

최 종  
연구보고서

Tobamovirus 무독화를 위한  
다기능 건열처리기기 개발

Development of multipurpose dry heat treatment  
machine for sterilizing tobamovirus

연구기관

고려기기(주)

경희대학교

서울대학교

농림부 도서실



0002146

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “Tobamovirus 무독화를 위한 다기능 진열처리기기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 8월 14일

주관연구기관명 : 고려기기(주)

총괄연구책임자 : 정 용 봉  
세부연구책임자 : 정 용 봉  
연 구 원 : 조 춘 복  
연 구 원 : 김 한 수  
연 구 원 : 신 현 호  
연 구 원 : 김 양 원  
연 구 원 : 한 천 수  
연 구 원 : 김 동 렬

협동연구기관명 : 경희대학교  
협동연구책임자 : 이 정 명  
연 구 원 : 최 국 선  
연 구 원 : 임 규 옥  
연 구 원 : 한 동 훈  
연 구 원 : 김 진 석  
연 구 원 : 김 은 영

협동연구기관명 : 서울대학교  
협동연구책임자 : 노 상 하  
연 구 원 : 류 동 수  
연 구 원 : 김 일 응  
연 구 원 : 서 영 옥

# 요 약 문

## I. 제 목

Tobamovirus 무독화를 위한 다기능 건열처리 기기 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 과제 목적은 약제로는 치료가 불가능한 식물체내의 바이러스 병균을 완전히 무독화 시킬 수 있는 효과적인 건열처리기기(乾熱處理器機; dry heat treatment machine)를 개발하는 것이다.

건열처리란 식물체에 고온을 가하여서 식물체내에 존재하는 바이러스를 비활성화 시킴으로써 바이러스에 걸리지 않은 식물체를 만들어내는 방법으로 주로 채소작물의 바이러스 이병종자를 무독화 시켜 무병종자를 다량으로 공급하는 체계를 조성하는 기술이다(今西英雄 등, 1998; 日本園藝學會, 1998). 건열처리는 종자를 극단적으로 건조시켜가면서 75℃의 고온에 노출시키더라도 종자가 고온에 의한 피해를 거의 받지 않으면서 활력이나 수명을 오래 유지할 수 있도록 처리하는 기술이다. 즉 이러한 기술을 개발하면 종자 내에 들어있는 바이러스를 효과적으로 무독화할 수 있어 무병종자의 다량공급이 용이하다.

종자내 바이러스를 무독화 시키는 건열처리의 중요성이 국내에서 부각된 것은 아주 최근의 일로서 1998년의 수박에서의 종자 전염바이러스 병해의 대발생과 1999년의 호박에서의 대발생이 그 대표적인 예이다(농림부 농산, 1998). 즉 1998년의 예를 본다면 중국에서 바이러스 이병주로부터 채종되어 국내로 반입된 대목용 박 종자가 CGMMV(오이녹반모자이크바이러스; cucumber green mottle mosaic virus)에 오염되어 이 박 대목에 집목한 수박에서 집단 대발생한 예가 있다. 이와 관련하여 이 종자를 판매한 종묘회사는 약 9000만원의 종자를 팔고 53억원이라는 막대한 보상을 재배농가에게 제공하였고 이것이 이 회사가 다국적 종묘회사인 외국기업에게 매각된 원인의 하나가 되기도 하였다. 가까운 일본에서는 1966년에 도꾸시마현의 축성재배 오이에서 대발생하여 그 당시 가격으로 2억엔의 피해를 끼쳤다는 기록이 있고 1968년 지바현의 수박에서는 4억 3천만엔

의 피해가 있었다고 한다(小室, 1973). CGMMV는 tobamovirus의 일종으로 종자 전염을 하면서도 접촉전염성이 대단히 강할 뿐만 아니라 오염되어 죽은 식물체에서나 심지어는 토양에서 몇 년-몇 십년 동안을 활성을 유지할 수 있어서 세계적으로도 극도의 경계의 대상이 되는 병해이지만 한국에서의 대발생은 1998년이 최초이어서 이에 대한 대책이 아예 전무하였다. 이러한 여건하에서 가장 효과적인 대책의 하나가 이병된 종자를 건열처리 하는 것이라는 것이 밝혀지면서 종묘회사마다 건열처리기기를 긴급 설치하기 시작하였으나 수많은 문제점이 속속 발생하고 있어서 커다란 난관에 봉착해 있다(이정명 외, 1999). 즉 75℃의 고온에 3일 이상 열처리하게 되면 효과적으로 CGMMV가 불활성화되기는 하나 처리되는 종자의 발아세와 발아력이 급격히 낮아지고, 열처리 피해가 급증하고, 처리종자의 수명이 극단적으로 단축되고, 부생성균에 의한 2차감염으로 부패가 만연되는 등 예기치 않은 많은 문제점이 나타나고 있다(日本園藝學會, 1998; 이정명 외, 1999; 中村浩 外, 1981; 中村浩 外, 1978).

이러한 문제점은 여러가지 원인에 의해 유발되는데 그중 가장 중요한 원인의 하나가 적합한 ‘건열처리기기’가 개발되어 있지 않다는데 있다. 즉 문헌상으로는 채종되어 건조된 종자를 35℃에서 24시간, 50℃에서 24시간, 그리고 75℃에서 72시간을 처리하는데 이의 조정은 용이하지만 여기에 추가되어 상대습도가 조절되면서 종자의 수분함량이 일정한 속도로 감소되었다가(전처리과정), 본처리가 끝나면 온도는 다시 서서히 내려가고 종자내 수분은 다시 서서히 증가되는 후처리 program이 개발이 되고 이 효과가 검정이 되어 이용되어야 하는데 현재 시판되는 기기에는 몇 단계 되지 않는 온도조절장치만 부착되었을 뿐 이에 대한 세밀한 배려가 전혀 되어있지 않다. 이 원인은 기계 개발자는 개발자대로, 그리고 종묘회사나 종자처리기관에서는 기관대로 편리하게 독립적으로 생각하고 기계를 주문, 제작하여서 설치, 작동한 것이었기 때문이다. 가까운 예로 세계의 굴지의 종묘회사인 일본의 다끼이 종묘사가 효과적인 건열처리기술을 개발하는 데에 20년 이상의 세월이 소요되었다고 공언하는 것을 보아도 이 기술의 개발이 결코 용이하지 않음을 실감할 수 있는데 그 주요 이유는 살아있는 그리고 모든 생명의 근본인 종자에 주는 부작용을 최소화하면서 처리하는 것이기 때문이다.

효과적인 건열처리기기의 개발은 매우 절박한 시점이다. 따라서 효과적인 건열소독기기를 개발하고 첨단자동조절장치를 부착하여 [온도와 습도의 다단계 자동제어가 가능하면서도 처리되는 많은 분량의 종자(180-2,000 liter)의 온도와 습

도가 균일하게 변화해야 함] 시험작동을 거쳐서 국가검역에 이용하지 않으면 안 된다. 이러한 기계가 개발되어 효과적으로 작동된다면 우선은 해외채종되어 반입되는 박과채소류의 종자전염 CGMMV 공포로부터 벗어날 수 있고 그 밖의 고추 등의 채소종자에서도 바이러스병(tobamovirus)을 격감하는데 유용하게 이용될 것이다. 또한 종자수출국인 한국의 종자가 세계 각 국에 보급되어 우수종자로써 인정을 받으면서 지난 몇 년간 파격적인 증가세를 보이고 있는 채소종자의 수출증가에 크게 기여할 것으로 전망된다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구 과제의 연구기관별 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

#### [주관기관 : 다기능 건열소독기기 개발 및 효율적 이용방안 수립](고려기기)

- 1) 다기능 건열소독기기 개발 (고려기기)
  - 가) 기존 소독기기의 문제점 분석
  - 나) 미세환경변이의 최소화 방안 수립
  - 다) 중형 건열소독기기 개발 - 온습도 조절장치, 가습장치, 정밀온도제어장치
  - 라) 인력절감을 위한 생력화 기기 개발 - 채반 설계, 자동 공정처리 장치
  
- 2) 건열소독기기의 효율적 이용방안 및 제도적 보완대책 수립 (한국종자협회)
  - 가) 관련제도 정비
  - 나) 건열처리기기의 공동이용 방안 강구
  - 다) 건열처리종자의 표기방안 강구
  
- 3) 다기능 건열소독기기 개발
  - 가) 시작품 성능 보완
  - 나) 대형 건열소독기기 제작 - 500~1000 liter
  
- 4) 건열소독기기의 효율적 이용방안 및 제도적 보완대책 수립 (한국종자협회)
  - 가) 관련제도 정비
  - 나) 건열처리기기의 공동이용 방안 강구

- 다) 건열처리기기의 효율적 이용을 위한 교육프로그램 개발
- 라) 건열처리종자 표기방안 강구 및 취급요령에 대한 홍보책자 발간

**[협동과제 1 : 건열처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정과 바이러스 불활성화 정도의 판정](경희대)**

- 1) 건열처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정 (경희대)
  - 가) 처리효과평가(종자활력 및 고온장해)
  - 나) 처리효과평가(종자전염바이러스의 무독화)
  - 다) 작물별 및 품종별 안전처리범위파악
  - 라) 처리종자의 생리-생화학적 특성 파악
  - 마) 효율적 처리공정 수립(종자활력 및 고온장해)
    - 유묘의 고온장해 및 활력검정
    - 작물-품종별 최적 처리조건 제시
    - 바이러스불활성화정도와 종자활력간의 상관 검정
  
- 2) 건열처리 조건별 바이러스 불활성화 정도의 판정 (원예연구소)
  - 가) 열처리간 바이러스 활성조사
  - 나) 다양한 생검방법의 효율성 비교
  - 다) 처리 전후의 바이러스 밀도 조사
  - 라) 처리온도 및 기간에 따르는 검정효율 비교
  - 마) 열처리간 바이러스 활성조사
    - 생물검정방법의 최종 선정 및 검정기술확립
    - 간이신속검정방법의 제시

**[협동과제 2 : 최적 건열소독 공정개발을 위한 종자의 건조 및 흡습특성 구명] (서울대)**

- 1) 항온항습 및 중량측정기기 개발-공기유동속도조절에 의한 측정오차 최소화
- 2) 건조/흡습모델 개발 - 건조 예측모델 개발, 건조 파라미터 구명
- 3) 시작품의 건조/제습/흡습 성능 테스트
  - 문제점 도출 및 성능 개선안 방법 제시
- 4) 시뮬레이션 모델 개발 및 검증

- 모델을 이용한 건조/흡습 과정 검증 실험

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

[주관기관 : 다기능 건열소독기기 개발 및 효율적 이용방안 수립](고려기기)

본 연구개발 결과 국내 기술을 이용한 소형(180 Liter), 중형(360 Liter) 및 대형(2,000 Liter)의 건열처리기기를 개발하였다.

1. 야간 및 휴일에도 연속 가동되어야 하고 1회 처리되는 종자의 가격이 막대하므로 기기의 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 2중의 안전장치를 부착하였다.
2. 기존 건열소독기의 문제점인 온도 조절의 부정확 및 온도 상승시 급격한 온도 변화로 인한 종자의 Stress, 습도 조절이 불가능하여 건열소독후의 흡습 과정을 통한 후처리 과정의 부재 등을 감안하여 1대의 Controller에서 정확한 온, 습도의 조절은 물론, 온, 습도 Program시 상승 및 하강 곡선을 간단하게 Program이 가능하도록 설계되었다.
3. 20℃ ~ 80℃까지 광범위하고 제어조건이 고온에서 저 습도를 유지하여야 하는 점 등을 감안하여 고압분사노즐을 이용한 가습장치를 채택하고 고압분사노즐을 이용한 가습장치의 문제점인 노즐의 막힘 현상, 가습 효율의 저하, 가습시 가습수의 불완전 증발로 인한 수분입자의 기기 내부 유입 등을 방지할 수 있도록 설계하였고, 또한 고온에서의 습도조절을 위한 제습기의 가동 시 제습용 Compressor의 보호를 위하여 일정온도 이상이 되면 냉매의 일부를 제습용 Compressor로 By-pass시켜 제습용 Compressor가 과열 소손되는 것을 방지할 수 있는 System을 채택하였다.
4. 내부공기순환용 Motor 및 습도 Sensor는 고온에 의한 고장을 방지하기 위하여 기기 외부에 부착되도록 설계되었다.
5. 균일한 온·습도 분포 유지를 위하여 내부 공기 순환은 각 부위의 풍속, 풍량

이 동일하도록 Laminar flow 구조로 설계되었다.

6. 본 시제품을 제작하여 각종 시험을 해 본 결과 개발목적과 부합되는 성공적인 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구결과 건열처리기기의 국산화 개발이 성공하여 외국에서 생산되는 유명 메이커의 유사한 기기(예, 독일의 Weiss)의 가격에 비하여  $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$  가격으로 공급이 가능하게 되었으나 본 기기의 실수요자인 종묘회사들이 상위 몇몇 회사를 제외하고 구매력이 약한 실정이다.

이에 건열처리기기를 독자적으로 보유할 수 없는 소규모 회사들을 위하여 정부의 용자 혜택을 실시하여 자급에 대한 부담을 덜어준다거나 보세구역 등 특정 장소에 설치하여 공동으로 이용 할 수 있는 방안을 마련한다면 우선은 해외 채종 되어 반입되는 박과 채소류의 종자전염 CGMMV 공포로부터 벗어날 수 있고 그 밖의 고추 등의 채소종자에서도 바이러스병(tobamovirus)을 격감하는데 유용하게 이용될 것이다.

#### [협동과제 1 : 건열처리 조건별 종자 및 유평활력 검정과 바이러스 불활성화 정도의 판정](경희대)

1. 같은 건열처리방법을 적용하더라도 기종, 종자량, 품종 및 종자의 상태에 따라서 그 반응성에 차이가 크게 나타났다. 공시품종 중에서는 'FR King II'와 'Partner'가 건열처리에 상당한 내성을 보였으나 'FR Gold'와 'Power'는 민감하게 반응하여 상당한 피해를 지속적으로 보였다.
2. 건열처리 온도 상승방법에 따라서는 점진적 변화과정을 도입한 개량된 처리기기를 이용하는 것이 피해를 감소시키는데 더 효과적이기는 하였으나 처리시의 기기내의 종자량과 종자의 상태, 그리고 후처리 유무 및 그 기간에 따라서 큰 차이를 보여서 효과적으로 건열처리를 적용하기 위해서는 내성품종, 충실종자, 개량된 처리기법, 그리고 30일 이상의 후처리(conditioning treatment)를 기본으로 실시함이 권장된다.



3. 건열처리 상한온도가 상승할수록 모든 품종에서 종자발아가 지연되었고 최종 발아율과 건묘율도 낮아졌다. 그러나 실용적 상한온도를 75℃ 또는 그 이하로 적용하는 경우 전혀 피해를 보이지 않는 품종, 피해는 있으나 후처리로 대폭 개선되는 품종, 후처리를 하더라도 상당한 피해를 계속 보이는 품종으로 구분이 가능하였다. 건열처리를 받으면 일반적으로 하배축장이 짧아지고 하배축경은 증가하는 경향인데 이는 육묘시의 건묘 소질로는 오히려 바람직한 것으로 판단되었다.
4. 건열처리 지속기간에서는 상한온도를 75℃로 고정하였을 경우 1-4일간의 처리로는 최종발아율 등에는 거의 영향을 미치지 않았으나 5일 이상 지속되면 대부분의 품종에서 최종발아율도 저하되는 결과를 보였다.
5. 건열처리 횟수가 증가되더라도, 즉 재건열처리를 하더라도 비록 처리된 종자의 초기발아율 등은 다소 감소하였지만 최종발아와 유묘 생육에는 큰 영향을 보이지 않았다. 따라서 필요하다면 건열처리가 이미 실시된 종자라고 하더라도 재건열처리를 적용할 수 있음이 입증되었는데 이 결과 역시 품종에 따라 반응성에 상당한 차이가 있었다.
6. 통상적인 건열처리(75℃에서 3일간)를 하더라도 ELISA 양성반응은 그대로 유지되었다.
7. 건열처리나 습열처리시 그 처리상한온도를 90-100℃로 상승하면 ELISA 반응성도 매우 줄어들어 negative로 나오지만 이때는 종자도 모두 사멸하여 실용성은 없었다.
8. 적절하게 건열처리된 종자는 생물검정에서 하등의 증상을 보이지 않으므로서 종자전염 CGMMV가 완벽하게 무독화 되었음이 입증되었다.
9. 다양한 생물검정방법 중 본 실험에서는 *Nicotiana benthamiana*를 이용하는 생검이 정확도, 신빙성, 포괄성 등에서 가장 우수한 것으로 판단되었다.

