

최종보고서

# 고품위 식품제조를 위한 초급속 가열기기 개발

연구기관 : 한국전기연구원

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “고품질 식품제조를 위한 초급속 가열기기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 25일

주관연구기관명 : 한국전기연구원

총괄연구책임자 : 백 주 원

연 구 원 : 유 동 옥

연 구 원 : 김 태 진

연 구 원 : 류 명 호

위탁연구기관명 : 한국식품개발연구원

위탁연구책임자 : 김 경 탁

위탁연구기관명 : 동국대학교

위탁연구책임자 : 백 수 현

# 요 약 문

## I. 제 목

고품위 식품제조를 위한 초급속 가열기기 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 과제를 통해 개발하고자 하는 기술은 증기를 전기장치를 통해 상압에서 초 급속으로 과열증기상태로 가열한 뒤에 이를 건조장치에 이용하는 것이다. 식품처리에서 과열증기의 샤워에 의한 순간적인 표면살균처리 또는 지속적인 열처리 및 급속온도 제어로서 우수한 건조기능을 실현할 수 있다. 과열증기에 의한 건조처리의 우수한 효과는 이미 기존 문헌들에서 다수 입증되어 왔다. 특히, 열풍건조에 비해서는 내부 챔버에서의 열순환 효과에 의한 고효율 특성과 빠른 열전도에 의한 건조시간의 단축 그리고 환경오염이 없으며 건조제품의 품질이 우수한 장점을 가지는 것으로 보고 되었다.

현재까지 과열증기에 의한 건조방법이 확산되지 못한 최대의 걸림돌은 증기 발생을 위한 설비를 구축하는 문제였다. 현재까지의 기술로는 사실상 보일러설비 형태의 대형 플랜트 규모로 만들거나 연구실 규모급 외에는 불가능하였으나 최근의 관련 전자, 전기 기술의 발전과 더불어 기존 설비를 간단화한 뛰어난 장치기술의 개발이 가능해지고 있다. 본 과제를 통해 과열증기 발생장치의 문제점을 해소한 획기적인 새로운 방식의 과열증기 발생장치 개발에 그 첫 번째 목적을 두었다. 본 과제에서는 새로운 과열증기 발생장치를 이용한 각종 채소류와 향신료 및 특용작물의 우수한 건조처리 연구에 두 번째 목적을 두었다.

일반 고추와 같은 농산물들은 수확시점에서 건조과정을 거치게 될 때, 여기에서 많은 색도와 품질의 손실을 입는다. 따라서 고부가가치의 농산가공품을 만들기 위해서는 기존의 열풍건조에서 탈피한 새로운 건조 방법이 필요하며 과열증기를 이용한 새로운 건조기술의 접목을 시도하였으며 이를 위한 상업 과열증기 건조장치를 개발하였다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 고품위 식품제조를 위한 초고속 과열 증기발생 기술 개발을 위해 초고속 고온증기 발생 및 제어기술 개발과 고온 내식성 가열기 및 유도코일 개발과 고온 증기 처리한 식품의 이화학적 품질 평가 그리고 고온 증기처리한 건조식품의 안정성 조사를 통해 개발 기술의 목적을 이루고자 하였다.

연차별로는 1차년에는 초고속 증기 유도가열 기술개발을 위한 기본 요소기술 연구 및 소형 실증장치를 통한 식품 적용연구를 통해 수 kW급 과열증기 발생장치 및 요소 기술 연구를 하고 고추 등의 향신료 건조처리에 대한 효과를 분석하였다. 2차년도에는 초고속 증기 유도가열 장치의 용량 증대 방안 연구 및 식품의 건조특성을 연구하였고, 3차년도에는 다양한 응용분야에의 접목연구 및 장치 제작 기술 및 다양한 식품군에 대한 실증 데이터를 얻었다.

### Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 연구결과

##### 가. 상압 과열증기 건조장치 개발

개발한 상압 과열증기 건조로는 유도가열 장치와 증기 가열기 그리고 건조로와 주변 기기로서 크게 나눌 수 있으며 과제를 통해 각 핵심 요소기술을 개선시켜 나가면서 연차별로 건조장치를 구성하고 시험하였다.

유도가열증기 장치는 1kW의 가열 전원장치의 설계 및 제작 목표에서 증기의 발생량과 온도의 제어가 빠르게 이뤄지도록 용량을 높여 4kVA급의 전원 장치를 구현한 뒤에 최종적으로 6kVA로 높여서 제작 시험하였다.

유도가열 인버터의 용량 증대와 안정화를 위해 디지털 제어 방식의 인버터 2대를 병렬 운전하게 하였다. 전체 제어기는 통합하여 구성하였으며 가열기를 이단으로 구성하여 보다 빠른 과열증기 발생과 온도제어가 가능하게 하였다. 냉각 방식 역시 수냉 장치에서 간략화 시켜 공랭식으로 구조를 개선시켰다.

과열 증기 발생 가열기는 여러 형태의 가열기를 제작하여 특성을 시험하였으며 미세한 볼 구조의 가열기를 통해 최대한의 가열 효과를 얻고자 하였다. 볼 구조의 단점을

없애기 위해 2차년에는 접시형 가열기 구조를 설계 제작 시험 하였으며 이를 다시 개선하여 최종적으로 나선형 구조를 가진 관형 가열기로서 가열 특성을 개선하고자 하였다.

제작한 건조로는 1차년의 소형 시험용 건조로에서 연차별로 용적을 키워 나갔으며 실험결과를 바탕으로 단점을 보완하였다.

건조로 시작품은 건조기 내부의 건조성능을 향상시키기 위해 내부 고온용 대류 팬을 추가하고 직접 복사열에 의한 손상을 최소화하게 건조기 구조를 설계 제작하였다.

본 과제에서 목표한 고온 과열증기를 얻기 위해 증기 발생방치와 증기가열장치를 따로 구성하여 고온 증기를 얻도록 했으며 건조 용량을 늘려서 목표로 한 상압 과열증기 건조장치의 제작과 시험을 완료하였다.

#### 나. 초급속 과열 증기를 이용한 향신료 건조 기술 개발

과열증기 온도 160℃, 내부습도 20%에서 과열증기에 의한 건조 처리후 50℃에서 열풍건조한 고추와 50℃에서 열풍건조로만 건조한 고추의 건조효과에 있어서 과열증기 처리후 열풍건조한 고추가 열풍건조로만 건조한 고추에 비하여 약 75%의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 품질특성 중 일반성분, 색도, capsaicin 및 관능평가 등에 있어서는 두 건조방법간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 건조한 고춧가루중의 미생물 수에 있어서 과열증기 처리로 건조한 고춧가루가 열풍건조한 고춧가루에 비하여 일반세균의 경우 약  $1.3 \times 10^3$  cfu/g, 효모·곰팡이의 경우  $4.4 \times 10^3$  대장균군의 경우  $8.3 \times 10^2$  cfu/g의 감소효과를 나타내었다. 따라서 고추의 건조는 과열증기 건조 처리 후 열풍건조하는 기술을 통하여 건조 고추의 품질 저하 없이 건조시간의 단축과 함께 고춧가루에 잔존하는 미생물의 오염을 방지할 수 있는 기술임을 확인하였다.

당근 건조의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 당근이 과열증기만으로 건조한 당근에 비하여 약 2배 정도의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 건조된 당근의 복원율에 있어서도 약 8%의 빠른 복원율을 나타내었다. 이와함께 일반성분, 갈색도 및 색깔,  $\beta$ -carotene 및 관능평가에 있어서는 두 처리구간 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 건조한 당근의 내부조직의 관찰에서는 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 당근이 열풍건조한 당근에 비하여 내부조직이 좀더 연화되어 개열되는 것을 확인하였다.

생강의 경우도 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강이 열풍건조로만 건조한 생강에 비하여 약 2배정도의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 건조된 생강가루의 미생

물 수의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강이 열풍건조로만 건조한 생강에 비하여 일반세균 및 효모·곰팡이의 수에서 감소한 결과를 나타내었다. 이는 과열증기의 높은 온도에 의한 생강의 표면 및 내부에 존재하는 미생물들의 일부 살균에 기인하는 것으로 판단되었다. 그리고 일반성분, 색깔 및 갈변도, 무기질, 지방산, 관능평가 및 미세구조에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이상의 결과로 볼 때 당근, 생강의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조하는 기술은 기존의 열풍건조 방법에 비하여 성분의 큰 변화 없이 건조시간의 단축과 잔존 미생물 수의 오염을 줄일 수 있는 기술임을 확인하였다.

과열증기 건조처리 후 열풍건조한 인삼이 열풍건조로만 처리한 인삼에 비하여 건조효과에서 약 80%의 빠른 건조효과를 나타내었고 인삼분말의 미생물 수의 경우에 있어서도 일반세균 및 효모·곰팡이 및 대장균군 수에서 감소효과를 나타내었다. 특히 인삼분말 중의 미생물 수의 감소 효과는 인삼제품들의 국외 수출시 엄격하게 적용되는 미생물수의 기준에 부합되도록 건조할 수 있는 기술이라 판단되었다. 그리고 인삼분말의 일반성분, 무기질, 유리당, 조사포닌, 색깔, 내부조직 및 관능평가에서 건조처리 방법에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

표고버섯의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 시료가 열풍건조로만 처리한 시료에 비하여 85%의 건조효과를 나타내어 표고버섯의 건조도 기존의 열풍건조에 의한 방법보다 과열증기 건조처리 후 열풍건조하는 방법이 건조시간을 단축할 수 있는 기술임을 확인하였다. 표고버섯의 건조 후 미생물 수의 변화에 있어서는 고추, 당근, 생강, 인삼의 건조와 동일하게 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 시료가 미생물수의 감소 효과를 나타내었다. 그리고 표고버섯의 일반성분, 색깔, 내부조직 및 관능평가에 있어서는 두 처리구간 차이가 없었다.

## 2. 활용방안

- 개발한 장치의 제작기술을 관련 설비 제조업체에 기술이전 및 경제적인 설비 구축 Know-how 지원
- 단위 농가에서부터 대형 플랜트에 이르기까지 개발기술의 활용 홍보
- 개발기술의 장치 요소 핵심기술과 관련한 부분의 특허권 확보
- 다른 산업기술로 활용하기 위한 기초기술 확보
- 관련 식품산업체와의 연계를 통해 다양한 응용분야 발굴 모색

# SUMMARY

## I. Title

Development of high speed heating equipment for high quality food manufacturing

## II. Objective and an Importance of Research

The developed technology in this project is using electrical equipment to make a superheated steam for dry in the pressure of the atmosphere. In the food processing, instant surface sterilization, continuous heat process, and fast temperature control make it possible to get a high quality drying. The results obtained from prior researches have shown the effectiveness of this drying method. Especially, drying process with superheated steam has shown many features such as high energy efficiency by interior cycling of heating air, short drying time with fast heat transfer, and no-contamination, etc.

Until now, the main obstacle of spread of this system is to make superheated steam economically. The boiler facility or high pressure steam generator is used to as a present technology. However, recent rapid progress in the electronics and electrical devices makes it possible to develop a simplified steam generator.

The objective of this project is to make a simple superheated steam generator, which solve the problems in the conventional heating systems. Several vegetables, spices, and a crop for a special use was dried and analyzed to verify the effect and application using the developed equipment.

Farm products which is being under dry process with hot air suffer much loss of color and qualities. So, another drying method have been needed to make high added value of products. In this project, a new drying system using superheated steam generator tries to develop new drying methods and a related facility.

### III. Contents and Scope of Research Developments

The contents and scope of this project are as follows,

- Development of fast steam generation and controller
- High temperature corrosion resisting heater
- Evaluation and analysis of food steam-treated

After essential technology for several kW superheated steam generator had been done at the early stage of project, experimental equipment was made and tested to dry spices such as red pepper. Next, food drying feature was analyzed along with heating sequences. To increase the capacity of dry oven, induction heating equipment and other facilities were redesigned and tested. Finally, a data of food drying has been obtained for several food application.

### IV. Results and Applications

#### 1. Results

A. Development of dry oven using superheated steam with normal atmospheric pressure

The developed dry equipment using superheated steam with normal atmospheric pressure is consist of induction heating power supply, steam heater, dry oven, and other facilities, roughly.

The aimed capacity of induction heater was 1kW in the early stage. However, to increase amount of superheated steam and fast control, capacity of heater has been up to 6kVA. Finally, digital control inverters are paralleled to increase capacity and to get reliability. All controller except for inverter is integrated to one unit.

Superheated steam heater has been manufactured with several types as follow;

- steam heater using integration of small size balls
- steam heater using flat plates to make turbulent flow
- steam heater using plates with spiral groove

Finally, the improved steam heater using plates with spiral groove has shown better feature in heating characteristics.

The dry oven has been made and tested to increase oven capacity every year.

The drawback of dry oven was repaired to improve dry feature.

The prototype dry oven has circulating fan inside for convection. Also, it blocks a radiant heat from metals with Teflon-coated inside.

The targeted dry oven using superheated steam with normal atmospheric pressure was made and tested by manufacturing of the prototype successfully.

If economic configuration is possible, the developed dryer will be very promising to many drying application.

#### B. Development of a technology to dry spice using super-heated steam

The first pepper was dried using hot blast at the temperature of 50°C after being dried using superheated steam at the temperature of 160°C and the internal humidity of 20%. The second pepper was dried using only hot blast at the temperature of 50°C. The first one was dried about 75% faster than the second. However, there was no big difference between the first and the second in their quality characteristics such as general components, color, capsaicin, and sensual evaluation. In contrast, the first showed reduction in the number of microorganisms contained in it in comparison with the second: general bacteria reduced by about  $1.3 \times 10^3$  cfu/g, yeast and fungi  $4.4 \times 10^3$ , and colon bacilli  $8.3 \times 10^2$  cfu/g. Consequently, it has been confirmed that the technology applied to the first pepper is to reduce the drying time and to prevent the contamination from the microorganisms residing in pepper powder, without deteriorating the quality of the pepper.

The first carrot was dried using hot blast after being dried using superheated steam. The second carrot was dried using only hot blast. The first one was dried about two times faster than the second, and the first dried carrot was restored about 8% faster than the second. However, there was no big difference between the first and the second in their quality characteristics such as general components, discoloration degree, color,  $\beta$ -carotene, and sensual evaluation. In contrast, it has been observed that the internal tissues of the first dried carrot were more softened and easily opened.

It is the same with the case of ginger. The first ginger was dried using hot blast after being dried using superheated steam. The second ginger was dried using only hot blast. The first one was dried about two times faster than the second. The first showed reduction in the number of general bacteria, yeast and fungi in it in comparison with the second. The author judges that it is because some of the microorganisms living inside and on the surface of ginger were sterilized by the high temperature of superheated steam. However, there was no big difference between the first and the second in their general components, color, discoloration degree, minerals, fatty acid, sensual evaluation, and fine structure. Consequently, it has been confirmed that the technology applied to the first vegetable is to reduce the drying time and the contamination from the microorganisms residing in the vegetable, without a great change in the vegetable's components, in comparison to the second or existing technology.

The first ginseng was dried using hot blast after being dried using super-heated steam. The second ginseng was dried using only hot blast. The first one was dried about 80% faster than the second. The first showed reduction in the number of such microorganisms as general bacteria, yeast, fungi, and coliform contained in ginseng powder in comparison with the second. In particular, the reduction in the number of microorganisms contained in ginseng powder is in concert with and subservient to the criteria for the number of microorganisms which are strictly applied when ginseng products are exported to abroad. However, there was no big difference between the first ginseng and the second ginseng in their general components, minerals, isolated sugar, crude saponin, color, internal tissues, and

sensory evaluation.

The same methods were applied to oak mushrooms and almost the same results were acquired. The first oak mushroom was dried about 85% faster than the second. And the first showed reduction in the number of microorganisms contained in it in comparison with the second. Furthermore, there was no big difference between the first and the second in their general components, color, internal tissues, and sensory evaluation.

## 2. Applications

- Transfer of the manufacturing technology of the developed apparatus to related companies and assist how to construct the equipment economically.
- Inform the application of the developed technology from small farms to large plants.
- Taking patent of essential parts of the developed technology .
- Taking the basic technology to use the technology to other industries
- Explore and search various application fields through connection with associated food company.

# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	1
Chapter 2. Status of a related research and developments .....	3
Section 1. Trend of dry oven .....	3
Section 2. Previous studies on food application of superheated steam .....	7
Chapter 3. Contents of Research .....	9
Section 1. Configuration of dry oven system .....	9
1. System Configuration .....	9
A. Previous dry oven using superheated steam and features .....	10
B. Developed dry oven using superheated steam and features .....	12
2. Induction heating equipment .....	14
A. Principle of heat transfer .....	14
B. Principle of induction heating .....	16
C. Topology and operational principle of circuits .....	26
3. Heat exchanger .....	34
가. Heater using integration of ball .....	35
나. Heater using integration with dish style plates .....	37
다. Heater using integration with spiral groove plates .....	41
라. Design of induction coil .....	42
4. Manufacture of prototype of dry oven system .....	44
가. Specification of dry system .....	44
나. Prototypes of dry oven .....	50
다. Experimental Results .....	53
라. Analysis of <a href="#">economical efficiency</a> .....	62
마. Energy saving effect .....	64
Section 2. Analysis of heat exchanger .....	67
1. Analysis of heater using integration of balls .....	69

A. Simulation model .....	69
B. Simulation results .....	71
2. Analysis of heater using integration with dish style plates .....	81
A. Simulation model .....	81
B. Simulation results .....	83
3. Analysis of heater using integration with spiral groove plates .....	93
A. Simulation model .....	93
B. Simulation results .....	95
Section 3. Drying of foods using super-heated steam .....	105
1. Drying of red pepper using super-heated steam .....	105
A. Materials .....	105
B. Methods .....	105
C. Results and Discussion .....	107
D. Drying feature of red pepper .....	113
2. Drying of carrots using super-heated steam .....	114
A. Materials .....	114
B. Methods .....	114
C. Results and Discussion .....	116
D. Drying feature of carrots .....	123
3. Drying of ginger using super-heated steam .....	124
A. Materials .....	124
B. Methods .....	124
C. Results and Discussion .....	127
D. Drying feature of ginger .....	134
4. Drying of ginseng using super-heated steam .....	135
A. Materials .....	135
B. Methods .....	135
C. Results and Discussion .....	137
D. Drying feature of ginseng .....	145
5. Drying of fragrant mushroom using super-heated steam .....	146
A. Materials .....	146

B. Methods .....	146
C. Results and Discussion .....	148
D. Drying feature of fragrant mushroom .....	153
6. Drying results of other foods .....	154
Chapter 4. Results and Application .....	156
Section 1. Achievement of objective .....	156
Section 2. Application plan .....	159
1. Effects and applications .....	159
2. Plan of practical use .....	159
3. Commercialization plan .....	159
Chapter 5. Conclusion .....	160
Reference .....	163
Index 1 Related technical drawing .....	165
Index 2 Patents .....	174

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	3
제 1 절 건조기기 현황 .....	3
제 2 절 과열증기 기기의 식품적용 연구 현황 .....	7
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	9
제 1 절 건조 시스템 구성 .....	9
1. 전체 구조도 .....	9
가. 기존의 과열증기 이용 건조 설비 및 특징 .....	10
나. 개발한 과열 증기 건조기 구조 및 특징 .....	12
2. 유도 가열 장치 .....	14
가. 가열 현상 원리 .....	14
나. 유도 가열 원리 .....	16
다. 적용 회로의 토폴로지 및 동작 .....	26
3. 열교환기 .....	34
가. 불 적층 가열기 .....	35
나. 접시형 가열기 .....	37
다. 판형 가열기 .....	41
라. 코일 설계 .....	42
4. 시작품 제작 .....	44
가. 건조 장치 사양 .....	44
나. 년차별 시작품 .....	50
다. 실험 결과 .....	53
라. 경제성 분석 .....	62
마. 에너지 절약 효과 .....	64
제 2 절 열교환기 해석 .....	67
1. 불 적층 챔버 해석(1차년도) .....	69
가. 시뮬레이션 모델 .....	69
나. 시뮬레이션 결과 .....	71
2. 접시형 챔버 해석(2차년도) .....	81

가. 시뮬레이션 모델 .....	81
나. 시뮬레이션 결과 .....	83
3. 관형 챔버 해석(3차년도) .....	93
가. 시뮬레이션 모델 .....	93
나. 시뮬레이션 결과 .....	95
제 3 절  식품 건조 시험 .....	105
1. 과열증기를 이용한 고추 건조 시험 .....	105
가. 실험재료 .....	105
나. 실험방법 .....	105
다. 결과 및 고찰 .....	107
라. 고추 건조 특성 .....	113
2. 과열증기를 이용한 당근 건조시험 .....	114
가. 실험재료 .....	114
나. 실험방법 .....	114
다. 결과 및 고찰 .....	116
라. 당근 건조 특성 .....	123
3. 과열증기를 이용한 생강 건조 시험 .....	124
가. 실험재료 .....	124
나. 실험방법 .....	124
다. 결과 및 고찰 .....	127
라. 생강 건조 특성 .....	134
4. 과열증기를 이용한 인삼 건조 시험 .....	135
가. 실험재료 .....	135
나. 실험방법 .....	135
다. 결과 및 고찰 .....	137
라. 인삼 건조 특성 .....	145
5. 과열증기를 이용한 표고버섯 건조시험 .....	146
가. 실험재료 .....	146
나. 실험방법 .....	146
다. 결과 및 고찰 .....	148
라. 표고버섯 건조 특성 .....	153

6. 기타 식품의 건조 연구 결과 .....	154
제 4 장 연구성과 및 활용계획 .....	156
제 1 절 연구 개발 목표 달성도 .....	156
제 2 절 활용 계획 .....	159
1. 기대 효과 및 응용 .....	159
2. 활용 계획 .....	159
3. 기업화 방안 .....	159
제 5 장 결 론 .....	160
참고문헌 .....	163
부록 1 관련 도면 .....	165
부록 2 특허 .....	174

# 제 1 장 서 론

현재까지 식품건조는 주로 저온의 열풍을 이용하여 식품 손상을 최소화하기 위해 장시간 건조하였다. 열풍건조는 시스템 구성이 간단하고 설비가 다른 건조장치들에 비해 경제적이므로 현재 가장 많이 이용되어 왔다. 이러한 열풍건조는 식품 손상을 방지하기 위하여, 저온에서 건조하므로 효율적인 건조가 힘들고 건조시간이 길어지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 여러 가지 건조기법들이 연구, 도입되어 왔으며 그 중에서 대표적인 것이 동결건조 방식이다. 이 방식은 우수한 건조효과와 품질상태를 보존할 수 있으나 모든 건조제품에 이용되지 못하고 있으며 낮은 건조 온도와 압력에서 운전되므로 건조속도가 매우 느리고 동결과 진공 그리고 가열 등의 거치므로 경비가 비싸고, 고가의 부대설비로 인해 전체 시스템의 비용이 생산량에 비해 매우 높은 단점이 있다.

또한, 최근에 주로 연구되고 있는 마이크로웨이브에 의한 건조방법은 균일건조가 힘든 단점 외에 설비를 수백 kW급 이상으로 대용량화하려면 막대한 설비로 인해 경제적 채산성이 전혀 맞지 않는 문제가 있다.

한편, 열풍 건조에서 고온 건조는 보다 빠른 건조특성을 얻을 수 있으나 식품에 손상을 피할 수 없다. 이에 따라 식품의 손상을 줄여주면서도 건조시간을 단축할 수 있는 방법의 하나로서 고려할 수 있는 것이 과열증기에 의한 건조가 있다. 과열증기는 100도에서 374도사이의 수증기를 지칭하며 살균작용과 급속한 건조효과가 있다. 이미 과열증기에 의한 건조효과는 기존 문헌에서 많이 소개되었으며 건조 오븐 내부의 열순환에 의한 고효율 건조, 건조식품에서 건조품질 개선 효과, 빠른 열전도에 의한 건조시간의 단축 그리고 환경오염이 없으며 건조제품의 품질이 우수한 장점을 예시하였다.

과열증기는 남아프리카에서 최초로 산업체에 적용한 이래로 스웨덴, 프랑스, 덴마크, 독일 등에서 사탕수수, 펄프, 제지와 슬러지 건조 설비에 도입하였다. 또한 1981년부터 일본에서 된장의 건조처리에 활용하였다.

현재까지 과열증기는 슬러지 건조, 사탕무의 펄프 건조처리 그리고 제지, 직물의 건조와 화학처리 공정에 적용되어 왔으며 과실의 박피 시전처리나 호화처리기술을 일본에서 특허를 보유하고 있다. 이외에 다수 식품의 건조에 우수한 건조효과가 보고 되었으며 단립체의 순간 살균에 응용되었다.

본 과제에서는 이러한 과열증기를 이용한 건조 기술을 이루기 위해 일반증기를 과열증기상태로 가열한 뒤에 이를 건조에 활용하고자 하였다. 과열증기를 식품처리에 적용함으로써 고온 샤워에 의한 순간적인 표면살균처리 또는 지속적인 열처리 및 급속온

도 제어로서 우수한 건조기능을 실현할 수 있다.

현재까지 과열증기에 의한 건조방법이 확산되지 못한 최대의 걸림돌은 증기발생을 위한 설비를 구축하는 문제였다. 현재까지의 기술로는 보일러설비 형태의 대형 플랜트 규모로 만들거나 연구실 규모급 외에는 불가능하였으나 최근의 관련 전자, 전기기술의 발전과 더불어 기존 설비를 간단화한 뛰어난 장치기술의 개발이 가능해지고 있다.

국내에서는 과열증기 이용기술은 보일러 설비를 이용하는 몇가지 사례외에는 거의 없는 실정이다. 전기설비를 이용한 상압 과열증기 기술로는 최근에 일부 대기업에서 조리용 오븐에 활용하기 위해 개발을 시도하고 있다. 해외에서는 일본에서 Kogi사를 비롯한 몇 개의 기업에서 과열증기 발생기구와 이를 이용한 건조기등의 설비를 상용화하여 산업계에 이용하기 시작하고 있다. 미국, 유럽등에서는 조리용 증기 오븐에 유사한 기술을 적용하고 있으며 일반 가열기구를 이용하는 것으로는 추출, 화학 반응 공정 등에 관련 기술을 사용하고 있다.

본 과제에서 개발한 과열증기 발생을 위한 시스템은 유도가열전원 장치와 간접가열 기구물을 이용하여 구성하고 전기에너지로 증기의 온도를 제어한다. 이 방법은 과열증기를 얻기 위해 사용해 왔던 보일러 설비에 의한 직접가열 방식에서 문제가 되었던 압력이 증기 온도에 비례해서 높아지는 문제를 해소할 수 있다.

본 과제에서는 상압 과열증기를 이용하여 건조로를 구성하였으며 고속건조를 이룰 수 있으면서도 기존의 열풍건조에 비해 식품 품질이 떨어지지 않는 건조 장치를 개발하고자 하였다. 이를 위해 연차별로 1차년에는 과열증기 발생과 이를 위한 유도가열 전기설비 및 가열기와 건조로의 핵심 요소기술을 구현하고 2차년에는 건조로 용적을 크게 하면서 비례하여 관련 가열기, 유도가열기 용량을 증대하는 방안을 모색하였다. 3차년에는 개발한 장치를 이용한 집중적인 건조 실험을 통해 가장 적합한 건조 시퀀스와 건조데이터 그리고 가열기 구조를 찾았다.

개발한 기체 유도가열기술 응용분야에 따라 오염물질 감소, 장치의 소형경량화, 에너지 손실 절감효과가 기대되며 오염물질의 탈취, 탈염소처리, 각종 건조식품 살균, 건조, 오븐, 소형 소각장치, 각종 건조 설비와 같이 많은 산업분야에 동시다발적으로 적용할 수 있는 기술로서 그 전망이 탁월하다고 할 수 있다.

연구내용으로는 제 2장에서 국내외 기술개발 현황에 대해 설명하며 관련 건조기기에 대한 요약과 과열증기의 식품적용 사례를 나타내었다. 제 3장에서는 연구결과로서 개발한 건조장치 기술에 대한 세부사항을 기술하고 이를 이용한 건조장치의 건조시험 결과를 세세히 다루었다. 제 4장과 5장에서는 연구결과와 이에 대한 결론을 서술하였다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 건조기기 현황

일반적으로 식품의 건조는 장치의 간단함과 경제적인 장점 때문에 열풍건조가 많이 사용되어 왔으며 향후에도 대체기술이 개발되지 않는다면 주종을 이룰 것으로 판단된다. 최근에 냉동건조법이 일부 식품군에 적극적으로 활용되고 있지만 모든 식품에 적용되기는 곤란하며 장비가 고가이고 특수한 목적에 적합한 것으로 사료된다.

#### - 열풍식 건조기(HOT AIR DRYER)

건조기 종류의 분류방식으로는 열의 전달 방식에 따라 여러 가지로 구별할 수 있으며 대류방식(자연), 전도방식, 강제 순환식, 통기식, 일방 통풍식, 복사방식, 고주파 방식으로 구별된다.

강제 열풍 순환식일 경우 건조로 내부의 온도를 균일하게 유지하여, 요구되는 최고 양질의 건조 조건으로 제품을 생산할 수 있으며, 수요자의 요구에 따라 설계변경 제작이 용이하다.

#### -진공 건조기(VACUUM DRYER)

식품의 재료가 특히 온도에 민감하거나, 산화되기 쉽거나, 고온에 변질하는 것의 건조를 위해 진공 중 급속히 저온건조 처리 하는 것으로 많이 사용된다. 건조기 내를 진공 Pump, Ejector 등에 의하여 감압하고 저온으로 비등에 도달케 하여 건조시키는 방법이며, 더욱 적당한 가온이 필요할 때는 Jacket에 온수나 증기를 통하게 하는 복사방법과 전열판에 온수를 순환 시키는 전역가열방법 등으로 제작되고 있다.

저온건조이므로 품질저하가 없이 제품의 균일화 가능하고 열원이 온수·증기이므로 제어가 간단하며 열손실이 적고 건조효율이 양호하고 교반형의 경우 혼합과 건조가 동시에 이루어져 건조시간을 단축하며 세정이 간편하다

- 냉풍 제습 건조기(COLD WIN DRYER)



그림 2-1. 냉풍 제습 건조기

냉풍·제습 건조기는 온도범위는 5℃~30℃까지 제품의 특성에 따라 건조온도를 설정하여 건조식품에 따라 저온 풍을 통한 장기간 건조를 한다. 피건조물의 성질을 자연 그대로 무리 없이 건조시키므로 제품의 색상, 질향, 맛을 원형 그대로 보존 장점이 있으나 건조시간이 길고 생산성이 좋지 않은 단점이 있다. 냉풍 제습 건조기를 사용하여 건조할 수 있는 식품군으로는 다음과 같다.

-농산물, 해산물, 피혁, 목재, 원두커피, 꽃, 과자류 등의 건조공정에 적용시켜 우수한 상품을 생산한다.

이외에 분체를 밀폐된 용기 속에서 더운 공기를 주입하고 동시에 스프레이 노즐을 통해 식품을 분사하면 입자간에 응집현상이 발생하여 다공질의 과립물질이 형성되면서 식품이 건조되는 유동층 건조기장치와 분무식 건조기, 연속처리용 터널식 건조기 등이 있다. 상기와 같은 일반 건조기들은 각종 식품, 산업용 건조기로 널리 사용되고 있으며 각각, 물리적, 경제적, 기능적인 장, 단점을 가지고 있어서 용도에 따라 선별 사용되고 있다.

한편, 과열증기 발생장치는 기존 건조기에서 보다 대기압상태에서 가열된 과열증기를 이용하여 원하는 건조작용을 이룬은 물론, 열풍에 비해 낮은 식품 품질저하와 산화분해 작용, 환원분해 작용, 건조작용, 살균 세정작용 같은 새로운 작용기전을 응용하여 식품 가공을 할 수 있다.

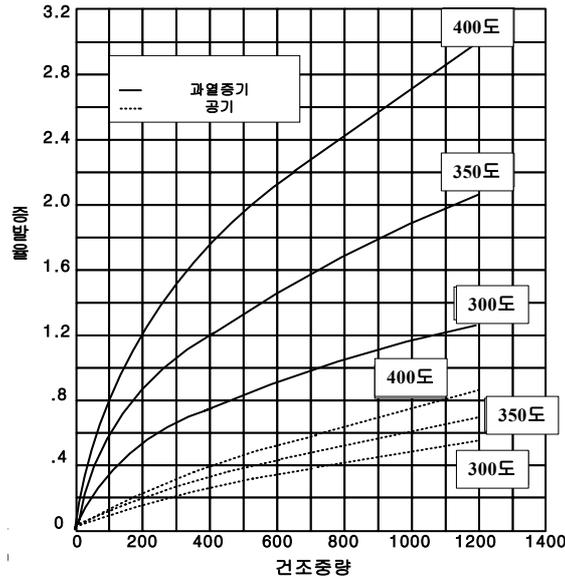


그림 2-2. 과열 증기에 의한 물의 증발 효과

일반적인 과열증기를 이용한 건조설비는 남아프리카에서 최초로 소형의 산업체에 적용하였으며 이후에 스웨덴, 프랑스 등에서 1985년과 1990년에 설탕건조와 슬러지 건조에 활용하였다. 이러한 기술이 확산되지 못한 것은 역시 장치규모가 현재의 기술로는 매우 큰 단점이 있기 때문이었다. 국내에서도 역시 보일러 설비를 이용한 과열증기 발생 장치 외에는 관련기술이 거의 전무한 상태이다. 보일러 설비에 의해 과열증기를 만드는 것은 단순한 방식이지만 높은 압력의 증기를 다루어야 하며 가열, 압력 탱크류, 기타 부속품등의 설비가 상당한 부피와 주의를 필요로 한다.

이를 개선하기 위해 현재 국내에서는 전기기기를 이용한 상압 과열증기 발생장치에 대한 기술검토 또는 개발에 대한 일부 소규모 연구가 중소기업 규모에서 있었지만 이렇다할 상용화 실적이 없는 상태이며 한국식품개발연구원에서 과열증기를 이용한 식품 가공 조리에 대한 연구를 마친 상태이고 최근에 일부 대기업에서 오븐과 같은 식품조리기에 적용하고자 연구, 검토를 하고 있다. 국내에서는 관련 핵심기술이 거의 개발되어 있지 않았으며 기초적인 필요기술로서 요구되는 유도가열기술만이 현재 성숙단계에 이르렀다고 할 수 있다. 현재, 유도가열기술은 국내에 도입된 지 오래 되었으며 관련기술에 대한 응용제품이 다양하게 개발되어 왔다. 그러므로 상압 과열증기 발생을 위한 유도가열과 관련한 핵심기술은 기존의 장치기술의 개선과 개발하는 가열기 구조에

대한 연계시험을 통해 제작이 가능하다.



그림 2-3. 과열증기 식품 조리용 오븐 (Miele, NEFF사)

선진국에서는 초급속 증기 가열기술에 대한 일부 연구가 진행된 예가 있으나 일본 KOGI 사 외에는 뚜렷한 연구개발 성과가 없는 상태이다. 일본 KOGI사에서는 관련한 초급속이며 간단한 구조의 고온증기발생 기술을 완성한 단계이며 이미 상용화설비를 제작하여 환경분야, 식품 살균, 탈취, 건조, 폐기물 처리 등에 응용하고 있는 상태이다.

이외에 유도가열 업체인 DAI ICHI 고주파에서 1000℃의 과열증기를 발생할 수 있는 증기 발생기를 소개하고 있으며 다음 그림 2-4와 같다.

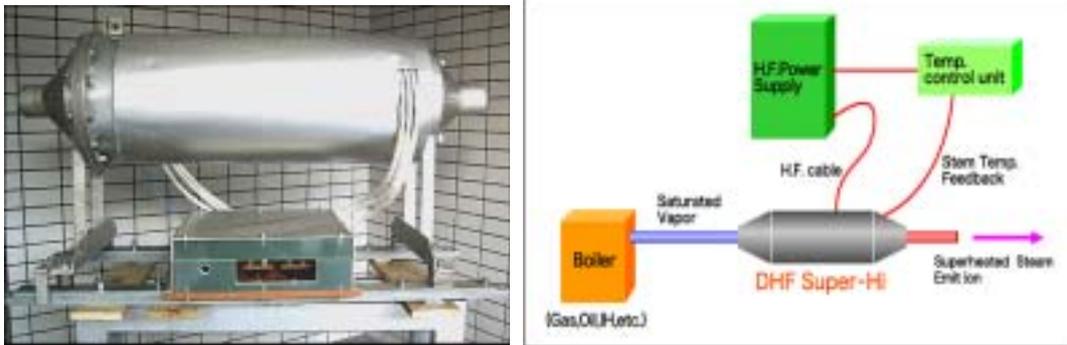


그림 2-4. DAI ICHI 고주파 사의 과열증기 발생기

DAI ICHI사 제품은 증기 발생부는 역시 보일러 설비를 이용하였으며 과열증기로 가열하는 부분을 유도가열 장치로 구성하였다.

## 제 2 절 과열증기 기기의 식품 적용 연구현황

과열증기에 의한 건조 역사는 상당히 오래되었으며 각종 식품들(사탕무, 곡물류, 토칠라, 감자 칩, 국수, 새우, 채소류, 허브, 향신료 등)의 건조에 적용하여 연구결과와 일부 기술들은 상용화되었다. 과열증기를 이용한 건조장치에 대한 연구가 계속적으로 이뤄지는 가장 큰 이유는 기존 열풍에 비해 많은 장점을 가지기 때문이며 장점으로서는 다음과 같다. (Denventer, Heijmans, 2001)

- 과열증기에 의한 건조는 폐회로에 의한 열 순환을 해줄 경우에 기존 열풍건조에 비해 50 ~ 80%의 에너지 절감 효과가 있다.
- 열풍에 비해 과열증기 상태의 건조는 무 산소상태를 유지시켜 주므로 산화 반응을 줄여준다.
- 건조에서 폐회로 구성이 가능하므로 외부로의 냄새, 유해물질 배출이 작다.
- 건조식품의 살균효과가 열풍에 비해 뛰어나다.

이외에 Schwartze에 의한 연구결과에서 예시된 바와 같이 160도에서 260도 사이에서는 과열증기에 의한 건조가 열풍보다 훨씬 빨라짐을 보였다. 이러한 특징으로 열풍 건조보다는 과열증기에 의한 건조가 짧은 가열 시간과 우수한 건조결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

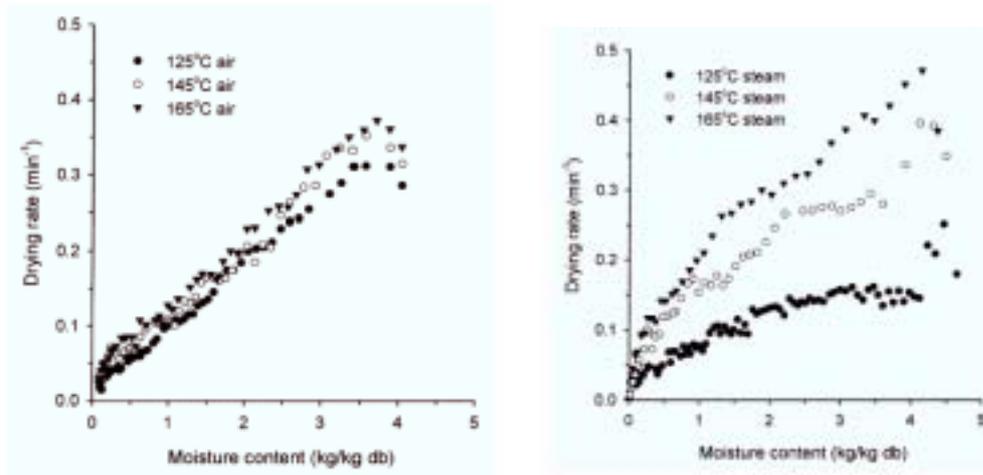
보다 고온에 민감한 식품 건조를 위해서는 건조로를 진공상태로 만들어서 과열증기 건조 온도를 100도 이하로 낮추는 것이 가능하다. (Elustondo et al. 2001) 이럴 경우 저온 가열과 함께 동시에 과열증기에 의한 우수한 효과를 얻을 수 있으나 장치의 경제성이 매우 나빠지는 단점이 있다.

실제 식품에 적용연구를 한 결과는 여러 문헌들에서 소개되고 있으며 채소류의 건조 결과로는 야채류의 건조실험 결과 색도가 천연 건조에 육박하는 우수한 특성을 나타내었으며 살균 특성 역시 대단히 우수한 것으로 판명되었다. (Shibata and Mujumdar 1994)

또한, 주로 고온 스팀에 의한 내부 조직의 작은 기공형성을 이용한 식품 가공 기법에 대한 연구가 진행 되어 왔다. 이를 이용한 감자, 스낵류의 과열증기 건조를 통한 식감 개선효과를 주장하였다.

다음 그림 2-5는 과열증기에 의한 건조효과를 문헌에서 예시한 그림이다. 저온의 증

기에서는 건조효과가 열풍보다 떨어지다가 과열증기 조건에서 건조효과가 열풍보다 훨씬 커지는 것을 알 수 있다. (Z. TANG and S. CENKOWSKI, 2000)



(a) 열풍 건조                      (b) 과열증기 건조

그림 2-5. 식품 건조 특성 분석

또한, 연구결과에서 감자의 건조를 통해 내부 기공 분포가 일정하게 나타남으로써 바라는 식품 건조특성이 잘 얻어짐을 설명하였다.

Nomura등에 의한 1985년 연구에서는 국수류의 건조에서 매우 우수한 건조특성을 보임을 입증하였다.

이외에 사탕무 펄프, 밀, 코코넛류 등의 건조에도 과열증기가 활용되고 있으며 식품 처리에서 열풍에 비해 사용 에너지 측면에서 장점을 가지는 것으로 보고되고 있으며 식품 품질에서도 국수류를 예로 들면 강도, 회복성 등에서 일정 온도의 처리공정에 따라 우수한 특성을 가짐을 나타내었다.

향후 보다 많은 과열증기 건조장치를 식품에 적용하기 위해서는 장비의 구축이 가장 중요한 문제이며 이에 대한 연구와 개선이 많이 필요하다. 현재, 산업계에서는 상용화 설비를 대형 보일러 설비를 이용한 장치로서 구현하고 있으며 사탕무 건조와 펄프류 건조에 많이 이용하고 있다.

보다 설비를 작고 간단하게 해야만 보다 많은 식품들에 응용할 수 있을 것으로 판단 되었으며 본 과제에서는 전기 가열장치를 통해 손쉽게 과열증기를 얻음으로써 새로운 건조로를 구성하고자 하였다.

# 제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

## 제 1 절 건조 시스템 구성

### 1. 전체 구조도

일반 건조장치는 열풍 공기와의 접촉에 의한 건조가 주류를 이루고 있으며 일부 열원으로 복사열을 이용하는 방식 등이 있으나 대부분 열풍건조를 이용한다. 건조 가열방식은 크게 나누어서 두 가지로 분류할 수 있으며 직접 가열 방식과 간접 가열방식으로 나눌 수 있다.

직접 가열방식은 열원으로부터 얻은 열풍을 직접 건조기로 보내서 피가열체를 가열하는 방식이다. 열풍이 연소로에 의해 얻어지는 경우에는 연소가스의 분진이나 고온인 특성에 의해 피가열체가 식품인 경우는 사용하기가 용이하지가 않다. 간접 가열방식은 열원으로부터 열교환기에 의해 열풍을 얻는 방식으로 직접 가열 방식에 비해 열풍의 온도가 낮고 효율이 떨어진다. 그렇지만 건조물이 청정해야 하는 용도에는 적합한 방식이다. 그러므로 식품의 건조처리에는 연소로에 의해 얻어진 열풍보다는 전기로와 같은 열풍기기를 이용하는 것이 적합하다.

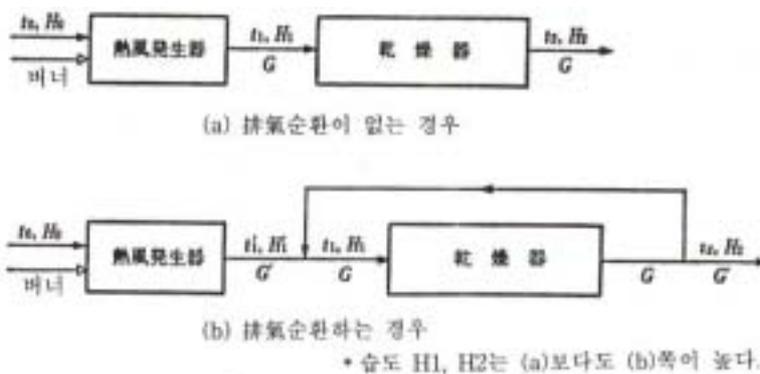


그림 3-1. 건조장치의 일반 구성 FLOW

또한 건조특성과 효율을 개선하기 위해서는 간접 가열방식을 이용하면서도 고온 처리할 필요가 있다.

그림 3-1은 열풍발생과 건조기의 구성에서 외부 열순환을 하는 것과 하지 않는 방식을 나타낸 것이다. 열 순환을 하는 경우에는 에너지 면에서 고효율이 얻어지지만 상대 습도가 높아지므로 건조효율이 떨어질 수 있고 건조기의 용량이 커져야 하는 단점이 생긴다. 반면에, 열 순환을 하지 않는 경우는 건조특성은 좋으나 많은 에너지가 손실로 발생한다.

본 과제에서는 초기 시작품에서 외부 열순환을 통해 다시 고온 기체가 가열부를 통과하여 건조로로 순환하게 하였다. 장치의 구조를 간단하게 하기 위해 외부 순환에 의한 열손실은 무시하였다. 이후, 장치의 용량을 늘리고 제작을 단순화 시켜나가면서 열순환 구조는 배제하고 내부에서 강제적인 배습을 하지 않고 열손실 부분만 보충하는 구조로 제작하였다.

본 과제에서는 기존의 건조장치에서 보다 에너지 효율과 건조 특성에서 보다 나은 점을 찾기 위해 간접 가열방식인 유도가열 챔버를 이용하고 건조 오븐 내부를 일정 온도 이상으로 동작시키는 내부 온도 제어 방식을 이용하고 습도를 일정하게 유지하여 과열증기로 대상 식품을 건조함으로써 건조 특성을 개선시키고자 하였다.

#### 가. 기존의 과열증기 이용 건조설비 구조 및 특징

과열증기의 역사가 오래된 만큼 다양한 건조로 방식이 개발되어 있다. 보일러에 의해 만들어진 증기를 건조로에 주입 순환하는 방식에 따라 여러 형태로 분류할 수 있다. 다음 그림 3-2는 Morelia에 의해 2001년에 소개된 샤워 방식의 증기 가열장치이다. 연속처리 형태로 가공하거나 표면 처리에 유리한 구조이다.

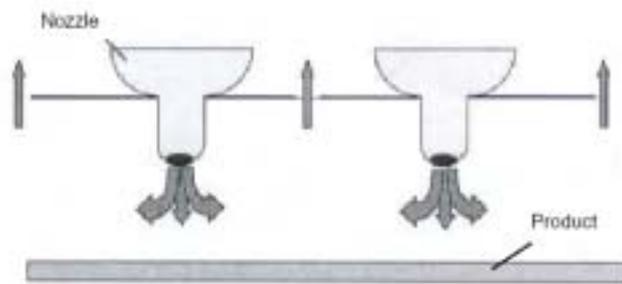


그림 3-2. 샤워 방식의 증기 가열장치

건조되는 식품의 표면으로 여러개의 분사노즐이 과열증기를 분무하는 방식으로 감자칩의 건조와 파일렛 규모의 종이 건조에 이용되었다. 감자칩 건조의 경우, 전통적인 기름에 튀긴 감자칩과 유사한 결과를 얻었으며 종이 건조의 경우에는 보다 강한 강도특성을 얻었다.

다음 배치형 건조기는 1912년 소개된 이래로 지속적인 연구가 진행된 건조기 형태로서 내부 순환가열이 용이한 구조이다. 다음 그림 3-3은 Tang과 Cencowski가 2000년에 소개한 배치 방식 건조기로서 목재건조에서부터 곡물, 국수건조, 밀, 코코넛, 파프리카, 파슬리 등에 대한 건조에 사용되었다.

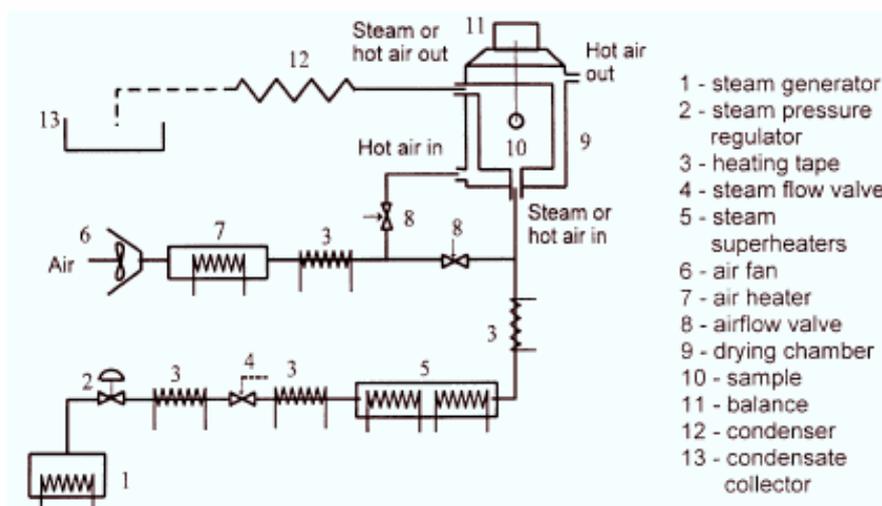


그림 3-3. 배치 방식 건조기

그 외에 우지, 파프리카, 양파 파우더 건조에 Deventer and Heijmans이 배치형 과열증기 건조기를 이용한 연구결과를 2001년에 발표하였다.

다음 그림 3-4는 flash 방식의 건조기이다. Kudra와 Mujumdar이 2002년에 펄프형태의 물질을 건조하기 위해 산업용 설비로 제작하였다. 과열증기에 대한 반향을 일으키긴 했으나 내부 건조로의 침식현상이 단점으로 남았다.

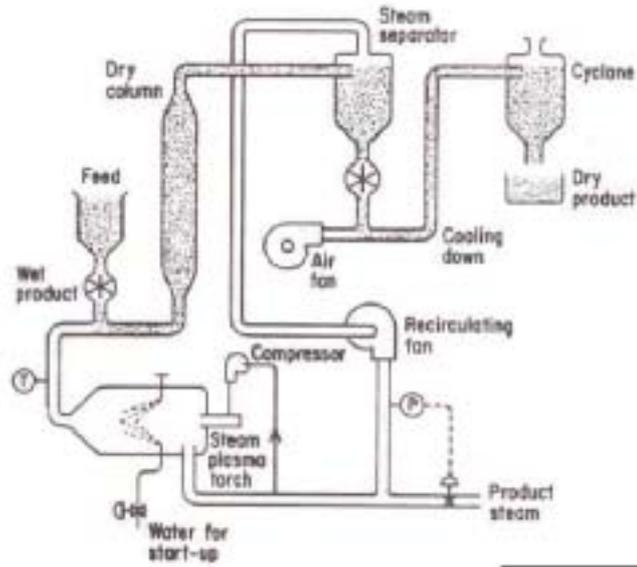


그림 3-4. Flash 방식의 건조기

#### 나. 개발한 과열증기 건조기 구조 및 특징

개발한 과열증기 건조로는 배치형 건조로 구조에 과열증기가 가열기를 통해 건조로로 주입 분사되는 방식을 취하였다. 건조 식품은 각 선반에 놓여진 뒤에 내부 과열증기에 의해 건조되도록 하였다. 증기에 의한 건조로의 내부 가열에 시간이 걸리므로 건조로 자체에서도 일정한 온도 유지를 위한 히터를 탑재하였다.

다음 그림 3-5는 개발한 장치의 개요도를 나타낸 것이다. 크게 고주파 유도가열장치와 가열기 그리고 건조로와 제어기로 구성을 나뉘볼 수 있다.

유도가열기는 당초 목표한 2kVA급 인버터 규모에서 약 6kVA급으로 높여서 가열 속도를 빠르게 하였다. 가열기는 가장 핵심적인 증기 가열장치로서 구성을 여러 가지로 설계, 제작하면서 증기의 가열특성을 개선하고자 하였다.

실제, 시작품 제작에서는 유도가열장치의 용량을 줄이기 위해 물을 가열하여 기화시킨 뒤에 가열기로 들어가도록 가열부를 이단으로 구성하였다. 건조로는 일정한 온도로 유지 제어되도록 구성하였으며 과열증기의 주입 온도 역시 제어 되게 하였다.

