

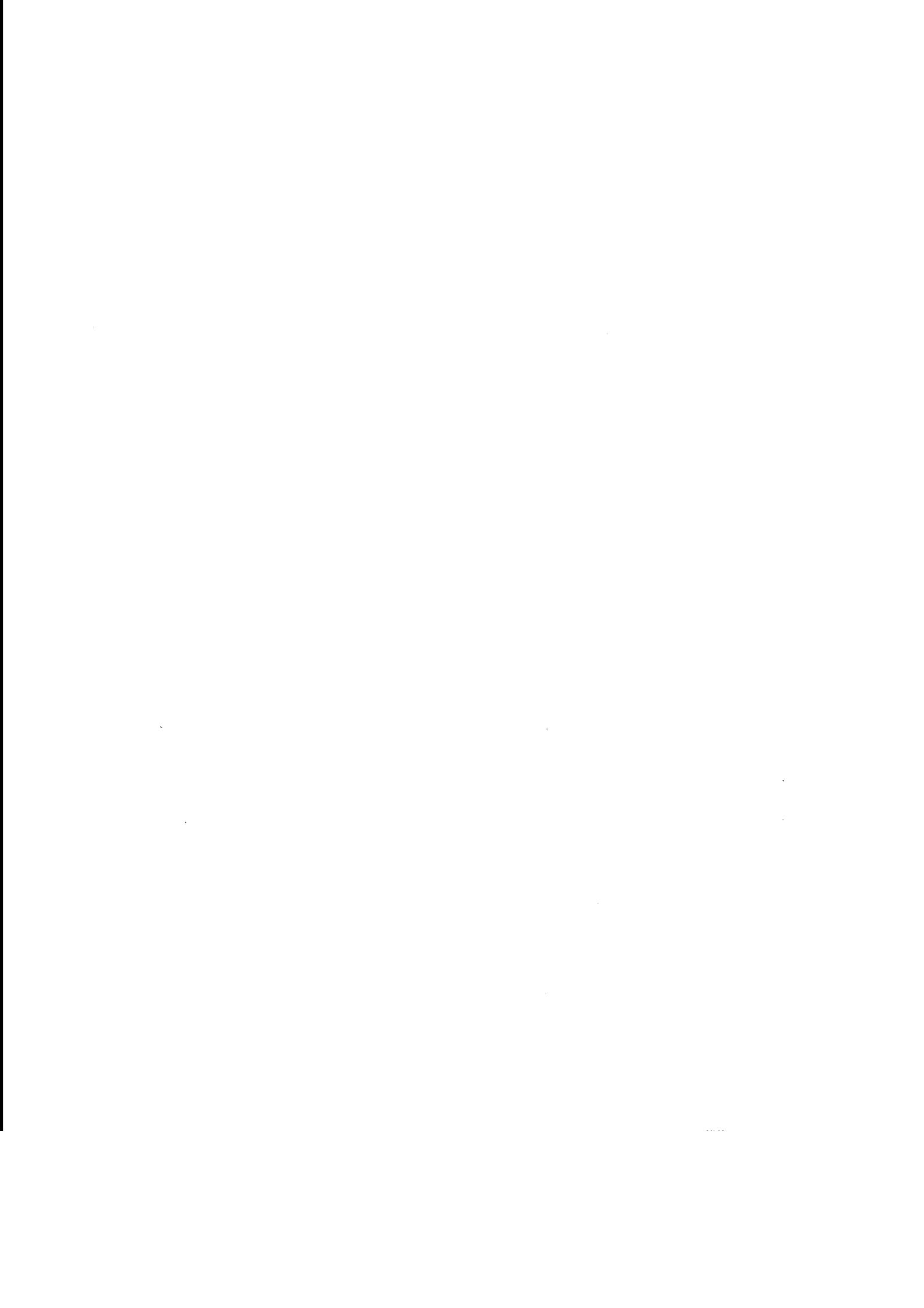
최 중
연구보고서

지역농산가공식품의 연속살균
공정 및 장치 개발

Development of a Continuous Flow Sterilization
Process and System for Regional Agricultural
Processed Foods

서울대학교

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “지역농산가공식품의 연속살균 공정 및 장치개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

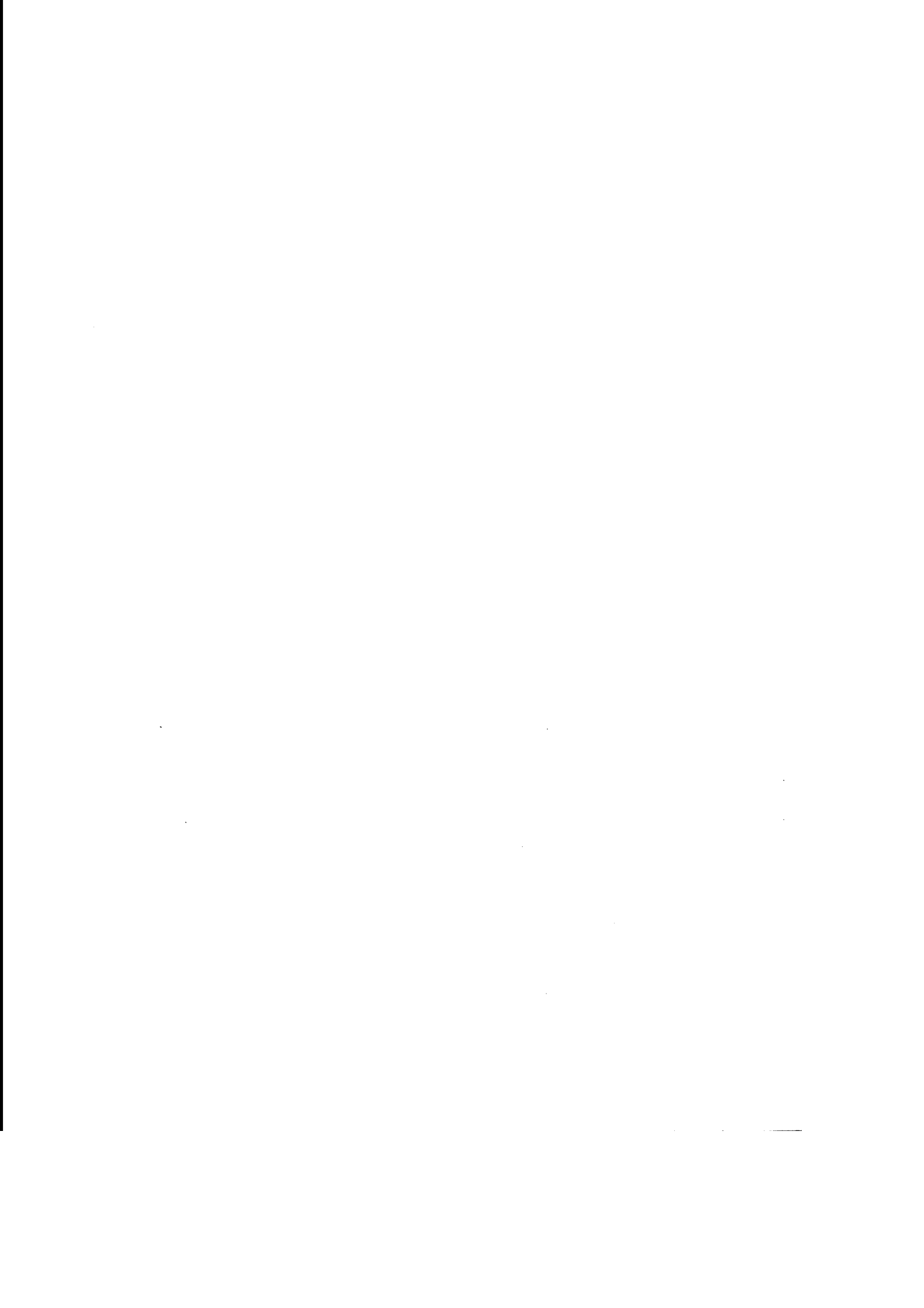
2002년 11월 26일

주관연구기관명 : 서울대

총괄연구책임자 : 고태균

연구원 : 홍지향

연구원 : 양길모



요 약 문

I. 제 목

지역농산가공식품의 연속살균 공정 및 장치개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라 과수 재배 농가의 수확, 운반, 선별 및 포장작업 중에 손상된 과일은 상품적 가치가 없으므로 주스나 잼과 같은 지역 농산 가공식품으로 만들면 경제적 손실을 줄일 수 있다. 가공식품은 위생상 안전하여야 하며, 저장 및 유통 과정에서 변질이 되어서는 안 된다. 따라서 지역 농산가공식품을 위생상 안전하게 살균하여야 한다. 연속살균공정은 살균온도로 가열 시, 열전달 경로가 짧고, 연속적으로 이동되는 매체를 가열하기 때문에 가열이 균일하게 되므로 살균온도를 고온으로 할 수 있으며 살균시간도 반비례하여 짧아진다. 따라서 연속살균공정은 열손상이 적고 품질이 균일하며 연속공정이므로 공정의 자동화가 용이한 장점이 있다. 따라서 외견상 손상을 입은 과일의 부가가치를 높이기 위하여, 지역 농산가공식품을 위한 효율적이고 경제적인 살균 방법인 연속살균공정 및 장치 개발이 필요하다.

본 연구에서는 지역 농산가공식품의 특성에 맞게 연속살균 공정을 설계하고 이를 실현할 수 있는 지역 농산가공식품의 연속살균장치를 개발하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 지역 농산 가공식품의 연속살균 공정과 장치를 개발하기 위하여, 연속살균공정 설계에 필요한 농산 가공식품의 열 특성을 0 ~ 130℃의 온도범위에서 측정할 수 있는 장치를 개발하며, 연속살균공정 및 장치를 설계할 수 있는 프로그램을 개발하여, 분당 1 ~ 10리터의 주스를 130℃에서 3초간 살균할 수 있는 지역 농산 가공식품의 연속살균공정과 장치를 설계한다. 본 연구에서 설계된 살균공정과 같이 연속

살균장치를 운전하기 위하여, 살균장치의 온도, 압력, 유량을 측정하여 설계 공정과 같이 제어하기 위한 연속살균 공정 및 장치 운전상태 측정 및 제어장치를 개발한다. 지역 농산 가공식품의 연속살균 장치의 시작기를 제작하여 그 성능을 평가한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

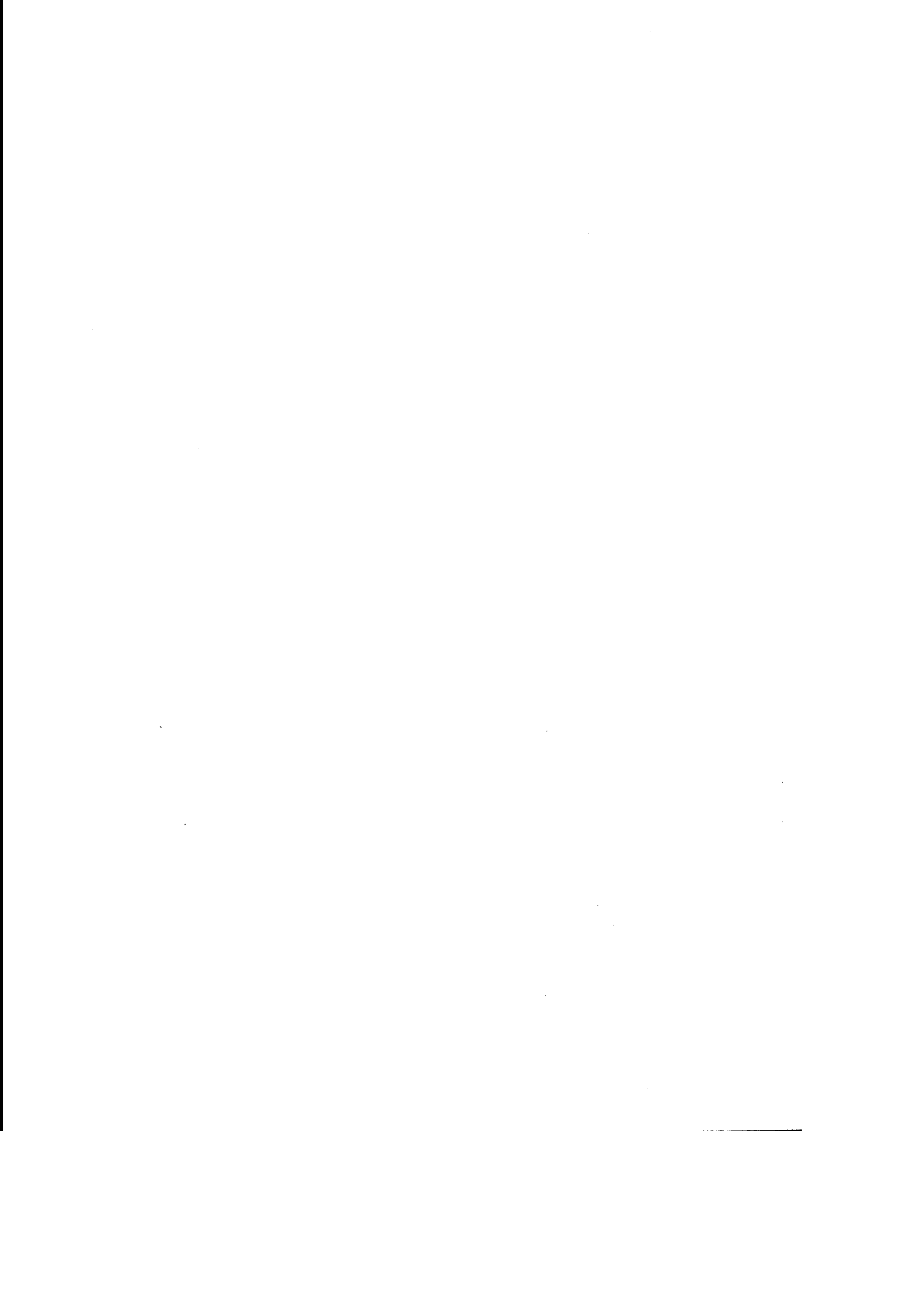
본 연구에서 농산물의 저장, 건조 및 가열 열처리 공정의 설계 및 분석에 필요한 열전도계수를 다양한 온도범위에서 측정할 수 있는 열 특성 측정장치를 개발하였으며 0 ~ 130℃의 온도에서 열전도계수를 측정할 수 있는 장치를 개발하였다. 이 장치의 정확도는 증류수와 글리세린으로 확인한 결과 1%미만의 오차를 보였다. 연속살균공정 설계 프로그램으로 포도주스의 연속살균공정을 설계할 수 있었으며 이를 구현할 수 있는 연속살균장치를 설계하고 그 시작기를 제작하여 시운전을 하였다. 시운전 결과 연속살균공정에 준하는 온도 조건에서 작동하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 연구개발 결과를 효율적으로 활용하려면 연속살균장치로 살균한 농산 가공식품의 경제적 상품성을 입증하여야 하며 이를 위하여 지역 특유의 맛과 풍미를 적용한 가공식품이 개발되어야 한다. 또한 살균된 농산 가공식품은 멸균된 용기에 위생적으로 포장할 수 있는 포장 기술이 후속적으로 개발되어야 저온에서 저장하지 않아도 변질되지 않는 상온에서 저장할 수 있는 농산가공식품을 개발 할 수 있다. 따라서 지역농산가공식품의 연속살균 공정 및 장치 연구결과의 효율적 활용을 위하여 연구결과의 홍보와 멸균포장기술에 대한 후속 연구가 진행되어야 한다.

SUMMARY

A continuous flow sterilization process and system were developed for the sterilization of agricultural processed products in liquid phase. Cut or bruised fruits during harvesting, grading, sorting, packing, or transportation process have not much of market value because of its appearance short storage life while it has about the same nutritional quality. These products can be processed in a form of fruit juice or jam for the better price at the market. For the safety and longer shelf life of these processed products, it should be properly sterilized with the minimum nutritional loss from thermal process of heating to the sterilization temperature over the required sterilization time. A continuous flow sterilization process can employ high sterilization temperature because of its short heat transfer passage and even heating. And high sterilization temperature requires shorter sterilization time, which in turn causes less nutritional loss and heating energy. For this efficient and economical High Temperature Short Time (HTST) process design, thermal properties of the processing product are required.

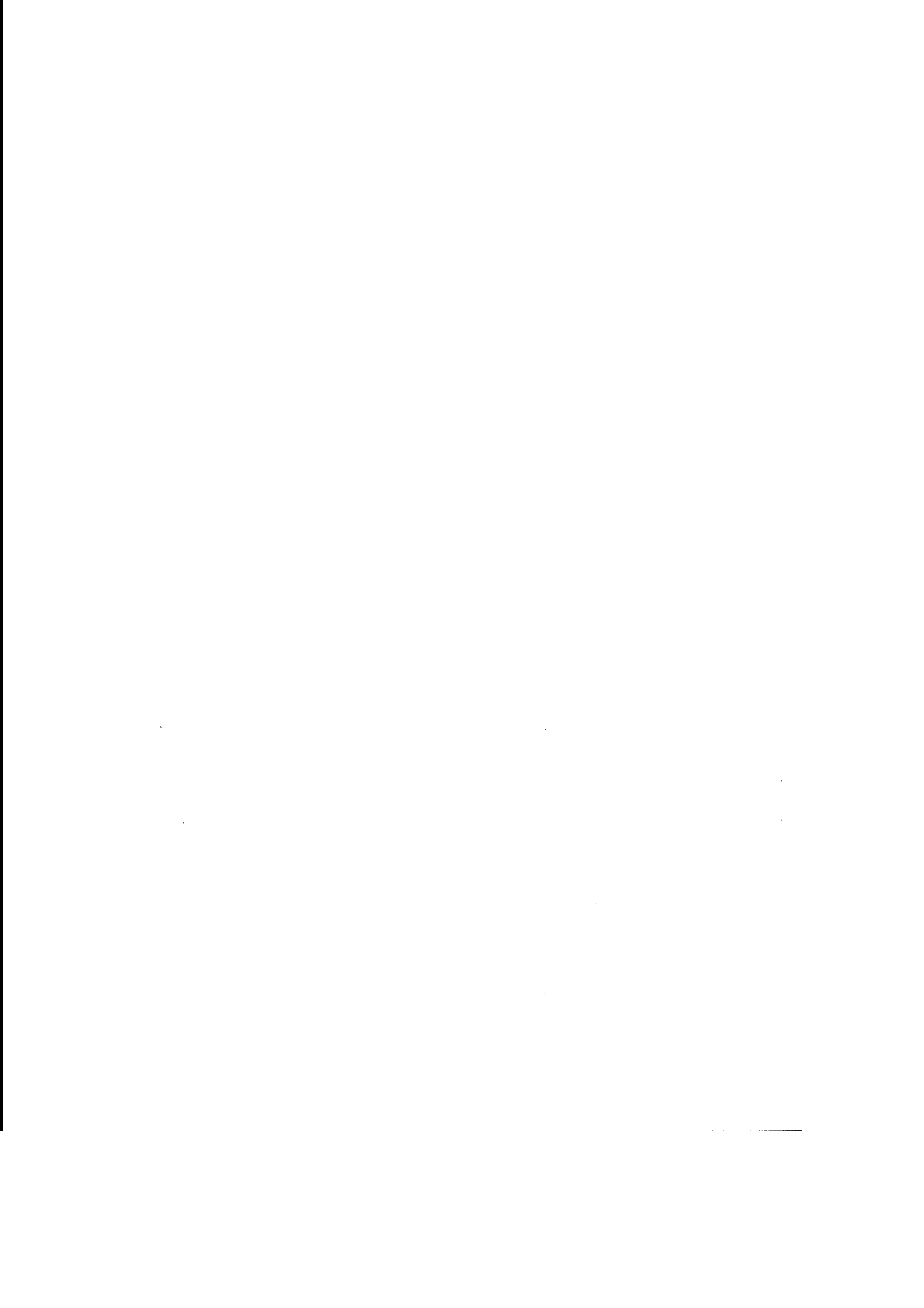
A probe type thermal conductivity measurement system was developed and it has an accuracy of less than 1% error. A internet based design program was also developed for a continuous flow sterilization process and system. The continuous flow sterilization process and system were designed and developed for grape juice to sterilize it at the rate 1 liter per minute at the sterilization temperature 130°C for three seconds. The performance of the system could be verified by the temperature at the end of the holding tube. However, the sterilized product could be recontaminated by the pathogene in the packing area, the packing area and packing materials should be sterilized. Packaging system under sterile condition needs to be developed for the installation of this research.



CONTENTS

(영 문 목 차)

SUMMARY	4
CONTENTS	5
Chapter 1. Introduction	8
A. Objectives	8
1. Apparatus for thermal property measurement	8
2. Design program for process and system of continuous flow sterilization .	8
3. Prototype system for continuous flow sterilization	8
Chapter 2. Related topics of research	14
A. Significance of the research	14
B. Contributions	16
Chapter 3. Methods, Results, and Discussion	21
A. Measurement of thermal properties	21
B. Process and system for continuous flow sterilization	47
C. Measurement and Control for sterilization process	87
D. Prototype system for continuous flow sterilization	98
References	111



목 차

제출문	1
요약문	2
SUMMARY	4
CONTENTS	5
목 차	6
제 1 장 연구개발과제의 개요	8
제 1 절 연구개발의 목적	8
1. 농산물의 열특성 측정장치 개발	8
2. 연속살균공정 및 장치 설계 프로그램 개발	8
3. 연속살균 장치 시작기 제작	8
제 2 절 연구개발의 필요성	9
제 3 절 연구 개발의 범위	12
제 2 장 국내외 관련분야의 기술개발 현황	14
제 1 절 국내외 관련분야의 기술개발 현황	14
1. 농산물의 열특성 측정장치	14
2. 연속살균 공정 및 장치	16
제 2 절 연구결과의 기여도	20
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	21
제 1 절 농산가공식품의 열특성 측정장치	21
1. 재료 및 방법	21
2. 연구 결과 및 고찰	39
제 2 절 농산가공식품의 연속살균 공정 및 장치	47
1. 연구의 방법	47

가. 살균의 이론적 배경	47
나. 연속살균장치 구성요소의 특성자료수집	51
다. 설계 프로그램 개발 환경	53
라. 살균공정 설계 프로그램	54
마. 살균장치 설계 프로그램	54
2. 연구 결과 및 고찰	58
가. 살균공정 및 장치 설계 프로그램	58
나. 설계 프로그램의 검증	78
제 3 절 연속살균 공정상태 측정 및 제어장치	87
1. 연구의 방법	87
가. 연속살균 공정 상태 인자	87
나. 측정장치 구성	88
다. 살균공정 제어장치	88
2. 연구결과 및 고찰	91
가. 연속살균 공정상태 측정 장치	91
나. 살균공정 제어장치	91
제 4 절 연속살균장치 시작기 개발	98
1. 연속살균 장치 시작기 제작	98
2. 연속살균장치의 시운전 및 성능평가	100
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	107
1. 연구개발 목표의 달성도	107
2. 연구관련분야에의 기여도	107
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	109
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	110
제 7 장 참고문헌	111

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구는 지역 농산가공식품의 저장비용 절약 및 부가가치 제고에 기여할 수 있는 지역농산가공식품의 연속살균 공정 및 장치개발에 관한 것으로 다음과 같이 3년간 (1999~2002) 연구를 수행하였다.

본연구의 연차별 목적은 다음과 같다.

1. 농산물의 열특성 측정장치 개발

- 가. 측정시료 온도조절장치 설계 및 개발
- 나. 열전도계수 및 열확산도 측정 센서 개발
- 다. 측정시료 고정장치 개발
- 라. 열특성 측정 자동화 장치 개발
- 마. 열특성 자료 분석 프로그램 개발
- 바. 열특성 측정장치의 정확도 검증
- 사. 연속살균기술의 국내활용 가능성 조사

2. 연속살균 공정 및 장치의 설계 프로그램 개발

- 가. 기존의 살균 공정 및 연속살균 공정에 관한 자료수집
- 나. 연속살균장치 구성요소의 특성에 관한 자료수집
- 다. 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램 개발
- 라. 살균공정상태 측정 및 제어 장치 개발
- 마. 포도주스의 연속살균공정 설계

3. 농산 가공식품 연속살균공정 설계 및 연속살균장치 시작기 제작

- 가. 연속살균장치 설계
- 나. 연속살균장치 시작품 제작

- 다. 연속살균장치 작동상태 측정 및 제어장치 성능평가
- 라. 설계된 연속살균 공정과 장치의 성능 평가
- 마. 연속살균장치의 기술적 경제적 효과분석

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 열특성 측정장치 개발

농산 가공식품의 가열, 냉각, 건조 및 저장 공정에서 농산 가공식품의 열특성은 공정을 설계하는데 필요한 설계인자이다. 농산 가공식품의 열특성은 식품의 구성 성분과 성분비 및 함수율에 의하여 결정된다. 농산 가공식품은 단일 재료로 가공하는 경우도 있지만 지역 특유의 맛과 영양분 및 풍미를 위하여 대부분 여러 재료를 혼합하여 가공하므로 문헌에 발표된 값을 사용하기가 현실적으로 불가능하다.

이와 같이 연속살균 공정 또는 기타 수확 후 가공 공정에서 해당 농산 가공식품의 열특성에 대한 정확한 자료가 없으면 각 공정에서 가하거나 감해야 하는 열량을 정확히 계산할 수 없으므로 경제적인 공정설계가 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 대상 농산가공식품의 열특성을 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 장치를 개발하고자 하였다.

