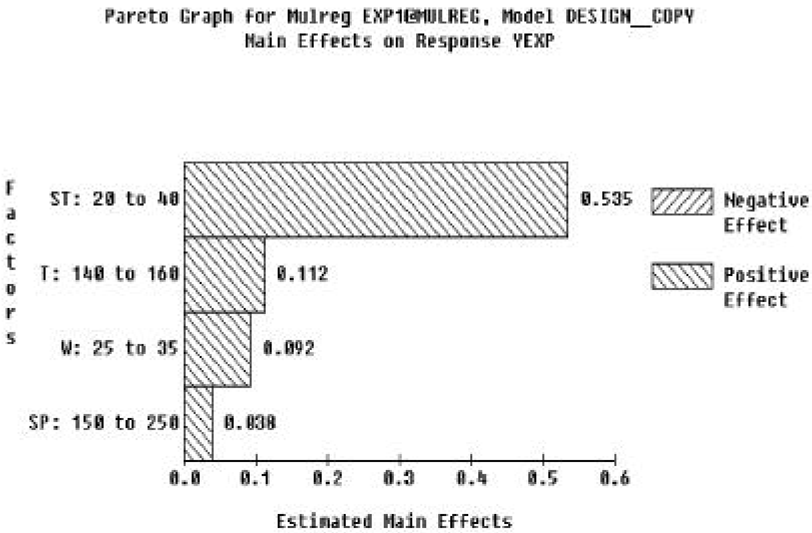


Fig. 4-8. Effect of independent variables on expansion ratio of extruded soy flour

Table 4-7. Optimal conditions of independent variables for maximum expansion ratio

Factor, Response or Formula	Range	Initial Setting	Optimal Value
1 Factors			
2 SP	150 to 250	200	179.85
3 W	25 to 35	30	35
4 T	140 to 160	150	160
5 ST	20 to 40	30	39.997
6			
7 Responses			
8 YEXP	MAX		1.8155

2) 수분 흡수율

독립변수 중 barrel 온도와 screw 속도는 수분 흡수율에 긍정적인 영향을 미쳤으나, 전분 첨가량과 가수율은 부정적인 효과를 나타내었다(Fig. 4-9). 최대 수분 흡수율을 나타내는 독립변수의 조건을 분석한 결과, screw 속도 212 rpm, 가수율 25 mL/min, barrel 온도 160℃, 전분 첨가량 20%이었다(Table 4-8).

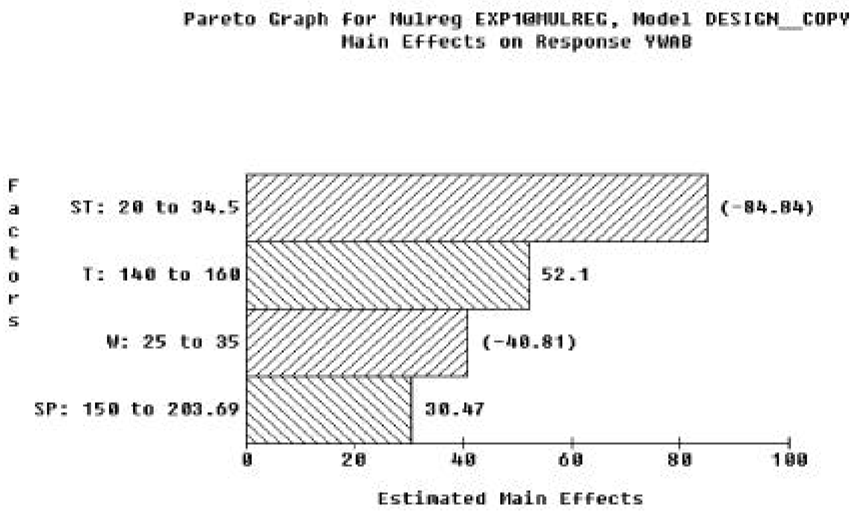


Fig. 4-9. Effect of independent variables on water absorption of extruded soy flour

Table 4-8. Optimal conditions of independent variables for maximum water absorption

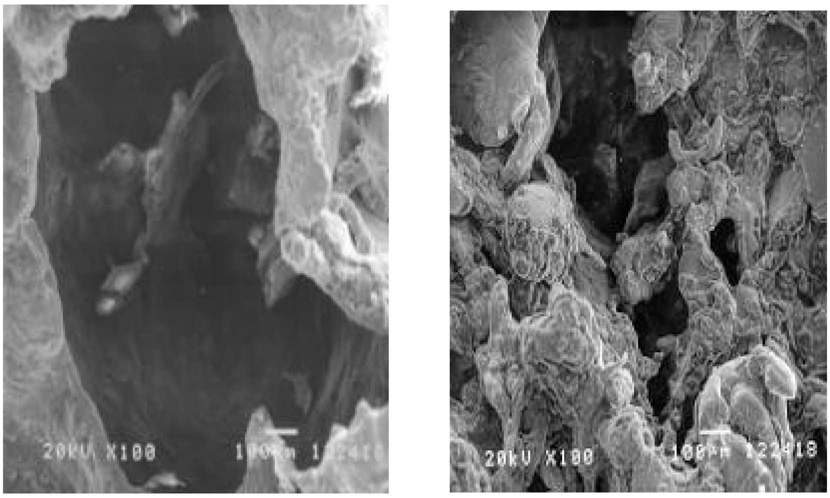
Factor, Response or Formula	Range	Initial Setting	Optimal Value
1 Factors			
2 SP	150 to 250	200	211.93
3 W	25 to 35	30	25.002
4 T	140 to 160	150	160
5 ST	20 to 40	30	20
6			
7 Responses			
8 YDEN			0.47519
9 YEXP			1.2012
10 YWAB	MAX		360.4

3) **하적밀도**

압출성형 실험에서 얻은 데이터를 통계 분석한 결과, 4**개 독립변수와 반응변수인 하적밀도 사이에는** 5% **수준에서 유의적인 회귀관계가 없었다**.

나. 압출성형물의 미세 구조

압출성형물의 미세구조를 주사 전자현미경으로 관찰한 결과, 팽화율이나 수분 흡수율이 최대가 되는 조건에서 제조된 압출성형물에 형성된 기공의 크기가 다른 조건에서 제조된 시료에 비하여 큰 것으로 나타났다. 그리고 최대 수분 흡수율을 보이는 압출성형물이 최대 팽화율을 나타낸 조건에서 제조한 압출성형물보다 기공의 수가 적고 그 matrix **구조가 더 연속적이었다. 최대 팽화율을 나타낸 압출물에서는 기공이 커지면서 그 수가 줄어들어 수분 흡수율이 감소하는 것으로 판단되었다** (Fig. 4-10).



(a) (b)

Fig. 4-10. Scanning electron photomicrographs of the cross section of the extrudate: (a) extrudate at optimal expansion ratio, (b) extrudate at optimal water absorption.

다. 효소활성 비교

각 처리구별 효소활성을 측정한 결과, Fig. 4-11과 Fig. 4-12에서 보듯이 압출처리를 하지 않은 대조구보다 protease와 α-amylase 활성은 매우 높았으며, β-amylase경우는 유의적인 변화를 볼 수 없었다(Fig.4-13). 또한 균주 조합에 따른 koji의 효소활성은 protease, α-amylase 그리고 β-amylase 모두 접종 후 60시간이 경과했을 때 가장 높아 기질, 제조조건, 숙성기간에 따른 미생물의 변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 효소 활성 차이는 protease와 β-amylase의 경우 *A. oryzae*와 *B. subtilis*를 혼합접종한 시험구에서, α-amylase는 *B. subtilis*만을 단일접종한 시험구에서 가장 컸다.

라. 간장 숙성기간 중 일반성분의 변화

1) 질소성분

숙성기간 중 총질소 함량이 숙성기간이 경과함에 따라 증가하는 것은 일반 미생물이 생산하는 단백질 분해효소와 아미노산이 분해되어서이며 숙성60일에 최대치를 나타내고 이 후 변화가 거의 없었다(Fig. 4-14).

아미노태 질소는 숙성 45일까지는 증가하다 이후 감소하였는데 이는 아미노태 질소가 암모니아태 질소로 변화했기 때문으로 생각된다(Fig. 4-15).

총질소와 아미노태 질소 함량은 모두 protease의 활성이 높은 *A. oryzae*와 *B. subtilis*를 혼합접종한 시료가 가장 많은 것으로 나타났다.

2) 환원당

모든 처리구에서 숙성 60일까지는 빠른 증가를 보였으며 *B. subtilis*를 단독처리한 시험구가 가장 함량이 많은 것으로 나타났다(Fig. 4-16). 숙성 60일 이후의 감소는 숙성기간에는 미생물이 분비한 amylase가 다당류에 작용하여 점차 당량은 증가되나, 발효성 단당류인 glucose 등이 alcohol발효와 유기산

발효를 계속하게 됨으로써 숙성 중 상당량의 환원당이 소모되어 감소현상을 나타내는 것이라고 생각된다.

3) pH

pH는 미생물이 발효되면서 생산되는 유기산류와 관련되어 있으며, 숙성 30일 된 간장에서 가장 낮았다(Fig. 4-17). 이 후 약간 증가하였는데 이 때 미생물수가 가장 많은 것과 연관이 있으며 alcohol 발효로 생성된 alcohol과 유기산이 ester를 형성하여 유기산이 감소하였거나 B. subtilis가 분비하는 deaminase에 의해 amino acid가 탈아미노된 형태로 전환되어 amino acid가 감소된 것으로 생각된다. 본 실험결과 간장의 pH가 4.2-7.0 사이에 나타난 것은 박 등(1983)의 결과와 유사하였다.

4) 색도

간장의 숙성 기간에 따른 색의 변화는 Table 4-9와 같이 밝기를 나타내는 L-value는 숙성이 진행됨에 따라 감소하여 어두운 쪽으로 변했는데 이는 갈색화와 미생물에 의한 것으로 생각된다.

한편 적색도를 나타내는 a-value는 증가하였으며, 황색도를 나타내는 b-value도 증가하는 경향을 보였다.

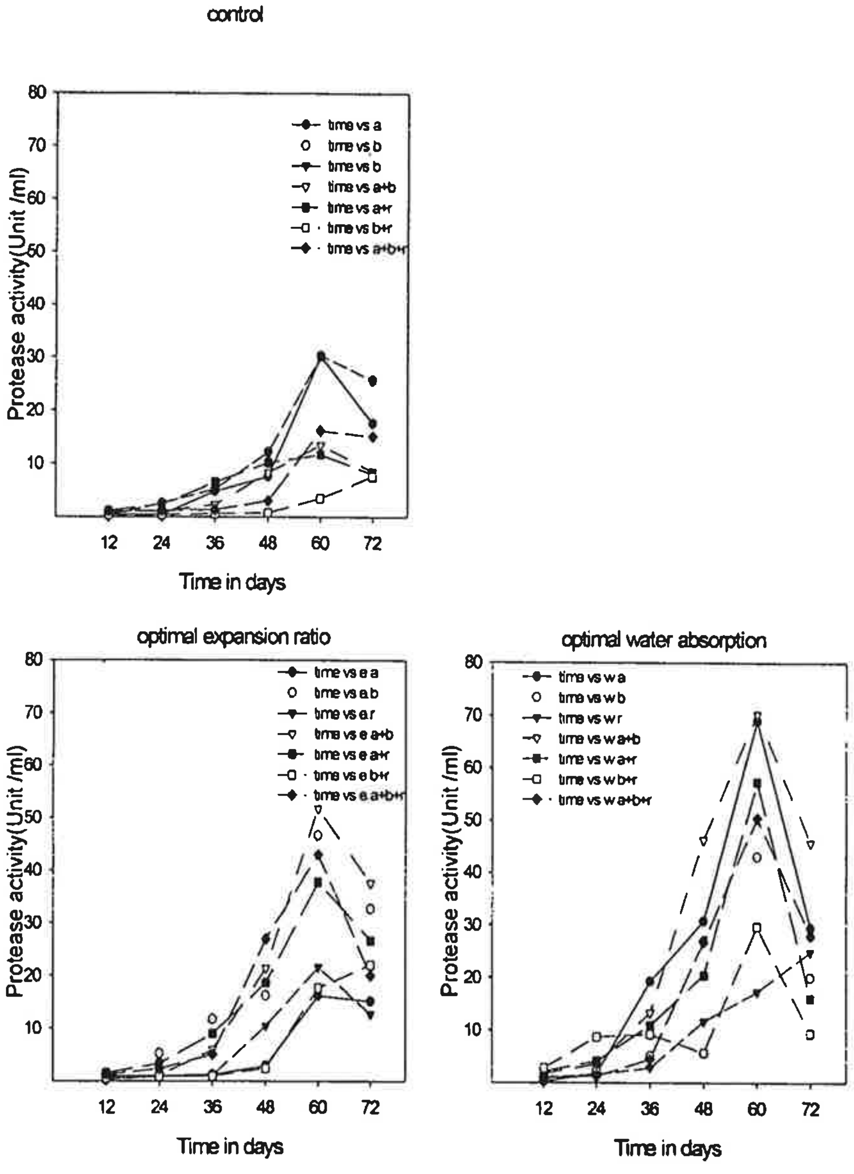


Fig. 4-11. Changes in the protease activity under different conditions during preparation of Koji

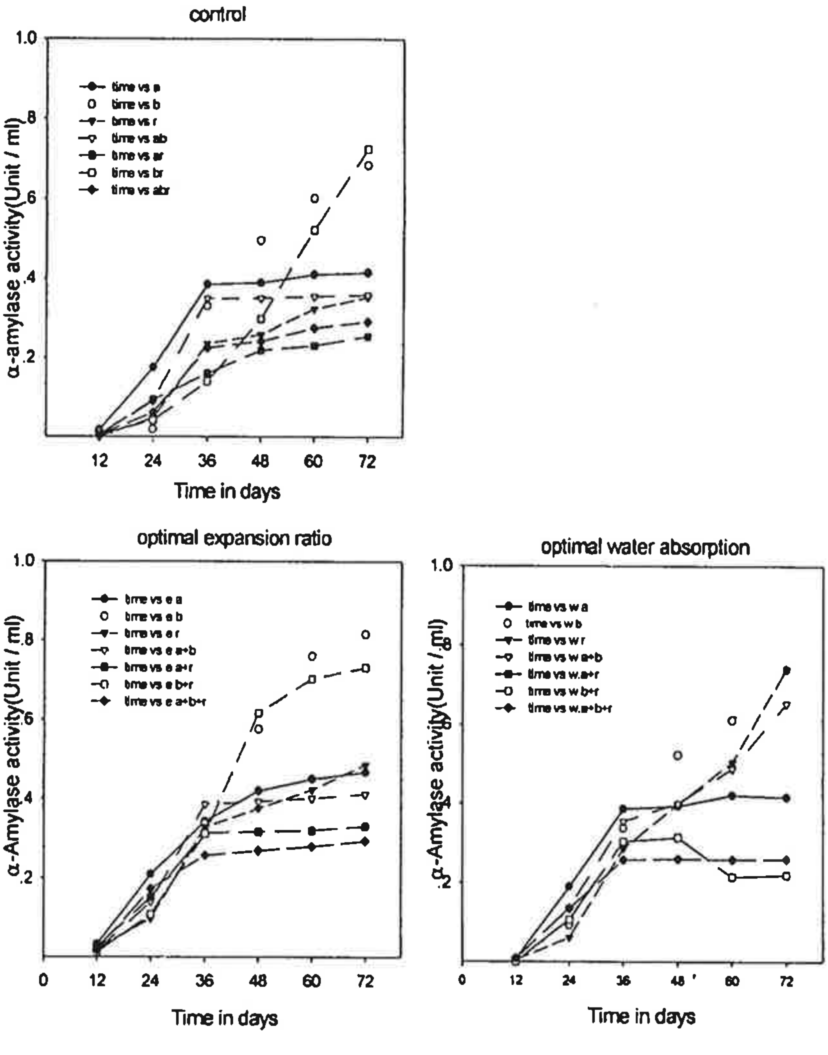


Fig. 4-12. Changes in the α-amylase activity under different conditions during preparation of koji

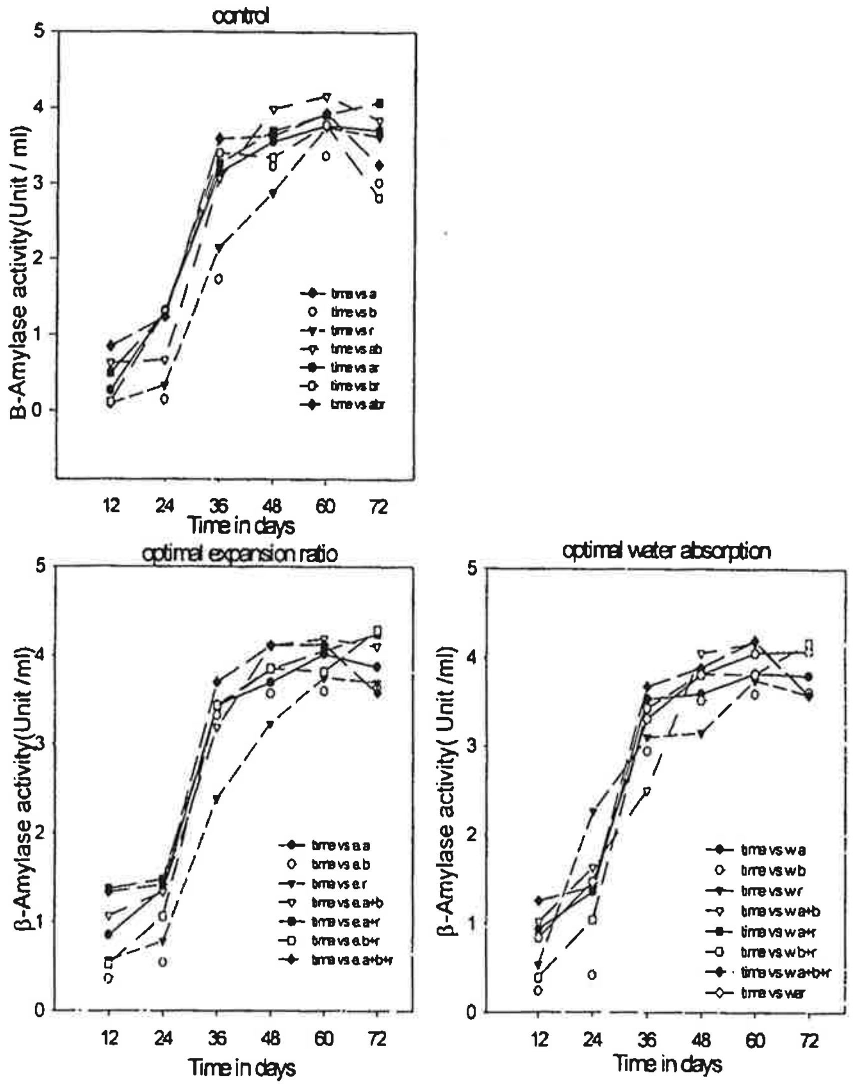


Fig. 4-13. Changes in the β-amylase activity under different conditions during preparation of koji

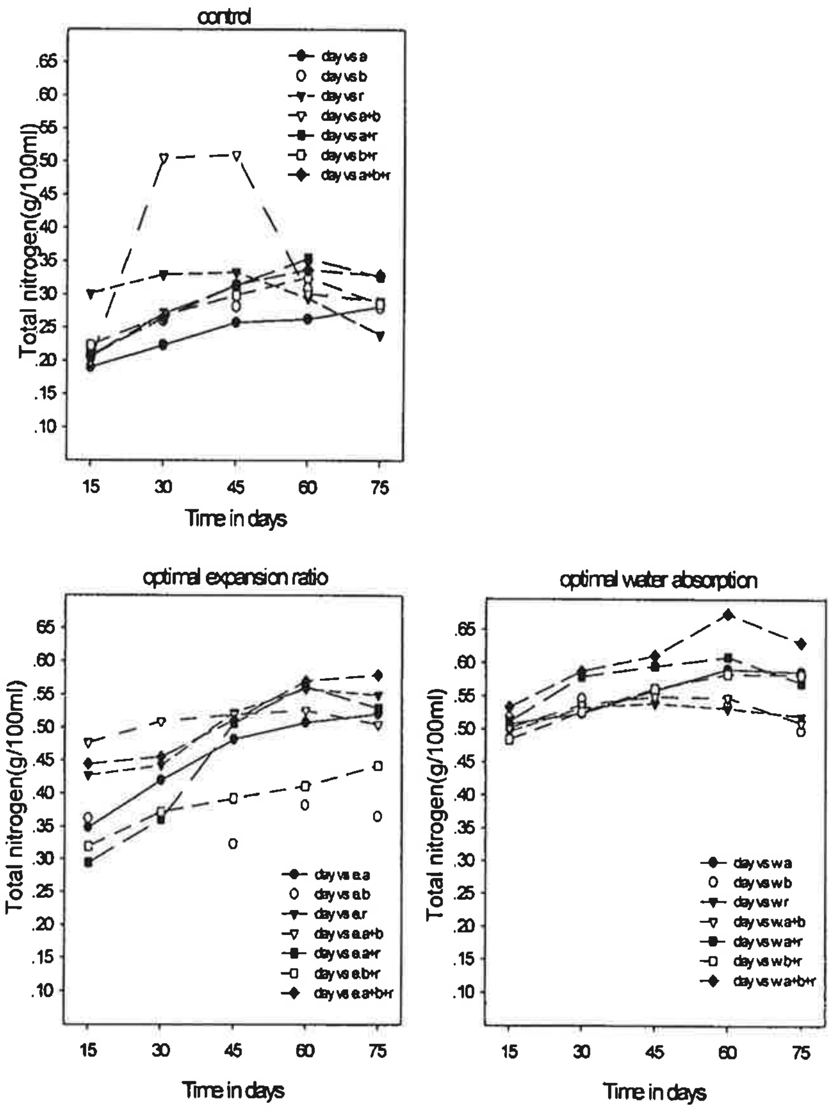


Fig. 4-14. Changes in the total nitrogen of soy sauce under different conditions during fermentation

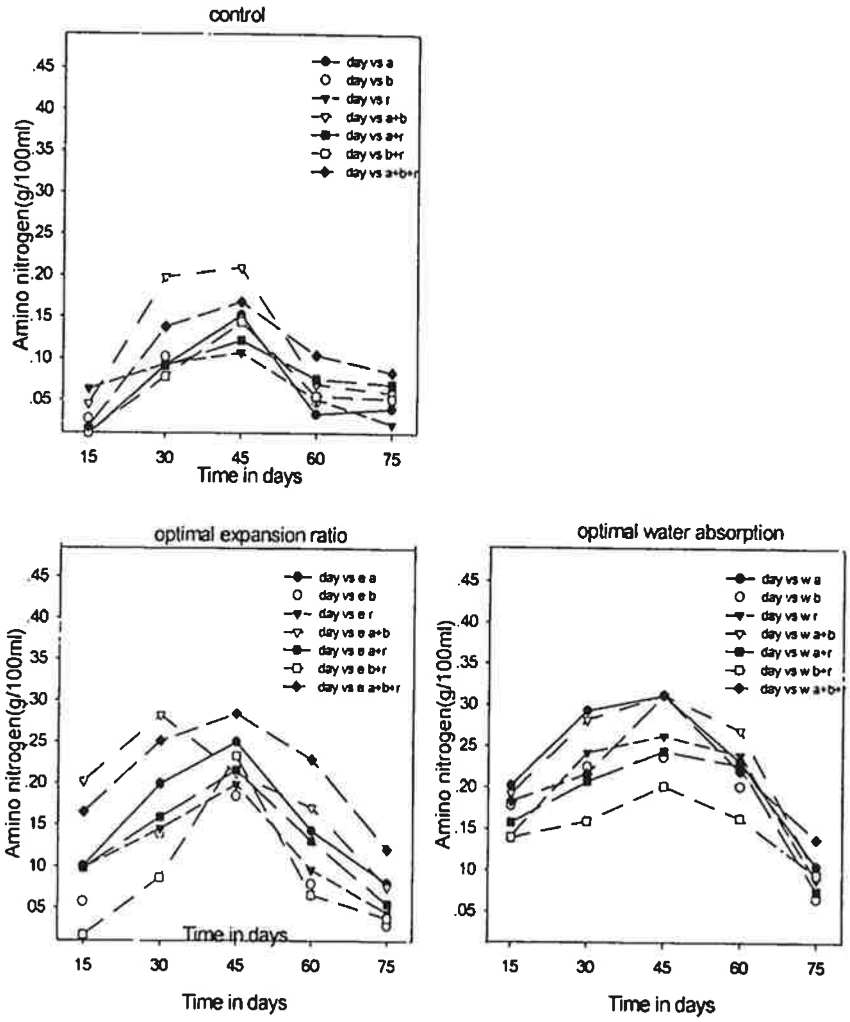


Fig. 4-15. Changes in amino nitrogen of soy sauce under different conditions during fermentation

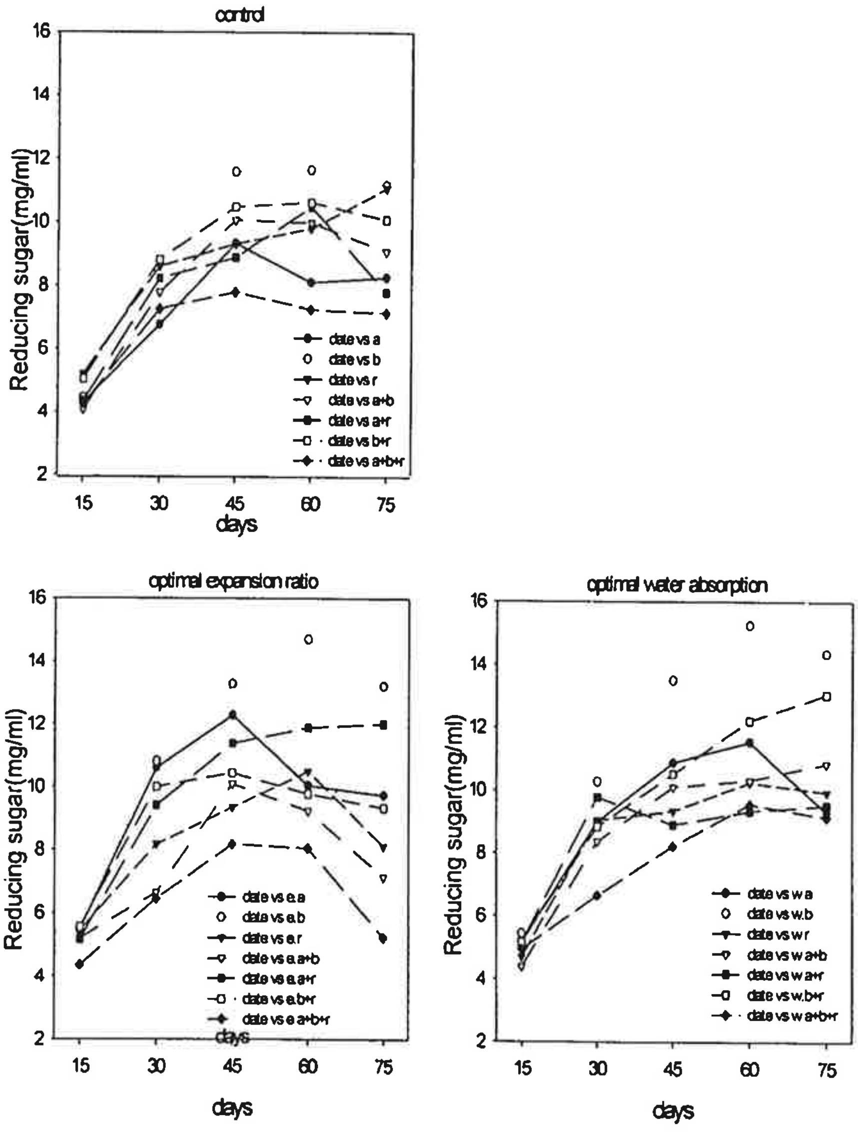


Fig. 4-16. Changes in reducing sugar of soy sauce under different conditions during fermentation

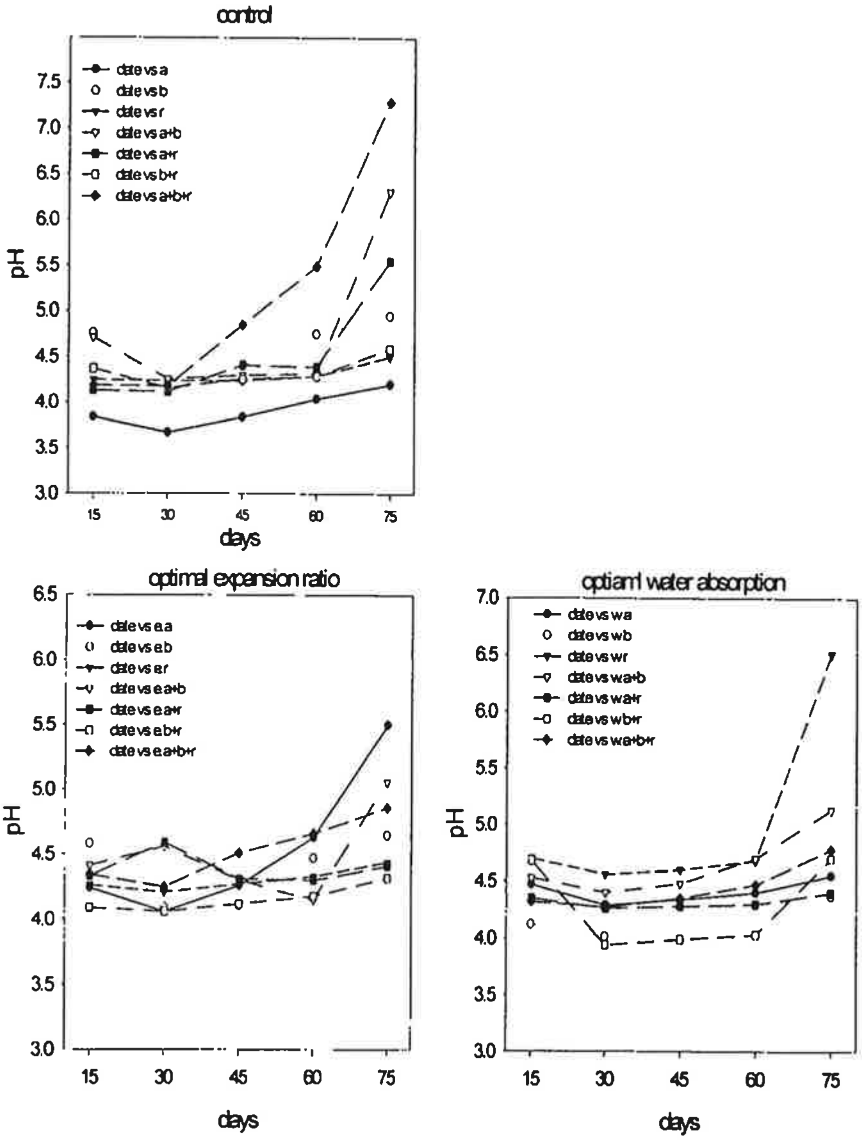


Fig. 4-17. Changes in pH of soy sauce under different conditions during fermentation koji

Table 4-9. Changes in color of soy sauce during aging

	15일			30일			45일			60일			75일	
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	
a	24.92	-0.45	2.13	25.16	-0.49	2.32	25.25	-0.55	2.37	25.06	-0.57	2.54	24.85	-
b	25.07	-0.40	3.02	26.39	-0.55	3.52	26.10	-0.55	3.69	25.72	-0.56	3.89	24.39	-
r	24.81	-0.39	2.54	25.20	-0.52	3.22	24.71	-0.54	3.30	24.49	-0.49	3.75	25.05	-
ab	25.32	-0.67	2.47	25.37	-0.60	3.60	25.30	-0.85	4.12	25.22	-0.92	4.23	26.12	-
ar	24.71	-0.61	3.07	24.52	-0.67	3.65	24.32	-0.55	3.86	23.98	-0.49	4.37	23.96	-
br	24.70	-0.44	2.74	24.79	-0.57	3.15	25.13	-0.60	3.40	24.90	-0.52	3.78	24.04	-
abr	25.00	-0.68	3.39	24.52	-0.67	3.92	24.57	-0.69	3.97	24.12	-0.60	4.53	23.96	-
ea	25.09	-0.43	2.27	25.19	-0.66	3.02	24.67	-0.65	3.27	24.35	-0.68	3.65	24.58	-
eb	25.09	-0.53	2.52	25.69	-0.47	2.49	26.03	-0.47	2.76	25.33	-0.51	3.16	25.59	-
er	25.13	-0.56	2.95	25.34	-0.50	3.27	25.31	-0.53	3.30	24.79	-0.53	2.60	25.41	-
eab	24.96	-0.48	2.94	24.85	-0.59	3.56	24.49	-0.53	3.71	24.27	-0.49	3.90	24.88	-
ear	24.67	-0.41	2.59	25.65	-0.87	3.69	24.81	-0.56	3.39	24.48	-0.53	3.59	25.19	-
ebr	25.63	-0.41	1.62	25.78	-0.43	2.13	25.55	-0.42	2.23	25.30	-0.41	2.46	25.08	-
eabr	24.92	-0.52	2.43	25.04	-0.64	3.18	24.89	-0.51	3.25	24.17	-0.49	3.87	24.46	-
wa	24.61	-0.41	3.44	24.71	-0.54	3.58	24.16	-0.46	3.74	24.28	-0.31	4.05	23.73	-
wb	25.89	-0.58	4.00	25.16	-0.49	4.03	24.67	-0.40	4.37	24.77	-0.40	4.64	24.74	-
wr	24.76	-0.44	3.13	24.76	-0.47	3.79	24.60	-0.31	4.01	23.41	-0.10	4.30	22.60	
wab	24.63	-0.48	3.83	24.44	-0.32	3.96	23.99	-0.52	4.26	23.97	-0.30	4.35	23.79	-
war	24.80	-0.49	3.04	24.75	-0.50	3.61	24.53	-0.45	4.07	24.59	-0.38	4.38	24.79	-0
wbr	24.99	-0.48	2.95	25.06	-0.43	3.38	24.89	-0.39	3.59	24.64	-0.34	4.13	24.57	-
wabr	24.59	-0.38	3.36	24.32	-0.37	3.39	24.10	-0.31	4.12	23.95	-0.24	4.37	23.59	0

참고문헌

이태녕: 장류, 한국식품연구 문헌총람. 461(1971)

김길환: 콩, 두부와 콩나물과의 과학. 세이정판사(1982)

김재욱, 조성환: 농산식품가공(1991)

김학정, 김병용, 함영태: 초음파의 지연 시간을 이용한 두부 조직의 물성변화 예측에 관한 연구. 한국농화학회지, 38, 4(1995)

김학정, 김병용, 김명화: 제조조건에 따른 두부의 물성연구. 한국식품과학회지, 27(1995)

채수규: 표준식품분석 이론 및 실습. 지구 문화사, 1998

박종면, 오훈일: 재래식 고추장 숙성중 미생물과 효소력의 변화. 한국식품과학회지, 27(1), 56(1983)

장지현: 서울농업대학 논문집 제1집(1963)

장지현: 한국재래장류제조사. 민족문화연구 제3호(1969)

이춘영: 한국 장류 제조기술의 어제와 오늘 그리고 내일. 1989년 한국식품과 학회 추계 학술세미나(1989)

김호식, 이서래, 조한옥: 콩코오지와 보리코오지에서 원료배합에 의한 효소 역가의 증산에 관한 실험. 한국농화학회지, 2, 23(1961)

장지현: 보리코오지 첨가에 의한 재래식 메주의 재량에 대하여. 서울대 농대 육십주년 기념 논문집, 81(1966)

한판규, 김재조, 최광주, 이성종: 가열처리 조건이 메주제조에 미치는 영향에 관한 시험.

