

고전계 코로나 방전 처리기술을 활용한
건조식품의 살균 및 위생화 연구

연구 기관
한국식품개발연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “고전계 코로나 방전 처리기술을 활용한 건조식품의 살균 및 위생
화 연구”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2003. 8. 23

주관연구기관명 : 한국식품개발연구원

총괄연구책임자 : 김 경 탁

연 구 원 : 김 성 수

연 구 원 : 이 부 용

연 구 원 : 홍 희 도

위탁연구기관명 : 한국전기연구원

위탁연구책임자 : 백 주 원

연 구 원 : 유 동 욱

요 약 문

I. 제 목

고전계 코로나 방전 처리 기술을 활용한 건조식품의 살균 및 위생화 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 연구개발의 목적

고전계 코로나 장치 분야에서 건조식품에 효과적인 살균처리를 위한 코로나 발생장치의 연구와 코로나 방전처리 장치를 이용한 식품 적용에 대한 연구로 기존의 건조식품 살균기술을 대체하고자 하였다.

2. 연구개발의 중요성

기존의 건조식품의 살균방법의 유해성 문제에 착안하여 기존의 건조식품의 살균기술을 대체하고자 하는 고전계 코로나 방전 처리기술은 방사선 조사에 비하여 설비가 매우 간단하고 인체에 직접적으로 유해한 물질 변형을 일으키지 않으며 건조식품중의 미생물을 효과적으로 살균할 수 있는 장점으로 인하여 그 전망은 밝다고 할 수 있다. 또한 일반 단위농가형 소형설비로도 가능함으로 영세 건조분말 가공업체에서도 손쉽게 적용이 가능할 뿐만 아니라 수요자의 요구에 따라 다양한 설비 구축이 가능한 장점이 있으므로 향후 시장성은 충분할 것으로 판단된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 고전계 발생장치 및 방전 챔버개발
2. 코로나 발생장치의 성능 최적화 연구
3. 대용량 코로나 발생장치의 개발
4. 고전계 코로나 방전처리한 인삼분말의 살균효과 및 품질 변화
5. 고전계 코로나 방전처리한 생식의 살균 효과 및 품질 변화
6. 고전계 코로나 방전처리한 고추분말의 살균 효과 및 품질 변화

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용 방안에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 고전계 발생장치 및 방전 챔버개발

전원장치를 10kV 구형과 전압으로 하였으며 챔버는 배치형의 침대 평판 구조로 결정하였다. 본 과제에서 당초 목표한 10kV급 구형과 발생 전원을 구현하여 시험한 결과, 충분한 코로나를 얻기위해 보다 높은 전압이 필요하다는 점을 감안하여, 전원장치의 설계 방향을 수정하여 다양한 형태의 전압과 크기 조절이 가능하며 주파수 변경이 가능한 전원을 구성하였다. 또한 출력전압의 크기를 당초 목표한 10kV에서 20kV로 상향조정하여 보다 실험조건을 자유로이 가변할 수 있게 하였다. 처리용 챔버는 침대 평판 구조와 구대 평판 구조 두가지를 제작 시험하였으며 침대 평판 구조가 안정적인 코로나 발생에 보다 유리하므로 이를 시료처리 시험에 이용하였다.

나. 코로나 발생장치의 성능 최적화 연구

전극간의 간격을 넓히기 위해 전압을 25kV 이상 가할 수 있는 정현파 전원장치를 제작하였으며 주파수를 500Hz 까지 가변하도록 하여 조건에 따라 코로나 발생을 조절할 수 있게 하였다. 챔버는 코로나의 발생을 균일하게 하기 위해 선대 평판의 구조로 제작하였다. 전원장치의 주파수와 전압 그리고 챔버의 형상과 구조에 따라 코로나 발생이 달라지며 이에 따라 분말의 처리 시험 결과 역시 달라진다. 그러므로 원하는 처리조건을 찾아내는 것이 가장 중요하였으며 본 연구에서는 약 100Hz-400Hz에서 25kV의 전압을 인가한 상태에서 극간의 간격을 조절하여 시료를 처리할 수 있게 하였다. 처리용 챔버는 선대 평판형을 제작 시험하였으며 침대 평판에 비해 훨씬 균일한 코로나 분포를 얻을 수 있었다.

다. 대용량 코로나 발생장치의 개발

30kV 이상의 전원 장치와 고주파 전원의 설계를 수행하였으며 30kV 전압 방전 시험을 수행하였다. 특히, 실험 과정에서 다양한 시험 데이터를 얻기 위해 교류 주파수를 매우 높여서 수 내지 수십 kHz의 교류 방전을 시험하였으며 분말에 대한 전계 효과를 시험하였다. 챔버는 보다 균일한 전계 분포를 얻기 위해 선대 평판 구조를 기본으로 설계, 제작하였으며 전원을 인가하여 실험한 결과, 침대 평판 보다 우수한 특성을 나타내었다.

라. 고전계 코로나 방전처리한 인삼분말의 살균 효과 및 품질 변화

코로나 방전 처리에 의한 인삼분말 제품의 미생물 사멸효과는 고전압의 전류형태와 세기에 따라 차이가 있는 결과를 나타냈다. 미생물의 사멸 효과는 고전압의 AC 전류가 DC 전류보다 뛰어났으며 전류세기에 의한 코로나 방전처리는 전압세기가 높아질수록 미생물 사멸효과가 높았다. AC 전류로

20kV/cm 전압세기에서 약 1.8 log 정도의 미생물 사멸효과를 나타낸 반면 DC 전류는 20kV/cm에서 약 0.5 log 정도의 사멸효과를 나타내었다. 또한 고전계 코로나 방전처리에 의한 인삼분말의 이화학적 성분의 함량 변화에 있어서는 일반성분과 무기질 함량, 조사포닌 함량, 유리당 함량, 색깔 및 관능검사에 있어서 코로나 방전 처리하지 않은 인삼분말의 성분함량과 큰 차이를 나타내지 않아 고전계 코로나 방전 처리에 의한 건조식품의 살균은 식품의 성분에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

마. 고전계 코로나 방전 처리에 의한 생식의 살균 효과 및 품질 변화

전극과 시료의 간격에 의한 고전계 코로나 방전처리시 각 균주의 불활성화에 미치는 영향을 검토하기 위하여 전압세기별 5~20kV/cm, 처리시간별 100~400 μ s 및 전극과 시료와의 간격별 2~10mm에 대하여 *Escherichia Coli*, *Bacillus subtilis*, *Sacchromyces cerevisiae*의 균주에 대하여 고전계 코로나 방전 처리한 결과 균주의 사멸효과는 약 1.2 log 정도의 미생물 살균효과를 얻을 수 있었다. 그리고 곡류중 쌀에 많이 발생하고 있는 쌀바구미, 어리쌀도둑의 해충에 대하여 전압세기 20kV/cm, 전극과 시료간격 2mm에서 처리시간을 각각 100, 200, 300, 400 μ s 조건별로 조정하여 고전계 코로나 방전처리한 결과 100 μ s에서 시료 해충의 약 85%가 사멸을 나타내었고 200 μ s에서는 100% 사멸을 나타내었다. 그리고 시중 생식제품에 대하여 고전계 코로나 방전 처리한 결과 일반세균의 경우 약 1.2 log 정도의 미생물 사멸 효과를 얻었다.

바. 코로나 방전 처리한 고추 분말의 살균 효과 및 품질 변화

코로나 방전 처리시 고추 분말의 미생물 사멸율은 같이 전압세기에 따라 사멸이 증가하여 30kV/cm 전압으로 처리시 일반세균의 경우 약 2.4 log 정도 감소한 결과를 나타내었다. 효모와 대장균도 전압세기에 따라 점차 감소하

여 일반세균과 거의 유사한 효과를 나타내었다. 일반성분 및 색도는 코로나 방전처리하지 않은 대조구 고추분말과 큰차이를 나타내지 않았으며 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 고추 분말의 Capsaicin과 capanthin은 무처리 대조구의 함량을 100으로 보았을 때 30kV/cm 전압의 경우 각각 2.5%, 0.7%의 감소를 나타내 고전계 코로나 처리에 안정한 것으로 확인되었다. 향미 성분의 경우 고춧가루에서 3개의 주된 peak를 얻었으며 전반적으로 전압의 세기가 커질수록 peak 면적이 감소하는 경향을 보였다. 5kV/cm에서는 5.5%, 10kV/cm에서는 8.1%, 20kV/cm에서는 12%, 30 kV/cm에서는 15.3%의 감소를 보였다.

2. 활용 방안에 대한 건의

- 가. 본 연구에서 개발된 고전계 코로나 방전 기술을 이용한 위생화 기술을 관련 식품 업계에 전수
- 나. 본 기술을 이용한 가공제품의 다양화와 품질 고급화로 제품 수출뿐 아니라 내수시장의 기반확대
- 다. 실용화 기술 및 제품의 국제화를 위한 기업연계 기술지원과 기술수준 향상을 위한 산·학·연 협동 노력을 지속적으로 추진
- 라. 본 가공기술을 기존 살균 가공기술과 접목할 수 있는 복합 신 가공기술을 개발

SUMMARY

I Title

Study on sterilization and sanitization of dried foods using high electric field corona discharge technology

II Objectives and Significance

1. The scopes of this study were the development of a corona discharge device to effectively sterilize dried foods and its application on drying foods to substitute conventional sterilization technologies.

2. Conventional sterilization technologies for dried foods, yielding harmful effects, can be substituted with high voltage corona discharge technology. This new corona discharge technology has more positive prospects than irradiation technology in terms of using simple facilities, not yielding byproducts harmful directly to human beings, and effectively sterilizing microorganisms in drying processes. The technology will be feasibly demanded in the future market, because small-scale millers, producing dried powders, can easily adapt the technology and the facilities for the technology can be variably established based on consumers' needs due to using only small-scale facilities fit for each individual farm.

III Contents of Significance

1. Development of high voltage electric field generator and discharging

chamber

2. Study on the performance optimization for corona generator
3. Development of high capacity corona generator
4. Effect of Corona Discharge on the Changes in Quality and Pasterization of Ginseng Powder.
5. Sterilization and quality characteristics of high voltage corona discharge treated uncooked cereal foods
6. Studies on physicochemical characteristics of high voltage corona discharge treated red pepper powder

IV Results and Recommendation

- 1) Development of high voltage electric field generator and discharging chamber

Power supply was made and tested with DC voltage, a square waveform and a sinusoidal waveform with 10kV peak-peak respectively. In design of power supply, it was made of functions such as change of voltage waveform and variable voltage and frequency to do a various experiment. Corona strength is increased with a rise of the applied voltage and frequency. Therefore, output voltage was designed to 20kV in 1st year to get a enough corona. In last year, output voltage was set up to 30kV. The tested chamber was a batch type which was consist of needle to plate electrode. As a experimental results, sinusoidal waveform was more suitable for corona generation. In addition to needle-plate chamber, wire-plate chamber was also made and tested. In respect of uniform electric field,

wire-plate chamber showed a better results. Therefore, it can be used to treat a food processing effectively.

2) Study on the performance optimization for corona generator

To widen a gap between electrodes, the sinusoidal power supply was made to apply over 25kV and to change frequency up to 500Hz that control the corona strength as a experimental condition. Chamber was a wire-plate structure which had a narrow gap between wires to uniform a generation of corona. Generation of corona was changed to frequency and an applied voltage of electrode and was affected to shape and structure of chamber. Therefore, it was important to find out the condition of a food processing with an optimized electrical parameter. In this project, food was treated with 100Hz - 400Hz and over 25kV by changing a gap of electrode. Treatment chamber showed a better corona distribution in wire-plate compared to needle- plate.

3) Development of high capacity corona generator

A high capacity corona generator with output voltage over 30kV and high frequency power source was designed and tested with a wire-plate discharging chamber. Electrode gap was varied with corona discharge strength needed in food processing. With higher voltage and a wider gap of electrode, more capacity of chamber has been obtained.

In experiment, high frequency discharging test(a few kHz - several tens of kHz) has been done to get a various discharging data. It was also used to test an application of food treatment.

4) Effect of Corona Discharge on the Changes in Quality and Pasterization of Ginseng Powder.

As a newly emerging pasteurization method for improving shelf-life of powdered ginseng, the corona discharge generated at high voltage condition was examined in the view points of the effects on microbial pasteurization, physicochemical characterization and sensory evaluation.

The effect of corona discharge on microbial pasteurization of powdered ginseng was examined prior to others. The pasteurizing effects of corona discharge on total bacteria, yeast & molds and coliforms were proportional to the increase in the strength of voltage. However, the corona discharge treatment of 5 kv/cm did not show significant effect of pasteurization on the yeast & molds and coliforms. The treatment of 20kv/cm reduced about 95% of total bacteria ($6.14 \pm 0.04 \rightarrow 4.59 \pm 0.04$) and coliforms ($2.43 \pm 0.05 \rightarrow 1.00 \pm 0.05$) and 99% of yeast & molds ($4.65 \pm 0.06 \rightarrow 2.73 \pm 0.06$). The proximate analysis, minerals, free sugars, crude saponin and colors of the powdered ginseng between the control and the treatment of 20kv/cm were not significantly different at $P < 0.05$ level. The corona discharge up to 20kv/cm did not affect the proximate analysis, minerals, free sugars, crude saponin and colors of the powdered ginseng. Sensory evaluation scores in color, flavor, taste and overall acceptability between the control and 20kv/cm corona discharge treated powdered ginsengs were not significantly different at $P < 0.05$ level. Consequently, corona discharge treatment is thought to be a good alternative pasteurization method for improving shelf-life of powdered ginseng to gamma irradiation etc. due to its strong pasteurization effect,

unobserved destruction of nutrients and good sensory characteristics.

- 5) Sterilization and quality characteristics of high voltage corona discharge treated uncooked cereal foods

Escherichia coli, *Bacillus subtilis*, and *Saccharomyces cerevisiae* were treated by high voltage corona discharge in ranges of 5 to 20kv/cm for voltage strengths, 100 to 400 μ s for treatment intervals, and 2 to 100 mm for distances between electrodes and samples in order to check inactivation degrees of each strain. The treatments resulted in the sterilization effects of about 1.2 log reductions on the tested microorganisms. Harmful insects, such as ssal-ba-gu-mi and e-ri-ssal-do-duk often found in rice, were treated by high voltage corona discharge at a voltage strength of 20kv/cm, a distance between electrodes and samples of 2 mm, and treatment intervals of 100, 200, 300, 400 μ s. The corona discharge treatments for 100 μ s and 200 μ s could eradicate about 85% and 100% of the tested harmful insects, respectively. The treatments for the uncooked diet food producers from the current retail markets also resulted in the sterilization effects of about 1.2 log reduction on the tested total aerobic bacteria.

- 6) Studies on physicochemical characteristics of high voltage corona discharge treated red pepper powder

The destruction rates of microorganisms in corona discharge treated red pepper powder were proportional to the applied voltage strengths and the treatments resulted in the sterilization effects of about 1.3 log reduction at a voltage strength of 20kv/cm. The numbers of yeasts and coliforms

gradually decreased as voltage strengths increased and that of aerobic bacteria similarly decreased as well. As for proximate components and color intensities, there was no significant difference between untreated and corona discharge treated red pepper powders. The contents of capsaicin and capsaanthin in corona discharge treated red pepper powder decreased only 2.5% and 0.7% of those in untreated powder, indicating that the two components were stable against corona discharge treatments. As for flavor components, three peaks were obtained from red pepper powder and the peak areas generally decreased as voltage strengths increased, such as a 5.5% reduction at 5 kv/cm, an 8.1% reduction at 10 kv/cm, a 12% reduction at 15 kv/cm and a 15.3% reduction at 20 kv/cm, respectively.

2 Applications of the results

- 2.1 Transfer of sanitization technology using high voltage corona discharge treatments, that were obtained from this study, to related food companies
- 2.2 Exporting end-products and expanding domestic market networks through product diversification and quality enhancement by using the new corona discharge technology
- 2.3 Gradual pursuance to co-work among industry, academia, and research institutes to enhance and support company-related technologies to internationalize acquired technologies and consequent products
- 2.4 Development of new composite processing technologies by combining high voltage corona discharge technologies with conventional processing

g technologies

CONTENTS

SUMMARY

Chapter 1. Development of high voltage electric field generator and discharging chamber

1. Introduction
2. Principle and phenomenon of corona discharge
 - 2.1 Corona discharge
 - 2.2 Power analysis of corona discharge
3. Conventional partial discharge and chamber system
4. High voltage power generator
 - 4.1 Square pulse generator
 - 4.2 Power supply for sinusoidal waveform
 - 4.3 High voltage dc power supply
 - 4.4 Manufacture of power supply
5. Design and manufacture of chamber
 - 5.1 Condition of corona generation and uniformization of electric field for circular electrode
 - 5.2 Manufactured chamber
6. Analysis of discharging electric field
7. Result
8. Discussion

Chapter 2 Study on pasteurization and sanitization of dried foods using high electric field corona discharge technology

1. Introduction

2. Effect of Corona Discharge on the Changes in Quality and Pasterization of Ginseng Powder

2.1. Material and Methods

2.1.1 Ginseng powder

2.1.2 High voltage corona discharge equipments

2.1.3 Changes in viable microorganism counts of ginseng powders treated by corona discharge

2.1.4 Proximate analysis of ginseng powders treated by corona discharge

2.1.5 Mineral contents of ginseng powders treated by corona discharge

2.1.6 Free sugar contents of ginseng powders treated by corona discharge

2.1.7 Crude saponin contents of ginseng powders treated by corona discharge

2.1.8 Changes in color of ginseng powders treated by corona discharge

2.1.9 Sensory evaluation of ginseng powders treated by corona discharge

2.2 Results and Discussions

2.2.1 Changes in viable microorganism counts of ginseng powders treated by corona discharge

- 2.2.2 Proximate analysis of ginseng powders treated by corona discharge
 - 2.2.3 Mineral contents of ginseng powders treated by corona discharge
 - 2.2.4 Free sugar contents of ginseng powders treated by corona discharge
 - 2.2.5 Crude saponin contents of ginseng powders treated by corona discharge
 - 2.2.6 Changes in color of ginseng powders treated by corona discharge
 - 2.2.7 Sensory evaluation of ginseng powders treated by corona discharge
3. Effect of Corona Discharge on the Changes in Quality and Pasterization of Sangsik(uncooked cereal foods)
- 3.1 Material and Method
 - 3.1.1 Materials
 - 3.1.2 High voltage corona discharge equipments
 - 3.1.3 Effects of death rate of microorganisms in Sangsik treated by corona discharge
 - 3.1.4 Effect of corona discharge in pasterization of insects
 - 3.1.5 Pasteurization effects of microorganisms in Sangsik treated by corona discharge
 - 3.2 Results and discussion
 - 3.2.1 Effects of death rate of microorganisms in Sangsik treated by corona discharge

- 3.2.2 Effect of corona discharge in pasterization of insects
- 3.2.3 Pasteurization effects of microorganisms in Sangsik treated by corona discharge
- 4. Effect of Corona Discharge on the Changes in Quality and Pasterization of red pepper powder
 - 4.1 Material and method
 - 4.1.1 Material
 - 4.1.2 Changes in viable microorganism counts of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.1.3 Proximate analysis of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.1.4 Contents of capsaicin and capanthin in red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.1.5 Changes in color of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.1.6 Changes in flavor of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.1.7 Sensory evaluation of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.2 Results and discussion
 - 4.2.1 Changes in viable microorganism counts of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.2.2 Proximate analysis of red pepper powders treated by corona discharge
 - 4.2.3 Contents of capsaicin and capanthin in red pepper powders

treated by corona discharge

4.2.4 Changes in color of red pepper powders treated by corona discharge

4.2.5 Changes in flavor of red pepper powders treated by corona discharge

4.2.6 Sensory evaluation of red pepper powders treated by corona discharge

Reference

목 차

요약문

SUMMARY

제 1 장 고전계 발생장치 및 방전챔버 개발

제 1 절 서 론

제 2 절 코로나 방전의 원리 및 현상

1. 코로나 방전
2. 코로나 발생 전력
3. 코로나 개시 전압

제 3 절 기존의 부분방전 및 챔버 시스템 연구

제 4 절 고전압 발생장치

1. 구형파 펄스발생 전원장치
2. 정현파 발생 전원장치
3. 직류전압 발생 전원장치
4. 전원장치 제작

제 5 절 챔버의 설계 및 제작

1. 원통 전극의 코로나 발생 조건과 전계 분포의 균일화
2. 제작한 챔버

제 6 절 방전 전계 해석

제 7 절 실험 결과

제 8 절 결론

제 2 장 고전계 코로나 방전 처리기술을 활용한 건조식품의 살균 및 위생 화 연구

제 1 절 서론

제 2 절 고전계 코로나 방전 처리한 인삼분말의 살균효과 및 품질 변화

1. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

나. 고전계 코로나방전 처리 장치

다. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 미생물 균수 측정

라. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 일반성분 분석

마. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 무기질 분석

바. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 유리당 분석

사. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 조사포닌 분석

아. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 색도 측정

자. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 관능 평가

2. 결과 및 고찰

가. 고전계 코로나 방전처리에 의한 인삼 분말의 미생물 살균 효과

나. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 일반성분

다. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 무기질 함량

라. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 유리당 함량

마. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 조사포닌 함량

바. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 색도

사. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 관능 평가

제 3 절 코로나 방전 처리한 생식의 살균 효과 및 품질 변화

1. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

나. 고전계 코로나 방전처리 장치

다. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 살균 효과 측정

라. 고전계 코로나 방전처리에 의한 해충 사멸 효과 측정

마. 고전계 코로나 방전 처리한 생식의 미생물 균수 측정

2. 결과 및 고찰

가. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 살균 효과

나. 고전계 코로나 방전처리에 의한 해충의 사멸 효과

다. 고전계 코로나 방전처리에 의한 생식의 미생물 살균 효과

제 4 절 코로나 방전 처리한 고추분말의 살균 효과 및 품질 변화

1. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

나. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 미생물 균수 측정

다. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 일반성분 분석

라. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 Capsaicin과 Capanthin 분석

마. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 색도 측정

바. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 향기성분 측정

사. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 관능 평가

2. 결과 및 고찰

가. 고전계 코로나 방전처리에 의한 고추분말의 미생물 살균 효과

나. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 일반성분

다. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 Capsaicin과 Capasanthin의 함량

라. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 색도

마. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말 제품의 향기성분

바. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말 제품의 관능 검사

참고문헌

제 1 장 고전계 발생장치 및 방전챔버 개발

제 1 절 서 론

액상식품의 고전계 처리에 의한 세균 사멸은 많은 연구가 진행되어 왔으며 관련기술 역시 다양하게 개발되어 왔다. 반면에 고전계 코로나 방전을 이용한 미생물 사멸효과는 문헌에서 소개되어 왔으나 배양한 세균체에 대한 실험만이 주로 이뤄져 왔으며 분말식품에 대한 적용연구가 이뤄지지 않았다. 또한 코로나 방전에 중요한 변수인 전계를 발생하는 전원장치에 대한 충분한 개발 연구가 이뤄지지 않았다.

본 연구에서는 최종 목표로서 30kV의 출력크기를 갖는 가변주파수 교류 전원장치를 개발하고 방전 전극을 구성하여 분말 식품에 대한 방전시험을 수행하도록 하였다. 고전계 코로나를 이용하여 식품을 살균하는 방법은 장치면에서 고전압 발생장치와 코로나 방전이 일어나는 극판(챔버)만으로 간단히 구성되며 챔버내부의 형상 및 구조를 최적의 상태로 도출하고 전원장치의 출력전압과 주파수, 전극간의 거리등의 변수를 맞춰 주면 챔버 내부에서 코로나 방전이 일어나게 된다. 미생물 사멸 원리는 발생한 전극간에 불평등 전계를 통해 챔버내부에 코로나 방전을 발생되고 이로 인한 전계효과와 오존 그리고 각종 파생되는 radiation에 의해 고체 식품균에 기생하는 세균, 해충등이 사멸되는 것이다. 코로나 방전을 이용한 식품처리 방법은 전자선이나 이온화조사에 비해 다소 시간이 걸리는 단점을 가지고는 있으나 설비가 간단하고 인체에 직접적으로 유해한 물질 변형을 거의 일으키지 않는 장점이 있다.

살균처리 과정은 고전압 발생장치를 통해 만든 특정한 파형의 전압을 챔버에 인가하여 바라는 고전계가 식품에 가해지도록 하여 이뤄진다. 이때, 식품에 가해

지는 전계효과는 많은 파라미터에 의해 좌우되며 특히, 챔버 내부의 형상 및 구조와 전원장치의 주파수, 전압등의 변수등에 좌우되게 된다. 그러므로 식품 처리 결과에 따라 최적의 변수를 찾아서 전원과 챔버의 가변 조건을 최적화하여야 한다.

본 과제에서는 장치의 요소기술을 연구하였으며 10kV급 고전압 구형파와 펄스 그리고 정현파 발생이 가능한 전원장치를 설계 제작하여 방전특성을 시험하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 전원의 형상을 정현파로 고정하였으며 챔버의 구성은 극판의 형상을 선대 평판 구조로 하였다. 그리고 종래의 문헌 데이터를 활용하여 챔버의 구조형상과 설계 데이터를 결정한 뒤에 챔버의 설계 및 제작을 하였다. 전원장치는 전원의 형상은 고정하고 크기는 방전 개시전압을 조절하며 입력 전력을 제어 할 수 있게 가변되게 하였으며 동작 주파수 역시, 처리 조건별로 시험 할 수 있게 가변되게 하였다.

챔버 내부에서 극판과 시료의 배치는 계속적으로 연구되어야 할 부분으로 판단되며 본 연구에서는 극판내부의 코로나 방전을 균일화하면서 보다 전계 강도를 높이도록 극간의 유전체를 삽입하는 방법을 역시 연구하였다. 그리고 극간 간격을 넓혀서 30kV로 인가전압을 높여서 방전시험을 수행하였으며 분말외에 여러 응용분야를 찾기 위한 전원장치 설계, 시험을 수행하였다.

제 2 절 코로나 방전의 원리 및 현상

1. 코로나 방전

침대평판 간극과 같은 불평등 전계 중에서는 corona 방전(corona discharge)이라고 부르는 부분 파괴가 안정하게 존재하게 되고, 전로파괴에 도달하기까지에는 여러 가지 복잡한 과정을 경유한다. 침대평판 또는 선대 평판 등의 전극간에 전원이 인가되면 불평등 전계가 존재하게 되며 트리첵 펄스, 타운젠트 방전, 코로나 방전, 스트리머 방전, 아크등 여러 단계의 극간 방전 특성이 나타나게 된다. 그 중에서 일정한 상태에서 불평등 전계 중에서는 corona 방전(corona discharge)이라고 부르는 부분 파괴가 안정하게 존재하게 되며 본 연구에서는 이 부분을 이용하고자 한다.