2. 연속살균공정 및 장치의 설계 프로그램 개발

연속살균공정은 120~140℃의 초고온에서 연속적으로 농산 가공식품을 열처리하는 공정으로 표 1에서 보는 바와 같이 재래 배치(batch)식 공정에 비하여 유해세균을 살균하는데 순간적인 짧은 시간이 소요되므로 농산 가공식품의 영양손실이나 열손상이 최소화되며, 에너지가 적게 소비되는 경제적인 공정으로 선진외국에서 널리 사용되고 있다. 그러나 국내에서는 연속살균공정은 물론이고, 그 공정설계에 필요한 국산 농산 가공식품의 열특성자료나 측정장치에 관한 연구가 미미한 실정이다.

농산 가공식품의 부적절한 살균공정은 농산물의 유통과정 중, 곰팡이의 발생이나 유해 세균의 성장을 유발하여 농산 가공식품을 섭취하는 국민의 공공위생과 건강을 위협하게 된다. 농산 가공식품의 살균공정을 정확히 설계할 수 없는 경우, 농산 가공

식품을 안전하게 살균할 수 있는 적절한 살균장치의 설계가 곤란하다. 임의로 설계, 제작된 연속살균장치나 기존의 살균장치를 이용하여 다른 농산 가공식품을 살균할 경우 대상 농산 가공식품을 여러 가지 온도와 유속의 조합으로 살균장치를 시험 가동하여 경험적으로 새로운 살균공정을 결정하게 되며, 이 과정에서 막대한 양의 농산 가공식품과 시간과 가동비용이 소모된다. 또한 지역 농산 가공식품 연속살균장치를 개발하면 각 지역 특유의 안전한 향토 농산물이 개발될 수 있으며, 상업적으로도 안전한 농산물의 생산으로 농가소득에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 측정된 국산 농산 가공식품의 열특성을 기초로 하여 경제적이고 효율적인 살균공정을 설계할 수 있고, 그에 상응하는 연속살균장치를 설계할 수 있는 프로그램의 개발이 필요하다.

3. 농산 가공식품 연속살균공정 설계 및 연속살균장치 시작기 제작

국내 과수 농가의 수확, 운반, 선별, 포장 작업중에 손상된 과일은 상품적 가치가 없으므로 주스나 잼과 같은 가공식품으로 만들면 경제적 손실을 만회할 수 있다. 이와 같은 주스나 잼은 적절히 살균되어야 안전하게 장기간 저장, 유통시킬 수 있다.

연속살균공정은 농산 가공식품을 120~140℃의 초고온에서 연속적으로 살균하기 때문에 재래 배치식 살균공정에 비하여 순간적인 짧은 시간이 요구되므로 에너지 소비가 감소되며, 영양손실과 열손상의 감소되어 농산 가공식품의 품질이 향상되므로 농산물의 부가가치가 증대된다. 또한 지역 농산 가공식품의 연속살균기술의 보급으로 농산물을 안전하게 가공하고 위생적으로 장기간 저장할 수 있으므로 농촌 지역특유의 가공식품을 시장에 출하할 수 있게 된다. 따라서 농가소득의 향상은 물론 우리나라 지역에 특유한 농산물이 개발을 촉진할 수 있다.

연속살균공정에서 농산 가공식품을 냉각 후 포장하기 때문에, 금속 캔이나 유리 병과 같은 값비싼 포장용기 대신 테트라팩과 같은 저렴한 포장용기를 사용할 수 있으므로 포장비용이 절감되며, 연속적으로 살균하기 때문에 생산성이 향상된다. 따라서, 이와 같은 효율적이고 경제적인 살균공정과 기술을 지역 농산가공식품에 적용시키기 위하여 연속살균 기술 및 장치의 국산화가 필요하므로 연속살균 기술의 발전 및 축적을 위하여 연속살균장치 시작기를 제작할 필요가 있다.

표 1. 연속살균기술과 배치식 살균기술의 비교

	연속살균기술	배치식 살균기술
살균시간	3초 - 40초	5분 - 20분
제품품질	가열시간이 짧으므로 제품의 열손상이 적으며 따라서 영양손실이 감소되어 제품 품질이 향상된다.	가열이 불균일하게 되므로 가열 온도가 제한되며 따라서 가열시간이 길어 연속살균에 비하여 영양손실이 크다.
생산성	순간적으로 가열·냉각하는 연속공정으로 정체성이 없으므로 생산성이 높다	배치식 공정으로 가열·냉각에 시간이 많이 걸리며 경제적 공정으로 생산성이 낮다.
포장용기 비용	상온의 냉각된 제품을 포장하므로 저렴한 테트라팩, 팻트 병 등을 사용	용기안에 포장하여 고압에서 살균하므로 주석도금 강통, 유리병사용
에너지 소비	초고온에서 짧은 시간동안 가열되므로 에너지 소비가 감소된다.	연속살균에 비하여 가열하는데 시간이 많이 걸리므로 더 많은 에너지가 소비.

제 3 절 연구개발의 범위

지역농산가공식품의 연속살균공정 및 장치 개발에 대한 기술개발 및 축적을 위하여, 본 연구는 다음과 같이 공정설계에 필요한 열특성 측정장치 개발하여 대상 지역 농산가공식품의 열특성을 측정하고, 열특성 자료를 이용하여 연속살균 공정 및 장치 설계를 할 수 있는 프로그램 개발하며, 이 프로그램으로 공정과 장치를 설계하여, 연속살균장치 시작기를 제작하여 그 성능을 평가하는 것으로 구성하였다. 그 구체적 내용은 다음과 같다.

1. 농산물의 열특성 측정장치 개발: 농산물의 열특성을 신속 정확히 측정할 수 있는 측정장치를 개발한다.

가. 농산물의 열특성을 온도별로 측정하기 위하여 시료의 온도를 조절하고 제어하는 장치를 개발한다.

나. 농산물의 열전도계수를 측정하기 위하여 열전도계수 측정용 센서를 개발한다.

다. 농산물을 연속살균환경과 같은 조건에서 열특성을 측정하기 위하여 140℃의 고온 고압에서 사용할 수 있는 시료고정장치를 개발한다.

라. 열특성 측정을 객관화하고 측정오차를 최소화하기 위하여 열특성 측정을 자동화할 수 있는 측정자동화 장치를 개발한다.

마. 측정자동화 장치로 수집한 자료를 분석하여 측정 농산물의 열전도계수를 계산하는 분석 프로그램을 개발한다.

바. 개발된 열특성 측정장치로 열특성이 제시된 표준 시료의 열특성을 측정하여 측정 장치의 정확도를 검증한다.

사. 농산 가공식품으로 사과 주스를 선택하고 살균공정설계에 필요한 열특성을 상온에서 140℃의 온도별 열특성을 측정한다.

2. 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램 개발: 국산 농산물의 측정된 열특성자료를 입력변수로 사용하여 연속살균 공정과 장치를 설계할 수 있는 프로그램을 개발한다.

- 가. 문헌에 제시된 기본 살균공정 조건과 종류 그리고 장치의 구비조건에 관한 자료를 수집 정리하여 연속살균공정과 장치 설계에 기본 자료로 사용한다.
- 나. 펌프, 가열용 열교환기, 단열부, 냉각용 열교환기 및 저장탱크와 같은 연속살균장치 구성요소의 유형별 처리 용량 및 특성에 관한 자료수집을 하여 데이터베이스 개발하고 설계의 기본자료로 사용한다.
- 다. 연속살균 공정 시뮬레이션 모델을 이용하여 공정을 설계하고, 연속살균장치 구성 요소에 대한 데이터베이스를 이용하는 연속살균 장치 설계 프로그램을 개발한다.
- 라. 사과주스에 대한 연속살균 공정을 분당 1 liter를 살균할 수 있도록 설계한다.
- 마. 연속살균장치에 필요한 살균공정 계측 및 제어 장치를 개발한다.
- 사. 연속살균기술의 국내 활용가능성을 조사한다.

3. 지역 농산가공식품(사과, 배, 토마토 주스 등)의 연속살균공정 설계 및 연속살균장치 시작기 제작: 사과 주스를 분당 1 liter의 속도로 살균할 수 있는 연속 살균공정을 실현할 수 있는 연속살균장치를 설계하고 이를 구현하기에 적합한 연속살균장치 구성요소를 선정하여 연속살균장치 시작기를 제작하고 그 성능을 검증한다.

- 가. 사과주스를 130℃의 초고온에서 분당 1 liter로 연속 살균할 수 있는 연속살균 장치를 설계한다.
- 나. 설계된 연속살균 장치의 시작품을 제작한다.
- 다. 시작품 연속살균장치의 살균공정의 작동상태를 측정하기 위하여 2차년도에 개발한 온도와 압력 및 유량을 측정할 수 있는 장치를 설치한다.
- 라. 시작품 연속살균장치의 살균공정 작동상태를 설계된 살균공정의 주어진 작동조건으로 제어 할 수 있도록 장치내의 온도, 압력, 유량을 제어하는 장치를 설치한다.
- 마. 설계된 사과주스의 연속살균 공정을 제작된 시작품 사과주스 연속살균장치로 시험하고 개발된 장치의 성능을 검증한다.
- 사. 최종적으로 사과주스 연속살균장치의 기술적 경제적 효과를 분석한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 관련분야의 기술개발현황

1. 농산물의 열특성 측정장치

농산물의 열적·물리적 특성은 가열 가공공정설계에 필요한 필수 설계인자이다. 농산물의 대표적 열특성에는 비열과 열전도계수 및 열확산도가 있다. 비열은 DSC(Differential Scanning Calorimetry)로 정확히 측정할 수 있다(Mohsenin, 1980). 열전도계수는 열탐침(thermal probe)을 이용한 측정장치를 사용하면 정확히 측정할 수 있다(Hong et al. 1998). 열확산도는 비열과 열전도계수의 함수로 비열과 열전도계수를 측정하여 계산한다.

농산물의 열전도계수의 측정방법에는 정상상태방법(steady state method)과 과도상태방법(transient state method)이 있다. 정상상태방법 중 단열판 가열방법(the guarded-hot-plate method, ASTM C177-85, 1995)이 가장 정확하고 널리 사용되는 방법이나 단열재와 같은 함수율이 낮은 물질에 사용할 수 있는 방법이다. 농산물과 같이 함수율이 높은 물질은 정상상태에 이르기까지, 측정물질 내부에서 온도구배에 따른 수분이동이 발생하여 이 방법은 적합하지 않다.

과도상태방법 중 과도열선방법(transient hot-wire method)이 액상 상태의 물질의 열전도계수 측정에 가장 정확한 방법이나(Nietro de Castro et al., 1986; Ramirez et al., 1995), 열선의 온도측정 방법이 고가이며, 고체상태 물질의 열전도계수 측정에는 적합하지 않다. 열탐침을 이용한 과도 측정법(thermal probe method)은 과도열선방법과 같이 선-열원방법(line heat source method)의 일종으로 무한한 원통형 물체의 중심축에 선-열원이 있는 열전달 모델을 가정하여, 반경방향의 1차원 열전달(1-D radial heat transfer) 모델이다. 이 방법은 측정시료에 열전도계수 측정 탐침을 용이하게 설치할 수 있으므로 액상과 고체상태의 물질의 열전도계수 측정에 다양하게 사용되었다. 그 사용 예로 토양(Hooper and Lepper, 1950), 실리콘 고무(Nix et al., 1967), 과일 채소류(Sweat, 1974), 소고기(Baghe-Khandan and Okos, 1981), 토마토 주스(Choi and Okos, 1983), 액상 화학물질(Asher et al., 1986), 보리, 콩, 완두(Alagusundaram, 1991) 및 감자(Wang and Brennan, 1992) 등 다양한 물질의 열전도

계수의 측정에 사용되었다.

Schleiermacher 등(1888)이 최초로 열탐침을 이용하여 열특성을 측정한 이래 열탐침을 이용한 열특성 연구는 Van der Held와 Van Drunen(1949)에 의해 열전도계수와 열확산계수를 열선과 열전대를 삽입한 탐침을 사용하여 이론적인 체계를 확립하였다. 이들은 물, 메탄올, 벤젠, 아세톤 등의 액체의 열특성을 측정하였으며 탐침에 삽입되는 열선의 두께가 열특성에 미치는 영향과 탐침의 직경의 크기에 따른 영향을 연구하였다.

이 측정방법을 기초로 하여 Hooper 등(1950)은 기존의 장치보다 빠르고 간편하게 열전도계수와 열확산계수를 얻을 수 있는 장치를 개발하여 토양, 모래, 버터 등에 사용하였으며 또 탐침의 유한 길이 때문에 생기는 축류 열흐름(axial heat transfer)의 효과를 최소화하기 위해서 길이대 직경의 비(L/D)가 100이 되도록 추천하였다.

Nix 등(1967)은 열탐침을 이용한 선열원방법(line heat source method)을 제시하였으며 이 방법은 기존의 방법에 비하여 보다 정밀한 결과를 나타내었다. Sweat 등(1974)은 열전도계수 측정에서 탐침의 직경이 크기 때문에 발생하는 시간 수정 요소를 없애기 위해서는 직경이 매우 작은 열탐침을 만들 것을 제안하였다.

D'Eustachio 등(1952)과 Sweat(1986)는 열전도계수 측정에서 탐침의 크기가 크기 때문에 생기는 시간 수정 요소를 없애기 위해서는 매우 작은 크기의 열탐침을 만들 것을 제안했다.

Morley(1966)는 탐침 내부의 열전달을 증가시키기 위하여 열전도계수가 높은 물질을 채우는 방법을 제시하였다. 그는 탐침내부에 에폭시를 충전하였으며, Tong(1989)은 수은을 사용하였다.

Baghe-khan-dan 등(1981)은 기존 탐침이 주사바늘 속에 절연된 열선과 열전대를 삽입하는 제작의 어려움 때문에 주사 바늘 대신에 스테인리스 바늘침을 사용하여 탐침으로 이용하였다.

Asher 등(1989)은 탐침의 보정계수를 사용하지 않고도 추천값과 비교해 5%의 정확성을 가지는 탐침을 만들었다. 하지만 더 작은 탐침 직경과 더 큰 L/D, 탐침 전체 길이에 대해 더 균일한 탐침을 사용해야 하여야 하는 향상의 여지가 남아있었다.

Murakami 등(1993)은 탐침내부의 온도강하를 최소화하기 위해서 높은 열전도계

수의 페이스터를 사용하였으며 탐침의 열질량과 보정계수 등에 대한 충전물의 효과를 연구하였으며, 그들은 탐침의 열적 안정성을 위해서는 적당한 충전물의 선택이 필요하다고 제시하였다.

이상과 같이 열탐침을 이용한 열전도계수 측정방법은 그 사용법의 편리함과 정확성으로 널리 사용되고 있으나, 측정원리의 가정인 무한 원통형 물체의 중심축에 위치한 선열원에 대한 1차원 반경방향 열전달 모델에서 열탐침의 크기와 이상적인 선(line)과의 차이에서 발생하는 측정오차를 줄이기 위한 연구가 진행되어 왔으며, 이들 연구 결과는 Murakami 등(1996)에 의하여 열탐침 설계의 고려사항으로 정리되었다.

그러나 열탐침의 직경이 가능한 작고, 길이가 길면 ($L/D > 100$) 측정 정확도를 향상시킬 수 있으므로(Asher 등, 1989), 고온 고압에서 측정 가능한 견고하고 직경이 작은 열탐침의 개발이 필요하다.

2. 연속살균 공정 및 장치

미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 대학 및 연구소를 중심으로 연속살균공정(Aseptic processing)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 연속살균 공정과 장치는 이미 다양한 식품에 대하여 적용되고, 상용화되어서, 연속살균 공정으로 살균된 제품이 국내에도 시판되고 있다. 그러나 이와 같은 연속 살균공정과 장치는 일괄 수입되어 사용되므로 지역 농산 가공식품과 같이 다양한 성분의 제품을 연속 살균하려면 대상 식품의 성분특성에 따른 열특성자료를 사용하여 살균공정을 설계하고 이에 준하는 장치를 설계하거나 기존 장치를 설계된 공정에 따라서 운전해야 하나 시행착오법으로 적절한 운전조건을 결정해야 하는 어려움이 있다.

연속살균공정은 포장용기와 농산물을 각기 다른 별도의 장치에서 살균하고 무균 공간에서 포장용기에 농산물을 담아 밀봉하는 공정이다. (Food Process Institute, 1989). 연속살균공정에서 농산물은 가열 열교환기를 통과하면서 살균온도로 순간적으로 균일하게 가열되며, 이 온도는 단열된 파이프를 지나는 동안 유지되어 가공농산물에 포함된 유해 세균뿐만 아니라 세균의 포자(spore)도 박멸하고 이어서 냉각 열교환기를 통과하면서 상온으로 냉각된다. 살균된 상온의 가공 농산물은 무균 공간에서 미리 별도로 살균된 포장용기에 채워지고, 밀봉하게 된다. 포장용기에 농산물을 담아 밀

봉한 후 용기안의 농산물을 살균하는 재래적 캔닝(canning) 살균방법과 달리 농산물의 가열이 연속적으로 이루어지므로, 가열이 균일하게 되어 120~140℃의 초고온을 사용할 수 있다. 살균온도가 높으면 유해세균의 살균에 필요한 시간이 짧아지므로 에너지 소비가 감소되며, 영양손실과 열손상이 감소되어 품질이 향상된다. 또한 연속적으로 공정이 이루어지므로 생산성도 향상되는 이점이 있다. 또한 상온의 가공품을 포장하기 때문에 병이나 양철 깡통이 아닌 저가의 다양한 포장용기를 사용할 수 있으므로 포장비용이 감소된다. 이와 같이 연속살균공정은 효율적이고 경제적인 살균방법으로 우유, 요구르트, 콩우유, 아이스크림, 맥주, 포도주, 유아식, 마요네즈, 수프, 사과주스, 사과 소스, 바나나, 토마토 케첩, 과일주스, 이온음료, 음료수 등에 다양한 가공품에 많이 사용되고 있다.

이와 같은 효율적이고 경제적인 연속살균공정 및 기술을 개발하기 위하여 대상 농산물의 열적 특성과 물리적 특성에 관한 자료가 필요하다. 연속살균공정에 영향을 미치는 요인으로 액상식품인 경우, 비중, 열전도계수, 비열, 점성특성, water activity, 산도(pH), 세균 오염정도, 기포함유량이 있으며, 고상의 물질을 포함한 경우 액상 식품에 필요한 것 이외에 크기, 모양, 밀도 등이 있다. 산도가 낮은 물질을 살균하는 경우에 세균 *C. botulinum*을 사용하여 살균공정의 살균정도를 측정한다. 연속살균공정에 영향을 미치는 장치의 작동 요인으로 가공품의 공급률, 온도, 압력, 장치의 오염세균으로 부터의 밀폐도가 있다. 이상의 특성은 기존의 측정장치로 측정할 수 있으나, 고체상태의 함유물이 있는 경우, 그 물체의 중심에 유해 세균을 멸균하는데 충분히 높은 온도와 시간이 주어졌는지에 대한 의문으로 특히 저산도의 식품은 이와 같은 기술의 혜택을 못받고 있는 실정이다.

고상물질의 중심부의 온도는 액상물질과 고상물질간의 열전달계수에 의하여 결정되며, 살균시간은 고상물질이 열교환기와 단열부를 통과하는 시간으로 결정된다. 고상물질과 액상물질 사이의 대류열전달계수는 고상물질의 중심부의 온도를 측정하여 결정할 수 있다. 그러나 고상의 물질이 연속살균장치를 통과하는 과정에서 다른 고상물질과 충돌하거나 벽에 부딪치고, 또는 회전하기 때문에 고상물질이 이와 같이 자유로이 운동할 때 이 이동특성에 영향을 주지 않고 그 중심부의 온도를 측정하는 것이 현재의 기술로 불가능하다. 또한 고상물질이 살균과정에 머무는 시간(residence time)

은 물체의 운동특성에 따라 일정하지 않은 특성이 있으며 그 운동특성은 물질의 밀도, 크기, 형상에 영향을 받게 된다. 이와 같은 문제로 저산도의 농산물, 특히 고상의 물질을 포함한 경우 연속살균기술의 적용이 곤란하며 이를 극복하기 위한 연구가 세계 각국에서 진행되고 있다.

1810년경 프랑스의 Nicholas Appert에 의해 열처리를 이용한 식품보전 방법이 소개되었다(Gould, 1995). 그 후 Bigelow 등(1920)에 의해 열처리를 이용한 식품가공공정에 대한 미생물의 역학적 모델이 개발되었다. 그는 미생물의 생존곡선을 열에 대한 1차원 모델로 나타내었다. Ball 등(1957)은 Bigelow등이 이용한 General Method의 단점을 보완하여 공정에 대한 수식을 만들었다. 그의 방식은 실측 온도에 크게 의존하지 않았기 때문에, 다른 공정에서의 살균도(F value)를 쉽게 추론할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 냉각과정에서 오차가 크게 나타나는 단점이 있었다. Stumbo(1973)는 Ball이 작성한 데이터를 더욱 향상시켜 테이블로 나타내었다. Ball의 방법과 비슷하지만, 냉각 과정의 온도 예측부분이 향상되었으며, 컴퓨터를 이용하여 더욱 더 정확하게 공정을 예측할 수 있게 되었다(Stoforos 등, 1997). 다른 연구자에 의해 열 외에도 많은 인자들의 영향을 받는다는 것을 밝혔다.

미생물의 내열성에 대한 Bigelow와 Ball의 연구결과는 배치식 살균공정의 공정 설계에 이용되고 있다. Richardson 등(1989)은 배치식 살균공정을 수학적으로 모델링하였고, 그를 통해 공정을 제어하고자 하였다. 그는 실험식을 이용한 모델과 해석적 모델, 그리고 유한차분법(Finite Difference Method)을 이용한 모델로 살균 공정을 모델링했으며, 세 모델은 모두 가열 과정에서는 정확하게 온도 변화를 예측하였다. 그러나, 해석적 모델은 시간을 더 늦게 예측하였으며, 유한차분모델은 냉각과정에서 정확도가 떨어지는 단점을 보였다.

연속식 살균공정은 크게 두 가지 모델로 나뉜다(Holdsworth, 1989). 가열 과정동안 튜브 내에서의 유체의 속도분포를 이용하여 식품의 살균도를 계산하는 방법(Charm, 1966)과 Burton의 세균의 내열성에 대한 데이터를 이용하여 식품 내 잔존 세균을 계산하는 방법(Holdsworth, 1970)이 있다. Ibarrola등(1998)은 HTST 살균공정(High Temperature Short Time sterilization)을 수학적으로 모델링하였다. 그는 공정의 유속을 변수로 하여 공정을 검증하였다. 그는 수학적으로 모델링된 공정을 통해 실제 공정에서도 살균공정을 제어할 수 있음을 보였다. Datta(1999)는 튜브를 층류로 흐르는 non-Newtonian 유체의 heat transfer

coefficient를 수학적으로 모델링하였다. 유체의 non-Newtonian 특성이 증가하면 대류열전달 계수는 감소하였으며, 실제 non-Newtonian 유체의 Nusselt Number는 flow index가 4일 때의 값에 가까워지는 것을 확인하였다. Armenante 등(1993)은 고형물을 포함하고 있는 식품에 대하여 연속살균장치를 제작하는 방법에 대하여 연구하였다. 그는 살균기 내에서의 액상과 고형물의 온도-시간 그래프와 가열유지관(holding tube) 내에서 살균되는 시간을 수식으로 나타내었다. 그는 식품 내 고형물로 인하여 연속살균의 효과가 감소되며, 고형물의 크기 및 물리적 특성이 살균장치를 설계하는 데 큰 영향을 끼친다고 보고하였다.

지역농가에서 지역특산물의 부가가치를 높이기 위해 가공 판매하는 경우가 많아졌으며, 대표적으로 포도나 사과와 같이 액상식품으로 가공되는 경우가 있다. 이와 같이 액상식품으로 가공을 할 경우에는 식품의 위생과 신선도를 유지하고 저장성을 향상시키기 위해 살균공정이 필수적이다. 액상식품으로 가공된 경우에는 연속식 살균공정을 이용하는 것이 생산성 및 식품의 품질면에서 배치식에 비해 좋다는 장점을 가지고 있다.

그러나, 국내에서는 연속 살균 기술에 대한 연구사례가 거의 없으며 외국의 연속살균장치를 수입하여 사용하고 있는 실정이므로 새로운 식품을 살균하기 위해서는 살균장치를 다시 설계해야 한다는 어려움이 있다. 그리고, 살균공정을 설계할 수 없으므로, 살균장치를 특정 식품에만 이용한다는 단점이 있다. 따라서, 농가에서 지역 특산물을 가공하여 살균처리하기 위하여 기존의 다른 식품의 살균공정을 이용하거나 살균공정을 다시 설계해야 하는 어려움이 있다.

연속살균공정과 연속살균장치를 식품의 특성에 따라 설계할 수 있으면 지역농가에서 마을 단위나 농협단위로 연속살균시설을 공동 이용할 수 있으며, 그 지역에서 생산되는 특산물을 살균할 수 있어 효율적일 것이다.

제 2 절 연구결과의 국내외 기술개발현황에서 차지하는 위치

1. 열특성 측정장치 개발

열탐침을 이용한 열특성 장치는 열탐침의 구조와 구성이 간단하여, 국내외 많은 연구가 진행되었으나, 열전도계수의 측정 정확도는 시료의 온도제어 기술과 작은 직경의 탐침의 제작기술 및 열탐침의 온도-시간 특성곡선의 분석 기술에 의하여 결정되며, 이로 인하여, 기존의 국내외에서 개발된 열특성 측정장치들은 한천 용액을 이용한 번거로운 정확도 보정과정이 필요하나 본 연구에서 개발된 열탐침 측정 기술은 0.5mm의 작은 직경에 길이 대 직경의 비(L/r)가 100 이상으로 개발되어 번거로운 보정과정을 생략할 수 있는 장점이 있다. 또한 고온 열가공에서 공정 설계에 필요한 농산가공식품의 열특성 자료를 그와 동등한 고온 고압의 환경조건에서 측정할 수 있는 측정 장치 및 기술을 개발하여, 국산 농산 가공식품의 열특성을 신속 정확히 측정할 수 있게 되었다. 앞으로 이 장치 개발로, 국산 농산물의 열특성자료의 데이터베이스가 구축될 것이며, 정확한 가공공정 설계에 활용될 수 있을 것이다.