농공이용연구소 시험연구보고, p623(1967)

오경근, **정헌웅**, **박지용**, **임재각**,**김재철**: **압출성형기에 의한 전처리가 탈지대두분의 장유 제조특성에 미치는 영향**. **한국식품과학회지**, 25(1), 1(1993)

장지현: **한국농화학회지**, 1985

박성오, **이택수**: **서울여자 대학 논문집**, 12, 329(1983)

김영수, **권동진**, **구민선**, **오훈일**, **강종삼**: **재래식 고추장 숙성 중 미생물과 효소력의 변화**. **한국식품과학지**, 25(5),502(1993)

Ohara, T., Ohhinata, H., Muramatsu, N. and Matsuhashi, T: Studies on the coagulation process of soy milk in tofu and kori-tofu manufacture. Ⅰ. Computerized measurement of minimum coagulant necessary for coagulation of soy milk by electric conductivity meter, J. Japanese Soc. Food Sci. & Tech., 39, 5(1992,a)

Ohara, T., Ohhinata, H., Muramatsu, N. and Matsuhashi, T: Studies on the coagulation process of soy milk in tofu and kori-tofu manufacture. Ⅱ. Relationship between the poino of critical concentration of coagulaant in electric conductivity measurement and the optimum coagulating cnnditions in tofu processing, J. Japanese Soc. Food Sci. & Tech., 39, 5(1992,b)

Horvath, Y. and Yano, T: Consolidation of soybean protein coagulate, Agric. Biol. Chem., 43,3(1989)

Ohara, T., Karasawa, H., Kanda, Y. and Kosugi, T: Studies on the coagulation of soymilk in tofu and kori-tofu manufacture.Ⅷ. Changes in particle size distribution during the coagulation reaction of soymilk with added calcium chloride, J. Japanese

Soc. Food Sci. & Tech., 40, 6(1993)

Ohara, T., Kurokouchi, K., Ohihinata, H. and Matsuhashi, T: Studies on the coagulation of soymilk in tofu and kori-tofu manufacture.Ⅷ. Measurement of soymilk coagulation by a rotational viscometer(viscograph), J. Japanese Soc. Food Sci. & Tech., 39, 7(1992)

Miura, Y., Komeyasu, M: Analysis of rheological properties of soybean milk by the use of a cone-and-plate viscometer, J. Japanese Soc. Food Sci. & Tech., 27, 5(1980)

Akio, F., Yasuhisa, W., Keiichi, K., Gengo, O. and Tomozo, Y.: Evaluation of the coextruding process of wheat bran, flour and soy bean meal for making soy sauce koji. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 27, 482(1980)

Hirochumi, M., Yasuhisa, W., Keiichi, K and Tomezo, Y.: The studies on the soy sauce fermentation by reducing kohi amounts, using coextruded wheat and soy bean flour(Ⅱ). 醬硏, 8, 68(1982)

Miller, G. L: Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem., 31, 426(1959)

Burgess, L.D. and Stanley, D.W. 1976. A possible mechanism for thermal extrusion of soybean protein. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 9:231

J.K. Chun, S.C. Shin and I.J. Yoo: Development of Shear Stress Based Sensor to Measure Drying Rate and Its Application to Snack Drying Automation(1990)

J.K, Chun, Y.J. Lee, N.W. Choi, D.H. Woo and K.M. Kim : Application of a Biogas Bubble Counter to Fermentation Processes, 6th International Engineering and Food

(1994)

Zayas, J.F.: Functionality of Proteins in Food. Springer, Berlin(1997)

Kinsella, J.E. 1978. Texturized proteins: Fabrication, flavoring and nutrition. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 10:147

Kokini, J.L., Ho, C.-T. and Karwe, M.V.(ed.): Food Extrusion Science and Technology. Marcel Dekker, Inc., New York(1992)

Levine, L. Estimating output and power of food extruders. J. Food Process Eng. 6, 1-13(1982)

O'connor, C.(ed.): Extrusion Technology for The Food Industry. Elsevier Applied Science, London and New York(1987)

SAS: SAS/STAT User's Guide, SAS Institiude Inc., Cary, NC(1985)

Hegiarachchy, N.S. and Ziegler, G.R(ed.): Protein Functionality In Food Systems. Marcel Dekker, Inc., New York(1994)

제 5 장 전통 전분 식품의 물성 분석 분야

제 1 절 서 설

우리의 전통 식품중 하나인 묵은 겔 형성 능력이 좋은 도토리, 메밀, 동부, 녹두 등 전분질 원료를 이용하여 제조한다. 전분은 충분한 물이 있는 상태에서 가열하면 호화라고 하는 상 변화가 일어난다(Hoover 1995). 이 상 변화 중에는 전분입자로의 물의 확산, 전분입자의 수화, 팽윤, 결정도의 붕괴, 아밀로오스의 유출 등이 일어나게 된다. 이 결과, 팽윤된 전분입자가 유출된 아밀로오스로 형성되는 연속상에 묻히게 되고, 온도가 낮아지면 이 복합물은 점탄성 있는 겔로 변하게 되며, 이렇게 되려면 전분농도가 최소한 6%는 되어야 한다(Biliaderis와 Zawistowski 1990). 이런 과정을 노화라 부른다. 노화과정 중 아밀로오스에 의한 겔 network 형성은 초기에 비교적 빠르게 일어나며 이후에는 별로 일어나지 않는다. 이에 비해 팽윤된 전분입자 내에서 일어나는 아밀로펙틴의 겔화는 천천히 일어나며 이로 인해 겔은 단단해진다 (Morris 1990). 전분의 노화는 여러 가지 요인에 의해 영향을 받게 되는데 그 중의 하나가 전분의 물리적 변성이다. 전분의 수분-열처리(heat-moisture treatment)와 annealing이 여기에 속한다. 수분-열처리는 전분을 제한된 수분 하에서 고열(약 100℃내외)로 짧은 시간동안 가열하는 것을 말하며, annealing은 전분을 충분한 수분 조건하에서 호화온도 이하로 비교적 장시간 가열하는 것을 말한다. Stute(1992)에 의하면 이 두 처리에 의해 전분은 거의 같은 변성을 받는다고 한다.

이들 처리에 의해 달라지는 전분의 이화학적 성질을 보면, 팽윤력과 용해도는 감소하고(Eerlingen 등 1997, Hoover 등 1994, Kawabata 등 1996a, 박 등 1986), 호화는 지연되며(Fisher 와 Thompson 1997, Kawabata 등 1996b, 김

1991, Knutson 1990, Krueger 등 1987, Seow 와 Teo 1993, Stute 1992), RVA 와 Viscoamylograph 상의 호화곡선이 변하게 된다(Jacobs 등 1996, Kawabata 등 1996a, 박 등 1986, Stute 1992). 또한 겔의 강도가 변하게 되며 (Hoover 등 1994, Kawabata 등 1996b, Sair 1967), 아밀라아제에 의한 분해력이 증가한다고 한다 (Hagiwara 등 1992, Wang 등 1997).

한편, 전분의 이화학적 성질을 바꾸어 이를 다양한 용도로 이용하기 위하여 주로 사용하고 있는 방법으로 화학적, 물리적, 효소처리 등의 방법이 있으나 요즘은 화학약품에 대한 거부감 등으로 물리적 처리에 의한 방법에 점차 관심을 갖고 있다. 초음파 처리는 물리적 처리 방법중 하나이며 대상 물질에 압력을 가하는 효과(가압과 감압을 반복)를 주게 되므로 대상 물질의 구조가 변화 될 것이다. 초음파는 주로 미생물의 사멸, 식물세포 파괴, emulsion형성 등(Branson Sonicator Manual)에 사용되고 있으며 키틴의 산분해시 초음파 처리로 효과를 증진시키기도 한다(김 1998).

전분에 초음파를 사용한 것은 Jackson 등(1988, 1989)이 전분의 분자구조 실험을 하기 위해 알칼리나 DMSO에 전분을 녹이지 않고, 전분을 가열 후 초음파 처리하여 용액상태(1% 이하의 농도)로 만들어 고속액체크로마토그래피에 이용했을 뿐 그리 많은 예를 찾아 볼 수 없다. 그들은 약한 초음파 처리는 단순히 전분의 용해도를 증가시키나 강한 처리는 아밀로펙틴을 분해한다고 하였다. 이러한 사실로 미루어 보아 초음파 처리가 실제 식품에 쓰이는 농도에서도 전분의 물성을 바꿀 수 있다는 것을 암시해준다.

대표적인 전분식품인 밥은 우리 나라 사람들의 주식으로 대부분 가정에서 취반, 저장되어 소비되고 있다. 최근에는 밥을 상품화해서 이용하고 있어 가공기기의 설계와 개발이 중요시되고 있다. 또한 많은 경우 밥을 저장하면서 소비하므로 저장 중 열처리가 밥의 품질에 많은 영향을 미치고 있다. 밥은 열처리 공정이 특히 중요하므로 밥의 열 특성에 관한 많은 자료가 요구되고 있

다. 비열, 열 전도도와 같은 식품의 열 특성은 열처리 공정에 있어 매우 중요한 자료이다 (Rizvi and Mittal, 1992; Singh, 1982). 식품의 가공 공정 기기의 개발에 대한 필요성이 점점 증가하고 있기 때문에 식품의 열 관련 가공 기기나 가공 공정의 분석과 설계에 있어 열 특성은 반드시 고려되어야 할 대상이다 (Sweat and Haugh, 1974).

밥과 같은 식품의 열 특성은 수분, 온도, bulk density 와 같은 물리적 조건에 의해 좌우되므로 각 조건에 따른 식품의 열 특성 자료가 요구된다. 그러므로 열 특성을 측정할 수 있는 방법은 간단하면서도 빠른 시간 내에 측정할 수 있는 것이어야 한다. 식품의 비열은 주로 수분에 의해 좌우되므로 mixture method로 비교적 쉽게 수행될 수 있다. 그러나 열 전도도의 경우는 영향을 미치는 조건이 많으므로 많은 양의 자료가 필요하다. 그러므로 식품의 열 전도도의 측정을 위해서는 비교적 쉽고, 빠른 측정 방법이 요구된다.

많은 연구자들이 식품의 열 전도도를 측정하기 위한 방법을 개발하였다 (Hooper and Chang, 1953; Dickerson, 1965; Farall at al., 1970; Zuritz et al., 1989; Ladbury et al., 1990; Pongswatmanit at al., 1993). 그러나 많은 측정 방법이 장치 제작이 어렵고 시간이 많이 소요된다. 또한 오차에 대한 요소가 많아 측정에 어려움이 많이 존재한다. 이 중 가장 광범위하게 사용되고, 비교적 간단하면서도 빠른 측정 방법은 line heat source technique을 이용한 probe method이다. 이 방법은 분체 식품이나 수분함유 식품의 측정에 알맞고 측정시간도 10분 이내이다(Barrera and Zaritzky, 1983; Chang, 1986; Christenson et al., 1989; Wang and Kolbe, 1990; Yoon, 1994).

따라서 이 연구에서는 우리의 전통식품인 묵의 제조와 관련하여 원료의 하나인 녹두 전분을 조건을 달리하여 annealing하면 전분 겔에 어떤 영향을 미치는지를 조사하고, 아울러 초음파 처리가 전분을 어떻게 변성시키는지 알기 위해 X-ray 회절에 의해 구분되는 세 가지 형태의 전분(쌀 전분; A형태, 감자

전분; B형태, 녹두 전분; C형태)을 선택하여 그 효과를 평가하고, 나아가서 새로운 변성 전분을 제조하는 방안을 모색하고자 하였다.

그리고, 밥의 열처리 공정에 필요한 열 특성을 각 조건에 따라 probe method와 mixture method를 이용하여 측정하고, 또한 측정된 자료를 검정하기 위해 explicit method를 이용하여 저장 중 원통형 밥의 열변화 예측모델을 개발하고자 하였다.

제 2 절. 재료 및 방법

1. 재료

녹두전분은 시중에서 구입한 녹두를 다음과 같이 알칼리 침지하여 제조하였다. 반으로 자른 녹두를 수돗물에 3-4시간 침지하여 불린 후 과피를 손으로 제거하고, 이 녹두에 4배 분량의 0.1 N NaOH를 가하여 Waring blender로 1분간 마쇄하였다. 녹두 현탁액을 100, 200, 400메시 체로 차례로 걸러 전분현탁액을 얻었으며 이를 냉장고에 하룻밤 보관하였다. 상층액과 전분층 위에 있는 층을 제거하고 전분층에서 알칼리가 나오지 않을 때까지 증류수로 계속 씻은 후 40℃에서 건조하였다. 건조된 전분을 마쇄한 후 100메시를 통과한 것을 실험에 사용하였으며 전분시료의 단백질 함량(Nx6.25)은 건물 기준으로 0.32%이었다. 모든 annealing은 미생물의 오염을 방지하기 위해 0.02% NaN_3를 함유하는 물을 사용하였다.

실험에 사용된 쌀(수분함량 14% w/w, 단립종, Japonica, 1996)은 시중에서 구입하였으며 실온에 보관하였다. 비열 측정을 위해 증류수를 사용하였고, probe의 보정을 위해 glycerol을 사용하였다.

2. 방법

가. 시차주사열량기(DSC)에 의한 전분의 열적 특성

생녹두전분과 annealing한 전분의 열적 특성은 시차주사열량기(Model DSC-120, Seiko Instruments Inc., Kawasaki, Japan)로 측정하였다. 기기의 온도와 enthalpy 보정은 인디움(Indium)으로 하였다. 전분(3 mg)과 물의 비율은 1:2 이었으며, 시료를 30℃에서 130℃까지 분당 5℃의 속도로 가열하였다. 여기에 사용된 annealing 전분은 다음과 같이 제조하였다. 녹두전분 1 g을 20 mL의 물과 섞고 45, 50, 55, 60℃에서 6시간 annealing한 다음, 400 mL의 무

수 에탄올을 가하였다. 침전물을 G3 유리 여과기로 거른 후 여과기 위에 있는 전분을 무수에탄올로 두 번, 아세톤으로 한번 씻고 진공 데시케이터에서 건조시켜 시료로 하였다. DSC 측정은 3 반복하였다.

나. 전분의 팽윤력, 용해도, λmax(최대흡수파장)

생전분과 annealing처리한 전분의 팽윤력, 용해도는 Schoch의 방법(1964a)으로 측정하였다. 전분의 annealing은 45, 50, 55, 60℃에서 1, 혹은 6, 24시간 동안 측정전에 실시하였다. λmax는 용해도 측정시 얻어진 상징액을 100배 희석한 후, 희석액 10ml에 0.2ml의 요오드 용액(2% KI + 0.2% I2)을 가한 다음 Milton Roy 분광광도계(USA)로 스캐닝하여 구하였다.

다. 겔의 물성 측정

Annealing한 녹두전분 겔은 다음과 같이 제조하였다. 전분현탁액 350 g(8%, 건물기준)을 45, 50, 55, 60℃에서 1, 6, 24시간 annealing한 후 이를 끓는 수욕조에서 30분간 가열하였다. 전분이 가라 앉는 것을 막기 위해 처음 3-4분간은 저어주었으며 가열 중에는 알루미늄 호일로 뚜껑을 하였다. 가열 후 전분 paste를 진공 chamber에 넣어 20초간 paste 내의 공기를 제거하였으며 이를 바로 직경 4 cm, 높이 2 cm되는 용기 위에 여분의 paste가 담기게끔 붓고 비닐 랴으로 뚜껑을 한 후 25℃에서 1일 보관하였다. Annealing을 하지 않은 8, 9, 10% 전분 겔도 위와 같은 방법으로 제조하였다.

저장 후, 용기위에 있는 여분의 전분 겔을 칼로 조심스럽게 제거하고 용기에서 빼내 만능강도시험기(Model RTM-500, Oreientec corporation, Tokyo, Japan)로 겔의 5 mm 깊이에서의 표면강도, 항복강도(겔이 깨질 때의 힘), 항복깊이(겔이 깨질 때까지 probe가 이동한 거리)를 측정하였다. 사용한 probe는 직경이 2.5 cm이고 한 쪽 끝이 반원형으로 되어 있는 실린더형이었으며,

probe의 이동속도는 분당 100 mm 이었고 레코더 용지의 이동속도는 분당 200 mm 이었다. 측정할 수 있는 최대치는 2.5 Kgf 이었으며 시료당 8번 반복하여 측정하였다.

라. 겔의 호화도 측정

물성 측정 후, 일부 겔(10 g)을 200 mL의 무수 에탄올과 함께 마쇄하여 탈수하였다. 여기서 얻어진 침전물을 G 4 유리 여과기로 거르고 무수 에탄올로 두 번, 아세톤으로 한 번 씻어내고 진공 데시케이터에서 건조하여 호화도 측정용 시료로 사용하였다. 호화도는 α-amylase-요오드 법(Tsuge 등 1990)으로 시료당 4 반복하여 측정하였다.

마. RVA에 의한 점도 특성

생전분과 annealing한 전분의 점도 특성은 Rapid Visco Analyzer(RVA Model 3D, Newport scientific, Sydney, Austrailia)로 측정하였으며 전분농도는 8%(w/w), 시료의 총무게는 28 g이었다. 측정조건은 50℃에서 1분간 유지, 95℃까지 분당 12℃의 속도로 가열, 95℃에서 2.5분 유지, 50℃까지 분당 12℃의 속도로 냉각, 50℃에서 2분간 유지하는 것이었다. Annealing한 전분은 다음과 같이 실시하였다. 우선 뚜껑이 달린 튜브에 2.24 g(건물 기준)의 녹두전분과 20 mL의 물을 넣고 잘 섞은 후, 이를 45, 50, 55, 60℃ 수욕조에 각각 넣고 24시간 annealing하였다. 실온까지 식히고 RVA용 알루미늄 용기에 옮긴 다음 물을 가해 전분현탁액의 무게를 28 g으로 조절하여 측정하였다. 측정은 시료당 2 혹은 3 반복하였다.

바. 초음파처리

실험에 사용한 초음파 발생기는 micro tip이 부착된 Branson Model 450

Sonifier(USA)이었으며 tip의 끝을 전분현탁액의 1 cm 깊이에 위치시키고 사용하였다. 초음파 처리 강도는 level 5(micro tip을 이용할 경우 최대 강도의 70%, 즉 level 7까지 사용하도록 제조업체에 의해 명시되어 있음)이하였다. 전분현탁액 제조에 사용한 모든 물에는 미생물의 오염을 막기 위해 NaN3 (0.02%)를 녹여 사용하였다.

사. 전분의 물성 측정

1) 전분립의 붕괴정도

전분의 팽윤력(swelling power)를 측정하는 방법(Schoch 1964a)을 이용하였다. 즉, 전분 2 g을 물 100 mL에 풀고 85℃에서 200 rpm으로 저어주면서 30분간 가열한 다음, 0, 15초, 30초, 1분, 3분, 5분간 초음파하고 냉각한 후 7,000 rpm에서 15분 원심분리하여 얻어진 침전물의 무게를 측정하여 전분립의 붕괴도로 하였다.

2) 겉보기 점도(apparent viscosity), 고유 점도(inherent viscosity), 요오드 친화도

Rapid Visco Analyzer(RVA Model 3D, Newport scientific, Sydney, Austrailia)를 이용하여 95℃에서 5분간 가열한 다음 냉동건조한 시료를 사용하였다.

Apparent viscosity는 시료 0.5 g(건물)을 물 3 mL에 풀고 27 mL의 1% NaOH의 용액에 녹여 small sample adapter(SSA 31/13R)가 부착된 Brookfield LVDV-II+ 점도계로 25℃에서 100 rpm으로 측정하였다(Chung 과 Seib 1991). Inherent viscosity는 시료 1 g(건물)을 100 mL의 물에 풀고 여기에 100 mL의 2 M NaOH 용액을 가해 완전히 녹인 후, G 1 유리여과기로 자유낙하 여과시켜 얻은 여액을 No. 75 Cannon-Fenske 모세관 점도계를 이용하여 25℃에서 측정하였다(Myers 1964).

요오드 친화도는 Schoch의 방법(1964b)으로 위의 냉동건조 시료를 95% 에탄올로 탈지한 후 측정하였다.

3) 전분액의 저장중 점도와 호화도 측정

각 전분마다 전분현탁액 150 g(5%, 건물기준)을 95℃에서 5분간 가열한 후 level 5에서 각각 0, 5, 10분 초음파 처리하고 이중 60 mL는 3개의 50 mL vial에 20 mL씩 넣어 35℃ 수욕조에 보관하면서 점도를 측정하였으며, 나머지는 둘로 나누어 각각 25℃와 4℃에 보관하면서 호화도 변화를 측정하였다. 점도는 small sample adapter(SSA 31/13R)가 부착된 Brookfield LVDV-II+ 점도계로 50 혹은 100 rpm에서 3 반복하면서 4주간 측정하였다.

호화도는 α-amylase-요오드 법(Tsuge 등 1990)으로 시료당 4 반복하여 측정하였다. 호화도 측정용 시료는 다음과 같이 준비하였다. 저장중인 시료를 4 주동안 일정시간 마다 5 g 채취하고 여기에 100 mL의 무수 에탄올과 함께 마쇄하여 탈수하였다. 여기서 얻어진 침전물을 G 4 유리여과기로 거르고 무수에탄올로 두 번, 아세톤으로 한 번 씻어내고 진공 데시케이터에서 건조하여 사용하였다.

아. 취반방법

밥은 일반적인 방법으로 전기밥솥(NDA-187A, Samsung, Korea)에서 취반되었다. 가수비는 비열의 측정을 위해 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7의 비율로 하였고 열전도도 측정시 1.4, 1.5, 1.6으로 하여 각 각 된밥, 밥, 진밥으로 구분하였다.

자. 밥의 특성 측정

1) 온도의 측정

온도는 T-type thermocouple (0.5mm)을 사용하여 hybrid recorder

(HR-2300, Yokogawa, Japan)로 측정하였다.

2) 전력의 측정

열전도도 측정 probe의 사용 전력은 powermeter (2533 Digital Power Meter, Yokogawa, Japan)로 측정하였다.

3) 밥의 수분측정

밥의 수분 측정은 가수비 1.3에서 1.7까지 변화하면서 일반적인 105℃에서 oven method로 측정하였다.

4) 비열의 측정

비열의 측정은 mixture method 에 의해 측정하였으며, 다음과 같은 식에 의해 계산되었다.

$$W_s C_s (T_s - T_m) = H_c (T_m - T_i) + W_w C_w (T_m - T_i)$$

where

W, T, C represent weight, temperature and specific heat.

Hc : heat capacity of the calorimeter

subscripts s, m, w, i represent sample, mixture, water and initial respectively.

5) 밥의 열전도도

밥의 열 전도도 측정을 위한 장치는 다음 그림 Fig. 5-1에 나타나 있으며, 열전도도 측정 probe와 sample container의 구조를 보여주고 있다.

이 방법을 이용한 열전도도는 다음과 같은 식에 의해 구할 수 있다.

$$k = \frac{2.3\ C\ i^2 R\ \log\left(\frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0}\right)}{4\pi \Delta T}$$

C : a calibration constant (probe constant) for the particular probe used

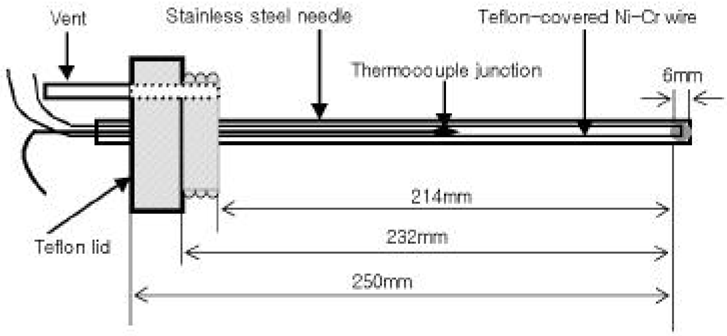
i : electrical current, A

R : electrical resistance of heated source per unit length, Ω/m.

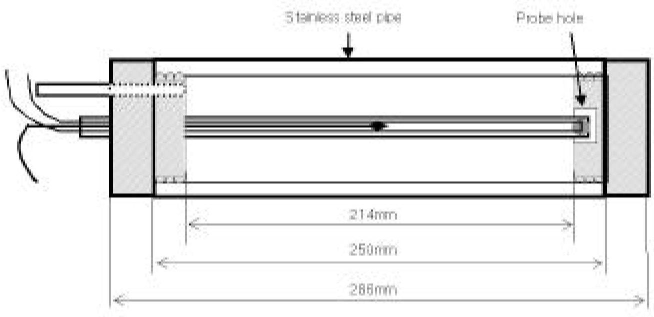
ΔT : Temperature rise

$t1$, $t2$: time

tC: time correction factor



(a) Schematic of thermal conductivity probe



(b) Schematic of sample container

Fig. 5-1. The structure of the thermal conductivity probe and container for measurement of thermal conductivity of cooked rice.

Fig. 5-2는 열전도도 측정방법을 나타내고 있다.

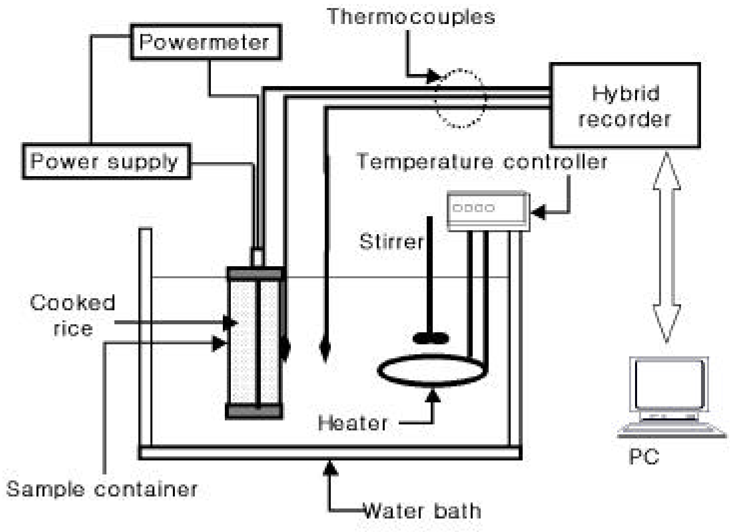


Fig. 5-2. Experimental apparatus for measuring thermal conductivity of cooked rice.

6) **밥의 온도 측정 방법**

밥의 온도변화를 예측하기 위해 취반된 밥을 실온과 냉동실에 보관하였다. Fig. 5-3은 저장 중 밥의 온도변화를 측정하기 위한 밥의 온도 측정 방법이다.

그리고 열 전달에서 중요한 변수인 열경막 계수는 공기의 특성과 용기의 특성으로 정의되는 실험식을 사용하여 적용하였다.

- Vertical cylinder at air(in natural convection)

$hc = 1.37(\Delta T/L)1/4 \quad 104 < Gr.Pr < 109$

$hc = 1.24(\Delta T/L)1/4 \quad 109 < Gr.Pr < 1012$

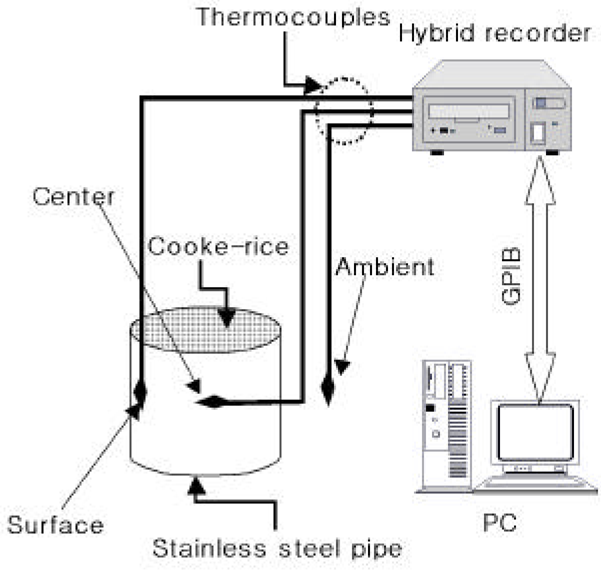


Fig. 5-3. Schematic diagram of the temperature measurement system for the cylindrical cooked rice.

차. Programming

온도변화 예측 모델 개발을 위해 사용된 언어는 C language 와 Lab Windows/CVI 4.01이었다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 녹두전분을 수분- 열처리(annealing)하여 제조한 묵의 성질

가. 시차주사열량기(DSC)에 의한 녹두전분의 열적 특성

생녹두전분의 DSC상에서의 호화개시온도(To)는 52℃, 호화피크온도(Tp)는 66.5℃, 호화완료온도(Tc)는 85.5℃이었으며 따라서 Tc-To는 33.5℃이었다 (Table 5-1).

Table 5-1. Annealing처리한(6시간) 녹두전분의 DSC결과[a]

Annealing 조건(℃)	To[b](℃)	Tp[b](℃)	Tc[b](℃)	ΔH[b](mJ/mg)	Tc-To(℃)
Native	52.0±0.6	66.5±0.2	85.5±0.5	7.1±0.6	33.5
45	55.9±0.2	65.9±0.3	85.7±0.8	10.0±0.2	29.8
50	59.4±0.1	66.7±0.0	85.0±0.3	10.0±0.3	25.6
55	62.8±0.5	68.8±0.1	84.6±0.7	10.4±0.4	21.8
60	66.3±0.1	71.8±0.2	83.2±0.4	8.9±0.3	16.9
$LSD_{0.05}$	0.7	0.2	1.0	0.7	-

[a]3 반복의 평균 ± 표준오차.

[b]To=호화개시온도(Onset temperature),

Tp=호화피크온도(Peak temperature),

Tc=호화완료온도(Complete temperature),

ΔH=호화 엔탈피.

Annealing온도에 따른 변화를 보면, 처리온도가 높아질수록 To는 증가하고

Tc는 약간 감소하였다. 즉 흡열피크가 날카로워졌다. 이것은 annealing처리한 전분에서 나타나는 전형적인 현상으로 Stute(1992)에 의하면 이것은 annealing한 전분의 팽윤과 수화, 그리고 입자내의 결정 영역의 용융이 생전분보다 균일하다는 것을 의미한다고 하였다. 호화피크온도는 50℃ 처리까지는 감소하거나 비슷하였으나 55℃이상에서는 증가하였다. 전반적으로 annealing에 의해 호화가 지연되는 것을 알 수 있었다.

45, 50, 55℃에서 annealing한 전분의 호화엔탈피(ΔH)는 생전분보다 높았는데, 이는 annealing중 전분입자내의 분자 배열이 더 정렬된 상태로 변했음을 나타낸다. 60℃에서 처리된 전분도 생전분보다는 높았으나 앞의 온도에서 처리된 것보다는 낮았다. 이는 60℃에서는 분자 재배열도 일어났지만 동시에 부분 호화가 일어났기 때문이다. 호화된 전분의 엔탈피는 분자정렬이 파괴되었기 때문에 생전분보다 낮게된다. Jacobs 등(1995)도 annealing에 의해 감자, 완두콩, 밀, 쌀전분의 호화엔탈피가 증가한다고 보고하였으며 그 중에서 완두콩이 가장 크게 증가하였다고 하였다. Krueger 등(1987)도 annealing에 의해 쌀, 옥수수 전분의 엔탈피가 증가한다고 하였으나, Stute(1992)와 Wang 등(1997)은 annealing에 의해 각각 감자와 sago 전분의 엔탈피가 변하지 않았다고 보고하여 연구자마다 약간 다른 결과를 보였다.

나. Annealing 온도와 시간에 따른 녹두전분의 팽윤력, 용해도, λmax (최대흡수파장)

Annealing온도와 시간에 따른 녹두전분의 팽윤력 변화는 Fig. 5-4와 Table 5-2와 같다.

Table 5-2. Annealing에 따른 녹두전분의 팽윤력과 용해도

Annealing 조건 (온도, ℃ - 시간, hr)	팽윤력	용해도(%)
Native	15.92	15.37
45 - 6	14.83	14.06
45 - 24	14.50	13.09
50 - 6	13.76	11.92
50 - 24	12.62	10.89
55 - 1	12.94	12.71
55 - 6	11.84	11.33
55 - 24	11.29	10.50
60 - 1	11.02	11.74
60 - 6	10.27	10.68
60 - 24	9.90	9.89

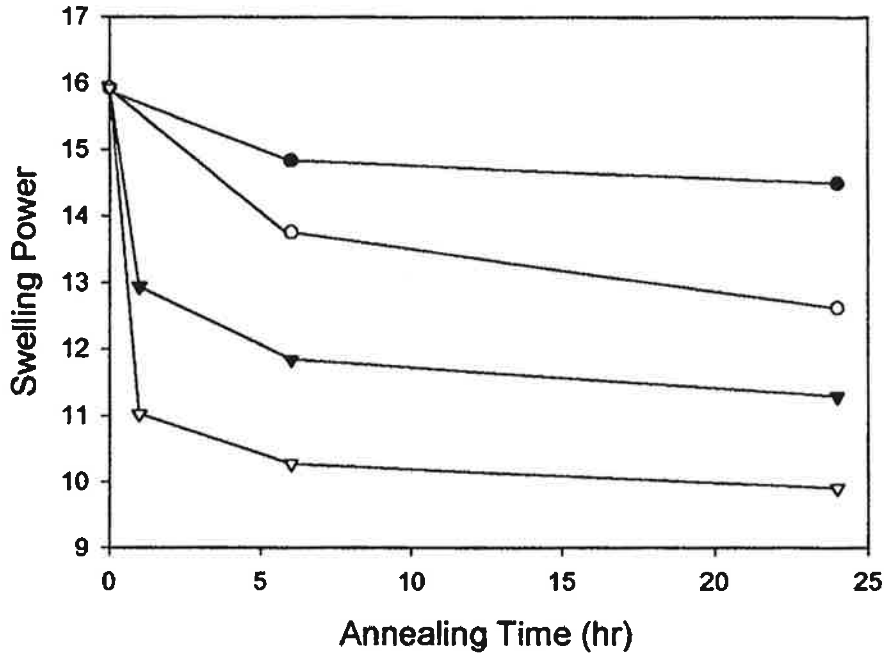


Fig. 5-4. 녹두전분의 annealing 온도와 시간에 따른 팽윤력의 변화

●; 45℃, ○; 50℃, ▼; 55℃, ▽; 60℃

처리온도가 증가할수록 팽윤력은 감소하였으며 시간에 따라서도 감소함을 보여 주었다. 특히 팽윤력은 처음 6시간안에 급격히 감소하였으며 그후에는 약간 떨어지는 정도였다. 생전분의 팽윤력은 15.92였으며 45℃에서는 6시간 구가 14.83, 24시간 구가 14.50이었다. 55℃에서는 1시간 구가 12.94, 6시간 구가 11.84, 24시간 구에서는 11.29였다. 60℃에서는 1시간 구가 11.02, 6시간 구가 10.27, 24시간 구가 9.90이었다.

용해도도 팽윤력과 유사한 경향을 보여 주었다(Fig. 5-5와 Table 5-2). 생

분의 용해도는 15.37% 이었으며, 45℃에서는 6시간 구가 14.06%, 24시간 구가 13.09% 이었고, 55℃에서는 1시간 구가 12.71%, 6시간 구가 11.33%, 24시간 구가 10.50% 이었다. 60℃에서는 1시간 구가 11.74%, 6시간 구가 10.68%, 24시간 구가 9.89%이었다. 그리고 생전분과 annealing처리한 전분에서 용출된 물질의 최대 흡수파장을 조사해 본 결과 모두 646 nm와 653 nm의 사잇값을 갖는 것으로 나타났다(Table 5-3). 이는 annealing의 온도와 시간이 증가하면 용출 되는 양은 줄지만 용출된 분획은 모두 아밀로오스로 구성되어 있음을 말해준다.

팽윤력과 용해도가 감소하는 것은 annealing중에 전분의 구성 성분들이 질서있게 배열하기 때문이다. Eerlingen 등(1997)은 annealing에 의해 팽윤력이 감소하고 호화온도가 증가하는 것은 (1) 무정형 형태의 아밀로오스가 나선구조로 전환이 되고, (2) 아밀로오스 체인간 혹은 아밀로오스와 무정형 영역에 있는 아밀로펙틴간에 결합이 증가하고, (3) 결정 영역과 무정형 영역간의 결합에 변화가 일어나기 때문이라고 제안하였다.

Table 5-3. λmax(최대흡수파장) of solubles

Annealing 조건 (온도, ℃ - 시간, hr)	λmax (nm)
Native	649
45 - 6	648
45 - 24	648
50 - 6	653
50 - 24	651
55 - 1	647
55 - 6	647
55 - 24	647
60 - 1	647
60 - 6	647
60 - 24	646

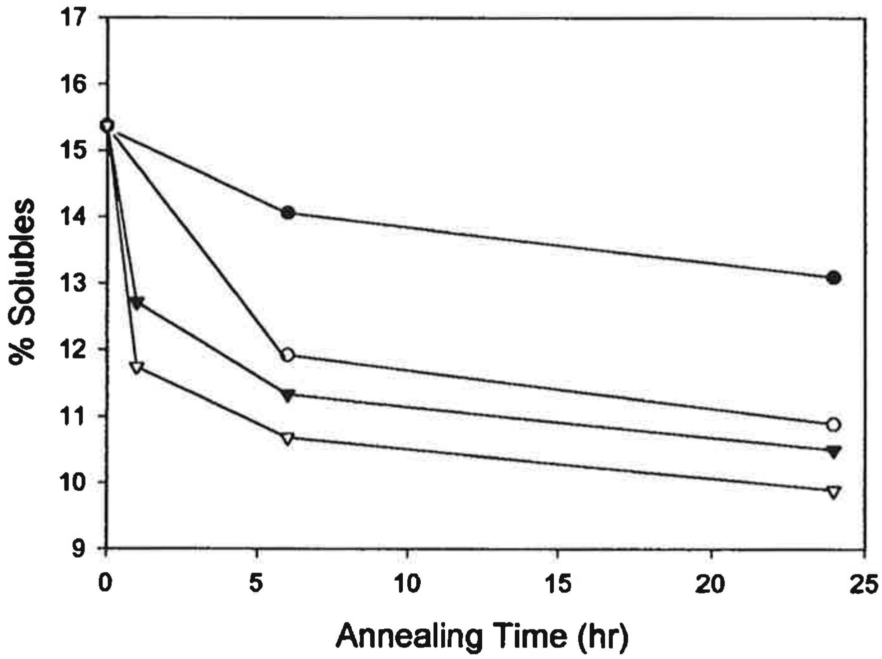


Fig. 5-5. 녹두전분의 annealing 온도와 시간에 따른 용해도의 변화

●; 45℃, ○; 50℃, ▼; 55℃, ▽; 60℃

다. Annealing한 녹두전분 겔의 물성과 노화도

Table 5-4는 생전분과 annealing한 전분 겔의 5mm 깊이에서의 표면강도 항복강도(겔이 깨질 때의 강도), 항복깊이(항복점까지의 깊이)를 나타내었다.