## [협동과제 2 : 최적 건열소독 공정개발을 위한 종자의 건조 및 흡습특성 구명] (서울대)

본 연구는 날로 커지는 채소시장에서 대목용으로 널리 쓰이고 있는 박 종자에 이병된 CGMMV(Cucumber green mottle mosaic virus)를 효과적으로 불활성화하는 건조기 개발을 목적으로 박 종자의 평형함수율 및 건조 특성을 구명하고, 이를 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위해 수행되었다. 시료는 1998년 중국에서 채종된 바이러스 이병종자 'FR-King-II'를 초기 함수율 7-9%(w.b.)로 보관된 종자를 사용하였다. 평형함수율은 상대습도 5조건의 염용액을 이용하여 온도 4조건의 항온항습기 및 건조 오븐에서 평형함수율에 도달할 때까지 무게의 변화를 살피면서 측정하였다. 건조 특성을 구명하기 위해서 주문 제작한 건조기로 온도 4조건, 상대습도 4조건의 열풍을 이용하여 건열처리 하였으며, 로드셀을 이용하여 건열처리중 시료의 무게 변화를 측정하였다. 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

1. 온도 4수준(20, 40, 60 및 72°C)의 항온항습기 및 건조 오븐에 5가지의 상대습도 값(5, 10, 20, 40 및 60%)의 염용액을 이용하여 종자의 평형함수율을 측정하고, 그 결과를 가장 적합하게 예측하는 모델을 선정하였는데, Chung-Pfost 모델이 결정계수( $R^2$ )가 0.9918, 평균제곱근오차(RMS error)는 0.0021로 가장 적합한 것으로 판명되었다. 평형함수율은 대체적인 농산물에서 볼 수 있듯이 온도가 낮고, 상대습도가 높을수록 크게 나타났다. Chung-Pfost 모델로 박종 건조 실험을 통해 얻은 동적인 상태의 평형함수율과 비교하였을 때 45°C에서 ( $R^2=0.999$ ), 5%에서 ( $R^2=1$ ) 가장 정확한 예측 성능을 나타내었다. 또한 동일 온도에서의 예측 성능보다 동일 상대습도의 경우에 뛰어난 예측 성능을 나타내었다.
2. 건조기는 아래에서 위로 열풍이 통과하는 방식을 채택하였다. 직접 열풍을 받는 종자는 시간이 지나면서 무게변화를 보이는데 로드셀을 이용하여 측정한다. 온도 4수준(30, 45, 60 및 75°C), 상대습도 4수준(5, 15, 30 및 50%)에서 박종자의 건조특성을 구명하였고, 건조 특성을 예측하기 위해서 기존의 농산물

의 건조특성을 설명하기 위해 사용되었던 모델들을 박 종자에 적용하였다. 그 결과 Page 모델이 결정계수(  $R^2$ )가 0.7497, RMS error는 0.2796로 박 종자의 건조 특성을 예측하기 위해 선정한 모델 중에서 가장 적합한 모델로 판명되었다.

# Summary

## I. Title

To develop multipurpose dry heat treatment machine for being nontoxic of tobamovirus.

## II. Purpose and Background

The aim of this research is the development of the effective dry heat treatment machine that can sterilize virus completely which cannot be treated with chemicals. The dry treatment is a method that inactivates plant viruses in seeds by blowing high temperature air. This technique would be known as providing mass production of virus-free seeds.

The use of vegetable seeds produced overseas has steadily increased and now accounts for more than 65% of the total vegetable seeds sold in Korea. Seeds produced overseas may often carry unknown pathogenic agents. Seed certification requirements frequently reinforce the importation of only healthy seeds. In order to minimize the unexpected introduction and spread of serious diseases, an efficient seed disinfection method is urgently required. Seed sterilization and other treatment methods have been recently developed and are used to disinfect seeds contaminated with various pathogens.

Cucumber green mottle mosaic virus(CGMMV) attacks cucumber, melon, watermelon and gourd. Infection occurs through the roots from diseased plant debris in the soil and other sources. Leaf distortion, mottling and vein curling occur and fruit yield and quality may be significantly reduced. Since an earlier report on CGMMV incidence in Kyungbuk Province in 1989, there were no further official reports on the incidence of CGMMV in Korea until 1996. Severe CGMMV incidence was reported in all the major watermelon producing areas of Korea in 1998. The phenomenal spread of CGMMV was due mostly to the presence of CGMMV in gourd seeds produced in China. There are no chemicals that can effectively eradicate viruses in growing

plant tissues.

The dry heat treatment during 3 days at 75 °C can inactivate CGMMV effectively but shows low germination, increases heat damage and shorten life-time of seeds suddenly and spreads by second infection. Among any other reasons, one of the most important reason is the absence of proper dry heat treatment machine. The existing machine control temperature only, but relative humidity should be controlled for considering inner moisture content of seeds. The development of dry heat treatment machine may be difficult because Dakii company which is a large nursery company in Japan has spent 20 years for developing a dry heat treatment machine. The dry heat treatment machine should be consider seed's characteristics that is live. It is very urgent situation to develop dry machine and should be used to investigating overseas-produced seeds. At last exportation amount of seed will be increased providing that Korean seeds are virus-free.

### **III. Research Content and Scope**

Main research contents of each sub-project by research institution are as follows.

#### **[ Development of Multi-purpose Dry Heat Treatment Machine and Establishment of Its Efficient Usage (Korea Environmental Control Co.,Ltd) ]**

- 1) Development of multi-purpose dry heat treatment instrument
  - a) Analysis of problems of existing disinfectant instrument
  - b) Establishment of minimizing plan of micro environment variation
  - c) Development of medium size dry heat treatment instrument
    - an automatic temperature and humidity controller, a humidifier, an accurate temperature controller.
  - d) Development of man-power saving implement
    - design of tray, automatic treatment process implement

- 2) Establishment of efficient usage and institutional rearrange of dry machine (Korean Seed Association)
  - a) Reformation of related institution
  - b) Demand on public usage of dry machine
  - c) Demand on marking method of dry heat treated seeds
  
- 3) Development of multi-purpose dry heat disinfect machine
  - a) Improvement of pilot machine
  - b) Development of a large size instrument - 500 ~ 1000 ℓ

**[ Effects of dry heat treatment on seed and seedling vigor and inactivation of virus by dry heat treatment (Kyunghee University) ]**

- 1) Effects of dry heat treatment on seed and seedling vigor
  - a) Estimation of dry heat treatment(seedling vigor and high-temperature obstacle)
  - b) Estimation of dry heat treatment(nonpoisonous of seedling infected virus)
  - c) Understanding of safty treatment range according to plant and variety
  - d) Understanding of physiological and biochemical characteristics of processed seed
  - e) Establishment of efficient processing schedule (seedling vigor and high-temperature obstacle)
    - high-temperature obstacle and seedling vigor of young seedling
    - Provision of optimized treatment conditions according to plant and variety
    - Correlation test between virus inactivation and seedling vigor
  
- 2) Judgment of virus inactivation level by heat treatment (National Horticultural Research Institute)
  - a) Investigation of seedling vigor by dry heat treatment condition
  - b) Comparison of efficiency between various investigation methods

- c) Investigation of virus density between pre-treatment and post-treatment
- d) Comparison of efficiency according to treatment temperature and treatment time
- e) Investigation of seedling vigor between heat treatment
  - Final Selection of test method and establishment of test technique
  - Suggestion of simple fast test method

**[ Study of drying and absorption humidity characteristics of optimized dry heat treatment for development of dry process(Seoul National University) ]**

- 1) Development of a thermohygrostat and weight measurement implement
- 2) Development of a drying and a humidity absorption statistic model
- 3) Test of the dry heat treatment instrument for dry, dehumidification and absorption
  - To suggest several points and suggestion improvement method
- 4) Development of simulation model and approval
  - Approval experiment of drying and absorption process by using simulation model

#### **IV. Major Results and Suggestions**

**[ Development of Multi-purpose Dry Heat Treatment Machine and Establishment of Its Efficient Usage (Korea Environmental Control Co.,Ltd) ]**

At the result of this research, 3 type machines that is small size(180 liter), medium size(360 liter) and big size(2000 liter) were developed by domestic technology. The major results are as follows.

- 1. Because developed machine should be running at anytime(night and

holiday) and the amount of money of processing seeds was an enormous sum, double safety equipment was attached to dry heat treatment machine.

2. The existing dry machine has some problems, that is, un-accurate temperature control, seed stress caused by sudden temperature increasing and absence of moisture absorption post-processing. The developed machine was designed to be capable of controlling temperature and humidity by one controller accurately and be programmable rising and falling curve simply.

3. As considering the temperature range(20 ~ 80°C) and upkeep of low-humidity at high temperature, the high pressure ejection nozzle was adopted and designed to prevent blocking of nozzle, decline of humidification and inflow of moisture particle by incomplete evaporation of adding water. And another protection system was also adopted to prevent overheating dehumidity-compressor by by-passing coolant to dehumidity-compressor which is over some temperature level when dehumidifier runs to control humidity at high temperature.

4. To prevent breakdown by high temperature, motor for internal air circulation and humidity sensor were designed to attach outside of machine.

5. Internal air circulation was designed to laminar flow structure that has uniform wind speed and airflow at any position to keep uniform temperature and humidity.

6. At final test, the developed machine was satisfied to achieve the aim of research and showed successful results.

At the result of this research, the domestic manufacturing of dry machine is possible and can supply 1/3 or 1/4 price than foreign famous company (ex, Weiss, Germany). However except for some major companies, most of



companies were not rich enough to purchase this machine. For small company that cannot purchase dry machine of his own, the government loan which reduce his burden, installation at particular area (ex, bonded area) were useful to reduce tobamovirus of vegetable seed and horror of CGMMV that takes in foreign gathering of gourd.

**[ Effects of dry heat treatment on seed and seedling vigor and inactivation of virus by dry heat treatment (Kyunghee University) ]**

1. Effects of dry heat treatment on seed and seedling vigor were different depending upon machine types, seed volume, cultivars, and levels of seed maturity. Especially various cultivars showed different response to different kinds of dry heat treatments; 'FR king II' and 'Partner' gourds were tolerance to dry heat(DH) treatment whereas ' FR Gold' and 'Power' cultivars were sensitive to DHT and brought some damage on seedlings growth continuously.
2. Controlling temperature at dry heat treatment, increasing temperature gradually was effectively deduced the damage due to DH treatment. But effect of DH treatment using gradual temperature increment was different with seed volume, seed maturity, post-treatment, and duration of post-treatment. Therefore recommended DH treatment effectively have to be conducted in the condition of usage of tolerance cultivars and full mature seeds, improvement of DH treatment technique, and conditioning treatment after 30 day.
3. Seed germination was delayed according to temperature increment and germination and healthy seedling percent decreased. The practical high limited temperature was 75 C and below and seeds treated with 75C was divided 3 groups in no damaged seeds, seeds that seed vigor was improved by conditioning treatment, and seeds which seed vigor was not

improved by conditioning treatment. The seedling of DH treated seeds had shorter hypocotyl and wide diameter of hypocotyls. These characters are desirable for healthy seedling.

4. The duration of DH treatment at 75C was optimum for 1 to 4 days. Germination percent was not affected at those conditions, on the other hands decreased at 75C, 5 days and above.
5. The DH treatment trimes, DH re-treatment was not affected to last germination percent and seedling growth, although early germination percent was decreased. Consequently, these results showed that DH re-treatment is able to conduct to post DH treated seeds and the response of seeds to re-treatment was different with cultivars.
6. The ELISA test for seeds treated with dry heat at 75 C, 3 days was retained positive. On the other hands, DH treatment or water heat treatment with higher limited temperature at 90 to 100C made seeds to die, although ELISA test for treated seeds showed negative. These results suggested that higher limited temperature at 90 to 100C and above had no practical use to seed treatment.
7. As seeds treated with optimum conditions (75C, 3 days) showed negative for bioassay, this result provided the evidence that CGMMV could be completely inactivated by DH treatment of the seeds.
8. Various bioassays using several plants were applied. Bioassay with *Nicotiana benthamiana* was effective in view of its accuracy, confidence, and efficiency in diagnosing the presence of active virus.

**[ Study of drying and absorption humidity characteristics of optimized dry heat treatment for development of dry process(Seoul National**

## University) ]

High temperature dry-heat treatment is reported as an effective method to sterilize the bottle gourd seeds infected by CGMMV(cucumber green mottle mosaic virus). The bottle gourd is broadly used as a stock in grafting of watermelon.

The objective of this study was to develop an equilibrium moisture content(EMC) model and thin layer drying model of the bottle gourd seed, which are necessary for design and utilization of dry-heat treatment equipment. The bottle gourd used for the experiment was FR-King-II which was imported from China.

EMCs were measured by keeping the seed sample at four different temperatures(20, 40, 60 and 72 °C) and five relative humidity levels(5, 10, 20, 40 and 60%) which were made with different kinds of salt solutions. Drying tests were made at four temperature levels(30, 45, 60 and 75°C) and four RH levels(5, 15, 30 and 50%) with a laboratory scale dryer equipped with a drying chamber, herter, humidifier, fan, load cell etc, which was designed so that the sample weight could be measured automatically and continuously in the drying chamber. The results are summarized as follows:

1. EMC curves of the bottle gourd seeds showed S-shape like those of seed grains and Chung-Pfost model was the best fit indicating multiple correlation coefficient( $R^2$ ) of 0.9941 and root mean square error of 0.1692. The EMCs obtained as the result of the drying tests could be predicted with some errors by the EMC model developed at static state.

2. As the result of applying the five existing grain drying models such as Lewis model, Page model, Wang model, Approximated diffusion model and Thompson model for developing a thin layer drying model of the bottle gourd seeds, Page model was the best fit showing  $R^2$  of 0.7497 and RMS of 0.2796. Further study is recommended for finding more accurate drying model.

# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	1
제 2 장 국내외 기술 개발 현황 .....	2
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	4
제 1 절 다기능 건열소독기기 개발 .....	4
1. 건열소독기 온,습도 제어시스템 설계 .....	4
가. 건열소독기 온·습도 제어시스템의 개요 .....	4
나. 건열소독기 온·습도 제어시스템의 개략도 .....	5
다. 건열소독기 온·습도 제어시스템 설계 .....	6
라. 건열소독기 배선도 .....	7
1) 소형 건열소독기 배선도 .....	7
2) 중형 건열소독기 배선도 .....	8
3) 대형 건열소독기 배선도 .....	8
마. 건열소독기 온·습도 제어시스템 조작방법 .....	9
1) 온·습도 제어시스템 표시 및 조작부 .....	9
2) 온·습도 제어시스템 조작방법 .....	9
3) 온·습도 제어시스템 PCB 도면 .....	13
4) 온·습도 제어시스템 표시 및 조작부 외관 .....	15
2. 건열소독기 구조 설계 .....	17
가. 건열소독기 구조의 개요 .....	17
나. 건열소독기 구성도 .....	18
다. 제습기의 구성도 .....	18
제 2 절 건열처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정과 바이러스 불활성화 정도의 판정 .....	31
1. 건열처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정 .....	31
가. 온도 및 습도 제어방법을 도입한 건열처리 .....	31
1) 실험재료 및 방법 .....	31
2) 실험결과 및 고찰 .....	32
나. 건열처리 상한온도를 달리한 처리효과 .....	34

1) 실험재료 및 방법 .....	34
2) 실험결과 및 고찰 .....	35
다. 건열처리 지속시간에 따른 효과 .....	41
1) 실험재료 및 방법 .....	41
2) 실험결과 및 고찰 .....	41
라. 건열처리 횟수가 종자발아 및 유묘활력에 미치는 영향 .....	43
1) 실험재료 및 방법 .....	43
2) 실험결과 및 고찰 .....	45
2. 건열처리에 따른 바이러스 불활성화 검정 .....	47
가. 건열처리 조건별 바이러스 불활성화 정도의 판정 .....	48
1) 실험 결과 .....	48
나. 건열처리조건별 생물검정 반응성 검정 .....	51
1) 실험재료 및 방법 .....	51
2) 결과 및 고찰 .....	51
3. 요약 및 결론 .....	53
제 3 절 최적 건열소독 공정개발을 위한 종자의 건조 및 흡습 특성 구명 .....	55
1. 서론 .....	55
2. 평형함수율 특성 구명 .....	57
가. 재료 및 방법 .....	57
1) 문헌 조사에 의한 자료 수집 .....	57
2) 이론적 배경 .....	58
3) 실험 장치 .....	59
나. 결과 및 고찰 .....	62
1) 온·습도 조건별 평형함수율 측정 결과 .....	62
2) 정적 평형함수율 예측 모델 개발 .....	65
3) 동적 평형 함수율과의 비교 .....	70
3. 종자의 건조 특성 구명 .....	76
가. 재료 및 방법 .....	76
1) 이론적 배경 .....	76
2) 재료 및 방법 .....	78