식품의 건조 특성이 온도와 처리 시간에 따라 달라지므로 적절한 동작 시퀀스를 찾기 위해 건조시험을 반복하여 적절한 건조 조건을 찾았다.

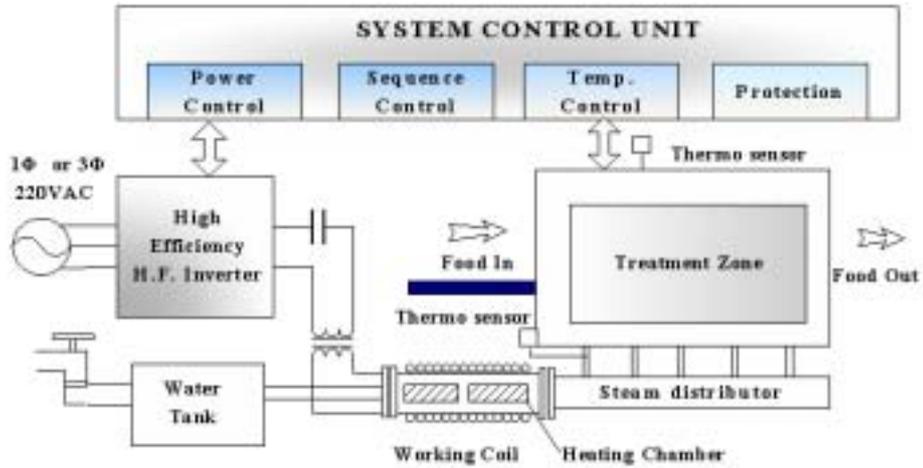


그림 3-5. 개발한 장치의 개요도

다음 그림 3-6은 개발한 장치의 과열증기 발생 메커니즘을 보여주는 간략화된 그림이다. 그림에서처럼 물이 가열기 입력단으로 주입되면서 발열체를 통과하게 된다. 이때 발열체는 유도가열장치에 의해 가열되며 고온 상태를 유지한다. 비자성체 내부에 발열체가 있으므로 유도가열 장치의 유도코일과 증기가 통과하는 가열기 내부의 발열체는 완전히 전기적으로 분리된다.

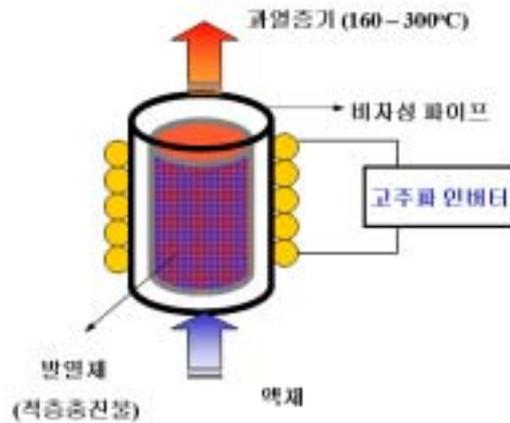


그림 3-6. 고주파 인버터에 의한 증기 가열원리도

개발한 장치에서 유도가열장치는 직렬 공진형 인버터를 이용하여 구성하였으며 항상 공진 주파수를 추종하도록 PLL(phase locked loop) 제어를 구성하여 제어하였다. 년차별로 건조시스템을 재구성하였으며 1차년도에는 요소기술 구현과 시험용 장치를 제작하였고 과열증기에 의한 건조 가능성을 연구하였다. 장치는 기본적인 건조로와 2kW급의 유도가열장치를 구성하고 컴프레서에 의해 가열기 내부로 물을 공급하였다. 가열기는 미세한 볼 형태의 구슬입자를 통해 많은 표면적(약 1.5m<sup>2</sup>이상)을 얻고자 하였다.

2차년 도에는 실제적인 건조장치의 제작과 함께 본격적인 건조 연구를 수행하였다. 건조장치는 유도가열 설비를 6kVA급으로 용량을 높이고 가열기는 내부 구성을 판상의 접시 적층구조로 제작하여 단순화 하였다. 냉각기를 장착하여 유도가열과 관련한 코일, 기기 냉각이 이뤄지게 하였다. 가열기는 이단으로 구성하여 일차 가열기는 물을 기화점에 가깝게 온도를 높이는 역할을 하게하고 이차 가열기는 증기를 고온화하는 역할을 하게 하였다. 건조로는 내부에 복사열에 의한 식품손상을 줄이기 위해 테프론 코팅을 하였으며 유리창을 통해 내부 관측이 가능하게 하였다.

3차년도에는 2차년도에 비해 내부 건조용량을 크게 하기 위해 제어부를 외부 랙으로 통합하고 건조로 내부 용적을 50%이상 크게 하였다. 인버터는 디지털로 제어되게 구성하였으며 가열기는 건조로에 직접 부착되게 하여 열손실을 줄이고자 하였다.

개발한 과열증기 건조로는 배치형 건조로 구조에 과열증기가 가열기를 통해 건조로로 주입 분사되는 방식을 취하였다. 건조식품은 각 선반에 놓여진 뒤에 내부 과열증기에 의해 건조되도록 하였다. 증기에 의한 건조로의 내부 가열에 시간이 걸리므로 건조로 자체에서도 일정한 온도 유지를 위한 히터를 탑재하였다.

## 2. 유도가열장치

### 가. 가열 현상원리

다음 그림 3-7은 덕트 내의 공기, 가열 냉각부, 주위 공기와의 열전달 현상을 간략하게 나타내고 있다. 편의상 가열 냉각부가 duct 바깥에 있다고 가정한다.

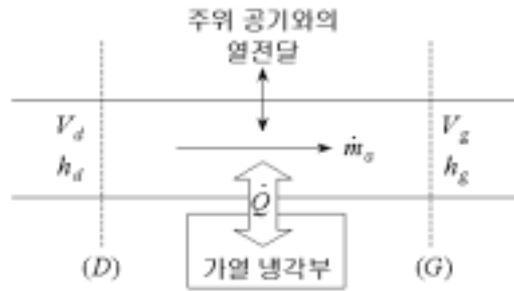


그림 3-7. 덕트 내의 공기, 가열 냉각부, 주위 공기와의 열전달

(D), (G)를 통과하는 정상유동 공기에 대해 열역학 제 1법칙을 적용하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_a - \dot{W}_a &= \dot{m}_a(h_g - h_d) + \frac{1}{2}(V_g^2 - V_d^2) \\
 \dot{W}_a &= 0, \quad V_g = V_d \\
 \therefore \dot{Q}_a &= \dot{m}_a(h_g - h_d)
 \end{aligned} \tag{1}$$

연속 방정식으로부터,

$$\dot{m}_a = \frac{A_d V_d}{v_d} \tag{2}$$

여기서  $A_d$  : duct 단면적 (0.0645 m<sup>2</sup>)

$V_d$  : 공기의 평균속도

$v_d$  : 공기의 비체적

$Q_a$  는 가열 또는 냉각부에서의 열전달량과 주위 공기와의 열전달량을 합한 값이지만, 실험장치가 거의 상온에서 운전되기 때문에 주위 공기와의 열전달량은 무시할 수 있다고 가정한다. 따라서 공기의 엔탈피 변화율  $m_a(h_g - h_d)$ 와 측정 열전달량  $Q$ 는 같다고 생각하면, 측정 열 전달량은 가열 : 소요 전력량의 측정과 냉각 : 냉매량과 증발

기에서 냉매 엔탈피 변화측정으로 얻어진다.

본 과제에서는 증발량과 사용한 에너지의 관계에서 건조효율을 주안점으로 두고 시험하였으며 가열기에 의한 열전도는 챔버 내부의 온도변화를 통해 제어하였다.

## 나. 유도가열 원리

유도가열(Induction Heating)은 1831년 Michael Faraday의 전자 유도현상을 이용하는 것으로 가열 코일에 고주파 교류 전류가 흐를 때 발생하는 고주파 교류 자계 중에 도전성의 금속 물질을 위치시키면 금속 물질의 표면에 유도 와전류(Eddy Current)가 발생하여 금속의 표피 저항에 의한 주울(Joule) 열이 발생하게 되는 원리이다.

초창기 이러한 유도 가열의 원리를 이용하여 프랑스, 스웨덴, 이태리 등에서는 상용 전원에 축전기를 적용하여 피상 전력을 보상하는 방법으로 유도로(Induction Furnaces) 개발을 하였으며, Northrup은 전동 발전기를 이용하여 중주파로(Medium Frequency Furnaces)를 개발하기도 하였다. 1927년 Electric Furnace Company사가 최초로 중주파로 설비를 갖춘 후 가열 설비의 용량이 꾸준히 성장 발달하여 주조, 국부 가열 및 금속 결합 등에 적용이 이루어지기 시작하였다. 세계 2차 대전을 전후하여서는 얇은 가열 깊이를 갖는 표면 가열 기술이 발달하여 가열 시스템의 성능 및 효율이 증가하기 시작하였다.

이러한 지속적인 기술 개발이 이루어진 이유는 유도 가열 방식이 연소에 의한 발열과 비교하여 다음과 같은 우수한 장점을 지니고 있기 때문이다.

- . 가열 효율이 높기 때문에(가스기기 : 70%, 유도가열 : 90% 이상) 경제적이다.
- . 신속한 가열을 통하여 Warming Up 등을 위하여 소비되는 손실을 줄일 수 있다.
- . 출력 및 온도의 제어가 용이하여 사용이 편리하다.
- . 안정성이 뛰어나다.
- . 배출가스 등의 오염 물질의 발생이 없어 위생적이며 청결하다.

1980년대 이후 MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)와 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor), MCT(Mos-Controlled Thyristor) 등의 고속 스위칭이 가능한 전력용 반도체 소자들의 특성 개선 및 새로운 개발이 활발히 이루어지면서 유도가열 시스템의 성능 및 적용 분야에 많은 변화가 일어나기 시작하였다. 고주파 인버터를 적용한 유도 가열 시스템은 현재 산업용의 Cooking, Melting, Surface

Treatment 등의 응용에서부터 가전용의 Microwave Oven, Induction Heating Jar에 이르기까지 적용 분야의 확대가 급속히 이루어지고 있다. 이런 유도 가열 시스템은 안정성과 편리성은 물론 성능 및 효율 등에서 월등한 장점을 가지고 있다.

다음은 유도 가열 원리에 대하여 좀 더 자세히 알아보도록 한다. 그림 3-8과 같이 가열하고자 하는 도체에 코일을 감고 이 코일에 고주파 교류 전류를 흘리면 도체 내에는 고주파 자속이 발생한다. 이 자속은 전류의 교변에 의해 히스테리 루프를 그리게 되며, 이 현상이 발생하면 자성체는 발열하여 온도를 상승시키는데 이것을 히스테리시스 손실(Hysteresis Loss)이라 한다. 이 손실의 크기는 자성체에 따라 다르지만 면적이 클수록 손실이 크며 이 손실이 는 Steinmetz 식으로 다음과 같다.

$$P_h = \eta f B_m^{1.5} V [W] \quad (3)$$

여기서,  $\eta$ : Hysteresis 계수,  $f$ : 주파수,  $B_m$ : 최대자속밀도 [T],  $V$ : 철심의 체적 [ $m^3$ ]

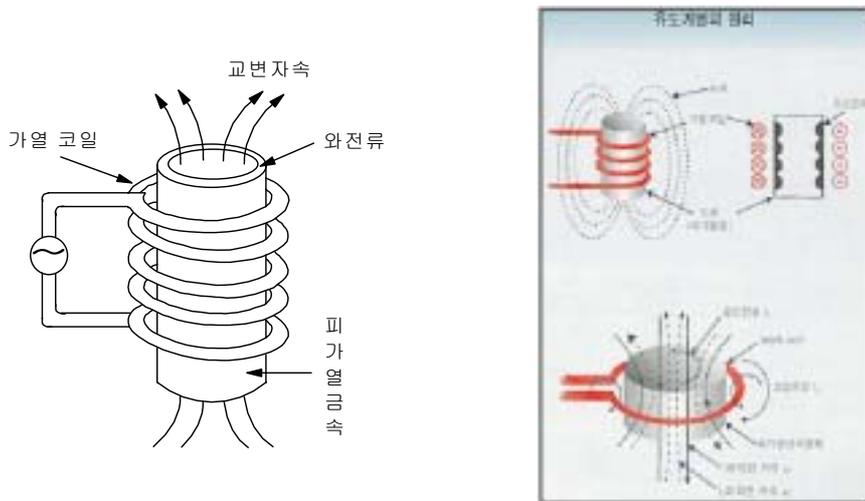


그림 3-8. 유도가열 원리

이 도체 내에는 전자유도 작용에 의하여 코일 내에 있는 금속은 변압기의 2차 권선에 기전력이 발생하는 것과 같이 유도전류가 발생하여 와전류(Eddy current)가 흐르게 되며, 이 와전류는 금속의 단면 각부에 균일하게 흐르는 것이 아니고 금속의 표면에 집

중적으로 흐르게 되며 내부로 갈수록 지수 함수적으로 감소하게 된다.

$$I_x = I_o \varepsilon^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)} \varepsilon^{j\left(\frac{x}{\delta}\right)} \quad (4)$$

여기서,  $I_x$  : 표면에서 중심부  $x(m)$  지점의 전류치  $[A]$ ,  $I_o$  : 원통형 금속의 전류치  $[A]$ ,  $\delta$  : 전류치가 표면의  $1/e$ 로 감소한 깊이  $[m]$ 이다.

이 와전류가 임의의 저항을 가진 도체 내를 흐르면 그 도체 내에 주울 열이 발생하며 이것을 와전류 손실(Eddy current Loss)이라 하며 다음과 같다.

$$P_e = \frac{(\pi f a B_m)^2 V}{4\rho} [W] \quad (5)$$

여기서,  $a$  : 철심의 반지름  $[m]$ ,  $f$  : 주파수  $[Hz]$ ,  $B_m$  : 최대자속밀도  $[T]$ ,  
 $\rho$  : 저항률  $[\Omega/m]$ ,  $V$  : 철심의 체적  $[m^3]$

와전류는 금속의 표면에 집중하므로 전류의 침투깊이는 주파수에 반비례함으로써 금속의 표면가열을 할 수 있다.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}} [m] \quad (6)$$

여기서,  $\delta$ : 침투깊이  $[m]$ ,  $\sigma$ : 전도도  $[\sigma/m]$ ,  $\mu$ : 투자율  $[H/m]$  이다.

원주 금속 내를 흐르는 유도전류는 다음 그림 3-9와 같이 표면에 가장 강하게 발생하고 내부로 갈수록 지수 함수적으로 감소하는 것이 특징으로, 이러한 경향은 전원의 주파수가 높을수록 현저하다. 이러한 열의 대부분은 위의 식으로 표현되는  $\delta$ (Skin Depth) 내에 분포하게 되며  $\delta$ 는 유도 가열의 여러 응용분야에서 인버터 동작 주파수를 결정하는 주요한 요소가 된다. 본 과제에서는 가급적 원주금속의 전체가 균일하게 가열

될 수 있고 원의 중심부의 와류손의 감소를 줄이도록 주파수와 가열기의 직경을 좁게 설계하였다.

그림 3-9(a)는 금속 원주 내부의 실제 전류 밀도 분포를 나타내며, 그림 3-9(b)는 표면 전류 밀도의  $1/e$ 이 되고, 전체 발열량의 87%에 해당하는 전류가 침투 깊이  $\delta$ 내에 분포한다는 가정하에 나타낸 그림이다.

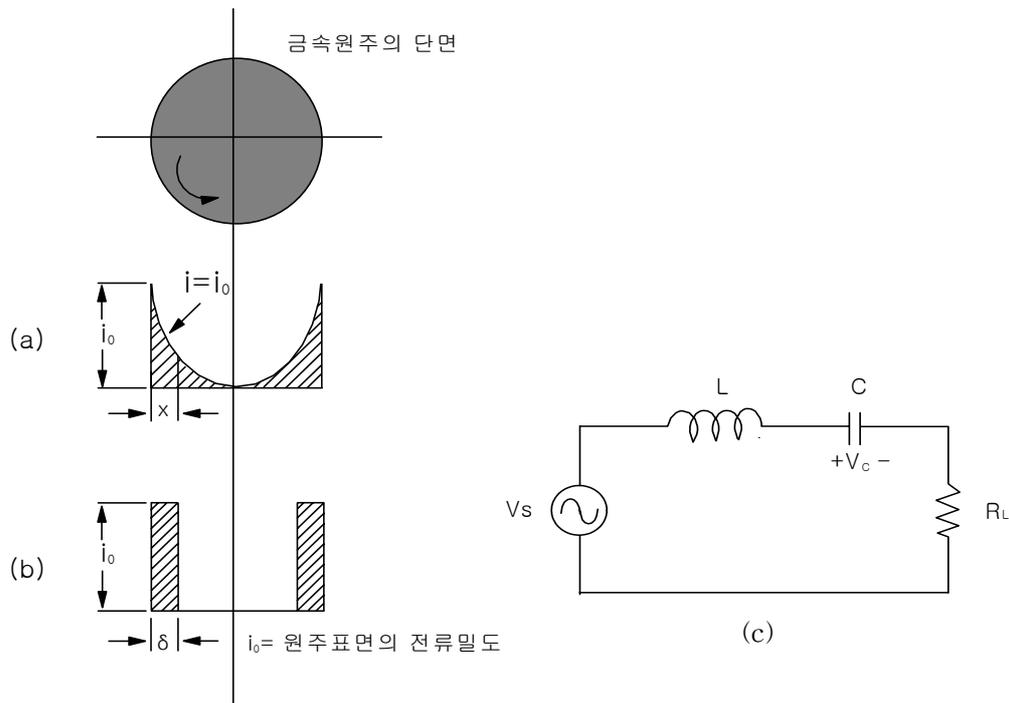


그림 3-9. 원주 금속내의 전류분포 (a), (b)와 공진회로(c)

다음 그림 3-10은 유도 가열 시스템의 등가회로를 간략하게 나타낸 것이다. 등가회로는 가열 코일을 1차측, 피 가열체를 2차측으로 등가화 하여 나타내었으며 그림 3-10(b)는 3-10(a)를 변압기 등가 모델로 나타내고 있다. 이때 2차 표피 저항( $R_2$ )은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

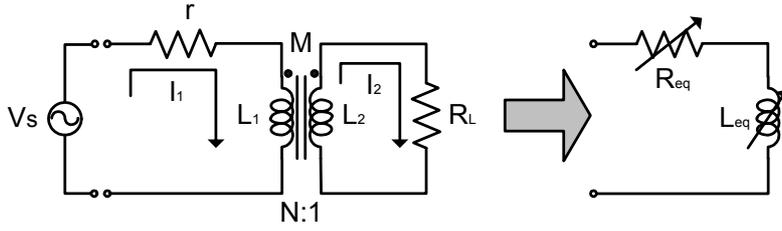


그림 3-10. 유도 가열 시스템의 등가회로

$$R_2 = \frac{\rho}{\delta} = K \cdot \sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \rho} \quad (7)$$

여기서  $K=0.0019869$

따라서, 2차측 발생 전력( $P_2$ )은 다음 식과 같이 됨을 알 수 있다.

$$P_2 = R_2 \cdot I_2^2 = K \cdot (NI_1)^2 \cdot \sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \rho} \quad (8)$$

그림에서 KVL을 적용하여 풀면,

$$V_1 = (R_1 + j\omega L_1)I_1 - j\omega MI_2 \quad (9)$$

$$0 = -j\omega MI_1 + (R_2 + j\omega L_2)I_2 \quad (10)$$

위의 식에 의해서,

$$I_2 = \frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2} \cdot I_1 \quad (11)$$

식(11)을 식(9)에 대입하여 정리하면 1차 측에서의 입력 임피던스( $Z_{in}$ )는 식(12)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
Z_{in} &= \frac{V_1}{I_1} = R_1 + \frac{(wM)^2 \cdot R_2}{R_2^2 + (wL_2)^2} + jw(L_1 - \frac{(wM)^2 \cdot L_2}{R_2^2 + (wL_2)^2}) \\
&= (R_1 + A^2R_2) + jw(L_1 - A^2L_2)
\end{aligned} \tag{12}$$

또한 등가화된 파라미터  $L_{eq}$ ,  $R_{eq}$ 는 각각 식(13), (14)와 같이 표현된다.

$$R_{eq} = R_1 + \frac{(wM)^2 \cdot R_L}{R_L^2 + (wL_2)^2} = r + A^2R_2 \tag{13}$$

$$L_{eq} = L_1 - \frac{(wM)^2 \cdot L_2}{R_L^2 + (wL_2)^2} = L_1 - A^2L_2 \tag{14}$$

여기서,  $wL_2 \gg R_L$ 일 경우, 결합인수  $A = \frac{wM}{\sqrt{R_L^2 + (wL_2)^2}} \approx \frac{M}{L_2}$ 이다.

유도 가열을 위해서는 위에서 설명한 것과 같이 고주파수에서 동작하는 이차유도전류를 공급하여야 한다. 이러한 유도 전류를 발생시키기 위해서는 일반 상용 전원에서 원하는 AC 전원을 만들어내기 위한 전력변환장치가 필요하며 일반적으로 하프 브리지형(half-bridge), 풀 브리지형(full-bridge) 또는 푸시-풀형(push-pull) DC/AC 컨버터를 사용한다. 유도 가열에서 1차에서 2차 측으로 전력전달을 위해서는 공진형 컨버터를 사용하게 되고 주로 직렬공진회로, 병렬공진회로, 직병렬공진회로 방식을 채택한다.

본 연구에서는 직렬공진회로 방식을 채택하여 인버터 손실을 최소화하고 변압기 이차로 전력전달이 충분히 일어나도록 하였다. 공진회로에 의해 매칭 변압기의 이차 측에는 턴수비 만큼 증폭된 공진전류가 흐르며 이를 통해 발생한 자속에 의해 챔버 내부의 가열판에 전력을 전달하고자 하였다.

다음 그림 3-11의 주파수 특성 곡선에서 나타내었듯이 직렬공진 컨버터는 공진 주파수에 가까워질수록 출력전력이 커짐을 알 수 있다. 일반적으로 공진형 컨버터는 공진 주파수 이상에서 스위칭을 함으로써 턴-온(turn-on) 시에는 손실이 발생하지 않는 영전압 스위칭(ZVS)을 이루게 되므로, 본 연구에서도 영전압 스위칭 동작을 얻고 안정적

인 스위칭 동작이 이루어지도록 공진점을 약간 상회하도록 스위칭 주파수를 선정하였다. 인버터는 영전압 스위칭에 의해 인버터의 손실을 줄일 수 있었으며 공진에 의해 변압기 이차로 출력전달이 용이하였다.

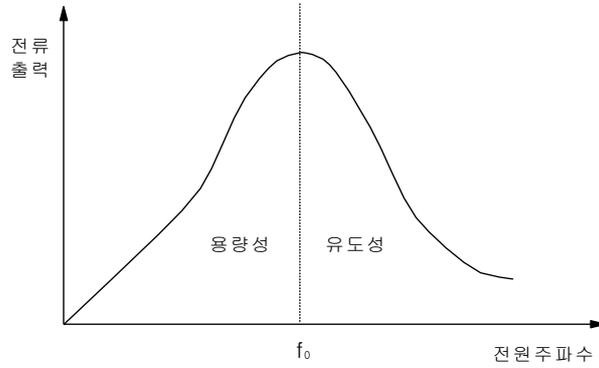


그림 3-11. 출력 대비 주파수 특성 곡선

유도 가열시에 피가열체는 온도에 따라 부하가 변동하게 되므로 공진점도 변하게 된다. 다음은 부하 변동에 따른 유도가열의 특성을 간략하게 나타내었다. 다음 그림 3-12에서 일반 인버터 시스템에서 가열 코일과 피가열체인 용기를 등가화한 등가 인덕터  $L_{eq}$ 와 등가 저항  $R_{eq}$ 로 표시하며 이때 공진 탱크의 입력 임피던스  $Z$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Z &= R + j\left(\omega_s \cdot L - \frac{1}{\omega_s \cdot C_r}\right) = |Z| \angle \phi \\
 &= R \cdot \sqrt{1 + Q^2 \cdot \left(\omega_n - \frac{1}{\omega_n}\right)^2} \angle \phi
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

여기서  $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_r}}$ ,  $\omega_n = \frac{\omega_s}{\omega_o}$ ,  $Q = \frac{\omega_o \cdot L}{R}$ ,  $Z_o = \sqrt{\frac{L}{C_r}}$

전류의 위상  $\phi$ 는

$$\phi = \tan^{-1}\left(Q \cdot \left(\omega_n - \frac{1}{\omega_n}\right)\right)
 \tag{16}$$

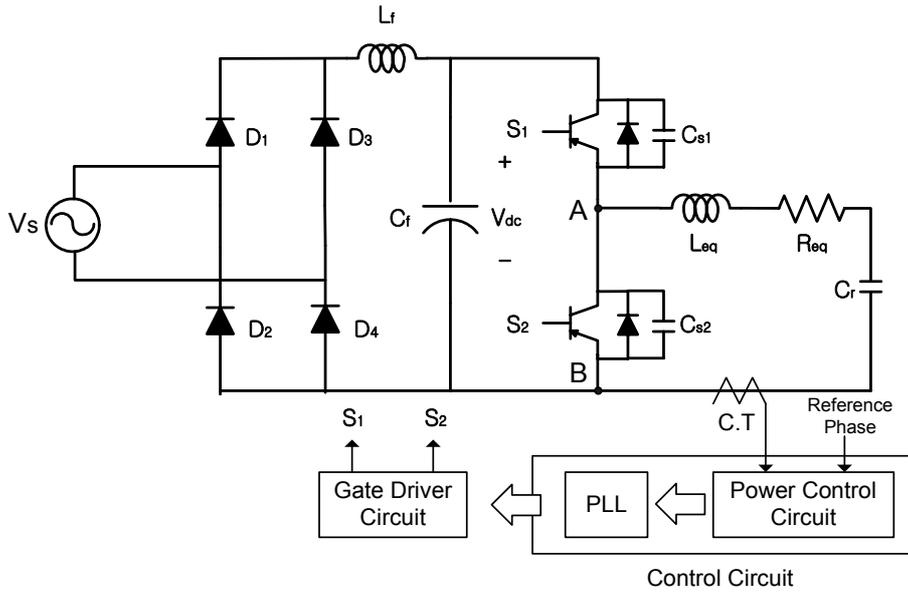


그림 3-12. 인버터 시스템

공진 탱크의 입력 전압  $V_{dc}$  는

$$V_{dc} = \begin{cases} V_{dc} & \text{for } 0 < \omega_s t \leq \pi \\ 0 & \text{for } \pi < \omega_s t \leq 2\pi \end{cases} \quad (17)$$

이며, Fourier 전개에 의한 입력 전압  $V_{dc}$ 의 기본파 성분은 다음과 같이 얻어진다.

$$V_{S1} = V_m \cdot \sin \omega_s t \quad \text{for } 0 < \omega_s t \leq 2\pi \quad (18)$$

여기서,  $V_m = \frac{2 \cdot V_{dc}}{\pi} \approx 0.637 V_{dc}$

또한, 공진 탱크의 입력 전류  $i_L$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$i_L = I_m \cdot \sin(\omega_s t - \phi) \quad (19)$$

$$\text{여기서, } I_m = \frac{V_m}{|Z|} = \frac{2V_{dc}}{\pi|Z|} = \frac{2V_{dc}\cos\phi}{\pi R} = \frac{2V_{dc}}{\pi R \sqrt{1 + Q^2(w_n - \frac{1}{w_n})^2}}$$

따라서 인버터의 출력 전력  $P_{out}$ 는 식 (18)과 (19)로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{out} = I_m^2 \cdot \frac{R}{2} = \frac{2V_{dc}^2 \cdot \cos^2\phi}{\pi^2 R} = \frac{2V_{dc}^2}{\pi^2 R (1 + Q^2(w_n - \frac{1}{w_n})^2)} \quad (20)$$

위에서 설명한 것처럼, 피가열체의 가열온도에 따라 공진점이 달라지므로 먼저 피가열체의 가열을 위한 공진전류의 PLL제어가 가능하도록 제어기를 구성하였다. 유도가열 부하 즉, 가열 코일과 피가열체는 등가 인덕턴스  $L_{eq}$ 와 등가 저항  $R_{eq}$ 의 직렬연결로 등가화 될 수 있다. 특히, 비자성체 부하를 가열 시에 이들 파라미터는 가열 코일의 모양, 부하와 가열 코일 사이의 거리, 부하의 크기, 도전율, 투자율, 동작 주파수에 따라 민감한 변화를 보인다. 그러므로 일정 주파수 제어로는 부하 조건에 따른 부하 파라미터 변화에 대해 인버터의 안정된 동작을 보장할 수 없으며, 부하 파라미터의 변화에 관계없이 일정한 출력 전력을 유지하기 위해서는 동작 주파수의 변화가 필요하게 된다. 이는 인버터의 동작 주파수가 파라미터 변화로 인한 공진 주파수의 변화에 따라서 적응적으로 변해야 함을 의미한다.

다음 그림 3-13은 인버터의 안정된 동작을 위한 전반적인 제어회로의 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 이 제어 블록은 크게 출력 조절을 위한 회로와 PLL (Phase Lock Loop) 및 그 주변회로로 구성된다. 사용된 CMOS형 PLL(CD4046)은 부하의 파라미터 변화에 대해 공진 주파수를 자동적으로 추적함으로써 인버터 동작에 주요한 역할을 담당하며 각 제어 회로의 동작은 다음과 같다.

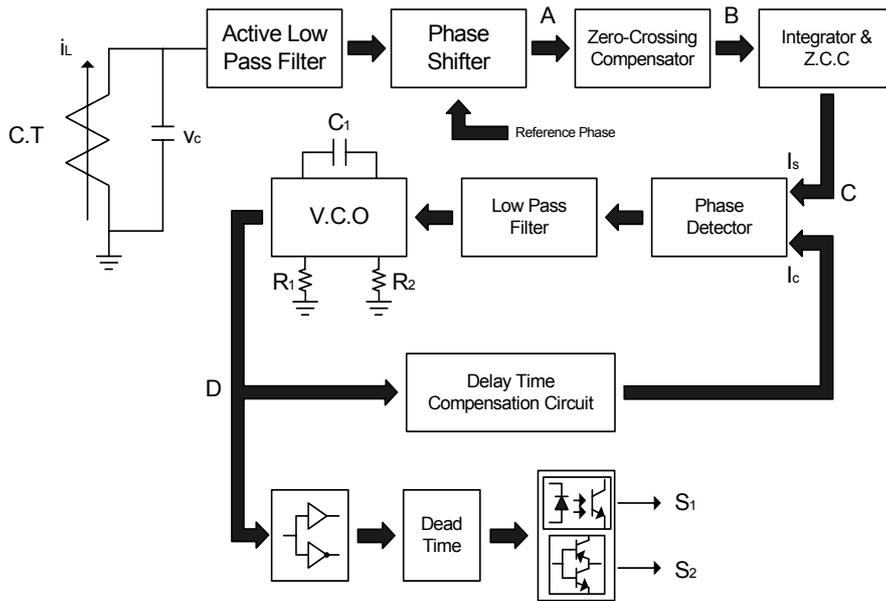


그림 3-13. PLL 제어회로의 블록 다이어그램

먼저, 인버터의 출력 전류는 센서로 사용된 고주파 CT(Current Transformer)를 통해 임의의 변화 비율로 절연되어 검출된다. 이 검출된 전류 신호는 커패시터 C에 의해 전압 신호  $V_c$ 로 변환이 되며 동시에 위상은 부하 전류에 대해  $90^\circ$  위상이 뒤지게 된다. 한편, 이 신호는 각 스위치의 전류(commutation)로 인해 발생하는 고조파를 포함하게 되므로, 저역 통과 필터(Low Pass Filter)를 통과하게 된다. 필터의 출력 신호는 정현파로 출력 조절을 위한 위상 변위회로(Phase Shift)를 통과함으로써  $\phi$ 만큼 앞선 위상을 가진 정현파 신호를 발생한다. 이 신호는 비교기의 입력이 되어 구형파의 출력을 나타내고, 다시 적분기와 비교기를 거침으로써 앞서 커패시터의 사용으로 인해 지연된  $90^\circ$ 의 위상 지연을 보상하게 되어 실제 부하 전류 파형보다  $\phi$ 만큼 앞선 구형파를 발생시킨다. 결과적으로 이 신호는 인버터 입력 전압  $V_s$ 의 기본파 성분과 위상이 일치하게 되며, PLL에서 위상 검출기(Phase Detector)의 입력  $I_s$ 가 된다.

PLL의 기본 구성은 크게 위상 검출기, 외부 저역통과 필터, VCO(Voltage Controlled Oscillator)로 구성된다. 위상 검출기는 입력이 되는  $I_s$ ,  $I_c$ 의 두 신호가 주파수와 위상이 동기화(Locked)되도록 두 입력 신호를 비교한 출력 신호를 발생하며, 이 신호는 PLL 외부의 저역 통과 필터를 통해 일정 DC 전압으로 변환된다. 이 일정 DC 전압은 VCO의 입력이 되며, VCO는 입력되는 DC 전압 값에 대해 선형적으로 비례하는 주파

수의 구형파를 출력한다. 또한, VCO의 출력 구형파의 주파수 범위는 커패시터 C1과 저항 R1, R2에 의해 결정된다. VCO 출력은 일반적으로 위상 검출기의 입력  $I_c$ 로 직접 피드백(Feedback)되지만, 실제적으로 필터나 스위치 구동을 위한 게이트 구동회로 등에서 지연시간이 나타나게 된다. 이 지연시간은 보상을 필요로 하므로 지연시간 보상회로를 통해 위상 검출기의 입력으로 피드백되며, 동시에 게이트 구동회로의 입력이 된다. 게이트 입력 신호는 각 스위치를 구동하기 위한 신호가 되므로, 스위치간의 단락 방지와 스너버 커패시터의 충, 방전 시간을 확보하기 위한 데드 타임(Dead Time)이 주어지며, 포토 커플러를 통한 절연과 푸시-풀(Push-Pull) 회로를 거쳐 스위치를 구동하게 된다.

PLL과 관련한 제어 도면은 부록에서 나타내었다.

#### 다. 적용회로의 토폴로지 및 동작

아래 그림 3-14는 적용한 유도 가열 전원 장치의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 입력 전압을 다이오드 정류기를 거쳐 정류하고 DC/DC 컨버터를 이용하여 원하는 출력 전압을 얻었다. 이를 다시 DC/AC 인버터를 거쳐 원하는 주파수의 출력 전압을 생성하여 변압기를 거쳐 출력 측에 유도가열을 발생하기 위한 전류를 발생하게 하였다.

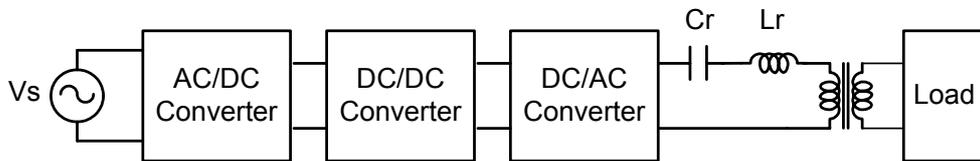


그림 3-14. 유도 가열 전원 장치의 블록 다이어그램

다음 그림 3-15는 본 연구에서 적용한 유도 가열 전원 장치의 회로도를 나타내고 있다. DC/DC컨버터는 벡(Buck) 컨버터를 적용하여 정류한 전압을 강압하여 원하는 전압을 생성하였다. DC/AC 컨버터는 직렬 공진형 풀브리지 컨버터를 적용하여 스위칭 손실을 줄이면서 충분한 출력이 부하측으로 전달될 수 있도록 하였다. 풀브리지 컨버터에서 원하는 주파수의 출력 전압을 생성하였고 3개의 변압기를 직렬로 구성하여 부하를 충분히 가열할 수 있는 출력 전류를 발생하게 하였다.

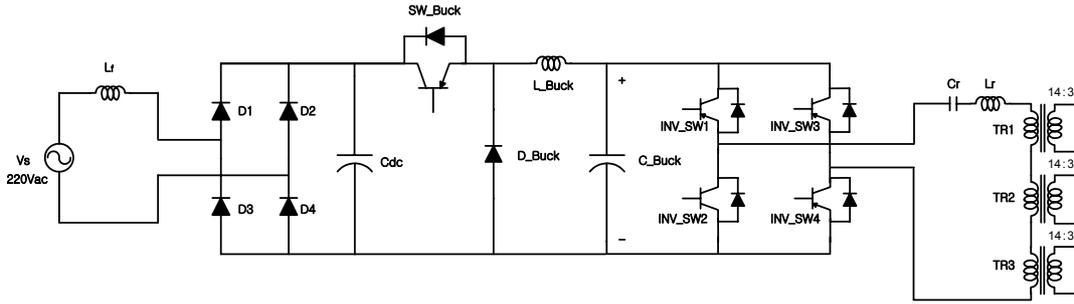


그림 3-15. 유도 가열 전원 장치의 회로도

유도 가열 전원 장치의 출력을 가변시키기 위한 방법으로는 1)출력부 직렬 공진 풀브리지 컨버터의 스위칭 주파수를 고정시키고, 벅 컨버터의 출력 전압을 제어함으로써 가능하고, 2)벅 컨버터의 출력전압을 고정하고 출력부 컨버터의 스위칭 주파수를 가변하여 공진 이득을 가변함으로써 또한 가능하다. 1)번의 경우는 간단한 방법으로 출력을 가변할 수 있는 장점이 있으나 피가열체의 온도에 따른 부하 변동을 추종하기 어려운 단점이 있다. 반면에 2)번의 경우는 제어가 약간 복잡하지만 부하 변동에 따른 제어가 용이한 장점이 있다.

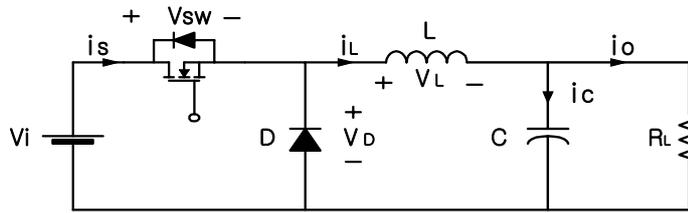
본 과제에서 제작한 유도 가열 전원 장치는 유도 가열부를 급속하게 가열하고 과열 증기의 온도를 200~400도 내외로 유지하기 위하여 최대 출력 6kW급 전원 장치를 설계하였다. 먼저, 벅 컨버터는 단상 입력 220Vac를 정류한 310Vdc 전압을 100V~200V의 출력 전압을 얻을 수 있도록 제어하였다. 직렬 공진 풀브리지 컨버터는 입력 전압 200V, 스위칭 주파수 20kHz 근방에서 최대 출력 6kW를 얻을 수 있도록 공진 파라메타  $L_r$ ,  $C_r$ 를 선정하였다. 공진형 컨버터에서 영전압 스위칭을 얻기 위하여 스위칭 주파수는 공진 주파수보다 크게 설정하였다.

직렬 공진 풀 브리지 컨버터 출력단의 유도 가열부는 3개의 변압기를 사용하여 1차측은 직렬로 결선하고, 2차측은 각각의 권선으로 구성하여 변압기 설계를 용이하게 하였다. 변압기의 권선비는 실험을 통하여 2차측으로 충분한 에너지를 전달하여 피가열체를 가열할 수 있도록 결정하였다.

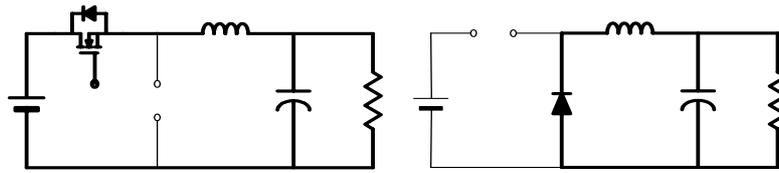
적용한 유도 가열 장치의 정확한 원리를 해석하기 위하여 적용한 각각의 컨버터에 대하여 알아보도록 한다.

다음 그림 3-16은 벅 컨버터의 기본적인 동작 모드를 나타내고, 그림 3-17은 동작 파형을 나타내고 있다. 스위치가 온이 되면 입력은 인덕터  $L$ 에 에너지를 축적하고, 출력 커패시터의 에너지는 부하 측으로 에너지를 공급하게 된다. 스위치가 오프가 되면

인덕터에 축적된 에너지는 출력 커패시터로 충전하고, 출력 커패시터의 에너지는 부하 측으로 계속 에너지를 공급하게 된다.



(a) 벅 컨버터 기본 회로도



(b) 스위치 온-타임

(b) 스위치 오프-타임

그림 3-16. 벅 컨버터 동작 모드

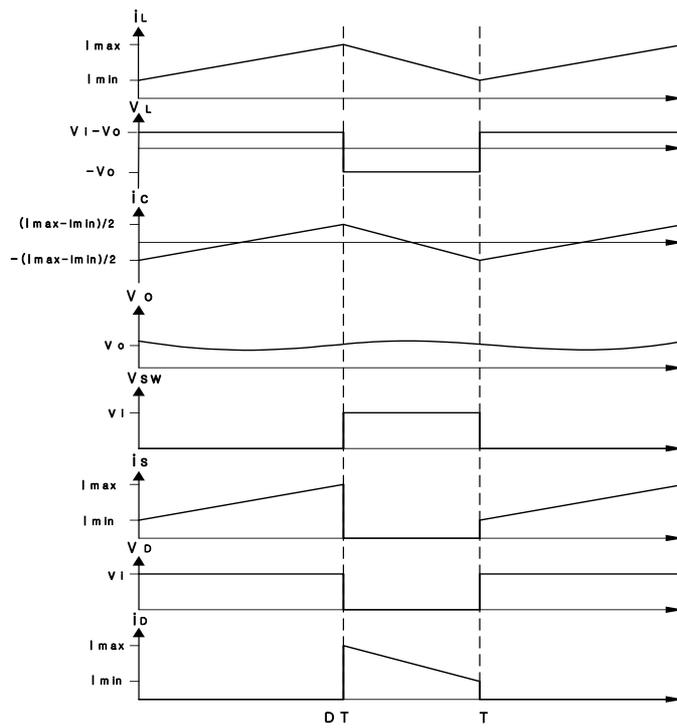
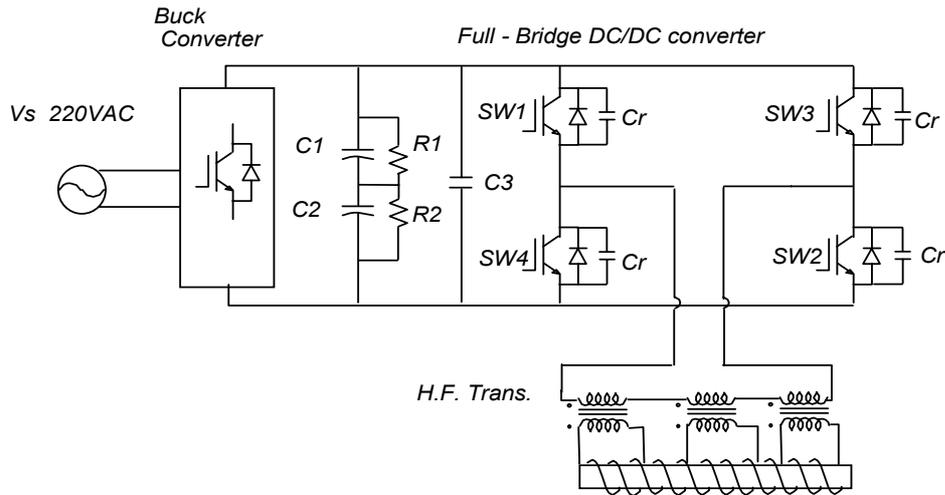
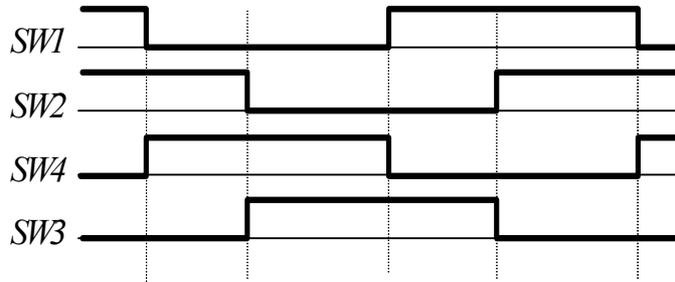


그림 3-17. 벅 컨버터 동작 파형



(a) 풀-브리지 컨버터 회로도



(b) 풀-브리지 컨버터 동작 파형

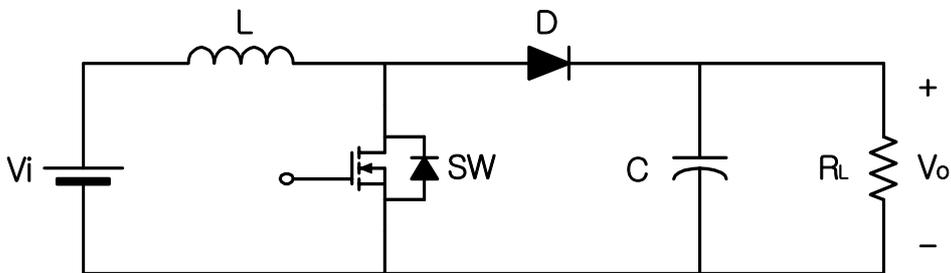
그림 3-18. 풀-브리지 컨버터 회로도 및 동작 파형

공진형 인버터는 위상전이 PWM 방식으로서 영전압 소프트 스위칭을 하며 위상 전이각  $\phi$ 를 조절함으로써 부하에 인가되는 고압 출력을 제어한다. 그림 3-18(b)에 나타난 바와 같이 위상전이 PWM 단상 전파 브리지 인버터의 좌측 스위치 SW1과 SW4를 기준 스위치단으로 하고 우측 스위치 SW3과 SW2를 제어 스위치단이라고 하면 인버터의 주파수를 결정하는 스위치 SW1과 SW4의 게이트 전압 신호는 0.5의 시비율을 갖는 표준 게이트 신호가 되며 SW1과 SW4의 게이트 전압 신호에 대하여 동기된 SW2와 SW3의 게이트 신호 역시 0.5의 시비율로 위상전이 되어진다. SW2와 SW3의 위상 전이각  $\theta$ 는 인버터 동작 주파수의 반주기인  $0^\circ$  에서  $180^\circ$  까지 가변되므로 고정된

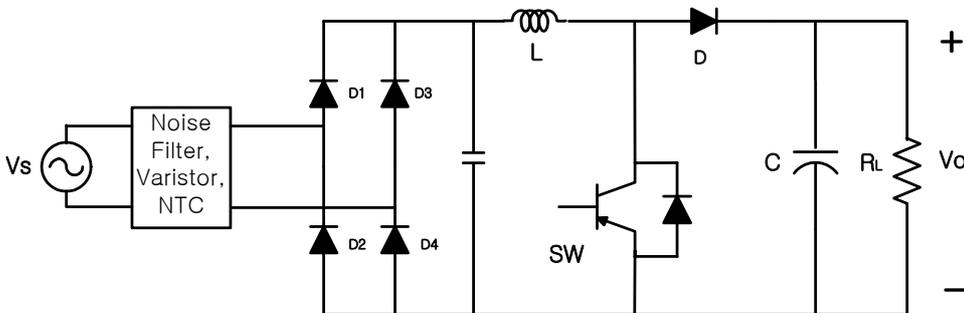
인버터 주파수를 가지고 출력 전압을 제어할 수 있다. 따라서 부하변동에 따른 전압 보상은 ZVS 위상전이 PWM 인버터의 출력이 위상전이가각 제어 범위  $0^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$  사이에서 연속적으로 가변됨으로서 고전압이 조절되어 보상된다

이상과 같은 설명대로 고전압 전원장치는 부가적인 회로없이 위상변이 제어 방식에 의한 제어와 영전압 스위칭이 얻어지게 구성하였다. 그림 3-18은 풀-브리지 컨버터의 기본적인 회로와 동작 파형을 나타내고 있다.

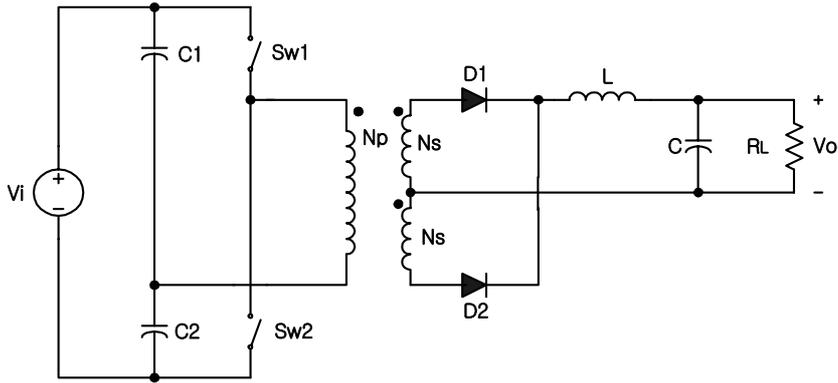
DC/DC 컨버터는 벡 컨버터 외에 부스터(boost) 컨버터 또는 역률 보상형(Power Factor Correction) 부스터 컨버터를 적용할 수 있으며, 직렬 공진형 DC/AC 컨버터에는 풀-브리지 컨버터 외에 하프-브리지 컨버터나 푸쉬-풀(push-full) 컨버터를 적용할 수 있다. 다음 그림 3-19는 각각의 토폴로지를 나타내고 있다.



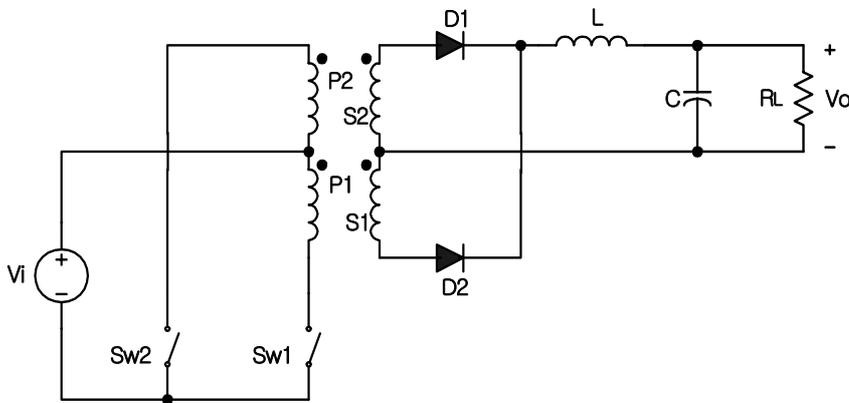
(a) 부스터 컨버터



(b) 역률 보상형 부스터 컨버터



(c) 하프-브리지 컨버터



(d) 푸시-풀 컨버터

그림 3-19. 적용 가능한 컨버터

유도 가열의 전력 전달을 용이하게 하기 위해서는 주로 공진형 컨버터를 적용하게 되고 주로 적용하는 공진형 컨버터는 직렬 공진형, 병렬 공진형, 직병렬 공진형 등으로 나눌 수 있다. 다음 그림 3-20은 각각의 컨버터를 간략하게 나타낸 것이다.

그림 3-20(a)는 풀-브릿지형 직렬 공진 컨버터(SRC)를 나타내고 있으며 직렬 공진 탱크는  $L_r$  및  $C_r$ 로 구성되어 있고, 공진 탱크 회로에 흐르는 전류는 실제 회로에서는 변압기로 이차에 넘겨져서 흐르며 회로에서는 간략화하여  $R, L, C$  회로로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 출력단 부하는 공진 탱크와 직렬로 연결되어 있다.

공진 주파수( $f_r$ )보다 스위칭 주파수( $f_s$ )를 더 높게 하였을 때의 조건이 컨버터의 효율면에서 더 높으며, 공진회로의 전달함수는 공진주파수에 대한 스위칭주파수의 비( $f_s/f_r$ )에 비례하므로 부하저항  $R_L$ 과 입력전압  $V_i$ 가 변할 때 dc 출력전압  $V_o$ 는 스위칭 주파수를 가변함으로써 제어가 쉽게 이루어진다.

그러나, SRC는 무부하와 경부하시에는 스위칭 주파수를 가변하더라도 출력을 제어하기가 어려우며, 단락시에는 공진주파수에서 공진회로의 입력 임피던스가 매우 낮기 때문에 스위칭 주파수에 대한 공진주파수의 비를 매우 크게 하거나 작게 해야 한다. 무부하시에 SRC는 공진 탱크 회로와 부하가 직렬로 연결되기 때문에 흐르는 전류가 없으므로 안전하게 동작이 가능하다.