Annealing한 전분 모두 생전분보다 같거나 높은 표면강도를 보였다. 그러나 항복강도와 항복깊이는 처리조건에 따라 달랐다.

전분 겔의 물성은 전분의 팽윤력과 용출된 물질에 따라 다를 수 있다. 왜냐하면 겔은 팽윤된 전분립이 용출된 아밀로오스의 matrix에 파묻혀 형성되

문이다. 따라서 팽윤력과 용해도가 겔의 물성을 나타내는 표면강도, 항복강도, 항복깊이와 어떤 관계가 있는 가를 밝히기 위해 이들간의 관계를 조사하였다.

Table 5-4. Annealing처리한 녹두전분 겔의 물리적 성질a

Annealing 조건 (온도,℃- 시간,hr)	5 mm깊이에서의 경도 (Kgf)	항복강도 (Kgf)	항복깊이 (mm)
Native (8%)	0.084±0.006	1.24±0.06	14.8±0.4
45 - 6	0.084±0.004	1.32±0.11	14.9±0.5
45 - 24	0.088±0.004	1.45±0.09	14.8±0.2
50 - 1	0.097±0.008	1.41±0.07	14.5±0.3
50 - 6	0.087±0.003	1.48±0.04	15.1±0.4
50 - 24	0.102±0.004	1.56±0.06	14.8±0.4
55 - 1	0.112±0.007	1.52±0.12	14.6±0.4
55 - 6	0.113±0.004	1.42±0.04	14.6±0.3
55 - 24	0.119±0.009	1.38±0.06	14.1±0.4
60 - 1	0.120±0.007	1.02±0.07	13.0±0.3
60 - 6	0.118±0.006	1.03±0.05	13.3±0.3
60 - 24	0.124±0.004	0.91±0.07	12.8±0.3
Native (9%)	0.102±0.008	1.40±0.10	13.8±0.3
Native (10%)	0.135±0.011	1.31±0.07	12.8±0.3
LSD0.05	0.006	0.08	0.4

a 7 반복의 평균 ± 표준오차.

전분의 팽윤력과 표면강도와의 관계(Fig. 5-6)를 보면 팽윤력이 크면 표면강도가 작고 팽윤력이 작으면 표면강도가 크다는 것을 알 수 있었으며 이들 간의 상관계수는 -0.94로 상당히 높았다. 따라서 annealing하면 전분입자의 팽윤력은 떨어지나(Fig. 5-4) 이에 따라 팽윤된 전분입자의 강도는 오히려 커져 표면강도가 크게 나타난 것으로 해석할 수 있다. Lii 등(1996)은 전분입자의 강도는 입자의 팽윤 정도와 반비례한다고 하였다. 용해도와 표면강도와의 관계(Fig. 5-7)를 보면 용해도가 클수록 표면강도가 작고 용해도가 작을수록 표면강도가 컸다. 이들 간의 상관계수는 -0.79이었다. 용출된 아밀로오스는 겔 내에서 망상구조를 형성하기 때문에 용출된 양이 많을수록 겔의 강도가 클 것으로 예상되나 결과는 그 반대였다. Lii 등(1996)과 Tsai 등(1997)는 전분겔의 물성에 제일 많이 영향을 주는 것은 팽윤된 전분입자의 강도이며 용출된 성분 즉 아밀로오스는 겔의 구조를 강화시키는 역할을 한다고 보고하였다. 따라서 annealing의 온도가 높거나 시간이 긴 전분의 겔의 표면강도가 큰 것은, 팽윤된 전분입자의 강도 때문에 생기는 단단함이 용해도의 감소로 야기되는 부정적인 :

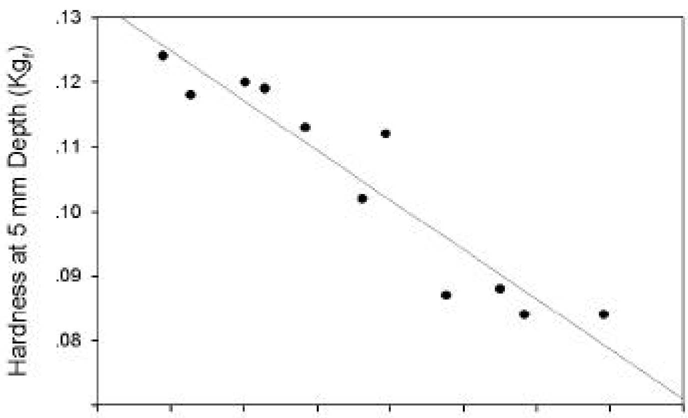


Fig. 5-6. 팽윤력에 따른 겔의 표면강도 (5mm 깊이에서의 강도)

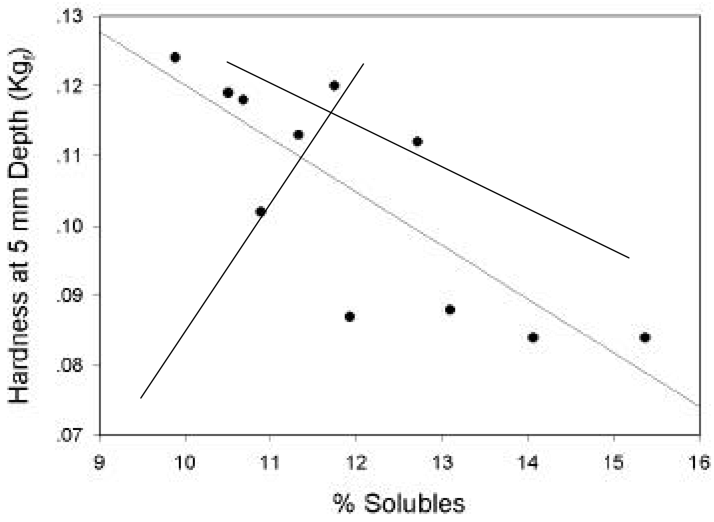


Fig. 5-7. 용해도에 따른 겔의 표면강도 (5 mm 깊이에서의 강도)

전분의 팽윤력과 항복강도와의 관계(Fig. 5-8)를 보면 앞의 표면강도와는 달리 시료들이 두 개의 그룹으로 나뉘어 지는 것을 볼 수 있다. 대략 팽윤력 12.5를 기준으로 하여 그 이상에서는 팽윤력이 증가할수록 항복강도가 낮아지고(오른쪽 선), 12.5 이하에서는 팽윤력이 증가할수록 항복강도도 증가하였다(왼쪽 선). 전분의 용해도와 항복강도와의 관계(Fig. 5-9)에서도 용해도 12를 기준으로 하여 두 개의 그룹으로 나뉘어지는 것을 볼 수 있으나 앞의 팽윤력과 항복강도와의 관계에 비해서는 덜 뚜렷하였다. 팽윤력과 항복깊이(Fig. 5-10), 용해도와 항복깊이(Fig. 5-11)와의 관계도 앞의 항복강도와 마찬가지로 각각 두 개의 그룹으로 나뉘어지는 비슷한 결과를 갖는다는 것을 알 수 있다.

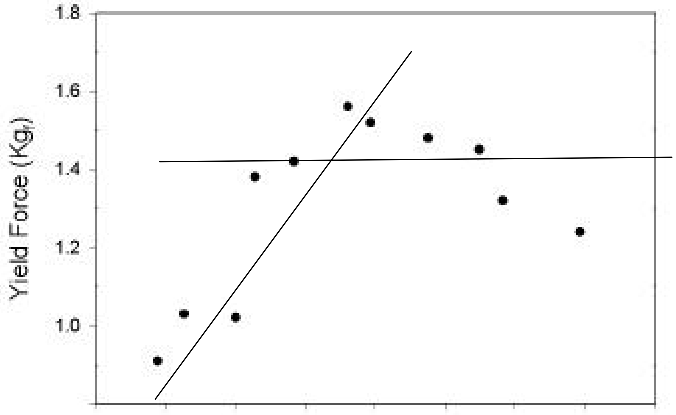


Fig. 5-8. **팽윤력에 따른 겔의 항복강도**

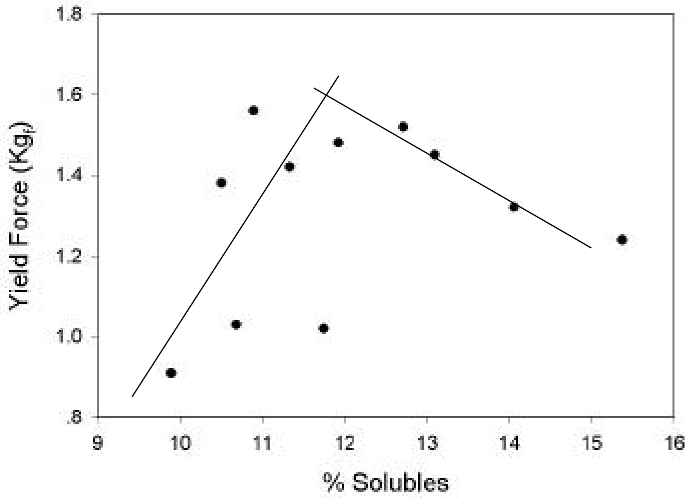
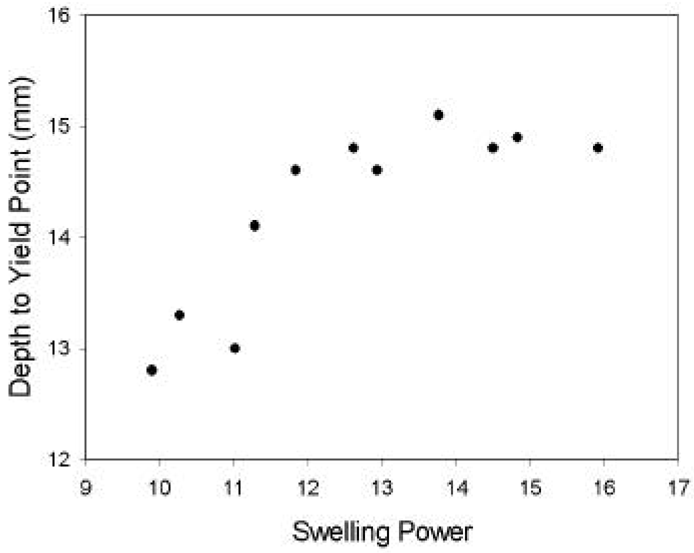


Fig. 5-9. **용해도에 따른 겔의 항복강도**



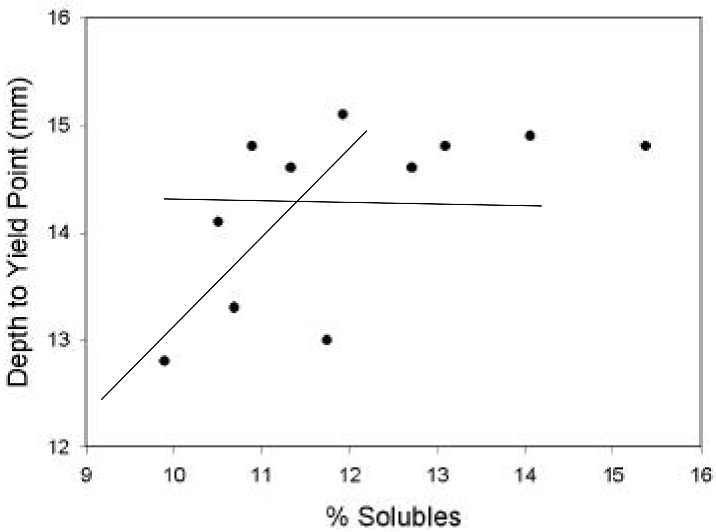


Fig. 5-11. **용해도에 따른 겔의 항복깊이**

여기서 시료를 두 그룹으로 나누는 기준 팽윤력 12.5**는 실험에 사용된 겔의**

농도 8%의 역의 값이 된다. 따라서 팽윤력의 값이 12.5 이상이라는 것은 겔이 팽윤된 전분립으로 충분히 채워져 있다는 것을 의미하고, 팽윤력 값이 12.5이하라는 것은 겔이 팽윤된 전분립으로 덜 채워져 있다는 것을 의미한다. 팽윤력 12.5이상(annealing온도가 낮거나 시간이 짧을 경우)에서 팽윤력이 클수록 겔의 항복강도가 작은 것은 표면강도에서와 마찬가지로 팽윤된 전분입자의 강도가 작기 때문에 쉽게 망가지기 때문일 것이다(Eerlingen 등 1997). 여기서도 용출된 아밀로오스는 겔의 항복강도에 큰 영향을 미치지는 않는 것으로 생각된다. 그러나 팽윤력 12.5이하(annealing온도가 높거나 시간이 길 경우)에서 팽윤력이 클수록 겔의 항복강도가 큰 것은, 겔이 팽윤된 전분립으로 채워지지 않은 데에서는 전분립의 강도보다는 겔 내에서 전분립이 차지하는 비율(Eerlingen 등 1997)과 전분립 사이의 결합력이 더 중요한 역할을 하는 것으로 여겨진다. 전분립이 좀더 밀접해 있을수록(다시말해 팽윤력이 클수록) 이들 사이에 결합력이 더 강하게 되고 이로 인해 강도 측정시 사용한 probe에 가해지는 힘과 마찰력이 더 커져 결국 높은 항복강도와 항복거리를 보인다고 할 수 있다. 항복강도는 probe가 겔의 상당부분(20 mm중 12.8mm이상)까지 들어갔을 때 나타나므로 마찰력도 중요한 변수가 된다고 생각된다. 용출된 아밀로오스는 겔이 팽윤된 전분립으로 채워지지 않은 곳에서만 역할을 하는 것처럼 보인다. Annealing온도가 높거나 시간이 길었던 전분시료에서는 용해도가 클수록 항복강도와 항복깊이도 커졌다.

Annealing처리한 전분(8%)과 9%와 10% 농도로 제조한 생전분의 겔의 물성을 비교해 보면(Table 5-4), 50℃-24시간 처리하거나 55℃에서 처리한 전분은 9% 혹은 10% 농도로 제조한 겔과 비슷하거나 더 강한 것을 알 수 있었다.

생전분과 annealing한 전분으로 제조한 겔의 호화정도를 측정한 결과(Table 5-5), 시료간에 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났으나 그 폭은 별로 크지 않았다. 따라서 전분을 annealing해도 전분의 노화도(100-호화도)에는 별

차이가 없다고 할 수 있다. Hagiwara 등(1992)과 Wang 등(1997)이 annealing에 의해 α-amylase 분해력이 증가하였다고 하였는데 이는 호화시키지 않고 annealing만 하고 측정한 것이기 때문에 본 실험과는 직접적으로 비교하기가 곤란하다.

Table 5-5. Annealing처리한 녹두전분 겔의 호화도a (25℃에서 1일 저장 후)

Annealing 조건 (온도, ℃ - 시간, hr)	호화도 (%)
Native (8%)	73.4 ± 0.6
45 - 6	72.1 ± 0.5
45 - 24	74.0 ± 0.7
50 - 1	71.5 ± 1.6
50 - 6	74.3 ± 3.0
50 - 24	74.3 ± 2.5
55 - 1	72.1 ± 0.4
55 - 6	74.7 ± 1.4
55 - 24	74.5 ± 2.9
60 - 1	74.0 ± 1.4
60 - 6	76.0 ± 1.0
60 - 24	73.6 ± 0.7
Native (9%)	72.1 ± 0.6
Native (10%)	72.1 ± 0.1
$LSD_{0.05}$	2.1

a4 반복의 평균 ± 표준오차.

라. RVA에 의한 전분의 점도 특성

Annealing 온도가 높을수록 호화온도가 높아 호화가 지연됨을 알 수 있었다 (Table 5-6). 호화 피크는 생전분과 45℃와 50℃에서 annealing한 전분에서만 찾을 수 있었으며 피크시간과 피크시 점도가 이들 간에는 별 차이가 없음을

알 수 있었다. 55℃와 60℃에서 annealing한 전분은 피크 점도가 없었으며 호화중 점도도 앞의 전분들 보다 낮았다. 50℃에서의 냉각점도(최후점도)는 처리 조건에 따라 달랐으며 이것은 겔의 물성중 항복강도와 높은 상관 관계(r=0.99)가 있는 것으로 나타났다.

Table 5-6. Annealing 처리한 (24시간) 녹두전분(8%)의 RVA 결과[a]

Annealing 조건(℃)	Pasting temp.(℃)	Peak time(min)	Peak점도 (RVU)	최후점도 (RVU)	Breakdown[b] (RVU)	Setback[c] (RVU)
Native	71.9±0.2	4.9±0.1	249±1	260±5	64±1	75±4
45	73.6±0.5	4.8±0.0	251±3	303±2	37±5	89±7
50	75.4±0.5	5.0±0.1	245±5	342±15	21±5	118±15
55	78.4±0.6	-[d]	-	312±13	-	-
60	80.4±0.7	-	-	194±6	-	-
$LSD_{0.05}$	1.1	0.1	8	22	10	24

[a]2 혹은 3반복의 평균 ± 표준오차.

[b]Breakdown=peak 점도-holding strength (min. viscosity appeared after peak).

[c]Setback=최후점도-holding strength.

[d]Not found in RVA.

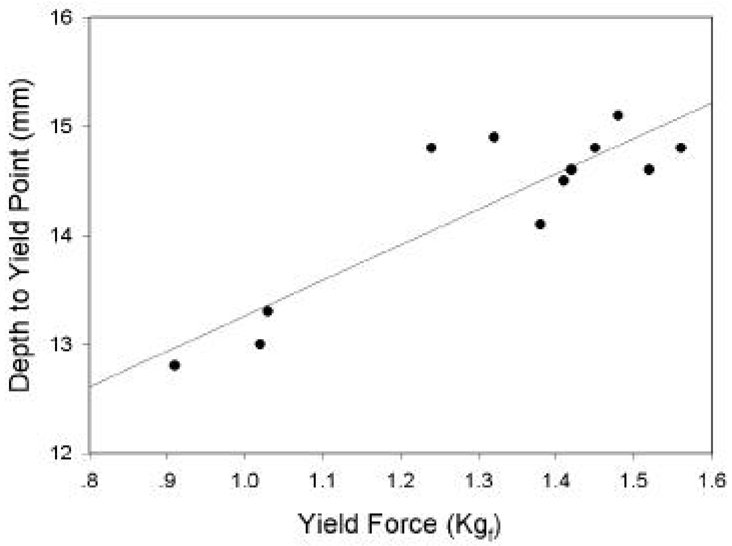


Fig. 5-12. 겔의 항복강도와 항복깊이

결론적으로, annealing에 의해 전분의 팽윤력과 용해도는 감소하였으며 이에 따라 호화가 지연되었다. 그리고, annealing에 의해 전분겔의 표면강도는 증가하였으나 항복강도와 항복거리는 조건에 따라 달랐다. 따라서 녹두전분으로 묵을 만들 경우 55℃에서 1시간 annealing 처리하면 생전분(8%)보다 표면강도는 33%, 항복강도는 23% 증가한 겔을 만들 수 있을 것이며 이때 항복깊이와 호화도는 생전분과 별 차이가 없었다. 이는 8% 녹두전분을 annealing하면 강도면에서 9% 혹은 10%의 농도로 제조한 것과 유사한 것을 의미한다.

2. 초음파 처리한 녹두 전분의 이화학적 성질

초음파 처리에 대한 기초 자료를 얻기 위해 우선 초음파 처리를 언제, 얼마만큼, 어떤 농도에서 해야하는 가를 조사하였다.

가. 초음파 처리 시기와 전분의 상태

초음파 처리를 언제할 때 전분에 영향을 주는 가를 조사하기 위해 초음파 처리 전 가열시간을 0, 0.5분, 1분, 3분, 10분으로 달리하면서 초음파 처리한 후 전분의 상태를 관찰하였으며 그 결과는 Table 5-7과 같다. 이때 초음파 처리 시간은 1분으로, 초음파 강도는 level 5로, 총 가열시간은 10분으로 고정하였으며 가열 온도는 95℃ 이었고 전분현탁액의 양은 10 g, 전분농도는 5% 이었다. 처리한 전분은 실온에서 하루 저장 한 후 겔-졸 여부를 관찰하였다.

녹두전분의 경우, 전분이 열에 의해 호화 되었을 때 초음파 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 처리 전 가열을 1분하여 maltese cross가 없어져야만, 다시 말해 호화가 되어야만 전분의 상태가 sol로 변하는 것을 알았다. 처리 전 가열이 0.5분 이하이면 전분이 완전 호화 되지 못해 초음파 처리를 하여도 전분은 영향을 받지 않아 겔을 형성하였다.

쌀전분과 감자전분은 녹두전분과는 약간 다른 양상을 보였다. 쌀전분의 경우 1분간 처리 전 가열을 하고 초음파 처리를 했을 때 전분의 상태는 녹두전분과는 달리 호화는 되었지만 하루 후 약하나마 겔을 형성하였다. 감자전분의 경우는 쌀전분과는 반대로 초음파처리 효과가 커서 처리 전 가열을 하지 않거나 0.5분 한 것도 호화가 완전히 되지 않았는 데도 불구하고 약한 겔을 형성하였다. 물론 처리 전 가열을 1분한 것은 졸 상태를 보였다. 이것 역시 완전히 호화 되지는 않았다.

이렇게 전분에 대한 초음파 처리 효과는 전분의 종류에 따라 다른 것으로 나타났으며 이는 전분의 결정구조와 관련이 있는 것으로 보인다. 곡류전분인 쌀전분은 A형의 결정 형태를 가지며 감자전분은 B형태의 결정을, 녹두전분은 중간인 C형태의 결정을 갖는 것으로 알려져 있다(김동훈 1995).

Table 5-7. 초음파처리 시기에 따른 전분의 상태[a]

처 리 조 건			호화여부[b]	1일 저장 후 전분상태
초음파처리 전 가열시간(분)	초음파처리 시간(분)	초음파처리 후 가열시간(분)		
녹두 전분				
0	0	10	X	겔
0	1	10	X	겔
0.5	1	9.5	X	겔
1	1	9	O	졸
3	1	7	O	졸
10	1	0	O	졸
쌀 전분				
0	0	10	X	겔
0	1	10	X	겔
0.5	1	9.5	X	겔
1	1	9	O	약한 겔
3	1	7	O	졸
10	1	0	O	졸
감자 전분				
0	0	10	X	겔
0	1	10	X	약한 겔
0.5	1	9.5	X	약한 겔
1	1	9	X	졸
3	1	7	O	졸
10	1	0	O	졸

[a]전분현탁액 10g(5%, w/w)을 95℃에서 가열하였으며 초음파 강도는 level 5였다.

[b]호화여부는 현미경상 Maltese cross 존재여부로 판단.

나. 초음파 처리 강도와 전분농도에 따른 효과

초음파 처리 강도의 효과를 조사하기 위해 처리 강도를 level 1, 3, 5로 하고 녹두전분의 상태를 조사한 결과는 Table 5-8과 같다. 이때 초음파 처리시간은 1분으로, 총 가열시간은 10분(초음파 처리 전후에 각각 5분)으로 고정하였으며 가열 온도는 95℃ 이었고 전분현탁액의 양은 10 g, 전분농도는 5% 이었다. 처리한 전분은 실온에서 하루 저장 한 후 겔-졸 여부를 관찰하였다. 초음파 강도가 1에서는 효과가 없어 호화 후 전분이 겔로 존재하였으며, 강도 3이상에서는 전분이 졸로 존재하였다.

Table 5-8. 초음파처리 강도에 따른 녹두 전분의 상태a

처 리 조 건				1일 저장 후 전분상태
초음파 강도	초음파처리 전 가열시간(분)	초음파처리 시간(분)	초음파처리 후 가열시간(분)	
1	5	1	5	겔
3	5	1	5	졸
5	5	1	5	졸

a전분현탁액 10g(5%, w/w)을 95℃에서 가열하였으며 초음파 강도는 level 5였다.

전분농도에 따른 초음파 처리 효과는 Table 5-9와 같다. 공통적인 처리조건은 총 가열시간 10분(초음파 처리 전후에 각각 5분씩), 가열온도 95℃, 전분현탁액의 양은 10 g이었다. 전분의 농도가 높아지면 초음파 효과가 뚜렷하지 않는 것으로 나타났으며 초음파 시간을 늘려도(7%의 경우) 그 효과는 미미하였다. 농도가 진하면 초음파 처리전의 전분액의 상태가 거의 겔에 가깝게 되며 이에 따라 초음파가 먼 곳까지 도달 못하고 tip의 부근만이 액화되는 현상

이 일어났다. 현재 고농도에서도 초음파 효과를 볼 수 있는 방법을 찾고 있는 중이다.

Table 5-9. 전분농도에 따른 초음파 효과[a,b]

전 분 농 도 (%)	초음파처리 시간(분)	1일 저장 후 전분상태
4	1	졸
5	1	졸
6	1	약한 겔
7	1	겔
7	3	약한 겔
7	5	약한 겔
8	1	겔

[a]사용한 전분은 녹두 전분이었으며, 초음파처리 전후에 각각 5분간 가열하였음.

[b]초음파 강도 = 5.

지금까지 본 것처럼 초음파를 처리하면 전분이 호화 후 냉각 시 겔이 안되고 졸 상태로 남아 있게 된다. 그 이유로는 다음의 두 가지를 생각해 볼 수 있다. 하나는 초음파에 의해 전분내의 포도당간의 결합이 깨지는 것이다. 전분이 산이나 효소에 의해 분해되면 겔이 안 되는 것은 잘 알려져 있는 일이다. 다른 하나는 초음파에 의해 팽윤된 전분립이 붕괴되는 것이다. 정상적인 상태에서 전분겔은 가열 후 전분립에서 유출된 아밀로오스가 연속상을 구성하고 여기에 팽윤된 전분립이 파묻혀져 형성되는 것이며 이때 팽윤된 전분립이 겔

의 강도에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Morris 1990, Tsai 등 1997). 따라서 초음파에 의해 팽윤된 전분립이 파괴된다면 겔을 형성할 수 없을 것이다. 현미경하에서도 정상적인 전분 호화액에서는 팽윤된 전분립을 관찰할 수 있었으나 초음파 처리한 전분액에서는 이를 발견할 수 없었다. Jackson 등(1989)도 초음파에 의해 전분립이 파괴된다고 보고하였다. 따라서 이후 초음파가 전분에 어떻게 영향을 끼치는가를 조사하였다.

다. 초음파처리 시간에 따른 전분립의 붕괴정도

전분을 가열하여 팽윤을 시키고 냉각 후 원심분리하여 얻어진 침전물의 양으로 전분립의 상태를 측정할 수 있다. Table 5-10에서 보는 바와 같이 초음파처리에 의해 팽윤된 전분립이 붕괴되나 전분에 따라 그 정도가 다름을 알 수 있다. 녹두전분의 경우 30초 처리까지는 별 변화가 없었으나 1분 처리 후부터 급격히 전분립이 붕괴되며 3분처리에 의해 대부분의 전분립이 붕괴되어 용해되는 것으로 나타났다. 쌀전분의 경우는 무처리시 팽윤정도는 녹두전분보다 적으나 초음파처리에 강한 저항을 나타내 1분 처리까지는 별 변화가 없었으며 3분이상 처리하여도 상당량의 전분립이 붕괴되지 않고 그 형태를 유지하고 있음을 알 수 있었다. Table 5-7에서 본 것처럼 쌀전분이 녹두전분과 달리 초음파 처리 전에 1분 가열한 것이 약하나마 겔을 형성한 것도 초음파에 강한 저항을 보이기 때문이 아닌가 한다. 감자전분은 팽윤력이 워낙 높아 초음파 처리에 상관없이 원심분리 후 침전물과 상징액을 구분할 수 없으므로 측정하지 않았다.

Table 5-10. 초음파처리 시간에 따른 전분립의 붕괴정도[a]

초음파처리 시간(분)	침전물의 무게(g)	
	녹두 전분	쌀 전분
무처리	20.47	15.18
0.25	23.55	13.86
0.5	18.08	13.79
1	9.16	13.50
3	1.30	9.84
5	1.05	6.28

[a]초음파 강도 = 5.

라. 겉보기 점도(apparent viscosity), 고유 점도(inherent viscosity), 요오드 친화도

전분의 겉보기 점도와 고유 점도는 산처리 전분이나 산화 전분처럼 가수분해된 전분의 분해정도를 측정하는 데 이용된다(Wurzburg 1986). 분해가 많이 될수록 낮은 점도를 갖게 된다.

Table 5-11에서 보는 바와 같이 세 전분 모두 초음파 처리 시간이 길수록 겉보기 점도와 고유 점도가 감소하였으므로 초음파에 의해 포도당간의 결합이 상당히 끊어졌다고 생각할 수 있다. Chung과 Seib(1991)는 밀전분이 산분해(acid thinning)되어 겉보기 점도가 75에서 15로 떨어질 때, 전분의 평균 중합도는 952에서 522로 낮아졌다고 보고하였다. 그러나 여기서는 초음파 처리한 전분의 평균중합도(DP)를 환원력 측정방법으로 조사해 본 결과(Data not shown), 처리 시간에 관계없이 변하지 않아 점도 결과와 상충되는 현상이 나타났다. 현재 초음파가 과연 전분내의 포도당간의 결합에 영향을 미치는 가를 여러 방법을 통해 연구하고 있는 중이다. 요오드 친화도는 녹두 전분의 경우

처리시간과 관계없이 통계적으로 같았으며, 쌀 전분은 5분 처리한 것이 약간 낮아졌을 뿐이었다. 감자 전분도 초음파에 의해 약간 낮아지는 현상을 보였다. 전분의 요오드 친화도는 아밀로펙틴보다는 주로 아밀로오스에 의해 나타나는 값이다. 이 실험에서 요오드 친화도가 별로 변하지 않은 것은, 전분이 분해되었다 하더라도 초음파에 의해서는 아밀로펙틴이 일부 분해되기 때문이라 생각된다(Jackson 등 1988)

Table 5-11. **초음파처리 시간에 따른 전분의 겉보기 점도**(apparent viscosity)**와 고유점도**(inherent viscosity)**와 요오드 친화도**[a]

초음파 처리시간(분)	Apparent viscosity[b] in 1% NaOH(cp)	Inherent viscosity[c] in 1 M NaOH(dL/g)	요오드 친화도[d] (%)
녹두 전분			
0	81.6	2.92	6.85 a
1	46.7	2.14	6.98 a
3	19.7	1.59	6.78 a
5	13.3	1.35	6.81 a
쌀 전분			
0	42.2	2.74	3.50 a
1	12.3	2.28	3.65 a
3	8.4	1.60	3.49 a
5	6.9	1.30	3.22 b
감자 전분			
0	59.6	1.85	5.12 a
1	36.9	1.24	4.75 b
3	14.3	1.03	4.90 ab
5	10.1	0.88	4.79 b

[a]초음파 강도 = 5.

[b]Small sample adapter가 설치된 Brookfield LVDV-II+ 점도계를 이용하여 100rpm에서 측정.

[c]No. 75 Cannon-Fenske capillary 점도계로 측정.

[d]Means with same letters in a column are not significantly different at α=0.05.

마. 초음파 처리한 전분 호화액의 저장 중 점도와 호화도 변화

초음파 처리로 전분이 졸이 되는데 식품에의 응용 면에서는 이런 졸 상태를 얼마동안이나 유지할 수 있는 가가 중요하다. 따라서 처리 시간을 달리하여

전분액을 만들고 4주 저장하면서 점도의 변화를 관찰하였다. 초음파 처리를 오래한 것이 점도가 낮았는데(Table 5-12) 이는 표 4에서 보는 바와 같이 전분립이 더 많이 붕괴되었기 때문일 것이다. 초음파 처리를 하지 않은 것은 겔이 되므로 측정할 수 없다. 저장 중 점도는 5분 처리한 감자 전분을 제외하고는 감소했으며 이는 전분이 노화됨에 따라 호화 중에 느슨해졌던 구성 성분들이 다시 뭉쳐 이들이 용액 내에서 차지하는 부피가 작아졌기 때문일 것이다. 초음파 처리를 많이 한 것의 점도가 저장 중 덜 변화하였으며 특히 감자 전분을 10분간 처리했을 때 저장중 점도의 변화가 별로 없었다.

Table 5-12. 초음파 처리한 전분의 저장중 점도 변화[a,b]

전 분	초음파처리 시간(분)	저장기간별 점도(cp)			
		1일	1주	2주	4주
녹두 전분	5	219	144	104	75
	10	113	88	71	46
쌀 전분	5	152	78	58	42
	10	127	96	76	58
감자 전분	5	260	364	356	221
	10	63	61	56	47

[a]점도 측정은 small sample adapter가 장착된 Brookfield 점도계를 이용하여 100rpm(300cp 이하) 혹은 50rpm(300cp 이상)으로 35℃에서 실시하였다.

[b]초음파 강도 = 5.

초음파 처리시간을 0, 5, 10분으로 달리하여 제조한 전분액을 4주 동안 25℃와 4℃에서 저장하면서 호화도의 변화를 측정한 결과는 Table 5-13과 같다.

우선 세 전분 모두 초음파 처리하여도 가열 직후의 호화도에는 차이가 없음을 알 수 있었다. 전분액을 25℃로 저장하면서 호화도 변화를 살펴본 결과, 녹두전분의 경우 초음파 처리로 전분이 더 호화된 상태로 남아 있음을 알 수 있었으나 초음파처리 시간 5분과 10분간에서는 별 차이가 없었다. 쌀전분의 경우는 4주 저장을 제외하고는 초음파 처리시간이 길수록 전분이 더 호화된 상태로 남아 있었다. 감자전분은 오히려 초음파 처리를 하면 호화도가 감소하는 경향을 보였다.

Table 5-13. 초음파 처리한 전분의 저장 중 호화도 변화[ab]

저장온도(℃)	전 분	초음파처리 시간(분)	저장기간별 호화도(%)			
			0	1주	2주	4주
25	녹두	0	91.4 a	56.0 b	52.7 c	45.7 c
	전분	5	93.7 a	71.4 a	55.6 b	69.2 a
		10	93.7 a	68.6 b	66.8 a	65.6 b
	쌀 전분	0	97.6 a	89.6 c	89.4 c	92.7 a
		5	95.3 b	92.2 b	93.5 b	87.1 b
		10	96.7 ab	94.5 a	95.4 a	93.8 a
	감자	0	99.1 a	84.1 a	82.9 a	83.3 a
	전분	5	99.3 a	83.0 ab	84.1 a	80.8 b
		10	99.6 a	82.3 b	80.9 b	79.0 b
4	녹두	0	91.4 a	57.2 a	53.0 b	54.3 b
	전분	5	93.7 a	58.7 a	58.7 a	58.6 a
		10	93.7 a	55.7 a	54.9 ab	54.5 b
	쌀 전분	0	97.6 a	84.9 b	80.5 b	72.9 b
		5	95.3 b	88.1 a	88.2 a	85.2 a
		10	96.7 ab	90.1 a	87.6 a	85.3 a
	감자	0	99.1 a	69.5 b	67.2 a	70.3 a
	전분	5	99.3 a	72.9 a	69.6 a	64.9 ab
		10	99.6 a	73.1 a	67.1 a	64.0 b

[a]Means with same letters in a column are not significantly different at α=0.05.

[b]초음파 강도 = 5.

저온(4℃)에서는 녹두와 감자전분의 경우에는 초음파의 효과를 뚜렷이 볼 수 없었으나 쌀전분에서는 초음파 처리로 전분이 저장 중 더 호화된 상태로 남아있어 초음파 처리 효과를 볼 수 있었다. 그러나 처리 시간에 따른 효과는

없는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통합하면, 첫째, 호화된 전분을 초음파 처리하면 겔 형성이 안 되고 졸상태로 남아있게 되는데 이는 초음파 처리로 팽윤된 전분립이 파괴되기 때문으로 생각되며 붕괴도는 전분마다 달랐다. 그 이유는 전분마다 전분의 결정 구조가 다르기 때문이라 여겨진다. 처리정도에 따라 붕괴되는 정도도 달랐다.

둘째, 알칼리 점도(겉보기 점도와 고유 점도)를 보면 초음파 처리로 전분의 포도당간의 결합이 분해되는 것으로 보이나 환원력은 별로 변하지 않는 것으로 나타나 이에 대한 보완 실험이 진행중이다.

셋째, 초음파 처리된 전분액의 점도는 저장 중 전분의 노화로 감소하였으며, 저장 중 효소분해로 측정한 호화도 변화를 보면 쌀전분에서 가장 큰 초음파 처리 효과를 나타나 처리시간이 길수록 더 호화상태를 유지(노화지연)하였다.

넷째, 초음파 처리의 최대 효과는 겔이 안 되는 전분 유동액을 만들 수 있다는 것이다. 따라서 이를 전분질 식품에 응용한다면 저장함에 따라 필연적으로 일어나는 노화현상 혹은 경화현상을 억제하는 식품을 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 밥의 열특성 분석

가. 가수비에 따른 밥의 수분함량

취반전 가수비가 밥의 수분함량에 미치는 영향을 알고자 가수비를 달리한 밥의 수분함량을 측정하였다. Fig. 5-13에 나타나듯이 밥의 수분함량은 가수비에 따라 증가함을 보이고 있다.