침대평판 간극과 같이 전계가 심한 불평등성을 갖는 간극의 절연파괴는 평등 전계 또는 준평등간 전계간극과 비교하면 다음과 같은 특징을 갖는다.

- ① 극성효과(polarity effect)의 존재 : 바늘을 평판에 대하여 정극성 또는 부극성으로 함에 따라 절연파괴형태 특성에 심한 차이를 나타낸다.
- ② 부분파괴와 전로파괴 : 절연파괴 부분이 특히 전계가 강한 침침 부분에만 집중하여 안정하게 존재할 수 있다.

이와 같은 파괴를 부분파괴(partial breakdown)또는 corona 방전(corona discharge)이라고 부른다. 인가전압을 계속 상승시키면 전극간을 flash-over 하는 전로파괴에 이른다. 간극의 인가전압에 의하여 corona 방전은 다양하게 분류할 수 있으며 전압효과에 의한 분류로 직류 corona, 교류 corona, 충격 corona, 고주파 corona 로 나눌 수 있고 극성에 의한 분류에 의해 정 corona, 부 corona로 분류할 수 있다.

가. bursh corona

bursh corona는 침단과 평판전극과의 거리가 수 cm이상이어서, 전압을 상승시켜 가면 스파아크 방전이 발생하기 전에 침단에서 지금까지와 달리 길이가 연장한 모양의 corona가 발생한다 .

이 단계의 corona는 glow corona와 같이 안정치 않고 독특한 소리를 내면서 명멸한다. 이와 같은 corona를 brush corona 또는 망광 corona라고 한다.

나. streamer corona

전압을 더욱 상승시키면 corona의 발광부가 전극간을 교락한 것과 같이 보이는 방전형성이 나타난다. 주의 깊게 보면 가는 광조가 많이 집합하여 있고 이것이 명멸을 반복하고 있는 상태를 볼 수 있다. 이와 같은 상태의 corona를 그 외관에 의하여 streamer corona라고 부른다.

이상 기술한 것과 같이 침단이 정극의 경우에 발생하는 corona에는 여러 가지 단계가 있으며, 전압의 증가와 더불어 이것이 순차로 발달하여 간다. glow corona는 공기중의 습도에 의하여 거의 영향을 받지 않지만 brush corona 및 streamer corona는 습도가 높아지면 그 발달이 저해되는 경향을 나타낸다. 바늘이 부극인 경우에는 corona가 발생한다. 그 형성은 brush corona와 유사하지만, 정극의 경우만큼 심하게 발달하는 일이 없고 안정하며 glow 방전과 닮은 성질을 나타낸다. 정극성의 corona가 길게 발달하고 부극성에서는 신장하지 않는 이유는 정 ion에 의한 공간전하의 효과에서 다음과 같이 설명할 수 있다.

corona 방전에서 생긴 전자와 정 ion중에서 공간전하로서 작용하는 것은 이동농도가 적은 정 ion이다. 바늘이 정극인 경우에는 corona의 선단에 있는 정 ion 군과 부의 평판전극과의 사이의 전계가 강해지고 더욱 corona의 발달을 촉진한다. 바늘이 부극인 경우에는 정 ion 군과 바늘과의 사이의 전계가 강해지고 안정한 corona 방전이 생기지만, 정 ion의 평판측의 전계는 반대로 약화되어

corona가 신장하기 어렵게 된다.

라. 교류 corona

50~60 Hz 정도의 이른바 상용주파수의 교류가 전극간에 가해진 경우에는 각 반주기마다 그 극성에 의한 corona가 발생하고 있다고 생각할 수 있다. 따라서 각 극성대에서 발생하는 코로나 현상을 직류 코로나로 대입하여 생각할 수 있다. 교류 코로나에서 고주파로 동작하는 펄스에 대해서는 다르게 해석할 수 있으며 다음과 같다.

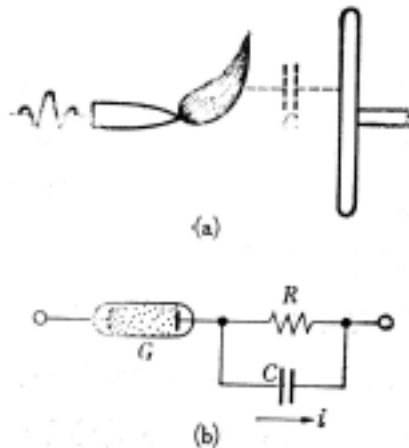


그림 1. 교류 코로나의 모형도

고주파에 있어서도 불평등 전계의 경우에는 corona가 발생한다. 그 개시전압도 직류 또는 교류의 경우에 비교하면 큰 차이가 없다. 단, 직류 또는 교류의 경우에 비하여 특별히 다른 것은 corona 전류가 크고 따라서 corona에 공급되는 에너지도 크게 될 수 있다는 점이다. 이 때문에 고주파 영역에 있어서의 corona 현상은 무시할 수 없다.

그런데 고주파전압이 인가된 경우를 생각하면, 그림 1과 같이 corona의 부

분과 상대의 전극과의 사이에 존재하는 정전용량을 무시할 수 없고, 같은 그림 1(b)에 나타낸 것과 같이 전류는 고저항 R를 통과할 필요가 없이 정전용량 C를 통과할 수 있으므로 직류 또는 교류의 경우보다도 전류치는 증가하고 따라서 corona부분에 공급되는 에너지도 현저하게 증대하게 된다.

2. 코로나 발생 전력

코로나가 발생하면 기중에 완전한 전로 파괴가 일어나지 않고 미약한 전류가 흐르게 된다. 이 전류는 다음 그림에서 동심 전극으로 생각해볼 때 실험식으로 다음과 같이 볼 수 있다. 본 과제에서는 동심원의 바깥원의 지름을 무한히 크다고 가정할 수 있다.

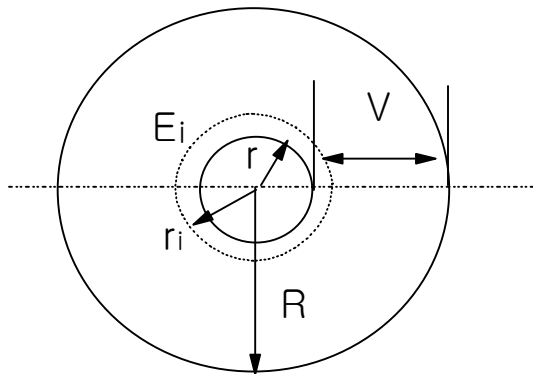


그림 2. 동심 원통 전극 구조

$I = aV(V - V_0)$ 이고 V_0 는 코로나 발생전압, V 는 인가전압이다. 그러므로 동심 원통 전극 구조를 이용하여 코로나 전압과 전류의 관계를 얻을 수 있으며 이를 통해 코로나 발생 전력을 구할 수 있다. 단위 길이당 원통으로부터 R 방향으로 흐르는 전류 I는 이동도 u 와 전기장 E, 전자밀도 n 을 사용하여 다음과 같이 표

현된다.

$$i = 2\pi r n e u E$$

그리고 동축원통의 전극간의 임의의 r점의 정전기장은 다음 식으로 얻어진다.

$$E = \frac{V}{\log R/r} \frac{1}{ri}$$

$R^2 \gg r^2$ 이면 직류와 전압 식을 이용하여 코로나 전력을 얻을 수 있으며 결과식은 다음과 같다.

$$P = aV^2(V - V_0)$$

상기 결과식은 직류 코로나에 대한 것으로 교류 코로나에 대한 것은 다음과 같이 실험식으로 주어진다.

$$P = a(V - V_0)$$

그림 3은 지름 1mm의 도체에 있어서의 주파수와 코로나 발생 전력과의 관계를 나타낸 것으로 코로나 발생전력은 개시전압을 넘어서는 전압과 주파수 변수에 의해 조절할 수 있음을 알 수 있다.

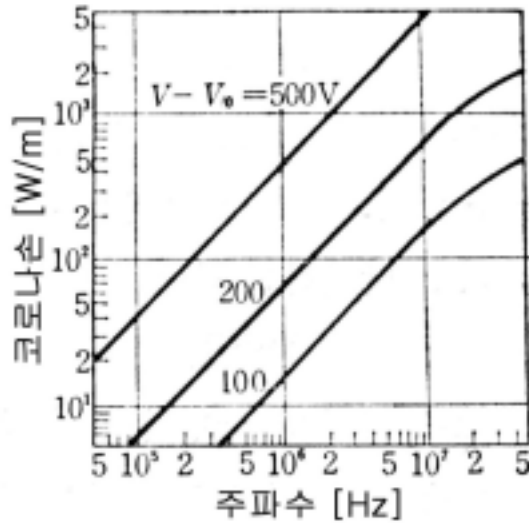


그림 3. 지름 1mm의 도체에 있어서의 주파수와 코로나손과의 관계

3. corona 개시전압

송전선의 도체에 상당하는 표면을 원활하게 연마한 반지름 $r(\text{cm})$ 의 평행원통 전압에 교류 전압을 가했을 때 corona가 시작하는 전위경도를 E_c (최대값)라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_c = 29.8 \delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \right) \left(\frac{\text{kV}}{\text{cm}} \right)$$

여기서 δ 는 상대공기밀도(relative air density)이며 상온상압(20°C, 760 torr)의 공기 밀도를 1로 하였을 때의 공기밀도이다. δ 를 산출하려면

$$\delta = \frac{0.386 P}{273 + t}$$

단, P : 측정시의 기압(torr), t : 측정시의 기온(°C)의 관계를 사용하면 된다. 상기와 같은 전원식은 여러 가지 전극에 대해서 나타나므로 다음과 같은 형식으로 나타난다.

$$E_s = A\delta \left(1 + \frac{B}{\sqrt{\delta d}} \right)$$

$$E_s = A\delta \left(1 + \frac{B}{\sqrt{\delta r}} \right)$$

여기서, r 는 전극의 곡률 반지름으로 바꾸어 정리할 수 있다. (A , B 는 전극의 형상에 의하여 달라진다.) 초고압 송전에 이용되고 있는 다도체의 경우에도 r 로서 등가반지름을 사용하면 실험값과 잘 일치한다는 것이 확인되었다.

이 식의 E_c 를 사용하여 송전선의 corona 개시전압 V_{om} (대지파고값, 즉 최대값)을 구하려면 다음과 같이 하면 된다.

$$V_{om} = \frac{E_c}{g_m} m_0 m_1 (k V_{max}) \quad V_{om} = \frac{E_c}{g_m} m_0 m_1 (k V_{max})$$

여기서 m_0 는 표면계수, m_1 은 날씨에 의하여 결정되는 계수이다
본 과제에서는 코로나의 발생을 위해 직류 코로나 및 교류 코로나를 모두 시험하였으며 시료와의 관계에 따라 파형의 형상과 전압의 크기를 조절하였다.

제 3 절 기존의 부분방전 및 챔버 시스템 연구

부분방전을 이용한 분말의 직접적인 처리연구는 아직 기존 문헌에서 소개된 예가 거의 없으며 실험실 규모로 코로나 방전에 따른 배양 세균의 살균효과와 극판에 도포된 세균의 살균효과에 대한 소개가 있다.

본 연구에서는 기존의 장치 구성 방법을 토대로 보다 분말 처리에 적합하도록 코로나 발생장치를 구현하고자 하였다. 기존 연구에서는 실험실 규모의 소형 장치를 그림 4와 같이 구성한 뒤에 한약재의 박테리아 살균 시험을 수행하였다.

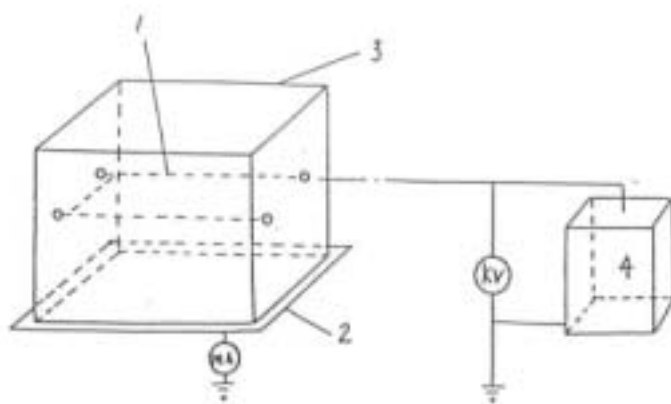


그림 4. 단일 선대 평판 전극에 의한 코로나 시험

45×30cm 알루미늄판 전극을 접지하고 그 위에 42×26×28cm 유기성 유리를 놓았다. 방전 전극은 4×4mm별형 와이어이거나 바늘이 있는 플레이트 전극을 사용하였으며 방전 전극과 접지된 전극 사이의 거리를 5cm로 띄운 뒤에 양 고전압, 음 고전압, 양 펄스 전압, 음 펄스 전압, 50Hz교류 고전압을 인가하여 코로나 발생을 시험하였다. 살균 효과를 검증하기 위해 박테리아가 함유된 한약재를 두께 2mm의 접지된 전극에 놓고 두 전극사이에 고전압을 가하여 코로나 방전을

발생시켰다. 코로나 방전계로 처리한 종래의 한약재를 Jilin Province Cumese Medicine College에서 검사하여 곰팡이 양과 여러 가지 세균을 측정하였다. 4×4mm의 별형 와이어를 방전 전극으로한 양·음 DC 전류, 양성펄스와 음성펄스 AC 전압을 각각 사용할 경우 곰팡이 생존율, 전계 강도, 전압과형과의 관계는 그림 2에 나타내었다. 여기서 펄스전압의 반복 주파수는 650Hz, 펄스 폭 tr은 400ms, AC 주파수는 50Hz이다. 그림 5에서 보면 다양한 전압형태와 극성을 사용하더라도 어느 정도는 살균력을 갖는다는 것을 알 수 있다. 파형을 보면 AC 전압의 살균효과가 가장 뛰어났다.

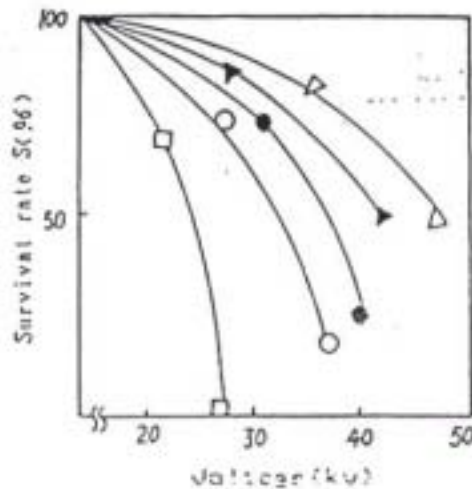


그림 5. 전압원에 따른 살균효과

(□ : AC , ○ : 음의 펄스, ● : 양의 펄스, ▲ : 음의 직류전압, △ : 양의 직류전압)

다음은 구형 볼을 가지는 챔버를 통해 통과하는 기체나 볼 표면의 세균 살균효과를 시험한 예이다. 전원장치와 볼 챔버의 구성은 다음 그림 6과 같다.

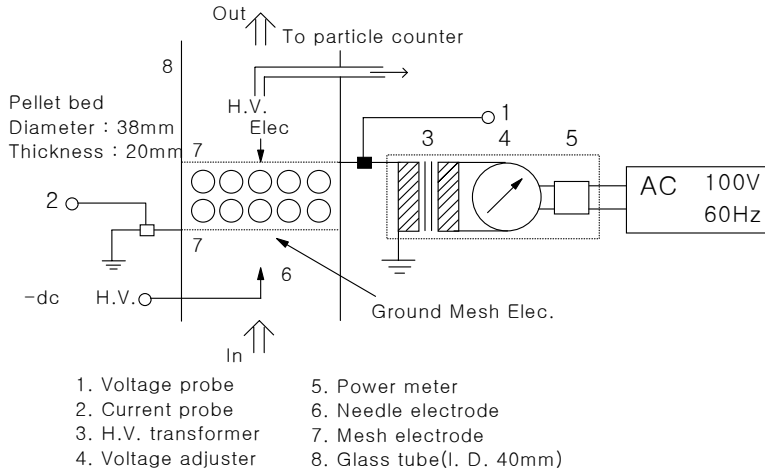


그림 6. AC 전계에 의한 구형 볼 챔버 살균시스템

챔버의 극간은 20mm이며 약 12kV의 전압을 인가하였다. 인가전압은 60Hz의 교류전압을 가하였다. 챔버의 극간 간격과 공기의 유입은 다음 그림과 같다. 챔버 내의 볼 표면에는 1×10^5 cfu/ml의 효모균을 도포하였다.

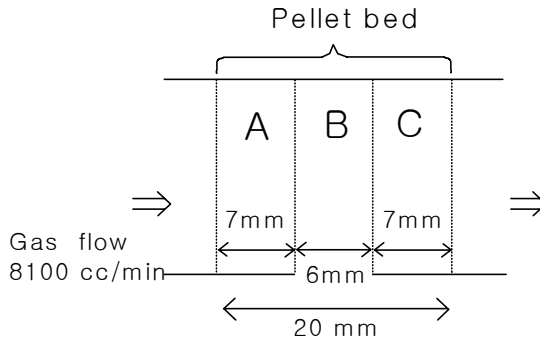
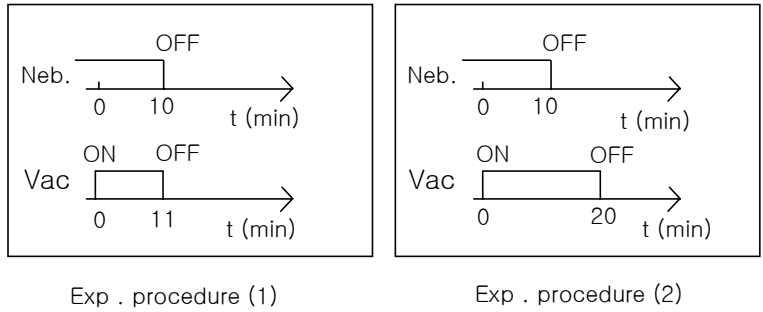


그림 7. 챔버의 극 판 및 볼 배치

다음 그림 8과 같이 처리시간별로 시험한 결과에 비추어 볼 때, 교류전계를 10분 더 인가한 것이 살균력에서 우수한 특성을 나타내었다.



(a) 처리시간 조건

Exp. proc.	Region	Number of colonies (Averaged value)
(1)	A	8.6
	B	0
	C	0
(2)	A	0.4
	B	0
	C	0

(b) 처리결과

그림 8. 살균 처리 시간에 따른 결과

이상의 기존 연구결과에서 침의 선단에서의 전계가 집중된 부분에서 코로나에 의한 살균력이 검증되었으며 극판 내에 유전체 매개 물질이 있는 상태에서 표면상의 세균들이 코로나 방전계에 의해 사멸됨을 알 수 있었다. 본 연구에서는 기존의 챔버를 개선하여 공간상에 전체적인 코로나 방전이 분포할 수 있도록 하며 극판 사이의 유전체 매개 물질에 의한 영향을 역시 연구하였다.

제 4 절 고전압 발생장치

코로나 방전을 일으키기 위해서는 반드시 고전계를 가해 줄 전원장치가 필요하다. 고전계는 설명한 바와 같이 직류, 교류 등의 전원으로 다양하게 구성할 수 있으며 코로나 상태 역시 이들 전원에 의존한다.

본 과제에서는 고전압 발생장치의 출력전압 크기, 주파수, 파형등의 가변이 가능하도록 하기 위해 교류 입력전압을 정류한 뒤에 이를 다시 직류-직류 변환 또는 직류-교류 변환이 가능하도록 구성하였다.

1. 구형파 펄스발생 전원장치

1차 구성 장치는 펄스 출력과 정현파 출력 그리고 직류전압 출력이 모두 가능한 구조로 하였다. 펄스와 정현파 출력은 단상 인버터 출력의 결선이 스위치 동작에 의해 바뀌지도록 하여 출력의 파형을 선택 사용하게 하였으며 직류전압은 출력전압을 정류회로에 결선하여 얻도록 하였다. 펄스 전원회로는 기본적으로 다양한 회로들중에서 위상변이형 풀 브릿지 컨버터를 채택하였으며 바라는 출력 특성을 자유롭게 가변할 수 있도록 디지털 프로세서를 이용한 제어를 사용하였다. 다음 그림 9는 펄스 출력 전원을 위한 풀 브릿지 컨버터 회로와 스위치 동작 파형이다.

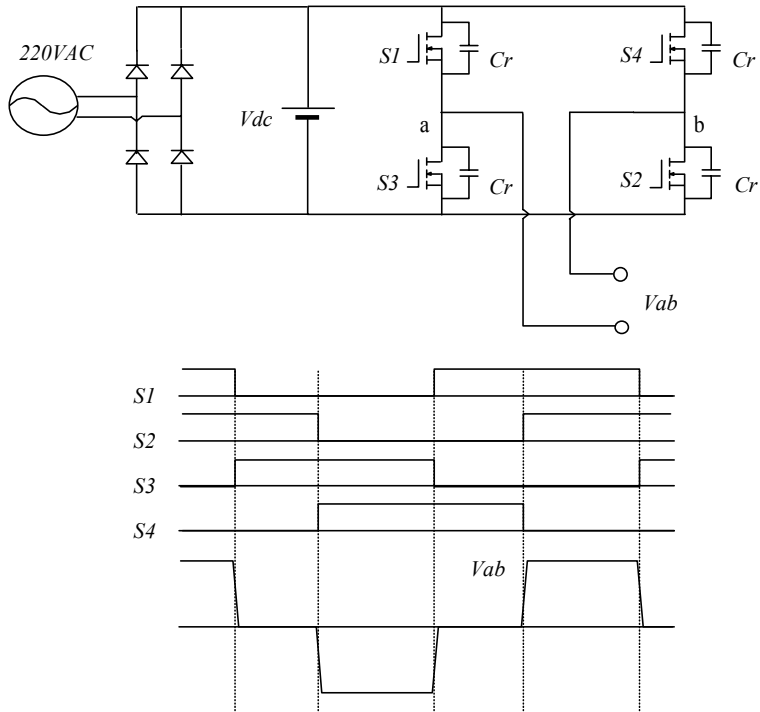


그림 9. 풀브릿지 컨버터 및 스위치 동작 신호 파형

위상 변이 제어방법은 바라는 출력을 만들기 위해 컨버터의 진상레그 스위치 (S1, S3)와 지상 레그 스위치(S2, S4)의 동작에 시간차를 이용하여 인버터의 출력단 Vab 전압의 펄스폭을 가변 할 수 있다. 진상레그와 지상레그 스위치는 위상차가 0도에서 180도까지 변경될 수 있으며 0도일 때는 출력전압 파형의 펄스폭이 최대가 되며 180도 일때는 펄스폭이 최소가 된다.

고전압 전원장치는 구형파 출력과 고압 직류전압 그리고 정현파 출력전압 세 가지를 얻을 수 있도록 구성하였으며 이를 위해 상기 출력 Vab 후단에 직접 고압 변압기를 연결하거나 L-C 필터 회로를 거쳐 연결이 되거나 한 뒤에 고압 변압기의 출력에는 구형파 펄스전압이나 펄스폭 제어를 통해 만들어진 인버터 출력을 필터링한 정현파 전압이 승압된 출력이 나오도록 하였다.

제어회로는 출력의 형상과 변수가 다양하게 나타날 수 있게 하여야 하므로 각 조건에 따라 출력이 달라 질 수 있고 손쉽게 제어를 가변할 수 있게 구성하였다. 따라서 디지털 프로세서를 채택하여 장치의 출력제어가 다양하며 손쉽게 가변될 수 있게 하였다. 채택한 제어용 프로세서는 DSP소자이며 제어를 구성하는 논리회로는 확장과 변경이 용이한 EPLD 소자를 채택하여 구성하였다. 제어기에서는 컨버터의 펄스폭을 결정하기 위해 연산한 값을 EPLD 소자에 출력하며 이를 이용하며 EPLD 소자내의 다음 그림 10과 같은 논리회로는 각 컨버터의 스위치 소자의 구동신호를 출력하게 된다.

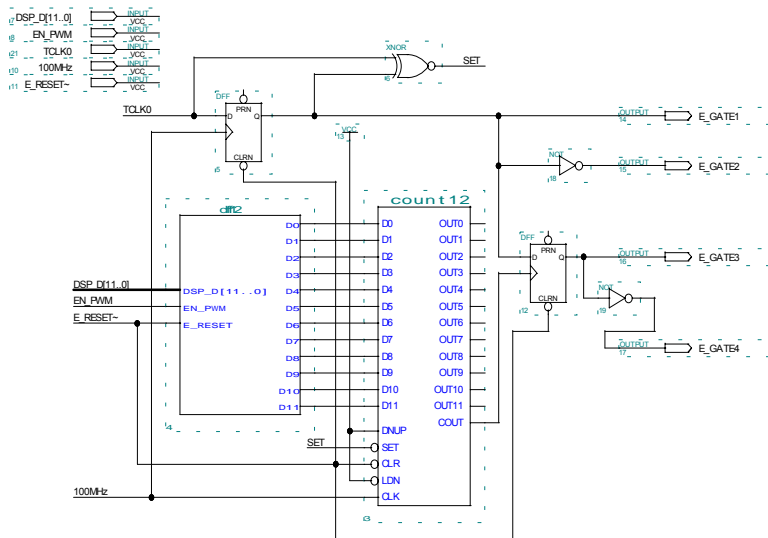


그림 10. EPLD소자의 컨버터 구동신호 발생회로부

전력회로가 풀 브릿지 형 위상변이 컨버터이므로 회로는 스위치 진상 레그과 지상레그의 위상 이동을 DSP 소자로부터 받아들인 값을 카운트한 뒤에 이를 이용한 출력파형과의 조합으로 만들게 된다. 제어 프로그램은 동작 모드의 선택에

따라 구형과 전압 발생 또는 정현파 발생모드를 감지하여 이에 맞는 동작을 수행하도록 구성하였다. 그림 11은 사용한 제어회로의 도면이다.