병렬 공진 컨버터(PRC)는 직렬 공진 컨버터와 비교했을 때 L-C 공진 탱크 회로로 구성되어 있는 점은 같지만 출력단 부하가 공진 탱크 커패시터  $C_r$ 과 병렬로 연결되어 있으며, 출력단이 전압원으로 동작하므로 다중 출력이 필요한 곳에 적합하다.

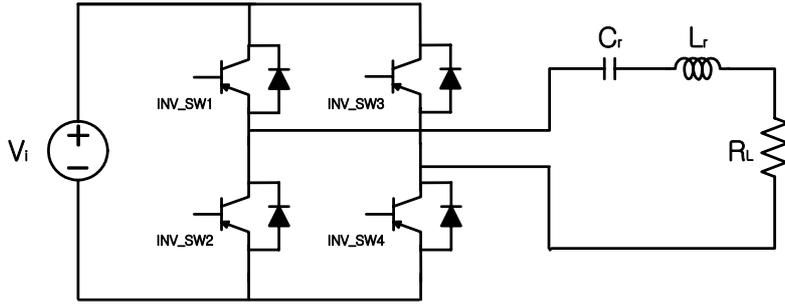
그리고, 변압기 권선비를 고려하지 않았을 때 강압형으로만 동작할 수 있는 SRC와 달리 PRC는 출력전압을 승압, 강압이 가능하다.

PRC는 비교적 좁은 주파수 범위내에서 전부하에서 무부하에 이르기까지 출력전압을 제어할 수 있으며, 부하측이 단락되었을 때 공진회로에 흐르는 큰 단락전류는 공진 인덕터에 유기되는 높은 임피던스에 의해 제한되므로 회로의 단락 보호를 할 수 있다

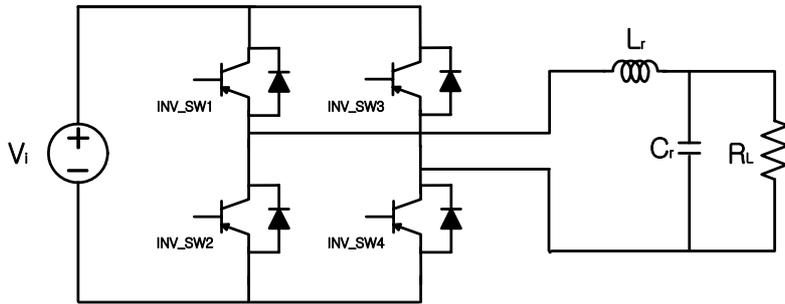
그러나, 부하가 개방되었을 때 즉, 무부하시에 스위칭 주파수가 공진 주파수에 가깝게 되면 출력단에 큰 고전압이 발생해서 회로에 큰 무리가 올 수 있다.

직-병렬 공진 컨버터(SPRC)는 그림 3-20(c)에서 알 수 있듯이 공진 탱크 회로가 직렬 공진 인덕터와 직렬과 병렬로 공진 커패시터를 연결한 구조로 되어있으며 출력단 부하가 병렬 공진 커패시터와 병렬로 연결된 구조이다.

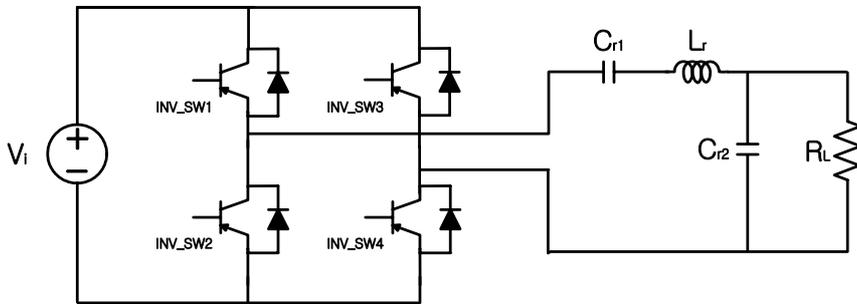
SPRC는 직렬 공진 인버터나 병렬 공진 인버터에 고압 트랜스포머를 연결하였을 때 트랜스포머에 기생하는 표유용량과 누설 인덕턴스성분이 공진 탱크회로에 영향을 미치는 공진 소자로서 작용하여 등가적으로 LCC 형태의 구조를 이루는 공진 탱크 구조라 할 수 있다. 또한, LCC type의 공진 회로는 직렬 공진 컨버터(SRC)의 특징과 병렬 공진 컨버터(PRC)의 특징을 조합한 특성을 가지고 있으며 이 두 회로의 장점을 모두 가지고 있다.



(a) 직렬 공진형 컨버터



(b) 병렬 공진형 컨버터



(c) 직병렬 공진형 컨버터

그림 3-20. 주요 공진형 컨버터 토폴로지

### 3. 열교환기

증기가열기는 여러 가지 형상으로 구성할 수 있으며 용도와 처리 면에 따라 구성이 달라진다. 다음 그림 3-21은 크랭크 샤프트나 강선 열처리에 사용하는 유도가열부의 구조이며 본 과제에서는 수증기가 통과하는 가열기 봉을 가열해야 하므로 이와 유사한 형태로 구성하였다.

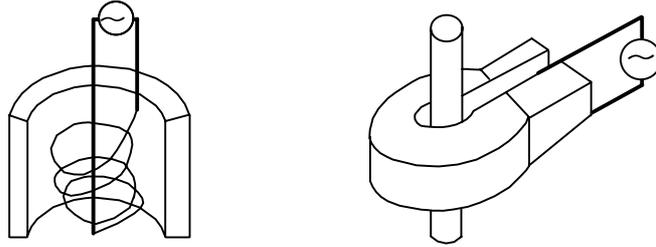


그림 3-21. 유도가열부의 코일 및 가열기 형상

과열증기 발생을 위해서는 가열부를 이중화하여 보다 기계 구조 및 열전달, 전원장치의 구성면에서 보다 유리하고 고온 기체를 얻기 쉽게 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이단의 구조로 가열부를 구성하였으며 증기 발생부는 전열형 에어 히터를 구성하여 사용하였다. 즉, 물의 가열하여 기화점에 가까이 온도를 높이거나 기화시킨 뒤에 유도가열기에 의해 가열되는 증기 가열부로 주입하여 고온의 과열증기를 얻는 방식을 취하였다.

전열 에어 히터는 석영관(Quartz) 및 스테인레스 강(Stainless Steel)의 시즈엘레먼트 내부의 세라믹코어(Ceramic Core)상에 전열선을 권선하여 제작하였으며 높은 압력이 걸리거나 높은 온도로 열풍을 발생시키더라도 전열선의 형상 변화를 방지하고 또한 열전도율은 90% 이상 가까이 높일 수 있으며 히터 선단부의 이상 고온현상을 최소화시켜 HOT SPOT의 현상으로 야기되는 히터의 단선을 막게 구성되어 있다.

가열기의 온도제어를 통해 주입되는 물을 단시간에 기화시키도록 온도 페루프 제어가 되게 구성되었다.

다음 그림 3-22는 전열 에어 히터 사진을 나타내고 있다.



그림 3-22. 전열 에어 히터 사진

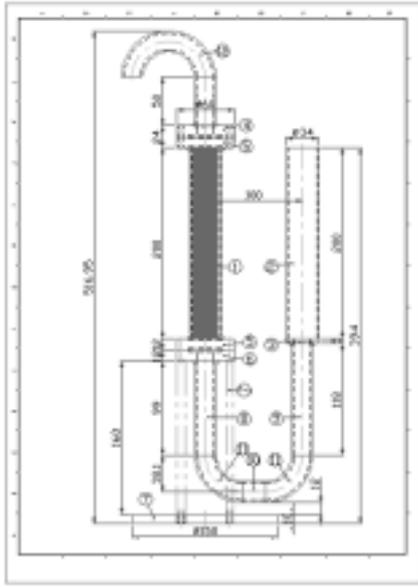
본 연구에서는 매년 새로운 형태의 과열증기 가열기를 제작하여 실험을 통하여 최적의 가열기를 구성할 수 있도록 개선시켜 나갔다. 기존의 과열증기 가열기를 제작하는 방법은 박판형을 미세하게 주름을 준 뒤에 이를 다시 각각에 대해 겹쳐지는 형태로 해서 쌓아 올리는 구조를 이용하였다. 본 연구에서는 초기에 가열기의 기계적인 제작과 소재를 구하기 쉽게 하기 위해 제작이 어려운 기존의 방법 대신 새로운 방식의 가열기를 제작/적용하였다.

1차년도에는 제작이 비교적 간단한 불 적층 가열기를 설계/제작하여 적용하였고, 2차년도에는 불 적층 가열기의 단점을 보완하여 접시형 가열기를 제작하였다. 마지막 3차년도에는 접시형 가열기보다 증기 발생 효율을 향상시키기 위하여 나선형 홈을 가진 판 적층형 가열기를 제작하여 적용하였다.

다음에서 각각의 가열기에 대하여 자세하게 설명하였다.

#### 가. 불 적층 가열기

1차년도에는 제작이 사실상 난해하고 대단히 고가인 기존 방법과 달리 초미세 불 적층형 가열기를 새로이 구성하여 시험하였다. 즉, 봉 형태의 파이프에 미세한 불을 가득 채워 가열 봉을 제작하였으며 미세한 불이 흘러나오는 것을 막기 위해 불의 직경보다 작은 유입구를 만들어 밀봉하였다. 기존의 판형 가열기와 유사한 단면적을 얻도록 불의 직경을 0.5mm로 매우 미세하게 하였다. 즉, 가열기의 경제성을 감안하며 최대 표면적을 얻기 위해 미세 불 적층형 가열기로 설계하였으며 약  $1.2\text{m}^2$ 의 단면적을 가지게 하였다. 다음 그림 3-23은 제작한 가열기의 설계도와 사진이다.



(a) 시험용 가열기 I



(b) 시험용 가열기 II

그림 3-23. 제작한 불 가열기의 설계도와 사진

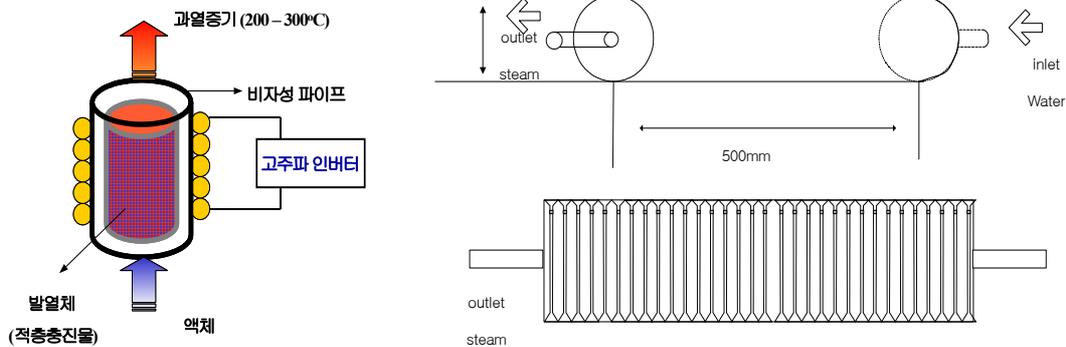
본 과제에서 제작한 가열기는 여러 차례의 가열 실험을 진행하면서 가열기의 형상과 크기에 따라 가열 특성이 달라지는 것을 확인하였고, 이를 본 연구에 적합하도록 변경하여 여러 차례 재제작하여 실험을 진행하였다.

볼 적층형 가열기는 비교적 많은 단면적과 손쉬운 제작성 그리고 바라는 가열특성을 얻을 수 있었으나 영에 강한 소재로 된 미세 볼을 가공하는 것이 가장 큰 난점이었다. 일반 시중에서 구할 수 있는 스테인레스 볼을 이용할 때에는 장시간 운전시 볼간의 접합이 발생하는 문제가 나타났다.

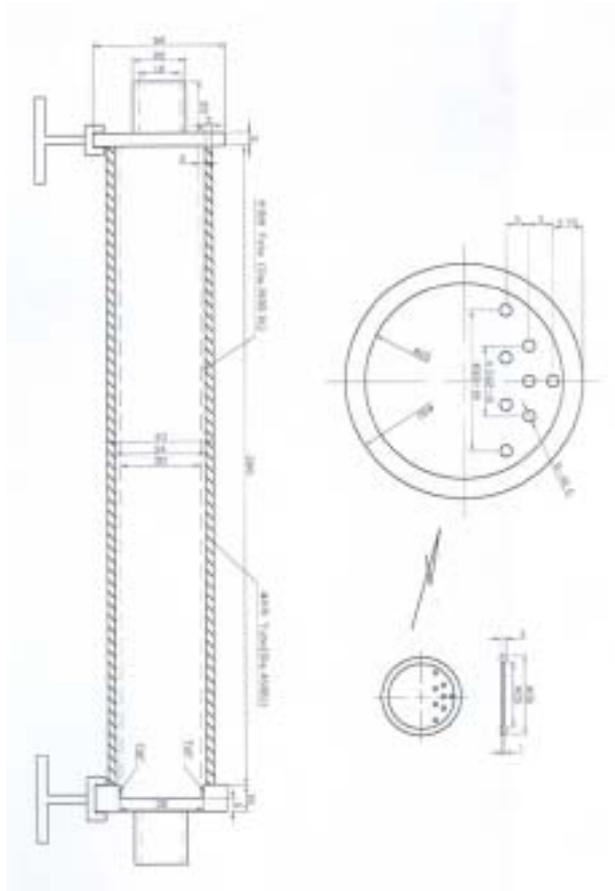
### 나. 접시형 가열기

1차년도에는 기존의 가열기를 변형하여 초미세 볼형 가열기를 새로이 구성하여 시험하였다. 시험결과 바라는 증기가열이 이뤄졌으나 장시간 운전시 볼의 접점이 국부적으로 대단히 고온으로 가열됨으로 인해 용융 용착되어 점차 증기의 흐름이 작아지는 문제가 발생하였다. 이에, 2차년도에는 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 주름형 가열기 구조를 변경하여 접시형 원반을 얇게 배열하여 쌓고 기체의 흐름을 난류가 되어 흐르게 배열하였다.

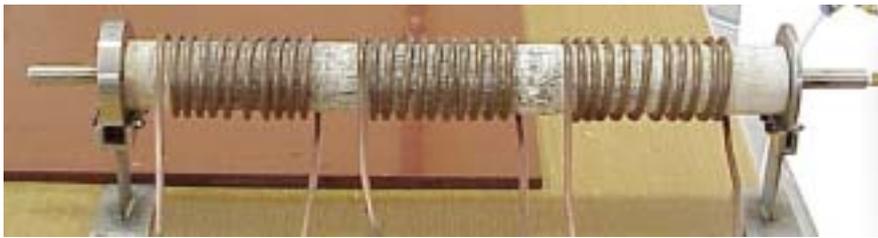
다음 그림 3-24는 2차년도에 제작한 가열기의 개요도와 제작한 실물사진을 나타내었다. 1차년도에는 증기 발생기에 동선을 바로 감아 실험하여 안정성 확보에 어려움을 겪었으나, 2차년도에는 증기 발생기의 외피에 세라믹 관을 두어서 동선의 권선이 세라믹 관에 바로 밀착되어 구성될 수 있게 하여 안정성을 확보하였다.



(a) 증기 발생기 개요도



(b) 증기 발생기 제작도면



(c) 증기 발생기 사진

그림 3-24. 증기 발생 가열기

1차년도에는 제작이 용이하고 저가로 구성이 가능한 스테인레스강을 이용하여 가열기를 구성하였으며 이를 토대로 실험을 수행하였다. 그렇지만 약 800~1000도에 이르는 고온에서 제작한 가열기들이 과열증기 발생은 가능하지만 모두 산화 소손되는 문제가 나타나서 2차년도에는 1차 가열기는 증기 발생을 위한 저온으로 운전하고 스테인레스 구조를 그대로 사용하되 2차 가열기는 고온에서 사용될 수 있는 inconel을 사용하여 구성하였다.

인코넬은 약 1600도 까지 내열성을 가지고 있고 쉽게 산화되지 않는 장점이 있으므로 이를 가열기에 적용하였다. 가공성이 떨어지는 단점이 있으므로 접시형 구조로 하여 제작을 용이하게 하였다.

다음 표 1은 실험에 사용한 스테인레스강과 inconel의 특성표를 일부 나타낸 것이다.

표 1. 스테인레스강과 inconel의 특성표

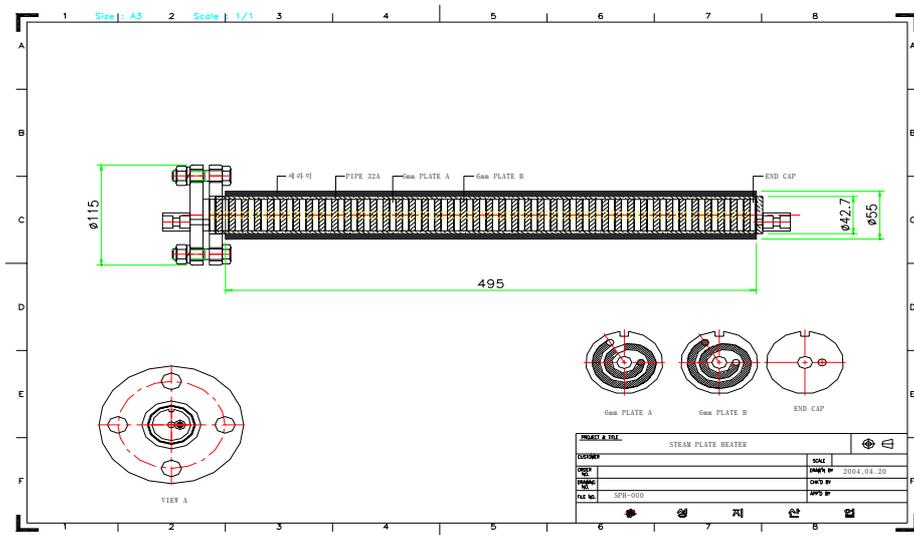
합금명	특성/용도	주성분 %								비중 (Mg/m <sup>3</sup> )	열전도도	
		Ni	Cu	Cr	Fe	Si	Mo	Co	기타		70°F (20℃)	1500°F (815℃)
INCONEL ALLOY 625	초저온에서 980℃까지 고인장력 및 인성을 보유하며 내산화성이 우수하고 피로강도가 뛰어나며 내식성이 좋다. 화학 및 공해 방지설비, 핵반응기, 해양설비, 항공기 부품	6	1	21.5			9		Nb+Ta 3.6	0.305 (8.44)	68 (9.8)	151 (21.8)

스테인레스강의 강종별 특성 및 온도										
강종	화학적분	기계적성질(상온)					물리적 특성			
		내력 (kg/mm <sup>2</sup> )	인장 강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	경도		용점 범위 ℃	비중	열전 도율 (100℃)	자성 유무
					H <sub>RB</sub>	H <sub>V</sub>				
A 304	18~20Cr 8~10,50Ni 0.08C,2.0Min 1.0Si 0.045P, 0.030S	28	63	58	83	166	1399 ~ 1454	7.93	0.0388	●
특징	가장 넓은 용도로 사용되는 스테인레스강으로써, Ni 이 함유되어 있기 때문에 Cr 보다 한층 뛰어난 내식성, 내열성, 저온강도를 가지고 있으며 기계적 성질도 양호하다. 가공성은 크고 열처리로 써는 경화가 되지 않으면 자성은 없다.									
주용도	가정용 기구(식기, 나이프, 욕조, 온수기, 실내배관 보일러) / 자동차부품(Wiper, 머플러, 백밀러등) 건축자재(판넬, 커튼레일 샤프, 엘리베이터, 아취, Fence 등) / 화학공업(탱크, 배관파이프, 반응탑 등) / 각종의료기구 / 낙농산업설비(살균기, 열관환기, 저장용 수송용 탱크 등) / 선박용 부품(Hatch Cover, 연돌방수도아 Cable 등) / 각종 저온기기(내열 부품, LPG 탱크 등)									
A 303	17~19Cr 8~10Ni 0.15C,2.0Min 1.0Si, 2.0P 0.15S,(min) 0.060Mo	25	64	50	76	-	1400 ~ 1420	7.93	0.0388	●
A 303Se	17~19Cr 8~10Ni 0.15C,2.0Min 1.5~3.0Si 0.045P, 0.030S									
특징	303 Se는 303에 비해 약간 열세하나 열간 및 냉간가공성은 양호하다.									
주용도	볼트, 너트, Brushing, 공작기계에 의한 제품, Shaft, 낚시용 릴, 항공기에 부착되는 각종기구, 단조제품, 리벳트, Screw 등									
A314	23~26Cr 19~22Ni 0.25C 2.0Mn 1.5~3, OSi 0.45P 0.030S	35	70	40	85	-	-	-	-	○
특징	310보다 내식성이 좋으며 냉간가공에 적합하다, Cr-Ni 강종 최고의 내열성을 갖는다.									
주용도	소둔 Box, 침탄 Box, 열처리용 공구 (Radiant Tubes)									

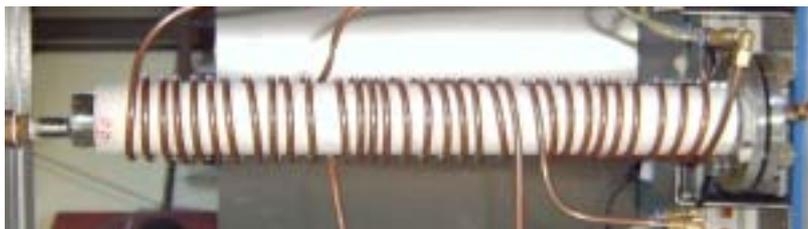
## 다. 관형 가열기

1, 2차년의 가열기 실험을 통하여 나타난 여러 가지 현상을 파악하여 3차년에는 새로운 구조의 관형 가열기를 설계/제작하여 적용하였다. 관형 가열기는 여러 개의 관을 겹쳐서 구성하였고 나선형의 홈을 두어서 관의 내부를 회전하면서 증기가 흐르도록 하여 2차년도에 개발한 접시형 가열기에 비해 증기가 가열기 내에 머무는 시간이 증가하여 증기 발생 효율을 향상시킬 수 있는 구조이다. 그 외의 가열기 구조는 접시형 구조와 동일하게 하였다.

아래 그림 3-25는 새롭게 제작한 관형 가열기의 도면과 제작한 가열기의 실제 사진을 나타내고 있다.



(a) 가열기 도면



(b) 가열기 사진

그림 3-25. 증기 발생 가열기

제작한 증기 발생기는 건조로와 직결되어 바로 탑재될 수 있는 구조로 제작 되었으며 소재는 역시 인코넬로 제작하였다.

#### 라. 코일 설계

유도가열용 코일설계는 유도가열 열처리에서 설비의 효율과 열처리 제품의 품질을 결정하는 가장 중요한 구성요소이다. 가열기 사진에 나타난 바와 같이 동 파이프를 가열기 외부에 직접 권선하여 구성하며 이중층으로 구성하여 외부 자속을 줄여주는 것이 상용화 제품을 구성할 때는 필요하다.

코일을 설계하기 위해서는 먼저, 처리하는 공정에 적합한 설계를 위해 어떠한 공정으로 운전할 것인가를 정해야 한다.

그 다음에는 코일의 형상과 가열 방식을 결정하고 그 후에, 코일의 크기와 동작조건을 결정한다. 다음은 코일 설계와 동작조건(주파수, 전력밀도, 가열시간 또는 이동속도 등)을 최적 조합으로 맞추는 것이 중요하며 바라는 피시물에 자속이 집중되게 설계해야 한다.

유도가열용 히팅 코일은 여러 가지 방식으로 권선할 수 있으며 한 부분에 자속을 최대로 하는 동심 코일형과 분산 배치하여 코일에 의한 자속 분포를 넓게 해주는 횡축 표면 코일형으로 크게 나누어 볼 수 있다. 여기서, 세분화하면 외부로 자속의 유실을 줄일 수 있는 팬 케이크형, 이중 권선형, Planar 권선형, 다층 동심형 등으로 나누어 볼 수 있다.

본 과제에서는 긴 열교환기에 여러 동심 권선을 배치하여 전체적으로 균일한 자속 분포를 갖게 하여 가열하고자 하였다.

다음 그림 3-26은 횡축 표면 코일의 자속 분포 그림을 나타낸 것으로 코일의 배치에 따라 자속이 분산되어 균일한 분포를 가짐을 알 수 있다. 변압기를 여러개 두어서 일차는 직렬 결합이 되게 한 뒤에, 이차 권선을 각각 가열기의 횡축 방향으로 균일하게 배열하여 자속 분포를 고르게 하고자 하였다.

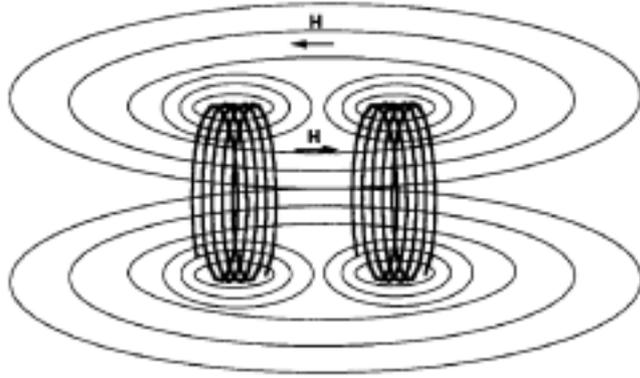


그림 3-26. 횡축 표면 코일의 자속 분포도

가열기를 따라 일정하게 권선을 배치함으로써 자속의 세기는 다음 그림과 같이 가열기 길이에 따라 일정한 분포를 가짐을 알 수 있도록 구성하였다. 그림에서는 두개의 권선에 의한 자속 추이를 나타내었으나 1차년, 2차년도에는 실제 3개의 권선을 통해 균일하게 배치하였으므로 길이에 따른 자속 분포는 보다 일정하게 되었다. 3차년도에는 가열기에 2개 또는 3개의 권선을 등 간격으로 배열하여 권선하도록 하여 인버터의 병렬 운전에 따라 권선 수를 조절하여 시험 하였다.

기체가 고온화되어 나가는 종단에 보다 많은 열이 집중 되므로 가열기에 대한 열 분포를 고려할 때, 시작부에 보다 많은 자속 분포가 이뤄지게 할 것으로 판단되었다.

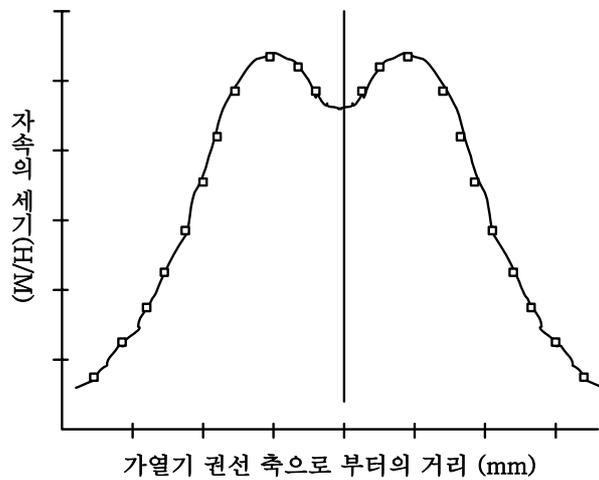


그림 3-27. 코일 길이에 따른 자속 분포

#### 4. 시작품 제작

##### 가. 건조장치 사양

###### 1) 1차년 건조 장치 사양

- 오븐 사양
  - 온도 제어 : 내부 온도 100~300도 제어 가능
  - 전면에 소형 관측창 설치
  - 온도 및 내부 습도 표시 : 0~300도, 0~100%
  - 증기 입, 출력 배관 처리 및 단열 (400도 이상 차폐)
- 펌프 사양
  - 가변 정속 유속 : 분당 1리터 이하
  - 증기압에 의한 역압에도 일정 속도 유지
  - 물탱크 : 10리터
- 전체 배치
  - 오븐 크기 : 450mm(W)\*400mm(L)\*350mm(H)
  - 외함 크기 : 1700mm(H) 이하
- AC 전원
  - 전원용량 8KVA, 50/60Hz
  - 건조로 동작 전원 (2kVA 이상)
  - 유도가열 전원 개폐기 (4kVA 이상)
  - 냉각기 및 제어반 전원 (2kVA)
- 유도 가열 전원
  - 전원부 : 수냉식
  - 유도 가열 코일 : 수냉식
  - 4kVA 전원 1대로 구성

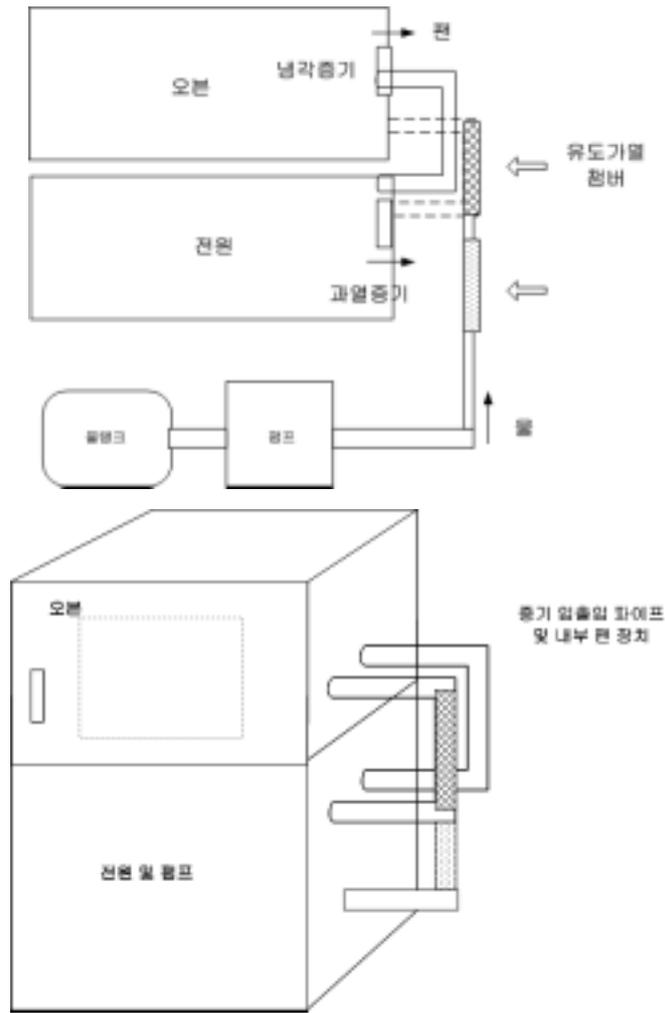


그림 3-28. 1차년 건조 장치 외형 개요도

## 2) 2차년 건조 장치 사양

- 메인프레임 및 오븐 외형과 구성
- 전체전원(단상 220VAC)의 개폐 기능
- 표준 랙 - 전면 19"
- 오븐 치수 : 650mm \* 750mm\* 1000mm 이상
- 오븐의 전면에는 내부 관측창 강화유리를 탑재

유도가열전원과 증기발생장치에서 발생한 증기가 오븐내부로 주입  
 증기 입출력부에는 배관 단열  
 오븐 내부는 측면에 내부 온도를 250도까지 유지할 수 있는 가열기 탑재  
 250도에서도 내부 금속용기 및 판재가 휘어지지 않게 구성  
 수분에 의한 부식 방지 처리  
 건조로 내부에 테프론 코팅처리를 통해 복사열 방지

- AC 전원 용량

전원용량 10KVA, 50/60Hz

건조로 동작 전원 (2kVA 이상)

유도가열 전원 개폐기 (6kVA 이상)

냉각기 및 제어반 전원 (2kVA)



그림 3-29. 2차년 건조 장치 배치 개요도

- 유도 가열 전원

전원부 : 공랭식

유도 가열 코일 : 수냉식

6kVA 전원 1대로 구성

- 온, 습도 표시장치

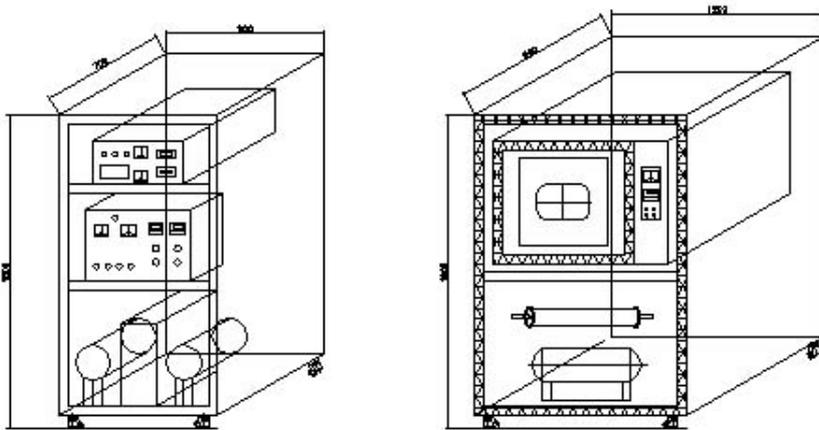
온도 표시는 250도까지 가능, 건조로 내부온도와 인입 증기의 온도를 표시  
습도 표시는 건조로 내부의 상대, 절대 습도를 표시

- 온도 및 전기제어설비

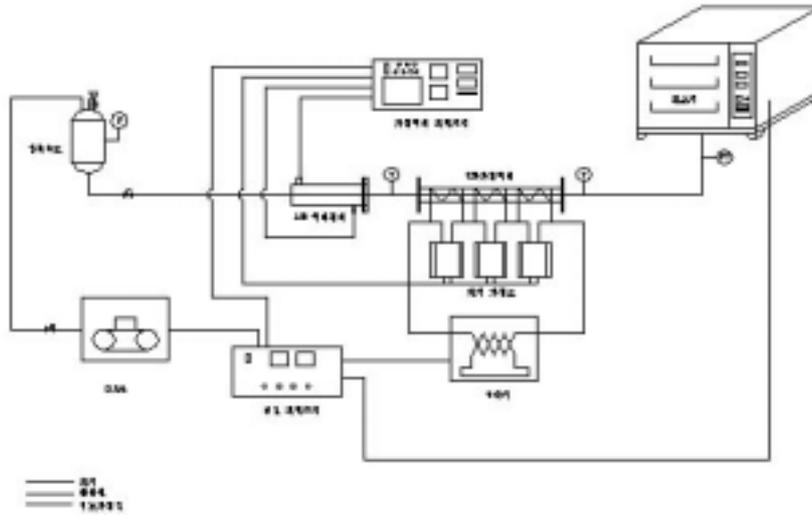
건조로 내부 온도 제어반 (~ 250도)  
컴퍼레서 압력제어기 (0 ~ 5kg)  
유도가열기 제어반 (0 ~ 6kVA)  
전체 시스템 전원 개폐 제어반 (~ 10kVA)  
냉각기 온도 제어 (냉각수 기준 40도 이하)

- 전체 동작 공정 조건

건조로는 내부 가열기를 통해 내부온도를 제어하며 유도가열기와 고온으로 가열되는 증기 발생부(입력 물탱크와 컴퍼레서를 통해 물이 공급됨)를 통해 고온 증기가 오븐으로 주입되며 이때, 유도가열장치에 냉각수를 공급하여야 하며 냉각기를 통해 강제 냉각한다.



(a)



(b)

그림 3-30. 2차년 시작품 제작도

### 3) 3차년 건조 장치 사양

- 메인프레임 및 오븐 외형과 구성  
전체전원(단상 220VAC)의 개폐 기능  
표준 랙 - 전면 19"
- 건조로 치수 : 850mm\*450mm\*450mm(내부)  
1090mm\*690mm\*900mm(외부)
- 유도 가열 전원 : 디지털 제어형 3kVA 전원 2대로 구성
- 오븐의 전면에는 내부 관측창 강화유리를 탑재  
유도가열전원과 증기발생장치에서 발생한 증기가 오븐내부로 주입  
증기 입출력부에는 배관 단열  
오븐 내부는 측면에 내부 온도를 250도까지 유지할 수 있는 가열기 탑재  
수분에 의한 부식 방지 처리  
건조로 내부에 테프론 코팅처리를 통해 복사열 방지
- AC 전원 용량  
전원용량 10KVA, 50/60Hz

- 건조로 동작 전원 (2kVA 이상)
- 유도가열 전원 개폐기 (6kVA 이상)
- 냉각기 및 제어반 전원 (2kVA)

- 온, 습도 표시장치

- 온도 표시는 250도까지 가능, 건조로 내부온도와 인입 증기의 온도를 표시
- 습도 표시는 건조로 내부의 상대, 절대 습도를 표시

- 온도 및 전기제어설비

- 건조로 내부 온도 제어반 (~ 250도)
- 컴프레서 압력제어기 (0 ~ 5kg)
- 유도가열기 제어반 (0 ~ 6kVA)
- 전체 시스템 전원 개폐 제어반 (~ 10kVA)
- 냉각기 온도 제어 (냉각수 기준 40도 이하)

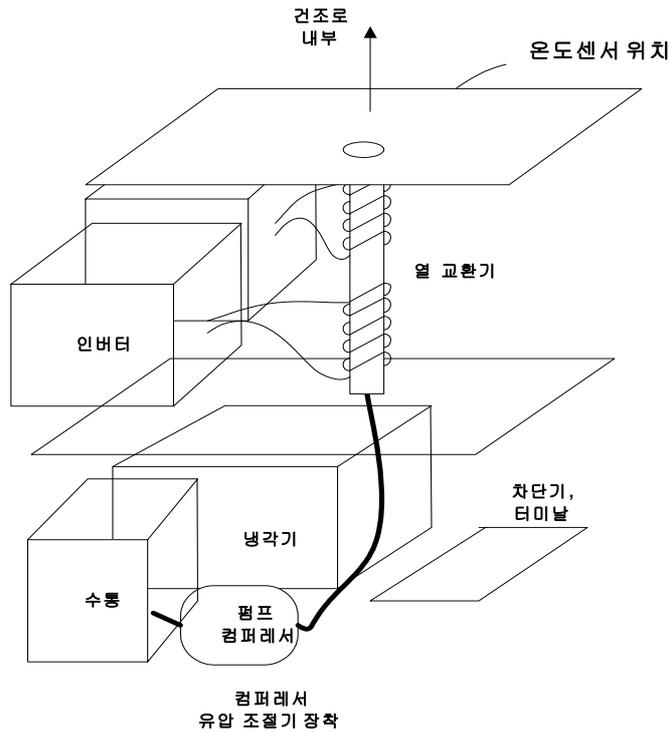


그림 3-31. 3차년 장치 구성요소 개요도

## 나. 년차별 시작품

1차년도에는 하나의 랙에 모든 장치를 장착하였다. 유도 가열 장치는 4kVA 용량의 전원 장치 1대로 구성하였고, 가열기는 불형 가열기를 적용하였으며, 냉각기를 이용하여 전원부와 가열기의 코일을 온도를 유지하였다. 건조로는 상대적으로 적은 용량을 구성하여 과열 증기 건조의 특성을 파악하고자 하였다.



그림 3-32. 1차년 시작품 사진

그림 3-32에 나타난 바와 같이 상단에 건조로를 탑재시켰으며 중간에 유도가열장치와 기타 변압기류를 탑재하고 하단에 가열기와 냉각기 및 컴프레서류를 두어서 누수에 따른 전기적인 위험성을 줄이고자 하였다.

1차년도의 시작품을 바탕으로 2차년도에는 건조 용량을 늘이기 위하여 건조로의 용량을 증가시켰다. 따라서 하나의 랙에 모든 장치를 장착하는 것이 불가능하여 2개의 랙으로 분리하여 하나의 랙에는 건조로와 냉각기, 가열기를 장착하였고, 다른 랙에는 유도 가열 장치와 컴프레서, 가열 전원부를 장착하였다. 가열기는 접시형 가열기를 적용하였고, 가열 특성을 향상시키기 위하여 전열 에어 히터를 사용하여 1차 가열을 하였다. 유도 가열 장치는 건조 용량을 증가시키기 위하여 6kVA 용량의 전원으로 증가시

켰으며, 전원부의 냉각은 공랭식으로 하였다. 가열 전원부는 컴퍼레서와 전열 에어 히터를 조작하는 판넬로 구성되어 있다.

다음 그림 3-33은 2차년 시작품 사진을 나타내고, 그림 3-34는 건조 장치에 적용한 유도가열 전원장치의 사진을 나타내고 있다. 그림 3-35는 버섯을 건조하고 있는 건조로 내부 모습을 나타내고 있다.

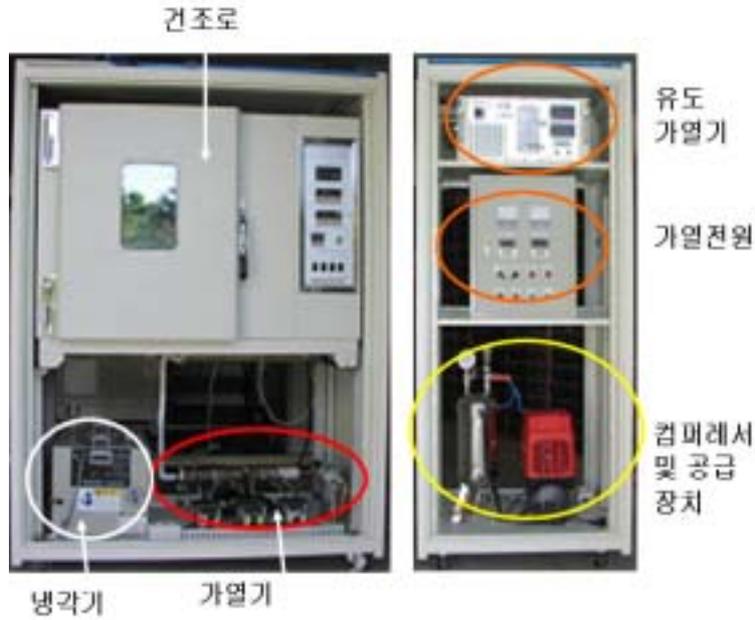


그림 3-33. 2차년 시작품 사진



그림 3-34. 제작한 유도가열 전원 사진



그림 3-35. 건조로 내부 사진

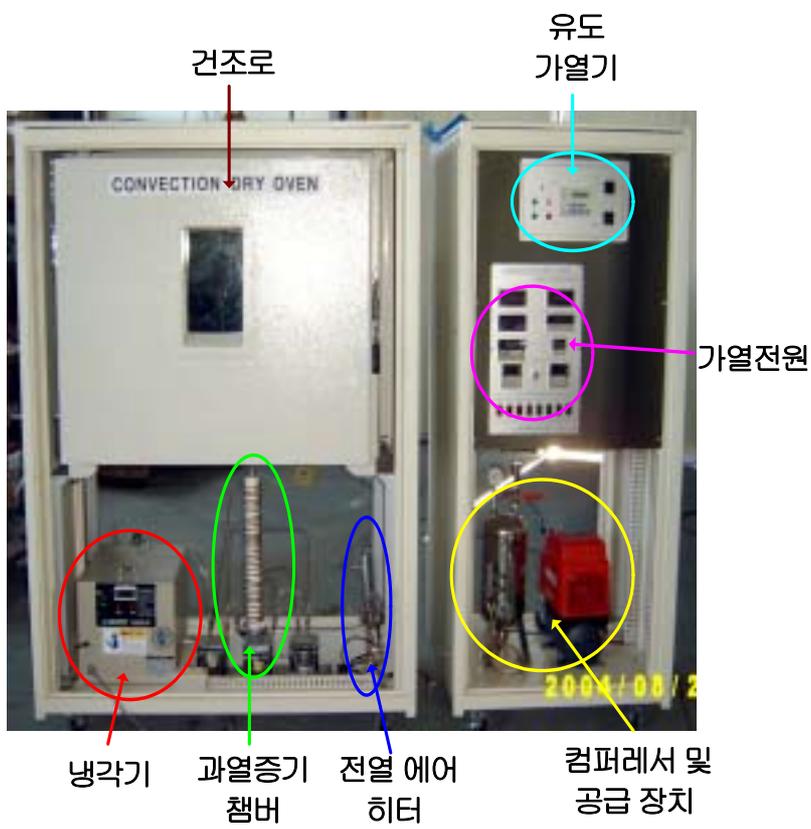


그림 3-36. 3차년 시작품 사진

3차년도에는 2차년도와 동일하게 2개의 랙을 이용하여 건조 장치를 구현하였다. 건조 용량을 더욱 증가시키기 위하여 건조로의 제어반을 외부로 통합시켜 용적을 최대한 크게 제작하였으며, 가열기의 효율을 향상시키기 위하여 관형 가열기를 적용하였다. 또한 가열기의 연결선이 길어 증기의 열 효율이 감소하는 것을 방지하기 위하여 가열기를 건조로에 바로 연결되도록 설계하였다. 유도 가열 전원 장치는 3kVA 전원 두 대를 사용하여 콤팩트하게 구성하였다. 인버터 외에 모든 전열설비는 하나의 랙에 통합하여 구성하였으며 냉각기는 과열증기 가열기의 유도 코일 냉각을 위해 사용되었다.

#### 다. 실험 결과

1차 년도에서는 유도가열기기에 의한 과열증기 발생 장치를 구현하는 데에 주안점을 두었으며 이에 따라 장치의 제작과 함께 과열증기의 발생을 시험하였다. 유도가열기기에 의해 전력은 약 평균 4kVA가 주입되는 상태에서 약 2분 후에 가열기의 온도가 상승하면서 증기가 발생하였으며 다음 그림 3-37은 가열기의 가열사진과 증기의 발생을 시험한 사진을 보여준다. 증기는 육안과 달리 사진에 잘 포착되지 않아서 미세하게 나타났다.



그림 3-37. 가열기 가열 및 증기 발생 사진

다음 그림 3-38은 최종적으로 바라는 건조 공정 설비의 개략도로서 식품의 건조가 계속적으로 이뤄지고 과열증기 발생부에 의해 연속적으로 과열증기가 건조로 내부에 유입되는 것을 나타내었다.

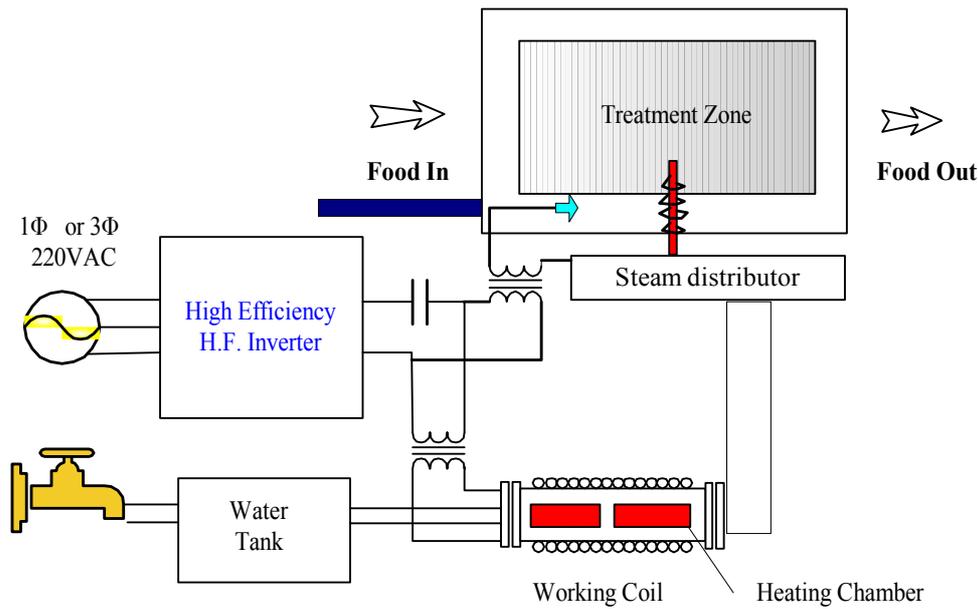


그림 3-38. 최종 건조 공정 설비의 개략도

1차년도에는 우선, 건조효과를 분석하는 것이 목적이며 소형의 배치 형태로 건조장치를 구성하고 과열증기는 건조기의 용량이 작으므로 하나의 입력관을 통해 직접 건조로에 유입되게 하였다.

최고 상단에 건조 오븐을 배치하였으며 오븐은 수증기가 되어 이슬점에 도달하지 않도록 오븐 내부를 일정하게 가열할 수 있게 오븐 자체도 가열기를 내장하도록 구성하였다. 유도가열전원과 가열기는 과열증기를 발생시킨 후에 오븐 내부의 증기를 순환 가열하도록 구조를 배치하였다. 오븐의 초기 동작에서 내부에 증기를 발생시켜 넣기 위해 일정한 컴퍼레서 압력에 의한 물을 가열기로 넣고 이를 증기로 변환시켜서 유도가열 가열기에 주입되게 하였다

다음 그림 3-39는 인버터 출력의 전압과 전류 파형을 나타낸 것이다. 피상전력 기준으로 약 4kVA의 전력이 가열기로 전달되었다.

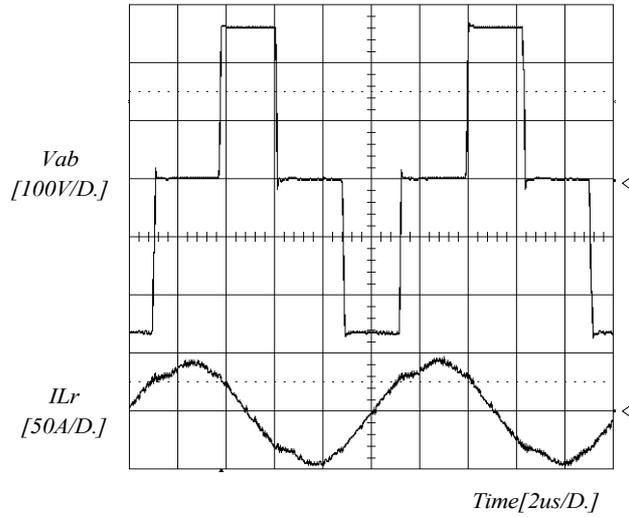


그림 3-39. 인버터 출력의 전압과 전류 파형

1차년도에는 제작한 건조 장치의 건조 특성을 평가하기 위하여, 향신료인 고추의 건조시험을 하여 과열 증기를 적용한 건조특성을 파악하고자 하였다. 먼저, 식품의 특성을 판별할 수 있는 표면의 건조 후 변화를 살펴보았다. 다음 그림 3-40과 3-41은 1차년도에 수행한 일반 건조 방식과 과열증기 건조방식에 의해 건조된 식품의 사진이다.



건조 전

건조 후

그림 3-40. 고추의 건조전과 후 사진 (일반 건조, 건조온도 170도)



건조 전



건조 후

그림 3-41. 고추의 건조전과 후 사진 (과열증기 건조, 건조온도 190도)

일반건조는 가열 10분 만에 완전히 색도 변화가 일어났으나 과열증기에 의한 방법은 30분 건조 후에도 색도변화가 일반건조에 비해 작게 일어나는 것을 확인할 수 있다. 과열 증기를 이용하게 되면 식품이 손상을 입는 것을 완전히 해결하지는 못하더라도 일반 고온 건조에서보다는 훨씬 줄어드는 것을 알 수 있었다.

2, 3차년도에는 과열증기 건조와 저온 열풍 건조를 복합하여 건조공정을 구성함으로써 보다 식품 색도변화를 줄일 수 있었으며 건조시간과의 절충을 통해 색도변화를 저온 열풍건조와 유사하게 얻을 수 있었다.

2차년과 3차년도에는 장치의 구조 개선을 위해 수냉식의 방열기를 공냉식으로 수정하였으며 유도 가열 전원장치가 5kVA~6kVA에서 연속 운전이 가능하게 안정화시켰다. 가열기는 1차로 전열 에어 히터로 초기 가열을 한 후에 유도가열기에서 2차로 가열하여 증기 가열의 효율을 향상시키고, 증기 발생시간을 단축시킬 수 있었다.

다음 그림 3-42(a)는 가열기를 가열하는 사진을 나타내었으며 유도가열현상을 알 수 있게 하기 위해 절연관이 없는 상태에서 내부를 노출한 후에 실제 동작 온도보다 매우 높은 상태로 가열한 것이다. 그림 3-42(b)는 가열된 유도가열부에 물을 투입하였을 때 관을 통하여 증기가 발생하는 장면을 촬영한 것으로, 플라스틱 상자에 하얀 수증기가 발생하는 것을 알 수 있다. 실제로 유도 가열부가 충분히 가열되어 400℃ 정도의 과열 증기를 발생할 때는 관에 수분이 맺히지 않으며 무색의 수증기가 발생하고 바깥의 차가운 것과 부딪히면서 하얀 수증기로 변하게 된다.