2. 연속살균 공정 및 장치 개발

연속살균 공정 및 장치는 이미 선진 외국에서 상용화되어 우유, 유가공품 및 청과·야채 주스류에 적용한 제품이 시판되고 있으며 국내에도 연속살균장치를 적용한 가공제품이 대형 식음료회사에서 생산 시판되고 있다. 그러나 이와 같은 연속살균장치와 살균공정 설계비용은 고가이므로 지역 농산 가공식품에 적용하는 것이 용이하지 않다. 본 연구에서 개발된 연속살균공정과 장치 설계 프로그램 및 연속살균장치 시작기는 지역 농산 가공식품의 연속살균기술의 개발과 발전 및 축적으로 향한 시발점으로 향후 계속적인 연구와 개발로, 과수 농가의 수확, 운반, 선별 및 포장과정에서 손상된 과일을 주스로 만들고, 연속살균하여, 안전하고 위생적이며, 지역 특유의 풍미를 가진 지역 고유의 주스 상품을 개발할 수 있다. 따라서 손상된 과일의 경제적 손실을 만회할 수 있도록 기여하게 된다. 농촌보급형 연속살균장치의 개발로 각 농촌 특유의 새로운 농산물 가공식품의 개발이 기대되며 이에 따른 농가 소득의 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 농산가공식품의 열특성 측정장치

1. 재료 및 방법

가. 열탐침 방법의 이론적 배경

열전도계수 측정의 열탐침 방법에 관한 이론은 선열원 방법(line heat source method)에 기초를 두고 있다. 이 이론의 기본 가정은 다음과 같다.

- ① 무한 실린더의 1차원 열전도로 그 중심축에 선열원을 가지고 있다.
- ② 매질은 초기에 균일한 온도에 있고 열적·물리적 상태는 균일하다.
- ③ 시간이 0일때, 일정한 비율의 열이 발생되며 그 후에도 일정하게 유지된다.
- ④ 발생된 열은 1차원 반경방향으로만 전달된다.

선열원 부근의 임의의 한 지점에서 온도 상승은 열전도계수를 포함한 물질의 열 특성값의 함수이며, 이 열전도 과정에 대한 Fourier의 미분방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right) \quad (1)$$

여기서, r : 원통 중심에서 반경방향으로의 거리 (m)

t : 시간 (sec)

a : 시료의 열확산 계수 (m^2/sec)

T : 온도

만일, 시료의 온도가 $t \leq 0$ 일 때 T_0 라 하면 $t \geq 0$ 일때 $T = T_0 + \Delta T$ 이며,

해는 아래의 경계조건 및 초기조건에 따라 정해진다. 여기서 ΔT 는 선열원으로 인한 온도상승 값이다.

초기조건 : $t \leq 0$, 임의의 r 에서

$$\Delta T(r, t) = 0 \quad (2)$$

경계조건 : $t \geq 0$, $r = 0$ 일 때

$$\lim_{r \rightarrow 0} [r \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)] = -\frac{Q}{2\pi k} \quad (3)$$

$t \geq 0$, $r = \infty$ 일 때

$$\lim_{r \rightarrow \infty} [\Delta T(r, t)] = 0 \quad (4)$$

이 선열원 모델에 대한 Fourier 방정식 (1)의 해는 Carslaw와 Jaeger(1959)에 의 해 다음과 같이 표시된다.

$$T = \frac{Q}{2\pi k} \int_{\frac{r}{2\sqrt{at}}}^{\infty} \frac{e^{-\beta^2}}{\beta} d\beta \quad (5)$$

여기서, T : 온도 (K)

Q : 열선 단위 길이당 투입열량 (W/m)

k : 열전도계수 (W/m · K)

e : 오일러 상수 (=0.5772)

β : 무차원 수 = $\frac{r}{2\sqrt{at}}$

r : 선열원으로 부터의 거리 (m)

t : 열흐름의 시작부터의 시간 (sec)

a : 열확산계수 (m²/sec)

식 (5)를 무한 급수로 전개하면 다음과 같이 된다.

$$T = \frac{Q}{2\pi k} \int_{\frac{r}{2\sqrt{at}}}^{\infty} \frac{e^{-\beta^2}}{\beta} d\beta$$

$$= F - \ln\left(\frac{r}{2\sqrt{at}}\right) + \frac{\frac{r}{2\sqrt{at}}^2}{2} - \frac{\frac{r}{2\sqrt{at}}^4}{8} + \dots \dots \dots \quad (6)$$

이 식에서 F는 상수이며, 만약 $\frac{r}{2\sqrt{at}}$ 이 충분히 작다고 가정하면 세 번째 항부터는 무시할 수 있다. 따라서, 식(6)에서 시간 t_1 과 t_2 사이의 온도상승 ΔT_{12} 을 나타내면 아래와 같다.

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1 = \frac{Q}{4\pi k} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (7)$$

(7)식을 이용하여 ΔT_{12} 와 $\ln(t)$ 에 대한 직선관계의 기울기로부터 열전도 계수 k 를 결정할 수 있다. 즉, Q 와 k 는 상수이므로 온도상승은 $\ln(t)$ 의 선형함수이므로 식(7)에서 온도- $\ln(t)$ 곡선의 기울기를 측정함으로써 k 값을 결정한다.

나. 열전도계수 측정 센서

열전도계수로 대표되는 농산물의 열특성을 측정할 수 있는 센서를 그림 2와 같이 설계하였다. 열특성 측정센서는 열전도 측정센서(a)와 열확산도 측정센서(b)로 구성되며, 열전도 센서는 길이 62mm, 직경 0.4mm의 스텐레스 주사기 강관에 0.02mm의 열선과 0.015mm의 열전대를 설치하여 제작하였으며, 열확산도 센서는 길이 62mm, 직경 0.3mm의 스텐레스 강관에 0.015mm의 열전대를 설치하고 열전도 센서와 1.5mm 떨어진 곳에 위치하여 시료의 온도구배를 측정한다.

탐침에 사용한 주사기 강관은 Popper & Sons사 제품으로 길이대 직경의 비가, $L/D > 100$ 으로 제작하였다. 이와 같이 작은 탐침을 사용하면 탐침 보정계수가 필요

없으며 탐침 내부에 충전물을 채우지 않아도 된다. 열선으로 온도에 따른 저항의 변동이 적은 Physitemp사 Neoflon-insulated 40-gauge 콘스탄탄선(constantan wire)을 사용하였으며, 저항값은 $255 \Omega/m$ 이었다. 콘스탄탄선은 5ohm degree 당 10^{-6} ohm의 낮은 온도계수를 가지며, m당 9.8ohm으로 열선으로 적합하다. 이와 같은 센서를 선열원 측정원리(line heat source method)에 따라서 개발하였다.

열전대는 Physitemp사의 Teflon-insulated 44-gauge type-T thermocouple을 사용하였다. 온도 측정 센서는 열전도 계수 측정 센서와 같은 크기와 재질의 탐침과 열전대로 구성하였다. 이 센서는 열전도계수 값을 측정하기 전과 측정하는 동안 샘플 내부의 시료의 온도 변화를 알아보기 위해 설치하였다. 열전도센서와 온도측정센서는 테프론 재질의 탐침구조물을 제작하여 고정하였다. 탐침구조물의 중심축에 열전도 계수 측정센서를 설치하였으며, 온도센서는 중심축에서 0.15mm 떨어진 거리에 설치하였다. 그림 1은 열특성 측정 센서의 사진을 나타내고 있다. 열특성 측정센서를 장착할 수 있는 원통형 측정시료고정장치를 그림 2의 오른쪽 도면과 같이 개발하였다. 시료 고정장치는 청동으로 벽면 두께 5.0mm로 설계하여 제작하였다.

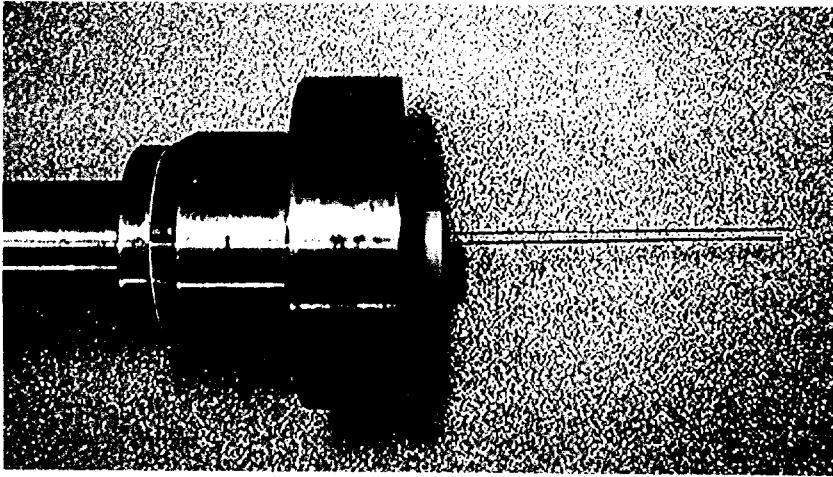


그림 1. 열특성 측정용 센서

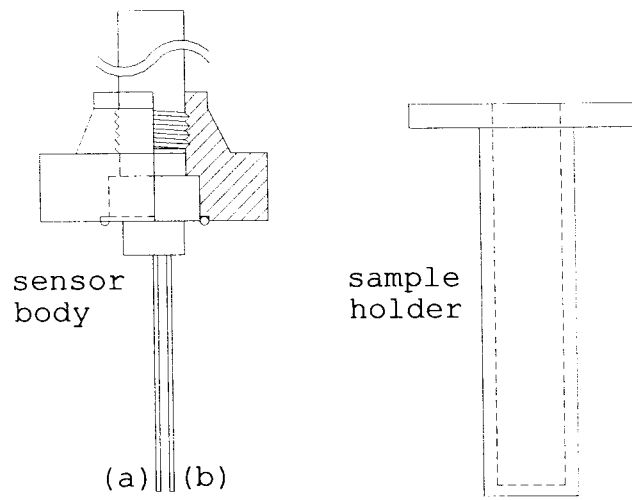


그림 2. 열특성 센서 (a) 열전도계수, (b) 열확산계수 및 시료고정장치 개략도

다. 열특성 측정시료의 온도조절장치

농산 가공식품의 열특성을 일정 온도 수준에서 측정하기 위하여 시료의 온도를 일정하게 유지시키는 장치를 상온용 열특성 장치와 고온고압용 열특성 장치로 설계 개발하였다.

온도조절장치는 PWM(Pulse Width Modulation)방법을 이용하였으며, 20, 40, 60, 80℃의 온도범위에서는 저온측정용 온도조절장치를, 그리고 100, 120, 140℃의 온도범위에서는 고온 고압용 온도조절장치를 사용하였다. 시료 온도조절은 온도의 차이(목표 온도 - 측정온도)에 따라서 표 1과 같이 5단계로 나누어 가열시간(Duty, %)를 설정하였다. 사용한 가열시간 주기는 5sec로 설정하였다. 측정온도는 수조의 온도를 두 지점에서 측정한 온도의 평균으로 대표하였다.

시료 온도제어를 위하여 시료의 설정온도와 측정온도와의 차이에 따라서 NI Multifunction I/O 보드를 이용하여 신호를 발생하였으며 이 신호를 컴퓨터 인터페이스로 입력하여 표 1에 표시된 Duty Cycle과 같이 온도차이가 5℃이상인 경우 80% Duty로 전열기를 4초간 켜주고, 1초간 꺼주었으며 온도차이가 0.6℃이상인 경우 10% Duty로 0.5초간 켜주고, 4.5초간 꺼주었으며, 온도차이가 작은 0.0℃이상인 경우 2%의 Duty로 수조의 벽체를 통한 열손실을 보상하기 위하여 전열기를 0.1초간 켜주고 4.9초간 꺼주어 온도를 일정하게 유지하는 동작을 열특성측정 자동화 장치로 제어하였다.

그림 3과 4는 각각 5는 본 연구에서 개발한 저온용 온도조절장치의 구조도와 사진이다. 저온용 온도조절장치의 온도조절 성능 시험결과 40, 50, 60℃에서 온도편차는 ± 0.02 ℃내외였으며, 80℃에서는 온도편차가 ± 0.04 ℃내외였다. 저온에서보다 고온에서 온도편차가 큰 것은 대기온도와의 온도차가 커져서 온도조절장치와 실험실 대기의 열전달이 증가하여 발생한 것으로 사료된다. 그러나 목표온도에 도달한 후 수조의 온도와 시료의 온도가 0.05℃ 미만의 차이에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 그림 6은 고온용 온도조절장치의 사진이다. 고온용 온도조절장치의 온도조절 성능시험결과 120℃에서 ± 0.05 ℃미만의 온도차이를 보였다.

표 1. 온도차이별 가열시간 Duty(%).

온도차이 (°C)	> 5.0°C	> 2.5°C	> 1.0°C	> 0.6°C	> 0.3°C	> 0.0°C
Duty cycle (%)	80	60	30	10	3	2
가열시간주기 (sec/cycle)	4.00	3.00	1.50	0.50	0.15	0.10

1) 상온용 열특성 측정 온도조절장치

열특성 측정 시료의 온도를 일정하게 유지시키는 장치는 수조, 전열히터, 단열 용기, SSR, 가열수조 교반기, 시료고정장치로 구성하였으며 설계 제작한 장치는 그림 2와 같다. 수조는 4리터 용량으로 1.5 kW 전열히터를 사용하여 가열하였으며, 수조의 온도분포를 일정하게 유지하기 위하여 3엽 프로펠러 두 쌍을 서로 다른 높이에 위치시켜 물을 교반하였다. 수조는 두께 5cm의 유리섬유로 단열하였으며 다시 두께 3.0mm 스텐 철판으로 원통을 만들어 이중 벽을 형성하였다. 열특성 센서로 열특성을 측정하는 동안에는 시료에 센서에서 공급되는 열 이외에는 외부에서 전달되는 열을 최소화하기 위하여, 벽면을 스티로폴로 단열처리 하였다.

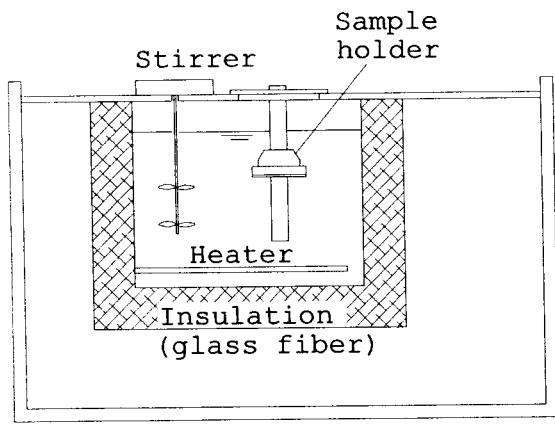


그림 3. 상온용 측정시료 온도조절장치 개요도.

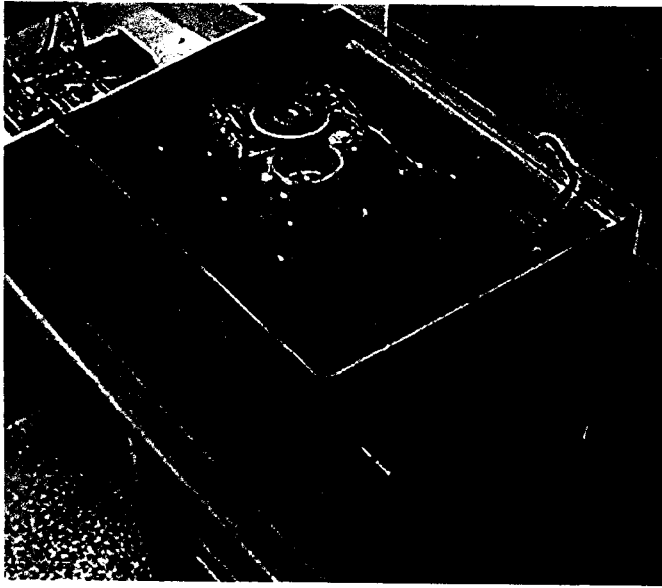


그림 4. 상온용 측정시료 온도조절장치

2) 고온 고압용 열특성 측정 온도조절장치

농산가공식품을 140℃까지의 살균온도에서 열특성을 측정하기 위하여 고온고압장치를 그림 3과 같이 설계, 개발하였다. 고온고압용 열특성 측정 온도조절장치는 단열고온고압용기, 고압 스팀발생용 히터, 압력계, 솔레노이드 밸브, SSR, 시료고정장치로 구성하였다. 온도와 압력을 일정 수준으로 유지시키기 위하여, 히터를 PWM방식으로 제어하였으며, 두 개의 1.5kW 히터를 사용하여, 시험온도와 측정온도차가 큰 경우 두 개의 히터를 가동하고, 온도차가 적은 경우 한 개의 히터만으로 온도를 조절하게 설계되었다. 측정온도가 목표온도보다 높은 경우 솔레노이드 밸브를 열어주어 압력용기내 압력을 저하시켜 신속히 온도를 조절할 수 있도록 두 개의 솔레노이드 밸브를 장착하였다. 압력차이가 작은 경우에는 솔레노이드 밸브를 한 개만 열어주고 온도와 압력이 설정치보다 크게 증가하는 경우에는 솔레노이드 밸브를 두 개 다 열어주어 압력상승에 의한 고압용기의 폭발위험에 대비하였다.

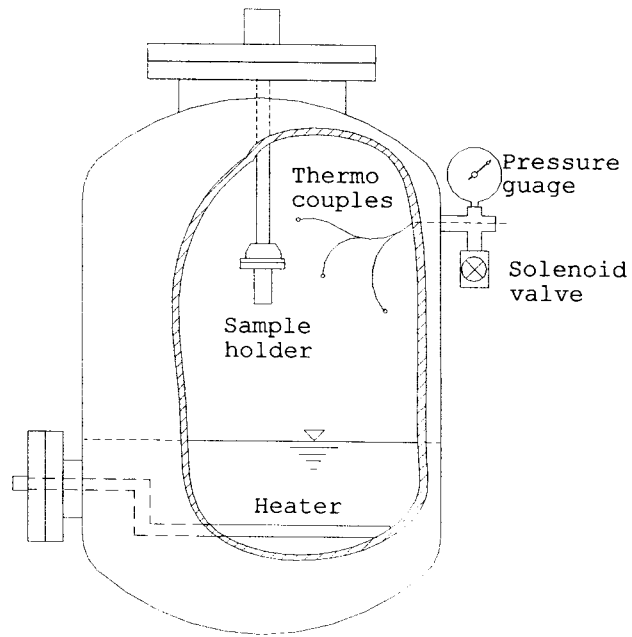


그림 5. 고온용 측정시료 온도조절장치 구조도.

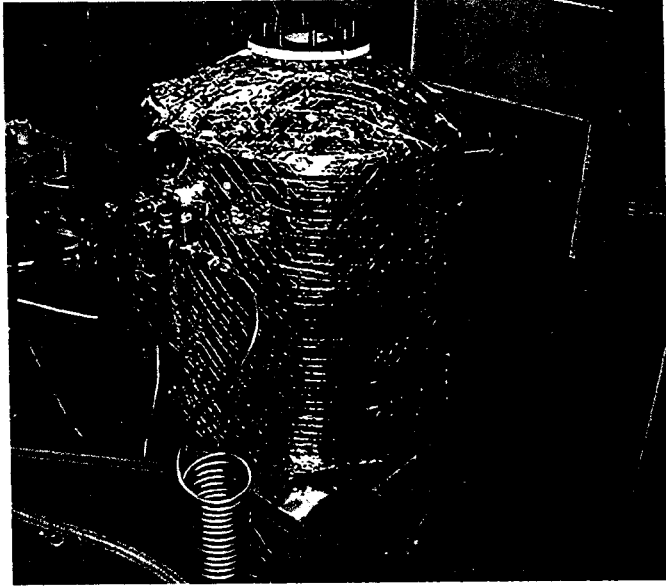


그림 6. 고온용 측정시료 온도조절장치

라. 열특성 측정 자동화 장치

시료의 열특성을 신속 정확하게 측정하기 위하여 열특성 측정을 제어하는 열특성 측정 자동화 장치를 개발하였다. 열특성 측정 자동화 장치는 컴퓨터 인터페이스와 측정시간제어 클락 발생장치 및 측정장치 제어장치 및 프로그램으로 구성하였다. 본 연구에서 개발한 컴퓨터 인터페이스는 그림 9와 같으며, 열특성 측정제어 회로는 그림 8과 같다. 열특성 측정 시간을 제어하기 위하여 그림 9의 컴퓨터 인터페이스를 사용하였으며, 이를 위하여 1/10000초의 표준 클락을 발생시키는 클락발생장치를 개발하였다. 열특성 센서에 전류공급, 수조의 교반기의 작동, 전열기의 전류제어 및 솔레노이드 밸브의 작동을 열특성 측정순서에 따라서 제어하기 위하여 그림 8의 제어회로를 사용하였으며 컴퓨터 인터페이스와 측정장치 제어회로를 구동시키기 위한 제어 프로그램은 C++로 작성하였다. 측정장치의 온도와 열특성센서에 공급되는 전류는 National Instrument의 16bit Multifunction DAQ 6031E 보드를 사용하여 측정하였다.

측정 자동화 장치의 I/O 신호에 따라서 4개 채널의 릴레이 스위치를 작동하였으며 열특성 센서에 공급하는 전류를 측정하기 위한 1.000Ω 의 저항을 설치하여 센서에 공급하는 전력을 컴퓨터의 A/D 보드로 측정하였다. 열특성 측정은 다음 순서로 컴퓨터 프로그램으로 제어되었다. 1) 시료의 온도를 측정 온도로 가열하여 일정하게 유지한다. 2) 열특성 측정하기 10초 전에 수조의 교반기의 전원을 차단하여 교반기의 진동에 의한 영향을 제거한다. 3) 10초간 열특성센서에 전원을 공급하고 열특성 측정자료를 수집한다. 4) 열특성 측정용 시료의 온도가 균일하도록 3분간 대기한다. 5) 2)에서 4)의 과정을 5번 반복하고, 측정값을 평균하여 열특성 대표 값으로 출력하였다.

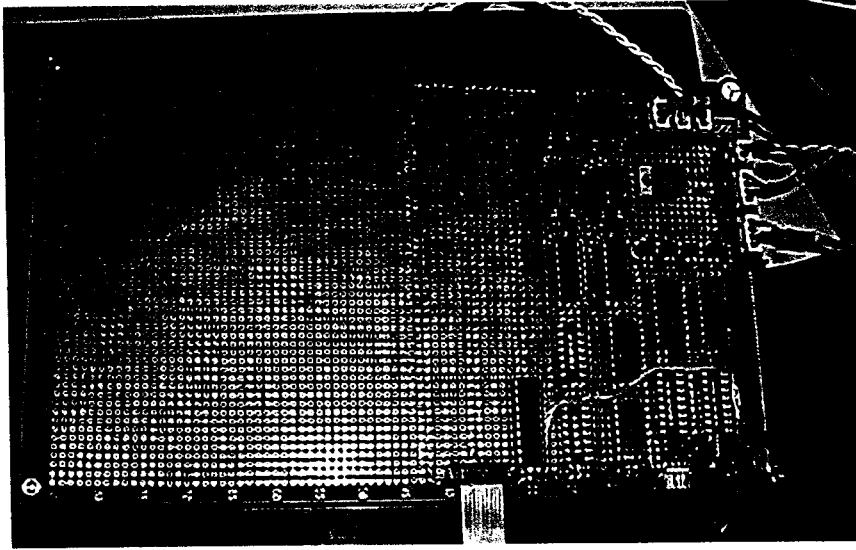


그림 7. 열특성 측정자동화 전자회로
(센서공급전력제어 및 온도제어).

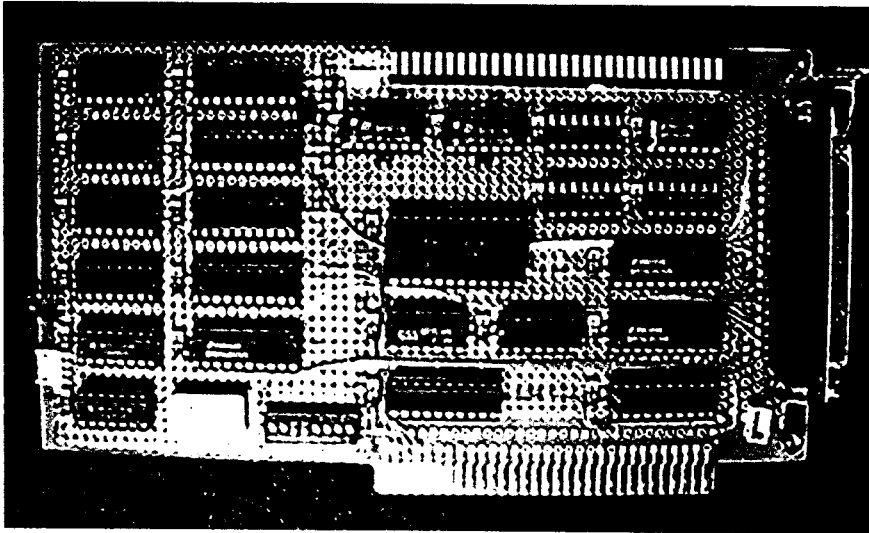


그림 8. 열특성 측정자동화 전자회로
(컴퓨터 인터페이스 및 시간제어회로).