3) 박층 건조 모델 선정 .....	81
나. 결과 및 고찰 .....	83
1) 건조 온도의 영향 .....	83
2) 상대습도의 영향 .....	85
다. 박 종자의 건조 속도 .....	88
라. 박층 건조 모델 .....	92
1) 함수율비(Moisture Ratio)의 변화 .....	92
마. 박층 건조모델 개발 .....	95
4. 요약 및 결론 .....	98
제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도 .....	99
1. 목표 달성도 .....	99
가. 다기능 건열 소독 기기 개발 및 효율적 이용 방안 수립 [고려기기] .....	99
나. 건열 처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정과 바이러스 불활성화 정도의 판 정 [경희대] .....	99
다. 최적 건열소독공정 개발을 위한 종자의 건조 및 흡습 특성 구명 [서울대] .....	100
2. 관련 분야에의 기여도 .....	100
제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획 .....	102
제 6 장 참고 문헌 .....	103

# Contents

Chapter 1 Introduction .....	1
Chapter 2 Review relative technology .....	2
Chapter 3 Research contents and result .....	4
Section 1 Development of Multi-purpose Dry Heat Treatment Machine and Establishment of Its Efficient Usage .....	4
1. Design of temperature-humidity control system for dry heat treatment machine .....	4
A. Overview of temperature-humidity control system for dry heat treatment machine .....	4
B. Outline of temperature-humidity control system for dry heat treatment machine .....	5
C. Design of temperature-humidity control system for dry heat treatment machine .....	6
D. Wiring of dry heat treatment machine .....	7
1) Wiring of small-size dry heat treatment machine .....	7
2) Wiring of medium-size dry heat treatment machine .....	8
3) Wiring of large-size dry heat treatment machine .....	8
E. Operation method of temperature-humidity control system for dry heat treatment machine .....	9
1) Display and operation unit of temperature-humidity control system .....	9
2) Operation method of temperature-humidity control system .....	9
3) PCB drawings of temperature-humidity control system .....	13
4) Outlooks of display and operation unit of temperature-humidity control system .....	15
2. Structure design of dry heat treatment machine .....	17

A. Overview of dry heat treatment machine structure .....	17
B. Constructions of dry heat treatment machine .....	18
C. Constructions of dehumidifier .....	18
Section 2 Evaluation of seed and seedling vigor and inactivation of virus influenced by various dry heat treatments .....	31
1. Evaluation of seed and seedling vigor influenced by various dry heat treatments .....	31
A. Controlling temperature and humidity for optimum dry heat treatment	31
1) Materials and method .....	31
2) Result and discussion .....	32
B. Evaluation of seed and seedling vigor in dry heat treated seeds with high limited temperature .....	34
1) Materials and method .....	34
2) Result and discussion .....	35
C. Evaluation of seed and seedling vigor in dry heat treated seeds with different heating duration .....	41
1) Materials and method .....	41
2) Result and discussion .....	41
D. Effect of dry heat treatment times on seed germination and seedling vigor .....	43
1) Materials and method .....	43
2) Result and discussion .....	45
2. Application of various dry heat treatments to inactivate virus in seeds	47
A. Evaluation of inactivation of virus in seeds influenced by various dry heat treatments .....	48
1) Result and discussion .....	48
B. Evaluation of optimum bioassay methods to inspect virus infection in dry heat treated seeds .....	51



1) Materials and method .....	51
2) Result and discussion .....	51
3. Summary and conclusion .....	53
Section 3 Study of seed dry and absorption characteristic for development of optimistic dry heat treatment process .....	55
1. Introduction .....	55
2. Study of Equilibrium Moisture Content's characteristic .....	57
A. Materials and method .....	57
1) Data collection by literature overview .....	57
2) Theoretical background .....	58
3) Materials and method .....	59
B. Results and discussion .....	62
1) Result of measurement of Equilibrium Moisture Content in case of both temperature and humidity .....	62
2) Development of estimated model for static Equilibrium Moisture Content .....	65
3) Comparison dynamic Equilibrium Moisture Content to static Equilibrium Moisture Content .....	70
3. Study dry characteristic of gourd seed .....	76
A. Materials and method .....	76
1) Theoretical background .....	76
2) Material and method .....	78
3) Selection of thin layer dry model of gourd seed .....	81
B. Result and discussion .....	83
1) Effect of drying temperature .....	83
2) Effect of relative humidity .....	85
C. Drying speed of gourd seed .....	88
D. Drying model in thin layer .....	92

1) Change of Moisture Ratio .....	92
E. Development of drying model in thin layer .....	95
4. Summary and conclusion .....	98
Chapter 4 The attainment of the object and contribution of the related field .....	99
1. The attainment of the object .....	99
A. Development of Multi-purpose Dry Heat Treatment Machine and Establishment of Its Efficient Usage (Korea Environmental Control Co.,Ltd) .....	99
B. Evaluation of seed and seedling vigor and inactivation of virus influenced by various dry heat treatments(Kyunghee University) .....	99
C. Study of seed dry and absorption characteristic for development of optimistic dry heat treatment process(Seoul National University) .....	100
2. Contribution of the related field .....	100
Chapter 5 The utility plan of this research .....	102
Chapter 6 References .....	103

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

본 과제는 약제로는 치료가 불가능한 식물체 내의 바이러스를 완전히 무독화시킬 수 있는 효과적인 건열처리기기(乾熱處理器機; dry heat treatment machine)를 개발하는 것이다. 건열처리란 식물체에 고온을 가하여 식물체 내에 존재하는 바이러스를 비활성화시킴으로써 바이러스에 걸리지 않은 식물체를 만들어내는 방법으로 주로 채소 작물의 바이러스 이병종자를 무독화시켜 무병종자를 다량으로 공급하는 체계를 조성하는 기술이다(今西英雄 등, 1998; 日本園藝學會, 1998). 건열처리는 종자를 극단적으로 건조시켜가면서 75℃의 고온에 노출시키더라도 종자가 고온에 의한 피해를 거의 받지 않으면서 활력이나 수명은 오래 유지할 수 있도록 처리하는 기술이다. 즉 이러한 기술을 개발하면 종자 내에 들어있는 바이러스를 효과적으로 무독화할 수 있어 무병종자의 다량 공급이 용이해진다.

문헌상으로는 전처리, 본처리, 후처리를 통한 단계적인 종자 건열 처리 기술이 검증되어 있으나 국내에 시판되는 기기에는 몇 단계 되지 않는 온도 조절 장치만 부착되었을 뿐 이에 대한 배려가 전혀 되어 있지 않은 실정이다. 따라서 효과적인 건열 소독 기기를 개발하고 첨단 자동 조절 장치를 부착하여 [온도와 습도의 다단계 자동 제어가 가능하면서도 처리되는 많은 분량의 종자(180-2,000 liter)의 온도와 습도가 균일하게 변화해야 함] 시험 작동을 거쳐서 국가 검역에 이용하지 않으면 안 된다. 이러한 기계가 개발되어 효과적으로 작동된다면 우선은 해외 채종되어 반입되는 박과 채소류의 종자전염 CGMMV 공포로부터 벗어날 수 있고, 고추 등의 채소 종자에서도 바이러스병(tobamovirus)을 격감시키는데 유용하게 이용될 것이다. 또한 종자 수출국인 한국의 종자가 세계 각 국에 보급되어 우수 종자로서 인정을 받으면서 지난 몇 년간 파격적인 증가세를 보이고 있는 채소 종자의 수출 증가에 크게 기여할 것으로 전망된다.

## 제 2 장 국내외 기술 개발 현황

종자내 바이러스를 무독화시키는 건열 처리의 중요성이 국내에서 부각된 것은 아주 최근의 일로써 1998년의 수박에서의 종자 전염 바이러스 병해의 대발생과 1999년의 호박에서의 대발생이 그 대표적인 예이다(농림부 농산, 1998). 즉 1998년의 예를 본다면 중국에서 바이러스 이병주로부터 채종되어 국내로 반입된 대목용 박 종자가 CGMMV(오이녹반 모자이크바이러스; cucumber green mottle mosaic virus)에 오염되어 이 박 대목에 접목한 수박에서 집단 대발생한 예가 있다. 이와 관련하여 이 종자를 판매한 종묘 회사는 약 9000만원의 종자를 팔고 53억원이라는 막대한 보상을 재배 농가에게 제공하였고 이것이 이 회사가 다국적 종묘 회사인 외국 기업에게 매각된 원인의 하나가 되기도 하였다. 가까운 일본에서는 1966년에 도꾸시마현의 축성 재배 오이에서 대발생하여 그 당시 가격으로 2억엔의 피해를 끼쳤다는 기록이 있고 1968년 지바현의 수박에서는 4억 3천만엔의 피해가 있었다고 한다(小室, 1973). CGMMV는 tobamovirus의 일종으로 종자 전염을 하면서도 접촉 전염성이 대단히 강할 뿐만 아니라 오염되어 죽은 식물체에서나 심지어는 토양에서 몇년-몇십년 동안을 활성을 유지할 수 있어서 세계적으로도 극도의 경계의 대상이 되는 병해이지만 한국에서의 대발생은 1998년이 최초이어서 이에 대한 대책이 아예 전무하였다. 이러한 여건 하에서 가장 효과적인 대책의 하나가 이병된 종자를 건열 처리하는 것이라는 것이 밝혀지면서 종묘 회사마다 건열 처리 기기를 긴급 설치하기 시작하였으나 수많은 문제점이 속속 발생하고 있어서 커다란 난관에 봉착해 있다(이정명 외, 1999). 즉 75℃의 고온에 3일 이상 열처리하게 되면 효과적으로 CGMMV가 불활성화되기는 하나 처리되는 종자의 발아세와 발아력이 급격히 낮아지고 열처리 피해가 급증하며 처리 종자의 수명이 극단적으로 단축되고 부생성균에 의한 2차 감염으로 부패가 만연되는 등 예기치 않은 많은 문제점이 나타나고 있다(日本園藝學會, 1998; 이정명 외, 1999; 中村浩 外, 1981; 中村浩 外, 1978).

이러한 문제점은 여러 가지 원인에 의해 유발되는데 그 중 가장 중요한 원인의 하나가 적합한 '건열 처리 기기'가 개발되어 있지 않다는데 있다. 즉 문헌상으로는 채종되어 건조된 종자를 35℃에서 24시간, 50℃에서 24시간, 그리고 75℃에서 72시간을 처리하는데 이의 조정은 용이하지만 여기에 추가되어 상대 습도

가 조절되면서 종자의 수분 함량이 일정한 속도로 감소되었다가(전처리과정), 본 처리가 끝나면 온도는 다시 서서히 내려가고 종자내 수분은 다시 서서히 증가되는 후처리 모델이 개발되었고 이 효과가 검정이 되어 이용되어야 하는데, 현재 시판되는 기기에는 몇 단계 되지 않는 온도 조절 장치만 부착되었을 뿐 이에 대한 세밀한 배려가 전혀 되어 있지 않다. 이 원인은 기계 개발자는 개발자대로, 그리고 종묘 회사나 종자 처리 기관에서는 각자대로 편리하게 독립적으로 생각하고 기계를 주문, 제작하여서 설치, 작동한 것이었기 때문이다. 가까운 예로 세계의 굴지의 종묘 회사인 일본의 다끼이 종묘사가 효과적인 건열 처리 기술을 개발하는 데에 20년 이상의 세월이 소요되었다고 공언하는 것을 보아도 이 기술의 개발이 결코 용이하지 않음을 실감할 수 있는데 그 주요 이유는 살아있는 그리고 모든 생명의 근본인 종자에 주는 부작용을 최소화하면서 처리하는 것이기 때문이다.

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 다기능 건열소독기기 개발

#### 1. 건열소독기 온,습도 제어시스템 설계

##### 가. 건열소독기 온,습도 제어시스템의 개요

1) 기존 건열소독기의 문제점인 온도 조절의 부정확 및 온도 상승 시 급격한 온도 변화로 인한 종자의 Stress, 습도 조절이 불가능하여 건열소독 후의 흡습 과정을 통한 후처리 과정의 부재 등을 감안하여 1대의 Controller에서 정확한 온, 습도의 조절은 물론, 온, 습도 Program시 상승 및 하강 곡선을 간단하게 Program이 가능하도록 설계되었다.

2) 기기 설치장소가 주로 전기적 Noise 발생이 심한 종묘회사의 관리부서 내에 설치되는 것을 감안하여 Noise 대책에 역점을 두어 설계되었다. 또한 야간 및 휴일에도 연속 가동되어야 하고 1회 처리되는 종자의 가격이 막대하므로 기기의 안전성 및 신뢰성에 만전을 기하기 위하여 온, 습도 조절기 이상 시 2중의 독립된 안전장치에 의한 제습기, Heater전원을 온도 상황에 따라 차단할 수 있고 최고 최저 온도 설정치를 이탈 시에는 Main 전원을 차단하도록 설계되었다.

3) Heater를 이용한 표면 증발식 가습장치 (加濕裝置), 초음파를 이용한 가습장치 고압분사노즐을 이용한 가습장치, 외부공기 유입을 통한 가습장치 등을 비교 분석한 결과 기기 내부의 온도가 20℃ ~ 80℃까지 광범위하고 제어조건이 고온에서 저 습도를 유지하여야 하는점 등을 감안하여 고압분사노즐을 이용한 가습장치를 채택하고 고압분사노즐을 이용한 가습장치의 문제점인 노즐의 막힘 현상, 가습 효율의 저하, 가습시 가습수의 불완전 증발로 인한 수분입자의 기기 내부 유입 등을 방지할 수 있도록 설계 하였고, 또한 고온에서의 습도조절을 위한

제습기의 가동시 제습용 Compressor의 보호를 위하여 일정온도 이상이 되면 냉매의 일부를 제습용 Compressor로 By-pass 시켜 제습용 Compressor가 과열 소손되는 것을 방지할수있는 System을 채택하였다.

#### 나. 건열소독기 온,습도 제어시스템의 개략도

건열소독기 온,습도 제어시스템의 개략도를 그림1에 나타내었다.

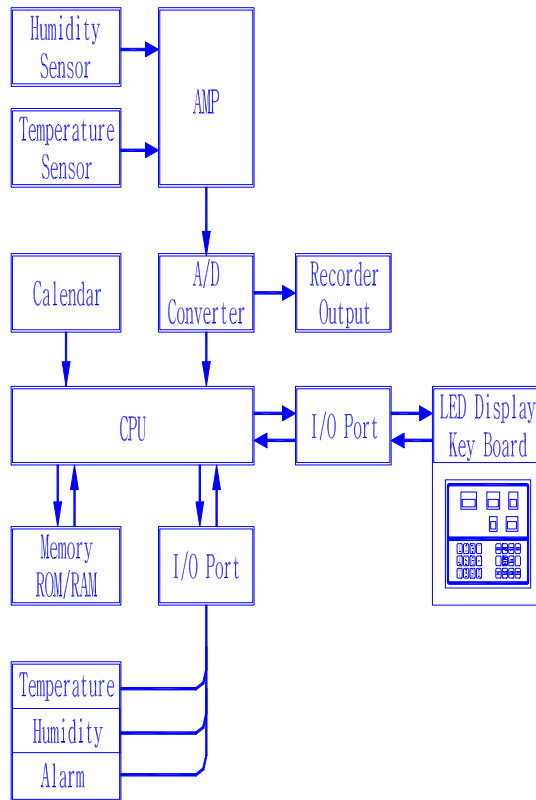


그림 1 건열소독기 온,습도 제어시스템의 개략도

## 다. 건열소독기 온,습도 제어시스템 설계

1) 16 BIT MICROPROCESSOR를 이용하여 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하였다.

가) 시간, 온도, 습도와 보조 회로 상태 등을 연속적으로 동시에 표시하여 준다.

나) 온,습도의 제어를 DIGITAL P. I. D. CONTROL 하여 정확한 온도의 제어가 가능하도록 한다.

다) 온도의 PROGRAM 은 시간, 분, 온도, D/H, 의 순서로 23 SET POINT 까지 가능하도록 한다.

\* PROGRAM 예\*

24시00분 온도 35℃, 습도 30%

24시00분 온도 55℃, 습도 20%

72시00분 온도 75℃, 습도 10%

08시00분 온도 55℃, 습도 40%

08시00분 온도 35℃, 습도 50%

08시00분 온도 30℃, 습도 60%

08시00분 온도 25℃, 습도 70%

08시00분 온도 20℃, 습도 80%

라) 완성된 PROGRAM은 운용 상태의 교란 없이 검색이 가능하도록 한다.

마) PROGRAMING 은 논리적이며 점멸 하는 아라비아 숫자에 원하는 숫자를 입력하는 것으로 간단하게 바꾸고 편집하고 지울 수 있도록 한다.

바) PROGRAM 은 비휘발성 MEMORY 에 들어 있어 전원이 OFF 되어도 소거되지 않아야 한다.

사) REAL-TIME CLOCK 은 CRYSTAL-CONTROLLING 되며 정확도는 1분/년이며 10년 수명의 리듬 전지로 작동하도록 한다

아) 온도가 SET POINT 에서 이탈시 자동으로 MAIN POWER 가 OFF되며 ALARM 이 동작하도록 한다.

