

최 종  
연구보고서

키토산과 전기적 처리를 이용한  
종자(현미) 발아와 성장촉진의  
생체생리활성 기술 및 바이오시스템  
개발

Development of Biophysiologicaly Stimulating  
Technology and a Biosystem for Sprouting and  
Growth Acceleration of Seed (brown rice) using  
Chitosan and Electrical Treatments

연구기관

서울대학교

농림부

## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “키토산과 전기적 처리를 이용한 종자(현미) 발아와 성장촉진의 생체생리활성 기술 및 바이오시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 5월

주관연구기관명 : 서울대학교  
총괄연구책임자 : 정 종 훈  
세부연구책임자 : 이 종 욱  
연 구 원 : 유 수 남  
연 구 원 : 최 영 수  
연 구 원 : 이 양 봉  
연 구 원 : 홍 지 향  
연 구 원 : 김 기 복  
연 구 원 : 박 회 만  
연 구 원 : 김 석 언  
참 여 기 업 : 가바월드(가바라이스)  
참 여 기 업 : 상아탑주식회사

# 요 약 문

## I. 제목

키토산과 전기적 처리를 이용한 종자(현미) 발아와 성장촉진의 생체생리활성 기술 및 바이오시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구 필요성

최근에는 영양, 맛, 향이 좋은 고부가가치 기능성 바이오식품 개발이 요구되고 있다. 종자(현미)는 싹이 틀 때 조직이 부드럽고 아미노산, 비타민, 미네랄, 효소 등의 영양소가 증가한다. 특히 GABA( $\gamma$ -aminobutyric acid) 함량이 높아져 뇌 혈류를 활발하게 하고 산소공급량을 증가시켜 뇌세포의 대사기능을 향진시키고 혈압을 낮춤. 또한 아라비녹시란 성분은 항암효과가 높다. 발아현미를 이용한 햇반, 생식, 음료 등으로 그 소비량이 증가함에 따라 발아현미 생산공정을 단축시키는 제조기술 및 시스템 개발이 요구되고 있다.

이에 키토산 및 전자기적 처리를 이용한 생체생리활성 기술을 개발해 종자(현미) 발아와 성장을 촉진시키고, 미생물과 곰팡이 억제 및 발아취 제거를 통해 품질을 향상시키는 바이오시스템의 개발이 요구된다.

현미와 같은 종자가 발아하면 GABA, 항암물질인 아라비녹시란(arabinoxylane), 비타민, 아미노산, 효소, 미네랄 등의 기능성 영양성분이 증가하므로 기능성 식품으로서 각광 받고 있다. 그러나 현미발아의 경우 발아율 약 85% 이상을 얻기 위해서는 적정 온도 및 습도에서도 그 공정기간이 약 7일(1일 침지후 6일 분무재배, 25℃

재배조건)이나 소요되므로 식용으로 사용되는 발아현미 생산공정을 단축시킬 수 있는 재배기술의 개발이 요구되고 있다. 특히 GABA 등의 기능성 영양성분을 증가시킬 수 있는 종자 발아 및 성장 촉진 기술 개발이 요구되고 있다.

종자(현미) 발아 및 성장 촉진을 위해 생분해성 천연고분자 물질인 키토산을 처리함으로써 곰팡이 발생을 억제하고 발아 및 성장 촉진을 가져오며, 기능성 성분을 높일 수 있는 제조기술의 개발이 요구되고 있다. 그리고 전류 및 전자기장이 종자(현미)의 발아 및 성장에 미치는 영향을 구명함으로써 종자(현미) 발아 및 성장을 촉진하는 생체생리활성 기술을 개발하고자 한다.

초음파기술을 이용해 종자 표면의 농약 등의 이물질을 세척하고, 또한 세척시 조직이 초음파를 흡수하고 자극을 받음으로써 종자 휴면을 줄여 발아 및 성장 촉진 가능성을 구명하고자 한다. 이에 키토산 처리 및 전자기적 처리를 이용한 종자 생리활성기술을 개발해 종자(현미) 발아와 성장을 촉진하게 하고, 미생물과 곰팡이 억제 및 발아취를 제거하며 품질을 향상시키는 바이오시스템 개발이 요구된다.

종자(현미) 발아 및 생산기술 개발에 대한 연구가 미진하고 현재는 재래식의 물분무방식에 의해 재배하고 있어 비용이 많이 들고 생산기간이 길어 비경제적이다. 이에 발아율을 높이며 생산 공정을 단축시키고 곰팡이 등을 억제하여 고품질의 발아식품을 생산할 수 있다. 종자(현미) 발아식품을 기능성 건강식품으로서 많이 선호하고 있으나 이에 대한 속성재배 및 생산시스템 개발에 대한 연구는 매우 미진한 상태이다. 새로운 생체생리활성기술 개발로 종자 발아 및 성장 촉진시스템을 산업화함으로써 상당량의 외화획득이 가능하고 새로운 종자 발아시험기 개발에도 이용할 수 있다. 현미뿐 아니라 여러 종류의 종자 발아와 성장뿐 아니라 세포배양에도 생체생리활성기술 및 시스템을 활용할 수 있어서 경제적 효과가 매우 크리라 생각되며, 세포 및 장기(organ) 조직배양의 인큐베이터 개발에 이용할 수 있다. 따라서 종자(현미)를 발아 및 성장을 촉진시키는 기술을 개발함으로써 우리 농산 및 원예작물의 발아 및 성장 촉진에 응용하여 고부가가치의 발아식품을 생산할 수 있다.

## 2. 연구 목표

가. 종자(현미) 발아에 생분해성 천연고분자 물질인 키토산을 처리함으로써 곰팡이 발생을 억제하고 발아 및 성장을 촉진하며, 기능성 성분을 높일 수 있는 생체생리활성 기술을 개발하고자 한다.

나. 초음파기술을 이용해 종자 표면의 이물질을 세척하고, 또한 세척시 조직이 초음파를 흡수하고 자극을 받음으로써 종자 휴면을 줄여 발아 및 성장 촉진의 가능성을 구명하는 생체생리활성 기술을 개발한다.

다. 전기적 처리와 음이온 처리로 종자(현미)의 발아 및 성장에 미치는 영향을 구명함으로써 현미 발아, 성장 촉진을 위한 생체생리활성 기술을 개발하고자 한다..

라. 생체생리활성기술들을 이용한 종자(현미) 발아와 성장을 촉진하는 대기발아 바이오시스템을 개발하고자 한다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 키토산 및 초음파 처리를 이용한 현미발아 생체생리활성 기술 개발

- 1) 현미 발아와 키토산에 대한 자료조사
- 2) 온도, 습도, 산소 등의 현미발아 조건 구명
- 3) 불용성 키토산이 현미 발아 및 성장에 미치는 영향 구명
- 4) 수용성 키토산이 현미 발아 및 성장에 미치는 영향 구명
- 5) 초음파 전처리가 현미 발아촉진 효과 구명
- 6) 오존 살균처리가 발아취 및 균 발생 억제 효과 구명

#### 2. 전기적 처리를 이용한 현미발아 생체생리활성 기술 및 바이오시스템 개발

- 1) 전기적 처리가 현미 발아 및 성장에 관련한 자료조사
- 2) 전기장 전처리가 현미발아에 미치는 영향 구명
- 3) 발아현미 재배시 음이온처리가 현미발아에 미치는 영향 구명
- 4) 전기적 처리에 의한 생체생리활성 기술 개발
- 5) 발아현미의 GABA성분 및 품질 분석
- 6) 종자(현미)발아 촉진/성장을 위한 바이오시스템 개발

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

### 1. 연구개발 결과

#### 가. 키토산과 초음파처리를 이용한 현미 발아촉진 기술 개발

본 연구는 현미 종자의 발아 및 성장을 촉진시킬 수 있는 최적의 방법을 찾기 위해 수행되었다. 현미 종자에 초음파(28, 40, 60 kHz)처리 및 초산(0.001, 0.01, 0.05%), 수용성 키토산 및 불용성 키토산을 처리하고 60시간 침지발아(Type I), 12시간 침지 후 48시간 대기발아(Type II), 12시간 침지 후 12시간 대기 발아의 반복 적용(Type III)하였다. 이때 Type III에서는 12시간마다 각각 주파수별 초음파를 반복 처리하였다. 실험을 통한 데이터는 12시간마다 유아(sprout)의 성장 길이 측정 및 미발아 된 현미의 개체수를 세어 발아율을 측정하였다. 세 가지 타입 중 무처리만 놓고 비교해 보면 Type III인 침지발아 및 대기발아의 반복적용 처리가 가장 좋은 성장 촉진효과를 보였다. 세 가지 방법에서 초산, 불용성키토산등 pH 4 이하의 낮은 산성도를 나타내는 용액을 처리한 결과, 처리용액의 농도가 증가할 수록 성장 및 발아율이 대조군에 비하여 억제되었다. 모든 처리군 중에서 T<sub>2.5</sub>가 최적인 것은 Type I처리의 초음파 40 kHz 5분 처리군으로 51.9시간만에 2.5 mm까지 성장하였다. 또한, 주파수별로 초음파 처리를 한 실험군에서는 모든 처리군 에서 90% 이상의 좋은 발아율을 보였다. 현미의 초기 휴면 타파에는 키토산등의 화학적 처리에 비하여 초음파를 사용한 물리적 처리가 더 효과적인 것으로 판단되었다. 특히 Type III에서 관찰되듯이 자극 시간이 길어지고 반복하여 처리하였을 때 초기 발아율은 대체적으로 증가하는 것으로 나타났다.

## 나. 전기적 처리를 이용한 현미발아 생체생리활성 기술 및 바이오시스템 개발

### 1) 음이온이 현미발아에 미치는 영향

음이온처리를 이용한 현미의 생리활성기술은 현미발아와 성장을 촉진하게 하고, 발아현미의 색상 및 품질을 향상시킬 수 있는 기술로 나타났다. 음이온을 처리한 현미의 발아율, 성장길이 효과 및 품질효과 결과를 요약하자면 (1) 음이온을 처리한 현미의 발아율이 대조군에 비해 약 5~10% 발아율이 향상되었다. 그리고 시간에 따른 현미발아성장 길이 측정결과 음이온처리가 대조군에 비해서 약 5~10% 발아 성장이 촉진되었다 (2) 음이온 수가 현미의 성장률과 성장촉진에 미치는 영향을 분석한 결과, 90만개 이하의 음이온 처리군이 무처리군에 비해 성장길이가 높게 나타났다. 100만개 이상의 음이온처리는 현미발아의 성장촉진과 발아율 모두 역효과가 발생하였다. (3) 음이온을 처리한 현미의 색상품질이 무처리군에 비해서 명도값이 높게 나타났다. 이는 음이온을 처리한 현미가 무처리군보다 깨끗함을 나타내며 색상품질에 있어서 효과가 있는 것으로 나타났다.

### 2) 전기자극이 현미발아에 미치는 영향

전기자극이 현미발아에 미치는 영향을 분석하고자 펄스파의 출력전압을 가하고 듀티사이클 5%, 20%, 35% 로 자극을 주어 시간에 따른 변화를 관찰하였다. 실험결과로서 (1) 출력전압이 1V이상 현미에 직접적으로 자극이 가했을 때 색상품질 효과와 발아율, 성장촉진 등 모두 역효과를 초래하였다. (2) 전기자극 조건으로 주파수는 1Hz, 진폭설정으로 Hi-level 1V, Low-level 0V, 듀티사이클 5%, 20%, 35%로 각각 실험하였다. 그 결과 듀티사이클 5% 이상에서는 색상품질 효과와 발아율, 성장촉진 등에 역효과를 초래하였다. (3) 두 전극간의 거리를 5cm로 설치하고, 두 전극 사이에 현미를 침지시킨 후 72시간동안 실험한 결과 주파수는 1Hz, 진폭설정으로 Hi-level 1V, Low-level 0V, 듀티사이클(Duty Cycle)은 5%로 설정하였을 때 무처리군에 비해 발아율과 성장촉진이 약 10% 향상되는 효과가 있었다.



### 3) 전기장 처리가 현미발아에 미치는 영향

본 연구에서는 현미를 고압의 직류 전기장에 노출시켰을 때 전기장 처리효과가 현미침지 발아시 발아에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구의 결과를 요약하자면 (1) 30kV의 직류전압으로 현미시료에 2.5분, 5.0분, 7.5분, 10분 각각 전기장을 처리하였다. 그 결과, 현미의 발생에 미치는 영향은 10분, 7.5분, 2.5분, 5분순으로 현미발아에 영향을 주었다. 이는 전기장처리가 현미발아를 촉진하는 것으로 판단할 수 있었다. (2) 현미의 발아 길이가 1mm가 되기 전에는 전기장처리가 각 처리간에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

### 4) 침지 발아시험에서의 미생물 발생

본 연구에서는 침지발아 실험장치를 이용하여 공정 중에 발생하는 붉은 반점의 미생물 발생을 분석하는 실험을 실시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 (1) 수조내의 공기공급과 오존공급 처리는 미생물 발생을 억제하는데 효과가 없는 것으로 나타났다. (2) 시료를 플라스틱 용기보다 모기 망에 담았을 경우 부유물질이 소량 발생하고 붉은 반점의 미생물도 0.75-1.00ppm으로 낮게 나타났다. 붉은 반점의 발생 비율을 줄이기 위해서 수조 내 물의 교체시간을 12시간으로 처리한 결과 거의 0 ppm에 가까운 정도로 붉은 반점을 찾아볼 수 없게 나타났다.

### 5) 현미발아 시스템 개발

본 연구에서는 현미의 발아를 물에 침지시키지 않고 대기식 분사를 통하여 현미의 발아를 2일 이내에 발아시킬 수 있는 현미발아시스템을 개발하였다. 이는 현미발아율과 성장촉진율을 크게 향상시킬 수 있는 기술로 나타났다. 또한, 대기식 발아현미를 생산함과 동시에 발아실 내에서 음이온을 처리하여 발아와 생육을 촉진할 수 있었다. 기존의 현미 발아방법과 같이 물에 담그는 공정 등을 생략하고 본 연구에서는 현미발아장치의 발아실에서 물분사를 20분 주기로 분무함으로서 일정한 온도를 유지함과 동시에 현미가 최단시간에 이루어져 원하는 길이로 싹을 생육시킬 수 있게 함으로서 현미가 부패되는 것을 방지하고 발아율을 최대한 높일 수 있었다. 본 연구에서 개발한 대기식 현미발아시스템을 이용해 현미발아를 처리한 결과를 요약

하면 다음과 같다. (1) 현미시료에 대한 GABA함량 분석 결과 일반현미는 4.6 mg/100g에 비해 현미발아시스템에서 생산된 발아현미의 GABA함량은 36.49( $\pm$ 0.01) mg/100g로 약 9배의 높은 가바함량을 나타냈다. (2) 현미발아시스템에서 생산한 현미의 발아율이 침지상태에서 발아한 현미 대조군에 비해 약 40% 이상 발아율 촉진 효과가 향상되었다. (3) 현미발아시스템에서 생산한 현미의 싹 성장길이는 침지발아 대조군과 비교해볼 때 40% 이상의 높은 현미의 싹 성장촉진 효과를 나타내었다. (4) 현미발아시스템에서 음이온을 적용한 실험군과 대조군과의 비교실험 결과, 음이온을 적용한 실험군이 대조군에 비해 약 5~10% 발아율이 향상되었다. (5) 현미발아시스템에서 현미실험 양을 채반에 500g(높이0.5cm)와 1000g(높이 1cm) 각각 실험한 결과 두 실험 모두 발아율과 현미의 성장촉진에 차이는 없는 것으로 나타났다.

## 2. 활용에 대한 건의

가. 생체생리활성기술을 이용해 발아현미 생산 공정을 약 7일에서 약 3일로 단축시킴으로써 생산단가를 줄이고 대량 생산의 산업화 체계를 갖출 수 있어 경제성을 높일 수 있다. 현미 발아의 생산성을 약 30% 이상 높일 수 있으므로 본 현미발아 기술을 널리 홍보한다.

나. 키토산의 항균효과와 생산공정 단축으로 고습상태에서 잘 생기는 곰팡이 발생율을 줄여 위생적인 청결 발아식품을 생산할 수 있다. 발아현미의 품질 기준을 확립할 필요가 있다.

다. 초음파 세척기술을 종자(현미) 및 농산물의 잔류농약 및 이물질을 제거함으로써 중금속 및 농약으로 인한 피해를 줄여 경제적 및 사회적 효과가 크다. 발아현미 제품에 대한 중금속 및 잔류농약에 검사기준을 정립할 필요가 있다.

라. 전류 및 전기장을 이용해 생체의 생리활성을 촉진하는 기술을 개발하는 기초적 연구를 수행하였다. 이와같은 생체생리활성의 생체자극기술 개발에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

마. 종자 및 키토산처리, 초음파, 전류, 전기장 등의 생체생리활성기술 및 바이오시스템을 개발하여 산업화하는데 정부의 적극적 지원이 필요하다.

바. 생체생리활성기술을 이용한 식물 및 동물세포 그리고 생체기관용 바이오리액터 등의 생체시스템을 개발에 지속적 연구가 필요하다.

## SUMMARY

1. Development of technique to accelerate germination of brown rice using Chitosan and Ultra-sound treatment

1) Effects of Chitosan on the Germination and Sprout Growth of Brown Rice

The effects of germinating types and treatments of acetic acid, water-soluble and water-insoluble chitosan on the germination rate and sprout length of brown rice were investigated in this study. The treatment of 0.001% acetic acid accelerated the germination rate and sprout growth of brown rice in the germinating types of a air -exposure method after water-soaking(Type II) and a repetitive method of water-soaking & air-exposure (Type III), not water-soaking method(Type I). The treatment of water-soluble chitosan with higher concentration caused higher germination rate and faster sprout growth. The treatment of water-insoluble chitosan repressed the germination and the sprout growth of brown rice. The germination rates of brown rice germinated by the type III was higher than those by type I and type II for all the treatments of acetic acid and water-soluble & water-insoluble chitosan as more than 97% germination rate. Also, the type III method accelerated the sprout growth of brown rice compared with type I and type II.

2) Effect of ultrasound stimuli on acceleration of brown rice germination

The effect of ultra sound stimuli on the germination and sprout growth of brown rice was investigated. The stimuli of ultra sound were conducted at the frequencies 28 kHz, 40 kHz, and 60 kHz. The brown rice stimulated by ultra sound were germinated in the three types: The first type (Type I) was to soak brown rice into water 60 hours. The second type(Type II) was to expose brown rice to air for 48 hours after soaking them into water for 12 hours. The third

type (Type III) was a repetitive method of water-soaking and air exposure for respectively 12 hours. The most effective method for the germination of the control group was Type III among the three types. The effect of ultra sound among the germination of three types was most effective in Type I but not Type II and Type III. The higher the strength of ultra sound stimuli was, the faster the sprout growth of brown rice was when the ultra sound stimuli were treated in 40%, 70%, and 100% power (0.137, 0.241, and 0.344 W/cm<sup>2</sup>) at the frequency of 40 kHz. The treatment groups good for fast sprout growth of brown rice at each frequency were the 28 kHz-10min group, the 40 kHz-5min group, and the 60 kHz-20min group of Type I. The best effective treatment was the 40 kHz-5min group at 0.344 W/cm<sup>2</sup> and at the condition the time required for sprout growth of 2.5 mm was 51.9 hours. The stimuli of the ultra sound was very effective in the beginning of the rice germination, and the germination rate was more than 95% in all ultra sound treatments.

## 2. Development of a Biosystem and Biophysically Stimulating Technology of brown rice using Electrical Treatments

### 1) Effect of Anion Treatment on the Germination of Brown rice

The biophysilocal stimulating technology using anion treatment accelerated the germination and the sprout growth of brown rice and improved the color quality of the germinated rice. The treatment of anions increased the germination rate of brown rice and the sprout growth by about 5-10%, respectively. The proper number of anions for the sprout growth of brown rice was less than 0.9 million. The rice germinated by anion treatment showed higher brightness compared with rice germinated without anion treatment.

### 2) Effect of Electrical Stimuli on the Rice Germination

The brown rice stimulated by electrical stimuli with a pulse type and duty cycles of 5%, 20%, and 35% was observed. The germination rate and the sprout growth of brown rice germinated by electrical stimuli with DC 1V, 1Hz, 5% duty cycle were increased by about 10% compared with those of the control group.

### 3) Effect of Electrical Field on the Rice Germination

The effect of electrical field with high voltage on the rice germination was analyzed. The electrical field treatment at 15 kV/cm was conducted for 2.5, 5.0, 7.5, and 10 min, respectively. The electrical field treatment accelerated the sprout growth of brown rice.

### 4) Microorganism Occurrence in Water-Soaking System of Rice Germination

Few microorganisms are sometimes detected on the rice germinated in the water-soaking system. The treatment of air and ozone supply was carried out but was not effective. However, the water exchange per 12 hours prevented the red microorganism, which reached to almost zero ppm.

### 5) Development of a Rice Germinating Biosystem of Air-Exposure Type

A rice germinating biosystem of air-exposure type was developed with an anion lamp, ozone supplier, water circulating system, spraying system and a control system of temperature and humidity. The developed system increased the rice germination rate and the sprout growth by about 40%, respectively, compared with the water-soaking system. The anion treatment in the developed system improved the rice germination rate by about 5-10% compared with the system without anion.

# CONTENTS

CHAPTER 1. NECESSITY, OBJECTIVES AND CONTENTS OF THE STUDY .....	19
Section 1. Necessity of the study .....	19
Section 2. Current situations and problems .....	23
Section 3. Prospects .....	24
Section 4. Objectives and contents .....	25
CHAPTER 2. DEVELOPMENT OF TECHNIQUE TO ACCELERATE GERMINATION OF BROWN RICE USING CHITOSAN AND ULTRA SOUND TREATMENTS .....	30
Section 1. Introduction .....	30
Section 2. Research papers .....	32
Section 3. Materials and methods .....	37
Section 4. Results and discussion .....	48
Section 5. Summary and conclusions .....	74
CHAPTER 3. DEVELOPMENT OF A BIOSYSTEM AND BIOPHYSIOLOGICALLY STIMULATING TECHNOLOGY OF BROWN RICE USING ELECTRICAL TREATMENTS .....	76
Section 1. Effect of Anion Treatment on the Germination of Brown rice .....	76
1. Introduction .....	76
2. Materials and methods .....	80
3. Results and discussion .....	85
4. Summary and conclusions .....	89

Section 2. Effect of Electrical Stimuli on the Rice Germination .....	90
1. Introduction .....	90
2. Materials and methods .....	97
3. Results and discussion .....	99
4. Summary and conclusions .....	101
 Section 3. Effect of Electrical Field on the Rice Germination .....	 102
1. Introduction .....	102
2. Materials and methods .....	106
3. Results and discussion .....	109
4. Summary and conclusions .....	110
 Section 4. Microorganism Occurrence in Water-Soaking System of Rice Germination .....	 111
1. Introduction .....	111
2. Materials and methods .....	118
3. Results and discussion .....	119
4. Summary and conclusions .....	120
 Section 5. Development of a Rice Germinating Biosystem of Air-Exposure Type .....	 121
1. Introduction .....	121
2. Materials and methods .....	123
3. Results and discussion .....	129
4. Summary and conclusions .....	139



CHAPTER 4. PERFORMANCE ACCOMPLISHMENT AND CONTRIBUTIONS ..... 141

CHAPTER 5. APPLICATION PLANS ..... 144

CHAPTER 6. REFERENCES ..... 145

APPENDIX ..... 152

# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	19
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	19
제 2 절 국내외 관련기술의 현황과 문제점 .....	23
제 3 절 앞으로의 전망 .....	24
제 4 절 연구개발의 목표 및 내용 .....	25
제 2 장 키토산과 초음파처리를 이용한 현미 발아촉진 기술개발 .....	30
제 1 절 서론 .....	30
제 2 절 연구사 .....	32
제 3 절 재료 및 방법 .....	37
제 4 절 결과 및 고찰 .....	48
제 5 절 요약 및 결론 .....	74
제 3 장 전기적 처리를 이용한 현미발아 생체생리활성기술 및 바이오시스템 개발 .....	76
제 1 절 음이온이 현미발아에 미치는 영향 .....	76
1. 서론 .....	76
2. 재료 및 방법 .....	80
3. 결과 및 고찰 .....	85
4. 요약 및 결론 .....	89

제 2 절 전기자극이 현미발아에 미치는 영향 .....	90
1. 서론 .....	90
2. 재료 및 방법 .....	97
3. 결과 및 고찰 .....	99
4. 요약 및 결론 .....	101
제 3 절 전기장 처리가 현미발아에 미치는 영향 .....	102
1. 서론 .....	102
2. 재료 및 방법 .....	106
3. 결과 및 고찰 .....	109
4. 요약 및 결론 .....	110
제 4 절 침지 발아시험에서의 미생물 발생 .....	111
1. 서론 .....	111
2. 재료 및 방법 .....	118
3. 결과 및 고찰 .....	119
4. 요약 및 결론 .....	120
제 5 절 현미발아 시스템 개발 .....	121
1. 서론 .....	121
2. 재료 및 방법 .....	123
3. 결과 및 고찰 .....	129
4. 요약 및 결론 .....	139
제 4 장 목표달성도 및 기여도 .....	141
제 1 절 목표달성도 .....	141
1. 연구평가의 착안점 및 달성도 .....	141

제 2 절 기여도 .....	142
1. 기술적 측면 .....	142
2. 경제·산업적 측면 .....	142
제 5 장 활용계획 .....	144
제 6 장 참고문헌 .....	145
Appendix .....	152

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 필요성

최근에는 영양, 맛, 향이 좋은 고부가가치 기능성 바이오식품 개발이 요구되고 있다. 종자(현미)는 싹이 틀 때 조직이 부드럽고 아미노산, 비타민, 미네랄, 효소 등의 영양소가 증가한다. 특히 GABA( $\gamma$ -aminobutyric acid) 함량이 높아져 뇌 혈류를 활발하게 하고 산소공급량을 증가시켜 뇌세포의 대사기능을 향진시키고 혈압을 낮춤. 또한 아라비녹시란 성분은 항암효과가 높다. 발아현미를 이용한 햇반, 생식, 음료 등으로 그 소비량이 증가함에 따라 발아현미 생산공정을 단축시키는 제조기술 및 시스템 개발이 요구되고 있다.

이에 키토산 및 전자기적 처리를 이용한 생체생리활성 기술을 개발해 종자(현미) 발아와 성장을 촉진시키고, 미생물과 곰팡이 억제 및 발아취 제거를 통해 품질을 향상시키는 바이오시스템의 개발이 요구된다.

### 1. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

현미와 같은 종자가 발아하면 GABA, 항암물질인 아라비녹시란(arabinoxylane), 비타민, 아미노산, 효소, 미네랄 등의 기능성 영양성분이 증가하므로 기능성 식품으로서 각광 받고 있다. 그러나 현미발아의 경우 발아율 약 85% 이상을 얻기 위해서는 적정 온도 및 습도에서도 그 공정기간이 약 7일(1일 침지후 6일 분무재배, 25℃ 재배조건)이나 소요되므로 식용으로 사용되는 발아현미 생산공정을 단축시킬 수 있는 재배기술의 개발이 요구되고 있다. 특히 GABA 등의 기능성 영양성분을 증가시킬 수 있는 종자 발아 및 성장 촉진 기술 개발이 요구되고 있다.

종자(현미) 발아 및 성장 촉진을 위해 생분해성 천연고분자 물질인 키토산을 처리함으로써 곰팡이 발생을 억제하고 발아 및 성장 촉진을 가져오며, 기능성 성분을

높일 수 있는 제조기술의 개발이 요구되고 있다.

전류 및 전자기장이 종자(현미)의 발아 및 성장에 미치는 영향을 구명함으로써 종자(현미) 발아 및 성장을 촉진하는 생체생리활성 기술을 개발하고자 한다.

초음파기술을 이용해 종자 표면의 농약 등의 이물질을 세척하고, 또한 세척시 조식이 초음파를 흡수하고 자극을 받음으로써 종자 휴면을 줄여 발아 및 성장 촉진 가능성을 구명하고자 한다. 이에 키토산 처리 및 전자기적 처리를 이용한 종자 생리활성기술을 개발해 종자(현미) 발아와 성장을 촉진하게 하고, 미생물과 곰팡이 억제 및 발아취를 제거하며 품질을 향상시키는 바이오시스템 개발이 요구된다.

H. Kayahara(2000)에 의하면 물에 담궈 약간의 짝이 난 상태의 현미가 일반 현미에 비해 필수아미노산 라이신이 약 3배 많고, 신장 기능에 도움을주는 GABA는 약 10배가 증가하므로 바이오식품으로서 현미발아 기술개발이 요구된다.

Suzuki(1999) 등에 의하면 액상보다 공기의 기체상태에서의 현미뿌리(유근)발아가 더 빠르고, 액상에서는 뿌리의 발아가 억제되며 유아(싹) 발현이 빠르다. 물의 온도는 약 30℃가 적합하고 용존산소량 3.5-4.5 mg/l 이 적합하다고 보고한 바 있어, 유아와 유근의 발아 촉진기술의 구별이 요구된다.

Moon과 Chung(2000)은 토마토 씨앗에 4-12 kV/cm 전기장을 30-45s처리하여 종자발아율을 비처리에 비해 1.2-2.8배 높여 발아를 촉진시켰다고 보고한 바 있음. 전기장이 현미발아에 영향을 주는지 구명이 필요하다.

Komatsuzaki(2003) 등은 현미발아에 있어 24시간 침지방법(GABA 37.6 mg/100g)보다 3시간 물에 침지하고 기체상태에서 35℃의 조건에서 21시간 처리한 후 15분동안 증기처리한 방법이 GABA의 함량이 42.2 mg/100g으로 높게 나타난다. 이에 침지+기체상의 재배+스팀 등의 적정 현미 발아조건의 구명이 요구된다.

#### 나. 경제·산업적 측면

종자(현미) 발아 및 생산기술 개발에 대한 연구가 미진하고 현재는 재래식의 물분무방식에 의해 재배하고 있어 비용이 많이 들고 생산기간이 길어 비경제적이다. 이에 발아율을 높이며 생산 공정을 단축시키고 곰팡이 등을 억제하여 고품질의 발아식품을 생산할 수 있다.

종자(현미) 발아식품을 기능성 건강식품으로서 많이 선호하고 있으나 이에 대한 속성재배 및 생산시스템 개발에 대한 연구는 매우 미진한 상태이다. 새로운 생체생리활성기술 개발로 종자 발아 및 성장 촉진시스템을 산업화함으로써 상당량의 외화 획득이 가능함. 새로운 종자 발아시험기 개발에도 이용한다.

현미뿐만 아니라 여러 종류의 종자 발아와 성장뿐 아니라 세포배양에도 생체생리활성기술 및 시스템을 활용할 수 있어서 경제적 효과가 매우 크리라 생각되며, 세포 및 장기(organ) 조직배양의 인큐베이터 개발에 이용할 수 있다.

종자(현미)를 발아 및 성장을 촉진시키는 기술을 개발함으로써 우리 농산 및 원예작물의 발아 및 성장 촉진에 응용하여 고부가가치의 발아식품을 생산할 수 있다.

Table. 1-1 백미와 발아현미의 영양분 비교(발아길이 2.5 mm, 기준 100g)

자료: 한국식품연구소

구 분	백 미	발 아 현 미	비 고
열량(kcal)	364	372	
단백질(%)	7	8	
지방(%)	1.1	2.8	
비타민 B1(mg)	0.06	0.2	
식이섬유(%)	0.24	1.28	
칼슘(mg)	6.6	12.7	

#### 다. 사회·문화적 측면

종자(현미)가 발아할 때 GABA, 감마오리자놀(gamma-oryzanol), 식이섬유, 아미노산, 비타민, 미네랄, 효소 등의 기능성 영양성분이 증가하므로, 발아식품은 건강식품으로서 성인병 예방에 좋기 때문에 부가가치가 매우 높다. 특히 발아현미는 자체 자정작용이 있어 현미의 잔류농약 문제를 해결하고 발아시 활성화되어 스펀지 모양으로 흡착력이 좋아진 식이섬유는 더욱 효과적인 독소배출작용을 한다.

종자(현미)가 싹이 틀 때 생기는 아라비녹시란은 미국 UCLA대학 M. Ghoneum 박사의 연구진에 의해 강한 면역증진효과가 밝혀지면서 주목받기 시작한 5탄다당류 물질이다. 아라비녹시란은 NK세포(자연살상세포)를 약 9배 강화함과 동시에 인터

루킹II의 생산을 증대시키고 T임과구의 유도 및 생산을 촉진하는 등 면역체계를 극대화시켜 암세포를 파괴하는 것으로 보고되었으며 부작용이 없고, 안전성에 있어 설탕보다도 안전성이 검증된 면역물질로 지금까지 발견된 면역증대 물질중 가장 강력함 (항암력, Mamdooh Ghoneum). 이 물질은 암, 항균, 항바이러스, 항출혈, 간경화, 당뇨, 만성간염, 백혈병, 장염 및 폐렴 등에 효과가 다양하며 특히 일본에서는 말기 암환자 치료용으로도 사용되고 있으므로 발아현미 속성 재배기술 및 시스템 개발이 요구되고 있다.



## 제 2 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

### 가. 국내외 관련기술 현황

- 1) 국내 발아현미의 소비는 증가추세에 있으나 그 생산기간이 길어 제대로 공급을 하지 못하고 있으며 이에 대한 제조 기술 및 시스템 개발에 대한 연구가 미진한 상태이다.
- 2) 고온, 고습상태에서 현미 발아공정이 약 7일 정도로 길어 곰팡이, 악취냄새 등이 발생하기 쉽기 때문에 이를 해결할 수 있는 기술 개발이 요구됨. 특히, 발아 기간이 길어 이를 단축시킬 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다.
- 3) 국내에서 불용성 키토산에 침지하여 발아시키면 GABA의 함량을 증진시킬 수 있다는 연구는 있으나 발아공정 단축을 위한 생체생리활성 기술 개발에 관한 연구는 없음.
- 4) 발아현미 제조를 위해 현미 선별, 세척, 생리활성을 위한 진처리, 발아조건, 발아 후 건조방법 및 건조조건, 포장 등의 일괄 생산공정에 대해서 체계가 확립되지 않고 있다.
- 5) 일본에서 발아현미의 효능에 대해서 많은 연구가 발표되었으나 생리활성기술에 의한 발아공정 단축, 재배 및 생산시스템에 대한 연구는 매우 미진한 상태이다.

### 제 3 절 앞으로 전망

1) 발아현미가 바이오식품으로서 전국적으로 보급되기 위해서는 종자 발아 촉진기술 및 제조시스템의 개발이 절실히 요구됨. 이같은 제조기술이 개발되면 우리쌀의 국제 경쟁력을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 종자(현미)발아 및 성장의 생체생리활성 기술을 국내외에 보급함으로써 높은 수익 및 농가소득을 올릴 수 있다. 또한 발아현미 재배시스템을 산업화하여 수출함으로써 외화획득에 큰 기여를 할 수 있다.

2) 본 기술 및 시스템을 현미뿐 아니라 종자 발아 및 성장에도 이용할 수 있어 경제성 및 산업성이 매우 높다.

## 제 4 절 연구개발의 목표 및 내용

### 1. 연구개발 목표와 내용

#### 가. 연구개발 목표

1) 종자(현미) 발아에 생분해성 천연고분자 물질인 키토산을 처리함으로써 곰팡이 발생을 억제하고 발아 및 성장을 촉진하며, 기능성 성분을 높일 수 있는 생체생리활성(Biophysiology Activation) 기술을 개발하고자 한다.

2) 초음파기술을 이용해 종자 표면의 이물질을 세척하고, 또한 세척시 조직이 초음파를 흡수하고 자극을 받음으로써 종자 휴면을 줄여 발아 및 성장 촉진의 가능성을 구명하는 생체생리활성 기술을 개발함.

3) 전기적 처리와 음이온 처리로 종자(현미)의 발아 및 성장에 미치는 영향을 구명함으로써 현미 발아, 성장 촉진을 위한 생체생리활성 기술을 개발하고자 한다..

4) 생체생리활성기술들을 이용한 종자(현미) 발아와 성장을 촉진하는 대기발아 바이오시스템을 개발하고자 한다.

## 나. 연구 내용

### 세부과제 1: 키토산 처리를 이용한 현미발아 생체생리활성 기술 개발

- 1) 현미 발아와 키토산에 대한 자료조사
- 2) 온도, 습도, 산소 등의 현미발아 조건 구명
- 3) 불용성 키토산이 현미 발아 및 성장에 미치는 영향 구명
- 4) 수용성 키토산이 현미 발아 및 성장에 미치는 영향 구명
- 5) 초음파처리의 장치 구성
- 6) 초음파 전처리가 현미 발아촉진 효과 구명
- 7) 오존 살균처리가 발아취 및 균 발생 억제 효과 구명

### 세부과제 2: 전기적 처리를 이용한 현미발아 생체생리활성 기술 및 바이오시스템 개발

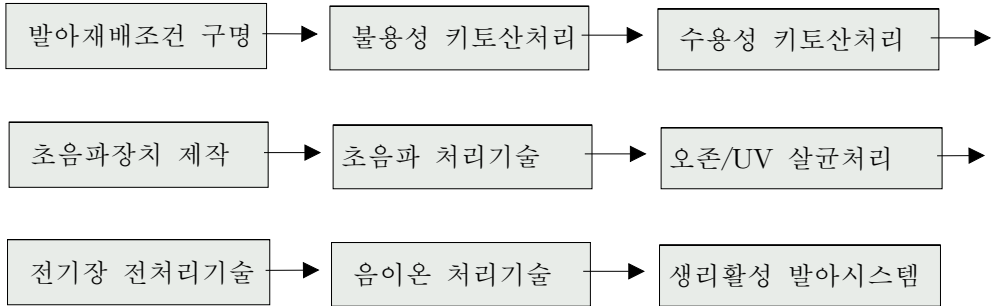
- 1) 전기적 처리가 현미 발아 및 성장에 관련한 자료조사
- 2) 전기장 전처리가 현미발아에 미치는 영향 구명
- 3) 발아현미 재배시 음이온처리가 현미발아에 미치는 영향 구명
- 4) 전기적 처리에 의한 생체생리활성 기술 개발
- 5) 발아현미의 GABA성분 및 품질 분석
- 6) 종자(현미)발아 촉진/성장을 위한 바이오시스템 개발

## 2. 연차별 연구개발 목표와 내용

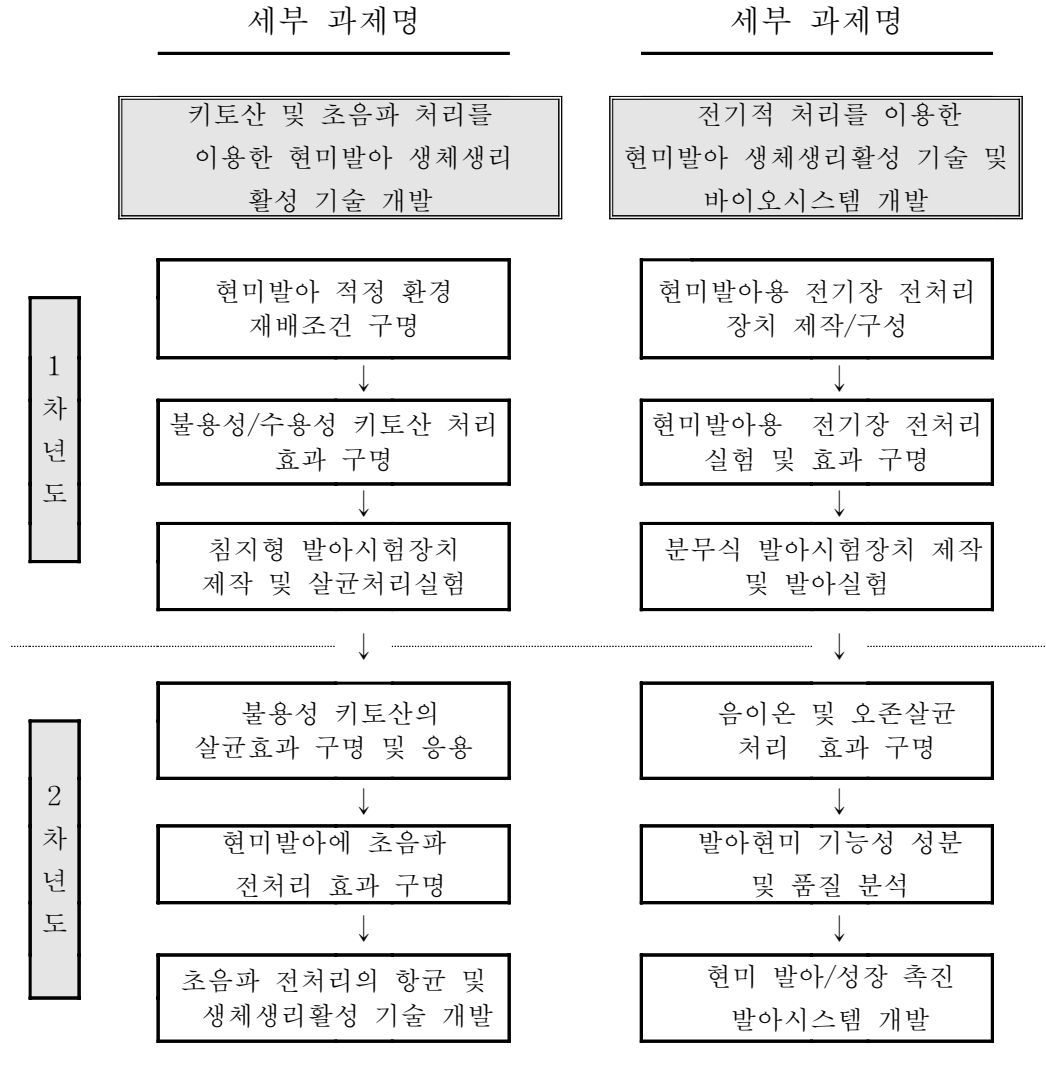
구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (2004)	<p>키토산처리 현미발아 효과 구명</p> <p>전기적처리의 현미발아 효과구명 및 발아시험용 시작기 제작</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온도, 습도, 산소 등의 적정 발아조건 구명</li> <li>○ 불용성 키토산 처리 발아촉진 효과 구명</li> <li>○ 수용성 키토산 처리 발아촉진 효과 구명</li> <li>○ 침지형 발아시험장치 제작</li> <li>○ 침지식 현미발아 실험 및 미생물 발생 조사</li> <li>○ 원료 초음파 세척효과 구명</li> <li>○ 전기장 전처리 장치 제작</li> <li>○ 현미발아에 전기장의 전처리 효과 구명</li> <li>○ 분무식 발아시험장치 제작</li> <li>○ 대기 발아재배 실험</li> </ul>
2차 년도 (2005)	<p>초음파 및 키토산 처리의 현미발아 효과 구명</p> <p>현미발아 촉진을 위한 생체생리활성 바이오시스템 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초음파 발생장치 제작</li> <li>○ 현미발아 촉진에 초음파 전처리 효과 구명</li> <li>○ 초음파 생체생리활성 기술 개발</li> <li>○ 발아취 제거 및 살균 기술 개발</li> <li>○ 대기 분무발아시 오존 처리 효과 구명</li> <li>○ 대기 분무발아시 음이온 처리 효과 구명</li> <li>○ 발아현미 기능성 성분 및 품질 분석</li> <li>○ 발아촉진 생체생리활성 바이오시스템 개발</li> </ul>

### 3. 연차별 연구개발 목표와 내용

현미 발아 및 성장 촉진 생리활성기술 및 발아시스템 개발 공정도



#### 4. 연구개발 추진체계



## 제 2 장 키토산과 초음파처리를 이용한

### 현미발아촉진 기술개발

#### 1. 서론

현미는 과피(pericarp), 종피(seed coat) 및 호분층(aleurone layer)으로 구성된 미강과 배(embryo) 및 배유(endosperm)로 이루어져 있다. 또한 일반적으로 이들의 비율은 미강 5 ~ 6%, 배 2 ~ 3%, 배유 92% 정도로 구성된다. 현미는 백미에 비하여 지방, 단백질, 비타민 B1, B2가 풍부하고 식이 섬유의 함량이 약 2배정도 높으며 칼슘과 철분을 비롯한 각종 무기질의 함유량도 백미보다 높아 건강 보조 식품의 원료로 사용 가능하다. 이와 같이 백미에 비해 현미가 건강에 관심이 많은 현대인들에게 몸에 좋다는 것은 널리 알려진 사실이다(Juliano & Bechtel, 1985; Kim & Cheigh, 1979; 이, 1998; 이, 1999).

그러나 현미는 조리가 어렵고 식감 및 소화율이 떨어지는 등의 단점으로 널리 이용되지 못하고 있다. 이에 현미를 적당한 온도와 습도, 산소 등의 공급을 통해 발아시켜 0.5 ~ 5 mm까지 싹을 틔운 발아현미는 이런 결점이 보완되어 현미를 뛰어넘는 영양가가 생기고, 백미보다 달고 감칠맛이 증대되는 등 좋은 효과가 발현된다. 또한 현미를 발아 시 현미 속에 잠들어 있던 효소가 일제히 활성화 이루어지고 단백질의 질적 변화, 미량 영양소의 증가, 탄수화물의 소화율 증가 및 반영양적 요소의 감소나 제거가 이루어지는 등 다양한 변화가 일어나기 때문에 발아에 의한 식품의 영양적 가치를 증대시키고자 하는 연구가 많이 이루어지고 있다(Kim & Lee, 1997).

특히 발아시 생성된 세포벽 분해요소의 작용에 의해 현미 외피의 일부가 가수분해되어 구조가 변형되고 또 싹이 생성된 부위를 통한 수분 흡수가 용이해져 수침시간이 크게 단축됨으로서 취반성이 개선되어 보통의 전기밥솥에서도 취사할 수 있다. 뿐만 아니라 고혈압 예방, 비만 억제, 신경 안정 등의 생리활성 기능에 효과가 있다고 알려져 있는 GABA( $\gamma$ -aminobutyric acid), inositol, ferulic acid,



arabinoxylan 등의 기능성 성분이 부록 표 14와 같이 증진되거나 새로이 생성된다. 그리고 현미 중의 유효성분 (단백질, 미네랄, 식물섬유 등)도 증가하여 최적의 영양 상태에 도달한다(금 등, 2004).