마, 열특성 자료 분석 프로그램

농산물의 열특성 측정자동화 장치로 측정된 자료를 분석하여 열전도계수를 측정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 열탐침을 이용하여 시료 중심축의 온도-시간 측정 자료를 시간에 \log 를 취하여 시간과 온도의 관계로 그래프로 나타낸 다음 선형회귀방정식을 이용하기 위하여 선형구간의 데이터를 선택한 후, 열원 공급장치에 투입된 열량을 계산하여 ΔT 와 $\ln(t)$ 에 대한 직선관계의 기울기를 계산하여 열전도계수를 결정한다. 이때 선형회귀방정식의 R^2 값이 최대 값이 되는 구간을 선형 구간으로 정의하였다.

열탐침을 이용하여 측정한 온도-시간 특성곡선으로부터, 열전도계수를 분석하는 프로그램에서 열탐침의 온도-시간의 상승곡선을 세 개의 상승구간으로 분류하였다. 첫 번째 구간은 탐침을 예열하는 구간이며, 두 번째 구간은 직선구간으로 순수한 물질의 열전도에 의한 온도상승을 나타낸다. 세 번째 구간은 액상의 물질인 경우, 자연 대류에 의한 온도상승 특성으로, 고상의 물질인 경우, 수분의 이동이나 물리적 특성의 변화에 의한 것으로 추정된다. 이와 같은 온도상승 특성곡선중 두 번째 구간의 직선관계의 기울기를 사용하여 열전도계수를 결정하는 열특성자료 분석 프로그램을 개발하였다.

바, 실험재료

열특성 측정장치의 정확도를 검증하기 위하여 증류수 한천용액을 사용하였다. 한천과 증류수의 성분비가 20%, 40% 및 60%의 한천용액을 사용하였다. 또한 설탕 농도에 따른 열전도계수의 특성을 고찰하기 위하여 증류수와 설탕의 중량비 50, 67, 75, 80, 83%의 설탕물의 열특성을 측정하였다. 사과원액의 열특성을 측정하기 위하여 부사 품종의 사과를 믹서기로 분쇄하고 필터를 사용하여 고형분을 제거한 원액을 사용하였다.

2. 연구 결과 및 고찰

그림 10은 본 연구의 열특성 측정자동화 장치로 측정한 열특성 곡선이다. 위 곡선에서 열전도계수의 측정에 사용되는 직선으로 표시된 구간은 열특성 측정 센서의 구조적 특성에 의하여 결정되었으며, 센서에 입력되는 전류의 세기, 센서 튜브의 직경에 따라서 직선구간의 시작점이 정의되며 이에 따라서 결정된 기울기로 열전도계수를 결정하였다. 직선구간이 시작되는 점은 열전도계수 센서 탐침의 예열기간으로 정의되었다. 직선구간의 종료점은 열전도계수 측정용 센서에서 공급되는 열이 전달됨에 따라서 열전달이 열전도에서 열 대류로 전환되는 시작점으로 정의되었다. 그림 10에서 보는 바와 같이 센서에 전류공급 후 약 10초가 경과하는 지점에서 온도상승률이 둔화되기 시작하며 열 대류가 진행되면 온도가 하강하기 시작하였다.

가. 열특성 측정장치의 정확도

열특성 측정장치의 정확도를 검증하기 위하여 증류수를 40, 60, 80, 100, 110, 120, 140℃에서 본 연구에서 개발한 열특성 측정장치를 사용하여 각 6회씩 열특성을 측정하였으며 그 평균값을 열전도계수로 결정하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 20℃의 상온에서 3%미만의 오차를 보였으며, 대체적으로 1%의 내외의 오차범위에서 문헌값 (Ramires et al., 1995)과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

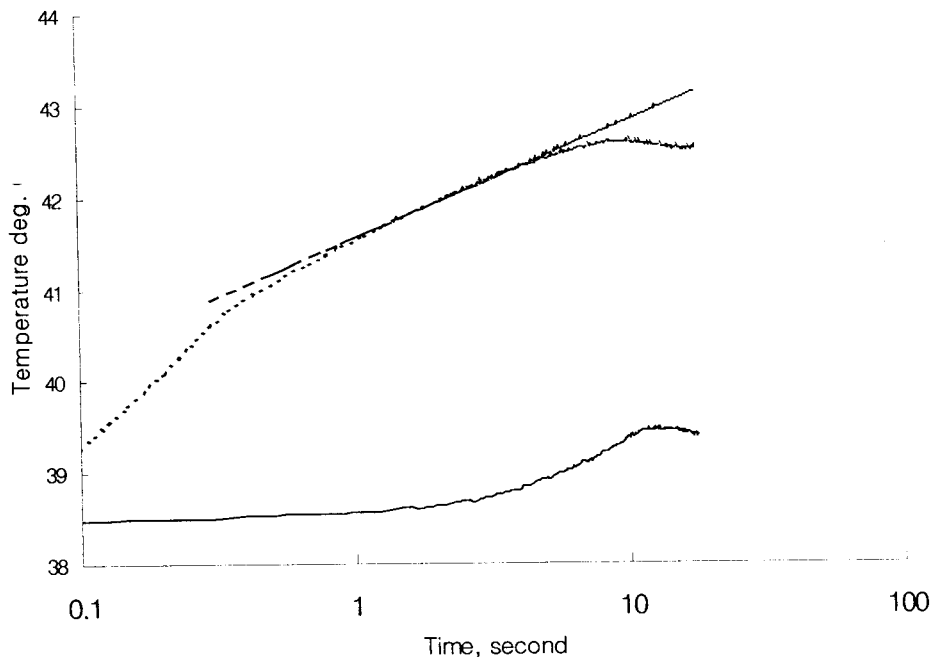


그림 9. 열특성센서로 측정된 열특성 곡선(시간축은 자연대수로 표시)

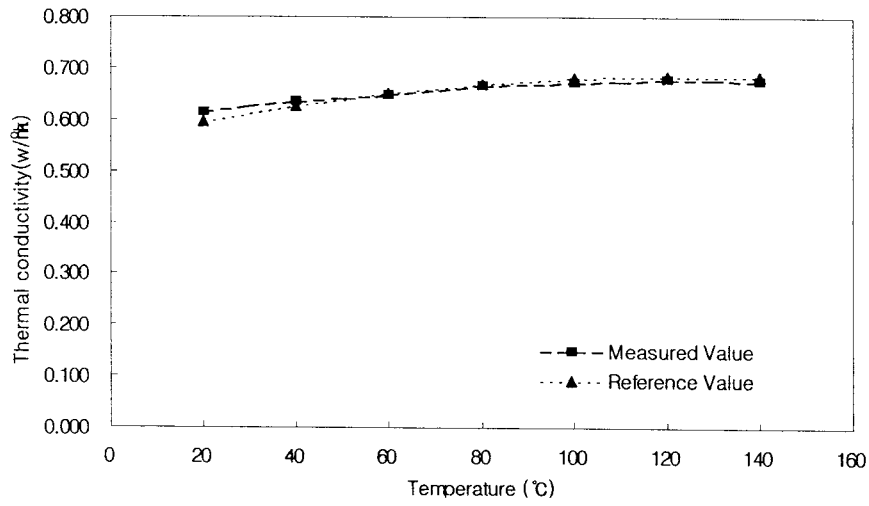


그림 10. 증류수의 열특성 측정값과 문헌값(Ramires et al., 1995)의 비교

표 2. 증류수의 열전도계수 측정값과 문헌값의 비교

Temperature (°C)	Measured (W/m · K)	Reference ⁽¹⁾ (W/m · K)	Reference ⁽²⁾ (W/m · K)	Difference ⁽¹⁾ (%)	Difference ⁽²⁾ (%)
20	0.614* (0.023)**	0.597	0.597	2.8	2.8
40	0.635 (0.019)	0.628	0.629	1.1	1.0
60	0.649 (0.013)	0.651	0.653	0.3	0.6
80	0.667 (0.005)	0.668	0.667	0.1	0.0
100	0.671 (0.034)	0.680	0.679	1.3	1.2
120	0.677 (0.230)	0.685		1.1	
140	0.679 (0.027)	0.684		0.7	

(1) Eckmert et al. (1972)

(2) Ramires et al. (1995)

* 6회 측정값의 평균값

** 표준편차

나. 설탕물 용액의 열특성 측정결과

설탕용액의 열특성은 설탕의 농도가 높을수록 열전도계수가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 물질의 열전도계수가 함수율이 증가함에 따라 증가하는 경향과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

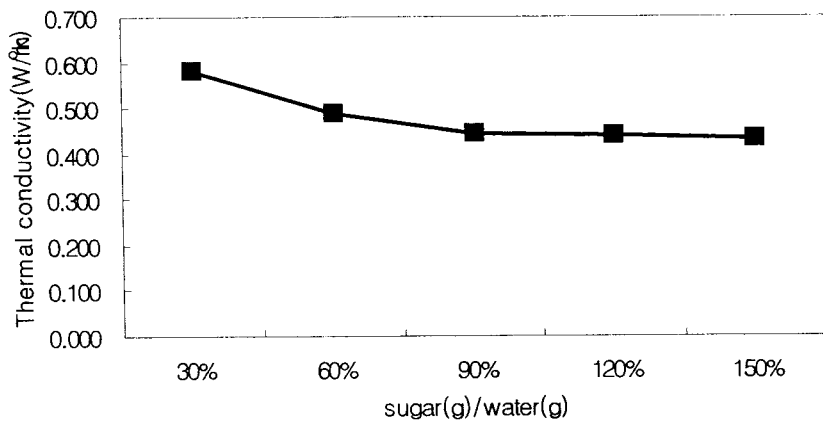


그림 11. 성당물 용액의 20°C에서의 농도별 열전도계수 측정값

다. 사과즙의 열특성 측정결과.

사과를 분쇄하여 필터로 고형분을 제거한 사과원액의 열전도 계수를 온도별로 측정한 값은 표 3에 나타난 바와 같다. 그림 12와 같이 사과 과즙 원액의 열전도계수는 증류수의 열전도계수와 비슷한 값을 보였다. 140℃에서 열전도계수의 값이 급격히 감소하는 것으로 나타났으나 이는 사과 과즙이 140℃의 고온에서 센서와 샘플홀더 벽면에 침착한 물질이 열전달을 저하시키는 영향으로 추정된다. 이 측정값은 Constenla(1989)의 측정값과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

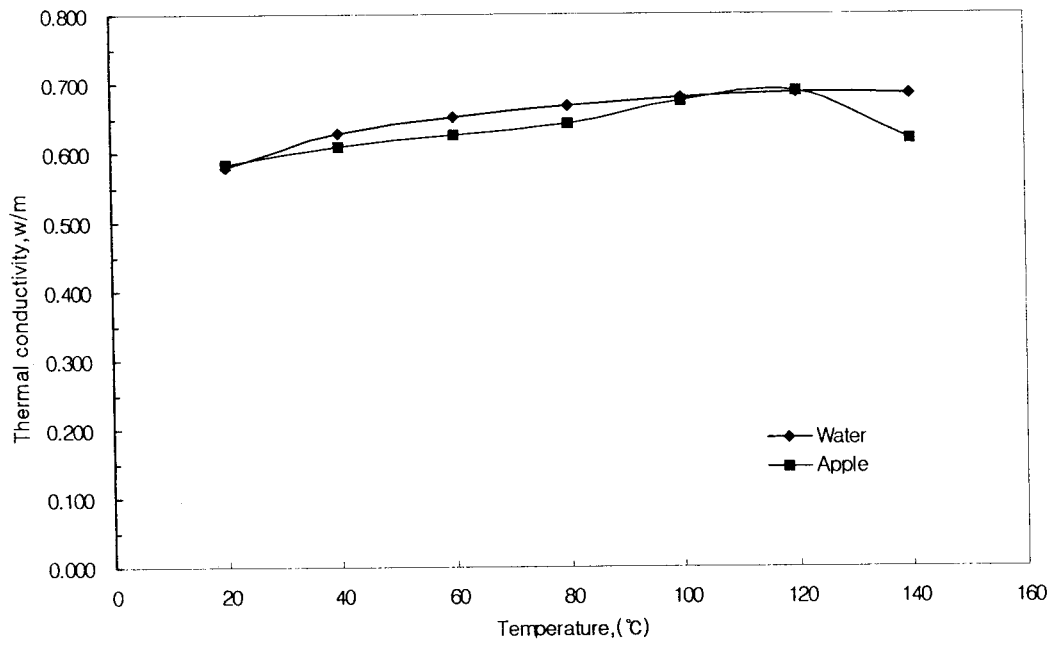


그림 12. 사과원액과 열전도계수 측정값과 증류수의 문헌값의 비교

표 3. 사과과즙 원액의 온도별 열전도계수 측정값

k W/m·°C	Temperature, °C						
	20	40	60	80	100	120	140
Average	0.585	0.610	0.626	0.643	0.674	0.689	0.619
Std. Dev.	0.011	0.037	0.019	0.009	0.047	0.067	0.035

제 2 절 농산가공식품의 연속살균 공정 및 장치

1. 연구의 방법

가. 살균의 이론적 배경

미생물의 증식 가능한 온도범위는 대략 -10°C 에서 90°C 까지이며, 미생물의 종류 및 생육 환경에 따라 그 내열성이 다른 특성이 있다. 따라서, 식품의 종류 및 pH등의 특성에 따라 살균해야 할 미생물의 종류와 내열성이 달라진다. 이러한 미생물의 내열성을 나타내는 용어로는 D value, z value등이 있다.

1) D value

생존해있는 미생물의 90%를 사멸시키는 데 걸리는 시간을 D값(decimal reduction time)이라고 한다. 이 값은 그림 1에서와 같이 미생물의 생존곡선에서 로그 사이클을 이동하는 데 걸리는 시간과 동일하며 식(1)로 나타낼 수 있다(Jay, 1992).

$$D = \frac{t_2 - t_1}{\log \frac{N_1}{N_2}} \quad (1)$$

여기서, N_1 : 살균 전 미생물 수

N_2 : 살균 후 미생물 수

t_1 : N_1 에서의 시간(min)

t_2 : N_2 에서의 시간(min)

2) z value

z값은 가열 치사시간 또는 D값의 1/10 또는 10배의 변화에 대응하는 가열온도의 변화($^{\circ}\text{C}$)를 나타낸다. z값이 클수록 온도상승에 의한 살균효과의 증가율이 작다. z값이 크다는 것은 D값을 1만큼 줄이는데 필요한 온도 상승이 크다는 것을 의미한다. 즉, 작은 z값을 가지는 것에 비해 훨씬 많은 온도를 상승시켜야 같은 정도의 D값을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 식(2)는 z값을 이용하여 다른 온도에서의 D값을 구하는 식이다.

$$\frac{D_1}{D_2} = 10^{\frac{T_2 - T_1}{z}} \quad (2)$$

여기서, D_1 : 처음의 D값

D_2 : 다른 온도에서의 D값

3) F value

F값은 미생물 포자의 경우 121℃의 온도에서 일정수의 미생물을 사멸시키는 데 필요한 시간을 나타낼 때 사용되는 값이다(Banwart, 1981). 일반적으로 z값이 10인 경우의 F값을 계산하는 경우가 많아 이 때의 F값을 F_0 로 표시한다. F_0 를 수학식으로 나타내면 다음과 같이 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$F_0 = \int_0^{t_p} 10^{\frac{T - T_{ref}}{z}} dt \quad (3)$$

여기서, T_{ref} : 기준 온도(℃)

z : 미생물의 z값(℃)

t_p : 살균 시간(min)

연속살균공정에서는 최소의 살균시간을 이용하여 F_0 값을 결정한다. 배치살균공정에서는 가장 온도가 낮은 부분의 값을 이용하여 F_0 값을 계산한다.

4) 상업적 살균도

살균은 생존 미생물을 사멸시키는 것이다. 미생물을 완전살균할 경우에는 식품에 관능적, 영양적 변화가 일어나므로 식품 내 미생물이 일정 수준 이하로 내려가면 살균이 되었다고 한다. 이 방법은 명시된 유통기간내에 어떤 부패미생물의 생육 증식 때문에 먹을 수 없거나 어떠한 위해도 받지 않도록 유효 적절하게 가열처리하는 것을 의미한다(송재철 등, 1998). 상업적 살균을 할 때에 일반적으로 고려되는 조건으로는 식품의 종류, 상태, 성질, pH, 미생물과 포자의 내열정도, 산소 용해정도 등이 있다. 미생물의 오염도가 높고, 내열성이 크면 가열시간과 온도를 높인다.

5) 기존 살균공정과의 비교

식품을 살균하는 데 이용되는 살균방법은 크게 살균온도에 따라 가열살균과 냉살균으로 분류된다(河端 俊治 등, 1987). 그리고, 살균에 이용하는 매체에 따라 그 방법들이 세분된다. 가열살균에는 저온살균, 고온살균, 습열살균, 건열살균, 고주파가열, 적외선가열, 액체살균 등이 있으며, 냉살균에는 약제살균(액체살균제, 가스살균제, 고형살균제), 방사선살균(감마선, 전자선, X선), 자외선 살균이 있다. 그 밖에 초음파, 초고압등을 이용하는 방법이 있다.

가열살균은 가장 대표적인 살균 방법으로서 식품 내부의 살균이 가능하고, 기타 방법에 비하여 경제적이라는 장점이 있다. 그러나, 고온의 열을 가하기 때문에 식품의 변질, 변형, 변색, 영양가, 품질의 저하가 우려되는 단점이 있다. 액체살균은 식품에 첨가하면 효과가 지속적으로 유지되는 장점이 있지만, 사용 후 처리가 어려우며, 인체에 영향을 미칠 가능성이 많은 단점이 있다.

냉살균 방법인 자외선 살균은 살균 후 식품에 거의 변화가 없으며, 간단히 적용할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 공기, 물 이외는 표면에 직접 조사된 부분의 살균에 국한되며, 안전상 주의를 요하는 단점이 있다. 방사선 살균은 포장된 식품의 내부까지 살균이 가능하며 살균효과가 양호하나 설비비가 높으며 안전대책을 마련하기가 어려운 단점이 있다. 전자선 살균은 고속라인 처리가 가능하며 조사량을 제어할 수 있으나, 전자선의 특성상 투과에 한계가 있으며 방사선 살균 방법과 마찬가지로 설비비가 높은 단점이 있다(송재철 등, 1998).

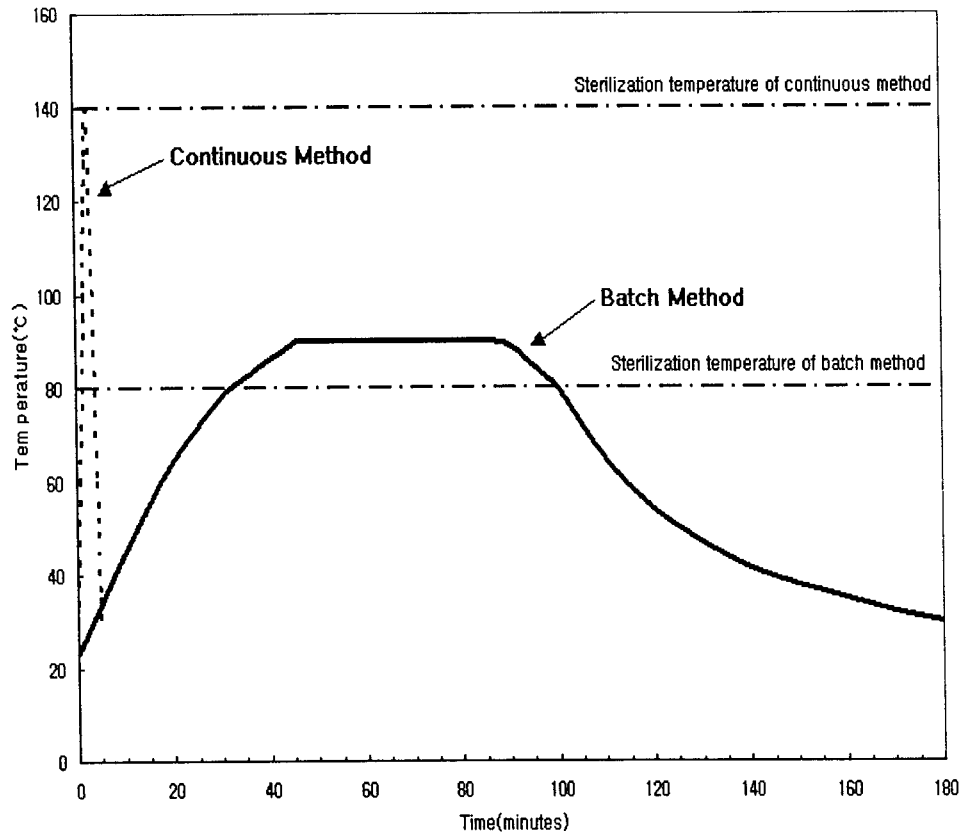


그림 13. 배치식 살균방법과 연속식 살균방법의 온도-시간 특성곡선

살균공정 중 식품의 유동여부에 따라 배치식 살균공정과 연속식 살균공정으로 분류되며 그림 13은 각 공정에 걸리는 시간을 나타낸 온도-시간 특성 곡선이다. 배치식 살균공정은 오래 전부터 널리 사용되어 온 방법으로서 레토르트(retort) 내의 물이나 증기를 미생물의 사멸온도 이상으로 가열하여 캔이나 병, 파우치(pouch)등에 저장되어 있는 식품을 가열하여 식품 내 미생물을 사멸시키는 방법이다. 배치식 방법은 식품 내 고형물이 첨가되어 있는 경우에 고형물까지 완전하게 살균할 수 있다는 장점이 있으나 장치 특성상 가열하는 데 시간이 오래 걸리기 때문에, 과살균될 위험이 있으며, 생산효율이 낮다는 단점이 있다. 또한, 고온에서 살균이 이루어지기 때문에 포장재의 선택에 한계가 있으며, 식품의 관능 특성에 변화가 생기는 단점이 있다.

나. 연속살균장치 구성요소의 특성자료 수집

연속살균기의 설계 프로그램의 개발을 위하여 연속살균장치 및 그 구성요소에 대한 자료를 수집하였다. 연속살균기의 구성요소는 연속살균기의 살균 용량, 장치의 크기 및 가격 등에 큰 영향을 끼치므로 제작에 있어서 중요한 설계요소이다. 연속살균장치의 기본적인 구성요소는 balance tank, regenerator, timing pump, holding tube, indicating thermometer, Recorder-controller(STLR), Flow Diversion Device(FDD), vacuum breaker이다. 보조적인 장치로는 Booster pump, homogenizer등이 있다. 그림 14는 연속살균장치의 구성도를 나타내고 있다. 연속살균장치의 설계에 중요한 영향을 끼치는 열교환기(Heat exchanger), 펌프(sanitary pump), 단열관(Holding tube), 저장탱크(balance tank)을 생산하는 회사의 제품을 데이터베이스로 구축하여 살균장치를 설계에 이용하였다.

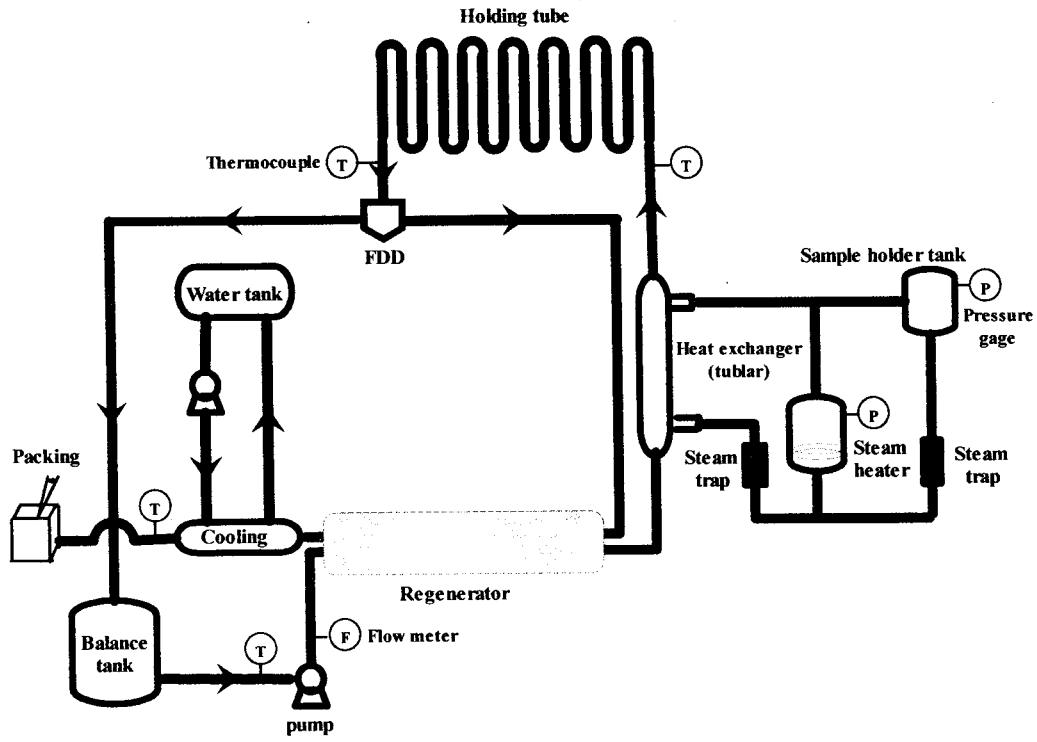


그림 14. 연속살균장치의 개략도

다. 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램 개발환경.