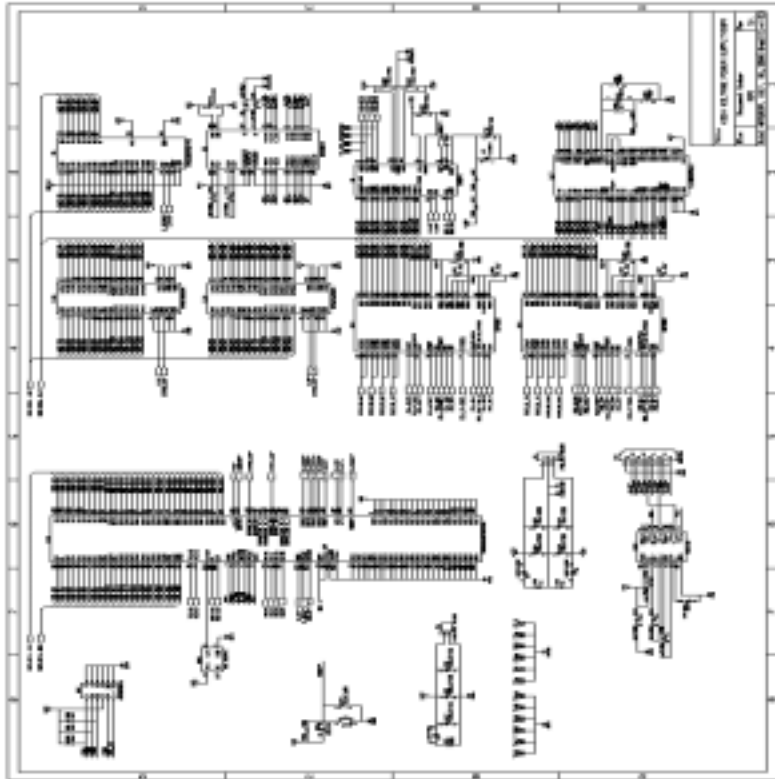


그림 11. 사용한 제어기의 도면

2. 정현파 발생 전원장치

정현파 파형을 만드는데에 1차 구성 장치에는 디지털제어기를 통해 구성하였으며 실험조건에 따라 제어기를 변경을 할 수 있게 하였다. 2차 구성 장치는 제어기를 정현파 제어를 위한 회로로 결정하였으며 고전압에 강인하고 저가화할 수 있게 회로를 간략화 하였다.

2차 구성 장치는 정현파 전원을 상용주파수에서 500Hz 까지 가변할 수 있고 전압을 챔버의 극판 양단을 기준으로 20kV를 인가할 수 있는 전원을 구성하였다. 전원장치의 기본 구성은 풀 브릿지 컨버터의 출력에 인덕터와 커패시터 필터를 거쳐 고전압 변압기가 연결되도록 구성하였으며 챔버의 극판간 전압을 최대 35kV이상 인가하기 위해 그림 12에서 나타낸 것과 같이 고압 변압기 두 대를 이용하여 회로 결선을 하였다.

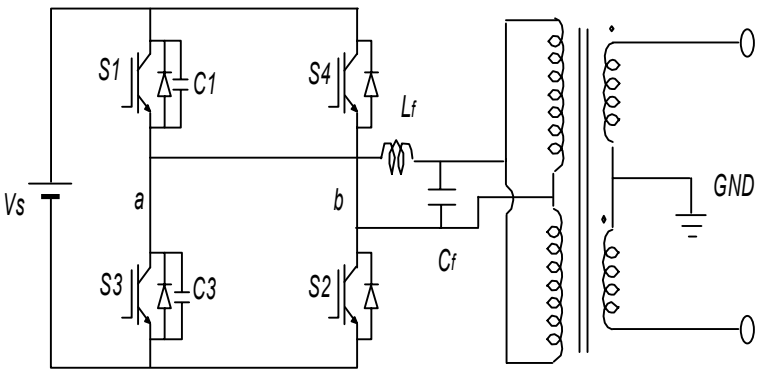


그림 12. 인버터 출력 및 고전압 변압기 결선 개략도

변압기는 20kV이상의 절연특성이 얻어지도록 절연유를 이용하여 함침하였으며 바라는 동작 주파수대역에서 동작이 가능한 철심 코어를 이용하여 제작하였다.

연구결과 코로나 방전 개시전압은 극판 간의 간격이 멀수록 훨씬 커지는 점을 감안하여 20kV 출력의 고압 변압기 두 대를 이용하여 변압기 두 대의 출력을 동상을 기준으로 직렬연결한 뒤에 연결점을 접지하고 각각 양단자를 챔버에 인가하여 챔버의 양단에는 최대 40kV까지 인가할 수 있도록 구성하였다. 인버터의 제어는 정현파 출력을 얻을 수 있도록 다음과 같은 제어기 구성을 하였다.

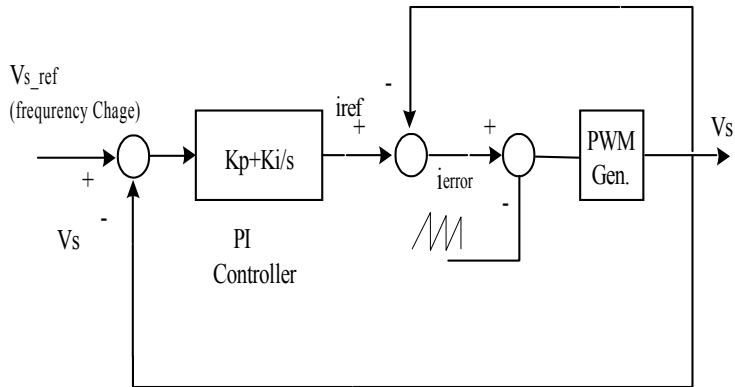


그림 13. 제어기 구성 블록도

정현파 기준신호는 정현파에서 500Hz 까지 가변되어 출력되게 하고 궤환된 출력전압과 비교하여 PI 제어기를 통해 전압을 추종하게 하였다. 필터 인덕터의 전류를 센스하여 전압 오차신호와 비교한 뒤에 삼각파와 비교하여 바라는 정현파 출력을 얻도록 구성하였다. 전압제어회로는 L, C 필터에 의해 제어입력과 출력전압 사이의 전달함수가 2차가 된다. 바라는 폐루프 특성은 이 2차의 전달함수에 의해 어려워진다.

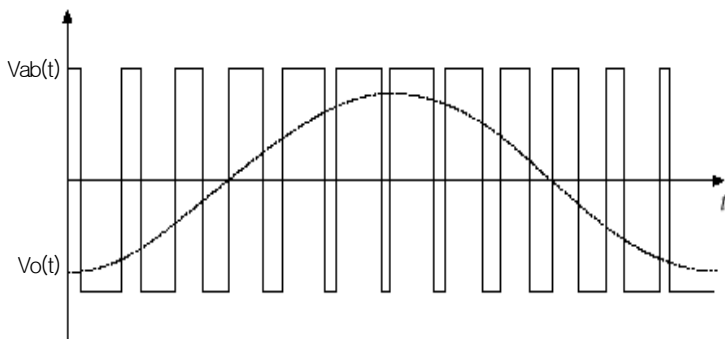


그림 14. 정현파 고전압 발생을 위한 컨버터 출력전압 및 필터 전압

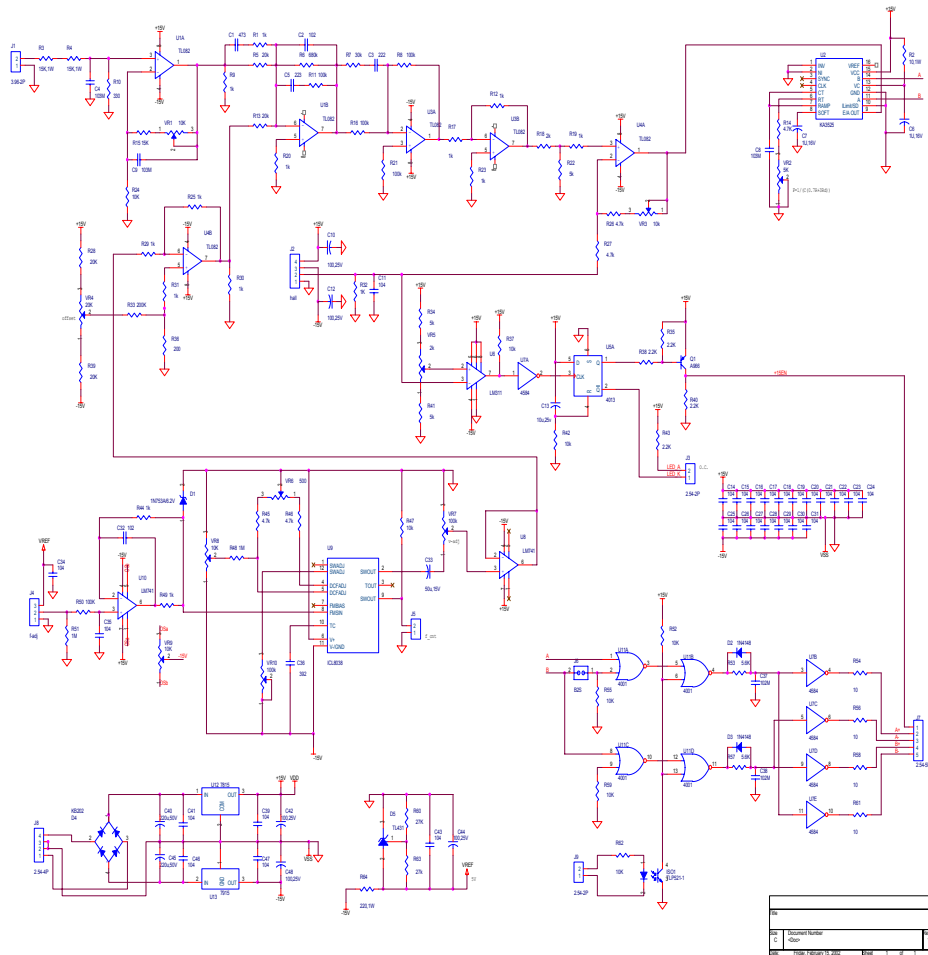


그림 15. 제작한 제어기 도면

이를 해소하고 동작특성을 향상시키기 위해, 제시된 제어기는 내부 전류제어 루프와 외부의 출력전압제어 루프를 가진다. 그림 14는 고압변압기의 출력전압을 60Hz의 정현파 교류로 만들기 위한 상기 컨버터의 출력전압 V_{ab} 와 이를 필터링한 전압 파형을 나타낸 것이다. 필터된 전압은 고압 변압기에 의해 승압되어 챔버로 가해지게 된다. 그림 15는 실제 제작한 제어기 도면을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 설계한 회로를 기초로 먼저 정현파 출력과 출력을 얻기 위한 전력회로로 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션은 일단 풀 브릿지 구조의 단상 인버터 회로에 정현파 출력을 얻을 수 있도록 삼각파 비교출력전압을 게이트 신호로 인가하였다. 그림 16은 시뮬레이션에 사용한 회로를 나타낸 것이며 그림 17은 출력양상과 각 변압기 이차측 전압 파형을 나타낸 것이다. 동극성이므로 출력에 2배의 전압이 나타남을 볼 수 있었다.

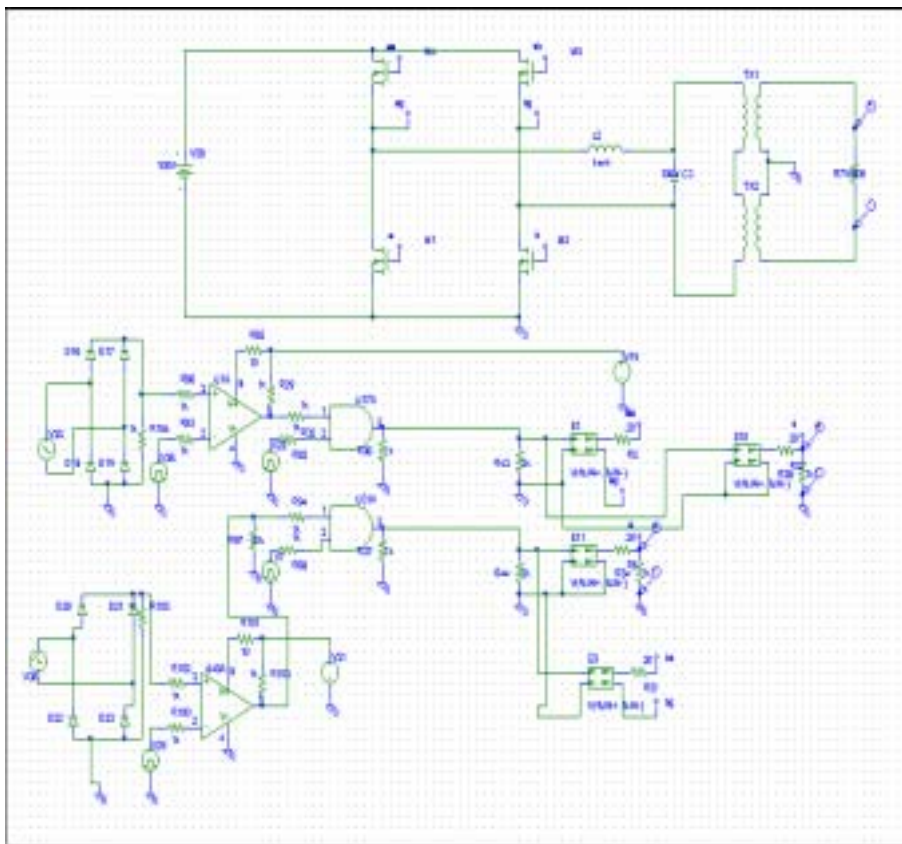
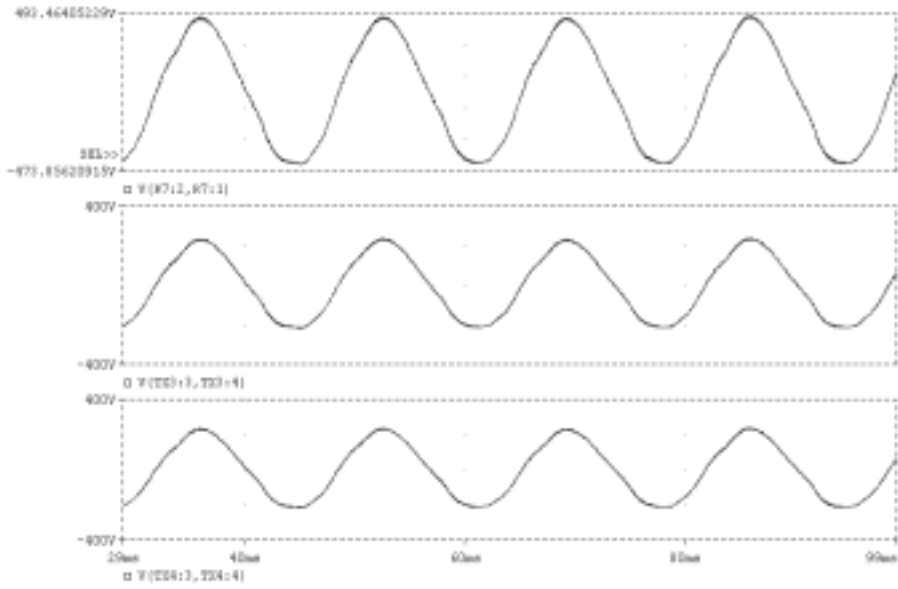
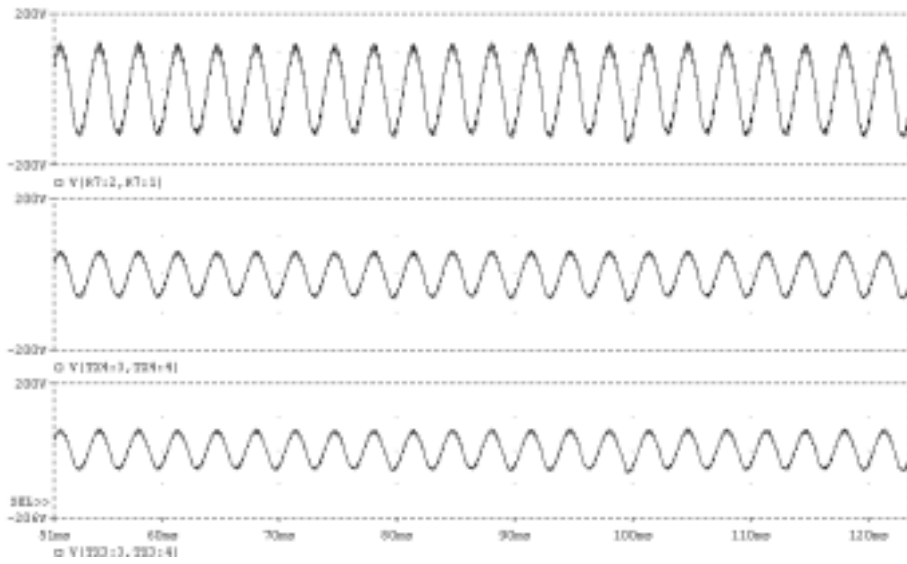


그림 16. 전원장치 시뮬레이션 회로



(a) 60Hz



(b) 300Hz

그림 17. 출력양단(상)과 각 변압기 이차측 전압(중, 하) 파형

3차 구성 장치에는 정현파 형상의 고주파 전원을 구성하여 방전특성을 시험하고자 하였다. 전원장치의 기본회로는 단상 인버터와 동일한 구성을 하였으며 출력측에 고전압 고주파 변압기와 필터 커패시터를 두어서 바라는 파형을 얻도록 하였다. 고주파 변압기는 페라이트 소재의 코어를 이용한 것과 0.1T의 박판으로 성층된 core를 사용하여 구성한 것을 이용하여 폭 넓은 주파수에 대해 시험을 할 수 있게 하였다. 인버터 회로는 1차 구성 장치와 동일한 회로이며 출력 제어기는 UC 3879를 이용한 위상전이 제어기를 이용한 회로를 구성하였다. 다음 그림 18은 사용한 회로도이다.

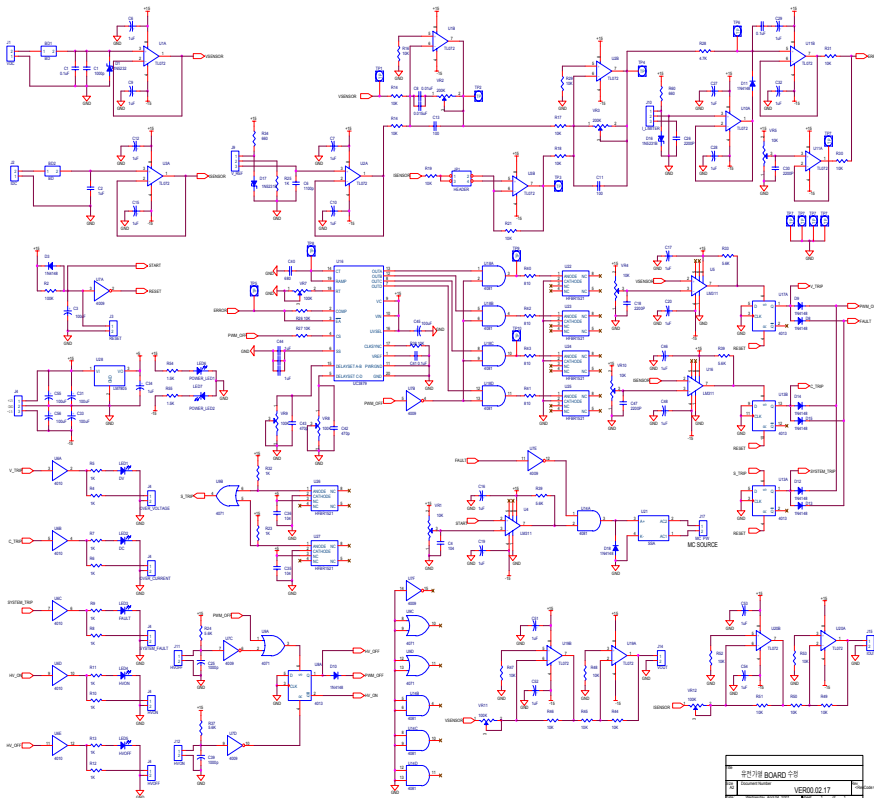
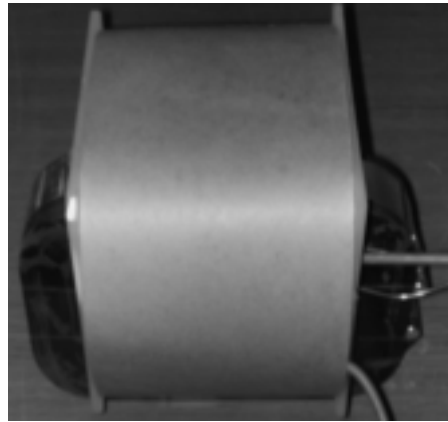


그림 18. 고주파 발생 전원장치 제어기



(a)



(b)

그림 19. 출력측 변압기 (a) 페라이트 코어형 (b) 0.1T 철심형

3. 직류전압 발생 전원장치

직류 고전압은 정현파 출력전압이나 펄스전압을 정류하여 사용하는 것으로 하였다. 정류회로는 배압회로를 사용하여 출력전압의 크기를 높이기 쉽도록 하였다. 다음 그림 20은 사용한 4배압 회로를 나타낸 것이다. 배압 회로의 입력은 정현파 출력전압의 주파수를 약 200Hz 이상으로 하여 주었다. 배압 회로는 사용하는 변압기의 출력전압에 비해 높은 직류전압을 얻을 수 있으므로 정현파 변압기 출력에 직접 결선하여 사용하였다.

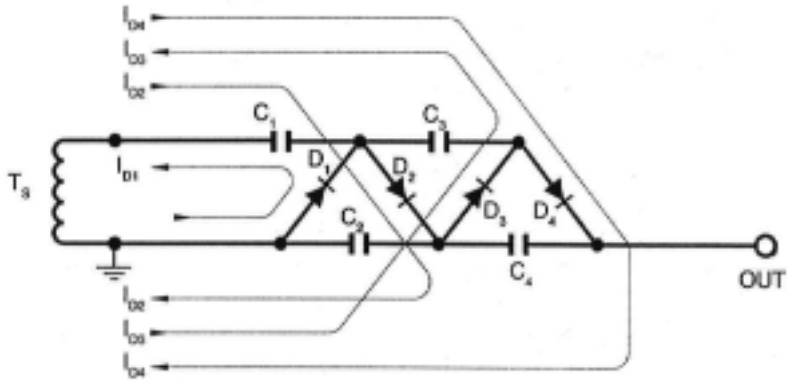


그림 20. 배압회로 (Voltage Doubler Circuit)

배압회로의 동작원리는 교변하는 교류를 정류하고 이를 이용하여 다시 다음 극성의 교류전압이 인가될 때 승압해가는 방식으로 회로의 원리는 구체적으로 다음과 같다. 그림에서 T_s 는 고압변압기이며 고압변압기 T_s 에서 음의 전압이 발생하게 되면, 전류 I_{D1} 이 그림의 화살표 방향으로 흐르게 되어 다이오드 D_1 을 통과해 콘덴서 C_1 을 충전한다. 이때 회로 방식이 콘덴서 인풋형 정류 방식이기 때문에 콘덴서 C_1 의 단자 전압은 V_{pk} 가 된다. 다음 과정으로 고압변압기의 권선 전압의 극성이 반전하여 T_s 에 양의 전압이 발생하면, 전류 I_{D2} 가 화살표 방향대로 흐르게 된다.

따라서 콘덴서 C_1 의 단자 전압은 T_s 에 발생된 양의 전압 V_{pk} 와 대수적으로 더해지고, 전류가 다이오드 D_2 를 통과해 지나가므로 콘덴서 C_2 를 충전시키게 된다. 이때 콘덴서 C_2 의 단자전압은 $2 V_{pk}$ 가 된다. 이후 다음 단에서 최종 출력단 $4 V_{pk}$ 가 얻어지기까지의 과정은 동일하다. 직류전압은 양극성이나 부극성으로 극관에 인가하여 사용할 수 있으며 방전특성이 안정한 부극성으로 실제 실험을 진행하였다.

한편, 파형 형상별로 비교연구를 검토한 결과로서 고전계를 발생시키기 위한 전원장치는 정현파에 의한 코로나 발생장치가 가장 우수한 특성을 나타내었다. 직류 하전에 의한 것보다 균일한 코로나가 얻어졌으며 양방향 펄스에 의한 코로나와는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히, 직류 전원을 이용하여 시험한 결과는 분말이 비산하여 흩어지는 현상을 나타내었다. 따라서 입자가 큰 분말에 직류 전압에 의한 방전이 유용함을 알 수 있었다.

4. 전원장치 제작

다음 그림 21은 1차 구성 장치의 전원장치 개요도와 사진이다. 상기절에서 설명한 바와 같이 교류 출력 또는 직류출력을 사용하도록 하였으며 개요도는 직류전압을 얻는 구조로 나타내었다.