자) LOCK 기능은 타인이 PROGRAM 을 변화시키거나 KEY를 잘못 누르는 일이 없도록 하기 위한 SYSTEM으로 일단 CODE 가 CONTROLLER 에 입력되면 3 DIGIT 의 비밀 번호를 알고 있는 사람만이 LOCK/UNLOCK 할 수 있도록 한다.



## 라. 건열소독기 배선도

### 1) 소형 건열소독기 배선도

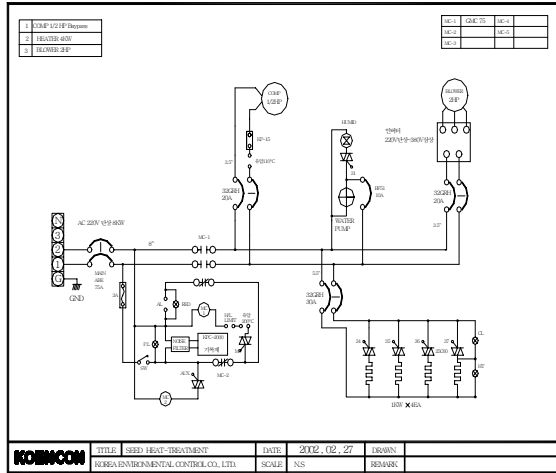


그림 2 소형 건열소독기 배선도

## 2) 중형 건열소독기 배선도

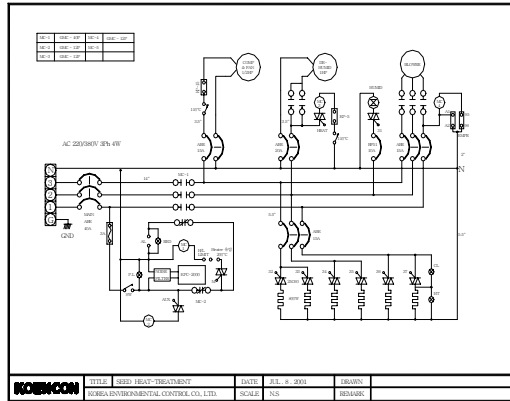


그림 3 중형 건열소독기 배선도

## 3) 대형 건열소독기 배선도

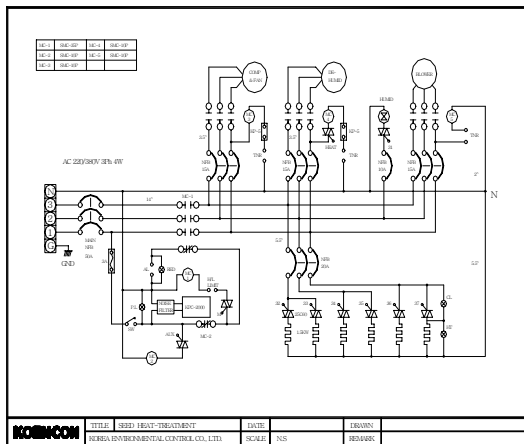


그림 4 대형 건열소독기 배선도

## 마. 건열소독기 온·습도 제어시스템 조작방법

### 1) 온·습도 제어시스템 표시 및 조작부

그림 5 온·습도 제어시스템 표시 및 조작부

### 2) 온·습도 제어시스템 조작방법

가). 기기 조작전 점검사항

- (1) 전원 (POWER) 이 확실히 연결되어 있는지 확인
- (2) HIGH-LOW LIMIT SWITCH 및 제습기, HEATER 보호장치의 SETTING

나) 기기 동작순서

- (1) POWER SWITCH 를 ON 시킨다 (전면)
- (2) 시간,온도,D/H 의 SETTING

다) KEYBOARD 의 기능

(1) RUN

모든 KEY 의 동작시작

(2) HOLD

RUN 상태에서 다른 기능을 SETTING 하기위한 정지기능

(3) PROG (PROGRAM)

REAL-TIME 에 의한 온도 의 설정

(4) EXAM (EXAMINATION)

PROGRAM 되어있는 내용의 확인

(5) ENT (ENTER)

모든 DATA 의 입력시 DISPLAY 상태에서 MEMORY 로 입력

(6) RE\_STRT

메모리에 입력되어 있는 상태 그대로 반복 사용할 때

(7) CLR (CLEAR)

모든 DATA 의 입력시 잘못 입력된 내용을 지움

(8) LOCK

KEYBOARD 의 기능의 잠금,해제

라) KEYBOARD 의 사용법

(1) RE\_STRT

메모리에 있는 상태 그대로 반복 사용할 때는 PROGRAM을 다시 할 필요 없이

HOLD MODE RE\_STRT를 차례로 누르고 RUN을 누른다.

\* PROGRAM을 새로 하면 자동으로 처음부터 RUN

\* 정전 시에 전원이 복귀되면 정전된 시간부터 계속하여 RUN

① HOLD KEY 를 누른다

(HOLD LAMP 가 FLASH)

② MODE KEY를 누른다

③ RE\_STRT KEY를 누른다

(2) PROGRAMMING

① HOLD KEY 를 누른다

(HOLD LAMP 가 FLASH)

② PROG KEY 를 누른다

(HOLD 와 PROG 의 LAMP 가 동시에 켜짐, 이때에 첫 번째 SET 되어있는 시간, 온도, 습도, PATTERN NUMBER 가 표시 되며 시간의 첫 번째 숫자가 FLASH 됨)

③ 시간, 온도의, D/H, 습도 순으로 숫자 KEY를 눌러서 PROGRAMMING 함  
(각 KEY를 누른 후 유효하면 ENT KEY를 누른다)

(습도까지 PROGRAM 이 끝난 후 ENT를 누르면 다음 PATTERN으로 넘어가고 RUN 을 누르면 PROGRAM 이 끝남)

\*\*\* (각 숫자 KEY를 누른 후에 ENT KEY를 누르면 입력됨, 틀린 숫자가 입력되었을 시 CLR KEY를 누르면 한 단계 앞으로 되돌아감)

(유효한 KEY 나 숫자를 입력 시에는 “삐”, 유효하지 않을 때에는 “삐-삐” 하는 신호음을 발생함)

\*\*\* (PROGRAM 이 끝나고 RUN KEY 를 누르면 처음부터 마지막에 RUN KEY를 누를 때에 표시된 PATTERN NUMBER 까지 동작하고 정지,)

(시간은 00 : 01부터 99 : 59 까지 PATTERN 은 MAX 23 SEGMENT 까지, 온도는 0부터 79℃ 습도는 0%부터 100%까지 입력됨)

④ PROGRAM 이 끝나면 RUN KEY를 누른다

(HOLD LAMP 가 FLASH 되며 마지막 PATTERN NUMBER 가 표시됨, 이때에 PROGRAM 내용을 확인하려면 EXAM KEY 를 누른다)

RUN KEY를 다시 한번 누르면 PROGRAM 된 내용대로 동작함

\* 여러 개의 PATTERN 중에서 일부만 수정할 때 :

HOLD KEY 를 누른후 PROG KEY 를 누르고 PROGRAM 된 내용을 확인한 후 수정할 내용이 없으면 PROG KEY를 다시 한번 더 누른다

\*\*\* (이때 수정할 내용이 없어도 항상 마지막 PATTERN까지 PROG KEY를 누른 후 RUN KEY를 누른다.

(3) EXAMINATION

① HOLD KEY를 누른다

(HOLD LAMP 가 FLASH)

② EXAM KEY를 누른다

(HOLD 와 EXAM 의 LAMP 가 동시에 켜짐, 이때에 첫 번째 SET 되어있

는 시간, 온도 ,D/H, PATTERN NUMBER 가 표시되며 PATTERN NUMBER 가 FLASH 됨)

③ EXAM 이나 ENT KEY를 누르면 PROGRAM 되어있는 순서대로 표시되며 마지막 PROGRAM NUMBER 는 'E' 로 표시됨

(4) LOCK/UNLOCK (KEYBOARD 의 잠금, 해제)

① LOCK (잠 금)

- LOCK KEY를 누른다

(첫 번째 비밀번호가 FLASH)

- 원하는 숫자를 누른 후 ENT KEY를 누른다

같은 방법으로 3자리 숫자를 모두 누른다

(HOLD LAMP 가 켜지며 LOCK LAMP 가 FLASH)

- RUN KEY를 누른다

(RUN 과 LOCK LAMP 가 켜지며 모든 KEYBOARD 의 기능이 잠긴 상태로 동작함)

② UNLOCK (해 제)

- LOCK KEY 를 누른다

(아무 신호음도 발생하지 않는다)

- 비밀번호 3자리 숫자를 순서대로 누른다

(ENT KEY 는 누르지 않는다)

- RUN LAMP 가 켜지며 해제 상태로 동작됨

\*\*\* (비밀번호는 POWER 스위치를 ON 할때 AUX 란에 표시됨)

### 3) 온 · 습도 제어시스템 PCB 도면

#### 가) 전원부

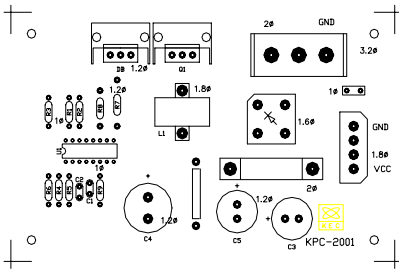


그림 6 전원부

#### 나) 센서입력부

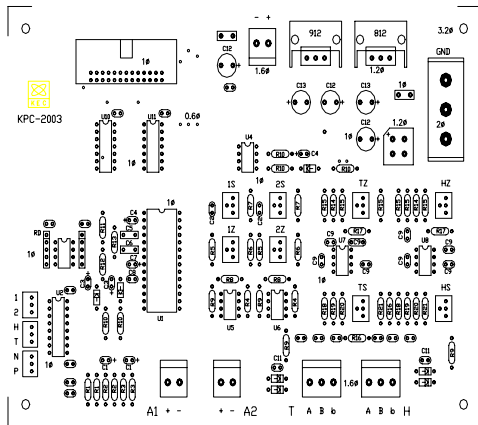


그림 7 센서입력부

다) 연산부

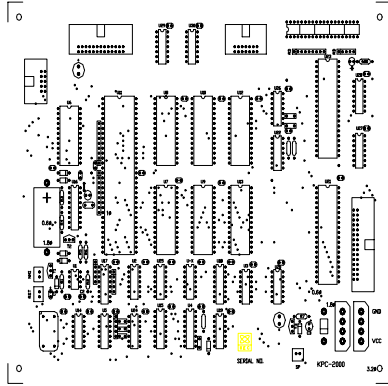


그림 8 연산부

라) 출력부

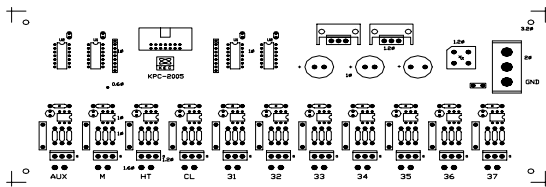


그림 9 출력부



마) 표시 및 조작부

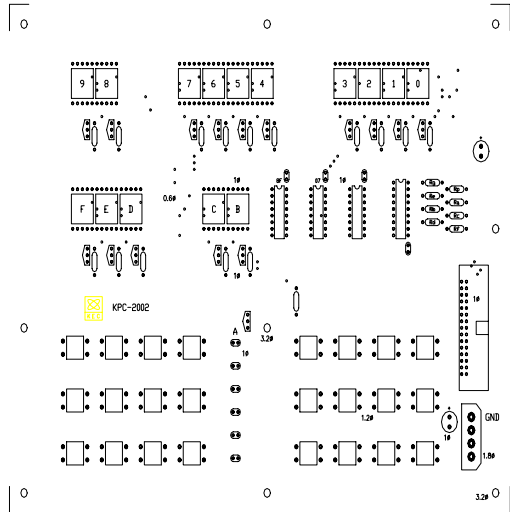


그림 10 표시 및 조작부

4) 온·습도 제어시스템 표시 및 조작부 외관



그림 11 온·습도 제어시스템 표시 및 조작부 외관

5) 온·습도 제어시스템 내부 배선 모습



그림 12 온·습도 제어시스템 내부 배선 모습

## 2. 건열소독기 구조 설계

### 가. 건열소독기 구조의 개요

가. 종자건열소독 처리과정은 종자가 극한상황의 건조와 고온과정을 거치게 되는데 종자건열소독 처리 후 파종 시 균일한 발아 세 및 유묘 성장세를 얻기 위해서는 균일한 온·습도 분포 유지 기술이 필수적이다. 균일한 온·습도 분포 유지를 위하여 내부 순환공기의 풍속, 풍량이 각 부위에서 일정하도록 Laminarflow 구조로 설계되었다.

나. 종자 건열 소독용 체반은 통기성, 내구성, 작업 편리성 등을 고려하여 설계되었다.

다. 중,대형 건열 소독기는 용량이 다른 제습기 2대를 설치하여 초기의 전처리 과정에서는 강력한 제습 기능을 발휘하도록 하고 본 처리 및 후처리 과정에서는 습도 제어에 필요한 정도의 제습 기능만 발휘하도록 설계하여 전처리 과정의 건조 효율 증대 및 불필요한 전력낭비를 방지하고 기기의 수명을 연장할 수 있도록 설계되었다.

## 나. 건열소독기 구성도

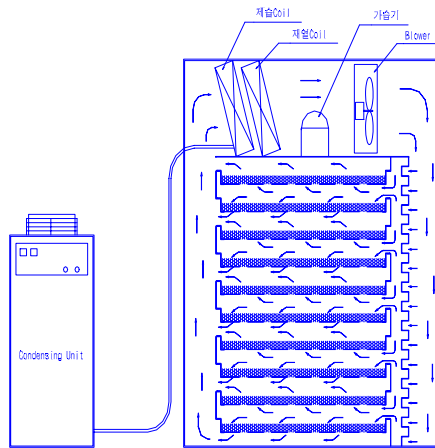


그림 13 건열 소독기 구성도

## 다. 제습기의 구성도

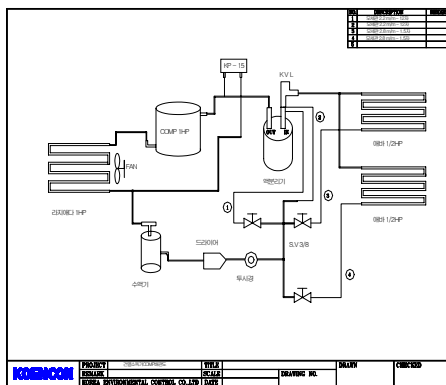


그림 14 제습기 구성도

표 1 제습기 부품설명

NO	품 명	용도 및 목적
1	H/L LIMIT S/W	실내 온도의 최고, 최저치를 설정하여 이상 발생 시 내부 종자를 보호한다.
2	모세관	냉매 액을 교축 팽창시켜 증발이 용이하게 하며 증발기 내로 들어가는 냉매액량을 조절한다.
3	COOLING COIL	순환 공기를 제습 시킨다.
4	FAN	실내 공기를 강제 순환시킨다.
5	COMPRESSOR	냉매 GAS를 압축시킨다.
7	CONDENSER	실내에서 빼앗은 열을 외부로 방출시킨다.
8	DRIER & FILTER	냉매액 중의 수분이나 이물질 제거한다.
9	LIQUID SOLENOID VALVE	온도가 40℃ 이상일 때 냉매액 흐름을 차단시킨다.
10	BY-PASS SOLENOID VALVE	LIQUID SOLENOID VALVE 가 열렸을 경우나 온도가 40℃ 이하일 때 냉매의 흐름을 차단시킨다.
11	K.V.L.	CRANKCASE 내의 압력을 조정하여 기동시, 또는 고온 운전시 압축기 MOTOR가 과부하 되는 것을 방지한다.
12	SUCTION STRAINER	저압 가스내의 냉매액이나 이물질을 제거한다.