(a) 가열기 가열 사진



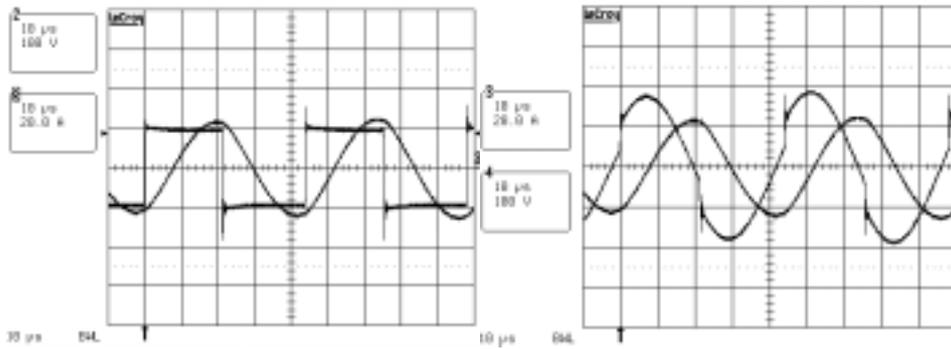
(b) 증기 발생 사진

그림 3-42. 증기 발생 가열기

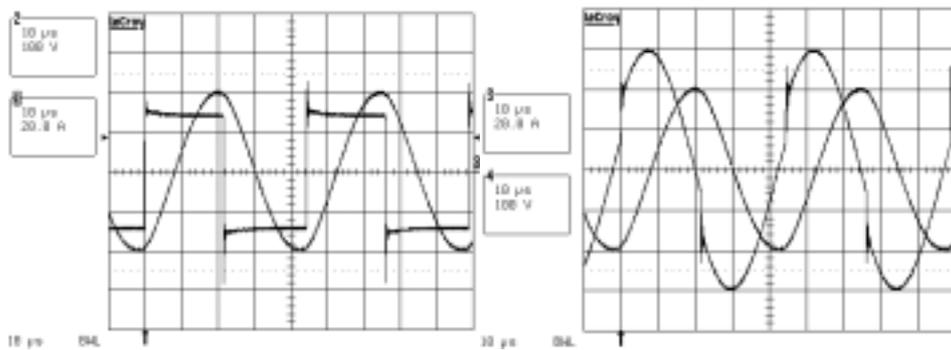
유도 가열부의 급속 가열을 위하여 가열 초기에는 최대 6kVA의 출력을 내도록 설계하고 정상 상태에서는 약 3~4kW의 출력을 발생하도록 하여 과열 증기의 온도를 400℃ 내외로 유지하도록 하였다.

다음 그림 3-43은 각각의 부하에서 동작하고 있는 유도 가열 전원 장치의 공진형 풀 브리지 컨버터 출력 전압 파형(1번 파형)과 1차측 공진 전류 파형(3번 파형), 1차측 변압기 중 하나의 전압 파형(4번 파형)을 나타내고 있다. 1차측 변압기는 3개를 직렬로 구성하였기 때문에 전체 전압은 나타낸 전압 파형의 약 3배가 된다. 그림에 나타난 전압과 전류 파형에서 전류가 전압 파형보다 뒤지는 유도성 부하로 동작하는 것을 알 수 있다. 따라서 스위치가 턴온되기 전에 스위치와 병렬로 구성된 다이오드를 통하여 미리 전류가 도통하고 있으므로 영전압 스위칭을 이룰 수 있다.

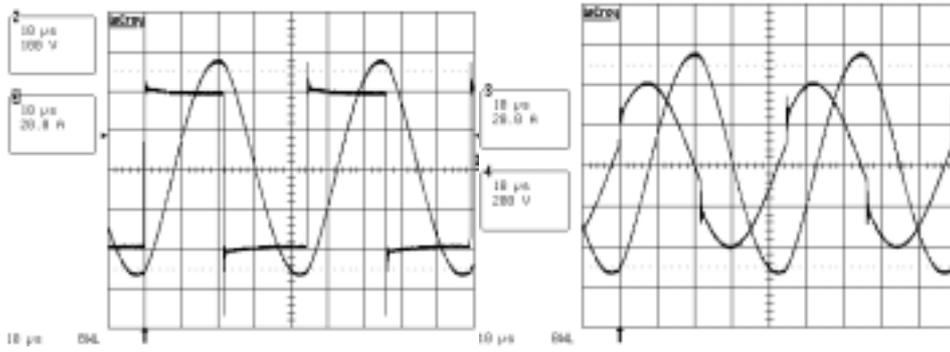
그림 3-44(a)는 풀 브리지 컨버터의 동일 레그(leg)의 아래, 위 스위치의 게이트 구동 파형을 나타내고 있다. 그림에 나타난 것과 같이 게이트 구동 파형은 항상 데드 타임이 존재하여 스위치가 동시에 켜져 단락되는 것을 방지하고 있다. 그림 3-44(b)는 1, 2차 측 변압기의 공진 전류 파형을 나타내고 있다. 변압기 1, 2차 권선비 14 : 3의 비율과 비슷하게 전류가 차이가 나는 것을 알 수 있다.



(a) 입력 전압 : 100Vdc

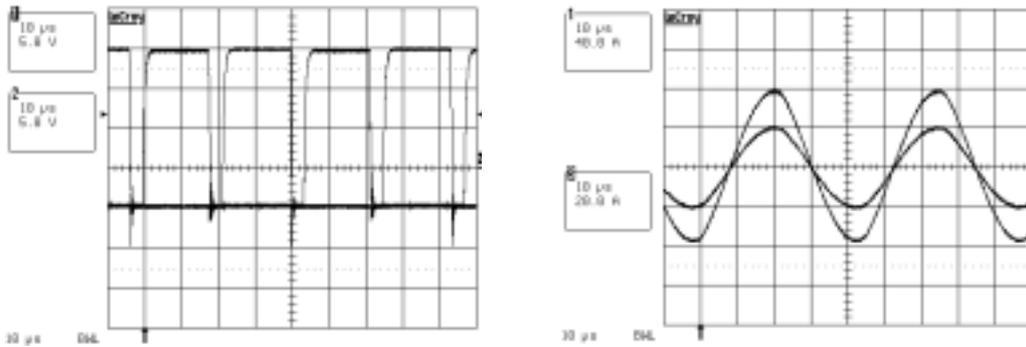


(b) 입력 전압 : 150Vdc



(c) 입력 전압 : 200Vdc

그림 3-43. 공진형 풀브리지 컨버터 출력 전압(2번 파형), 1차측 공진 전류(3번 파형)과 1차측 변압기의 전압/3(4번 파형)



(a) 스위치 게이트 전압

(b) 변압기 1, 2차측 공진 전류

그림 3-44. 스위치 게이트 전압과 변압기 1, 2차측 공진 전류

제작한 건조설비의 성능을 확인하기 위해 식품 건조 시험을 역시 수행하였으며 과열 증기를 이용한 고온 급속 건조와 저온 열풍 건조상태를 비교하였다.

건조로 내부온도는 180℃로 고정하고 건조로 내부 습도를 측정기기 표시값으로 약 20~30%정도를 유지하도록 과열 증기를 투입하였다. 그러나 많은 실험을 통하여 식품 건조시에 건조 초기에는 습도를 유지하면 식품이 손상되는 것을 방지할 수 있었으나 건조가 어느 정도 진행되면 습도를 유지하더라도 식품이 손상되는 현상이 발생하였다. 따라서 각각의 식품에 따라 건조 되는 비율을 달리 하여 식품이 손상되기 전에 실험을

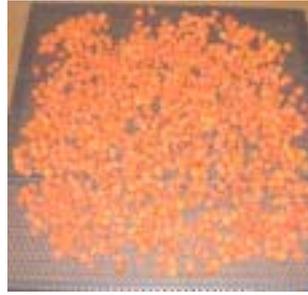
중단하고 이후에는 일반적인 저온 건조를 통하여 건조 실험을 진행하였다. 그러더라도 고온 건조에서 건조하는 것은 저온에서 건조하는 것보다 건조 속도가 훨씬 뛰어남을 알 수 있었다. 다음 그림 3-45는 생강, 버섯, 당근, 인삼에 대한 고온 건조 테스트 실험 결과를 나타내고 있다. 다음 그림 3-46은 고온 건조 조건과 일반 건조 조건에서 고추를 건조 테스트한 실험 결과이다.



(a) 생강 건조 (100% -> 28.9%, 1시간 20분)



(b) 버섯 건조 (100% -> 41.38%, 1시간)



(c) 당근 건조 (100% -> 68.8%, 15분)



(d) 인삼 건조 (100% -> 58.9%, 13분)

그림 3-45. 고온 건조 테스트 결과



(a) 고온 건조 (100% -> 18%, 29시간 10분)



(b) 저온 건조 (100% -> 18%, 51시간 40분)

그림 3-46. 고추 건조 테스트

고온 건조에서, 고온 건조는 먼저 160℃에서 약 5분간 건조하고 차츰 온도를 감소시켜 최종적으로는 50℃에서 건조를 지속하였다. 저온 건조는 50℃에서 건조하였으며 건조 시간은 고온 건조에 비해 2배 정도의 시간이 걸렸다. 그림에서 보는 것과 같이 건조 식품의 상태는 고온 건조와 저온 건조가 거의 동일함을 알 수 있었다.

과열 증기를 이용한 고온 건조 테스트는 식품 살균 및 건조 시간이 단축되는 장점이 있지만, 식품이 손상되는 것을 완전히 없앨 수는 없었다. 따라서 건조 초기에는 고온에서 건조를 하고 어느 정도 건조된 후에는 저온 건조에서 마무리를 하는 복합공정이 유리하다.

다음 제 3 절의 식품 건조연구에서 건조 식품에 대한 실제적인 화학적인 분석 결과를 다룬다.

#### 라. 경제성 분석

개발한 상압 과열증기 건조로는 크게 유도가열전원장치, 건조로, 증기가열기, 기타 주변기기(수통, 컴퍼레서, 냉각기), 보조 가열기로 볼 수 있으며 이를 구성하기 위한 세부 기기별 제작 단가표를 하기와 같이 얻었다.

다음 표는 시작품 제작을 통해 얻은 가격과 보다 경제성 있게 가격 조정이 가능한 부분을 감안하여 산출한 것으로서, 주문제작에 의한 샘플 장비를 제작하기 위한 비용이므로 다량의 건조기 생산이 이뤄질 경우에 가격 절감이 예상된다.

현재의 일반 열풍 건조로에 비해서는 상당한 가격 면에서 고가인 단점이 있으며 이를 해결하기 위해서는 소량 주문 생산에 의한 방식보다는 정책적인 지원 등을 통해 다량의 생산 체제가 갖춰져야 경제성을 갖추리라 사료되며 상용화를 위해 해결해야 할 부분으로 판단된다.

전체 건조로의 동작 온도가 200도 이상으로 높아질 경우, 내부에 사용되는 건조로 소재, 습도계, 팬 등의 온도 정격이 높아져야 하며 이 경우 상당한 부품 소재가의 상승이 이뤄졌다. 그러므로 경제성을 고려하여 동작온도를 설정하고 이에 따른 설계가 이뤄져야 할 것으로 판단되었다.

제작사양 항목	사양	제작가격	비고
건조로 및 외장 프레임	650W× 650L×900H	5,000,000	내열 강화 도어, 유리창, Heater 내장
전기 제어반	온도제어기, 주변설비 제어장치	2,000,000	
에어 컴프레서	0.3HP	400,000	
물탱크 및 압력탱크류	STS304, 3-5Liter	500,000	
공랭식 냉각기	HD-2A 5800Kcal/hour	2,500,000	공냉
기타 배관 및 보온 설비	250℃ 내열 구조	1,500,000	
유도가열 인버터	용량 : 10kW	3,300,000	가열기 코일 및 변압기류 등 포함 2대 병렬 구조
열교환 증기가열기	700℃ 가열	3,000,000	판형 구조
온, 습도계	0 - 300℃	1,500,000	습도계 동작범위 : 0 - 200℃
비철 Tray	300℃ 내열성	300,000	Polymer 재질
합계		20,000,000	

마. 에너지 절약 효과

동일한 건조용량을 갖는 기존 열풍 건조로와 개발한 과열증기 건조기를 비교할 때, 건조특성은 고온으로 갈수록 빨라지며 이에 반해 품질은 저하되므로 절직한 건조 시퀀스를 찾는 것이 중요하다. 식품의 품질저하를 최대한 줄이면서 건조성능을 향상시키기 위해서 본 과제에서는 과열증기를 이용한 건조 동작과 저온 열풍건조가 복합적으로 식품에 따라 이뤄지게 하였다.

동일한 식품과 건조효과를 얻기 위해 사용되는 에너지 비교를 하기 위해 고추를 샘플로 하여 사용 에너지량을 비교 분석하였다.

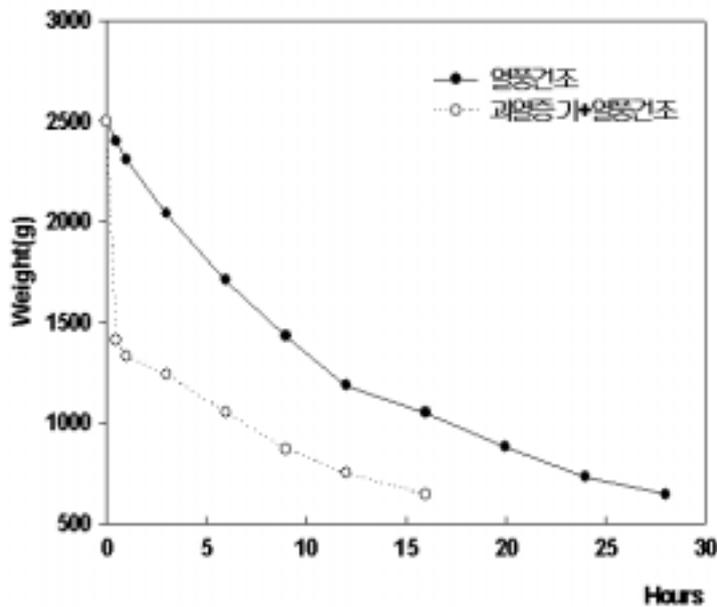


그림 3-47. 열풍건조와 과열증기 건조시간 비교

먼저, 동일한 중량 약 2.5kg의 고추에 대해 일반 50℃ 열풍 건조와 180℃의 과열증기와 50℃ 열풍 복합 건조 시험을 수행하였다. 일반 열풍 건조에서는 고추를 함수율 약 10%이하까지 줄이는 데에 40℃ 열풍으로는 약 100시간 그리고 50℃의 열풍으로는 약 40-45시간이 소요되었다. 이에 반해 180℃의 과열증기와 50℃ 열풍 복합 건조 시험에서는 전체 건조시간이 약 24시간 소요되었으며 과열증기 처리시간은 약 5-6 분가량 소

요되었고 약 100도씨에서 20분가량 처리하였다. 나머지 약 23시간은 저온 열풍 건조 처리하였다.

즉, 고온증기에 의한 수분 감소율은 매우 짧은 시간 내에 약 50%에 이르렀다. 이에 따라 건조로의 동작시간과 사용에너지를 이용하여 전체 사용에너지를 추정할 수 있다. 건조로는 내부 온도제어에 의해 운전과 정지를 반복하며 일반 건조에서는 정격의 약 10-14%를 사용하는 것으로 볼 수 있었다.

따라서 다음과 같이 에너지 사용량을 산출 할 수 있다. 여기서 약 25%의 함수율을 가질 때까지 건조한 실험결과로서 에너지 계산을 수행하였다. 단, 양쪽 건조로에서 동일하게 사용되는 팬과 기타 부속 기기의 에너지와 예비 가열시간은 생략하고 순수하게 건조에 사용되는 에너지 비교를 하였다.

일반 건조기로는 그림 3-47에 나타난 바와 같이 약 28시간이 건조에 소요되었으며 과열증기 건조는 약 16시간이 소요되었다.

$$\therefore \text{일반건조기 에너지 사용량} : 28(\text{운전시간}) \times 1000\text{W} \times 0.12(\text{동작시간}) = 3360\text{Wh}$$

$\therefore$  복합 건조기 에너지 사용량 :

$$5/60(\text{과열증기 가열시간}) \times (2000\text{W}(\text{가열기 손실분 포함})) + 20/60(\text{고온 증기 가열시간}) \times 1000\text{W} + 15.5 \times 1000\text{W} \times 0.12(\text{동작시간}) = 2360\text{Wh}$$

위의 예는 일부 품목에 대한 예이고 소형 건조기에 대한 실험 결과이지만 복합건조를 통해 약 30%정도의 에너지 절감을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

특히, 여기에서는 일반 열풍에서는 반드시 습증기를 배기해야 하지만 과열증기에서는 습증기를 배기할 필요가 없으므로 내부 순환에 의한 열에너지 보존 효과가 훨씬 크며 이 부분을 고려할 경우, 과열증기에 의한 효과가 보다 클 것으로 예상된다.

당근의 경우는 2.5kg을 일반건조기에 의해 건조하였을 때 25%의 함수율까지 건조하는데 약 12시간이 걸렸으며 과열증기와 열풍 복합건조의 경우 약 6시간이 소요되었다.

이때, 과열증기 건조처리 시간은 약 15분이 소요되었다. 그러므로 에너지 사용량을 계산하면 다음과 같다.

$$\therefore \text{일반건조기 에너지 사용량} : 12(\text{운전시간}) \times 1000\text{W} \times 0.12(\text{동작시간}) = 1440\text{Wh}$$

∴ 복합 건조기 에너지 사용량 :

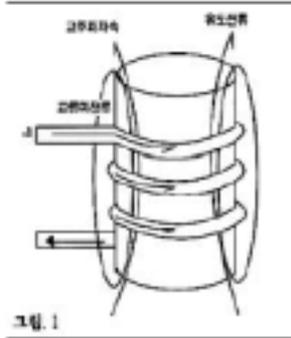
$$15/60(\text{과열증기 가열시간}) \times (2000\text{W}(\text{가열기 손실분 포함})) + 5.5 \times 1000\text{W} \times 0.12(\text{동작 시간}) = 1160\text{Wh}$$

약 20%의 에너지절감 효과가 얻어졌다.

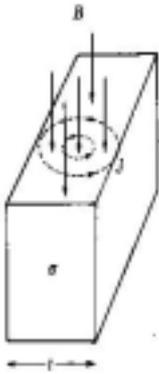
기타 다른 시료들에서도 거의 유사한 결과를 얻었으며 약 2배의 건조시간 차이를 나타내었고 함수율이 50%로 감소하는 시간은 시료에 따라 약 5배에서 20배까지 차이가 나타났다.

보다 낮은 함수율로 건조할수록 과열증기에 의한 효과가 커지는 것을 알 수 있으며, 가열기의 열전달 손실이 상당한 부분을 차지하고 있으므로 이에 대한 개선이 보다 이뤄지면 에너지 효율은 보다 높아질 것으로 예상된다.

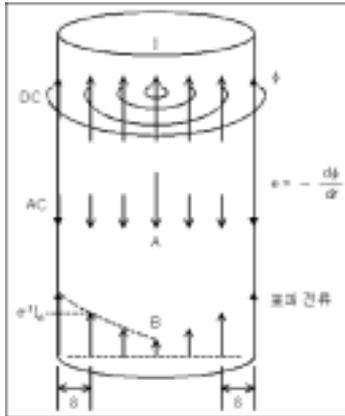
## 제 2 절 열교환기 해석



금속 등의 도전체는 와전류 손실과 HYSTERESIS 손실(자성체의 경우)에 의하여 열이 발생하며, 이 열을 이용하여 피가열 물질을 가열하는 것을 유도 가열이라 한다. 특히 고주파 전류를 이용한 것을 고주파 유도 가열이라 한다.

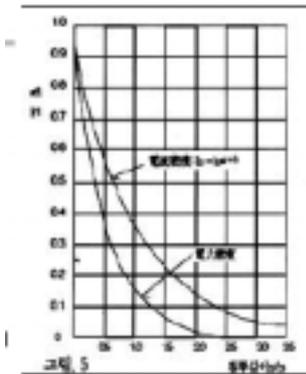


와전류는 자계가 변화하기 때문에 유도되는 전류이다. 다시 말하면 일반적으로 도체를 관통하는 자속이 변화 하던가 또는 자속과 도체가 상대적으로 운동하여 도체내의 자속이 시간적으로 변화를 일으키면 이 변화를 막기 위하여 도체 내에 국부적으로 형성되는 임의의 폐회로를 따라 전류가 유기되는데 이 전류를 와전류(eddy current)라 한다. 전류는 주울손을 동하기 때문에 전자 에너지가 상실하게 된다. 이것을 와전류손이라 한다. 유도기전력은 주파수  $f$ 와 최대자속밀도  $B_m$ 에 비례하므로 와전류밀도는  $J \propto f, B_m \sigma$ 가 되고, 따라서 단위 체적당 와전류손은  $P_l = \frac{J^2}{\sigma} = \sigma_e \sigma (t f B_m)^2 [W/m^3]$ 로 표시된다. 여기서  $t$ 는 도체의 두께,  $\sigma_e$ 는 비례상수이며, 물질이나 자속과형에 따라 정해지는 상수이다.



그림에서 DC 부분처럼 원주형 도선에 직류전류가 균일하게 흐를 때 이 전류분포에 의한 자속선은 도선축을 중심으로 동심원을 그리게 되며, 이 경우 중심부의 전류는 외측 전류에 비하여 보다 많은 자속선과 쇄교한다. 이때 만일 전류가 시간적으로 변한다면 그림의 A부분처럼 이에 따른 자속선도 변할 것이므로 전자유도작용에 의한 유도 기전력이 유입전류와는 반대 방향으로 발생하게 된다. 그런데 이 역기전력은 표면보다는 중심부가 큰 것이므로 전류는 표면으로 밀려나게 된다. 이러한 현상을 표피효과 (skin effect)라 하며 이 효과는 고주파일수록 그리고 도체의 유전율 및 투자율이 클수록 심하여진다.

유도전류( $i_2$ )는 피가열체의 횡단면의 각부에 균일하게 흐르는게 아니라 다음식과 같이 표면에 집중하고 내부로 들어감에 따라 지수 함수적으로 감소한다.



$x$  : 표면으로부터 깊이가  $x$ 인 점의 전류값

$i_0$  : 원통형 금속체의 표면 전류값

$\lambda$  : 자연 대수값  $\approx 20718282$

$x$  : 피가열 표면으로부터의 거리

$p$  : 전류 침투 깊이(주파수, 재질에 따라 결정) 전류 침투 깊이(Effect Depth of Current)

$p : 5.033 \sqrt{(usf/p)}[Cm]$

$f$  : 고주파 전류의 주파수

$p$  고유저항( $M\Omega.cm$ )

## 1. 볼 적층 챔버 해석(1차년도)

### 가. 시뮬레이션 모델

이러한 원리를 근거로 그림 3-48의 모델을 대상으로 하여 매질의 초고속 가열을 위한 고주파 유도가열 장치의 유도가열 메커니즘 해석을 위한 시뮬레이션을 행했다. 그림 3-48의 단면의 형상을 그림 3-49에 나타내었다.

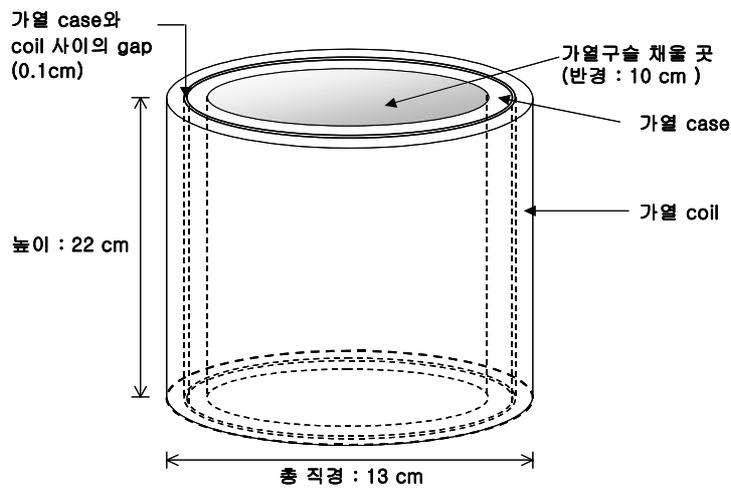


그림 3-48. 시뮬레이션 모델의 형상

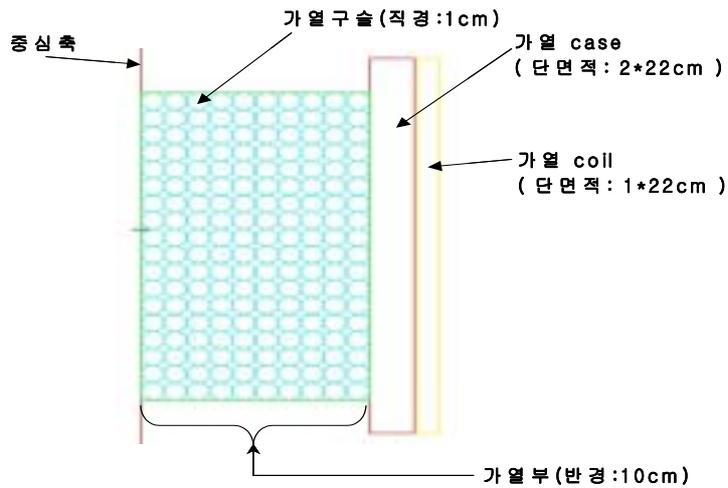


그림 3-49. 시뮬레이션 모델의 단면도

이 모델은 내부 가열구슬(직경 1Cm)과 이를 감싸고 있는 열원 Case(두께:2Cm, 코일 단부 1Cm)로 구성되어 있으며 그림 3-49는 이 모델의 종단부를 나타낸다. 그림 3-49의 형상을 실제 시뮬레이션에서 사용된 모델이며 중심축을 기준으로 회전한 완전한 모형이 그림 3-48이 된다. 가열 구슬의 사이에는 물이 차 있으며 가열 구슬과 case가 가열되면 구슬 사이의 물은 고온 가열된다.

표 2. 각부분 재질 및 정격 전원 특성

각부 명칭	재질	유전율	열전도율 ( <i>Watt/meterKelvin</i> )
가열구슬	iron	4000	79
가열 case	aluminum	1	237.5
가열코일	구리	0.999	400
정격전류	1000[A]	-	-
정격전류 주파수	15[kHZ]	-	-
	~		
	30[kHZ]		

위의 표 2에는 모델에서 사용된 각 재질별 특성을 나타내고 있다. 우선 가열(유도)코일에 의해서 와전류가 발생되고 각 부분에는 소비되는 전력이 분포하게 되는데 우선 전력분포를 알아내기 위한 1차 시뮬레이션 이후, 그 결과 data를 가지고 발생하는 열에 대한 2차 시뮬레이션을 통해 장치 내에 발생하는 열에 대한 정보를 알 수 있다. 분포하는 전력에 의해 Case에는 열로서 손실이 (대부분 와전류로 인함) 발생하고 이로 인해 내부의 철구슬을 통해 열이 전도된다. 이 과정을 그림 3-52에 보였다.

#### 나. 시뮬레이션 결과

\* 1000[A], 15[kHz], case=2mm일 때

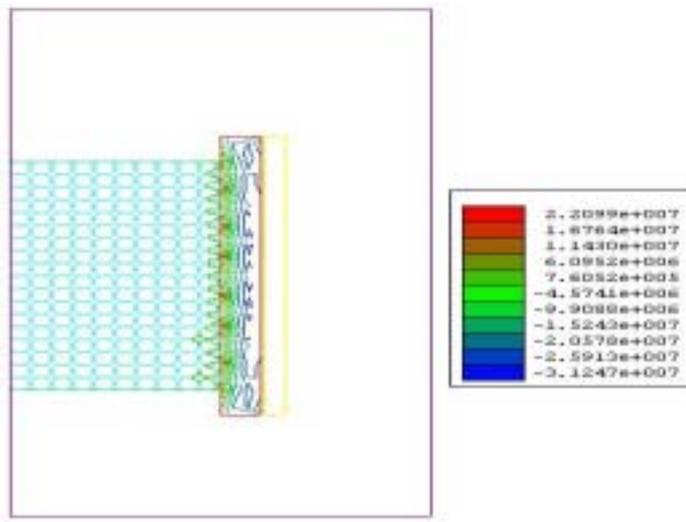


그림 3-50. 와전류분포(1000A, 15kHz, case=2mm)

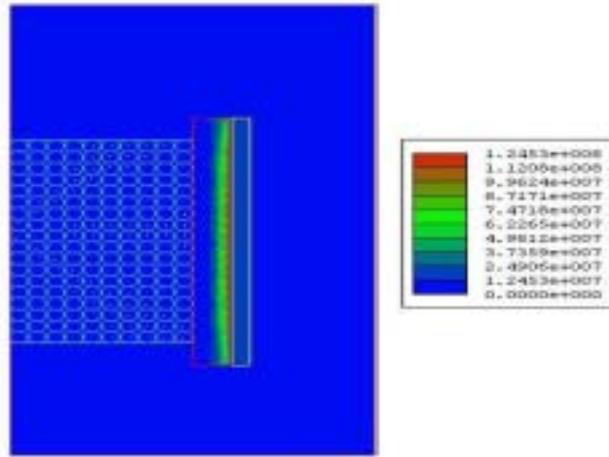


그림 3-51. 전력분포(1000A, 15kHz, case=2mm)

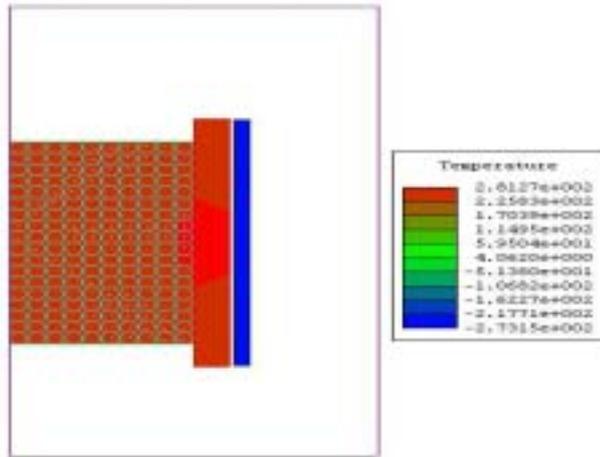


그림 3-52. 온도분포(1000A, 15kHz, case=2mm)

그림 3-50에 나타난 것처럼 와류손의 분포를 확인할 수 있다. 이러한 와류손의 분포는 전력의 분포와 상당히 밀접한 관계를 가지며 열의 분포와 그 전달 정도는 그림 3-51과 그림 3-52에 나타내었다. 섭씨 281°정도의 열이 발생하며 전체적으로 고르게 분포한다.

\* 1000[A], 20[kHz], case=2mm 일 때

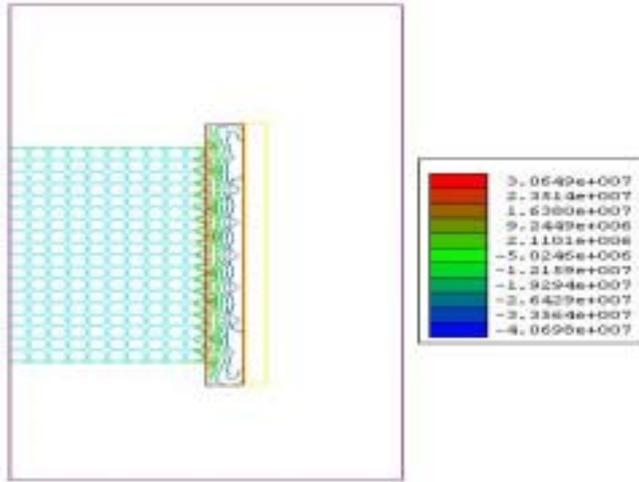


그림 3-53. 와전류분포(1000A, 20kHz, case=2mm)

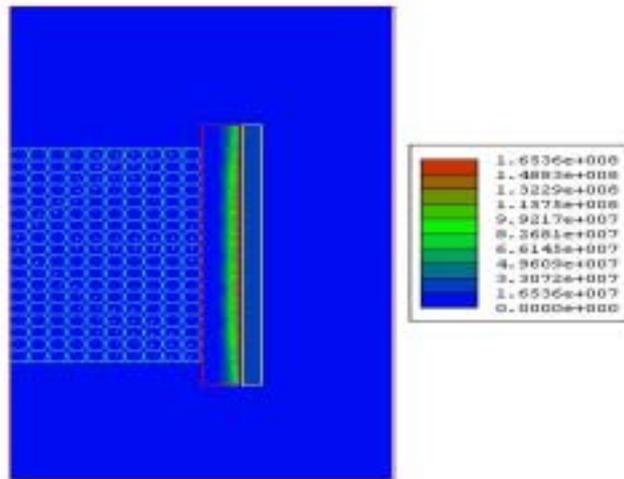


그림 3-54. 전력분포(1000A, 20kHz, case=2mm)

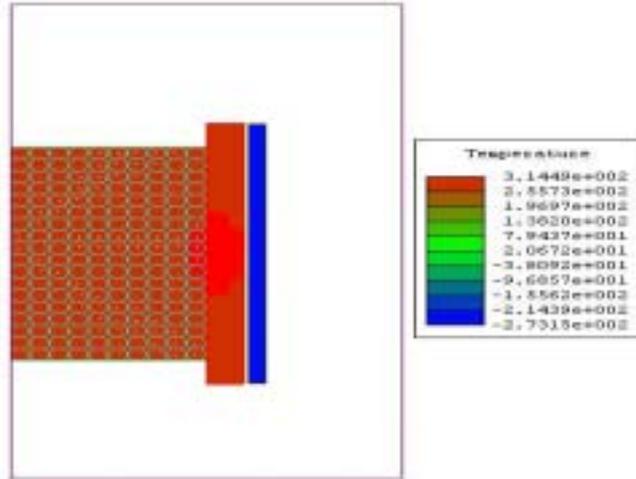


그림 3-55. 온도분포(1000A, 20kHz, case=2mm)

그림 3-53에 나타난 것처럼 와류손의 분포를 확인할 수 있다. 이러한 와류손의 분포는 전력의 분포와 상당히 밀접한 관계를 가지며 열의 분포와 그 전달 정도는 그림 3-54와 그림 3-55에 나타내었다. 섭씨 314°정도의 열이 발생하며 전체적으로 고르게 분포한다.

\* 1000[A], 25[kHz], case=2mm일 때

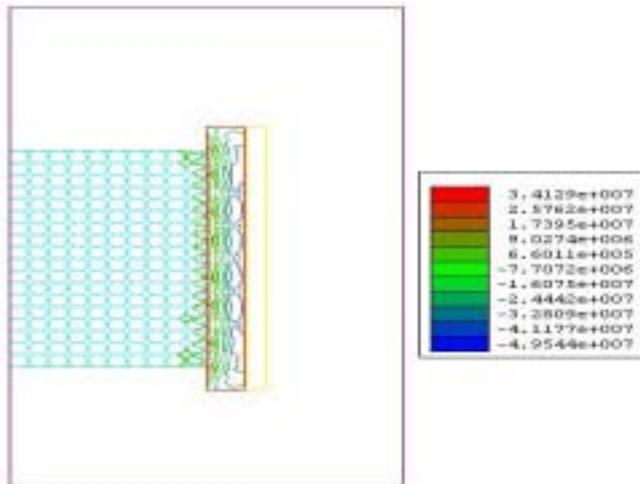


그림 3-56. 와전류분포(1000A, 25kHz, case=2mm)

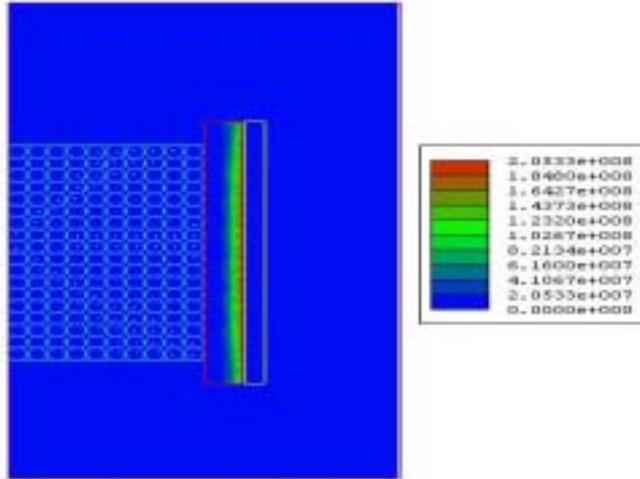


그림 3-57. 전력분포(1000A, 25kHz, case=2mm)

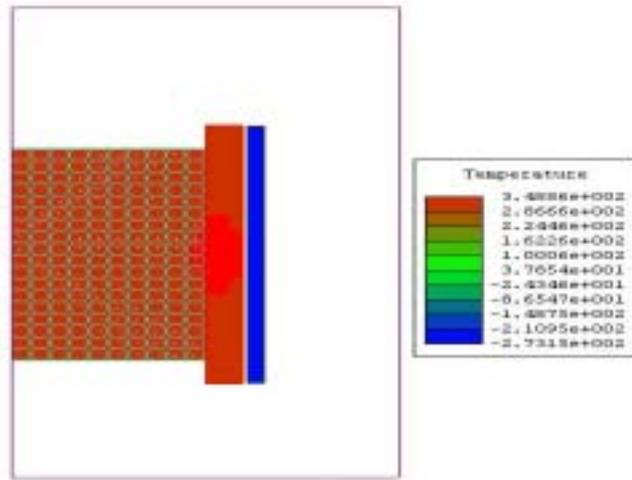


그림 3-58. 온도분포(1000A, 25kHz, case=2mm)

그림 3-56에서 와전류 분포를 나타내었다. 표피효과에 의해서 case 끝으로 와전류가 몰리는 것을 볼 수 있다. 그림 3-57은 전력분포를 나타낸 것으로서 전원주파수의 증가에 따라 전력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3-58에서 온도는 섭씨 345°를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

\* 1000[A], 30[kHz], case=2mm 일 때

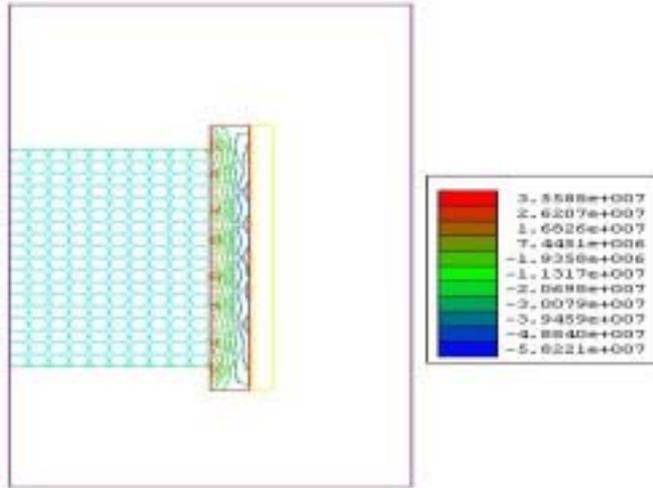


그림 3-59. 와전류분포(1000A, 30kHz, case=2mm)

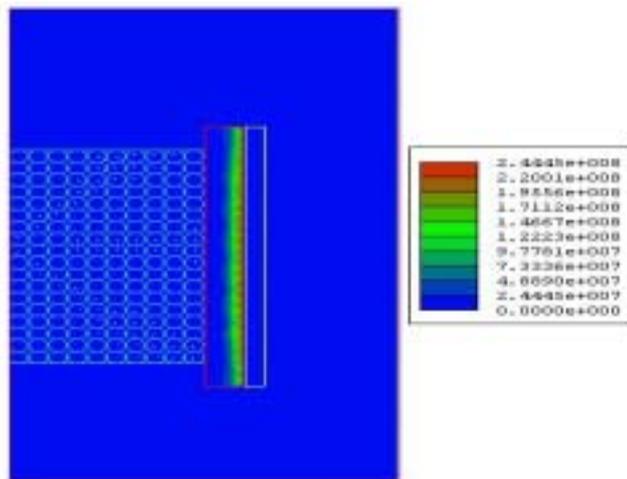


그림 3-60. 전력분포(1000A, 30kHz, case=2mm)

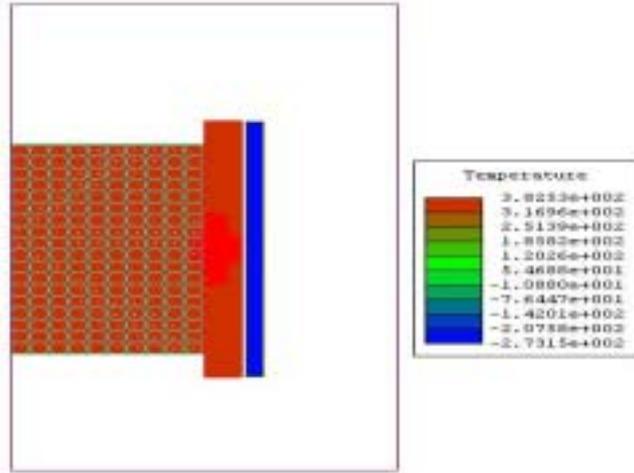


그림 3-61. 온도분포(1000A, 30kHz, case=2mm)

전원주파수의 증가에 따라 그림 3-59, 3-60, 3-61에 나타낸 와전류와 전력, 그리고 온도분포가 증가하였다. 그림 3-59에서 와전류의 표피효과가 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 이 표피효과에 의해서 생기는 전력을 그림 3-60에서 확인할 수 있다.

\* 1000[A], 35[kHz], case=2mm 일 때

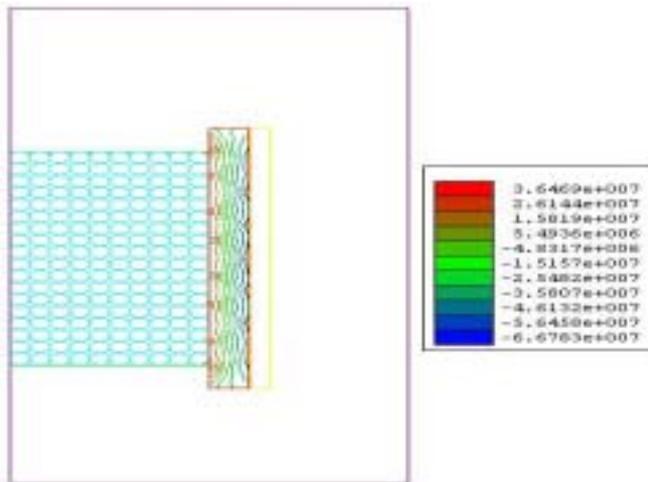


그림 3-62. 와전류분포(1000A, 35kHz, case=2mm)

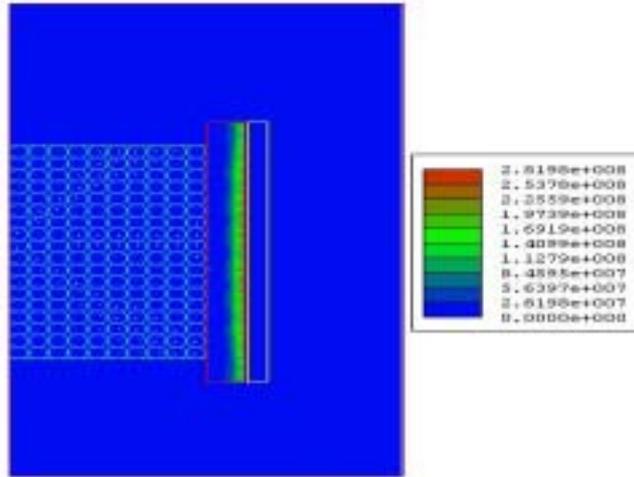


그림 3-63. 전력분포(1000A, 35kHz, case=2mm)

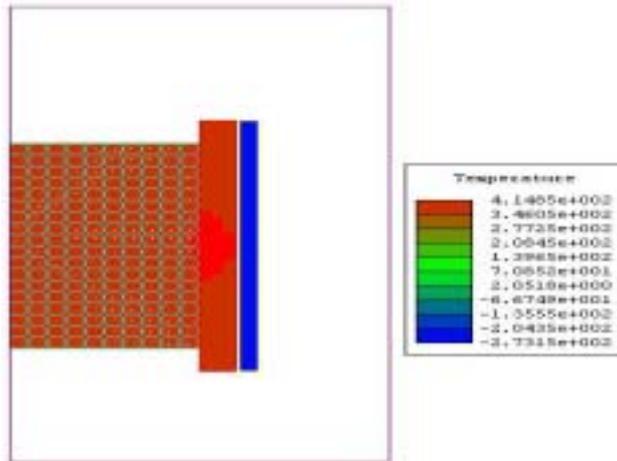


그림 3-64. 온도분포(1000A, 35kHz, case=2mm)

그림 3-62의 와전류분포를 보면 표피효과가 확연하게 나타나며 그림 3-63에서처럼 전력의 양도 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 온도분포를 보면 전력의 소모량이 증가한 것을 확인 할 수 있다.

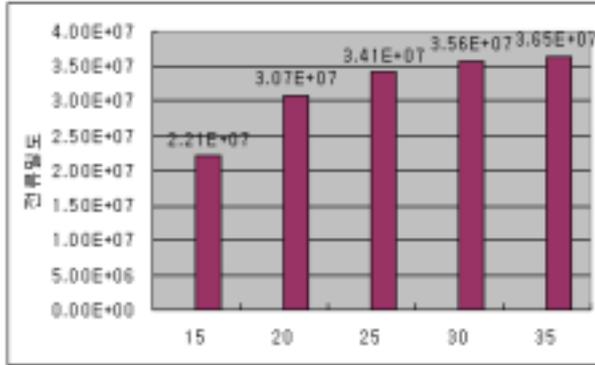


그림 3-65. 전원주파수에 따른 외전류분포 특성

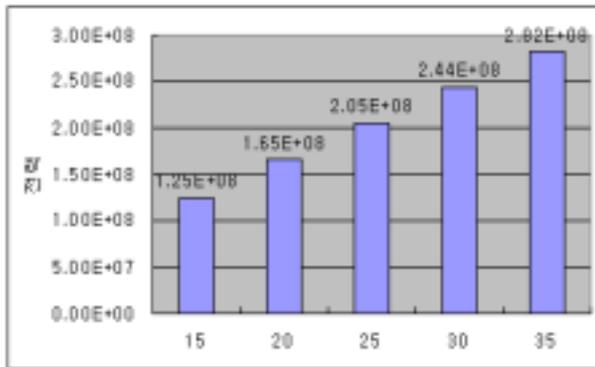


그림 3-66. 전원주파수에 따른 전력분포 특성

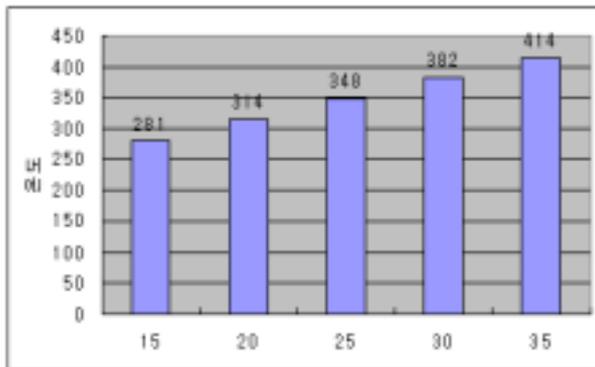


그림 3-67. 전원주파수에 따른 온도분포 특성

그림 3-65는 이상에서 전원주파수에 따른 와전류 분포 특성을 나타낸 그래프이다. 전원주파수가 15[kHz]~35[kHz]까지 변함에 따라 전류밀도 분포는 주파수에 따라 증가하며 와전류 분포는 주파수 제곱에 비례하므로 주파수가 증가할수록 표피효과에 의해 case 표면에 와전류가 분포하는 것을 알 수 있다. 그림 3-66은 전류에 따라 소모되는 전력의 양이 증가하는 걸 보여준다.

그림 3-67은 주파수에 따른 온도특성을 나타낸 그래프이다. 주파수에 따른 온도 분포는 주파수 증가에 따라 와전류 분포가 변하여 case는 열손실로 인해 그림 3-67에서 처럼 주파수 증가에 따라 온도가 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

## 2. 접시형 챔버 해석(2차년도)

### 가. 시뮬레이션 모델

그림 3-68의 모델을 대상으로 하여 매질의 초고속 가열을 위한 고주파 유도가열 장치의 유도가열 메카니즘 해석을 위한 시뮬레이션을 행했다. 그림 3-68의 단면의 형상을 그림 3-69에 나타내었다.

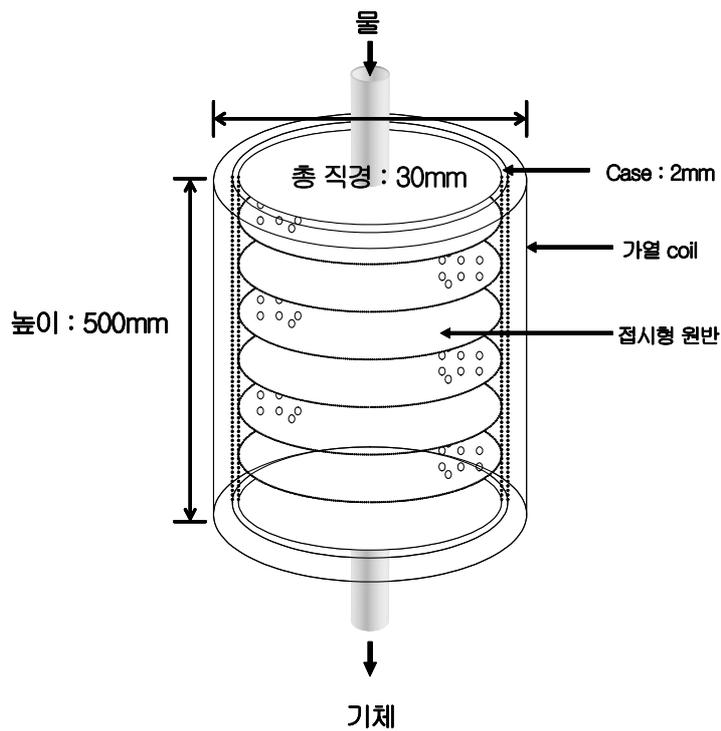


그림 3-68. 시뮬레이션 모델의 형상

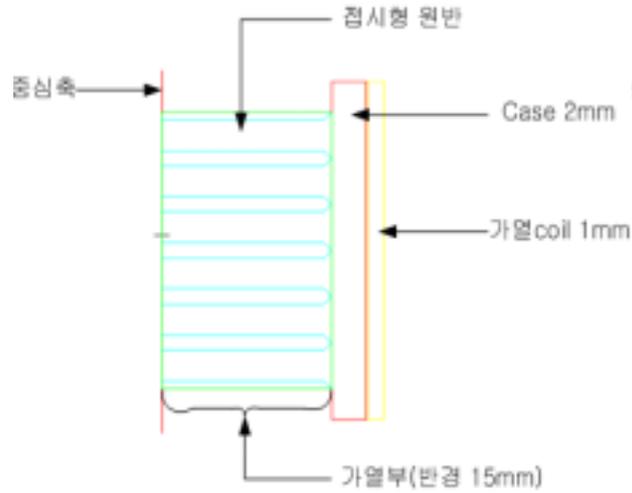


그림 3-69. 시뮬레이션 모델의 단면도

이 모델은 내부에 접시형 원반(2mm)을 차곡차곡 쌓아서 놓은 것과 같고 이를 감싸고 있는 Case(두께:2mm, 코일단부 1mm)로 구성되어 있으며 그림 3-69는 이 모델의 종단부를 나타낸다. 그림 3-69의 형상을 실제 시뮬레이션에서 사용된 모델이며 중심축을 기준으로 회전한 완전한 모형이 그림 3-68이 된다. 접시형 원반을 한쪽에는 물이 들어오고 원반의 구멍은 하나씩 쌓일 때 마다 180도 반대로 놓여서 기류가 아래위로 교번하여 지그재그로 통과하고, 유도가열된 챔버에 의해 물이 기화 되어 증기로 바뀌고 증기는 계속 가열되어서 고온의 기체로 출구를 통하여 유출된다.