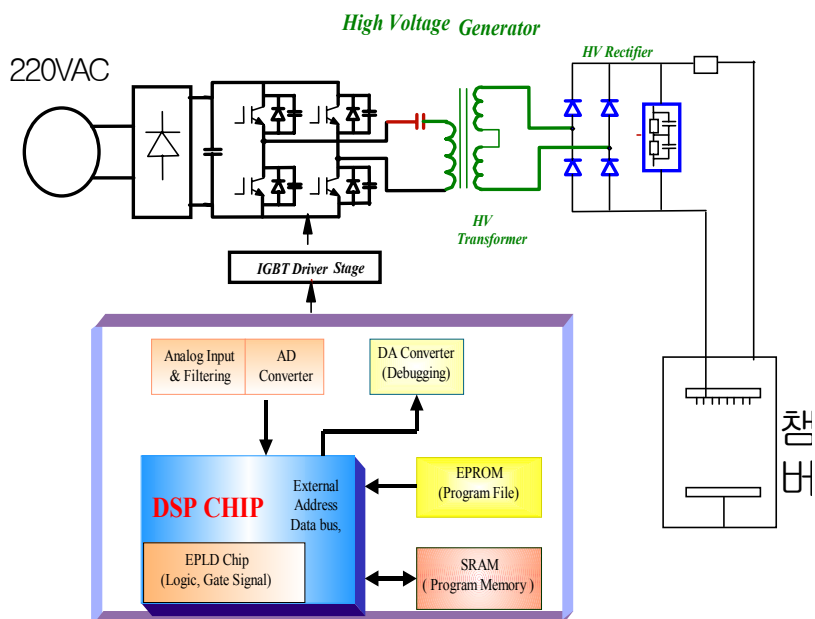


그림 21. 고전계 처리장치의 구성 블록도



그림 22. 고전압 발생장치 (1차 구성 장치)



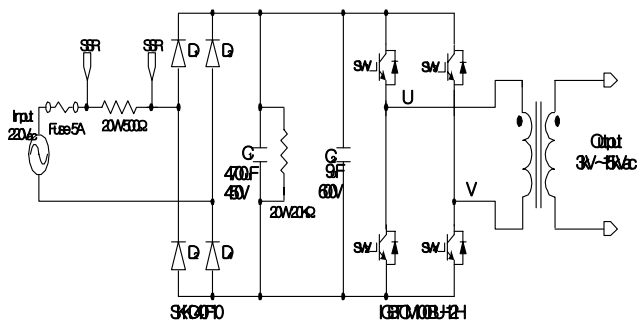
(a) 전원 전면



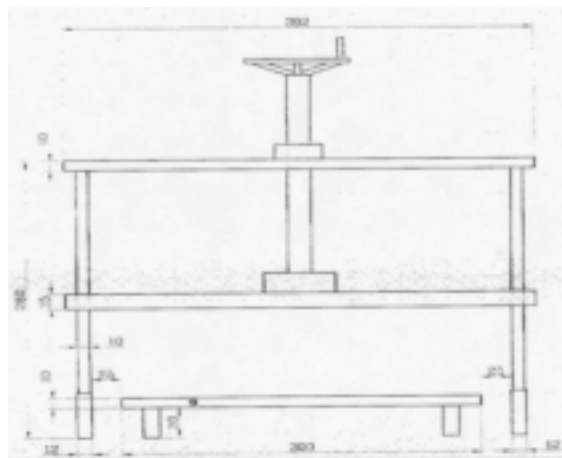
(b) 챔버 내부 사진

그림 23. 제작한 전원장치와 챔버의 전면사진(2차 구성 장치)

그림 23은 2차 구성 장치의 전원장치와 챔버 사진을 나타낸 것이다. 상단에 챔버를 위치시키고 중간과 아래층 단에 정현파 발생 전원과 고압 변압기를 위치시켰다. 그림 23(b)는 챔버의 상단부 선전극의 형상을 나타낸 것이다. 일정한 간격으로 권선되어 배열되어 있음을 볼 수 있다. 다음 그림은 24는 제작한 고주파 전원장치 도면 및 챔버와 사진이다. 전원장치는 고주파 방전을 위해 풀브릿지 컨버터의 고주파 출력을 필터 한 후에 고전압 변압기를 결선하여 바라는 인가전압을 만들었다.



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 24. 제작한 고주파 챔버와 전원장치 도면 및 사진
(a) 전원 도면 (b) 챔버도면 (c) 전원사진 (d) 챔버 사진

제 5 절 챔버의 설계 및 제작

코로나 발생을 위한 챔버는 여러 가지 형태로 구성할 수 있다. 대표적인 형태가 와이어 형태의 전극과 평판전극 구조 그리고 침대 평판 구조이다. 와이어 형태는 균일한 방전 코로나 분포를 얻을 수 있는 장점이 있으며 침대평판 구조는 코로나 개시전압이 낮고 기계적인 특성이 우수한 장점을 갖고 있다. 본 연구에서는 1차 구성 장치에 침대 평판 구조를 가지고 구성을 하였으며 코로나 방전 분포를 균일하게 가져가기 위해 많은 침을 판상에 배열하였지만 코로나에 의한 전계 집중이 일부분에 국한되어 고른 코로나 분포 특성을 얻기가 힘들었다.

본 과제에서는 코로나의 발생을 위해 교류 코로나를 발생하도록 시료와의 관계에 따라 파형의 형상과 전압의 크기를 조절하였다. 2차와 3차 구성 장치에는 선형 와이어에 다시 미세한 와이가 감겨진 특수한 구조를 채택하여 코로나 방전 개시특성이 침대 평판과 차이가 없으면서도 보다 균일한 분포의 코로나 분포 특성을 얻도록 하였다.

1. 원통 전극의 코로나 발생 조건과 전계 분포의 균일화

원통전극에서 전계 분포가 가장 집중되는 곳은 원통의 표면에 있으며 다음 식과 같다.

$$E_{\max} = \frac{V}{r \log\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{V}{y}$$

그림 25는 원통전극간의 관계를 나타낸 것으로 전압 V 를 높여 가면 코로나

를 거쳐 스파크 방전에 이르게 된다. 이때, 원통의 지름 비 R/r 이 클수록 전압을 높이더라도 직접 스파크 방전에 도달하지 않고 코로나 방전을 강하게 일으키는 과정을 거치게 된다.

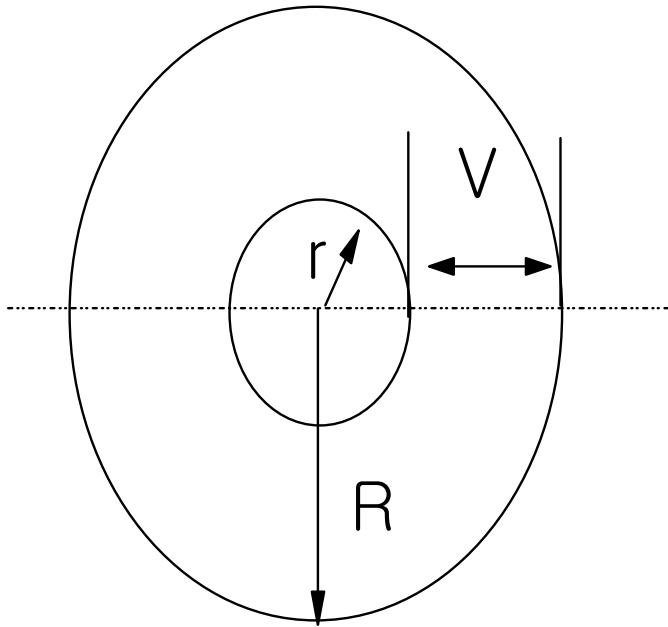


그림 25. 원통전극간의 전계 관계도

그러므로 본 연구에서는 외부를 등가적인 무한원인 평판으로 하고 내부의 전극을 선형 미세 와이어로 하여 코로나 발생 전압을 낮추고 방전 개시전압은 높도록 하였다. 원통비를 기준으로 $R/r = 3$ 이 코로나 방전의 한계이며 원통비를 이보다 낮춰 가면 코로나 발생 후에 스파크 방전으로 이행된다.

본 연구에서는 여러 개의 다도체의 전극 구조를 가지며 그림 26은 여러 도체의 전극을 예로 들 때 전극간의 전계 집중이 낮아지고 고른 전위를 가지게 됨을 나타낸 것이다.

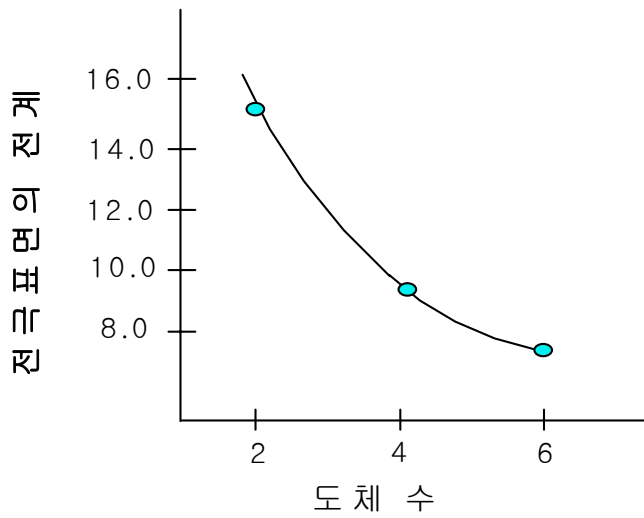
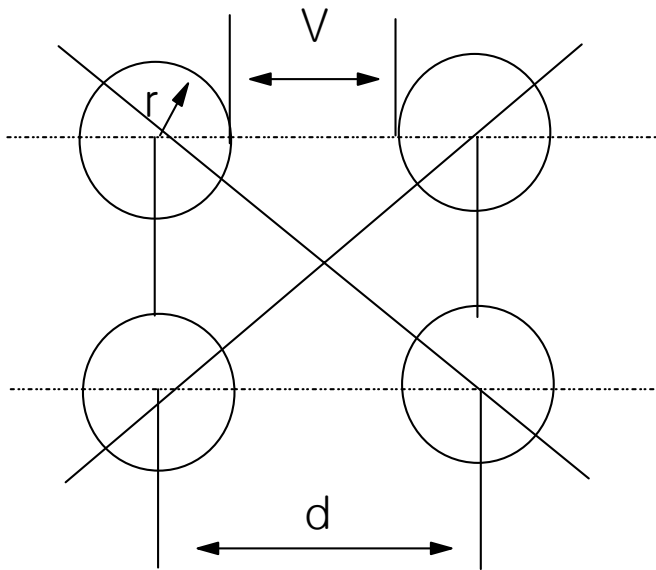


그림 26. 다수의 도체를 전극으로 할 때의 진계 변화 예

2. 제작한 챔버

1차 구성 장치 연구에서는 우선, 침대 평판 구조를 가지고 구성을 하였으며 코로나 방전 분포를 균일하게 가져가기 위해 많은 침을 판상에 배열하였으며 이들간의 간극을 좁게 가져가고 극간 거리 조절을 통해 침과 침 사이에 해당하는 평판부분의 전류분포가 균일화 될 수 있게 구성하였다. 챔버에는 직류전압과 교류전압을 인가하여 코로나를 발생시키지만 교류의 주파수가 매우 낮으므로 넓은 의미에서 직류코로나로 해석할 수 있다. 따라서 다음 코로나 전계 분포식을 이용하여 침간격을 결정하였다.

$$E(x) = \frac{1}{x + (\rho/4)} \frac{V}{\log(1 + (4d/\rho))}$$

여기서, $E(x)$ 는 대칭축상의 전계, d 는 간격길이, ρ 는 침의 곡률반지름, x 는 침단부터의 길이, V 는 인가전압이다. 따라서 0.1cm의 침에 약 20kV의 전계를 가한다고 볼 때, 침끝으로부터 직선거리에 있는 부분과 침과 침사이의 부분에는 약 4%이하의 전계차가 존재하게 된다. 침끝의 코로나가 가장 발달하는 부분의 전계는 인가한 전압에 비해 두배정도의 높은 전계가 형성되었다. 침과 평판간의 간격에 따른 방전개시전압을 역시 나타내었으며 약 1cm의 간격에서는 20kV 가까이 되는 전압에서 아크가 발생함을 알 수 있다. 그림 27은 제작한 침대 평판 챔버의 침 배치도이다.

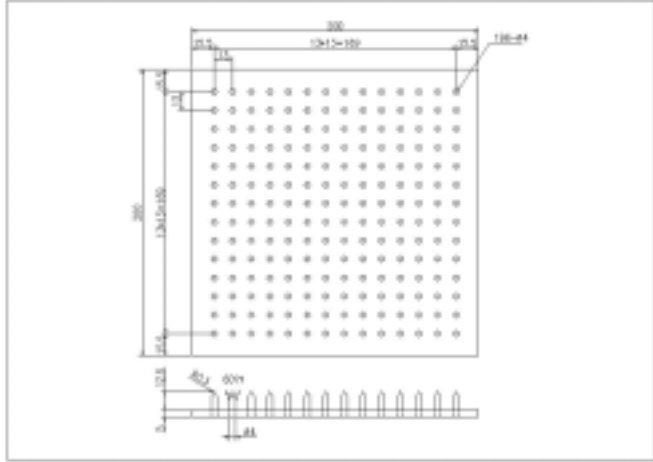


그림 27. 침 대 평판 챔버의 침 배치도

그림에서 나타낸 바와 같이 다수의 침들이 판상에 배열하였으며 행과 열에 대해 균일한 간격을 유지하게 구성하였다. 반대 극성의 극판은 평판으로 구성하여 처리해야 할 시료가 놓일 용기를 올려 둘 수 있게 하였다. 침 간의 간격은 1cm로 하여 침과 침사이의 코로나 방전 전류가 약해지는 부분의 전계가 작아지는 것을 약 4%이내가 되게 하였다. 그림 28은 실제 제작한 챔버의 사진을 나타낸 것이다.



그림 28. 제작한 침대 평판 챔버 사진

2차 구성 장치 연구에서는 직류전계에 의한 코로나보다는 교류전계에 의한 코로나가 보다 적합하므로 교류전계를 인가를 할 수 있도록 그림 29와 같이 선형 전극을 상판에 배열한 뒤에 하단에 절연체인 구조물로 하단을 구성하고 전극을 절연물의 아래에 배치되게 구성하였다. 이때 기중에 분포하는 전계의 크기는 절연물의 유전율과 밀접한 관계를 가지며 다음 식과 같이 나타내진다.

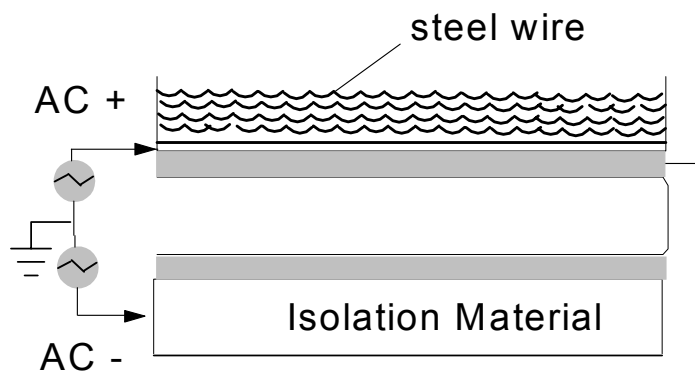


그림 29. 제작한 챔버 극판사이의 전원결선과 구성

$$E_{air} = \epsilon'' E_m$$

여기서 $\epsilon' = 1$, E_{air} 은 기중 전계, E_m 은 유전체 판의 전계, ϵ'' 유전체의 유전율이다. 50~60 Hz 정도의 이른바 상용주파수의 교류가 전극간에 가해진 경우에는 각 반주기마다 그 극성에 의한 corona가 발생하고 있다고 생각할 수 있다. 그림 30은 평행판 전극배치에서 좌우반 면을 나타낸 것으로 중앙부의 평등 전계부의 전계 세기는 $E = V/d$ 이고 전극의 첨단부의 전계 상태는 그림과 같이 강한 전위 경도를 가진다. 따라서 사면의 절연물과의 절연강도를 유지하기 위해 모서리 부의 전계를 낮춰주어야 한다.

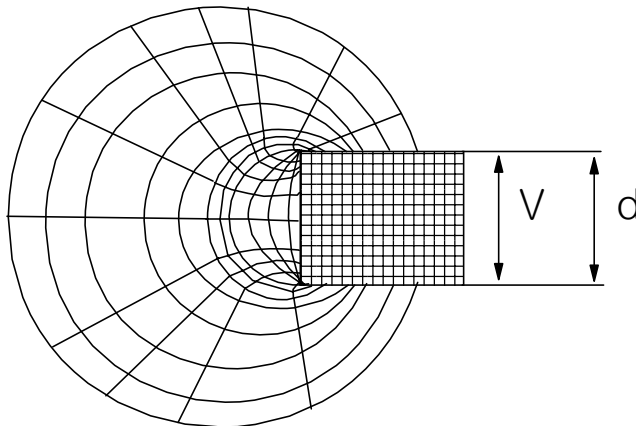


그림 30. 평행판 전극배치에서 좌우반 면 전계 분포

따라서 챔버의 모서리부는 둥글게 원통 반지름을 갖도록 하였다. 챔버에는 직류전압과 교류전압을 인가하여 코로나를 발생시키지만 교류의 주파수가 매우 낮으므로 넓은 의미에서 직류 코로나로 해석할 수 있다. 따라서 다음 코로나 전계 분포식을 이용하여 선 간격을 결정하였다.

$$E(x) = \frac{1}{x + (\rho/4)} \frac{V}{\log(1 + (4d/\rho))}$$

여기서, $E(x)$ 는 대칭축상의 전계, d 는 간격길이, ρ 는 침의 곡률반지름, x 는 침 단부터의 길이, V 는 인가전압이다. 송전선의 도체에 상응하는 표면을 원활하게 연마한 반지름 $r(\text{cm})$ 의 평행원통전압에 교류 전압을 가했을 때 corona가 시작하는 전위경도를 $E_c(\text{최대값})$ 라고 하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_c = 29.8 \delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \right) \left(\frac{\text{kV}}{\text{cm}} \right)$$

여기서 δ 는 상대공기밀도(relative air density)이며 상온, 상압(20°C , 760 torr)의 공기 밀도를 1로 하였을 때의 공기밀도이다. δ 를 산출하려면 다음의 상관 관계를 사용하면 된다.

$$\delta = \frac{0.386 P}{273 + t}$$

단, P : 측정시의 기압(torr), t : 측정시의 기온($^\circ\text{C}$)

상기와 같은 전원식은 여러 가지 전극에 대해서 나타나므로, 다음과 같은 형식으로 바꾸어 정리할 수 있다. (A, B 는 전극의 형상에 의하여 달라진다.)

$$E_s = A\delta \left(1 + \frac{B}{\sqrt{\delta d}} \right)$$

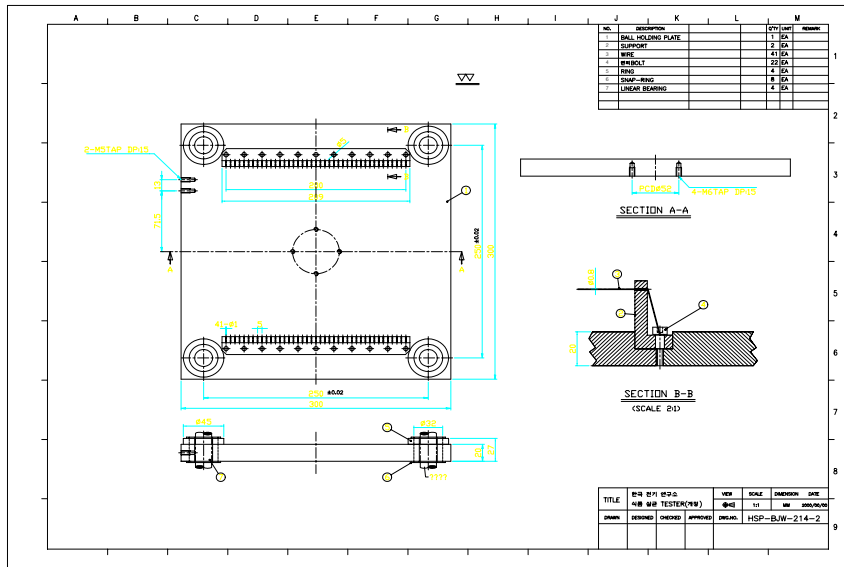
$$E_s = A\delta \left(1 + \frac{B}{\sqrt{\delta r}} \right)$$

여기서, r 는 전극의 곡률 반지름

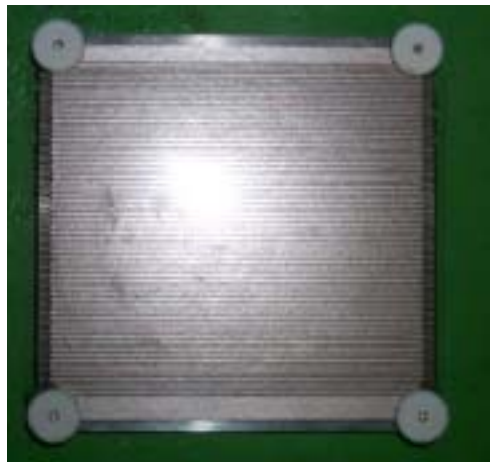
초고압송전에 이용되고 있는 다도체의 경우에도 r 로서 등가반지름을 사용하면 실험값과 잘 일치한다는 것이 확인되었다. 이 식의 E_c 를 사용하여 송전선의 corona 개시전압 V_{om} (대지파고값, 즉 최대값)을 구하려면 다음과 같이 하면 된다.

$$V_{om} = \frac{E_c}{g_m} m_0 m_1 (k V_{max})$$

여기서 m_0 는 표면계수, m_1 은 날씨에 의하여 결정되는 계수이다. 따라서 0.1cm 이하인 선을 사용하면서 선간의 간격을 1mm 정도로 하면 전계분포가 전체 전극면에 거의 균일하게 분포됨을 알 수 있다. 다음 그림 31은 제작한 선대 평판 챔버의 선의 배치도이다. 양쪽 끝단에 절연물에 의한 지지대를 두고 가운데에 선을 일정한 간격으로 권선하여 구성하였다.



(a) 설계도

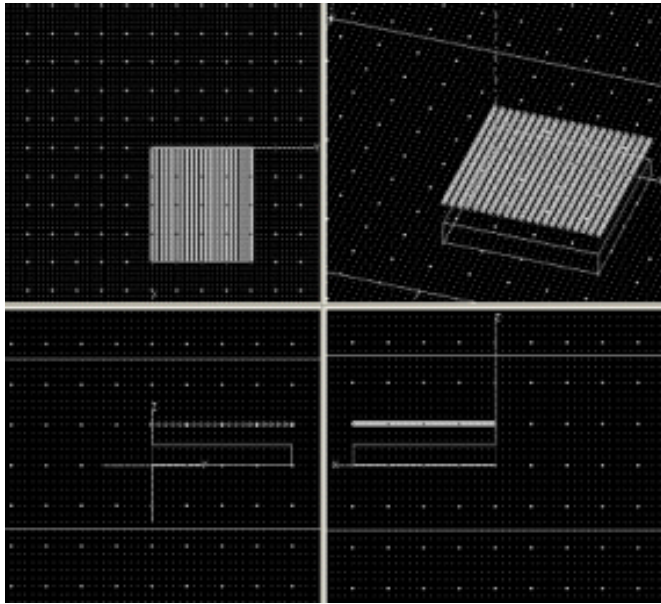


(b) 제작한 선전극 사진

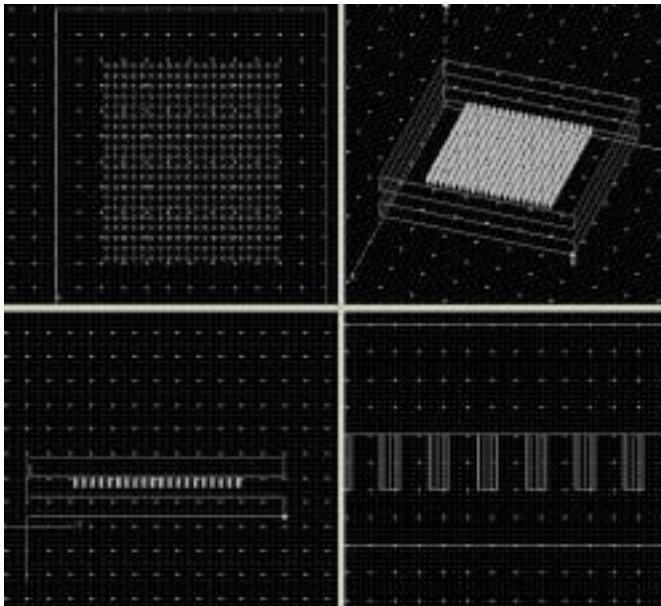
그림 31. 선대 평판 챔버의 선 전극 배치도 및 사진

제 6 절 방전 전계 해석

방전전극의 전계분포를 각각의 챔버에 대해 시뮬레이션하였다. 그림 32는 방전 전극의 3차원 그림 형상을 나타낸 것이다. 전계 시뮬레이션은 침대 평판과 선대 평판 구조에 대해 수행하였다. 그리고 교류전원에 대해서는 짧은 시간에 대해 직류전압이 인가된 것과 동일하게 등가인 것으로 해석할 수 있으므로 직류전압에 대한 전극간의 전계 분포를 시뮬레이션하였다. 다음 그림은 x,y,z 축에 대한 각각의 입체모형을 나타낸 것으로 각각의 전극에 대한 그림이다. 선대 평판 전극은 가로 400,세로400,높이 50의 철판위에 길이 400 반지름 5의 동전선의 전극을 가지는 구조로 시뮬레이션하였으며 외곽의 바운드리는 모형의 3배로 설정하였다. 전극간에는 전압 20만볼트를 구리선에 가하고 철판에 0v를 인가한 후에 전계 분포를 시험하였다. 침대 평판 역시 침의 간격을 약 10mm로 두고 배열한 뒤에 동일한 면적에 대해 전계 인가 시험을 하였다.



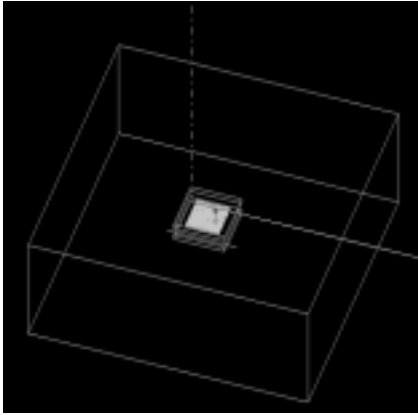
(a) 선대 평판전극



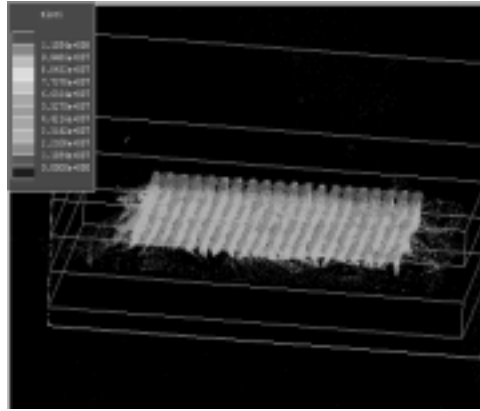
(b) 침대 평판 전극

그림 32. 전극 형상도

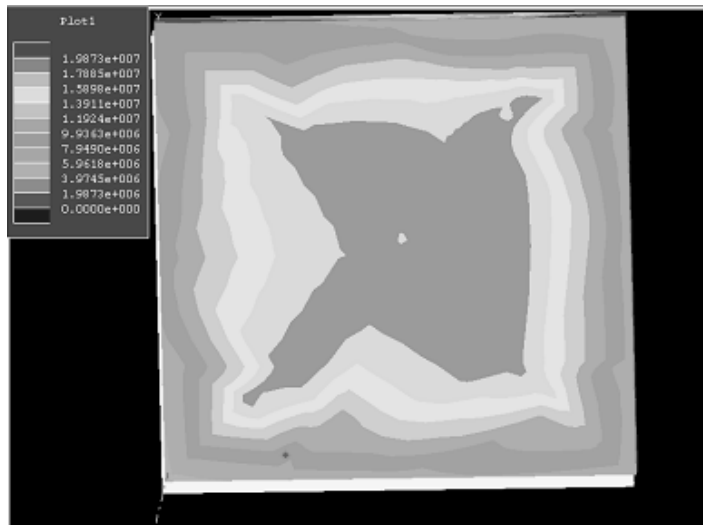
3차원 시뮬레이션 결과는 침대 평판 전극에 대해 다음 그림 33과 같다.