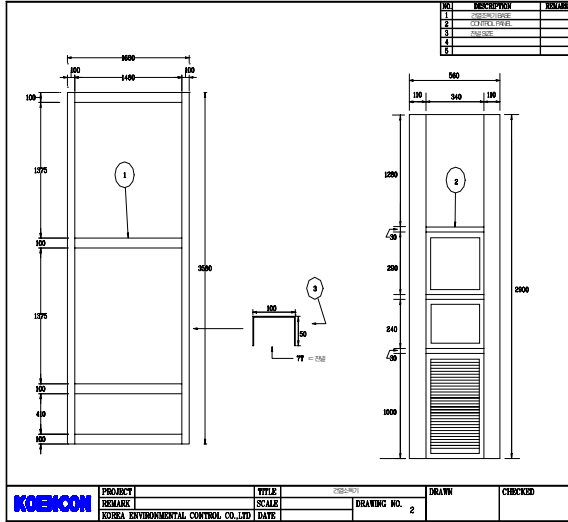


그림 15 기계실 도면



그림 16 공조실 사진



그림 17 기계실 사진





그림 18 Fan 모터

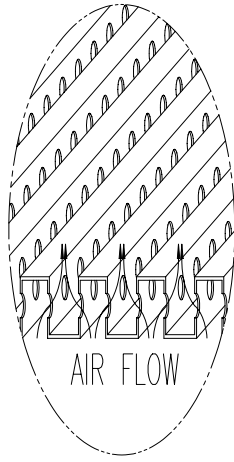


그림 19 Laminar flow



그림 20 Laminar flow 사진



그림 21 건열 소독기용 체반



그림 22 소형 건열소독기 시제품



그림 23 소형 건열소독기 시제품(문 열린 상태)



그림 24 중형 건열소독기 시제품



그림 25 대형 건열소독기 시제품



그림 26 대형 건열소독기 시제품 (문 열린 상태)



## 제 2 절 건열처리 조건별 종자 및 유묘활력 검 정과 바이러스 불활성화 정도의 판정

### 1. 건열처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정

공시재료는 수박 대목으로 사용되는 박종자를 종묘회사들에 의뢰하여 수집하여 사용하였는데 실험의 종류에 따라 공시된 품종들은 각각 달랐다. 가장 보편적으로 공시된 품종은 Seminis의 'FR King II'와 'Power(강력)', 농우(바이오)의 시기별로 채취된 'Partner'를 가장 많이 이용하였고, Syngenta의 'FR Gold', 그리고 동부한농의 'FR 1000' 등을 이용하였다. 건열처리조건으로는 다음과 같은 내용으로 분류하여 각각 처리하였다.

#### 가. 온도 및 습도 제어방법을 도입한 건열처리

##### 1) 실험재료 및 방법

과거의 가온속도 조절장치 및 가습장치가 없는 기기에 비하여 이들 장치를 갖춘 기기를 이용하여 비교하였다. 즉 본 실험의 목적에 가급적 부합되도록 고령기기에서 실험제작한 중형 건열처리기기를 주로 이용하였으나, 초기 실험에서는 주로 비전과학에서 제작한 소형 건열처리기기 3대를 이용하여 건열처리를 실시하였으므로 실험시기에 따라 그 결과가 매우 다르게 나타나고 있었다.

즉 건열처리는 관행처리 즉 35℃에서 24 시간, 50℃에서 24 시간의 전 처리를 거친 후 온도를 75℃로 상승시켜 본 처리를 가한 후 처리가 완료되더라도 기기에서 바로 꺼 내지 않고 장치 내에서 자체열을 이용하여 서서히 냉각되도록 방치하였다가 24 시간후에 종자를 꺼내는 방법이다 (dry heat treatment).

이에 비해서 개량된 처리에서는 온도 상승이 즉 35℃에서 50℃, 그리고 50℃에서 75℃로 상승할 때 관행에서와 같이 몇 분 이내로 갑자기 끌어 올리지를 않고 1시간 동안에 단계적으로 서서히 상승시킴으로서 급격한 온도상승을 최소화

하는 처리를 기본으로 하고 여기에 다시 처리가 종료되면서 인공가습을 추가한 처리로 구분하여 각각 실험하였다. 이때 다만 전술한 바와 같이 공시 건열처리 기기가 1대 뿐이어서 모든 처리를 같은 기종을 이용하여 일정한 시간에 실시하지 못하고 각각 다른 기기를 이용하여 처리할 수 밖에 없어서 한 처리가 종료되어야(통상 한 처리에 7-10일 정도 소요) 다음의 처리로 넘어가도록 하였다.

공시품종은 가장 많이 이용하였던 Seminis Korea의 'KR King II'와 'Power'(강력참박), 그리고 농우(바이오)의 'Partner'로 하였다. 주어진 건열처리 기간이 종료되면 종자를 다시 실험대 위에 방치하여 3일간 자연 흡습을 시킨후 silica gel과 함께 air tight plastic box에 밀봉하여 10-15℃로 유지되는 종자보관실에서 일정기간 방치하였다가 Anchor germination paper 또는 72공 cell tray에 과중하여 종자발아 및 유묘의 생육상태를 국제발아검사기준을 적용하여 조사하였다.

## 2) 실험결과 및 고찰

3 품종을 공시하였으나 이중 'KR King II'와 'Partner'에서는 건열처리 여부에 다른 반응도 미미하였을 뿐만 아니라 처리종류의 차이에 다른 유의차도 인정되지 않았다. 즉 처리방법을 달리 하더라도 최종종자발아에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 'FR Gold'와 'Power'는 건열처리에 민감한 관계로 상당한 차이를 보였으므로 여기서는 처리간의 현저한 차이를 보인 'Power'의 결과만을 수록하였다.

즉 그림 1에서 경시적인 발아율에서 보이듯이 무처리에 비해서 초기발아세는 물론이고 최종발아율에서도 무처리구에 비해 대단히 낮아서 건열처리의 피해를 심하게 보인 품종으로 나타났는데 이는 기존의 결과에서와 매우 유사한 결과이었다 (이 등, 2000). 건열처리방법에 따라서는 처리간에 차이가 커서 개량된 건열처리가 발아율 및 발아세에서 더 좋았는데 특히 초기발아율에서 현저한 차이를 보였다. 그러나 전술하였듯이 여타의 다른 품종에서는 'Power'에 비하면 매우 근소한 차이만을 보여서 대조적이었다 (data 생략). 이러한 결과는 품종 선택과 함께 충실한 종자의 선종만으로도 예상되는 건열처리 피해를 최소화할 수 있음을 지적하여 주고 있다. 일반적으로 건열처리 직후에는 심한 피해현상 즉 발아지연과 이상발아(異狀發芽) 현상을 보이다가도 후처리기간을 30일 또는 그 이

상을 경과하면 이들 피해증상이 상당히 경감되는 현상을 보이는데 ‘Partner’ (그림 2) 이외의 다른 품종에서도 유사한 결과를 보였지만 그 효과는 품종에 따라서 큰 차이를 보였다.

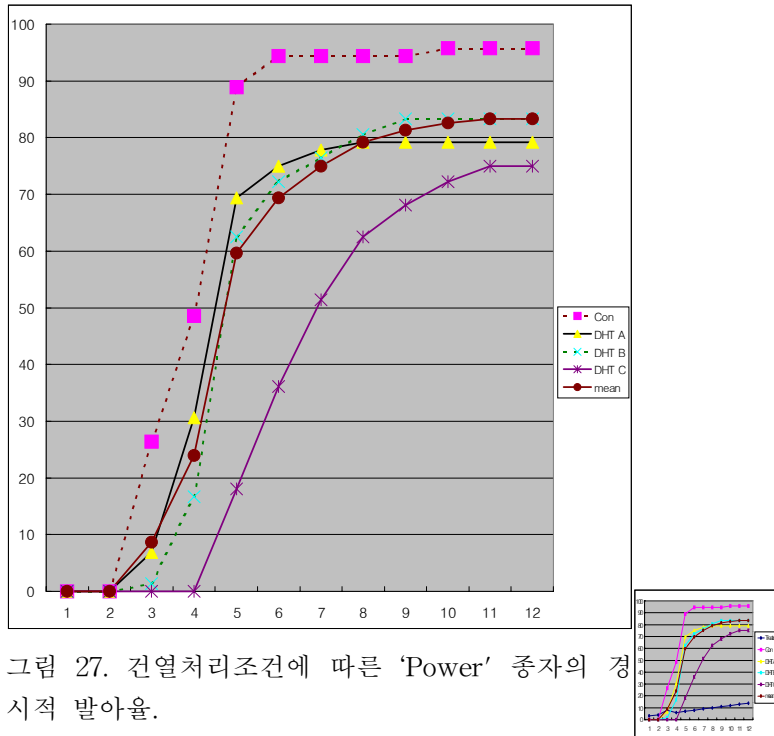


그림 27. 건열처리조건에 따른 ‘Power’ 종자의 경시적 발아율.

표 2. 중국 채종 ‘강력참박’ 종자의 종자발아 및 유묘 생육

건열처리	발아세 (%)	발아율 (%)	자엽장 (cm)	자엽폭 (cm)	하배축 장(cm)	하배축 경(cm)	생체중g
무처리(Con)	55.56	100.00	5.09	3.04	7.65	3.84	2.49
관행처리(A)	29.39	47.50	4.76	2.90	6.36	3.17	2.08
관행+지연냉각(B)	38.89	70.00	4.88	2.92	6.20	3.83	2.11
단계적온도상승(C)	29.17	52.50	4.51	2.74	5.12	3.53	1.76
평균(mean)	37.50	67.50	4.81	2.90	6.33	3.73	2.11

\*그림에서와는 다른 처리기기로 소량의 종자로 실험한 결과임.

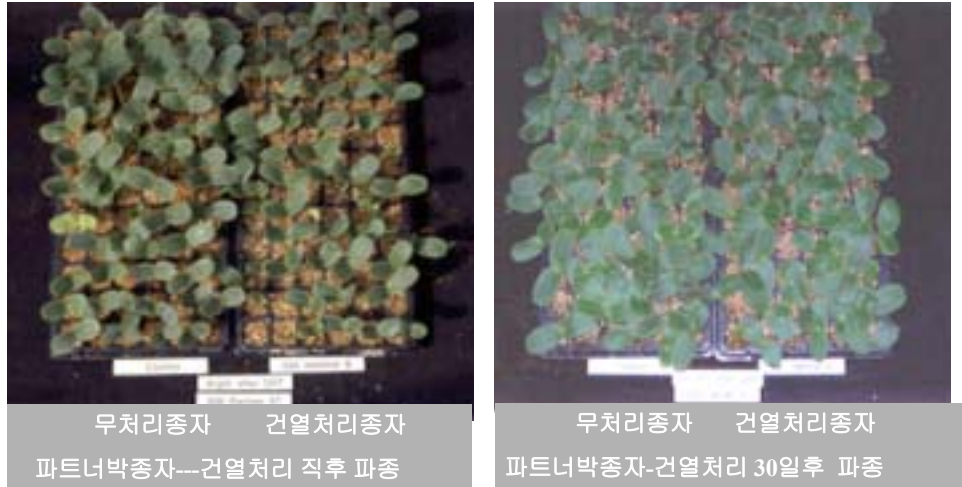


그림 2. 'Partner' 박 종자의 건열처리에 따른 종자발아 상태(좌로부터 무처리 종자, 건열직후 파종, 무처리종자, 건열처리 30일후 파종)

## 나. 건열처리 상한온도를 달리한 처리효과

### 1) 실험재료 및 방법

건열처리의 일반적인 처리온도는 72℃에서 75℃ 내외이지만 품종 등에 따라 건열피해를 보이는 것이 많이 발생하므로 특히 건열처리에 비교적 강한 품종 (FR King II)와 약한 품종(Power)을 각각 공시하여 건열처리시의 상한온도를 65, 70, 75, 80, 85℃로 하여 2001년 주문 제작된 건열처리기기(고려기기)를 주로 사용하여 실험하였다.

공시품종으로는 'FR-King II', 'FR Gold', 'Power', 'Partner' 등 박 4 품종이었고, 실험방법으로는 종자를 Control(무처리), 60, 65, 70, 75, 80℃ (6처리)의 상한온도로 3일간 처리하였으며 처리 후 실험대의 상온에서 2일간 흡습시킨 후 다시 0일, 45일을 저장하였다가 72 cell tray에 파종하였는데 1차 파종실험은 2002. 3. 23~4. 3이었으며 2차 파종실험은 2002. 5. 6~5. 20에 실시하였다.

## 2) 실험결과 및 고찰

상한온도에 따른 종자발아는 표 2-8과 그림 3에 각각 보이고 있다. 먼저 건열처리에 강한 ‘KR King II’ 에서의 결과를 보면 (표 2) 무처리에 비하면 유묘의 하배축장이 짧아지는 정도의 영향만을 보였을 뿐 어떠한 처리에서도 무처리에 비하여 유의성있는 차이를 나타내지 않았다. 이 실험은 발아조건이 불량하였던 2차실험에서도 같은 경향이였다 (표 3).

그러나 건열처리에 다소 반응하는 ‘FR Gold’에서는 건열처리 자체에 따라서 비록 60℃의 낮은 상한온도를 적용하여도 발아 등에는 유의차가 없었더라도 정상묘율에서 다소 낮아지는 경향을 보이였다 (표 4). 이러한 결과는 역시 발아조건이 불량하였던 2차실험에서도 유사하였다 (표 5).

표 2. 건열처리 상한온도에 따른 ‘FR King II’ 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(1차실험 결과 2002. 3. 23~4.3)

상한온도 (℃)	초장 (cm)	자엽장 (cm)	하배축장 (cm)	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control*	9.9	5.4	4.5	6.9	1.4	88.9 a	95.8a	1.55	1.69
60	8.9	5.1	3.9	2.8	2.8	76.7 a	89.4a	1.34	1.57
65	9.4	5.4	4.0	9.7	5.6	76.4 a	86.1a	1.33	1.60
70	9.2	5.2	4.0	8.3	1.4	80.6 a	88.9a	1.29	1.55
75	9.5	5.4	4.2	6.9	4.2	88.9 a	95.8a	1.47	1.66
80	9.5	5.3	4.2	12.5	1.4	81.9 a	94.4a	1.45	1.69

\*Control=무처리.

표 3. 건열처리 상한온도에 따른 'FR King II' 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(2차실험 결과 2002. 5.6 ~5.20).

상한온도	초장	자엽장	하배축장	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control*	11.4	6.0	5.4	5.6	1.4	77.8a	83.3a	1.93	2.33
60	10.1	5.6	4.5	4.2	2.8	77.8a	81.9a	1.54	1.82
65	11.5	6.1	5.3	2.8	1.4	72.2a	75.0ab	2.09	2.60
70	9.6	5.2	4.4	4.2	4.2	56.9b	61.1b	1.42	1.70
75	9.5	5.3	4.2	9.7	8.3	43.1b	52.8c	1.43	1.78
80	8.4	4.5	3.9	6.9	6.9	44.4b	51.4c	1.14	1.25

표 4. 건열처리 상한온도에 따른 'FR Gold' 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(1차실험 결과 2002. 3. 23~4.3)

상한온도	초장	자엽장	하배축장	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control	11.4	6.0	5.4	4.2	1.4	80.6	84.7	1.97	2.08
60	10.5	5.7	4.7	13.9	5.6	66.7	80.6	1.76	1.94
65	10.5	5.6	4.8	13.9	2.8	70.8	84.7	1.61	1.80
70	10.1	5.5	4.6	16.7	1.4	58.3	75.0	1.55	1.68
75	10.4	5.8	4.9	13.9	4.2	56.9	70.8	1.71	1.94
80	10.2	5.6	4.6	16.7	6.9	58.3	75.0	1.64	1.83

표 5. 건열처리 상한온도에 따른 'FR Gold' 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(1차실험 결과 2002. 5.6~5.20).

상한온도	초장	자엽장	하배축장	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control	12.2	6.2	5.9	1.4	0.0	73.6	75.0	2.32	2.45
60	12.6	6.7	5.9	8.3	1.4	72.2	80.6	2.38	2.72
65	12.3	6.5	5.8	12.5	5.6	69.4	81.9	2.46	2.71
70	12.3	6.4	5.9	2.8	0.0	66.7	69.4	2.48	2.70
75	12.5	6.5	6.0	5.6	2.8	56.9	62.5	2.47	2.62
80	11.1	6.0	4.8	8.3	5.6	51.4	59.7	1.94	2.09

이들 품종에 비하여 채종후 4년이 경과된 'Partner' 품종으로 실험한 결과에서는 건열처리 여부는 물론이고 건열처리시 상한온도가 높아짐에 따라서 발아율, 유묘중량, 초장, 자엽장, 기리고 정상묘율에서 상한온도와 비례하여 건열피해증상이 증가함을 확인할 수 있었다 (표 6). 이러한 결과는 발아환경이 부적합하였던 2차실험에서는 더욱 두드러지게 나타났다 (표 7).

표 6. 건열처리 상한온도에 따른 'Partner' 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(1차실험 결과 2002. 3. 23~4.3)

상한온도	초장	자엽장	하배축장	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control	10.5	5.2	5.3	11.1	6.9	55.6	66.7	1.44	1.67
60	9.7	4.8	4.9	12.5	9.7	68.1	80.6	1.23	1.42
65	9.0	4.8	4.2	8.3	5.6	48.6	56.9	1.24	1.39
70	9.2	4.8	4.4	6.9	2.8	41.7	48.6	1.29	1.35
75	9.4	4.8	4.5	11.1	4.2	48.6	59.7	1.23	1.39
80	8.6	4.7	3.9	11.1	6.9	40.3	51.4	0.79	1.37

표 7. 건열처리 상한온도에 따른 'Partner' 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(2차실험 결과 2002. 5.6.~5.23.)