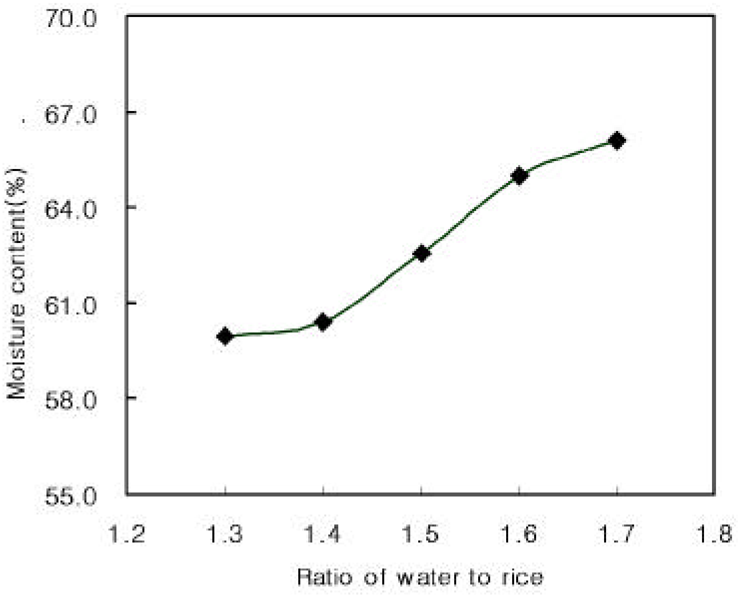


Fig. 5-13. Change of moisture contents of cooked rice at various ratios of water to rice.

이 측정된 값은 문헌에 나타난 자료와 거의 유사하였으며 (Min et al., 1994), 밥의 품질에 따라 된밥, 밥, 진밥으로 나누었다. 된밥의 경우 수분함량은 60 62% 였고 가수비는 1.35 1.45, 밥의 경우는 가수비 1.45 1.55, 수분함량은 62 64% 그리고 진밥의 경우는 가수비는 1.35 1.45, 수분함량 64 66% 였다.

나. 수분함량에 따른 밥의 비열

수분함량에 따른 밥의 비열은 Fig. 5-14에 나타내었다. 비열은 수분함량이 60 에서 66% 로 변화함에 따라 2.92 to 3.26 kJ/kg℃로 증가하였다.

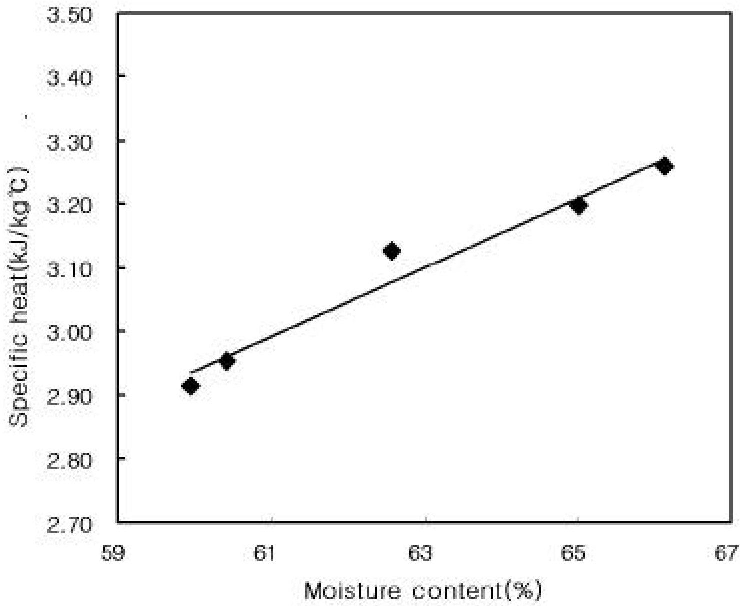


Fig. 5-14. Relationship between specific heat and moisture content of cooked rice.

보고된 자료와 비교했을 때 이 값은 약 4.06%**의 오차를 보였다** (Chang and Chun, 1982).

다. 취반된 밥의 열 전도도

1) **된밥의 열 전도도**

온도와 bulk density**에 따른 된밥의 열 전도도는** Fig. 5-15**와 같았다**. **온도와** bulk density**에 따라 열 전도도는** 0.167 **에서** 0.306 W/m℃ **높아졌으며**, **보고된 자료와 같이 온도가 높아질수록** bulk density **가 클수록 열 전도도가 높아짐을 알 수 있었다**.

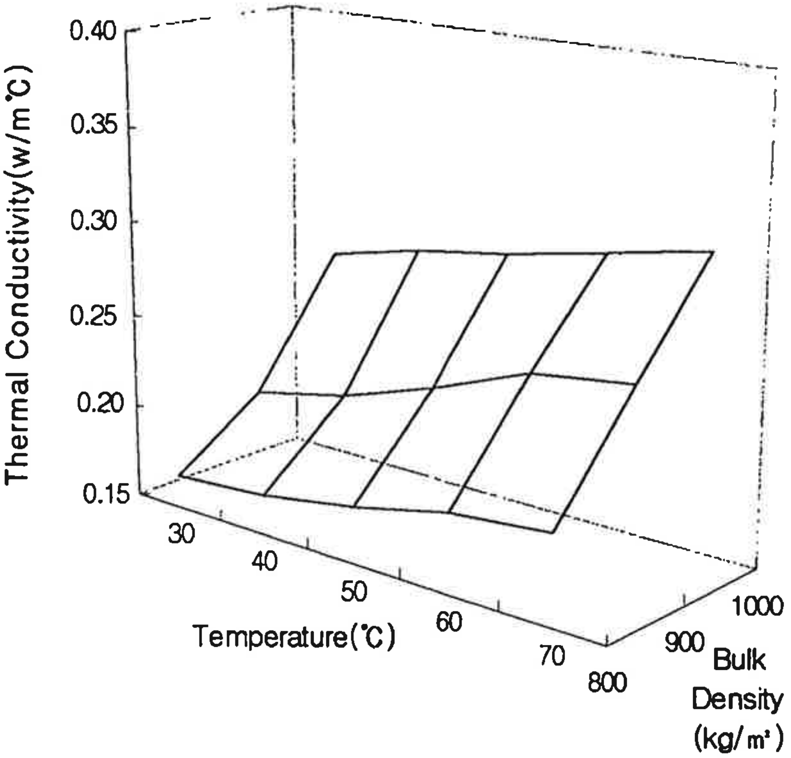


Fig. 5-15. Effect of temperature and bulk density on the thermal conductivity of cooked rice at Deunbob.

2) 밥의 열 전도도

일반적으로 소비되는 밥의 열전도도는 온도와 bulk density에 따라 0.170에서 0.331 W/m℃ 로 증가함을 보였다. 된밥에서보다는 전체적으로 높은 값을 보였다.

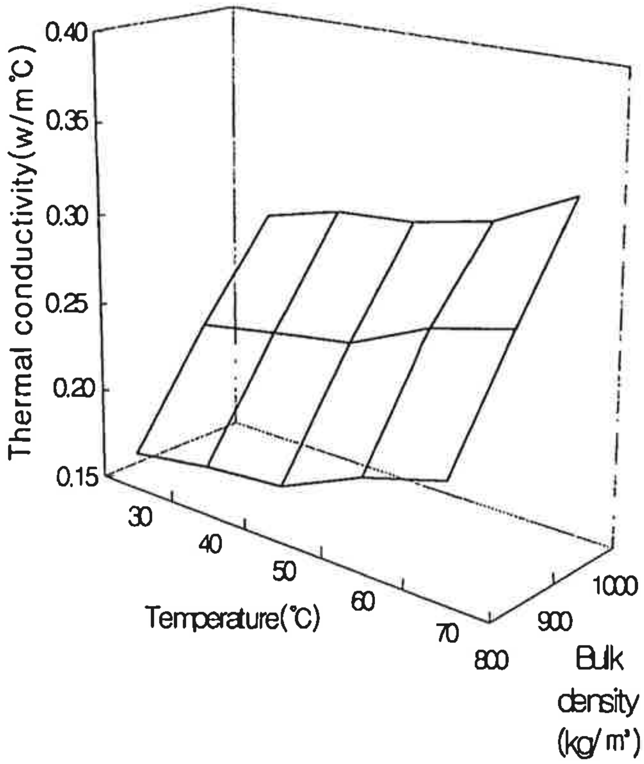


Fig. 5-16. Effect of temperature and bulk density on the thermal conductivity of cooked rice at Bob

3) 진밥의 열 전도도

가장 수분함량이 높은 밥의 열 전도도는 0.244 에서 0.383 W/m℃ 로 증가하였으며 다른 밥들에서보다 높은 측정값을 보였다.

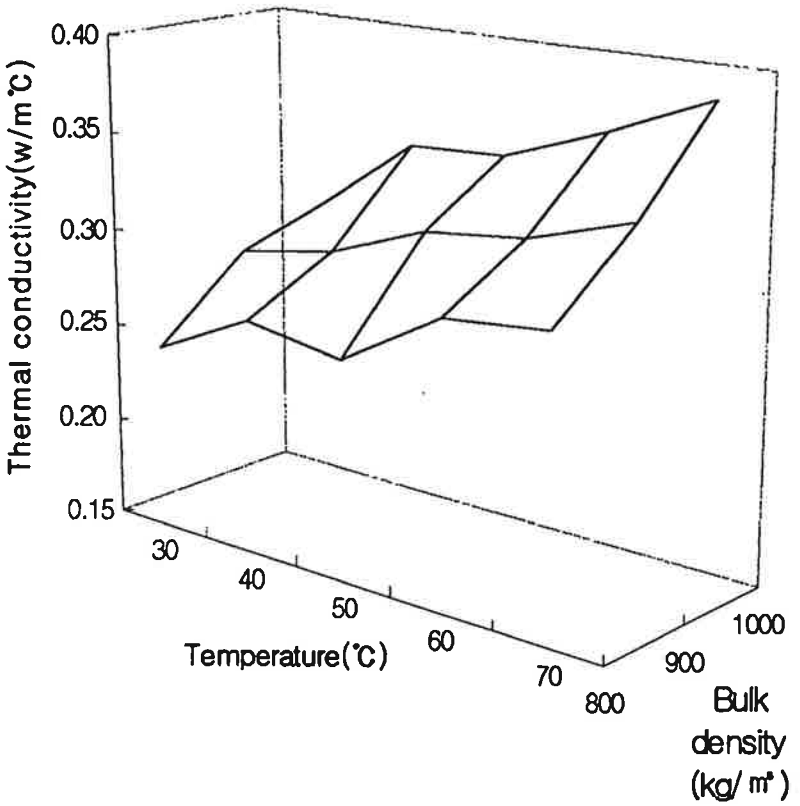


Fig. 5-17. Effect of temperature and bulk density on the thermal conductivity of cooked rice at Jinbob.

Fig. 5-17에서 보는 바와 같이 가수비가 커질수록 bulk density가 클수록 온도가 높을수록 열 전도도가 높아짐을 알 수 있었다. 그리고 이들 인자 중 bulk density의 영향이 가장 크게 미침을 Fig. 5-17에서 알 수 있었다.

라. 밥의 온도변화 예측을 위한 model 식의 개발

밥의 열 특성값을 온도변화 예측 모델식에 적용하고 실제 온도변화를 측정하여 비교함으로써 측정된 열 특성값을 검정하였다. 모델식은 실린더 형의 밥

블록을 기준으로 Fourier의 열전도식을 열저항 요소로 표현하고, purely explicit method를 이용하여 개발하였다. 모델식을 풀기 위한 실린더의 모양과 각 노드의 정의는 다음 Fig. 5-18에서 나타내었다.

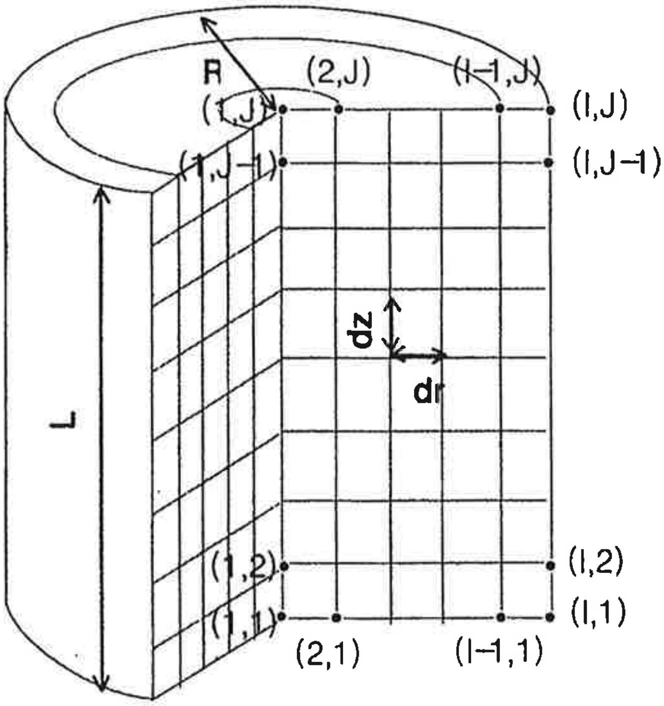


Fig. 5-18. Notation used to discretized cylinder of cooked rice block for two-dimensional model.

위 그림에서 정의된 각 노드의 온도는 다음의 식에 의해 계산되었다.

$$T^{p+1}_{i,j} = \frac{\Delta t}{C_{i,j}} \left(T^{p}_{i+1,j} \times \frac{1}{R_{m+}} + T^{p}_{i-1,j} \times \frac{1}{R_{m-}} \right.$$

$$T_{i,j}^{p+1} = \frac{\nabla t}{C_{i,j}}\left(T_{i+1,j}^{p} \times \frac{1}{R_{m+}} + T_{i-1,j}^{p} \times \frac{1}{R_{m-}}\right.$$

$$\left. + T_{i,j+1}^{p} \times \frac{1}{R_{n+}} + T_{i,j-1}^{p} \times \frac{1}{R_{n-}}\right) + \left(1 - \frac{\nabla t}{C_{i,j}} \times \sum \frac{1}{R_{ij}}\right) T_{i,j}^{p} \qquad (2.7)$$

where $\nabla t < \frac{C_{i,j}}{\sum (1/R_{ij})}$ for stability(ξ)

열저항 요소는 각 노드의 조건에 따라 달라지게 되므로 조건에 따른 열저항 요소는 다음 Table 5-14**와 같다**.

Table 5-14. Nodal resistances with different volume elements using capacitance surface nodes for two-dimensional cylinder

Type	node (s)	Nodal resistances	Temperatures
A	i=1 j=1	$\frac{1}{R_{m+}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{m-}} = 0$ $\frac{1}{R_{n+}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2})^2 \times \pi \times k}{\Delta z}$ $\frac{1}{R_{n-}} = (\frac{\Delta r}{2})^2 \times \pi \times h$	$T_{i-1,j} = T_{i+1,j}$ $T_{i,j-1} = T_\infty$
B	i=2...I-1 j=1	$\frac{1}{R_{m+}} = \frac{(r_i + \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{m-}} = \frac{(r_i - \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{n+}} = \frac{r_i \times \Delta r \times \Delta\phi \times k}{\Delta z}$	$T_{i,j-1} = T_\infty$
C	i=I j=1	$\frac{1}{R_{m+}} = h \times 2 \times R \times \pi \times \frac{\Delta z}{2}$ $\frac{1}{R_{m-}} = \frac{(r_i - \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{n+}} = \frac{(r_i^2 - (r_i - \frac{\Delta r}{2})^2) \times \pi \times k}{\Delta z}$ $\frac{1}{R_{n-}} = (r_i^2 - (r_i - \frac{\Delta r}{2})^2) \times \pi \times h$	$T_{i+1,j} = T_\infty$ $T_{i,j-1} = T_\infty$

(continued)

Type	node (s)	Nodal resistances	Temperatures
D	i=1 j=2..J-1	$\frac{1}{R_{m+}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \Delta z}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{m-}} = 0$ $\frac{1}{R_{n+}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2})^2 \times \pi \times k}{\Delta z}$ $\frac{1}{R_{n-}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2})^2 \times \pi \times k}{\Delta z}$	$T_{i-1,j} = T_{i+1,j}$
E	i=2..I-1 j=2..J-1	$\frac{1}{R_{m+}} = \frac{(r_i + \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \Delta z}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{m-}} = \frac{(r_i - \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \Delta z}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{n+}} = \frac{r_i \times \Delta r \times \Delta\phi \times k}{\Delta z}$ $\frac{1}{R_{n-}} = \frac{r_i \times \Delta r \times \Delta\phi \times k}{\Delta z}$	
F	i=I j=2..J-1	$\frac{1}{R_{m+}} = h \times 2 \times R \times \pi \times \Delta z$ $\frac{1}{R_{m-}} = \frac{(r_i - \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \Delta z}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{n+}} = \frac{(r_i^2 - (r_i - \frac{\Delta r}{2})^2) \times \pi \times k}{\Delta z} = \frac{1}{R_{n-}}$	$T_{i+1,j} = T_{\infty}$

(continued)

Type	node (s)	Nodal resistances	Temperatures
G	i=1 j=J	$\frac{1}{R_{m+}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{m-}} = 0$ $\frac{1}{R_{n+}} = (\frac{\Delta r}{2})^2 \times \pi \times h$ $\frac{1}{R_{n-}} = \frac{(\frac{\Delta r}{2})^2 \times \pi \times k}{\Delta z}$	$T_{i,j+1} = T_{\infty 1}$
H	i=2..I-1 j=J	$\frac{1}{R_{m+}} = \frac{(r_i + \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{m-}} = \frac{(r_i - \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{n+}} = r_i \times \Delta r \times \Delta\phi \times h$ $\frac{1}{R_{n-}} = \frac{r_i \times \Delta r \times \Delta\phi \times k}{\Delta z}$	$T_{i,j+1} = T_{\infty}$
I	i=I j=J	$\frac{1}{R_{m+}} = h \times 2 \times R \times \pi \times \frac{\Delta z}{2}$ $\frac{1}{R_{m-}} = \frac{(r_i - \frac{\Delta r}{2}) \times \Delta\phi \times k \times \frac{\Delta z}{2}}{\Delta r}$ $\frac{1}{R_{n+}} = (r_i^2 - (r_i - \frac{\Delta r}{2})^2) \times \pi \times h$ $\frac{1}{R_{n-}} = \frac{(r_i^2 - (r_i - \frac{\Delta r}{2})^2) \times \pi \times k}{\Delta z}$	$T_{i+1,j} = T_{\infty}$ $T_{i,j+1} = T_{\infty}$

where $\Delta r = \frac{R}{I-1}$; $\Delta z = \frac{L}{J-1}$; $r_1 = 0$; $r_i = r_{i-1} + \Delta r$; $\Delta\phi = 2\pi$

$i = 2, 3 \; . \; . \; . \; . \; . \; , I-1, \; I.$

마. 열전도도의 검정

측정된 열전도도의 값을 검정하고자 모델식에 의해 계산된 온도값과 실제 측정된 온도값을 비교하여 보았다. Fig. 5-19와 5-20에는 실온과 냉동실에서 측정된 밥의 온도 변화와 계산된 온도값의 변화를 나타내었다. 거의 유사한 형태로 변화되고 있음을 보여 측정된 밥의 열 전도도가 model 식으로 계산하여 예측한 값과 잘 맞고 있음을 알 수 있었다.

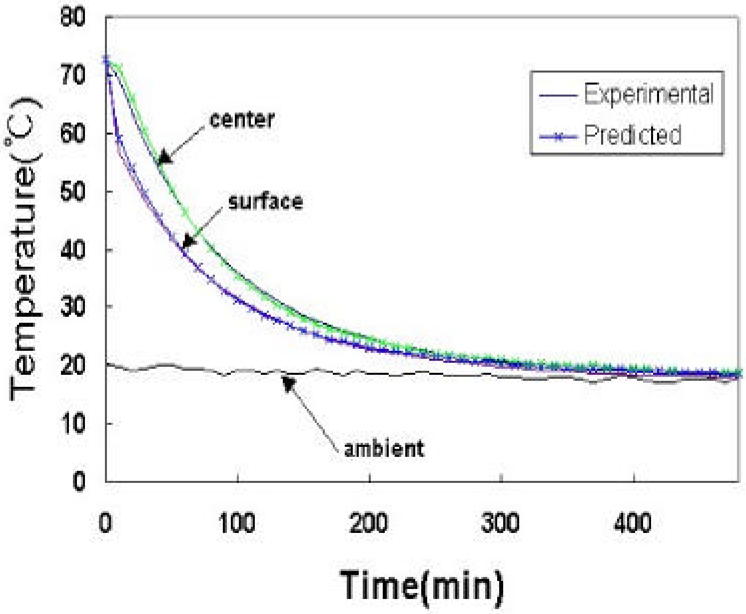


Fig. 5-19. Experimental and predicted temperature change of cooked rice at room temperature

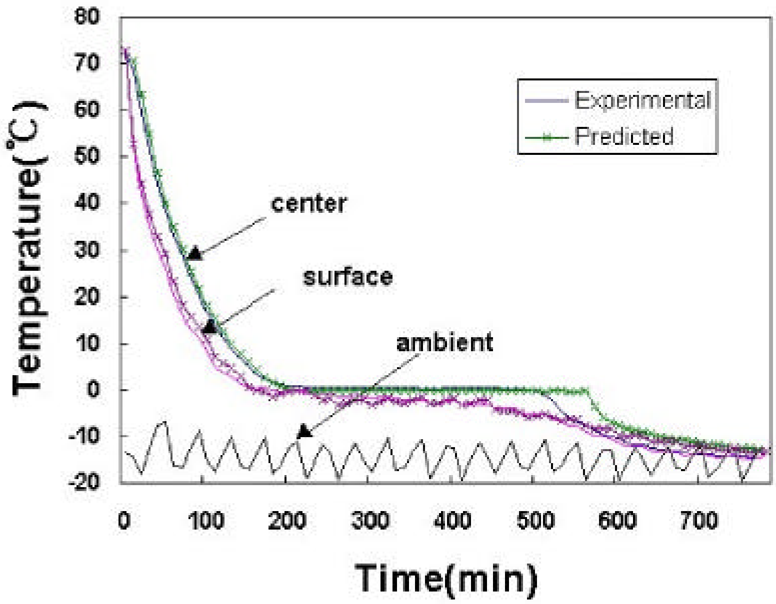


Fig. 5-20. Experimental and predicted temperature change of cooked rice in a refrigerator

참고문헌

Barrera, M. and Zaritzky, N.E.:. Thermal conductivity of frozen beef liver. J. of Food Science. 48, 1779(1983)

Biliaderis, C.G, and Zawistowski, J.: Viscoelastic behavior of aging starch gels: Effects of concentration, temperature, and starch hydrolysates on network properties. Cerel Chem. 67, 240-246(1990) [Starch 37, 80(1985)]

Chang, K.S. and Chun, J.K. Studies on the thermal properties of foods. I. Thermal properties of some Korean foods. Korean J. Food Sci. Technol., 14, 112(1982)

Chun, J.K., Mok, C.K., and Chang, K.S.: Studies on the measurement of thermal properties of kochujang. Korean J. Food Sci. Technol., 11, 157(1979)

Chung, K.M. and Seib, P.A.: Thin-boiling and nongelling adhesive prepared from maize and wheat starches. Starch 43, 441-446(1991)

Dickerson, Jr. R.W.: An Apparatus for the Measurement of Thermal Diffusivity of Foods. Food Technology. 19, 198(1965)

Eerlingen, R.C., Jacobs, H., Block, K., and Delcour, J.A.: Effects of hydrothermal treatments on the rheological properties of potato starch. Carb. Res. 297, 347-356(1997).

Farrall, A.W., Chen, A.C., Wang, P.Y., Dhanak, A.M., Hedrick, T.I., and Heldman, D.R.: Thermal Conductivity of Dry Milk in a Packed Bed. Trans. of the ASAE. 13, 391(1970)

Fisher, D.K. and Thompson, D.B.: Retrogradation of maize starch after thermal treatment within and above the gelatinization temperature range. Cereal Chem. 74, 344-351(1997)

Hagiwara, S., Esaki, K., Kitamura, S., and Kuge, T.: Physical properties and digestion trial with amylase of heat-moisture treated starch granules. Denpun Kagaku 39, 175-182(1992)

Hooper, F.C. and Chang, S.C.: Development of the Thermal Conductivity Probe. Trans. of the ASHVE. 59, 463(1953)

Hoover, R., Vasanthan, T., Senanayake, N.J., and Martin, A.M.: The effects of defatting and heat-moisture treatment on the retrogradation of starch gels from wheat, oat, potato, and lentil. Carb. Res. 261, 13-24(1994)

Hoover, R.: Starch retrogradation. Food Rev. Intern. 11, 331-346(1995)

Jackson, D.S., Choto-Owen, C., Waniska, R.D., and Rooney, L.W.: Characterization of starch cooked in alkali by aqueous HPSEC. Cereal Chem. 65, 493-496(1988)

Jackson, D.S., Waniska, R.D., and Rooney, L.W.: Differential water solubility of corn and sorghum starches as characterized by HPSEC. Cereal Chem. 66, 228-232(1989)

Jacobs, H., Eerlingen, R.C., Clauwaert, W., and Delcour, J.A.: Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. Cereal Chem. 72, 480-487(1995)

Kawabata, A., Akuzawa, S., Yazaki, T., and Otsubo, Y.: Sol-gel transition and elasticity of heat-moisture treated starch. J. Appl. Glycosci. 43, 479-485(1996b)

Kawabata, A., Takase, N., Akuzawa, S., and Sawayama, S.: Gelatinization characteristics of heat-moisture treated potato starches. J. Appl. Glycosci. 43, 471-477(1996a)

Kim, S.K.: Effects of annealing treatment on gelatinization of upland and low land waxy brown rice starches. J. Korean Agri. Chem. Soc. 34, 187-189(1991)

Knutson, C.A.: Annealing of maize starches at elevated temperature. Cereal Chem. 67, 376-384.(1990)

Krueger, B.R., Walker, C.E., Knutson, C.A., and Inglett, G.E.: Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. Cereal Chem. 64, 187-190(1987)

Ladbury. E.S.D., Currel. B.R., Horder. J.R., Parsonage. J.R., and Vidgeon. E.A.: Application of DSC for the Measurment of the Thermal Conductivity of elastomeric materials. Thermochimica Acta 169, 39-45(1990)

Lii, C., Tsai, M., and Tseng, K.: Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. Cereal Chem. 73, 415-420(1996)

Min, B.K., Hong, S.H., and Shin, M.G.: Optimum ratios of added water for rice cooking at different amount of rice contents. Korean J. Food Sci. Technol., 24, 623(1992)

Min, B.K., Hong, S.H., Shin, M.G., and Jung, J.: Study on the determination of the amount of added water for rice cooking by extrusion test of cooked rice. Korean J. Food Sci. Technol., 26, 98(1994)

Morris, V.J.: Starch gelation and retrogradation. Trends Food Sci. Tech. 1, 2-6(1990)

Myers, R.: Inherent viscosity of alkaline starch solutions. Pages 124-127 in: Methods in Carbohydrate Chemistry. R, Whistler, R, Smith, and J. BeMiller, eds. Academic Press: New york(USA)(1964)

Park, H.H., Lee, K.H., and Kim, S.K.: Effect of heat-moisture treatments on phsicochemical properties of chestnut starch. Korean J. Food Sci. Tech. 18, 437-442(1986)

Pongsawatmanit, R., Miyawaki, O., and Yano, T.: Measurement of the Themal conductivity of Unfrozen and Frozen Food Materials by a Steady State Method with Coaxial Dual-cylinder Apparatus. Biosci. Biotech. Biochem., 57, 1072(1993)

Rizvi, S.S. and Mittal, G.S.: Experimental Methods in Food Engineering. p129-140. Van Nostrand Reinhold, New York.(1992)

Sair, L.: Heat-moisture treatment of starch. Cereal Chem. 44, 8-26(1967)

Schoch, T.J.: Iodimetric determination of amylose potentiometric titration: Standard method. Pages 157-160 in: Methods in Carbohydrate Chemistry. R, Whistler, R, Smith, and J. BeMiller, eds. Academic Press: New York(USA). (1964b)

Schoch, T.J.: Swelling power and solubility of granular starches. Pages 106-108 in: Methods in Carbohydrate Chemistry. R, Whistler, R, Smith, and J. BeMiller, eds. Academic Press: New york(USA). (1964a)

Seow, C.C. and Teo, C.H.: Annealing of granular rice starches-Interpretation of the effect on phase transitions associated with gelatinization. Starch 45, 345-351(1993)

Singh, R.P. 1982. Thermal diffusivity in food processing. Food Technology. 36, 87(1982)

Stute, R.: Hydrothermal modification of starches: The difference between annealing and heat/moisture-treatment. Starch 44, 205-214(1992)

Sweat, V.E. and Haugh, C.G.: A Thermal Conductivity Probe for Samll Food Samples. Trans. of the ASAE. 17, 56(1974)

Tsai, M., Li, C., and Lii, C.: Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. Cereal Chem. 74, 750-757(1997)

Tsai, M., LI, C., and Lii, C.: Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. Cereal Chem. 74, 750-757(1997)

Tsuge, H., Hishida, M., Iwasaki, H., Watanabe, S., and Goshima, G. Enzymatic evaluation for the degree of starch retrogradation in foods and foodstuffs. Starch 42, 213-216(1990)

Tsuge, H., Hishida, M., Iwasaki, H., Watanabe, S., and Goshima, G.: Enzymatic evaluation for the degree of starch retrogradation in foods and foodstuffs. Starch 42, 213-216(1990)

Wang, D. and Kolbe, E.: Thermal conductivity of surimi- measurement and modeling. J. of Food Science. 55, 1217(1990)

Wang, W.J., Powell, A.D., and Oates, C.G.: Effect of annealing on the hydrolysis of sago starch granules. Carb. Polymers 33, 195-202(1997)

Wurzburg, O.B.: Chapter 2. Converted starches. Pages in 18-23 in: Modified Starches: Properties and Uses. O, Wurzburg, ed. CRC Press:Florida, USA(1986)

Yoon, J.: Effective thermal conductivity of rice starch. Korean J. Food Sci. Technol., 26, 1(1994)

Zuritz, C.A., Sastry, S.K., McCoy, S.C., Murakami, E.G., and Blaisdell, J.L.: A Modified Fitch Device for Measuring the Thermal Conductivity of Small Food Particles. Trans. of the ASAE. 32(2): 711(1989)

김동훈: 식품화학. 제 7장 297-298쪽. 탐구당(1995)

김세권: 키틴, 키토산 올리고당의 제조. 식품공업 146: 52-68(1998) [Bull. Chem. Soc. Jpn. 68, 1851(1995)]

제 6 장 농촌형 식품 가공 공정의 핵심 제어 기술 개발 분야

제 1 절 서 설

농산물 가공 산업은 장비 의존적인 경향이 강하다. 대부분의 경우 농산가공의 제조 공정은 각 단위 공정에 해당하는 기계들의 연결이다. 그러므로 식품 제조 공정의 자동화는 단위 공정을 담당하는 기계들의 자동화가 선행되어야 한다. 현재 우리 나라의 경우 식품 제조 기계의 대부분은 수입에 의존하고 있다. 대규모의 자동화 공장을 건설할 경우는 거의 모든 기계와 제어 장치, 운영프로그램 모두를 수입하고 있다. 우리 나라의 전통 식품의 경우는 제조 공정의 현대화가 시급한 실정이다. 또한 국내에서도 자동화에 대한 요구가 증가하고 있어, 제조 기계의 자동화에 관한 연구는 필요하다. 특히 농촌형 식품가공공장의 경우는 자금과 기술 보유 수준이 낮기 때문에 저렴하며 사용이 편리하여야 한다. 또한 자동화 시설의 운영과 기술 지원이 국내에서 가능하여야 하기 때문에 국내 기술로 자체 개발이 필수적이다.

1. 공정 제어 장치의 개발연구

농산물 가공 공정이 점차 단위화가 되어 가면서 다양한 공정 변수 및 센서값의 자료를 주 host computer에서 처리하는 것보다 단위 공정에서 필요한 계측과 제어를 독립적으로 담당하고 공정 진행 상황만을 주 host computer와 통신하는 단계로 발전하고 있다. 따라서 하나의 단위 공정을 독립적으로 관리

하고 그 결과를 전 공정의 흐름과 결부시킬 수 있는 제어장치를 개발하고자 계측, 제어 기능을 갖는 경제적인 one-chip microcomputer를 활용에 많은 관심을 갖게 되었다.

국내의 경우 one chip microcomputer를 사용한 농업용 programmable controller를 설계하여, 1 개의 board 내에 모든 기능을 수행하는 형태로 제작하여 그 활용을 시도한 바 있고 이는 모듈별로 분리한 형태로 제작하여 사후관리의 용이성을 높인 바 있다(전등, 1997). 또한 TMS73C161을 이용하여 제어기를 설계하고 monitoring computer와 농업용 제어기 사이의 통신이 가능하도록 하여 one-chip microcomputer로부터 자료 수집을 가능하도록 한 바 있다.

국내외적으로 식품공정의 자동화에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. Inaba(1989)등은 CA 저장고에서 환경변수를 측정하기 위해서 자동 microcomputer system을 설계하였다. Jurado와 Mohseni(1992)는 lauter tub의 runoff를 제어하기 위해서 diffential pressure sensors에 기초한 programmable controller를 MC68HC11A8P microcontroller (Motorola사)를 사용해서 설계, 제작하였다.

본 연구에서는 TMS370C758b(Texas Instruments 사)를 이용하여 농촌형 가공 기계를 제어할 수 있는 자동 제어 장치를 제작하고자 하였다. 제어 장치가 대부분 7 seg. LED를 기반으로 하여 공정변수와 제어 상태를 표시하는데 한계가 있음을 감안하여 표시부에 LCD를 채용함으로써 표시 기능과 monitoring computer와의 통신 기능을 향상시키고자 하였고, 온도 계측을 thermocouple을 이용하여 할 수 있도록 회로를 설계하며 LCD를 채용하여 측정한 데이터의 표시 기능이 향상된 제어 장치를 제어장치를 설계, 제작하고자 하였다. 또한 이 제어장치로 다양한 농업 생산 및 가공 공정을 계측, 제어할 수 있도록 운영 프로그램을 개발하고자 하였다.

2. 메주 제조 공정의 자동화 응용 연구

장류는 우리나라의 전통식품으로 농촌형공장에서 가장 생산하기 용이한 식품이다. 특히 메주는 종국 접종하거나 증자 대두를 메주균의 생육적온에서 제조되는 것이므로 그 제어도 이에 부합하도록 할 필요가 있다. 무역자유화 과정에서 각종 가공 식품들이 수입되고도 있는 가운데 된장과 같은 우리 나라의 전통 가공식품의 경쟁력을 높이기 위해서는 품질, 생산비, 그리고 운영 면에서 취약점을 극복하고 부족한 기술 인력에 대한 대책이 필요하다. 이를 위해서 전통 식품의 제조 공정에 첨단 자동화 기술을 도입하여 제조 방법을 발전시킨다면 품질의 향상과 생산비의 절감, 운영의 개선 등을 이룩할 수 있을 것이다.

장류용 종국은 곡물을 주원료로 하여 단백질 분해 효소를 다량 생산하는 미생물을 가급적 순수 배양시킨 것이며, 이를 이용하여 만드는 대두 발효 식품인 장류는 동양인의 식단에서 단백질 급원으로서 중요한 역할을 하는 조미료이다. 장류용 종국의 제조 방법으로는 전통적으로 메주를 만드는 방법도 있으나 상품화된 장류 식품의 제조 시에는 순수하게 배양한 Aspergillus oryzae를 쌀이나 보리쌀에 번식시킨 것을 사용한다.

종국 제조 방법에는 상자(tray) 제조 방법(Aidoo, 1982), 포트(port) 방법(Underkofler, 1947), 그리고 회전 드럼 방법(Arima, 1964)이 있으며 생산 규모에 따라서 그 방법을 달리한다. 이중 상자 제조법은 종국 상자를 쌓아서 제조하는 것으로 가장 보편화된 방법이다. 어떤 방법이던지 간에 종국의 생육에 필요한 온도와 습도를 관리하는 것이 아주 중요하다.

상자 제조 방법에서는 종국 실내의 온도와 습도를 일정하게 유지하는 것만으로는 불충분하며 상자 내 종국의 품온을 균의 성장에 맞도록 조절하는 하는 것이 중요하기 때문에 환적 작업이 요구된다. 또 다른 곰팡이나 세균의 오

염 가능성이 높으므로 종국실 문의 개폐와 사람의 출입으로 인한 오염원을 줄여야 한다. 따라서 종국 제조는 기술자가 오랜 경험을 바탕으로 관리하는 것이 상식화되어 있다.

종국의 품질이 장류의 맛을 결정하는 중요한 요소가 되며 재래식 장류는 지역적으로 독특한 맛을 갖고 발전되어 왔다. 그러나 산업화 과정에서 장류가 상품화되면서 개량식 장류로 획일화되는 경향이 있고 재래의 전통 장류는 경쟁력을 상실해 가고 있다. 따라서 이 종국 제조 공정과 같은 중소 규모의 공정을 감시하고 자동화하는 데는 효용성과 경제성 측면에서 PLC 보다도 one chip microcomputer를 사용한 제어장치가 유리하다.