발아 현미에 대한 보고로는 발아조건 등 관련 특허가 약 70여건, 기타 발아조건 및 건조 방법에 대한 연구, 기능성분인 GABA에 대한 연구, 가공 원료로서 이용에 대한 연구 등이 있다. 일본에서는 발아현미를 이용한 건강 기능성 제품이 다양하게 판매되고 있으며 소비량도 직선적으로 증가하여 2003년에는 20,400톤으로 추정되고 있다. 국내에서도 2003년부터 C업체에서 발아현미밥이 시판되면서 발아현미 가공제품이 두유, 음료, 생식, 죽 등 다양한 제품으로 급속도로 확산되고 있다. 이에 따라서 국내 발아현미 소비량도 큰 폭으로 증가하고 있다.

이런 여건에 발맞추어 양질의 발아현미를 안정적으로 생산할 수 있는 생산 공정과 작업 시간을 단축시키는 제조 기술 및 시스템 개발이 점차 요구되고 있다. 그러나 기존 발아현미 제조 공정은 약 일주일 정도의 시간이 소요되고 있다. 또한 제조과정과 발아 시간이 길어질수록 발아시 생성되는 악취나 곰팡이 등의 유해 요소가 발생할 가능성이 높다(오 등, 2000). 따라서 발아현미 생산 공정을 단축시키는 제조 기술 및 시스템개발이 필요한 실정이다. 종자의 발아는 종피의 산소투과성, 삼투성, 배의 생리적 불안전 등과 연계된 휴면, 종자의 충실도 등에 영향을 받으므로 이러한 요인들을 타파하기여 위한 처리가 필요하다. 이를 위하여 본 연구는 초산, 수용성 키토산, 불용성 키토산 처리방법과 초음파 자극의 방법이 현미발아 촉진과 발아율에 미치는 영향을 구명하고자 한다.

## 2. 연구사

### 가. 이론적 고찰

#### 1) 초음파

초음파란 음파와 마찬가지로 매개물질을 통한 진동으로서 일반 사람의 청각으로는 감지할 수 없는 20 kHz 이상의 고주파 영역의 압력파이다. 초음파는 석영과 같은 압전성 물질의 판 양면에 크기가 같고 방향이 반대인 전하를 교대로 걸어주어 그 물질이 수축과 팽창을 반복하게 하여 발생한다. 초음파는 기계적 진동파이며 필히 매체를 통하여 전파가 가능하다. 그 속도는 공기 중에서 340 m/s, 해수 중에서 1,500 m/s, 철물을 통하여 5,000 m/s로 물성이 단단할수록 속도가 빠르다. 초음파 발진기를 통해 전기적인 신호를 발생시킨 후, 진동자로 보내지고 진동자를 통해 탄성과 관성에 따라 파동을 발생한다. 이러한 초음파를 액체매질 속으로 조사하면 공동화(cavitation)로 인해 미세한 공동화기포(cavitation bubble)로 성장하며, 충분히 성장한 기포가 폭발적으로 파열하는 진행과정을 거치게 된다. 그런데 기포가 성장하는 과정에 수용액의 증기가 기포 내로 유입되고 또한 기포 내에 에너지가 축적되어 기포내부의 온도와 압력이 매우 높아진다. 충분히 성장된 기포가 폭발적으로 파열될 때 기포내의 고온고압가스가 순간적으로 방출되면서 충격파를 발생한다. 이와 같은 작용을 이용하여 현미표면의 이물질질을 세척하고 발아촉진을 위한 자극을 줄 수 있다(김 등, 2001).

#### 2) 속도·강도

초음파는 매개물 내에서 일정한 전달속도를 갖는다. 초음파의 속도  $v$ (m/s)는 파장  $\lambda$ (m), 주파수  $f$ (kHz)와 관련이 있고, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{v}{T} \quad (1)$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (2)$$

여기서,  $T$  는 주기이다.

초음파를 세척용으로 이용하기 위해서는 주파수가 15 kHz 이상이 되어야 하지만 40 kHz를 넘어서면 초음파가 대상물을 투과한다. 초음파의 강도는 파의 진행방향에 대하여 직각인 단위면적을 통하여 전달되는 에너지 율, 즉 초음파 진동체의 단위면적당 전달 일을 말한다. 초음파의 출력을  $P(W)$ , 진동체의 면적을  $A(cm^2)$ 라고 하면, 초음파의 강도  $I(W/cm^2)$  는 다음 식으로 계산된다.

$$I = \frac{P}{A} \quad (3)$$

### 3) 공동현상

보통 액체는 상당량의 기체가 용해되어 있다. 이와 같이 기체를 포함한 액체 중에 초음파를 발생시키면, 초음파가 작용되는 영역에서는 초음파의 파동이 변화되는 주기에 따라 압력의 증감이 일어난다. 압력이 감소하는 주기에는 액체 중에 녹아 있는 미세한 기포가 핵이 되어 팽창하고, 주위의 액체 중에 용해된 기체를 용해시키거나, 증기를 액화시킨다.

이처럼 초음파를 강하게 방사하면 압력이 감소하는 주기에는 액체 중에 진공상태의 기포가 발생하고, 이 기포가 압축에 의해서 변형될 때에 액체끼리 심하게 충돌하여 폭발현상을 일으키므로 충격적인 압력이 발생한다. 이 압력이 피세척물에서 분리된다. 이것을 공동현상이라 한다. 공동현상이 발생하기 쉬운 주파수는 15~50 kHz이고, 1 MHz이상이 되면 공동현상은 발생하기 어려워진다.



Fig. 2-1 Block diagram of the ultra-sound stimulus

#### 4) 키토산

최근 신소재로 각광을 받고 있는 키틴은 새우, 게 등의 갑각류의 외골격과 조류나 균류와 같은 식물의 세포벽에 함유되어 자연계에 널리 분포되어 있는 염기성 다당류로서 셀룰로오스와 유사한 구조를 가지고 있는 천연 고분자 재료이다.

이는 생분해성, 생체적합성 및 무해 무독성 뿐 아니라 여러 약리활성 등으로 의약, 의료, 농업 등 여러 분야에 응용 가능성이 매우 크다. 그러나 키틴은 유기용매에 대한 용해성이 좋지 않아서 셀룰로오스만큼 이용되지 못하였지만, 1970년 키틴의 용매 개발과 함께 키틴의 탈아세틸화물인 키토산도 키틴과 유사한 무해·무독성, 생분해성 등의 특징을 지니고 있으며, 회석산 용매 등에 쉽게 용해되는 특징을 이용하여 키틴의 성질을 충분히 활용할 수 있는 필름, 분리막, 섬유 등으로의 제조에 많은 연구가 진행 되게 되었다.

이러한 키틴, 키토산은 그 자체가 제산 작용, 콜레스테롤 저하작용 및 종양 억제 등의 약리작용을 나타내기 때문에 약물전달체, 혈액응고제, 인공고막, 인조피부, 중금속 흡착제, 식품첨가제 등의 연구가 진행되고 있는 기능성 재료로서의 가능성이 매우 크다. 또한 키토산 및 그 염산 염에 의한 분해물질이 식물병원성의 곰팡이에 대한 생육억제 효과가 나타내는 것으로 밝혀지면서 이들의 항균효과에 대한 연구가 폭넓게 진행되고 있다.

## 나. 발아현미 연구

국내외에서 종자 발아와 축진에 관한 선행 연구를 살펴보면 다음과 같다. Suzuki (1999)등에 의하면 액상보다 공기의 기체상태에서의 현미뿌리(유근)발아가 더 빠르고, 액상에서는 뿌리의 발아가 억제되며 현미싹(유아)발현이 더 빠르다. 물의 온도는 약 30 ℃가 적합하고 용존산소량 3.5 ~ 4.5 mg/ℓ이 적합하다고 보고한 바 있다.

육(1985) 등은 한국 자생풍란의 뿌리 생장에 미치는 물리적 자극의 효과를 관찰하기 위해서 초음파, 자기장, 전기장, 저주파 전류를 주사하였다. 특히, 25 kHz 고정 주파수의 초음파를 조사시켰을 때 촉당 발근율을 3.7개로 약 한달 사이에 급격한 변화를 보이고 있다. 또한 초음파를 장시간 조사시켜도 일정시간이 경과하면 발근되지 않고 뿌리의 성장속도 역시 계속해서 증가하는 것이 아니라 일정기간에 급성장 하다가 성장 곡선이 완만해 지면서 정지한다고 보고하였다. 초음파 처리한 경우 촉당 발근율 및 성장속도가 무처리군에 비해 각각 2.3배 3.0배로 현저하게 높았다.

김(2001) 등은 초음파를 이용하여 보다 높은 발아효율과 식품학적 가치를 향상시킨 발아현미를 제조하는 방법으로 다음과 같이 보고하였다. 선별된 현미를 흐르는 수돗물에 세척 후 수온이 20±1 ℃ 된 물에 8시간 수침(10~180분 28 kHz 초음파 처리)후 8시간 대기발아의 반복실험을 하였으며 발아재배 24시간이 지난 후 120분 동안 초음파를 처리한 군이 무처리(수침)군보다 발아율이 약 2배정도 높았다.

김(2001)은 오존(O<sub>3</sub>)을 이용하여 산소가 풍부한 물과 공기를 공급함으로써 현미의 싹에 존재하는 양분을 손상하지 않고, 발아 현미에 잔존하는 각종 농약과 중금속 및 세균을 제거하여 짧은 시간에 간단한 방법으로 싹의 길이가 일정한 우량 발아현미를 생산하는 방법을 다음과 같이 보고하였다. 오존 공급기가 설치된 통에 벼를 침지시켜 30~40분 동안 살균시킨다. 살균된 벼를 건조시켜 쌀눈이 다치지 않게 현미로 도정한 후 30~40분 동안 현미를 살균시키고, 약 14~17℃된 물에 5~6시간 동안 담가두며, 수온과 실내온도를 27~30℃까지 올려 약 10~15시간 물에 담가 현미를 발아시킨다. 그 후 현미를 건져 물에 젖은 천으로 덮고 오존을 1~2분 쏘이면서 5~6시간 대기발아 시키고 1~2시간 침지발아 시키는 과정을 반복 처리하여 0.

5~5mm길이의 고품질 발아 현미를 생산하였다.

이(2001) 등은 수중발아와 대기발아를 최적 조건으로 반복 적용하여 현미를 발아 시킴으로써, 유근의 발생이 억제되고 균일한 발아가 가능하다고 하였다. 수침(18 ℃, 10시간)-건침(18 ℃, 2시간)-수침(18 ℃, 10시간)-건침(18 ℃, 10시간)동안 현미에 수분을 흡수시키고, 수침(25 ℃, 10시간)-건침(25 ℃, 2시간)-수침(25 ℃, 10시간)-건침(25 ℃, 10시간)-수침(25 ℃, 10시간)-건침(25 ℃, 10시간)-수침(25 ℃, 10시간)과정을 프로그래밍 하여 현미를 발아시켰다. 수침 시간 및 용수의 온도 및 수위는 프로그래밍 된 자동공정에 의해서 제어시켰다. 발아된 현미를 발아 상으로 옮겨 18 ℃에서 대기 발아시킨 후 건조 상에서 건조시켰다. 그 결과 길이 2~3 mm의 유아가 발아된 현미가 생산되었다.

Footitt(1992) 등에 의하면 종자의 산성화에 따른 발아촉진은 벼에서 보고되었는데, 벼와 같은 비 휴면 종자의 발아시 여러 가지 대사 작용과 더불어 배의 pH가 감소한다고 하였다. 그러나 휴면종자는 발아가 저해되는 조건에서도 약산을 처리하면 발아와 동시에 배의 pH가 감소하는 것으로 보아 배의 산성화가 발아에 관여하는 중요한 요인 중의 하나라고 보고하였다.

Uchida(1988) 등에 의하면 식품첨가제 등의 기능성 재료로서 키토산에 의한 분해 물질이 식물병원성의 곰팡이에 대한 생육억제효과를 나타내는 것이 밝혀져서 항균 효과에 대한 연구가 급속히 진행되고 있다고 언급한바 있다.

Hirano(1989) 등에 의하면 농업분야에 오래 전부터 계와 새우의 껍질을 건조·분쇄하여 비료로 이용하여 왔으며, 현재는 이들을 원료로 제조한 키틴 및 키토산올리고당 등이 종자의 발아촉진, 식물의 생육촉진, 병충해 방제 및 과일과 채소류의 저장성 증진 등에 이용하고 있다. 키토산의 고등식물에 대한 생리활성효과는 키토산에 의해 병원균의 침입에 대한 자기방어기능이 활성화됨과 동시에 세포활성 자체가 높아지는 것에 기인하는 것으로 추정하고 있으며, 이를 이해하기 위한 각종 생리·생화학적 연구가 이어지고 있다고 하였다.

오(2000) 등은 25 ~ 26 ℃의 온도 조건 하에서 키토산 처리를 이용하여 우량발아 현미 생산이 가능하다고 보고하였다. 특히 키토산 처리는 항균력을 높여서 곰팡이 발생빈도를 낮추고 동시에 GABA의 함량을 높일 수 있으며, 1 mm 크기의 발아가

일어났을 때부터 GABA 함량에 있어 현저한 증진이 일어나 72시간 후 2.5 mm 크기에 이르기까지 급속한 증진이 이루어지다가 이후에는 완만해 진다고 보고하였다.

### 3. 재료 및 방법

#### 가. 실험 재료

본 실험에 사용된 현미는 2004년산(품종: 동진)으로 전남 장성 진원농협 미곡처리장에서 구입하여 5 °C로 유지되는 저온 저장고에 보관하면서 실험을 하였다. 시료는 배아가 모두 붙어있는 정선된 현미 50립을 사용하였으며 현미 함수율은  $14\pm 1\%$ (w.b.)였다.

현미의 함수율은 함수율 측정기 K305(Kett Electric Laboratory, Tokyo City, Japan)를 이용하여 무작위로 채취한 시료를 3반복 측정하였다. 발아시험은 AOSA(1993)기준에 의하여 실시했으며, Petri-dish(D: 90 mm, H: 15 mm)바닥에 여과지(TY2, Advantec Co., Japan)를 2장씩 깔았다. 향온항습기(GCS, Labtech, Co., USA)의 처리 온·습도는 각각  $25\pm 1$  °C 상대습도 80% 였다.

발아 관찰 및 측정은 종자를 치상 후 60시간동안 하였으며, 발아개체 판정은 유아(sprout)의 돌출이 육안으로 판별된 것으로 하였다. 최종발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 시간(T50)은 Coolbear등(1984)의 방법으로 계산하였다. 발아된 현미 유아의 길이는 디지털 버니어캘리퍼스(CD-15CD, Mitutoyo Co., Japan)를 사용하여 12시간마다 측정하였다. 이때 사용한 증류수 및 0.001, 0.01, 0.05% 초산용액, 0.001, 0.01, 0.05% 수용성 키토산(Mw: 30만, Ja Kwang Co., Korea)용액, 0.001, 0.01, 0.05% 불용성 키토산 용액(Mw: 200,000 DD: 98% Taehoon Co., Korea)도 각각 새로이 교체해 주었다.

현미의 성장은 현미유아 50립의 길이를 측정하여 평균값으로 계산하였다. 모든 실험은 3회 반복하였다.

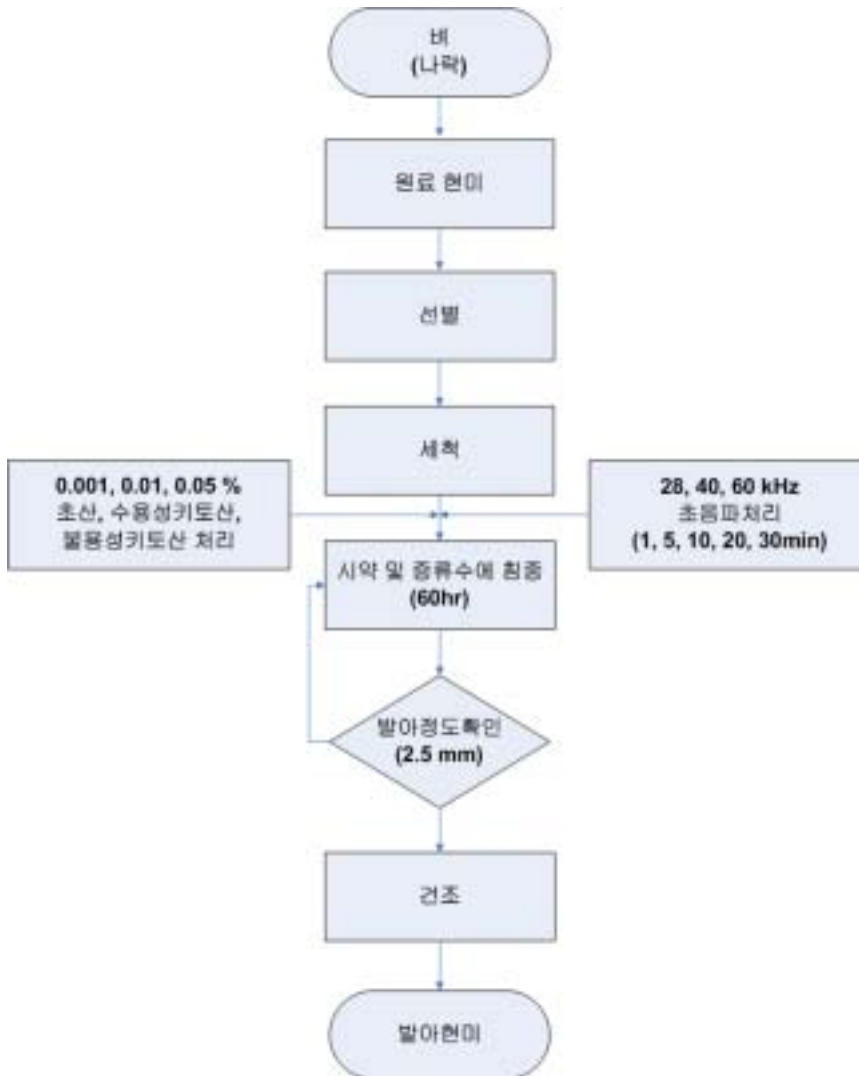


Fig. 2-2 Flow chart of the germination of brown rice soaking in water for 60 hours (Type I)



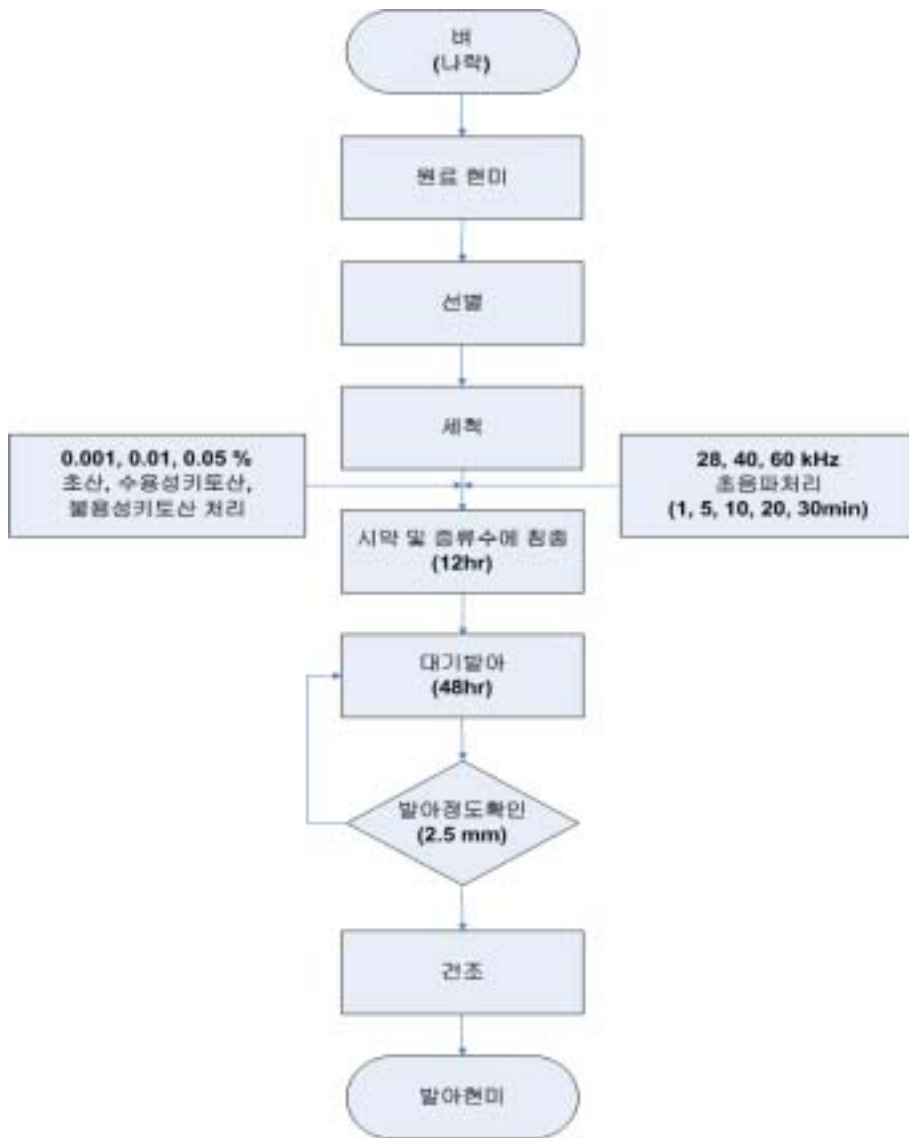


Fig. 2-3 Flow chart of the germination of brown rice soaking in water for 12 hours and supplying moisture for 48 hours (Type II)

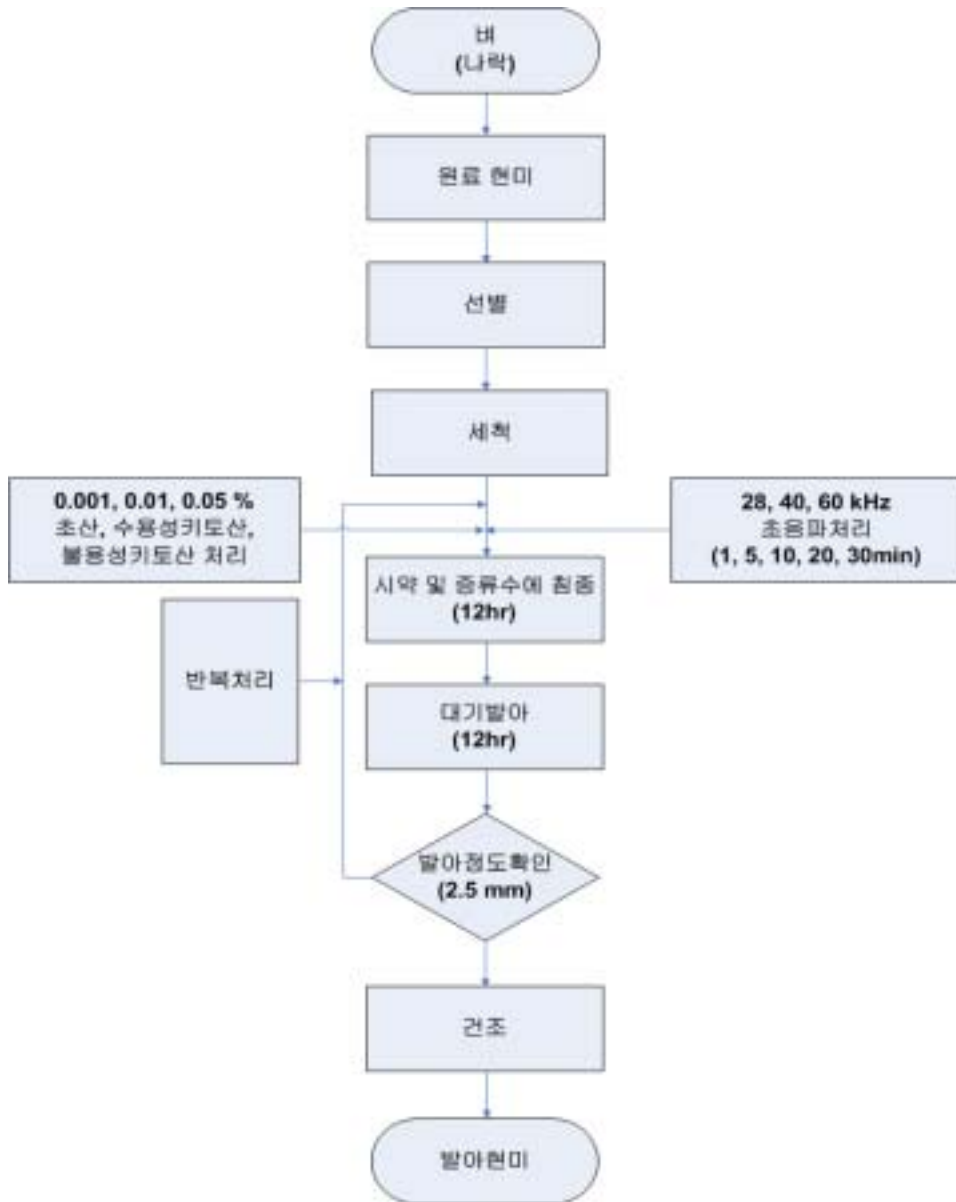


Fig. 2-4 Flow chart of the germination of brown rice soaking in water for 12 hours and supplying moisture for 12 hours repeatedly (Type III)

## 나. 실험 방법

각각의 처리가 발아촉진에 미치는 영향을 구명하기 위해서 세 가지 형태의 발아 실험을 실시하였다.

첫째, 발아방법 I (Type I): 키토산 또는 초음파자극을 각각 처리 후 60시간 동안 시약 및 증류수에서 계속 침지(수중)발아 실험.

둘째, 발아방법 II (Type II): 키토산 또는 초음파자극을 각각 처리 후 12시간 동안 시약 및 증류수에 침종발아 후 48시간 동안 대기발아 실험

셋째, 발아방법 III (Type III): 키토산 또는 초음파자극을 각각 처리 후 12시간 시약 및 증류수에 침종 후 12시간 대기발아를 하는 수중 및 대기발아의 12시간씩 반복하는 발아시험, 여기서 초음파도 12시간마다 반복 적용하였다.

### 1) 초산처리(AA: Acetic Acid treatment)

초산을 증류수(1차증류)에 희석하여 0.001, 0.01, 0.05% 초산용액을 만들었다(증류수 99.9 mL + 초산 0.01 mL = 0.01% 초산용액 100 mL). 농도별 용액들은 흡습지가 2장 깔린 페트리디시에 77 g씩 부어 50립의 현미를 침종시켰다. 침종시킨 현미는 온·습도가 25±1 °C, 80%인 항온항습기에 넣어 실험을 실시하였다. 초산용액의 pH 값은 디지털 pH측정기(420Aplus Benchtop pH Meter Orion, USA)로 측정하였는데, 각각 4.38, 3.82, 3.44(증류수의 pH 7기준)이었다. 발아실험에 사용한 초산 용액은 12시간마다 새로이 조제한 용액으로 교환해 주었다.

### 2) 수용성 키토산처리(WSC: Water Soluble Chitosan treatment)

수용성 키토산 0.001, 0.01, 0.05% 용액을 만들었다(증류수 99.9 mL + 수용성키토산 0.01 mg = 0.01% 키토산용액 100 mL). 농도별 용액들은 흡습지가 2장 깔린 페트리디시에 77 g씩 부어 50립의 현미를 침종시켰다. 침종시킨 현미는 온·습도가 25±1 °C, 80%인 항온항습기에 넣어 실험을 실시하였다. 이때 pH는 각각 4.89, 4.28, 4.01이었다. 발아실험에 사용한 수용성 키토산 용액은 12시간마다 새로이 조제한 용액으로 교환해 주었다.

### 3) 불용성 키토산처리(WUC: Water Insoluble Chitosan treatment)

0.1%의 초산용액을 용매로 사용하여 불용성 키토산 0.001, 0.01, 0.05% 용액을 만들었다(증류수 99 mL + 초산 0.1 mL = 0.1% 초산용액 100 mL, 0.1% 초산용액 100 mL + 0.01 mg 불용성키토산 = 0.01% 불용성키토산용액 100 mL). 농도별 용액들은 흡습지가 2장 깔린 페트리디시에 77 g씩 부어 50립의 현미를 침종시켰다. 침종시킨 현미는 온·습도가  $25 \pm 1$  °C, 80%인 항온항습기에 넣어 실험을 실시하였다. 이때 pH는 각각 3.31, 3.44, 3.82였다. 발아실험에 사용한 불용성 키토산 용액은 12 시간마다 새로이 조제한 용액으로 교환하였다.

### 4) 28 kHz 초음파처리(US: Ultra-Sound treatment)

초음파 발생장치(28 kHz, 100 W, SD-200H, Seong dong Co., Korea)를 이용하여 자극을 주었다. 이때 장치 내 수온은  $25 \pm 3$  °C였고 80%까지 증류수를 채워서 사용하였다. 현미는 장치의 맨 하단부에서 침지시켜 자극을 주었다. 초음파 발생장치는 발진부와 진동부로 구성되어 있고, 진동부에는 2개의 진동자(B.L.T: Bolt Clamped Langevin Transducer)가 부착되어 있다. 진동체의 면적이  $336 \text{ cm}^2$  출력이 100 W이므로 식 (3)에 각각의 값을 대입하면 초음파 강도는  $0.297 \text{ W/cm}^2$ 이었다. 또한 25 °C 증류수에서 초음파의 진행속도는 약 1500 m/s 이므로 식 (2)에 의해 초음파의 파장은 5.3 cm 였다. 초음파 자극을 1, 5, 10, 20, 30분 처리 후 흡습지가 2장 깔린 페트리디시에 25 °C 증류수를 77 g씩 부어 50립의 현미를 침종 시켰다. 침종시킨 현미는 온·습도가  $25 \pm 1$  °C, 80%인 항온항습기에 넣어 발아실험을 실시하였다.

### 5) 40 kHz 초음파 처리(US: Ultra-Sound treatment)

초음파 발생장치(40 kHz, 150W, SD-D250H, Daihan Co., Korea)를 이용하여 자극을 주었다. 이때 장치 내 수온은  $25 \pm 4$  °C였고 80%까지 증류수를 채워서 사용하였다. 현미는 장치의 맨 하단부에서 침지시켜 자극을 주었다. 초음파 발생장치는 발진부와 진동부로 구성되어 있고, 진동부에는 3개의 진동자(B.L.T: Bolt Clamped Langevin Transducer)가 부착되어 있다. 처리시간은 각각 1, 5, 10, 20, 30분으로 설정하였다. 또한 출력을 40%, 70%, 100%로 3단계로 조절하여 자극을 주었다. 진동

체의 면적이 435 cm<sup>2</sup>, 출력이 각각 60, 105, 150 W이므로 식 (3)에 각각의 값을 대입하면 초음파 강도는 각각 0.137, 0.241, 0.344 W/cm<sup>2</sup>이었다. 또한 25 °C 증류수에서 초음파의 진행속도는 약 1500 m/s 이므로 식 (2)에 의해 초음파의 파장은 3.7 cm였다. 초음파 자극을 1, 5, 10, 20, 30분 처리 후 흡습지가 2장 깔린 페트리디시에 25 °C 증류수를 77 g씩 부어 50립의 현미를 침종시켰다. 침종시킨 현미는 온·습도가 25±1 °C, 80%인 항온항습기에 넣어 발아실험을 실시하였다.

6) 60 kHz 초음파처리(US: Ultra-Sound treatment)

초음파 발생장치(60 kHz, 400W, sonic9420, Gowon Co., Korea)를 이용하여 자극을 주었다. 이때 장치 내 수온은 25±3 °C였고 80%까지 증류수를 채워서 사용하였다. 현미는 장치의 맨 하단부에서 침지시켜 자극을 주었다. 초음파 발생장치는 발진부와 진동부로 구성되어 있고, 진동부에는 8개의 진동자(B.L.T: Bolt Clamped Langevin Transducer)가 부착되어 있다. 처리시간은 각각 1, 5, 10, 20, 30분으로 하였다. 또한 출력은 각각 약과 강으로 2단계로 조절하여 자극을 주어 보았다. 진동체의 면적이 1500 cm<sup>2</sup> 출력은 100%에서 400 W이므로 식 (3)에 값을 대입하면 초음파 강도는 0.266 W/cm<sup>2</sup>이었다. 또한 25 °C 증류수에서 초음파의 진행속도는 약 1500 m/s이므로 식 (2)에 의해 초음파의 파장은 2.5 cm였다. 초음파 자극을 1, 5, 10, 20, 30분 처리 후 흡습지가 2장 깔린 페트리디시에 25 °C 증류수를 77 g씩 부어 50립의 현미를 침종시켰다. 침종시킨 현미는 온·습도가 25±1 °C, 80%인 항온항습기에 넣어 발아실험을 실시하였다.

Table 2-1. Specification of the experimental apparatus

모 델	Cap. Liters	Tank dimension(mm)			Generator/ power	Weight(kg)
		Depth	Length	Width		
SD-200H	3.3 L	100	240	140	100W/28kHz	3.5
SD-D250H	6 L	150	290	150	150W/40kHz	5.8
Sonic 9420	22 L	150	500	300	400W/60kHz	12.5



Fig. 2-5 Temp. & Humidity chamber



Fig. 2-6 The inside view of a chamber



Fig. 2-7 The image of experiment



Fig. 2-8 28kHz ultra-sound apparatus



Fig. 2-9 40kHz ultra-sound apparatus



Fig. 2-10 60kHz ultra-sound apparatus



#### 다. 통계처리

현미 발아 촉진에 주는 영향을 구명하기 위해서 시간대별로 각 처리에 따른 성장 길이를 통계 처리하였다. 실험을 통해 측정된 싹의 길이는 SAS(Ver. 8.02, Statistical Analysis System, U.S.A)를 이용하여 통계분석 하였다.

통계분석은 분산분석(ANOVA)의 하나인 DMRT(Duncan's multiple range test)를 이용하여 유의성 검증을 하였다. 이때 종속변수는 성장 길이, 각각의 처리들은 독립변수로 하여 일원분산 분석을 실시하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 가. 침지발아(Type I)

#### 1) 초산처리

초산용액 처리에 의한 현미발아는 그림 2-11과 같은 결과를 나타내었다. 초산용액 처리군은 모든 처리군에서 증류수에 침지한 무처리군에 비하여 발아율 및 성장속도가 낮은 것을 알 수 있었다. 특히 산성도가 pH 4 이하로 낮아지는 초산농도 0.05% 이하에서는 최종발아율이 64.7%로 떨어졌다.

최종발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 시간(T50)은 무처리 27.3시간에 비하여 25.4시간으로 측정되었다. 이는 초기 휴면 타파 및 성장에는 초산이 어느 정도 기여를 하고 있는 것으로 관찰되었다. 그러나 낮은 산성도는 시간이 지날수록 발아촉진에 저해를 주었다. Khan 등(1973)은 고농도의 유기용매 처리는 세포막 단백질의 변성을 초래하여 물질투과를 조절하는 막의 기능성이 상실됨으로써 발아촉진 물질 및 발아억제 물질 모두 누출되어 종자활력이 상실된다고 하였다. 따라서 발아촉진을 유도하기 위해서는 저 농도의 유기 용매 소량을 단기간 침지하는 방안이 고려되어야겠다.

#### 2) 수용성 키토산처리

수용성 키토산 용액이 현미발아에 미치는 영향은 그림 2-12와 같이 나타났으며 24시간까지는 무처리군과 비슷한 성장속도를 보여 주었다. 36시간 후부터는 수용성 키토산 용액에 침지한 군이 무처리군에 비하여 성장속도가 빨랐다.

오(2000)등이 언급한 현미 싹의 길이가 2.5 mm에 도달하여 GABA함량이 가장 급속한 증진에 이르는 싹의 길이에 도달하는데 소요되는 시간을  $T_{2.5}(h)$ 로 나타내었다.  $T_{2.5}$ 는 수용성 키토산 농도 0.05, 0.01, 0.001%순으로 높게 나타났으며 각각 58.5, 65.4, 68.8시간이었다. 이는 수용성키토산의 농도가 높을수록 싹 성장 촉진에 효과적이었음을 나타낸다.

농도가 0.05%일 때가 0.001%일때 보다도 싹이 2.5 mm 자라는데 약 10시간 단축

되었다. 리군의  $T_{2.5}$ 를 무처리군의  $T_{2.5}$ 시간으로 나눈 비율  $T_{2.5}$  rate로 나타내었는데 이 값은 각각 부록 표 4에 나타난 것과 같이 0.835, 0.932, 0.980이었다. 즉 수용성키토산 농도가 0.05%일 때의 싹 2.5 mm 성장에 소요되는 시간은 무처리군에서 2.5 mm 싹 성장에 소요되는 시간의 약 84%이고, 농도가 0.01%일 때는 약 93%이며, 농도가 0.001%일 때는 약 98%로 나타났다.

### 3) 불용성 키토산처리

불용성 키토산 용액 처리군은 농도에 관계없이 대조군에 비하여 발아가 억제되었다. 이는 초산 처리군과 마찬가지로 pH 4 이하의 산성에서는 현미 발아가 억제되는 것으로 관찰되었다. 부록 표 4에 의하면 수용성 키토산 처리군은 초산처리구와 불용성키토산 처리군에 비해서 유의적인 차이가 있었다. 특히 침지발아 각각의 처리 중 수용성키토산 0.05% 처리군이 최종단계에서 2.655 mm로 가장 빠른 성장률을 보였다( $p < 0.0001$ ). 또한  $T_{2.5}$  비율도 0.835로 2.5 mm까지 성장하는데 무처리에 비해 1.2배(11.7시간) 성장시간이 단축됨을 알 수 있었다. 그 때 발아율은 92%로 나타났다.

반면에 초산처리와 불용성키토산처리군은 수용성키토산처리와 무처리군에 비하여 성장 및 발아가 억제되는 경향을 나타냈다. 그림2-20은 초산, 수용성키토산, 불용성키토산 처리에 따른 현미 발아율을 나타낸 그림이다. 수용성키토산을 처리한 경우의 발아율은 무처리군에 비해 더 나은 발아율을 나타냈고, 0.001%초산 처리군은 무처리군과 비슷한 경향을 나타내고 있음을 관찰할 수 있었다. 그러나 0.01%와 0.05% 초산처리군과 불용성키토산 처리군에서의 발아율은 무처리군보다도 낮게 나타났다.

이는 초산용액과 불용성키토산 처리가 종자의 휴면 타파에는 큰 영향을 끼치지 못하고 있음을 알 수 있었고, 오히려 초산 0.05%와 불용성키토산 처리군들은 발아를 억제하는 경향을 나타내고 있음을 관찰할 수 있었다.

#### 4) 28 kHz 초음파처리

초음파 처리장치를 이용하여 처리 시간에 따른 현미의 발아 및 성장은 그림 2-14와 같이 나타났다. 각각의 처리 중 28 kHz 초음파 10분 처리군이 60시간 발아 후 3.75 mm로 가장 빠른 성장률을 보여 주었다( $p < 0.0001$ ). 무처리대조군에 대한 처리군의 현미썩 길이 2.5 mm에 도달하는 시간 비율( $T_{2.5}$  rate)은 초음파 자극시간 10, 20, 30, 5, 1분의 처리순으로 점차 높게 나타났는데, 이는 초음파 자극 10분이 가장 효과적이어서 썩 성장이 빠름을 의미하였다. 따라서 28 kHz 초음파 자극시에는 10분간의 처리가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

#### 5) 40 kHz 초음파처리

현미에 초음파처리장치를 이용해 수중  $25 \pm 4$  °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 동안 각각 40 kHz 초음파 처리 후 시간과 강도(40, 70, 100%)에 따른 현미의 발아 및 성장은 그림 2-15, 2-16, 2-17과 같이 나타났다. 초음파 강도 40%( $0.137 \text{ W/cm}^2$ )에서는 60시간 발아후 초음파 20분 처리군이 2.53 mm 성장하였고, 초음파 강도 70%( $0.241 \text{ W/cm}^2$ )에서는 10분 처리군이 3.60 mm, 초음파 강도 100%( $0.344 \text{ W/cm}^2$ )에서는 5분 처리군이 3.84 mm로 초음파 강도가 높을수록 빠른 성장을 보였다( $p < 0.0001$ ). 초음파 강도 100 %에서  $T_{2.5}$  rate는 각각 5, 10, 20, 30, 1분 순으로 점차 높은 값을 나타내어, 초음파 5분 처리군에서 썩 성장이 가장 빨랐다.

모든 초음파 처리군이 무처리에 비하여 발아 촉진 효과가 있었다. 40 kHz 5분 처리 이상에서는 초음파 적용시간이 길어질수록 성장이 점점 적어지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 적정 시간이상 자극을 주면 곡립 내부온도 상승에 따라 생체조직 손상으로 말미암아 성장촉진 효과가 줄어드는 것으로 사료되었다. 따라서 40 kHz 초음파 자극시에는 5분간의 처리가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

#### 6) 60 kHz 초음파처리

초음파 처리장치를 이용하여 초음파 처리 시간과 강도(약, 강) 따른 현미의 발아 및 성장은 그림 2-18(초음파 강도가 약일 때)과 그림 2-19(초음파 강도가 강일 때)와 같이 나타났다. 초음파 강도를 약과 강으로 조절해서 실험해본 결과 60시간 발

아후에 강도 약에서는 30분 처리군에서 2.90 mm, 강도 100%에서는 20분 처리군에서 3.99 mm 성장하여 40 kHz 처리에서처럼 강도가 클수록 더욱 빠른 성장을 나타내었다( $p < 0.0001$ ). 초음파 강도 100%에서  $T_{2.5}$  rate는 각각 30, 1, 20, 10, 5분순으로 나타났다.

즉, 초음파 30분 처리군은 2.5 mm까지의 성장을 비교해 볼 때 대조군에 비하여 발아시간이 1.2배 단축되어 가장 효과적이었고, 다른 처리군도 대조군에 비해서는 발아가 촉진되었다.

그림 2-21은 각각의 초음파 처리에 따른 현미의 발아율을 나타낸 그림이다. 초기 24시간 동안의 무처리군의 발아율은 약 40%인데 그림에서 보는 것과 같이 초음파 처리군에서 약 70% 까지 발아율이 높아지는 것을 알 수 있었다. 60시간후에는 모든 처리군에서 전체적인 발아율은 약 96% 이상을 나타냈다. 그림 2-23에서 처럼 초음파 처리에 따른 현미의 성장 길이를 살펴보면 초음파 28, 40, 60 kHz에서 성장이 제일 빠른 처리는 각각 10, 5, 20분 자극을 주었을 때이었다. 특히 초음파 적용 시간 등을 고려할 때 초음파 40 kHz 5분 처리한 실험군이 최적으로 판단되었다. 60시간 발아후 싹 성장 길이는 3.84 mm 이었다. 또한  $T_{2.5}$  rate가 0.825로 무처리에 비하여 발아시간이 약 1.2배 단축되었다. 초음파 40 kHz 5분 처리하였을 때와 무처리의 시간에 따른 싹의 성장 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$S_{40k-5} = 0.0019t^2 - 0.0563t + 0.4682 \quad (4)$$

$$S_0 = 0.001t^2 - 0.0275t + 0.1758 \quad (5)$$

t: time(hr),  $M_{60-1}$ ,  $M_0$ : sprout length(mm)

여기서  $S_{40k-5}$ 는 초음파 40 kHz 5분 처리 후에 60시간 동안 싹의 성장 길이(mm),  $S_0$ 는 무처리의 60시간 동안 싹의 성장 길이(mm)에 대한 모델식이다. 모델식 (4)과 (5)의 결정계수는 각각 0.9941과 0.9993이었다.