상한온도	초장	자엽장	하배축장	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control	10.8	5.4	5.3	1.4	0.0	41.7b	43.1b	1.77	1.66
60	9.2	4.7	4.5	18.1	9.7	22.2a	40.3a	0.96	1.44
65	10.2	5.4	4.9	11.1	5.6	34.7bc	45.8bc	1.70	1.79
70	10.2	5.6	4.6	12.5	8.3	25.0c	37.5c	1.28	1.95
75	8.4	4.4	4.0	12.5	6.9	26.4bc	38.9b	0.96	1.14
80	10.9	5.7	5.1	11.1	6.9	36.1c	47.2c	1.67	2.10

표 8. 건열처리 상한온도에 따른 'Power' 박종자의 발아 및 유묘 생육  
(1차실험 결과 2002. 5.6.~5.23.)

상한온도	초장	자엽장	하배축장	정상묘율(%)			발아율 (%)	전체중 /개체수	10개체 중/10
				비정상	접목불능	정상묘			
Control	12.8	6.0	6.8	12.5	1.4	63.9	76.4	2.28	2.40
60	13.3	6.0	7.2	26.4	1.4	48.6	75.0	2.36	2.44
65	11.5	5.8	5.7	2.8	2.8	48.6	51.4	1.90	2.09
70	12.1	6.2	5.9	1.4	0.0	26.4	27.8	2.19	2.46
75	11.3	5.5	5.6	13.9	5.6	33.3	47.2	1.95	1.84
80	11.9	5.8	5.9	6.9	2.8	52.8	59.7	2.13	2.22

각각의 품종들에서의 발아율의 경시적 변화는 그림 3에서 보이고 있는데 상한온도가 높아짐에 따른 발아지연 정도는 'FR King II'에서 가장 완만하였고 다음이 'FR Gold' , 묵은 종자이었던 'Partner', 그리고 'Power'의 순으로 나타나서 유묘 특성에서의 결과들과 대체로 일치하고 있음을 보여 주었다.



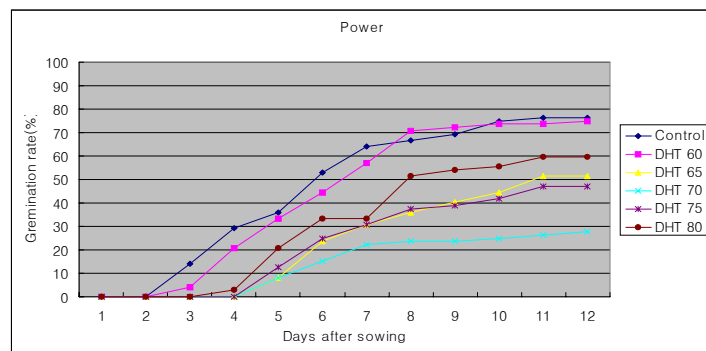
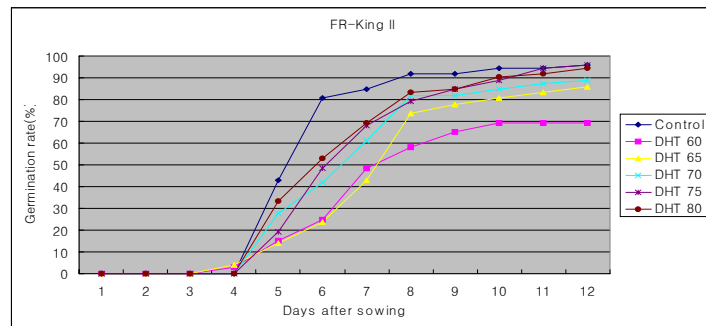
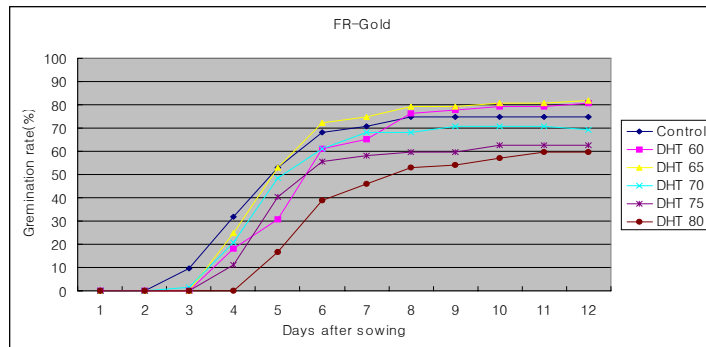
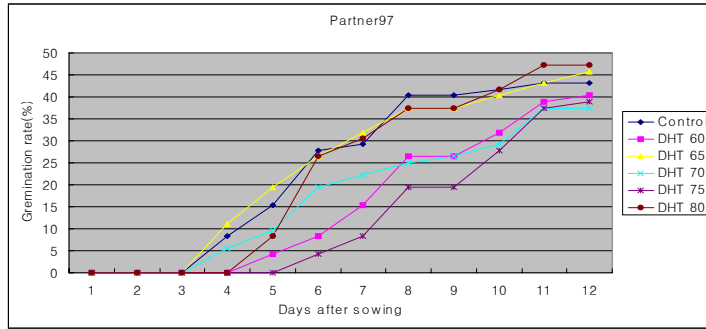
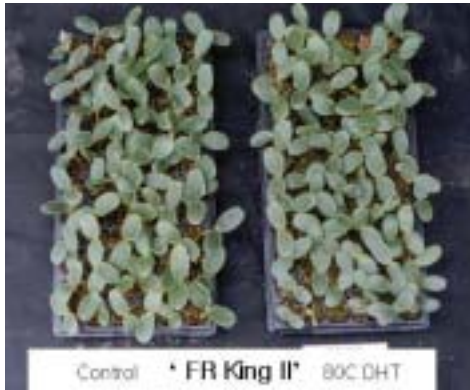


그림 3. 80°C의 고온건열처리가 4박 품종의 유묘생육에 미치는 효과.



(a) FR King(무처리:80C DHT)



(b) Parnter(무처리:80C DHT)



(c) FR Gold(무처리:80C DHT)



(d) Power (무처리:80C DHT)

그림 4. 80°C의 고온건열처리가 4박 품종의 유묘생육에 미치는 효과

## 다. 건열처리 지속기간에 따른 효과

### 1) 실험재료 및 방법

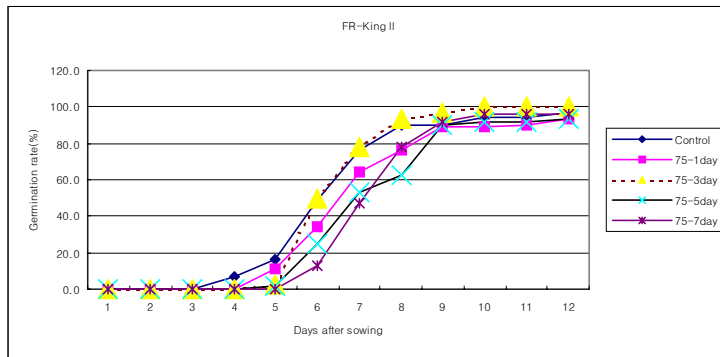
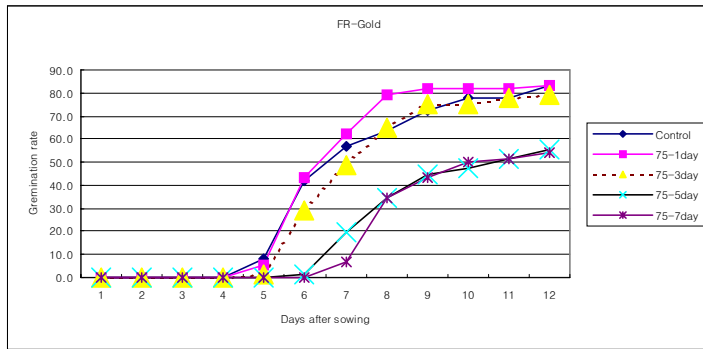
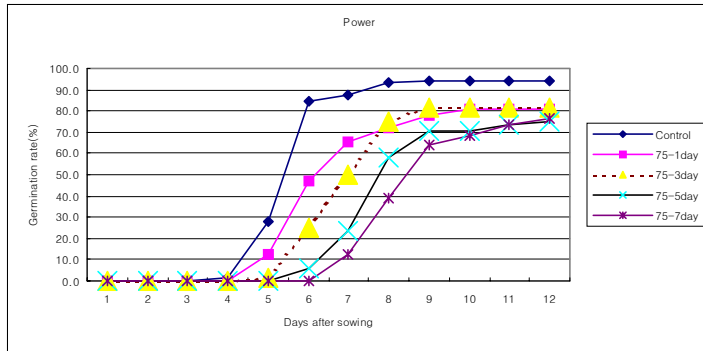
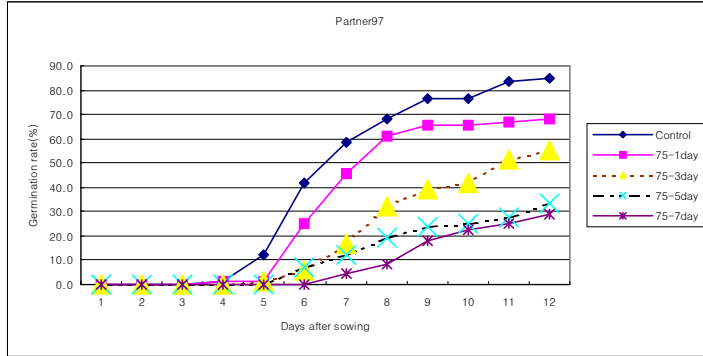
건열처리는 실제로 처리에 들어가더라도 전처리에 2일, 본처리에 3일, 그리고 후처리에 1일, 도합 6일 이상이 소요되는 것이 기본이다. 그러므로 본 실험에서는 본처리기간(상한온도에서의 처리기간)을 3일을 기준으로 하여 각각 1, 3, 5, 7 일간을 처리한 후 다시 후처리를 가하고 이들 종자의 저장기간을 0일과 45일로 하여 각각 TGT(thermogradient table)나, Anchor germination paper를 이용하여 실내발아 및 유묘활력 평가실험을 실시함과 동시에 온실에서는 72공 cell tray에 바로커 상토를 넣고 24립 씩 3반복으로 실험하여 결과를 정리하였다.

공시품종으로는 'FR-King II', 'FR Gold', 'Power', 'Partner' 의 4 품종을 이용하였으며, 각 품종의 종자를 관행처리로 75℃의 온도에서 1, 3, 5, 7일 처리하고 대조구인 무처리구와 비교하였다. 건열처리 후 종자를 실험대의 상온에서 2일간 흡습 후 0일, 45일후 72 cell tray에 파종하여 조사하였는데 1차 파종실험은 2002. 2. 18~3. 4에, 그리고 2차 파종실험은 2002. 4. 6~4. 18에 각각 실시하였다. 기타 조사방법은 실험 1.1에서와 같다.

### 2) 실험결과 및 고찰

건열처리 지속기간에 따른 종자발아 특성은 그림 5에 보이고 있다. 건열처리 상한온도에서의 기간이 길어질수록 모든 품종에서 발아 지연이 현저하게 인정되었다.

먼저 1-3일 처리에 비하여 5-6일 처리시에는 그 차이가 특히 크게 나타났는데 'Partner97'과 'FR Gold'에서 가장 심하였으며 'Power'에서도 대단히 차이가 컸다. 그러나 'FR King II'에서는 지속기간에 따른 현저한 차이를 보이지 않았다.



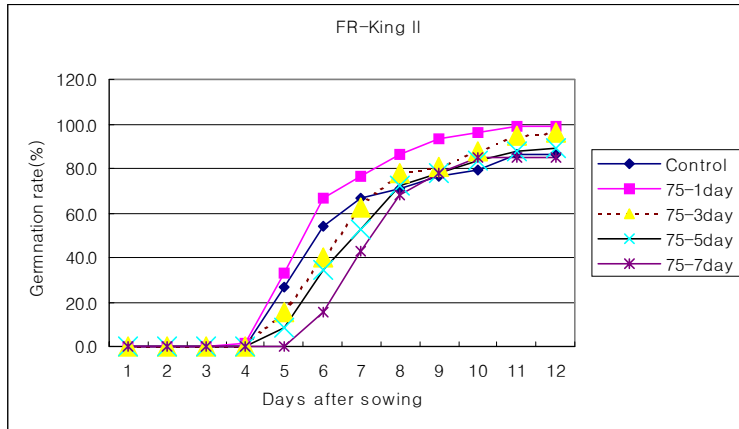


그림 5. 건열처리 지속기간에 따르는 경시적 종자 발아.

## 라. 건열처리 횟수가 종자발아 및 유효활력에 미치는 영향

### 1) 실험재료 및 방법

해외채종종자를 해외에서 건열처리 후 반입을 하는 경우가 충분히 예상되지만 현재 적용하는 세관에서의 바이러스 검정방법인 ELISA로는 이를 확인할 방법이 없는 실정이다. 즉 외국에서 다소의 CGMMV 감염이 인정되어 현지에서 건열처리를 하더라도 불활성화된 CGMMV가 종자내에 그대로 남아서 ELISA 양성반응을 보이게 되기 때문이다(Kim and Lee, 2000). 이 경우 해당 종자수입업자가 건열처리 사실을 주장하면 이를 100% 인정할 수도 없고 그렇다고 인정하지 않을 수도 없는 경우가 흔히 발생할 것으로 예상된다. 이때의 가장 적합한 방법중의 하나는 국내에서 안전한 방법으로 다시 건열처리를 하는 것인데 물론 장비나 시간이 더 드는 것은 사실이지만 가장 확실한 대책이기도 하다. 다만, 건열처리를 재차 적용하게 되는 경우, 비록 처리방법 및 기기가 안전하게 적용된다고 하더라도 한번 처리한 것보다는 2회 및 3회를 반복하여 처리하는 경우 종자 및 유효활력에는 어떠한 영향을 줄 것인지, 아니면 종자의 저장성에 어떠한 영향을 줄 것인지를 확인할 필요가 있다. 따라서 본 실험에서는 개량된 건열처

리기기를 이용하여 건열처리 횟수를 0, 1, 2 및 3회 반복하여 처리하여 실험하였다. 처리된 종자들에 대하여는 발아율, 발아세, 유묘활력 등을 조사함과 아울러 여기에서도 일정 기간을 실온 및 저온에서 저장하거나 후에 그 활력을 각각 평가하였다.

공시품종 : FR-King II, FR-Gold, Power, Partner 참박 4품종

실험방법 : 종자를 72°C의 온도에서 Control, 1회, 2회, 3회 처리함.

처리 후 실험대의 상온에서 2일간 흡습후 0일, 14일 28일, 60일간 저장하여 72 cell tray에 파종하되 건열처리는 수정된 건열처리조건 적용(35°C-24 hr, 50°C-24 hr, 72°C-72 hr, 50°C-24 hr, 35°C-24 hr)하였다.

1차 파종(2002.4.25~5.22), 2차 파종(2002.5.9~5.16), 3차 파종(2002.5.23~5.31),  
4차 파종(2002.6.24~7.1)

종자발아 및 유묘특성은 국제검사기준에 따라 아래와 같이 조사하였다.

가) 실내 발아조사기준 (1차년도만 해당)..국제규정에 준함

나) 유묘의 조사기준

처리된 종자로부터 육묘된 유묘활력 평가는 72 cell tray에 과채류용 ‘바로커’ 육묘 상토를 넣고 1립씩 점파(點播)하여 평가하되 파종후 2-3주에 다음의 항목을 중점 조사하였다.

경시적(經時的) 유묘출현율 (emergence rate), 하배축(下胚軸)의 직경 및 길이, 자엽(子葉)의 뒤틀림 현상(이정명, 1999), 천공(穿孔), 백선, 백태(白苔) 현상

다) 처리종자의 종자세(種子勢) 또는 잠재수명 평가

박종자는 장명종자(長命種子)로 5-10년의 저장이 용이한 채소이나 극단적 스트레스에 의해서 종자의 수명이 1년도 가지 않는 경우가 발생하므로 이에 대한 연구와 대책수립이 시급한데 수명 평가방법으로는 정상적으로는 시간이 지나치게 오래 걸려서 사실상 불가능하므로 노화촉진(老化促進) 처리기술을 적용하여 단시일내에 비교적 정확히 평가하는데(장과 이, 1998b; AOSA, 1993, ISTA, 1993) 즉, 고온다습한 환경조건을 주어 대개의 경우 10일 정도의 처리로 10년의 수명을 예측-또는 평가가 가능하다. 즉 이러한 방법으로 건열처리된 종자의 수

명 감축 정도를 박종자를 대상으로 수식화하여 산출하였다.