1) 프로그램 개발 언어

웹프로그래밍 언어의 일종인 JSP(Java Server Page)를 이용하여 사용자 인터페이스를 설계하였으며, Java(JDK 1.3.1)언어를 이용하여 프로그램을 개발하였다. JSP는 서버에서 작동되는 스크립트 언어로서 사용자의 입력값에 따라 동적으로 페이지를 생성하므로 사용자의 입력값을 처리하기 쉬운 장점이 있다. 또한 자바를 기본으로 하는 언어이므로 자바의 기능을 그대로 이용하고, 연동하여 사용할 수 있다는 장점이 있다. 웹 브라우저 상에서 작동되므로 별도의 프로그램을 설치하지 않고도 사용자가 쉽게 이용할 수 있으며 Java에서 제공하는 데이터베이스 연동 API (Application Programming Interface)인 JDBC를 이용하여 쉽게 데이터베이스와 연동하여 사용할 수 있다.

2) 데이터베이스 프로그램 언어

데이터베이스 구축을 위하여 Microsoft사의 Access 2000을 이용하였다. 이것은 데이터베이스 관리 시스템(DBMS)의 일종이며, ODBC(Open Database Connectivity)를 이용하여 Java와 연동이 가능하다. 데이터베이스는 SQL(Structured Query Language)를 사용하며, 이는 데이터 정의어(DDL)와 데이터 조작어(DML)를 포함한 데이터베이스용 질의언어의 일종이다. SQL언어는 데이터베이스 관리 시스템에 공통적으로 사용되는 표준 언어이기 때문에 데이터베이스 프로그램이 바뀌어도 프로그램에는 영향을 미치지 않는 장점이 있다.

3) HTML

HTML(HyperText Markup Language)은 인터넷 서비스의 일종인 월드 와이드 웹(WWW : World Wide Web)을 통해 볼 수 있는 문서를 만들 때 사용하는 프로그래밍 언어이다. 특히 하이퍼텍스트를 작성하기 위해 개발되었으며, 인터넷에서 웹을 통해 접근되는 웹페이지들은 보통 HTML로 작성된다. 이 언어는 별도의 컴파일러가 필요 없으며, 웹브라우저에서 해석이 가능한 사용하기 쉬운 언어이다. HTML을 이용할 경우 사용자에게 친숙한 인터페이스를 구성할 수 있으며, 쉽게 유지 및 보수할 수 있는 장점이 있다. 그리고, HTML을 이용해 작성된 인터페이스와 설계 프로그램은 각각 독립적으로 작동이 가능하기 때문에 추후 다양하게 변경할 수 있다는 장점이 있다.

4) 프로그램의 알고리즘

그림 15는 연속살균 공정 설계 및 장치 설계 프로그램의 알고리즘을 나타내고 있다. 그림 15에서 보는 바와 같이 살균 대상 식품에 대해 식품 내에 생존해있는 미생물을 검사하여 살균대상 미생물을 결정하여 살균 공정을 설계하게 된다. 설계된 살균 온도와 살균시간을 이용하여 살균장치를 설계하게 되고, 설계된 공정과 장치에 대한 보고서를 출력하게 된다. 살균장치를 가지고 있을 경우에는 기존의 장치가 살균식품에 적합한지 여부를 판단하여 보고서로 출력할 수 있도록 하였다.

라. 연속살균공정 설계 프로그램

연속살균공정을 설계하기 위해서는 대상 식품의 열 특성과 물리적 특성 자료 뿐 만 아니라, 살균식품에 대해서 적절한 지표미생물을 선택하는 것이 중요하다. 미생물의 활성 산성도 및 주요 서식 식품을 대상으로 미생물을 데이터베이스에서 검색하여 그 중에서 가장 내열성이 큰 미생물을 살균하는 방식으로 공정을 설계하게 된다. 미생물의 내열특성을 이용하여 살균에 필요한 시간과 온도와의 관계를 밝히고, 적절한 온도와 시간을 선택하게 된다. 그림 16은 살균공정을 설계하는 과정을 흐름도로 나타낸 것이다.

마. 연속살균장치 설계 프로그램

연속살균장치 설계 프로그램은 연속살균공정 설계 프로그램에서 결정된 시간과 온도간의 관계를 이용하여 장치에 이용할 파이프의 크기, 열교환기의 크기와 펌프의 용량을 결정하고, 살균 시간에 맞게 홀딩 튜브의 길이, 살균 온도 등을 선택하게 된다. 연속살균장치 중 살균에 직접적으로 영향을 미치는 부분은 펌프와 열교환기(가열기), 그리고 단열관(holding tube)이다. 펌프를 통해 일정하게 식품이 공급되어야 열교환기를 통해 원하는 살균온도로 가열할 수 있으며, 단열관에서 살균시간만큼 살균이 이루어질 수 있다. 따라서, 필수적인 부분인 펌프의 용량 및 열교환기를 통해 가열시켜야 하는 살균온도, 살균시간을 유지시켜줄 수 있는 단열관의 길이 등을 프로그램으로 설계한다. 그림 17은 연속살균장치의 설계 과정을 나타낸 것이다.

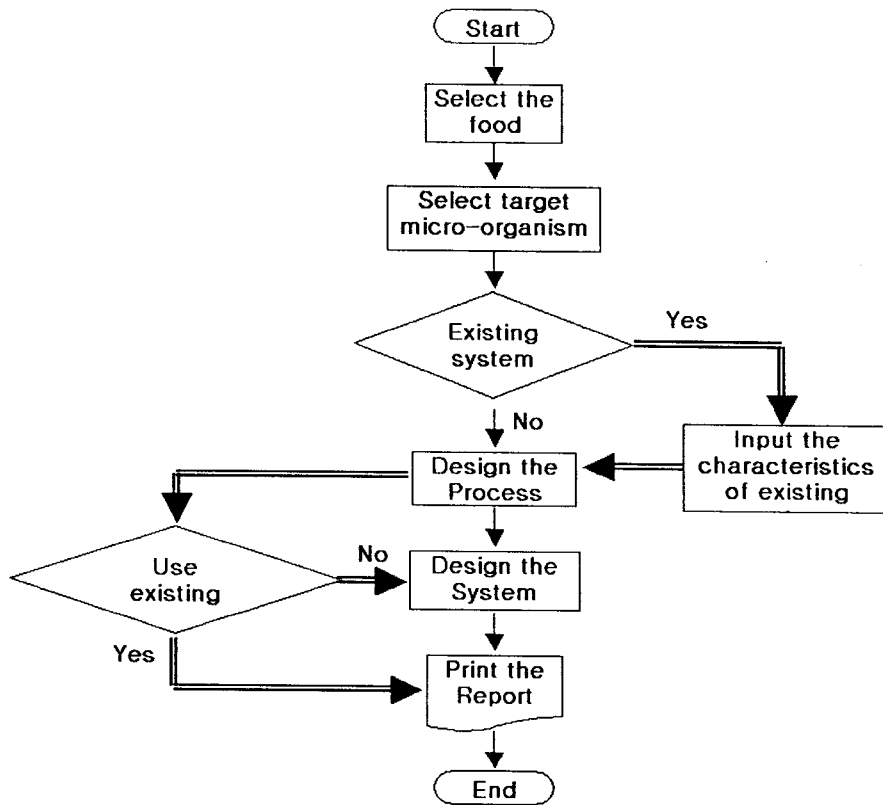


그림 15. 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램 흐름도

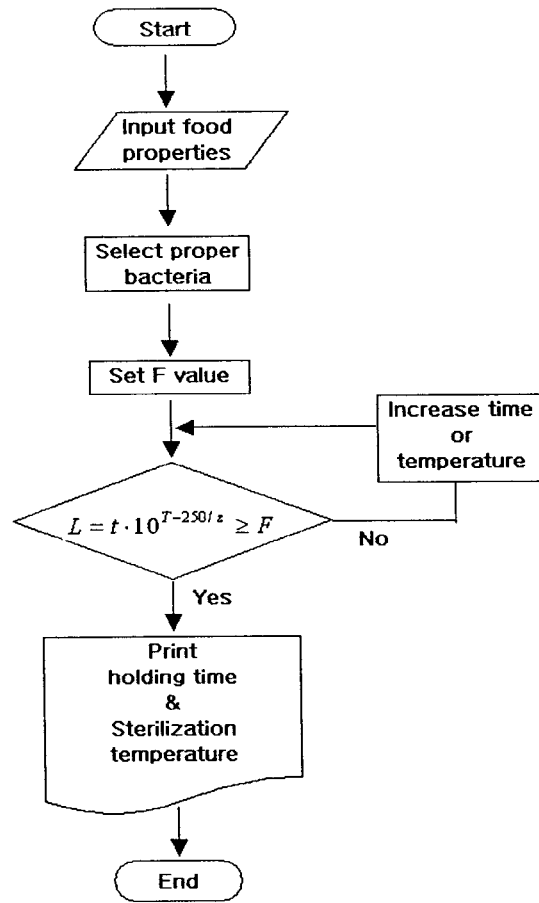


그림 16. 연속살균 공정설계 프로그램 흐름도

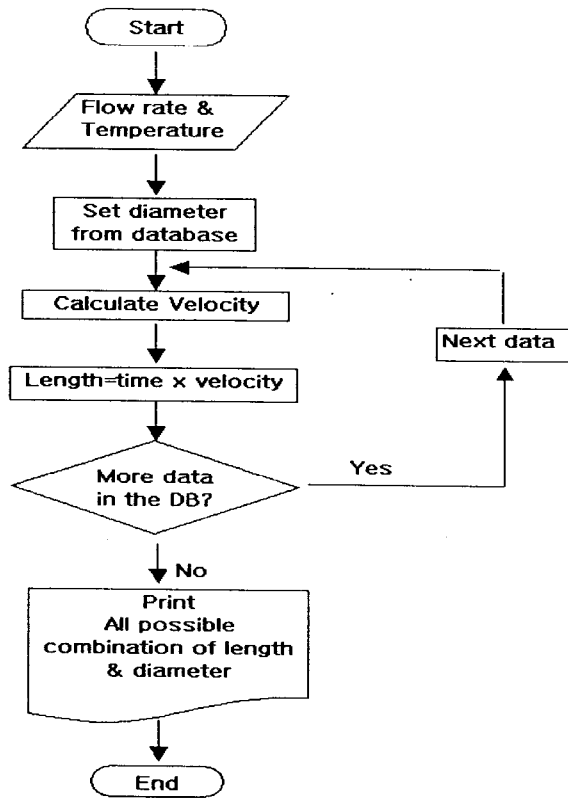


그림 17. 단열관(Holding tube) 설계 프로그램 흐름도

2. 연구 결과 및 고찰

가. 살균공정 및 장치 설계 프로그램

연속살균기의 공정 및 장치를 설계하는 프로그램은 주요 알고리즘을 구현한 class파일로 이루어져 있으며, 이 class 파일은 JSP 엔진(Resin 2.0 beta2)에 의해 실시간으로 해석되며 HTML언어로 변환되어 그 결과값을 웹 브라우저에 보여준다. 이 클래스 파일은 표 5에서 보는 바와 같이 각각의 기능에 따라서 다수의 파일로 나뉘어져 있으며, 각 역할을 수행할 때 Java 컴파일러에 의해 해석된 후 실행된다. 각각의 클래스 파일이 하나의 독립된 기능을 하기 때문에 사용자 인터페이스(user interface)와 별개로 작동이 되므로 유지 보수가 편하다는 장점이 있다.

표 5. 연속살균 공정 및 장치 설계 class 파일 사양

Class	Function
Process.class	Calculate the sterilization temperature and time.
HeatExchanger.class	Design the tubular type heat exchanger.
Pump.class	Calculate the capacity to stand the designed flow rate.
LineGraph.class	Draw the time-temperature profile
ODBCdb.class, PhysicalProperty.class Commercial.class	Connect to the database and obtain the data from DB.

1) 공정 설계 프로그램

공정 설계프로그램은 사용자가 살균하고자 하는 식품을 입력하면 데이터베이스에서 식품의 특성에 대한 자료를 가져와 이에 근거하여 미생물에 대한 자료를 데이터베이스에서 검색·추출하여 이를 바탕으로 살균에 걸리는 시간과 온도를 설계한다. 특정 미생물은 활성화되는 pH범위가 존재하며, 특정 식품에 대해서 생존하는 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서, 미생물에 대한 데이터베이스에서 활성 pH농도와 활성 식품에 대한 자료를 이용하여 미생물을 데이터베이스에서 검색하여 검색된 미생물 중 내열특성이 가장 큰 미생물을 살균 목표로 설정하여 살균 공정을 설계한다. 미생물의 내열특성인 D value와 z value, F value등을 이용하여 살균 온도와 살균 시간의 조합을 계산하며 사용자는 이 중에서 장치 및 생산량을 고려하여 원하는 온도와 시간의 조합을 선택할 수 있다.

그림 18은 프로그램의 첫 화면을 나타내고 있다. 왼쪽의 메뉴를 클릭하여 쉽게 공정 설계 및 장치 설계를 할 수 있으며, 자신이 설계한 공정 및 장치에 대한 데이터를 데이터베이스에 저장하여 추후에 이용할 수 있다.

그림 19는 공정 설계를 위해 사용자가 살균할 식품을 입력하는 화면이다. 살균할 식품을 데이터베이스에서 선택할 수 있으며, 데이터베이스에 없는 경우에는 사용자가 직접 식품에 대한 데이터를 입력할 수 있다. 알칼리성(pH>4.5)인 식품에 있는 미생물 중 가장 대표적이며, 내열성이 강한 미생물은 *Clostridium botulinum*이다. 약산성의 식품(pH 4.5-3.7)에서는 효모나 곰팡이, 혹은 내열성을 가진 효소를 이용하여 살균 공정의 온도와 살균 시간을 결정한다. 산성식품(pH<3.7)은 효소가 불활성화하게 하는 것이 목적이기 때문에 알칼리식품이나 약산성 식품에 비해 살균조건이 덜 심하다.

앞에서 선택한 식품의 산성도와 미생물의 활성 pH영역 및 활성 식품에 관한 데이터를 이용하여 식품에 존재할 수 있는 미생물을 데이터베이스로부터 추출한다.

그림 20은 미생물을 선택하는 화면을 나타내고 있다. 사용자가 선택한 식품에 대해서 살균 대상이 되는 미생물 중 내열특성이 가장 큰 것을 프로그램에서 자동으로 선택하게 되어 있다.

일반적인 살균공정에서 *C. botulinum*은 상업적 살균도를 얻기 위해서 12D값을 사용한다. 그러나, 식품의 품질손상에 대한 우려가 큰 식품에 대해서는 5D값이나 8D값을 사용하여 살균공

정을 설계한다.

그림 21은 공정설계 프로그램에서 사용자가 입력한 식품에 대한 미생물의 내열특성을 이용하여 계산된 살균 가능온도와 살균 시간의 조합을 나타낸 것을 보여주고 있다. 사용자는 온도와 시간의 조합 중 생산량 및 장치의 특성을 고려하여 사용자에게 적합한 온도와 시간의 조합을 선택하면 된다.

그림 22는 살균공정 설계가 완료된 후 설계된 살균공정을 요약하여 작성된 보고서를 나타내고 있다. 공정에 대한 정보를 요약하여 나타냄으로써 자신이 설계한 공정을 쉽게 관리할 수 있으며, 공정을 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있다.

설계된 공정은 데이터베이스에 저장되어 다른 사람들과 공정에 대한 데이터를 공유할 수 있으며, 장치설계를 차후에 설계하고자 할 경우 데이터베이스에서 찾아서 쉽게 장치를 설계할 수 있다.

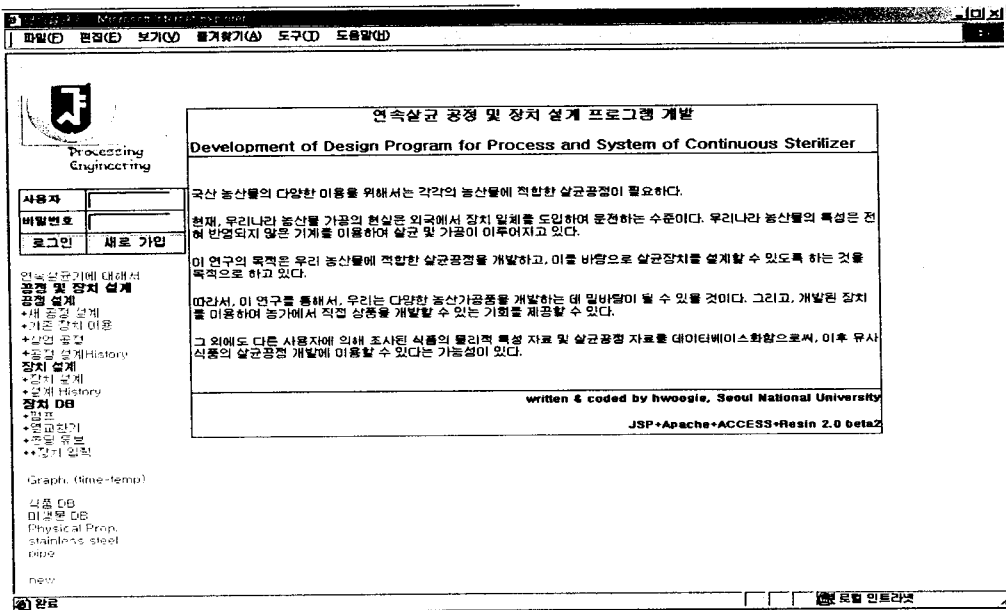


그림 18. 공정설계 프로그램의 실행 초기 화면

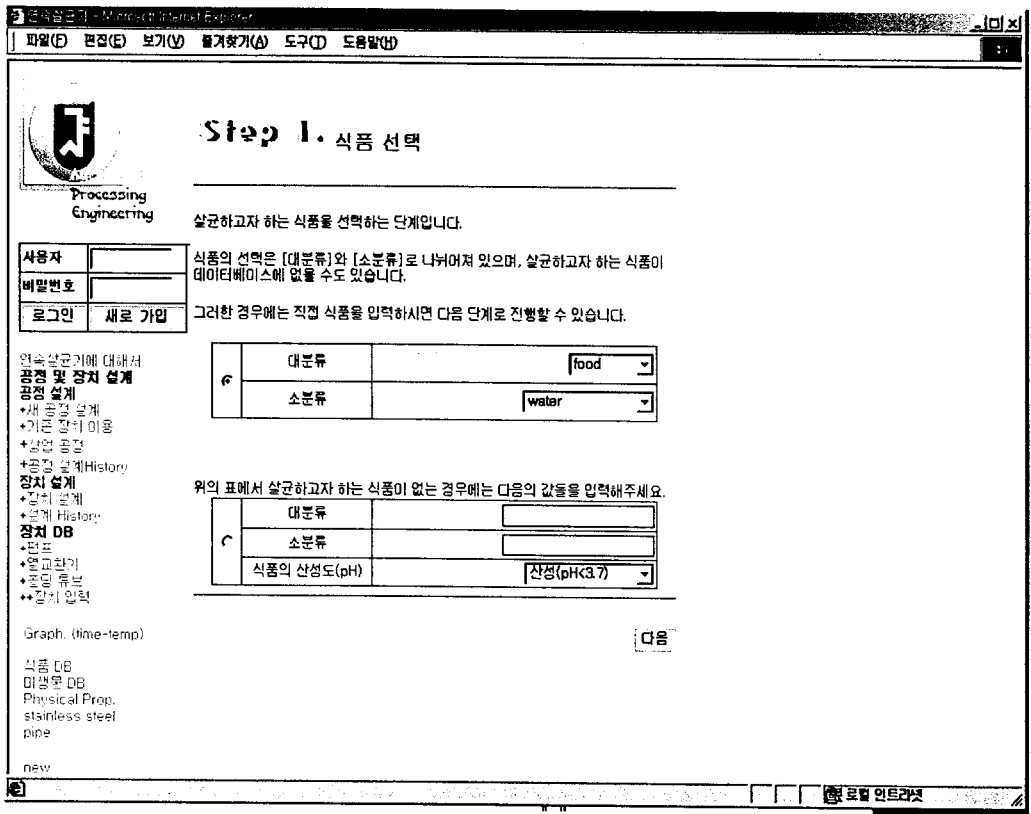


그림 19. 연속살균 공정설계 프로그램의 제 1단계 자료입력 화면

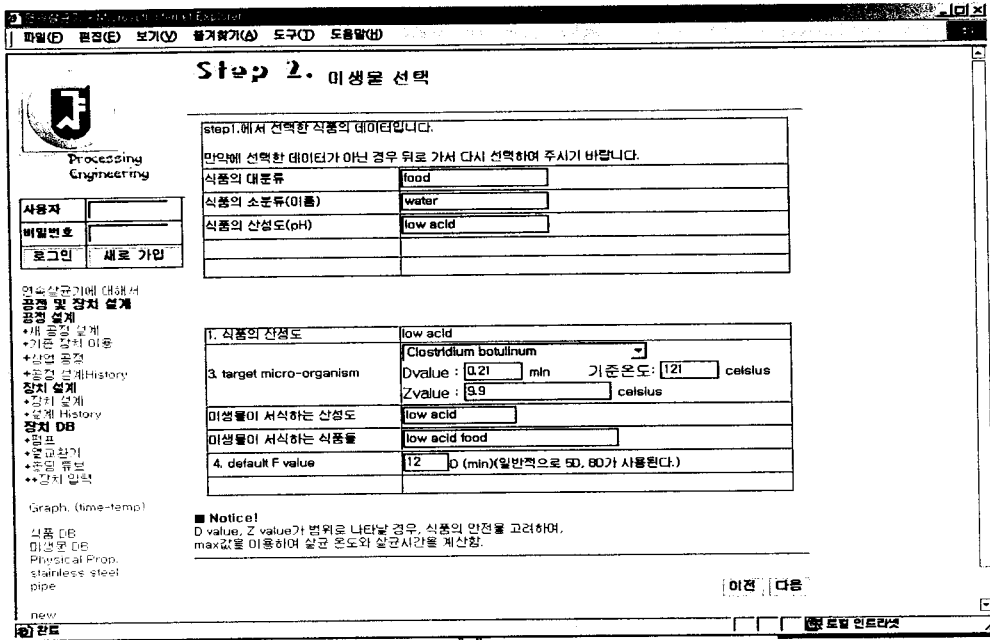


그림 20. 연속살균 공정설계 프로그램의 제 2단계 자료입력 화면

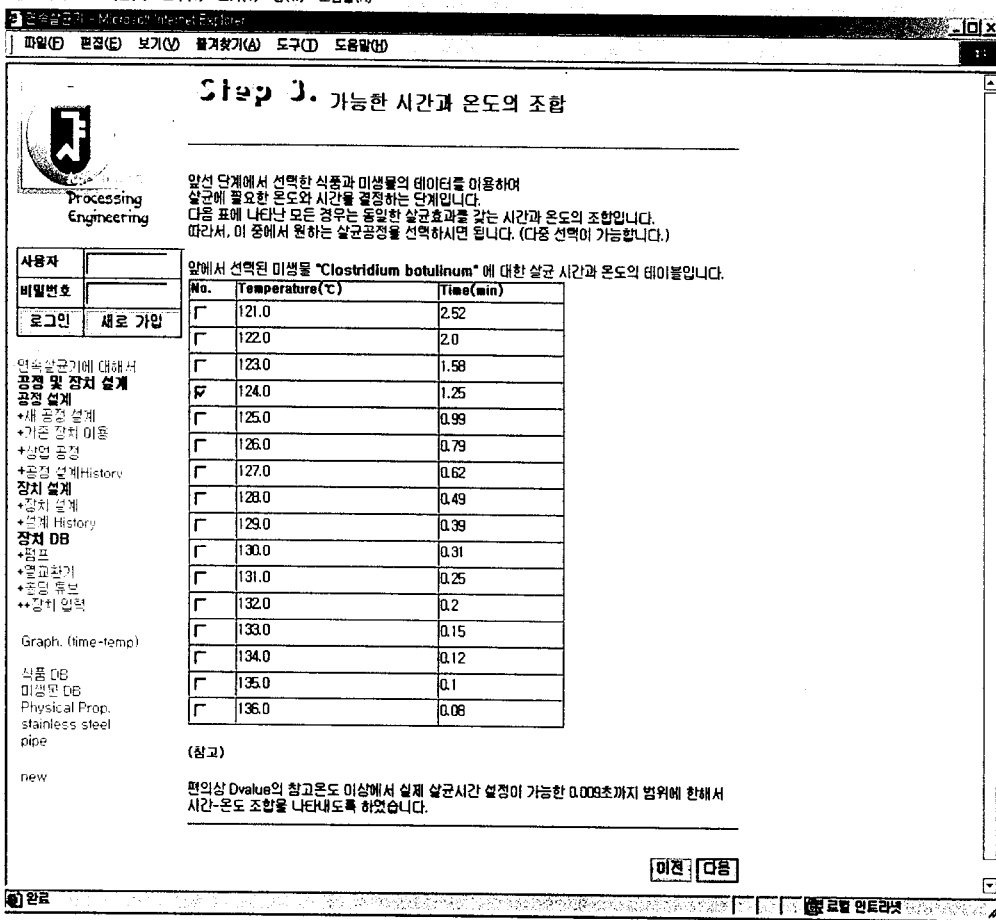


그림 21. 연속살균 공정설계 프로그램의 제 3단계 자료입력 화면

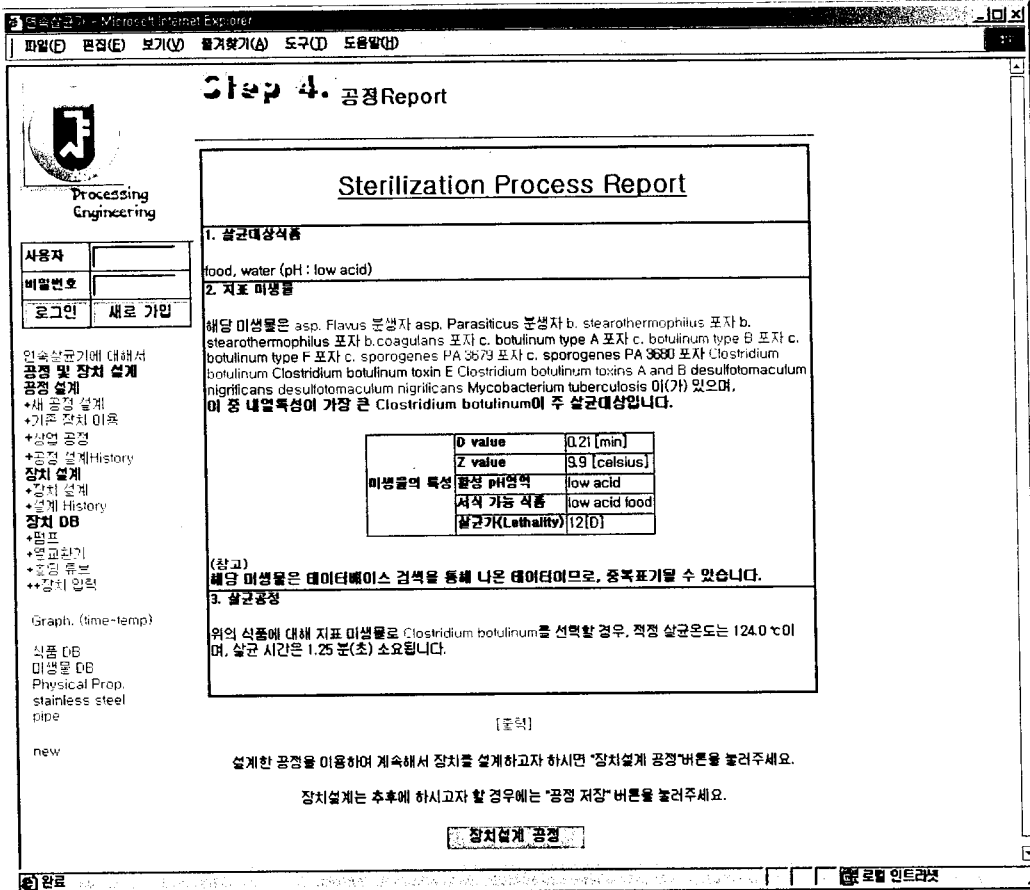


그림 22. 연속살균 공정설계 프로그램의 제 4단계 자료입력 화면

2) 연속살균 장치 설계 프로그램

장치 설계 프로그램은 공정 설계 프로그램과 연동하여 사용이 가능하며, 혹은 독립적으로 사용이 가능하다. 따라서, 기존의 장치를 사용하고자 하는 경우나 살균공정에 대한 데이터를 가지고 있는 경우에는 장치만 따로 설계할 수 있다. 장치 설계 프로그램은 크게 열교환기의 설계, 펌프의 용량 선정 및 단열관의 설계로 나뉘어진다.