(a) 전극형상



(b) 아래에서 본 전계 분포



(c) Y-Z 평면으로 본 전계 분포

그림 33. 침대 평판 시뮬레이션 결과

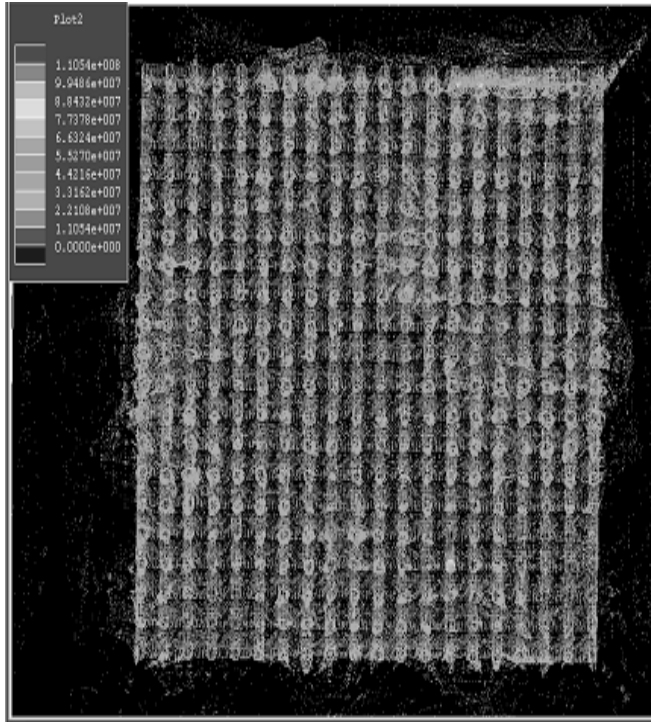
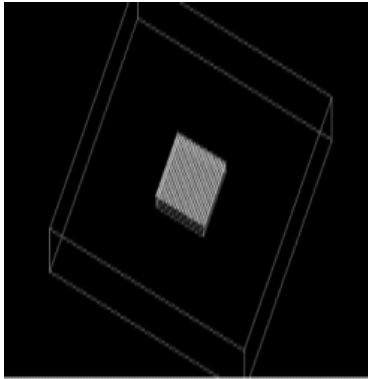
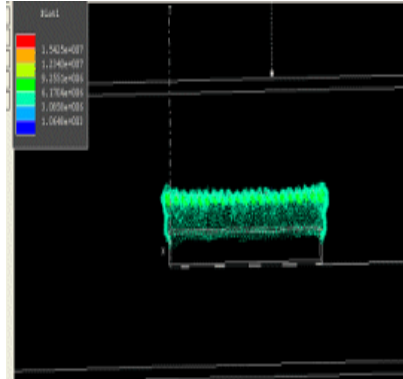


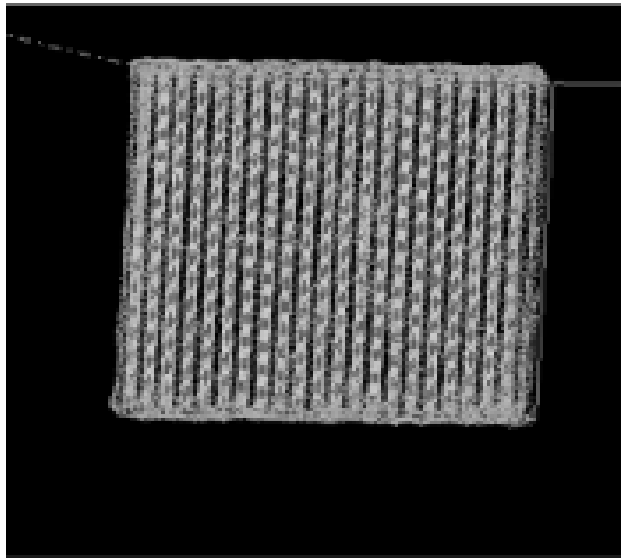
그림 34. 침의 전계 분포도



(a)



(b)



(c)

그림 35. 선대 평판 시뮬레이션 결과

코어면을 기준으로 정면과 위에서 본 모양을 나타낸 것으로 선을 따라 일정한 전계 분포가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 선간의 간격이 10mm 이므로 선간 사이의 전계 역시 큰 차이 없이 고른 분포를 나타내었다. 그림 36에서 그림 39는

이차원 평면으로 전극의 전계 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 침대 평판과 선대 평판 전극에 대해 수행한 2차원 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

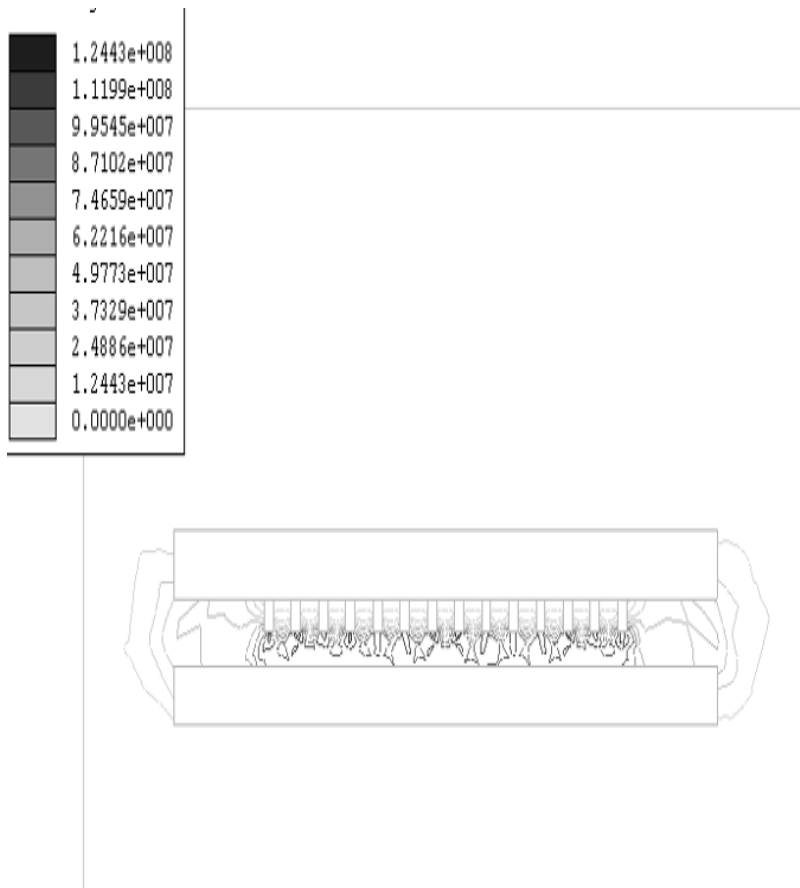
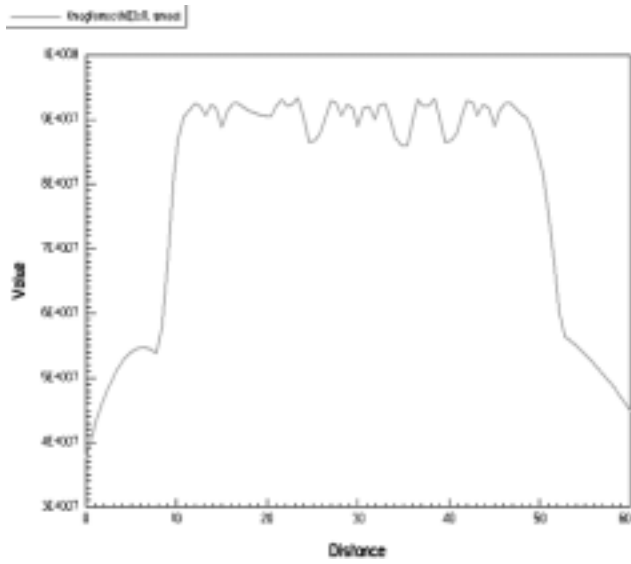
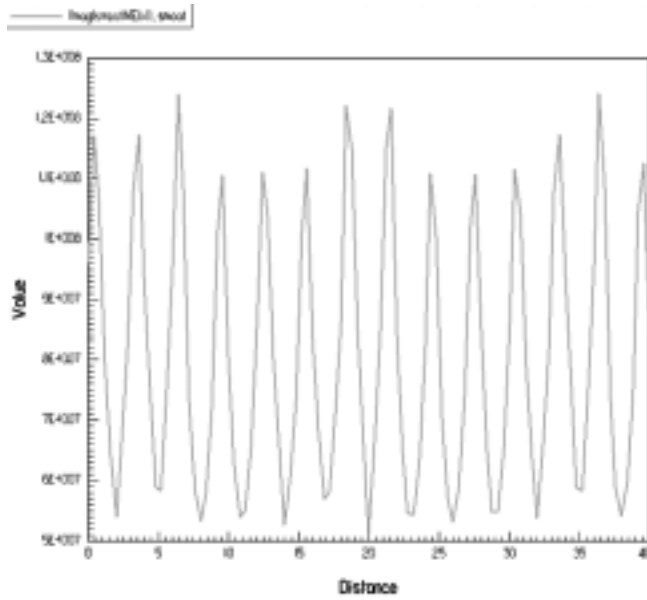


그림 36. 침대 평판 2차원 전계 분포도



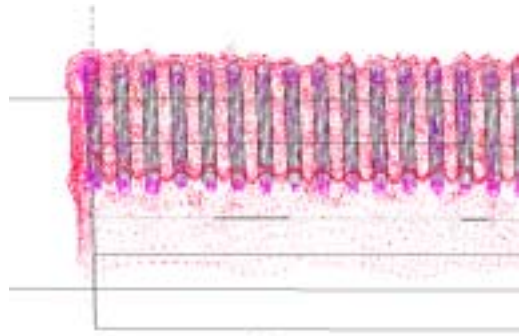
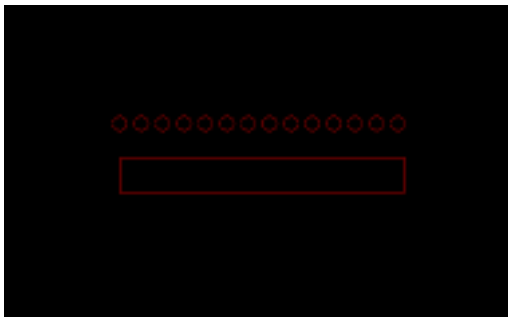
(a)



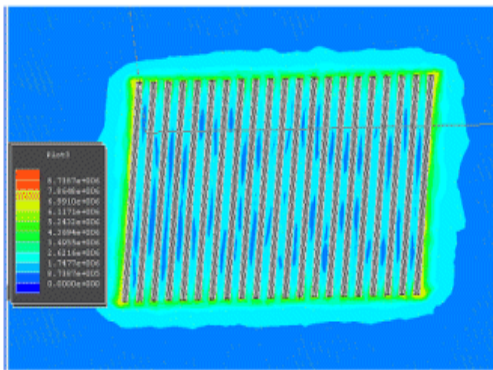
(b)

그림 37. 전계 분포도 (a) 코어기준 (b) 평판전극면

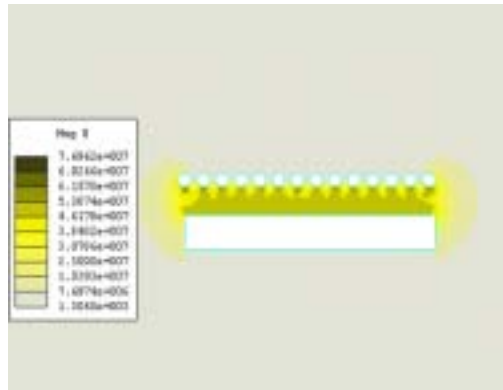
평판 전극면을 따라 전계의 크기가 많이 존재함을 볼 수 있다. 이를 개선하기 위해 등가적으로 무한한 침이 도열한 것으로 볼 수 있는 선대 평판에 대한 구조에 대해 전계 시뮬레이션을 수행하였다. 다음은 선대 평판 전극에 대한 2차원 시뮬레이션 그림을 나타낸 것이다.



(a)



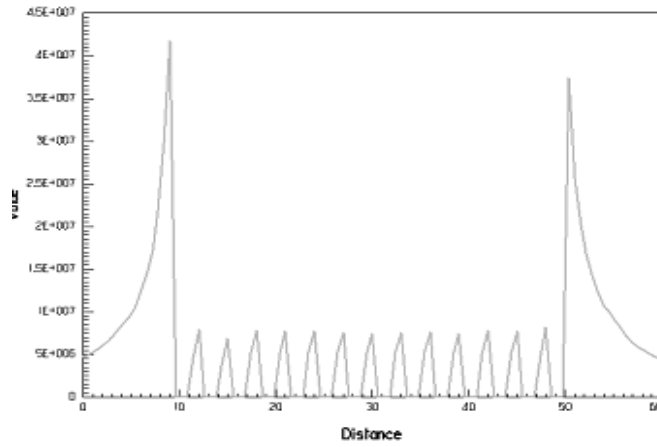
(b)



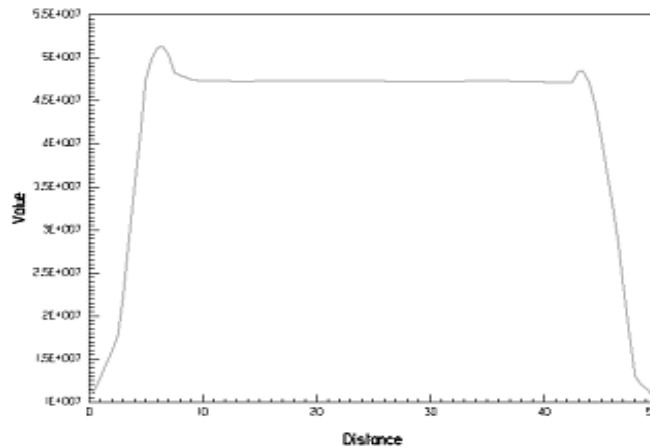
(c)

그림 38. 선대 평판 전극의 전계 분포 시뮬레이션

그림에서 알 수 있듯이 역시 평면을 따라 고른 전계 분포가 나타남을 알 수 있었다. 다음은 전계분포도이며 코어를 기준으로 본 전계 분포와 평판전극상에서 본 전계 분포를 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 39. 전계 분포도 (a) 코어기준 (b) 평판전극면

제 7 절 실험 결과

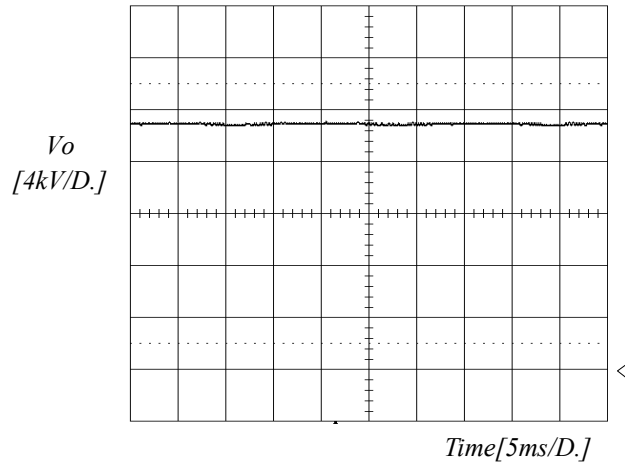
다음 표 1은 제작한 코로나 발생 고전계 장비의 동작 조건이며 식품의 처리 조건별로 동작변수를 가변한 뒤에, 일정한 값에서 변수를 결정하여 운전하였다. 1차 구성 장치는 장비의 동작 성능을 비교, 시험해야 하므로 인가전압의 형상을 보다 다양하게 하여 성능을 시험하였다. 식품을 처리한 결과, 직류 전계는 분말이 비산하는 문제가 발생하여 적합하지 않았으며 구형과 전압과 정현과 전압을 가하는 시험은 둘의 차이가 미세하였다. 따라서 2차 구성 장치는 제작이 보다 용이한 정현과 전압을 이용하였다. 인가전압의 크기는 코로나 발생을 원활히 하고 챔버의 극간 높이 조절이 쉽게 될 수 있도록 목표한 전압보다 높게 설계, 제작하였다. 1차 구성 장치는 약 18kV의 전압을 인가였으며 2차 구성 장치는 장치의 용량증대를 피하기 위해 약 35kV까지 인가할 수 있게 하였다. AC 전압을 인가할 때 또 다른 중요한 변수는 동작 주파수이며 주파수가 높을수록 많은 전력이 소모된다. 또한 아크방전에 도달하는 전압이 낮아지므로 실제 최대 주파수에서 인가전압의 크기는 저주파수인 경우보다 낮아져야 한다. 챔버의 전극간의 간격은 결국 전압이 동일할 때, 극간에 가해지는 전계강도를 결정하며 좁을수록 전계가 강해진다. 코로나 개시전압을 넘도록 극간의 전계강도가 결정되어야 하며 여기서 주의해야할 점은 아크가 발생하는 방전전압을 넘어서지는 않아야 한다. 극판의 형상은 코로나 방전의 분포에 영향을 주며 1차 구성 장치는 코로나 발생과 주변 변수의 특성 파악에 주안점을 두었으므로 코로나 발생이 용한 침대 평판 전극을 사용하였다.

2차 구성 장치는 전체 시료에 코로나 분포가 균일해질 수 있게 선대 평판의 구조를 이용하였으며 선간의 간격을 매우 좁게 하여 선과 선사이의 전계가 약화되지 않도록 설계하였다.

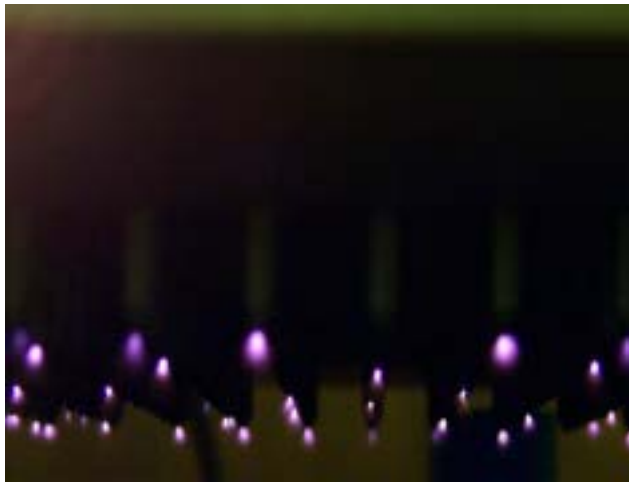
표1. 코로나 발생 고전계 장비의 동작 조건

가변조건 변수	1차 구성장치(가변조건)			2차 구성장치(가변조건)	
	DC	AC	Pulse	AC	AC(biased)
인가 전압	DC	AC	Pulse	AC	AC(biased)
인가전압 크기	0 - 18kV	0 - 18kV	0 - 18kV	0 - 35kV	0 - 25kV
동작 주파수	-	60 - 250Hz	100 - 200Hz	60 - 500Hz	60 - 400Hz
전극간의 극간격	10mm	10mm	10mm	8mm	8mm
극판의 형상	침대 평판	침대 평판	침대 평판	선대 평판	선대 평판

1차 구성 장치는 다양한 코로나 방전 상태가 존재하는 만큼 각 코로나 상태에 대해 안정한 영역을 선택하고 시험하여 가장 유리한 최적점을 찾도록 실험을 시작하였다. 먼저, 안정적인 코로나 방전을 시험하기 위해 직류 코로나를 시험하였으며 설정한 침대 극간 간격을 조절하면서 인가전압을 가변하였다. 그림 40은 약 20kV의 직류 고전압을 인가한 상태에서 얻은 침들의 코로나 사진이다. 침끝에서 둥근 형태의 코로나가 발생함을 볼 수 있다. 코로나는 전압이 증가하면 보다 밝아지면서 성장하게 되고 일정전압을 넘어서면 스트리머 코로나 형태로 발달하여 방전현상을 나타내게 된다.



(a)



(b)

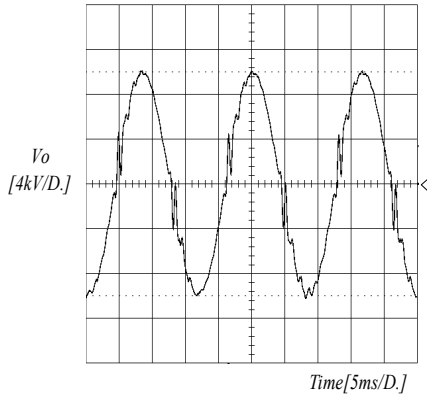
그림 40. 직류 고전압 인가 파형 및 코로나 방전 사진

(a) 인가전압 (b) 침대 평판 코로나 방전 사진

corona 개시전압은 상기절에서 나타낸 다음 식을 이용하여 구할 수 있다. 이 식에 따르면 약 17kV에서 코로나 개시전압이 얻어졌다.

$$V_{om} = \frac{E_c}{g_m} m_0 m_1 (k V_{\max})$$

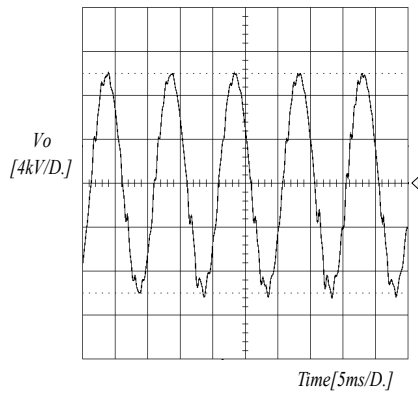
코로나 개시전압 이상으로 전압을 높이면서 점차 침끝의 코로나 망상이 발달하면서 밝아지는 현상이 나타났다. 그림 41은 정현파 전압과 펄스전압을 인가했을 때의 전압파형과 코로나 방전 사진을 나타낸 것이다. 주파수가 증가함에 따라 점차 방전이 강해짐을 알 수 있다.