## 2) 실험결과 및 고찰

건열처리 횟수는 표 9에서 보이듯 종자발아는 현저히 지연시켰으나 최종발아율에는 품종에 따라 그 반응이 달라 'KR King II'와 'Partner'에서는 거의 영향이 없었으나 'Power'와 'FR Gold'에서는 다소 종자발아율을 저하시켰다. 그러나 예상하였던 만큼의 큰 영향은 보이지 않아서 차후 부득이 한 경우 재건열처리도 적용이 충분히 가능함을 지적해 주는 결정적인 자료이다. 그러나 품종과 종자상태에 따라 그 적용에는 다소 신중을 기하는 것이 또한 필요하다고 판단되었다.

즉 품종별로 더 자세히 분석하면 bajswj 'FR King II'에서는 건열처리 횟수가 2회까지는 무처리구에 비해 초기발아(파종2일후)만 낮았을 뿐 그 이후에는 동일하였다. 그러나 건열처리를 3회 연속 적용하였을 때는 3일째의 발아율도 낮아져서 역시 초기발아율은 크게 영향을 받았다. 그러나 파종 4일 이후에는 대부분이 발아하여 발아율에서의 유의차는 없었다.

'FR Gold'에서는 건열처리 횟수가 증가함에 따라 초기발아가 비례적으로 감소된 것은 물론이고 파종 7일 후의 발아율에서도 무처리에 비하여 10-20%의 감소를 보였다. 그러나 3회 연속 처리하더라도 70% 이상의 발아율을 유지하고 있어서 파종시 최아종자를 사용하는 경우에는 실용상의 문제점은 없을 것으로 판단되었다.

'Power'에서는 가장 현저한 건열처리 피해정도가 나타났는데 3회 연속처리에 의해서 최종발아율도 거의 절반 수준으로 줄어드는 큰 피해를 보여서 재건열처리를 적용하기에는 부적합한 품종으로 판단되었다. 이미 이전의 보고에서도(이 등, 1999) 'Power'는 건열 피해를 가장 심하게 보이는 품종으로 구분된 바 있다.

'Partner'는 묶은 종자이었음에도 불구하고 대체적으로 'FR Gold'와 유사한 경향을 보여서 열처리에 비교적 강한 품종임이 입증되었다. 즉 재건열처리를 하더라도 큰 지장이 없이 사용될 수 있었다.

표 8. 건열처리 횟수에 따르는 박 종자의 경시적 발아.

품종	처리	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일
FR-King II	Control	0.0	80.0	96.7	96.7	100.0	100.0	100.0
	DHT 1회	0.0	26.7	90.0	95.0	96.7	96.7	98.3
	DHT 2회	0.0	13.3	86.7	93.3	96.7	100.0	100.0
	DHT 3회	0.0	0.0	70.0	90.0	96.7	100.0	100.0
FR-Gold	Control	0.0	60.0	86.0	90.0	92.6	92.6	92.6
	DHT 1회	0.0	10.0	65.0	81.7	81.7	81.7	81.7
	DHT 2회	0.0	0.0	58.3	76.7	83.3	85.0	85.0
	DHT 3회	0.0	0.0	26.7	51.7	65.0	68.3	71.7
Power	Control	0.0	51.7	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0
	DHT 1회	0.0	3.3	56.7	80.0	88.3	91.7	91.7
	DHT 2회	0.0	1.7	53.3	71.7	83.3	88.3	88.3
	DHT 3회	0.0	0.0	5.0	18.3	40.0	53.3	61.7
Partner 97	Control	0.0	65.0	93.3	93.3	93.3	93.3	95.0
	DHT 1회	0.0	0.0	82.6	87.6	90.0	90.0	90.0
	DHT 2회	0.0	0.0	66.7	86.7	88.3	91.7	91.7
	DHT 3회	0.0	0.0	18.3	53.3	73.3	76.7	80.0

건열처리 횟수에 따른 유묘 형태는 그림 6에서 보여주고 있는데 ‘FR King II’의 경우 처리횟수가 증가할수록 하배축장이 짧아지고 하배축경은 다소 증가하는 일정한 경향을 보였다. 이러한 현상은 육묘 시 건묘 소질로 더 중요시되는 것이어서 일견 더 바람직한 특성변화로 받아 들일수도 있을 것으로 판단되었다.



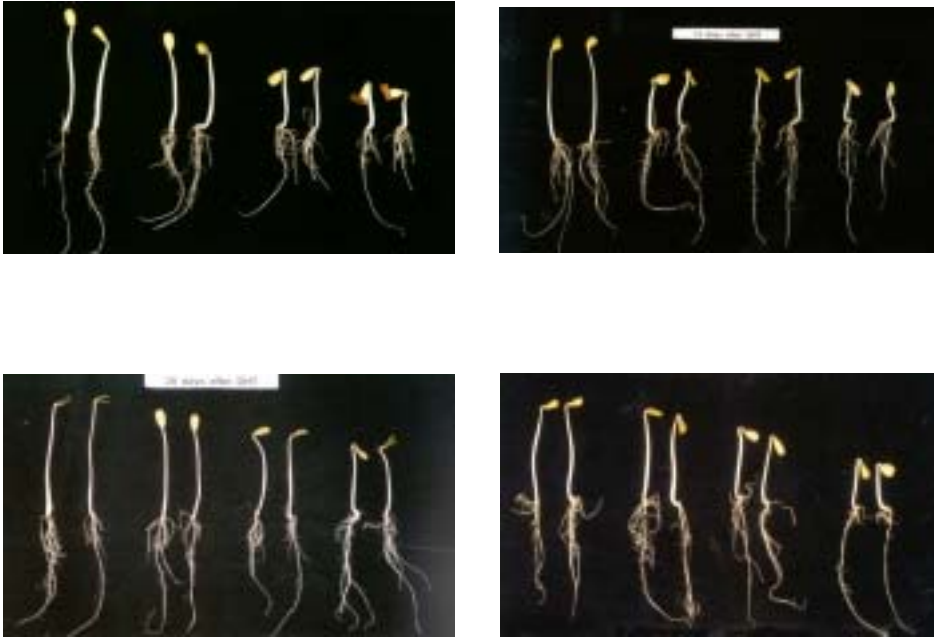


그림 6. 건열처리횟수가 'FR King II' 박의 유묘 생육에 미치는 영향. 상좌(바로 파종), 상우(14일후 파종), 하좌(28일후 파종), 하우(60일후 파종). 처리종류 좌로부터 무처리, 1회 건열처리, 2회 건열처리, 3회 건열처리.

## 2. 건열처리에 따른 바이러스 불활성화 검정

몇 가지 건열처리 조건별로 바이러스 불활성화 정도를 검정하였다. 주요 검정 방법은 CGMMV에 대한 바이러스 불활성 검정으로 주로 *amaranthus*나 *Nicotina benthamiana*를 이용하였다. 바이러스의 진단에 사용되는 방법으로는 항체진단, 유전자진단, 바이러스 형태 및 세포내 존재양식 등의 진단법이 있는데 본 실험에서는 바이러스 불활성화를 위하여 처리별 효과를 검정하는데 주목적을 두고 실험하였다.

## 가. 건열처리 조건별 바이러스 불활성화 정도의 판정

### 1) 실험 결과

다양하게 열처리된 박 종자내의 CGMMV의 ELISA 검정에서 각각 처리별 박 종자는 48립을 사용하여 DAS-ELISA로 검정하였다. CGMMV에 오염되지 않은 박 종자의 흡광도 값은 0.2였으며, 건전 종자의 흡광도 값에 3배 이상의 수치를 양성반응으로 판정하였다. 이 실험에서 사용된 박 종자는 인위적으로 CGMMV를 접종하여 채종한 종자구 중 100% 바이러스에 오염된 종자를 사용하였다. 이 종자를 건열 및 습열 처리구의 온도가 상승함에 따라 ELISA 흡광도 0.6 미만인 종자 수는 증가

하는 경향을 보였다. 또한 건열 처리구 보다 습열 처리구에서 이와 같은 경향은 현저하게 나타났으며, 특히 90℃와 100℃ 습열 처리구에서는 96% 이상이 ELISA에서 음성반응을 보였다. 이것은 고온 처리시 바이러스 입자의 분절 및 바이러스 외피단백질의 구조적 변성으로 항원 결정기 (epitope) 변화에 따라 항원 항체 반응의 저하로 판단되며, 즉 열처리에 따른 바이러스 불활성의 한 요인으로 작용하고 있음을 시사하는 것이다. 건열 처리보다 습열처리시 ELISA 흡광계수가 낮아지는 원인은 종자에 부착된 바이러스의 세척과 용이한 열전도에 의한 바이러스의 변성이 건열처리 보다 용이하게 작용된 것으로 판단된다.

표 9. 무처리 및 건열처리 FR King II 박종자의 ELISA 반응성.

Lane	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
무처리 종자	0.459	0.632	0.583	0.605	0.625	0.632	0.589	0.596	0.645	0.497	0.538	0.454	0.571
	0.572	0.604	0.612	0.926	0.617	0.672	0.686	0.660	0.628	0.649	0.572	0.531	0.644
건열 처리 종자	0.476	0.329	0.448	0.484	0.450	0.338	0.447	0.436	0.578	0.491	0.272	0.346	0.424
	0.437	0.524	0.483	0.507	0.462	0.390	0.538	0.455	0.462	0.458	0.380	0.380	0.456
비고	ELISA Plate Reader value 임(Check = 0.186 ~ 0.207) 공시된 종자는 인위접종으로 100% 감염된 종자이었음.												

즉 표 9에서와 같이 무처리의 ELISA 반응성에 비하여 건열처리를 하더라도 그 OD값이 상당히 높게 유지되어서 결과판독에 지장을 줄 수 있음이 확실하였다. 즉 건열처리 종자라도 건전종자의 2배 이상의 OD 값을 보여서 비록 감염되었다고 단정적으로 표현하기는 곤란하지만 무독화된 종자라고 판단하기에는 너무 그 위험도가 높다고 판단되었다.

따라서 다음에는 바이러스를 무독화하기 위한 열처리를 건열과 습열처리로 각각 구분하고 이를 다시 여러 온도별로 처리한 후 이들 종자로부터 ELISA 반응을 검정하였는데 그 결과는 표 10에 보이고 있다.

표 10. CGMMV 오염종자의 건열 및 습열 처리별 바이러스 활성 검정

처리방법	처리종자(립)	ELISA OD 405nm 흡광 계수 범위 (x)				
		$x < 0.6$	$0.6 \leq x < 1.0$	$1.0 \leq x < 1.5$	$1.5 \leq x < 2.0$	$2.0 \leq x$
무 처리 <sup>a</sup>	48	0	2	2	10	34
건열 <sup>b</sup> 50℃	48	0	2	14	18	14
60℃	48	1	9	10	17	11
70℃	48	3	10	18	7	10
80℃	48	6	30	12	0	0
90℃	48	11	17	10	9	1
100℃	48	25	12	11	0	0
습열 <sup>c</sup> 50℃	48	1	7	13	5	22
60℃	48	0	3	5	15	25
70℃	48	7	5	4	17	15
80℃	48	14	12	14	7	1
90℃	48	47	1	0	0	0
100℃	48	46	0	0	2	0

<sup>a</sup> '01년에 채종된 100% CGMMV에 오염된 수박 대목용 박 종자, 건전 박종자의 ELISA OD 값은 0.2였으며 건전 OD 값×3을 양성 반응 (0.6 이상)으로 판정.

<sup>b</sup> 건열 50℃ 및 65℃의 처리구는 35℃에서 24 시간 선처리 후 각각의 온도에서 본 처리를 하였으며, 70℃, 80℃, 90℃ 및 100℃ 처리구는 동일한 방법으로 선처리한 후 각각의 온도별 본처리를 하였음.

<sup>c</sup> 습열 처리구는 각각의 온도에 박 종자를 물에 침적 24 시간 처리 후 식힌 다음 종자를 실온 (?)에서 건조하였음.

주요 결과를 요약하면 표 10에서 “ $x < 0.6$ ”에 속하는 종자가 ELISA 상으로 건전종자라는 판정이 가능한 것인데, 건열처리의 경우 80℃에서 처리를 하여도 불과 10% 내외의 종자에서만 무독화되었다는 결과이고, 100℃에서 처리하더라도 50% 정도의 종자만이 ELISA negative로 나타났다. 즉 결론적으로 실용적 범위에서 건열처리를 받은 종자들에서는 그 ELISA 반응성에서 거의 차이를 보이지 않으므로 ELISA에 의한 검출은 하등의 의미가 없음을 지적하여 주었다.

습열처리는 항온수조를 이용하여 종자를 침지하여 처리하였는데 90℃ 이상에서 열처리를 받으면 그 반응성이 완전하게 없어 짐을 확인하였다. 따라서 열처리가 강력하게 부가되면 ELISA 반응성도 없어지는 것도 또한 확실하였다. 그러나 습열처리는 건열처리보다 종자에 나타나는 피해정도가 막심하여 종자 자체도 죽는 경우가 허다하므로 종자처리방법으로는 많이 이용되지 않고 있음을 지적하고자 한다.



그림 7. *Nicotiana benthamiana*를 이용하여 생물검정하는 장면(원예연구소).

## 나. 건열처리조건별 생물검정 반응성 검정

### 1) 실험재료 및 방법

CGMMV가 100% 오염된 박종자를 대상으로 50℃~100℃에서 각각 10℃ 간격으로 건열 및 습열 처리하여, 이 바이러스의 생물적 활성을 *Nicotiana. benthamiana*에 접종하여 검정하였다. 열처리간 바이러스 활성 조사 - 생물 검정을 이용한 바이러스 활성 조사를 위하여 건열처리조건별 대목 종자(박 및 수박일부)를 이용하여 수박 등 박과 작물, 담배, 명아주 등의 검정식물에 카보렌덤을 이용한 인위적 접종을 하였다. 접종 후 처리별 바이러스 불활성화 정도를 조사하였다. (그림 7의 접종방법 및 재배환경 참조).

CGMMV 감염종자는 Seminis Korea로부터 2000년 말에 공급되어 생물검정(生物檢定; bioassays)을 실시하였는데 지표식물(指標植物; indicator plants)로는 현재 사용중인 대표적인 식물을 확보하여 접종하고 판정하였다. 즉 그 대상식물로 *Chenopodium amaranticolor*, *Chenopodium quinoa*, *Nicotiana tabacum*, *Nicotiana benthamiana*, *Cucumis sativus*, *Datura stamonium*, *Petunia hybrida*, *Gomphrena globosa* 등이며 이중 특히 여러 가지 요인을 종합적으로 검토할 때 가장 효과적이고 차후 실용면에서 대량검정에 유망시되고 있는 *Chenopodium amaranticolor*, *Nicotiana benthamiana*과 오이(*Cucumis sativus*)를 주요 대상으로 검정하였으며 주요 결과는 *Nicotiana benthamiana*에서 얻어 진 결과로 표시하였다.

### 2) 결과 및 고찰

CGMMV가 100% 오염된 박종자를 대상으로 50℃~100℃에서 각각 10℃ 간격으로 건열 및 습열 처리하여, 이 바이러스의 생물적 활성을 *Nicotiana. benthamiana*에 접종하여 검정하였다. 그 결과 무처리 종자 40 립 중 4립에서 바이러스의 활성이 있었으며 건열 60℃ 처리 종자와 습열 70℃ 처리 종자에서도 이 검정식물에 병징 발현으로 바이러스의 활성이 인정되었다. 또한 각각 접종된

*N. benthamiana*에 병징 발현 및 무병징 주의 잎을 ELISA로 재확인을 위하여 검정한 결과 병징 발현주에서만 양성 반응을 나타냈다. 이 실험에 이용된 종자를 채종 2 개월 후 바이러스의 활성 검정을 상기와 동일한 방법으로 실시하였을 경우 100% 활성이 있었다 (자료 제시 생략). 그러나 동일하게 채종한 후 1년 동안 실온에서 보존된 박 종자에서 바이러스의 활성이 저하되어 낮은 활성률을 나타냈다. 1년 동안 실온에서 보존된 박 종자일지라도 바이러스의 활성은 일부 종자에서 유지되고 있음이 확인되었고, 80°C 이상 열처리 종자에서는 검정식물에 바이러스가 감염되지 않았다.

표 10. CGMMV 오염종자의 건열 및 습열처리별 바이러스 활성 검정.

처리방법	처리종자(립)	<i>N. benthamiana</i> 병징 발현 수 <sup>a</sup>	ELISA 양성반응 시료 수 <sup>b</sup>
무 처리	40	4	4
건열	50°C	20	1
	60°C	20	1
	70°C	20	1
	80°C	20	0
	90°C	20	0
	100°C	20	0
습열	50°C	20	1
	60°C	20	2
	70°C	20	0
	80°C	20	0
	90°C	20	0
	100°C	20	0

<sup>a</sup> 1년 동안 실온에서 보존된 100% CGMMV 오염 박 종자를 각각 열처리 후 처리 종자 1립씩 *Nicotiana benthamiana*에 접종한 다음, 40일 후 병징 발현의 여부에 따라 바이러스의 생물적 활성을 검정하였음

<sup>b</sup> *N. benthamiana*에서 바이러스의 감염여부를 ELISA OD<sub>405nm</sub>에서 측정하여 건전 OD 값×3을 양성 반응 (0.6 이상)으로 판정하였음

전반적인 결과를 다시 요약하면 지표식물별로는 *C. amaranticolor*이 모든 조건에서 반응이 가장 빠르고 육안으로 구분이 명확하였다. 즉, 빠르면 37°C에서 3일, 25°C에서 9일만에 국부괴저병반이 나타났다. 그리고 *N. tabacum* cv. ky-57

의 경우 37℃에서만 7일 후 피저 반접증상이 있었으며, *N. benthamiana*은 거의 대부분의 온도에서 접종 11일 후에 병징을 보였다(표 10). 오이는 15℃에서는 13일까지 병징이 나타나지 않았으며 25℃에서는 9일부터 병징을 나타내고 37℃에서는 고사하였다.