가) 열교환기의 설계

그림 23은 이중 관식(double pipe) 열교환기 설계 프로그램의 일부분이다. 열교환기를 설계하기 위해 필요한 식품과 열매체에 대한 물리적 특성은 데이터베이스에서 추출하여 이용하며, 식품의 유량, 열교환 방법(counter flow, parallel flow) 및 열매체의 유량 및 온도 등의 기초 정보를 입력 화면에 입력하면 설계를 할 수 있다.

이 때 식품의 유속을 1.5m/s~2m/s의 범위에서 결정하는 것이 중요하다. 식품의 유속이 너무 느릴 경우에는 전열계수(U)가 낮아져서 가열기가 튜브에 손상을 줄 염려가 있으며, 너무 빠를 경우에는 압력강하가 크게 나타나 펌프에 무리한 부하를 가하게 된다.

열교환기를 설계하기 위해서는 설계에 사용 가능한 파이프를 선택해야 한다. 국내에서 사용되고 있는 파이프의 규격에서 식품을 이송하는 데 사용할 수 있는 규격은 위생용 스테인레스 파이프규격(KS D3585)과 배관용 규격(KS D3576/3588)이 있다. 열매체가 이동하는 파이프에 이용할 수 있는 규격으로는 보일러 열교환기용(KS D3577)과 일반 배관용(KS D3596) 및 옥내 배관용(KS D3595)이 있다.

그림 24는 열교환기에 사용할 파이프의 규격을 선택하는 과정을 보여주고 있다. 열교환기에 이용할 파이프를 선택하는 데 있어 중요한 것은 열전달효율이다. 페라이트(ferrite)계 스테인레스(STS321, STS430)는 오스테나이트(austenite)계 스테인레스(304, 304L, 316, 316L)에 비해 40%이상의 높은 열전도율을 가지고 있다. 그리고, 5미터 이하의 짧은 튜브에 대해서는 파이프의 두께가 1.2mm인 경우가 가장 적합하며, 그 이상의 길이의 파이프에 대해서는 두께 1.5mm인 파이프를 이용하여 설계를 한다. 공정 중 진동이 발생할 수 있는 스팀의 투입구와 같은 곳에서는 진동의 영향을 고려하여 1.6, 1.75mm 두께의 파이프를 선택하는 것이 장치의 안전성을 위해 좋

다.

열교환기를 설계하기 위해서는 식품의 Nusselt Number 및 마찰계수를 구해야 한다. Schlunder(1983)는 환형튜브 및 튜브에서의 난류($Re \geq 2300$)일 경우, 마찰계수와 Nusselt Number를 구하는 식을 Gnielinski(1982)가 이용한 식(4)를 이용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$Nu = f \frac{\xi/8(Re-1000)Pr}{1+12.7\sqrt{\xi/8}(Pr^{2/3}-1)} \left[1 + \left(\frac{d_h}{L} \right)^{2/3} \right] \quad (4)$$

여기서, $f = 1$ (원형튜브일 경우)

$= 0.86K^{-0.16}$ (환형튜브의 내부벽, 외부 벽은 단열인 경우)

$= 1 - 0.14K^{0.6}$ (환형튜브의 외부벽, 내부 벽은 단열인 경우)

K : 관 모양 상수

L : 튜브의 길이(m)

유체의 흐름이 난류인 경우에는 Blasius의 식(5)와 같이 마찰계수(ξ)를 계산할 수 있다.

$$\xi = \frac{0.316}{Re^{1/4}} \quad (5)$$

여기서, ξ : 마찰계수

Re : 레이놀수 수

위에서 구한 Nusselt Number를 이용하여 heat transfer coefficient를 다음의 식(6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$h = \frac{k}{D_h} Nu \quad (6)$$

여기서, h : heat transfer coefficient

D_h : hydraulic diameter(m)

Nu : Nusselt Number

튜브의 외벽에 대한 전열계수(U)는 다음의 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{1}{U} = \frac{A_{oT}}{h_i A_{iT}} + \frac{S_T A_{oT}}{k_T A_{mT}} + \frac{1}{h_o} + R_f \quad (7)$$

여기서, R_f : fouling factor

S_T : 튜브의 열전도도

A_{oT} : 튜브의 외부 단면적(mm^2)

A_{iT} : 튜브의 내부 단면적(mm^2)

A_{mT} : 튜브의 평균 단면적(mm^2)

그림 25는 사용자가 입력한 데이터와 수식을 이용하여 계산된 유체 및 열매체의 특성을 보여주고 있다. 문헌에 알려진 전열계수(U)값은 표5와 같으며, 이 값과 프로그램에서 계산된 전열계수를 비교함으로써 열교환기가 올바르게 설계되었는지를 확인할 수 있다.

위에서 설계한 열교환기의 특성을 이용해서 연속살균장치에 필요한 펌프의 용량을 계산할 수 있다. 열교환기를 설계할 때 계산된 식품과 열매체의 속도 및 손실계수를 이용하여 펌프의 용량을 계산할 수 있다. 유량과 밀도가 주어진 경우에 펌프의 용량(\dot{W}_p)은 압력강하량에 비례하며 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{W}_p = \dot{M} \frac{\Delta p}{\rho} \quad (8)$$

여기서, \dot{M} : 식품의 유량(kg/s)

Δp : 압력차(Pa)

ρ : 밀도(kg/m^3)

열교환기 내를 통과하는 데 발생하는 압력 강하는 다음의 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta p = \xi(Re) \frac{\rho}{2} w^2 \frac{n_s L}{d} \quad (9)$$

여기서, ξ : 마찰계수

n_s : 직렬로 연결된 튜브의 개수(개)

d : 튜브의 직경(mm)

L : 단위 튜브의 길이(m)

w : 식품의 유속(m/s)

튜브가 일직선인 경우에는 위의 식(9)를 사용하여 압력강하량을 구할 수 있다. 그러나, 튜브가 굽은 경우에는 튜브의 굽은 부분에서 생기는 압력강하량을 고려해야 한다. 이 경우 총 압력강하량은 다음 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta p_T = n_s \left(\xi_T \frac{L}{d_{HT}} + \xi_{180^\circ Bend} \right) \frac{\rho}{2} w_T^2 \quad (10)$$

여기서, Δp_T : 튜브 내에서의 압력강하량(Pa),

d_{HT} : 튜브의 hydraulic diameter(mm)

$\xi_{180^\circ Bend}$: 180° 굽은 튜브 내에서의 마찰계수

ξ_T : 끝은 튜브 내에서의 마찰계수,

w_T : 튜브 내에서의 유체의 속도(m/s)

Schlunder(1983)의 식을 이용하면,

$$\xi_{180^\circ Bend} = 0.283 Re^{-0.17} \left[\left(\frac{2r}{d_i} \right)^{0.84} + 18.1 \left(\frac{2r}{d_i} \right)^{-1.12} \right] \quad (11)$$

여기서, d_i : 튜브의 내경(mm),

r : 튜브의 반지름(mm)

Shell에서의 압력강하도 튜브에서와 같이 유사한 형태로 나타낼 수 있다.

$$\Delta p_S = n_s \left(\xi_S \frac{L}{d_{hS}} + \xi_{180^\circ \text{ sharp}} \right) \frac{\rho}{2} w_S^2 \quad (12)$$

여기서, Δp_S : 환형관 내에서의 압력강하량(Pa)

d_{hS} : 환형관의 hydraulic diameter(mm)

$\xi_{180^\circ \text{ sharp}}$: $2 \times 90^\circ$ T-junction에서의 마찰계수

ξ_S : 곧은 환형관 내에서의 마찰계수

w_S : 환형관 내에서의 유체의 속도(m/s)

Schlunder(1983)는 Shell의 경우 T-junction에서의 압력손실을 식(13)과 같이 나타내었다.

$$\xi_{180^\circ \text{ sharp}} \approx 1.3 + 1.05 = 2.35 \quad (13)$$

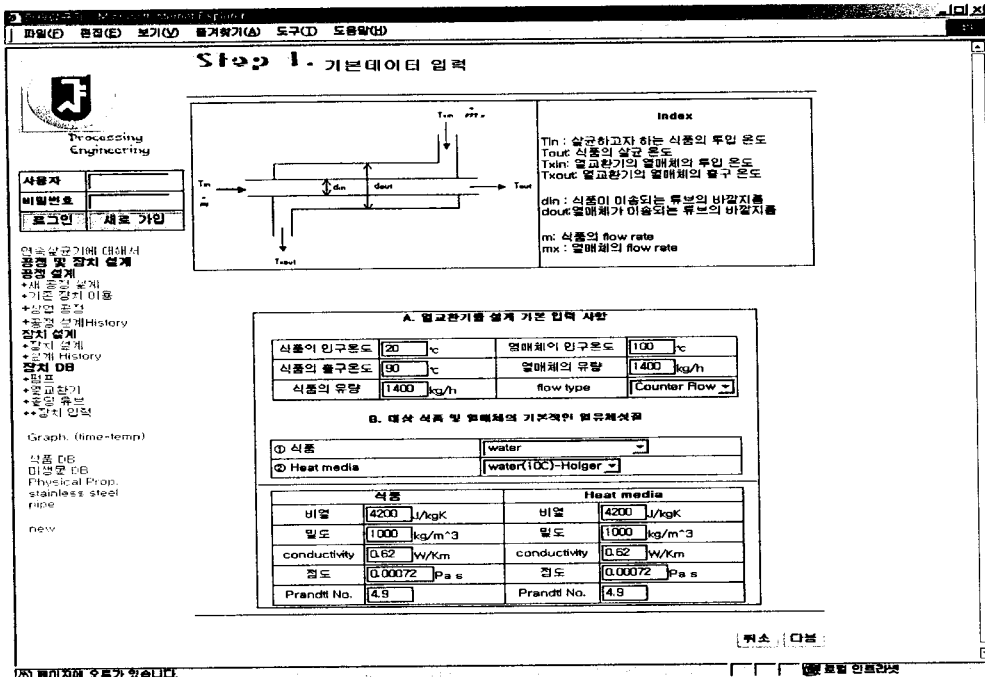


그림 23 연속살균 장치설계 프로그램의 제 1단계 자료입력 화면

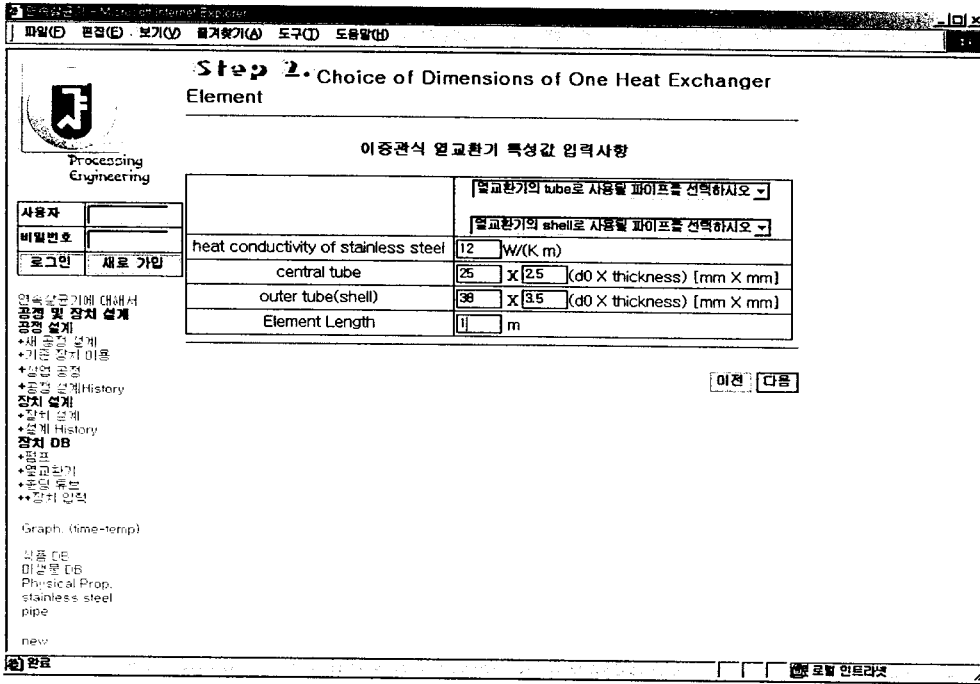


그림 24. 연속살균 장치설계 프로그램의 제 2단계 자료입력 화면

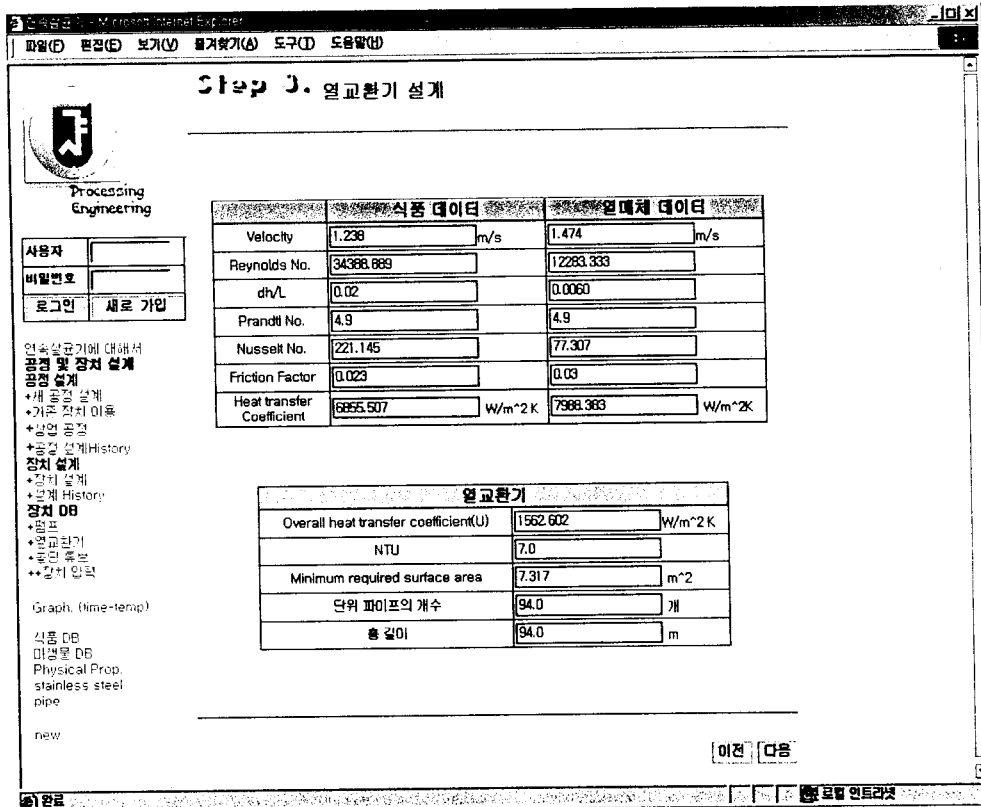



그림 25 연속살균 장치설계 프로그램의 제 3단계 자료입력 화면

Microsoft Internet Explorer

파일(F) 편집(E) 보기(V) 실행(A) 도구(T) 도움말(H)



Step 4. Calculation of Pumping power

앞에서 구한 값들을 이용해서 펌프의 용량을 결정하는 단계이다.

이 단계를 통해 열교환기에 공급되는 식물의 양에 따른 펌프의 용량 및 작동상태를 결정할 수 있다.

사용자	
비밀번호	
로그인	새로 가입

Tube Side

loss coefficient for smooth 180 degree bends	<input type="text" value="0.337"/>	
Pressure Drop	<input type="text" value="9486.408"/>	Pa
therefore, Pumping power	<input type="text" value="3.669"/>	W
if take the pump efficiency as 70%	<input type="text" value="5.27"/>	W

Shell Side

loss coefficient for a sharp bend of 2-90 degree in a T-junction	<input type="text" value="2.35"/>	
Pressure Drop	<input type="text" value="63876.674"/>	Pa
therefore, Pumping power	<input type="text" value="24.641"/>	W
if take the pump efficiency as 70%	<input type="text" value="35.487"/>	W

연속살균기에 대해서
공정 및 장치 설계
+ 새 공정 설계
+ 기존 장치 이동
+ 상업 증명
+ 공정 설계History
장치 설계
+ 장치 설계
+ 설계 History
장치 DB
+ 펌프
+ 열교환기
+ 온도 유로
+ 장치 입력

Graph. (time-temp)

식품 DB
미생물 DB
Physical Prop.
stainless steel
pipe

new

이전

그림 26. 연속살균 장치설계 프로그램의 제 4단계 자료입력 화면

위의 식(13)을 이용하여 압력강하량을 구하고, 이를 이용하여 펌프의 용량을 설계하였다.

그림 26은 앞서 계산된 유체의 특성과 열교환기의 길이 등을 이용하여 전체 공정에 필요한 펌프의 용량을 계산 결과를 보여주고 있다.

나) 단열관(holding tube)의 설계

열교환기에서 살균온도로 가열된 식품은 단열관을 지나는 동안 살균온도에서 F value를 만족하는 시간동안 머물게 되며, 미생물이 사멸하게 된다. 파이프의 직경과 살균처리량으로부터 평균유속을 결정하며, 단열관의 길이를 결정한다. 파이프의 직경의 변화가 있는 경우 유속의 변화를 고려해야 하며, 바뀐 유속에 대해서 단열관의 길이를 재계산 한다.

3) 데이터베이스

연속살균 공정과 장치를 설계하는 프로그램에 이용되는 데이터베이스는 표 6과 같이 구성하였다. 식품과 미생물의 특성을 데이터베이스로 구축하여 비전문가가 미생물에 대한 전문지식 없이도 살균공정을 설계할 수 있게 하였다. 설계된 공정은 processHistory 데이터베이스에 저장되어 다른 사용자가 설계한 공정을 검토할 수 있으며, 중복된 실험 및 설계를 생략할 수 있다. 살균공정의 설계에 사용하기 위하여 140여 개의 식품에 대해서 pH특성을 데이터베이스화하였으며, 50여종의 미생물의 내열특성을 문헌을 참고하여 데이터베이스화하여 설계에 사용할 수 있도록 하였다.

살균 장치 중 열교환기의 설계에 사용되는 스테인레스 파이프를 국내에서 사용되는 규격별로 데이터베이스화하였으며, 파이프 제작업체 48개 업체, 펌프 제작업체 54개(국내 15개 업체, 미국 39개 업체), 열교환기 제작업체 13개업체(국내 13개 업체)에 대해서 데이터베이스를 구축하여 프로그램을 사용하여 설계된 장치를 사용자가 쉽게 제작할 수 있도록 하였다.

표 6. 연속살균 공정 및 장치 설계용 데이터베이스

Database name	Description
Food	Physical characteristics of food
HeatMedia	Physical characteristics of heat media
Micro	Heat-resistance characteristics of micro organism
Part	Manufacturer of heat exchanger, stainless pipe and pump, etc.
Pipe	Specification of pipe for each standard
PipeStd	Standard of pipe
ProcessHistory	Designed process list
SystemHistory	Designed system list
StainlessSteel	Physical characteristics of stainless steel
TimeTemperature	Time and temperature of each system parts to draw the graph of time-temperature profile
User	Information of user

나. 프로그램의 검증

본 연구에서 개발된 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램을 검증하기 위해 문헌에 나와있는 공정과 장치의 특성을 개발된 프로그램을 이용하여 설계된 공정 및 장치의 특성과 비교하여 보았다.

우유의 살균 공정을 개발된 프로그램을 통하여 설계하여 비교함으로써 프로그램의 적정성을 평가하였다. 우유의 살균 공정은 캐나다의 온타리오(Ontario)주의 살균에 관한 기준을 따랐으며, 그 기준은 표 7과 같다. 온타리오주의 살균규정을 충족시키는 HTST 저온살균장치에서의 각 장치별 출구 온도와 살균시간은 표 8과 같다. 이 값을 기준값으로 이용하여 개발된 프로그램의 적정성을 비교평가 할 수 있다.

그림 27에서와 같이 사용자가 우유를 선택할 경우, 프로그램에서 미생물 데이터베이스에서 우유에서 생존가능한 미생물을 검색하여 그 중에서 내열성이 가장 큰 미생물을 선택하게 된다. 일반적으로 우유를 살균하는데 이용되는 지표미생물은 *Coxelliae burnettii*와 *Mycobacterium tuberculosis*가 있으며, 표9는 *Mycobacterium tuberculosis*의 내열특성을 나타내고 있다.

표 7. 온타리오주의 살균 규정

sterilization temperature(℃)	sterilization time
63℃	not less than 30 min
72℃	not less than 16 sec

표 8. 연속살균장치의 온도 분포

parts	time or temperature
tank	4℃
regenerator	65℃
heater	72℃
holding time	16sec
cooler	4℃

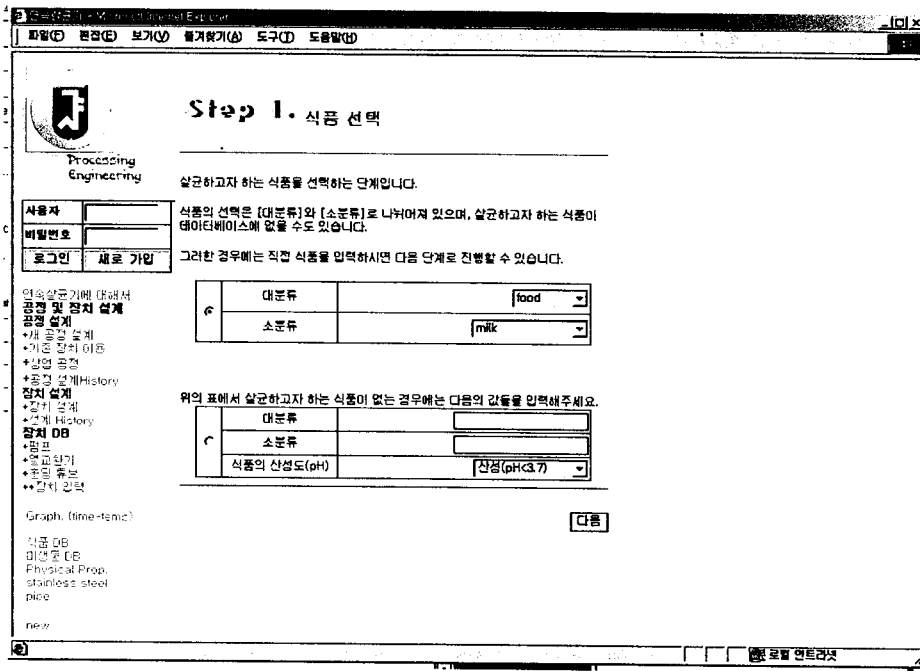


그림 27. 우유의 연속살균 공정설계 제 1단계 자료입력 화면

표 9. Mycobacterium tuberculosis의 내열특성

name	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
D value	0.6 min (36 sec)
z value	5℃
F value	15D

Step 3. 가능한 시간과 온도의 조합

앞선 단계에서 선택한 식품과 미생물의 데이터를 이용하여 살균에 필요한 온도와 시간을 결정하는 단계입니다. 다음 표에 나타난 모든 경우는 동일한 살균효과를 갖는 시간과 온도의 조합입니다. 따라서, 이 중에서 원하는 살균공정을 선택하시면 됩니다. (다중 선택이 가능합니다.)