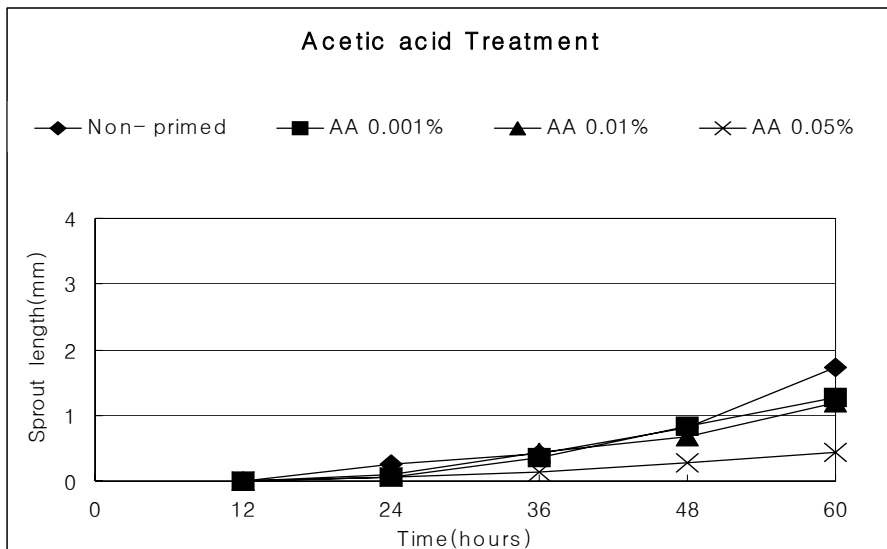


Fig. 2-11 The effect of acetic acid on the germination of brown rice (AA: acetic acid solution)

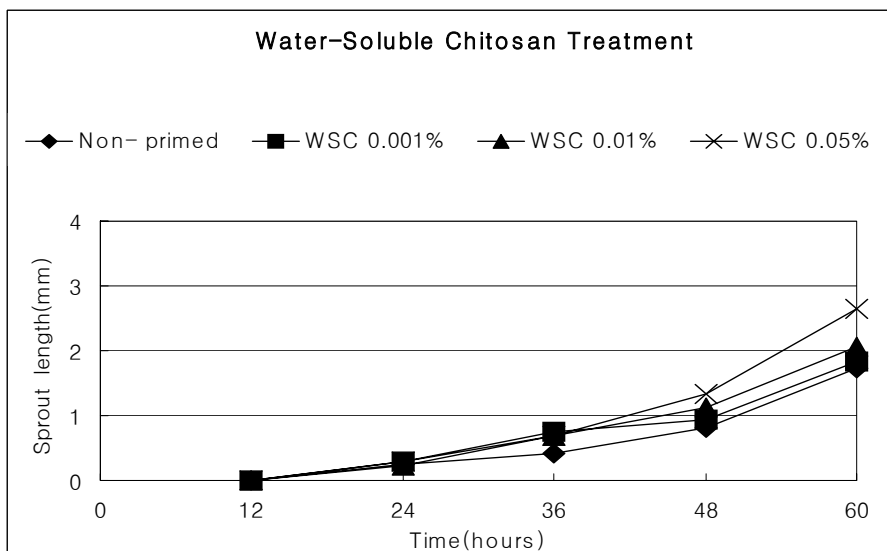


Fig. 2-12 The effects of water-soluble chitosan on the germination of brown rice (WSC: water-soluble chitosan)

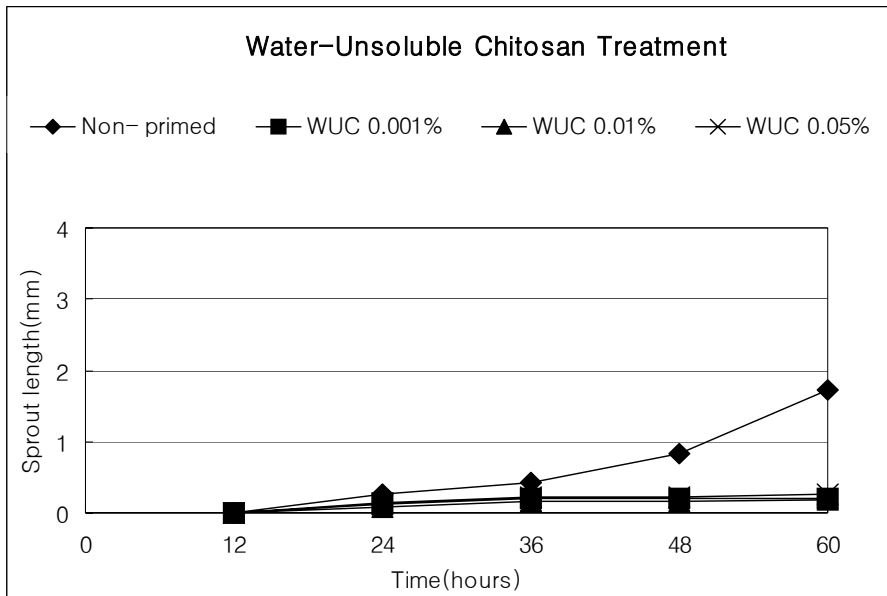


Fig. 2-13 The effects of water-unsoluble chitosan on the germination of brown rice (WUC: water-unsoluble chitosan)

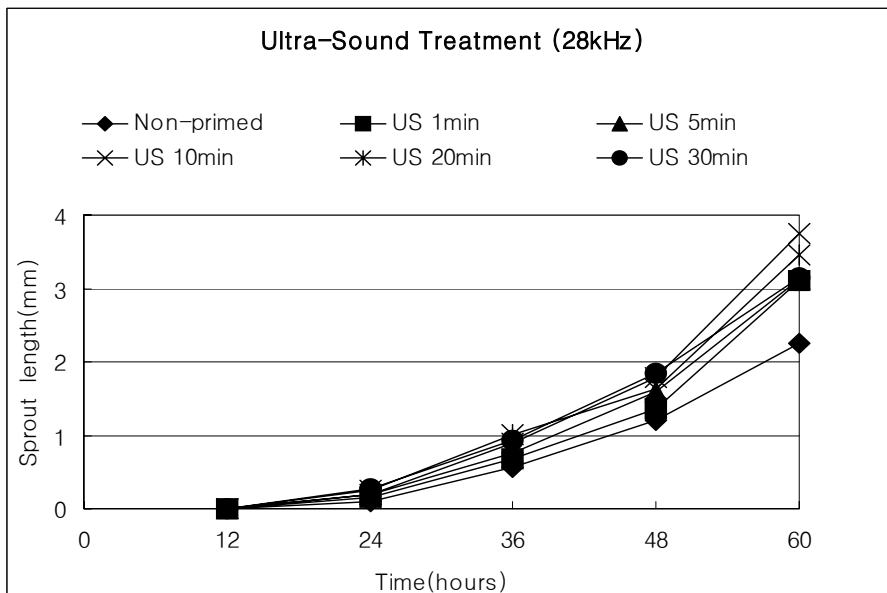


Fig. 2-14 The effects of 28 kHz ultra-sound on the germination of brown rice (US: ultra-sound)

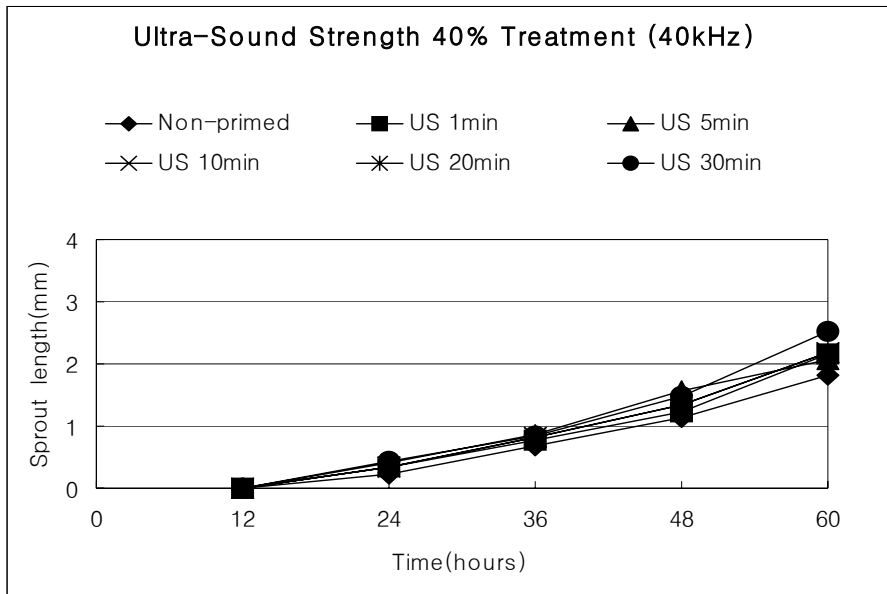


Fig. 2-15 The effects of 40 kHz ultra-sound strength 40% treatment in the germination of brown rice (US: ultra-sound)

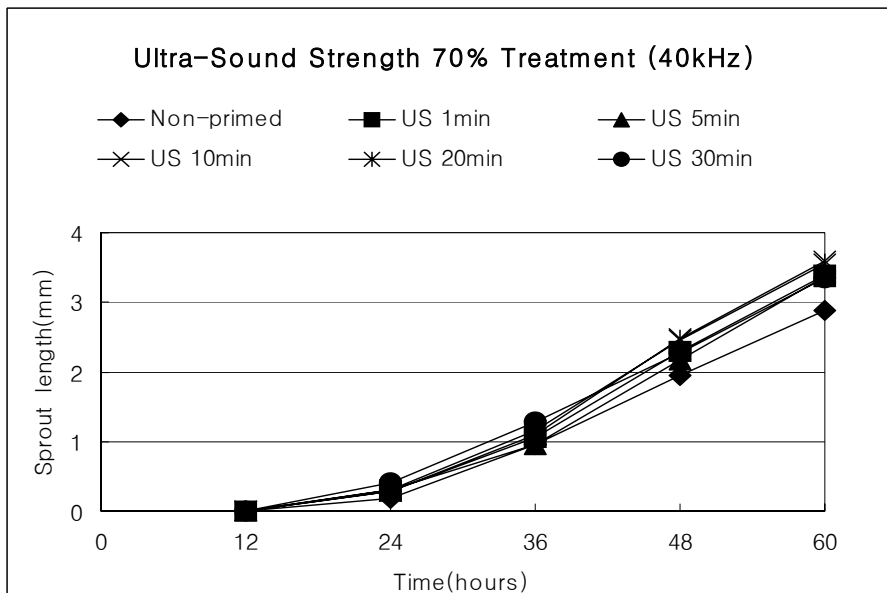


Fig. 2-16 The effects of 40 kHz ultra-sound strength 70% treatment in the germination of brown rice (US: ultra-sound)



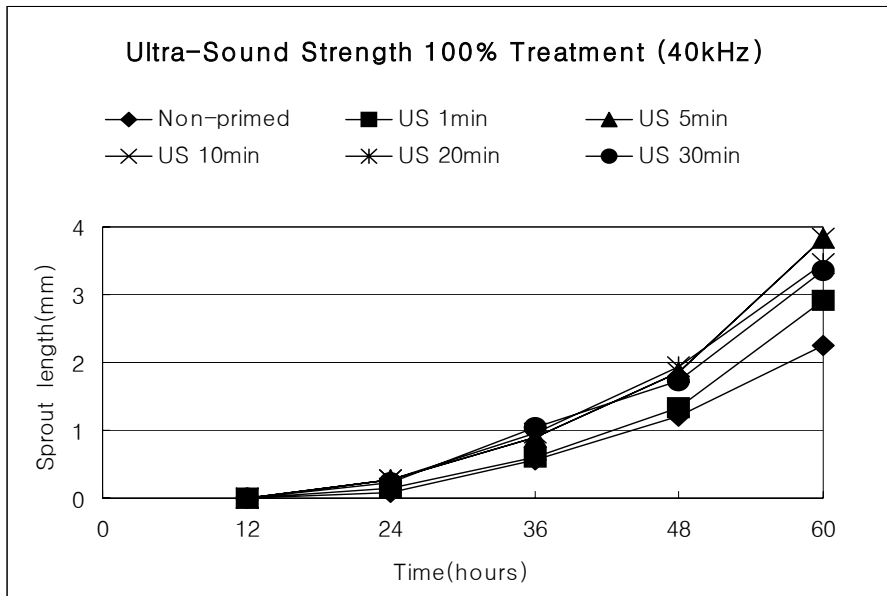


Fig. 2-17 The effects of 40 kHz ultra-sound strength 100% treatment in the germination of brown rice (US: ultra-sound)

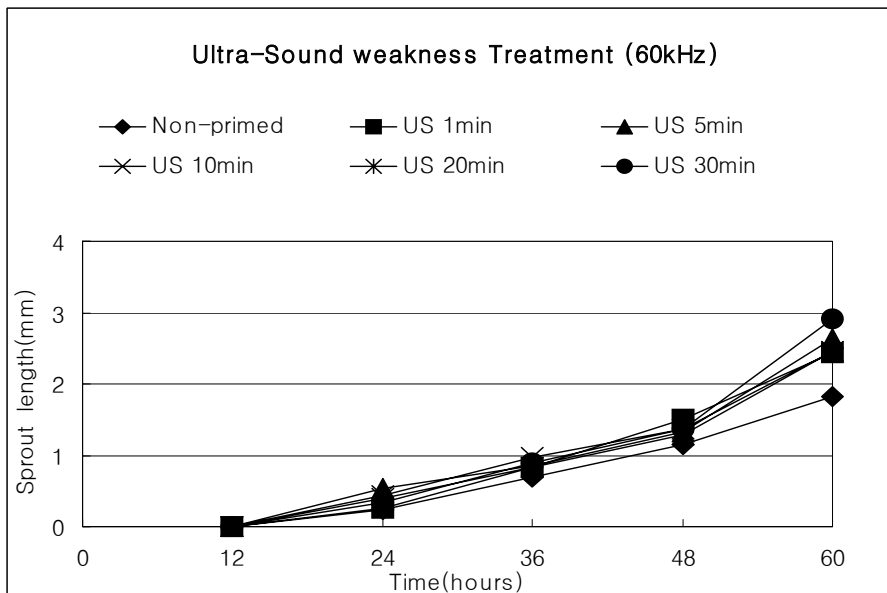


Fig. 2-18 The effects of 60 kHz ultra-sound weakness treatment in the germination of brown rice (US: ultra-sound)

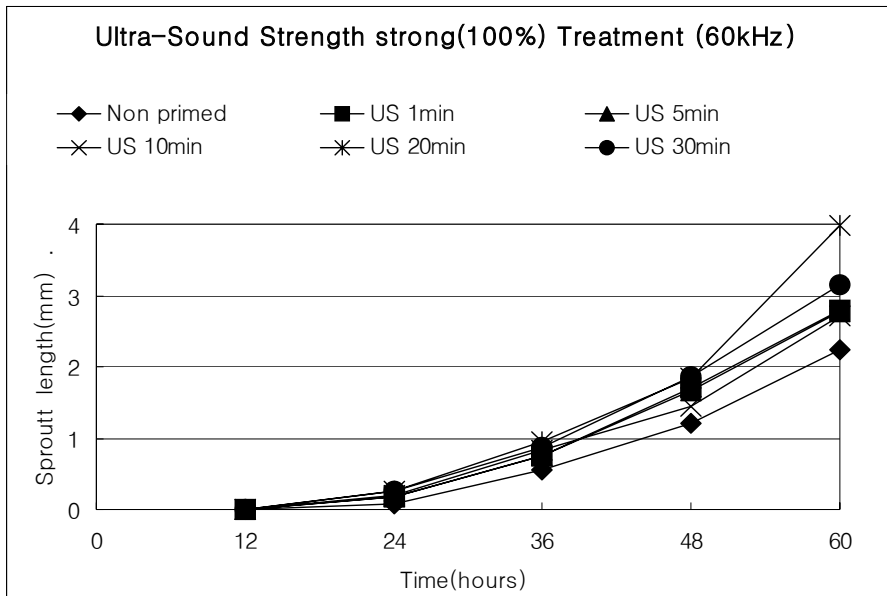


Fig. 2-19 The effects of 60 kHz ultra-sound strength 100% treatment in the germination of brown rice (US: ultra-sound)

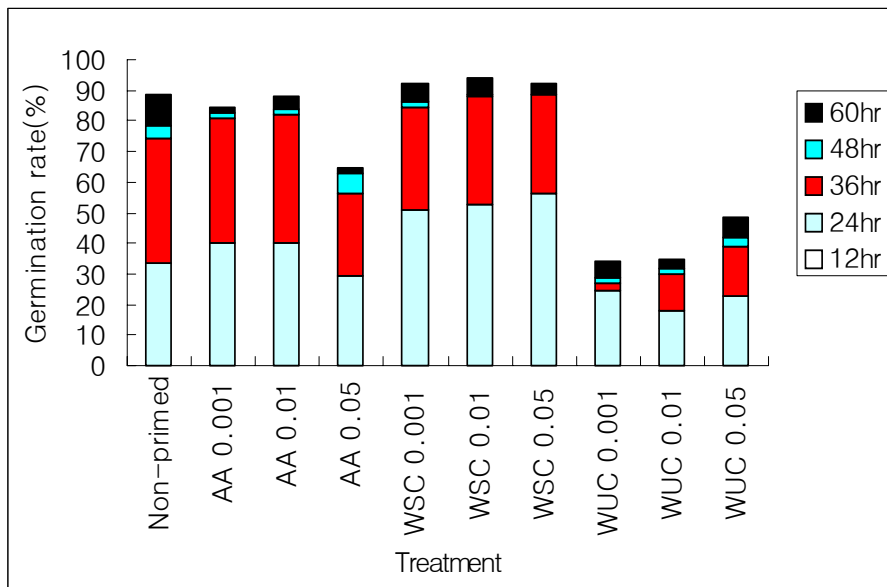


Fig. 2-20 The effects of AA, WSC, WUC on the germination rate of brown rice (AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-insoluble chitosan)

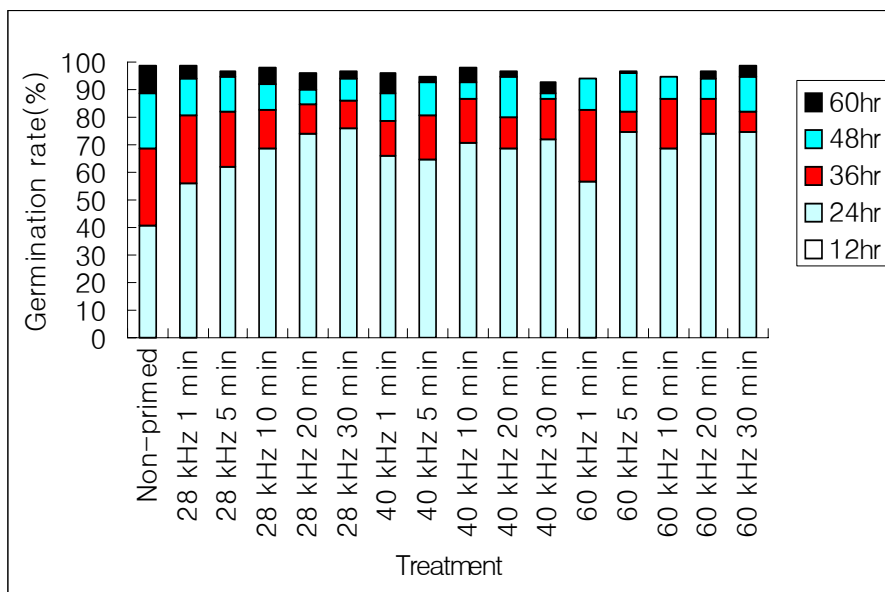


Fig. 2-21 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination rate of brown rice (US: ultra-sound)

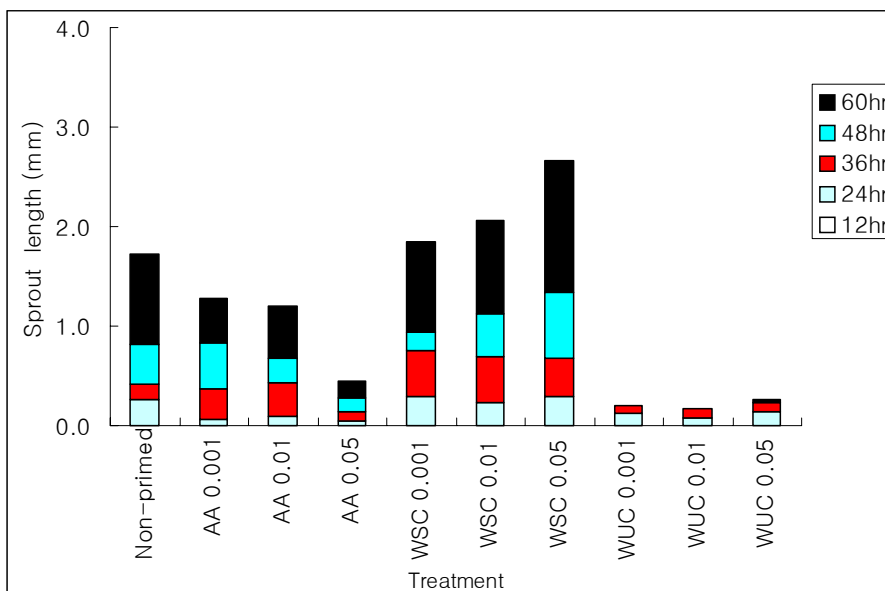


Fig. 2-22 The effects of AA, WSC, WUC on the germination length of brown rice (AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-unsoluble chitosan)

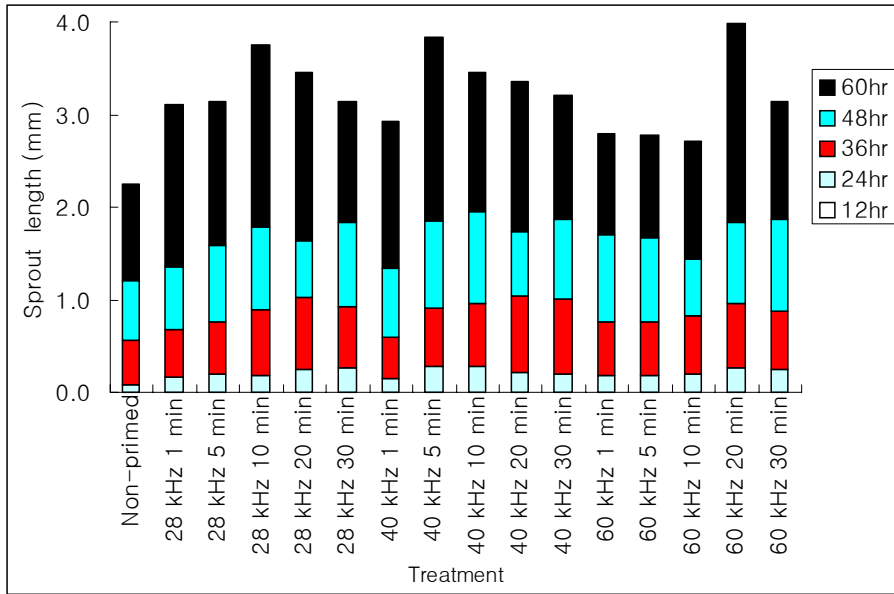


Fig. 2-23 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination length of brown rice (US: ultra-sound)

나. 침지 후 대기발아(Type II)

1) 초산처리

초산용액 처리에 의한 현미발아는 그림 2-24와 같이 나타났다.  $T_{2.5}$  rate는 초산 농도 0.001, 0.01, 0.05%순으로 높게 나타나, 초산의 농도가 진해질수록 성장 및 발아가 저해되었다. 초산용액 0.001% 처리군은 싹 2.5 mm까지의 성장을 비교해 볼 때 대조군에 비하여 발아가 1.34배 단축 되었다. 초산 0.01%와 0.05% 농도에서는 대조군에 비해서 발아가 억제되었다. 이는 Hemmat(1985)등이 언급한 것과 마찬가지로 침지용액 농도가 높아 유근 정단에 손상을 가하여 발아력이 상실된 것으로 판단되었다.

2) 수용성 키토산처리

수용성 키토산 용액이 현미발아에 미치는 영향은 그림 2-25와 같이 나타났으며,

36시간 후부터는 무처리군에 비하여 두드러진 성장을 보여 주었다. T50(h)은 수용성 키토산용액 농도 0.05, 0.01, 0.001% 순으로 각각 24.1, 24, 22.8시간이 소요되었다. 특히 60시간 지난 후에 0.05% 키토산용액 처리군은 싹 2.5 mm까지의 성장을 비교해 볼 때 대조군에 비하여 약 1.47배(27.3시간) 단축되었다.

### 3) 불용성 키토산처리

불용성 키토산 용액 처리군은 농도에 관계없이 대조군에 비하여 발아가 억제되었다. 이는 침지발아 실험에서와 마찬가지로 pH 4 이하의 산성에서는 현미 발아가 억제되는 것으로 사료되었다. 부록 표 8에 의하면 60시간이 되었을 때 성장 길이는 각각 유의적인 차이가 있었으며 각각의 처리 중 수용성키토산 0.05%가 2.81 mm로 가장 좋은 성장률을 보였다. 반면에 초산, 불용성키토산 처리군은 침지발아에서와 마찬가지로 무처리에 비하여 성장 및 발아율이 억제되는 경향을 보였다.

### 4) 28 kHz 초음파처리

초음파 처리장치를 이용하여 수중  $25 \pm 3$  °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 28kHz 초음파 처리 후 시간에 따른 현미의 발아 및 성장을 분석하였다(그림 2-27). 시간에 따라 현미 발아정도를 비교해 보면 24시간에서 초기 발아율은 무처리군 32%에 비하여 높게 나타났다( $p < 0.01$ ). 그러나 48시간 이후에는 무처리군과의 차이를 나타내는 유의성이 없었다. 또한 성장 길이도 36시간 이후에는 유의성을 나타내지 못하였다. 이는 12시간 침지 후 48시간 대기발아(Type II)에서는 초음파 처리시간에 따라서 발아 및 성장촉진에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.  $T_{2.5}$  rate는 각각 20, 5, 30, 10, 무처리, 1분 처리 순서로 점차 높은 값을 나타내어, 20분 초음파 처리에서 가장 싹 성장이 빨랐다..

### 5) 40 kHz 초음파처리

현미에 초음파처리장치를 이용해 수중  $25 \pm 4$  °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 동안 각각 40 kHz 초음파 처리 시간에 따른 현미의 발아 및 성장을 분석하였다(그림 2-28).  $T_{2.5}$  rate는 각각 30, 20, 10, 1, 5분 처리 순으로 점차 높은 값을 나타내어, 초음파

30분 처리에서 가장 싹 성장이 빨랐다. 40 kHz 초음파처리는 초음파 처리 시간에 따라서 발아와 성장촉진에 대해서 유의성을 나타내지 못하였다.

#### 6) 60 kHz 초음파처리

초음파 처리장치를 이용하여 수중 25±3 °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 동안의 60 kHz 초음파 자극 후 시간에 따른 현미의 발아 및 성장을 분석하였다(그림 2-29).  $T_{2.5}$  rate는 각각 1, 30, 20, 5, 10분 순으로 점차 높은 값을 나타내어, 초음파 1분 처리에서 가장 성장이 빨랐다. 60 kHz 초음파처리는 초음파 처리시간에 따라서 발아와 성장촉진에 대해서 유의성을 나타내지 못하였다. 또한 대기발아실험 48시간 경과 후부터는 Suzuki(1999) 등이 언급한 바와 같이 유근(root)이 출현함을 관찰할 수 있었다.

그림 2-31는 초음파 처리에 따른 현미의 발아율을 나타낸 그림이다. 초기 12시간에 발아율은 그림에서 보는바와 같이 28 kHz처리에서는 초음파 자극시간이 길어질수록 대체적으로 점점 좋아지는 것을 알 수 있었다. 그림 2-33에서 초음파 처리에 따른 현미의 성장 길이를 살펴보면 초음파 28, 40, 60 kHz에서 성장이 제일 빠른 처리는 각각 20, 30, 1분 자극을 주었을 때이었다. 각각의 처리 중 초음파 60 kHz 1분 처리한 실험군이 2.72 mm로 가장 좋은 성장률을 보였다. 그리고 초음파 60 kHz 1분 처리하였을 때와 무처리의 시간에 따른 싹의 성장 길이는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$M_{60-1} = 0.001t^2 - 0.0132t - 0.0218 \quad (6)$$

$$M_0 = 0.0009t^2 - 0.0235t + 0.1444 \quad (7)$$

t: time(hr),  $M_{60-1}$ ,  $M_0$ : sprout length(mm)

여기서  $M_{60-1}$ 은 US 60 kHz 1분 처리 후에 60시간 동안 싹의 성장 길이(mm),  $M_0$ 은 무처리의 60시간 동안 싹 성장 길이(mm)에 대한 모델식이다. 모델식 (6)과 (7)의 결정계수는 각각 0.9964와 0.9988이었다. 그러나 각각의 처리 간에 유의성은 나타나지 않았다. 결론적으로 Type II에서 초음파 적용시간에 따른 발아와 성장 촉진은 무처리와 별 차이가 없었다.

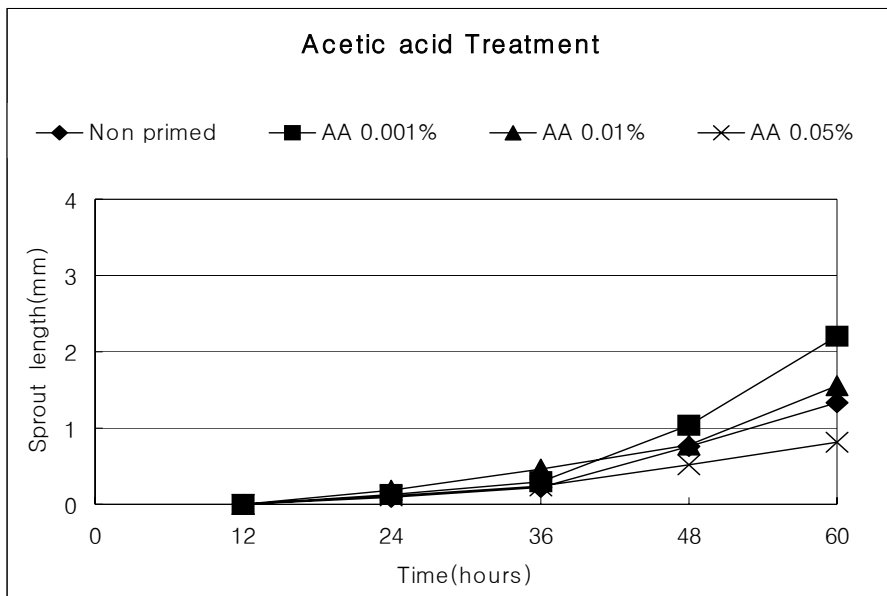


Fig. 2-24 The effect of acetic acid on the germination of brown rice (AA: acetic acid solution)

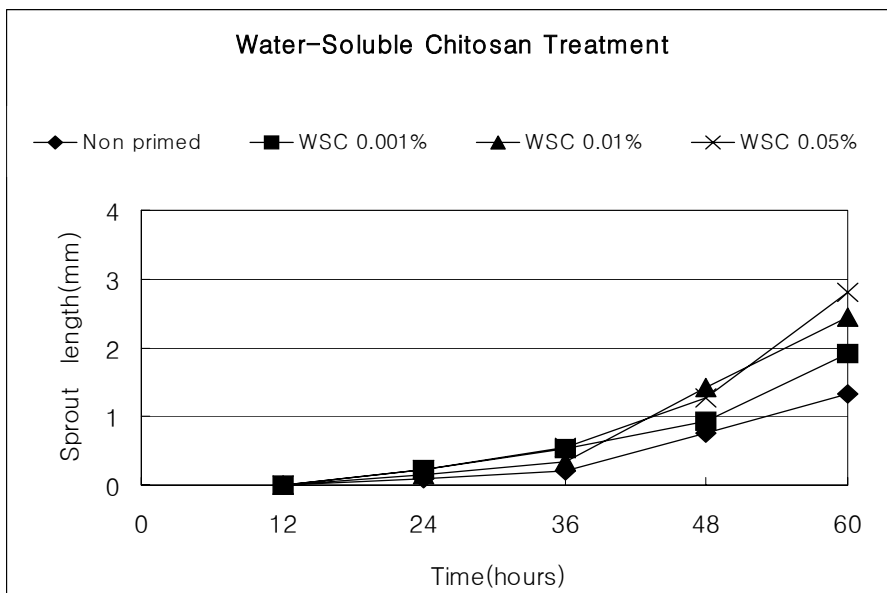


Fig. 2-25 The effects of water-soluble chitosan on the germination of brown rice (WSC: water-soluble chitosan)

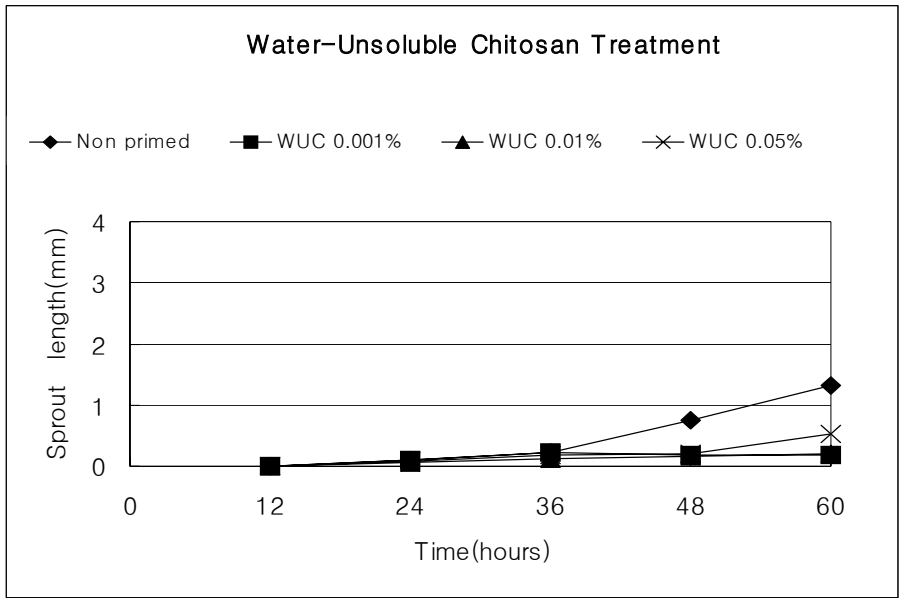


Fig. 2-26 The effects of water-unsoluble chitosan on the germination of brown rice (WUC: water-unsoluble chitosan)

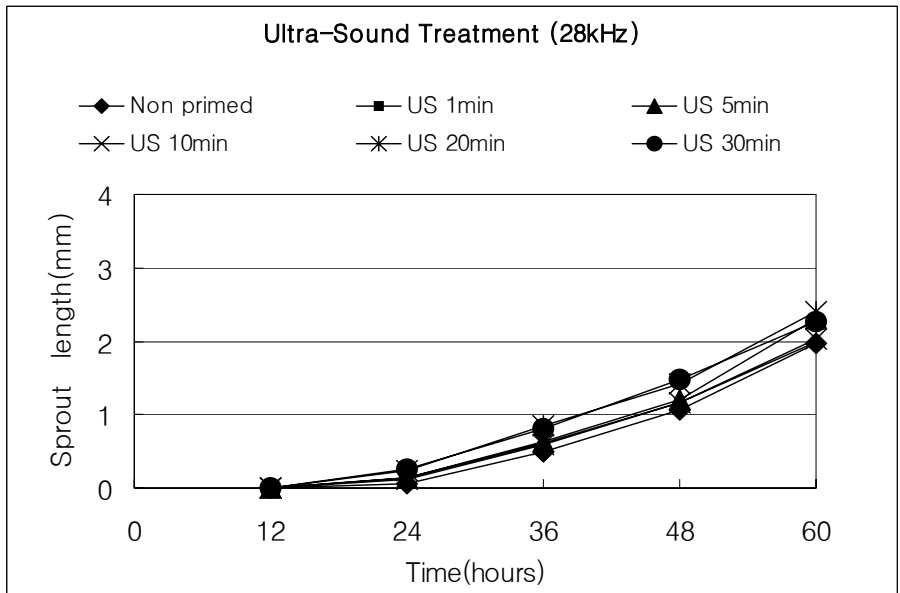


Fig. 2-27 The effects of 28 kHz ultra-sound on the germination of brown rice (US: ultra-sound)



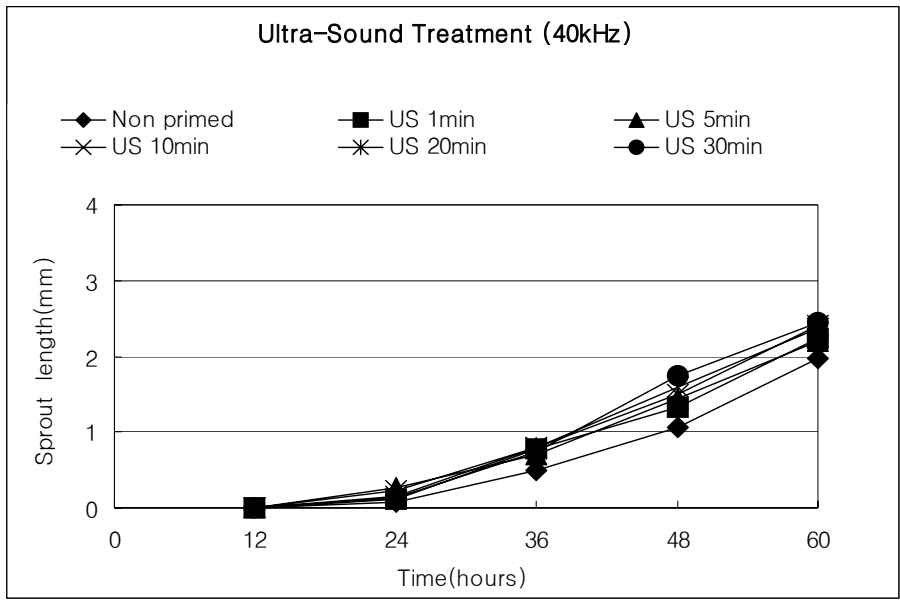


Fig. 2-28 The effects of 40 kHz ultra-sound on the germination of brown rice  
(US: ultra-sound)

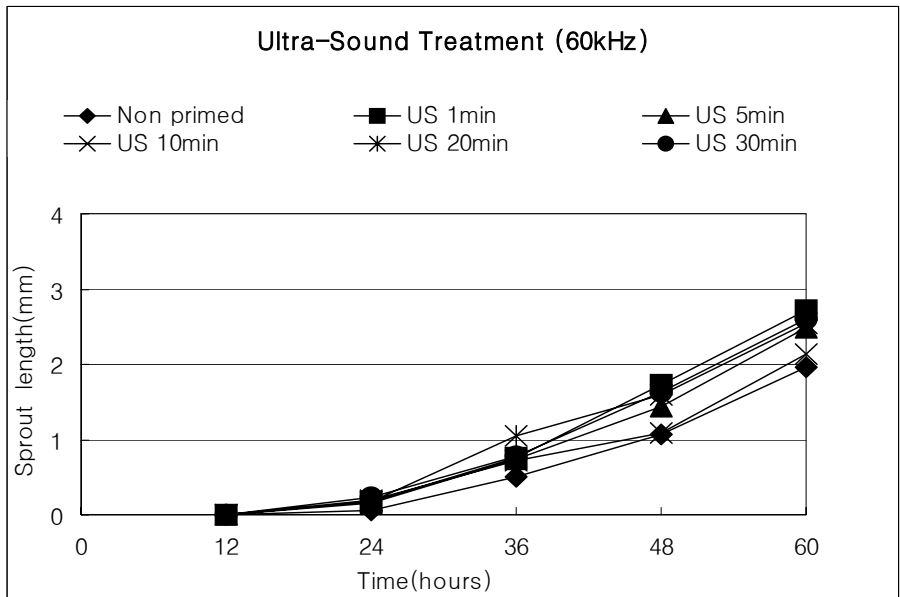


Fig. 2-29 The effects of 60 kHz ultra-sound on the germination of brown rice  
(US: ultra-sound)

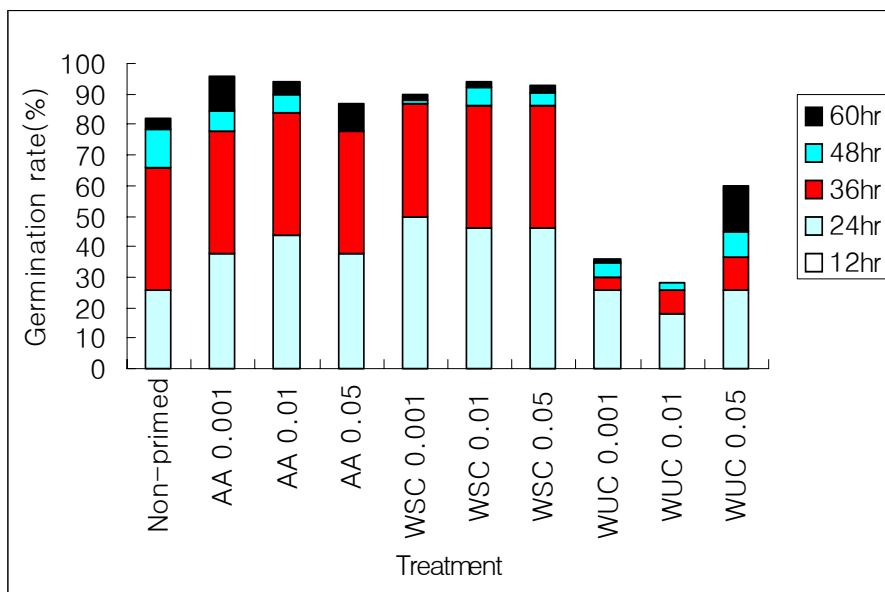


Fig. 2-30 The effects of AA, WSC, WUC on the germination rate of brown rice (AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-insoluble chitosan)

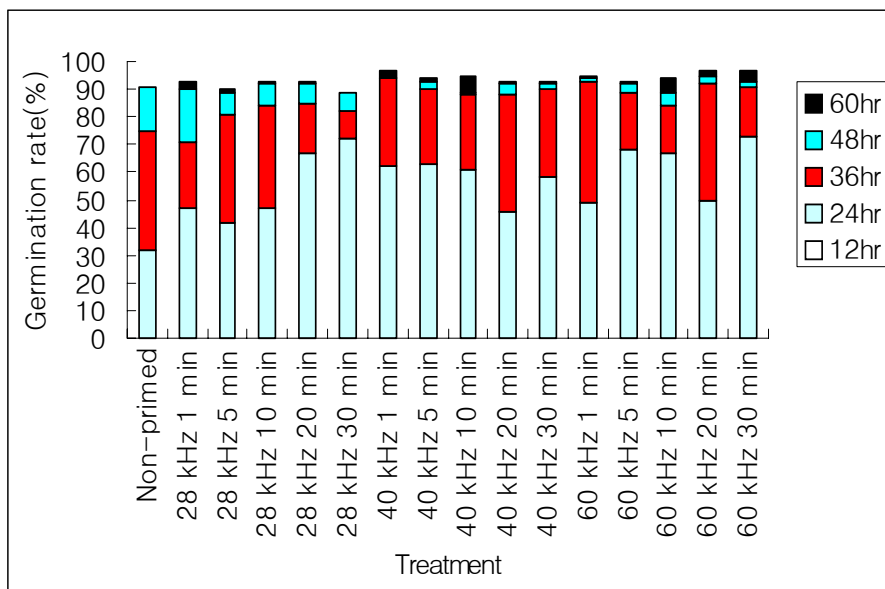


Fig. 2-31 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination rate of brown rice (US: ultra-sound)

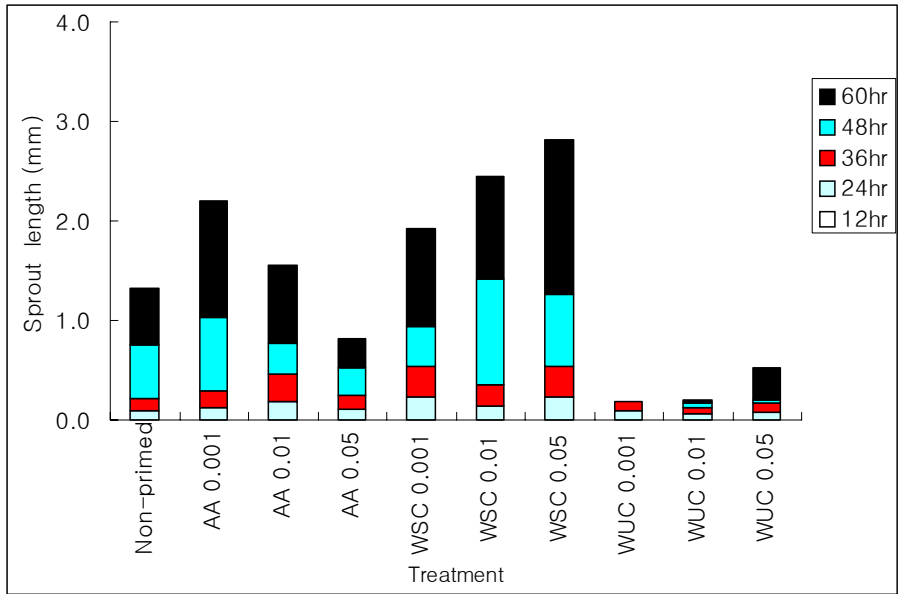


Fig. 2-32 The effects of AA, WSC, WUC on the germination length of brown rice (AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-unsoluble chitosan)

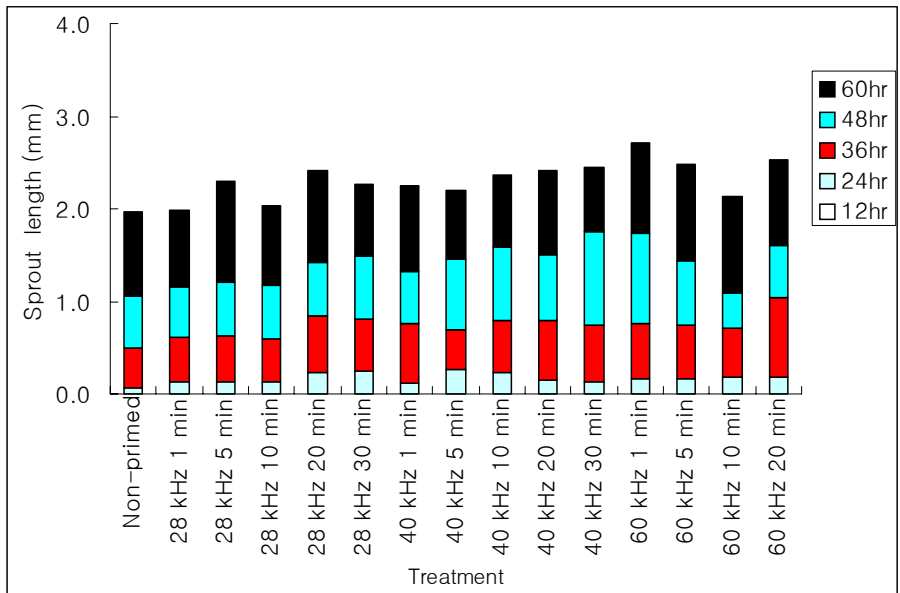


Fig. 2-33 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination length of brown rice (US: ultra-sound)

#### 다. 침지·대기발아 반복실험(Type III)

##### 1) 초산처리

초산용액 처리에 의한 현미발아는 그림 2-34와 같이 나타났다.  $T_{2.5}$  rate는 무처리, 0.001, 0.01, 0.05% 순으로 높게 나타나 초산 농도가 높을수록 발아 억제가 일어났다. 침지·대기 반복을 적용한 초산처리군에서는 대조군에 비해 모든 처리군의 발아가 억제되었다.