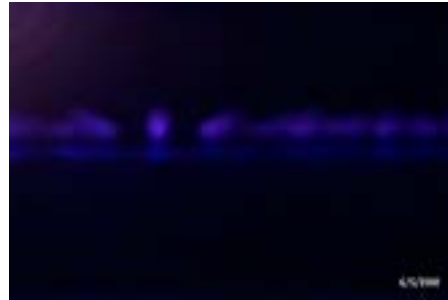
(a)



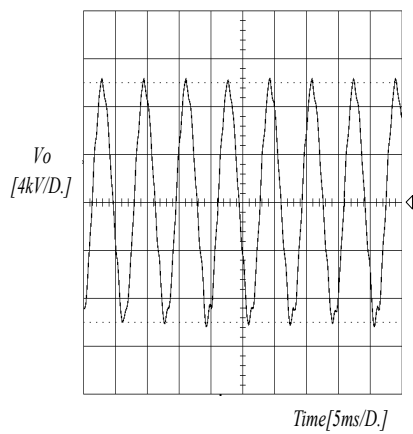
(b)



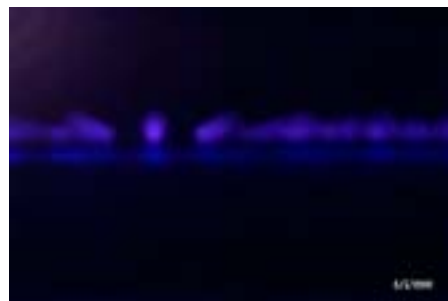
(c)



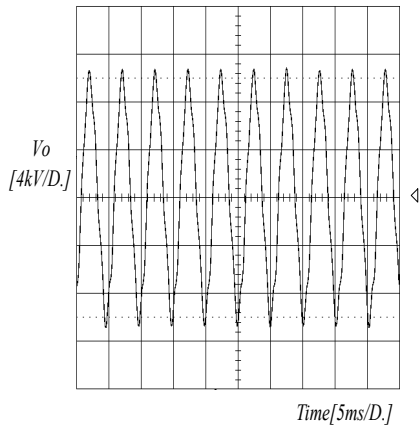
(d)



(e)



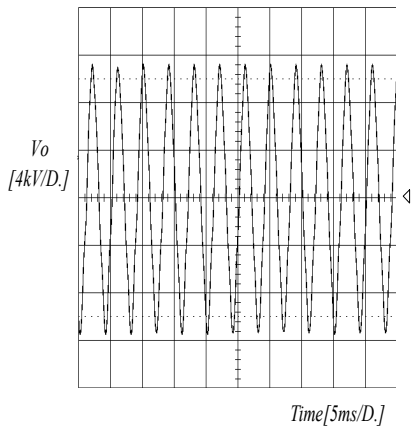
(f)



(g)



(h)



(i)

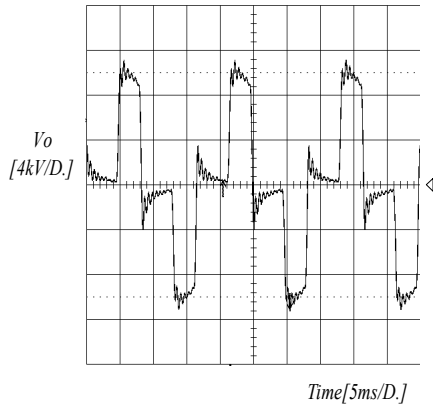


(j)

그림 41. 정현파 고전압 인가 파형 및 코로나 방전 사진

(a), (c), (e), (g), (i) : 전압파형 60Hz - 250Hz

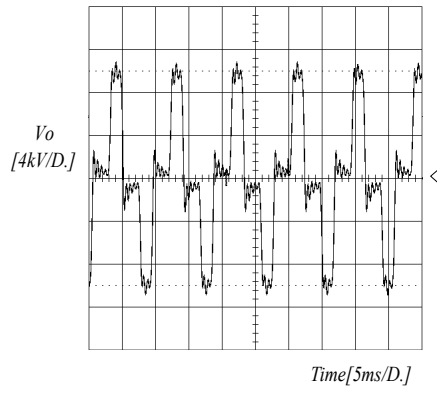
(b), (d), (f), (h), (j) : 침대 평판 챔버의 코로나 사진



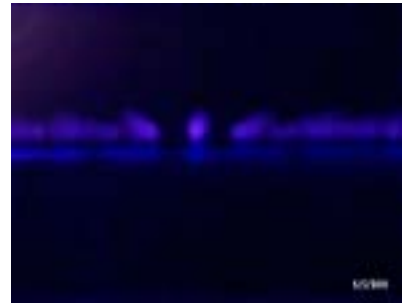
(a)



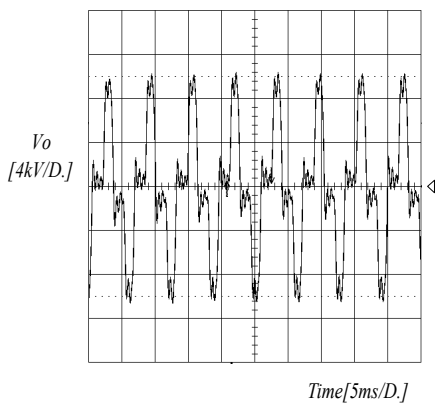
(b)



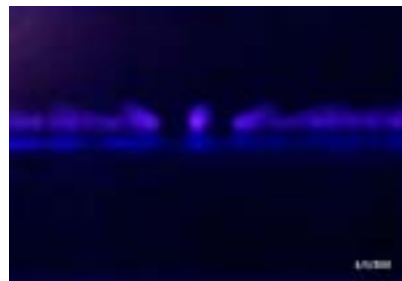
(c)



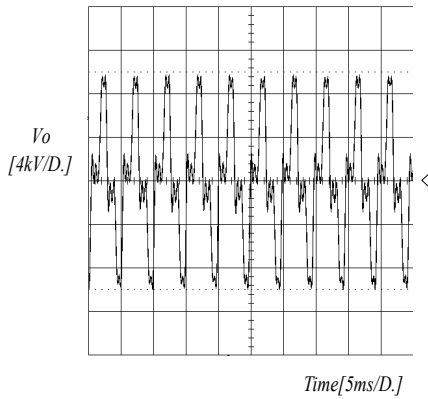
(d)



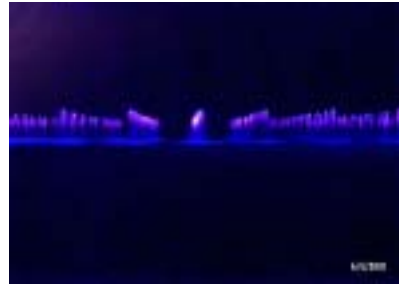
(e)



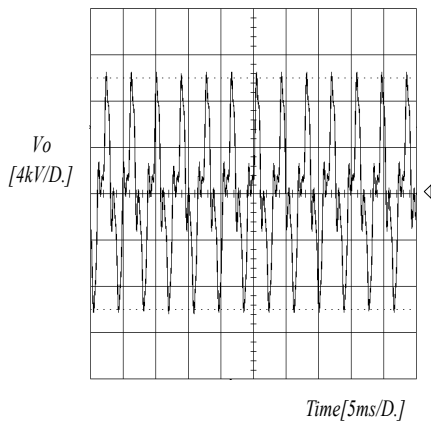
(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

그림 42. 펄스 고전압 인가 파형 및 코로나 방전 사진

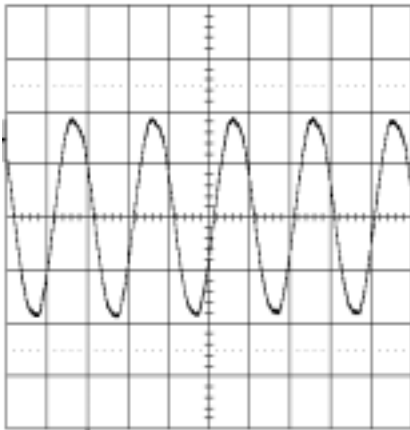
(a), (c), (e), (g), (i) : 전압파형 60Hz - 250Hz

(b), (d), (f), (h), (j) : 침대 평판 챔버의 코로나 사진

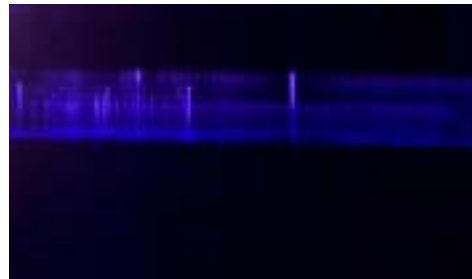
그림 43은 선대 평판의 전극간에 인가한 고전압과 이에 따른 코로나 발생을 나타낸 것이다. 시료판을 하단부에 위치시킨 뒤에 극간 간격을 약 1cm로 두고 주파수를 가변시켜 코로나 발생을 시험하였다. 주파수가 커짐에 따라 거의 전

체적인 코로나 분포나 일어남을 볼 수 있었다. 인가전압은 전극 양단에 약 35kV를 가하였다. 그림 44는 1차 구성 장치의 침대 평판 전극의 코로나 발생 사진이며 동일 조건인 250Hz의 결과와 비교해 볼 때 전계 분포가 2차 구성 장치에 새로 제작한 선대 평판에서 보다 전체면에서 고르게 분포하면서 우수함을 알 수 있다.

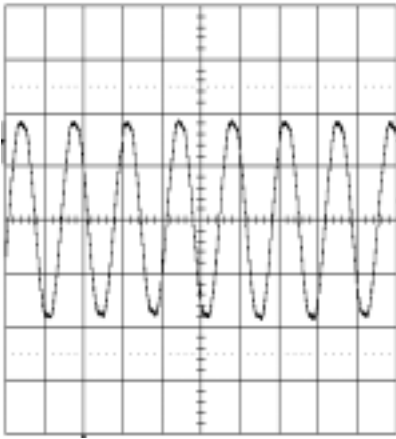
한편, 전원장치의 동작 주파수를 400Hz까지 높이기 위해서는 주파수 증가에 맞춰 다시 전압을 줄여야 하였다. 즉, 방전전압의 세기가 너무 강해져서 주변 지지대와 기타 절연체를 통한 누설이 매우 강해져서 코로나 방전 크기를 고정하여야 하였다. 즉, 250Hz 이상의 방전 파형은 제작한 장치에서는 동일하다.



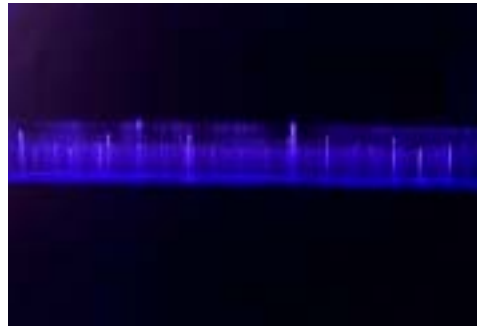
(a) 100Hz



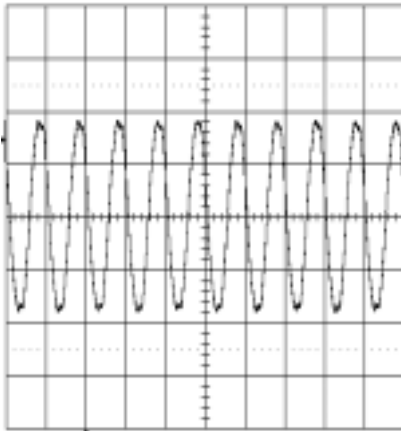
(b) 코로나 전경



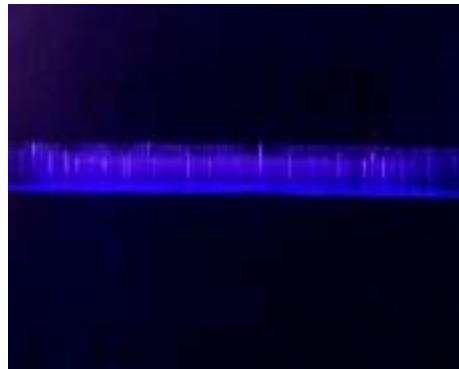
(c) 150Hz



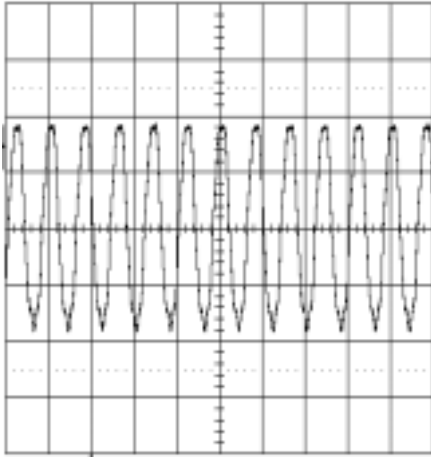
(d) 코로나 전경



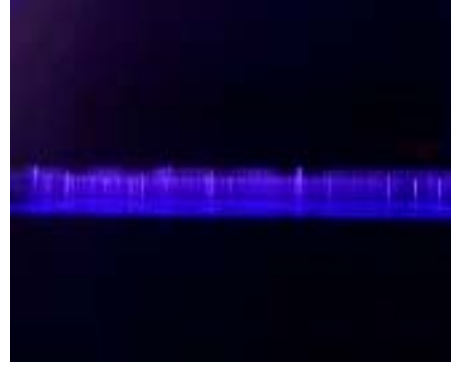
(e) 200Hz



(f) 코로나 전경



(g) 250Hz



(h) 코로나 전경

그림 43. 코로나 발생 시험 결과

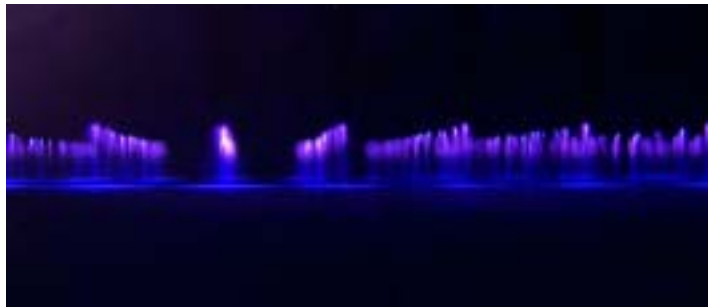


그림 44. 1차 구성 장치 침대 평판 교류 코로나 발생 사진
(250Hz, 18kV 인가시)

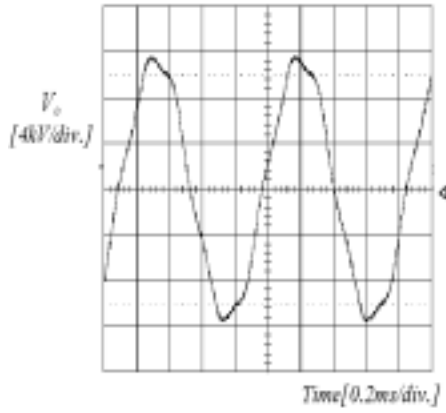
다음 표 2는 3차 구성 장치에 수행한 시험 조건을 나타낸 것이다. 직류 고전압은 인가전압이 높아지면 방전을 일으키는 문제로 코로나 방전에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 다만, 해충 살균을 위해서는 고주파로 될 수록 연면 방전에 의한 침투 깊이가 약해지는 효과가 발생하므로 저주파 또는 직류 코로나

방전 보다 적합한 것으로 나타났다.

표 2. 코로나 발생 고전계 장비의 동작 조건(3차 구성 장치)

가변조건 변수	3차 구성 장치(가변조건)		
인가 전압	DC	중주파 AC	고주파 AC
인가전압 크기	0 - 18kV	0 - 35kV	0 - 15kV
동작 주파수	-	60 - 400Hz	1kHz - 20kHz
전극간의 극간격	10mm	10mm	10mm
극판의 형상	선대 평판	선대 평판	선대 평판

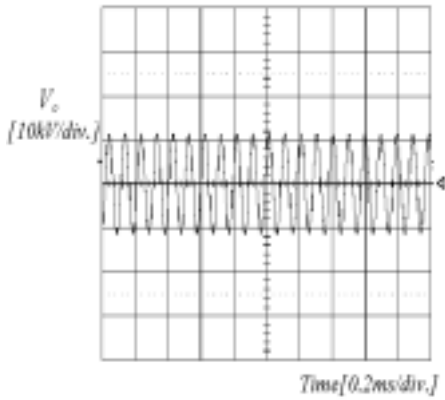
그림 45는 고주파 코로나 방전 실험 결과이다.



(a)



(b)



(a)



(b)

그림 45. 고주파 코로나 방전 실험 결과

(a) 전압파형 1kHz (b) 방전사진 1kHz

(c) 전압파형 10kHz (d) 방전사진 10kHz

직류전압과 중주파 AC 조건은 상기 실험에서 수행한 것과 거의 동일하며 고주파 AC에 의해 실험이 방전 특성 연구를 위해 부가적으로 이뤄졌다

제 8 절. 결 론

본 연구는 코로나를 이용한 전계 효과를 통해 분말 식품의 미생물 사멸 특성을 연구하기 위한 고전계 발생장치를 제작하고 시험에 맞게 전압 용량과 주파수를 가변할 수 있도록 구성하는 것을 목표로 하였으며 연차별과 용량 증대를 위한 설계와 시작품 제작을 수행하였다. 1차 구성 장치는 10kV 출력을 갖는 전원장치와 이를 통한 코로나 방전시험을 수행하였으며 2차 구성 장치는 전압 용량을 높여서 설계 제작 시험하였다. 각종 전원의 파형 형상에 따라 구형파, 정현파, 직류전압에 대한 방전 시험을 수행하였으며 분말의 비산이 없는 정현파 교류를 통한 방전 시험에 주력하였다. 챔버는 침대 평판 구조에 대해 시험하였다.

2차 구성 장치는 코로나 발생전압을 높이고 챔버의 극간 구조를 변경하여 바라는 살균효과를 가지도록 전원을 설계, 제작하는 데에 주력하였다. 전원의 출력은 챔버의 극간전압을 높이기 위해서 정격을 약 20kV로 높여 구성하였으며 극간 전압은 30kV 이상 인가할 수 있게 하였다. 동작 주파수와 파형은 1차 구성 장치의 연구결과를 바탕으로 정현파로 구성하고 500Hz 까지 동작 가능하도록 구성하였다.

최종에는 30kV 이상의 전원 장치와 고주파 전원의 설계를 수행하였으며 2차 구성 장치를 보강하여 30kV 전압 방전 시험을 수행하였다. 특히, 실험 과정에서 다양한 시험 데이터를 얻기 위해 교류 주파수를 매우 높여서 수 내지 수십 kHz의 교류 방전을 시험하였으며 분말에 대한 전계 효과를 시험하였다.

챔버는 보다 균일한 전계 분포를 얻기 위해 선대 평판 구조를 기본으로 설계, 제작하였으며 전원을 인가하여 실험한 결과, 침대 평판 보다 우수한 특성을 나타내었다.

제 2 장 고전계 코로나 방전 처리기술을 활용한 건조식품의 살균 및 위생화 연구

제 1 절 서 론

현재 건조분말 식품을 포함한 향신료나, 건조과채류, 농축산 건조 분말 가공품 등의 살균, 살충에 사용되어오던 기존의 ethylene oxide, phosphin 등의 훈증처리 방법은 발암성 등 그 유해성 때문에 90년대 들어 선진국을 비롯한 세계 여러나라에서 사용이 금지된 이후 효과적인 대체방법이 요구되고 있다. 이러한 대체기술로 방사선 조사가 일부 건조 식품들에 제한하여 조사량의 범위를 엄격하게 규제하며 시행되고 있으나 유해성 논란 및 소비자의 거부감에서 완전히 벗어난 상태라고 할 수 없고 현재 전자선 방법이 새롭게 시도되고 있으나 의학계에서 유전자 조작에 사용되고 있는 전자선 처리에 의한 식품의 살균도 직접 식품에 전자선으로 충격을 주어 미생물을 사멸시키는 방법이기 때문에 과도한 전자선 처리는 식품 성분의 변화를 어떠한 형태로든 초래하여 유해성 논란을 일으킬 수밖에 없다. 이런 기존의 건조식품의 살균방법의 문제점에 착안하여 본 연구를 수행하게 되었다. 기존의 건조식품의 살균기술을 대체하고자 하는 고전계 코로나 방전 처리기술은 일반 단위농가형 소형설비로도 가능함으로 영세 건조분말 가공업체에서도 손쉽게 적용이 가능할 뿐만 아니라 수요자의 요구에 따라 다양한 설비 구축이 가능한 장점이 있으므로 향후 시장성은 충분할 것으로 판단된다.

일반적으로 농산가공 원료들은 수확, 건조가공, 저장유통 도중 미생물, 해충 등에 쉽게 노출됨으로 최종 제품의 생물학적 품질관리에 많은 어려움이 있다.

그리고 이들 원료를 이용한 많은 종류의 농축산물 건조 분말 가공품 역시 미생물 등의 오염으로 인한 품질 안정성이 심각한 문제이다. 특히 고춧가루 등의 향신료 제품들은 미생물 오염으로 인한 품질 저하 및 저장성 문제가 시급한 실정이고 국내의 유통 한방약재 및 건강보조식품 등은 법적 세균오염 기준치 초과 문제점을 안고 있다. 따라서 이들 농축산 원료 및 분말 가공제품의 살균 처리는 제품의 위생적 품질관리를 위하여 시급히 해결해야 할 중요한 과제중의 하나라고 할 수 있다.

본 연구에서는 기존 건조식품에 적용되어온 ethylene oxide 처리에 의한 발암성등의 유해성과 방사선 처리에 의한 소비자들의 거부감 및 수용성 문제를 해결할 새로운 살균방법을 개발함으로써 농축산물 건조 분말 식품들에 대한 살균 및 위생화 기술을 개발하고자 하였다. 본 연구에서 개발하고자 한 건조분말의 살균처리 방법은 고전계 코로나 방전을 이용하는 방법으로서 방사선 조사에 비하여 설비가 매우 간단하고 인체에 직접적으로 유해한 물질 변형을 일으키지 않으며 건조식품중의 미생물을 효과적으로 살균할 수 있는 장점으로 인하여 그 전망은 밝다고 할 수 있다.

제 2 절 고전계 코로나 방전 처리한 인삼분말의 살균효과 및 품질 변화

1. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

인삼은 경동시장에서 2002년 생산된 4년근 백삼을 구입한 후 분쇄하여 100 mesh를 통과한 분말을 인삼분말 시료로 사용하였다.

나. 고전계 코로나 방전 처리 장치

본 실험에 사용된 코로나 방전 처리 장치는 주파수 변경 및 펄스 폭의 조절이 가능하며 동시에 출력의 파형 형상까지 변화가 가능한 디지털 프로세서 이용 제어기와 전원장치 회로를 갖추고 있다. 그리고 인삼분말에 적용된 고전계 코로나 방전처리 조건은 AC 전압에 주파수 200 Hz, 코로나가 발생하는 전극 침과 시료간의 간격을 10 mm로 고정하였고 피크전압이 5, 10, 15, 20 kV인 정현파를 전극간에 인가하였다.

다. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 미생물 균수 측정

총균수, 효모/곰팡이와 대장균군 수 측정은 건조배지(petrifilm)를 이용하여 조사하였다. 총 세균수는 PetrifilmTM aerobic count(PCA, 3M) 배지로 37 °C, 24시간 배양하여 측정하였고, 효모/곰팡이는 PetrifilmTM yeast and mold count(PYMC, 3M) 배지를 이용하여 21~25 °C 암소에서 3~5일 후 배양 후 측정하였으며, 대장균군은 PetrifilmTM coliform count(PCC, 3M) 배지로 35 °C,

24시간 배양하여 colony 주위에 기포가 형성되어 있는 red colony를 coliform 수로 측정하였다.

미생물 군수는 \log_{10} cfu/g으로 나타내었으며, SAS 통계처리 프로그램, version 8.01에 있는 GLM procedure의 PDiff option에 의해 수행된 least square mean separation 방법에 의해 분석되었으며, 모든 통계처리의 유의성은 $P < 0.05$ 범위에서 실행되었다.

라. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 일반성분 분석

본 실험에 사용한 인삼분말의 일반성분 분석은 AOAC법에 준하여 실시하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 Buchi사(Switzerland)의 Model 430 Digestor로 분해하여 Model 325 N₂ distillation unit로 증류시킨 후 전질소량을 구한 다음 질소계수 6.25를 곱하여 구하였고, 조섬유는 1.25% H₂SO₄ 및 1.25% NaOH 분해법으로 정량하였으며, 회분은 550℃ 회화법을 이용하여 분석하였다.

마. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 무기질 분석

본 실험에 사용한 인삼분말을 건식 회화 후 얻어진 회분에 염산을 가하고 water bath 상에서 가온 추출하여 무기질을 용출 시킨 다음 물로써 일정량으로 정용시키고 여과한 액을 ICP(Inductively Coupled Plasma) AES(Atomic Emission Spectrometer)에 주입하여 무기성분을 분석하였는데, 그 분석조건은 표 3, 4와 같다.

표 3. Wavelengths used for inductively Coupled Plasma(ICP) analysis

Element	Wavelength	Element	Wavelength
P	214.914	Na	588.995
K	766.490	Fe	238.204
Mg	279.553	Mn	257.610
Ca	393.366	Cu	324.754

표 4. Operating conditions of instruments

Spectrometer	Jobin Yvon model JY 38 Plus 1m enzerny-Turner monochromator Grating: 2400 grooves/mm double order
Nebulizer	Glass concentric
Frequency	40.68MHz
Power	1Kw
Cooling gas(Ar)	14 l /min
Aerosol flow rate(Ar)	0.3 l /min
Sheath gas(Ar)	0.3-0.6 l /min

바. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 유리당 분석

고전계 코로나 방전 처리한 인삼분말의 유리당 함량은 시료 5g에 10배량의 80% 메탄올을 가하여 75℃ 수욕조에서 환류법으로 4회 반복 추출 여과한 다음 감압 농축하였다. 농축 잔유물을 물에 용해시킨 다음 분액여두에 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-NH₂ column(Merck Co., 10

μm , 4 mm ID \times 250 nm)에 아세토니트릴/물(84:16, v/v)을 이동상으로 하여 굴절을 검출기(RI)로 검출 정량하였다.

사. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 조사포닌 분석

고전계 코로나 방전 처리한 인삼분말의 조사포닌 함량 분석은 Butanol 추출 증량법에 의하여 실시하였다. 인삼 분말시료 2 g에 80% 메탄올 100 ml을 첨가하고 환류냉각 장치를 이용하여 80 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2회 반복하여 추출한 후 추출물을 모아 감압 농축한 후 농축물을 20 ml의 증류수에 녹여 250 ml 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 부탄올층을 칭량한 농축수기에 옮기고 감압 농축한 다음 정확히 칭량하여 수기 무게로부터 조사포닌 함량을 구하였다.

아. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 색도 측정

색차계(Color and Color Difference Meter, Yasuda Seiki Co. Japan)를 이용하여 Hunter's value인 L값(Lightness; 백색도), a값(red/greenness), b값(yellowness/ blueness) 값으로 나타내었다. L값은 색의 명도를 나타내며, 100일 때 white, 0일 때 black을 의미한다. a 값은 + 일 때 red(max. 100), - 일 때 green(max. 80)에 가까움을 의미하고, b 값은 + 일 때 yellow(max. 70), - 일 때 blue(max. 80)에 가까움을 의미한다. 이때 사용한 표준 백색판의 L, a, b값은 각각 100, -0.01, 0.00이었다. ΔE 값은 L, a, b 공간에 걸려 있는 두 개의 지각색을 대표하는 두 점간의 직선거리 즉, 색차(color difference)를 의미한다.

자. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 관능 평가

코로나 방전 처리된 인삼분말의 관능검사를 위하여 인삼고유의 색깔, 향미, 맛 그리고 종합적 기호도에 대하여 특성차이검사와 기호도 검사를 실시하였다. 훈련된 관능요원 25명을 선발하여 색깔, 향미 그리고 맛에 대한 관능검사는 9점 평점법으로, 종합적 기호도는 9점 기호도 척도법으로 실시하였다. 관능검사 결과는 분산분석법에 의하여 유의성을 검정하였으며 시료간 차이가 있을 경우는 least significant difference(LSD)방법에 의하여 다중 비교를 실시하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 고전계 코로나 방전처리에 의한 인삼 분말의 미생물 살균 효과

코로나 방전 처리 인삼분말의 총 세균수, 효모/곰팡이수, 대장균군수 변화는 표 5와 같다. 무처리 인삼분말중 초기 총 세균수는 $6.14 \pm 0.04 \log_{10} \text{cfu/ml}$ 에서 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리시 각각 6.03 ± 0.04 , 5.83 ± 0.04 , 5.63 ± 0.04 , $4.59 \pm 0.04 \log_{10} \text{cfu/ml}$ 로 $P < 0.05$ 수준에서 유의적으로 감소하였으며, 20 kV/cm 처리에 의해 약 95% 정도의 살균효과를 보였다. 효모/곰팡이의 경우에는 초기 균수 $4.65 \pm 0.06 \log_{10} \text{cfu/ml}$ 에서 5 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리시 유의적인 감소를 보이지는 않았으나(4.49 ± 0.06), 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리시 각각 3.86 ± 0.06 , 3.40 ± 0.06 , $2.73 \pm 0.06 \log_{10} \text{cfu/ml}$ 로 $P < 0.05$ 수준에서 유의적으로 감소하였는데, 20 kV/cm 처리에 의해 약 99%, 즉 2 log cycle 정도의 살균효과를 보였다. 대장균군의 경우에도 효모/곰팡이수와 유사한 결과를 보였는데, 초기 균수 $2.43 \pm 0.05 \log_{10} \text{cfu/ml}$ 에서 5 kV/cm 피크전압에 의한 코로나 방전 처리시 유의적인 감소를 보이지는 않았으나(2.59 ± 0.05), 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압

에 의한 코로나 방전 처리시 각각 2.20 ± 0.05 , 1.73 ± 0.05 , 1.00 ± 0.05 $\log_{10}\text{cfu/ml}$ 로 $P < 0.05$ 수준에서 유의적으로 감소하였고 20 kV/cm 처리에 의해 약 95% 정도의 살균효과를 보였다.