앞에서 선택된 미생물 "Mycobacterium tuberculosis" 에 대한 살균 시간과 온도의 데이터입니다.

No.	Temperature(°C)	Time(min)
65.56	9.0	
66.56	5.68	
67.56	3.58	
68.56	2.26	
69.56	1.43	
70.56	0.9	
71.56	0.57	
72.56	0.36	
73.56	0.23	
74.56	0.14	
75.56	0.09	
76.56	0.06	
77.56	0.04	
78.56	0.02	
79.56	0.01	
80.56	0.01	
81.56	0.01	
82.56	0.0	

(참고)

편의상 Dvalue의 참고온도 이상에서 실제 살균시간 설정이 가능한 0.009초까지 범위에 한해서 시간-온도 조합을 나타내도록 하였습니다.

이전 다음

그림 28. 우유의 연속살균 공정설계 제 3단계 자료입력 화면

*Mycobacterium tuberculosis*에 대해 개발된 프로그램으로 설계된 공정은 그림 28과 같으며, 계산된 공정은 72.56℃에서 0.36 min(21.6 sec)동안 살균을 하면 되는 것으로 나왔다. 온타리오주의 16초 이상의 살균시간이라는 살균규정을 만족한다고 볼 수 있다. 이것으로 살균 공정이 올바르게 설계되었다고 볼 수 있다.

연속살균장치에 사용되는 예열기를 설계하기 위해서는 열교환기에 사용되는 열매체를 선택해야 하며, 일반적으로 물과 스팀을 이용하여 식품을 가열한다. 그림 29는 설계된 공정과 장치 설계 값을 이용해 그려진 살균공정의 시간과 온도와의 관계 그래프이다. 포장공정과 냉각공정은 열매체의 선택에 어려움이 있어 기본적으로 입력된 값에 의해 나타냈다. 개발된 프로그램을 이용하여 설계된 공정과 장치를 요약하여 나타내면 표10과 같다.

개발된 프로그램에서는 이중관형 열교환기를 기본적으로 설계하였기 때문에 예열기(regenerator)의 길이가 72m로 계산이 되었다. 열교환기의 방식을 다중관(shell and tube type) 방식으로 설계를 하여, 관의 개수를 증가시키면, 열교환기의 길이를 줄일 수 있다. 다중관 방식의 열교환기로 튜브를 4개로 할 경우 18m의 열교환기가 필요하게 되며, 8개로 할 경우 9m로 제작을 할 수 있다. 프로그램에서는 관이 굵은 경우도 고려되었기 때문에 올바르게 설계되었다고 볼 수 있다.

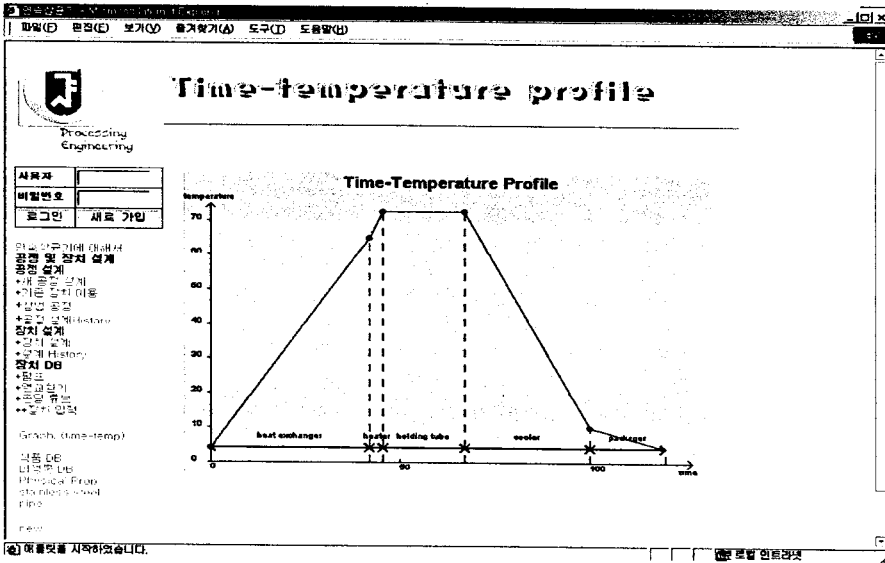


그림 29. 우유의 연속살균 공정설계 결과 출력 화면

표 10. 연속살균장치의 온도 분포

	Exit temperature(℃)	Time(sec.)	Tube length(m)
Tank	4	0	-
Regenerator	65	42	72
Heater	72.56	3.5	6
Holding tube	72.56	21.6	37
Cooler	4	-	-
Packaging	4	-	-

제 3 절 연속살균 공정상태 측정 및 제어 장치

연속살균공정에서 살균장치의 작동이 설계된 살균공정의 조건으로 작동하고 있는지 확인하고 목적 작동조건으로 작동하도록 제어하는 연속살균공정 작동상태 측정 및 제어장치를 개발하였다.

1. 연구의 방법

가. 연속살균공정 상태 인자

연속살균공정의 작동상태 인자로서 설계된 단위 시간당 살균 처리 속도에 대하여, 원료식품의 유속과 유량, 폐열회수장치(이하 예열 열교환기)에서 냉각되는 식품과 예열되는 식품의 입·출구 온도, 가열용 열교환기에서의 가열 스팀 및 식품의 입·출구 온도, 단열관(holding tube)의 출구 온도로 설정하였다. 본 연구에서는 살균된 식품을 상온으로 냉각하는 냉각공정과 멸균용기에 포장하는 포장공정은 포함하지 않았다.

1) 식품의 이송속도 : 단위 시간당 식품의 살균처리량은 식품의 이송속도에 의하여 결정되며, 이송속도의 변동은 가열 열교환기 내에서 식품에 공급하는 단위 시간·질량당 열량의 변화로 나타나므로 살균온도의 변동으로 나타난다. 따라서 살균온도의 일정한 유지를 위하여 식품의 이송속도를 측정·제어하여야 한다.

2) 폐열회수장치의 예열·냉각 식품의 입·출구 온도 : 폐열회수장치(이하 예열 열교환기)에서 예열되는 식품의 출구온도는 가열 열교환기의 입구 온도이며 이 온도와 주어진 가열 스팀의 입구온도에 의하여 열교환기에서 가열되는 식품의 살균온도가 결정된다.

3) 가열용 열교환기의 가열 스팀 및 식품의 입·출구 온도 : 가열 열교환기에서의 식품의 출구온도는 살균온도이며 예열 열교환기에서 이송되는 식품의 온도와 가열스팀의 입구온도에 의하여 결정된다. 따라서 예열 열교환기의 출구에서 식품의 온도인 살균온도를 일정하게 유지하려면 2)와 3)의 온도상태를 측정하고 스팀의 온도를 제어하여야 한다.

4) 단열관(holding tube)의 출구온도 : 단열관의 출구온도는 식품이 살균온도로 단열관을 통과하는데 소요된 시간, 즉 살균시간 동안 살균온도가 유지되었나를 나타내는

온도로서, 살균온도보다 낮으면 원료탱크로 다시 보내져 살균공정을 반복하며, 살균온도 이상이면 냉각공정과 포장공정으로 보내지는 것을 판단하는 기준이 된다.

나. 측정장치 구성

- 1) 온도측정 : 각 온도 측정지점에서의 온도 측정에 T-type SLE(Special Limits of Error) 열전대를 사용하였으며, 260℃에서도 사용가능한 PFA 테프론으로 절연한 0.5℃의 측정오차를 보장하는 미국 Omega사의 제품이다. 각 부위의 유체의 온도측정을 위하여 T자 분기관을 사용하는 구조물을 사용하였으며, 고온 실리콘으로 밀봉하였다.
- 2) 유속·유량측정 : 연속살균공정에서 관내에 이송되는 식품의 유속·유량을 측정하기 위하여 터빈형의 미국 Omega사의 FTB-971A 유량계를 사용하였다. 이 유량계의 정확도와 선형성은 $\pm 0.5\%$ 이며, 정밀도는 $\pm 0.1\%$ 이다. 연속살균공정의 단열관(holding tube)의 출구온도 측정을 위하여 사용 온도·압력범위가 각각 232℃, 1500psig까지 인 것을 선정하였다. 유량측정범위는 분당 20 liter까지로 이 범위에서 측정 선형성이 유지된다.
- 3) 자료수집장치 : 각 공정에서의 온도와 유량을 측정 및 저장하기 위하여 National Instrument(NI)사의 PCI6031E 자료수집장치를 사용하였으며, 이 장치는 NI사의 SC2345 신호처리 장치와 연결하여 사용하였다.
- 4) 연속살균 공정상태 측정 프로그램 : 각 공정에서의 상태 값을 측정, 수집, 표시, 저장을 제어하는 프로그램을 G언어의 일종인 NI Labview를 사용하여 작성하였다.

다. 살균공정 제어장치

살균공정 제어장치는 가열교환기에 공급되는 스팀 온도제어, 살균장치에 공급되는 식품의 유속제어, 그리고 살균공정 후 단열관(holding tube)에서 살균 정도에 따라서 냉각, 포장공정으로 이동시키거나 다시 원료탱크로 돌려보내 살균공정을 거치게 하는 유량분할장치(FDD, Flow Diversion Device)제어 부분으로 구성하였다. 연속살균공정의 제어 프로그램은 NI Labview로 작성하였다.

- 1) 연속살균공정의 온도제어 : 살균공정의 온도가 설정온도보다 낮은 경우는 가열 전 기히터의 작동으로, 높은 경우에는 솔레노이드 밸브를 열어 압력의 강하로 온도를 낮

추는 방법을 사용하였다. 가열용 스팀의 온도를 상승시킬 때에는 PWM제어 방식을 사용하였다. PWM의 Duty cycle은 시행착오방법으로 결정하여 자료 파일로 저장하여 프로그램에서 사용하였으며 그 사양은 표 11에 나타난 바와 같다. 기본 제어시간 주기는 1초로 설정하였으며, 온도차이 구간은 5.0, 2.5, 1.0, 0.5, 0.2, 0.0으로 나누었으며 설정온도에 대한 각 온도 차이값(목표값 - 측정값)에 따라 duty cycle을 표 11을 사용하여 duty cycle에 해당하는 시간동안 가열 히터의 전원의 공급을 제어하였다. 반대로 설정온도보다 측정온도가 높은 경우, 또는 현재 온도보다 낮은 온도로 설정온도 조건을 변경하고자 할 경우에는 스팀 배출용 솔레노이드 밸브를 열어 스팀 압력강하를 이용하여 온도를 낮추었다. 솔레노이드 밸브의 개폐시간 조절은 PWM 방식에 의하여 급격한 압력의 변동을 최소화하였으며, 기본 제어시간 주기는 0.5초로 하여 20, 40, 60, 80, 100%의 duty cycle을 적용하였다.

2) 연속살균공정 유량제어 : 연속살균공정의 식품의 유속·유량은 공급펌프 구동모터의 회전수 조절로 제어하였으며, 구동모터의 회전수는 LG산전의 LG 인버터 SV-iG5를 사용하여 제어하였다. 모터회전수는 0 ~ 60Hz 사이의 주파수 변환을 통하여 그에 상응하는 rpm으로 제어하였다. 인버터 주파수 변환 명령으로 0 ~ 10volt의 직류전압을 자료수집장치를 통하여 가하여 모터의 rpm을 제어하였다.

3) 유량분할장치(FDD, Flow Diversion Device)제어 : 식품의 살균여부에 따라서 포장공정으로 또는 원료탱크로 되돌려 보내는 유량분할 장치를 두 개의 솔레노이드 밸브로 구성하였다. 제어 프로그램으로 살균이 완료된 제품의 흐름 중 살균온도보다 낮은 온도가 측정되면 원료탱크방향의 밸브를 열고, 포장공정방향의 밸브를 닫으며, 반대의 상황에서는 0.3초의 시간지연을 주고 포장공정방향 밸브를 열고, 원료탱크방향의 밸브를 닫아주는 순차제어를 하여, 포장공정으로 살균이 안된 식품이 유입되는 것을 방지하였다.

4) 고온 고압 열특성 측정장치 온도제어 : 제 1차년도에 개발한 고온 고압용 열특성 시험장치를 보다 효율적으로 개선하여 온도 조절되는 고온 스팀을 이용하는 측정시료의 온도조절이 용이한 압력용기를 개발하였으며, 연속살균장치에 추가하여 일체식으로 구성하였다.

표 11. 스팀 발생용 고압용기의 각 목적온도별 온도제어용 duty cycle

Temperature difference (°C)	Target temperature(°C), duty cycle(%)		
	100°C	120°C	140°C
5.0	95%	95%	95%
2.5	65%	67%	72%
1.0	23%	25%	27%
0.5	10%	11%	12%
0.2	5%	6%	8%
0.0	2%	3%	5%

2. 연구 결과 및 고찰

연속살균 공정상태 측정 및 제어를 위하여 Graphic 언어의 일종인 NI Labview로 모니터링 차트를 구성하였으며 공정상태 감시 화면은 그림 30과 같다. 그 결과, 사용자가 쉽게 작동상태를 감지할 수 있는 인터페이스를 제공하였다.

가. 연속살균 공정상태 측정 장치

- 1) 온도측정 : 온도측정센서의 정확도는 0.1°C 수준의 표준 막대온도계로 확인하였으며, Labview로 작성한 공정상태 측정프로그램의 출력결과와 0.1°C 미만의 차이를 보였다.
- 2) 유속·유량측정 : 유량계의 유량측정 정확도를 확인하기 위하여 그림 2와 같이 장치를 구성하였다. 유량계 정확도 검증장치는 0.0010초 표준 시간과형 발생장치, 1 liter 수조, 하부·중간·상부의 3개 수위 검출 광센서, 카운터, 컴퓨터 인터페이스로 구성하였다. 그림 31에서 보는 바와 같이 하부 수위 검출 광센서에 수위표시 부유물이 감지되면 펄스 카운터가 초기화되며, 수위가 중간 광센서에 감지되면 0.001초의 펄스가 발생되며 카운터는 펄스 수를 측정하게 된다. 수위가 상부 광센서에 감지되면 펄스 카운트가 중지되며 컴퓨터인터페이스를 통하여 카운터 데이터가 전송되며 하부에 위치한 솔레노이드 밸브를 작동시켜 수조의 액체를 배출시킨다. 수위가 하부 광센서 위치에서 검출되면 카운터를 초기화시키고 하부 솔레노이드 밸브를 닫고 유량측정을 위에서 설명한 순서대로 자동으로 반복하며, 이때, 유량센서의 측정값과 비교하여 정확도를 측정하였으며, 정확도가 0.5% 미만인 것으로 확인되었다. 유량측정 정확도를 검증하기 위하여 상온의 수돗물을 사용하였다.

나. 살균공정 제어장치 : 살균공정을 제어하기 위하여 그림 32와 같이 제어 회로를 구성하였다. 제어회로는 솔레노이드 구동 릴레이와 유량센서 신호 처리회로로 구성하였다.

- 1) 스팀발생기의 온도제어 : 본 연구에서 개발한 온도 제어장치는 그림 33과 같으며, 스팀발생부의 온도를 0.5°C 미만의 차이로 제어할 수 있었다.
- 2) 연속살균공정의 유속·유량제어 : NI PCI6031E 자료수집장치의 D/A 채널을 사용하여 인버터 아날로그 입력부에 0 ~ 10 volt의 전압을 가하여 펌프 구동모터의 분당

회전수를 제어하여 유속·유량을 제어할 수 있었다.

3) 유량분할장치(FDD, Flow Diversion Device)제어 : 컴퓨터 인터페이스의 디지털 I/O 채널의 출력신호로 릴레이를 구동시켰으며 이 릴레이는 24 volt 솔레노이드 밸브를 구동시켰다. 출력 신호에 따라서 솔레노이드 밸브가 작동하는 것을 확인 할 수 있었다.

5) 고온 고압 열특성 측정장치 온도제어 : 시료온도의 제어속도를 향상시킬 수 있도록 그림 33과 같이 1.5 liter로 압력용기의 크기를 작게 변경하였으며 솔레노이드 밸브를 제어하여 온도강하 및 상승속도를 기존의 10여분에서 5분으로 빠르게 향상시켰다.

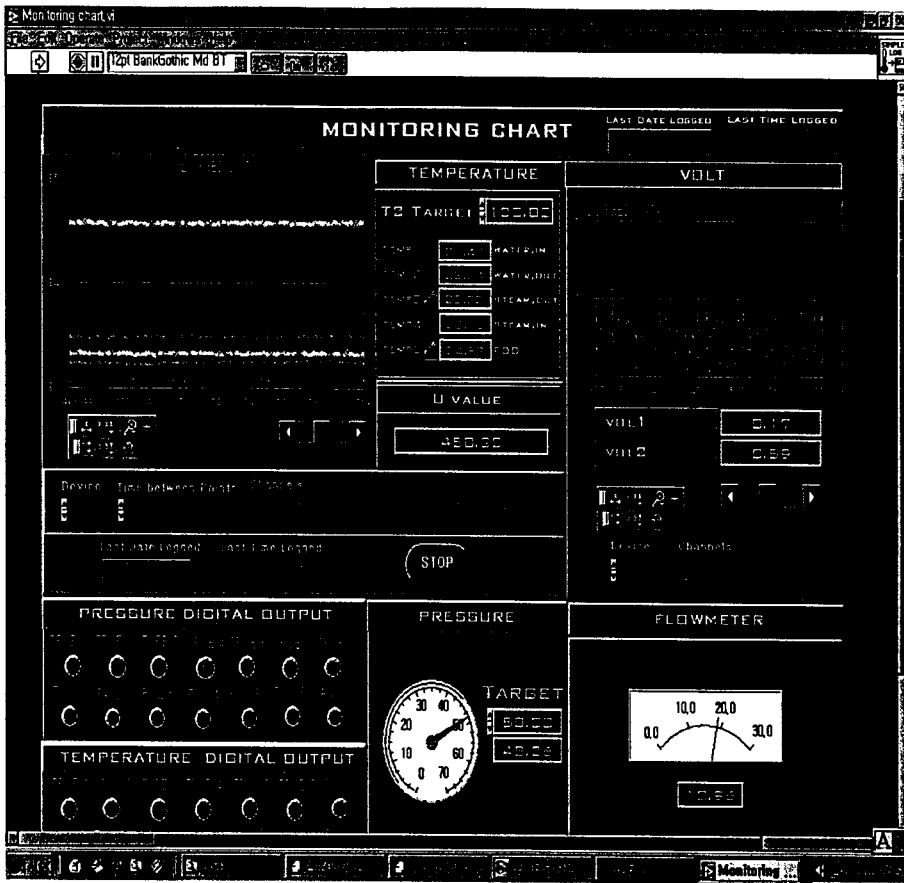


그림 30. 연속살균 공정상태 표시 및 제어용 Labview 모니터링 차트

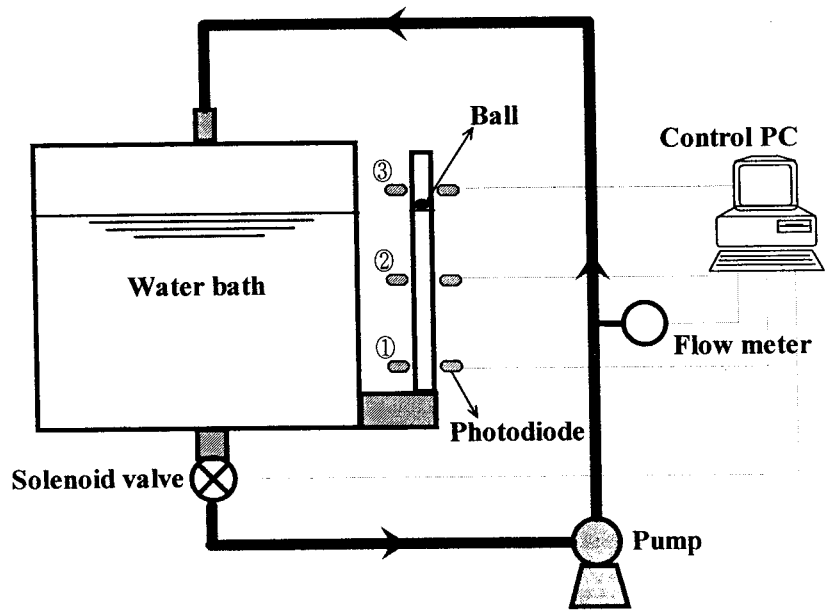


그림 31. 유량 측정장치의 정확도 검증장치 구성도

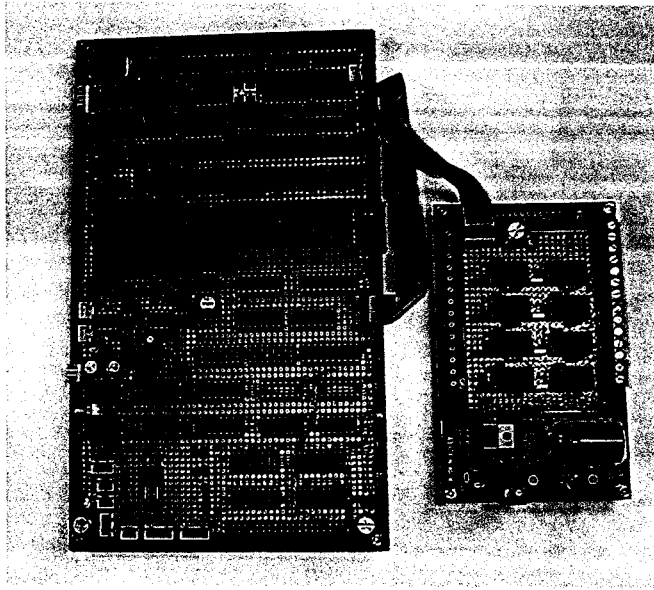


그림 32. 살균공정제어(우측) 및 스팀온도 제어 회로

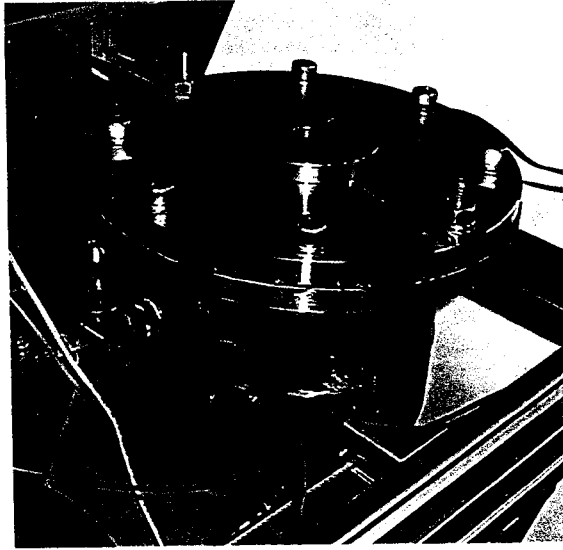


그림 33. 고온 고압에서의 열특성 측정장치

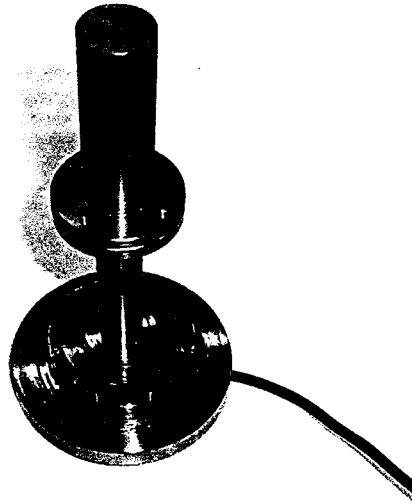


그림 34. 고온 고압용 열특성 측정 센서 구조
물 및 시료 고정장치

제 4 절 연속살균장치 시작기 개발

본 연구에서는 고온으로 연속살균할 수 있는 연속살균장치 시작기를 개발하고자 하였으며, 그 기준을 130℃에서 3초간, 분당 1~20 liter의 살균속도에 두었다. 본 연구의 당초 계획은 사과, 또는 포도의 열특성을 측정하고, 그 열특성 자료와, 사과나 포도에 관련된 미생물의 열저항 특성값을 기준으로 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램을 이용하여 공정과 장치를 설계하고 그 결과에 따라서 연속살균장치의 시작기를 제작하는 것이었으나, 일반적으로 과일음료에 관련된 유해 미생물에 대한 자료가 명확하지 않으며, 살균조건은 93℃에서 15초정도 살균하는 것으로 되어있다. 따라서 본 연구에서는 연속살균공정 설계 프로그램의 성능을 우유를 대상으로 본 연구의 공정설계 프로그램으로 공정을 설계하여 그 결과가 캐나다 온타리오(Ontario)주의 살균조건과 근사하게 일치하는 것으로 프로그램의 성능을 검증하였으므로, 과일 주스의 살균조건보다 광범위한 당초의 130℃에서 3초간, 분당 1~20 liter의 살균속도를 기준으로 장치를 설계하고 그 시작기를 제작하였다. 본 연구에서 제작하는 시작기에는 상온으로 냉각하는 냉각 공정과 폐열을 회수하는 폐열회수공정 및 포장공정이 생략되었다.