표 3. 각부분 재질 및 정격 전원 특성

각부 명칭	재질	유전율	열전도율 ( <i>Watt/meterKelvin</i> )
접시형 원반	stainless	1	13.8
case	aluminum	1	237.5
가열코일	copper	0.999	400
정격전류	800[A]	-	-
정격전류 주파수	15[kHz]	-	-
	~ 35[kHz]		

위의 표 3에는 모델에서 사용된 각 재질별 특성을 나타내고 있다. 우선 가열(유도)코일에 의해서 case에 와전류가 발생하는 분포를 시뮬레이션 하였고, 장치 내에 발생하는 열에 대한 정보를 알기 위해 1차 전력분포를 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과data를 가지고 발생하는 열에 대한 2차 시뮬레이션을 통해 장치 내에 발생하는 열에 대한 정보를 확인 하였다. 분포하는 전력에 의해 case와 접시형 원반에는 열로서 손실이 (대부분 와전류로 인함) 발생하고 이로 인해 내부의 물은 고온의 기체로 되어진다. 이 과정을 시뮬레이션 결과에 보였다.

나. 시뮬레이션 결과

\* 800[A], 15[kHz], case=2mm일 때

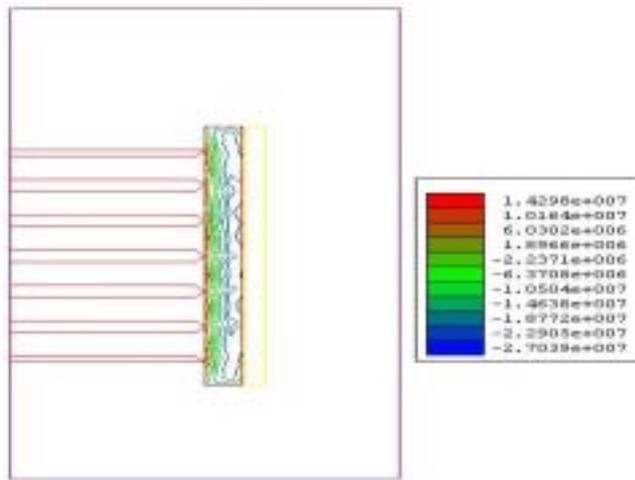


그림 3-70. 와전류분포(800A, 15kHz, case=2mm)

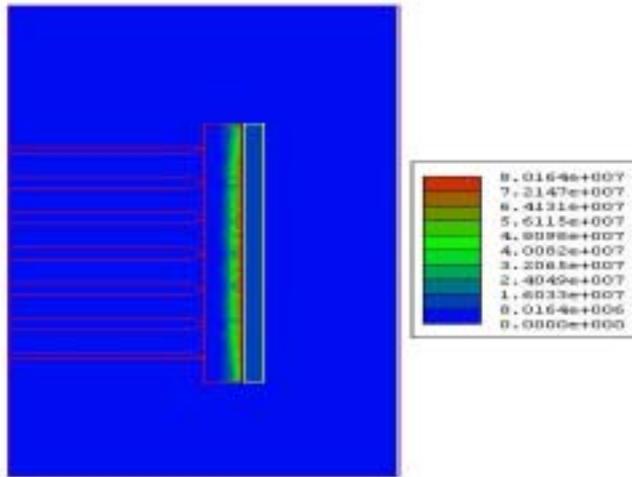


그림 3-71. 전력분포(800A, 15kHz, case=2mm)

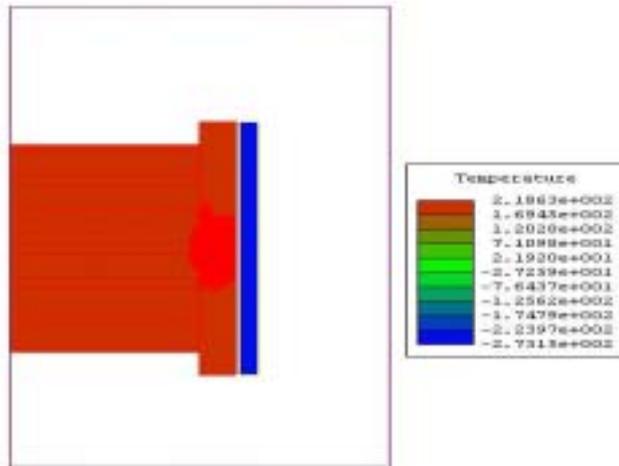


그림 3-72. 온도분포(800A, 15kHz, case=2mm)

1차 년도에 나타난 것보다 전체적인 양이 줄어든 것을 확인할 수 있으며 case쪽으로 전류와 전력이 집중되는 것을 확인할 수 있다.

\* 800[A], 20[kHz], case=2mm 일 때

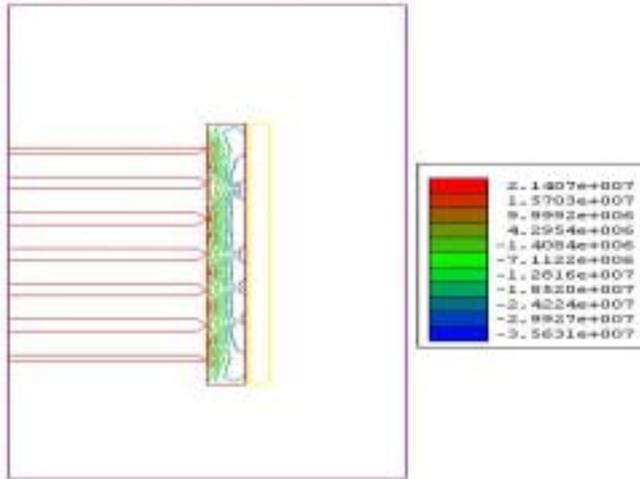


그림 3-73. 와전류분포(800A, 20kHz, case=2mm)

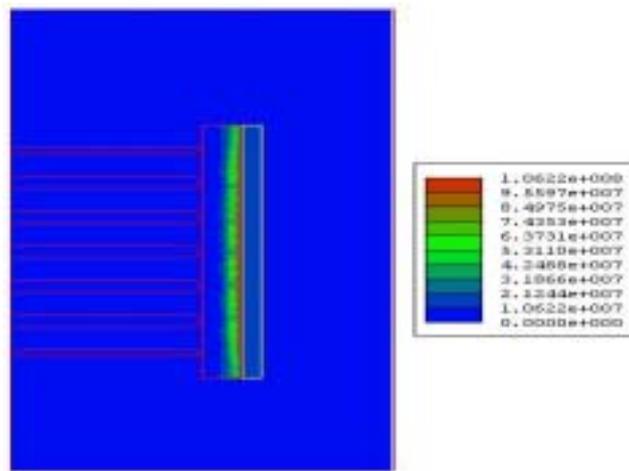


그림 3-74. 전력분포(800A, 20kHz, case=2mm)

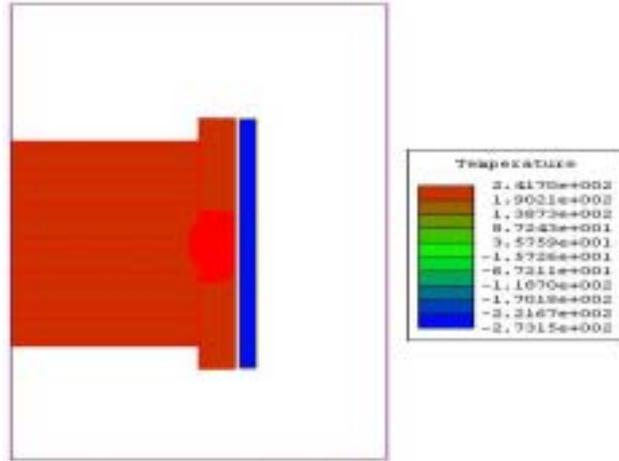


그림 3-75. 온도분포(800A, 20kHz, case=2mm)

전원주파수에 따라 와전류, 전력, 온도분포가 증가하는 것을 확인 할 수 있으며 표피 효과가 조금씩 나타나는 것을 확인 할 수 있으며 온도는 섭씨 241° 정도가 나타나는 것을 볼 수 있다.

\* 800[A], 25[kHz], case=2mm 일 때

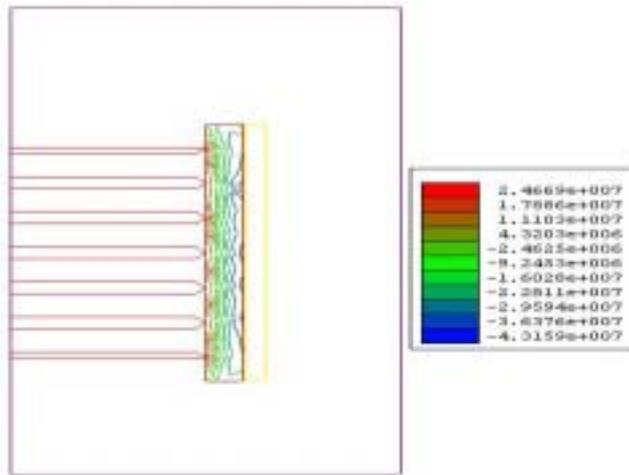


그림 3-76. 와전류분포(800A, 25kHz, case=2mm)

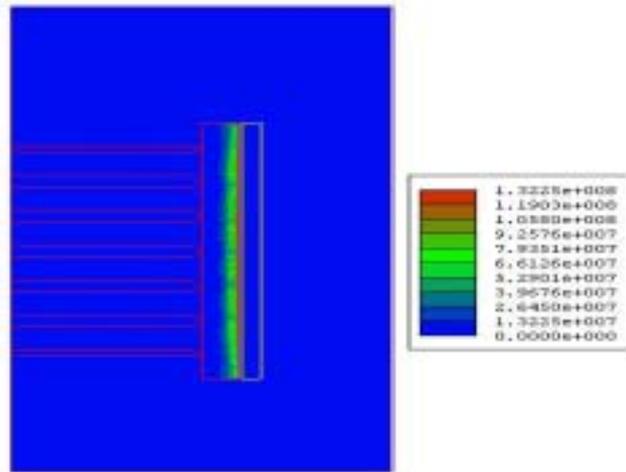


그림 3-77. 전력분포(800A, 25kHz, case=2mm)

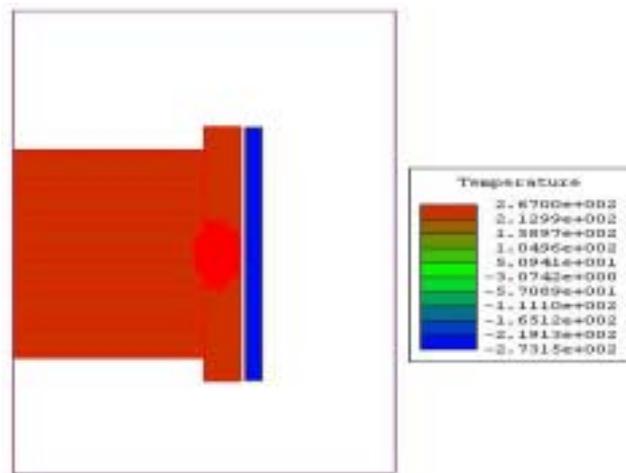


그림 3-78. 온도분포(800A, 25kHz, case=2mm)

그림 3-76의 와전류분포를 확인하면 전류가 case의 외곽으로 전류가 모이는 것을 확인할 수가 있으며 전류의 분포를 통해 전력과 온도분포가 그림 3-77과 그림 3-78처럼 나타나는 것을 확인할 수 있다. 온도분포는 섭씨 267° 정도를 나타내는 것을 볼 수 있다.

\* 800[A], 30[kHz], case=2mm 일 때

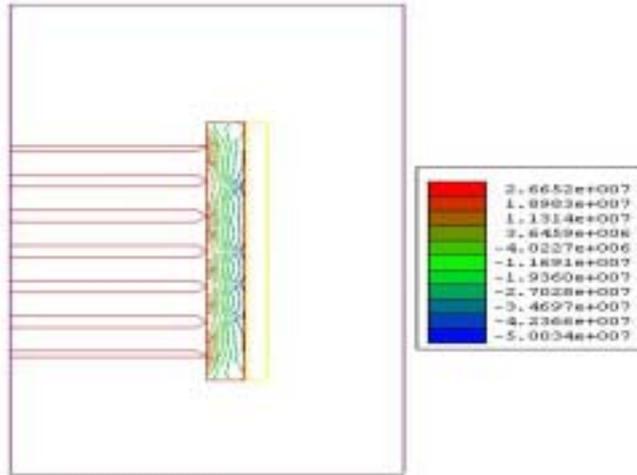


그림 3-79. 와전류분포(800A, 30kHz, case=2mm)

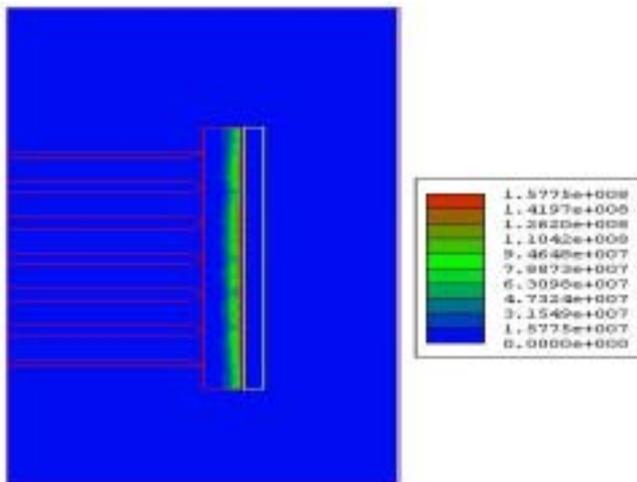


그림 3-80. 전력분포(800A, 30kHz, case=2mm)

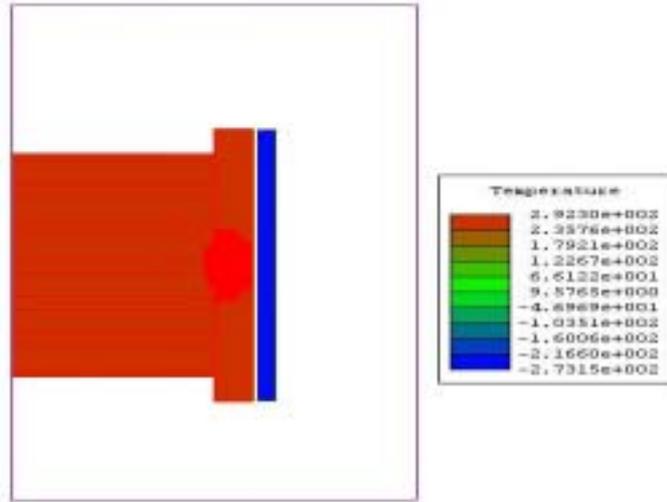


그림 3-81. 온도분포(800A, 30kHz, case=2mm)

와전류의 표피효과를 25kHz일 때보다 더욱 정확하게 나타나는 것을 확인 할 수가 있으며 전력 분포도 case의 외곽에 몰려 있는 것을 확인 할 수가 있고 온도분포는 섭씨 292° 정도를 나타내는 것을 볼 수가 있다.

\* 800[A], 35[kHz], case=2mm일 때

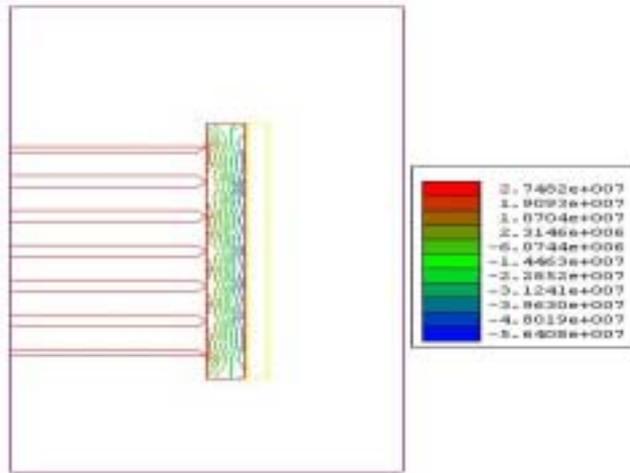


그림 3-82. 와전류분포(800A, 35kHz, case=2mm)

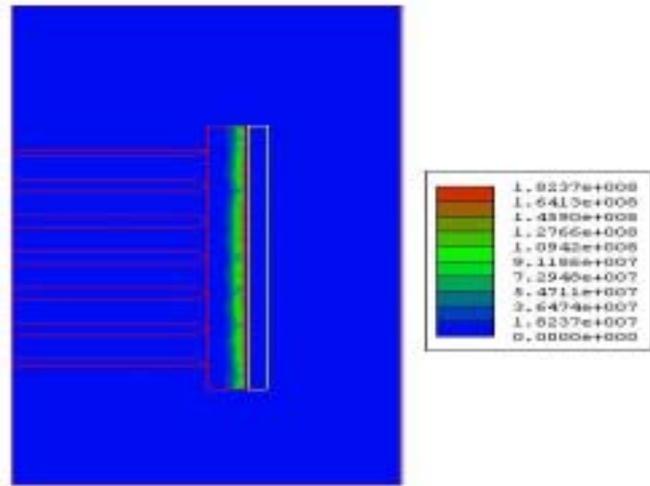


그림 3-83. 전력분포(800A, 35kHz, case=2mm)

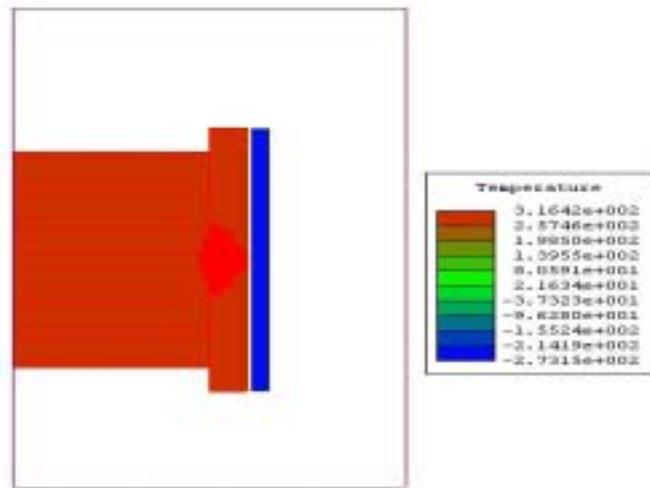


그림 3-84. 온도분포(800A, 35kHz, case=2mm)

그림 3-82의 와전류분포를 보면 case의 표피효과를 뚜렷하게 확인하게 되며 그림 3-83과 그림 3-84를 통해 전력과 온도분포를 확인 할 수가 있다. 온도분포는 섭씨 316° 정도를 나타내는 것을 볼 수 있다.

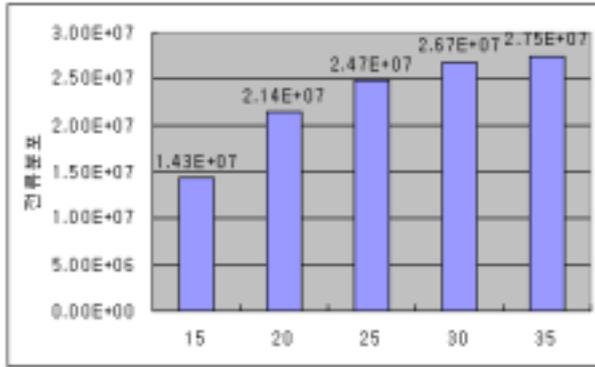


그림 3-85. 전원주파수에 따른 와전류분포 특성

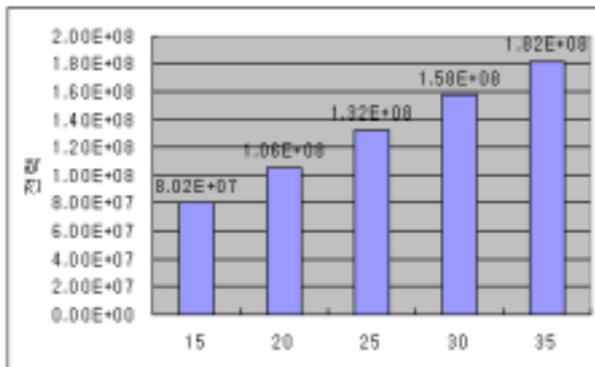


그림 3-86. 전원주파수에 따른 전력분포 특성

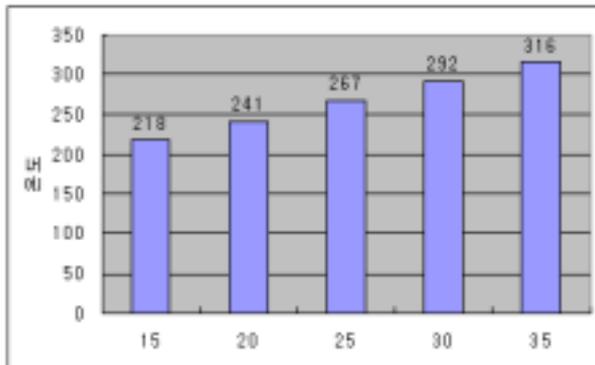


그림 3-87. 전원주파수에 따른 온도분포 특성

그림 3-85는 이상에서 전원주파수에 따른 와전류 분포 특성을 나타낸 그래프이다. 전원주파수가 15[kHz]~35[kHz]까지 변함에 따라 전류밀도 분포는 주파수에 따라 증가하며 와전류 분포는 주파수 제곱에 비례하므로 주파수가 증가할수록 표피효과에 의해 case 표면에 와전류가 분포하는 것을 알 수 있다. 그림 3-86은 전류에 따라 소모되는 전력의 양이 증가하는 걸 보여준다.

그림 3-87은 주파수에 따른 온도특성을 나타낸 그래프이다. 주파수에 따른 온도 분포는 주파수 증가에 따라 와전류 분포가 변하여 case는 열손실로 인해 그림 3-87에서 처럼 주파수 증가에 따라 온도가 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

### 3. 관형 챔버 해석(3차년도)

#### 가. 시뮬레이션 모델

그림 3-88의 모델을 대상으로 하여 매질의 초고속 가열을 위한 고주파 유도가열 장치의 유도가열 메커니즘 해석을 위한 시뮬레이션을 행했다. 그림 3-88의 단면의 형상을 그림 3-89에 나타내었다.

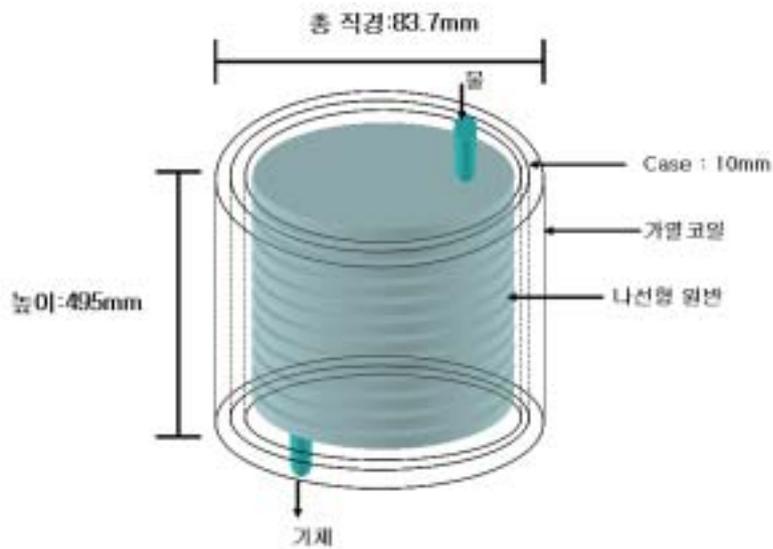


그림 3-88. 시뮬레이션 모델의 형상

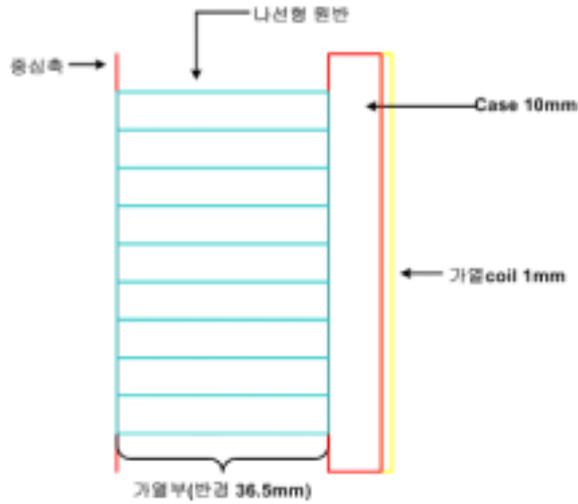


그림 3-89. 시뮬레이션 모델의 단면도

이 모델은 내부에 나선형 원반(6mm)을 차곡차곡 쌓아서 놓은 것과 같고 이를 감싸고 있는 Case(두께:10mm, 코일단부 1mm)로 구성되어 있으며 그림 3-89는 이 모델의 종단부를 나타낸다. 그림 3-89의 형상을 실제 시뮬레이션에서 사용된 모델이며 중심축을 기준으로 회전한 완전한 모형이 그림 3-88이 된다. 나선형 원반을 한쪽에는 물이 들어오고 원반의 구멍은 나선형으로 기류가 나선형태로 통과하고, 유도가열 된 챔버에 의해 물이 기화 되어 증기로 바뀌고 증기는 계속 가열되어서 고온의 기체로 출구를 통하여 유출된다.

표 4. 각부분 재질 및 정격 전원 특성

각부 명칭	재질	유전율	열전도율 ( Watt/meterKelvin )
나선형 원반	stainless	1	13.8
case	aluminum	1	237.5
가열코일	copper	0.999	400
정격전류	800[A]	-	-
정격전류 주파수	15[kHz]	-	-
	~ 35[kHz]		

위의 표 4에는 모델에서 사용된 각 재질별 특성을 나타내고 있다. 우선 가열(유도)코일에 의해서 case에 와전류가 발생하는 분포를 시뮬레이션 하였고, 장치 내에 발생하는 열에 대한 정보를 알기 위해 1차 전력분포를 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과data를 가지고 발생하는 열에 대한 2차 시뮬레이션을 통해 장치 내에 발생하는 열에 대한 정보를 확인 하였다. 분포하는 전력에 의해 case와 나선형 원반에는 열로서 손실이 (대부분 와전류로 인함) 발생하고 이로 인해 내부의 물은 고온의 기체로 되어진다. 이 과정을 시뮬레이션 결과에 보였다.

나. 시뮬레이션결과

\* 800[A], 15[kHz], case=10mm일 때

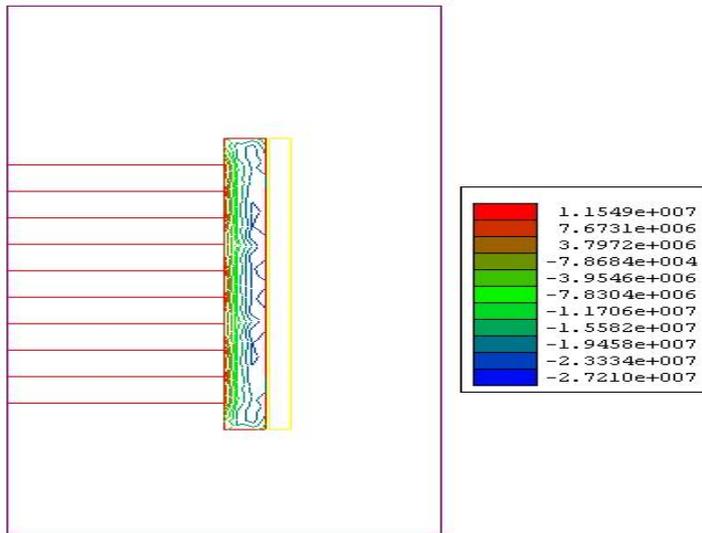


그림 3-90. 와전류분포(800A, 15kHz, case=10mm)

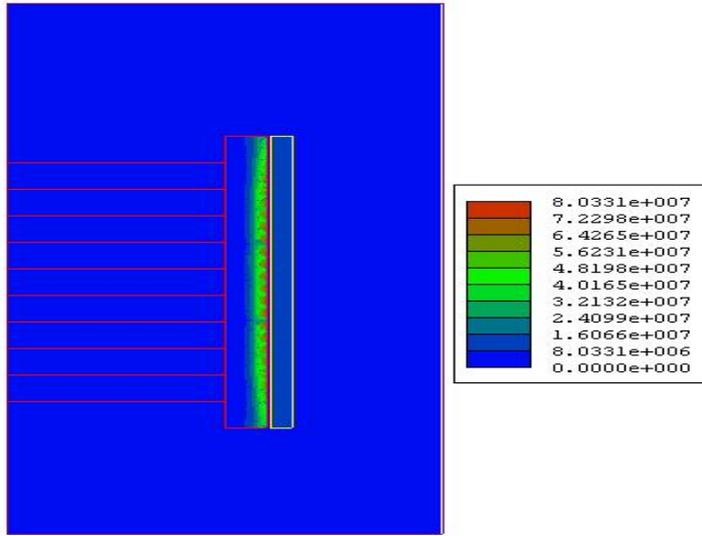


그림 3-91. 전력분포(800A, 15kHz, case=10mm)

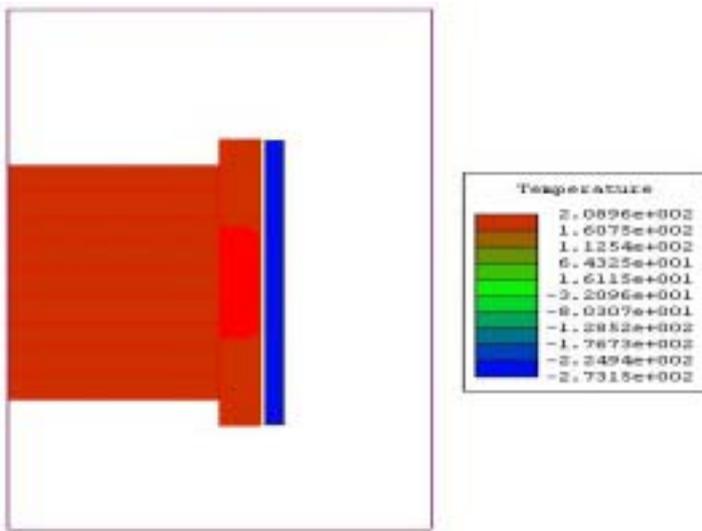


그림 3-92. 온도분포(800A, 15kHz, case=10mm)

그림 3-90의 와전류를 확인하면 전체적으로 끌고루 퍼져있는 것을 확인 할 수가 있으며 그림 3-91과 그림 3-92를 통하여 전력분포와 온도분포를 확인 할 수가 있다. 그림 3-92에서 섭씨 208° 정도의 온도를 나타내는 것을 확인하게 된다.

\* 800[A], 20[kHz], case=10mm 일 때

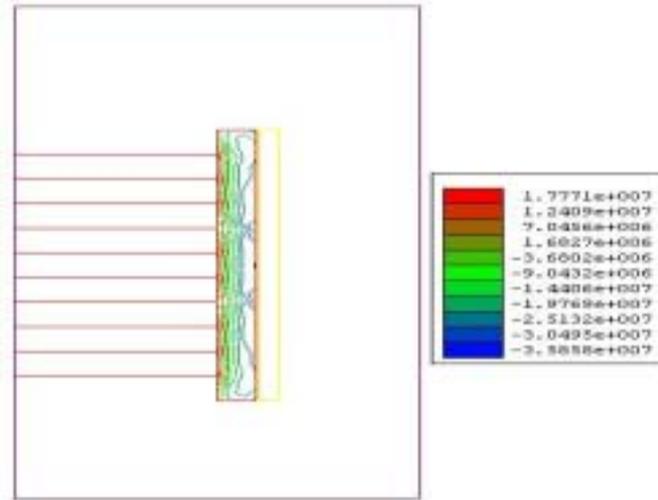


그림 3-93. 와전류분포(800A, 20kHz, case=10mm)

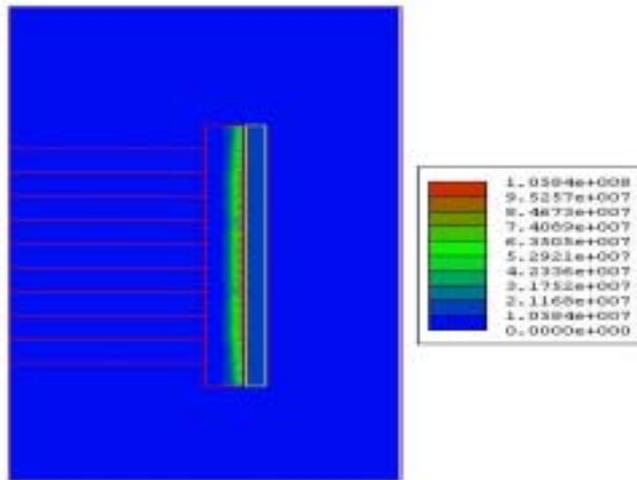


그림 3-94. 전력분포(800A, 20kHz, case=10mm)

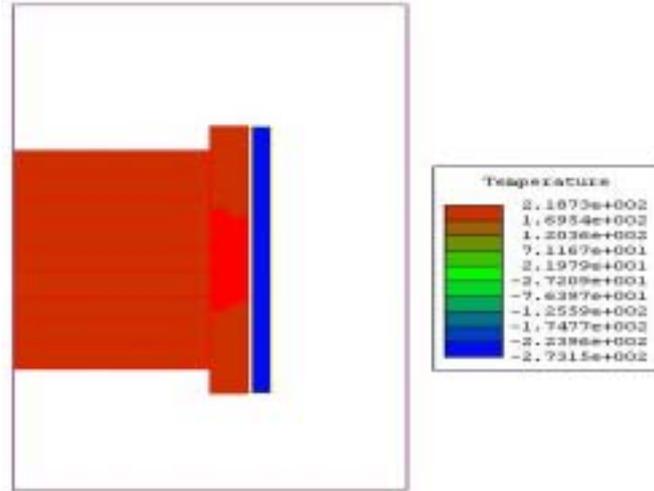


그림 3-95. 온도분포(800A, 20kHz, case=10mm)

그림 3-93의 와전류를 보면 15kHz일 때보다 전류의 양이 증가한 것을 확인할 수 있으며 전류분포가 비슷한 것을 알 수 있다. 그림 3-94와 그림 3-95에서는 전력과 온도분포를 확인 할 수 있으며 그림 3-95에서는 섭씨 218° 정도까지 올라가는 것을 볼 수 있다.

\* 800[A], 25[kHz], case=10mm 일 때

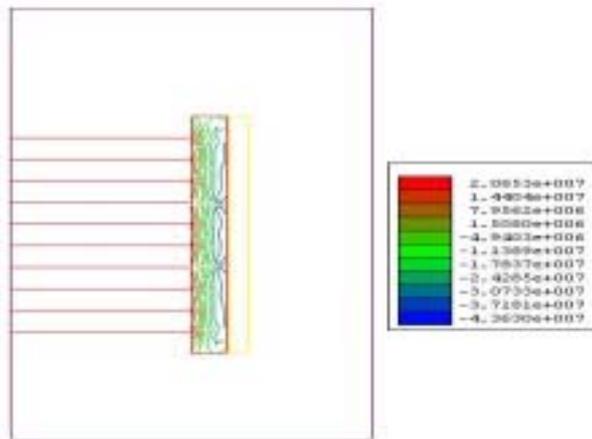


그림 3-96. 와전류분포(800A, 25kHz, case=10mm)

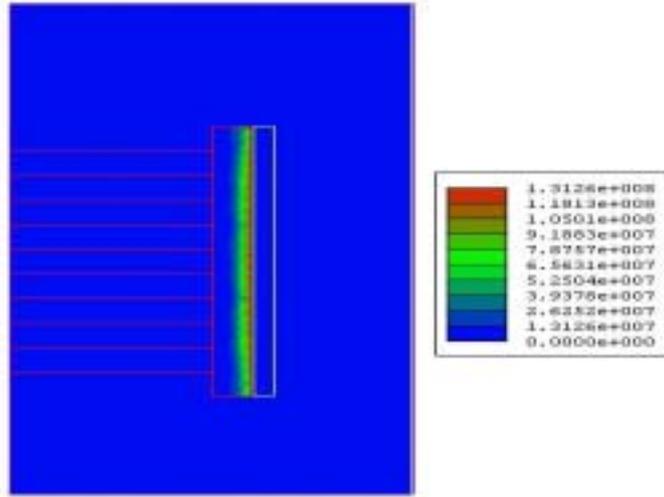


그림 3-97. 전력분포(800A, 25kHz, case=10mm)

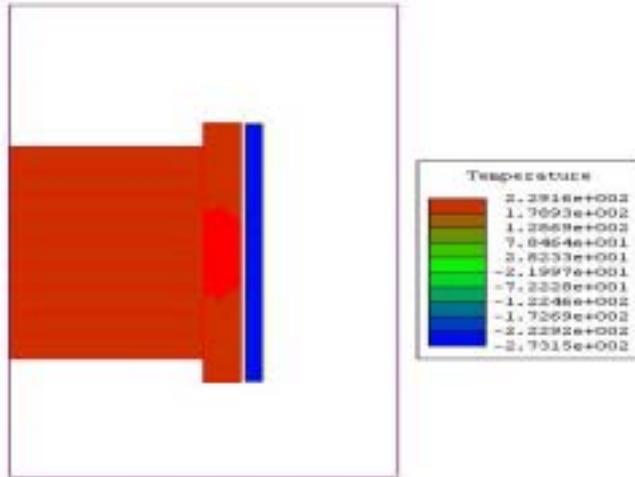


그림 3-98. 온도분포(800A, 25kHz, case=10mm)

그림 3-96의 와전류분포를 보면 표피효과가 나타나고 있다는 것을 확인 할 수 있으며 그림 3-97과 그림 3-98을 통해 전력과 온도분포를 확인하게 된다. 그림 3-98에서 온도분포가 섭씨 229° 정도를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다.

\* 800[A], 30[kHz], case=10mm 일 때

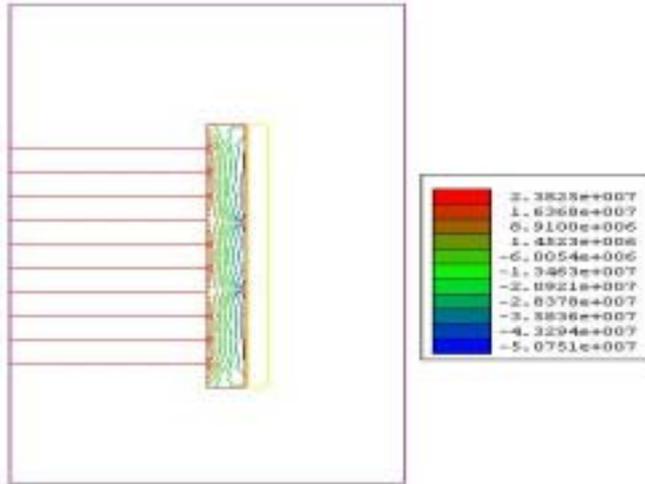


그림 3-99. 와전류분포(800A, 30kHz, case=10mm)

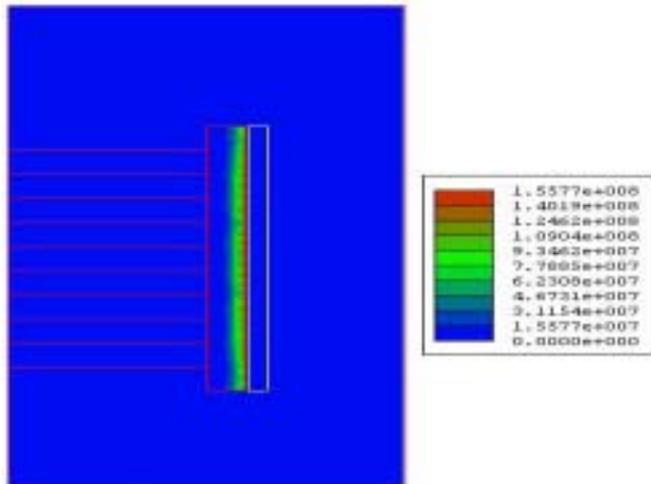


그림 3-100. 전력분포(800A, 30kHz, case=10mm)

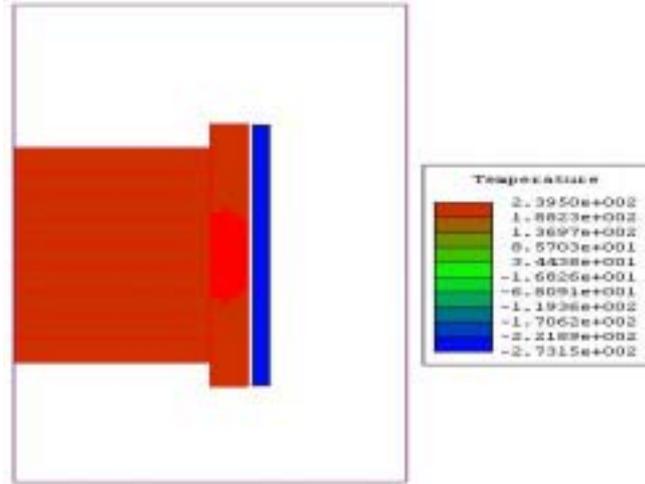


그림 3-101. 온도분포(800A, 30kHz, case=10mm)

와전류의 분포를 통해 표피효과를 확인할 수 있으며 전류의 분포에 따른 전력분포를 볼 수가 있다. 온도분포를 통해 섭씨 239° 정도의 열이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

\* 800[A], 35[kHz], case=10mm일 때

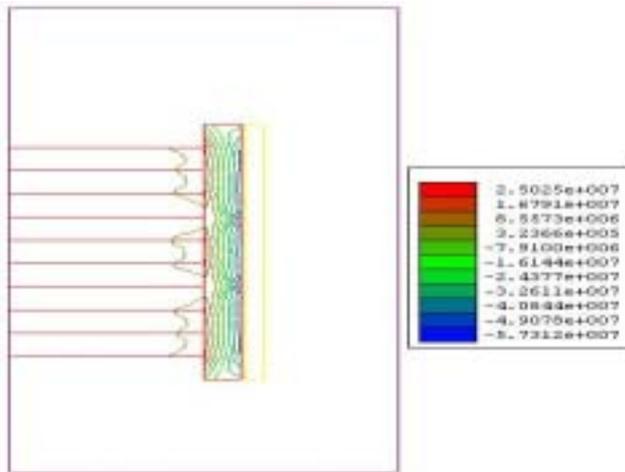


그림 3-102. 와전류분포(800A, 35kHz, case=10mm)

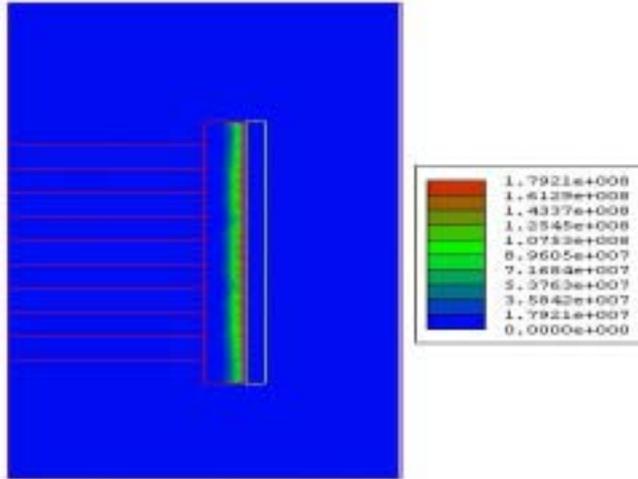


그림 3-103. 전력분포(800A, 35kHz, case=10mm)

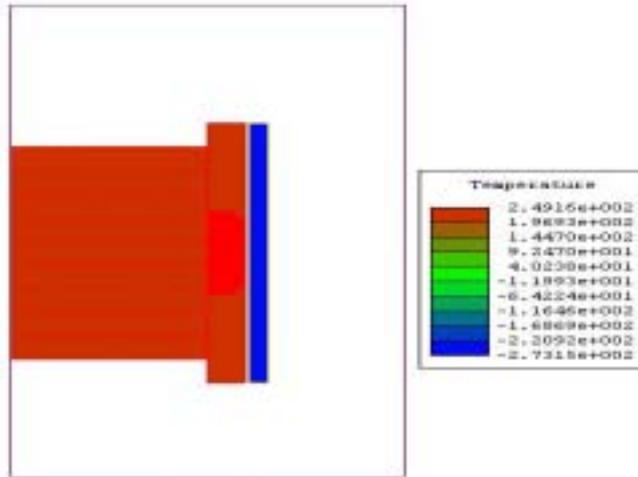


그림 3-104. 온도분포(800A, 35kHz, case=10mm)

그림 3-102의 와전류는 표피효과를 통해서 전류가 case의 외곽으로 몰리는 것을 확인할 수 있으며 전력과 온도분포가 다른 부위에 비해 증가한 것을 확인할 수가 있다. 온도분포를 보면 섭씨 249°정도의 열을 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다.

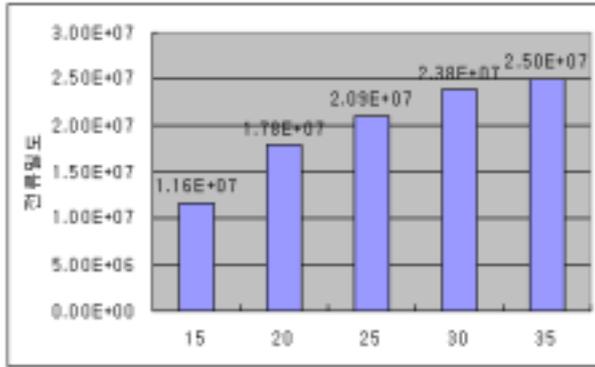


그림 3-105. 전원주파수에 따른 와전류분포 특성

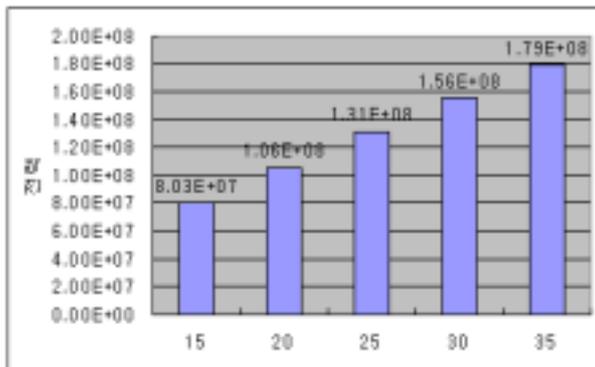


그림 3-106. 전원주파수에 따른 전력분포 특성

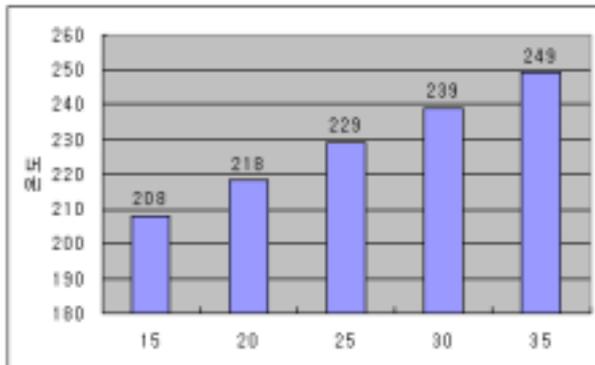


그림 3-107. 전원주파수에 따른 온도분포 특성

그림 3-105는 이상에서 전원주파수에 따른 와전류 분포 특성을 나타낸 그래프이다. 전원주파수가 15[kHz]~35[kHz]까지 변함에 따라 전류밀도 분포는 주파수에 따라 증가하며 와전류 분포는 주파수 제곱에 비례하므로 주파수가 증가할수록 표피효과에 의해 case 표면에 와전류가 분포하는 것을 알 수 있다. 그림 3-106은 전류에 따라 소모되는 전력의 양이 증가하는 걸 보여준다.

그림 3-107은 주파수에 따른 온도특성을 나타낸 그래프이다. 주파수에 따른 온도 분포는 주파수 증가에 따라 와전류 분포가 변하여 case는 열손실로 인해 그림 3-107에서 처럼 주파수 증가에 따라 온도가 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

## 제 3 절 식품 건조 시험

### 1. 과열증기를 이용한 고추 건조 시험

#### 가. 실험 재료

실험에 사용한 고추는 붉은 고추로서 창원 재래시장에서 구입하여 수세 후 사용하였다.

#### 나. 실험 방법

##### 1) 건조방법

고추의 건조는 열풍건조는 50℃에서 실시하였고 과열증기 처리 장치에 의한 건조는 건조 챔버의 습도를 20%로 유지한 채 과열증기 온도를 160℃로 하여 약 5~10분간 건조를 실시한 후 점차 증기 온도를 100℃까지 낮추어 전체적으로 고온에서 약 30분 건조한 후에 곧바로 위의 열풍건조 방법대로 50℃에서 건조를 실시하였다. 여기서, 습도량은 사용한 계측기의 표시값으로 절대 습도를 나타낸 것은 아니며 선형적인 비례값을 나타낸다.

##### 2) 고추의 건조율

고추의 건조율은 고추 일정량을 건조 챔버에 넣고 건조시간에 따라 무게를 측정하여 초기치 고추 무게에서 건조시간에 따라 감소하는 양을 측정하면서 과열증기 처리후 열풍 건조한 시료와 열풍 건조한 시료간의 건조율을 비교하였다.

##### 3) 건조방법에 따른 고춧가루의 품질 특성 조사

###### - 일반성분

본 실험에 사용한 고춧가루의 일반성분은 AOAC 법에 준하여 실시하였다. 조지방은

Soxhlet 추출법, 조단백질은 Buchi 사의 Model 430 Digestor 로 분해하여 Model 325 N<sub>2</sub> distillation unit로 증류시킨 후 전질소량을 구한 다음 질소계수 6.25를 곱하여 구하였고 조섬유는 1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 1.25% NaOH 분해법으로 정량하였으며 회분은 550℃ 회화법을 이용하여 분석하였다.

- 색깔

과열증기 건조 후 열풍 건조한 고춧가루와 열풍 건조한 고춧가루를 마쇄 후 분말로 제조한 후 color and color difference meter를 이용하여 L값(Lightness), a값(red/greenness), b값(yellowness/blueness)값으로 생강분말의 색깔을 측정하였다. 이때 사용한 표준 백색관의 L, a, b값은 각각 100, -0.01, 0.00이었다.

- Capsaicin

고춧가루의 Capsaicin 함량은 고춧가루 5g을 칭량하여 Soxhlet 추출장치에서 isopropanol로 적색이 더 나타나지 않을 때까지 추출한 후 charcoal 5g을 가하여 3분간 끓인 후 여과 수세하고 여액을 감압농축기로 농축하였다. Petroleum ether로 oil residue를 녹이고 분액여두를 이용하여 ether 층만을 모아 감압 농축시킨 후 isopropanol로 25ml 정용하고 차장 281nm에서 흡광도를 측정하여 capsaicin 농도를 구하였다. 표준곡선은 capsaicin을 isopropanol에 녹여 위와 같은 방법으로 흡광도를 측정하여 만들었다.

- 미생물 수 검사

고춧가루의 일반세균수, 효모/곰팡이와 대장균군 수 측정은 건조배지 3M사로부터 구입하여 이용하였다. Ha의 방법을 사용하여 일반세균수는 Petrifilm aerobic count(PCA, 3M)배지로 37℃, 24시간 배양하여 측정하였고 효모/곰팡이는 Petrifilm yeast and mold count(PYMC, 3M) 배지를 이용하여 21~25℃ 암소에서 3~5일 배양 후 측정하였으며 대장균 군은 Petrifilm coliform count(PCC, 3M)배지로 35℃, 24시간 배양하여 colony 주위에 기포가 형성되어 있는 red colony를 coliform 수로 측정하였다. 미생물 균수는 log colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

- 관능검사

고춧가루 분말의 관능검사는 색깔, 향, 맛에 대하여 9점 평점법을 이용하여 아주 나

쁘다 1점, 보통이다 5점, 아주 좋다 9점으로 기호도를 조사하였고 훈련된 관능요원 15명을 선발하여 실시하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 고추의 건조율

일반적으로 수확한 고추는 수분함량이 높아 그대로 장기간 저장하면 부패가 많고 수송에도 불편하며 또한 많은 비용이 들기 때문에 건조를 실시한다. 고추의 건조방법에는 천일건조, 비닐하우스 내 건조 및 열풍건조 등이 있으나 천일건조나 비닐하우스 내 건조는 건조시간이 많이 소요되며 건조기간 중 손실량도 크므로 일반적으로 열풍건조 방법을 사용하고 있다. 열풍건조는 재배 지역에 따라 다소 차이가 있으나 보통 50℃~65℃의 온도에서 건조를 실시하고 있는데 본 실험에서는 챔버 내부습도 20% 그리고 160℃의 과열증기를 이용하여 5~10분 건조한 후에 시료에 품질손상이 없는 상태까지 약 100도에서 고온건조시킨 후 과열증기 처리장치를 열풍건조 시스템으로 전환하여 50℃에서 열풍건조를 실시하였다. 그리고 50℃에서 열풍건조로만 건조한 고추와 과열증기 처리후 열풍건조한 고추와의 건조율을 비교조사 하였다. 그림 3-108에서 보는 바와 같이 과열증기 처리후 열풍건조한 고추의 경우 초기치 2,500g에서 30분간 고온증기에 의한 건조처리를 하였을 경우 1,410g으로 급격히 수분함량이 감소하는 것을 확인하였다. 그리고 이후 열풍건조에서는 시간이 경과할수록 조금씩 감소하였다. 즉 열풍건조로 전환하여 건조하였을 경우 1시간 경과후 1,330g, 3시간 경과 후 1,240g, 6시간 경과 후 1,050g 12시간 경과 후 750g 그리고 16시간 경과 후 645g의 무게를 나타내었다.