농산가공용 제어장치는 한가지 품목의 가공에서만 사용될 것이 아니라 여러 가지 가공에 활용 할 수 있는 것이 중요하다. 제어장치를 여러 가지 농산물 가공 공정의 하나인 장류용 종국 배양 환경의 계측 및 제어에 필요한 운영 프로그램을 개발하고 동 프로그램을 실제로 활용하고자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 재료

가. Microcontroller chip 및 전자 부품

농업용 제어기의 주 연산 장치인 one chip microcomputer는 TMS370C758b (Texas Instrument 사)를 사용하였다. 이 칩의 주요 사양은 표6-1과 같다.

Table 6-1. Important features of TMS370C758b

Memory (bytes)	Input/output (pin)	Special devices
RAM 1K EEPROM 256K EPROM 32K	Input 11 Output 1 Bidirectional 46	Analog-to-Digital Converter (8 bits, 8 channels) Serial peripheral interface Serial communication interface 2 programmable timer 3 external interrupts 6 internal interrrupts

Table 6-2. Important features of TMS370C758

Memory (bytes)	Input/output (pin)	Special devices
RAM 1K EEPROM 256K EPROM 32K	Input 11 Output 1 Bidirectional 46	Analog-to-Digital Converter (8 bits, 8 channels) Serial peripheral interface Serial communication interface 2 programmable timer 3 external interrupts 6 internal interrrupts

controller와 host computer간의 통신을 위한 RS-232C level driver 칩으로는 MAX232를 사용하였다. Channel multiplexing을 위한 chip로는 DG507A (Maxim 사)를 사용하였다. 이 칩은 차등 신호 8 channel을 multiplexing하며 작동 전원 범위는 ±4.5V에서 ±18V까지 이다. Switching time은 전환시 0.6 μs이다.

Thermocouple 보상 칩은 AD595(Analog Device사)를 사용하였다. 이 칩은 ice point 자동 보상 기능을 가지고 있고 K type thermocouple에 대해 출력 신호의 선형화 기능을 갖추고 있다. 출력 범위는 10mV/ °C 이며 +5V 단일 전원 공급으로 0 300℃(±1°C)까지 측정이 가능하다. Analog switch는 ADG201A(Analog Device 사)를, voltage source driver는 UDN2981, relay는 30825F(Matsushita 사)를 사용하였다.

제어 장치의 표시부는 20 character × 2 line의 text mode LCD module (UC-20212-SLATO-H, 삼성전관)을 사용하였다.

1) Sensor

온도 계측용 sensor는 K type thermocouple(일진센서)을, 습도 계측용 sensor는 hybrid형 습도 센서 모듈(SY-HS-200, 삼영전자)을 사용하였다.

2) 운영 program 개발장치

제어장치의 운영 program 개발은 TMS370용 EVM board인 CDT370을 통신 케이블로 Computer와 연결하여 사용하였다. 즉, target board인 제어장치에 emulator cable을 연결하고 piggy back 개발방법을 써서 program을 개발하였다.

3) Power supply

Target board에 안정적인 전원(5V, 12V, -5V, GND) 공급을 위하여 power supply (MMC50-3,JAPAN)를 구입하여 사용하였다.

나. 종국 원료 및 균주

종국 원료는 시중에서 구입할 수 있는 국산 보리를 사용하였으며 균주는 Aspergillus oryzae (하경발효식품연구소)를 사용하였다.

다. 종국 배양 제어장치의 CPU 및 전자 부품

종국 환경 제어장치의 CPU는 Texas Instrument 社의 one chip microcomputer인 TMS73C161을 사용하였다. 주요 부품으로 통신제어칩

MC6850, 통신 신호 전압 상승 소자 MAX232, multiplexer ADG506A, LED용 12V Driver UDN2981, 그리고 ground sink용 KA2657을 사용하였다.

1) 종국 배양 환경의 계측용 sensor

온도 계측을 위해서는 thermistor(1kΩ,-20℃ 60℃, ±0.5℃:(주)동광전자)를 사용하였으며 습도 센서는 hybrid형 습도 센서 모듈(990 2940mV,30% 90%,±1%, SY-HS-200, (주)삼영전자)을 사용하였다.

계측용 센서를 통해 측정된 analog값들의 Analog-digital 변환은 CPU에 내장된 8-bit ADC를 사용하여 수행하였다.

2) 종국 배양 제어장치

종국 제조 배양 제어장치로 전, 권(1) 등이 제작한 PCB를 일부 개조하여 과전압 보호 기능과 통신 기능을 추가하여 사용하였다.

3) 종국 배양 제어장치용 controller box의 배전설비 부품

종국 배양 제어장치를 수납하고 각종 구동장치의 배선을 수용할 수 있는 controller box를 제작하였다. 사용된 부품은 다음 표6-3과 같이 Circuit breaker는 배선용 차단기, M/C는 전자접촉기, EOCR은 전자식 과전류 계전기, Noise filter는 잡음제거기, OLR은 열동형 과부하 계전기, C/P는 회로 보호용 차단기를 나타내고 있다. EOCR에서 D-TIME은 동작 시간을 Q-TIME은 복귀 시간을 가리킨다.

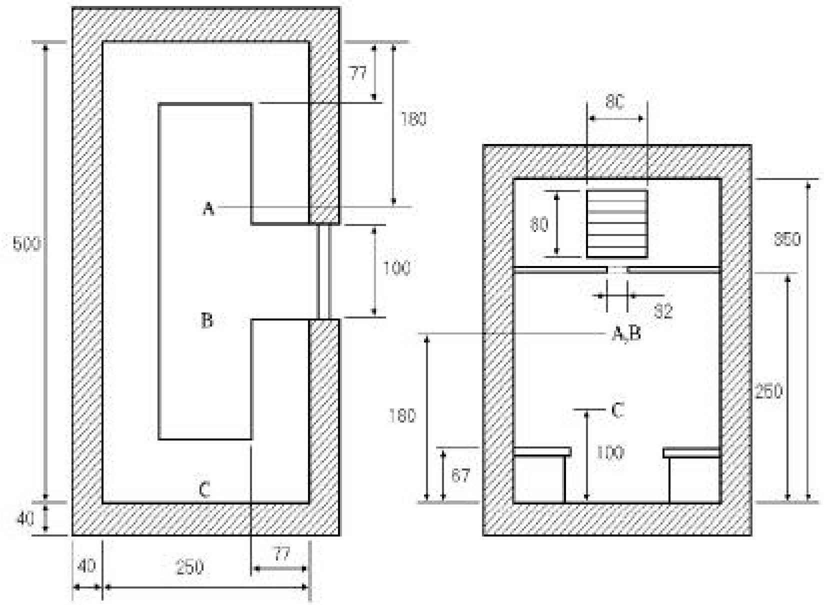
Table 6-3. The electrical part used for controller Box

Name (abbreviation)	Specifications	Quantity
Circuits breaker(CB)	220V, 5A; ABS33	1
Magnetic contact(MC)	220V, 13A; CH3	10
Electric over circuit relay(EOCR)	3 30A; SS, D-TIME:5 30sec Q-TIME:1 10sec	6
Noise filter(NF)	AC220V,6A; TDK	1
Over load relay(OLR)	0.1 13A 2 bimetal type; TH-3N	8
Circuit protect(CP)	5A; GCP-32A	1
Relay(RLY)	DC 3.8mA, AC 5mA; MY4N	7

라. 종국 배양 시설

종국을 배양할 설비는 바닥 면적이 12.5 **㎡** (5m×2.5m)**이고 내부 공간이** 31.25 **㎥** (5m×2.5m×2.5m)**인 종국실을 사용하였다**.

종국 상자(65cm×45cm×8cm)**는 목재상자를** 5**개씩 쌓아서 사용하였고 상자내 종국의 품온을 측정하기 위해 온도 센서** 3**개를 밑에서** 2**번째**(T1), 3**번째**(T2), **그리고** 4**번째의 종국 상자**(T3)**의 종국 표면 중심부에 설치하여 온도 변화를 측정하였다**.**종국실내** 1.8m **높이에 건구온도** 2**개**(T4,T5)**를 설치하였고 종국실내** 1m **높이에 습도 센서** 1**개**(H)**를 설치하였다**.



(a) Top view (b) Side view

Fig. 6-1 The layout of Koji room

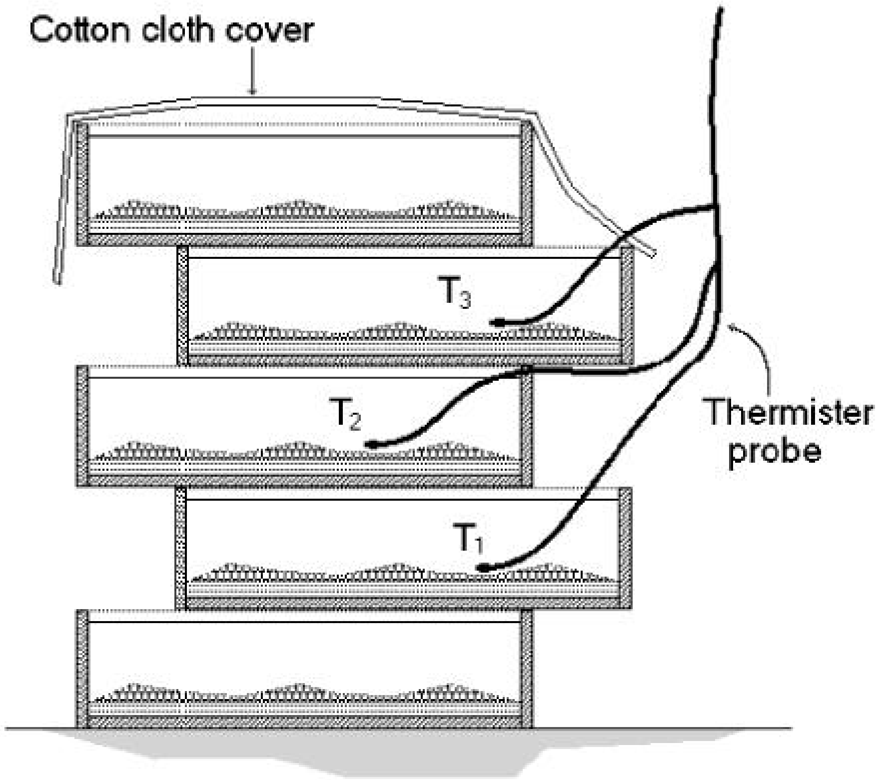


Fig. 6-2 The installation of temperature sensors in Koji boxes

2. 방법

가. 농산물 가공용 핵심 제어장치 Microcontroller 회로의 설계 및 검증

농산 가공 시설의 자동화를 위한 제어장치의 회로 설계는 전자 회로 설계 전용 software인 OrCAD Capture를 사용하였으며, 회로는 기능별로 설계하여 bread board에서 일차 test를 한 후 test용 board를 제작하여 검증하였다. 테스트용 보드에서 부품간 배선은 noise를 줄이기 위해서 wrapping기법을 사용

하였다. Test board를 TMS370용 EVM board인 CDT370에 연결해서 프로그램을 실행시키면서 검증하였다.

나. 계측용 센서의 설계 및 보정

1) 온도 계측 회로 설계 및 보정

Thermocouple의 영점 보상 칩으로는 AD595를 사용하였으며 출력 전압 신호를 OP07로 증폭 가공하였다. 가공된 신호는 TMS370C758 내장 ADC 의 첫 번째 channel을 통해 입력하였다. 다수의 온도 센서를 통한 계측 방법으로 analog multiplexer와 analog switch를 사용하여 24개의 온도 sensor를 접속, 측정할 수 있도록 하였다. Thermocouple probe는 표준 수은 온도계로 표정하였다.

2) 습도 sensor 보정

습도계의 계측 범위는 30 90% RH이며 출력 전압은 동범위에서 DC 1 3V 사이에서 직선성을 가진 것을 사용하였다. 습도계의 보정은 제작 회사의 자료를 참고하고 표준 습도계로 보정하였다.

다. 농산물 가공 핵심 제어장치 운영 program 개발 방법

제어장치의 program의 개발에는 Texas Instrument의 one chip microcomputer program 개발 전용 EVM 보드인 CDT370을 사용하여 개발하고 이 장치로 EPROM에 program을 실었다. TMS370C758b는 OTP(one time programmable)이기 때문에 프로그램을 지우고 다시 쓸 수 있는 SE370C758b를 개발에 사용하였다.

라. 농산물 가공 핵심 제어장치 PCB 설계 및 제작

OrCAD™ Capture로 그린 schematic 파일을 OrCAD™ Layout plus에서 PCB file로 전환하고, PCB 규격을 결정한 다음 부품을 배치하였다. 배선은 먼저 전원과 GND선을 배선하고 나머지 부분은 프로그램의 내장 알고리즘에 의한 자동 배선을 하고 미흡한 부분은 직접 배선하였다. 완성된 PCB file을 board 전문 제작 회사에 제작을 의뢰하여 두번의 검증을 거친 후 제작하였다.

마. 종국 배양법

장류용 종국 배양은 Aspergillus oryzae를 보리에 배양하는 방법을 사용하였는데 보리쌀 16kg을 수세, 2 3시간 침지하고 증자(0.6㎏/㎠)한 후에 보리쌀 밥이 40℃ 정도로 식으면 종국을 고루 혼합하여 종국 상자 5개에 3.2kg씩 담아 입국하였다. 입국 시의 환경은 종국 배양 제어장치로 관리되도록 하였으며 종국 실내의 온도가 25℃ 이상 그리고 상대 습도가 50% 이상인 조건을 만족하면 제어기에서 경고 신호와 'In'을 표시하도록 하였다. 반면에 종국 상자 내의 내부 온도값이 3개중 2개 이상이 35℃보다 높을 경우 경고 신호와 함께 'Hi'를 표시하여 이 신호에 따라 운영자가 환적 작업을 수행하도록 하였다.

바. 종국 배양 공정의 온도와 습도의 계측 및 제어 방법

온도의 계측은 종국 배양 제어장치를 통해서 자동으로 computer에 입력되도록 하였는데 thermistor로부터 나온 아날로그 신호값을 제어장치에 내장된 Op-amp를 통해 증폭한 뒤 TMS73C161내의 8bit ADC에서 256개의 계측값을 평균하여 온도값으로 하였다. 온도 제어를 위해서 전열기(1.5kW)를 2기 사용하였고 설정 온도값과 비교하여 on/off제어하였다.

습도의 계측은 출력 범위가 990 2940mV인 hybrid형 습도 센서 모듈의 analog 출력값을 증폭하지 않고 그대로 TMS73C161내의 8bit ADC에서 받아

들여 256개의 값을 평균하여 습도값으로 하였다.

습도의 제어는 설정 습도값과 비교하여 가습기(42W, 금성사 GH-600U)를 on/off제어하였다.

사. 종국 배양 시의 실시간 on-line monitoring 방법

평상시에는 제어장치에서 10초마다 일정하게 시, 분, 초, 온도1, 온도2, 온도3, 온도4, 온도5, 조도, 습도의 계측값을 순차적으로 전송하도록 하였다. 한편 설정값 또는 relay 상태를 바꿀 때에는 다기능 선택값, 온도 설정값, 조도 설정값, 습도 설정값, relay #1, relay #2 순으로 전송하여 현재의 제어기 상태를 on-line monitoring하도록 하였다.

아. 종국 배양 환경 제어장치 운영 프로그램의 개발 방법

종국 제조 환경 제어장치 운영 프로그램의 개발 초기에는 Texas Instrument社의 one chip microcomputer program의 개발에 적합하도록 제작된 EVM board(Young Tec. Co.)와 IBM PC 그리고 통신 프로그램으로 XTALK를 사용하였고 실제로 제어기를 운용할 때에는 EPROM에 프로그램을 실어 piggy back과 같이 사용하였다.

자. 종국 배양 공정 Monitoring 프로그램 개발 방법

종국 배양용 제어장치와 접속하여 on-line monitoring 및 제어할 운영 프로그램의 개발은 borland 사의 TurBo C++ 3.0을 사용하였고 국내 공개 한글 라이브러리인 한라프로 2.4를 한글 구현과 pull-down menu를 위한 라이브러리로 사용하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 농산물 가공 공정 운영장치의 설계 및 제작

가. 농산물 가공 공정 제어 장치의 핵심 microcontroller 선택

농산물 가공 공정을 자동 제어하기 위한 제어 장치에 사용할 microcontroller는 아래와 같은 조건을 만족해야 한다. 이러한 조건에 맞는 칩으로 TMS370C758bFNT를 선정하였다.

1) Erasable program memory의 내장

한 개의 제어장치를 다양한 식품기계에 적용하기 위해서는 다양한 software를 탑재하여 사용할 수 있어야 한다. 즉 운영프로그램의 교체만으로도 새로운 기능을 발휘할 수 있어야 하기 때문에 프로그램용 기억장치는 소거 가능한 기억장소(erasable memory)를 가지고 있어야 했다. 이러한 기억소자로는 EPROM (Erasable programmable read only memory)이 있어서 microcontroller 외부에 추가로 장착할 수도 있다. 그러나 one-chip microcomputer에서는 외부에 memory를 장착할 수 있는 구조가 아니고 또한 회로도 간단하게 하는 것이 좋기 때문에 내장된 것을 선택하였다. 특히 Texas Instrument 사에서 개발된 TMS370C758b는 기억 용량이 32kbyte의 EPROM을 내장하고 있어 본 연구 목적에 적합하였다.

2) 프로그래밍이 가능한 timer의 내장

식품공정을 제어하기 위해서는 실시간으로 작동하는 시계가 필요하다. 또한 공정이나 설비를 일정한 실제 시간 간격을 갖고 제어하거나 일정한 시간

마다 특별한 일을 처리하기 위해서는 인터럽트를 발생시킬 수 있고, 인터럽트 발생 시간을 프로그램으로 설정할 수 있는 내부 timer가 필요하다. 이런 점에서 TMS370C758b는 2개의 programmable timer를 내장하고 있기 때문에 프로그램 작성에 유리하다.

3) ADC(Analog-to-Digital Converter)의 내장

식품 공정으로부터 analog 신호로 계측 또는 입력되는 data를 받아들이기 위해서는 ADC가 필요할 뿐 아니라 여러 가지 다양한 신호를 처리하기 위해서는 4개 이상의 ADC가 필요하다. 그런데 TMS370C758b는 8 개의 입력 channel을 갖고 있다.

4) 입출력 port 수와 종류의 적합성

식품 가공 기계는 복잡한 계측 및 제어점을 갖고 있음으로 가능한 한 많은 양의 입출력 port를 갖는 chip을 선택하는 것이 유리하며, 최소한 30개 이상의 양방향 port가 필요하다. TMS370C758b는 전용 양방향 I/O port가 32개 있으며, 그 외의 다른 모듈에서 사용되는 port들도 일반 I/O로 사용할 수 있기 때문에, 충분한 I/O를 갖고 있었다.

5) 직렬 통신 기능(serial communication interface)의 내장

식품 가공 기계를 자동화하기 위해서는 host computer와의 쌍방향 통신이 가능하여야 한다. 최소한 on-line monitoring을 수행할 수 있는 통신용 protocol이 필요하다. 특히 공장 내에 산재되어 있는 원거리로의 전송이 용이한 serial 통신용 interface를 가지고 있어야 한다. 선택한 TMS370C758b chip은 비동기식으로 156kbps 속도로 전송 가능한 SCI(Serial Communication Interface)와 동기식으로 2.5Mbps로 전송이 가능한 SPI(Serial Peripheral

Interface)를 갖고 있다. SCI는 일반적인 직렬 통신을 위한 interface이고, SPI는 master/slave 구조에서 두 MCU간의 통신이나, 주변장치와의 직렬 통신을 위한 interface이다.

6) 내환경성의 검토

습도, 온도, 진동, 전파 간섭 등 식품 공장의 환경에서도 작동이 용이하려면 제어장치도 노이즈에 강해야 한다. TMS370C758b는 package방식에 따라 여러 가지가 있는데 특히 온도의 변화 폭이 심한 식품공정의 특징을 감한 할 때 본 연구에서 선택한 TMS370C758bFNT의 경우는 작동 온도 범위가 -40 105℃이다.

7) 농촌형 가공 기계 설계를 위한 기술 선진성

제어분야의 급속한 발전에 적응하기 위해서는 microcontroller분야에서 발전된 기술을 채용하여야 하며, 개발 기술 지원이 용이한 chip을 선정해야 했다. 이런 관점에서 TMS370C758b의 제조사인 Texas instrument 사는 국내에 기술 지원 체계를 갖추고 있을 뿐 아니라 TMS370용으로 개발툴과 기본적인 프로그램 루틴들을 많이 제공하고 있다.

나. 농산물 가공 공정 제어 장치의 설계

1) TMS370C758b의 포트 설계

농산물 가공 공정 제어 장치를 설계하기 위해서는 먼저 필요한 제어량과 성질을 파악하고 MCU로 선택된 TMS370C758b의 포트를 적절히 할당하는 것이 중요하다. 표6-22는 TMS370C758b의 port 및 pin의 할당 내용을 나타내고 있다. 식품 기계의 동작점을 구동하기 위한 출력 신호로는 10개의 포트를 할당하였고, 공정자료 및 상태 표시용 LCD module을 제어하기 위해 11개의 포트를 할당하였다. 이중 data를 출력하는 포트는 key scan을 위한 신호 출력 기능을 공유하게 하였다. 온도 계측회로에서 연결된 각 thermocouple을 multiplexing하기 위해서 4개의 포트를 사용하였다. 3개는 multiplexing data를 위해서 사용하고, 이 data 신호를 latching하기 위해 하나를 할당하였다. Analog 값의 입력을 위해서 ADC에 연결된 4개의 포트를 할당하고, 사용중인 thermocouple의 burn-out을 검사하기 위해 3개의 AD595에서 나오는 신호를 입력할 수 있도록 포트를 할당하였다. RS-232C protocol을 사용한 통신을 위해 SCI의 세 포트와 input 전용인 AN7을 할당하였다. Slave MPU를 사용하거나 직렬 통신을 지원하는 주변장치와의 통신을 위해 SPI 포트를 예비적으로 할당하였다. 그밖에 모터 제어를 위한 모듈을 연결할 수 있도록 T2 포트와 D포트 3개를 할당하였다. 또한 정전 감시, key가 눌려졌는지 확인, buzzer의 출력 신호를 위해서 포트를 하나씩 할당하였다.

Table 6-4. The port assignment for the food machinery controller

Port	I/O Type	Function
		Relay control
A0 A7	O	Relay control
C6 C7	O	LCD data & key scan
B0 B7	I/O	LCD-RS
C0	O	LCD-R/W
C1	O	LCD-E
C2	O	Buzzer output
C3	O	Latching analog switch
C4	O	Multiplexing thermocouples
D0 D2	O	Detection of power failure
D3	I	Key scan signal
D4	I	Analog input from
AN0	I	thermocouples
AN1 AN3	I	Alalog input from external
AN4	I	sources
AN5	I	AD595 alarm_1
AN6	I	AD595 alarm_2
AN7	I	AD595 alarm_3
SCITXD	O	CTS at SCI
SCIRXD	I	TXD at SCI
SCICLK	O	RXD at SCI
T1 timer	×	DTR at SCI
		Real time clock
SPISOMI	O	Interfacing to slave MCU or peripheral devices
SPISIMO	I	
SPICLK	O	
D5 D7	O	Interfacing to the external modules for motor control
T2AIC1/CR	O	
T2AIC2/PWM	O	
T2AEVT	O	

2) 식품 가공 기계의 공정 변수 계측 회로

가) 가공 공정 온도 계측 회로

온도의 계측은 식품 가공 기계 내의 24 지점의 온도를 측정할 수 있도록 설계하였다. 하나의 ADC 채널을 사용해서 24점의 온도를 측정하기 위해서 analog multiplexer와 analog switch를 장착하였다. 즉 24개의 온도 계측 단자에서 발생되는 analog 계측 신호 값을 analog multiplexer를 거쳐 ADC 한 개의 입력 단자에 보내도록 설계하였다. 온도 sensor로 사용한 K type thermocouple의 빙점 보상과 linearization을 위해 AD595C를 사용하였다. 이 칩은 overload 검출 기능도 가지고 있으며, 0 300℃ 범위에서 1℃당 10mV의 전압이 출력되며, ±1℃의 오차로 보상해 준다. Analog multiplexer로는 DG507A을 사용하였는데 8개의 신호를 differential로 multiplexing이 가능하고 switching time은 0.6 ㎲이다. DG507A의 차등 신호 값을 AD595C를 거치게 함으로써 온도값에 대응하는 전압값이 출력되게 하였다. 한 쌍의 DG507A와 AD595C의 조합으로 8개의 thermocouple 신호를 처리할 수 있으므로 3개의 조합을 사용하여 24점에서 온도를 측정할 수 있게 하였다. Fig. 6-3은 DG507A와 AD595C의 1개 조합으로 처리되는 온도 신호 처리 module의 회로이다. Thermocouple의 +/- 신호가 connector CON22 단자의 SA#와 SB#를 통해 각각 DG507A의 동일 이름의 단자에 입력시킨다. 여기서 출력되는 차등 analog 신호는 AD595C의 +IN과 -IN pin으로 입력 시켜 pin 9의 Vo 단자에서 최종 가공된 신호를 출력한다. 한편 기준 신호전압에 미달 또는 초과되었을 경우 +ALM pin을 통해 경고 신호가 출력되므로 thermocouple의 이상 유무를 감지할 수 있다.

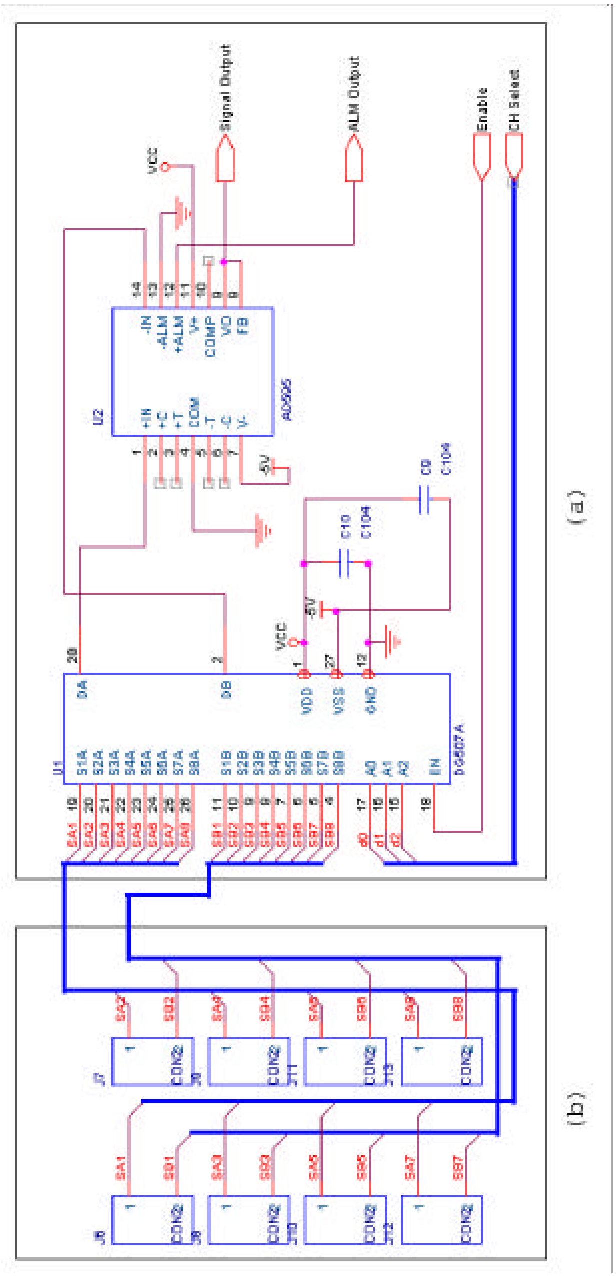


Fig. 6-3 The Circuit of the module for temperature measurement
(a) Multiplexing & signal processing
(b) The connectors for thermocouples

TMS370C758b의 ADC는 8 bit의 해상도를 가지고 있다. Reference voltage를 0V와 5V를 사용할 때 변환된 digital 값 한 단위는 19.61mV에 해당된다. 0 100℃를 측정하고 할 때 위 회로에서 나오는 값은 0 1000mV이다. 0.5℃까지 측정하기 위해서 이 신호를 1.961×2배 증폭해야 했다. 이 증폭을 위해 OP07CP를 사용하여 비반전 증폭 회로를 Fig. 6-4와 같이 구성하였다. 이 회로도에서 gain은 R4에 대한 (R4+R5)의 비로 조정할 수 있는데 R5를 10k의 가변 저항을 사용함으로써 gain 값을 조정할 수 있게 하였다.

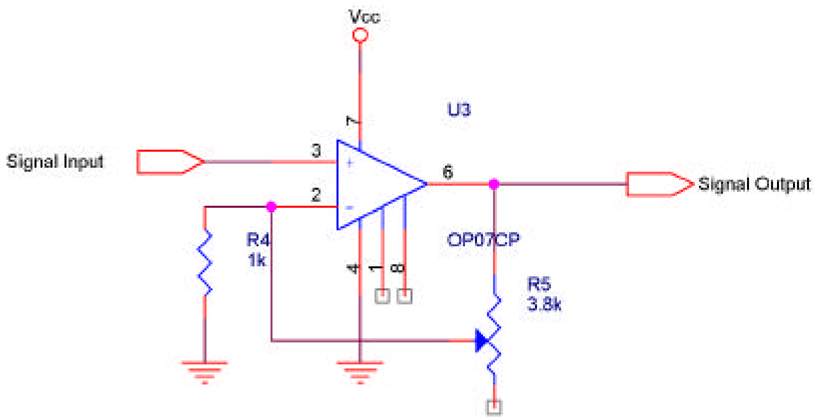


Fig. 6-4 The Circuit of signal processing for the module of temperature measurement

Gain값이 3.92가 되도록 하기 위해 R4와 R5의 값을 각각 1 kΩ, 2.92 kΩ으로 결정하였고, 출력 신호를 osiloscope로 관찰하면서 R5의 값을 조정하였다.

Fig. 6-5는 thermocouple 신호 가공 소자인 AD595의 출력 신호를 각각을 신호증폭회로에 연결하기 위한 analog switching 방법을 보여 주고 있다. 즉 신호의 분배 수단으로 analog switch를 사용하였는데, ADG201A는 전류 손실이 0.5nA로 아주 작아 스위치로 인한 전류 손실을 유효범위 이하로 유지함으

로써 switching**에 따른 신호 강도의 변화를 최소화할 수 있었다**. **이 칩에는 주소를 지정하는** 3**개의 포트가 필요하다**. **이 포트를** multiplexer address**를 선택하는** port**와 공유하기 위해서** latch **기능을 가진** decoder**인** 74ls137**을 사용하였다**. **이 칩의 출력에** ADG201A**에서 인가시키는** AD595**를 선택함과 동시에 해당 칩에 연결된** DG507A**를** invertor**인** 74ls04**를 통해** enable**시키게 설계하였다**

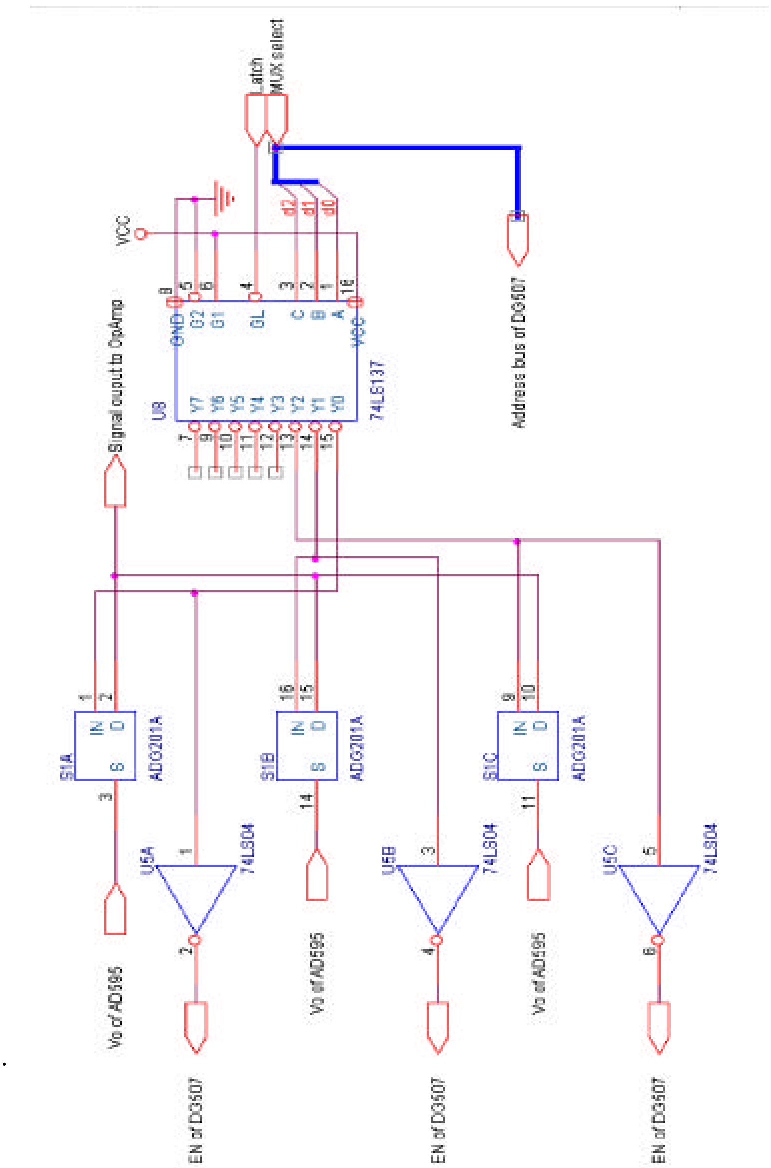


Fig. 6-5 The Circuit for selection of the module of temperature measurement

나) 다양한 센서들을 위한 인터페이스 회로

AN1, AN2, AN3은 별도의 analog 계측 신호의 입력 단자를 마련해 놓았으며 접속을 용이하게 할 수 있도록 connector를 연결하였다. 센서에서 나오는 한 신호선은 AN port에 직접 연결되게 하고 기준선인 GND는 보드의 GND에 연결하게 하였다.

다) 표시부와 입력부의 회로

Fig. 6-6은 제어 장치의 표시부 관련 회로이며 표시창은 20 character × 2 line text mode LCD를 채용하였다. LCD의 밝기를 조절할 수 있도록 Vo를 가변 저항(R3)을 통해서 Vss에 연결하였다. 8bits의 data bus는 제어 장치 입력부의 push-button switch와 공유함으로써 TMS370C758b의 포트 활용성을 높였다. 입력부는 push-button switch로 만들고 chattering 제거를 위한 Schimit trigger 회로는 설치하지 않고 소프트웨어에서 처리하도록 하였다.

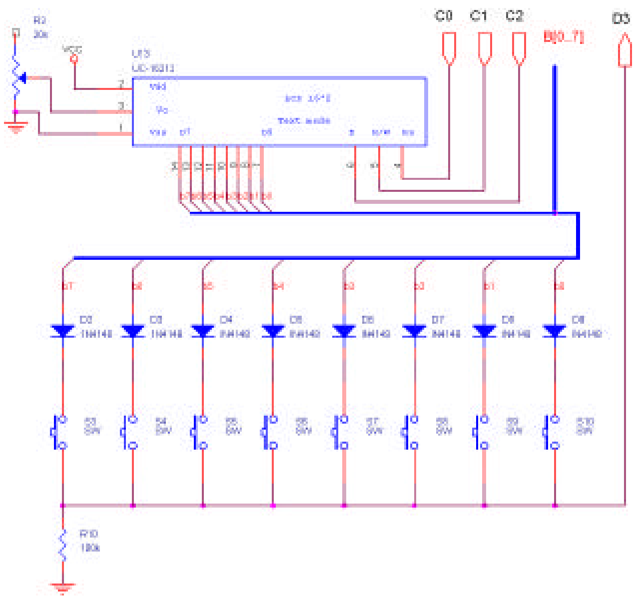


Fig. 6-6 Circuit of the LCD display and key scan for the food machine controller

라) 전원 공급부 회로와 정전 대책 회로

전원 공급부는 권(20)이 설계한 DC 5V, 12V용의 회로에 DC -5V 출력을 추가하여 설계하였으며 -5V의 일정한 전압 출력을 위해 voltage regulator LM7905를 사용하였다. MCU의 전원 공급 중단에 대비하여 battery로 작업을 유지 할 수 있도록 MAX690칩을 추가하였다. 이 칩은 전압 강하를 감지하여 자동으로 전원 공급원을 battery로 전환하고 전원의 전압이 떨어지면 PFO의 신호가 High에서 Low로 떨어지게 설계하였다. MCU의 한 port에 연결함으로써 전압 강하가 생길 때 소프트웨어에서 이를 처리할 수 있도록 하였다.