##### 2) 수용성 키토산처리

수용성 키토산 용액이 현미발아에 미치는 영향은 그림 2-35와 같이 나타났다.  $T_{50}(h)$ 은 수용성 키토산용액 농도 0.05, 0.01, 0.001% 순으로 각각 24, 24.7, 24.7시간이 소요되었다.  $T_{2.5}$  rate는 0.01, 0.05, 0.001%순서였는데, 값은 각각 0.955, 0.965, 0.984였다. 이는 0.01%농도의 처리군에서 36시간 이후부터 성장이 촉진됐다는 것을 알 수 있었다( $p < 0.05$ ).

##### 3) 불용성 키토산처리

불용성 키토산 용액 처리군은 농도에 관계없이 대조군에 비하여 발아가 억제되었다. 이는 침지발아 실험에서와 마찬가지로 pH 4 이하의 산성에서는 현미 발아가 억제되는 것으로 보였다. 부록 표 10에 의하면 Type III에서 60시간이 되었을 때 성장 길이는 각각 유의적인 차이가 있었으며 각각의 처리 중 WSC 0.01%가 2.364 mm 로 가장 좋은 성장률을 보였다. 또한 무처리에 비하여  $T_{2.5}$ 가 0.955로 나왔다. 반면에 초산, 불용성키토산처리군은 침지발아에서와 마찬가지로 무처리에 비하여 성장 및 발아율이 억제되는 경향을 보였다.

##### 4) 28 kHz 초음파처리

초음파 처리장치를 이용하여 12시간마다 수중  $25 \pm 3$  °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 초음파처리 후 시간에 따른 현미의 발아율 및 싹 성장을 분석하였다(그림 2-37).  $T_{2.5}$  rate는 각각 10, 5, 무처리, 1, 20, 30분 처리 순서로 점차 높은 값을 나타내어,

10분 초음파 처리에서 가장 싹 성장이 빠른 것으로 나타났다. 그림 2-37과 표 2-13을 보면 현미 성장은 무처리와 거의 비슷하거나 저해되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 발아율은 무처리 100%에 비하여 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이는 12시간마다 28 kHz 초음파의 반복처리는 종자의 성장에 심한 스트레스를 주어서 발아와 성장을 지연시키는 것으로 사료되었다. 특히 28 kHz 초음파 20분 이상의 반복자극은 60시간 후 측정결과 무처리에 비하여 성장을 1.16배(9.4시간) 지연시켰다.

#### 5) 40 kHz 초음파처리

현미에 초음파처리장치를 이용해 수중  $25\pm 3$  °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 동안 각각 40 kHz 초음파를 처리 후 시간에 따른 현미의 발아 및 성장을 분석하였다(그림 2-38).  $T_{2.5}$  rate는 각각 10, 1, 무처리, 5, 20, 30분 처리 순서로 점차 높은 값을 나타내어, 10분처리에서 가장 싹 성장이 빨랐다. 40 kHz 초음파의 반복처리는 종자의 성장에 스트레스를 주어서 발아와 성장을 지연시키는 것으로 사료되었다. 특히 자극 시간이 20분 이상으로 늘어났을 때에는 무처리에 비하여 성장을 약 1.05배(3.2시간) 지연시켰다.

#### 6) 60 kHz 초음파처리

초음파 처리장치를 이용하여 수중  $25\pm 3$  °C에서 1, 5, 10, 20, 30분 동안의 60 kHz 초음파 자극 후 시간에 따른 현미의 발아 및 성장을 분석하였다(그림 2-39).  $T_{2.5}$  rate는 각각 30, 20, 무처리, 10, 1, 5분 순으로 0.969, 0.99, 1, 1.012, 1.026, 1.048로 나타났다. 이는 무처리와 비슷한 성장을 나타냄을 알 수 있었다.

각각의 처리 중 초음파 40 kHz 10분 처리한 실험군이 최종 싹 길이 2.93 mm 로 가장 좋은 성장률을 보였다. 초음파 40 kHz 30분 처리군은 싹의 길이에 대한 표준편차가 0.58로 가장 작았으므로 균일한 성장을 하였음을 알 수 있었다. 초음파 40 kHz 10분 처리하였을 때와 무처리의 시간에 따른 싹의 성장 길이는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$M_{40-10} = 0.0009t^2 - 0.0061t - 0.0599 \quad (8)$$

$$M_0 = 0.0014t^2 - 0.0489t + 0.4128 \quad (9)$$

t: time(hr),  $M_{60-1}$ ,  $M_0$ : sprout length(mm)

여기서  $M_{60-1}$ 은 US 40 kHz 10분 처리 후에 60시간 동안 유아의 성장 길이 (mm),  $M_0$ 은 무처리의 60시간 동안 유아의 성장 길이(mm)에 대한 모델식이다. 모델식 (8)와 (9)의 결정계수는 각각 0.9882와 0.9966이었다.

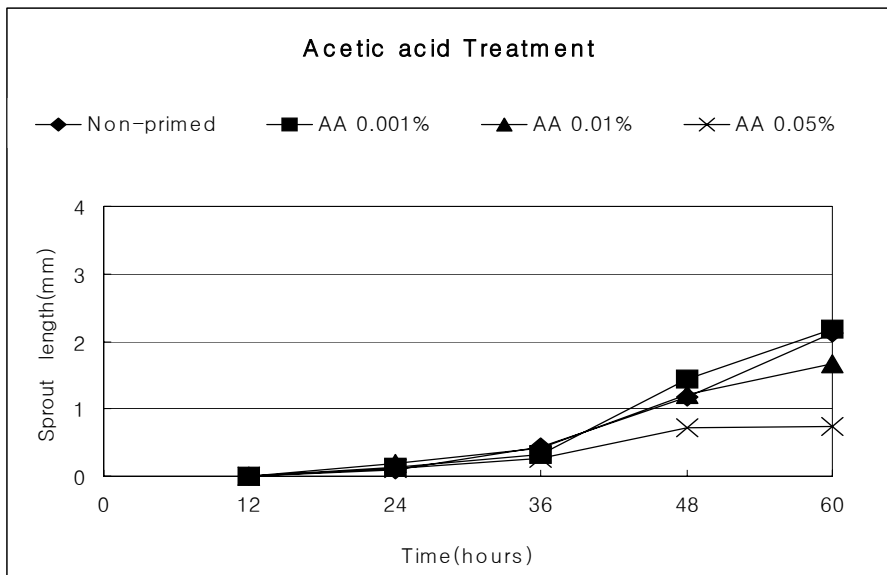


Fig. 2-34 The effect of acetic acid on the germination of brown rice (AA: acetic acid solution)

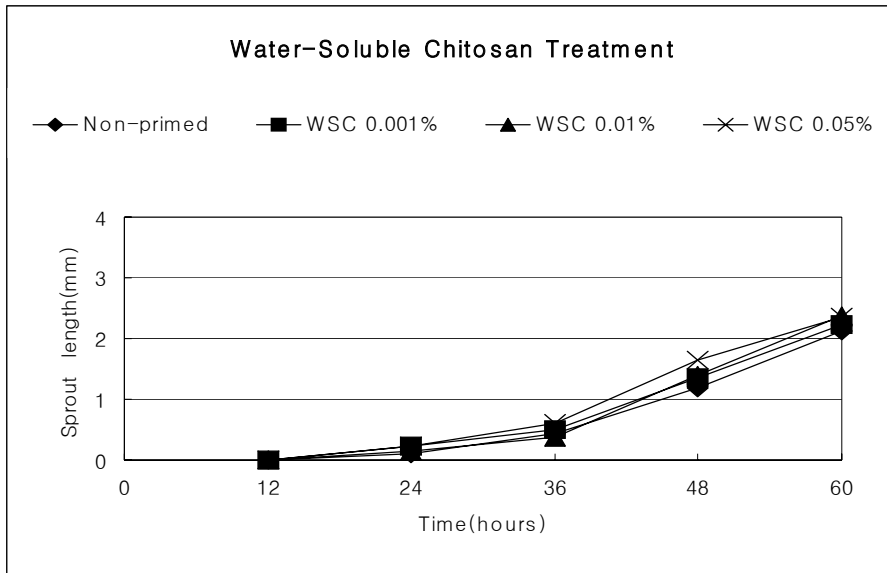


Fig. 2-35 The effects of water-soluble chitosan on the germination of brown rice (WSC: water-soluble chitosan)

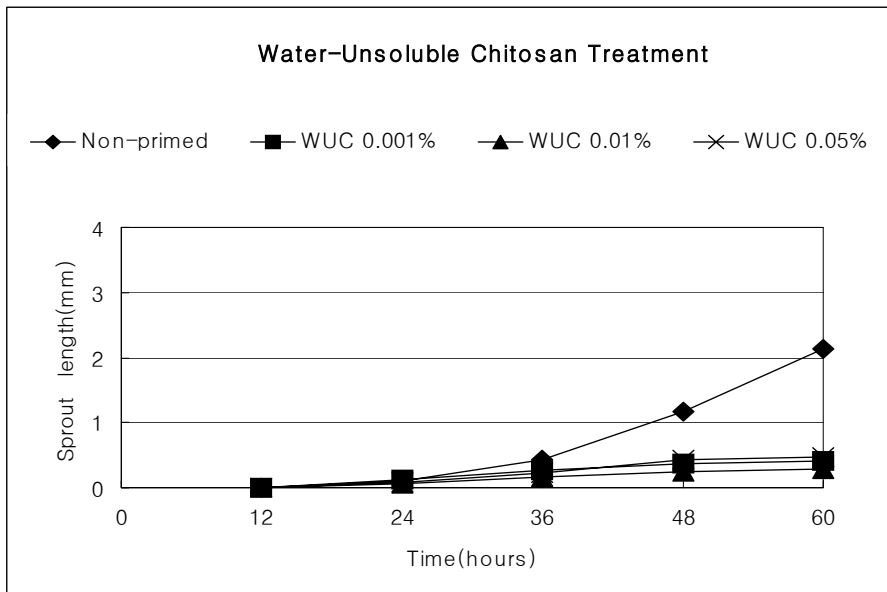


Fig. 2-36 The effects of water-insoluble chitosan on the germination of brown rice (WUC: water-insoluble chitosan)

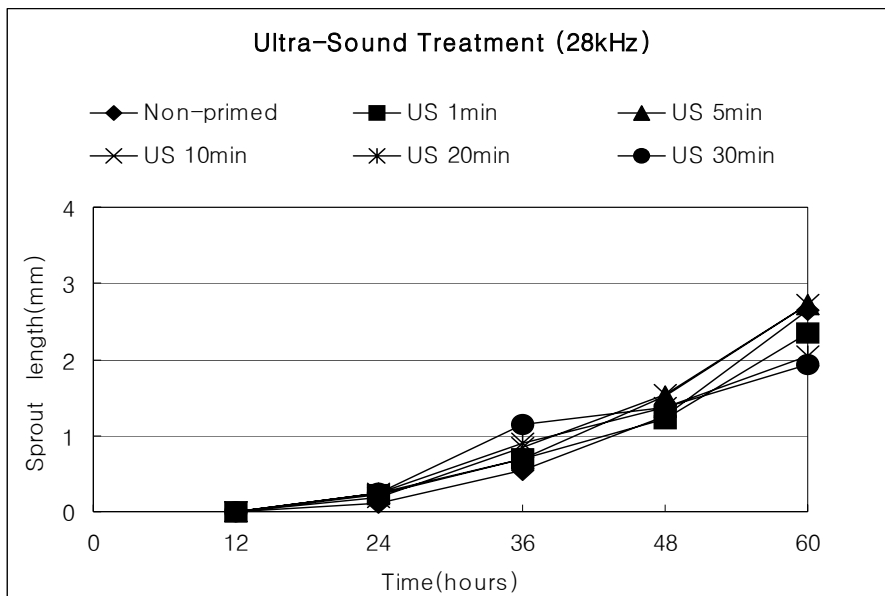


Fig. 2-37 The effects of 28 kHz ultra-sound on the germination of brown rice  
(US: ultra-sound)

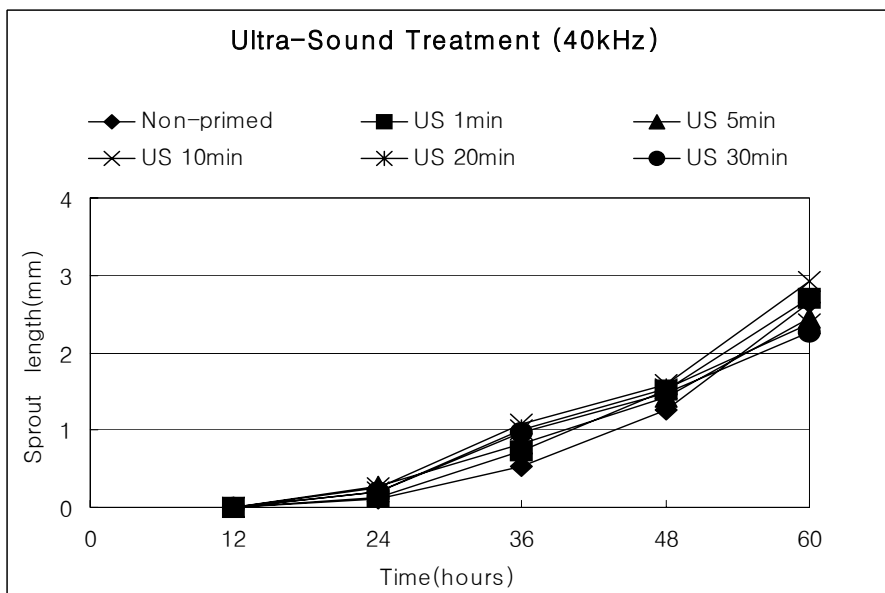


Fig. 2-38 The effects of 40 kHz ultra-sound on the germination of brown rice  
(US: ultra-sound)



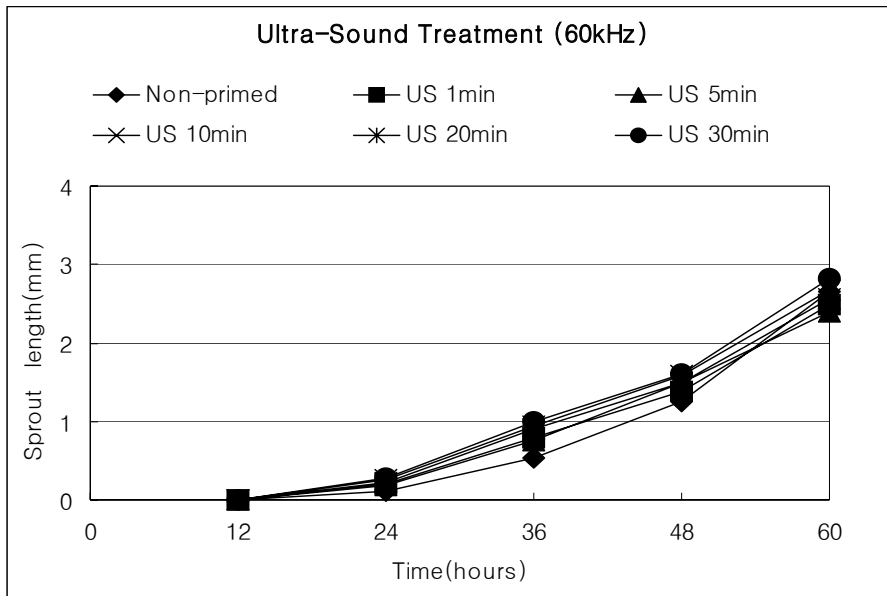


Fig. 2-39 The effects of 60 kHz ultra-sound on the germination of brown rice (US: ultra-sound)

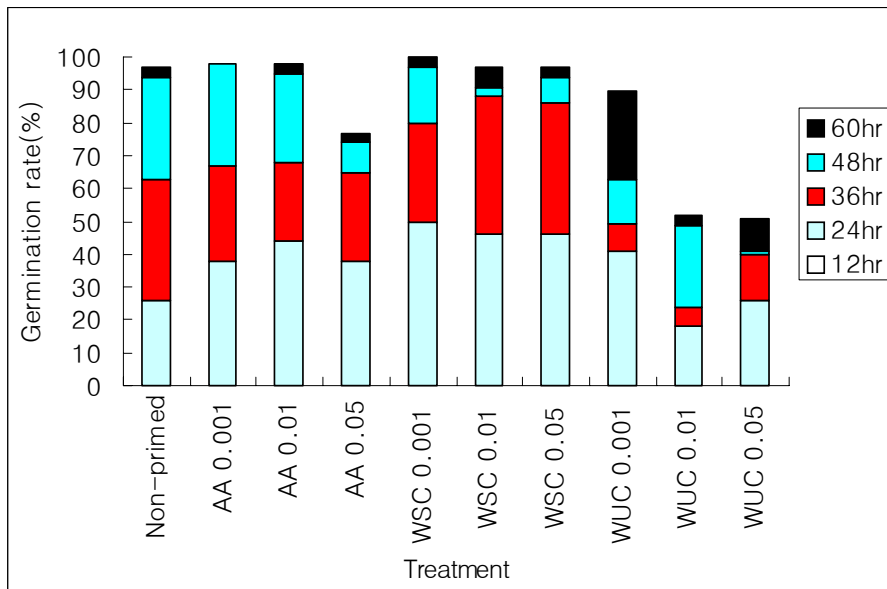


Fig. 2-40 The effects of AA, WSC, WUC on the germination rate of brown rice (AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-insoluble chitosan)

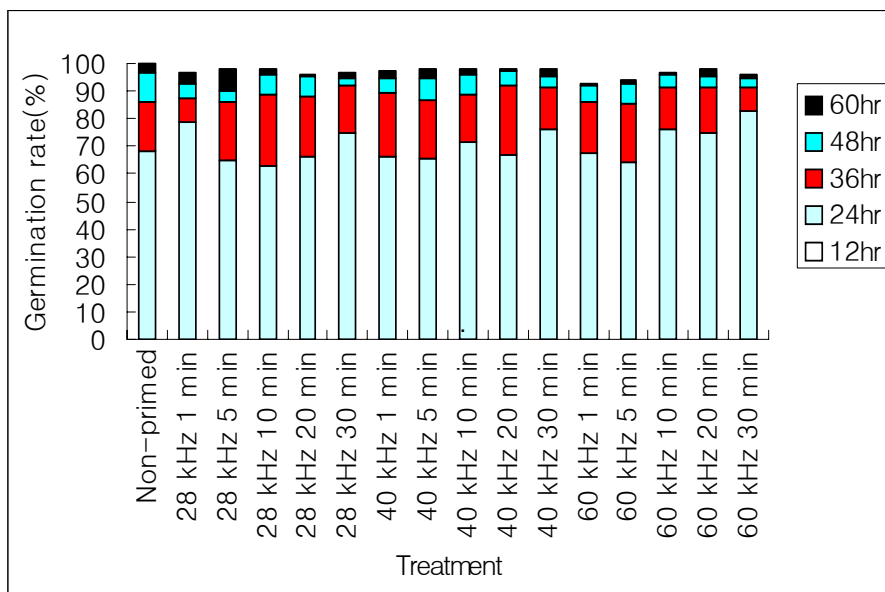


Fig. 2-41 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination rate of brown rice (US: ultra-sound)

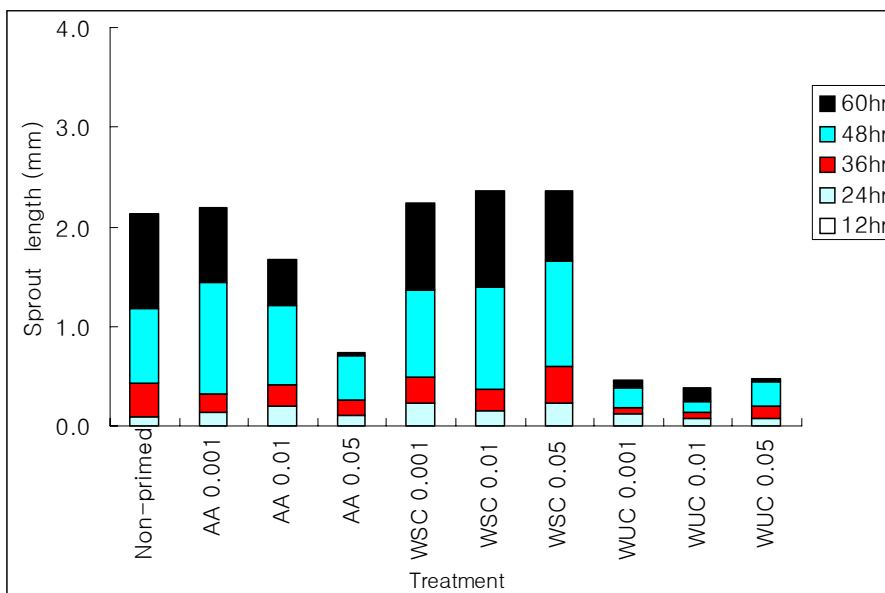


Fig. 2-42 The effects of AA, WSC, WUC on the germination length of brown rice (AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-unsoluble chitosan)

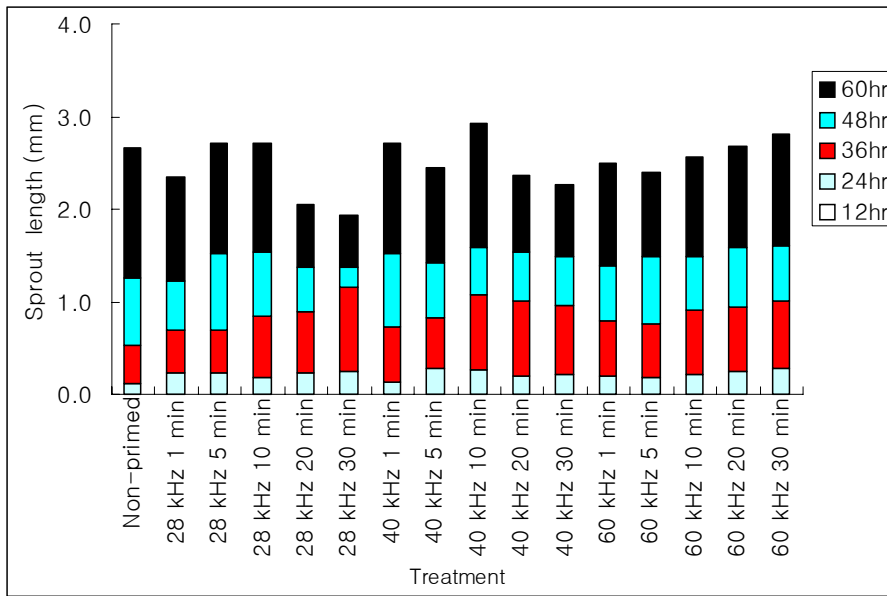


Fig. 2-43 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination length of brown rice (US: ultra-sound)

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 초산(0.001, 0.01, 0.05%), 수용성키토산, 불용성키토산처리 및 초음파 자극(20, 40, 60 kHz; 1, 5, 10, 20, 30분)을 주어 현미발아 및 생리활성에 최적인 농도, 주파수, 적용시간을 구명하고자 다음과 같은 세 가지 형식의 실험을 수행하였다. 첫째, 각각의 시약 및 초음파처리 후 60시간동안 시약 및 증류수에 침지발아 시험을 실시하였다(Type I). 둘째, 각각의 시약 및 초음파처리 후 12시간 시약 및 증류수에 침지발아 시험 후 48시간동안 대기발아 시험을 실시하였다(Type II). 셋째, 12시간마다 각각의 시약 및 초음파처리하면서 침지발아 및 대기발아의 반복적용 시험을 실시하였다(Type III). 실험을 통한 데이터는 12시간마다 유아의 성장 길이 측정 및 미발아 된 현미의 개체수를 세어 발아율을 측정하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같았다.

### 가. 키토산 처리 효과

- 1) 0.001% 묽은 초산용액 처리가 침수후 대기발아(type II), 침수와 대기 반복발아(type II)의 두 방식에서는 현미 발아율의 증가와 싹 성장촉진의 효과가 있었으나 초산농도가 높은 경우에는 역효과가 일어났다. 그리고, 계속해서 침수 발아하는 방식(type I)에서는 발아율의 증가와 싹 성장 효과는 없었다.
- 2) 현미 발아시 수용성키토산을 처리한 경우에 세가지 모든 발아방식에서 농도가 높을수록 높은 발아율과 싹 성장촉진을 가져왔다.
- 3) 불용성키토산 처리는 세가지의 모든 발아방식에서 발아율 저조 및 싹 성장 억제 를 가져왔다.
- 4) 발아율은 모든 처리군에서 공히 침수와 대기발아를 반복하는 방식(type III)이 다른 발아방식에 비해 97% 이상으로 매우 높았다.
- 5) 세 가지 발아방식중 무처리군만의  $T_{2.5}$ 를 비교해 보면 Type III인 침지발아 및 대기발아의 반복적용 처리가 type II에 비하여 최고 약 20시간, type I에 비해 약 6시간 빠른 성장 촉진효과를 나타내었다. 이에 type III 발아방식처럼 침수와 대기 발아의 반복이 현미 싹의 성장을 촉진하는 것으로 나타났다.

6) 화학적 처리 중에서 싹 길이가 2.5 mm에 도달하는 발아시간  $T_{2.5}$ 가 가장 빠른 것은 Type II 처리의 수용성키토산 0.05% 처리군으로, 57.5시간 만에 2.5 mm까지 성장하였다.

7) 세 가지 발아방식에서 pH 4 이하의 낮은 산성도를 나타내는 초산, 불용성키토산 용액을 처리한 결과 처리용액 농도가 높아질수록 현미 싹의 성장 및 발아율이 무처리군에 비하여 억제되었다.

#### 나. 초음파 자극 효과

1) 세가지 발아방식중에서 싹 성장에 대한 초음파 자극의 효과는 침지발아 방식, Type I에서는 매우 효과적이었다. Type II와 Type III에서는 그 효과는 초기에는 어느 정도 있었으나 후기에는 미비하여 유의성이 없었다.

2) 세 가지 발아방식중 무처리군만을 비교해 보면 Type III인 침지발아 및 대기발아의 반복적용 처리가 최고 26.2시간 빠른 성장 촉진효과를 나타내었다.

3) 초음파 40 kHz 강도별로 40, 70, 100%(0.137, 0.241, 0.344 W/cm<sup>2</sup>) 처리를 하였을 때 초음파 강도 100%(0.344 W/cm<sup>2</sup>)일 때 가장 좋은 싹 성장을 나타내어 초음파 강도가 클수록 싹 성장이 좋았다..

4) 모든 처리군 중에서 싹 2.5 mm에 소요되는 시간인  $T_{2.5}$ 가 낮은 처리군, 즉 성장이 빠른 처리군은 Type I 처리의 28 kHz 10분, 20분 처리 40 kHz 5, 10분 처리, 60 kHz 20분 처리이었다( $p < 0.0001$ ). 이는 현미 싹의 성장에는 초음파 주파수에 비하여 강도가 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 초음파 적용시간 등을 고려할 때 최적 초음파 주파수, 강도, 적용시간은 40 kHz 0.344 W/cm<sup>2</sup>, 5분이었다. 이때 싹의 길이가 2.5 mm까지 성장하는데 소요되는 시간,  $T_{2.5}$ 는 51.9시간 이었다.

5) 모든 초음파 처리군에서 약 95% 이상의 좋은 발아율을 보였다. 특히 발아 초기의 휴면 타파에 초음파 자극이 효과적이어서 초기에 현미 발아율 상승을 가져왔다.

## 제 3 장 전기적 처리를 이용한 현미발아

### 생체생리활성기술 및 바이오시스템 개발

#### 제 1 절 음이온이 현미발아에 미치는 영향

##### 1. 서론

###### 가. 연구배경 및 목적

발아현미란 적당한 온도와 수분, 산소 등을 공급해 현미의 싹을 1~5mm까지 발아시킨 것으로 현미의 영양과 기능을 극대화시킨 것이다. 발아현미 등 발아곡식이 주목받기 시작한 것은 1993년 독일의 한 식품연구소에서 곡식의 발아시 발아전에는 없던 새로운 영양성분이 생겨나거나 증가한다는 연구발표가 계기가 되었다. 현미에는 식물성 섬유질을 비롯한 각종 효소, 비타민, 미네랄 등 영양소가 다량 함유되어 몸에 좋다는 것은 널리 알려진 사실이다. 그러나 현미가 갖는 뛰어난 효능에도 불구하고 백미를 주식으로 하고 있는 이유는 현미의 조리가 어렵고 부드럽게 씹히지 않고 꺼칠하며 식미가 떨어지기 때문이다. 이러한 현미의 문제점을 개선하여 풍부한 영양을 고루 섭취하고 간편한 취사와 부드러운 조직감으로 식미 기호도를 높인 발아현미가 등장하였다.

국내 발아현미의 소비는 증가추세에 있으나 그 생산기간이 길어 제대로 공급을 하지 못하고 있다. 이에 대한 제조기술 및 시스템 개발에 대한 연구 또한 미진한 상태이다. 발아현미제조공정에 대한 문제점으로는 수중 침지 상태에서 약 3~4일 정도로 길어 부패가 발생하기 때문에 이를 해결할 수 있는 기술개발이 요구됨과 동시에 발아 기간을 단축시킬 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다. 특히, 발아현미의 효능에 대해서 많은 연구가 발표되었으나 생리활성 기술에 의한 발아공정의 단축 및 재배생산 시스템에 대한 연구는 매우 미진한 상태로 여겨진다.

이에 본 연구에서는 음이온을 이용해 발아현미의 품질을 높이고, 반침지 대기발아 상태에서 음이온을 흡수하고 자극을 받음으로써 종자 휴면을 줄여 발아 및 성장 촉진 가능성을 구명하고자 한다. 공기음(-) 이온을 방사하면 식물의 생육이 빨라지고 결실도 크게 된다고 한다. 또한 꽃의 수명도 연장되고, 자른 꽃도 수명이 길어지며 버섯도 크게 잘 자란다고 보고되고 있다. 귀리의 종자가 음(-)이온을 맞으면 전체의 신장이 60%, 생체의 무게도 25~30% 정도 증가되며, 성분 분석결과 단백질, 질소분, 당분이 증가된다고 보고되고 있다.

이온처리로 성장이 촉진되는 것은 시토크롬(Cytochrome) C인 색소단백질의 합성을 증가시켜서 철을 포함한 효소가 성장 촉진을 가능하게 하는 대사요인으로서 중요하다는 것을 제시하고 있다. 또한, 공기음(-)이온의 처리로 개화가 빨라지고 개화하는 꽃잎의 수가 많아지고 꽃이 길게 핀다고 한다. 침전극을 사용한 이온발생기로 꽃의 1m위에서 이온전류를 준 결과 수분의 증발이 빨라지고 수중에서의 질소가 많이 분비되는 현상이 보였다고 한다. 또한, 이온정전을 방사한 수도(벼)는 매우 생육이 빨라지고, 결실이 커지고 수량도 많다는 현상을 보였다. 중수율은 약 30% 이상이라 한다. 초화의 종자에 이온정전을 걸면 매우 빨리 생육하고 수명도 길다는 것이 확인되고, 자른꽃 수명이 연장된다고 한다.

이처럼, 음이온처리가 농작물의 생리활성에 영향이 있음을 나타내고 있는 바 본 연구에서는 음이온처리를 이용한 현미의 생리활성 기술을 개발하여 현미발아와 성장을 촉진하게 하고, 부패발생 제거로 인한 품질을 향상시킬 수 있는 기술을 개발하고자 한다.

#### 나. 이론적 고찰

공기 음이온이란 중성인 원자, 원자단, 분자가 음의 전하나 전자를 얻게 되어 음전하수가 잉여상태로 된 것을 음이온(anion)이라 한다. 공기는 질소(78%), 산소(21%) 그리고 미량의 아르곤, 수증기, 탄산가스 등 1% 조성으로 혼합되어 있고, 이들의 일부 원자, 분자들은 태양의 자외선, 우주로부터의 우주선 등 대량의 방사선과

지구 지각속의 라듐, 토륨, 라돈 등 방사성 물질이 붕괴할 때 방사선인  $\alpha$ 선,  $\beta$ 선,  $\gamma$ 선 등의 충돌에너지에 의하여 전자를 방출한다. 전자를 잃은 중성의 원자, 분자는 양(+)전기를 띤 양이온이 되고, 튀어나간 전자를 연분으로 얻은 공기 중의 초미립자는 음(-)전기를 지닌 음이온으로 된다. 이와같이 공기이온은 전장의 이동으로 발생한다.

음이온은 호흡을 통해서 또는 피부를 통해서 흡수되는데 음이온은 세포의 신진대사를 촉진하고, 활력을 증진시키며, 피를 맑게 하고, 신경안정과 피로회복 및 식욕증진에 효과가 있다. 자연에서는 자외선과 같은 우주선에 의해 공기 중의 원자나 분자가 이온화되며, 천둥 번개가 칠 때도 강한 전기장에 의해 이온화된다. 또한 지표의 방사선 물질의 방사선에 의해 이온화되기도 하며, 식물의 탄소동화작용을 통해 음이온이 일부 발생된다. 폭포수 인근이나 비가 올 때 음이온이 발생되는데 공기 중에는 질소가 산소보다 약 3배가량 많으나, 산소는 질소보다 약 100배 이상 전자와 잘 결합하여 음이온을 형성한다(전자 친화도가 크다). 따라서 공기 중의 음이온은 산소 음이온이 거의 대다수이다.

맑은 공기는 전반적으로 1cc의 체적에 약 1,000개 이상의 음이온 농도가 측정된다. 반대로 양이온은 오염된 건조한 공기에 많다. 공기 중의 음이온은 거의 대부분이 산소음이온으로 호흡, 피부를 통해 흡수되면 헤모글로빈과 반응해 혈액에 녹아들고, 혈액순환을 통해 신체 각 기관의 세포로 운반되어 신진대사를 통해 각종 영양소와 에너지를 생산한다. 산소 음이온은 신진대사를 원활하게 하여 건강을 증진하고, 면역체계를 활성화하여 자연치유력을 증진한다.

## 다. 연구사

이온에 관한 생물학적 연구는 1950년대부터 미국, 이스라엘에 의하여 본격적으로 시작된 이후, 음이온은 생물학적으로 활성이 있으며, 세균과 곰팡이의 성장억제, 세포와 조직에 산소전달 촉진, 유해산소의 중화 등의 기능이 있는 것으로 보고되고 있다.



Misiaszek 등은 코로나방전에 의한 음이온폭로가 8명의 조울증환자에 대하여 치료효과가 있는가를 조사하였다. 음이온폭로 전에 회화장애, 불안흥분, 주의산만, 수면장애 및 과대망상 등의 증상이 있는 8명의 환자 중 7명이 1시부터 1시간 반의 음이온폭로에 의하여 졸음을 감지하거나 침착한 상태나 집중할 수 있는 상태로 회복된 것을 보고하였다.

미국의 Krueger 등(1960)은 플러스 이온과 마이너스 이온의 박테리아와 세균 억제효과, 세포와 이온의 활동 및 인간의 호흡기질환 개선효과 등에 대한 생물학적 효과를 검증 하였다. Sulman 등은 1969년과 1984년에 편서풍이 플러스 이온을 증가시켜 불면증과 신경과민, 긴장과다, 위통 등을 일으키는 원인이 된다고 설명하였다. 이들 환자의 혈액과 뇨에서 많은 양의 세로토닌이 검출되었고, 마이너스 이온이 공급됨에 따라 증상이 완화됨을 확인하고 이 방법이 치료에 효과적이라고 발표하였다. 일본의 渡邊등은 1996년에 음이온 사우나가 혈액 순환상태에 미치는 영향, 공기 중의 음이온이 뇌파에 미치는 영향의 연구로부터 마이너스 이온이 정신적 이완을 주는 것으로 발표하였다.

山野井(1998)은 음이온에 의한 피로의 경감 및 작업효율의 향상, 이완감, 집중력 향상, 호흡기능의 개선, 혈압의 안정, 체온의 유지 등에 효과가 있다고 발표하였다. 琉子등(1999)은 운동 후의 피로회복에 대한 대기 중 음이온의 생리학적 효과와 뇌파, 자율신경계 및 신경전달물질 농도에 미치는 영향을 발표하였다. 그 결과 특히 확장기혈압의 저하, 세로토닌(serotonin)과 도파민(dopamine)의 저하 등을 확인하였다.

山本(2001)은 원적외선과 공기 음이온을 응용한 기능성 제품이 온열효과와 음이온이 많은 환경에서 뇌파의 알파파가 높은 수치가 나온다고 밝혔다. 菅原子(2002)은 음이온 환경에서는 일률적으로 뇌파의 증가가 보이는데, 그 중에서도 알파파인 8~9Hz의 뇌파가 특이하게 증가한다고 밝혔다. 韓등(2004)은 음이온 소재가 인체에 미치는 영향 평가를 통해 음이온 환경에서는 긴장이완, 스트레스완화 등의 뇌파개선 효과와 혈관의 유순도 향상으로 혈류개선효과가 있다고 발표하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 발아실험 방법

발아의 3대 요소는 온도, 습도, 산소가 된다. 발아에 알맞은 온도가 유지되어야 하며, 활력에 필요한 수분이 있어야 하며, 호흡을 할 수 있는 산소가 있어야 한다. 본 실험에서는 음이온 처리군과 대조군의 동일한 실험조건을 위해 항온항습기 (Temp-Humidity Test Chamber, DASOL Scientific Co. Korea)에서 실험하였다.

본 실험에 사용된 현미는 2005년에 수확된 동진현미를 사용하였다. 시료는 처리당 정선된 현미 50립을 사용하였으며, 이때 현미의 초기함수율은 14.3%이었다. 시료의 전처리 실험조건으로는 상온 20℃, 상대습도 90%에서 6시간 침지하였다. 이때의 현미함수율 값은 28%이었다. 상온 25℃, 상대습도 90% 조건의 항온항습기에서 직경 9cm petri dish에 6시간 침지한 현미 시료를 반침지 대기발아 상태로 놓고 수분유지를 위하여 12시간 간격으로 1차 증류수를 공급하였다. 현미발아율과 싹길이 측정은 72시간동안 12시간 간격으로 조사하였다.



Fig. 3-1 Temp & humidity test chamber

나. 음이온 발생장치 · 측정기

음이온 발생장치(SJ-1000, SJ Co. Korea)의 외형도는 그림 3-3과 같다. 음이온 발생장치의 전자방사식 구성도는 그림 3-4와 같으며, 이온수량은 100만 이상이 발생하고 음이온 수를 조절할 수 있다.



Fig. 3-2 The pictures of anion generator

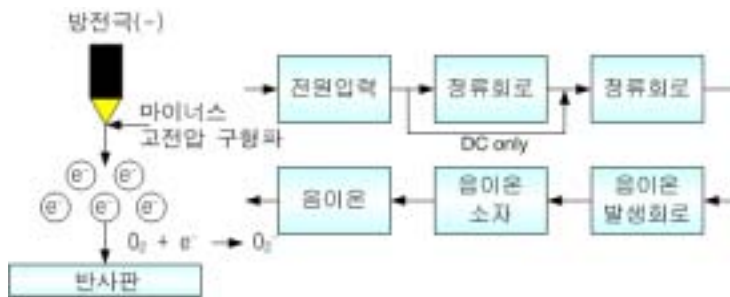


Fig. 3-3 Schematic diagram of anion generator

본 실험에 사용한 측정기는 공기흡입식이온 측정기(ITC-201A, INTI Co. Japan)이고 외형도는 그림 3-5과 같다. 음이온의 함량을 기준하는 측정단위는 1cm<sup>3</sup>당 상대적인 양이온 개수를 뺀 나머지 음이온 개수/cm<sup>3</sup>로 표시한다. 측정시간대에 따라 공기 중 음이온 수가 순간순간 변하기 때문에 계측시간대와 계측방법이 주요 변수가 된다. 측정범위는 10~1,236천개/cc를 측정할 수 있고 디지털방식 검출장비이다. 특징으로는 계측결과가 디스플레이 액정판에 직접 표시되며 측정일시, 온도, 습도를 동시에 측정, 함께 기록할 수 있다. 공기이온 측정법의 예를 들면 그림 3-2와 같으며, 이온 카운터의 블록다이어그램으로 타나낸다.

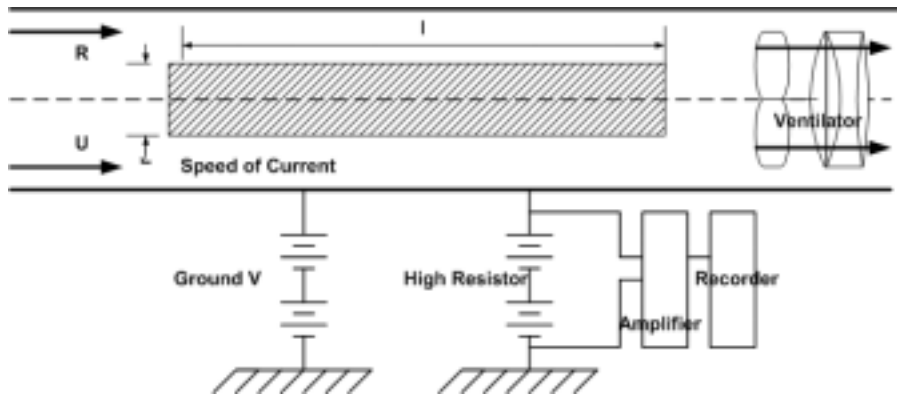


Fig. 3-4 Block diagram of ion counter

이 측정법에서는 이온의 대소에 따르지 않고, 그의 전하의 절대치는 모두 전기량의 절대치와 같다고 가정하고 있다. 그리고, 이온의 이온동도  $K$ 의 값에 의하여 대이온과 혹은 소이온 등으로 구별된다. 이온농도는 다음 식으로 주어진다.

$$k = \frac{u}{v} \cdot \frac{(R^2 - r^2)}{2l} \log \ln \frac{R}{r}$$

- $u$  : 공기의 유속(cm/sec)
- $R$  : 바깥통의 반지름(cm)
- $r$  : 안통의 반지름(cm)
- $V$  : 안통과 바깥통 간의 전압(V)
- $l$  : 안통의 길이(cm)
- $\ln$  : 자연로그

이 식으로부터, 측정하려는 이온동도에 상당하는 유속, 전압을 결정하고 인가하는 극성에 따라 (+)이온 혹은(-)이온이 측정된다.

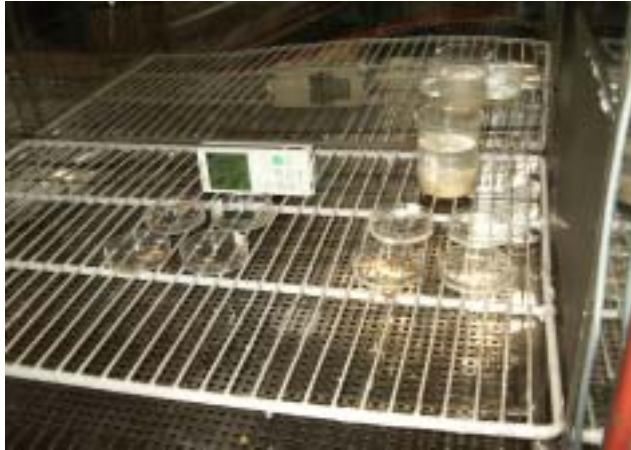


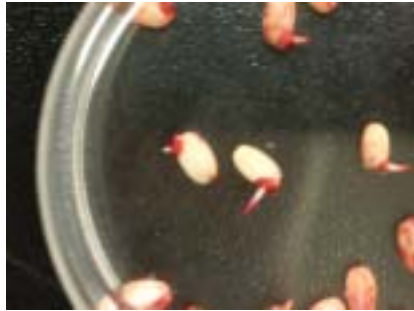
Fig.3-5 A instrument for measuring anion

Table 3-1. Specification of ITC-201A anion tester

구분	ITC-201A 사양
측정 범위	10~1,236,000 개/cc
측정검출시간	약 0.25초/1회
측정 이온	공기이온(+/- 이온측정)
대상이온크기	나노사이즈 레벨 소이온
소비전력	-2.1W
무게	400g
전원	리치움 배터리(재충전식)
본체크기	80x35x180(WxDxH)mm

다. 배아의 활성화 측정

TZ(Triphenyl tetrazolium chloride, SIGMA)시약에 의한 배아 활성도를 측정하였다. 0.25% TZ수용액에 25℃에서 24시간 담근 후 옅은 분홍색으로 변한 배아의 미립수를 측정하였다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.3-6 The images of brown rice changed by a TZ reagent

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 시료 함수율 측정

볍씨는 종자중량의 약 23%의 수분을 흡수하면 발아가 가능하고 발아에 요구되는 최소량의 수분을 흡수하는데 15℃에서 약 6일정도 소요한다고 한다(Hoshikawa, 1989). 현미의 함수율 측정은 FD-600(Kett600, Japan)을 이용해 100℃에서 60분 조건으로 설정하였다. 현미의 초기 함수율은 14.3%, 6시간 침지후의 함수율은 28.0%, 12시간 침지후의 함수율은 31.2%로 나타났다.

#### 나. 현미 발아율

음이온처리에 의한 현미의 발아율 영향은 그림 3-7, 그림 3-8와 같다. 발아율의 시작점은 반침지 대기발아 상태에서 25℃, 90%조건으로 24시간이 지난 시점부터이다. 그리고 72시간까지 12시간 간격으로 현미의 발아율을 측정하였다. 음이온처리 실험군 중 A3군(40만~60만/cc)의 발아율(85%)이 대조군(72.5%)에 비해 크게 나타났다. 음이온 처리군이 대조군에 비해 약 10% 높은 발아율을 나타내었다.