이에 반하여 열풍건조로만 고추를 건조하였을 경우 30분 경과시 2,400g으로 고온증기 건조처리에 의하여 30분동안 건조하였을 때의 고추무게 1,410g에 비하여 훨씬 떨어지는 건조율을 나타낸 것을 확인하였다. 그리고 열풍건조 1시간이 경과시 2,310g, 3시간 경과시 2,040g, 6시간 경과시 1,710g, 12시간 경과시 1,185g, 16시간 경과시 1,018g, 그리고 28시간 경과시 645g으로 수분함량이 감소한 결과를 나타내었다. 전체적으로 볼 때 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 고추와 열풍건조로만 건조한 고추와의 건조율을 비교하였을 때 약 75%의 빠른 건조 효과를 나타내었다.

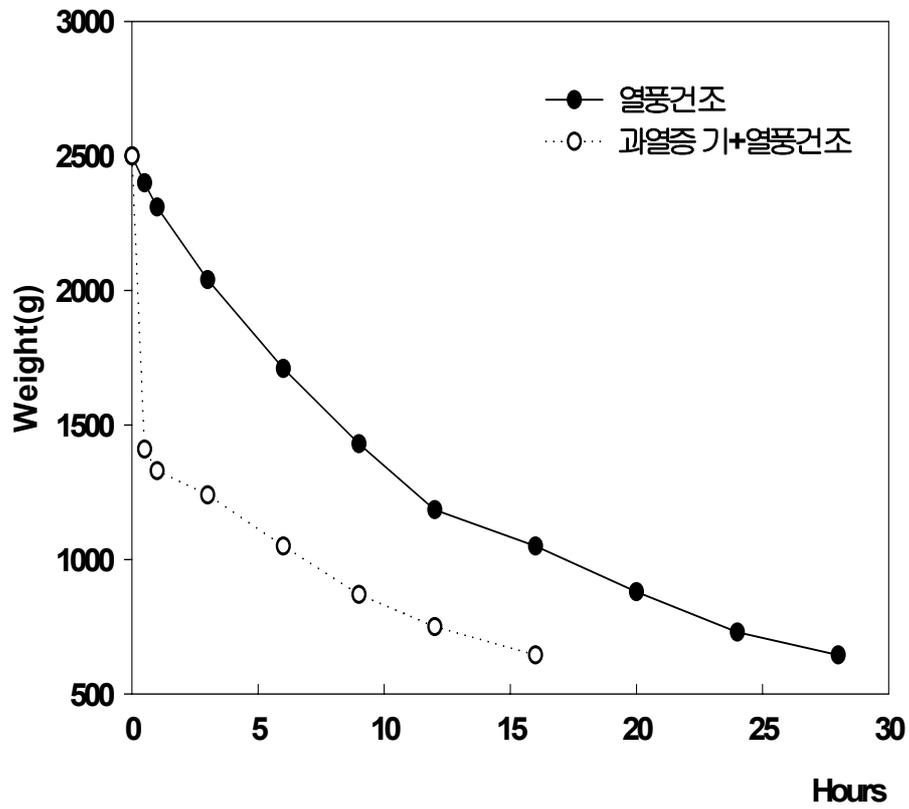


그림 3-108. 과열증기 건조처리후 열풍건조 및 열풍건조한 고춧가루의 건조율

2) 건조방법에 따른 고춧가루의 품질특성 조사

- 일반성분

과열증기에 의한 건조후 열풍 건조한 고춧가루와 열풍건조로만 건조한 고춧가루의 일반성분을 살펴본 결과는 표 5와 같다. 표 5에서 보는 바와 같이 과열증기에 의한 건조후 열풍건조한 고춧가루의 조지방 함량은 1.64%, 조단백질은 2.83%, 조섬유는 5.12% 그리고 회분은 0.80%를 나타내었다. 이와 함께 열풍건조로만 건조한 고춧가루의 일반성분을 살펴보면 조지방 함량이 1.62%, 조단백질이 2.84%, 조섬유가 5.09% 그리고 회분이 0.79%를 나타내었다. 위의 결과에서 볼 수 있듯이 과열증기에 의한 건조후 열풍 건조한 고춧가루와 열풍건조로만 건조한 고춧가루와의 일반성분의 함량에 있어서 큰 변화가 없는 것을 알 수 있었다.

표 5. 건조 고춧가루의 일반성분

건조방법 \ 항목	조지방 (%)	조단백질 (%)	조섬유 (%)	회분 (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 고춧가루	1.64	2.83	5.12	0.80
열풍건조한 고춧가루	1.62	2.84	5.09	0.79

- 색깔

과열증기에 의한 건조후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조로만 건조한 고춧가루의 색깔을 측정된 결과는 표 6과와 같다.

표 6. 건조 고춧가루의 색깔

건조방법 \ 항목	L값	a값	b값	$\Delta E$
과열증기 건조후 열풍 건조 처리한 고춧가루	36.8	38.1	38.2	53.9
열풍건조한 고춧가루	37.0	38.4	38.5	54.2

과열증기에 의한 건조 후 열풍건조한 고춧가루의 색깔의 경우 밝기를 나타내는 L값은 36.8을 나타내었고 적색도(redness)를 나타내는 a값은 38.1, 황색도를 나타내는 b값은 38.2를 나타내었다. 그리고 열풍건조만 한 고춧가루의 색깔 경우는 L값이 37.0, a값이 38.4, 그리고 b값은 38.5를 나타내었다. 이와 같이 처리방법에 따른 고춧가루의 색깔의 결과를 비교해 볼 때 고춧가루의 밝기에 있어서 과열증기 건조후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조만 한 고춧가루가 각각 36.8, 37.0으로 큰 차이를 나타내지 않았고 또 고춧가루의 고유한 붉은 색의 값을 나타내는 a값에 있어서도 각각 38.1, 38.4로 큰 차이를 나타내지 않아 과열증기 건조후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조만 한 고춧가루의 색깔은 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

- Capsaicin

Capsaicin은 고추의 매운 맛을 내는 성분으로서 치환된 aromatic ring과 dipolar amide bond 그리고 소수성의 사슬구조로 이루어진 vanillin 유도체이다. Capsaicin은 1876년 처음으로 고추에서 단리된 후, 1919년 N-(4-hydroxy-3-methoxybenzyl)-8-methylnon-6-enamide라는 구조가 밝혀졌고 1955년 Crombie에 의해 전합성 되었다. 1960년대 Jansco는 capsaicin이 초기 감각신경의 통각신경세포를 흥분시켜 통증을 유발시키고 여러 가지 염증 매개체를 방출시키나 이를 지속적으로 투여하면 신경세포

를 무력화시킴으로써 capsaicin 뿐 아니라 다른 화학적, 기계적, 열적 자극에도 무감각한 상태를 초래하게 된다는 사실을 밝혀내었다. 이와 같이 고추의 맛에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 capsaicin 함량을 과열증기에 의한 건조후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조로만 건조한 고춧가루에 대하여 측정된 결과는 표 7과 같다.

표 7. 건조 고춧가루의 Capsaicin 함량

건조 방법	Capsaicin
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 고춧가루	2.75
열풍건조한 고춧가루	2.82

표 7에서 보는 바와 같이 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 고춧가루의 capsaicin 함량은 2.75이었고 열풍건조한 고춧가루의 capsaicin 함량은 2.82를 나타내었다. 이를 볼 때 과열증기 건조후 열풍건조한 고춧가루가 열풍건조한 고춧가루에 비하여 약간 감소한 것으로 나타났으나 이는 유의적 차이가 없는 결과이었으며 과열증기 처리후에도 고추의 독특한 매운맛을 유지 할 수 있었다.

- 미생물 수 검사

과열증기에 의한 건조후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조로만 건조한 고춧가루의 미생물 수를 측정된 결과는 표 8과 같다.

표 8. 건조 고춧가루의 미생물 수

건조방법 \ 미생물	일반세균 (cfu/g)	효모·곰팡이 (cfu/g)	대장균군 (cfu/g)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 고춧가루	$2.14 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2$	$3.5 \times 10^1$
열풍건조한 고춧가루	$3.45 \times 10^5$	$7.6 \times 10^5$	$1.8 \times 10^4$

표 8의 결과에서 보는 바와 같이 열풍건조 후 분쇄하여 분말화한 고춧가루의 일반세균은  $3.45 \times 10^5$  cfu/g 이었고 효모는  $7.6 \times 10^5$  cfu/g, 그리고 대장균군은  $1.8 \times 10^4$  cfu/g을 나타내었다. 그러나 과열증기 건조후 열풍건조한 고춧가루 중에 존재하는 미생물의 수는 일반세균이  $2.14 \times 10^2$  cfu/g, 효모의 경우는  $3.2 \times 10^2$  cfu/g, 그리고 대장균군의 경우는  $3.5 \times 10^1$  cfu/g을 나타내었다. 이 결과를 살펴볼 때 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 고춧가루가 열풍건조만으로 건조한 고춧가루에 비하여 미생물 수에 있어서 상당수 감소한 결과를 나타낸 것을 알 수 있었다. 즉, 일반세균의 경우 약  $1.3 \times 10^3$  cfu/g 감소하였고 효모의 경우는  $4.4 \times 10^3$  cfu/g 감소하였고 대장균군은  $8.3 \times 10^2$  cfu/g 감소한 것을 알 수 있었다.

열풍건조로 건조한 고춧가루에 비하여 과열증기 처리후 열풍건조한 고춧가루에 있어서 미생물 수의 감소로 미생물 오염을 줄일 수 있었던 것은 과열증기 건조시 높은 증기 온도에 의한 고춧가루 표면 및 일부 내층에 존재하는 미생물의 살균에 기인한 것으로 판단되었다. 따라서 과열증기 처리후 열풍건조에 의한 고춧가루의 건조는 고추의 건조속도의 빠른 증가뿐 아니라 미생물의 오염을 상당 부분 감소하는 결과를 가져다주는 기술임을 알 수 있었다.

- 관능검사

과열증기에 의한 건조후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조로만 건조한 고춧가루의 관능검사의 결과는 표 9와 같다.

표 9. 고춧가루의 관능검사

건조방법 \ 항목	색깔	향기	매운맛
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 고춧가루	6.8	7.2	7.1
열풍건조한 고춧가루	6.7	7.4	7.1

표 9의 결과에서 볼 수 있듯이 과열증기 처리후 열풍건조한 고춧가루와 열풍건조한 고춧가루의 관능검사 결과 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 과열증기 처리 후 열풍건조한 고춧가루의 관능검사 결과 색깔의 경우 6.8을 나타내었고 향기는 7.2 그리고 매운맛은 7.1을 나타내었다. 이와 함께 열풍건조한 고춧가루의 경우도 관능검사 결과 색깔 6.7, 향기 7.4 그리고 매운맛 7.1의 관능평가를 나타내어 두 처리구 모두 관능평가에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 이런 결과는 위에서 분석한 일반성분, 색깔 및 capsacin의 분석 결과와 동일한 결과를 나타낸 것이었다.

#### 라. 고추 건조 특성

과열증기 온도 160℃, 내부습도 20%에서 과열증기에 의한 건조 처리 후 50℃에서 열풍건조한 고추와 50℃에서 열풍건조로만 건조한 고추의 건조효과에 있어서 과열증기 처리 후 열풍건조한 고추가 열풍건조로만 건조한 고추에 비하여 약 75%의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 품질특성 중 일반성분, 색도, capsaicin 및 관능평가 등에 있어서는 두 건조방법간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 건조한 고춧가루 중의 미생물 수에 있어서 과열증기 처리로 건조한 고춧가루가 열풍건조한 고춧가루에 비하여 일반세균의 경우 약  $1.3 \times 10^3$  cfu/g, 효모·곰팡이의 경우  $4.4 \times 10^3$  대장균군의 경우  $8.3 \times 10^2$  cfu/g의 감소효과를 나타내었다. 따라서 고추의 건조는 과열증기 건조 처리 후 열풍건조하는 기술을 통하여 건조 고추의 품질 저하 없이 건조시간의 단축과 함께 고춧가루에 잔존하는 미생물의 오염을 방지할 수 있는 기술임을 확인하였다.

## 2. 과열증기를 이용한 당근 건조 시험

### 가. 실험재료

당근은 시중에서 구입하여 세척, 박피한 후 라면 스프의 부재료로 들어가는 건조 후 당근의 크기와 비슷한 크기가 되도록 당근을 0.8×0.8×1.3 cm의 크기로 절단하여 각각 과열증기 건조 후 열풍건조 처리와 열풍건조 처리를 실시하였다.

### 나. 실험방법

#### 1) 건조방법

sliced 당근의 과열증기 처리장치에 의한 건조 조건은 과열증기 온도 180℃, 내부습도 25% 이었고 이후 열풍건조는 50℃에서 실시하였다. 열풍건조는 70℃에서 실시한 후 50℃에서 실시하였다.

#### 2) 당근의 건조율

sliced 당근은 1차적으로 과열증기 처리장치에서 180℃의 증기온도와 내부습도 25%로 유지하여 건조를 진행하여 수분함량이 초기무게의 50% 감소한 시점에 과열증기 처리장치를 열풍건조로 전환하여 50℃에서 건조를 실시하였다. 이때 당근의 건조율은 초기 당근 중량에 대하여 건조 시간에 따른 중량의 변화를 그림으로 나타내었다. 그리고 기존의 당근의 건조방법인 열풍건조한 당근과의 건조율을 비교 분석하였다.

#### 3) 건조방법에 따른 당근분말의 품질 특성 조사

##### - 일반성분

당근분말의 일반성분은 AOAC 법에 준하여 실시하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 Buchi 사의 Model 430 Digestor 로 분해하여 Model 325 N<sub>2</sub> distillation unit로 증류시킨 후 전질소량을 구한 다음 질소계수 6.25를 곱하여 구하였고 조섬유는 1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 1.25% NaOH 분해법으로 정량하였으며 회분은 550℃ 회화법을 이용

하여 분석하였다.

- 갈변도 및 색깔

과열증기 건조후 열풍건조하여 분쇄한 당근분말과 열풍건조한 당근 분말의 갈변도는 Hendel 등의 방법을 이용하였으며 건조 후 시료를 분쇄시킨 다음 1.3 g을 취하고 40 ml의 증류수, 10% trichloroacetic acid 용액 10 ml를 첨가하여 실온에서 2시간 동안 방치한 후 여과하여 spectrophotometer(U.S.A, Beckmen, DU-650)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 색깔은 spectrocolormerter(U.S.A, HunterLab, A60-1005-654)를 이용하여 L값(whiteness), a값(redness), b값(yellowness)과 전반적인 색차  $\Delta E$ 를 구하였다. 이 때 표준 백색판의 값은 L=92.68, a=0.81, b=0.86이었다.

- 복원율

건조 당근 일정량을 100℃ 물 500 ml에 넣어 시간별로 꺼내어 1분동안 물빼기 후 건조당근 1g당 증가한 수분의 질량으로 나타내었다.

-  $\beta$ -carotene

건조된 당근 3g을 취하고 n-hexane과 acetone 혼합액(3:2, v/v)을 가하여 추출을 반복 조작하였다. Methanol 30 mL을 가하여 Glass filter로 여과하여 색소를 추출한 후 증류수를 가해 추출액을 분리한 다음 상정액을 Spectrophotometer (Ultrospec 2100pro, Amersham Biosciences Co., UK)로 436 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 건조방법에 의해 건조된 시료의 저장 0주의 흡광도를 100% 기준으로 하여 비율로 나타내었다.

- 미세구조 관찰

건조된 당근의 세포조직은 pH 6.8인 2% glutaraldehyde와 0.05M Na cacodylate 용액에 넣어 얼음속에서 30분간 전처리를 한 다음 2시간 마다 용액을 3회 교환 한 후 24시간 4℃에서 방치하였다. 방치한 시료를 2%  $\text{OSO}_4$  용액에서 30분 동안 조직을 고정화시킨 후 30%, 50%, 70%, 95%, 100% 알코올 용액 순으로 탈수시켰다. 탈수시킨 시료는 액체 질소안에서 냉동시킨 다음 절단하여 냉동건조기(freezing dryer)를 이용해서 건조하였다. 건조된 시료는 gold-polladium으로 코팅하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope)에서 면밀하게 미세구조를 관찰한 후 해당 부위를 촬영하였다.

- 관능검사

각각 건조한 sliced 당근의 관능검사를 실시하였다. 관능검사는 훈련된 관능요원 25명을 선발하여 당근 색깔, 당근 향미, 이취에 대한 관능검사를 9점 평점법으로 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 당근의 건조율

과열증기 처리 후 열풍건조한 당근과 열풍건조한 당근의 건조율을 살펴본 결과는 아래 그림 3-109와 같다.

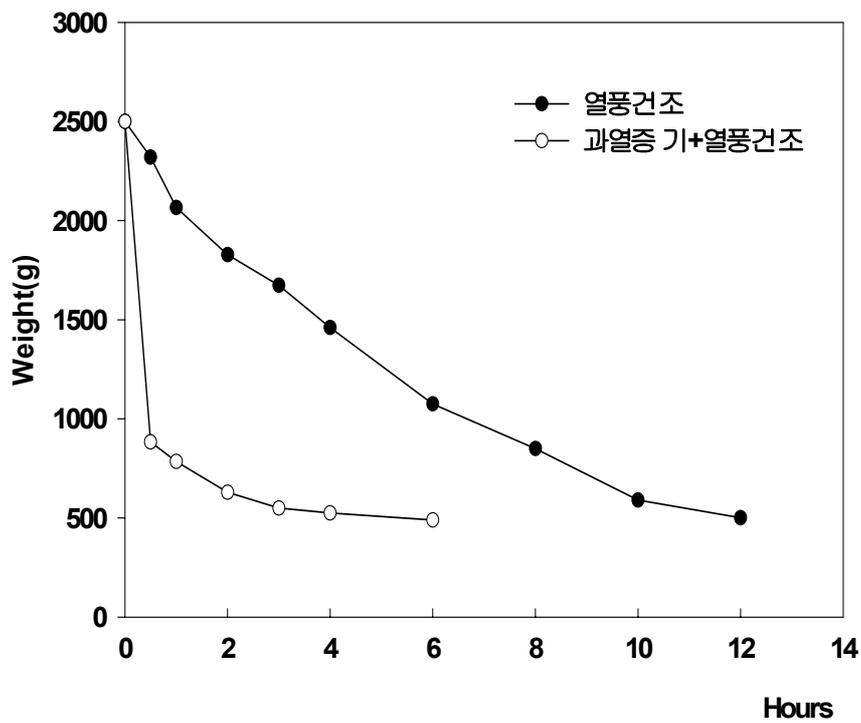


그림 3-109. 과열증기 건조처리후 열풍건조 및 열풍건조한 당근의 건조율

즉, 시중에서 구입한 당근을 적당한 크기로 slice하여 90℃에서 2분간 브랜칭 처리후 2.5kg의 당근을 취하여 각각 과열증기 처리후 열풍건조 처리 및 열풍건조 처리를 실시하였을때의 건조율을 살펴보았다. 180℃의 온도와 내부습도 18%로 유지된 챔버내부에서 sliced 당근을 과열증기를 처리하였을 경우 수분함량이 급격히 감소하였는데 처리시간 15분이 되었을 때 2.5kg의 당근이 883g의 무게로 감소한 결과를 나타내었다. 그리고 이후 과열증기 처리 장치를 60℃ 온도의 열풍건조 시스템으로 전환하여 건조하였을 경우 1시간 경과시 785g, 3시간 경과시 630g, 4시간 경과시 550g, 그리고 6시간 경과시 490g의 무게로 초기치 2.5kg의 무게에서 약 5배 감소하는데 걸리는 시간은 약 6시간 소유되는 것을 알 수 있었다.

그러나 열풍건조만으로 처리한 당근의 경우 초기치 2.5kg에서 1시간 경과시 2,065g, 2시간 경과시 2,065g, 3시간 경과시 1,674g, 4시간 경과시 1,460g, 6시간 경과시 1,075g, 8시간 경과시 850g, 10시간 경과시 620g 그리고 12시간 경과시 501g으로 초기치 당근 무게 2.5kg에서 약 5배의 무게가 감소하는데 걸리는 시간이 12시간 소요되는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과에 기초하여 과열증기 처리후 열풍건조한 당근의 건조율과 열풍건조한 당근의 건조율과 비교해볼 때 과열증기 처리후 열풍건조한 시료가 열풍건조만 하여 건조한 시료에 비하여 약 2배정도의 빠른 건조효과를 나타낸 것을 확인할 수 있었다.

## 2) 건조방법에 따른 당근분말의 품질특성 조사

### - 일반성분

과열증기에 의한 건조후 열풍건조한 당근분말과 열풍건조로만 건조한 당근분말의 일반성분을 살펴본 결과는 표 10과 같다. 표 10에서 보는 바와 같이 과열증기에 의한 건조 후 열풍건조한 당근분말의 경우 조지방 함량이 0.7%, 조단백질이 7.7%, 조섬유 함량이 5.6%, 회분 함량이 4.9%를 나타내었다. 그리고 열풍건조한 당근분말의 경우는 조지방 함량이 0.72%, 조단백질이 7.7%, 조섬유가 5.6%, 그리고 회분이 5.0%를 나타내었다. 과열증기 건조후 열풍건조한 시료와 열풍건조한 시료간의 일반성분 결과를 살펴볼 때 조지방, 조단백질, 조섬유 및 회분등의 함량에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 10. 건조 당근가루의 일반성분

건조방법 \ 항목	조지방 (%)	조단백질 (%)	조섬유 (%)	회분 (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 당근분말	0.7	7.7	5.6	4.9
열풍건조한 당근분말	0.72	7.7	5.6	5.0

- 갈변도 및 색깔

과열증기 처리에 의한 건조후 열풍 건조한 당근과 열풍건조한 당근의 갈색화 정도를 살펴보기 위하여 420nm에서의 OD값을 비교한 결과는 표 11과 같다.

표 11. 건조 당근분말의 갈색도 및 색깔

건조방법 \ 항목	갈변도	색깔		
		L값	a값	b값
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 당근분말	1.25	63.0	23.3	40.9
열풍건조한 당근분말	1.23	63.2	23.2	38.8

이 결과로 볼 때 과열증기 처리후 열풍건조한 건조한 당근의 경우 OD값이 1.25로 열풍건조한 당근의 OD값 1.23보다 0.02정도 높았으나 이러한 차이는 갈색도에 있어서 거의 차이가 없는 수준임을 알 수 있었다. 색깔의 경우도 전반적으로 과열증기 처리 후 열풍건조한 시료들과 열풍건조한 시료간 큰 차이를 나타내지 않았다. 즉, 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 당근분말의 경우 밝기를 나타내는 L값의 경우 63.0을 나타내었

고 적색도를 나타내는 a값은 23.3 그리고 황색도를 나타내는 b값은 40.9를 나타내었다. 그리고 열풍건조한 당근분말의 경우도 L값이 63.2, a값이 23.2 그리고 b값이 38.8을 나타내어 과열증기 처리후 열풍건조한 당근분말의 색깔과 비교하였을 때 큰 차이를 나타내지 않았다.

- 복원율

그림 3-110은 과열증기 처리에 의한 건조후 열풍 건조한 당근과 열풍건조한 당근을 끓는 물에서 복원하였을 때 시간에 따른 복원율을 나타낸 결과이다.

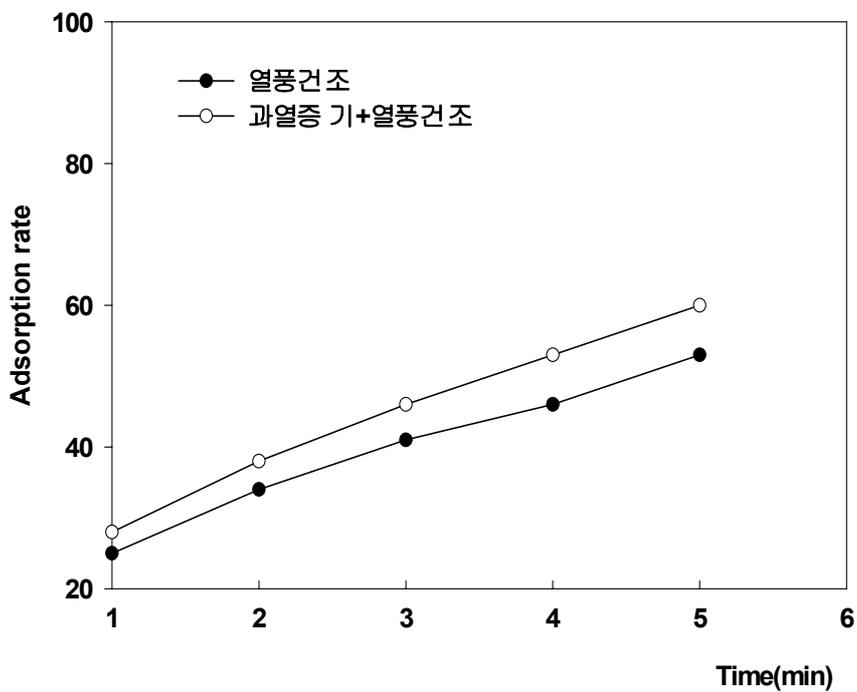


그림 3-110. 과열증기 건조처리후 열풍건조 및 열풍건조한 당근의 복원율

그림 3-110에서 알 수 있듯이 과열증기 처리후 열풍건조한 당근의 경우 1분이 경과하였을 경우 약 26%의 복원율을 나타내었고 2분 경과시 38%, 3분 경과시 46%, 4분 경과시 52%, 그리고 5분 경과시 60%의 복원율을 나타내었다. 그러나 열풍건조로만 건조처리한 당근의 경우 1분 경과시 24%, 2분 경과시 35%, 3분 경과시 38%, 4분 경과시 44%, 그리고 5분 경과시 52%의 복원율을 나타내었다. 이 결과를 살펴볼 때 과열증기 처리후 열풍건조한 당근의 복원율이 열풍건조로만 건조한 당근의 복원율에 비하여 복원율이 조금 높은 것을 볼 수 있는데 이는 당근이 과열증기 처리시 증기의 높은 온도에 노출됨으로서 조직의 일부 연화가 이루어지면서 열풍건조에 비하여 빠른 속도로 수분이 급속히 증발하여 당근 조직내부의 기공이 열풍건조에 비하여 많이 생성되었기 때문으로 판단된다. 따라서 현재 라면 스프나 면류 등에 사용되는 건조 당근의 복원율을 좀더 향상 시킬 수 있는 방법으로 과열증기 처리후 열풍건조 방법이 기존의 열풍건조 방법에 비하여 좋은 효과를 나타낼 것으로 판단되었다.

-  $\beta$ -carotene

과열증기 처리에 의한 건조 후 열풍 건조한 당근과 열풍건조한 당근의  $\beta$ -carotene 함량을 측정 한 결과는 표 12과 같다.

표 12. 건조 당근의  $\beta$ -carotene 함량

건조 방법	$\beta$ -carotene(mg%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 고추가루	50.2
열풍건조한 고추가루	51.7

$\beta$ -carotene은 약간의 냄새와 맛을 가지고 있는 적색의 결정성물질로 식물계에 널리 분포되어 있는 비타민A의 전구체이다. 천연식품 중에 토마토, 당근, 고추, 호박, 과일, 우유 그리고 크로켈라 등 녹조식물에 함유되어 비타민A의 활성은 물론이고 동물의 번식향상에 효과가 있고 암세포 파괴와 중앙 피사인자의 산출 발암물질의 생성억제에도 유효한 성분이며, 난치병을 고치는 효과가 있다. 과일의 성숙과정에서 색깔의 변화는

카로티노이드(Carotenoid) 생합성에서 옥시카로티노이드의 증강에 의한 것인데 동물에서는 생합성되지 않으며, 사람의 체내에 흡수되어 많은 생리적 기능을 발휘하는 베타카로틴은 천연품과 합성품이 있다.  $\beta$ -carotene은 비타민A와는 달리 과잉섭취에도 부작용이 전혀 없으며 림프관, 혈관을 통하여 전신으로 확산되어 지방조직이나 간장, 생식기관에 저장되고 피부의 표피층과 진피층에 분포되어 생체기능조절을 한다.

표 12에서 보는 바와 같이 과열증기 처리후 열풍건조한 당근의  $\beta$ -carotene 함량은 50.2 mg%를 나타내었고 열풍건조한 당근의 경우는 51.7 mg%를 나타내었다. 이 결과에서 볼 때 과열증기 처리후 열풍건조한 당근의  $\beta$ -carotene 함량이 열풍건조만 한 당근에 비하여 약간 감소한 것을 볼 수 있는데 이는 과열증기 처리시  $\beta$ -carotene의 약간의 손실이 이루어진 결과로 생각되지만  $\beta$ -carotene 함량의 감소가 크게 이루어지지 않은 상태인 것을 알 수 있었다.

- 미세구조 관찰

과열증기 처리후 열풍건조한 당근과 열풍건조만으로 건조한 당근의 조직의 미세구조를 관찰한 결과는 그림 3-111, 3-112와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 과열증기 처리후 열풍건조한 당근이 열풍건조한 당근에 비하여 내부조직이 좀더 연화되어 개열되어 있는 것을 볼 수 있다.

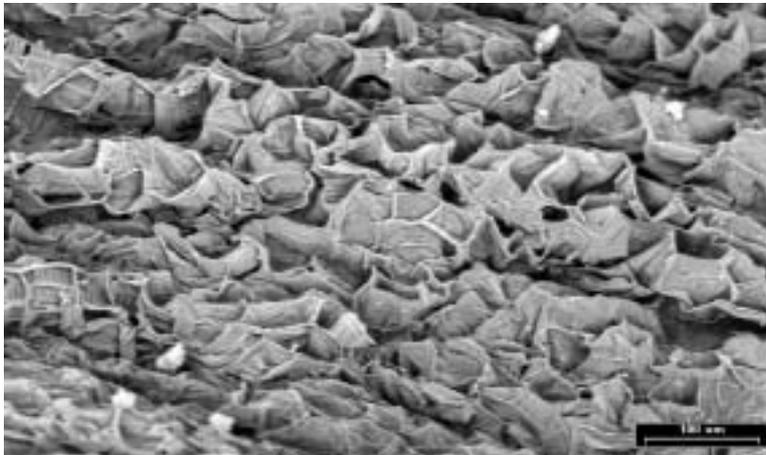


그림 3-111. 열풍건조한 당근 내부의 미세구조

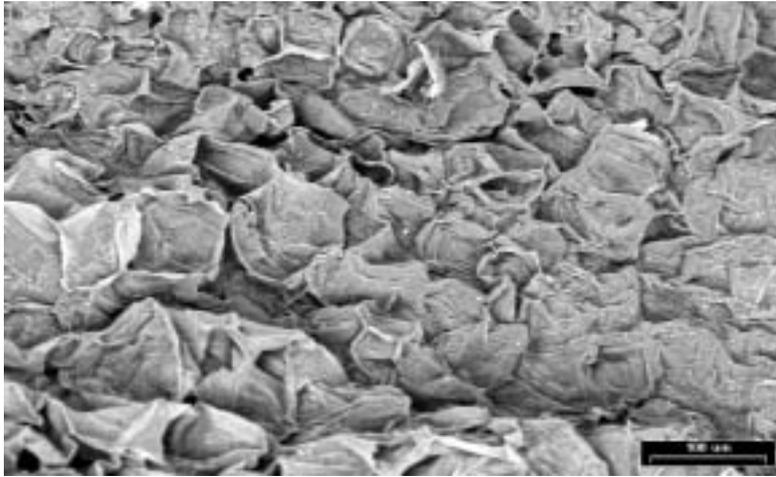


그림 3-112. 과열증기 건조처리후 열풍건조한 당근 내부의 미세구조

- 관능검사

과열증기 건조처리 후 열풍건조한 당근과 열풍건조만으로 건조한 당근의 관능검사 결과는 표 13과 같다. 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 당근과 열풍건조한 당근의 관능검사 결과 색깔, 향기에서 각각 낮은 관능평가를 나타내었는데 이는 당근을 장시간 건조함으로 인해 갈변에 기인한 영향 때문으로 생각되며 과열증기 건조후 열풍건조한 당근과 열풍건조한 당근과의 관능평가에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 그리고 당근 향기 이외의 이취도 조금 감지되었는데 당근제품에 큰 영향을 줄 정도는 아니었다.

표 13. 건조된 당근가루의 관능검사

건조방법 \ 항목	색깔	향기	이취
과열증기 건조처리 후 열풍건조한 당근분말	3.8	4.3	1.1
열풍건조한 당근분말	3.7	4.4	1.2

## 라. 당근 건조 특성

당근 건조의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 당근이 가열증기만으로 건조한 당근에 비하여 약 2배 정도의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 건조된 당근의 복원율에 있어서도 약 8%의 빠른 복원율을 나타내었다. 이와 함께 일반성분, 갈색도 및 색깔,  $\beta$ -carotene 및 관능평가에 있어서는 두처리구간 큰 차이를 나타내지 않았다. 그리고 건조한 당근의 내부조직의 관찰에서는 과열증기 건조처리후 열풍건조한 당근이 열풍건조한 당근에 비하여 내부조직이 좀더 연화되어 개열되는 것을 확인하였다. 현재 라면 스프나 면류 등에 사용되는 건조 당근의 복원율을 좀더 향상 시킬 수 있는 방법으로 과열증기 건조처리 후 열풍건조 방법이 기존의 열풍건조 방법에 비하여 건조시간의 단축의 이점과 함께 좋은 효과를 나타낼 것으로 판단되었다.

### 3. 과열증기를 이용한 생강 건조 시험

#### 가. 실험재료

생강은 전북 봉동지역에서 2004년 생산된 생강을 봉동 생강 생산단지에서 직접 구입하여 깨끗이 수세 후 과열증기 건조와 열풍건조 실험을 실시하였다.

#### 나. 실험방법

##### 1) 건조방법

생강의 과열증기 건조는 시료를 먼저 과열증기 챔버안에 넣고 과열증기 온도 180℃에서 습도 22%를 유지한 채 건조를 실시한 후 초기치 생강 중량의 1/2정도로 감소되는 건조되는 시점에 과열증기 처리에 의한 건조를 멈추고 열풍건조 시스템으로 전환하여 열풍건조 50℃에서 건조를 계속 실시하였다. 그리고 열풍건조는 과열증기 처리 장치를 열풍건조 시스템으로 하여 50℃에서 열풍건조를 실시하였다.

##### 2) 생강의 건조율

생강의 건조율은 생강 2.5kg을 건조 챔버에 넣고 건조시간에 따라 무게를 측정하여 초기치 생강 무게에서 건조시간에 따라 감소하는 양을 측정하면서 과열증기 처리후 열풍건조한 시료와 열풍건조한 시료간의 건조율을 계산하여 비교하였다.

##### 3) 건조방법에 따른 생강분말의 품질특성 조사

###### - 일반성분

생강분말의 일반성분은 AOAC 법에 준하여 실시하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 Buchi 사의 Model 430 Digestor 로 분해하여 Model 325 N<sub>2</sub> distillation unit로 증류시킨 후 전질소량을 구한 다음 질소계수 6.25를 곱하여 구하였고 조섬유는 1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 1.25% NaOH 분해법으로 정량하였으며 회분은 550℃ 회화법을 이용하여 분석하였다.

- 색도 및 갈변도

과열증기 건조후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강을 마쇄후 분말로 제조한 후 색깔은 색차계(Model 600-UC-IV, Yasuda, Japan)로 측정하였으며 Hunter Color Scale에 의해 L값(명도), a값(+:적색, -:녹색), b값(+:황색, -:청색)값으로 나타내었다. 이때 사용한 표준판의 L, a, b값은 각각 89.2, 0.921 및 0.78이었다. 갈변도는 10%의 생강분말 용액을 제조하여 이를 7,000×g에서 20분간 원심분리하고 여과액의 흡광도를 420nm에서 측정하여 optical density(O.D)로 나타내었다.

- 무기질

건조된 생강분말 0.2g을 회화용 도가니에 취하여 500℃에서 2시간 회화시켜 냉각한 후 이에 탈이온 증류수 10여 방울과 질산용액(HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O = 1:1 회석액) 3ml를 조심스럽게 가하고 100℃의 열판에서 과량의 질산을 제거하였다. 이를 다시 500℃ 회화로에서 1시간 동안 회화시킨 다음 염산용액(HCL : H<sub>2</sub>O = 1:1 휘석액)으로 50ml 가 되게 정용하여 시료로 사용하였다. 이액을 ICP(Inductively Coupled Plasma) AES(Atomic Emission Spectrometer)에 주입하여 무기성분을 분석하였다.

- 지방산

건조된 생강분말 약 3g에 물 15ml를 가하고 chloroform : methanol 이 동량 혼합되어 있는 용액 40ml를 가한 후 분액 깔대기에서 liquid-liquid fraction 방법에 따라 지질을 chloroform 층으로 이행시킨 조작을 2회 반복 처리하여 얻은 chloroform 층에 소량의 anhydrous sodium sulfate로써 수분을 제거한 후 여과하고 그 여액을 40℃에서 감압 농축하였다. 농축된 지용성 성분 약 0.5g에 3ml의 benzene과 7.5ml의 0.5N NaOH/methanol을 가하여 30분간 반응시켜 methy ester를 제조하였다. 지방산 분석을 위한 GC의 조건은 표 14와 같다.

표 14. 지방산 분석을 위한 GC 조건

Instrument	Hewlett Packard 5890A	
Column	Supelcowax 10 capillary column(30m×0.32mm)	
Carrier gas	Helium(30ml/min)	
Injector Temp.	250℃	
Detector Temp.	270℃	
Oven Temp.	180℃(1min)	220℃(5min)
Detector	FID	

- 미생물 수

생강가루의 일반세균수, 효모/곰팡이와 대장균 수 측정은 건조배지 3M사로부터 구입하여 이용하였다. 일반세균수는 Petrifilm aerobic count(PCA, 3M)배지로 37℃, 24시간 배양하여 측정하였고 효모/곰팡이는 Petrifilm yeast and mold count(PYMC, 3M) 배지를 이용하여 21~25℃압소에서 3~5일 배양 후 측정하였으며 대장균 수는 Petrifilm coliform count(PCC, 3M)배지로 35℃, 24시간 배양 하여 colony 주위에 기포가 형성되어 있는 red colony를 coliform 수로 측정하였다. 미생물 균수는 log colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

- 미세구조 관찰

건조된 생강의 세포조직은 pH 6.8인 2% glutaraldehyde와 0.05M Na cacodylate 용액에 넣어 얼음속에서 30분간 전처리를 한 다음 2시간 마다 용액을 3회 교환 한 후 24시간 4℃에서 방치하였다. 방치한 시료를 2% OSO4 용액에서 30분 동안 조직을 고정화 시킨 후 30%, 50%, 70%, 95%, 100% 알코올 용액 순으로 탈수시켰다. 탈수시킨 시료는 액체 질소 안에서 냉동시킨 다음 절단하여 냉동건조기(freezing dryer)를 이용해서 건조하였다. 건조된 시료는 gold-polladium으로 코팅하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope)에서 면밀하게 미세구조를 관찰한 후 해당 부위를 촬영하였다.

- 관능검사

건조된 생강분말을 색, 향기 및 종합적 기호도에 대하여 특성 차이검사 및 기호도 검사를 실시하였다. 색 및 향기의 관능검사는 9점 평점법에 의해, 종합적 기호도는 9점 기호도 척도법에 의하여 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 생강의 건조율

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 건조율을 살펴본 결과는 아래 그림 3-113과 같다.

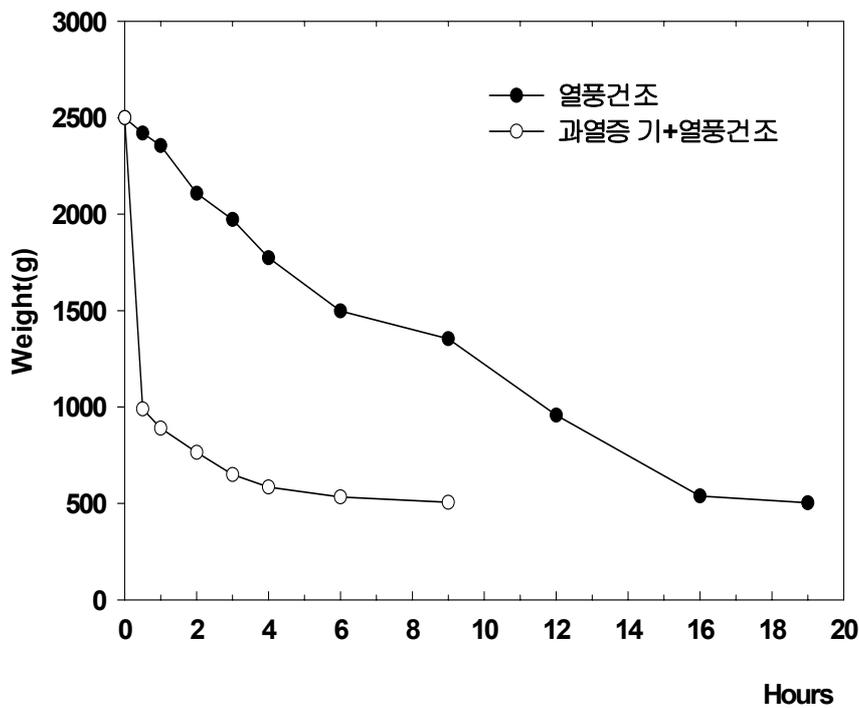


그림 3-113. 과열증기 건조처리 후 열풍건조 및 열풍건조한 생강의 건조율

즉, 그림 3-113에서 볼 수 있듯이 과열증기 건조후 열풍건조한 생강의 경우 과열증기 온도 180℃, 내부습도 22%에서 30분 건조처리시 초기치 2,500g에서 약 990g으로 급격히 감소한 것을 볼 수 있고 이후 열풍건조 처리시 1시간 경과 후 약 890g, 2시간 경과 후 765g, 3시간 경과 후 650g, 4시간 경과 후 585g, 6시간 경과시 534g 그리고 9시간 경과시 506g을 나타내었다. 이에 반해 열풍건조한 생강의 경우 초기치 2,500g에서 30분 경과 후 2,420g, 1시간 경과 후 2,355g, 2시간 경과 후 2,108g, 3시간 경과 후 1,972g, 4시간 경과 후 1,774g, 6시간 경과 후 1,498g, 9시간 경과 후 1,354g, 12시간 경과 후 958g, 16시간 경과 후 539g, 그리고 19시간 경과 후 504g을 나타내었다. 이러한 결과를 살펴볼 때 과열증기 처리후 열풍건조한 생강의 건조율이 열풍건조만 처리한 생강에 비하여 건조시간이 약 10시간 정도 단축되는 건조효과를 볼 수 있었다. 이는 건조 초기에 과열증기 처리에 의한 건조효과 때문이며 과열증기 처리시 약 30분동안 초기치 시료 2,500g에서 990g으로 급속히 수분량의 감소에 기인하는 것으로 판단되었다.

## 2) 건조방법에 따른 생강분말의 품질특성 조사

### - 일반성분

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 일반성분의 변화를 살펴본 결과는 아래 표 15와 같다.

표 15. 건조 생강분말의 일반성분

건조방법 \ 항목	조지방 (%)	조단백질 (%)	조섬유 (%)	회분 (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 생강분말	10.5	1.4	11.2	7.7
열풍건조한 생강분말	10.9	1.3	11.2	7.8

표 15에서 보는 바와 같이 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 생강분말의 일반성분 결과를 살펴보면 조지방 함량은 10.5%, 조단백질 함량은 1.4%, 조섬유 함량은 11.2% 그리고 회분함량은 7.7%로 나타났다. 그리고 열풍건조한 생강분말의 경우 조지방 함량이 10.9%, 조단백질 함량 1.3%, 조섬유 함량 11.2% 그리고 회분함량은 7.8% 이었다. 이 결과를 살펴볼 때 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 생강분말과 열풍건조한 생강분말의 일반성분의 함량에 있어서 큰 차이가 없는 것을 확인 할 수 있었다.

- 색도 및 갈변도

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 색도 및 갈변도의 변화를 살펴본 결과는 아래 표 16과 같다.

표 16. 건조 생강의 색도 및 갈변도

건조방법 \ 항목	갈변도	L값	a값	b값
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 생강분말	0.41	81.49	-0.42	24.82
열풍건조한 생강분말	0.40	81.23	-0.40	24.56

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 갈변도를 살펴볼 때 건조처리 하지 않은 생 생강의 대조구에 비하여는 모두 갈변현상을 나타내었지만 과열증기 처리후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 처리방법에 따른 생강의 갈변도의 차이는 각각 0.41, 0.40으로 차이가 없는 것을 볼 수 있었다. 그리고 색도의 변화에 있어서도 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 생강분말의 경우 밝기를 나타내는 L값이 81.49, 적색도를 나타내는 a값이 -0.42, 그리고 황색도를 나타내는 b값이 24.82를 나타내었고 열풍건조한 생강의 경우도 L값이 81.23, a값이 -0.40 그리고 b값이 24.56으로 나타나 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 생강과 열풍건조한 생강의 색도의 변화에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

- 무기질

과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 무기질 함량의 변화를 살펴본 결과는 아래 표 17과 같다.

표 17. 건조 생강의 무기질

건조방법 \ 항목	칼슘 (mg%)	철 (mg%)	인 (mg%)	나트륨 (mg%)	칼륨 (mg%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 생강분말	90.1	5.6	195	32	1,402
열풍건조한 생강분말	88.2	5.8	203	30.5	1,383

표 17에서 볼 수 있듯이 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 생강분말의 무기질 함량의 경우 칼슘이 90.1 mg%, 철 5.6 mg%, 인 195 mg%, 나트륨 32 mg%, 칼륨 1,402 mg을 나타내었고 열풍건조한 생강분말의 경우 칼슘 함량이 88.2 %mg, 철 5.8 %mg, 인 203 %mg, 나트륨 30.5 %mg 그리고 칼륨 1,383 mg%을 나타내어 생강의 건조방법에 따라 차이가 없는 것으로 나타났다.

- 지방산

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 지방산의 함량을 살펴본 결과는 아래 표 18과 같다.

건조된 생강분말의 지방산 조성을 살펴보면 capric, caprylic, capric, undecanoic, lauric palmitic, stearic, oleic, linoleic, linolenic acid가 함유되어 있었다. 주요 지방산으로는 linoleic acid가 37.6%로 가장 많이 함유되어 있었고 그 다음으로 palmitic acid가 25.3%, linolenic acid가 13.0%를 나타내었다. 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강간의 지방산 조성의 차이는 없었다.

표 18. 건조 생강의 지방산 함량

지방산	과열증기 건조후 열풍건조 처리한 생강분말	열풍건조한 생강분말
Caproic acid	2.75	2.80
Caprylic acid	0.40	0.41
Capric acid	2.64	2.65
Undecanoic acid	6.30	6.28
Lauric acid	1.52	1.53
Palmitic acid	25.32	25.37
Stearic acid	2.30	2.35
Oleic acid	6.42	6.41
Linoleic acid	37.58	37.62
Linolenic acid	12.97	13.02

- 미생물 수

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강가루와 열풍건조한 생강가루 중에 존재하는 미생물 수의 결과는 아래 표 19와 같다.

표 19. 건조 생강가루의 미생물 수

건조방법 \ 미생물	일반세균 (cfu/g)	효모·곰팡이 (cfu/g)	대장균군 (cfu/g)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 생강가루	$3.5 \times 10^2$	$2.8 \times 10^1$	nd
열풍건조한 생강가루	$4.8 \times 10^4$	$3.5 \times 10^2$	nd

nd: not detect

과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강가루의 일반세균 수는  $3.5 \times 10^2$  cfu/g이었고 효모는  $2.8 \times 10^1$  cfu/g 그리고 대장균군은 검출되지 않았다. 이에 반해 열풍건조한 생강가루의 미생물 수는 일반세균이  $4.8 \times 10^4$  cfu/g을 나타내었고 효모는  $3.5 \times 10^2$  cfu/g을 나타내었다. 그리고 대장균군은 검출되지 않았다. 이 결과로 볼 때 과열증기 건조 후 열풍건조한 생강가루가 열풍건조한 생강가루에 비하여 일반세균 및 효모의 수에 있어서 감소한 결과를 나타내었는데 이는 과열증기의 높은 온도에 의한 생강의 표면 살균에 기인하는 것으로 판단되었다. 따라서 과열증기 처리후 열풍건조할 경우 열풍건조만 할 경우 보다 일반성분 등 생강의 성분변화 없이 미생물에 대한 오염을 줄일 수 있는 효과를 나타내는 방법임을 알 수 있었다.

- 미세구조 관찰

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 주사전자현미경에 의한 미세구조를 관찰한 결과는 그림 와 같다. 그림 3-114, 3-115에서 보는 바와 같이 생강의 경우 과열증기 처리후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 생강의 내부조직에 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 당근의 내부구조를 관찰한 결과, 즉 과열증기 처리후 열풍건조한 당근의 내부조직이 열풍건조만한 당근에 비하여 조금 개열되어 있는 것을 볼 수가 있었는데 생강의 경우는 이와는 조금 다른 결과를 나타내었는데 이는 당근과 생강의 내부조직의 단단한 정도 및 특성에 기인한 것으로 판단된다.

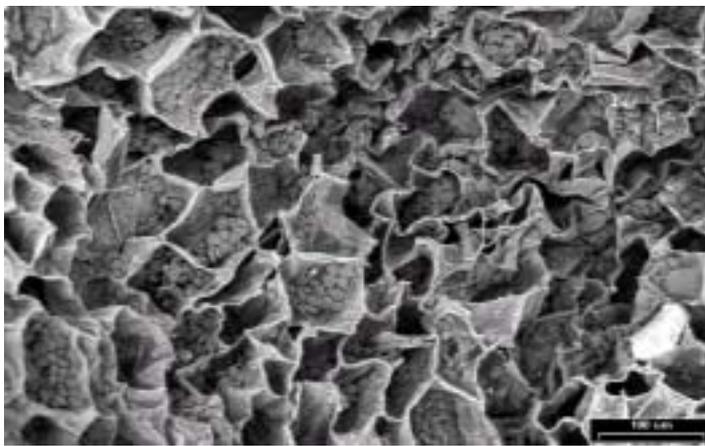


그림 3-114. 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강의 내부조직

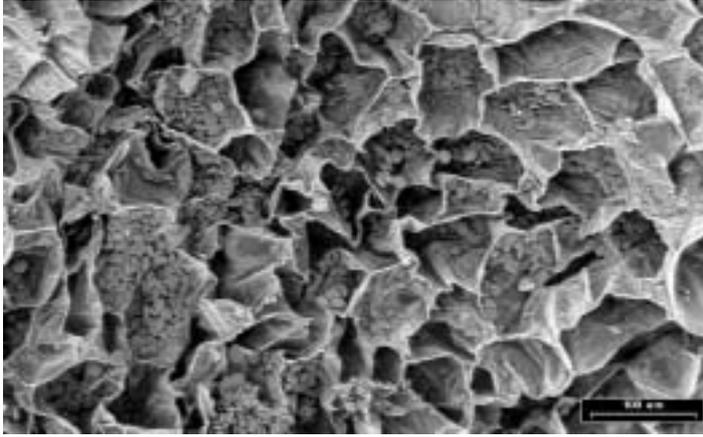


그림 3-115. 열풍건조한 생강의 내부조직

- 관능검사

과열증기 처리 후 열풍건조한 생강가루와 열풍건조한 생강가루를 색, 향기 및 종합적 기호도에 대하여 특성 차이검사 및 기호도 검사를 실시하였고 색 및 향기의 관능검사는 9점 평점법에 의해, 종합적 기호도는 9점 기호도 척도법에 의하여 실시한 결과는 표 20과 같다.