피크전압에 의한 미생물 사멸율을 살펴보면, 피크전압의 세기가 5 kV/cm 일 경우 미생물 사멸효과가 매우 약하다가 피크전압의 세기가 증가할수록 비례적으로 사멸효과가 높아지는 결과를 볼 수 있었는데, 이는 Jayaram 등의 피크전압의 세기에 따라서 코로나 방전 처리시 미생물의 사멸에 비례적인 영향을 미쳤던 결과와 일치함을 확인할 수 있었다.

표 5. 전압 세기에 따른 코로나 방전 처리한 인삼분말의 미생물 변화

Corona discharge treatments	$\log_{10} \text{ cfu/g} \pm \text{SE}$		
	Aerobic bacteria	Yeasts & molds	Coliforms
Non-treatment	6.14 ± 0.04^a	4.65 ± 0.06^a	2.43 ± 0.05^a
5kV/cm	6.03 ± 0.04^b	4.49 ± 0.06^a	2.59 ± 0.05^a
10kV/cm	5.83 ± 0.04^c	3.86 ± 0.06^b	2.20 ± 0.05^b
15kV/cm	5.63 ± 0.04^d	3.40 ± 0.06^c	1.73 ± 0.05^c
20kV/cm	4.59 ± 0.04^e	2.73 ± 0.06^d	1.00 ± 0.05^d

^{a-e}Means in the same column with no common superscripts differ significantly at $p < 0.05$ level.

SE = Standard Error

나. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 일반성분

코로나 방전 처리 인삼분말의 일반성분을 분석한 결과는 표 6과 같다. 조지방의 경우 무처리 대조구($1.07 \pm 0.05\%$)의 값은 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크 전압에 의한 코로나 방전처리 처리구의 값인 1.01 ± 0.04 , 1.00 ± 0.05 , 1.00 ± 0.02 , 1.01 ± 0.05 와 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다. 조단백질 또한 무처리 대조구($12.84 \pm 0.33\%$)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 12.64 ± 0.32 , 12.76 ± 0.14 , 12.98 ± 0.18 , 12.66 ± 0.26 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다. 조섬유도 무처리 대조구($5.45 \pm 0.23\%$)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전처리 처리구의 값인 5.32 ± 0.17 , 5.42 ± 0.21 , 5.29 ± 0.09 , 5.34 ± 0.31 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다. 또한 회분함량에서도 무처리 대조구($3.98 \pm 0.22\%$)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 4.04 ± 0.13 , 4.01 ± 0.08 , 3.86 ± 0.24 , 3.99 ± 0.09 와 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다.

전체적으로 20 kV/cm 이내의 피크전압으로 코로나 방전 처리한 인삼분말의 경우, 무처리군과 일반성분 함량변화에 있어 유의적 차이가 관찰되지 않아 코로나방전 처리는 시료의 일반성분에 거의 영향을 미치지 않음이 증명되었다. 이는 Lee 등의 전자선조사처리 연구결과와 일맥 상통하는데, 전자선조사 고추분말의 가용성 고형분, 총당 및 환원당의 함량면에서 무처리 시료와 유의적 차이가 없어 전자선조사가 고추분말의 영양성분에 거의 영향을 미치지 않는다고 보고한 결과와 일치하였다.

표 6. 전압 세기에 따른 코로나방전 처리한 인삼분말의 일반성분

Corona discharge treatments	Proximate Composition (% dry weight ± SE)			
	Crude lipid	Crude protein	Crude fiber	Ash
Non-treatment	1.01±0.067	12.84±0.33	5.45±0.23	3.98±0.22
5kV/cm	1.01±0.043	12.64±0.32	5.32±0.17	4.04±0.13
10kV/cm	1.00±0.052	12.76±0.14	5.42±0.21	4.01±0.08
15kV/cm	1.00±0.023	12.98±0.18	5.29±0.09	3.86±0.24
20kV/cm	1.01±0.051	12.66±0.26	5.34±0.31	3.99±0.09

Means in the same column are not significantly different at $p < 0.05$ level.

SE = Standard Error

다. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 무기질 함량

코로나 방전 처리 인삼분말의 무기질 함량을 분석한 결과는 표 7과 같다. 대조구 인삼분말은 N 2.09±0.02 mg%, P 0.30±0.02 mg%, K 1.24±0.02 mg%, Ca 0.33±0.03 mg%, Mg 0.13±0.01 mg%, Mn 38.64±0.09 mg%, Fe 86.3±1.15 mg%, Cu 7.63±0.18 mg%, Zn 19.42±0.46 mg%의 함량을 나타냈으며 피크 전압 20kV/cm로 코로나 방전처리한 인삼분말은 N 2.12±0.01 mg%, P 0.30±0.01 mg%, K 1.23±0.01 mg%, Ca 0.31±0.02 mg%, Mg 0.13±0.02 mg%, Mn 38.71±0.14 mg%, Fe 85.8±0.05 mg%, Cu 7.72±0.04 mg%, Zn 19.36±0.42 mg%를 보여 $P < 0.05$ 수준에서 무처리 대조구와 유의적 차이가 관찰되지 않았다. 전체적으로 20 kV/cm 이내의 피크 전압으로 코로나 방전 처리한 인삼분말의 경우, 무처리군과 무기질 함량변화의 유의적 차이가 관찰되지 않아 피크전압 20

kV/cm 이내의 코로나 방전 처리는 건조 인삼분말의 무기질 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

표 7. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 인삼분말의 무기질 함량

Corona discharge treatments	Mineral contents (mg%±SE)								
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
Non-treatment	2.09 ±0.02	0.30 ±0.02	1.24 ±0.02	0.33 ±0.03	0.13 ±0.01	39.64 ±0.09	86.3 ±1.5	7.63 ±0.18	19.42 ±0.46
5kV/cm	2.06 ±0.02	0.30 ±0.01	1.23 ±0.06	0.32 ±0.01	0.13 ±0.03	37.48 ±0.13	84.2 ±1.7	7.48 ±0.23	19.36 ±0.38
10kV/cm	2.02 ±0.01	0.30 ±0.01	1.20 ±0.04	0.33 ±0.04	0.12 ±0.01	38.25 ±0.08	85.9 ±0.8	7.56 ±0.28	18.98 ±0.56
15kV/cm	2.14 ±0.02	0.29 ±0.02	1.35 ±0.04	0.31 ±0.02	0.12 ±0.02	38.43 ±0.17	86.7 ±0.6	7.64 ±0.01	19.45 ±0.65
20kV/cm	2.12 ±0.01	0.30 ±0.01	1.23 ±0.01	0.31 ±0.02	0.13 ±0.02	38.71 ±0.14	85.8 ±0.5	7.72 ±0.04	19.36 ±0.42

Means in the same column are not significantly different at $p < 0.05$ level.

SE = Standard Error

라. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 유리당 함량

코로나 방전 처리 인삼분말의 유리당 함량을 분석한 결과는 표 8과 같다. Fructose의 경우 무처리 대조구($0.36 \pm 0.06\%$)의 값은 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 0.34 ± 0.05 , 0.35 ± 0.04 , 0.35 ± 0.02 , 0.33 ± 0.03 와 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다.

Glucose 또한 무처리 대조구(0.57 ± 0.06)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 0.54 ± 0.07 , 0.56 ± 0.05 , 0.57 ± 0.05 , 0.58 ± 0.04 와 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다. Sucrose도 무처리 대조구($5.82 \pm 0.23\%$)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 5.69 ± 0.18 , 5.78 ± 0.22 , 5.86 ± 0.13 , 5.84 ± 0.09 와 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다. 또한 Maltose 함량에서도 무처리 대조구($8.94 \pm 0.24\%$)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 8.67 ± 0.41 , 8.92 ± 0.17 , 8.87 ± 0.16 , 8.81 ± 0.25 와 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다. 전체적으로 피크전압 20 kV/cm 이내의 코로나방전 처리는 건조 인삼분말의 유리당 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

표 8. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리 인삼분말의 유리당 함량

Corona discharge treatments	Free Sugar (% dry weight \pm SE)			
	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose
Non-treatment	0.36 ± 0.06	0.57 ± 0.06	5.82 ± 0.23	8.94 ± 0.24
5kV/cm	0.34 ± 0.05	0.54 ± 0.07	5.69 ± 0.18	8.67 ± 0.41
10kV/cm	0.35 ± 0.04	0.56 ± 0.05	5.78 ± 0.22	8.92 ± 0.17
15kV/cm	0.35 ± 0.02	0.57 ± 0.05	5.86 ± 0.13	8.87 ± 0.16
20kV/cm	0.33 ± 0.03	0.58 ± 0.04	5.84 ± 0.09	8.81 ± 0.25

Means in the same column are not significantly different at $p < 0.05$ level.

SE = Standard Error

마. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 조사포닌 함량

코로나 방전처리 인삼분말의 조사포닌 함량을 분석한 결과는 표 9와 같다. 피크전압에 따른 코로나 방전처리 인삼분말의 조사포닌 함량을 분석한 결과, 코로나 방전 처리하지 않은 무처리 대조구($5.43 \pm 0.23\%$)의 값은 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 5.32 ± 0.29 , 5.41 ± 0.17 , 5.43 ± 0.13 , 5.40 ± 0.21 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다. Sung 등의 연구에서도 1 Mrad 정도의 γ -ray 방사선조사에 의해 사포닌 함량은 영향이 없다고 보고되었다. 그러나, Kwak에 따르면 오존을 이용한 백삼 분말의 살균시 사포닌의 성분 중 diol계 사포닌인 ginsenoside-Re, -Rd, -Rc, -Rb₂ 및 -Rb₁ 함량이 크게 감소한 것으로 보고하였고, 또한 Lee 등은 전자선조사시 고추분말의 주요 성분인 capsaicin 함량에 있어서 전자선조사의 선량에 따라 감소하는 경향을 보고하였으나, 본 연구에서의 코로나방전 처리의 경우, 인삼분말의 조사포닌 함량에 영향을 주지는 않았다. 물론 사포닌의 세부 구성물질 비교가 이루어지지는 않았으나, 인삼분말의 총 유효성분인 조사포닌 함량에 영향을 주지 않은 것으로 보아 본 방법이 기존의 살균법을 대체할 수 있는 효율적인 방법이 될 수 있다는 가능성을 확인하였다.

표 9. 전압세기에 따른 코로나방전 처리 인삼분말의 조사포닌 함량

Corona discharge treatments	Crude saponin (% dry weight ± SE)
Non-treatment	5.43±0.23
5kV/cm	5.32±0.29
10kV/cm	5.41±0.17
15kV/cm	5.43±0.13
20kV/cm	5.40±0.21

Means in the same column are not significantly different at $p < 0.05$ level.

SE = Standard Error

바. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 색도

코로나 방전 처리 인삼분말의 색깔변화를 측정된 결과는 표 10과 같다. 피크전압에 따른 코로나 방전처리 인삼분말의 색깔변화를 분석한 결과, 코로나 방전 처리하지 않은 무처리 대조구(73.6 ± 0.19)의 명도(L) 값은 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 73.2 ± 0.05 , 73.4 ± 0.06 , 73.1 ± 0.14 , 73.1 ± 0.17 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다. a값(redness/greeness)도 무처리 대조구(0.37 ± 0.07)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 0.37 ± 0.05 , 0.41 ± 0.05 , 0.44 ± 0.10 , 0.42 ± 0.06 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었으나 약간씩은 적색도가 증가하는 경향을 보였다. 또한 b값(yellowness/blueness)에서도 무처리 대조구(17.6 ± 0.10)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전

처리구의 값인 17.8 ± 0.08 , 17.5 ± 0.07 , 17.4 ± 0.14 , 17.4 ± 0.11 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없었다. 모든 처리구에서 색차(ΔE^*)의 유의적 차이가 관찰되었지만 0.5 이내의 차이므로 “색차가 거의 없는 것”으로 판단된다. 일반적으로 ΔE^* 값이 0~0.5이면, 색차가 거의 없으며, 0.5~1.5는 근소한 차이, 1.5~3.0은 감지할 수 있을 정도의 차이, 3.0~6.0은 현저한 차이, 12 이상이면 다른 계통의 색으로 결정하는 것으로 알려져 있다. Lee 등이 보고한 방사선조사 처리된 고추분말과 생강분말의 경우 대조구 시료와 비교하여 인지(noticeable)할 수 색깔의 차이를 나타내어 건조식품의 전자선 처리 시 식품의 일부 색상과 냄새에 변화가 일어나는 현상이 나타났다고 보고한 바 있지만, 고전계 코로나방전 처리의 경우 인삼분말의 색깔에 영향을 주지 않는 것으로 확인되어 전자선처리에 비해 색깔 변화 면에서 우수한 것으로 판단되었다.

표 10. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리 인삼분말의 색깔변화

Corona discharge treatments	Color (Hunt's value \pm SE)			
	L (a*	b*	ΔE^*
Non-treatment	73.6 \pm 0.19 ^a	0.37 \pm 0.07 ^a	17.6 \pm 0.10 ^a	0.76 \pm 0.13 ^a
5kv/cm	73.2 \pm 0.05 ^a	0.37 \pm 0.05 ^a	17.8 \pm 0.08 ^a	1.09 \pm 0.06 ^b
10kv/cm	73.4 \pm 0.06 ^a	0.41 \pm 0.05 ^a	17.5 \pm 0.07 ^a	0.98 \pm 0.05 ^b
15kv/cm	73.1 \pm 0.14 ^a	0.44 \pm 0.10 ^a	17.4 \pm 0.14 ^a	1.10 \pm 0.01 ^b
20kv/cm	73.1 \pm 0.17 ^a	0.42 \pm 0.06 ^a	17.4 \pm 0.11 ^a	1.21 \pm 0.02 ^c

L* : Lightness

a* : redness/greeness

b* : yellowness/blueness

ΔE^* : color difference

^{a-c}Means in the same column with no common superscripts differ significantly at p<0.05 level.

SE = Standard Error

사. 고전계 코로나 방전 처리한 인삼 분말의 관능 평가

코로나 방전 처리 인삼분말의 색깔, 향기 및 맛에 대한 강도 테스트를 평점법으로 실시한 관능검사와 종합적 기호도 조사 결과는 표 11과 같다. 색깔 특성의 강도는 코로나방전 처리하지 않은 무처리 대조구(7.4 ± 1.2)와 20 kV/cm 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구(7.2 ± 1.1)가 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 향기와 맛에서도 역시 코로나 방전 처리하지 않은 무처리 대조구(8.2 ± 0.08 , 7.6 ± 1.6)와 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구(8.0 ± 1.0 , 7.4 ± 1.2)가 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 종합적 기호도 역시 무처리 대조구(7.7 ± 0.9)와 5, 10, 15, 20 kV/cm의 피크전압에 의한 코로나 방전 처리구의 값인 7.5 ± 1.2 , 7.7 ± 0.7 , 7.6 ± 1.1 , 7.5 ± 0.9 과 $P < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다.

일반적으로 건조식품의 살균처리는 식품의 고유한 색깔을 변화시킬 수 있으며 고선량의 감마선 방사선조사도 인삼의 색도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나, 본 실험에서 나타난 바와 같이 피크전압 20kV/cm 이하에서의 코로나 방전 처리는 인삼분말의 색깔에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되어 방사선조사 처리에 비해 색도 변화 면에서 우수한 것으로 판단되었다.

표 11. 코로나 방전 처리 인삼분말의 관능검사와 종합적 기호도 조사 결과

Corona discharge treatments	Sensory evaluation data			
	Color	Flavour	Taste	Overall acceptability
Non-treatment	7.4±1.2 ^a	8.2±0.8 ^a	7.6±1.6 ^a	7.7±0.9 ^a
5kV/cm	7.4±1.3 ^a	8.2±1.3 ^a	7.6±0.9 ^a	7.5±1.2 ^a
10kV/cm	7.3±1.7 ^a	8.1±1.4 ^a	7.5±0.6 ^a	7.7±0.7 ^a
15kV/cm	7.3±1.1 ^a	8.2±0.9 ^a	7.5±1.8 ^a	7.6±1.1 ^a
20kV/cm	7.2±1.1 ^a	8.0±1.0 ^a	7.4±1.2 ^a	7.5±0.9 ^a

Means in the same column are not significantly different at p<0.05 level.

SE = Standard Error

제 3 절 고전계 코로나 방전 처리한 생식의 살균 효과 및 품질 변화

1. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

고전계 코로나 방전처리에 의한 해충의 살균효과를 실험하기 위하여 한국생명공학연구원에서 곡류중 쌀에 많이 발생하고 있는 쌀바구미, 어리쌀도둑의 해충을 분양받아 고전계 코로나 방전처리에 의한 살균효과를 실험하였다. 생식은 시중에 판매되고 있는 생식 제품 4종류 (이하 A, B, C, D라고 함)를 구매하여 사용하였다.

나. 고전계 코로나 방전처리 장치

표 12, 13은 코로나 발생 고전계 장비의 동작 조건이며 식품의 처리 조건별로 동작변수를 가변한 뒤에 일정한 값에서 변수를 결정하여 운전하였다. 제작이 보다 용이한 정현파 전압을 이용하였고 인가전압의 크기는 코로나 발생을 원활히 하고 챔버의 극간 높이 조절이 쉽게 될 수 있도록 목표한 전압보다 높게 설계, 제작하였다. 그리고 장치의 용량증대를 피하기 위해 약 25kV까지 인가할 수 있게 하였다. AC 전압을 인가할 때 또 다른 중요한 변수는 동작 주파수이며 주파수가 높을수록 많은 전력이 소모된다. 챔버의 전극간의 간격은 결국 전압이 동일할 때, 극간에 가해지는 전계강도를 결정하며 좁을수록 전계가 강해진다. 코로나 개시전압을 넘도록 극간의 전계강도가 결정되어야 하며 여기서 주의해야할 점은 아크가 발생하는 방전전압을 넘어서지는 않아야 한다. 극판의 형상은 코로나 방전의 분포에 영향을 줌으로 전체 시료에 코로나 분포

가 균일해질 수 있게 선대 평판의 구조를 이용하였으며 선간의 간격을 매우 좁게 하여 선과 선사이의 전계가 약화되지 않도록 설계하였다.

표 12. 고전계 코로나 발생장치의 처리 가변조건

가 변 조건 변수	1차 구성장치(가변조건)			2차 구성장치(가변조건)	
	DC	AC	Pulse	AC	AC(biased)
인가 전압	0 - 18kV	0 - 18kV	0 - 18kV	0 - 25kV	0 - 25kV
인가전압 크기	-	60 - 250Hz	100 - 200Hz	60 - 500Hz	60 - 400Hz
동작 주파수	0-10mm	0-10mm	0-10mm	2mm- 10mm	2mm - 10mm
전극간의 극간격	침대 평판	침대 평판	침대 평판	선대 평판	선대 평판
극판의 형상					

표 13. 코로나 발생 고전계 장비의 동작 조건(3차 구성 장치)

가 변 조건 변수	3차 구성 장치(가변조건)		
	DC	중주파 AC	고주파 AC
인가 전압	0 - 18kV	0 - 35kV	0 - 15kV
인가전압 크기	-	60 - 400Hz	1kHz - 20kHz
동작 주파수	10mm	10mm	10mm
전극간의 극간격	선대 평판	선대 평판	선대 평판
극판의 형상			

다. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 살균 효과 측정

고전계 코로나 방전 처리에 의한 미생물 사멸 효과를 조사하기 위하여 실험에 사용한 균주는 *Escherichia Coli*, *Bacillus subtilis*, *Sacchromyces cerevisiae*이며 Nutrient broth와 YM broth를 사용하여 *Escherichia Coli*, *Bacillus subtilis*는 37°C, *Sacchromyces cerevisiae* 25°C에서 전배양한 후 100ml 배지에 1%(v/v) 접종한 후 전술한 온도에서 배양하여 대수 증식기 후반기의 균체를 수거하였다. 수거한 균체 배양액을 1,000rpm에서 10분간 원심분리한 후 생리 식염수로 2회 세척한 후 초기 균수가 108 cfu/ml가 되게 재 현탁하였다. 미리 만들어 놓은 Nutrient agar와 YM agar에 각 균체액 1ml를 도말 한 후 살균 실험에 사용하였다. 균체 배양액 시료는 매번 동일 조건에서 새로이 배양하여 사용하였다.

라. 고전계 코로나 방전처리에 의한 해충의 사멸 효과 측정

고전계 코로나 방전처리 장치의 조건은 전압세기 20kV/cm, 전극간격 2mm, 처리시간은 400 μ s으로 조절하여 분양받은 쌀바구미와 어리쌀도둑은 0.3mm의 비닐포장에 담아 포장한 후 고전계 코로나 발생장치에 신속히 주입한 후 처리하여 해충의 사멸을 조사하였다.

마. 고전계 코로나 방전처리한 생식의 미생물 균수 측정

건강식품으로 소비자들에게 많이 소비되고 있는 생식제품을 시중에서 구입하여 코로나 방전처리하여 생식제품중의 미생물의 사멸효과를 조사하였다. 이때 사용한 고전계 코로나 방전처리 조건은 위에서 실험한 균주 사멸 효과의 결과에 기초하여 해충의 처리 조건과 동일한 방법으로 처리하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 살균 효과

전극의 간격에 의한 고전계 코로나 방전처리시 각 균주의 불활성화에 미치는 영향을 검토하기 위하여 전압세기는 20kV/cm, 처리시간은 400 μ s으로 고정하고 *Escherichia Coli*, *Bacillus subtilis*, *Sacchromyces cerevisiae*의 균주에 대하여 전극간격별 고전계 코로나 방전 처리한 균주의 사멸 효과는 다음 그림 46과 같다.

즉, 시료와 전극의 간격이 줄어들수록 살균효과는 증가하였으며 20kV/cm에서 400 μ s, 전극간격 2mm에서 처리 후 약 1.3 log의 사멸정도를 나타내었다. 이러한 사멸 형태는 균의 종류에 관계없이 같은 결과를 나타내었다. 그리고 전극간격이 클수록 미생물 사멸효과는 감소한 결과를 나타내었는데 이는 전극간격이 클수록 전극에서 발생하는 코로나 방전이 시료에 적용되는 세기가 그만큼 줄어들기 때문으로 판단되어 진다.

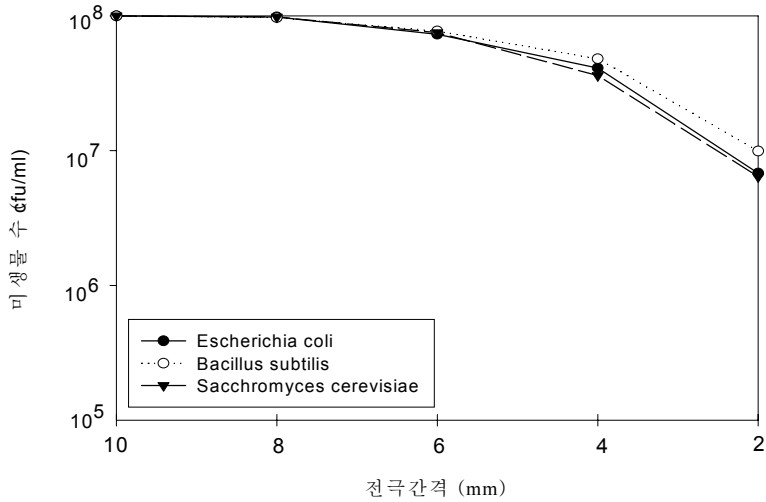


그림 46. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 사멸효과
(전압세기 20kV/cm, 처리시간 400 ms)

그리고 전압의 세기에 의한 균주의 불활성화에 미치는 효과를 살펴보기 위하여 처리시간을 400 μ s, 전극간격을 2mm로 고정하고 전압세기를 5, 10, 15, 20kV/cm로 코로나 방전처리한 균주의 미생물 사멸을 살펴본 결과는 그림 47과 같다. 전압세기 5kV/cm로 처리시 균주의 사멸은 거의 이루어지지 않았으나 10kV/cm 이상으로 처리할 경우 균주의 사멸이 이루어지기 시작하여 20kV/cm 에서 대부분의 균주에서 약 1.2 log 정도의 미생물 사멸을 나타내었다. 이러한 결과는 고전계 코로나 방전 처리시 전극 간격이 미생물 사멸 효과에 영향을 나타낸것과 마찬가지로 전압의 세기에 의하여도 균주의 사멸에 영향이 미치는 것을 알 수 있었다. 이는 일정수준의 전압 이상에서 발생하는 코로나 방전이 균주 사멸에 영향을 미칠수 있는 것으로 판단되며 전압의 세기는 장치의 capacity와 관련되어 있으므로 적정 전압세기를 선별하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

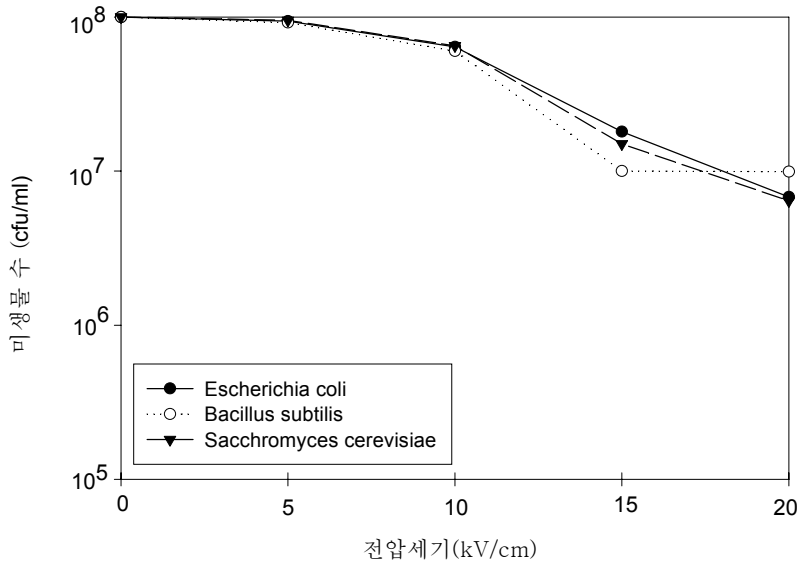


그림 47. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 사멸효과
(처리시간 400 ms, 전극간격 2mm)

이와 함께 고전계 코로나 방전 처리 시간에 의한 균주의 사멸 효과는 그림 48과 같다. 즉, 처리시간이 많을수록 균주의 사멸효과가 높아지는 것을 볼 수 있는데 전압세기 20kV/cm, 전극간격 2mm로 고정한 후 처리시간을 100, 200, 300, 400 μ s로 조정하여 처리하였을 경우 처리시간이 많아질수록 균주의 사멸 효과가 높아져 400 μ s 처리시 약 1.2 log의 감소 효과를 나타내었다. 따라서 고전계 코로나 방전 처리장치의 전압세기, 전극간격 및 처리시간에 따른 균주의 사멸 효과를 살펴본 결과 어느 한 부분에서 큰 영향을 미치지 보다는 전압세기, 전극간격 및 처리시간 모두 동일한 수준으로 균주의 사멸에 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 전압세기와 전극간격 및 처리시간을 조합하여

살균효과를 최대로 높일 수 있는 고전계 코로나 방전 처리 시스템을 구축하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

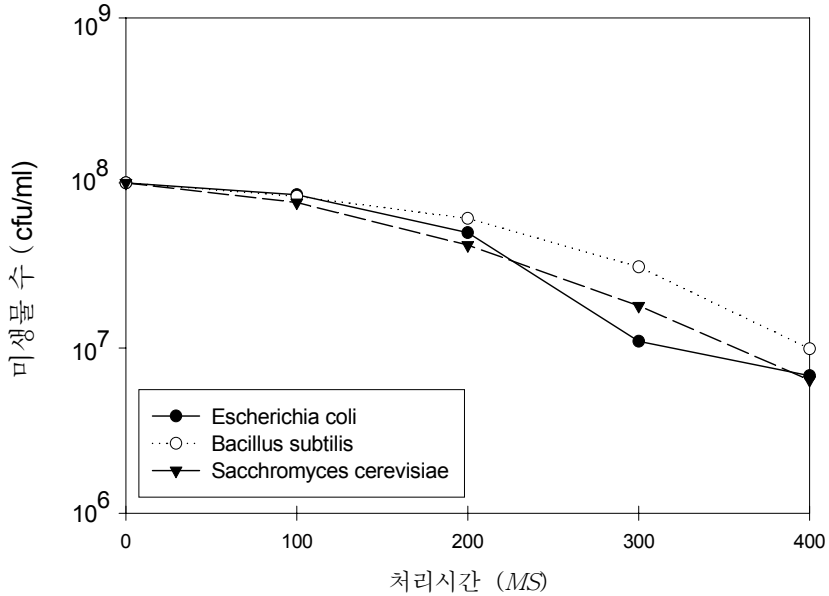


그림 48. 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 사멸효과
(전압세기 20kV/cm, 전극간격 2mm)

나. 고전계 코로나 방전처리에 의한 해충의 사멸 효과

고전계 코로나 방전처리 즉, 전압세기 20kV/cm, 전극간격 2mm, 처리 시간 400 μ s에서 곡류중 쌀에 많이 발생하고 있는 쌀바구미, 어리쌀도둑의 해충을 고전계 코로나 방전처리하여 이들의 살균효과를 실험한 결과는 그림 49와 같다. 즉 0.3mm 두께의 비닐 포장에 담아 포장한 쌀바구미와 어리쌀도둑을 신속히 전극사이에 넣고 고전압 코로나 방전 처리하였을 때 쌀 바구미와 어리쌀

도둑은 모두 사멸되어 움직임을 나타내지 않았다. 이와 관련하여 고전계 코로나 방전 처리조건을 가변하여 전압세기 20kV/cm, 전극간격 2mm에서 처리시간을 각각 100, 200, 300, 400 μ s 조건별로 조정하여 쌀바구미, 어리쌀도둑의 해충을 처리하였을 경우 100 μ s에서 시료 해충수의 약 85%가 사멸을 나타내었고 200 μ s에서는 100% 사멸을 나타내었다. 이러한 결과는 고전계 코로나 방전 처리한 균주의 사멸효과보다 매우 높은 사멸 효과를 나타낸 것으로 이는 균주의 크기에 비하여 훨씬 큰 2~3mm크기의 해충에 많은 양의 코로나 방전이 직접 적용되었기 때문으로 판단되며 또한 균주의 생물조직보다 해충등의 생물조직에 코로나 방전처리가 더욱 효과적임을 알 수 있는 결과로 판단된다.