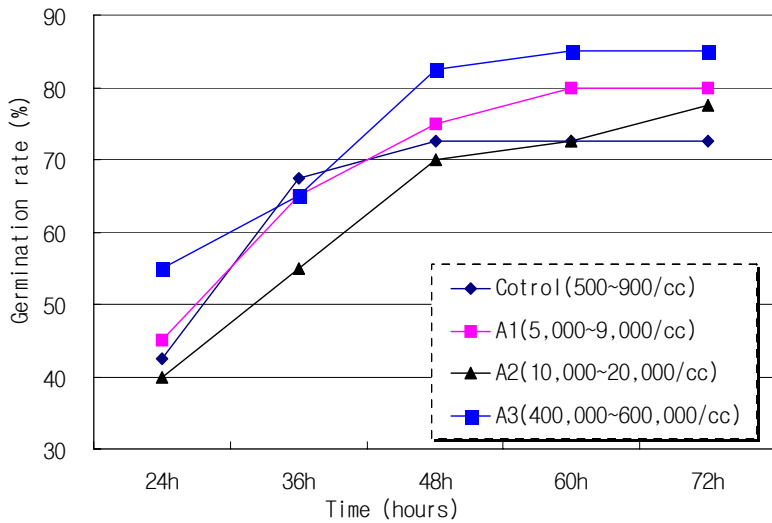


Fig.3-7 Effects of anion on the GR-1 (GR : germination rate)

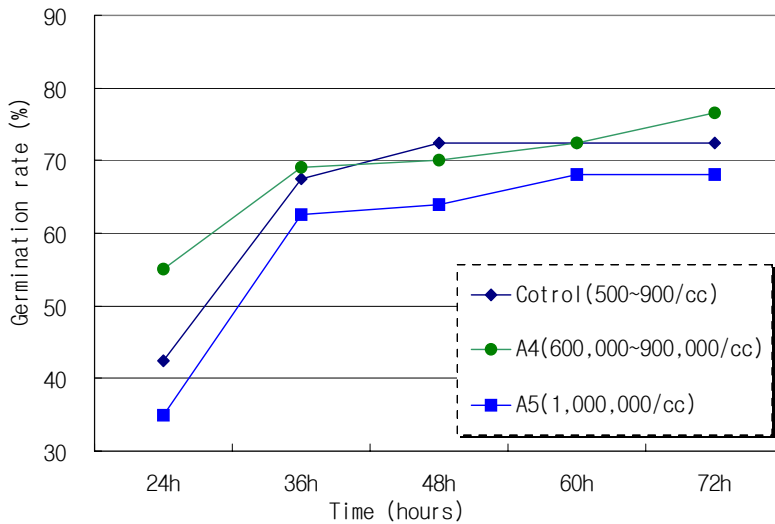


Fig.3-8 Effects of anion on the GR-2 (GR : germination rate)

#### 다. 현미싹 성장길이

현미에 음이온을 처리한 싹의 성장길이 영향은 그림 3-9, 그림 3-10과 같다. 현미 싹의 성장길이 측정은 반침지 대기발아 상태 25℃, 90%에서 24시간이 지난 시점부터 12시간 간격으로 72시간까지 측정하였다. 음이온처리 실험군 중 A4군(60만~90만/cc)이 대조군에 비해 현미의 싹 성장촉진 효과가 크게 나타났다. 그리고 음이온처리 실험군 중 A5군(100만 이상/cc)에서는 오히려 현미의 싹 성장발아촉진에 역효과가 나타났다.



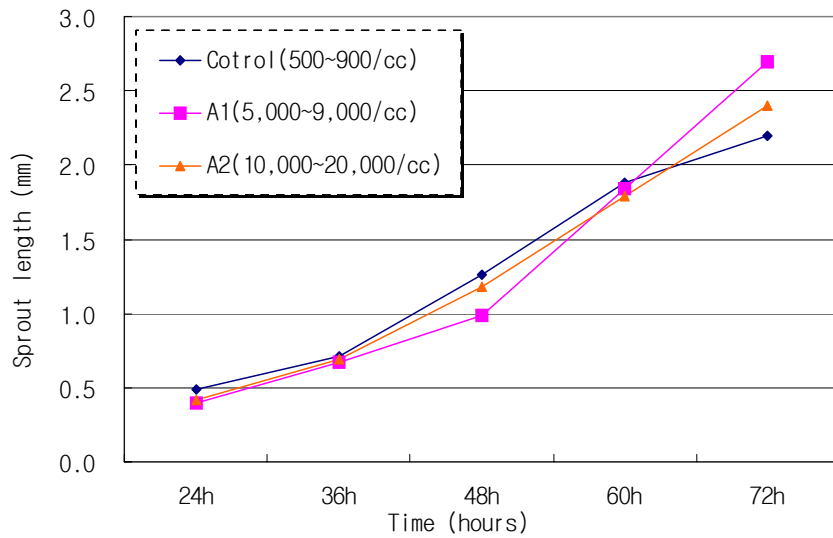


Fig.3-9 Effects of anion on the SL-1(SL : Sprout length)

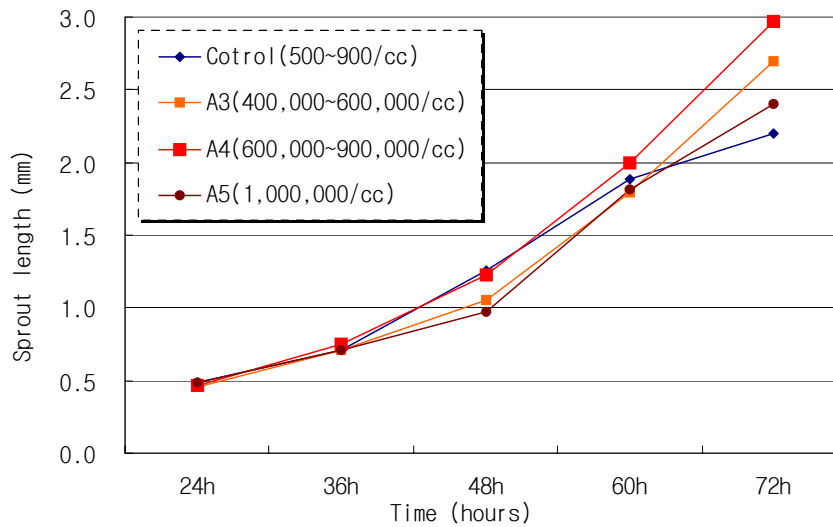
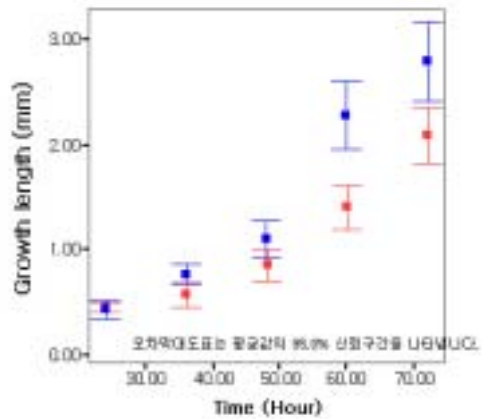


Fig.3-10 Effects of anion on the SL-2 (SL : Sprout length)

라. 음이온 처리효과

각 시간대별로 대조군에 대한 음이온 처리군의 유의성 분석을 위해 발아길이 에 대한 음이온 처리효과와 t-test검정을 실시하였다. t-test검정 결과, 24시간 은 50.1%, 36시간은 27.3%, 48시간 후 부터는 0.4% 이하의 유의확률을 나타 내었다.



마. 음이온 처리의 색상품질 효과

Fig.3-11 A statistical chart

현미의 발아율은 발아현미의 품질에 중대한 영향을 미칠뿐만 아니라 위생상 문제가 아닐 수 없다. 음이온처리가 색상품질에 영향이 있는가를 알아보기 위해 72시간 실험이 끝난 시료의 명도값을 비교하였다. 그림 3-12는 반침지 대기발아상태의 대조군이고, 그림 3-13은 반침지 대기발아상태의 음이온처리군이며, 그림 3-14는 물속에 완전히 침지시킨 실험군이다. 각 그림은 명도 평균값의 분포도와 표준편차를 나타내고 있다. 반침지 대기발아상태에서 대조군의 명도평균값은 145, 반침지 대기 발아상태에서 음이온처리군의 명도평균값은 186, 물속에 완전히 침지시킨 명도평균 값은 204로 나타났다. 동일한 실험조건에서 음이온처리군의 명도값이 대조군보다 높게 나타났다. 이는 음이온처리가 색상품질에 효과가 있음을 보여주고 있다.



Fig.3-12 Control



Fig.3-13 Anion stimuli treatment



Fig.3-14 Soaking treatment without anion

#### 4. 요약 및 결론

음이온처리를 이용한 현미의 생리활성기술은 현미발아와 성장을 촉진하게 하고, 발아현미의 색상 및 품질을 향상시킬 수 있는 기술로 나타났다. 음이온을 처리한 현미의 발아율, 성장길이 효과 및 품질효과 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 음이온을 처리한 현미의 발아율이 대조군에 비해 발아율이 효과적인 것으로 나타났다. 음이온처리가 현미발아에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) 음이온을 처리한 현미의 성장길이 측정결과, 60~90만개의 음이온 처리군이 대조군에 비해 높게 나타났다. 그리고 100만개 이상의 음이온처리군은 현미발아의 성장 촉진에 역효과가 나타남을 알 수 있었다.
- 3) 음이온 처리군이 대조군에 비해 명도값이 높게 나타나 깨끗함으로써, 음이온이 색상품질에 효과가 있는 것으로 나타났다.

## 제 2 절 전기자극이 현미발아에 미치는 영향

### 1. 서론

#### 가. 연구배경 및 목적

국내에서 생산된 종자(현미)의 후처리 및 관리기술의 부족은 발아율을 감소시키고 상품성이 저하되는 문제점 등이 나타나고 있다(Kwon, 1995; Lee, 2000). 따라서 국내 종자(현미)의 생산량을 확대시키기 위해서는 발아율과 초기생육을 향상시킬 수 있는 새로운 방법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

일반적으로 종자의 발아부진은 종피와 배의 구조 또는 화학적인 원인에 의한 내적 요인과 수분, 온도, 빛 및 산소 등과 같은 생육환경인 외적 요인에 의해 발생된다 (Adams, 1999; Bewley, 1997; Cai and Morishima, 2000; Okazaki et al., 1978; Yoo and Kim, 1998) 특히 종자의 배 주위를 둘러싸고 있는 배유, 종피 및 과피 등으로 구성된 외피는 물이나 산소의 유입을 방해하거나 기계적 장벽으로 작용함으로써 유근의 출현을 방해하여 종자발아를 억제하는 것으로 알려져 있다(Bevilacqua et al., 1987; Byun, 1970; Borbes and Ferguson, 1948; Woo and Lee, 1985).

지금까지 종자의 발아율 향상에 영향을 미치는 다양한 인자의 규명은 물론 물리 및 화학적 처리방법을 활용하여 종자의 발아를 촉진시키기 위한 연구들이 활발히 진행되어 왔다(Anderson and Widmer, 1975; Menzel, 1972; Roberto et al. 2000). 특히 gibberellins ( $GA_3$ ), ethephone 6-furfurylaminopurine (kinetin),  $\alpha$ -naphthylacetic acid(NAA),  $KNO_3$ ,  $NaNO_3$  및  $K_3PO_4$  등의 화학약품을 처리하면 휴면종자의 RNA 합성 및 활성 증가, 세포분열의 촉진 및 발아억제 물질의 작용을 제한함으로써 발아가 촉진되는 것으로 알려져 있다 (Ahn et al., 1984; Choi et al., 2001; Karssen et al., 1989; Lee et al., 1987).

또한 저선량 방사선, 자기장처리 및 온도처리 등과 같은 물리적 처리는 휴면타과, 발아율 증가, 발아촉진 및 생육촉진 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다

(Moon and Chung, 2000; Kim and Lee, 1998; Park et al., 2000)

이와같이 종자발아에 대한 많은 연구에도 불구하고 국내 현미의 발아율 향상을 위한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산된 현미의 발아율을 향상시키기 위하여 전기자극이 현미발아율과 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

#### 나. 이론적 고찰

현미를 전기자극에 노출시켰을 때, 전기자극 처리 효과가 현미침지 발아시 발아에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 현미의 전기자극 처리는 Function Generator (Agilent 33220A 20Mhz Functions/Arbitrary Waveform Generator)를 이용하여 현미에 자극 처리하였다. 본 연구에 사용된 함수발생기는 정현파(sine wave), 삼각파(triangle wave), 구형파(square wave), 램프파(RAMP wave), 펄스파(pulse wave) 등의 파형을 원하는 주파수와 진폭으로 발생시킬 수 있다.

현미자극처리 방법으로는 디지털 타입의 함수발생 중 펄스파(pulse wave)를 이용하였다. 이때 펄스파의 듀티 사이클은 방형파가 하이 레벨에 있을 때의 사이클당 시간을 의미한다. 그림 3-15와 같이 펄스 파형은 주기, 펄스폭, 상승 구간 및 하강 구간으로 이루어진다. 펄스 듀티 사이클은 다음과 같이 정의한다.

$$Duty\ Cycle = \left\langle \frac{Width\ of\ Pulse}{Cycle} \right\rangle \times 100$$

여기서, 펄스폭은 펄스 상승 구간의 임계값 50%부터 다음 하강 구간의 임계값 50%까지의 시간을 의미한다. 그림 3-16은 Duty Cycle이 20%일때와 80%일때의 그래프를 나타낸다.

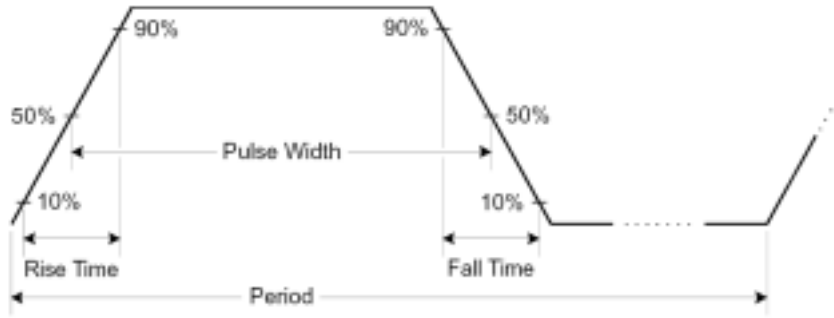


Fig. 3-15 Features of pulse waveforms

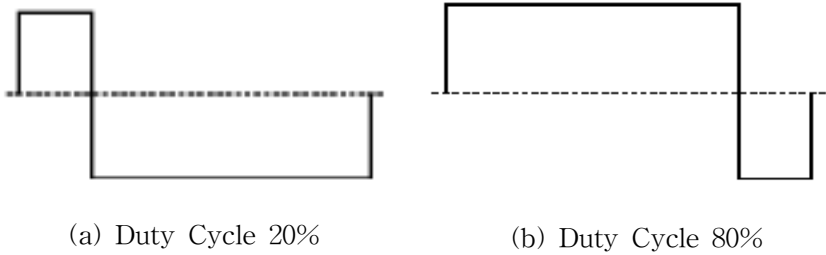


Fig. 3-16 Examples of duty cycle

## 다. 연구사

식물은 외부 자극, 즉 환경의 변화에 대해 반응하여 생리와 형태형성 유발에 영향을 받는다고 한다(Tompkins와 Bird, 1972). 접촉자극(Garner와 Bjorkman, 1966; Latimer와 Thomas, 1991; Lauren과 Bjorkman, 1977; Tanaka와 Shimaji, 1992; You와 Sang, 1997), Impedance와 Brushing(Choi 등, 1998)에 의한 물리적 자극이 줄기 직경의 증대 및 초장 억제, 그리고 음악처리(Burton, 1982; Hippe, 1984; Kirkby와 Mengel, 1967; 權, 1998; 權, 2001; Obolensky, 1953)에 의한 종자 발아 촉진, 양분 흡수력 및 생육 촉진, 체내 화학성분의 변화에서 오는 병충해 발생억제, 당도의 증가, 생체중 및 근중의 증가 등이 보고되었다. Spillane(1986)은 식물이 갖고 있는 전기적 성질이 유기적 단위인 세포가 무전기처럼 고주파를 발사하거나 흡수할 수 있는 전자기 방사체로써 전자기파에 끊임없이 영향을 받아 손으로 만지거나 바람이 불 때에도 이 자극이 식물체에 전달되며, Wane(1993)은 식물체에 가해지는 자극이 전기적 신호로 전해지면 이것이 세포내 방어기작이나 생리활성작용을 일으킬 수 있다고 한다.

John 등(1995)은 모든 생물학 유기체들이 특별한 수용체나 자각기전에 의해서 환경적이고 화학적인 신호를 자각하므로 식물 세포는 여러 가지 물리학적 자극에 대해서 막전위가 변하는 초기 반응을 보이기 때문에 식물의 뿌리에서 이온을 흡수하고 방출하는 데에는 전기적 환경이 중요하다고 하였다.

식물의 이러한 전기적 특성을 고려하여 전기를 식물의 생장과 관련지어 보려는 시도는 프랑스의 Jean Antoine Nollet와 핀란드의 Selim Lemstrom의해 이루어 졌으며, 전기처리로 발아하는 종자의 발아와 생장에 촉진적인 효과를 얻어 딸기의 수확량은 2배, 보리의 수확량은 약 35% 증가 추세를 보였고, Cocks는 무의 근경과 근장의 생장이 증가되었다(Tompkins와 Bird, 1972)고 하였다. 또한, 토양에 전기적 자극을 처리하여 적환 20일 무의 수량구성요인 및 가식부내 질산함량에 미치는 영향에 대하여 연구함으로써 식물의 생장에 미치는 전기적 자극이 채소재배에서의 생산력 증대 및 품질향상에 기여할 수 있는 기초자료를 연구하기도 하였다.

생체에 대한 전기자극의 연구는 Galvani(1939)가 개구리에 직류자극을 한 것이

시초로 그 이후부터 다양한 분야에서 연구해왔는데(이재학, 1992) 특히 통증(Je-tte, 1986; Barr 등, 1986), 관절부종(Mohr, Aker & Landry, 1987), 탈신경근(박래준, 배성수, 1992), 자세교정(Eckerson, 1984) 등에 많이 이용되고 있다. Yasuda(1953)와 Fukada (1958)는 압전기의 전기적 자극이 골조직 증식에 효과가 있다고 하였다. Basset 등(1977)은 골성장이 전기적 조절에 의해 이루어진다고 하였으며 정형 외과 영역에서 임상적으로 사용되는 분야는 비융합, 지연 융합, 장골의 pseudoarthroses 이며, 한편으로 양극부위의 부식으로 인한 조직반응이나 감염발생이 부작용으로 보고되기도 하였다. 한편 전기 자극이 치아 이동을 촉진시킬 가능성을 확인하기 위하여 Davidovitch 등(1980)과 Hashimoto(1990)는 전기 자극이 치조골 생성을 증가시키는 잠재적인 것임을 시사한 바 있으며 Kubota(1995) 등은 골은 cytokines이나 growth factor에 치유나 재생이 촉진되는 것과 마찬가지로 자연 발생하는 전기 자극에 감수성이 높은 조직임을 밝혀 치주 재생에 전기적 자극이 유용한 방법이라고 보고하였다.

Jacobs와 Norton(1976)등은 비글견의 병적 골 결손부에 nanoampere 단위의 전류를 가한 결과 임상적으로 유의성 있는 감소는 없었지만 골수강 내로 골 침착이 증가되었다고 보고하였다. Karaki(1979)는 10A의 전기 자극을 통해 개의 하악골에서 골개조가 증가하였고 수평골 결손부에서 치조골 재생을 보고하였다. Ortman 등(1992)은 개를 이용하여 치아 발거 후 전자기장 자극을 가했을 때 잔존 치조제의 흡수율이 적었음을 보고하면서 잔존 치조제의 흡수율과 치아 상실로 인한 내인성 생체 전기 신호의 변화에 관한 상관 관계를 제시한 바 있다. 하지만 전자기적 자극의 치료 효과는 명확하게 입증된 바는 없으며 전자기적인 자극이 실제로 임상적인 부착 수준의 개선이나 치조골 재생을 야기하지는 못하리라고 보고하는 경우도 있어, 보편화한 치주 치료와 함께 사용하였을 때 보다 양호한 임상적인 결과를 얻을 수 있는 방법이 되리라는 가능성은 있다고 생각한다.

Narkhede(1998)는 골형성은 어떤 생전기적 현상과 관련이 있다는 생각에 전기 자극으로 인한 임플란트 주위의 골형성의 변화를 관찰한 바 임플란트 지지골이 전기 자극에 의하여 광화를 일으키는 시간이 빠르다는 것을 밝혀낸 바 있다. 교정적인 치아 이동의 개념은 치아에 가해진 기계적인 힘에 대한 치주조직의 생물학적인



반응의 결과에 기인하는데, 기계적인 힘을 가한 골에서 전기적 신호를 양산하여 골 성장과 골개조를 유도한다는 가설은 널리 받아들여진다. 외부에서 음전하 자극이 가해지면 내부에서 골형성능이 생성된다고 보고하고 있다. 이는 적절한 전기 자극을 가했을 때 칼슘 이온의 흡수가 증가한다는 실험 보고가 뒷받침하고 있으며 조골 세포에 작용하여 세포의 증식과 호르몬의 반응을 조절한다고 하였다.

Jacobs 와 Norton(1976)은 자연 발생한 병적 골 결손부에서 골수강 내로의 골 침착을 보고하였고, Kubota(1982)는 실험적으로 형성된 수평 골 결손부에서 치조골이 재생되었음을 보고하였으며, 신생 백악질의 형성이 촉진되었다고 보고한 바 있다. 치주조직의 재생을 위해서는 치조골의 재생뿐 아니라 치주인대를 비롯한 구성하고 있는 조직이 재생되어

야 진정한 의미의 조직 재생이 이루어지는 바, *in vivo*에서 전기적인 자극이 치조골을 포함한 치주 조직에 어떠한 영향을 주는가를 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다.

Kerezoudis 등(1993)은 쥐의 하치조신경에 전기적 자극을 가한 후 하순, 치은, 하악 절치의 치수내에 혈관의 일혈 현상을 실험한 보고를 하였는데, 전기 자극을 가하면 기초 혈류량의 172%까지 증가하는데 반하여, capsaicin을 정맥 내 주사한 경우에는 치수내의 혈관 확장은 억제되고 하순의 혈류량도 58%까지 감소한다고 보고한 바 있다. 전기적 자극을 적용할 때, 조직 치유부대로 직접적인 전극을 삽입할 경우 전극의 부식이나 조직의 감염등 이차적인 조직 위해성이 또한 문제가 된다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 비침투성 생체전기치료(non-invasive bioelectrical therapy)에 대한 연구가 있었다.

Bassett(1974, 1977, 1982)은 한쌍의 전기선을 이용하여 자기장을 형성하여 전자기장을 유도하는 유도된 전자장을 이용하여 골절부를 치료하였고, Brighton(1977)은 비융합성 골절부의 피부에 금속 전극판을 위치시킴으로써 형성되는 쌍자장을 고안하여 전기 자극으로 이용한 방법을 보고하였다. Steffensen 등(1987)은 교합교정장치에 전선을 연결하여 치주치료에 부가적인 효과가 있는가를 실험하였다. 따라서 전기자극이 치수내의 신경조직과 혈관에 영향이 미친다는 사실을 확인하게 되었다.

이 외에도 전기자극 처리가 한우육의 고품질화에 관한 연구도 보고되고 있다. 한

우의 저온단축을 방지하기 위한 목적으로 전기자극으로 도체의 온도가 저온단축 온도대에 이르기 전에 glycolysis와 사후경직의 진행을 촉진시킨 후, 도체를 냉각하여 동결시키는 방법을 연구하였다. 전기자극처리는 높은 온도와 산성화에서 proteolytic(lysosomal) enzyme의 작용에 의해 일부 근섬유 구조가 파괴되므로 연도가 개선된다고 보고(Miller 등 1987)가 있으며 그 결과 도살 후 수일내에 연한 조직과 좋은 풍미의 고급육을 생산할 수 있는 가능성이 알려졌다. 신 등(1994)이 전기자극이 저장 중 한우육의 이화학적 변화와 핵산관련물질의 생성에 미치는 영향에 대한 연구가 보고되고 있다. Savell과 Smith (1979)은 도축 후 18~24시간 내에 육색을 평가하였을 때 전기자극 처리구가 무처리구보다 더 밝고 신선한 육색을 나타내었다고 하였다. 김 등(1997)과 신 등(1994)은 전기자극 처리군과 고온숙성 처리군이 대조구에 비해 숙성기간을 1~3일 이상 단축시켜 연도개선과 고기의 맛 물질 생성을 촉진시키는 결과를 가져왔으며 육색이 더 밝고 좋다고 보고하였다. 이와같이 전기자극은 육의 연화를 촉진시켜 숙성기간을 단축하는 새로운 방법으로 알려져 있다(Ho et al., 1996, 1997).

어육에서는 육의 조직감 증대를 목적으로 도입되었으며, 이것은 어육에 전기자극을 가함으로서 근육을 구성하고 있는 actin과 myosin간의 결합에 의한 ATP의 소모를 가속화시켜 사후경직을 빠르게 유도함과 동시에 경직에 의한 actomyosin toughness를 증대시키는 방법이다(Lee et al., 1995) 근육의 경직시간과 세기는 어체상태, 치사조건 및 저장온도에 따라 다르며, 이것은 상기와 같은 요인에 의하여 근소포체의  $Ca^{2+}$  수용능이 영향을 받기 때문이다. 근소포체는 근육의 수축과 이완에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있으며 근원섬유의 ATPase 활성을 조절하고 있다(Hasselback, 1964, Ebashi and Endo, 1968). 김 등(1998)은 넙치 근육 및 근소포체 미세구조의 변화에 미치는 전기자극의 영향을 보고하였다. 생선회의 육질을 개선하기 위하여 도입된 치사 전의 전기자극 전처리가 근육, 근소포체의 고조변화 및  $Ca^{2+}$ 의 이동에 미치는 영향을 구명하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 함수발생기는 그림 3-17, 그림 3-18에 나타나 있다. 함수발생기의 출력조건으로는 주파수(Frequency) 1Hz, 진폭설정 Hi-level 1V, Low-level 0V 그리고 듀티사이클(Duty Cycle)은 5%, 20%, 35%로 각각 설정하여 실험하였다. Hi-level도 각각 1V, 2V로 실험하였다. 두 전극간의 거리는 5cm로 설치하였고 그 사이에 현미를 50립 침지시켜 72시간동안 발아한 경과를 조사하였다. 실험에 사용된 시료로는 동진1호 현미를 사용하였고, 실험온도는 25℃, 상대습도는 90%의 항온항습기에서 실험하였다.



Fig. 3-17 A functional generator



Fig.3-18 The graph of waveform

본 연구에서 사용된 함수발생기의 각 주요기능은 그림 3-19에 언급하였으며, 표 3-2에 함수발생기의 일반특성을 상세하게 기술하였다.

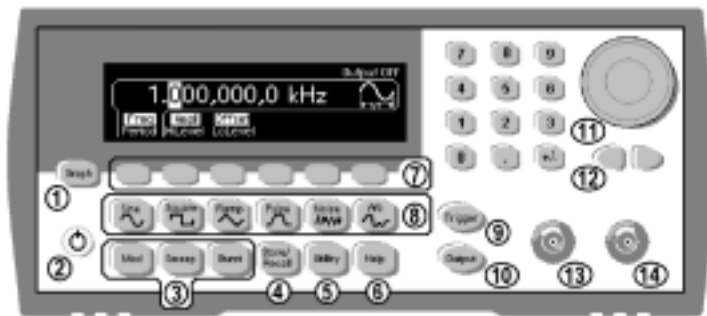


Fig.3-19 Features of functional generator

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1 Graph Mode/Local Key        | 9 Manual Trigger Key ( <i>used for Sweep and Burst only</i> ) |
| 2 On/Off Switch               | 10 Output Enable/Disable Key                                  |
| 3 Modulation/Sweep/Burst Keys | 11 Knob   |
| 4 State Storage Menu Key      | 12 Cursor Keys  |
| 5 Utility Menu Key            | 13 Sync Connector   |
| 6 Help Menu Key               | 14 Output Connector   |
| 7 Menu Operation Softkeys     |   |
| 8 Waveform Selection Keys     |   |

함수발생기의 기본사양은 표 3-2에 나타나 있다. 함수발생기를 조작하는 메뉴모드와 그래프 모드의 설명은 그림 3-20, 3-21에 언급되어 있다.

Table 3-2. General characteristics of function generator

<b>GENERAL</b>	
Power Supply	CAT II 100 - 240V @ 50/60Hz (-5%, +10%) 100 - 120V @ 400Hz (±10%)
Power Consumption	50 VA max
Operating Environment	IEC 61010 Pollution Degree 2 Indoor Location
Operating Temperature	0°C to 55°C
Operating Humidity	5% to 80% RH, non-condensing
Operating Altitude	Up to 3000 meters
Storage Temperature	-30°C to 70°C
State Storage Memory	Power off state automatically saved. Four user-configurable stored states
Interface	USB, GPIB, and LAN standard
Language	SCPI - 1993, IEEE-488.2
Dimensions (W x H x D)	
Bench top	261.1mm x 103.8mm x 303.2mm
Rack mount	212.8mm x 88.3mm x 272.3mm
Weight	3.4 kg (7.5 lbs)
Safety Designed to	UL-1244, CSA 1010, EN61010
EMC Tested to	MIL-461C, EN55011, EN50082-1
Vibration and Shock	MIL-T-28800, Type III, Class 5
Acoustic Noise	30 dBa
Warm-up Time	1 hour
Warranty	1 year

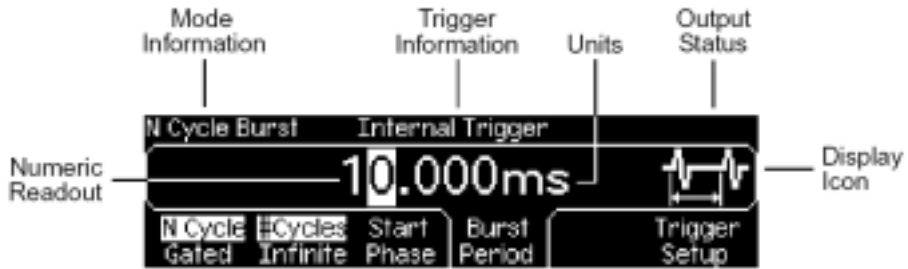


Fig.3-20 The display of menu mode in the function generator

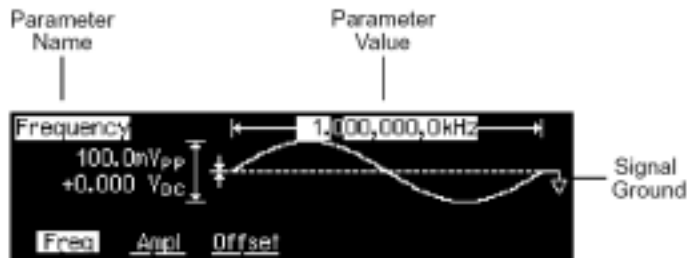


Fig.3-21 The display of graphic mode in the function generator

### 3. 결과 및 고찰

출력함수 중 Pulse과로 주파수 1 Hz, Hi-level 1V, 2V, Low-level 0V, 듀티사이클 5%, 20%, 35%로 각각 실험한 결과 Hi-level 1V, 듀티사이클 5%일때 발아율과 발아성장 촉진효과에 영향이 있는 것으로 나타났다.

그 결과 그래프는 그림 3-22, 3-23과 같다. Hi-level 2V, 듀티사이클 20%일때와 35%일때의 각 처리간에는 큰 차이를 보이지 않았으며 오히려 시간이 지나면서 현미발아의 색상품질과 발아성장촉진에 역효과를 나타내었다.

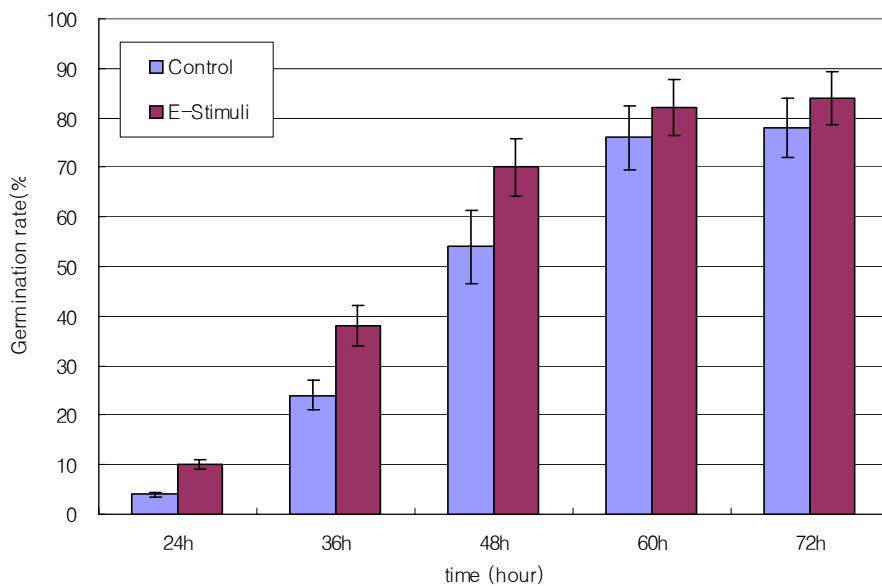


Fig.3-22 The effects of electrical stimuli on the germination rate of brown rice under the pulse output(H:1V, L:0V, Duty Cycle : 5%)

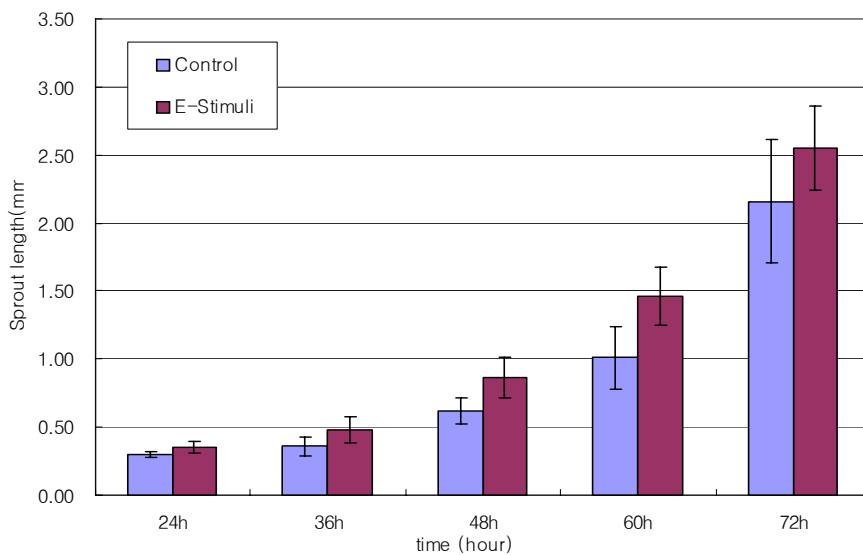


Fig.3-23 The effects of electrical stimuli on the sprout length of brown rice under the pulse output(H:1V, L:0V, Duty Cycle : 5%)

#### 4. 요약 및 결론

전기자극이 현미의 받아들음과 성장촉진에 미치는 영향을 관찰하기 위해 펄스타입의 출력전압과 듀티사이클의 세가지 조건에 따른 변화를 관찰한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 출력전압이 1V이상 현미에 직접적으로 자극을 주었을 때 색상품질 효과와 받아들음, 성장촉진 등에 역효과를 초래하였다.
2. 주파수 1Hz, 진폭설정 Hi-level 1V, Hi-level 2V, Low-level 0V, 듀티사이클 5%, 20%, 35%로 각각 실험한 결과 Hi-level 1V이상에서 듀티사이클을 5% 이상으로 설정하였을 때 색상품질 효과와 받아들음, 성장촉진 등에 역효과를 초래하였다.
3. 두 전극간의 거리를 5cm로 두고 그 사이에 현미를 침지시킨 후 72시간동안 실험한 결과 주파수는 1Hz, 진폭설정으로는 Hi-level 1V, Low-level 0V, 듀티사이클 (Duty Cycle)은 5%로 설정하였을 때 색상품질 효과와 받아들음, 성장촉진 등에 가장 효과가 있었다.

## 제 3 절 전기장 처리가 현미발아에 미치는 영향

### 1. 서론

#### 가. 연구배경 및 목적

식물종자는 발아가 진행됨에 따라 생리적 활성이 증대되고 성분의 변화가 일어난다. 그러므로 식물종자의 발아에 의한 생리활성 물질 및 구성성분들의 유효도를 극대화하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이에 국내 종자(현미)의 생산량을 확대시키기 위해서는 발아율과 초기생육을 향상시킬 수 있는 새로운 방법의 개발이 절실히 요구되고 있다. 지금까지 종자의 발아율 향상에 영향을 미치는 다양한 인자의 규명은 물론 물리 및 화학적 처리방법을 활용하여 종자의 발아를 촉진시키기 위한 연구들이 활발히 진행되어 왔다. 또한 저선량 방사선, 자기장처리 및 온도처리 등과 같은 물리적 처리는 휴면타파, 발아율 증가, 발아촉진 및 생육촉진 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 현미발아율을 향상시키기 위하여 전기장이 현미발아율과 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 전기장처리를 이용한 현미의 생리활성 기술을 개발하여 현미발아와 성장을 촉진하게 하고, 부패발생 제거로 인한 품질을 향상시킬 수 있는 기술을 개발하고자 한다.



## 나. 이론적 고찰

전기장 발생장치에서 생성되는 전기력의 세기는 쿨롱의 법칙을 따른다. 두 전하가 있을 때 다른 종류의 전하는 흡인력이 작용하고, 같은 종류의 전하는 반발력이 작용하며, 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 두 전하의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 전기장은 공간의 모든 위치마다 벡터함수가 대응하는 벡터장이다. 그래서 주어진 전기장에 대해 알기 위해서는 공간의 각 위치에 대응하는 전기장의 크기와 방향이 무엇인지 알아야 한다. 전기장은 미리 공간에 놓여있는 전하가 만든다. 이렇게 공간에 분포되어 있는 전하의 양과 그 전하가 분포된 모양에 따라 서로 다른 전기장이 만들어진다. 전기장은 전하가 힘을 받는 공간이라 정의할 수 있다.

전기장에 의해 생물에 미치는 영향은 전기장의 세기, 적용과장 횟수(pulse number) 또는 공간체류시간에 따라 달라진다. 뿐만 아니라 전기장을 구성하는 과장의 모양, 진폭주기, 생물의 특성에 따라 생물에 미치는 효과는 상이하게 나타난다. 전기장의 세기는 대개  $10\sim 100\text{kV/cm}$ , 진동시간(pulse width)은  $1\sim 100\mu\text{s}$  범위에서 이루어지며 생물의 종류와 양 그리고 전기장의 세기와 밀접한 관계가 있다.

## 다. 연구사

1960년대 Gossling은 미생물을 불활성화시키는데 전기장을 이용할 것을 처음으로 제안하였으며, 이후 1960년대 Doevenspeck, Sale과 Hamilton등에 의해 전기장이 미생물의 사면에 미치는 영향에 대한 연구가 시작되었다. Doevenspeck은 1960년대 초에 전기장의 세기에 따라 전기장이 미생물에 미치는 영향이 다르게 나타나는 것을 발견하였으며 1960년대 후반에 Sale과 Hamilton은 약  $25\text{kV/cm}$ 이상의 직류 전기장에 의해 세균과 효모가 사멸되며, 미생물의 종류에 따라서 그리고 전기장의 세기나 처리시간 등에 의해 영향을 받는 것으로 보고하였다. 1980년대가 되면서 Zimmerman등에 의해 전기장 내에서의 미생물의 특성이나 전기장에 의한 미생물의

변화에 대한 기본적인 이론이 보고되었다.

Hulshleger등은 약 20kV/cm의 전기장 세기로 수 millisecond 처리하였을 때 대부분의 미생물이 99.99%이상 사멸된다고 보고하였으며, 이러한 사멸효과는 전기장의 세기, 펄스의 길이, 펄스 수에 따라 영향을 받는다고 하였다. 또한,  $Ca^{2+}$ 나  $Mg^{2+}$ 와 같은 2가 양이온이 미생물의 사멸 속도에 영향을 줄 수 있다고 하였다.

Mizuno와 Hori도 약 20kV/cm의 전기장 세기로 160  $\mu$ s 처리를 하였을 경우 미생물을 불활성화 시킬 수 있다고 하였으며, 아아크(arc) 방전에 의한 유해물질의 생성으로 식품의 안전성에 문제가 있을 수 있다고 지적하였다. 최근 보고에 의하면 외부의 전기장과 자기장이 생물체내 세포의 이온과 유극성 물질을 활성화시키므로 전기장과 자기장을 처리하면 종자의 발아율이 향상되고 농작물의 질병에 대한 저항이 증가된다고 보고되고 있다 (Moon and Chung, 2000; Park et al, 2000).

Chai and Kwak(2005)에 의하면 전기장을 처리한 양과종자의 발아율은 무처리군에 비해 6~10% 증가하였으며, 특히 10kV 처리구에서는 86%로 가장 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 자기장을 처리한 양과종자의 발아율은 73~88%이었으며, 4 Gauss 처리구에서 가장 높게 나타났다. 전기장 또는 자기장 처리는 종자 내의 단백질과 효소의 활성을 촉진하여 발아율이 증각되는 것으로 알려져 있지만 (Park et al., 2000) 그 작용기작은 아직까지 정확히 밝혀지지 않았다.

Moon and Chung(2000)에 의하면 토마토 종자에 전기장 또는 자기장을 처리하면 처리강도와 처리시간에 따라 발아율이 다르게 나타났으며, 8~10kV에서는 30~45초, 3~10 Gauss에서는 60초가 가장 발아율이 높은 것으로 보고하였다. Lee et al.(1998)은 저선량 감마선을 고추종자에 처리하면 100~400 rad 조사구에서는 발아율과 생육이 촉진되었으나 2400 rad 이상에서는 억제되었다고 보고하였다. 이러한 연구결과를 보면 종자의 전기장 처리는 10kV에서 30초, 그리고 자기장 처리는 4 Gauss에서 60초동안 처리하는 것이 가장 적절한 것으로 보고하고 있다. 전기장 또는 자기장 처리에서 총 조사량 또는 노출량이 발아율에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

현미발아율을 향상시키기 위한 방법으로 프라이밍(Priming)처리가 발아에 미치는 영향에 대한 연구도 많이 보고되고 있다. 프라이밍이란 수분압이 조절된 용액에 종

자를 침지시켜 갑작스런 수분흡수로 인한 침지장해를 줄이고, 종자가 발아에 필요한 생리적인 준비를 갖추게 함으로써 발아속도, 발아의 균일성을 향상시키는 기술이다(강 등 1997). 주로 polyethylene glycol(PEG)와 같은 화학적으로 불활성이고 물에 잘 용해되는 물질을 물과 혼합하여 일정온도와 기간동안 처리하는 방법을 많이 이용하고 있다. 특히 딸기종자는 트레이에 파종할 경우 발아기간이 상온에서 보통 20일 소요되기 때문에 발아에 상당한 기간이 소요되며 발아가 불균일하고 발아율도 낮다.(노 등 2004) 또한 프라이밍 종자의 저장수명은 프라이밍 후 저장기간과 저장온도, 종자활력, 프라이밍 처리기간 및 처리제 등에 영향을 받는다(강 등 1996). 일반적으로 많이 사용되는 프라이밍 물질은 PEG, NaCl, KNO<sub>3</sub>, K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> 등의 무기염류 용액 등이 이용되기도 한다.

종자의 발아력을 향상시키는 방법 중 호르몬처리(Karssen, 1995), 유근을 출현시키지 않고 발아 잠재력이 증강시키는 Priming처리(Dahal등, 1990; Kang등 1999, Khan 1992)와 Solid matrix priming(Madakadze등 1993), 화학적 파상처리(Hemmat 등 1985, Khan등 1973, Potter등 1984) 및 유기용매 처리(Persson 1993)등이 보고되고 있다. 또한, 물을 이용한 Hydropriming은 처리가 간편하고, 처리비용이 저렴하여 손쉽게 적용될 수 있는 장점이 있다(Hujikura등, 1993, Moon등 1999). 이와 유사한 종자처리는 물에 종자를 침지시켜 유근이 1~2mm정도 신장되도록 최아처리(pregermination, chitting)가 있다.

Khan등(1983)은 priming 처리과정 중 산소를 공급하면 종자에 있는 발아억제 물질이 불활성되거나 종피 밖으로의 배출이 촉진되어 발아가 촉진된다고 하였다.

이와 같은 결과를 볼 때, 종자의 전기장 및 자기장 처리는 총 조사량 또는 노출량이 발아율 및 식물생육에 효과적인 방법으로 판단된다. 본 연구에서는 현미발아율을 향상시키기 위하여 전기장이 현미발아율과 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험장치

본 연구에 사용된 고전압 발생장치는 그림 3-24에 나타나 있으며 표 3-3에 상세 내용이 있다. 고전압 발생장치는 입력전원부(AC 220V)와 전압변환부 (Switching Mode Power Supply), 고전압 전원부(High Voltage Power Supply), 출력전압 조절부(Output Voltage Controller), 출력전압 표시부(Display Unit)로 구성된다. 입력전원부는 일반전원인 단상교류전압 220V를 사용하며, 전압변환부는 220V 교류전압을 직류전압 24V로 변환해준다. 변환된 전압은 DC 24V이고 전류는 1.5A이다. 고전압 전원부는 변환된 24V 직류전압을 증폭하여 고전압을 발생시키는 장치로 최대 출력전압은 40kV이고 최대출력 전류는 3mA이다. 출력전압 조절부는 0V에서 40kV까지 고전압 출력을 조절할 수 있다.



Fig.3-24 The apparent of A DC high voltage generator for the germination treatment of brown rice in the electrical field(left) and the sample container(right)

Table 3-3. Specification of DC high voltage generator

Model	CPS-40K03VIT
Input Voltage	AC 220V 60Hz $\pm$ 10%
Output Voltage	0~40kV
Output Current	0~3mA
Output Distribution	1ch or 5ch
Ripple	0.05% (Maximum output)
Size	405(W) x 500(D) x 190(H)

본 연구에 사용된 고전압 발생장치의 전면 및 후면의 주요기능은 다음과 같다.