표 20. 건조된 생강의 관능검사

건조방법 \ 항목	색깔	향기	종합적 기호도
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 생강분말	5.7	6.3	5.9
열풍건조한 생강분말	5.8	5.9	6.0

과열증기 처리후 열풍건조한 생강가루와 열풍건조만한 생강가루를 동결건조한 생강가루와의 차이특성 검사로 색깔, 향기에 대하여 관능평가한 결과 과열증기 건조후 열풍 건조 처리한 생강분말의 경우 색깔 5.7, 향기 6.3을 나타내었고 열풍건조한 생강분말의

경우는 색깔 5.8, 향기 5.9를 나타내어 두 시료간 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 종합적 기호도도 각각 5.9, 6.0으로 두 시료간 관능평가에 큰 차이를 나타내지 않았다.

#### 라. 생강 건조 특성

생강의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강이 열풍건조로만 건조한 생강에 비하여 약 2배정도의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 건조된 생강가루의 미생물수의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 생강이 열풍건조로만 건조한 생강에 비하여 일반세균은  $1.3 \times 10^2$  cfu/g, 효모·곰팡이의 수는  $0.7 \times 10^1$  cfu/g 가 감소한 결과를 나타내었다. 이는 과열증기의 높은 온도에 의한 생강의 표면 및 내부에 존재하는 미생물들의 일부 살균에 기인하는 것으로 판단되었다. 그리고 일반성분, 색깔 및 갈변도, 무기질, 지방산, 관능평가 및 미세구조에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과로 볼 때 생강의 경우도 과열증기 건조처리 후 열풍건조하는 방법이 기존의 열풍건조 방법에 비하여 성분의 큰 변화 없이 건조시간의 단축과 잔존 미생물수의 오염을 줄일 수 있는 기술임을 확인하였다.

#### 4. 과열증기를 이용한 인삼 건조 시험

##### 가. 실험재료

인삼은 경동시장에서 2004년 생산된 4년근 수삼을 구입하여 깨끗이 세척한 후 3mm 두께로 절단하여 과열증기 건조후 열풍건조와 열풍건조 실험을 실시하였다.

##### 나. 실험방법

###### 1) 건조방법

인삼의 과열증기 건조는 sliced 인삼 2.0Kg을 과열증기 챔버안에 넣고 과열증기 온도를 180℃에서 습도 25%를 유지한 채 건조를 실시한 후 초기치 생강의 색깔이 변화기 직전의 시점까지 건조한 후 곧 바로 과열증기 처리에 의한 건조를 멈추고 열풍건조 시스템으로 전환하여 50℃에서 열풍건조를 계속 실시하였다. 그리고 열풍건조는 과열증기 처리 장치를 열풍건조 시스템으로 하여 50℃에서 열풍건조를 실시하였다.

###### 2) 인삼의 건조율

sliced 인삼의 건조율은 인삼 2.0 kg을 건조 챔버에 넣고 건조시간에 따라 무게를 측정하여 초기치 인삼 무게에서 건조시간에 따라 감소하는 양을 측정하면서 과열증기 처리후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼간의 건조율을 계산하여 비교하였다.

###### 3) 건조방법에 따른 인삼분말의 품질특성 조사

###### - 일반성분

인삼분말의 일반성분은 AOAC 법에 준하여 실시하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 Buchi 사의 Model 430 Digestor 로 분해하여 Model 325 N<sub>2</sub> distillation unit로 증류시킨 후 전질소량을 구한 다음 질소계수 6.25를 곱하여 구하였고 조섬유는 1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 1.25% NaOH 분해법으로 정량하였으며 회분은 550℃ 회화법을 이용하여 분석하였다.

- 무기질

건조된 인삼분말 0.2g을 회화용 도가니에 취하여 500℃에서 2시간 회화시켜 냉각한 후 이에 탈이온 증류수 10여 방울과 질산용액(HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O = 1:1 희석액) 3ml를 조심스럽게 가하고 100℃의 열판에서 과량의 질산을 제거하였다. 이를 다시 500℃ 회화로에서 1시간 동안 회화시킨 다음 염산용액(HCL : H<sub>2</sub>O = 1:1 희석액)으로 50ml 가 되게 정용하여 시료로 사용하였다. 이액을 ICP(Inductively Coupled Plasma) AES(Atomic Emission Spectrometer)에 주입하여 무기성분을 분석하였다.

- 유리당

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼분말의 유리당 함량은 시료 5g에 10배량의 80% 에탄올을 가하여 75℃수욕조에서 환류법으로 4회 반복 추출 여과한 다음 감압 농축하였다. 농축 잔유물을 물에 용해시킨 다음 분액 여두에 넣고 에테르로 추출 분획하여 지방질 성분을 제거 시켰다. 이후 다시 그 수층을 수포화 n-부탄올로 추출 분획하여 사포닌 성분을 제거시킨 후 수층을 농축하고 10 mL의 물에 용해하여 HPLC를 이용하여 Lichrosorb-NH<sub>2</sub> column에 아세토니트릴/물(84:16, v/v)을 이동상으로 하여 굴절율 검출기로 검출 정량하였다.

- 조사포닌

과열증기 건조후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼을 마쇄하여 분말로 제조한 후 조사포닌 함량 분석은 butanol 추출 증량법에 의하여 실시하였다. 인삼분말 시료 2g에 80% 메탄올 100 mL을 첨가하고 환류냉각 장치를 이용하여 80℃에서 2회 반복 추출한 후 추출물을 모아 감압 농축한 후 농축물을 20 mL 증류수에 녹여 250mL 분액여두에 옮겨 에틸 에테르 20mL을 이용하여 농축물을 세척한 후 물포화 부탄올 20 mL을 이용하여 3회 반복하여 추출하였다. 추출된 물포화 부탄올층을 함께 모아 분액여두에 옮기고 60 mL 증류수로 2회 세척 후 부탄올 층을 칭량한 농축수기에 옮기고 감압 농축한 다음 정확히 칭량하여 수기 무게로부터 조사포닌 함량을 구하였다.

- 색깔

과열증기 건조후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼을 마쇄후 분말로 제조한 후 색깔은 색차계(Model 600-UC-IV, Yasuda, Japan)로 측정하였으며 Hunter Color Scale에 의해 L값(명도), a값(+:적색, -:녹색), b값(+:황색, -:청색)값으로 나타내었다. 이때 사용

한 표준판의 L, a, b값은 각각 89.2, 0.921 및 0.78이었다.

- 미생물 수

인삼분말의 일반세균수, 효모/곰팡이와 대장균 균 수 측정은 건조배지 3M사로부터 구입하여 이용하였다. 일반세균수는 Petrifilm aerobic count(PCA, 3M)배지로 37℃, 24시간 배양하여 측정하였고 효모/곰팡이는 Petrifilm yeast and mold count(PYMC, 3M) 배지를 이용하여 21~25℃ 암소에서 3~5일 배양 후 측정하였으며 대장균 균은 Petrifilm coliform count(PCC, 3M)배지로 35℃, 24시간 배양 하여 colony 주위에 기포가 형성되어 있는 red colony를 coliform 수로 측정하였다. 미생물 균수는 log colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

- 미세구조 관찰

건조된 인삼의 세포조직은 pH 6.8인 2% glutaraldehyde와 0.05M Na cacodylate 용액에 넣어 얼음속에서 30분간 전처리를 한 다음 2시간 마다 용액을 3회 교환 한 후 24시간 4℃에서 방치하였다. 방치한 시료를 2% OSO4 용액에서 30분 동안 조직을 고정화 시킨 후 30%, 50%, 70%, 95%, 100% 알코올 용액 순으로 탈수시켰다. 탈수시킨 시료는 액체 질소안에서 냉동시킨 다음 절단하여 냉동건조기(freezing dryer)를 이용해서 건조하였다. 건조된 시료는 gold-polladium으로 코팅하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope)에서 면밀하게 미세구조를 관찰한 후 해당 부위를 촬영하였다.

- 관능검사

건조된 인삼분말의 관능검사를 위하여 인삼고유의 색깔, 향미, 맛에 대하여 강도테스트 그리고 종합적 기호도에 대하여 훈련된 관능요원 25명을 선발하여 9점 평점법으로 실시하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 인삼의 건조율

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼의 건조율을 비교 분석한 결과는 그림 3-116과 같다.

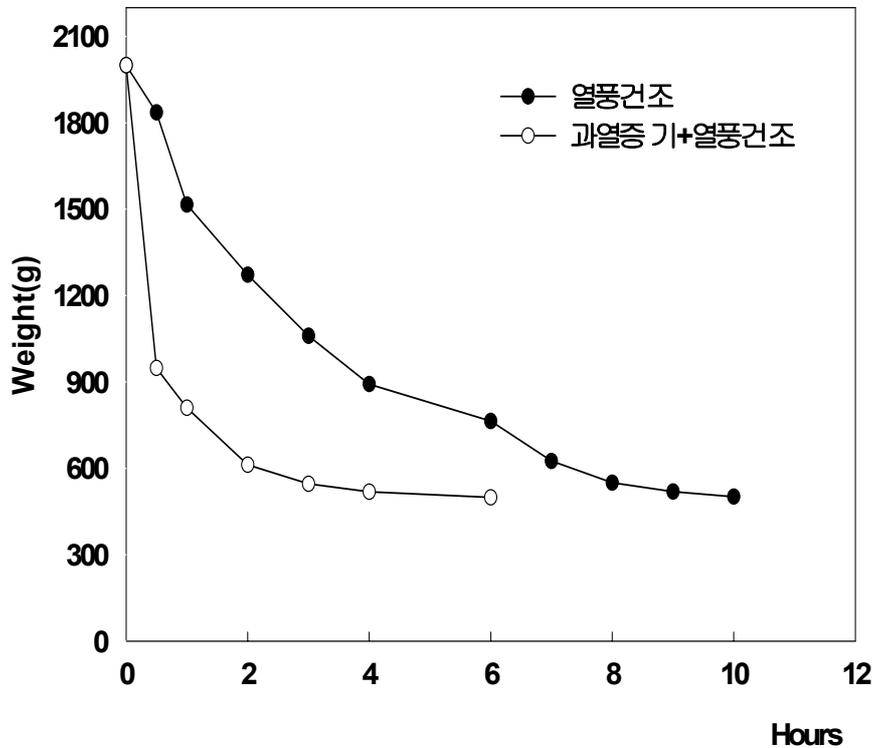


그림 3-116. 과열증기 건조처리 후 열풍건조 및 열풍건조한 인삼의 건조율

sliced 인삼 2,000g을 과열증기 처리 장치의 챔버에 넣고 과열증기 온도 180℃, 내부 습도 25%를 유지하여 인삼의 고유의 색깔이 유지되는 약 15분간 건조를 실시한 후의 인삼무게는 948g을 나타내었다. 이후 열풍건조 시스템으로 전환하여 50℃에서 열풍건조를 실시하였는데 1시간 경과 후 810g, 2시간 경과 후 612g, 3시간 경과 후 546g, 4시간 경과 후 518g 그리고 6시간 경과 후 499g을 나타내었다. 이에 반해 초기부터 열풍건조로만 건조한 인삼의 경우 초기치 2,000g에서 30분 경과 후 1,836g, 1시간 경과 후 1,516g, 2시간 경과 후 1,272g, 3시간 경과 후 1,060g, 4시간 경과 후 892g, 6시간 경과

후 784g, 8시간 경과 후 550g, 그리고 10시간 경과 후 501g을 나타내었다. 이 결과에 의하여 과열증기 처리후 열풍건조한 인삼의 건조율과 처음부터 열풍건조한 인삼의 건조율을 비교해볼 때 약 80%의 건조효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 과열증기 처리후 열풍건조한 인삼의 경우 초기치 2,000g에서 약 1/4인 500g으로 감소하는데 걸린 시간이 약 6시간이었으나 처음부터 열풍건조한 인삼의 경우 초기치 2,000g에서 1/4인 500g으로 감소하는데 걸린 시간은 약 10시간으로 약 4시간의 빠른 건조효과를 나타내었기 때문이다.

## 2) 건조방법에 따른 인삼분말의 품질특성 조사

### - 일반성분

과열증기 처리 후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼의 일반성분의 변화를 살펴본 결과는 아래 표 21과 같다.

표 21. 건조 인삼분말의 일반성분

건조방법 \ 항목	조지방 (%)	조단백질 (%)	조섬유 (%)	회분 (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	1.01	12.8	5.42	3.89
열풍건조한 인삼분말	1.01	12.6	5.43	3.99

표 21에서 보는 바와 같이 과열증기 처리후 열풍건조한 인삼의 조지방 함량은 1.01%, 조단백질 함량은 12.8%, 조섬유 함량은 5.42% 그리고 회분 함량은 3.89%이었다. 이와함께 열풍건조한 인삼의 일반성분의 경우 조지방 함량이 1.01%, 조단백질 함량이 12.6%, 조섬유 함량이 5.43% 그리고 회분 함량이 3.99%를 나타내어 과열증기 처리후 열풍건조한 시료와 열풍건조한 한 시료간에는 일반성분의 함량에서 차이가 없었다.

- 무기질

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말의 무기질 함량의 결과는 표 22와 같다.

표 22. 건조 인삼분말의 무기질

건조방법 \ 항목	칼슘 (mg%)	철 (mg%)	인 (mg%)	나트륨 (mg%)	칼륨 (mg%)	망간 (mg%)	구리 (mg%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	0.33	86.3	0.3	2.1	1.24	0.12	7.65
열풍건조한 인삼분말	0.32	85.8	0.3	2.0	1.25	0.12	7.56

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말의 무기질 함량은 칼슘 0.33 mg%, 철 86.3 mg%, 인 0.3mg%, 나트륨 2.1 mg% 칼륨 1.24 mg% 망간 0.12 mg% 구리 7.65 mg% 를 나타내었다. 그리고 열풍건조한 인삼분말의 무기질 함량은 칼슘 0.32 mg%, 철 85.8 mg%, 인 0.3 mg%, 나트륨 2.0 mg%, 칼륨 1.25 mg%, 망간 0.12 mg%, 구리 7.56 mg%를 나타내었다. 과열증기 처리 후 열풍건조한 인삼분말의 무기질 함량과 열풍건조한 무기질 함량을 비교해 볼 때 일반성분의 함량과 마찬가지로 두 시료간 차이를 나타내지 않았다. 따라서 기존의 인삼건조 열풍건조 방법에 비하여 과열증기 처리하는 건조하는 방법은 인삼성분의 변화 없이 건조시간의 단축을 가져올 수 있는 건조방법으로 판단되었다.

- 유리당

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말의 유리당 함량의 결과는 표 23과 같다.

표 23. 건조 인삼분말의 유리당

건조방법 \ 항목	Fructose (%)	Glucose (%)	Sucrose (%)	Maltose (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	0.35	0.55	5.78	8.85
열풍건조한 인삼분말	0.34	0.56	5.69	8.87

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말의 유리당 함량은 fructose가 0.35%, glucose가 0.55%, sucrose가 5.78% 그리고 maltose가 8.85%를 나타내었고 열풍건조한 인삼분말의 경우 fructose가 0.34%, glucose가 0.56%, sucrose가 5.69% 그리고 maltose가 8.87%를 나타내어 두 시료간 큰 차이를 나타내지 않았다.

- 조사포닌

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말의 조사포닌 함량의 결과는 표 24와 같다.

표 24. 건조 인삼분말의 조사포닌 함량

건조 방법	조사포닌 (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	5.43
열풍건조한 인삼분말	5.40

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말의 조사포닌 함량은 5.43%, 그리고 열풍건조한 인삼분말의 조사포닌 함량은 5.40%로 두 시료간 큰 차이를 나타내지 않았다. 인삼 사포닌의 경우 방사선 조사나 또는 오전처리 및 전자선 처리 등의 방법에 의해서는 사포

닌의 함량이 일부 감소하는 결과를 초래하는 것으로 보고되고 있으나 인삼의 180℃의 과열증기에 의한 처리시 조사포닌의 함량에는 큰 변화를 일으키지 않은 것으로 확인되었고 또한 인삼의 경우 홍삼제조시 증숙처리 과정에 의하여 각종 유용한 사포닌 성분들이 생성되는 점을 고려할 때 인삼의 건조 방법으로 과열증기 처리방법은 영양학적 및 효능적인 관점에서도 매우 유용한 건조방법이 될 것으로 판단된다.

- 색깔

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말의 색깔 측정 결과는 표 25와 같다.

표 25. 건조 인삼분말의 색깔

건조방법 \ 항목	L값	a값	b값	ΔE값
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	73.1	0.44	17.4	1.10
열풍건조한 인삼분말	73.2	0.37	17.8	1.09

표 25에서 보는 바와 같이 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 인삼분말의 색깔의 경우 L값이 73.2, a값이 0.37, b값이 17.8 그리고 ΔE값이 1.09를 나타내었고 열풍건조한 인삼분말은 L값이 73.1 a값이 0.44, b값이 17.4 그리고 ΔE값이 1.10을 나타내었다. 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말과의 색깔비교에서 전체적으로 큰 차이를 나타내지 않았으나 적색도를 나타내는 a값에서 약간의 차이를 나타내는 것을 볼 수 있었다. 즉, 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 인삼분말의 경우 a값이 0.44로 열풍건조한 인삼분말 0.37에 비하여 조금 증가한 것으로 나타났는데 이는 수삼을 내부습도가 25% 되는 상태에서 180℃의 높은 증기로 건조처리 함으로써 수삼을 홍삼으로 제조하는 방법이 일부 적용되는 과정에서 발생하는 약간의 색깔 변화에 기인하는 것으로 판단된다.

- 미생물 수

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말의 미생물 균수 측정 결과는 표 26과 같다.

표 26. 건조 인삼분말의 미생물 수

건조방법 \ 미생물	일반세균 (cfu/g)	효모·곰팡이 (cfu/g)	대장균군 (cfu/g)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	$6.13 \times 10^2$	$4.54 \times 10^2$	$2.32 \times 10^1$
열풍건조한 인삼분말	$4.57 \times 10^4$	$2.72 \times 10^4$	$1.02 \times 10^2$

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼분말의 미생물 균수의 측정 결과 표 26에서 보는 바와 같이 일반세균이  $6.13 \times 10^2$  cfu/g, 효모·곰팡이가  $4.54 \times 10^2$  cfu/g 그리고 대장균군이  $2.32 \times 10^1$  cfu/g을 나타내었다. 그리고 열풍건조한 인삼분말의 경우는 일반세균이  $4.57 \times 10^4$  cfu/g, 효모·곰팡이가  $2.72 \times 10^4$  cfu/g 그리고 대장균군이  $1.02 \times 10^2$  cfu/g를 나타내었다. 이러한 결과는 고춧가루, 당근, 생강의 미생물 균수 측정에 있어서와 마찬가지로 과열증기 건조후 열풍건조한 인삼분말이 열풍건조한 인삼분말에 비하여 미생물의 균수에 있어서 감소한 결과를 나타낸 것을 볼 수 있었다. 이는 과열증기에 의한 건조시 과열증기의 높은 온도에 의한 시료의 표면에 존재하는 미생물들의 일부 사멸에 기인하는 것으로 판단되며 과열증기 건조 시스템은 인삼분말의 초기 미생물수를 감소시킴으로 인삼제품들의 국외수출시 엄격하게 적용되는 미생물수의 기준에 부합되도록 가공 할 수 있는 건조기술이라 판단된다.

- 미세구조 관찰

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼 내부의 미세구조 관찰결과는 그림 3-117, 3-118과 같다.

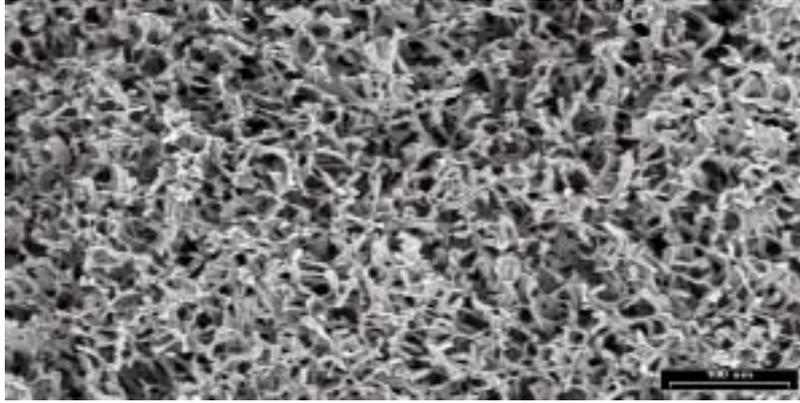


그림 3-117. 과열증기 건조 처리 후 열풍건조한 인삼의 내부조직

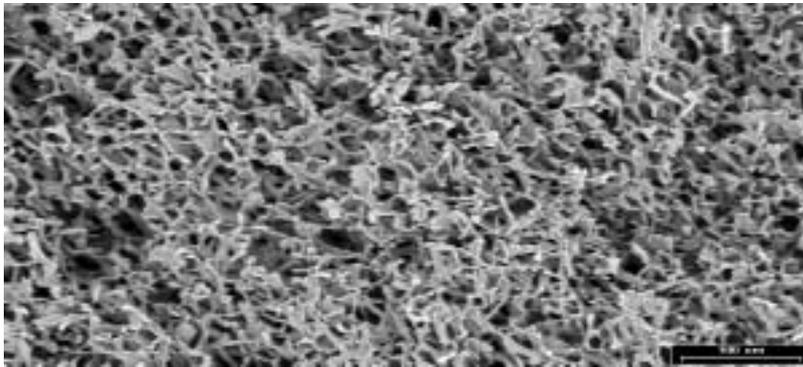


그림 3-118. 열풍건조한 인삼의 내부구조

과열증기 처리후 열풍건조한 인삼과 열풍건조한 인삼의 내부구조 관찰 결과를 살펴볼 때 인삼의 내부조직에 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다. 이는 위에서 실험한 건조 당근의 내부조직과 조금 차이가 있었고 반면 건조생강의 내부조직과 비슷한 결과를 나타내었다. 당근에 비하여 인삼의 내부조직이 좀더 단단한 구조로 결착되어 있기 때문으로 판단되었다.

#### - 관능검사

과열증기 건조 후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말에 대하여 색깔, 향기 및 맛에 대한 강도 테스트를 평점법으로 실시한 관능검사와 종합적 기호도에 대한 조사 결과는 표 27과 같다.

표 27. 건조된 인삼분말의 관능평가

건조방법 \ 항목	색깔	향기	맛	종합적 기호도
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 인삼분말	6.8	6.3	6.9	6.8
열풍건조한 인삼분말	7.0	6.2	6.9	6.9

표 27에서 보듯이 색깔 강도 테스트에서 인삼분말 고유의 색깔, 향기 및 맛에 대한 평점은 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 인삼분말이 각각 6.8, 6.3, 6.9를 나타내었고 열풍건조한 인삼분말은 각각 7.0, 6.2, 6.9를 나타내었다. 이 결과를 볼 때 과열증기 건조 후 열풍건조한 인삼분말과 열풍건조한 인삼분말의 시료간에는 관능적으로 큰 차이가 없었다. 그리고 종합적 기호도에 있어서도 과열증기 건조후 열풍건조한 시료와 열풍건조한 시료가 각각 6.8, 6.9로 관능적 차이를 나타내지 않았다.

#### 라. 인삼 건조 특성

과열증기 건조처리 후 열풍건조한 인삼이 열풍건조로만 처리한 인삼에 비하여 건조 효과에서 약 80%의 빠른 건조효과를 나타내었고 인삼분말의 미생물 수의 경우에도 있어서도 일반세균 및 효모·곰팡이 및 대장균군 수에서 모두 감소 효과를 나타내었다. 특히 인삼분말 중의 미생물 수의 감소 효과를 고려할 때 인삼제품들의 국외 수출시 엄격하게 적용되는 미생물 수의 기준에 부합되도록 건조할 수 있는 기술이라 판단되었다. 또한 인삼의 경우 홍삼제조시 증숙처리 과정에 의하여 각종 유용한 사포닌 성분들이 생성되는 점을 고려할 때 인삼의 건조 방법으로 과열증기 처리방법은 영양학적 및 효율적인 관점에서 매우 유용한 건조방법이 될 것으로 판단되었다. 그리고 인삼분말의 일반성분, 무기질, 유리당, 조사포닌, 색깔, 내부조직 및 관능평가에서 건조처리 방법에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

## 5. 과열증기를 이용한 표고버섯 건조특성

### 가. 실험재료

표고버섯은 시중 이마트에서 구입하여 깨끗이 세척한 후 적당한 두께로 절단하여 과열증기 건조후 열풍건조와 열풍건조 실험을 실시하였다.

### 나. 실험방법

#### 1) 건조방법

표고버섯의 과열증기 건조는 sliced 표고버섯 2.5 Kg을 과열증기 챔버안에 넣고 과열증기 온도를 180℃에서 습도 20%를 유지한 채 건조를 실시한 후 초기치 표고버섯의 색깔이 변하기 바로 직전의 시점까지 건조한 후 곧 바로 과열증기 처리에 의한 건조를 멈추고 열풍건조 시스템으로 전환하여 50℃에서 열풍건조로 계속 건조를 실시하였다. 그리고 열풍건조는 과열증기 처리 장치를 열풍건조 시스템으로 하여 50℃에서 열풍건조를 실시하였다.

#### 2) 표고버섯의 건조율

표고버섯의 건조율은 표고버섯 2.5kg을 건조 챔버에 넣고 건조시간에 따라 무게를 측정하여 초기치 버섯 무게에서 건조시간에 따라 감소하는 양을 측정하면서 과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯과 열풍건조한 표고버섯간의 건조율을 계산하여 비교하였다.

#### 3) 건조방법에 따른 표고버섯 분말의 품질특성 조사

##### - 일반성분

건조된 표고버섯의 일반성분은 AOAC 법에 준하여 실시하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 Buchi 사의 Model 430 Digestor 로 분해하여 Model 325 N<sub>2</sub> distillation unit로 증류시킨 후 전질소량을 구한 다음 질소계수 6.25를 곱하여 구하였고

조섬유는 1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 1.25% NaOH 분해법으로 정량하였으며 회분은 550℃ 회화법을 이용하여 분석하였다.

- 색깔

과열증기 건조후 열풍건조한 표고버섯과 열풍건조한 표고버섯을 마쇄후 분말로 제조한 후 색깔은 색차계(Model 600-UC-IV, Yasuda, Japan)로 측정하였으며 Hunter Color Scale에 의해 L값(명도), a값(+:적색, -:녹색), b값(+:황색, -:청색)값으로 나타내었다. 이때 사용한 표준판의 L, a, b값은 각각 99.9, 0.01 및 0.01이었다.

- 미생물 수

표고버섯 분말의 일반세균수, 효모/곰팡이와 대장균군 수 측정은 건조배지 3M사로부터 구입하여 이용하였다. 일반세균수는 Petrifilm aerobic count(PCA, 3M)배지로 37℃, 24시간 배양하여 측정하였고 효모/곰팡이는 Petrifilm yeast and mold count(PYMC, 3M) 배지를 이용하여 21~25℃ 암소에서 3~5일 배양 후 측정하였으며 대장균 군은 Petrifilm coliform count(PCC, 3M)배지로 35℃, 24시간 배양 하여 colony 주위에 기포가 형성되어 있는 red colony를 coliform 수로 측정하였다. 미생물 군수는 log colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.

- 미세구조 관찰

건조된 표고버섯의 세포조직은 pH 6.8인 2% glutaraldehyde와 0.05M Na cacodylate 용액에 넣어 얼음속에서 30분간 전처리를 한 다음 2시간 마다 용액을 3회 교환 한 후 24시간 4℃에서 방치하였다. 방치한 시료를 2% OSO<sub>4</sub> 용액에서 30분 동안 조직을 고정화 시킨 후 30%, 50%, 70%, 95%, 100% 알코올 용액 순으로 탈수시켰다. 탈수시킨 시료는 액체 질소안에서 냉동시킨 다음 절단하여 냉동건조기(freezing dryer)를 이용해서 건조하였다. 건조된 시료는 gold-polladium으로 코팅하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope)에서 면밀하게 미세구조를 관찰한 후 해당 부위를 촬영하였다.

- 관능검사

건조된 표고버섯의 관능검사를 위하여 색깔, 향미, 맛에 대하여 강도테스트 그리고 종합적 기호도에 대하여 훈련된 관능요원 25명을 선발하여 9점 평점법으로 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 표고버섯의 건조율

과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯과 열풍건조한 표고버섯의 건조율을 조사한 결과는 그림 3-119와 같다.

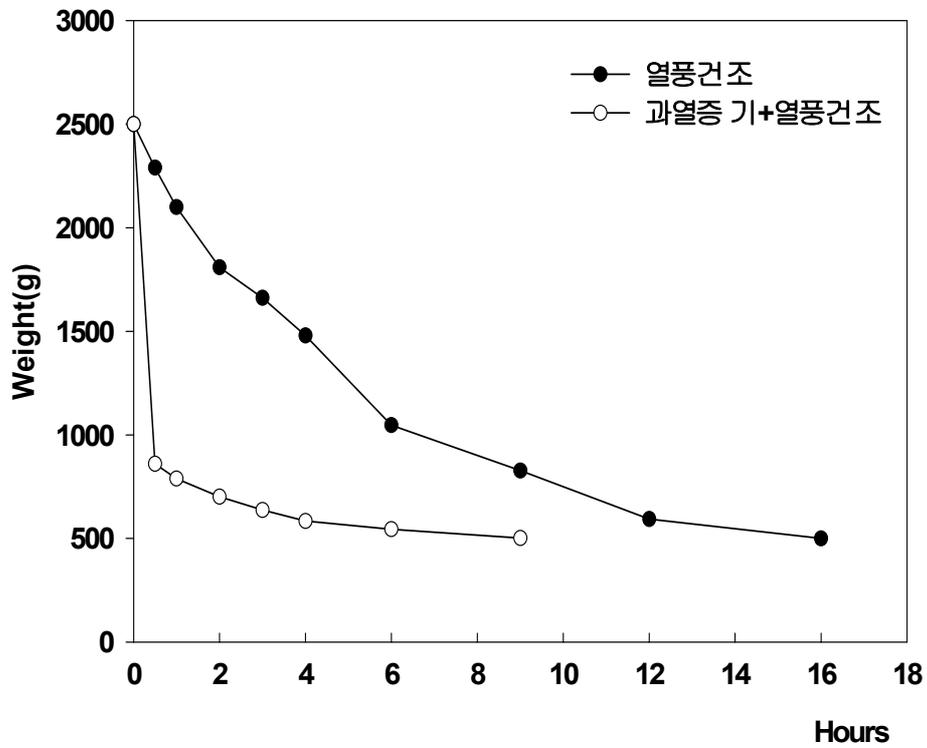


그림 3-119. 과열증기 건조처리 후 열풍건조 및 열풍건조한 표고버섯의 건조율

그림 3-119에서 볼 수 있듯이 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 표고버섯과 열풍건조로만 건조한 표고버섯의 건조율에 차이가 있었다. 즉 과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯의 경우 표고버섯의 초기치 무게 2,500g에서 수분함량 약 10%의 표고버섯 분말까지 건조하는데 소요된 시간은 약 9시간으로 나타내었다. 그러나 열풍건조로만 계속 건조한 표고버섯의 경우 약 16시간이 소요되어 과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯의 건조율이 훨씬 단축된 것으로 나타났다. 특히 이러한 건조시간의 단축은 과열증기 처리에 의한 표고버섯의 건조에 기인함을 알 수 있는데 표고버섯을 과열증기 처리로 1시간 처리하였을 경우 초기치 2,500g에서 789g으로 급속히 수분함량이 감소한 결과 때문임을 알 수 있었다. 따라서 표고버섯의 건조도 기존의 열풍건조에 의한 방법보다 과열증기 처리에 의한 건조후 열풍건조 처리를 하는 것이 건조시간을 단축할 수 있는 방법임을 확인할 수 있었다.

## 2) 건조방법에 따른 표고버섯 분말의 품질특성 조사

### - 일반성분

과열증기 처리후 열풍건조한 생강과 열풍건조한 표고버섯의 일반성분의 변화를 살펴본 결과는 아래 표 28과 같다.

표 28. 건조 표고버섯 분말의 일반성분

건조방법 \ 항목	조지방 (%)	조단백질 (%)	조섬유 (%)	회분 (%)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 표고버섯 분말	2.1	14.3	4.9	5.4
열풍건조한 표고버섯 분말	2.0	14.6	5.2	5.2

표 28에서 보는 바와 같이 과열증기 건조후 열풍건조처리한 표고버섯 분말의 조지방 함량은 2.0%, 조단백질 함량은 14.3%, 조섬유 함량은 4.9% 그리고 회분 함량은 5.4%이

었다. 그리고 열풍건조한 표고버섯 분말의 조지방 함량은 2.0%, 조단백질 함량은 14.6%, 조섬유 함량은 5.2% 그리고 회분 함량은 5.2%이었다. 두 시료간 일반성분의 함량을 비교해 볼 때 큰 차이가 없는 것을 확인 할 수 있었다.

- 색깔

과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯 분말과 열풍건조한 표고버섯 분말의 색깔측정 결과는 표 29와 같다.

표 29. 건조 표고버섯 분말의 색깔

건조방법 \ 항목	L값	a값	b값	ΔE
과열증기 건조후 열풍 건조 처리한 표고버섯 가루	75.90	2.56	12.78	20.81
열풍건조한 표고버섯 가루	75.52	2.65	12.96	21.24

건조한 표고버섯 분말의 색깔의 경우 과열증기 처리후 열풍건조한 시료의 경우 L값이 75.9, a값이 2.56, b값이 12.78 그리고 ΔE값이 20.81를 나타내었고 열풍건조로만 건조한 표고버섯 분말의 색깔은 L값이 75.52, a값이 2.65 b값이 12.96 그리고 ΔE값이 21.24를 나타내었다. 두 시료의 색깔을 비교해볼 때 큰 차이는 나타내지 않았다.

- 미생물 수

과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯 분말과 열풍건조한 표고버섯 분말의 미생물 균수 측정 결과는 표 30과 같다.

표 30. 건조 표고버섯 분말의 미생물 수

건조방법 \ 미생물	일반세균 (cfu/g)	효모·곰팡이 (cfu/g)	대장균군 (cfu/g)
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 표고버섯 분말	$3.8 \times 10^1$	$1.6 \times 10^1$	n.d
열풍건조한 표고버섯 분말	$7.5 \times 10^2$	$3.2 \times 10^1$	n.d

n.d: not detect

건조한 표고버섯 분말의 미생물 수를 살펴본 결과 과열증기 건조 후 열풍건조 처리한 표고버섯 분말의 경우 일반세균이  $3.8 \times 10^1$  cfu/g 검출되었고 효모·곰팡이는  $1.6 \times 10^1$  cfu/g 그리고 대장균군은 검출되지 않았다. 열풍건조한 표고버섯 분말의 경우는 일반세균이  $7.5 \times 10^2$  cfu/g 검출되었고 효모·곰팡이는  $3.2 \times 10^1$  cfu/g 그리고 대장균군은 과열증기 처리한 시료와 마찬가지로 검출되지 않았다. 표고버섯의 건조후 미생물 수의 변화에 있어서는 고추, 당근, 생강, 인삼의 건조와 동일하게 과열증기 처리에 의한 건조로 시료에 잔존되어 있는 미생물들의 살균이 어느 정도 이루어진 결과에 기인하여 열풍건조로만 건조한 시료에 비하여 미생물 수가 감소하였음을 확인 할 수 있었다.

- 미세구조 관찰

과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯과 열풍건조한 표고버섯 내부의 미세구조 관찰 결과는 그림 3-120, 3-121과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 표고버섯의 내부 조직에 있어서 과열증기 처리한 표고버섯과 열풍건조한 표고버섯에 있어서 차이가 없었다.

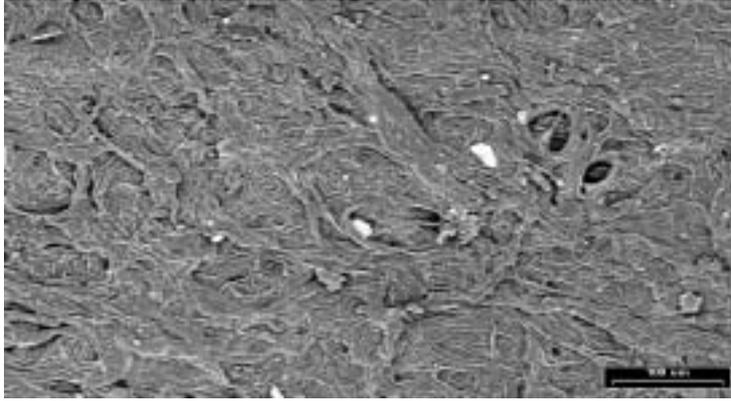


그림 3-120. 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 표고버섯의 내부조직

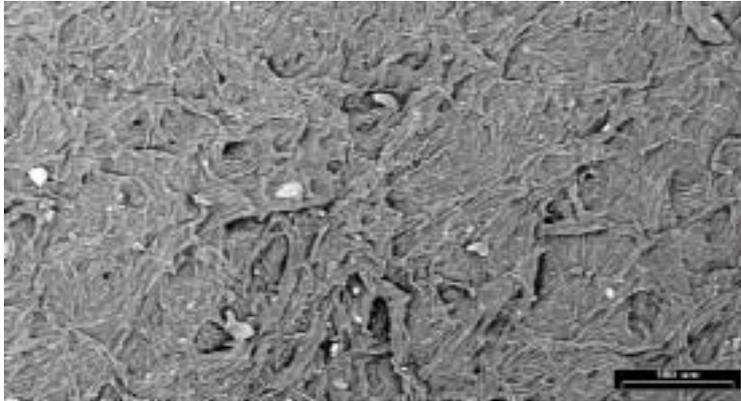


그림 3-121. 열풍건조한 표고버섯의 내부조직

- 관능검사

과열증기 처리후 열풍건조한 표고버섯과 열풍건조한 표고버섯의 관능평가 결과는 표 31과 같다. 표 31에서 보는 바와 같이 과열증기 건조후 열풍건조 처리한 표고버섯과 열풍건조로 건조한 표고버섯 분말의 관능평가 비교에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 색깔의 경우 각각 7.4, 7.2의 관능평가로 유의적인 차이가 없었고 향기와 맛 및 종합적 기호도에 있어서도 시료간 관능적 차이를 나타내지 않았다.

표 31. 건조된 표고버섯 분말의 관능평가

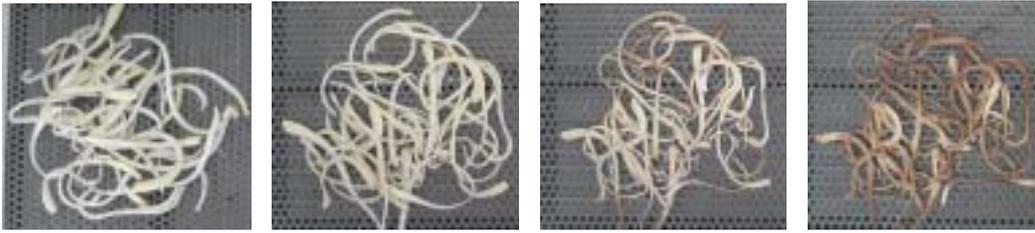
건조방법 \ 항목	색깔	향기	맛	종합적 기호도
과열증기 건조후 열풍 건조처리한 표고버섯 분말	7.4	6.3	6.5	6.8
열풍건조한 표고버섯 분말	7.2	6.5	6.7	6.7

#### 라. 표고버섯 건조특성

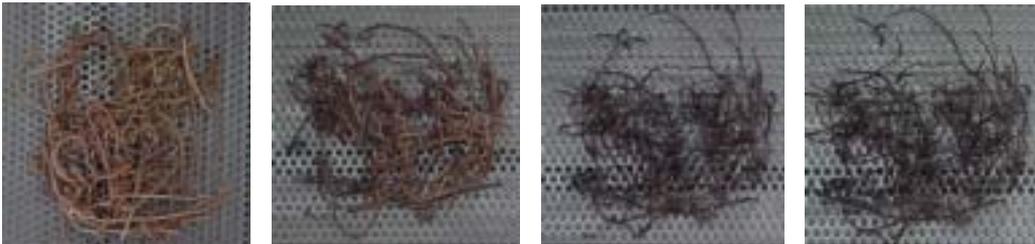
표고버섯의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 시료가 열풍건조로만 처리한 시료에 비하여 85%의 건조효과를 나타내어 표고버섯의 건조도 기존의 열풍건조에 의한 방법보다 과열증기 건조처리 후 열풍건조하는 방법이 건조시간을 단축할 수 있는 기술임을 확인하였다. 표고버섯의 건조후 미생물 수의 변화에 있어서는 고추, 당근, 생강, 인삼의 건조와 동일하게 과열증기 건조처리 후 열풍건조한 시료가 미생물수의 감소 효과를 나타내었다. 그리고 표고버섯의 일반성분, 색깔, 내부조직 및 관능평가에 있어서는 두 처리구간 차이가 없었다.

## 6. 기타 식품의 건조 연구 결과

과열 증기를 이용한 건조 장치를 테스트하기 위하여 여러 식품을 여러 조건에서 테스트를 실시하였다. 실험 초기에는 최적의 건조 조건을 맞추기 어려워 식품에 많은 손상을 초래하였다. 다음 그림 3-122는 180℃의 건조온도에서 도라지, 고사리, 다시마, 고추 건조의 연속적인 건조 결과 사례를 보인다.



(a) 도라지 건조



(b) 고사리 건조



(c) 다시마 건조



(d) 고추 건조

그림 3-122. 건조 실패 사례(180도, 초기 -> 5분 경과 -> 15분 경과 -> 25분 경과)

연속적인 과열증기 건조실험 결과에서 나타났듯이 과열 증기를 이용한 고온 건조는 건조 초기에는 상당한 건조 효과를 발생하지만, 건조가 오래 지속되면 일반 고온 열풍 건조와 동일하게 식품에 손상이 발생하는 것을 방지하기 어렵다는 것을 알 수 있었다. 결론적으로, 식품을 건조할 때에는 초기에는 고온에서 건조를 하다가 점차 온도를 낮춰 일정 시간 후에는 저온에서 건조를 하는 것이 식품 손상을 막고 빠른 건조효과를 얻는 데에 더욱 효과적이었다.

다음 그림 3-123(a)는 수분 함유량이 많은 식품에 대한 건조실험으로서, 과열 증기를 이용한 고온 열풍건조에서 건조 조건을 초기에 160℃에서 4분 정도 건조를 하고 차츰 온도를 감소시켜 1시간여 경과 후에는 30℃에서 테스트한 다시마 건조 실험 결과 사진이다. 초기에 153.6g을 건조로에 투입하여 1시간 13분 경과 후에 23.33g(15.2%)으로 건조되었다. 그림 3-123(b)는 일반 건조온도(30℃)에서 열풍건조한 다시마 건조 실험 결과 사진이다. 초기에 114.3g을 건조로에 투입하여 3시간 23분 경과 후에 22.5g(19.7%)으로 건조되었다. 그림에서 알 수 있듯이, 두 실험에서 건조 시간은 2배 이상 차이가 나지만, 역시 식품 외형은 거의 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다.



(a) 고온 열풍 건조



(b) 일반 열풍 건조

그림 3-123. 다시마 건조 테스트 결과

## 제 4 장 연구성과 및 활용계획

### 제 1 절 연구개발목표의 달성도

1차년도의 연구 내용은 초고속 증기 유도가열 기술개발을 위한 기본 요소기술 연구 및 소형 실증장치를 통한 식품 적용연구로서 다음 표와 같다.

연구개발 내용 및 범위
- 1kW급 과열증기 발생장치 및 요소기술 연구, 고효율 급속 가열장치 개발
- 급속 에너지 전달을 위한 코일 기술 개발
- 정밀 온도센싱 및 제어 기술, 급속가열 특성을 가지는 적층 증진물(가열기) 설계 기술, 소형 챔버 제작 및 시험
- 챔버 내부의 열전달 분포 현상 분석, 적층 가열용 증진물 개발
- 고추등의 향신료 건조처리 효과 분석
- 색도 갈변도등 이화학적 특성 변화 분석

인버터 장치의 용량은 건조로의 가열 시간을 단축하기 위해 목표보다 약 2kW로 높였으며 최종년도에는 건조로 용량의 증대에 맞추어 6kW로 설계 제작 하였다. 건조로 구성을 위한 유도가열장치와 가열기를 제작하여 증기 발생 시험을 하였으며 건조로를 제작하여 실제 전체 시스템을 구성하여 건조 시험을 수행하였다.

1차년 연구결과, 식품의 손상을 줄이면서 건조용량을 늘리기 위한 방안으로 일정시간 동안 과열증기 처리를 한 후에 저온 열풍건조를 하여 건조시간 단축과 식품 품질 손상을 막도록 하는 것이 유리하다고 판단되었으며 2, 3차년 도에는 이를 위한 장치 설비를 구축 시험하였다.

1차년도 연구결과로서 목표한 핵심 요소기술을 구현하였으며 이의 실험을 통해 차기 년도에서 수행해야 할 연구방향을 정립할 수 있었다.

2차년 도에는 초고속 증기 유도가열 장치의 용량 증대 방안 연구 및 식품의 건조특성 연구가 연구 목표이며 연구내용은 하기와 같다.

연구개발 내용 및 범위
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2kW급 과열증기 발생장치 연구, 실증시험, 급속 가열장치의 대용량화 및 신뢰성 확보 방안 연구</li> <li>- 전력전달 특성 연구, 유도 코일의 내열특성 및 설계 기술</li> <li>- 적층 충전물의 안정화 및 수명연구, 챔버 내열성, 열전달특성 연구</li> <li>- 챔버 내부의 열전달 분포 현상 분석, 당근, 생강등 채소류의 건조특성 연구</li> <li>- 건조 특성 연구, 색도, 향 등의 성분 이화학적 분석</li> </ul>

2차년 도에는 가열기의 장기간 가열을 위해 소재 개선에 주력하였으며 가장 고온과 전식에 우수한 특성을 갖는 금속재료를 찾고 이를 가열기 용도에 맞게 구조를 설계하고 가공하였다. 유도가열 변압기는 3단으로 구성하면서 용량을 높였으며 전체 건조로 제작을 통해 건조시험을 수행하였다. 목표한 채소류의 건조 시험을 하였으며 복합 건조 방식으로 식품 건조 속도와 품질을 개선하기 위한 연구를 수행하였다.

3차년 도는 다양한 응용분야에의 접목연구 및 상용화를 위한 제작 기술 개발 및 다양한 식품군에 대한 실증 데이터를 얻는 것이 목표이었다.

### 연구개발 내용 및 범위

- 건조로 온도제어 및 건조, 살균 특성에 따른 장치 시퀀스 제어 기술 확립
- 각종 장치 보호기술 및 interlock장치 구현
- 챔버의 내열성 확보 및 유해물질 생성방지
- 장치의 경제성 평가 및 제작기술 구축, 다양한 대상물 응용시험
- 상용화를 위한 장치 경제성 평가, 각종 시험 데이터 구축
- 상용화를 위한 장치 제작 및 운전
- 특용작물(수삼, 버섯)의 살균 건조 특성 연구

3차년 도에는 열손실을 줄이기 위해 플랜지 형의 가열기를 제작하였으며 건조로의 용량을 더 크게 구성하였다. 제작한 장치를 이용하여 목표로 한 식품 외에 기타 수분 함유량이 높은 식품과 일반 나물류 그리고 색상 변화에 영향이 작은 식품에 대한 건조 시험 수행하여 많은 건조 데이터를 확보하고자 하였다. 목표로 한 식품에 대해서는 반복적인 실험을 통해 가장 적절하다고 판단되는 건조 시퀀스를 찾았으며 기타 식품에 대해서는 일정한 건조 패턴에 대해 과열증기 건조를 통한 건조특성을 살펴보았다.

이상과 같이 본 과제에서는 목표로 한 건조장치의 개발과 건조 시험을 통해 당초에 수립한 연구목표를 달성하였다. 기존 문헌들에서 예시한 바와 같이 과열증기 상태에서는 빠른 건조 특성을 얻을 수 있었으며 과열증기 처리 시간을 조절함으로써 식품의 품질 저하를 상당부분 막을 수 있었다. 열풍 건조를 통한 연속 처리 시간보다 과열증기와 열풍 복합 건조를 통해 건조시간을 2배 가까이 단축할 수 있었으며 세균수가 보다 감소하고 화학적인 변화는 거의 차이가 없는 결과를 얻었다.

다만, 과열증기에 의한 건조가 수분 감소율 50%이상일 경우에는 일부 식품에서 색도 변화가 발견되기도 하였으나 건조율을 조절함으로써 이를 개선할 수 있었다.

부가적으로, 문헌들에서 예시한 바와 같이 건조에서 필요한 에너지의 절감효과를 볼 수 있었으며 향후, 상용화 설비에서는 완벽한 열 순환기 구조를 장착할 경우 보다 많은 에너지 절약효과가 기대될 수 있다.

## 제 2 절 활용계획

### 1. 기대효과 및 응용

- 첨단 건조 및 살균기술 개발로 식품, 농산물의 고부가가치화 및 위생화를 이루며 가공기술의 국외 수출 및 고품질의 제품으로 수출 상품화
- 전기분야와 식품 가공기술과의 응용범위 확대에 기여
- 무공해이며 환경 친화적 살균기술로 국민건강에 기여
- 개발하는 처리장치의 시설 투자비의 저렴 및 조작성의 간편성으로 기술의 응용범위가 다양하고 소형 단위기기에서 대형 플랜트까지 구현가능
- 신가공기술에 의한 다양한 상품 및 부가가치 증대
- 건조상품의 품질경쟁력 강화 방안 마련에 따른 농가소득향상기대
- 신가공기기의 출현에 따른 농기기 산업의 발전 기대
- 새로운 건조식품군 처리기술에 따른 식품의 고품질화 기여
- 일반 단위 농가형 소형설비로 영세 농산물 건조 가공업체의 농가소득 증대
- 여타 다른 산업응용기기로 개발기술의 다양한 응용성  
(가열, 환원, 산화반응, 조리 등의 분야로의 응용)

### 2. 활용계획

- 개발한 장치의 제작기술을 관련 설비 제조업체에 기술이전 및 경제적인 설비 구축 Know-how 지원
- 단위 농가에서부터 대형 플랜트에 이르기까지 개발기술의 활용 홍보
- 개발기술의 장치 요소 핵심기술과 관련한 부분의 특허권 확보
- 다른 산업기술로 활용하기 위한 기초기술 확보
- 관련 식품산업체와의 연계를 통해 다양한 응용분야 발굴 모색

### 3. 기업화 방안

상용화를 위해서는 보다 장치 제작 기술이 간략화, 대량화 되어야 할 것으로 판단되며, 참여기업에 의한 상용화 노력과 동시에 추가적인 장치 제작 기술이 개발되어야 함.

## 제 5 장 결 론

본 과제에서는 전기설비를 이용한 상압 과열증기 건조로를 개발하였으며 이를 이용한 식품 건조 연구를 수행하였다. 연차별로 요소기술 구현과 장치의 개선 연구 및 식품에 대한 건조 분석을 수행하면서 목표한 결과를 얻을 수 있었다.

### 건조 장치 개발에 있어서,

- 1차년도에는 초고속 증기 유도가열 기술개발을 위한 기본 요소기술 연구를 수행하였으며 1kW의 가열 전원장치의 설계 및 제작 목표에서 증기의 발생량과 온도의 제어가 빠르게 이뤄지도록 용량을 높여 4kVA급의 전원 장치를 구현하였다. 과열 증기 발생 가열기는 여러 형태의 가열기를 제작하여 특성을 시험하였으며 미세한 불 구조의 가열기를 통해 최대한의 가열 효과를 얻고자 하였다. 유도가열 장치와 가열기로 증기발생을 시험한 뒤에 이에 적합한 건조기 구조를 설계 제작하였다.

- 2차년도에는 1차년도에 수행한 초고속 증기 유도가열 요소기술을 바탕으로 실제 건조효과를 시험하고 건조장치의 용량을 증대하기 위한 전원설비와 오븐설비를 개발하였다. 연속운전 용량을 5kVA급으로 구현한 전원장치는 바라는 가열 특성을 얻도록 용량 증대와 안정화시켰다. 장치의 구성은 보다 간략화 하게 하기 위해 수냉 방식의 인버터에서 공랭식으로 개선하였다.

과열 증기 발생 가열기는 여러 형태의 가열기를 제작하여 특성을 시험하였으며 2차년도에는 미세한 불 구조의 가열기의 용융과 용착현상을 피하기 위해 접시형 구조의 가열기를 제작하여 시험하였다.

2차년도 시작품은 건조기 내부의 건조성능을 향상시키기 위해 내부 고온용 대류 팬을 추가하고 직접 복사열에 의한 손상을 최소화하게 건조기 구조를 설계 제작하였다.