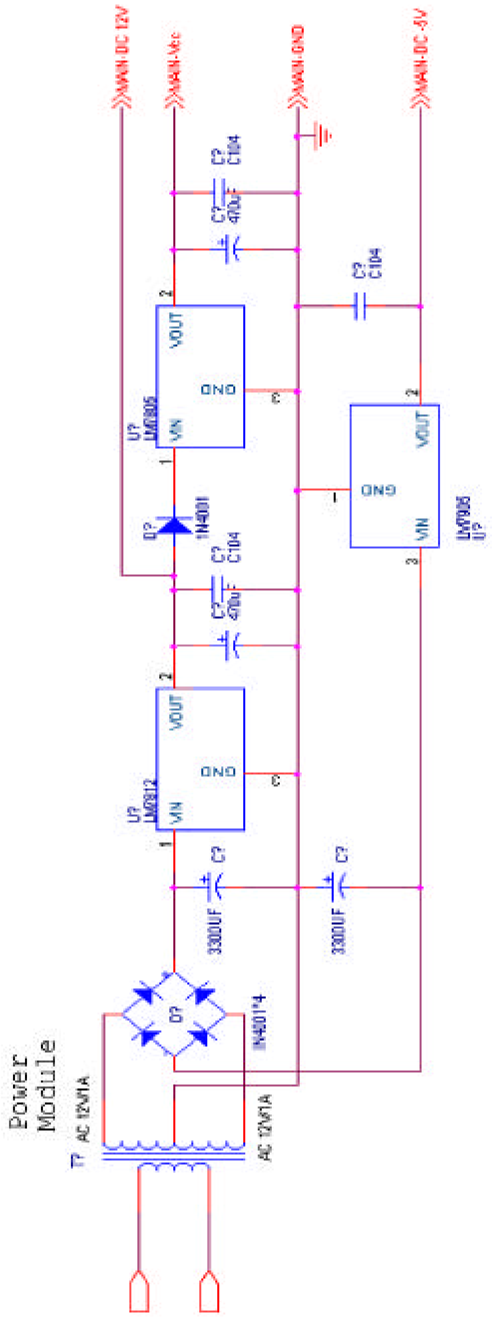


Fig. 6-7 The Circuit of power supply for the food machine controller

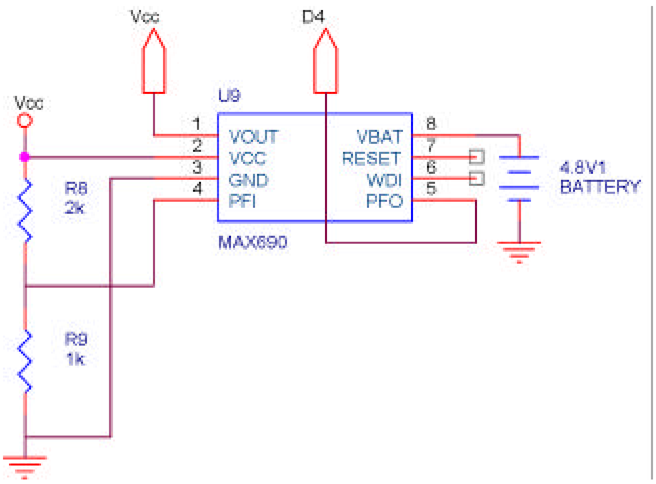


Fig. 6-8 The Circuit for the battery backup for the food machine controller

마) 제어 신호 출력 회로

Relay보드는 권(20)이 설계한 회로와 PCB를 그대로 사용하였다. 이것은 10개의 relay를 가지고 있어 충분하고 spack killer를 내장하고 있어 안정성에서도 뛰어나기 때문이다. 이 보드와의 interfacing을 위해서 다음 그림과 같이 회로를 구성하였다. 각각의 relay의 작동 상태를 LED를 통해 확인 할 수 있게 하였다. 이 LED의 전원을 volatge source driver칩인 UDN2981을 거침으로써 LED의 밝기를 향상 시켰다. Fig. 6-9는 회로 제어 신호 출력 회로를 보여 준다. CON10은 relay보드와 연결되는 connector이고 D10 D19가 relay 작동 상황을 표시하는 pilot lamp이다.

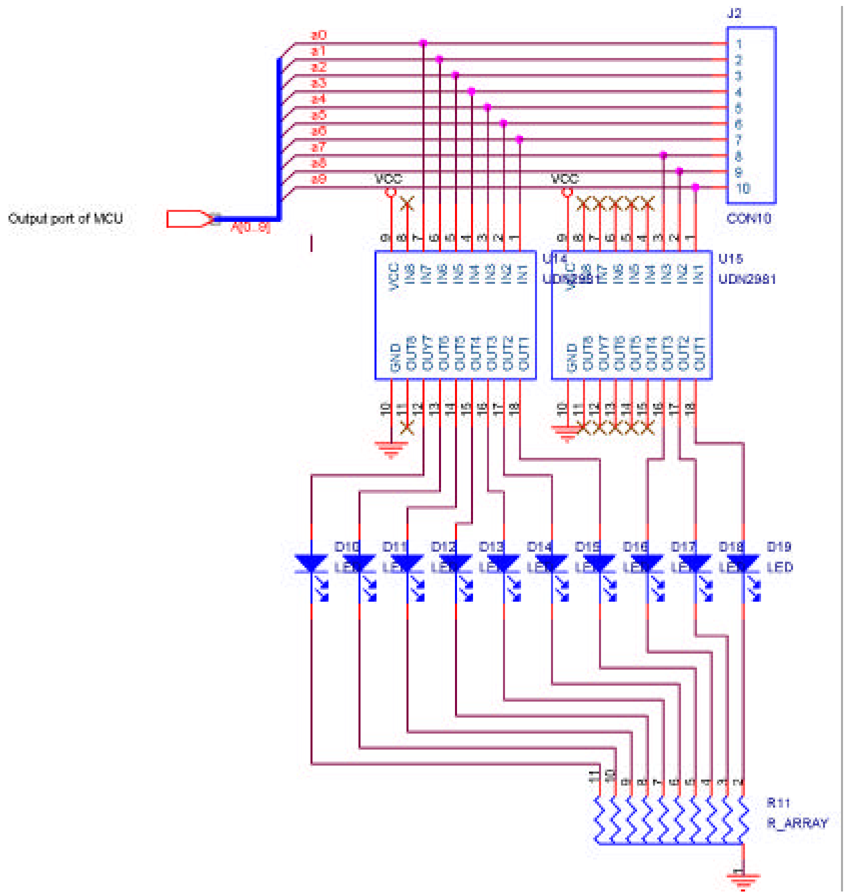


Fig. 6-9 The circuit of control signal output for relay board of the food machine controller

바) On-line monitoring**을 위한 통신 회로**

Fig. 6-10**은** TMS370C758b**의** SCI module**에서 나오는** serial data**를** MAX232**를 사용하여** RS-232C **프로토콜의 규격에 맞추고** PC**와 연결할 수 있도록** interface**를 설치한 것을 보여준다.** RS-232C**의 모드는 비동기식으로 설정하였고, 통신 속도는** 9600bps**로 설정하였다.**

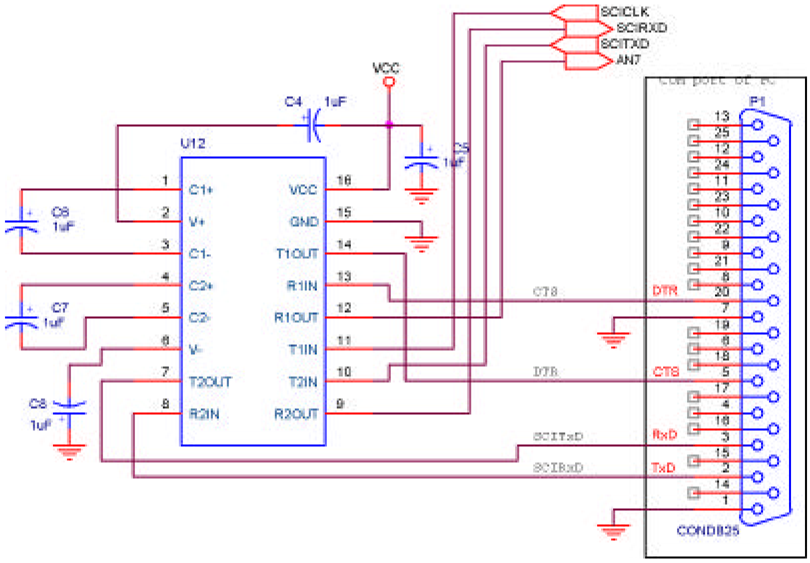


Fig. 6-10 The circuit of communication module with the connector for a monitoring computer

사) 외부 제어 모듈을 연결할 수 있는 interfacing **회로**

외부 모듈을 연결할 수 있도록 두 개의 interface**를 만들었다. 하나는** D5 D7**와** T2 timer**에 연결된** port**들인** T2AIC1, T2AIC2, T2AEVT**이다. 이것은 각종 모터 제어 모듈을 연결시킬 수 있다. 특히** T2 timer**에서는** PWM**제어를 위해서** PWM**신호를 만들 수 있다. 다른 하나는** SCI**에 연결된** port**들인** SCISIMO, SCISOMI, SCICLK**이다. 이것은 본 연구에서 개발 한 제어 장치를 다른** MCU**에 연결할 필요가 있을 때 연결할 수 있는** interface**이다. 또한 직렬 통신을 지원하는 다른 주변 장치들과의 통신에도 사용할 수 있다. 이것은 동기식으로** 2.5Mbps**이하의 속도로 양방향 통신이 가능하다.**

다. PCB**의 설계**

가격 대 성능비가 우수한 양면 기판으로 설계하였으며, 설계 규격은 표 6-5와 같다. 표준 DIP IC의 pin에 사용되는 pad는 62mil이고, 드릴 구경은 38mil이다. 배선 grid와 via grid는 50mil이고 배치 grid는 100mil이고 배선 간격은 12 mil이다.

Table 6-5. The specification of the PCB for the food machine controller

Items	Value(mil)
Pad diameter in DIP IC pin	62
Diameter of drill hole	38
Routing grid	50
Via grid	50
Batch grid	100
Wire interval	12

PCB의 부품 배치는 Fig. 6-11과 같이 하였다. LCD를 확인하면서 오른손으로 입력작업을 할 수 있도록 LCD 우측에 key를 배치하였다. Thermocouple connector는 probe의 연결 작업이 용이하도록 1 열에 8개씩 3 열로 배치하였다. 계측 신호는 noise에 민감하므로 외부 noise신호를 잡을 수 있게 부록B처럼 copper pour를 깔고 GND에 연결하였다. 또한 계측 신호는 가능한 다른 신호선과 겹치지 않게 하기 위해서 Fig. 6-9에서 보는 것처럼 오른쪽에서 왼쪽으로 차례대로 이동하여 MCU에 입력 되게 하였다. MCU와 주변 회로간의 거리를 최대한 짧게 하기 위해서 MCU를 왼쪽 중앙에 위치시키고 위로는 표시부와 key scan부를, 아래로는 전원, 외부와의 interface등을 배치하고 오른쪽은 계측회로를 위치시켰다. 전체적으로 배선이 겹치지는 부분

을 최대한 줄이는 방향으로 부품들을 배치하였다.

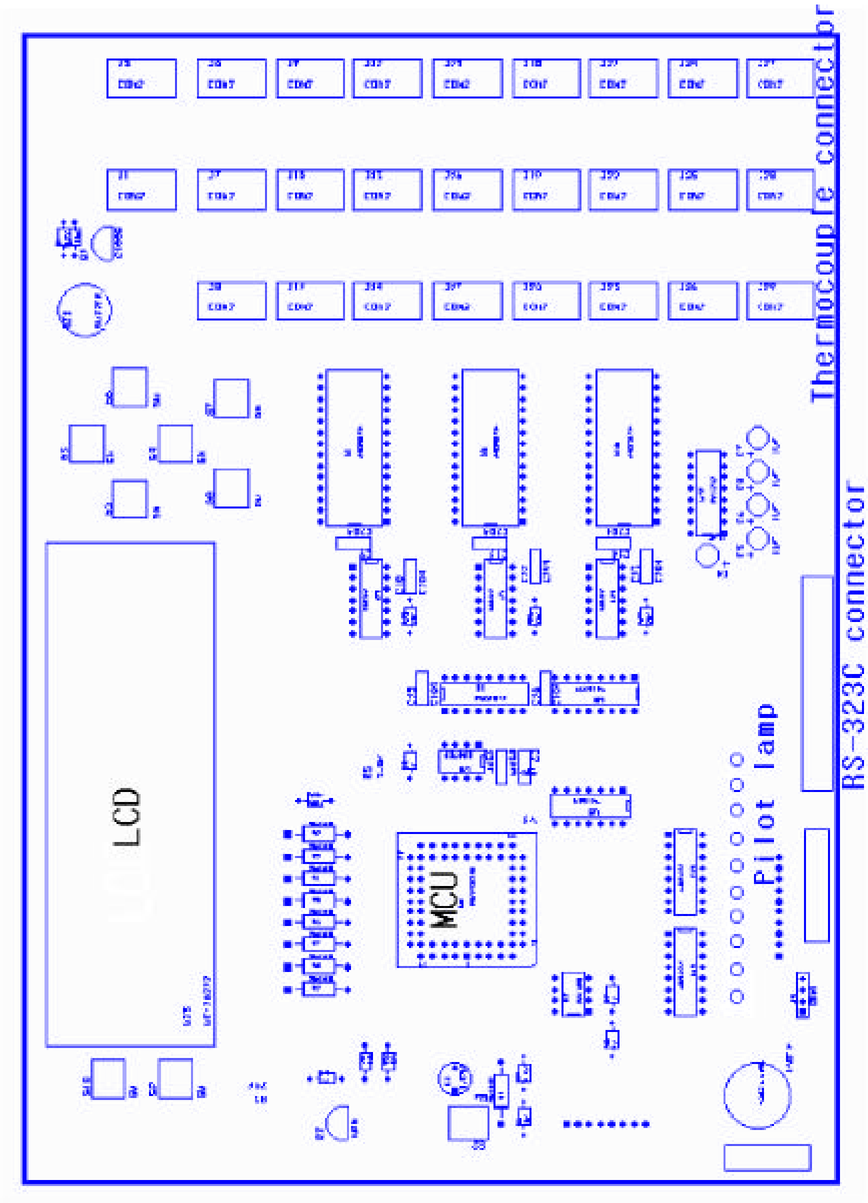


Fig. 6-11 Assembly layout of the components for the PCB of food machine controller

PCB는 양면 through board로 설계하였다. 설계한 PCB의 윗면과 아랫면은 부록A, 부록B와 같다.

라. 농산물 가공 공정을 위한 운영 프로그램의 개발

1) 농산물 가공 공정을 위한 제어 장치 운영프로그램의 개발 기준

식품 가공 기계용 제어 장치의 운영 프로그램은 조작자가 전자 및 전산 분야의 비전문인이라는 전제하에 간단한 조작으로 전 기능을 발휘하도록 하였다. 또한 현재 제어 상태를 잘 나타내도록 하고 필요에 따라 제어 목표 값을 쉽게 변경할 수 있도록 하였다. 또한 이 제어 장치를 다양한 가공 기계에 장착할 때 프로그램을 변경할 필요가 생기는 것을 감안해서 프로그램을 모듈화하였다. 그리고 복잡한 routine들은 subroutine으로 작성함으로써 프로그램 작성자의 편의를 최대한 제공할 수 있게 하였다. 특히 프로그래밍이 힘든 LCD 제어 부분은 subroutine을 미리 개발함으로써 해당 subroutine을 수행시킴으로써 기능을 수행할 수 있도록 하였다. Table 6-6은 운영 프로그램 subroutine들과 그것의 기능을 보여 준다. 이 프로그램은 환경 변수의 계측, 제어 목표 값 설정, 환경 및 actuator의 제어, 정전 대책과 통신 기능을 수행하도록 하였다. 프로그램은 초기화 프로그램과 주 프로그램 루프, 인터럽트 서비스 루틴, subroutine들로 구성되어있다. 제어 장치의 전체 프로그램은 부록A와 같다.

Table 6-6. Description of subroutines
((A) = the content of register A of the MCU)

Subroutines	Description
Initialize:	Initialize the LCD
FunctionSet:	Set the function of the LCD
DisplayOn:	Turn the LCD on
DisplayClear:	Clear the LCD
EntryMode:	Set the entry mode of the LCD
InstructionSet:	Send (A) as an instruction data
H15miliDelay:	Delay time for 15 ms
H4_1miliDelay:	Delay time for 4.1 ms
H100microDelay:	Delay time for 100 μs
H40microDelay	Delay time for 40 μs
CheckBF:	Check the busy flag of the LCD
DataSend:	Send (A) to DD RAM of the LCD
StringDisplay:	Send a string to DD RAM of the LCD
DisplayData:	Display data to the LCD
DspTime:	Display time-of-day to the LCD
KeyScan:	Key scan

2) **농산물 가공 공정을 위한 초기화 프로그램과 주 프로그램**

농산물 가공 기계용 제어 장치의 운영 프로그램은 구성은 Fig. 6-13과 같이 설계하였다. 초기화 루틴에서 먼저 MCU의 system 설정을 하고, 각 모듈을 초기화 및 설정하고, LCD를 초기화하였다. 마지막으로 주 프로그램을 수행하기 전에 interrupt를 가능하게 하였다.

주 프로그램은 무한 루프 형식을 취하였는데 프로그램은 다음과 같은 과정을 밟도록 하였다. 즉 전원이 공급되면 system configuration register를 확인하고, on-line monitoring을 위해서 계측값을 RS-232C protocol로 transmit하고, 정전 여부를 확인하고, EEPROM에 기록하는 일을 반복한다. 이런 작업을 하는 도중 인터럽트가 걸리면 interrupt service routine을 수행하고 주 프로그

램으로 되돌아 오게 설계하였다. 상세한 프로그램의 순서도는 Fig. 6-12 와 같다.

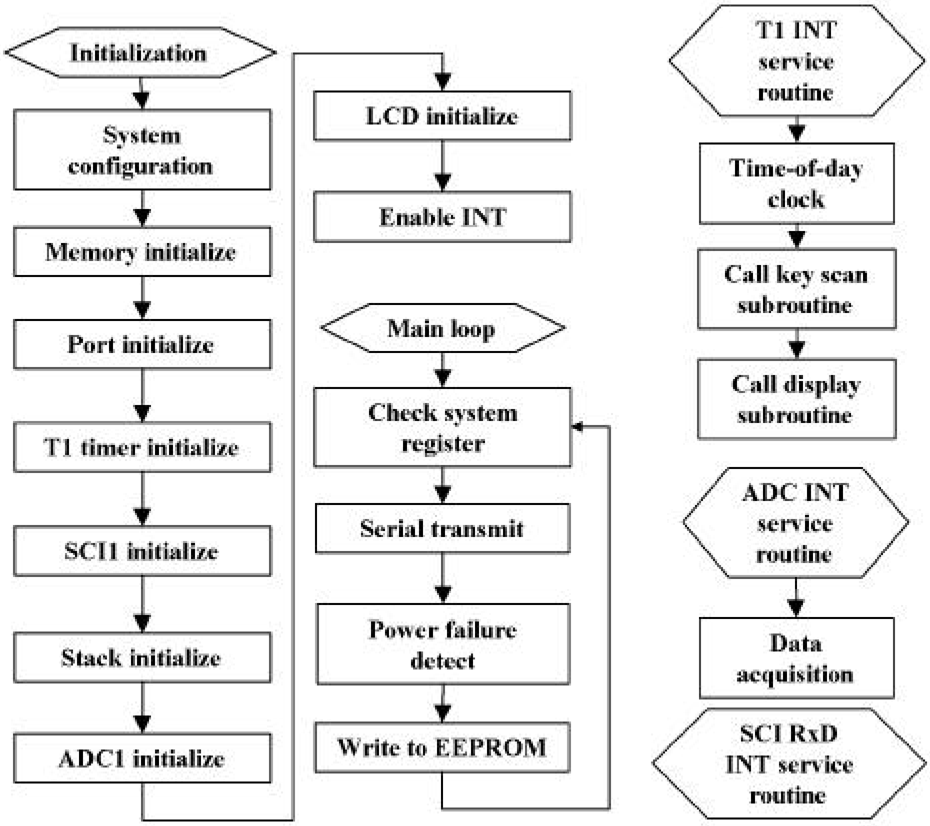


Fig. 6-12 Flowchart of the operating program for food machine controller

3) 농산물 가공 공정을 위한 제어 장치의 식품 가공 공정 변수 계측 부프로그램

환경 변수 계측을 위해 4개의 ADC 채널을 할당하였다. AN0은 온도 계측 회로에, AN1은 습도 센서를 연결하고, 나머지 두 개는 다른 외부 센서에서의 신호를 받을 수 있게 하였다. 먼저 초기화 루틴에서 Fig. 6-13과 같이 초기화하고 Fig. 6-14, Fig. 6-15와 같이 프로그램을 설계하였다. 먼저는 AN0에 연

결되어 있는 온도 계측 회로에서 한 thermocouple로부터 8회 측정 평균값을 저장하는 방법으로 24지점의 온도를 순차적으로 측정하고, 다음에는 AN1, AN2, AN3을 차례대로 각각 8번씩 읽어들여 평균값을 저장하도록 하였다.

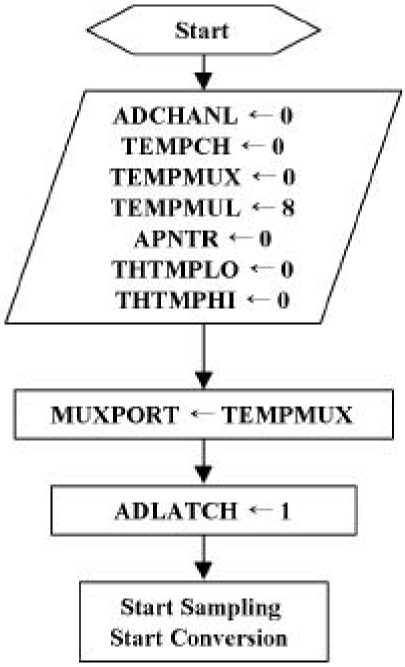


Fig. 6-13 Flowchart of the initialization procedure for analog-to-digital conversion

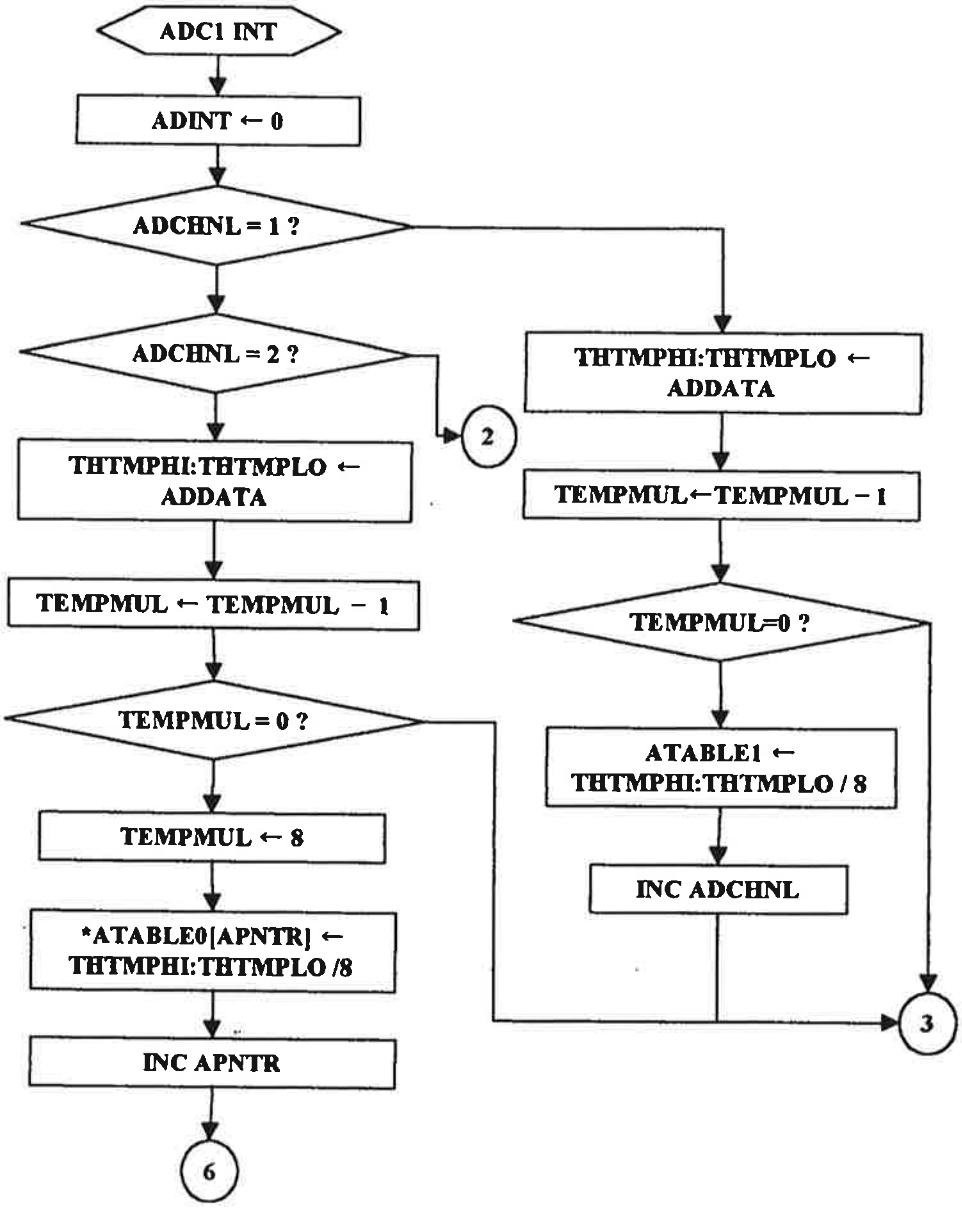


Fig. 6-14 Flowchart of the data aquisition program using on-chip ADC (continued)

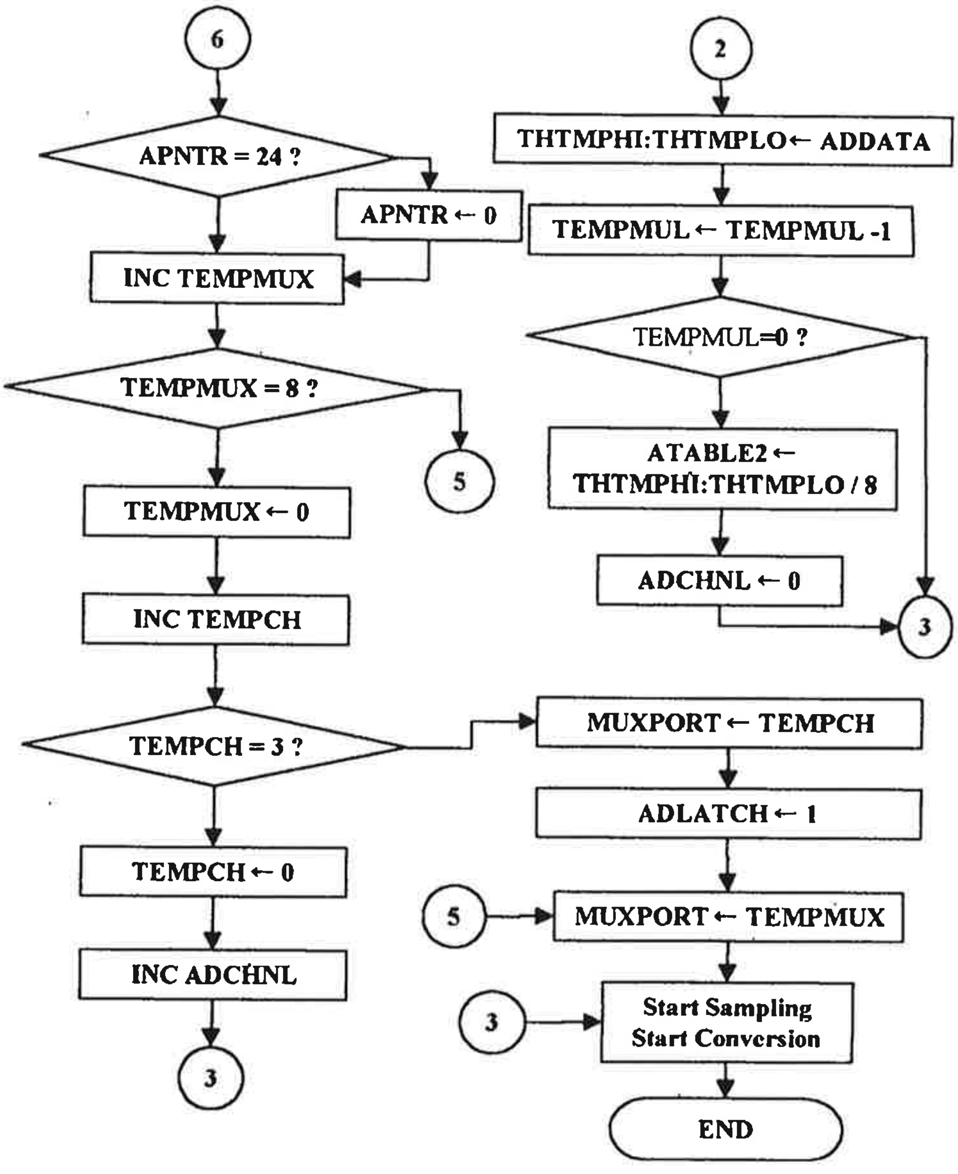


Fig. 6-15 Flowchart of the data aquisition program using on-chip ADC

4) 농산물 가공 공정을 위한 실시간 처리 부프로그램

ADC1을 사용해서 real time control이 가능하게 설계하고, 실제 작동 시간도 실시간으로 표시 할 수 있게 하였다. ADC1은 초기화 루틴에서 0.1초마다 interrupt 신호를 발생하게 설정하였다. ADC1에서 interrupt가 발생하면 그림 16과 같이 ISR(interrupt service routine)이 실행되게 하였다. 먼저는 0.1초 마다 key가 눌러 졌는지 scan하는 subroutine을 호출하고, 일초가 지나면 초값을 1증가 시키고 LCD로 출력하는 subroutine을 호출한다. 그리고 60초, 60분이 될 때마다 해당 값을 증가 시키도록 프로그래밍하였다.

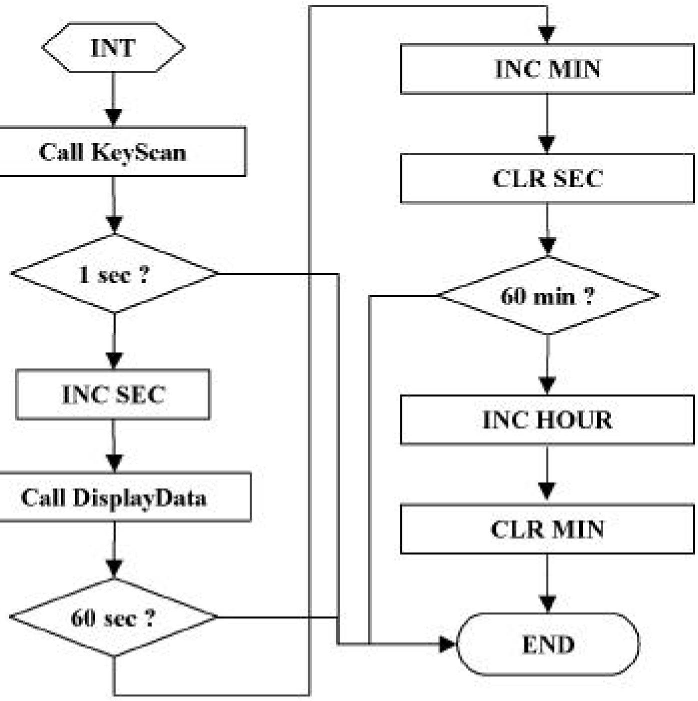


Fig. 6-16 Flowchart of interrupt service routine for the real time clock

5) 제어 장치 LCD 표시 부프로그램

Display routine은 문자, 숫자, 및 기호등을 표시하여야 함으로 각각의 기능을 subroutine으로 미리 작성하고 그것들의 조합으로 프로그램이 실행되도록 설

계하였다. Fig. 17의 순서도에서는 이런 subroutine을 호출하는 것을 볼 수 있다. Initialize는 LCD를 초기화하는 routine이고, FunctionSet은 LCD의 기능을 설정하는 routine, DisplayOn은 LCD diplay 시동 routine, DisplayClear는 LCD를 화면은 지우는 routine, EntryMode는 LCD의 모드를 설정하는 routine이다. 초기화 루틴에서 이 subroutine들을 다 실행해야 한다. 그 다음은 제어 장치가 시동되면서 제어 장치에 대한 로고가 나오도록 설계하였다. 이 subroutine이 DisplayLogo이다. 이 routine은 logo1이라고 이름이 붙은 문자열을 출력하게 하였다. Display 본 프로그램에서는 display 상태 register를 확인하고, 해당 data를 LCD로 출력하게 하였다.

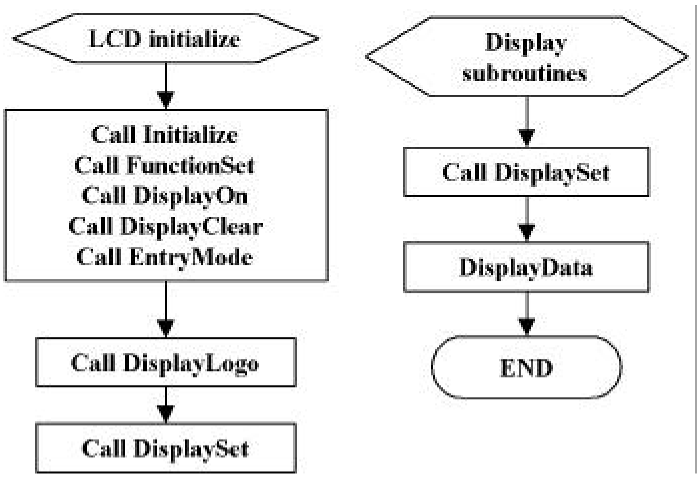


Fig. 6-17 Flowchart of the display routine

6) 농산물 가공 공정을 위한 제어장치 조작키 동작 부프로그램

각 key 가 눌러 졌는지 확인하기 위해서 먼저는 key scan data port 8개에 하나씩 순서대로 H 신호를 내보고 key scan port에 들어오는 신호를 하게 하였다. 그리고 push-button을 누를 때 생기는 triggering신호를 제거하는

routine을 실행하고 valid한 신호이면 해당 register를 세팅하게 하였다.

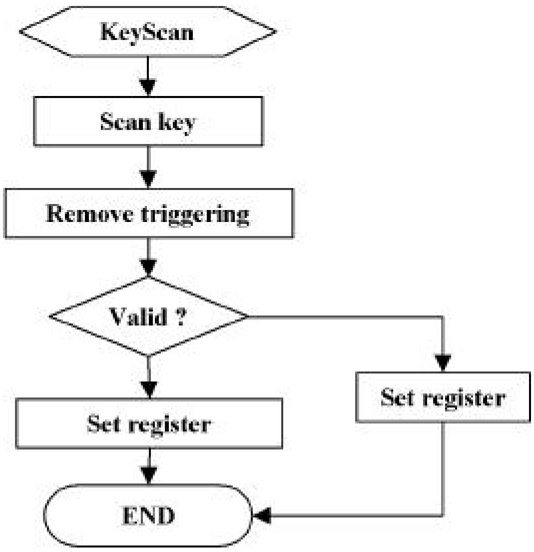


Fig. 6-18 Flowchart of key scan routine

7) 농산물 가공 공정을 위한 통신 부프로그램

통신 routine은 두 가지가 있다. 하나는 on-line monitoring을 위해 측정한 공정 변수값을 PC로 보내는 것이고, 다른 하나는 PC에서 remote control을 할 수 있게 data를 받는 것이다. 측정한 공정변수를 PC로 보내는 것은 앞에서 설명한 것처럼 주 프로그램 루프 내에서 실행되게 하였다. Remote control을 위한 routine은 SCI1의 RxD interrupt에 대한 service routine으로 처리하였다. PC에서 data를 보내면 interrupt가 발생하고, ISR에서 data를 받아서 처리하게 하였다.

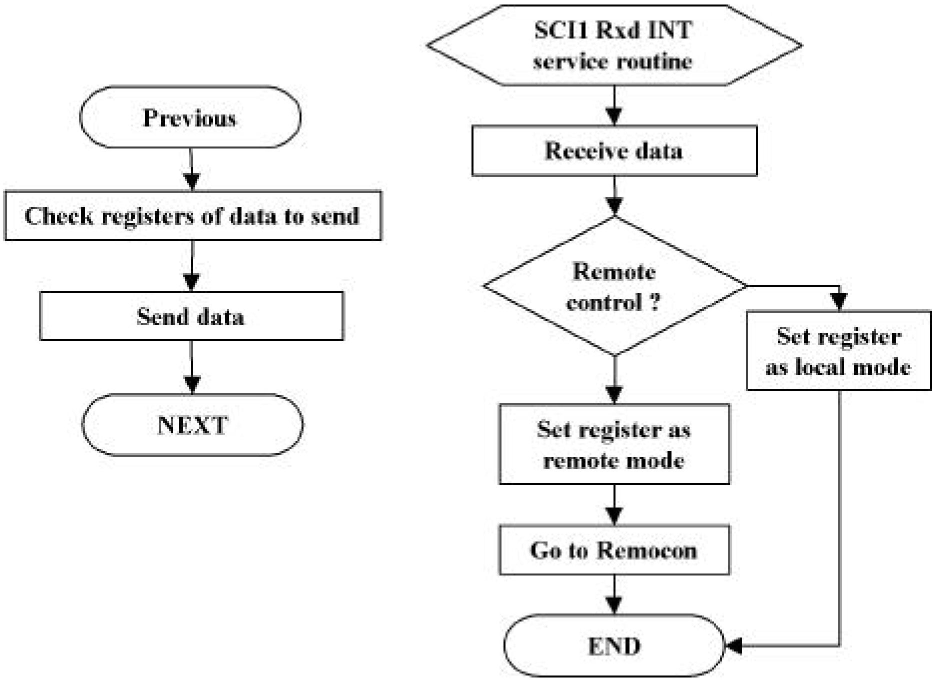


Fig. 6-19 Flowchart of the communication routine

8) 정전 감지와 Battery backup routine

작업중 짧은 시간 동안 전기가 나가는 경우 제어기가 리셋되는 것을 방지하기 위해서 battery(NiCd 4.8V)를 사용하여 정전 발생시 현재 작업 내용을 유지하도록 프로그래밍하였다. Battery로 제어장치를 온전히 작동시키기엔 전류가 부족하기 때문에 MCU를 idle상태로 전환하고 모든 작업을 중지한 상태에서 현재의 메모리 상태를 유지할 수 있게 하였다. Main routine에서 power failure를 감시하다가 power failure를 인지하면 즉시 IDLE상태로 전환하여 전류의 사용을 줄였다. 시계만 계속 동작하도록 T1 timer의 인터럽트는 작동하게 했다.