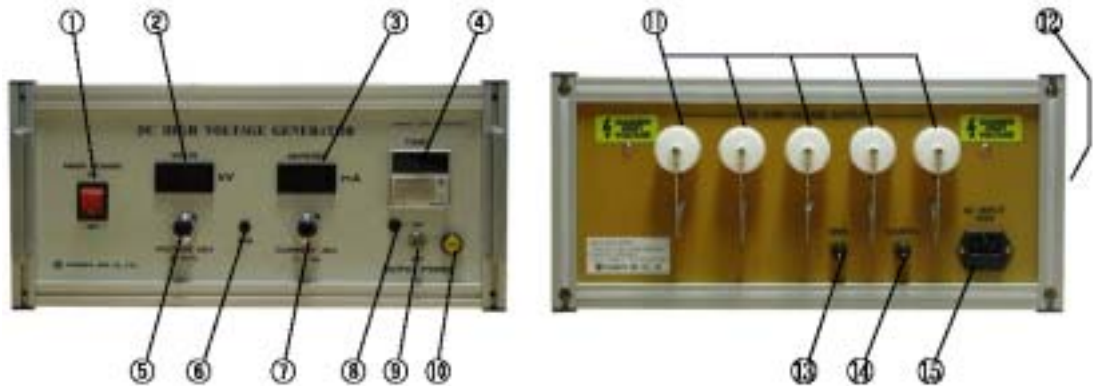


Fig.3-25 The main functions and features of DC high voltage generator

1. 전원스위치 : 장비의 주 전원 스위치
2. Digital volt meter : 출력전압 표시
3. Digital ampere meter : 출력전류 표시
4. Timer : 고압출력을 ON/OFF 제어하기 위한 타이머
5. Voltage Adj. : 출력전압 조절기.
6. DVP 램프 : 출력의 드롭상태를 표시하기 위한 램프.
7. Current Adj. : 출력전류 조절기.
8. 고압출력 상태표시 램프 : 점등시 설정전압이 출력되고 있는 상태
9. Output power ON/OFF 스위치 : 고압출력을 ON/OFF 하기 위한 스위치

10. Timer start 스위치 : 타이머 카운트 시작 스위치
11. 고압출력단자 (+) : DC high voltage 출력의 + 단자
12. 냉각 Fan : 내부공기를 외부로 방출하여 장비내부의 온도를 일정하게 유지하기 위한 Fan
13. GND(-)단자 : DC High voltage 출력 단자
14. Earth단자 : 안전사고 방지를 위한 접지 단자
15. AC Power inlet : 장비에 AC전원을 공급하기 위한 전원 투입구  
(Fuse : AC250V/5A)

#### 나. 실험방법

현미를 고압의 직류 전기장에 노출시켰을 때, 전기장 처리효과가 현미침지 발아 시 발아에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 현미에의 전기장처리는 직류고압발생기(CPS40KO3VIT, Range : 0~40kV, Chungpa EMT Co., Korea)를 이용하여 처리하였다. 직류전압은 30kV를 사용하였으며 처리시간은 2.5, 5.0, 7.5, 10min로 각각 설정하였다. 그리고 단열처리된 두 전극판간의 거리는 2cm로 하였다. 시료로는 동진1호 현미를 사용하였으며, 전기장 실험시 온도는 25℃, 상대습도는 80%이었다.

### 3. 결과 및 고찰

전기장 처리가 현미발아에 미치는 영향으로, 30 kV의 직류전압으로 현미시료에 2.5, 5.0, 7.5, 10분 각각 전기장 처리한 결과, 현미의 발생에 미치는 영향은 그림 3-26와 같았다. 현미의 발아길이가 1mm가 되기 전에 각 처리간에 큰 차이를 보이지 않았으며 시간이 지나면서 10, 7.5, 2.5, 5분순으로 현미발아에 영향을 주었다. 일반적으로 전기장처리는 현미발아를 촉진하는 것으로 알 수 있었다.

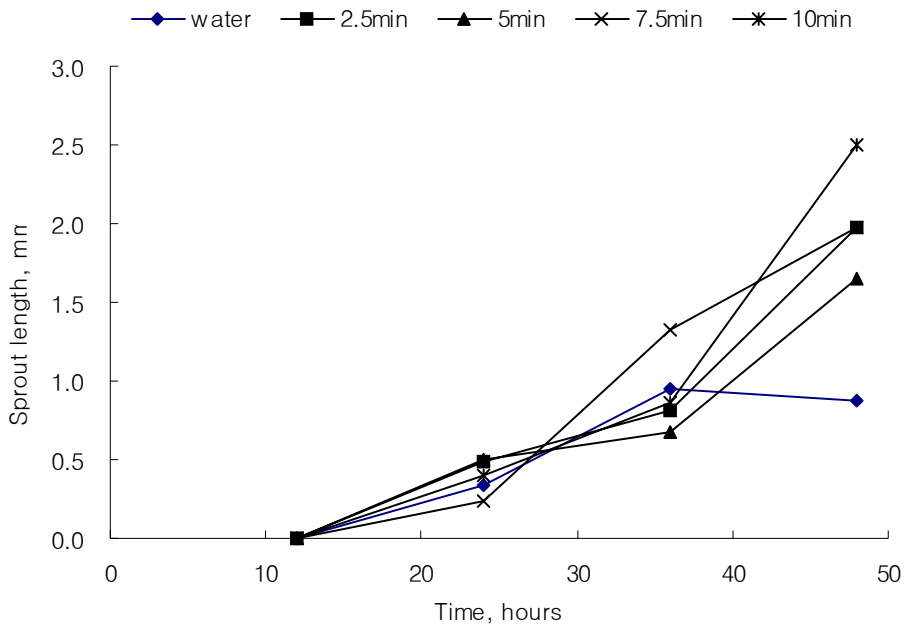


Fig.3-26 The effect of static electrical field on the germination of brown rice under the constant temp. & humidity chamber of 25°C and 80%

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 현미를 고압의 직류 전기장에 노출시켰을 때 전기장 처리효과가 현미침지 발아시 발아에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단열처리된 두 전극판간의 거리를 2cm로 설치하고 30 kV의 직류전압으로 현미 시료에 2.5분, 5.0분, 7.5분, 10분 각각 전기장 처리한 결과, 현미의 발생에 미치는 영향은 10분, 7.5분, 2.5분, 5분순으로 현미발아에 영향을 주었다. 이는 전기장처리가 현미발아를 촉진하는 것으로 알 수 있었다.
2. 실험결과 현미의 발아길이가 1mm가 되기 전에는 전기장처리가 각 처리간에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.



## 제 4 절 침지발아시험에서의 미생물 발생

### 1. 서론

#### 가. 연구배경 및 목적

인간이 생활하는 환경에는 많은 종류와 양의 미생물이 존재하고 있다. 이러한 종류와 양은 인간의 생활전체로부터 모든 미생물을 배제하는 것이 불가능할 정도로 많다. 또한 미생물은 토양, 물, 공기, 많은 생물중에서 활발하게 증식을 반복하며, 지구상의 생물체에 대해 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 이러한 환경중에서 생산되는 식품에는 당연히 미생물이 존재한다. 일반적으로 시판되고 있는 일상식품에 항상 존재하는 평균 생균수는 1g당  $10^3$ - $10^5$ 개, 많은 것에는  $10^7$ 개에 달하고 있다. 이러한 일반 식품에는 일정량까지의 미생물이 존재하는 것이 보통이며, 존재가 극히 적은 것은 특수한 가공 조건하에서 제조된 것, 예를 들면, 살균한 통조림 등으로 제한된다.

미생물은 적당한 조건하에서 증식하며, 무리를 지어 생존한다. 이러한 군생을 미생물군(Microflora)라고 부른다. 식품중에 존재하는 미생물은 당연히 식품과 함께 섭취된다. 따라서 식품중에 존재하는 종류와 양이 일상적으로 존재하는 수준으로 존재한다면 문제는 발생하지 않는다. 대부분은 위내의 염산에 의해 불활성화되기 때문이다. 또한 위산에 저항성을 가지는 것도 있지만 이들은 십이지장에서 담즙산에 의해 증식이 저지되며 그 후 소장 에 이른다. 여기에서는 장내 세균의 미생물군이 존재하고 있어 이들에 의해 제거될 수도 있다. 결국, 식품중의 미생물은 살균되어 제거된다. 따라서, 식품중의 미생물이 증식 발현할 가능성은 대단히 적다. 그러나, 식품중의 미생물의 양이 일정량을 초과하면 식품은 변질된다. 이 변질예방을 목적으로 식품가공을 행하고 있으며, 발효식품의 제조가 이러한 목적으로 행해지고 있다. 발효가 목적이 아닌 경우에는 과량의 미생물에 의한 부패 등으로 인해 식용 불가능하게 변질되며, 병원미생물이 혼입, 증식한 경우는 식중독의 원인이 된다.

본 연구에서는 현미의 발아 과정 중 미생물 오염을 줄일 수 있는 방법에 관한 것이다. 이를 위해 수중에 현미를 침지시켜 발아시키는 침지형 발아시험장치를 제

작하여 실험하였다. 이와 같이 현미 발아 중 대장균을 비롯한 일반 미생물의 성장을 제어하고 발아율과 현미의 영양소에 영향을 미치지 않게 함으로써, 현미를 이용하는 비가열 식품의 미생물학적 안전성을 확보하고, 기존의 제품에 안전성을 부여하여 소비자층을 확대시킬 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

#### 나. 미생물의 증식에 영향을 주는 인자

식품중의 미생물군(microflora)이 증식하는 것은 식품의 품질에 변화가 진행되고 있음을 의미한다. 이에, 미생물의 증식에 영향을 주는 인자들을 알아보고자 한다. 식품의 부패는 온도, 수분, pH, 침투압, 산소와 산화환원전위, 영양분 등에 의해 영향을 받는다.

##### ① 온도

미생물은 발육 최적온도에 의해 고온성균, 중온성균, 저온성균으로 표 3-4와 같이 분류될 수 있다. 저온성균은 일반적으로 0℃에서 2주간내에 증식하는 세균을 말하며, 최적온도는 일반적으로 15~25℃로 대표적인 수중세균인 Pseudomonas, Acromobacter, Flavobacterium 등이 여기에 속한다. 또한, 발육 최적온도가 20℃이하인 경우를 특히 호냉균이라고 부른다. 중온성균은 최적온도는 25~40℃이며, 사람의 병원균은 37℃ 부근이다. 고온성균의 최적온도는 50~60℃이다.

Table. 3-4 The relation between proliferation of microflora and temperature

	발육가능온도(℃)	최적온도(℃)	종 류
고온성균	40~70	50~60	Bacillus, Coagulance, Clostridium, Thermosaccharodieum
중온성균	10~45	25~40	고초균, 대장균, 곰팡이, 효모, 병원균
저온성균	0~30	15~25	Pseudomonas, Acromobacter 등의 수중세균

식품은 0~60℃의 온도범위에서는 항상 미생물의 증식이 가능하다. 우리 주위의 환경은 보통 5~35℃의 범위에 있으며, 겨울철에는 난방을 하기 때문에 15~30℃의 경우가 많다. 이러한 온도 범위는 저온성균, 중온성균의 증식 범위이므로 일상식품은 5~0℃에 넣어 두어야 한다. 이 경우 중온성균의 증식은 억제되겠지만 호냉균이나 저온성균은 서서히 증식을 시작한다. 또 냉장고에 설치되어 있는 냉동실에 식품을 넣어 둔 경우, -20℃에서도 증식할 수 있는 세균, -34℃에서도 증식 가능한 효모균이 있으며, -5~-7℃에서는 8.5~11.5일의 분열시간을 가지는 세균의 존재도 알려져 있으므로 이들이 항상 존재하는 세균은 아닐지라도 냉동식품을 장기 보관하는 것은 문제가 있다. 고온성균은 50~60℃에서도 증식하기 쉽기 때문에 식중독균이나 전염병을 억제할 수 있는 열장고(熱藏庫)로도 이러한 균의 증식을 막을 수 없다.

## ② 수분

식품의 수분함량은 부패와 가장 깊은 관계가 있으며, 함수량 60%까지는 액상식품과 마찬가지로의 속도로 미생물이 자유로이 증식한다. 미생물의 증식에 이용될 수 있는 수분을 자유수라고 하며, 전체의 수분량에 대한 자유수의 비율을 수분활성이라고 하며, 미생물의 증식에 필요한 수분활성은 그 종류에 따라 다르다. 특히, 아포와 포자의 증식에는 보다 높은 수분활성이 요구된다. 포도상구균은 호기적 조건에서는 0.85~0.86의 낮은 수분활성에서도 증식하지만, 혐기적인 조건에서는 0.90에서도 증식이 억제된다.

## ③ pH

부패세균의 대부분은 pH 5.6~9.0에서 증식하지만, 최적 pH는 6.5~7.6이다. 대부분에 식품도 pH 6.0~7.6 부근이므로 균의 증식에는 최적이라 할 수 있다. 단, pH 5.0이하의 산성식품의 경우는 예외이며, 유산균류, 초산균, 낙산균, 진균류의 최적 pH는 4~5이다. 그러나, 세균아포는 산성환경하에서는 발육하기 어렵다. 과일이나 아스파라가스 등의 산성통조림이 100℃ 이상에서 살균하지 않은 것은 제품으로서의 문제가 있다.

#### ④ 침투압

미생물은 증식 또는 생존에 적절한 침투압의 범위가 있다. 그 범위보다 낮으면 세포는 파열되고 높으면 세포내부의 수분이 반투막 현상으로 빠져나가 세포질이 수축하여 증식할 수 없게 된다. 일반적으로 침투압은 식염 등의 염류나 설탕 등의 당류의 존재에 의해 변화한다. 일반 세균은 3% 정도의 식염으로 증식이 억제되지만 어떤 것은 어느정도의 식염이 없으면 오히려 증식하지 않는 세균도 있다. 이것을 호염균(好鹽菌)이라고 한다. 또한 식염이 없어도 증식하며, 8~10%의 식염농도에서도 증식할 수 있는 균을 내염균(耐鹽菌)이라고 한다. 부패세균은 병원균보다 일반적으로 식염내성이 강하고, 식염농도 10% 전후에서 발육이 억제된다. 효모는 내침투압성 효모를 제외하면 6~8%이상의 식염농도에서 억제되며, 곰팡이는 식염에 대한 내성이 강하여 20~30%농도에서도 발육하는 것이 있다.

#### ⑤ 산소와 산화환원 전위

미생물은 증식에 필요한 산소 요구성에 따라 다음 3 종류로 나눌 수 있다. 즉, 호기성균이란 산소가 존재하는 조건에서만 증식할 수 있는 세균을 말한다. *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, 곰팡이류 등이 있다. 통성 혐기성균은 산소가 있어도 없어도 증식 가능한 세균을 말하며, 일반적으로 산소가 존재하는 편이 증식이 양호하다. 장염 vibrio, 포도상구균, 대장균, 살모넬라 등이 있다. 마지막으로, 편성 혐기성균이란 산소가 없든지, 있더라도 극히 미량일 경우에만 증식할 수 있는 세균이며, *Clostridium*, *Bacterides*, *Bifidus*균 등이 있다. 식품 중에는 유리산소의 존재여부, 산화환원전위에 의한 부패균의 증식에 있어서 다른점이 관찰된다. 유리산소가 많거나, 산화환원전위가 높은 식품에서는 호기성균이, 그렇지 않은 식품에서는 혐기성균이 증식하기 쉽다.

#### ⑥ 영양소

미생물은 그 발육에 필요한 영양소의 요구성에 따라 독립영양균과 종속영양균으로 나눌 수 있으며, 전자는 무기물만으로도 발육이 가능하며, 후자는 유기물이 없으면 발육하지 못한다. 효모, 곰팡이는 독립성이 강하며 세균은 종속성이 강하다. 영양소로서

는 첫째, 탄소원이 중요한데 병원균이나 일반세균은 탄소원으로서 이산화탄소를 이용할 수 없으며, 다만 유기물을 필요로 한다. 주로 에너지원으로 이용되는 탄수화물, 특히 포도당, 유기산, 알코올, 지방산 등이 있다. 둘째로 필요한 영양소는 질소원으로서, 종속영양균 중에는 암모니움염을 이용하는 균부터 1종류 또는 다종류의 아미노산을 요구하는 균까지 다양하다. 단백질 분해 능력을 가지는 균은 균체외에도 프로테아제를 분비하여 펩타이드나 아미노산으로 분해한 후 균체내에 흡수하여 이용한다. 셋째로 필요한 영양소로서 비타민을 들 수 있다. 어떤 종류의 세균은 탄소원, 질소원 등이 있어도 미량의 발육인자를 요구하는 균이 있다. 일반적으로 발육인자로서 나이아신, 비타민 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, 판토텐산, 비오틴, 엽산 등이 있다. 마지막으로, 무기질은 S와 P에 대한 요구가 일반적이지만, 그외 미량 무기질로서 Mg, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo 등이 있다.

## 다. 연구사

식품에서 초기 미생물 억제와 생육향상을 위한 방법으로 저온 또는 냉동처리나 화학침지(Adelmo et al., 1993), 열처리(Kim et al, 1993), pH의 조절(Howard et al, 1994), 수분활성도 조절(Thomas et al., 1986), CA(controlled atmosphere)저장(윤, 1991)등의 방법이 널리 사용되고 있으며, 이 중 가장 일반적으로 사용되고 있는 방법이 냉장 및 냉동법인데, 이는 저온처리하여 식물조직의 호흡 및 효소작용을 억제시켜 품질저하를 억제하므로 저장기간을 연장시키는 효과를 가져다주는 방법이며, 이에 반해 열처리방법은 내용물을 열처리를 함으로써 미생물을 제어하여 품질을 유지시키는 방법이 있다. 또한, 종자의 발아조건에는 수분 및 온도가 필수조건으로 이는 종자발아시 호흡으로 인한 종피의 파열과 유식물의 성장개시로 인하여 발아가 이루어지는데, 이때 종피의 파열을 위해서는 수분흡수와 적당한 온도가 유지되어야 정상적인 유식물로의 성장을 개시할 수 있다. 따라서 종자가 발아를 하고 원활한 성장을 하기 위해서는 초기의 발아조건과 환경조건이 잘 맞아야만 되는데, 콩나물의 경우에서도 종자를 발아시켜 그 싹을 이용하는것으로부터 초기발아 및 미생물의 제어가 중요한 요인중의 하나이다(배경근 et al, 2002)

Naito S 등(1998)은 오존이 공기나 산소를 원료로 하여 비교적 용이하게 생성시킬 수 있으며 일정기간이 경과하면 산소로 환원되어 2차 오염물을 남기지않은 장점이 있다고 보고하였다. 식품산업에서의 오존은 제조공정상의 미생물제어, 유통과정에서의 신선도를 유지, 곡류, 두류 등의 식품원재료의 잔류농약 분해 등에 사용할 수 있으며 식품제조 용수 중의 중금속 산화, 유기물의 분해 등에 적용할 수 있다 (김광연, 1993). 오존에 의한 미생물의 살균은 미생물의 세포벽을 파괴하거나 세포막에 침입하여 DNA를 파괴하는 등의 살균 메카니즘을 갖고 있어 세균의 세포막을 통과하여 흡수계 효소를 손상하여 세포의 동화작용을 정시켜 살균하는 염소계 약제에 비해 살균속도가 매우 빠르다(김광연, 1993). 특히 식품산업에서 오존의 사용은 식품의 표면 부패미생물의 살균 및 증식억제에 따른 식품의 부패, 변패의 제어효과가 있으며 이에 관한 연구가 일부 보고(곽이성, 1996)되고 있으나 오존처리에 의한 미생물 제어의 연구는 부족한 실정이다.

권 등(1995)은 오존처리가 미생물의 증식에 미치는 영향을 조사하였다. 0.4~1.0g/l의 benzoic acid와 sorbic acid를 각각 첨가시에는 모든 미생물의 증식이 완전히 저해되었으며 sodium benzoate는 penicillium islandicum에 대해서만 효과가 있었다. 평판상에 오존처리한 결과, pseudomonas aeruginosa는 60분, 그 외의 세균은 10-20분의 처리시에 균주의 증식이 완전히 저해되었고 aspergillus flavus와 penicillium islandicum은 60분간 처리시에도 생존하였다. 현탁액속에서 10분간의 오존처리는 대부분의 세균을 불활성화하였으나 곰팡이에는 효과가 없다고 보고하였다.

Gossling(1960)은 미생물을 파괴시키기 위하여 처음으로 고전압 펄스를 이용할 것을 제안하였다. Zhang(1994) 등은 70kV/cm의 세기로 E.coli를 9 log cycle만큼 감소시킬 수 있었다고 하였으며, Zhang(1994) 등은 광섬유 온도센서로 처리용기 내의 온도를 조절하여 고전압펄스 전기장에 의한 미생물의 불활성화는 비열처리임에 입증하였다. 일반적으로 효모의 불활성화가 세균보다 용이하며, 대수증식기의 세포가 정지기나 유도기 상태의 세포보다 불활성화가 용이하다.

Castro(1991)등과 Mataumoto(1991)등은 고전압펄스가 Bacillus subtilis포자를 불활성화시키지 못한다고 하였으며, Murata(1992)는 효모포자는 고전압펄스에 의해서 쉽게 파괴되지만 박테리아 포자의 경우에는 치사효과를 관찰하지 못했다고 보고하였다. 그러나 5.4kV/cm의 세기로 900 $\mu$ s동안 처리하면 Bacillus subtilis포자 표면에 약간의 흠집이 생기고 포자 내부의 성분이 작게 부서지는 현상을 TEM사진에 의해서 관찰할 수 있었다. Zhang(1998) 등은 초음파처리로 포자를 발아시킨 후 30kV/cm의 고전압 펄스처리를 함으로서 Bacillus subtilis포자를 90%이상 사멸시킬 수 있었다고 보고하였다.

## 2. 재료 및 방법

수중에 현미를 침지시켜 발아시키는 침지형 발아시험장치를 그림 3-27과 같이 제작하였다. 수온은 히터와 냉각기에 의해 자동 조절되며 물은 12시간 간격으로 교체하였다. 살균을 위해 corona 오존발생장치를 제작해 수조에 설치하였으며 10단계로 오존농도를 조절하도록 하였다.

침지발아 실험장치를 이용해 처리에 따라 공정중에 발생하는 붉은 반점의 미생물 발생을 분석하는 실험을 실시하였다. 처리로서는 수조내에 공기를 공급하는 방법과 수조내에 오존을 공급하는 방법을 사용하였으며, 현미를 담은 용기는 플라스틱과 모기망을 사용하여 부유물질의 이물질과 미생물의 붉은 반점 발생을 분석하였다.

실험 조건은 다음과 같다.

- 1) 현미 60kg씩 2개 수조에 분산하여 침지하였으며, 침지량당 3kg씩 투입하였다.
- 2) 수조내 물은 24시간 간격으로 교체하였다.
- 3) 수중 발아시간은 각각 60시간으로 하였다.
- 4) 붉은 반점의 발아현미는 20kg중의 시료를 도화지에 펼쳐 붉은 반점을 육안으로 검출하였다.



Fig.3-27 A soaking experimental apparatus for germination of brown rice



### 3. 결과 및 고찰

발아현미 침지실험에서의 미생물 발생에 대한 오존의 효과로서, 침지실험 결과 발아현미의 천립중은 19.95g/천립이었으며, 부유물질의 이물질과 붉은 반점은 표 3-5와 같았다. 이같은 결과를 볼때, 공기공급과 오존공급(2단계 수준)의 2처리에서는 별 차이는 보이지 않았고, 단지 시료를 플라스틱 용기보다 모기망에 담았을 경우 부유물질이 소량 발생하였고, 붉은 반점의 미생물도 0.75-1.00ppm으로 감소하였다. 이 붉은 반점 발생비율을 줄이기 위해서 수조내 물의 교체시간을 약 12시간으로 줄여서 침지 발아실험을 한 결과 거의 0 ppm에 가까울 정도 붉은 반점을 찾아볼 수 없었다.

Table 3-5. Rate of microorganisms occurred in the soaking apparatus of brown rice germination according to treatments.

처리	시 료 용 기 종류	조사 물질	결과	반복1	반복2	반복3	반복4	소계	평균 (ppm)
수조내 공기 공급	플 라 스틱	부유물질	다량발생						
		붉은반점	3.75ppm	2	3	6	4	15	3.75
	모기망	부유물질	소량발생						
		붉은반점	0.75ppm	1	0	1	1	3	0.75
수조내 오존 공급	프 라 스틱	부유물질	다량발생						
		붉은반점	3.25ppm	2	2	5	4	13	3.25
	모기망	부유물질	소량발생						
		붉은반점	1.00ppm	0	1	2	1	4	1.00

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 침지발아 실험장치를 이용해 처리에 따라 공정중에 발생하는 붉은 반점의 미생물 발생을 분석하는 실험을 실시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수조내의 공기공급과 오존공급 처리는 미생물 발생을 억제하는데 효과가 없는 것으로 나타났다.
2. 시료를 플라스틱 용기보다 모기망에 담았을 경우 부유물질이 소량 발생하고, 붉은 반점의 미생물도 0.75-1.00ppm으로 낮게 나타났다. 붉은반점 발생비율을 줄이기 위해서 수조내 물의 교체시간을 약 12시간으로 줄여서 침지 발아실험을 한 결과 거의 0 ppm에 가까운 정도로 붉은 반점을 찾아볼 수 없게 나타났다.

## 제 5 절 현미발아 시스템 개발

### 1. 서론

#### 가. 연구배경 및 목적

발아현미는 일반 현미에 적정 온도와 수분, 산소를 공급해 싹을 틔운 쌀로서 일반 현미는 이미 건강식으로 널리 알려져 있다. 현미가 주목받는 이유는 다량의 식이섬유를 포함하고 있기 때문이며 식이섬유는 토양오염이 심각해지면서 날로 그 중요성이 강조되고 있다. 현미의 싹을 틔워 밥을 지으면 조금만 씹어도 백미처럼 맛이 좋고 자체 정화작용으로 장내 소화효소가 활성화하며 영양소도 파괴되지 않는 것으로 보고되고 있다. 또한, 발아현미의 영양효과로서 현미를 발아시키면 비타민, 무기질 등의 영양소와 식이섬유가 증가하여 몸에 좋은 각종 효소가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 발아현미는 현미를 발아시키는 과정에서 현미 중의 단백질이 가수분해효소로 부분적으로 분해되어 유리 아미노산이 증가하는 등의 변화를 통하여 현미나 백미에는 없는 새로운 기능을 발휘한다. 이러한 기능 중에서 알려져 있는 것이 청소년 발육촉진을 비롯하여, 치매증, 비만증, 갱년기 장애 및 생활습관병, 초로기 불면과 불안감, 우울증 등의 예방과 치료에 크게 기대되고 있다. 또한, 현미는 발아할 때 각종 비타민, 칼슘, 무기질, 아미노산, 효소, 아라비녹실란의 함량이 높아지며, 특히 생리활성물질인 감미아미노낙산(*r*-aminobutyric acid, GABA)의 함량이 증가하는 것으로 보고되고 있다.

GABA는 동,식물계에 널리 분포되어 있는 아미노산으로 동물의 경우 중추신경계의 주된 억제성 신경전달물질(Inhibitory Neurotransmitter)로서 잘 알려져 있다. 이러한 GABA는 많은 생리적인 메카니즘의 조절에 관여하여 동물의 경우 뇌의 혈류를 활발하게 하고 산소공급량을 증가시켜 뇌세포의 대사기능을 향진시키는 것으로 알려져 있으며, 특히 주목할 만한 것은 GABA가 연골의 혈관중추에 작용하여 우수한 혈압강하 작용을 하는 것이다. 또한 prolactin의 분비, 성장호르몬의 분비 조절에도 관여하며 혈압강하 및 통증완화 등에도 효과가 있는 것으로 알려져 있어 약

리적으로 매우 관심이 높은 물질로 의약품으로서 뿐만 아니라 최근 기능성 식품소재로서의 GABA에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구에서는 현미를 이용하여 기능성 성분인 GABA의 높은 발아조건을 확립하고자 한다. 본 연구에서는 수중 침지 상태에서 발아기간이 길어 부패가 발생하는 등의 단점을 해결하고자 생리활성촉진 기술을 응용한 현미발아시스템을 제작 및 개발하였다.

수조 안의 물에 담가서 현미를 발아시키는 방법은 수조내의 물을 교체시 발생하는 온도변화와 산소공급의 부족으로 인하여 발아율이 저조할 뿐만 아니라 발아시 악취가 발생되고 부패하는 문제점이 있다. 또한, 시스템의 각 구성요소를 순환하면서 현미의 발아가 전과정 발아수조내에서 이루어지므로 세균이나 곰팡이 균에 오염되어 황변이나 청변미가 될 수 있다. 대기식 현미발아장치는 현미의 발아율을 높이고, 제조비용과 제조시간을 크게 줄일 수 있도록 하는 발아장치를 개발하는 것이다. 침지시 현미가 발아될 때 산소부족으로 상당한 악취가 발생되므로 이를 방지하기 위해 물의 교체 또는 오존을 설치하여 악취를 방지하도록 하였다.

현미는 외형적으로 볼 때 양호한 품질로 보이더라도 벼의 종류와 벼의 재배지역에 따라서 전분층의 성질이 다르게 되므로 선별된 현미라 하더라도 물 속에서 보관시 온도와 시간에 따라서 많은 차이가 발생되므로 품질 상태에 따라서 발아되는 것과 썩게 되는 것이 나타날 수 있으며, 통상적으로 이 과정에서 심한 악취가 발생하고 발아율이 현저하게 떨어지며 발아된 현미라 하더라도 썩는 현상이 발생된다. 또한, 현미를 침지시켜 발아한 후 물에서 건져 낸 다음 별도의 세척과 건조하는 과정에서 발아된 싹이 절단되는 문제점과 건조시키기 위한 별도의 설비를 갖춰야하는 문제점 등이 있다. 이와 같이 기존의 현미 발아장치에 의해 발아되는 현미의 발아와 싹의 생육기간이 최소 3일에서 5일까지 소요되며, 또한 별도의 건조공정을 거쳐야 하므로 현미를 발아부터 건조공정까지는 6일 이상 소요되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 현미의 발아를 물에 침지시키지 않고 대기식 분사를 통하여 현미의 발아를 최소 2일 이내에 발아시킨 후 발아 현미를 건조할 수 것이다. 또 다른 목적으로는 대기식 발아현미를 생산함과 동시에 발아실 내에서 음이온을 처리하여 발아와 생육을 촉진할 수 있도록 현미발아장치 및 발아방법을 제공함을 목적으로 한다. 연구의 효과로는 기존의 현미

발아방법과 같이 물에 담그는 공정 등을 생략하고 현미발아 장치의 발아실에서 물 분무함으로서 일정한 온도를 유지함과 동시에 현미가 최단시간에 이루어져 원하는 길이로 싹을 생육시킬 수 있게 됨으로 현미가 부패되는 것을 방지하고 발아율을 최대한 높일 수 있으며, 특히 본 연구는 하나의 현미발아 장치에서 현미의 발아 및 생육과 건조를 하나의 시스템으로 할 수 있어 관리가 편리하고 온도를 임의로 조절하여 현미를 발아시킬 수 있게 된 효과를 갖는다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 설계요인

발아의 3대 요소는 온도, 습도, 산소가 된다. 발아에 알맞은 온도가 유지되어야 하며, 활력에 필요한 수분이 있어야 하며, 호흡을 할 수 있는 산소가 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 수중 침지 상태에서 문제점으로 지적되어온 약 3~5일 정도 생산시간이 길어 부패가 발생하기 때문에 이를 해결할 수 있는 기술개발이 요구됨과 동시에 발아 기간을 단축시킬 수 있는 기술 개발에 착안하게 되었다.

본 설계에서는 생체활성 현미의 제조방법 및 그 장치에 관한 것으로, 현미에 오존을 발생하여 세척한 후 현미에 부착된 잔류농약 및 미생물을 제거하고 세척된 현미에 온도 및 습도를 가하여 배아의 성장이 시작되는 시점인 발아유도기까지 현미를 활성화할 수 있는 기술을 개발하는 것이다.

### 나. 설계 및 제작

설계요인에서 나타난 결과를 바탕으로 현미발아의 대량생산이 가능도록 현미발아의 성장촉진 생체생리활성 기술을 이용한 바이오시스템을 설계 및 제작하였다. 본 연구에서는 현미를 대기식으로 발아시키기 위한 것으로서, 현미발아시스템 내부에 다수 형성된 가이드레일에 현미를 보관할 수 있도록 된 다수의 채반과, 채반에 보

관된 현미를 발아시킬 수 있도록 본체의 우측 내벽에 설치된 파이프라인에 다수 형성된 파이프라인의 분사노즐에 물을 공급할 수 있도록 분무시켜 현미를 0.1~3mm로 발아시킬 수 있도록 구성되어 있다. 본 연구에서는 세척 및 선별 후 현미의 발아를 물에 침지 하지 않고 대기식 분무로 발아 및 생육시키고 현미발아장치로 건조할 수 있도록 구성되어 있다. 궁극적으로, 현미의 발아시간을 단축시킬 수 있도록 개발된 현미 발아장치이다. 본 연구의 현미발아장치 및 현미 발아방법을 공정별로 설명하면 다음과 같다.

#### ① 세척 및 선별공정

깨끗한 물에 현미를 조심스럽게 세척한다. 세척시 배아가 파손되지 않도록 하고 깨끗한 찬물로 반복하여 세척한다. 세척공정을 마친 후에는 선별작업을 통하여 우량한 현미만을 선택한다. 이때의 선별공정은 현미의 발아율을 높이기 위한 것이다.

#### ② 발아실 보관공정

세척 및 선별공정 후에는 현미를 깨끗하게 살균된 채반에 균일하게 펼친 상태로 현미발아장치의 발아실 좌우측 벽에 설치된 가이드레일을 이용하여 채반을 끼워 보관한다.

#### ③ 발아공정

현미발아장치의 발아실에 보관된 채반에 담긴 현미가 발아 될 수 있도록 발아실의 온도를 48시간동안에는 25℃의 온도가 되도록 노즐을 통하여 지속적으로 실시한다. 이때 오존발생기를 작동하여 현미에서 발생하는 발아시의 악취를 제거하는 효과를 갖는다. 지속적으로 분무시켜 채반에 보관된 현미에 10시간~24시간 동안 공급하면 현미의 배아에서 발아되어 싹이 트기 시작한다. 이때 분무되는 물의 온도는 25℃가 되도록 분무노즐을 통하여 분무되는 물의 온도를 조절하여 공급한다. 본 발아공정에서는 현미가 발아되는 시점까지는 물 분무를 20분 간격으로 지속적으로 실시한다. 이때 현미발아되는 시점은 10시간에서 24시간 사이에서 대부분 이루어지므로 발아되는 시간은 1일 이내에 이루어지나 전체적인 진행상황으로 볼 때 1일이면 발아가 모두 이루어진다. 이때 현미의 싹길이가 0.1~0.4mm인 것으로 나타났다.

#### ④ 생육공정

상기 현미를 발아시킨 후 1~2일 동안 22~25℃로 노즐을 통하여 물 분무시켜 현미의 싹이 1.5~3mm로 생육시킨다. 생육시 물의 온도를 20~25℃로 한정하는 것은 20℃이하일 경우에는 싹의 생육기간이 온도가 낮을 수록 길어지고 온도가 높을수록 생육은 빠르나 30℃이상의 온도를 가하면 생육이 미세하고 일부는 익는 문제점이 발생되므로 30℃이하가 바람직하다. 현미의 발아는 싹이 3mm이상 자라면 전분층의 배유를 모두 쓰여지게 되므로 현미의 싹은 3mm이하의 것을 사용하는 것이 가장 바람직한 것으로 보고되고 있다.

또한 본 연구에서는 발아실 내부에 음이온발생장치를 설치하여 현미 발아시 음이온을 발생시켜 현미에 발아를 촉진하도록 하였다. 이와 같이 생물을 생육시 음이온과 같은 생체역학적인 자극기술을 이용하면 생육에 효과가 있다는 것은 이미 다른 분야에서도 알려진 사실로서 약 10% 효과가 있는 것으로 확인되었다. 현미발아장치는 발아실 내에 현미가 담겨진 채반을 넣은 후 문을 닫고 일측에 형성된 컨트롤부의 조작버튼들을 이용하여 발아실의 물 분무 프로그램식 타이밍 조절, 온도, 습도, 오존, 음이온 등의 조절이 가능하다. 또한 발아실에서 현미의 발아 상태를 문에 형성된 투시창을 이용하여 내부를 유관으로 투시할 수 있으며, 온도의 경우에는 컨트롤부에 구비된 계기들을 보고 온도를 조절할 수 있다.

#### ⑤ 건조공정

현미의 싹을 생육 후 물 분무를 중단하고 40℃의 열풍을 24시간동안 발아 현미를 건조시킨다.

그림 3-28은 본 연구의 현미발아 공정도로서, 공정을 간단히 살펴보면, 현미 선별 → 세척 및 선별 → 채반에 담아 발아실에 보관 → 물 분무온도 25℃ → 물분무하면서 발아시킴 → 생육 2일간 온도 22~25℃ 물 분무를 실시하여 싹 1.5~2.5mm가 되도록 생육 → 40℃로 24시간 열풍 건조 → 발아현미의 가공 단계로 공정이 이루어진다.

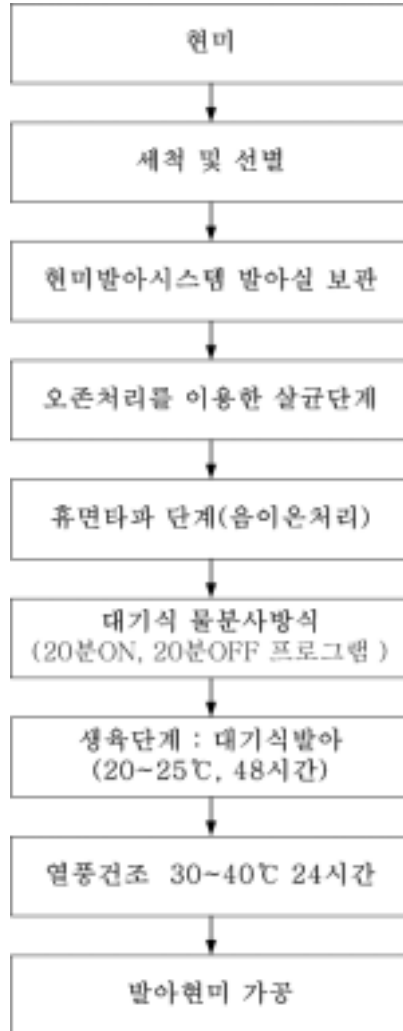


Fig. 3-28 The process procedures for germinating brown rice in the biosystem



본 연구에서 개발한 대기식 현미발아시스템의 도면은 그림 3-29, 그림 3-30과 같다. 그림 3-29는 정면에서 바라본 대기식 현미발아시스템의 외부 도면을 나타내고 그림 3-30은 내부 도면을 나타내고 있다.

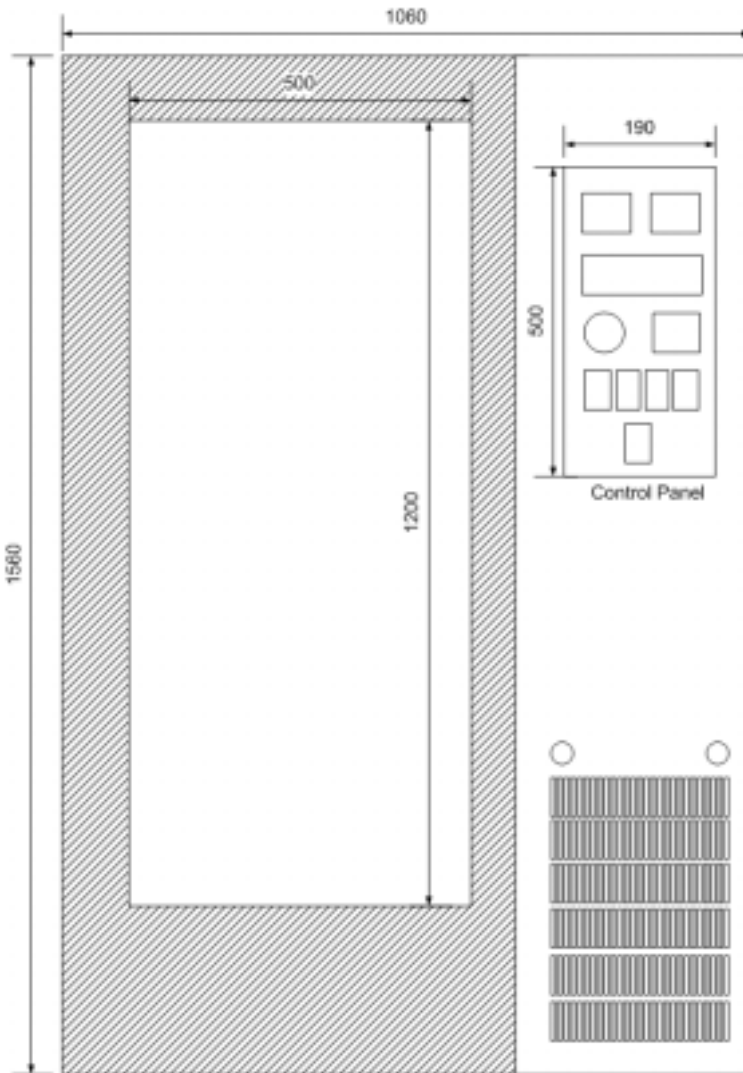


Fig. 3-29 The front design of a rice germinating biosystem of air-exposure type

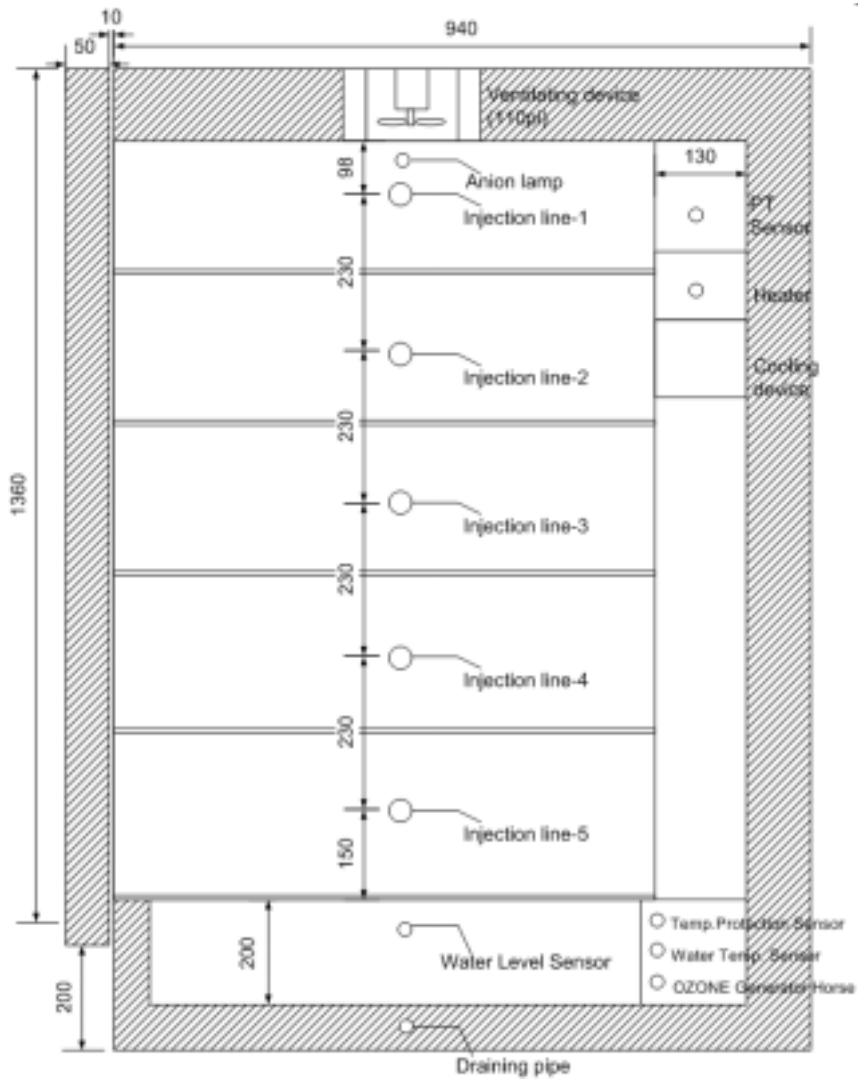


Fig. 3-30 The configuration of a rice germinating biosystem of air-exposure type

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 대기식 현미발아시스템의 개발

온도, 습도, 산소를 모두 충족시킬 수 있는 설계요인과 현미의 발아를 물에 침지시키지 않고 대기식 분사를 통하여 현미를 발아발아 및 건조할 수 있는 현미발아시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 현미발아시스템은 그림 3-31과 같다.



(a) The front view

(b) The inside view

Fig 3-31. Development of a rice germinating biosystem of air-exposure type

대기식 발아현미시스템은 발아현미를 생산함과 동시에 발아실 내에서 음이온을 처리하여 발아와 생육을 촉진할 수 있도록 현미발아장치 및 발아방법을 제공하고 있다. 연구의 효과로는 기존의 현미 발아방법과 같이 물에 담그는 공정 등을 생략하고 현미발아 장치의 발아실에서 물분무함으로서 일정한 온도를 유지함과 동시에

현미가 최단시간에 이루어져 원하는 길이로 싹을 생육시킬 수 있게 됨으로 현미가 부패되는 것을 방지하고 발아율을 최대한 높일 수 있는 장점이 있다. 표 3-6은 현미발아시스템에서 사용된 주요부품과 규격을 나타낸 표이다.

본 연구에서 개발한 현미발아시스템의 운전 순서는 다음과 같다.