2차년도에는 과제에서 목표한 고온 과열증기를 얻기 위해 증기 발생장치와 증기가열 장치를 따로 구성하여 고온 증기를 얻도록 했으며 건조 용량을 늘려서 전체 건조장치의 제작을 완료하였다.

- 3차년도에는 건조 용량을 보다 늘리기 위해 건조로를 새로이 제작하였으며 유도가열 인버터의 용량 증대와 안정화를 위해 디지털 제어 방식의 인버터 2대를 병렬 운전하게 하였다. 전체 제어기는 통합하여 구성하였으며 가열기를 이단으로 구성하여 보다 빠른

과열증기 발생과 온도제어가 가능하게 하였다.

### 개발한 건조장치의 식품건조 연구에 있어서,

목표로 한 채소류, 향신료, 특용작물에 대한 건조 연구를 수행하였다. 그 외에 건조 식품에 대한 데이터를 확보하기 위해 고사리, 미역, 나물류, 다시마 등 색상 변화가 작거나 수분 함유량이 큰 식품에 대한 건조를 시험하였다.

과열증기에 의한 건조만으로는 식품의 탄화현상을 막을 수가 없으므로 과열증기로 일정기간 수분함유량을 충분히 낮춘 후에 저온 열풍 건조하는 복합 건조 공정을 채택하였다. 과열증기설비에서 저온 열풍을 만드는 것은 사용 전력량을 줄이고 증기 공급을 차단하는 것으로 간단히 이뤄지며 부가적인 설비 추가는 없다.

먼저, 고춧건조는 과열증기 온도 160℃, 내부습도 20%에서 과열증기에 의한 건조 처리 후 50℃에서 열풍 건조한 고추와 50℃에서 열풍건조로만 건조한 고추의 건조효과에 있어서, 과열증기 처리 후 열풍 건조한 고추가 열풍건조로만 건조한 고추에 비하여 약 75%의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 품질특성 중 일반성분, 색도, capsaicin 및 관능평가 등에 있어서는 두 건조방법간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 건조한 고춧가루중의 미생물 수에 있어서 과열증기 처리로 건조한 고춧가루가 열풍 건조한 고춧가루에 비하여 일반세균의 경우 약  $1.3 \times 10^3$  cfu/g, 효모·곰팡이의 경우  $4.4 \times 10^3$  대 장균군의 경우  $8.3 \times 10^2$  cfu/g의 감소효과를 나타내었다. 따라서 고추의 건조는 과열증기 건조 처리 후 열풍 건조하는 기술을 통하여 건조 고추의 품질 저하 없이 건조시간의 단축과 함께 고춧가루에 잔존하는 미생물의 오염을 방지할 수 있는 기술임을 확인하였다.

당근 건조의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍 건조한 당근이 과열증기만으로 건조한 당근에 비하여 약 2배 정도의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 건조된 당근의 복원율에 있어서도 약 8%의 빠른 복원율을 나타내었다. 이와 함께 일반성분, 갈색도 및 색깔,  $\beta$ -carotene 및 관능평가에 있어서는 두처리구간 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 건조한 당근의 내부조직의 관찰에서는 과열증기 건조처리 후 열풍 건조한 당근이 열풍 건조한 당근에 비하여 내부조직이 좀더 연화되어 개열되는 것을 확인하였다.

생강의 경우도 과열증기 건조처리 후 열풍 건조한 당근이 열풍건조로만 건조한 생강에 비하여 약 2배정도의 빠른 건조효과를 나타내었다. 그리고 건조된 생강가루의 미생물 수의 경우 과열증기 건조 처리 후 열풍 건조한 생강이 열풍건조로만 건조한 생강에

비하여 일반세균 및 효모·곰팡이의 수에서 감소한 결과를 나타내었다. 이는 과열증기의 높은 온도에 의한 생강의 표면 및 내부에 존재하는 미생물들의 일부 살균에 기인하는 것으로 판단되었다. 그리고 일반성분, 색깔 및 갈변도, 무기질, 지방산, 관능평가 및 미세구조에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

과열증기 건조처리 후 열풍 건조한 인삼이 열풍건조로만 처리한 인삼에 비하여 건조효과에서 약 80%의 빠른 건조효과를 나타내었고 인삼분말의 미생물 수의 경우에 있어서도 일반세균 및 효모·곰팡이 및 대장균군 수에서 감소효과를 나타내었다. 특히 인삼분말 중의 미생물 수의 감소 효과는 인삼제품들의 국외 수출시 엄격하게 적용되는 미생물수의 기준에 부합되도록 건조할 수 있는 기술이라 판단되었다. 그리고 인삼분말의 일반성분, 무기질, 유리당, 조사포닌, 색깔, 내부조직 및 관능평가에서 건조처리 방법에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

표고버섯의 경우 과열증기 건조처리 후 열풍 건조한 시료가 열풍건조로만 처리한 시료에 비하여 85%의 건조효과를 나타내어 표고버섯의 건조도 기존의 열풍건조에 의한 방법보다 과열증기 건조처리 후 열풍 건조하는 방법이 건조시간을 단축할 수 있는 기술임을 확인하였다. 표고버섯의 건조 후 미생물 수의 변화에 있어서는 고추, 당근, 생강, 인삼의 건조와 동일하게 과열증기 건조처리 후 열풍 건조한 시료가 미생물수의 감소 효과를 나타내었다. 그리고 표고버섯의 일반성분, 색깔, 내부조직 및 관능평가에 있어서는 두 처리구간 차이가 없었다.

기타, 추가로 시험한 식품들의 건조에 있어서 건조 속도는 역시 과열증기를 이용함으로써 개선되었다. 고사리, 나물류는 미세한 줄기 조직에서 탄화 현상이 잘 발생하므로 이의 개선을 위해서는 건조 속도와 식품 품질에서 적절히 절충해야 할 것으로 판단되었다. 미역, 다시마 등의 해산물 건조에서는 심한 왜형이 문제점으로 나타났으며 그 외에 색상변화나 다른 화학적 변화는 없는 것으로 판단되었다.

이상과 같이 상압 과열증기에 의한 건조로를 개발하고 식품 건조연구를 수행한 결과, 과열증기를 이용한 건조장치가 기존의 열풍 건조장치에 비해 여러 면에서 상당한 장점을 가짐을 알 수 있었다.

향후, 건조 설비의 대량생산을 통한 경제성이 얻어 진다면 상용화와 식품 산업계에 많은 응용이 예상된다.

## 참고 문헌

1. C. Pronyk, and S. Cenkowski, "Superheated steam drying technologies, " 2003 CSAE/ASAE Annual Intersectional Meeting, 2003.
2. Rosana G. Moreira, "Impingement drying of foods using hot air and superheated steam", ARTICLE Journal of Food Engineering, Volume 49, Issue 4, September 2001, Pages 291-295
3. Z. Tang, S. Cenkowski, W. E. Muir, "DEHYDRATION OF SUGAR-BEET PULP IN SUPERHEATED STEAM AND HOT AIR," Citation: Transactions of the ASAE. VOL. 43(3): 685-689, 2000
4. M. Markowski, S. Cenkowski, D. W. Hatcher, J. E. Dexter, N. M. Edwards, "THE EFFECT OF SUPERHEATED STEAM DEHYDRATION KINETICS ON TEXTURAL PROPERTIES OF ASIAN NOODLES," Citation: Transactions of the ASAE. Vol. 46(2): 389-395 .@2003
5. D.W. TEEB and L.H. Hbson : "Design of Matching Circuitry for 100KHz MOSFET Induction Heating Power Supply", IEEE. Industrial Electronics, Vol.IE-34, No.2, May 1987
6. Akao, T. 1983. Applications of pressurized superheated steam to food processing. In Chemical Engineering Symposium Series I, 13-18. Tokyo, Japan: The Society of Chemical Engineers (cited by Shibata and Mujumdar 1994).
7. AOAC. 1984. Moisture in frozen french-fried potatoes(32.083). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14th ed.. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
8. Bimbenet, J.J., J.D. Daudin and E. Wolff. 1985. Air drying kinetics of biological particles. In drying'85, Selection of Papers from 4th International Drying Symposium, 178-185. Washington, DC: Society of Chemical Engineers.
9. Bond, J.F. 1992. Drying paper by impinging jets of superheated steam: Drying rates and thermodynamic cycles. Drying Technology 10(4):1131-1134.
10. Bouraoui, M., P. Richard and T. Durance. 1994. Microwave and convective drying of potato slices. Journal of Food Process Engineering 17(3):353-363

11. Chen, S., J. Chen and A.S. Mujumdar. 1992. A preliminary study of steam drying of silkworm cocoons. *Drying Technology* 10(1):251-260
12. Kumar, P. and A.S. Mujumdar. 1990. Superheated-steam drying: A bibliography. *Drying Technology* 8(1):195-205.
13. Lane, A.M. and S. Stern. 1956. Application of superheated-vapor atmospheres to drying. *Mechanical Engineering* 78:423-426.
14. Meunier, J. and R.J.Munz. 1986. Flash drying with superheated steam - A mathematical model. In *Drying '86*, ed. A.S. Mujumdar, 2: 580-587. New York, NY: Hemisphere Publishing Corporation.
15. "A simple and reliable class E inverter for induction heating applications" *International Journal of Electronics*, 1998, v.84, n.2, pp. 157
16. "Induction Heating Flux Concentrators and IGBT Generators" *Przeglad Odlewnictwa*, 1998, v.48, n.4, pp.121-122
17. "Self-Started Voltage-Source Series-Resonant Converter for High-Power Induction Heating and Melting Applications" *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1998, v.34, n.3, pp.518-525
18. "Appliance Industry Committee-Feasible Development of Soft-Switched SIT Inverter with Load-Adaptive Frequency-Tracking Control Scheme for Induction Heating" *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1998, v.34, n.4, pp.713-718
19. "유도가열 인버터의 특성 및 시스템 동향", *전기학회지* 제 50권 2호, 2001년 2월, pp21-29

# 부록 1. 관련 도면

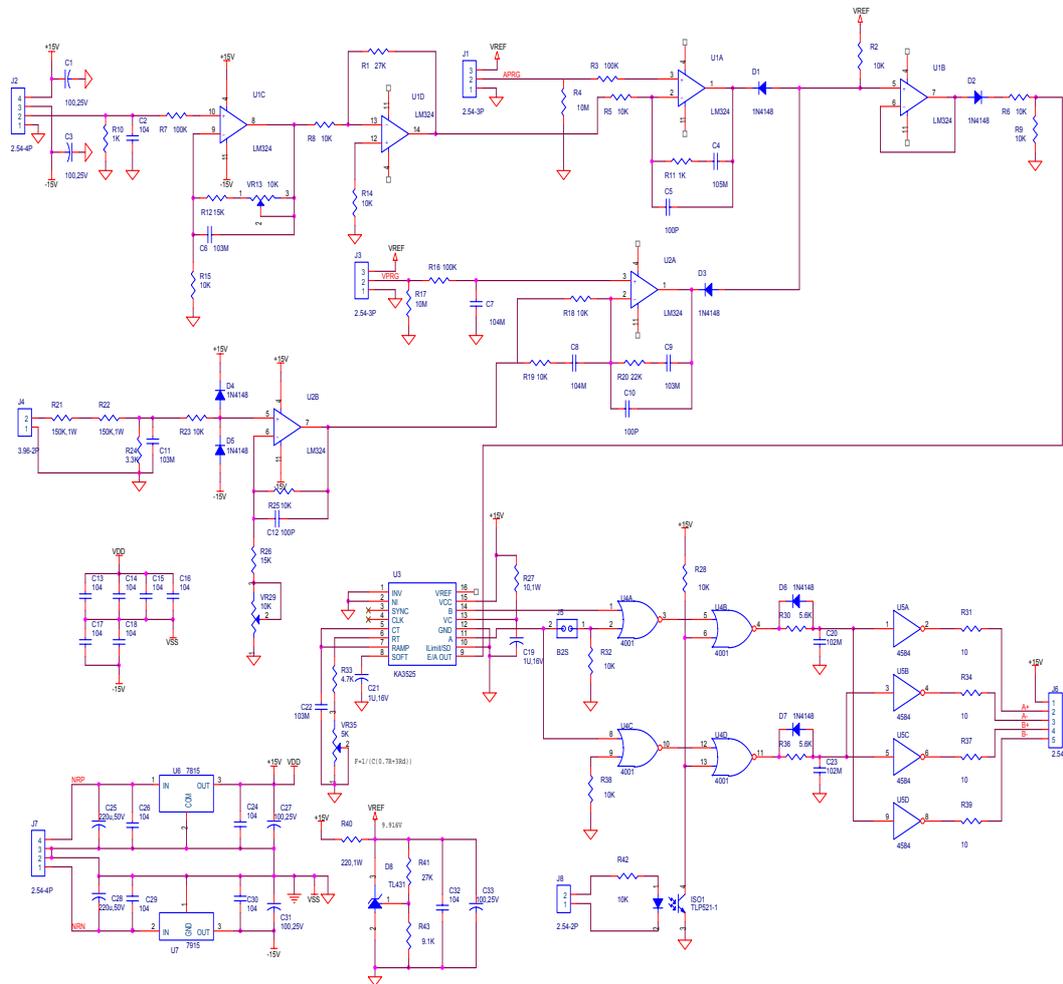


그림 1. 벡 컨버터 제어 회로

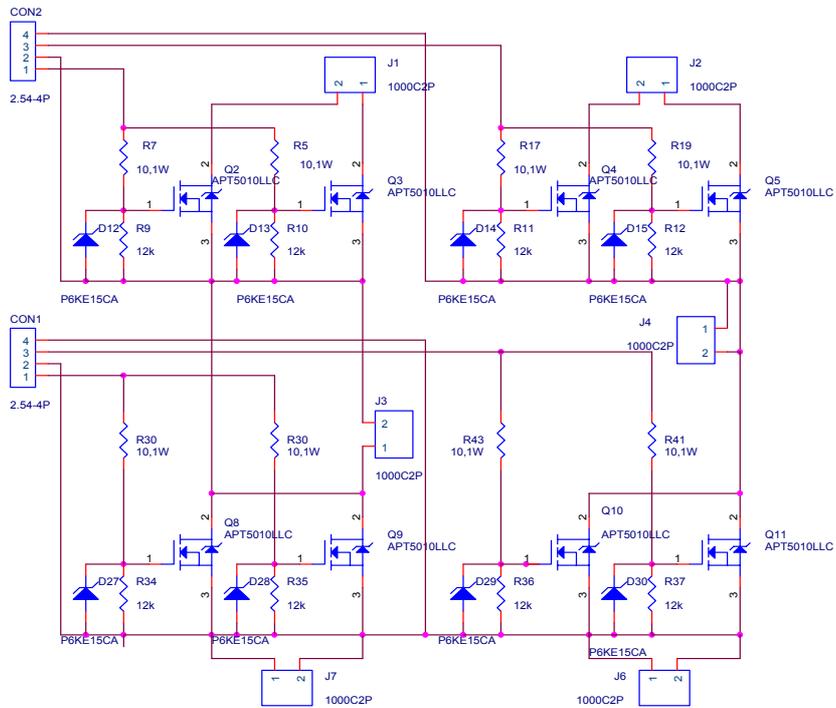


그림 2. 인버터 전력 회로

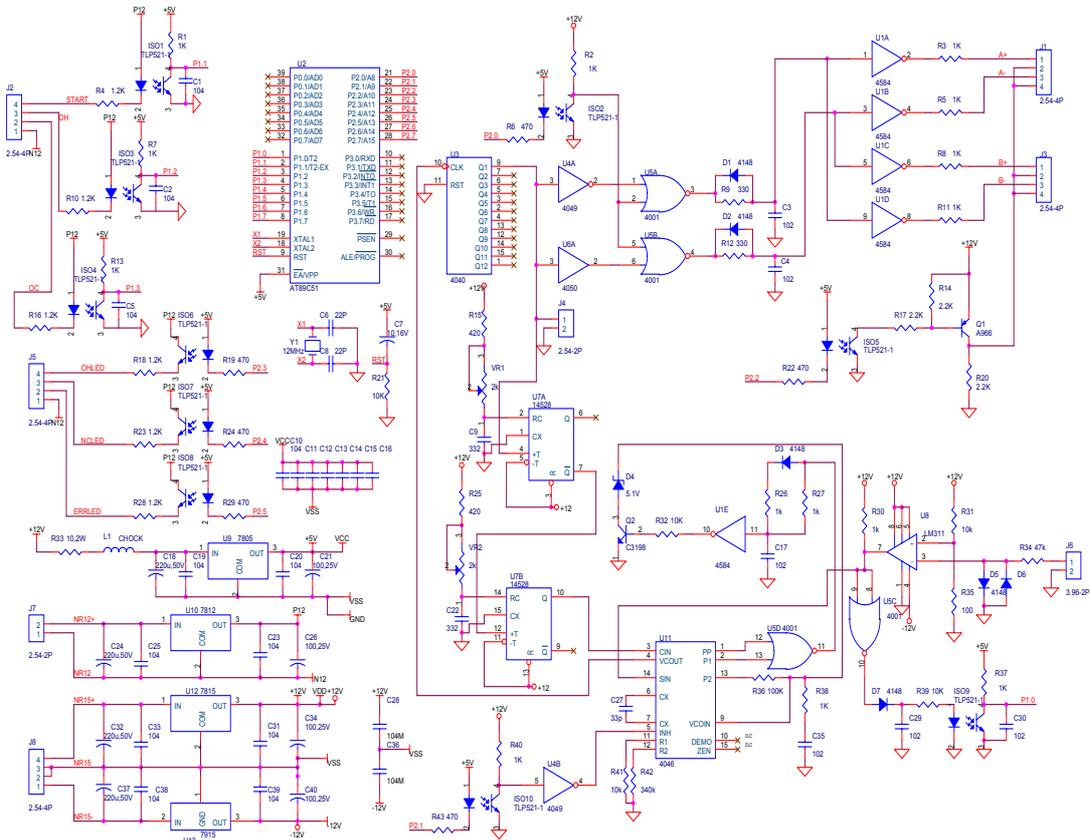


그림 3. 인버터 제어 회로

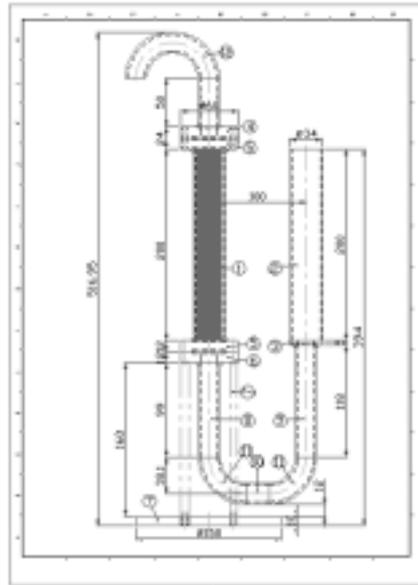


그림 4. 불형 가열기 도면

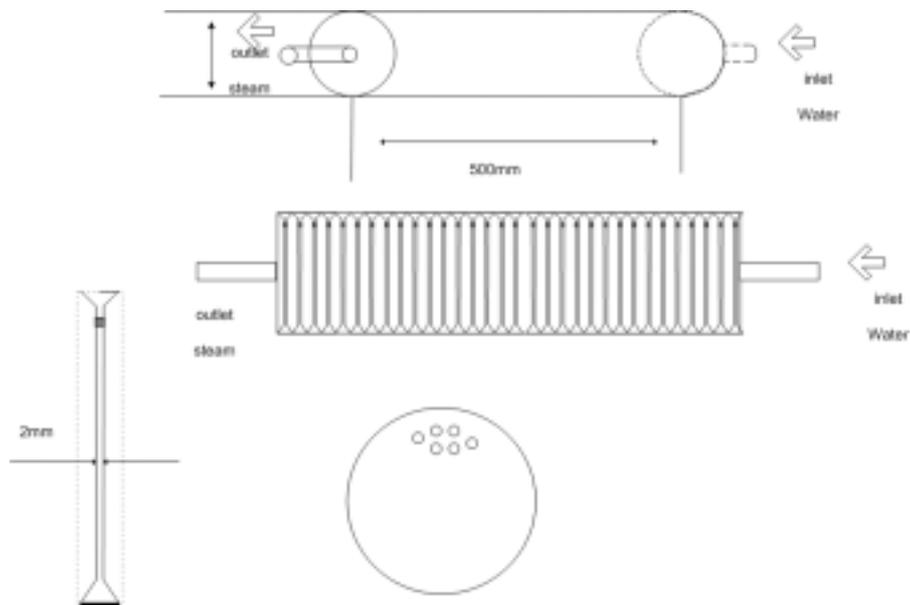


그림 5. 접시형 가열기 도면

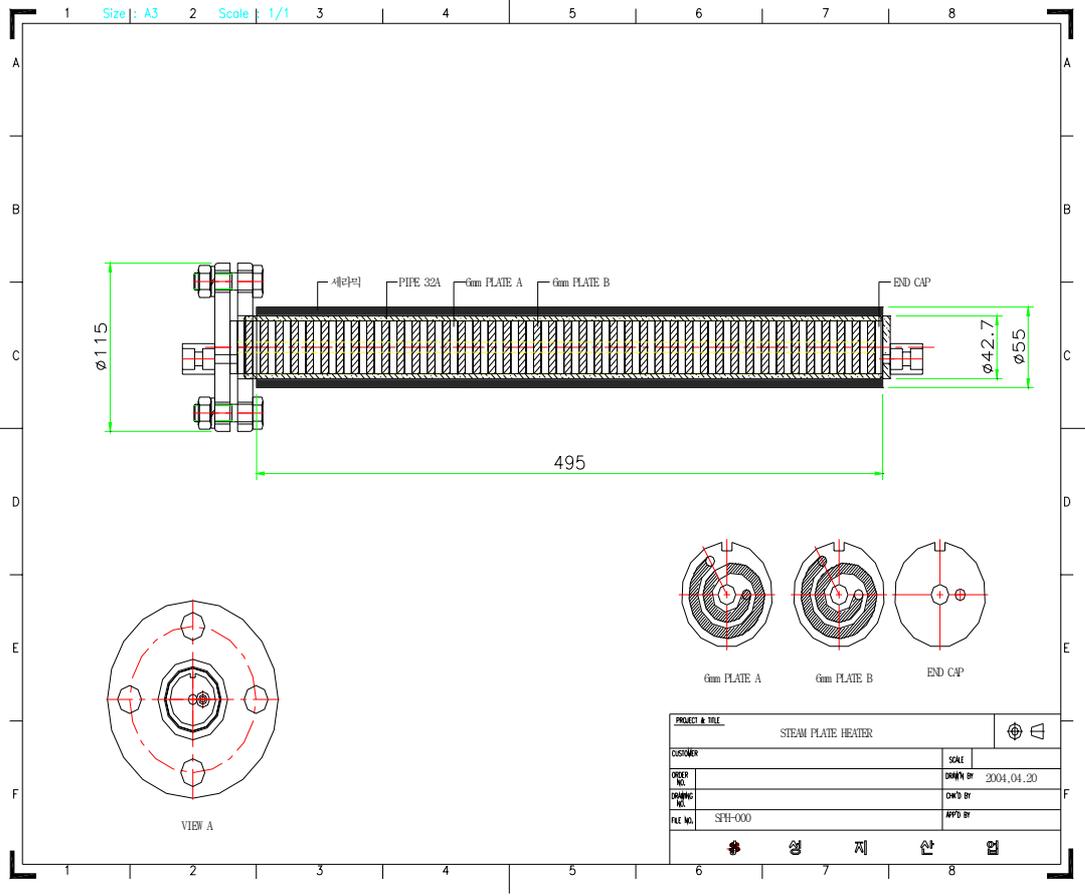


그림 6. 판형 가열기 도면

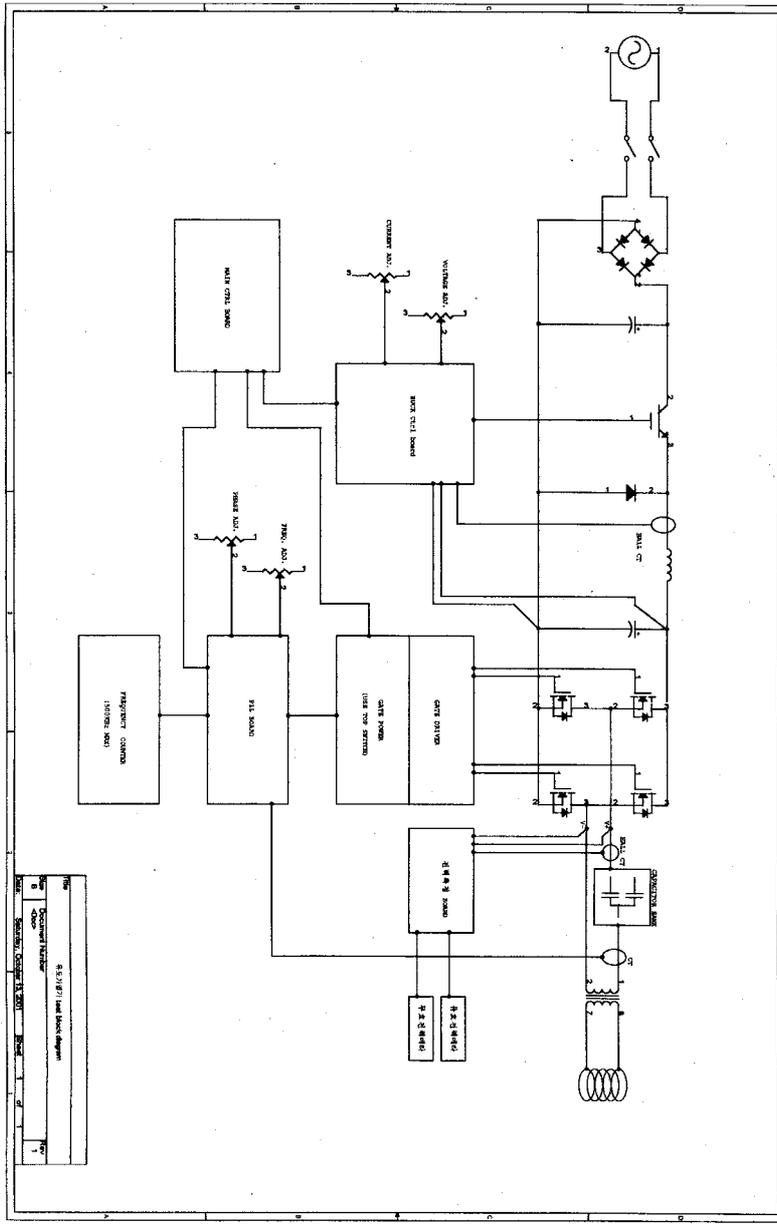


그림 7. 1, 2차년 전원 장치 블록도

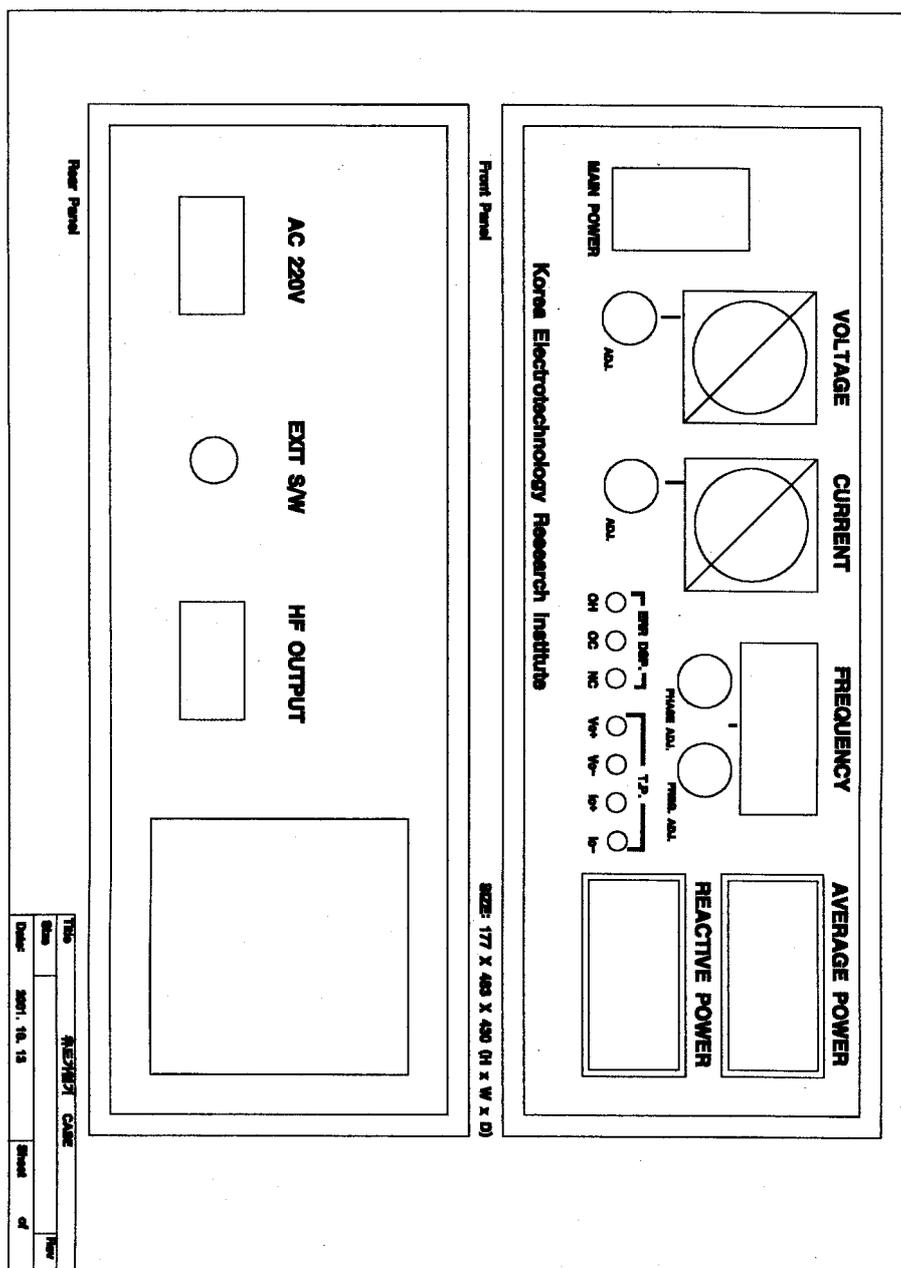


그림 8. 1, 2차년 전원 장치 전후면 개략도

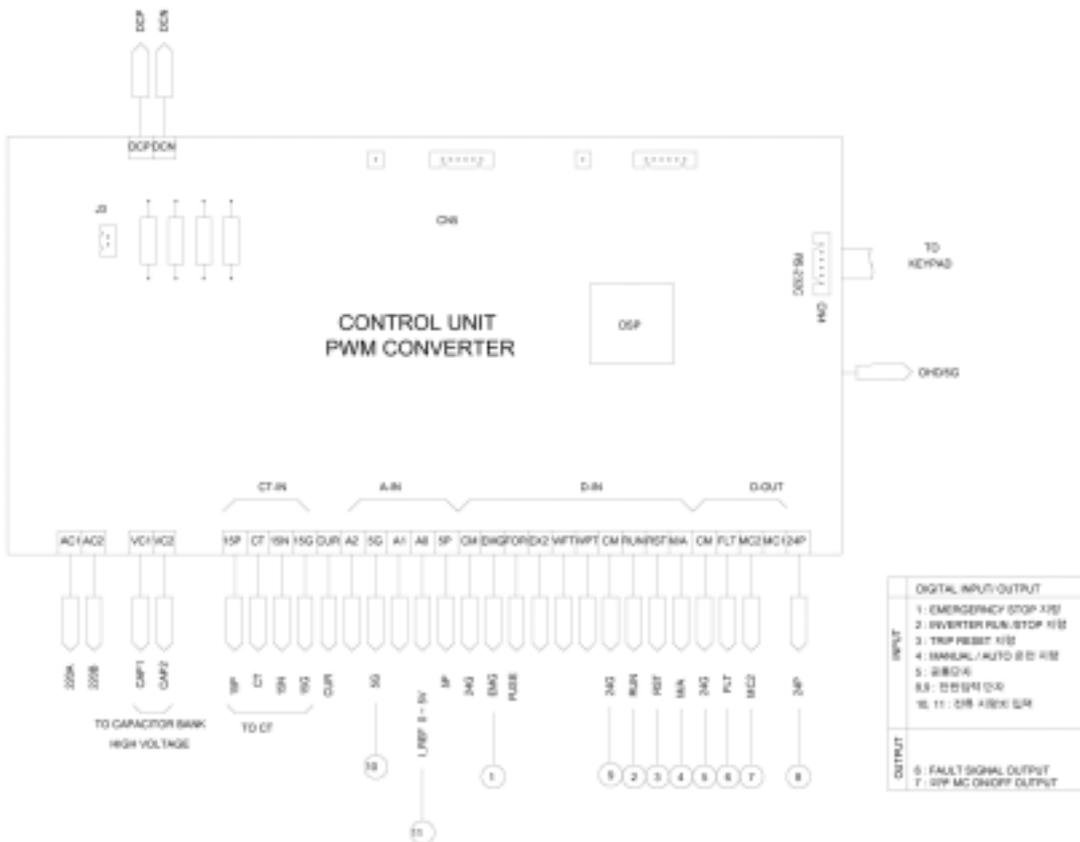


그림 9. 3차원 전원 장치 및 제어기 블록도

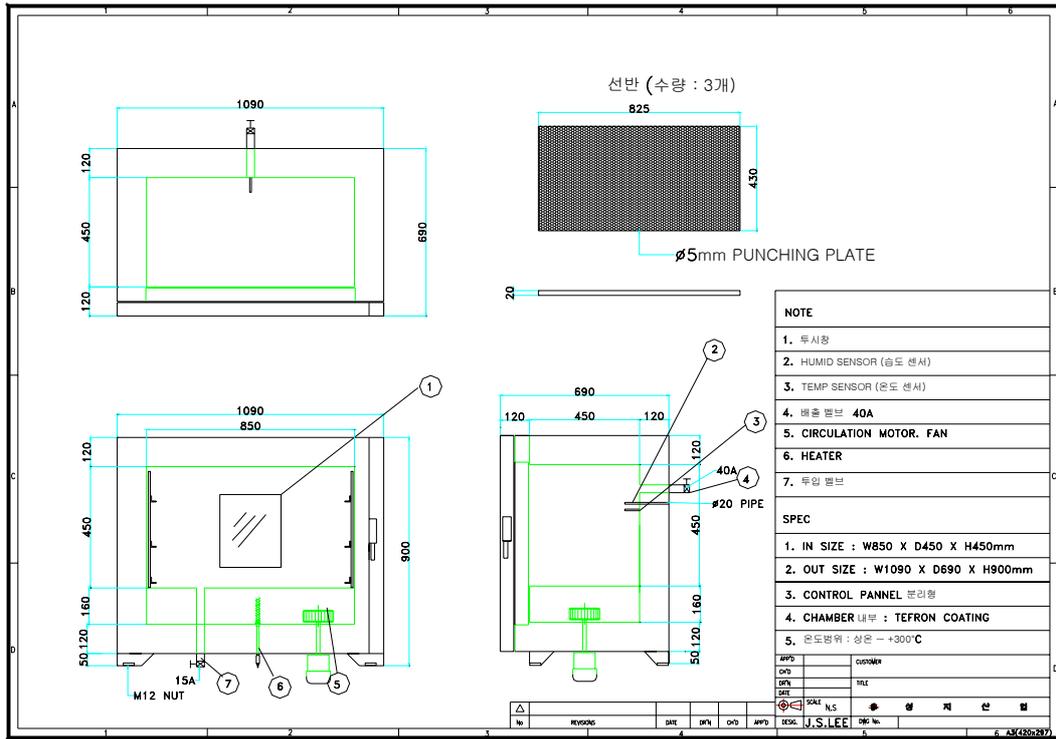


그림 10. 3차년 시작품 도면

## 부록 2. 특허

### < 첨부 3 > [발명에 대한 명세서.요약서 작성안]

#### 요 약 서

유도가열 장치는 산업제반 분야에 응용이 확산되고 있으며, 특히 가정용 가전기기에도 사용될 만큼 사용면에 있어서 인간에게 매우 친숙하다. 유도가열 장치는 주로 피가열체를 가열하는 가열장치로 사용하는데 여기서는 식품을 건조하여 장기간 보관을 위한 건조장치로 활용하는 예를 보인다.

현재까지 식품건조는 주로 저온의 열풍을 이용하여 식품 손상을 최소화하기 위해 장시간 건조하였다. 저온 열풍건조는 시스템 구성이 간단하고 설비가 다른 건조장치들에 비해 경제적이므로 현재 가장 많이 이용되어 왔다. 그러나 이러한 열풍건조는 식품 손상을 방지하기 위하여 저온에서 건조하므로 효율적인 건조가 힘들고 건조시간이 길어지는 단점이 있다.

이를 해결하기 위해 여러 가지 건조 기법들이 연구, 도입되어 왔으며 그중에서 대표적인 것이 동결 건조 방식과 마이크로웨이브에 의한 건조 방식이다. 이러한 방식들은 우수한 건조 효과와 품질 상태를 보존할 수 있으나 설비가 특수하고, 초기 투자비용이 큰 단점이 있다.

본 발명에서는 이러한 단점들을 보완하고, 식품을 효율적으로 건조할 수 있는 새로운 장치를 고안하였다. 새로운 식품 건조 장치는 유도가열 방식을 이용하여 증기를 발생하고, 증기 발생을 위하여 새로운 과열 증기 챔버를 고안하였으며, 발생한 과열 증기를 건조로에 투입하여 식품의 손상을 최소화하면서 식품 건조 특성을 향상시킬 수 있는 구조이다.

# 대 표 도

대표도 : 제 4도

## 명 세 서

### 1. 발명(고안)의 명칭

식품 건조 특성 향상을 위한 유도 가열 기술 응용

### 2. 도면의 간단한 설명

제 1 도 유도 가열 코일

제 2 도 유도 가열 전원 회로도

제 3 도 증기 발생 챔버 구조도

제 4 도 건조 시스템 개략도

### 3. 발명의 상세한 설명

#### 가. 발명의 목적

본 발명에서는 새로운 식품 건조 시스템에 관한 것으로서, 기존의 저온 열풍건조 방식이나 동결건조 방식, 마이크로웨이브에 의한 건조 방식의 단점을 보완할 수 있는 구조로써, 유도가열 방식에 의해 발생한 과열 증기를 고온 건조로에 투입하여 식품의 손상을 최소화하면서, 식품의 건조 특성(건조 시간, 식품 품질, 살균, 환경오염 등)을 향상시키도록 새로운 장치를 고안하는데 본 발명의 목적이 있다.

#### 나. 종래의 기술

현재까지 식품건조는 주로 저온의 열풍을 이용하여 식품 손상을 최소화하기 위해 장시간 건조하였다. 저온 열풍건조는 시스템 구성이 간단하고 설비가 다른 건조장치들에 비해 경제적이므로 현재 가장 많이 이용되

고 있다. 그러나 열풍건조는 식품 손상을 방지하기 위하여 저온에서 건조하므로, 효율적인 건조가 힘들고 건조시간이 길어지는 단점이 있다.

이를 해결하기 위해 여러 가지 건조기법들이 연구, 도입되어 왔으며 그중에서 대표적인 것이 동결건조 방식과 마이크로웨이브에 의한 건조방식이다. 동결건조 방식은 우수한 건조효과와 품질상태를 보존할 수 있으나 모든 건조제품에 이용되지 못하고 있으며, 낮은 온도와 압력에서 운전되므로 건조속도가 매우 느리고 동결과 진공 그리고 가열 등의 과정을 거치고 고가의 부대설비로 인해 전체 시스템의 비용이 생산량에 비해 매우 높은 단점이 있다. 또한 최근에 주로 연구되고 있는 마이크로웨이브에 의한 건조방식은 균일건조가 힘들고 건조 설비를 수백 kW급 이상으로 대용량화하려면 막대한 비용으로 인해 경제적 채산성이 전혀 맞지 않는 문제가 있다.

한편, 열풍 건조에서 고온 건조는 보다 빠른 건조특성을 얻을 수 있으나 식품에 손상을 주는 것을 피할 수 없다. 이에 따라 식품의 손상을 줄여주면서도 건조시간을 단축할 수 있는 방법이 과열증기에 의한 건조이다. 과열 증기에 의한 건조는 건조 오븐 내부의 열 순환에 의한 고효율 건조, 건조식품에서 건조품질 개선 효과, 빠른 열전도에 의한 건조시간의 단축 그리고 환경오염이 없으며 건조제품의 품질이 우수한 장점을 가진다.

#### **다. 본 발명이 해결하고자 하는 문제점**

본 발명에서는 식품 건조를 위해서 일반적으로 사용하는 저온 열풍건조 방식 또는 동결건조 방식, 마이크로웨이브에 의한 방식에서 나타나는 문제점을 개선하고, 식품의 품질을 유지하면서 효과적으로 건조할 수 있는 방법을 찾고자 하였다.

#### 라. 문제점을 해결하기 위한 수단

본 발명에서는 저온 열풍건조와 동일하게 식품 손상을 방지하면서 식품 건조 시간을 단축할 수 있도록, 고온 열풍에서 건조할 수 있는 방법을 고안하였다. 일반적으로, 고온 열풍에서 건조하게 되면 식품이 손상을 입는 것을 피할 수 없기 때문에 과열 증기를 투입하여 식품이 손상되는 것을 방지하였다.

과열 증기를 발생하기 위해서는 유도 가열 장치를 이용하여 증기 발생 챔버를 가열하였고, 과열 증기의 효과적인 발생을 위해서, 증기 발생 챔버 내부의 발열 충전물은 접시형 원반으로 얇게 배열하여 쌓아 기체의 흐름을 난류가 되어 흐르게 하였다.

#### 마. 작용

본 발명에서는 과열 증기를 발생하기 위해 유도 가열장치를 적용하여 가열 효율을 높이고, 신속한 가열이 이루어지도록 했으며, 출력 및 온도의 제어가 용이하여 사용이 편리하도록 하였다.

먼저, 제 1 도는 유도 가열의 원리를 설명하는 것으로, 가열하고자 하는 도체에 코일을 감고 이 코일에 고주파 교류 전류를 흘리면 도체 내에는 고주파 자속이 발생한다. 이로 인하여 나타나는 손실을 히스테리시스 손실(Hysteresis Loss)이라하고, 이 손실의 크기는 자성체에 따라 다르지만 면적이 클수록 손실이 크며, 손실  $P_h$ 는 Steinmetz 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_h = \eta f B_m^{1.5} V [W]$$

$\eta$  : Hysteresis계수       $f$  : 주파수

$B_m$  : 최대자속밀도 [T]       $V$  : 철심의 체적 [ $m^3$ ]

또한, 도체 내에는 전자유도 작용에 의하여 코일 내에 있는 금속은 변

압기의 2차 권선에 기전력이 발생하는 것과 같이 유도전류가 발생하여 와전류(Eddy current)가 흐르게 된다.

$$I_x = I_o \varepsilon^{-\left(\frac{x}{p}\right)} \varepsilon^{j\left(\frac{x}{p}\right)}$$

$I_x$  : 면에서 중심부  $x(m)$ 지점의 전류치 [A]

$I_o$  : 원통형 금속의 전류치 [A]

$P$  : 전류치가 표면의  $1/\varepsilon$ 로 감소한 깊이 [m]

발생한 와전류는 도체 표면의 저항에 의하여 손실이 발생하게 되어 발열하게 되며, 이러한 현상을 와전류 손실(Eddy current Loss)이라고 하고 이로 인한 손실에너지는 다음과 같다.

$$P_e = \frac{(\pi f a B_m)^2 V}{4\rho} [W]$$

$a$  : 철심의 반지름 [m]       $f$  : 주파수 [Hz]

$B_m$  : 최대자속밀도 [T]       $\rho$  : 저항률 [ $\Omega/m$ ]

$V$  : 철심의 체적 [ $m^3$ ]

제 2 도는 유도 가열을 위한 전원장치를 나타내고 교류 입력 전압을 직류 전압으로 만들어 주기 위한 벽 컨버터 회로와 유도 가열 발생을 위해 직류 전압을 원하는 주파수의 교류 전압으로 변환하는 공진형 풀브리지 컨버터 회로로 구성하였다. 교류/직류 변환기의 경우, 벽 컨버터 외에 부스터 컨버터, 역률 보상 부스터 컨버터 등을 사용할 수 있으며, 직류/교류 변환기의 경우, 공진형 컨버터로써 풀브리지 컨버터 외에 하프브리지 컨버터, 푸쉬-풀 컨버터 등을 사용할 수 있다.

유도 가열 장치의 과열 증기의 온도를 제어하기 위해서는 과열 증기의 온도를 기준 전압으로 하여, 과열 증기의 온도에 따라 출력을 제어하도록 하였다. 과열 초기에는 과열 증기의 온도가 낮으므로, 최대 출력을 낼 수 있도록 설계하여 신속하게 가열하도록 하였고, 과열 증기의 온도가 적정 온도에 도달하면, 출력을 제어하여 과열 증기의 온도를 유지하였다. 출력 제어를 위해서는 크게 두 가지 방법을 사용할 수 있다. 먼저, 과열 증기의 온도를 기준 전압으로 하여, 벡 컨버터 회로의 출력 전압을 제어함으로써 가능하고, 두 번째로, 공진형 풀브리지 컨버터 회로의 주파수를 제어함으로써, 출력 제어가 가능하다.

제 3 도는 유도 가열에 의해 과열 증기를 발생하는 챔버 장치를 나타내는 것으로서, 기존의 방법은 박판형을 미세하게 주름을 준 뒤에 이를 다시 각각에 대해 겹쳐지는 형태로 해서 쌓아 올리는 구조이었다. 본 연구에서는 제작이 사실상 난해하고 대단히 고가인 기존 방법과 달리 기존의 주름형 챔버 구조를 변경하여 접시형 원반을 얇게 배열하여 쌓아 기체의 흐름을 나류가 되어 흐르게 배열하였다. 과열 증기 챔버 외피에 고온에 견딜 수 있는 세라믹관을 씌워서 동선의 권선이 챔버 외피에 접촉되지 않게 하여, 안정성을 확보하였다. 과열 증기 챔버는 고온에서 견딜 수 있는 스테인레스강과 inconel을 사용하였다.

제 4 도는 건조 시스템 전체 개략도를 나타내고 있다. 과열 증기 챔버를 가열하기 위해서 고주파 공진형 컨버터 형태의 유도 가열 장치를 적용하였고, 유도 가열 장치에서 발생한 에너지에 의해 과열 증기 챔버에 과열 증기가 발생하도록 하였다. 과열 증기 챔버에서 발생한 과열 증기는 건조로에 투입하여 고온 열풍 건조에서 식품 손상 없이 식품 건조가 이루어지도록 하였다.

#### **바. 발명의 효과**

본 발명에서 과열 증기를 이용한 고온 열풍 건조 시스템은 식품 건조 특성을 유지하면서 식품 건조 시간을 단축할 수 있어, 효과적인 식품 건조를 이룰 수 있다.

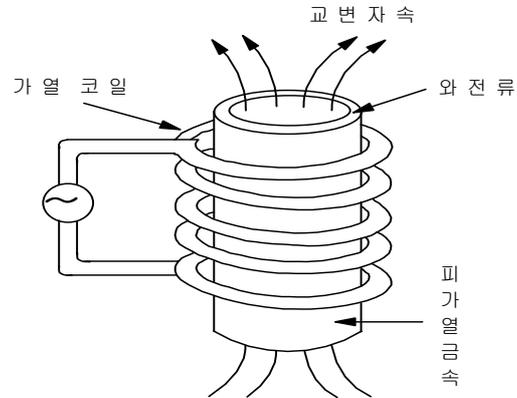
유도 가열 전원 장치는 가열 효율이 높고 신속한 가열이 이루어지므로, 과열 증기 발생을 위하여 적용하기에 적당하다.

#### **4. 특허 청구의 범위**

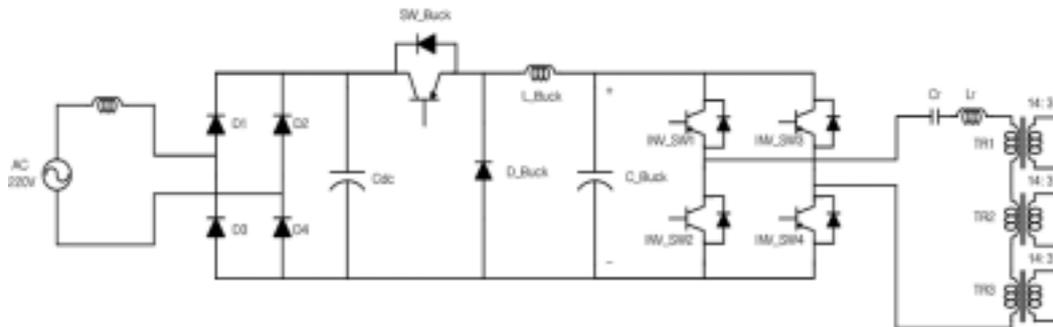
제 1 항. 식품 건조 시스템에서 유도 가열에 의해 발생한 과열 증기를 이용하여 고온 열풍 건조하는 구조.

제 2 항. 과열 증기 발생을 위한 과열 증기 챔버는 접시형 원반을 얇게 배열하여 쌓아 기체의 흐름을 나류가 되어 흐르게 하는 구조.

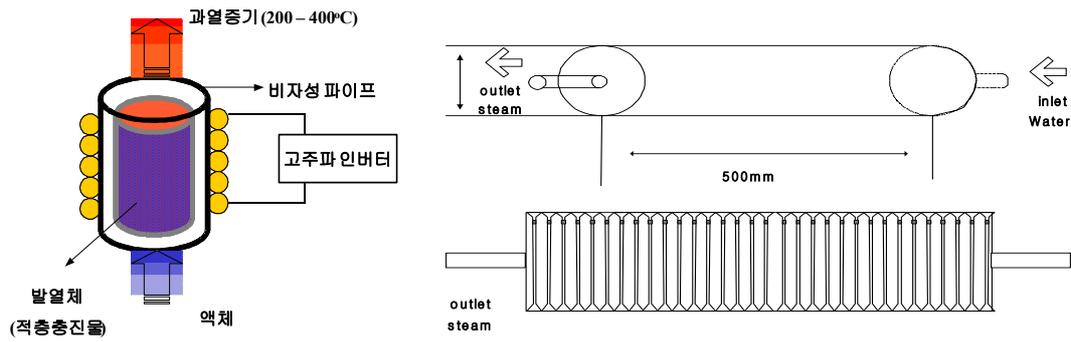
## 5. 도 면



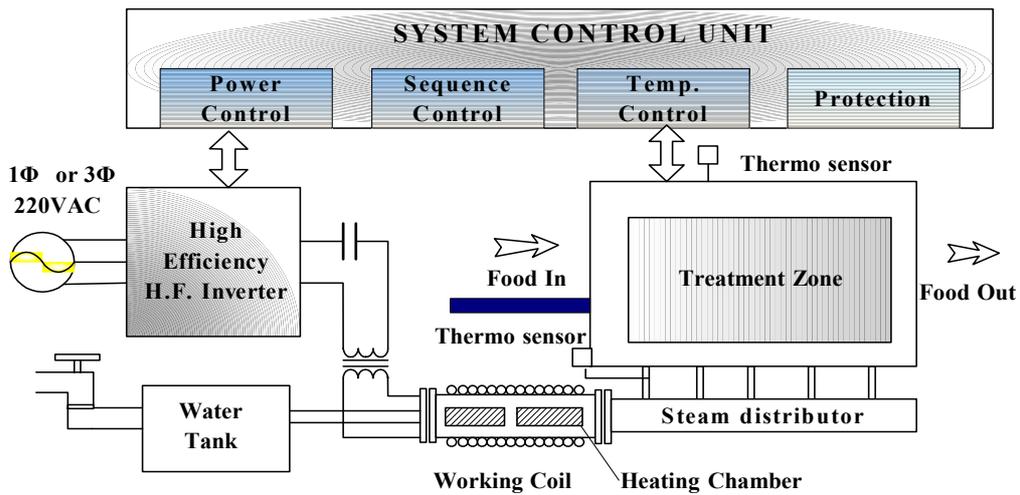
제 1 도 . 유도 가열 코일



제 2 도. 유도 가열 전원 회로도  
(벽 컨버터+공진형 풀브리지 컨버터)



제 3 도 . 증기 발생 챔버 구조도



제 4 도 . 건조 시스템 개략도

※ 보고서 겉표지 뒷면 하단에 다음 문구 삽입

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.