1. 연속살균장치 시작기 제작

원료탱크 : 원료탱크는 스텐레스로 가로 450mm, 세로 600mm 크기이며 상하부가 타원형 형태를 이루고 있다. 저장용량은 100 l이며, 탱크 좌측면에는 그림 35와 같이 수위를 관측할 수 있는 유리관인 수위 관측관이 장착되어 있다. 원료저장용과 살균된 모델 식품의 저장을 위하여 2개를 제작하였다.

열교환기 : 연속살균장치에 사용하는 열교환기는 전열 면적의 변경이 용이하도록 착탈이 용이한 이중관형을 선택하였으며 외벽 관의 지름이 32mm, 내벽관의 지름이 9.6mm로 스텐레스 이중관을 사용하였다. 본연구에서 설계 제작한 열교환기는 그림 36에서 보는 바와 같다. 열교환기의 가열 매체는 고온 고압 스팀 발생기에서 발생시키는 스팀으로 열교환기 내에서 가열과정 중 응축되어 물이 발생하면 열교환효율이 저하된다. 이와 같은 응축수의 배출이 용이하도록 열교환기 가열매체의 출구 위치가 입구 위치보다 낮게 설치하였으며 응축수는 다시 스팀발생기로 순환하게 설계되었다. 또한 열교환기의 유지보수 및 청소를 손쉽게 하기 위해서 그림과 같이 열교환기 좌우

끝에 위치한 관 연결부분을 나사식으로 설계하여 여러대의 열교환기를 추가하거나 분해하기 쉽게 고안되었다.

펌프 : 표 12는 본 연구에 사용된 펌프의 제원을 나타내고 있다. 이 펌프는 Nikuni사의 제품으로 흡입·배출 구경이 각각 25.4mm와 19.05mm인 원심식 펌프이며, 유량은 최고 110 l/min까지 조절할 수 있다. 대상유체가 물인 경우 최고 90℃까지 사용가능한 내열성을 가지고 있으며 물의 점성이 0.0100 poises인 점을 감안하여 최고 0.1000 poises를 이송할 수 있는 원심식 펌프를 선택하였다. 펌프에 부착된 모터는 3상이며, 인버터를 부착하여 다양한 유량을 제어할 수 있도록 하였다.

유량 분할기(flow diversion device, FDD) : 단열관(holding tube)의 출구 온도가 살균온도 이하이면 살균이 안된 것으로 정의하여 원료탱크로 되돌려 보내는 유량분할기는 그림 37과 같이 두 개의 슬레노이드 밸브로 구성하였다.

스팀발생장치 : 살균대상식품을 살균온도로 가열하는 가열매체는 스팀을 사용하였으며, 고온 고압의 스팀을 발생시키기 위하여 그림 38과 같은 장치를 제작하였다. 스팀가열기는 가로 260mm, 세로 155mm 크기이며, 위 아래는 반구형 형태로 되어 있다. 스팀가열기 내부에는 1.5 kW용량의 히터코일이 내장되었고, 장치 내부에 있는 물을 가열할 때 발생하는 스팀은 위쪽에 위치한 소켓을 통과하여 열교환기로 향하게 된다.

단열관(holding tube) : 단열관은 살균장치를 통과하는 식품이 실제 살균시간을 확보 할 수 있는 구간이다. 홀딩튜브에 기포가 유입되면 그 부위에 압력이 증가하고 관내부가 불균일한 온도로 변화할 수 있어 연속살균장치의 성능저하를 일으킬 수 있다. 이를 방지하기 위하여 10° 정도의 기울기를 두고 설치하는 것이 관례이나 본 연구에서는 고려하지 않았다.

본 연구에서 제작한 연속살균장치의 시작기는 그림 39와 같다.

2. 연속살균장치의 시운전 및 성능평가

본 연구에서 제작한 연속살균장치의 성능을 시험하기 위하여 수돗물을 원료탱크에 넣고 연속살균장치의 작동상태를 측정하였다. 일반적으로 과일 주스의 열특성은 수분함량에 의하여 결정되며 과일 주스는 열특성은 물과 차이가 적으며, 이는 본 연구의 사과 과즙 원액의 열특성 측정결과에서 보는 바와 같다. 따라서 본 연구에서는 물과 특성이 비슷한 사과 주스나 포도주스의 연속살균공정을 물로 대신하여 시험하였다.

연속살균공정은 살균장치가 처음 운전을 시작하여 정상상태에 도달하고 안정적으로 운전할 때까지 과도 상태를 거치게 된다. 따라서 초기 운전시부터 살균하려는 식품을 넣고 가동하면, 과도 운전 중 살균되지 않은 식품을 배출하게 된다. 따라서 초기 운전시에는 물을 저장탱크에 넣고 연속살균 장치를 가동시키고, 유량분배기를 저장탱크로 향하게 하여 물을 연속살균장치에서 순환시킨다. 연속살균장치가 정상상태에 도달하면, 물을 배출하기 시작하며, 저장탱크에 물이 거의 다 배출되면 원료를 저장탱크에 투입하여 연속살균공정을 시작한다.

연속살균장치 시작기에 수돗물을 사용하고 분당 1 liter의 유속과 스팀발생기의 온도를 140℃로 설정하여 연속살균공정 작동상태 측정 및 제어 프로그램을 시험한 결과 제어대상인 유량·유속 및 스팀발생기의 온도는 일정하게 유지가 되었으며, 정상 운전에는 30분 정도 소요되었다. 본 연구의 열교환기의 내부 튜브의 직경 9.6mm에 유량이 분당 1 liter 인 경우, Re가 4930으로 난류의 특성을 보이게 되며, 이 경우 Nu는 32.21, 따라서 내부 벽면의 대류열전달계수가 2330 $w/m^2 \cdot ^\circ C$ 로 열교환기를 3개를 사용하여 시운전한 결과 살균온도가 130℃가 되어야 하나, 120℃가 측정되었다. 이는 스팀온도를 높여 제어하는 방법과 펌프의 공급속도를 낮추는 방법으로 제어될 수 있으나 이 두 방법은 모두 난해한 제어조건이 요구된다. 본 연구에서 개발 제작한 연속살균장치의 시작기는 기대한 만큼의 성능을 보여주지 못했지만, 앞으로 본 연구에서 개발된 연속살균장치 시작기와 제어장치를 활용하여 연구를 계속하면 새로운 제어 기술의 개발과 축적으로 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

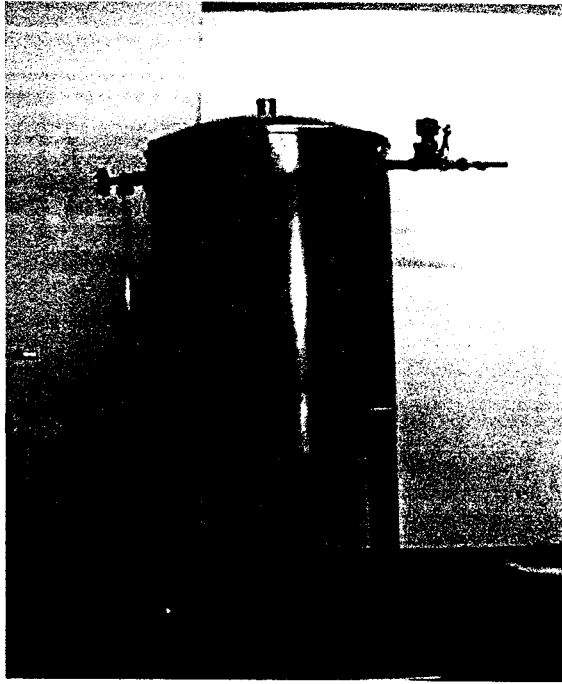


그림 35. 원료 저장탱크

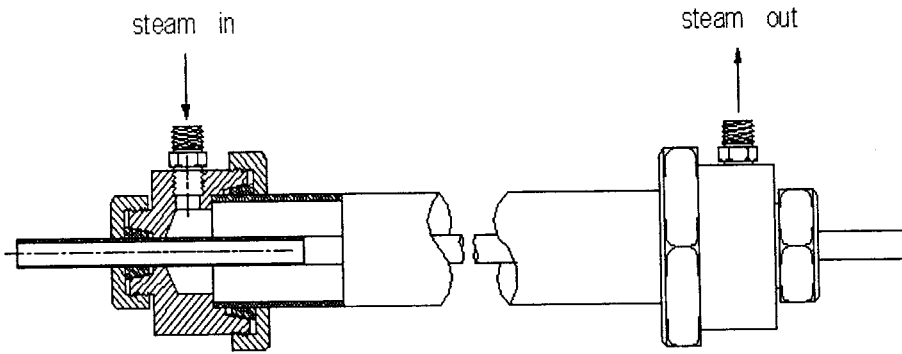


그림 36. 열교환기 사진(위)과 구조도(아래)

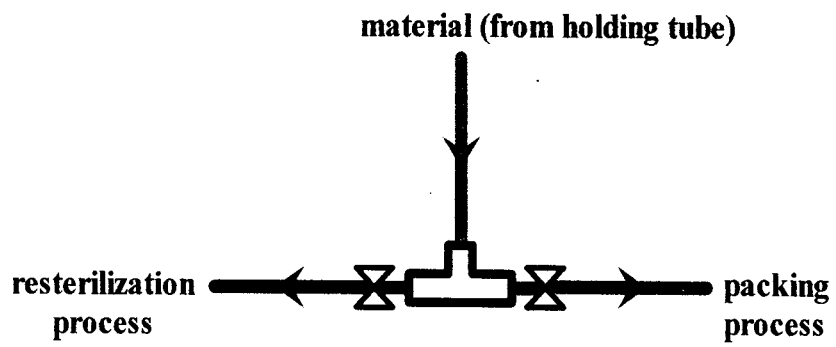


그림 37. 유량분할기의 구성도

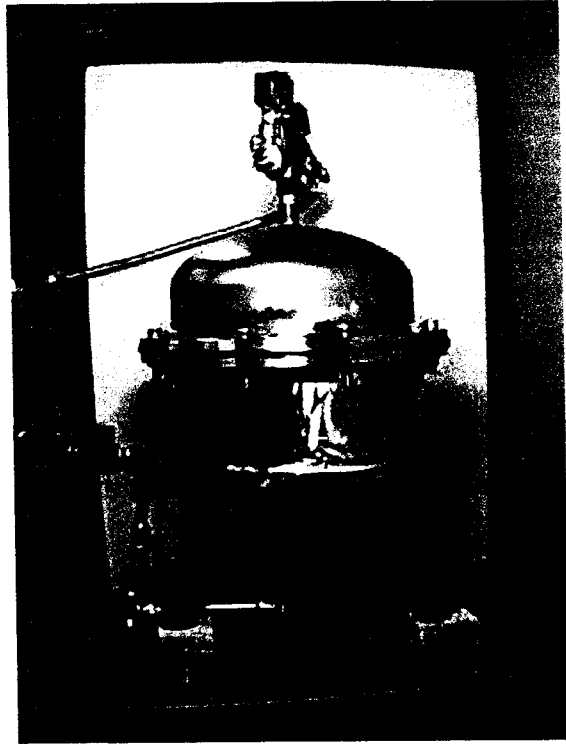


그림 38. 스팀발생기

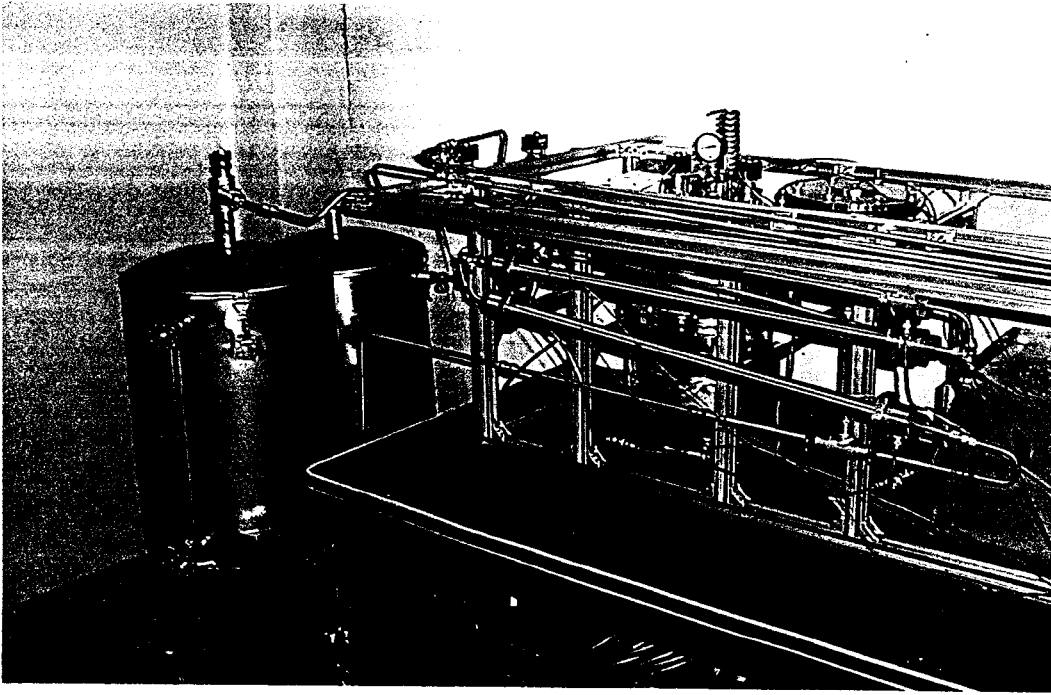


그림 39. 연속살균장치 시작기

표 12. 펌프의 사양

Model No.		25 NED 15 z-v
Material	Body cover	SCS14
	Impeller	SUS316
	Mechanical seal	Ceramic carbon
	O-ring	NBR
	Shaft	SUS316L
Connection		Rc screw
Viscosity		up to 10 cst
Liquid to be handled		Water(up to 90℃) Chemical liquid(up to 120℃)
Max. pressure(Mpa)		up to 0.7
Flow rate(L/min)		up to 110

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구 개발목표의 달성도

구 분	평가의 착안점 및 척도		
	착 안 사 항	척 도 (점수)	달성도 (%)
1차년도(2000)	○연속살균기술의 국내활용 가능성 조사	20	80
	○시료 온도 제어장치 성능 평가	20	100
	○열특성 측정 정확도 평가	30	100
	○측정 자동화 장치 성능 평가	30	90
2차년도(2001)	○연속살균공정 설계 기본자료 수집	25	100
	○연속살균장치 구성요소의 특성자료 수집	25	90
	○연속살균공정 설계 프로그램 성능 평가	25	100
	○연속살균장치 계측 제어장치 성능 평가	25	100
3차년도(2002)	○연속살균장치 시작기 제작	50	100
	○시작기의 성능 평가	25	100
	○연속살균장치의 기술적 경제적 효과분석	25	50
최종평가	○농산물의 열적 특성측정 장치 정확도 평가	20	100
	○연속살균공정 설계 프로그램 성능 평가	20	100
	○연속살균공정 계측제어 장치 성능평가	20	100
	○연속살균장치의 기술적 경제적 효과분석	15	50
	○시작기의 성능 평가	25	100

제 2 절 연구 관련분야에의 기여도

본 연구에서 개발한 열특성 측정장치로 농산가공식품의 가열가공 공정 설계 및 분석에 필요한 열특성을 정확하게 측정할 수 있으므로 열특성 연구와 농산물의 열특성 database 구축에 활용할 수 있으며 또한 대학에서 열특성 측정 실험장비로 교육용으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 연속살균공정 및 장치 설계 프로그램은 아직

미비한 점이 많지만, 연속 살균 공정 및 장치 설계용 프로그램은 연속살균공정이나 장치의 연구 개발에 시작점으로, 교육용으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 연속 살균장치 시작기는 연속살균공정 제어 및 특성 연구 및 실습교육에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 추가연구의 필요성

본 연구에서 개발된 연속살균 공정 및 장치 설계 프로그램은 설계 기초자료로 사용되는 기본 database가 한정된 식품을 대상으로 하고 있다. 이를 보완 보충하여 보다 다양하고 광범위한 살균대상 식품의 특성과 최신 살균장치의 부품의 특성자료를 추가하여야 할 것이다. 또한 연속살균장치 시작기는 살균공정 및 장치의 특성과 제어 기술 개발에 활용될 수 있으므로 기술개발을 위하여 향후 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

제 2 절 타 연구에의 응용

식품가공이나 농산가공 교육에 좋은 실습장비로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서 개발된 열특성 측정장치, 살균공정 및 장치 설계 프로그램, 연속살균장치 시작기는 연속살균 기술 발전을 위한 교육용 프로그램 개발, 교육공학용으로 응용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 열특성 측정장치는 건조, 저장, 또는 식품 열가공 공정의 설계에 대상 농산물의 열특성 연구에 활용할 수 있다.

제 3 절 기업화 추진방향

본 연구 결과는 기업화에는 미흡한 점이 많다. 따라서 지속적인 추가 연구가 필요하며 본 연구 결과물의 기업화는 그 추후에 고려할 사항으로 판단된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구 개발 과정에서 연속살균장치의 구성 요소인 펌프, 열교환기, 유량분할기 등의 기존 제품과 제작회사의 정보를 효율적으로 검색하여 필요한 정보를 얻을 수 있는 인터넷 웹 사이트를 접하게 되었다. 미국내 산업체의 이름, 장치, 제품, 기술 서비스 등의 자료를 검색할 수 있는 토마스레지스터 홈페이지를 사용하면 미국내에서 취급되는 최신 기술 및 정보를 얻을 수 있다. 그 주소는 다음과 같다.
<http://www.thomasregister.com>

제 7 장 참고문헌

- Alagusundaram, K., D. S. Jayas., W. E. Muir., and N. D. G. White. 1991. Thermal conductivity of bulk barley, lentils, and peas. *Transactions of the ASAE* 34(4):1784-1788
- Alhamdan, A., S. K. Sastry, and J. L. Blaisdell. 1990. Natural convection heat transfer between water an irregular shaped particle. *Transactions of the ASAE* 33(2):620-624.
- Asher, G. B., E. D. Sloan, and M. S. Graboski. 1986. A computer controlled transient needle-probe thermal conductivity instrument for liquids. *International Journal of Thermophysics* 7(2):285-294.
- ASTM. 1995. Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus. American Society for Testing and Materials. ASTM Standard 04(06) C 177-85:20-31.
- Ball, C. O. and F. C. W. Olson. 1957. *Sterilization in Food Technology*. McGraw-Hill, New York.
- Baghe-Khandan, M. S. and M. R. Okos. 1981. Effect of cooking on the thermal conductivity of whole and ground lean beef. *Journal of Food Science* 46:1302-1305.
- Banwart, G. J.. 1981. *Basic Food Microbiology*. AVI Publishing Co., Westport, CT.
- Bigelow, W. D., G. S. Bohart, A. C. Richardson, and C. O. Ball. 1920. Heat penetration in processing canned foods. *National Cannery Association Bulletin*, No. 16L.
- Brennan, J. G., J. R. Butters, N. D. Cowell and A. E. V. Lilly. 1976. *Food Engineering Operations*, 2nd ed.. Applied Science, London.
- Carslaw, H. S. and J. C. Jaeger. 1959. *Conduction of Heat in Solids*. 2nd ed. London and New York:Oxford University Press. pp.302, 340-341

- Casada, M.E. and L.R. Walton. 1989. New model for determining thermal diffusivity with the thermal probe. *ASAE* 32(3): 973-976
- Chandarana, D. I., A. Gavin, III and F. W. Wheaton. 1988. Particle/Fluid interface heat transfer during aseptic processing of foods. *ASAE Paper No.* 88-6599. *ASAE*, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659.
- Chang, S. Y. and R. T. Toledo. 1989. Heat transfer and simulated sterilization of particulate solids in a continuously flowing system. *Journal of Food Science* 54(4):1017-1023, 1030.
- Chang, S.Y and R.T. Toledo. 1990. Simultaneous determination fo thermal diffusivity and heat transfer coefficient during sterilization of carrot dices in a packed bed. *Journal of Food Science.* 55(1):199-205
- Choi, Younghee and M. R. Okos. 1983. The thermal properties of tomato juice concentrates. *Transactions of the ASAE* 26:305-311.
- Constenla, D. T., J. E. Lozano, and G. H. Crapiste. 1989. Thermophysical Properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. *Journal of Food Science* 54(3):663-668.
- Croft, D. R. and D. G. Lilley. 1977. Heat transfer calculations using finite difference equations. *Applied Science Publishers, LTD, London.* Pp: 185-187.
- Datta, A. K.. 1999. Heat transfer coefficient in laminar flow of non-Newtonian fluid in tubes. *Journal of Food Engineering* 39 : 285-287.
- de Ruyter, P. W. and R. Brunet. 1973. Estimation of process conditions for continuous sterilization of foods containing particles. *Food Technol.* 27(7): 44-51.
- D'Eustachio, D. D. and R. E. Schreiner. 1952. A study of a transient heat method for measuring thermal conductivity. *Transactions of the ASHVE* 58:331-342.
- Eckert, E. R. G. and R. M. Drake. 1972. *Analysis of heat and mass transfer.* McGraw-Hill, New York, NY.
- Gould, G. W.. 1995. *New Methods of Food Preservation.* pp.176-204. Blackie

Academic & Professional. Glasgow, U.K.

- Hersom, A. C.. 1985. Aseptic Processing and Packaging of Food. *Food Rev. Intl.* 1(2) : 215-270.
- Hill, J. E., J. D. Leitman, and J. E. Sunderland. 1967. Thermal conductivity of various meats. *Food Technol.* 21:1143-1148.
- Holdsworth, S.D. 1992. Aseptic processing and packaging of food products. Elsevier Applied Science. London.
- Hooper, F. C. and F. R. Lepper. 1950. Transient heat flow apparatus for the determination of thermal conductivities. *Transactions of the ASHVE* 56:309-322.
- Hong, J., Y. J. Han, and J. M. Bunn. 1998. Measurements of thermal conductivity of food products using a thermal probe method. ASAE Paper No. 986001. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659.
- Lund, D. B.. Principles of Food Science Vol.2, Principles of Food Preservation. Marcel Dekker, New York.
- Manson, J. E. and J. F. Cullen. 1974. Thermal process simulation for aseptic processing of food containing discrete particulate matter. *Journal of Food Science* 39:1084-1089.
- Mohsenin, N. N. 1980. Thermal properties of foods and agricultural materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York, NY.
- Murakami, E. G., Sweat, V. E., Sastry, S. K., Kolbe, E. 1996. Recommended design parameters for thermal conductivity probes for nonfrozen food materials. *Journal of food engineering* 27:109-123
- Nietro de Castro, C. A., S. F. Y. Li, A. Nagashima, R. D. Trengove, and W. A. Wakeham. 1986. Standard reference data for the thermal conductivity of liquids. *Journal of Phys. Chem. Ref. Data* 15(3):1073-1087.
- Nix, G. H., G. W., Lowery, R. I. Vachon, and G. E. Tanger. 1967. Direct determination of thermal diffusivity and conductivity with a refined line-source

- technique. *Progress in Aeronautics and Astronautics: ThermoPhysics of Spacecraft and Planetary Bodies* 20:865-878. Academic Press, New York, NY
- Olivares, M., J.A. Guzman, and I.Solar. 1986. Thermal diffusivity of nonhomogeneous food. *Journal of Food Processing and Preservation* 10: 57-67.
- Ramires, M. L. V., C. A. Nitro de Castro, Y. Nagasaka, A. Nagashima, M. J. Assael, and W. A. Wakeham. 1995. Standard reference data for the thermal conductivity of water. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 24(3):1377-1381.
- Richardson, P. S. and S. D. Holdsworth. 1989. *Process Engineering in the Food Industry*. Elsevier Applied Science.
- Sastry, S. K. 1986. Mathematical evaluation of process schedules for aseptic processing of food containing discrete particulate matter. *Journal of Food Science* 51(5):1323-1328.
- Schlunder, E. U.. 1983. *Heat Exchanger Design Handbook*. Hemisphere Publ. Co., Washington, D.C.
- Song, J. C.. 1998. *Food Processing and Storage*. Hyoil Munhwa. Seoul.
- Stumbo, C. R.. 1973. *Thermobacteriology in Food Processing*. Academic Press, New York.
- Sweat, V. E., C. G. Haugh, and W. J. Stadelman. 1973. Thermal conductivity of chicken meat at temperatures between -75 and 20°C. *Journal of Food Science* 38:158-160.
- Van der Held, E. F. M. and F. G. Van Drunen. 1949. A method of measuring the thermal conductivity of liquids. *Physica* 15(10):865-881.
- Verma, L.S., R. Singh, and D.R. Chaudhary. 1993. Probe controlled transient method for simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity. *Journal of Physics and Applied Physics* 26:259-270
- Wang, N. and J. G. Brennan. 1992. Thermal conductivity of potato as a function of moisture content. *Journal of Food Engineering* 17:153-160.

- Zuritz, C. A., S. McCoy, and S. K. Sastry. 1987. Convective heat transfer coefficients for non-Newtonian flow past food shaped particulates. ASAE Paper No. 87-6538. . ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA.
- 배신철, 김명운. 1997. 과도탐침을 이용한 액체의 열물성 동시측정. 대한기계학회논문집 21(2): 303-315
- 임동수, 배신철. 1990. 비선형 매개변수 측정법을 이용한 열확산계수의 추정. 대한기계학회논문집 14-6: 1679-1688