1. 전원을 단상 220V 용 단독 콘센트에 연결한다. (20A 이상)
2. 전면의 POWER스위치를 ON 한다.
3. 전원을 켜면 (1) 챔버내 현재습도와 수조내 물의 온도가 디지털로 표시된다.  
(2) 수위가 낮으면 수위레벨의 램프가 점등되고 물 공급이 완료되면 수위레벨 램프가 꺼진다. (3) 물 공급은 6mm 원터치 호스로 연결되어 있음.
4. 온도 조절기의 온도를 설정한다.
5. 물 순환 펌프 스위치를 ON 하면 자동으로 수조내 물을 챔버로 펌프함  
(1) 반드시 수위레벨 램프가 꺼졌을때 ON 하도록 함. (2) 수조의 물을 배수시킬 경우에는 옆관넬의 문을 열고 하단의 배수 밸브를 열음. (3) 펌프가 공회전 하지 않도록 주의함. 이는 특히 고장의 원인 발생함.
6. 램프 수위치 : 음이온 공급이나 조명을 하고자 할 경우 ON 한다
7. 오존 스위치 : 오존으로 살균할 경우 ON 한다
8. DRY FAN 스위치 : 발아조 내부의 습도를 강하시키고자 할 경우 ON 함.
9. HI-LIMIT : 발아조의 과온을 방지하기 위한 장치. (30-40℃로 설정하도록 함)

Table 3-6 The specification of parts used for assembling a rice germinating biosystem of air-exposure type

현미발아시스템 제작	500x730x1450mm
1. 발아계측장치	
1) 습도표시기	FOX-2H 77x35 (디지털표시)
2) 습도감지기	-
3) 수조온도표시기	FOX-1004 77x35 (디지털표시)
4) 수조온도감지기	-
5) 온도조절장치	10step - Program DH-3, 최고온도 40℃
6) 감도감지기	PT-100 ohm
2. 수조발아장치 500x200x730mm	
1) 수위레벨감지기	물 자동 공급:100mm
2) 전동밸브	saginomia 3/8"
3) 정수여과장치	250mm 20미크론
4) 물순환 펌프	한일 40리터/분 pb
5) 배관장치	
6) 발아조	500x 730x1250mm
3. 전기자극장치	
1) 히터	스텐레스 파이프핀 히터 1.5kw, 단상 220V
2) SSR	DC 25A
3) 습기배출모터	100mm Dia
4) 공기순환 웬	120x120x38
5) 물분사장치	6mm Dia x 2000mm
6) 타이머	24시간 프로그램 타입 20분ON, 20분OFF
4. 음파자극장치	
1) 오존발생장치	400ppm
2) 음이온램프	20W, 300만개 EFTR20EX-D
3) 산소발생기	1구 DK-200
4) 스텐망 바스켓	445x350x98mm
5. 온도강하장치제작	
1) 밀폐형 냉동기	밀폐형 냉동기 1/2마력
2) 응축기	밀폐형 냉동기 1/2마력
3) 응축기 웬모터	9w
4) Dryer	1/4"
5) 냉각기	4열 6구 x 400mm
5) 건조용 배기웬 모터	90W
6) 과온조절장치	EGO
7) 케이스제작	1100x1000x1750

나. 현미발아시스템의 제어부

현미발아시스템의 제어시스템은 그림 3-32, 3-33과 같다. 제어시스템에서는 현미 발아시간에 따른 온도설정, 물분사의 타이머 조절, 오존장치 작동, 음이온 작동, 환기팬 운전 등이 가능하다. 본 실험에서는 상온 25℃, 상대습도 90% 조건에서 10um 필터장치를 거친 물분사를 20분 ON, 20분 OFF의 사이클 형태로 작동한다. 이 사이클 과정은 제어부에서 프로그래밍 되어있으며 48시간 지속적으로 운전한다. 48시간이 지난 시점에서는 40℃로 발아현미를 건조시킨다.



Fig.3-32 The control panel



Fig.3-33 The circuit diagram

그림 3-34는 현미발아시스템의 Bath온도와 Chamber온도의 컨트롤키를 동작시키기 위한 상세설명을 나타낸다.

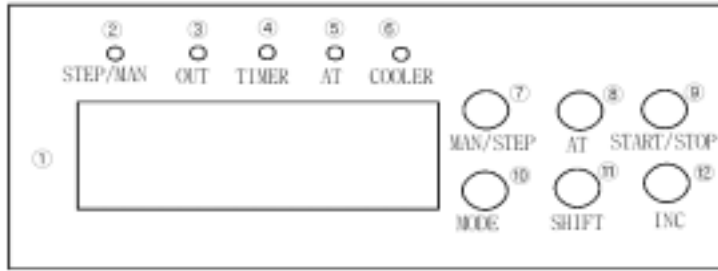


Fig.3-34 Description of panel for controlling temperature in the biosystem

- (01) LCD 표시창.
- (02) STEP / MANUAL 표시램프
- (03) HEATER 출력표시 램프
- (04) 타이머 동작표시 램프
- (05) AUTO-Tuning 동작표시 램프
- (06) COOLER 동작표시 램프
- (07) 알람 동작표시 램프
- (08) STEP / MANUAL 모드변환 스위치
- (09) 자동 Tuning 스위치(온도, 시간설정 모드에서는 램프 ON/OFF 선택)
- (10) START/STOP 스위치
- (11) 모드설정 스위치
- (12) 설정치 자리이동 스위치
- (13) 각 자리별 설정치 증가 스위치

그림 3-35는 현미발아시스템의 온도제어에 대한 플로우차트로서, 본 연구에 따른 현미발아시스템의 사용자는 조작패널에 형성된 온도조절 및 시간설정 등을 이용하여 온도범위와 시간범위를 설정한다.

온도 및 발아시간에 대한 프로그램 설정이 완료된 다음에는 깨끗이 세척한 현미를 현미발아시스템 발아실내로 유입한다. 제어부에서는 검출된 외부 온도가 내부온도보다 높은지를 판단한다. 만약, 외부 온도가 내부온도보다 높은 경우에는 검출된 내부온도가 설정온도보다 높은지 비교한다. 만약, 시스템 내부온도가 설정된 설정온

도보다 높은 경우에는 가열판을 구동시킨다. 또한, 외부 온도가 내부온도보다 낮은 경우에는 검출된 내부 온도가 설정온도보다 높은지 비교한다. 만약 내부 온도가 현미발아시스템의 외부온도보다 높은 경우에는 환풍팬을 구동시킨다. 한편, 외부온도가 내부온도보다 높은 경우에는 검출된 내부 온도가 설정온도보다 낮으면 가열판을 정지시키고 쿨러를 구동시킨다. 제어부는 전원 오프신호가 인가되는지를 판단하여 전원오프신호가 인가되면 모든 기기의 동작이 정지되도록 전원을 오프시킨다.

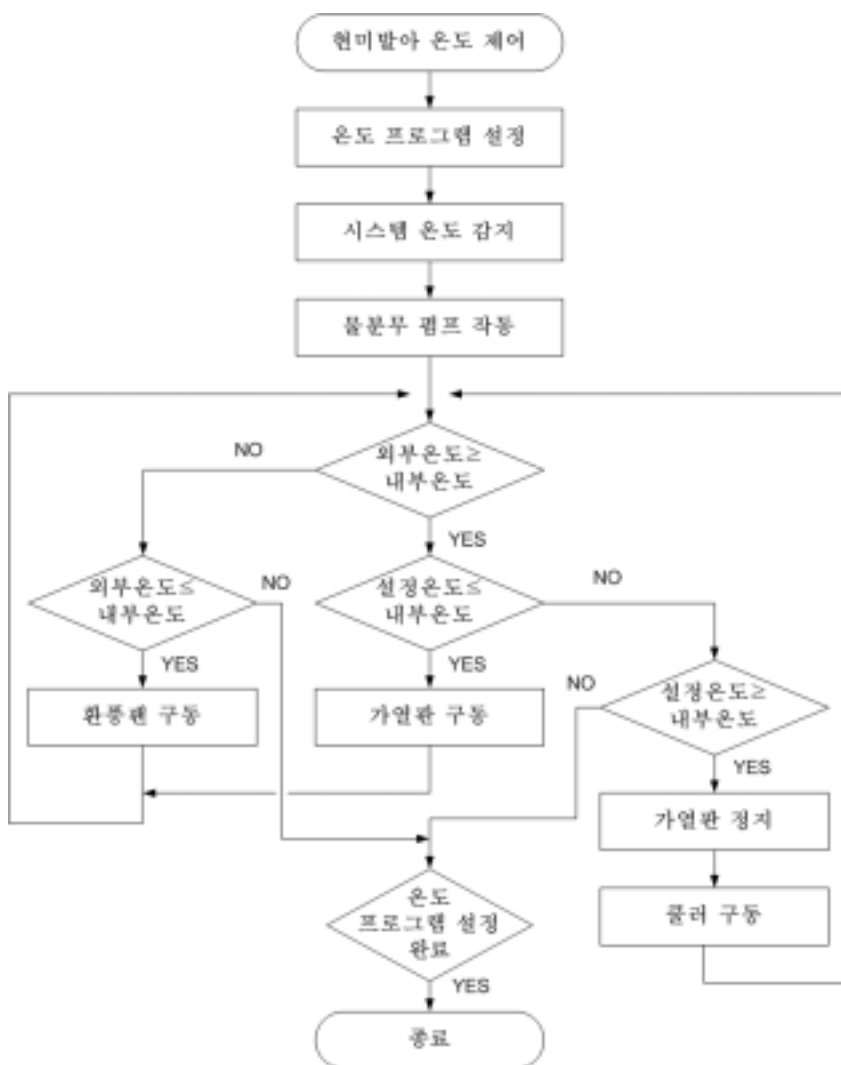


Fig. 3-35 The flowchart for controlling temperature in the biosystem



다. GABA분석 결과

본 연구에 사용된 GABA 분석방법으로는 HPLC(AccQ Tag Amino Acid Analysis System)법으로 분석하였다. Column은 Nova-Pak C18 (Waters)을 사용하였다. GABA 분석을 위해 액체질소로 마쇄된 시료 과우더에 메탄올:클로로포름:물 = 12:5:3의 혼합액을 가하여 섞어준다. GABA를 포함하는 수용액 층은 원심분리(12,000 x g, 15 min, 4 °C)를 통하여 상등액을 얻은 후 침전물에 클로로포름:물 = 3:5의 혼합액을 가하여 남아있을지도 모르는 GABA를 2차 추출하였다.

1, 2차 원심분리로부터 얻은 상등액을 합하여 냉동건조하고 이어 소량의 물로 용해한 후 0.45 μm PVDF 필터(Millipore)로 이용하여 여과하여 분석에 사용한다. GABA의 형광 유도체화를 위해 AccQ Fluor Reagent를 사용하며, 이들 유도체의 분리를 위해 3.9mm x 150 mm AccQ Tag<sup>TM</sup> column을 사용한다. Column으로부터 유도체를 용출시키기 위해서는 AccQ Tag Eluent A와 60% 아세토니트릴(acetonitrile)을 1ml/min의 유속으로 흘려 준다.

GABA 함량은 표준 GABA를 100nmol/ml과 200nmol/ml로 흘려준 후 면적을 기준하여 계산한 뒤 그 표준 GABA의 면적과 Sample의 면적과 대비하여 분석결과를 비교 산출한다. 단 위는 nmole/g으로 혹은 이를 환산하여 mg/g으로 GABA농도를 표시한다.

본 연구에서는 가바함량 분석을 위해 (주)가바라이스 영농조합법인에 시료를 의뢰하여 가바함량을 2반복 실험 및 분석한 결과이고 이를 표 3-7에 나타내었다.

Table 3-7 The analysis result of GABA concentration

종 류	GABA 농도(단위:mg/100g)	비 고
발아현미(대기발아)	36.49(±0.01) mg/100g	2반복
발아현미(침지발아)	40.78(±5.2) mg/100g	2반복
찰발아(침지발아)	39.48(±4.3) mg/100g	2반복
발아흑미(침지발아)	43.33(±5.5) mg/100g	2반복
일반현미(기본)	4.7 mg/100g	

라. 현미 발아율

현미발아시스템에서 생산한 현미의 발아율과 침지상태에서의 발아현미인 대조군의 비교실험 결과는 그림 3-36과 같다. 대조군은 6시간동안 침지시킨 후 25℃, 90% 조건에서 48시간동안 실험한 결과이고 실험군은 침지시간 없이 대기식 현미발아시스템에서 48시간 실험한 결과이다. 실험군과 대조군은 20℃에서 48시간까지 12시간 간격으로 현미의 발아율을 3반복 측정하였다. 현미발아시스템에서 생산한 발아현미의 발아율은 대조군에 비해 약 40% 이상의 높은 발아율 촉진효과를 나타내었다.

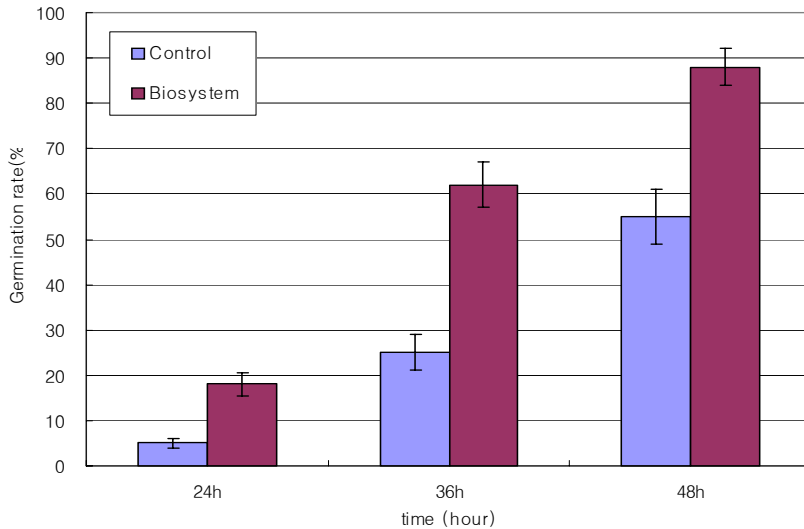


Fig.3-36 The effects of germination rate on brown rice produced in the biosystem

그림 3-37은 현미발아시스템에서 음이온 자극을 적용한 실험군과 음이온을 적용하지 않은 대조군과의 비교실험한 결과이다. 실험환경으로는 현미발아시스템의 4번째 채반에 현미 500g, 높이 0.5cm로 실험양을 정량화하였다. 실험 결과, 음이온을 적용한 실험군이 무처리군에 비해 약 발아율이 5~10% 향상되었음을 보여주고 있다. 또한, 그림 3-38은 동일한 조건에서 채반에 현미 1000g, 높이 1 cm를 정량화하여 비교 실험하였다. 현미발아시스템의 4번째 채반에 동일한 조건에서 3반복 발아율을 측정한 결과 현미의 양과 발아율의 관계는 거의 차이가 없음을 보여준다

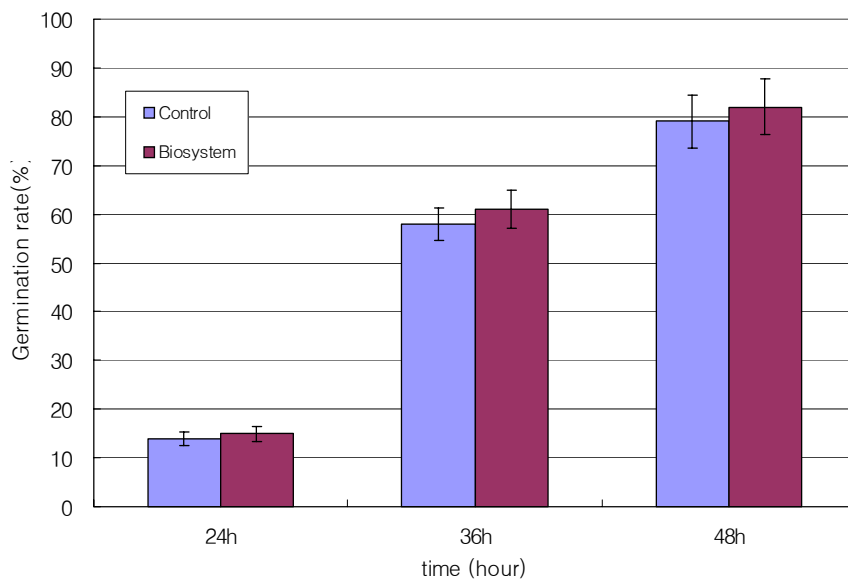


Fig.3-37 The effects of germination rate on brown rice according to anion stimuli under the tray(500g, height 0.5cm)

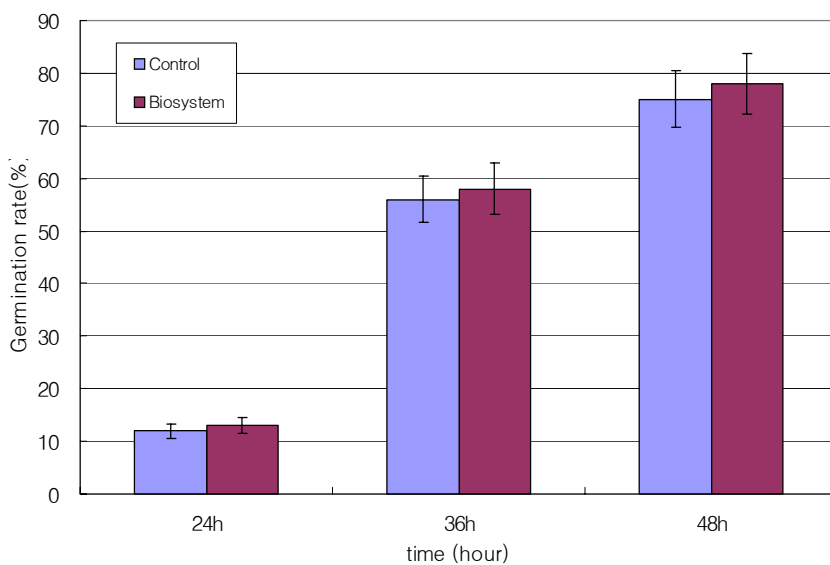


Fig.3-38 The effects of germination rate on brown rice according to anion stimuli under the tray(1000g, height 1cm)

마. 현미썩 성장길이

현미발아시스템에서 생산한 현미의 썩 성장길이와 침지상태에서의 발아현미인 대조군의 비교실험 결과는 그림 3-39와 같다. 대조군은 6시간동안 침지시킨 후 25℃, 90%조건에서 48시간동안 실험한 결과이고 실험군은 침지시간 없이 대기식 현미발아시스템에서 48시간 실험한 결과이다. 실험군과 대조군은 20℃에서 48시간까지 12시간 간격으로 현미의 썩 길이를 3반복 측정하였다. 현미발아시스템에서 생산한 발아현미의 썩 성장길이는 대조군에 비해 약 40% 이상의 높은 썩 성장촉진 효과를 나타내었다.

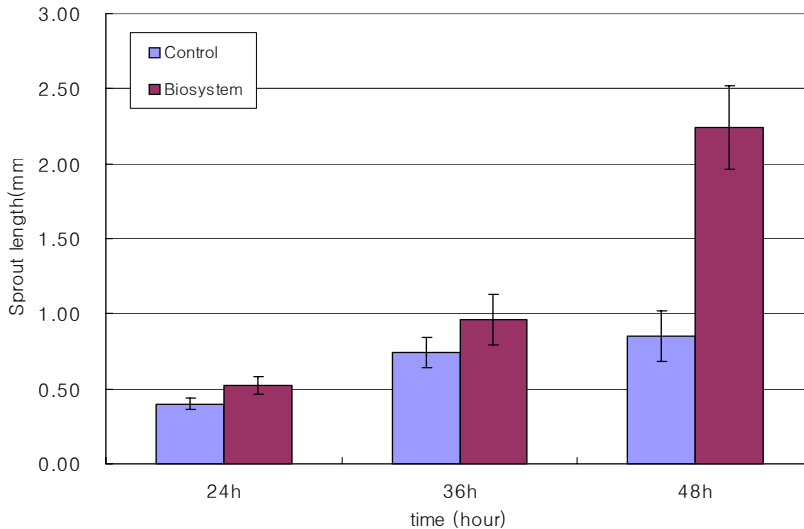


Fig.3-39 The experimental result of sprout length on brown rice produced in the biosystem

그림 3-40은 현미발아시스템에서 음이온 자극을 적용한 실험군과 음이온을 적용하지 않은 대조군과의 비교실험한 결과이다. 실험환경으로는 현미발아시스템의 4번째 채반에 현미 500g, 높이 0.5cm로 실험양을 정량화하였다. 실험 결과, 음이온을 적용한 실험군이 무처리군에 비해 약 성장촉진이 5~10% 향상되었음을 보여주고 있다. 또한, 그림 3-41은 동일한 조건에서 채반에 현미 1000g, 높이 1 cm를 정량화하여 비교 실험하였다. 현미발아시스템의 4번째 채반에 동일한 조건하에서 3반복

발아율을 측정한 결과 현미의 양과 싹 성장속진과의 관계는 거의 차이가 없음을 보여주고 있다.

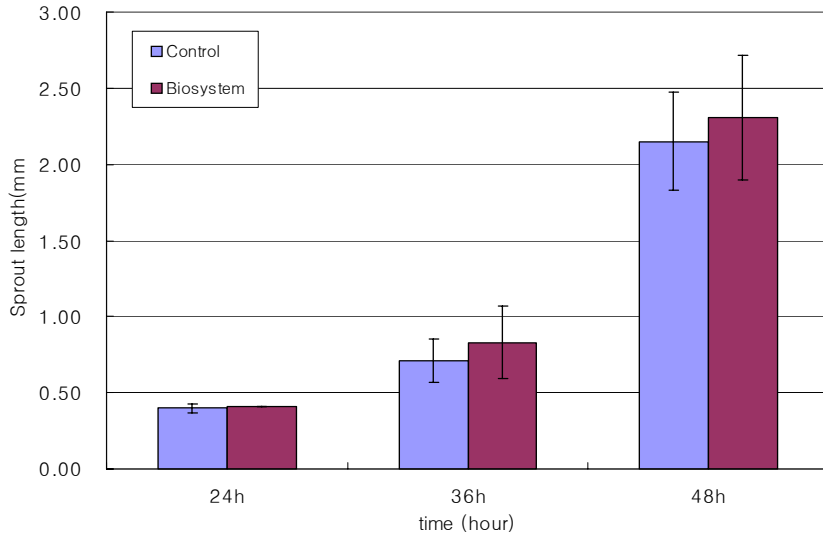


Fig.3-40 The effects of sprout length on brown rice according to anion stimuli under the tray(500g, height 0.5cm)

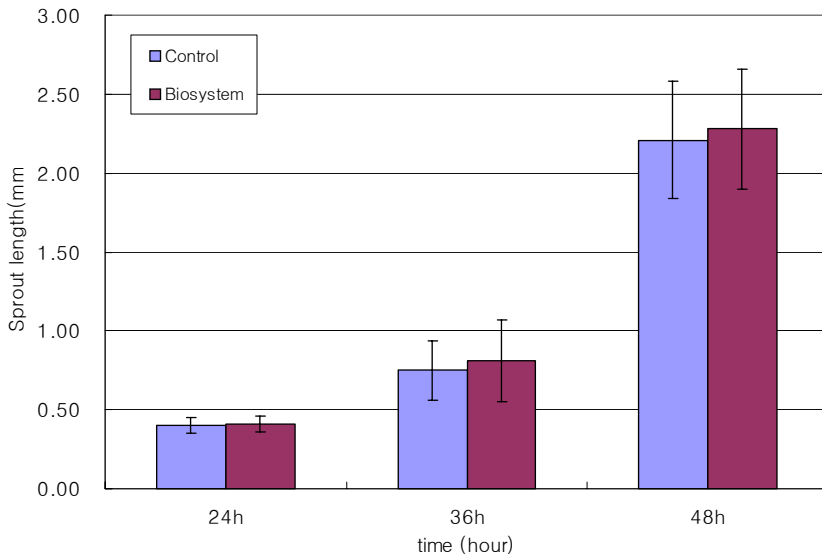


Fig.3-41 The effects of sprout length on brown rice according to anion stimuli under the tray(1000g, height 1cm)

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 현미의 발아를 물에 침지시키지 않고 대기식 분사를 통하여 현미의 발아를 2일 이내에 발아시킬 수 있는 현미발아시스템을 개발하였다. 이는 현미 발아율과 성장촉진율을 크게 향상시킬 수 있는 기술로 나타났다. 또한, 대기식 발아 현미를 생산함과 동시에 발아실 내에서 음이온을 처리하여 발아와 생육을 촉진할 수 있었다. 기존의 현미 발아방법과 같이 물에 담그는 공정 등을 생략하고 본 연구에서는 현미발아장치의 발아실에서 물분사를 20분 주기로 분무함으로서 일정한 온도를 유지함과 동시에 현미가 최단시간에 이루어져 원하는 길이로 싹을 생육시킬 수 있게 함으로서 현미가 부패되는 것을 방지하고 발아율을 최대한 높일 수 있었다. 본 연구에서 개발한 대기식 현미발아시스템을 이용해 현미발아를 처리한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현미시료에 대한 GABA함량 분석 결과 일반현미는 4.6 mg/100g에 비해 현미발아시스템에서 생산된 발아현미의 GABA함량은 36.49( $\pm$ 0.01) mg/100g로 약 9배의 높은 가바함량을 나타냈다.
2. 현미발아시스템에서 생산한 현미의 발아율이 침지상태에서 발아한 현미 대조군에 비해 약 40% 이상 발아율 촉진효과가 향상되었다.
3. 현미발아시스템에서 생산한 현미의 싹 성장길이는 침지발아 대조군과 비교해볼 때 50% 이상의 높은 현미의 싹 성장촉진 효과를 나타내었다.
4. 현미발아시스템에서 음이온을 적용한 실험군과 대조군과의 비교실험 결과, 음이온을 적용한 실험군이 대조군에 비해 약 5~10% 발아율이 향상되었다.
5. 현미발아시스템에서 현미실험 양을 채반에 500g(높이0.5cm)와 1000g(높이 1cm) 각각 실험한 결과 두 실험 모두 발아율과 현미의 성장촉진에 차이는 없는 것으로 나타났다.

## 제 4 장 목표달성도 및 기여도

### 제 1 절 목표달성도

#### 1. 연구평가의 착안점 및 달성도

연차별 연구의 착안점, 척도 그리고 각 항목의 달성도는 다음 표와 같다.

구 분	평가의 착안점 및 척도		
	착 안 사 항	척도 (점수)	달성도
1차년도 (2004)	○ 현미발아 적정 재배조건 구명	20	100
	○ 현미발아에 불용성/수용성 키토산 처리효과구명	30	100
	○ 현미발아 전기장 처리장치 제작	20	100
	○ 현미발아 시험용 시작기 제작	30	100
2차년도 (2005)	○ 불용성 키토산 살균효과 구명	30	100
	○ 초음파 처리 효과 구명	30	100
	○ 전기적 처리 효과 구명, 발아현미 기능성 분석	20	100
	○ 생체생리활성기술을 이용한 바이오시스템 개발	20	100
최 중 평 가	○ 키토산 처리에 의한 생리활성기술 개발	30	100
	○ 초음파 처리에 의한 생리활성기술 개발	30	100
	○ 전기적 처리에 의한 생리활성기술 개발	20	100
	○ 생체생리활성 기술을 이용한 바이오시스템 개발	20	100

## 제 2 절 기여도

### 1. 기술적 측면

가. 불용성 및 수용성 키토산 처리가 현미의 발아 및 성장 촉진에 미치는 영향을 구명함으로써, 이러한 키토산처리 효과가 발아현미 생산공정을 단축시키고, 제조시 곰팡이의 발생을 억제시킬 수 있다.

나. 초음파 처리가 현미 발아 및 성장 그리고 현미세척에 미치는 영향을 구명함으로써 초음파기술을 종자 및 현미 발아에 이용할 수 있다.

다. 초음파 처리를 종자(현미) 발아 및 성장 촉진의 생체생리활성기술로 이용 가능하다.

라. 전류 및 전기장 처리기술을 종자(현미) 발아 및 성장 촉진의 생체생리활성기술로 이용 가능하다.

마. 천연고분자 키토산 처리, 초음파, 전류, 전기장 등의 생체생리활성기술을 종자 발아 및 성장 뿐만아니라, 생명공학적으로 세포 및 organ 배양에 이용할 수 있는 첨단기술로 활용 가능하다..

### 2. 경제 · 산업적 측면

가. 생체생리활성기술을 이용해 발아현미 생산 공정을 7일에서 2-3일로 단축시킴으로써 생산단가를 줄이고 대량 생산의 산업화 체계를 갖출 수 있어 경제성을 높일 수 있음. 생산성을 약 30% 이상 높일 수 있으리라 사료된다.

나. 키토산의 항균효과와 생산공정 단축으로 고습상태에서 잘 생기는 곰팡이 발생율을 줄여 위생적인 청결 발아식품을 생산할 수 있다.

다. 초음파 세척기술을 종자(현미) 및 농산물의 잔류농약 및 이물질을 제거함으로써 중금속 및 농약으로 인한 피해를 줄여 경제적 및 사회적 효과가 크다.

라. 종자 발아 및 성장의 촉진에 음파처리 효과를 구명하고 그 기술을 개발함으로써 종자발아 및 세포배양 기술의 첨단화 및 산업화에 기여한다.



마. 전류 및 전기장을 이용해 생체의 생리활성을 촉진하는 기술을 개발하여 산업화함으로써 종자의 발아 및 식물들의 성장을 촉진하여 경제성을 높일 수 있다.

바. 키토산처리, 초음파, 음파, 전류, 전기장 등의 생체생리활성기술 및 시스템을 개발하여 특허출원하고, 산업화하여 수출함으로써 외화를 획득할 수 있다.

사. 생체생리활성기술을 이용한 바이오리액터 등의 바이오시스템을 개발하여 산업화한다.

## 제 5 장 활용계획

1. 키토산을 처리한 생체생리활성기술을 현미뿐만 아니라 종자 발아 및 식물체 성장 기술에 활용하며, 개발기술을 특허출원하고 산업화한다.
2. 전류 처리의 현미 생리활성기술 및 발아 시스템을 세포배양의 생리활성기술로 활용하며, 개발기술을 특허출원하고 산업화한다.
3. 전기장처리의 현미 발아 및 성장 촉진기술을 타 종자 발아에 이용 기능성 성분이 많은 발아식품 개발에 활용한다.
4. 초음파 기술을 종자 및 농산물의 세척 및 발아 촉진 기술로 활용한다.
5. 초음파 처리기술을 세포, 종자, 식물의 성장 촉진에 활용한다.
6. 생체생리활성기술을 이용해 식물 및 동물 바이오리액터 등의 바이오시스템 개발에 활용하고, 개발기술 및 시스템을 특허출원하고 산업화한다.

## 제 6 장 참 고 문 헌

1. 김명한, 2001. 현미 발아방법 및 현미 발아장치. 국내공개특허 제 10-2001-0023887
2. 김일두, 김문식 등, 2001. 초음파를 이용한 발아현미 제조방법. 국내공개특허 제 2001-0074128
3. 육근철, 박근영, 1985. 한국 자생풍란의 뿌리 생장에 미치는 물리적 자극의 효과. 월간 난과 생활 11월호-1월호, pp. 84-97
4. 이은웅, 1999. 수도작. 향문사. pp. 60-64, 168-169, 318-324.
5. 이종구, 2002. SAS와 통계자료분석, 학지사
6. 이종락, 1997. 초음파와 그 사용법, 세화
7. 이창순, 김선영, 임동규, 2001. 발아현미 생산을 위한 공정 및 장치. 국내공개특허 제 10-2001-0025150
8. 이창호. 1998. 현미의 기능성. 식품기술. 11(1): 3-6.
9. 장철호, 2000. 현미의 발아방법. 국내공개특허 제 10-2000-0038486
10. 조인호, 2005. SAD 강좌와 통계컨설팅, 영진닷컴
11. 박소홍, 이용범, 배공영. 1998. 식물에서 음이온 생성과 그에 관여하는 요인. 한국원예과학학회지 39(1):115~118
12. 신홍기술연구소. 2005. 곡물의 고품질 건조·저장 기술. 신홍기업사 출판물.
13. 김선립, 손영구, 2001. 발아조건 및 건조방법이 발아현미의 이화학적 특성에 미치는 영향. 한국작물과학학회지 46(3):221~228.
14. 강미영, 김설이, 고희중, 진중현, 남현석, 2004. 발아 특수미의 향산화 활성. 한국식품과학회지. pp. 624-630.
15. 이석중, 안현경, 2002. 음이온 선택도 특성. 산학기술성공학회논문지. pp. 194-197
16. 금준석, 최봉규, 이현우, 박종대, 박현준. 2004. 발아시킨 현미의 품질특성. 한국식품저장유통학회지. pp182-188.
17. 정규호, 박난영, 장상문, 이주백, 정용진. 2004. Chitosan/Glutamic acid 처리가 현미의 발아에 미치는 영향. 한국식품저장유통학회지. pp538-543.

18. 오홍석, 김학현 문선자, 권수정, 이철희. 2003. 온도 및 priming 처리가 옥잠화의 종자발아에 미치는 영향. J. Soc. Hort. Sci. pp.267-270.
19. 박영한, 김진상, 박래준. 1994. 전기자극이 세균생장에 미치는 영향.대한물리치료학회지, pp.109-119.
20. 최희돈, 박용근, 김윤숙, 정창화, 박영도, 2004. 전처리 조건이 현미 및 발아현미의  $\gamma$ -aminobutyric acid 함량에 미치는 영향. 한국식품과학회지. pp.761-764.
21. 오석홍, 김수화, 문연정, 최원규. 2002, 글루탐산 용액 처리에 따른 발아현미 중의 감마-아미노낙산 및 일부 아미노산 함량변화. 한국생물공학회지, 17(1), pp.49-53
22. 오석홍, 이인태, 박기범, 김병주. 2002, 키토산과 글루탐산의 병용처리에 따른 발아현미중의 수용성 단백질 및 유리 아미노산 함량변화.한국생물공학회지, 17(6), p.515-519
23. 이희두, 김시동, 김학현, 김주형, 이종원, 윤태, 이철희. 2003. 저장조건, 성장조절제 및 무기염류 처리가 좁쌀풀 종자의 발아에 미치는 영향. 원예과학기술지. pp.34-38
24. 최영하, 이한철, 박동금, 권준국, 이재한. 2001. 토마토 육묘시 물리적 자극 및 약제 처리가 묘의 소질과 수량에 미치는 영향. 원예과학기술지. pp320-324.
25. 김순자, 정진우, 임종수. 2001. 저주파 전기자극의 주파수가 인체대사에 미치는 영향. 대한물리치료학회지, pp. 685-692.
26. 금준석, 최봉규, 박종대, 이현유. 2003. 발아현미의 품질특성. 한국식품저장유통학회 학술대회지, pp.171-171
27. 오석홍, 최원규. 2000, 키토산처리에 의한  $\gamma$ -Aminobutyric acid 고함유 우량 발아현미 생산. 한국생물공학회지, 15(6), pp.615-620
28. 권오진, 김수진, 변명우, 1995, 식품산업에서의 미생물 제어를 위한 오존처리 효과. 농산물저장유통학회지, 3(2), pp149~154
29. 배경근, 남승우, 김경남, 황영현, 2002, 콩 종실의 미생물 제어방법과 수주온도에 따른 콩나물의 초기생육 및 수율, 한국작물과학회지, 47(6), pp453~458
30. 김태진, 김영진, 윤호동, 조영제, 최영준, 이근우,1998, 넓치근육 및 근소포체 미세구조의 변화에 미치는 전기자극의 영향, 한국수산학회지, 31(4),pp 553~559

31. 신현길, 오은경, 박종흠, 이인순, 한석현, 전기자극에 의한 한우육의 고품질화에 관한 연구, 한국축산식품학회지, 14(1),pp 66~70
32. 김수민, 김대곤, 성삼경, 전기자극 처리가 한우육의 육색 및 지방산화에 미치는 영향, Korean J. Anim, Sci, 39(2) pp 191~198
33. 김정호, 배영환, 습식 마늘박피 시스템개발-미생물제어 시스템의 도입. 바이오시스템공학, 30(1), pp 17~24
34. 이종훈, 민병일, 황병길, 장진, 홍무창, 자기장을 통한 침자극이 압통 역치에 미치는 영향. 대한침구학회지 19(3), pp77-87
35. 오석홍, 박기범. 2004. 작물함유 GABA 정량분석. 한국작물학회 학술대회지 pp.73-76
36. Hirota,N.; Nakagawa,J.; Kitazawa,K. 식물 발아에 미치는 자기장 효과. 1999. Journal of applied physics. 85(8P.2B), pp.P5717-5719
37. Jett, Lewis W; Welbaum, Gregory E; Morse, Ronald D. 1996, 브로콜리 종자 발아에 대한 매트릭 프라이밍과 삼투 프라이밍 처리의 효과. Journal of the American Society for Horticultural Science., 121(3), pp.423
38. Seller, G. J. 1998, 종자의 속도, 저장기간, 온도 및 발아 배지 처리가 두 가지 야생 해바라기의 발아에 미치는 영향. Agronomy journal., 90(2), pp.221
39. 한상욱. 1998, 몇 가지 발아 전처리가 반디나물 발아촉진에 미치는 효과. 한국자원식물학회지, 11, pp.121-121
40. 차연수, 유지현, 홍진선, 황금택. 1999, 발아현미의 총지질함량과 지방산조성에 관한 연구. 한국가정과학회 학술대회지, pp.145-145,
41. 권오용. 1971, 당근 종자 발아 촉진에 관한 연구(3) 당근 종자의 발아에 있어서 몇가지 무기염류의 영향. Journal of Plant Biology, 14(2), pp.1-6
42. 전재홍, 변시명, 박영숙, 정규희, 조한욱. 1985, 방사선 조사에 의한 감자 발아 억제시 생화학적 효과. 한국농화학회지, 28(1), pp.28-35
43. 박소홍 , 이용범 , 배공영 , 근등삼용. 1998. 식물에서 음이온 생성과 그에 관여하는 요인 한국원예학회지, 39(1), pp.115-118

44. 최충렬, 곽동준, 박만, 송경식, 이인구, 김장익, 2005. 화학적 처리와 전장 및 자기장처리가 양파 종자의 발아에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 38(2), pp.78-84
45. 김재성, 이은경, 백명화, 김동희, 이영복. 2000. 저선량 감마선이 채소 발아종자의 생리활성에 미치는 영향, 19(1), pp 58-61
46. 강점순, 최영환, 손병구, 안종길, 2000. 박 종자의 발아촉진을 위한 Hydropriming 처리효과. 한국원예학회지, 41(6), pp.559-564
47. 손기철, 류명화, 길미정. 2000, 환경자극에 따른 식물의 엽표면 전위 포텐셜의 변화. 한국생물환경조절학회지, 9(2), pp.94-100
48. 이영숙. 1993. 식물세포 특이적 자극인지 연구. 한국식물학회:학술대회지, pp.51-70,
49. 한성규, 유장걸, 강순선, 류기중, 오성국. 1990. 식물 Protoplast 의 전기자극 융합에 관여하는 인자. 한국농화학회지, 33(1), pp.93-100
50. 신정규, 변유량. 2000. 고전압 펄스 전기장에 의한 식품의 살균. 식품과학과 산업. 33(2). p27~35
52. 박경순, 김영범, 곽중운. 2004. 고전압 전기장 시스템의 구성과 수처리 응용. 한국물환경학회 춘계학술발표논문집 p823-826
53. 김경탁, 김성수, 이영춘. 1999. 고전압 펄스 전기장 처리된 사과주스의 저장중 품질변화. 한국식품과학회지. 31(2).pp.375~379
54. 김경탁, 김성수, 홍희도, 하상도, 이영춘. 2003. 고전압 펄스 전기장 처리에 의한 감귤주스의 저장중 품질변화. 한국식품과학회지. 35(4).pp.635~641
55. Shigemitzu,T. 1999, 전계, 공기 이온 방전의 식물 영향. 플라즈마. 核融合學會誌, 75(6), pp.P659-665
57. Yasuda,T, Ohnishi,S, Katto,M. 1995, 접촉 자극에 대한 감각 식물의 활동 전위 계측. 電氣學會論文誌, 115C(12), pp.P1566-1567
58. Hirota,N.; Sakihama,T.; Nakagawa,J. 1998, 식물 발아 과정에의 구배 자장 효과 日本應用磁氣學會誌, 22(4-2), pp.P829-832
62. Brown, A. W. and B. J. Shelp. 1997. The metabolism and functions of r-aminobutyric acid, Plant Physiol. 115: 1-5.

63. Cohn, M. A., L. A. Chiles, J. A. Hughes, and K. J. Boullion. 1987. Seed dormancy in red rice. VI. Monocarboxylic acids : A new class of pH - dependent germination stimulants. *Plant Physiol.* 84: 716-719.
64. Coolbear, P., A. Francis, and D. Grierson, 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *J. Exp. Bot.* 35: 1609-1617.
65. Crawford, L. A., A. W. Brown, K. E. Breitzkreuz and F. C. Guinel, 1994. The synthesis of  $\gamma$ -aminobutyric acid in response to treatments reducing cytosolic pH, *Plant Physiol.* 104: 865-871.
66. Footitt, S. and M. A. Chon, 1992. Seed dormancy in red rice. VIII. Embryo acidification during dormancy-breaking and subsequent germination. *Plant Physiol.* 100: 1196-1202.
67. French, R. C. and G. R. Leather, 1979. Screening of normal and related volatile flavor compounds on germination of 18 species of weed seed. *J. Agric. Food Chem.* 27: 828-832.
70. Jung, B. O., Y. M. Lee, J. J. Kim, K. J. Jung, J. J. Kim, and S. J. Chung, 1999. The antimicrobial effect of water soluble chitosan. *Korean J. Ind. Eng. Chem.*, Vol. 10(5): 660-665.
74. Kum, J. S., B. K. Choi, H. Y. Lee, J. D. Park and H. J. Park, 2004. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol.*, Vol. 11(2): 182-188.
75. Oh, S. H. and Y. G. Choi, 2000. Production of the quality germinated brown rices containing high  $\gamma$ -aminobutyric acid by the chitosan application. *Kor. J. Biotechnol. Bioeng.* 15: 615-620.
77. Suzuki, K., T. Maekawa, 1999. Analysis of on sprouting control of brown rice. *Japan. J. of Soc. of Agri. Struc.* Vol. 30(1): 1-10
79. Noriko Komatsuzaki. 2005. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering.*

available online.

81. G.Fischer, M. Tausz, M. Köck and Dieter Grill. 2004. Effect of Weak  $16\frac{2}{3}$ Hz Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings. *Bioelectromagnetics* 25. pp. 638-641.
82. Eun Seon Kyoung, Jin Key Kim, Jong Seok Kim, Sang Yong Ma and Whan Seong Ryang. 1999. Germination Characteristics of Some Red Rice Accessions. *Korean J. Crop Sci.* 44(4). pp. 316-320.
83. Noriko Komatsuzaki, Kikuichi Tsukahara, Tadanao Suzuki, Toshinori Kimura. 2005. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering*.
85. Obolensky, G. 1953. Stimulation of plant growth by ultrasonic waves, *Radio-Electronis*.
86. Garner, L.C. and T. Bjorkman. 1966. Mechanical conditioning for controlling excessive elongation in tomato transplants: sensitivity to dose, frequency and timing of brushing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 894-900.
87. Tanaka, K. and Shimaji. 1992. Production of tomato seedling at high planting density by mechanical stimulation. *Environ. Control in Biol.* 30: 59-64.
88. You, S.N. and C.K. Sang. 1997. The effect of mechanical stress on the growth and development in various floricultural crops. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 18: 88-100.
89. Adams, R. 1999. Germination of *Callitris* seeds in relation to temperature water stress, priming and hydration-dehydration cycles *J. Arid Environ.* 43: 437-448
92. Caroline, P., H. W. Linus , and A. Douwe. 1995. Importance of dormancy and sink strength in sprouting of onions during storage. *Physiol. Plant.* 94: 277-283.
93. Cho, S. K., H. Y. Seo, I. H. Choi, Y. S. Jang, D. Y. Hyun, E. Tai and K. G. Choi. 2001. Optimal sowing time for pelleted onion seeds in direct sowing



- culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42: 410-414.
94. Forbes, I. J., and M. H. Ferguson. 1948. Effect of strain difference, seed treatment and planting depth on seed germination of *Ziysia* spp. *Agron.J.* 40:725-732
97. Kwon, B. S., E. T. Lee, D. H. Chung, H. J. Park and S. R. Lee. 1995. The effects of the planting time of mother bulb and mulching materials for the seed production of onion. *J. Oriental Bot. Res.* 8: 247-252.
98. Lee, E. K., J. S. Kim, Y. K. Lee, and Y. B. Lee. 1998. The acceleration of germination in welsh onion seed irradiated with low dose-ray radiation. *Korean J. Environ. Agric.* 17: 346-351.
99. Lee, E. S., S. Y. Kim, and K. J. Kim. 1987. Studies on optimum temperature for sprouting and breaking dormancy in potato cultivars for processing. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 28: 226-232.
100. Lee, S. C., and S. W. Park. 2000. Characteristics of pellet seed on germination and emergence in onion. *Kor. J. Plant Res.* 13: 41-47
101. Moon, J. D., and H. S. Chung. 2000. Acceleration of germination rate of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *J. Electrstat.* 48: 103-114.
102. Okaaki, N., N. Yanai, and K. Hishinuma. 1978. Control of the germination of secondary dormant cocklebur seeds by various germination stimulants. *Plant Cell Physiol.* 19:1497-1506.
103. Park, C. S, D. S. Lee, J. T. Kim, B. T. Kim, and S. M. Lee. 2000. The effect of magnetic field on the plant seed sprout. *J. Kor. Soc. Jungshin Sci* 4:17-22
107. Wang, Q., Xie, Y., Zhong, S.. Z., and Zhang, Z.Q. 1994. The electrochemical reactions in tissue culture medium under direct current stimulation. *Chin. J. Bioeng.*, 11:143-146,

## 부록 (Appendix)

### Type I. Germination of brown rice soaking in water for 60 hours

Table 2-2. The affects of sprout length on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments.