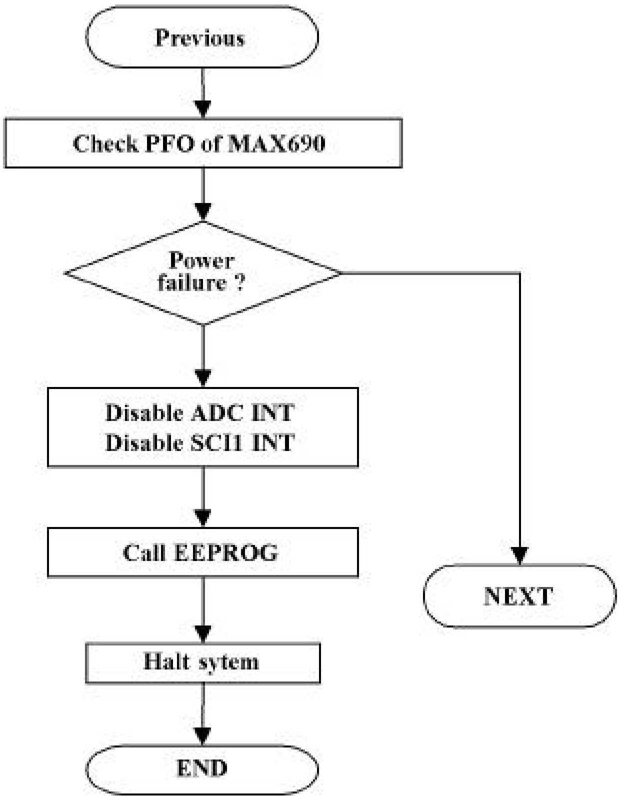


Fig. 6-20 Flowchart for the countermeasure program of power failure

2. 장류용 종국 제조 공정의 자동화분석

가. 장류용 종국 제조 공정의 분석

1) 곡자실의 규모와 설비

장류용 종국의 제조 공정을 자동화하기 위해서는 종국 제조 공정의 성격을 분석할 필요가 있었다. 종국은 생산 규모에 따라 공정의 구성이 다르므로 본 연구는 중•소규모 생산 공장에서 시행하고 있는 곡자실을 적용 대상으로 하였다. 물론 곡자 제조 공정은 곡자 배양 공정 이외에도 수세, 수침, 증자, 건조 공정들이 필수적이나 가장 핵심적인 공정인 종국 배양 공정을 다루게 되었다. 곡자실은 바닥을 제외한 모든 벽면이 단열 되었으며 천장에 환기 공

이 있다. 곡자실의 문도 단열재로 되어 있으며 건물 내(20℃)에 설치되어 있으므로 벽을 통한 열 손실은 무시할 정도이다.

곡자실은 장류용 곡자를 10여 년 간 상자 법에 의하여 생산해 온 시설로 출입구를 제외하고 나무 선반으로 둘러져 있으며 곡자 상자를 쌓아 둘 수 있는 내부 구조를 가지고 있으며 최대 생산량은 1회에 원료 기준으로 500kg이다.

2) 기존 종국 배양 환경 및 제어 방식

생육에 적당한 조건인 27℃ 내외의 온도 및 90% 정도의 상대 습도로 유지하고 종국의 온도가 너무 올라가지 않게 종국의 품온을 35℃ 이하로 유지하였다.

곡자실내 온도는 전열기(1,500 W)를 히터로 가동되는 radiator 2대(발열량 3000W)에 thermostat relay를 부착하여 제어되었다. 습도는 가습기(42 W, 금성사 GH-600U)를 사용하여 작업자에 의하여 경험적으로 관리되고 있었다.

곡자실의 운전은 10여 년 간 동일한 일에 종사하고 있는 숙련된 기술자가 하였다.

3) 종국 배양 공정의 자동화 분석

종국의 제조 공정은 다음 Fig. 6-21과 같다. 보리쌀을 수세하여 20℃의 물에서 2 3시간 침지 후 증자 공정을 거쳐 종국을 혼합한 뒤 배양 공정 후에 종국을 출국하게 된다.

barley

↓

washing

↓

soaking

↓

steaming

↓

inoculation

↓

culturing

↓

Koji

Fig. 6-21 Koji making procedure

이중 종국의 품질에 결정적 영향을 미치는 공정은 배양 공정으로 여기에는 입곡•환적•출곡 작업이 필요하며 작업자는 주로 곡자실의 온•습도 관리, 품온 관리에 많은 시간과 노력을 소요하고 있었다. 시간당 2 3회의 품온 확인을 위한 출입문의 개폐로 인하여 노동력의 증가와 보온 효과 감소 그리고 잡균의 침입 가능성이 굉장히 높은 편이다. 더욱이 품온 관리가 실패할 경우 잡균의 번식으로 불량 종국을 생산하는 결과를 빗고 있었다.

따라서 자동화의 일차적 목표는 작업자가 관리하는 변수를 자동 계측, 제어, 감시하는데 있었다.

나. 종국 배양 환경 제어 system

곡자실의 배양 공정과 관련된 입곡, 환적, 출국 작업을 자동 관리하는데는 환경의 계측과 온•습도 조절용 기구의 구동, 곡자실내 환경 변화의 감시 기능을 갖게 할 필요가 있었다. 따라서 종국 배양 제어 장치를 권(1)의 PCB를 이용하여 개량한 제어장치를 사용하여 보조 relay와 전원 차단기를 함께 사용하여 Fig. 6-22와 같은 제어 시스템을 구축하였다.

제어기와 monitoring computer간에는 통신으로 연결되어 있고 제어기의 1차 relay와 배전설비의 2차 구동 relay를 통해서 종국실의 전열기와 가습기 그리고 환기팬을 구동하게 하였다.

One chip microcomputer로 제작된 controller가 배양 공정의 계측 및 제어 목적을 충분히 수행할 수 있는가를 확인하기 위하여 PCB board와 relay board를 접속하고 relay board는 heater, 가습기, fan에 공급되는 전원 공급용 magnetic contact를 구동시키는 실험을 수행하였으며 이를 운영할 프로그램 개발을 시도하였다. 그 결과 5회의 배양 공정에 적용시 훌륭히 작동되었다.

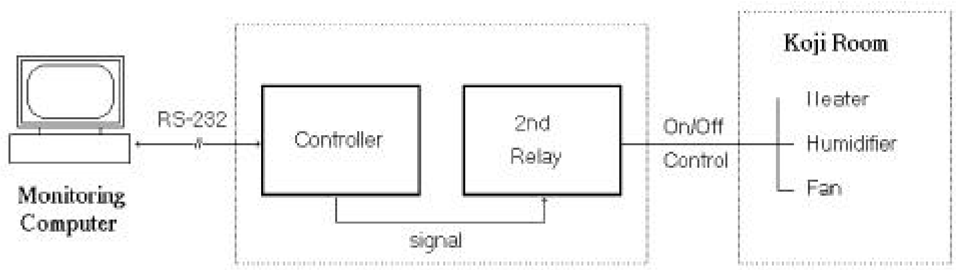


Fig. 6-22 The structure of overall Koji making system

다. 종국 배양 환경 제어장치의 운영 프로그램 설계

1) 제어기 프로그램의 구조

종국 배양 시설 제어기는 독립적으로 동작하며 필요에 따라 monitoring computer와 통신할 수 있는 hardware적 구조를 갖도록 제작하였다. 따라서 제어기의 운영 프로그램은 전원 공급과 동시에 one chip micom의 CPU가 모든 초기화 과정을 수행할 수 있도록 하고 각종 port register의 기능을 정의하도록 하였다. 그 외에도 제어장치의 기본적인 기능인 초기화 routine과 A/D conversion routine 그리고 control routine은 main routine에 포함시키고 display, key response, communication routine 들은 subroutine으로 구성하였다.

이 프로그램은 장류용 종국 제조용 이외에도 시설 원예용 비닐하우스의 환경 제어 및 범용 timer switch 방식의 제어 장치 등의 여러 기능을 수행 할 수 있도록 하였다. 본 제어장치의 운영 프로그램은 위의 세 가지 프로그램 중 하나를 선택할 수 있도록 하였다. 일단 필요한 프로그램을 선택하고 나면 상황에 맞게 온도•습도•조도의 계측과 제어 목표값 설정, 설정값에 따른 actuator의 제어, 정전 대책, 무선리모콘 기능, 통신 기능을 모두 수행하도록 하였다. 특히 통신 프로그램의 경우 monitoring computer에서 제어 목표의 현재 상태를 감시만 하는 것뿐만 아니라 직접 설정값 변경, relay on/off, 그리고 시간별로 기억된 설정값에 따라서 동작하도록 만들어진 timer switch의 scheduler를 통해 제어가 가능하도록 하였다.

제어장치의 운영 프로그램은 크게 세 가지 부분으로 구분할 수 있다. 첫번째 부분은 제어기와 사용자의 인터페이스를 담당하고 있는 display기능과 key입력부이다. 이 제어기는 7-segment LED 7개를 사용하여 현재 시간과 온도, 습도, 조도, 설정값, 그리고 relay on/off를 보여주도록 하였다. 이렇게 많은 정보량을 나타내기 위해 많은 수의 7-segment LED를 사용해야 하므로

이에 따른 TMS73C161의 사용 port수 증가를 줄이기 위해 dynamic display 방법을 사용하였다. 그리고 이 dynamic display와 연계하여 key입력을 받도록 하였다. 또 여러 다른 프로그램에 따라 상황에 맞는 다른 routine들로 구성되어 있다. 종국 제조 시의 경우 온도가 너무 높을 경우 'Hi'를 표시하고 너무 낮을 경우 'Lo'를 표시하는 기능을 첨가한 display routine을 실행하도록 하였다.

운영 프로그램의 두 번째 부분은 제어 부분으로써 다양한 목적으로 사용할 수 있도록 각 프로그램의 목적에 적합한 제어 기능을 수행하기 위해서 사용자가 선택한 프로그램 종류에 따라 서로 다른 제어 routine 중의 한 개가 선택되도록 하였다. 또 통신 기능과 관련하여 RAM값 중 2byte를 사용하여 'RELAY1', 'RELAY2'로 명명하여 총 16bit 중 10개를 relay의 상태 표시를 위해 할당하였다. monitoring computer에서 통신을 통해서 제어장치의 relay를 제어할 수 있도록 하기 위해서 제어 시는 직접 relay port를 제어하지 않고 이 'RELAY1' 과 'RELAY2'를 참고하여 relay를 on/off하도록 하였다.

세 번째로 통신 기능 부분으로써 monitoring computer와의 통신을 통해서도 모든 제어 변수들의 감시와 relay의 제어와 설정값의 변경, 그리고 monitoring computer에서 15분 간격으로 설정한 timer switch scheduler에 따라서 제어할 수 있도록 하였다. 그리고 이 scheduler에 의한 작업은 monitoring computer에서 저장이 가능하여 전날의 작업과 비교하여 별로 차이가 나지 않는 작업이 연속될 경우 전날의 시간표를 불러서 수정하여 사용할 수 있도록 하였다. 제어장치의 이러한 통신 기능으로 인하여 실제 제어 대상에의 접근•관찰 후 운영자의 판단이 필요하지 않는 작업일 경우 원격 지에서도 운영자가 제어 목표를 변경•설정할 수 있도록 하였다.

이 프로그램은 여러 가지 기능을 구현하기 위하여 3개의 interrupt routine과 여러 개의 subprogram routine들을 공통으로 포함하고 있으며 제어기 시

동시 사용자가 dip-switch를 통하여 선택한 프로그램 번호에 따라 프로그램 수행 도중 각각의 고유한 routine을 수행하도록 하였다.

2) 종국 배양 제어장치 부프로그램

가) 종국 배양 제어장치 운영 프로그램의 초기화 routine

제어기가 시동될 때 또는 'RESET' 되었을 때 제어기가 미리 짜여진 프로그램대로 작동을 시작하기 위한 준비 단계로써 TMS73C161의 기억 장소에 들어 있을 수 있는 전의 내용을 모두 지우고 stack pointer의 위치를 지정한다.

또한 사용할 입•출력 port의 값을 모두 0으로 만든 뒤 입력과 출력 중 한가지로 지정하고 interrupt의 사용 유무를 결정한 뒤 real time을 위한 prescaler value를 지정한다. 마지막으로 여러 개의 제어기가 한 대의 monitoring computer와 접속하여 작동되는 경우를 위하여 현재 제어기의 확인 번호를 송신하고 선택된 program의 종류를 monitoring computer쪽에 알려주도록 하였다.

나) 종국 배양 시의 공정 자료 송신 routine

Monitoring computer와 제어기간에 서로 주고받는 자료는 안정성과 정확한 식별을 위해서 자료를 크게 세 부분으로 구분되어 송신된다. 첫 번째 부분은 자료의 종류 식별을 위해서 1 byte짜리 header를 두 번째 부분은 온도값과 습도값들, 그리고 마지막으로 자료의 소실 방지와 확인을 위한 tag를 두었다. 제어기에서 보내는 자료의 종류는 시간값과 센서값(온도, 조도, 습도)을 송신하는 것이 있고 다른 하나는 센서의 설정값과 relay 상태를 송신하는 경우의 두 가지가 있다. 두 가지 송신 Data를 구분하기 위해 첫 번째는 Data값 앞에 %>FF를, 두 번째는 %>FE를 먼저 보내도록 하였다. 첫 번째는 10초마

다 일정하게 시, 분, 초, 온도1, 온도2, 온도3, 온도4, 조도, 습도 순으로 전송하고 두 번째는 설정값 또는 relay 상태가 바뀔 때마다 선택 프로그램, 온도 설정값, 조도 설정값, 습도 설정값, 'RELAY1', 'RELAY2' 순으로 전송하게 하여 현재의 제어기 상태를 즉시 on-line monitoring하도록 만들었다. Fig 6-23에서 송신 자료의 구조는 직사각형 하나가 1 byte를 나타내고 있는 그림이고 Fig. 6-24는 송신 routine의 flow chart며 송신 routine의 리스트는 부록 A에 있다.

Header　　　Data　　　　　　　　　　　　Tag

FF	hour	min	sec	tmp1	tmp2	tmp3	tmp4	tmp5	photo	humd	80

(1) normally every 10 second

Header　　　Data　　　　　　　　　　　　Tag

FE	multi-selective	temp. setting	photo setting	humidity setting	RELAY1	RELAY2	80

(2) after setting value or relay changing

Fig. 6-23 The structure of communication data from controller to monitoring computer (□ : denotes 1 byte allocation)

Header	Data	Tag
FC	'0'	80

(가) fog start signal

Header	Data		Tag
FD	relay #1	relay #2	80

(나) after relay changing

Header	Data			Tag
FE	temp. setting	humidity setting	photo setting	80

(다) after sensor setting value changing

Fig. 6-24 The structure of communication data from monitoring computer to controller (☐ : denotes 1 byte allocation)

다) 종국 배양 공정 자료 수신 Routine

Data 수신 routine은 먼저 monitoring computer측에서 전송된 data의 header가 센서 설정값•relay값 또는 시동 신호 중 어떤 것인지를 식별한다. 시동 신호는 monitoring computer의 제어 프로그램이 시동될 때 제어기의 현재 설정값들을 보내라고 송신하는 data이다. header가 %>FE면 다음에 들어오는 자료가 sensor 설정값이므로 온도설정값인 'STEMP', 습도설정값인 'SHU', 그리고 조도 설정값인 'SPH'를 차례대로 기록하고, %>FD면 relay값이므로 'RELAY1' 과 'RELAY2'의 값을 기록하며, %>FC 다음 자료가 '0'인지 확인되면 시동 신호이므로 OLDSET 값을 0으로 초기화해서 현재 설정값들을

monitoring computer쪽에 송신하도록 하였다. Monitoring computer에서 제어기로 보내는 통신 자료의 구조는 Fig. 6-24에 있다.

3) 종국 배양 공정 monitoring computer의 운영 프로그램

가) 프로그램의 개요

종국 배양 제어장치는 전술한 바와 같이 독자적으로 동작하여 계측, 제어, 표시 기능을 자체적으로 처리할 수 있으므로 기본적으로는 제어장치를 제어할 host computer가 불필요하게 설계되었다. 그러나 제어장치에는 통신 port를 갖추고 있으므로 외부의 다른 computer와 연결하여 정보를 주고받을 수 있도록 되어 있다. 더욱이 쌍방향 통신을 수행할 수 있으므로 IBM 호환 기종의 컴퓨터와 접속하여 사용할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 따라서 monitoring computer측에서 전송자료의 저장, 원격 제어, 그래프 처리와 같은 화면 표시의 다양화, timer switch scheduler와 같은 시간표 기능 등을 구현 할 수 있고 컴퓨터 key board 및 각종 software를 개발 활용할 수 있었다.

종국 배양 제어장치와 같이 사용하기 위한 monitoring computer의 제어 및 감시 프로그램은 사용자가 사용하기 쉽게 pull-down menu로 구성하였다. 프로그램 실행 도중 어느 때나 ‘F1’을 누르면 도움말을 제공하도록 하였다. 또 현재 제어 대상의 상태를 한눈에 알아 볼 수 있도록 초기 화면의 구성을 온도, 조도, 습도 상태를 7-segment LED와 비슷한 모양으로 나타내도록 하였고 relay의 on/off에 따라 즉각 변동 상태를 나타내도록 하였다. 그리고 히터와 환기팬, 가습기 등은 애니메이션을 구사하여 실제 모습과 비슷하게 화면을 구성하였다.

이 프로그램은 크게 세 가지 메뉴로 구성되어 있는데 제어 치의 현재 상태를 볼 수 있는 감시 메뉴와 relay 제어·설정값 변경 메뉴 그리고 시간표 수정 및 저장 메뉴로 구성하였다.

처음에 프로그램을 시동시켰을 때 종국 제조 환경 제어장치와의 통신을 통하여 현재 설정값과 온도, 습도, 조도값 그리고 relay 상태를 수신하도록 프로그램을 구성하였다. 시동 시에 앞의 설정값이 제대로 수신되는 지를 확인하여 3번의 통신 동안 오지 않으면 “Communication Failure" 라는 메시지를 화면상에 보여주어 사용자가 이에 따른 처리를 할 수 있도록 하고 있다.

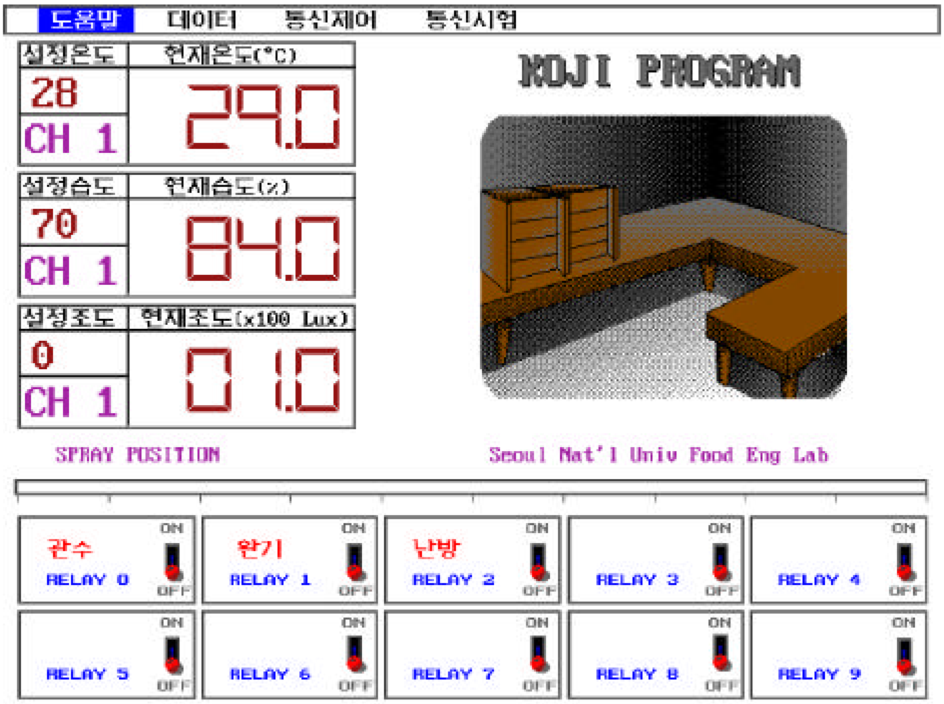


Fig. 6-25 The screen display on monitor of monitoring computer

Monitoring computer의 프로그램 리스트는 부록C에 수록하였으며 Fig. 6-26은 종국 제조시 monitoring 프로그램의 초기 화면이다. 초기 화면은 설정된 온도·습도·조도와 현재의 온도·습도·조도를 나타내고 있고 종국실의 현재 제어 상태도 한눈에 알아볼 수 있도록 나타내고 있다.

나) 종국 배양 공정의 감시 메뉴

종국 배양 공정의 설정된 목표값과 공정 변수들의 현재와 이전 상태를 볼 수 있도록 구성되어 있으며 1시간 동안의 자료와 1일 동안의 자료 그리고 전체 자료를 선택적으로 나타내도록 하였다. 컴퓨터 키보드 중에 Up-arrow와 Down-arrow를 이용하여 자료의 범위를 선택할 수 있도록 하였고 [!1][@2][#3]•••[*8] Key는 앞에서부터 Temp.1, Temp.2, Temp3,•••Temp6, Humidity, Lightness의 선택키로 할당되어 있다. 그리고 [a]키는 모든 센서값들을 동시에 모두 나타내도록 할당하였고 [0]키는 화면 표시 내용을 없애는 key로 할당하였다.

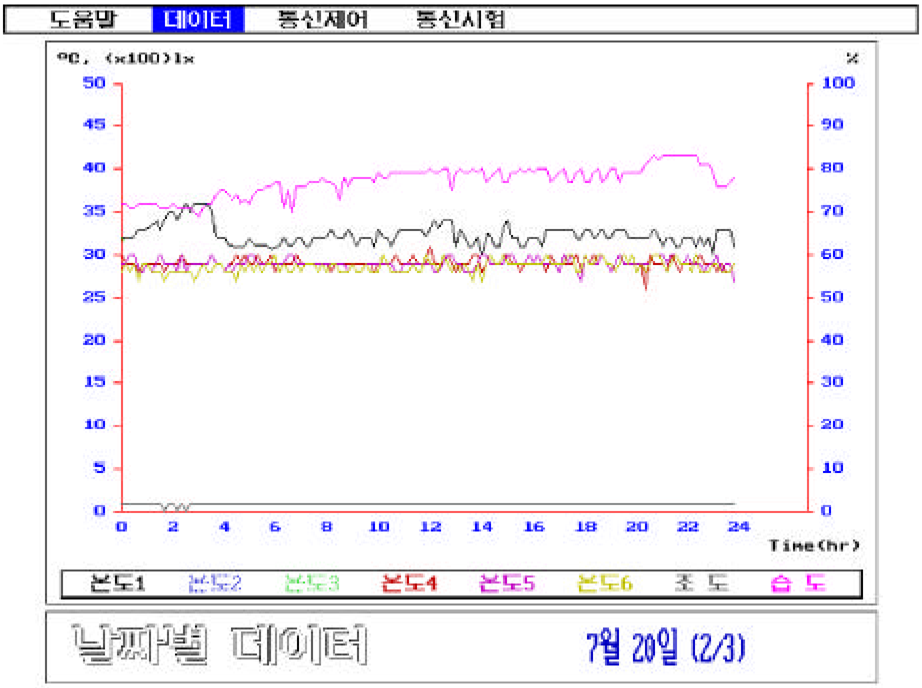


Fig. 6-26 The graphical display of the process variables acquired from thermistors and humidity sensor.

Fig. 6-26는 모든 센서값들의 하룻동안의 변화를 감시하는 화면이다. 이 화면에서는 습도와 종국상자내 품온측정센서인 온도1, 그리고 종국 실내 온도측정 센서인 온도4,5의 1일 동안의 변화를 관찰하고 있는 모습이다.

다) 종국 배양실 환경 제어용 relay 제어 및 제어 목표값 변경 메뉴

Fig. 6-27은 monitoring computer에서 relay 제어 중인 화면을 나타내고 있다. 화살표와 Home/End key를 사용하여 relay 번호를 선택하도록 하였다. INS/DEL key는 relay의 on/off를 할 수 있고 space key를 이용하여 toggle하도록 하였다. PGUP/PGDN key는 relay 전체를 on/off할 때 사용할 수 있다.

Fig. 6-27 The screen display at monitoring computer showing the remote changing of

relay

Fig. 6-28은 monitoring computer에서 설정값 변경 중인 화면을 나타내고 있다. Up-arrow/Down-arrow key를 이용하여 이동하고 입력 시에는 'ENTER' key를 취소 시에는 'ESC' key를 사용하여 사용자가 원하는 설정값을 정할 수 있다. 'PGDN' key를 눌러 입력을 마치면 제어기 쪽으로 변경된 설정값들을 보내 주고 또 제대로 전달되었는지 확인하기 위하여 제어기 쪽에서 받은 자료를 제대로 받았다는 헤더를 첨가하여 monitoring computer 쪽으로 보내 주게 하였다. 이렇게 서로 주고받을 수 있고 보낸 자료를 확인하는 절차를 거치도록 하였다. 설정값의 경우뿐만 아니라 relay값을 변경할 경우에도 이런 양방향 통신을 통해서 제어값의 정확한 전달 유무를 확인하게 된다. Monitoring computer에서 받은 자료를 다시 확인하여 보낸 자료와 틀린 경우에는 다시 제어치를 보내게 되며 3번 이상 틀리게 되면 "Communication Failure" 라는 메시지를 화면상에 보여주어 사용자가 이에 따른 처리를 할 수 있도록 하였다

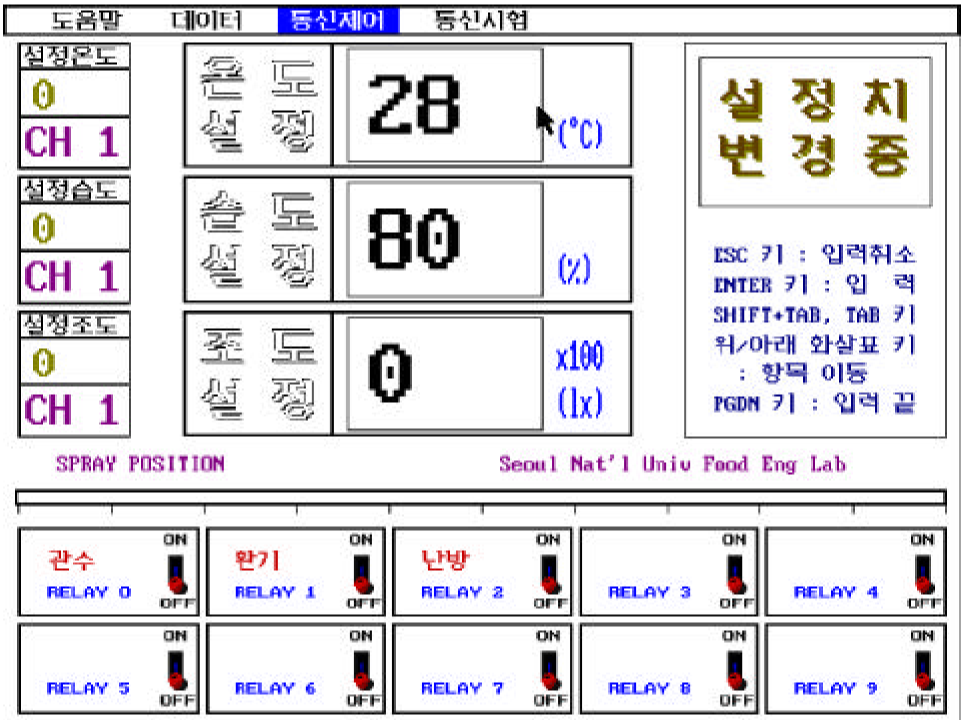


Fig. 6-28 The screen display at monitoring computer showing the remote changing of setting value

라) 제어 장치의 timer switch기능용 시간표 메뉴

일정 시간 및 소정의 시간 간격으로 switch를 on/off 할 수 있는 기능을 수행할 수 있는 scheduler를 monitoring computer에서 작동 할 수 있도록 하였는데 시간표를 작성하는 scheduler용 메뉴는 하룻동안의 낮과 밤의 설정치가 다른 경우나 시간별로 on/off 해야 하는 경우에 사람이 설정치를 바꾸거나 on/off하지 않고 필요한 각종 scheduler를 불러서 쓸 수 있도록 하였다. 특히 날마다의 작업환경이 비슷한 경우 전날의 시간표를 불러서 약간의 수정만 거치게 되면 아주 편리하게 사용할 수 있도록 하였다. 이 시간표에 의한 제어는 종국 제조와 비닐하우스의 제어 두 가지 경우 모두 다 사용할 수 있도록 하

였다.

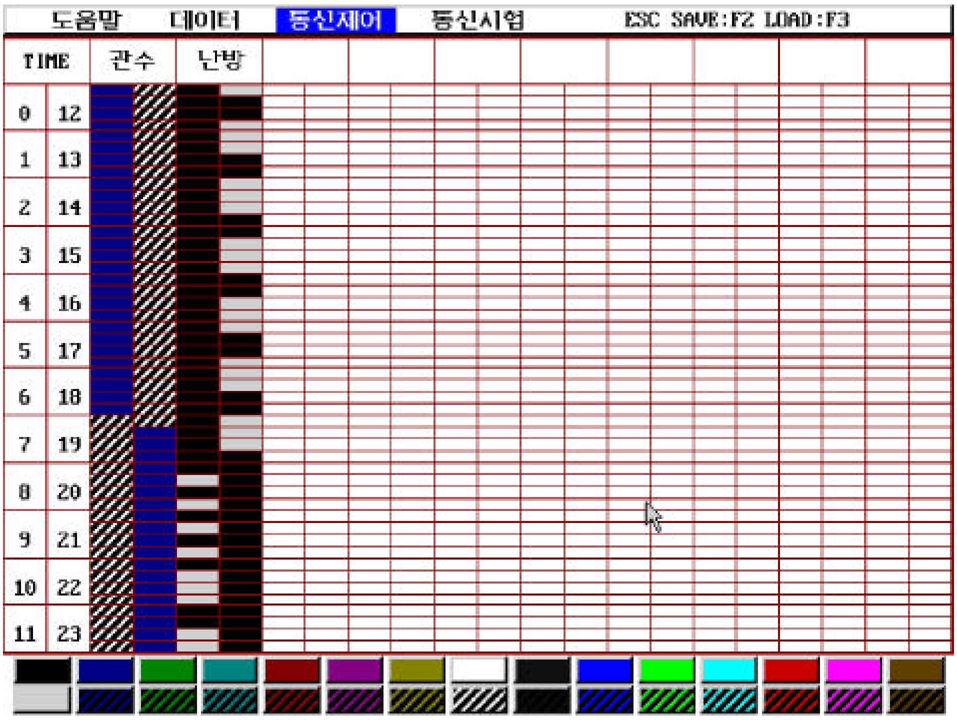


Fig. 6-29 The graphic scheduler for the timer switch of Koji process controller

이 메뉴는 매 15분마다 on/off를 선택할 수 있고 매 15분마다의 설정치를 다르게 정해 줄 수 있다. 화면 밑에 보면 서로 다른 색을 가진 색상자가 30개 있는데 검은색은 off를 흰색은 on을 나타내고 있고 나머지는 사용자가 정의하여 사용할 수 있도록 하였다. Fig. 6-29는 가습과 난방의 설정값을 낮과 밤 두 가지로 나누어 설정한 화면이다

4) 종국 배양 제어장치를 이용한 종국의 제조

종국 배양실에 제어장치를 설치한 후 먼저 수동으로 운영되는 곡자실의 종국

배양 공정의 2일간의 온도 및 습도를 계측하였다. Fig 6-30은 종국 배양에 10년간 종사 숙련 기능자가 배양실을 관리하였을 때의 상태를 계측한 결과이다. 온도와 습도는 방법(Ⅱ. 2. 2))에서 기술한 바있는 전열기와 가습기를 수동 작동시켰다. 온도는 30℃로 설정하였으나 온도의 진폭이 컸으며 1200분 이후 중반기부터는 온도 변화가 불규칙하였으며 습도의 변화가 심하였다. 앞에서와 같은 계측 실험을 3번 반복하였고 그 결과는 서로 비슷한 현상을 보여주고 있었다.

그러나 본 연구를 통해서 개발된 제어장치의 종국 제조용 프로그램에 따라 배양실의 종국 공정을 Table 6-7에 따라 관리하였을 때의 상태를 기록한 결과가 Fig. 6-30, 31에 있다. 이때의 온도 설정값은 28℃로, 습도 설정값은 70%로 하였고 습도의 상한 제한치는 90%로 하여 종국 배양 공정을 수행하였다. 종국 배양 중 품온의 상승으로 인한 제어장치의 판단으로 3번의 환적작업을 수행하였다. 종국상자내 3개의 온도센서중 2개 이상이 10분간 35℃를 넘을 경우 온도 상승이라고 판단하도록 프로그램 하였다. 종국 배양 후에 종국의 건조를 위해서 습도 30%이하로 24시간 동안 건조하였다.

Table 6-7 The operation data of Koji culturing procedure

operation time		operation	remark
1st day	09:30	steaming of barley	steam at 0.6 kg㎠
	10:15	curing	
	10:30	mixing and cooling	at 30℃
	13:00	inoculation of seed	3.4 g
	13:33	installation of thermistor in Koji boxes	2nd, 3rd and 4th box
	13:40	setting temperature at 28℃ and humidity at 70% RH	
	17:10	covering of the wet cotton cloth on Koji boxes	preventing from drying
2nd day	07:40	1st re-stacking Koji boxes	
	17:15	2nd re-stacking Koji boxes	
3rd day	08:30	3rd re-stacking Koji boxes	
	10:30	finish and dry	

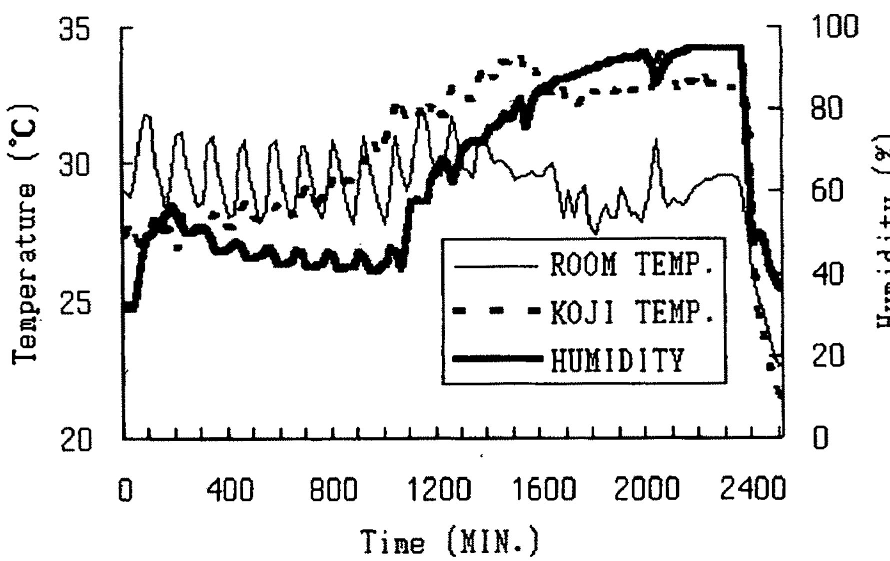


Fig. 6-30 The temperature and humidity profile of Koji culturing manually

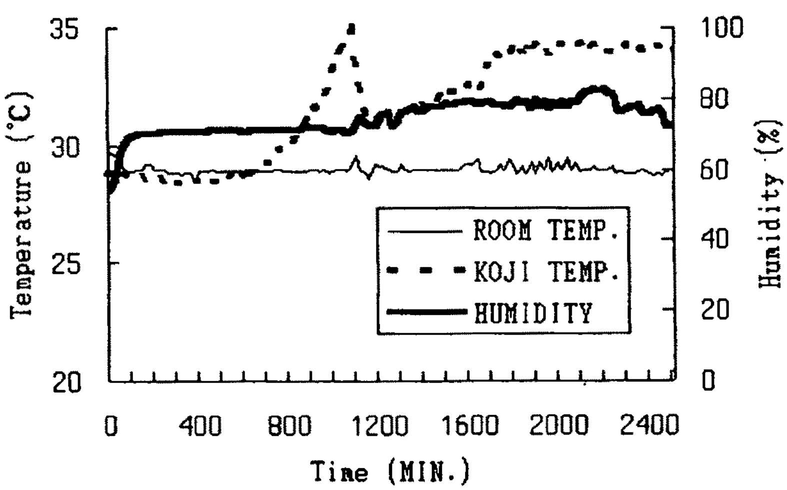


Fig. 6-31 The temperature and humidity profile of Koji culturing by controller

참고문헌

Aidoo, K. E., Hendry, R. and Wood, B. J. B. ; Advances in Applied Microbiology, vol. 28, 201-237(1982)

Albert P. Malvino ;Electronic Principles 4th ed. ,McGraw-Hill(1992)

Albert P. Malvino(1992) Electronic Principles 4th ed., McGraw-Hill

Arima, K.; In "Global Impact of Applied Microbiology"(M. P. Starr, ed.), Wiley, New York(1964)

CADSTAR 386 Version 2.41 ,RACAL - REDAC Co.