그림 49. 고전계 코로나 방전처리에 의한 해충의 사멸

다. 고전계 코로나 방전처리에 의한 생식의 미생물 살균 효과

건강식품으로 소비자들에게 많이 소비되고 있는 생식제품의 경우 원료의 가열처리 없이 그대로 분쇄하여 제품화하기 때문에 미생물에 대한 오염이 그대로 노출되어 있는 상태라고 할 수 있다. 그리고 현재 정부에서도 갈수록 소비, 판매량이 높아지고 있고 2001년 통계로 약 3000억원 규모의 시장규모인 생식제품에 대하여 그동안 분말식품으로 저장성에 별 문제가 없는 것으로 간주하였으나 현재는 국민건강 차원에서 생식제품에 대한 미생물의 규격기준을 마련하고자 하는 계획을 마련중에 있는 상태이다. 그러나 현재 생식제품의 경우 적당한 살균방법이 없기 때문에 생식중의 미생물을 감소시킬 수 있는 방법이 없는 상태라 할 수 있다. 따라서 이러한 관점에서 시중 판매중인 4개 회사의 생식제품을 고전계 코로나 방전처리하여 미생물 사멸 효과를 조사하여 본 결과는 표 14와 같다.

표 14. 시중 생식제품의 고전계 코로나 방전처리에 의한 미생물 사멸 효과

판매회사 \ 처리구	일반세균(cfu/ml)	
	무처리구	고전계 코로나 처리구
A사 생식제품	4.2×10^5	2.5×10^4
B사 생식제품	7.6×10^4	6.5×10^3
C사 생식제품	3.2×10^5	2.1×10^4
D사 생식제품	2.5×10^5	1.3×10^2

즉, 시중에서 판매되고 있는 생식제품을 전압세기 20kV/cm, 전극과 시료간격 2mm 및 처리시간 400 μ s에서 고전계 코로나 방전 처리한 생식제품의 일반세균 사멸효과는 초기치 7.6×10^4 cfu/ml ~ 3.2×10^5 cfu/ml 수준에서 약 1.2

log 정도 감소한 $6.5 \times 10^3 \sim 2.5 \times 10^4$ cfu/ml 수준의 미생물 사멸 효과를 나타내었다. 이는 균주 실험에서 측정된 미생물 사멸 효과와 비슷한 수준의 결과로서 시중 생식제품의 경우 생각보다 일반세균수가 높은 것을 볼 수 있으며 고전계 코로나 방전처리에 의한 1.2 log 정도의 미생물 살균효과를 향후 좀더 높일 수 있는 고전계 코로나 방전처리 장치에 의한 살균 시스템이 필요할 것으로 판단되었다.

제 4 절 코로나 방전 처리한 고추 분말의 살균 효과 및 품질 변화

1. 실험 재료 및 방법

가. 실험 재료

본 실험에 사용된 시료로서 고추 분말은 시중에서 유통되고 있는 분말 고추 제품을 사용하였다.

나. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 미생물 군수 측정

총 균수, 효모/곰팡이와 대장균군 수 측정은 건조배지(petrifilm)를 이용하여 조사하였다. 총 세균수는 Petrifilm™ aerobic count(PCA, 3M) 배지로 37 °C, 24시간 배양하여 측정하였고, 효모/곰팡이는 Petrifilm™ yeast and mold count(PYMC, 3M) 배지를 이용하여 21~25 °C 암소에서 3~5일 후 배양 후 측정하였으며, 대장균군은 Petrifilm™ coliform count(PCC, 3M) 배지로 35 °C, 24시간 배양하여 colony 주위에 기포가 형성되어 있는 red colony를 coliform 수로 측정하였다.

다. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 일반성분 분석

조지방은 Soxhlet추출법, 조단백질은 micro-Kjeldahl법을 사용하였다. 총당은 고추 분말 1 g에 5% phenol 1ml를 가한 후 진한H₂SO₄ 5ml를 넣어 30분 이상 방치한 후 spectrophotometer(U.S.A, Beckmen, DU-650)로 470nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 환원당은 고추 분말 제품 1 g에 DNS시약 3ml 가하여 수욕에서 5분간 가열한 후 냉각시켜 증류수로 25ml까지 채용하여 550nm

의 파장에서 spectrophotometer로 흡광도(O.D)를 측정하였다. 흡광도 측정은 발색 후 한시간 이내에 모두 측정하였다. 총당과 환원당의 표준곡선은 표준물질로 glucose을 사용하여 각각의 측정 방법으로 측정하여 만들었다.

라. 고전계 코로나 방전처리한 고추 분말의 Capsaicin과 Capsanthin 분석

capsaicin함량은 고추 분말 5 g을 칭량하여 Soxhlet 추출장치에서 isopropanol로 적색이 더 나타나지 않을 때까지 추출한 후 charcoal 5 g을 가하여 3분간 끓인 후 여과, 수세하고 여액을 evaporator로 감압 농축하였다. Petroleum ether로 oil residue를 녹이고 Separatory funnel를 이용하여 ether층만을 모아 감압 농축시킨 후 isopropanol로써 25 ml로 정용하고 파장 281 nm에서 흡광도를 측정하여 capsaicin 농도를 정량하였다. 표준곡선은 capsaicin($C_{18}H_{27}NO_3$, M.W.=305.42, 독일 E. Merk 사 제품)을 isopropanol에 녹여 위와 같은 방법으로 흡광도를 측정하여 만들었다.

capsanthin 함량은 고추 분말 0.1 g을 칭량하여 시험관에 넣고 benzene 10 ml로 reciprocal shaker에서 30분간 추출, 여과 하고 그 잔여물에 다시 benzene 10 ml로 10분간씩 4회 추출, 여과한 여액을 합하여 50 ml로 정용하였다. 이 추출액을 적절히 희석하여 spectrophotometer에 의해서 파장 462 nm에서 benzene을 blank로 하여 흡광도(O.D.)를 측정하였다.

마. 고전계 코로나 방전처리한 고추 분말의 색도 측정

살균처리 분말 자체를 사용하여 spectrocolormerter (U.S.A, HunterLab, A60-1005-654)를 이용하여 L값(whiteness), a값(redness), b값(yellowness)과 전반적인 색차 ΔE 를 구하였다. 이 때 표준 백색판의 값은 $L=92.68$, $a=0.81$, $b=0.86$ 이었다.

바. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 향기성분 측정

고추 분말 10 g에 ethyl ether 50 ml와 무수sodium sulfate 5 g을 가하여 ice bath 상에서 2시간 동안 진탕 추출한 다음, 여과하고 30℃ 이하에서 감압 농축하였다. 농축액 1 ml을 -20℃로 유지된 vial에 packing 하여 곧 gas liquid chromatography (GLC)에 주입하였으며, 본 실험에서는 처리구간의 비교를 위하여 주성분이라고 생각되는 주 peak 들의 면적만을 구하였다. 이때 사용된 column은 chromosorb W AW(60-80 mesh)에 15% carbowax 20M이 입혀진 물질을 충전시킨 glass column (8ft×2 mm)을 사용하였고, column의 온도는 160℃에서 분당 8℃ 씩 상승시켰으며 injector와 detector의 온도는 각각 250℃와 270℃로 하여 3 반복으로 실험하였다.

사. 고전계 코로나 방전처리 한 고추 분말의 관능 평가

고추분말의 고전계 코로나 살균처리가 관능적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 20명의 검사요원에게 실험의 목적과 방법을 주지시킨 다음 살균 처리된 고추 분말의 색(color)과 냄새(odor)에 중점을 두어 무처리 대조구를 표준시료(R)로 하여 다시료 비교법신에 의해 ‘차이가 없다’는 5, ‘R보다 대단히 좋다’는 9, 그리고 ‘R보다 대단히 나쁘다’는 1로 평가하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 고전계 코로나 방전처리에 의한 고추 분말의 미생물 살균 효과

전압세기를 5, 10, 20, 30kV/cm로 조절하여 전압에 의한 고추 분말 제품의 미생물 사멸율을 측정한 결과는 표 15와 같다. 고전계 코로나 방전처리하지 않은 대조구 고추 분말의 미생물 수는 일반세균이 8.3×10^5 cfu/g이었고 효모가 4.3×10^4 cfu/g, 대장균군이 1.7×10^3 cfu/g 이었다. 위의 조건으로 코로나

방전 처리시 고추 분말의 미생물 사멸율은 전압세기에 따라 사멸이 증가하여 20kV/cm 전압으로 처리시 일반세균이 4.4×10^3 cfu/g 의 미생물 수로 약 2.4log 정도 감소한 결과를 나타내었다. 효모와 대장균도 전압세기에 따라 점차 감소하여 30kV/cm 처리구의 경우 1.6×10^2 cfu/g, 1.0×10^1 cfu/g의 사멸 효과를 나타내었다.

표 15. 전압세기에 따른 고전계 코로나 처리한 고추 분말의 미생물 사멸률

Corona discharge treatments	cfu/g		
	Aerobic bacteria	Yeasts & molds	Coliforms
Non-treatment	8.3×10^5	4.3×10^4	1.7×10^3
5kV/cm	8.0×10^5	3.7×10^4	2.1×10^3
10kV/cm	1.8×10^5	9.7×10^3	9.6×10^2
20kV/cm	3.5×10^4	7.4×10^2	2.5×10^2
30kV/cm	4.4×10^3	1.6×10^2	1.0×10^1

나. 고전계 코로나 방전 처리한 고추 분말의 일반성분

코로나 방전처리한 고추분말의 일반성분을 분석한 결과는 표 16과 같다. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 고추분말의 일반성분의 함량변화는 코로나 방전처리하지 않은 대조구 고추분말의 일반성분 함량과 큰차이를 나타내지 않았다. 수분 함량은 5.11%~5.17%로 대조구의 5.21%과 차이가 거의 없었으며 환원당, 총당, 조단백질, 조지방 모두 대조구와 큰 차이를 보이지 않았다.

표 16. 전압세기에 따른 코로나 방전처리한 고추분말의 일반성분

Item (unit : %)	Corona discharge treatments				
	control	5kV/cm	10kV/cm	20kV/cm	30kV/cm
Moisture	5.21	5.17	5.11	5.16	5.15
Reducing sugar	13.63	14.01	13.87	14.19	13.84
Total sugar	51.78	51.94	52.41	52.47	53.08
Crude protein	6.84	7.02	7.11	7.11	6.93
Crude fat	3.27	3.23	3.30	3.17	3.15

다. 고전계 코로나 방전처리 한 고추 분말의 Capsaicin과 Capasanthin의 함량

살균처리한 고추분말의 Capsaicin과 Capasanthin의 함량을 측정한 결과는 그림 50과 같다. 고추 가루의 신미 성분인 capsaicin은 고추 품종의 차이와 가공에 따른 영향으로 차이가 나는데 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 고추 분말의 Capsaicin은 대조구의 Capsaicin 함량을 100으로 보았을 때 30 kV/cm 전압의 경우 약 2.5%의 감소만 있었다.

고추 분말의 품질은 신미 성분 외에도 적색소의 함량에 따라 주로 평가되는데 대부분의 건조, 가공 및 저장 중 여러 가지 요인에 의하여 색소의 변화와 손실이 발생하는 것으로 보고되고 있는데 본 실험에서의 살균처리된 고추가루의 Capasanthin는 30kV/cm 전압처리시 약 0.7%의 감소를 나타내 capasanthin

는 고전계 코로나 처리에 비교적 안정한 것으로 판단되어진다.

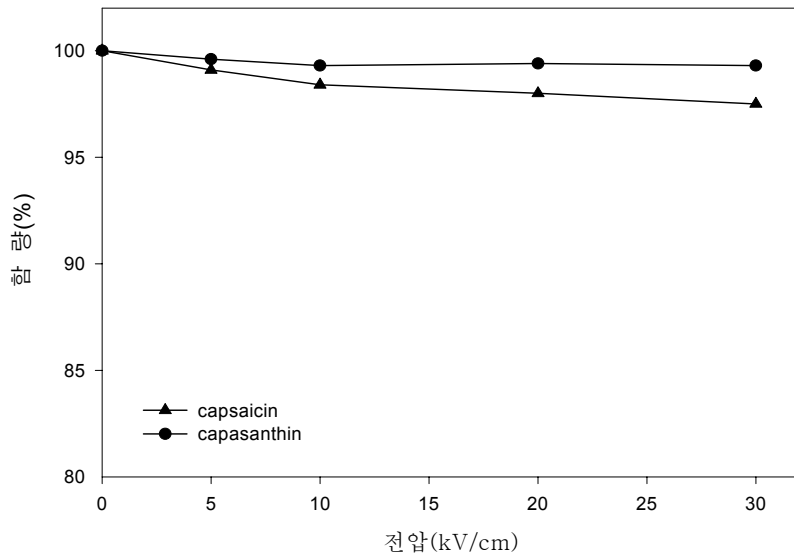


그림 50. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 고추분말의 capsaicin과 capsanthin

라. 고전계 코로나 방전처리 한 고추 분말의 색도

살균 처리한 고추분말의 색도를 spectrophotometer를 사용하여 Hunter color L, a, b 및 ΔE 측정 한 결과는 표 17과 같다. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 고추분말의 색도에서 L값(whiteness)은 42.43~42.71, a값(redness)은 22.77~23.01, b값(yellowness)의 경우 18.84~19.01로 나타나 대조구의 각각의 값 42.21, 23.4, 19.03와 큰 차이를 나타내지 않았으며 전반적인 색차 ΔE 는 5kV/cm 전압에서 0.45를 30kV/cm 전압에서는 0.82의 차이로 ΔE 값이 1이 넘지 않는 것으로 나타났다.

표 17. 전압세기에 따른 코로나 방전처리한 고추분말의 색도

Corona discharge treatments	Color (Hunt's value)			
	L*	a*	b*	ΔE^*
Non-treatment	42.21	23.4	19.03	0
5kV/cm	42.43	23.01	19.01	0.45
10kV/cm	42.57	22.86	18.93	0.66
15kV/cm	42.5	22.93	18.89	0.57
20kV/cm	42.71	22.77	18.84	0.82

L* : Lightness

a* : redness/greeness

b* : yellowness/blueness

ΔE^* : color difference

마. 고전계 코로나 방전처리 한 고추 분말의 향기성분

살균 처리한 고추분말의 향기성분 측정된 결과는 표 18과 같다. 본 실험에서 용매에 의해 추출된 각 성분을 향기의 주성분이라고 생각되는 주 peak들의 변화를 대조구를 기준으로 %로 나타내었다. 고추 분말에서 3개의 주된 peak를 얻었으며 전반적으로 전압의 세기가 커질수록 peak 면적이 감소하는 경향을 보였다. 5kV/cm에서는 5.5%, 10kV/cm에서는 8.1%, 20kV/cm에서는 12%, 30kV/cm에서는 15.3%의 감소를 보였다.

표 18. 전압세기에 따른 코로나 방전처리한 고추분말의 향기성분

Main peak	Relative peak area(%) ^a				
	Corona discharge treatments				
	control	5kV/cm	10kV/cm	20kV/cm	30kV/cm
1	100	97.4	93.9	91.4	88.3
2	100	94.8	90.8	83.6	80.7
3	100	92.6	91.0	89.1	85.2
Total	100	94.5	91.9	88.0	84.7

*^a : Relative number is expressed against the control sample and each value is the mean of triplicate experiments

바. 고전계 코로나 방전처리 한 고추 분말의 관능 검사

고전계 코로나 살균처리가 관능적 특성에 미치는 영향을 조사하기 살균 처리된 고추 분말의 색(color)과 냄새(odor)에 중점을 두어 무처리 대조구를 표준시료(R)로 하여 다시료 비교법을 이용하여 관능 검사를 한 결과는 표 19와 같다. 표에서 나타난 결과와 같이 고전계 코로나 방전 처리한 고추분말은 대조구와의 차이가 크지 않았다. 이를 볼 때 코로나 살균 처리한 고추분말의 이화학적 성분변화는 전압세기에 따라 미미한 차이가 있었으나 식별 가능한 수준의 차이가 아닌 것으로 판단되었다.

표 19. 전압세기에 따른 코로나 방전 처리한 고추분말의 관능 검사

Item	Corona discharge treatments			
	5kV/cm	10kV/cm	20kV/cm	30kV/cm
Color	5.8	6.3	5.3	4.9
flavor	6.1	5.4	5.7	5.2
overall quality	5.8	6.0	5.5	5.1

참고문헌

1. M. Hayamizu: Proc. of the Institute of Electrostatics Japan, Vol. 13, No. 4, 1989.
2. A. Mizuno and Y. Hori: IEEE Trans. Ind appl, 24, p. 387, 1988
3. A. Mizuno: Proc. of 1988 Annual Meeting of the Institute of Electrostatics Japan, p. 373~376, 1988
4. U. Zimmermann, P. Scheutich, G. Pilwat and R. Benz: Chem. Int. Ed. Engi., 20, p. 325, 1981
5. J. H. Sale and W. A. Hamilton: Biochem, Biophys Acta, 148, p. 789, 1967
6. Y. C. Kim, H. W. Lee, K. Y. Suh, J. H. Chun: A study on power factor and efficiency correction of AC-DC boost converter by partial resonant type using a L^2SC . PCC-Nagaoka, p. 391~399, 1997
7. Y. Konishi, N. Baoya, and M. Nakaoka: Three-phase current-fed zero current soft-switching PWM converter with auxiliary resonant DC link. T. LEE. Japan, 118D, p. 548~549, 1998
8. Takao Goto, M. Ishida, and T. Hori: Control characteristic of active filter using series-resonant HF AC-linked DC-AC converter. T. IEE. Japan, 118D, p. 363~370, 1998
9. 고강훈, 황용일, 이현우, 김은수, 조기연: 고전계를 이용한 분말 살균장치. 대한전기.학회 부경지부 추계학술발표대회 논문집, 1999
10. 한국인삼연구초연구원 : 최신 고려인삼(성분 및 효능편), 천일출판사, 대전, 1996

11. 권중호 : 식품조사의 국제적 허가 현황 및 실용화 전망. 식품공업, 133,18~49,1988
12. 김광연 : 식품산업에의 오존 이용 (I). 식품기술, 6, 84, 1993
13. 권중호, 변명우, 이수정 : 살균 및 저장조건을 달리한 백삼분말의 색 특성. 고려인.삼학회지, 18(2), 128~133, 1994
14. 김동연 : 홍삼의 갈변에 관한 연구. 한국농화학회지, 16(2), 60~77, 1973
15. 도재호, 노혜원, 김상달, 오훈일 : 수분활성도가 홍삼 저장성에 미치는 영향. 고려.인삼학회지, 5, 108, 1981
16. 노혜원, 도재호, 김상달, 오훈일 : 저장 상대습도가 백삼의 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 15(1), 27~31, 1983
17. Choi, J.H. and Oh, S.K: Studies on the anti-aging action of Korean ginseng (in Korea). Korean J. of Food Sci., Technol., 17, 506~513, 1985
18. 육홍선, 정영진, 권오진, 변명우 : 감마선과 오존처리가 알로에와 화분의 오염미생물 제거와 지방산 조성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 29, 527~532, 1977
19. Schutz, H. G., Bruhn, C. M., and Diaz-Knauf, K. N. : Consumer attitude toward irradiated foods : Effects of labelling and benefits information. Food Technol., .43(10), 80~86, 1989
20. 권중호 : 방사선 조사식품과 소비자 수용성. 식품공업, 131, 25~43, 1995
21. 김용문 : 식품조사에 대한 WHO의 입장. 식품위생안정성 연구, 9(1), S13~S16, 1994
22. 권중호, 변명우, 김영희, 이수정, 조한옥 : 인삼엽록차의 살균처리에 따

- 른 이화학적 특성변화. 한국식품위생학회지, 6, 49~56, 1991
23. 광기성, 최강주, 김나미 : 오존처리가 인삼분말의 지방산과 유기산 함량 및 향미성분에 미치는 영향. 한국식품위생·안전성학회지, 11, 51~56, 1996
 24. 권오진, 박순연, 김광훈, 이현자, 변명우 : 신선초 분말에 오염시킨 미생물에 대한 감마선과 오존의 살균효과. 한국식품위생·안전성학회지, 11, 221~225, 1996
 25. 육홍선, 차보숙, 조성기, 변명우 : 한방약재의 오염 미생물 살균, 추출율 및 생리 효능에 대한 감마선 조사의 영향. 한국식품과학회지, 30, 581~589, 1998
 26. J. H. Sale and W. A. Hamilton: Biochem, Biophys Acta, 148, p. 789, 1967
 27. 권중호, 변명우, 이수정 : 살균 및 저장조건을 달리한 백삼분말의 색 특성. 고려인삼학회지, 18(2), 128~133, 1994
 28. 김동연 : 홍삼의 갈변에 관한 연구. 한국농화학회지, 16(2), 60~77, 1973
 29. 도재호, 노혜원, 김상달, 오훈일 : 수분활성도가 홍삼 저장성에 미치는 영향. 고려인삼학회지, 5, 108, 1981
 30. Choi, J.H. and Oh, S.K: Studies on the anti-aging action of Korean ginseng (in Korea). Korean J. of Food Sci., Technol., 17, 506~513, 1985
 31. 채수규 : 표준 식품 분석학. 지구 문화사 403 (1998)
 32. Trejo-Gonzalez, A. and Qild-Altamirano, C. : J. Food Sci., 38, 342 (1973)
 33. Curl, A.L.: J. Agr. Food Chem., 10, 504. 1962
 34. Davis, B.H. : Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment,

- Academic Press, New York, 489. 1965
35. Cho, H.O., Kwon, J.H., Byun, M.W., Kim, Y.J., and Yang, J.S. : Effects of Ethylene Oxide Fumigation and Gamma Irradiation on the Quality of Ground Red and Black Peppers. Korean J. Food Sci. Tec 18(4) 294~300 1986
 36. Larmond, E. Methods for Sensory Evaluation of Food. Food Research Institute, Central Experimental Farm. Ottawa, pp. 19-24. 1970
 37. Roessler, E.B., Pangborn, R.M., Sidel, J.L. and Stone, H. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired-difference, duo-trio and triangle tests. J. Food Sci. 43: 940-947 1978
 38. Masada, Y., Hashimoto, K., Inou, I. and Suxuki, M. : J. Food Sci., 36, 858. 1971
 39. Kim, K.H. and Chun, J.K. : Korean J. Food Sci. Technol., 7, 69. 1975
 40. Lee, S.W. : J. Korean Agr. Chem. Soc., 14, 157. 1971
 41. Lease, J.G. and Lease, E.J. : Food Technol., 10, 368 1956
 42. Lease, J.G. and Lease, E.J. : Food Technol., 1, 104 1962