(unit : mm)

Seed treatment	%	Germination period(hours)				
		12	24	36	48	60
Non-primed	0	0±0	<sup>BA</sup> 0.258±0.124 <sup>C</sup>	<sup>BC</sup> 0.422±0.201 <sup>B</sup>	<sup>BC</sup> 0.822±0.506 <sup>BAC</sup>	<sup>BC</sup> 1.729±1.188 <sup>BA</sup>
	0.001	0±0	<sup>D</sup> 0.064±0.134 <sup>BC</sup>	<sup>C</sup> 0.366±0.434 <sup>BA</sup>	<sup>BC</sup> 0.837±0.7567 <sup>A</sup>	<sup>C</sup> 1.275±1.470 <sup>BA</sup>
AA	0.01	0±0	<sup>DC</sup> 0.095±0.136 <sup>BC</sup>	<sup>BC</sup> 0.432±0.234 <sup>BA</sup>	<sup>C</sup> 0.672±0.367 <sup>BDC</sup>	<sup>C</sup> 1.194±0.918 <sup>BC</sup>
	0.05	0±0	<sup>D</sup> 0.051±0.128 <sup>C</sup>	<sup>C</sup> 0.143±0.160 <sup>B</sup>	<sup>D</sup> 0.276±0.1584 <sup>D</sup>	<sup>D</sup> 0.447±0.281 <sup>DC</sup>
WSC	0.001	0±0	<sup>A</sup> 0.295±0.227 <sup>A</sup>	<sup>A</sup> 0.758±0.505 <sup>A</sup>	<sup>BC</sup> 0.945±0.793 <sup>A</sup>	<sup>BC</sup> 1.841±1.745 <sup>A</sup>
	0.01	0±0	<sup>BAC</sup> 0.232±0.205 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 0.695±0.436 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 1.121±0.666 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 2.069±1.087 <sup>BA</sup>
	0.05	0±0	<sup>A</sup> 0.288±0.250 <sup>A</sup>	<sup>BA</sup> 0.680±0.382 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 1.336±0.709 <sup>A</sup>	<sup>A</sup> 2.655±1.597 <sup>BA</sup>
WUC	0.001	0±0	<sup>BDC</sup> 0.118±0.196 <sup>BAC</sup>	<sup>C</sup> 0.195±0.364 <sup>BA</sup>	<sup>D</sup> 0.195±0.188 <sup>DC</sup>	<sup>D</sup> 0.195±0.206 <sup>D</sup>
	0.01	0±0	<sup>D</sup> 0.083±0.184 <sup>BAC</sup>	<sup>C</sup> 0.172±0.357 <sup>BA</sup>	<sup>D</sup> 0.172±0.357 <sup>BDC</sup>	<sup>D</sup> 0.176±0.327 <sup>DC</sup>
	0.05	0±0	<sup>BDC</sup> 0.139±0.207 <sup>BA</sup>	<sup>C</sup> 0.229±0.347 <sup>BA</sup>	<sup>D</sup> 0.229±0.353 <sup>BDC</sup>	<sup>D</sup> 0.268±0.367 <sup>DC</sup>
Significance	-	**±**	**±NS	***±***	***±***	

<sup>1)</sup>Mean value and standard error of sprout length.

<sup>2)</sup>A~D Means with different superscripts in the same column differ significantly

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

<sup>4)</sup>AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-insoluble chitosan

Table 2-3. The affect of sprout length on brown rice according to US treatment.

(unit : mm)

Seed treatment	min	Germination period(hours)					
		12	24	36	48	60	
Non-primed	0	0±0	<sup>E</sup> 0.087±0.129 <sup>H</sup>	<sup>E</sup> 0.557±0.384 <sup>E</sup>	<sup>E</sup> 1.2105±0.757 <sup>BC</sup>	<sup>G</sup> 2.247±1.333 <sup>B</sup>	
	1	0±0	<sup>CD</sup> 0.164±0.188 <sup>EF</sup>	<sup>DE</sup> 0.670±0.431 <sup>DE</sup>	<sup>ED</sup> 1.356±0.781 <sup>BC</sup>	<sup>FDE</sup> 3.112±1.314 <sup>B</sup>	
	5	0±0	<sup>CB</sup> 0.195±0.229 <sup>CB</sup>	<sup>DEC</sup> 0.763±0.581 <sup>BDAC</sup>	<sup>BDC</sup> 1.595±1.004 <sup>BAC</sup>	<sup>FDE</sup> 3.133±1.634 <sup>B</sup>	
	28kHz	10	0±0	<sup>C</sup> 0.186±0.173 <sup>GF</sup>	<sup>BAC</sup> 0.886±0.673 <sup>A</sup>	<sup>BA</sup> 1.786±1.257 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 3.749±1.931 <sup>B</sup>
	20	0±0	<sup>A</sup> 0.253±0.216 <sup>CD</sup>	<sup>BA</sup> 1.018±0.604 <sup>BA</sup>	<sup>BC</sup> 1.640±1.035 <sup>BAC</sup>	<sup>BDAC</sup> 3.456±1.740 <sup>B</sup>	
30	0±0	<sup>A</sup> 0.272±0.209 <sup>D</sup>	<sup>BAC</sup> 0.926±0.505 <sup>BDEC</sup>	<sup>BA</sup> 1.836±0.853 <sup>BC</sup>	<sup>FDE</sup> 3.139±1.418 <sup>B</sup>		
40kHz	1	0±0	<sup>D</sup> 0.153±0.111 <sup>I</sup>	<sup>E</sup> 0.597±0.431 <sup>DE</sup>	<sup>ED</sup> 1.335±0.789 <sup>BC</sup>	<sup>FDE</sup> 2.922±1.509 <sup>B</sup>	
	5	0±0	<sup>A</sup> 0.280±0.291 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 0.904±0.633 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 1.851±1.027 <sup>BAC</sup>	<sup>BA</sup> 3.837±4.482 <sup>A</sup>	
	10	0±0	<sup>A</sup> 0.274±0.234 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 0.960±0.607 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 1.947±0.876 <sup>BA</sup>	<sup>BDAC</sup> 3.459±1.792 <sup>B</sup>	
	20	0±0	<sup>B</sup> 0.220±0.190 <sup>EF</sup>	<sup>A</sup> 1.048±0.613 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 1.739±0.952 <sup>BAC</sup>	<sup>BDEC</sup> 3.357±1.652 <sup>B</sup>	
	30	0±0	<sup>CB</sup> 0.195±0.165 <sup>G</sup>	<sup>BA</sup> 1.006±0.651 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 1.861±1.096 <sup>BA</sup>	<sup>FDEC</sup> 3.199±1.603 <sup>B</sup>	
60kHz	1	0±0	<sup>C</sup> 0.186±0.199 <sup>ED</sup>	<sup>DEC</sup> 0.754±0.508 <sup>BDEC</sup>	<sup>BAC</sup> 1.695±0.867 <sup>BC</sup>	<sup>FEG</sup> 2.801±1.646 <sup>B</sup>	
	5	0±0	<sup>CD</sup> 0.182±0.144 <sup>H</sup>	<sup>DEC</sup> 0.755±0.446 <sup>DEC</sup>	<sup>BAC</sup> 1.668±0.726 <sup>C</sup>	<sup>FEG</sup> 2.769±1.586 <sup>B</sup>	
	10	0±0	<sup>CB</sup> 0.198±0.180 <sup>GF</sup>	<sup>BDC</sup> 0.826±0.417 <sup>E</sup>	<sup>EDC</sup> 1.440±0.714 <sup>C</sup>	<sup>FG</sup> 2.703±1.530 <sup>B</sup>	
	20	0±0	<sup>A</sup> 0.260±0.216 <sup>CD</sup>	<sup>BAC</sup> 0.959±0.578 <sup>BDAC</sup>	<sup>BA</sup> 1.836±1.076 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 3.985±4.899 <sup>A</sup>	
	30	0±0	<sup>A</sup> 0.252±0.173 <sup>GF</sup>	<sup>BDAC</sup> 0.872±0.592 <sup>BAC</sup>	<sup>BA</sup> 1.862±0.976 <sup>BAC</sup>	<sup>FDE</sup> 3.145±1.696 <sup>B</sup>	
Significance	-	***±	***±	***±	***±		

<sup>1)</sup>Mean value and standard error of sprout length.

<sup>2)</sup>A~H Means with different superscripts in the same column differ significantly.

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Table 2-4. The affects of germination rate, T50 and T<sub>2.5</sub> on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments.

(unit : mm)

Seed treatment	%	Germination rate(%)					T50(hr)	T <sub>2.5</sub> (hr)	T <sub>2.5</sub> Rate
		12hr	24hr	36hr	48hr	60hr			
Non-primed	0	0	33.3	74.0	78.7	88.7	27.3	70.2	1.000
	0.001	0	40.0	80.7	82.7	84.7	24.7	93.5	1.333
AA	0.01	0	40.0	82.0	84.0	88.0	25.1	90.0	1.282
	0.05	0	29.3	56.0	62.7	64.7	25.4	204.0	2.907
	0.001	0	50.7	84.7	86.0	92.0	22.9	68.8	0.980
WSC	0.01	0	52.7	88.0	88.7	94.0	22.7	65.4	0.932
	0.05	0	56.0	88.7	88.7	92.0	21.9	58.5	0.835
	0.001	0	24.7	26.7	28.7	34.0	20.3	1137.7	16.206
WUC	0.01	0	18.0	30.0	32.0	34.7	23.6	7032	100.170
	0.05	0	22.7	38.7	42.0	48.7	25.2	746.77	10.638
Significance		-	***	***	***	***			

<sup>1)</sup>Germination time(hr) required for 2.5 mm sprout length (T<sub>2.5</sub>)

<sup>2)</sup>50% of the final germination percentage (T50)

<sup>3)</sup>T<sub>2.5</sub> rate = T<sub>2.5</sub>(hr) / Non-primed T<sub>2.5</sub>(hr)

<sup>4)</sup>AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-insoluble chitosan

<sup>5)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Table 2-5. The affects of germination rate, T50 and T<sub>2.5</sub> on brown rice according to ultra-sound 28, 40 and 60 kHz treatments.

(unit : mm)

Seed treatment	min	Germination rate(%)					T50(hr)	T <sub>2.5</sub> (hr)	T <sub>2.5</sub> Rate	
		12hr	24hr	36hr	48hr	60hr				
Non-primed	0	0	40.7	68.7	88.7	98.7	27.7	62.9	1.000	
	1	0	56.0	80.7	94.0	98.7	22.6	55.8	0.887	
	5	0	62.0	82.0	94.7	96.7	21.4	55.0	0.875	
	10	0	68.7	82.7	92.0	98.0	20.6	52.3	0.832	
	20	0	74.0	84.7	90.0	96.0	19.8	53.6	0.853	
28kHz	30	0	76.0	86.0	94.0	96.7	19.6	54.1	0.860	
	1	0	66.0	78.7	88.7	96.0	20.7	56.8	0.903	
	5	0	64.7	80.7	92.7	94.7	20.8	51.9	0.825	
	10	0	70.7	86.7	92.7	98.0	20.3	52.3	0.833	
	20	0	68.7	80.0	94.7	96.7	20.4	53.6	0.852	
40kHz	30	0	72.0	86.7	88.7	92.7	19.7	53.7	0.854	
	1	0	56.7	82.7	94.0	94.0	21.9	56.7	0.902	
	5	0	74.7	82.0	96.0	96.7	19.8	57.5	0.907	
	10	0	68.7	86.7	94.7	94.7	20.3	59.0	0.923	
	20	0	74.0	86.7	94.0	96.7	19.8	57.1	0.822	
60kHz	30	0	74.7	82.0	94.7	98.7	19.9	53.9	0.858	
	Significance		-	***	**	NS	NS			

<sup>1)</sup>Germination time(hr) required for 2.5 mm sprout length (T<sub>2.5</sub>)

<sup>2)</sup>50% of the final germination percentage (T50)

<sup>3)</sup>T<sub>2.5</sub> rate = T<sub>2.5</sub>(hr) / Non-primed T<sub>2.5</sub>(hr)

<sup>4)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Type II. Germination of brown rice soaking in water for 12 hours  
and supplying moisture for 48 hours

Table 2-6. The affects of sprout length on brown rice according to AA, WSC, WUC  
treatments.

(unit : mm)

Seed treatment	%	Germination period(hours)				
		12	24	36	48	60
Non-primed	0	0±0	<sup>F</sup> 0.092±0.137 <sup>G</sup>	<sup>E</sup> 0.215±0.219 <sup>E</sup>	<sup>DC</sup> 0.757±0.613 <sup>BA</sup>	<sup>ED</sup> 1.324±1.681 <sup>A</sup>
	0.001	0±0	<sup>D</sup> 0.128±0.148 <sup>F</sup>	<sup>D</sup> 0.299±0.231 <sup>D</sup>	<sup>BAC</sup> 1.037±0.665 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.204±1.249 <sup>BA</sup>
AA	0.01	0±0	<sup>B</sup> 0.190±0.166 <sup>C</sup>	<sup>B</sup> 0.460±0.236 <sup>D</sup>	<sup>DC</sup> 0.768±0.388 <sup>BA</sup>	<sup>EDC</sup> 1.549±1.115 <sup>BAC</sup>
	0.05	0±0	<sup>E</sup> 0.103±0.119 <sup>I</sup>	<sup>E</sup> 0.240±0.185 <sup>F</sup>	<sup>ED</sup> 0.522±0.357 <sup>BA</sup>	<sup>EF</sup> 0.812±0.567 <sup>BDC</sup>
WSC	0.001	0±0	<sup>A</sup> 0.229±0.171 <sup>B</sup>	<sup>A</sup> 0.535±0.237 <sup>D</sup>	<sup>BDC</sup> 0.937±0.465 <sup>BA</sup>	<sup>BDC</sup> 1.920±1.443 <sup>A</sup>
	0.01	0±0	<sup>C</sup> 0.144±0.134 <sup>H</sup>	<sup>C</sup> 0.348±0.194 <sup>F</sup>	<sup>A</sup> 1.415±0.652 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 2.451±1.709 <sup>A</sup>
	0.05	0±0	<sup>A</sup> 0.226±0.235 <sup>A</sup>	<sup>A</sup> 0.546±0.351 <sup>A</sup>	<sup>BA</sup> 1.269±0.608 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 2.810±1.100 <sup>BAC</sup>
WUC	0.001	0±0	<sup>FE</sup> 0.099±0.152 <sup>E</sup>	<sup>E</sup> 0.220±0.252 <sup>C</sup>	<sup>F</sup> 0.181±0.314 <sup>B</sup>	<sup>F</sup> 0.181±0.320 <sup>D</sup>
	0.01	0±0	<sup>H</sup> 0.069±0.154 <sup>ED</sup>	<sup>G</sup> 0.130±0.265 <sup>B</sup>	<sup>F</sup> 0.162±0.315 <sup>B</sup>	<sup>F</sup> 0.195±0.423 <sup>DC</sup>
	0.05	0±0	<sup>G</sup> 0.082±0.155 <sup>D</sup>	<sup>F</sup> 0.172±0.258 <sup>CB</sup>	<sup>E</sup> 0.200±0.318 <sup>BA</sup>	<sup>F</sup> 0.523±0.532 <sup>BDC</sup>
Significance	-	***±	***±	***±	***±	***±

<sup>1)</sup>Mean value and standard error of sprout length.

<sup>2)</sup>A~H Means with different superscripts in the same column differ significantly

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

<sup>4)</sup>AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-unsoluble chitosan

Table 2-7. The affect of sprout length on brown rice according to US treatment.

(unit : mm)

Seed treatm ent	min	Germination period(hours)					
		12	24	36	48	60	
Non- primed	0	0±0	<sup>F</sup> 0.067±0.116 <sup>I</sup>	<sup>B</sup> 0.502±0.116 <sup>I</sup>	<sup>C</sup> 1.059±0.567 <sup>A</sup>	<sup>C</sup> 1.970±0.998 <sup>BC</sup>	
	28 kHz	1	0±0	<sup>ECD</sup> 0.136±0.185 <sup>GF</sup>	<sup>B</sup> 0.609±0.185 <sup>GF</sup>	<sup>BC</sup> 1.161±0.870 <sup>A</sup>	<sup>C</sup> 1.988±0.930 <sup>BC</sup>
		5	0±0	<sup>ECD</sup> 0.133±0.218 <sup>CD</sup>	<sup>B</sup> 0.635±0.218 <sup>CD</sup>	<sup>BAC</sup> 1.202±0.692 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.300±1.334 <sup>A</sup>
		10	0±0	<sup>ED</sup> 0.126±0.170 <sup>G</sup>	<sup>B</sup> 0.597±0.170 <sup>G</sup>	<sup>BC</sup> 1.168±0.618 <sup>A</sup>	<sup>BC</sup> 2.036±0.916 <sup>BC</sup>
		20	0±0	<sup>BA</sup> 0.232±0.223 <sup>CD</sup>	<sup>BA</sup> 0.846±0.223 <sup>CD</sup>	<sup>BAC</sup> 1.418±0.754 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.405±1.137 <sup>BAC</sup>
		30	0±0	<sup>A</sup> 0.255±0.215 <sup>CD</sup>	<sup>BA</sup> 0.807±0.215 <sup>CD</sup>	<sup>BAC</sup> 1.486±0.784 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.266±1.230 <sup>BA</sup>
40 kHz	1	0±0	<sup>EF</sup> 0.113±0.092 <sup>J</sup>	<sup>BA</sup> 0.768±0.092 <sup>J</sup>	<sup>BAC</sup> 1.328±0.761 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.241±0.830 <sup>C</sup>	
	5	0±0	<sup>A</sup> 0.264±0.293 <sup>A</sup>	<sup>BA</sup> 0.699±0.293 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 1.448±0.903 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.205±1.002 <sup>BC</sup>	
	10	0±0	<sup>BA</sup> 0.235±0.244 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 0.799±0.244 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 1.591±0.744 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.371±0.921 <sup>BC</sup>	
	20	0±0	<sup>ECD</sup> 0.149±0.196 <sup>EF</sup>	<sup>BA</sup> 0.799±0.196 <sup>EF</sup>	<sup>BAC</sup> 1.501±0.639 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.409±0.992 <sup>BC</sup>	
	30	0±0	<sup>ECD</sup> 0.140±0.174 <sup>G</sup>	<sup>BA</sup> 0.743±0.174 <sup>G</sup>	<sup>A</sup> 1.744±0.695 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.453±0.982 <sup>BC</sup>	
60 kHz	1	0±0	<sup>ECD</sup> 0.167±0.206 <sup>ED</sup>	<sup>BA</sup> 0.763±0.206 <sup>ED</sup>	<sup>A</sup> 1.734±0.833 <sup>A</sup>	<sup>A</sup> 2.715±1.247 <sup>BA</sup>	
	5	0±0	<sup>ECD</sup> 0.164±0.149 <sup>H</sup>	<sup>BA</sup> 0.736±0.149 <sup>H</sup>	<sup>BAC</sup> 1.443±0.656 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.481±1.135 <sup>BAC</sup>	
	10	0±0	<sup>BC</sup> 0.187±0.181 <sup>GF</sup>	<sup>BA</sup> 0.713±0.181 <sup>GF</sup>	<sup>BC</sup> 1.094±0.618 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.138±0.812 <sup>C</sup>	
	20	0±0	<sup>BCD</sup> 0.182±0.229 <sup>CB</sup>	<sup>A</sup> 1.049±0.229 <sup>CB</sup>	<sup>BAC</sup> 1.598±0.731 <sup>A</sup>	<sup>BAC</sup> 2.537±1.050 <sup>BAC</sup>	
	30	0±0	<sup>BA</sup> 0.237±0.172 <sup>G</sup>	<sup>BA</sup> 0.781±0.172 <sup>G</sup>	<sup>BA</sup> 1.632±0.655 <sup>A</sup>	<sup>BA</sup> 2.594±1.039 <sup>BAC</sup>	
Significanc e	-	***±***	NS±***	*±NS	NS±*		

<sup>1)</sup>Mean value and standard error of sprout length.

<sup>2)</sup>A~I Means with different superscripts in the same column differ significantly.

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Table 2-8. The affects of germination rate, T50 and T<sub>2.5</sub> on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments.

(unit : mm)

Seed treatm ent	%	Germination rate(%)					T50(hr)	T <sub>2.5</sub> (hr)	T <sub>2.5</sub> Rate
		12hr	24hr	36hr	48hr	60hr			
Non- primed	0	0	26.0	66.0	78.7	82.0	28.5	84.8	1.000
	0.001	0	38.0	78.0	84.7	96.0	27.0	63.0	0.743
AA	0.01	0	44.0	84.0	90.0	94.0	24.9	74.6	0.879
	0.05	0	38.0	78.0	78.0	86.7	25.6	129.8	1.530
	0.001	0	50.0	86.7	88.0	90.0	22.8	67.0	0.790
WSC	0.01	0	46.0	86.0	94.0	92.0	24.0	60.5	0.713
	0.05	0	46.0	86.0	90.7	92.7	24.1	57.5	0.678
	0.001	0	26.0	30.0	34.7	36.0	20.3	1078.1	12.700
WUC	0.01	0	18.0	26.0	28.0	28.0	21.3	898.18	10.581
	0.05	0	26.0	36.7	44.7	60.0	28.5	133.45	1.572
Significance	-	-	***	***	***	***	-	-	-

<sup>1)</sup>Germination time(hr) required for 2.5 mm sprout length (T<sub>2.5</sub>)

<sup>2)</sup>50% of the final germination percentage (T50)

<sup>3)</sup>T<sub>2.5</sub> rate = T<sub>2.5</sub>(hr) / Non-primed T<sub>2.5</sub>(hr)

<sup>4)</sup>AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-insoluble chitosan

<sup>5)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).



Table 2-9. The affects of germination rate, T50 and T<sub>2.5</sub> on brown rice according to ultra-sound 28, 40 and 60 kHz treatments.

(unit : mm)

Seed treatme nt	min	Germination rate(%)					T50(hr)	T <sub>2.5</sub> (hr)	T <sub>2.5</sub> Rate	
		12hr	24hr	36hr	48hr	60hr				
Non- primed	0	0	32.0	74.7	90.7	90.7	27.8	66.9	1.000	
	1	0	46.7	80.7	90.0	92.7	23.9	67.4	1.007	
	5	0	42.0	80.7	88.7	90.0	24.9	62.1	0.928	
	28 kHz	10	0	46.7	84.0	92.0	92.7	23.9	66.4	0.993
	20	0	68.0	84.7	92.0	92.7	20.2	61.1	0.913	
28 kHz	30	0	72.0	82.0	88.7	88.7	19.4	63.6	0.951	
	1	0	62.0	94.0	94.0	96.7	21.4	63.4	0.948	
	5	0	62.7	90.0	92.7	94.0	21.0	64.6	0.966	
	40 kHz	10	0	60.7	88.0	88.7	94.7	21.4	61.9	0.925
	20	0	46.0	88.0	92.0	92.7	24.1	61.2	0.915	
40 kHz	30	0	58.0	90.0	92.7	92.0	21.6	60.7	0.907	
	1	0	48.7	94.0	92.7	94.7	23.7	57.3	0.857	
	5	0	68.0	88.7	92.0	92.7	20.2	60.2	0.900	
	60 kHz	10	0	66.7	84.0	88.7	94.0	20.5	64.1	0.958
	20	0	50.0	92.0	94.7	96.7	23.6	59.5	0.889	
60 kHz	30	0	72.7	90.7	92.7	96.7	20.0	58.8	0.879	
	Significance	-	*	**	NS	*				

<sup>1)</sup>Germination time(hr) required for 2.5 mm sprout length (T<sub>2.5</sub>)

<sup>2)</sup>50% of the final germination percentage (T50)

<sup>3)</sup>T<sub>2.5</sub> rate = T<sub>2.5</sub>(hr) / Non-primed T<sub>2.5</sub>(hr)

<sup>4)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Type III. Germination of brown rice soaking in water for 12 hours and supplying moisture for 12 hours repeatedly

Table 2-10. The affects of sprout length on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments.

(unit : mm)

Seed treatment	%	Germination period(hours)				
		12	24	36	48	60
Non-primed	0	0	<sup>F</sup> 0.098±0.142 <sup>FE</sup>	<sup>BAC</sup> 0.429±0.453 <sup>A</sup>	<sup>C</sup> 1.178±0.550 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 2.132±0.952 <sup>A</sup>
	0.001	0	<sup>D</sup> 0.137±0.159 <sup>C</sup>	<sup>BEDC</sup> 0.316±0.276 <sup>C</sup>	<sup>BA</sup> 1.442±0.531 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 2.184±0.868 <sup>A</sup>
AA	0.01	0	<sup>B</sup> 0.194±0.173 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 0.413±0.304 <sup>BC</sup>	<sup>BC</sup> 1.208±0.447 <sup>B</sup>	<sup>B</sup> 1.669±0.612 <sup>B</sup>
	0.05	0	<sup>E</sup> 0.109±0.126 <sup>G</sup>	<sup>EDC</sup> 0.266±0.222 <sup>C</sup>	<sup>D</sup> 0.712±0.540 <sup>B</sup>	<sup>C</sup> 0.735±0.583 <sup>B</sup>
WSC	0.001	0	<sup>A</sup> 0.228±0.174 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 0.492±0.319 <sup>BAC</sup>	<sup>BC</sup> 1.359±0.491 <sup>B</sup>	<sup>A</sup> 2.237±0.808 <sup>A</sup>
	0.01	0	<sup>C</sup> 0.148±0.136 <sup>F</sup>	<sup>BDC</sup> 0.366±0.234 <sup>C</sup>	<sup>BC</sup> 1.402±0.754 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 2.364±0.836 <sup>A</sup>
	0.05	0	<sup>A</sup> 0.230±0.239 <sup>A</sup>	<sup>A</sup> 0.602±0.431 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 1.652±0.682 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 2.359±0.906 <sup>A</sup>
WUC	0.001	0	<sup>E</sup> 0.116±0.149 <sup>DC</sup>	<sup>ED</sup> 0.187±0.318 <sup>BAC</sup>	<sup>E</sup> 0.390±0.897 <sup>BA</sup>	<sup>C</sup> 0.456±0.372 <sup>C</sup>
	0.01	0	<sup>H</sup> 0.069±0.154 <sup>DC</sup>	<sup>E</sup> 0.137±0.317 <sup>BAC</sup>	<sup>E</sup> 0.241±0.985 <sup>BA</sup>	<sup>C</sup> 0.326±0.276 <sup>C</sup>
	0.05	0	<sup>G</sup> 0.083±0.155 <sup>DC</sup>	<sup>ED</sup> 0.199±0.303 <sup>BC</sup>	<sup>E</sup> 0.447±1.384 <sup>A</sup>	<sup>C</sup> 0.468±0.557 <sup>B</sup>
Significance	-		***±***	**±*	***±NS	***±***

<sup>1</sup>) Mean value and standard error of sprout length.

<sup>2</sup>) A~F Means with different superscripts in the same column differ significantly.

<sup>3</sup>) NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

<sup>4</sup>) AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-unsoluble chitosan

Table 2-11. The affect of sprout length on brown rice according to US treatment.

(unit : mm)

Seed treatm ent	min	Germination period(hours)					
		12	24	36	48	60	
Non- primed	0	0±0	<sup>F</sup> 0.113±0.118 <sup>D</sup>	<sup>H</sup> 0.535±0.387 <sup>B</sup>	<sup>BC</sup> 1.254±0.481 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 2.656±0.976 <sup>BDAC</sup>	
	1	0±0	<sup>BDC</sup> 0.230±0.179 <sup>C</sup>	<sup>G</sup> 0.700±0.459 <sup>B</sup>	<sup>C</sup> 1.215±0.549 <sup>BA</sup>	<sup>BDAC</sup> 2.341±0.816 <sup>BDAC</sup>	
	5	0±0	<sup>BDAC</sup> 0.235±0.230 <sup>B</sup>	<sup>G</sup> 0.691±0.480 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 1.517±0.575 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 2.715±0.946 <sup>BDAC</sup>	
	28kHz	10	0±0	<sup>DE</sup> 0.189±0.170 <sup>C</sup>	<sup>EFD</sup> 0.848±0.607 <sup>B</sup>	<sup>A</sup> 1.540±0.716 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 2.715±0.875 <sup>BDAC</sup>
	20	0±0	<sup>BAC</sup> 0.235±0.224 <sup>B</sup>	<sup>ECD</sup> 0.897±0.590 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 1.378±0.570 <sup>BA</sup>	<sup>DC</sup> 2.048±0.670 <sup>BDC</sup>	
	30	0±0	<sup>BAC</sup> 0.246±0.181 <sup>C</sup>	<sup>A</sup> 1.151±0.599 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 1.366±0.512 <sup>B</sup>	<sup>D</sup> 1.932±0.586 <sup>D</sup>	
40kHz	1	0±0	<sup>F</sup> 0.133±0.113 <sup>D</sup>	<sup>FG</sup> 0.732±0.484 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 1.517±0.666 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 2.705±0.792 <sup>BDAC</sup>	
	5	0±0	<sup>A</sup> 0.277±0.290 <sup>A</sup>	<sup>EFD</sup> 0.829±0.509 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 1.415±0.595 <sup>BA</sup>	<sup>BDAC</sup> 2.454±0.819 <sup>BDAC</sup>	
	10	0±0	<sup>BA</sup> 0.261±0.224 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 1.079±1.067 <sup>A</sup>	<sup>A</sup> 1.590±0.590 <sup>BA</sup>	<sup>A</sup> 2.930±0.857 <sup>BDAC</sup>	
	20	0±0	<sup>DEC</sup> 0.202±0.190 <sup>C</sup>	<sup>BC</sup> 1.005±0.561 <sup>B</sup>	<sup>A</sup> 1.531±0.528 <sup>B</sup>	<sup>BDAC</sup> 2.37±0.618 <sup>DC</sup>	
	30	0±0	<sup>DEC</sup> 0.207±0.176 <sup>C</sup>	<sup>BCD</sup> 0.959±0.648 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 1.483±0.535 <sup>B</sup>	<sup>BDC</sup> 2.267±0.582 <sup>D</sup>	
60kHz	1	0±0	<sup>DEC</sup> 0.203±0.177 <sup>C</sup>	<sup>EFG</sup> 0.789±0.500 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 1.387±0.591 <sup>BA</sup>	<sup>BDAC</sup> 2.490±1.149 <sup>A</sup>	
	5	0±0	<sup>E</sup> 0.175±0.174 <sup>C</sup>	<sup>FG</sup> 0.755±0.495 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 1.486±0.626 <sup>BA</sup>	<sup>BDAC</sup> 2.389±0.933 <sup>BDAC</sup>	
	10	0±0	<sup>BDC</sup> 0.222±0.179 <sup>C</sup>	<sup>ECD</sup> 0.902±0.493 <sup>B</sup>	<sup>BA</sup> 1.492±0.528 <sup>B</sup>	<sup>BAC</sup> 2.558±0.798 <sup>BDAC</sup>	
	20	0±0	<sup>BAC</sup> 0.248±0.188 <sup>C</sup>	<sup>CD</sup> 0.939±0.496 <sup>B</sup>	<sup>A</sup> 1.584±0.980 <sup>A</sup>	<sup>BA</sup> 2.681±0.726 <sup>BDC</sup>	
	30	0±0	<sup>A</sup> 0.276±0.169 <sup>C</sup>	<sup>BC</sup> 1.001±0.524 <sup>B</sup>	<sup>A</sup> 1.603±0.700 <sup>BA</sup>	<sup>BA</sup> 2.816±1.003 <sup>BA</sup>	
Significance	-	***±***	**±**	*±NS	*±*		

<sup>1)</sup>Mean value and standard error of sprout length.

<sup>2)</sup>A~H Means with different superscripts in the same column differ significantly.

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Table 2-12. The affects of germination rate, T50 and T<sub>2.5</sub> on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments.

(unit : mm)

Seed treatme nt	%	Germination rate(%)					T50(hr)	T <sub>2.5</sub> (hr)	T <sub>2.5</sub> Rate
		12hr	24hr	36hr	48hr	60hr			
Non- primed	0	0	26.0	62.7	94.0	96.7	31.3	64.6	1.000
	0.001	0	38.0	66.7	98.0	98.0	28.6	65.1	1.007
AA	0.01	0	44.0	68.0	94.7	98.0	26.5	81.6	1.263
	0.05	0	38.0	64.7	74.0	76.7	24.2	980.8	15.177
	0.001	0	50.0	80.0	96.7	100.0	24.0	63.5	0.984
WSC	0.01	0	46.0	88.0	90.7	96.7	24.7	61.6	0.955
	0.05	0	46.0	86.0	94.0	96.7	24.7	62.3	0.965
	0.001	0	40.7	32.0	50.7	54.0	20.0	174.0	6.679
WUC	0.01	0	18.0	24.0	48.7	52.0	37.0	260.1	4.025
	0.05	0	26.0	40.0	48.7	50.7	23.4	1221.1	18.895
Significance	-	-	***	***	***	**			

<sup>1</sup>)Germination time(hr) required for 2.5 mm sprout length (T<sub>2.5</sub>)

<sup>2</sup>)50% of the final germination percentage (T50)

<sup>3</sup>)T<sub>2.5</sub> rate = T<sub>2.5</sub>(hr) / Non-primed T<sub>2.5</sub>(hr)

<sup>4</sup>)AA: acetic acid, WSC: water-soluble chitosan, WUC: water-unsoluble chitosan

<sup>5</sup>)NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Table 2-13. The affects of germination rate, T50 and T<sub>2.5</sub> on brown rice according to ultra-sound 28, 40 and 60 kHz treatments.

(unit : mm)

Seed treatment	min	Germination rate(%)					T50(hr)	T <sub>2.5</sub> (hr)	T <sub>2.5</sub> Rate
		12hr	24hr	36hr	48hr	60hr			
Non-primed	0	0	68.0	86.0	96.7	100.0	20.8	58.6	1.000
28 kHz	1	0	78.7	87.3	93.3	96.7	19.4	61.6	1.051
	5	0	64.7	90.0	98.0	86.0	21.1	57.8	0.986
	10	0	62.7	88.7	96.0	98.0	21.4	57.8	0.986
	20	0	66.0	88.0	95.3	96.0	20.7	68.0	1.160
	30	0	74.7	92.0	94.7	96.7	19.8	72.0	1.229
40 kHz	1	0	66.0	89.3	94.7	97.3	20.8	57.9	0.988
	5	0	65.3	86.7	94.7	98.0	21.0	60.5	1.032
	10	0	71.3	88.7	96.0	98.0	20.2	56.1	0.957
	20	0	66.7	92.0	97.3	98.0	20.8	61.8	1.055
	30	0	76.0	91.3	95.3	98.0	19.7	63.5	1.084
60 kHz	1	0	67.3	86.0	92.0	92.7	20.3	60.1	1.026
	5	0	64.0	85.3	92.7	94.0	20.8	61.4	1.048
	10	0	76.0	91.3	96.0	97.0	19.7	59.3	1.012
	20	0	74.7	91.3	95.3	98.0	19.9	58.0	0.990
	30	0	82.7	91.3	94.7	96.0	19.0	56.8	0.969
Significance	-	**	NS	NS	NS				

<sup>1)</sup>Germination time(hr) required for 2.5 mm sprout length (T<sub>2.5</sub>)

<sup>2)</sup>50% of the final germination percentage (T50)

<sup>3)</sup>T<sub>2.5</sub> rate = T<sub>2.5</sub>(hr) / Non-primed T<sub>2.5</sub>(hr)

<sup>4)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\*, Nonsignificant or significant at P=0.05, 0.001, 0.0001, respectively(DMRT).

Table 2-14. Contents of amino acid in brown rice(BR), germinated brown rice(GR), cooked germinated brown rice(CR)

(unit : mg/100 g flour)

Amino acids	BR	GR	CR
CYA <sup>1)</sup>	0.0	0.0	0.0
Aspartic acid	13.4	0.9	4.5
Glutamic acid	17.6	1.8	3.7
Asparagine	10.2	0.0	0.4
Serine	2.8	2.8	6.0
Glutamine	0.9	0.0	0.4
Histidine	1.6	1.2	1.2
Glycine	1.6	1.7	4.0
Arginine	4.3	3.1	1.3
Threonine	0.9	0.6	4.8
Alanine	7.2	4.5	5.2
GABA <sup>2)</sup>	4.7	7.9	4.7
Proline	3.9	1.1	1.7
Theanine	3.5	1.8	3.1
Tyrosine	0.5	0.4	1.4
Valine	1.2	2.6	2.9
Methionine	0.0	0.3	0.8
Cystine	8.2	8.6	6.0
Isoleucine	4.8	4.9	4.5
Leucine	4.2	5.0	4.9
Phenylalanine	0.0	1.0	2.4
Tryptophan	34.6	40.1	41.2
Lysine	0.7	0.6	1.5
Total	126.8	90.9	106.6

<sup>1)</sup>CYA is cysteic acid + cysteine

<sup>2)</sup>GABA is  $\gamma$ -amino butyric acid.

<sup>3)</sup>The source of the data: Korea food research institute(2004).

## 표 목 차 (Table List)

Table 2-1 Specification of the experimental apparatus .....	43
Table 2-2 The affects of sprout length on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments. ....	152
Table 2-3 The affect of sprout length on brown rice according to US treatment .....	153
Table 2-4 The affects of germination rate, T50 and T <sub>2.5</sub> on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments. ....	154
Table 2-5 The affects of germination rate, T50 and T <sub>2.5</sub> on brown rice according to ultra-sound 28, 40 and 60 kHz treatments .....	155
Table 2-6 The affects of sprout length on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments. ....	156
Table 2-7 The affects of sprout length on brown rice according to US treatment .....	157
Table 2-8 The affects of germination rate, T50 and T <sub>2.5</sub> on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments. ....	158
Table 2-9 The affects of germination rate, T50 and T <sub>2.5</sub> on brown rice according to ultra-sound 28, 40 and 60 kHz treatments. ....	159
Table 2-10 The affects of sprout length on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments. ....	160
Table 2-11 The affects of sprout length on brown rice according to US treatment. ....	161
Table 2-12 The affects of germination rate, T50 and T <sub>2.5</sub> on brown rice according to AA, WSC, WUC treatments. ....	162
Table 2-13 The affects of germination rate, T50 and T <sub>2.5</sub> on brown rice according to ultra-sound 28, 40 and 60 kHz treatments. ....	163

Table 2-14 Contents of amino acid in brown rice(BR), germinated brown rice(GR), cooked germinated brown rice(CR) .....	164
Table 3-1 Specification of ITC-201A anion tester .....	83
Table 3-2 General characteristics of function generator .....	98
Table 3-3 Specification of DC high voltage generator .....	107
Table 3-4 The relation between proliferation of microflora and temperature .....	112
Table 3-5 Rate of microorganisms occurred in the soaking apparatus of brown rice germination according to treatments .....	119
Table 3-6 The specification of parts used for assembling a rice germinating biosystem of air-exposure type .....	131
Table 3-7 The analysis result of GABA concentration .....	135



## 그림 목차 (Figure List)

Fig. 2-1 Block diagram of the ultra-sound stimulus .....	34
Fig. 2-2 Flow chart of the germination of brown rice soaking in water for 60 hours(Type I) .....	38
Fig. 2-3 Flow chart of the germination of brown rice soaking in water for 12 hours and supplying moisture for 48 hours(Type II) .....	39
Fig. 2-4 Flow chart of the germination of brown rice soaking in water for 12 hours and supplying moisture for 12 hours repeatedly(Type III) .....	40
Fig. 2-5 Temp. & Humidity chamber .....	44
Fig. 2-6 The inside view of a chamber .....	44
Fig. 2-7 The image of experiment .....	45
Fig. 2-8 28kHz ultra-sound apparatus .....	45
Fig. 2-9 40kHz ultra-sound apparatus .....	46
Fig. 2-10 60kHz ultra-sound apparatus .....	46
Fig. 2-11 The effect of acetic acid on the germination of brown rice .....	52
Fig. 2-12 The effects of water-soluble chitosan on the germination of brown rice .....	52
Fig. 2-13 The effects of water-insoluble chitosan on the germination of brown rice .....	53
Fig. 2-14 The effects of 28 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	53
Fig. 2-15 The effects of 40 kHz ultra-sound strength 40% treatment in the germination of brown rice .....	54
Fig. 2-16 The effects of 40 kHz ultra-sound strength 70% treatment in the germination of brown rice .....	54
Fig. 2-17 The effects of 40 kHz ultra-sound strength strong(100%) treatment in the germination of brown rice .....	55

Fig. 2-18 The effects of 60 kHz ultra-sound weakness treatment in the germination of brown rice .....	55
Fig. 2-19 The effects of 60 kHz ultra-sound strength 100% treatment in the germination of brown rice .....	56
Fig. 2-20 The effects of AA, WSC, WUC on the germination rate of brown rice .....	56
Fig. 2-21 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination rate of brown rice .....	57
Fig. 2-22 The effects of AA, WSC, WUC on the germination length of brown rice .....	57
Fig. 2-23 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination length of brown rice .....	58
Fig. 2-24 The effect of acetic acid on the germination of brown rice .....	61
Fig. 2-25 The effects of water-soluble chitosan on the germination of brown rice .....	61
Fig. 2-26 The effects of water-insoluble chitosan on the germination of brown rice .....	62
Fig. 2-27 The effects of 28 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	62
Fig. 2-28 The effects of 40 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	63
Fig. 2-29 The effects of 60 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	63
Fig. 2-30 The effects of AA, WSC, WUC on the germination rate of brown rice .....	64
Fig. 2-31 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination rate of brown rice .....	64

Fig. 2-32 The effects of AA, WSC, WUC on the germination length of brown rice .....	65
Fig. 2-33 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination length of brown rice .....	65
Fig. 2-34 The effect of acetic acid on the germination of brown rice .....	68
Fig. 2-35 The effects of water-soluble chitosan on the germination of brown rice .....	69
Fig. 2-36 The effects of water-insoluble chitosan on the germination of brown rice .....	69
Fig. 2-37 The effects of 28 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	70
Fig. 2-38 The effects of 40 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	70
Fig. 2-39 The effects of 60 kHz ultra-sound on the germination of brown rice .....	71
Fig. 2-40 The effects of AA, WSC, WUC on the germination rate of brown rice .....	71
Fig. 2-41 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination rate of brown rice .....	72
Fig. 2-42 The effects of AA, WSC, WUC on the germination length of brown rice .....	72
Fig. 2-43 The effects of 28, 40, 60 kHz ultra-sound on the germination length of brown rice .....	73
Fig. 3-1 Temp & humidity test chamber .....	80
Fig. 3-2 Anion generator .....	81
Fig. 3-3 Schematic diagram of anion generator .....	81
Fig. 3-4 Block diagram of ion counter .....	82
Fig. 3-5 A instrument for measuring anion .....	83
Fig. 3-6 The images of brown rice changed by a TZ reagent .....	84
Fig. 3-7 Effects of anion on the GR-1 (GR : germination rate) .....	85
Fig. 3-8 Effects of anion on the GR-2 (GR : germination rate) .....	86

Fig. 3-9 Effects of anion on the SL-1(SL : Sprout length) .....	87
Fig. 3-10 Effects of anion on the SL-2 (SL : Sprout length) .....	87
Fig. 3-11 A statistical chart .....	88
Fig. 3-12 Control .....	88
Fig. 3-13 Anion stimuli treatment .....	88
Fig. 3-14 Soaking treatment without anion .....	88
Fig. 3-15 Features of pulse waveform .....	92
Fig. 3-16 Examples of duty cycle .....	92
Fig. 3-17 A functional generator for the electrical treatment .....	97
Fig. 3-18 Waveform graph for the electrical treatment .....	97
Fig. 3-19 Features of functional generator .....	97
Fig. 3-20 The display of menu mode in the function generator .....	99
Fig. 3-21 The display of graphic mode in the function generator .....	99
Fig. 3-22 The effect of electrical stimuli on the germination rate of brown rice under the pulse output(H:1V, L:0V, Duty Cycle : 5%) .....	100
Fig. 3-23 The effect of electrical stimuli on the sprout length of brown rice under the pulse output(H:1V, L:0V, Duty Cycle : 5%) .....	100
Fig. 3-24 The apparent of A DC high voltage generator for the germination treatment of brown rice in the electrical field(left) and the sample container(right) .....	106
Fig. 3-25 The main functions and features of DC high voltage generator .....	107
Fig. 3-26 The effect of static electrical field on the germination of brown rice under the constant temp. & humidity chamber of 25°C and 80% .....	109
Fig. 3-27 A soaking experimental apparatus for germination of brown rice .....	118
Fig. 3-28 The process procedures for germinating brown rice .....	126
Fig. 3-29 The front design of a rice germinating biosystem of air-exposure type .....	127

Fig. 3-30 The configuration of a rice germinating biosystem of air-exposure type .....	128
Fig. 3-31 Development of a rice germinating biosystem of air-exposure type ·	129
Fig. 3-32 The control panel .....	132
Fig. 3-33 The circuit diagram .....	132
Fig. 3-34 Description of panel for controlling temperature .....	133
Fig. 3-35 The flowchart for controlling temperature in the biosystem .....	134
Fig. 3-36 The effects of germination rate on brown rice produced in the biosystem .....	136
Fig. 3-37 The effects of germination rate on brown rice according to anion stimuli under the tray(500g, height 0.5cm) .....	137
Fig. 3-38 The effects of germination rate on brown rice according to anion stimuli under the tray(1000g, height 1cm) .....	137
Fig. 3-39 The experimental result of sprout length on brown rice produced in the biosystem .....	138
Fig. 3-40 The effects of sprout length on brown rice according to anion stimuli under the tray(500g, height 0.5cm) .....	139
Fig. 3-40 The effects of sprout length on brown rice according to anion stimuli under the tray(1000g, height 1cm) .....	139

## 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 아니 됩니다.