Clarence E.Johnson, Edwin A. Dowding, Paul K. Turnquist;Transactions of the ASAE, ASAE, 20:621-622 (1977)

Howard M. Berlin ; Design of Op-Amp Circuits with experiments, Howard W. Sams & Co., Inc.(1978), 교학사 (1986)

Inaba A., Kubo Y., Nakamura R.(1989) Automated microcomputer system for measurement of O2 uptake, CO2 output, and C2H4 evolution by fruit and vegetables. Journal-of-the-Japanese Society for Horticultural Science 58(2):443-448

James J. Brophy(1991) Basic Electronics for scientists(5th Ed.), McGRAW-HILL

James J.Brophy ; Basic Electronics for scientists(5th Ed.), McGRAW-HILL (1991)

Jong Young Lee, Hyun Ah Kang, Kyu Seob Chang, Seok Shin Kim(1995) Drying of onion and ginger using drying system controlled by microcomputer. Agricultural-Chemistry-and- Biotechnology; 38(1):78-82

Jurado J., Mohseni S.(1992) Design and implementation of a programmable controller based on differential pressure sensors to control the runoff for a lauter tub. Technical-Quarterly, Master Brewers' Association of the Americas; 29(1):6-10

Kyung Man Kim, Jae Kun Chun(1993) Development of automatic measurement and control method based on single chip microcomputer for tackjoo fermentation. Korean-Journal-of-Food-Science-and-Technology; 25(4):391-394

Mitchell B.W.(1983) Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences, 2nd ed., American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan

Mitchell, B.W. ; Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences, 2nd ed., American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan (1983)

Moreira R.G. Bakker Arkema F.W.(1990) A feedforward/feedback adaptive controller for commercial cross-flow grain driers. Journal of Agricultural Engineering Research 45(2):107-116

Märkl H. M. Mather and W. Witty ; Online monitoring and Control of an Anaerobic Methane Digestion Process with the aid of a Mathematical Model, Third European Congress on Biotechnology, 3:137-144 (1984)

Märkl H. M. Mather and W. Witty(1984) Online monitoring and Control of an Anaerobic Methane Digestion Process with the aid of a Mathematical Model, Third European Congress on Biotechnology, 3:137-144

OrCAD/SDT III ,Release 3.02 ,OrCAD System Co.

Punidadas P., Decloux M. Trystram G.(1991) Computer control of a cross flow microfiltration pilot plant. Food-Control 2(3):152-161

Ralph J, Smith ; Electronics, John Wiley & Sons, (1987)

Ralph J, Smith(1987) Electronics, John Wiley & Sons

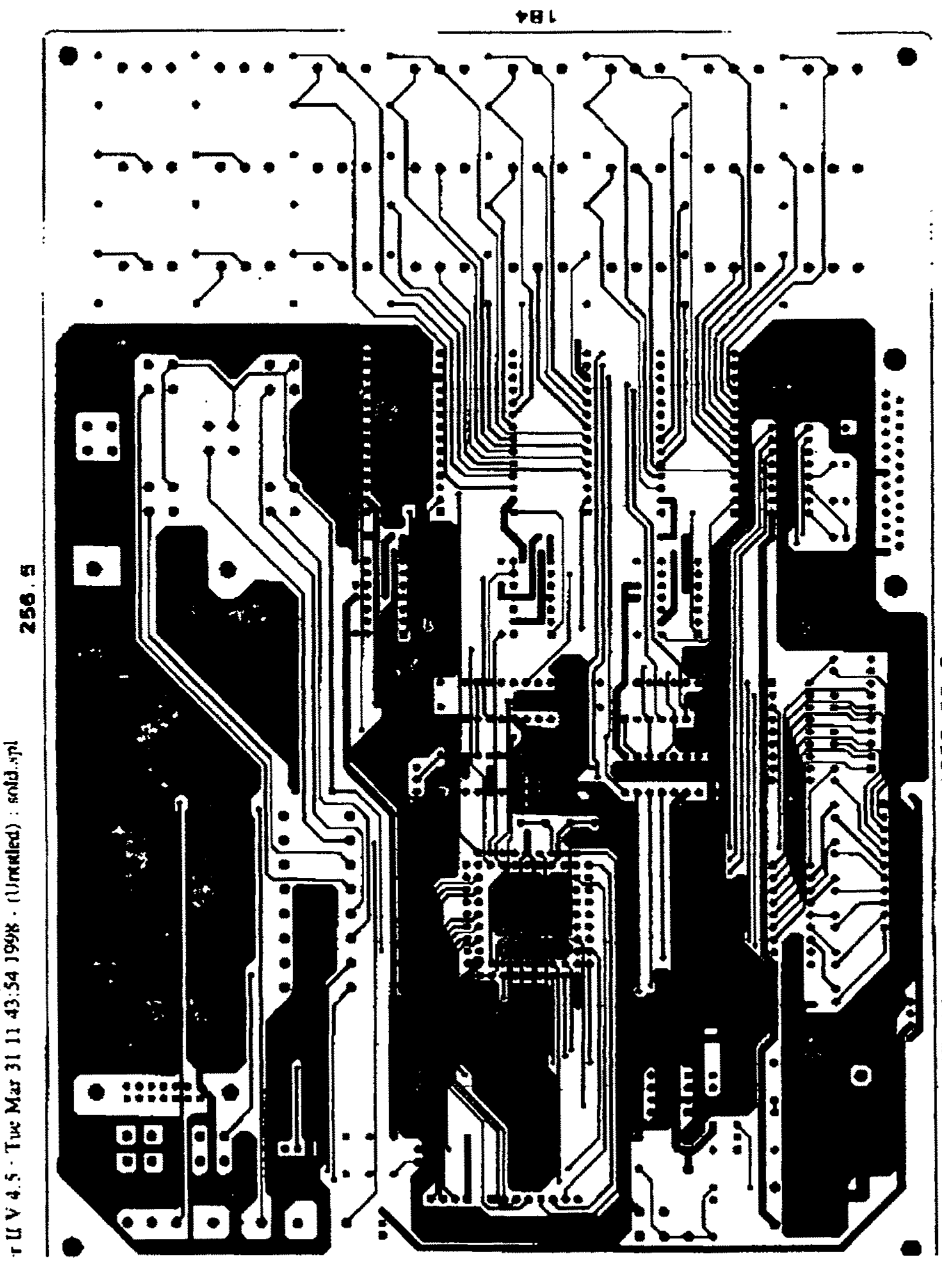
Texas Instrument(1996) TMS370 Micorcontroller Family User's Guide Texas Instrument Inc. Co., Missori

Underkofler, L. A., Severson, G. M., Goering, K. J., and Christensen, L M.; Cereal chem., 24(1):1 (1947)

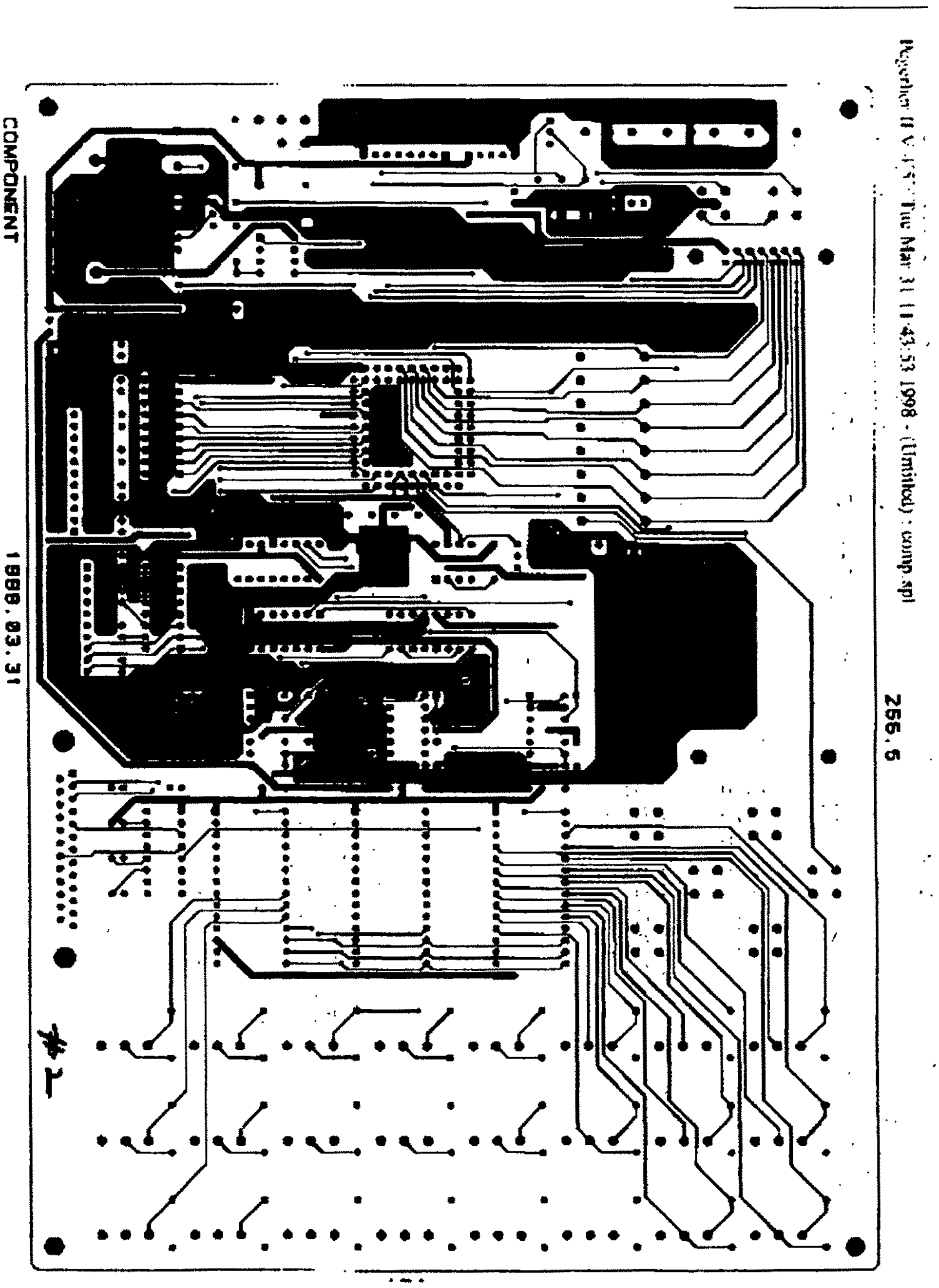
Underkofler, L. A.,; Ind. Eng. Chem., 31:734(1939)

전재근, 서동욱, 김세철(1997) 식품 공정 및 농업 자동화를 위한 선행 작업 기억 공정 제어기의 개발, 산업식품공학 1(2):143-148

Appendix A. The top layer of the PCB



Appendix B. Bottom layer of the PCB



Appendix C. Operation Program

```
******************************
Equates
******************************
BIT0        .equ    1
BIT1        .equ    2
BIT2        .equ    4
BIT3        .equ    8
BIT4        .equ    16
BIT5        .equ    32
BIT6        .equ    64
BIT7        .equ    128

;LCD character Font *

CFNUM       .equ    30h
CFALPL      .equ    41h
CFALPS      .equ    61h

;LCD DD ram addr

DDCLR       .equ    00h
DDRCK       .equ    4Ah
DDTIME      .equ    4Ch

;System configure control register

SCCR0       .equ    P010
SCCR1       .equ    P011
SCCR2       .equ    P012
EPCTLH      .equ    P014
INT1        .equ    P017
INT2        .equ    P018
INT3        .equ    P019
DEECTL      .equ    P01A
EPCTLM      .equ    P01C
EPCLTL      .equ    P01E

;digital

APORT2      .equ    P021
ADATA       .equ    P022
ADIR        .equ    P023
BPORT2      .equ    P025
BDATA       .equ    P026
BDIR        .equ    P027
CPORT2      .equ    P029
CDATA       .equ    P02A
CDIR        .equ    P02B
DPORT1      .equ    P02C
DPORT2      .equ    P02D
DDATA       .equ    P02E
DDIR        .equ    P02F

; Timer ster initialize

T1CNTRM     .equ    P040

T1CNTRL     .equ    P041
T1CM        .equ    P042
T1CL        .equ    P043
T1CCM       .equ    P044
T1CCL       .equ    P045
T1CTL1      .equ    P049
T1CTL2      .equ    P04A
T1CTL3      .equ    P04B
T1CTL4      .equ    P04C
T1PC1       .equ    P04D
T1PC2       .equ    P04E
T1PRI       .equ    P04F
T2ACNTRMU.equ       P060
T2ACNTRLU.equ       P061
T2ACM       .equ    P062
T2ACL       .equ    P063
T2ACCM      .equ    P064
T2ACCL      .equ    P065
T2AICM      .equ    P066
T2AICL      .equ    P067
T2ACTL1     .equ    P06A
T2ACTL2     .equ    P06B
T2ACTL3     .equ    P06C
T2APC1      .equ    P06D
T2APC2      .equ    P06E
T2APRI      .equ    P06F

; ADC1 COMMON EQUATE
ADCTL       .equ    P070
ADSTAT      .equ    P071
ADDATA      .equ    P072
ADIN        .equ    P07D
ADENA       .equ    P07E
ADPRI       .equ    P07F
ADFLAG      .dbit   1,ADSTAT

******************************
Port Assign
******************************
LCDDATA     .equ    BDATA
LCDDIR      .equ    BDIR
KEYSCAN     .dbit   3, DDATA
BUZZER      .dbit   3, CDATA
ADLATCH     .dbit   4, CDATA
```

```
******************************
R file
******************************

.sect "Register"

; Time Display

DTIMEH    .EQU   R2
DTIMEL    .EQU   R3

; Time of Day Clock( T1 )

TENTH     .EQU   R4
HOUR      .EQU   R5
MIN.EQU   R6
SEC.EQU   R7
TIMDSP    .EQU   R8
TFLAG     .equ   R9
HSECF     .dbit  0,TFLAG
SECF      .dbit  1,TFLAG
MINF      .dbit  2,TFLAG
HOURF     .dbit  3,TFLAG
TENTH2    .equ   R10

; ADC - measured value from
sensor

AVGCNT    .EQU   R11
AVGPRB    .EQU   R12
TMPPRB    .EQU   R13
TEMPCHANL        .EQU   R14
TEMPCHANL1       .EQU   R15
TEMPMUX.EQU      R16
DDTEMP    .EQU   R17

; Key Scan Register

OldKey    .equ   R20
DB        .equ   R21
KeyFlag   .equ   R22
KeyRot    .equ   R23
KeyNum    .equ   R24
BuzzNo    .equ   R25
KeyH      .equ   R26
KeyL             .equ   R27
DPTR      .equ   R28
Tkcount   .equ   R29
CurLoca   .equ   R30
KyFlag    .equ   R31
StFlag    .dbit  1,KyFlag

; Binary to BCD

ARG       .EQU   R40
ARG100    .EQU   R41
ARG10     .EQU   R42
ARG1      .EQU   R43

; ADC Display

DSPADC    .EQU   R50
DADC100   .EQU   R51
DADC10    .EQU   R52
DADC1     .EQU   R53
CHANLH    .EQU   R54
CHANLC    .EQU   R55
CHANLL    .EQU   R56

;TEMP. STORE REGISTER
.reg TEMP,24

******************************
 System Configuration &
Initialization     of Modules
******************************
      .text    2000h

START
      and      #~BIT5,        SCCR0
      or       #BIT4, SCCR1
      or       #BIT6, SCCR2
      or       #BIT7, SCCR2
      and      #~BIT6,        SCCR0
      or       #BIT1, SCCR2
      or       #BIT0, SCCR2

* Memory initialize *

CLEAR      mov     #254,B
      clr      A
LOOP       mov     A,*1[B]
      djnz     B,LOOP

* Port initialize *

      mov      #0FFh,ADIR
      mov      #0FFh,BDIR
      mov      #0FFh,CDIR
      mov      #11110111b,DDIR

      mov      #0,ADATA
      mov      #0,BDATA
      mov      #0,CDATA
      mov      #0,DDATA

* T1 Timer Initialize *
```

```
T1INIT
     clr     SEC
     clr     MIN
     clr     HOUR

     mov     #0ah,TENTH
     mov     #00h,T1PRI
     mov     #7ah,T1CM
     mov     #11h,T1CL
     mov     #00h,T1PC1
     mov     #00h,T1PC2
     mov        #00010000b,T1CTL4
     or         #00000101b,T1CTL1
             mov
#00000001b,T1CTL3            mov
#00000001b,T1CTL2

  * ADC Initialize *

  ADINIT     mov
#11110000b,ADENA
  call ADSTART


  * Timer2a Initialize *

  ;T2AINIT   mov     #0ah,TENTH2
  ;    mov     #0c3h,T2ACM
  ;    mov     #4fh,T2ACL
  ;    mov     #00000001b,T2ACTL1
  ;    mov     #00000001b,T2ACTL2
  ;    mov     #00010000b,T2ACTL3
  ;    mov     #00000000b,T2APC1
  ;    mov     #00000000b,T2APC2
  ;    mov     #01000000b,T2APRI
       mov     #01,KeyRot

  * Stack Initialize *
       mov     #0DFh,B          ;R223
       ldsp

  * LCD initialize *
       call    Initialize
       call    FunctionSet
       call    DisplayOn
       call    DisplayClear
       call    EntryMode

  * Send data to lcd dd ram *

       mov     #(80h+DDCLR),A
       call    InstructionSet
       call    H40microDelay

       mov     #54h,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #(CFNUM+0Ah),A
       call    DataSend
       call    H40microDelay

       mov     #(80h+DDRCK),A

       call    InstructionSet
       call    H40microDelay

       mov     #43h,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay

       mov     #4Bh,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay

       mov     #(80h+DDTIME),A

       call    InstructionSet
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #(CFNUM+0ah),A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #(CFNUM+0ah),A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
       mov     #CFNUM,A
       call    DataSend
       call    H40microDelay
```

```
* Enable Interrupt *
    EINT

*****************************
* Main Routine *
*****************************
MLoop       djnz
TENTH2,MLoop
    mov     #46h,TENTH2
    call    KyCheck
    cmp     #10000000b,KeyFlag
    jne     DTCHK
    dint
    call    KeyRes
    jmp     MLoo

DTCHK
    jbitl   StFlag,MLoop
    jbitl   HSECF,DT
    jbitl   SECF,DT
    jmp     MLoop

DT  call    DspTime
    call    ADSTART
    call    DspData
    jmp     MLoop


*****************************
*Subroutines for LCD        *
*****************************
Initialize:     ;LCD initialize
    call    H15miliDelay
    mov     #30h,A
    call    InstructionSet
    call    H4_1miliDelay
    mov     #30h,A
    call    InstructionSet
    call    H100microDelay
    mov     #30h,A
    call    InstructionSet
    call    CheckBF
    rts

FunctionSet:
    mov     #00111100b,A
    call    InstructionSet
    call    H40microDelay
    call    CheckBF
    rts

DisplayOn:
```

```
    mov     #00001100b,A
    call    InstructionSet
    call    H40microDelay
    call    CheckBF
    rts

DisplayClear:
    mov     #00000001b,A
    call    InstructionSet
    call    H40microDelay
    call    CheckBF
    rts

EntryMode:
    mov     #00000110b,A
    call    InstructionSet
    call    H40microDelay
    call    CheckBF
    rts

InstructionSet:
    and     #11111000b,CDATA
    or      #00000100b,CDATA
    mov     A,BDATA
    and     #11111011b,CDATA

    rts

H15miliDelay:       ;15 ms delay
    mov     #00110000b,A
    mov     #00000000b,B
    djnz    B,$
    djnz    A,$-2
    rts

H4_1miliDelay:      ;4.1ms delay
    mov     #00001000b,A
    mov     #00000000b,B
    djnz    B,$
    djnz    A,$-2
    rts

H100microDelay:     ;100 us delay
    mov     #01010000b,A
    djnz    A,$
    rts

H400microDelay:     ;400 us delay
    mov     #11001000b,A
    mov     #11111010b,B
    djnz    B,$
    djnz    A,$-2
    rts
```

```
H40microDelay:;40 us delay
     mov    #00100000b,A
     djnz   A,$
     rts

CheckBF:   ;check busy flag
     mov    #00h,BDIR
chkbf
     and    #11111010b,CDATA
     or     #00000010b,CDATA
     or     #00000100b,CDATA

     mov    BDATA,A
     and    #11111011b,CDATA
     ;E -> L
     btjo   #80h,a,chkbf
     mov    #0ffh,BDIR
     rts

DataSend:
     ;Send A to DD Ram
     and    #11111001b,CDATA
     or     #00000001b,CDATA
     or     #00000100b,CDATA
     mov    A,BDATA
     and    #11111011b,CDATA

     rts

StringDisplay:

     clr    A
     clr    B
     add    #(80h+DDCLR),B
     mov    B,A
     call   InstructionSet
     call   H40microDelay
SDLOOP
     mov    *DPTR,A
     cmp    #00h,A
     jeq    SDEND
     call   DataSend
     call   H40microDelay
     inc    DPTR
     jmp    SDLOOP

SDEND
     rts

******************************
*  Interrupt   Service   Routine
   *
******************************
*  Timerl  (INT  6)  Real  time
clock *

T1INT
     push   A
     push   B
     jbitl  StFlag,T1END

T1ST
     mov    #01h,T1CTL3
     dec    TENTH
     cmp    #05h,TENTH
     jeq    T1HS1
     cmp    #00h,TENTH
     jeq    T1S1

     jmp    T1END

T1HS1
     sbitl  HSECF
     jmp    T1END

T1S1        mov    #0Ah,TENTH
     inc    SEC
     sbitl  SECF
     cmp    #60,SEC
     jne    T1END
     clr    SEC

T1M1
     inc    MIN
     sbitl  MINF
     cmp    #60,MIN
     jne    T1END
     clr    MIN

T1H1
     inc    HOUR
     sbitl  HOURF
     cmp    #24,HOUR
     jne    T1END
     clr    HOUR

T1END
     POP    B
     POP    A
     RTI

* ADC Service Routine *

ADINT
     push   A
     push   B
     clr    TEMPCHANL
     clr    AVGCNT
```

```
        clr     AVGPRB
        clr     TMPPRB

ATOD
        MOV     #08h,AVGCNT

ADC1
        MOV     ADDATA,A
        ADD     A,TMPPRB
        JNC     ADC2
        INC     AVGPRB

ADC2
        DJNZAVGCNT,GOCNVRT
        DIV     AVGPRB,A
        MOV     TEMPCHANL,B
        MOV     A,*TEMP[B]
        clr     TMPPRB
        clr     AVGPRB
        MOV     #0,ADSTAT
        JMP     EXIT

GOCNVRT
        mov     #01h,ADSTAT
        or      #40h,B

        mov     B,ADCTL
        or      #80h,ADCTL

        jmp     ADC1

EXIT
        pop     B
        pop     A
        rti

*****************************
*   Subroutine for call    *
*****************************

; BCD LOOP (ARG -> ARG100,
ARG10, ARG1)

BN2BCD:
        CLR     ARG100
        CLR     ARG10
        CLR     ARG1
        mov     ARG,A

HUND_LOOP
        sub     #100,A
        jnc     TEN_PROC
        inc     ARG100
        jmp     HUND_LOOP

TEN_PROC
        add     #100,A

TEN_LOOP
        sub     #10,A
        jnc     COMBINATION
        inc     ARG10
        jmp     TEN_LOOP

COMBINATION
        add     #10,A
        mov     A,ARG1
        rts
        nop

ADSTART:
        and     #11111000b,DDATA
        sbit0   ADLATCH
        mov     #01h,ADSTAT
        mov     #40h,ADCTL
        nop
        nop
        nop
        mov     #0C0h,ADCTL
        rts

DspTime:
        jbit1   HSECF,T1HSD1
        jbit1   SECF,T1HSD2

T1HSD1
        mov     #(80h+4eh),A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay

        mov     #20h,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay

        mov     #(80h+51h),A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay

        mov     #20h,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay
        sbit0   HSECF
        jmp     DspEnd

T1HSD2
        mov     #(80h+4eh),A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay
```

```
        mov     #3ah,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay

        mov     #(80h+51h),A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay

        mov     #3ah,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay

T1SD1
        mov     SEC,ARG
        call    BN2BCD
        mov     ARG10,DTIMEH
        mov     ARG1,DTIMEL
        mov     #6,TIMDSP
        call    SenTim
        sbit0   SECF
        jbit1   MINF,T1MD1
        jmp     DspEnd

T1MD1
        mov     MIN, ARG
        call    BN2BCD
        mov     ARG10,DTIMEH
        mov     ARG1,DTIMEL
        mov     #3,TIMDSP
        call    SenTim
        sbit0   MINF
        jbit1   HOURF,T1HD1
        jmp     DspEnd

T1HD1
        mov     HOUR,ARG
        call    BN2BCD
        mov     ARG10,DTIMEH
        mov     ARG1,DTIMEL
        mov     #0,TIMDSP
        call    SenTim
        sbit0   HOURF

DspEnd
        rts


SenTim:
        mov     #(80h+DDTIME),B
                ;Display HH:MM:SS
        mov     TIMDSP,A
        add     B,A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay

        add     #CFNUM,DTIMEH
        mov     DTIMEH,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay
        add     #CFNUM,DTIMEL
        mov     DTIMEL,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay
        rts

KyCheck:
        clr     A
        clr     B

KeyLoop
and #00000000,LCDDATA
        mov     KeyRot,A
        mov     A,LCDDATA
        jbit1   KEYSCAN,KeyPush
        jmp     KeyEnd
KeyPush
        mov     LCDDATA,B
        mov     KeyNum,B
        cmp     B,OldKey
        jeq     DBCheck
        rr      B
        cmp     B,OldKey
        jeq     DBCheck
        mov     B,OldKey
        mov     #255,DB


DBCheck
        cmp     #01,DB
        jeq     DCheck2
        dec     DB
        jmp     KeyEnd

DCheck2
        clr     DB
        mov     #10000000b,KeyFlag

KeyEnd
        rl      A
        mov     A,KeyRot

KyEnd2

btjo #10000000b,KeyFlag,Buzz

KEnd
        rts
```

```
Buzz        mov     #255,B
    call    KNChk
Bloop1
    djnz    B,Bloop1
    sbit1   BUZZER
    mov     #100,B

Bloop2
    djnz    B,Bloop2
    sbit0   BUZZER
    jmp     KEnd

KNChk:
    clr     A
    clr     B
    mov     OldKey,A

KNChk1
    rr      A
    jc      NCEnd
    inc     B
    jmp     KNChk1

NCEnd
    mov     B,KeyNum
    rts

KeyRes:
    mov     KeyNum,B
    rl      B
    add     KeyNum,B
    mov     #0ffh,OldKey
    br      *KYTBL[B]

KYTBL
    br      TmSet
    br      Rv
    br      Rv
    br      Rv
    br      Rght
    br      Lft
    br      DecKy
    br      IncKy

TmSet
    jbit0   StFlag,StopKy2
    sbit0   StFlag
    movw    #LOGO2,DPTR
    clr     CurLoca
    eint
    jmp     StopKy3

StopKy2
    sbit1   StFlag
    movw    #LOGO1,DPTR
    sbit1   SECF
    call    DspTime

StopKy3
    call    StringDisplay
    jmp     Tkend

Rv  jmp     Tkend

Rght        jbit0   StFlag,Tkend2
    inc     CurLoca
    inc     CurLoca
    inc     CurLoca
    cmp     #09,CurLoca
    jeq     RClr
    jmp     Tkend
RClr clr    CurLoca
    jmp     Tkend

Lft  jbit0  StFlag,Tkend2
    cmp     #00,CurLoca
    jeq     LClr
    dec     CurLoca
    dec     CurLoca
    dec     CurLoca
    jmp     Tkend
LClr mov    #06,CurLoca
    jmp     Tkend

Tkend2
    clr     KeyFlag
    rts

DecKy
    jbit0   StFlag,Tkend
    cmp     #00,CurLoca
    jeq     HDec
    cmp     #03,CurLoca
    jeq     MDec
    cmp     #06,CurLoca
    jeq     SDec

IncKy
    jbit0   StFlag,Tkend
    cmp     #00,CurLoca
    jeq     HInc
    cmp     #03,CurLoca
```

```
        jeq     MInc
        cmp     #06,CurLoca
        jeq     SInc

HIncinc         HOUR
        cmp     #24,HOUR
        jne     Tkend
        clr     HOUR
        jmp     Tkend

MInc            inc     MIN
        cmp     #60,MIN
        jne     Tkend
        clr     MIN
        jmp     Tkend

SIncinc         SEC
        cmp     #60,SEC
        jne     Tkend
        clr     SEC
        jmp     Tkend


HDec
        cmp     #00,HOUR
        jne     HD1
        mov     #23,HOUR
        jmp     Tkend

HD1 dec         HOUR
        jmp     Tkend


MDec            cmp     #00,MIN
        jne     MD1
        mov     #59,MIN
        jmp     Tkend
MD1             dec     MIN
        jmp     Tkend


SDec            cmp     #00,SEC
        jne     SD1
        mov     #59,SEC
        jmp     Tkend

SD1 dec         SEC
        jmp     Tkend

Tkend
        sbitl   SECF
        sbitl   MINF
        sbitl   HOURF
        call    DspTime
        clr     KeyFlag
        rts

DspData:
        clr     TEMPCHANL
        clr     TEMPCHANL1
        clr     B

TEMP0           mov     *TEMP[B],A
        mov     B,TEMPCHANI

        mov     A,ARG
        call    BN2BCD
        mov     ARG100,A
        mov     A,DADC100
        mov     ARG10,A
        mov     A,DADC10
        mov     ARG1,A
        mov     A,DADC1
        add     #CFNUM,DADC100
        add     #CFNUM,DADC10
        add     #CFNUM,DADC1

        mov     #01h,TEMPCHANL1
        mov     #04h,DDTEMP

TEMP2
        mov     TEMPCHANL1,A
        add     #80h,A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay

        inc     TEMPCHANL
        mov     TEMPCHANL,ARG
        call    BN2BCD
        mov     ARG10,CHANLC
        mov     ARG1,CHANLL
        add     #CFNUM,CHANLC
        add     #CFNUM,CHANLL
        mov     CHANLC,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay
        mov     CHANLL,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay

        mov     DDTEMP,A
        add     #80h,A
        call    InstructionSet
        call    H40microDelay

        mov     DADC100,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay
```

```
        mov     DADC10,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay
        mov     DADC1,A
        call    DataSend
        call    H40microDelay

        rts


   ******************************
   *Tables*
   ******************************
DDRAM          .byte

80h,87h,8Eh,0C0h,0C6h,0CAh,0CFh

LOGO1.string  "Set RealTime!",00h
LOGO2.string  "T   :            ",00h

   ******************************
 * Setup Interrupt vectors addresses
        *
   ******************************
        .sect "VECTORS", 07FECh
        .word  ADINT
        .word  START
        .word  START
        .word  START
        .word  T1INT
        .word  START
        .word  START
        .word  START
        .word  START
        .word  START
```

제 7 장 결 론

본 연구의 목적은 농촌식품 가공산업의 경쟁력을 높일 수 있는 핵심가공기술을 경쟁성을 갖도록 하는 것이다. 따라서 우리 나라의 주요 가공제품 중에서 가장 대표적인 쌀과 콩 제품을 주로 대상으로 삼아 관련된 공정과 공정개발에 필수적 요소인 물성 분석 등을 연구하게 되었다.

우선 전통 식품 가공 공정의 개발 분야에서는 농촌형 식품 가공 공정의 종류 , 특징과 가공의 주요 공정을 분석하였는데, 그 분석 목적은 전통 두류 가공 공정과 단위조작의 첨단화에 두었다. 그 일례로 연속식 두부 제조 기술과 두부 무면포 성형 공정의 개발하고자 하였는데, 두부압착에 사용되는 면포를 제거하고 두부를 성형할 수 있는 기술을 개발하여 앞으로 두부 산업에서 실용화할 수 있는 기반을 마련하게 되었다.

또한 상품개발의 측면도 고려하여 즉석 두부의 제조 기술도 개발하였다.

다음은 전통 농산 가공 공정 신기술 개발 분야를 들 수 있는데, ultrasound 여과 공정의 개발, ohmic heat 이용 기술의 개발, microwave 추출 공정의 개발, color image analysis system 개발을 시도하고 각 기술을 평가한 결과 microwave, 초음파, ohmic heating 기술들이 활용할 수 있는 여지가 많았으며, 이중에서 microwave 추출기술은 기존의 추출방법에 비하여 30 - 40%의 수율 증대를 가져온 획기적인 기술로 판명되었다. 또한 microwave 추출장치의 설계기술을 개발함으로써 이 분야의 첨단 가공설비 설계기술을 국산화하는 데 성공하였다. 그 외에도 초음파 여과기술, ohmic 가열장치의 설계기술을 자체 개발하는데 성공함으로써 큰 성과를 거두었다.

전통 두류 식품의 물성 및 가공 분야는 공정의 설계와 개선을 위한 주요자료를 확보하는 데 모적을 두었다. 그 내용으로서 대두식품의 물성, 압출성형법에 의한 종국 제조, 가공 공정 제품 분석 및 품질 평가, 가공 공정 최적화

등의 연구를 수행하였다.

전통 전분식품의 물성분석 분야에서는 녹두전분의 물리적 변성, 수분-열처리(annealing)를 이용하여 제조한 묵의 성질, 초음파 처리한 전분의 이화학적 성질 등을 연구하였으며, 밥의 가공조건에 따른 열특성 연구를 통해 저장 중 밥의 온도 변화 예측 모델의 개발에 성공하였다.

또 다른 측면은 가공의 생산성과 품질향상을 위하여 농촌 현실에 알맞는 자동화 기술을 개발하는 것인데, 그 이유는 전통식품 산업이 경쟁력을 갖기 위해서는 기존의 공정보다 우수한 생산성을 가져야 하기 때문이다. 농촌 공장의 자동화를 위한 기반기술로는 식품가공용 제어장치를 개발하였는데, 이 제어장치는 첨단 microprocessor로 설계하였으며 실제 제작에 성공하였다. 새로 개발한 제어장치는 기능도 뛰어나 공정의 실시간 on-line monitoring, 계측, 제어, 통신을 원활히 수행할 수 있었으며, 그 운영 프로그램도 개발하는 데 성공하였다. 이 자동화 핵심 기술은 대두가공 공정인 종국 제조 공정에 성공적으로 활용할 수 있었다.

본 연구사업을 통하여 개발에 성공한 식품 가공용 제어 장치와 첨단 가공 기술은 농촌형 가공산업 현장에 적용하여야 할 것이다.

① 마이크로콘트롤러형 제어 장치는 농촌형 공장에 적합하도록 개발되었으므로 그 활용 연구가 계속되어야 할 것이다.

② 두부 제조 공정의 첨단화에 성공하였는데, 두부의 무면포 성형 기술은 두부 제조 공정의 단계를 줄이고 위생성을 향상시켰으며, 용수량을 획기적으로 감소시켰다. 따라서 생산 현장에 적용하는 연구가 필요하다.

③ 첨단 가공 기술의 하나인 ohmic heating 장치를 국내 기술로 개발하였으며, image 분석 기술은 공정의 모니터링 및 품질관리 기술로 활용할 수 있다. 따라서 산업 현장에 적용하기 위한 연구가 계속되어야 한다.

④ Microwave 추출 기술은 추출 수율을 40% 이상 획기적으로 높일 수 있

어 농산물 유효성분 추출에 효과적이다. 특히, 두유의 추출에 매우 효과적이므로 지속적 연구가 필요하다.

⑤ 묵 제조시 전분의 annealing처리는 묵 제조 공정에서 가열 전에 손쉽게 할 수 있는 방법이므로 실용화가 가능할 것이며, 묵의 물성 개선에 활용될 수 있을 것이다.

⑥ 전분의 초음파 처리기술은 추가연구를 통해 효과를 규명한 후 실용화할 수 있을 것이다.