### 3. 요약 및 결론

1. 같은 건열처리방법을 적용하더라도 기종, 종자량, 품종 및 종자의 상태에 따라서 그 반응성에 차이가 크게 나타났다. 공시품종 중에서는 'FR King II'와 'Partner'가 건열처리에 상당한 내성을 보였으나 'FR Gold'와 'Power'는 민감하게 반응하여 상당한 피해를 지속적으로 보였다.

2. 건열처리 온도 상승방법에 따라서는 점진적 변화과정을 도입한 개량된 처리기기를 이용하는 것이 피해를 감소시키는데 더 효과적이기는 하였으나 처리시의 기기내의 종자량과 종자의 상태, 그리고 후처리 유무 및 그 기간에 따라서 큰 차이를 보여서 효과적으로 건열처리를 적용하기 위해서는 내성품종, 충실종자, 개량된 처리기법, 그리고 30일 이상의 후처리(conditioning treatment)를 기본으로 실시함이 권장된다.

3. 건열처리 상한온도가 상승할수록 모든 품종에서 종자발아가 지연되었고 최종 발아율과 건묘율도 낮아졌다. 그러나 실용적 상한온도를 75℃ 또는 그 이하로 적용하는 경우 전혀 피해를 보이지 않는 품종, 피해는 있으나 후처리로 대폭 개선되는 품종, 후처리를 하더라도 상당한 피해를 계속 보이는 품종으로 구분이 가능하였다. 건열처리를 받으면 일반적으로 하배축장이 짧아지고 하배축경은 증가하는 경향인데 이는 육묘시의 건묘 소질로는 오히려 바람직한 것으로 판단되었다.

4. 건열처리 지속기간에서는 상한온도를 75℃로 고정하였을 경우 1-4일간의 처리로는 최종발아율 등에는 거의 영향을 미치지 않았으나 5일 이상 지속되면 대부분의 품종에서 최종발아율도 저하되는 결과를 보였다.

5. 건열처리 횟수가 증가되더라도, 즉 재건열처리를 하더라도 비록 처리된 종자의 초기발아율 등은 다소 감소하였지만 최종발아와 유묘 생육에는 큰 영향을 보이지 않았다. 따라서 필요하다면 건열처리가 이미 실시된 종자라고 하더라도 재건열처리를 적용할 수 있음이 입증되었는데 이 결과 역시 품종에 따라 반응성에 상당한 차이가 있었다.
6. 통상적인 건열처리(75℃에서 3일간)를 하더라도 ELISA 양성반응은 그대로 유지되었다.
7. 건열처리나 습열처리시 그 처리상한온도를 90-100℃로 상승하면 ELISA 반응성도 매우 줄어들어 negative로 나오지만 이때는 종자도 모두 사멸하여 실용성은 없었다.
8. 적절하게 건열처리된 종자는 생물검정에서 하등의 증상을 보이지 않으므로서 종자전염 CGMMV가 완벽하게 무독화되었음이 입증되었다.
9. 다양한 생물검정방법 중 본 실험에서는 *Nicotiana benthamiana*를 이용하는 생검이 정확도, 신빙성, 포괄성 등에서 가장 우수한 것으로 판단되었다.



# 제 3 절 최적 건열소독 공정개발을 위한 종자의 건조 및 흡습 특성 구명

## 1. 서론

최근 국내 종묘회사들이 다국적기업에 인수·합병된 이후로 오히려 종자의 수출은 급증하는 추세이다. 한국의 채소종자 수출은 1997년까지만 해도 연간 1,000만불선에 머물렀으나(한국종자협회, 1999), 1999년에는 1,733만불을 기록하고, 2000년에는 1,910만불로 200만불이 증가하였고, 2010년까지는 채소종자 1억불 수출의 장기계획도 세워 놓고 있다. 수박 종자는 올 1/4분기 수출액이 전년 대비 2배 이상 증가하여 앞으로 수출 주력 품목으로 성장할 가능성을 보여주었다(한국종자협회, 2002).

날로 커지는 채소종자 시장의 가장 큰 난제 중 하나는 종자의 바이러스 감염이다. 일본에서는 CGMMV에 대한 피해 사례가 많다. 이미 1966년에 도꾸시마현의 축성재배 오이에서 대발생하여 그 당시 가격으로 2억엔의 피해를 끼쳤다는 기록이 있고, 1968년 지바현의 수박에서는 4억3천만엔의 피해가 있었다(小室, 1973). CGMMV는 tobamovirus의 일종으로 종자전염을 하면서도 집축전염성이 대단히 강할 뿐만 아니라 오염되어 죽은 식물체나 심지어는 토양에서 몇 년 혹은 몇 십년 동안 활성을 유지할 수 있어서 세계적으로도 극도의 경계의 대상이 되는 병해이다.

국내에서 종자내 바이러스를 불활성화시키는 연구의 중요성이 부각된 것은 아주 최근의 일로서 1998년의 수박에서의 종자전염바이러스 병해의 대발생과 1999년의 호박에서의 대발생이 그 대표적인 예이다(농림부, 1999). 이러한 여건하에서 가장 효과적인 대책의 하나가 이병된 종자를 건열처리하는 것이라는 것이 밝혀지면서 종묘회사마다 건열처리기기를 긴급 설치하기 시작하였으나 많은 문제점이 속속 발생하고 있다(이정명 외, 1999). 즉 75℃의 고온에 3일 이상 건열처리를 하게 되면 효과적으로 CGMMV가 불활성화 되지만 처리되는 종자의 발아세와 발아력이 급격히 낮아지고, 건열처리 피해가 급증, 처리종자 수명의 극단적인 단축·부생성균에 의한 2차감염으로 부패가 만연되는 등 예기치 않은 많은 문제점이 나타나고 있다(日本園藝學會, 1998; 이정명 외, 1999; 中村浩 外, 1981; 中村浩 外, 1978).

건열(乾熱; dry heat)처리란 식물체에 고온을 가하여서 식물체내에 존재하는 바이러

스를 비활성화 시킴으로써 바이러스에 걸리지 않은 식물체를 만들어내는 방법으로 주로 채소작물의 바이러스 이병종자를 무독화시켜 무병종자를 다량으로 공급하는 체계를 조성하는 기술이다 (今西英雄 등, 1998; 日本園藝學會, 1998). 건열처리 는 종자를 극단적으로 건조시켜가면서 75℃와 같은 고온에 노출시켜 바이러스를 불활성화 하는 한편, 종자가 고온에 의한 피해를 거의 받지 않아 활력이나 수명은 오래 유지할 수 있도록 처리하는 기술이다. 즉 이러한 기술을 개발하면 종자내에 들어있는 바이러스를 효과적으로 무독화할 수 있어 무병종자의 다량공급이 용이하다.

기존 건열처리 방법은 채종 후 건조된 종자를 35℃에서 24시간, 50℃에서 24시간, 그리고 75℃에서 72시간을 처리한다. 그러나 이 방법은 박 종자의 함수율을 고려하지 않고 작성한 건열처리 공정이다. 종자의 발아율은 건열처리 중 함수율의 변화율, 최저 함수율, 처리 후 과정에서 종자의 흡습율 등과 관련이 있을 것으로 생각되지만 이에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다. 보고된 바에 따르면 외국에서 호박종자(Akritidis 등, 1988)의 평형함수율에 관한 결과가 있었다. 따라서 본 연구는 대목용으로 사용되는 박 종자의 건열처리 과정에서 종자의 함수율을 예측하고 필요한 경우 제어할 수 있는 기초자료를 확보하기 위해 수행되었으며, 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

1. 박종자에 대해 20~72℃의 온도 4수준과 상대습도 5~60%의 범위 5수준에서 염용액을 이용하는 정적인 방법으로 평형함수율을 측정한다.
2. 현재 여러 농산물이나 식품 등의 평형함수율 예측에 이용되는 기존 모델로 박 종자의 평형함수율 예측 성능을 검정하고, 적합한 모델을 결정한다.
3. 건조 공기의 온도와 상대습도가 박 종자의 건조특성에 미치는 영향을 구명한다.
4. 농산물의 건조모델로 많이 이용되는 기존의 건조모델을 이용하여 종자의 건조특성을 예측하는데 적합한 모델을 결정한다.
5. 건조기의 성능을 테스트하여 건조기를 이용한 종자의 살균 처리 가능 여부를 알아본다.

## 2. 평형함수율 특성 구명

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 문헌 조사에 의한 자료 수집

염(鹽)용액을 이용하여 정적인 방법으로 항온항습 조건을 만들고 평형함수율을 측정하여 기존모델들과의 적합성을 검정한 실험이 많은 학자들에 의해 이루어 졌다. Akritidis 등(1988)은 호박씨의 평형함수율에 관한 연구에서 호박씨와 호박씨 껍질, 호박씨 속의 흡습 평형함수율을 측정하였다. 4가지의 평형함수율 모델들에 대해 모델의 매개변수를 구하고 적합성 검정을 하고 습공기선도에 평형함수율 곡선을 표시하여 온도가 낮을수록 그리고 상대습도가 높을수록 평형함수율이 높아지는 경향을 표시한 바 있다. 이 경우 상대습도는 황산용액을 이용한 정적인 방법을 사용하여 조절하였다. 그들은 실험결과 85% 이상의 상대습도에서는 부패와 응축 때문에 평형함수율 자료를 얻을 수 없었다고 보고하였다.

Chen과 Morey(1989)는 Modified-Henderson, Chung-Pfost, Modified-Oswin, Modified-Halsey 모델 등 4가지 모델이 곡물과 종자(seed)의 평형함수율을 예측하는 능력을 평가하였다. 평형함수율 값은 18가지 작물에 대한 기존의 실험자료를 이용하였으며 예측치와 실측치의 표준오차(Standard Error)와 평균 상대오차율(mean relative percentage deviation) 및 잔차(residual)를 적합성 판정을 위한 기준으로 사용하였다. 그 결과 이들 4가지 모델중 모든 농산물에 공통적으로 적용할 수 있는 모델은 없었으며 Modified-Henderson 모델과 Chung-Pfost 모델은 전분과 섬유질이 많은 재료에 적합하고 Modified-Halsey 모델은 지방질과 단백질이 많은 물질의 평형함수율 예측에 적합한 모델이며 Modified-Oswin 모델은 옥수수과 옥수수의 부산물 및 콩의 평형함수율을 잘 예측한다고 보고하였다.

## 2) 이론적 배경

농산물이나 식품재료의 평형함수율을 예측할 수 있는 모델들이 많은 학자에 의해 제안되었다. 곡물의 평형함수율 예측모델로서 가장 잘 알려진 Henderson(1952) 모델은 Gibbs의 흡습방정식을 이용하였다.

$$1 - (P_v/P_{vs}) = \exp(-h \cdot T_k \cdot M^i)$$

M : 평형함수율(% db)

$P_v/P_{vs}$  : 상대습도(소수)

$T_k$  : 절대온도

h, i : 매개변수

고(1978)는 11개 품종의 벼에 대한 Henderson 모델의 매개변수를 결정한 바 있다. 옥수수 건조의 시뮬레이션을 연구하기 위해서 Thompson 등(1968)은 Henderson 방정식의 온도에 상수를 더하였다.

$$1 - RH = \exp(-A \times (T + C) \times M^B)$$

여기서, A, B, C는 상수

포텐셜이론과 상태방정식에 기초를 두고 곡물과 그들의 부산물의 평형함수율을 예측하기 위하여 Chung과 Pfoest(1967)에 의해 개발된 Chung-Pfoest 모델은 다음과 같다.

$$\ln(P_v/P_{vs}) = [-A/(R \cdot T_k)] \exp(-B \cdot M)$$

$P_v/P_{vs}$  : 상대습도(소수)

M : 평형함수열(소수, db)

R : 기체상수

$T_k$  : 절대온도

A, B : 매개변수

Pfost 등(1976)은 기체상수 R이 포함된 온도 파라미터인 T를 더했다. 새 방정식은 다음과 같다.

$$RH = \exp\left(-\frac{A}{T+C} \times \exp(-B \times M)\right)$$

여기서, A,B,C는 상수

곡물에 있어서 상대습도 20 ~ 90% 사이에서 비교적 잘 일치하는 평형함수열 모델로 알려진 이 모델을 이용하여 Young(1976)은 버지니아 타입 땅콩의 건조와 흡습 평형함수열을 예측한 결과 실험값과 예측값이 잘 일치한다고 보고한 바 있다.

Syarief 등(1984)은 해바라기씨의 박층 건조율을 구하기 위해서 뉴턴의 냉각법칙을 이용한 Page(1949) 모델을 사용하였다.

$$MR = \exp(-Kt^N)$$

MR = 함수율비(Moisture ratio)

t = 시간(분)

여기서, K, N = 상수

### 3) 실험 장치

본 실험에 사용된 박(FR-King-II)종자는 중국에서 1998년 채종된 것으로 상

온 30℃에서 초기함수율 6% 수준으로 저장되었으며, CGMMV에 약하게 감염된 것이다. 구입된 종자 중에서 종피색에 의해 고숙화되었거나 미숙하다고 판단되는 종자는 골라낸 다음 실험에 사용하였다.

종자는 함수율의 변화를 줄이기 위해 15℃, 30%RH의 항온항습기에서 보관하여 사용하였고, 데시케이터에 넣어 상온과 평형이 되도록 한 후에 실험에 사용하였다.

입구가 넓은 플라스틱 통(높이 11.3cm, 직경 12.8cm, 밀폐가능)에 표 3.1과 같은 8종의 과(過) 포화된 염용액을 넣고 4개의 오븐 및 항온 항습기를 이용하여 염용액통의 온도가 일정하게(20, 40, 60 및 72℃) 유지되도록 하였다(그림 2.1).

Table 2.1 Relative humidity(%) of various saturated salt solutions

Salt Solution	Temperature(℃)			
	20	40	60	72
Lithium Bromide	6.61	5.50	5.33	5.20
Lithium Chloride	11.31	11.21	10.93	10.51
Potassium Acetate	23.11	-	-	-
Potassium Fluoride	-	22.68	20.77	22.83
Sodium Iodide	39.65	-	-	-
Magnesium Bromide	-	49.66	49.66	51.43
Sodium Bromide	59.14	-	-	-
Potassium Iodide	-	66.09	63.11	60.97

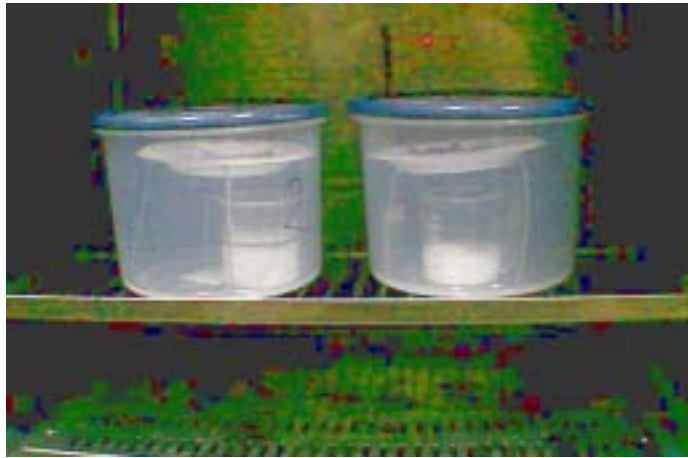


Fig. 2.1 Plastic containers for EMC measurement with salt solution.

## 가) 함수율 측정

함수율 측정은 시료를 취하여 상온에서 데시케이터에 담아 10분을 두었다가 20개의 종자를 1분 이내에 절단하여 알루미늄 용기 속에 조각을 담아 133℃에서 1~2시간 건조하는 고온항온건조기법을 사용하였다. 건조가 끝난 시료는 데시케이터 속에 넣어 40분 동안 실온과 평형을 이루게 한 후 정밀 저울(OHAUS社, TP500S, 0.001g)로 무게를 측정하였다.

## 나) 평형함수율 측정

건조오븐 또는 항온항습기에 염용액과 시료가 담긴 플라스틱 통을 넣고, 2일마다 시료의 무게를 측정하였다. 이 때 시료를 데시케이트에 넣었다가 시료의 온도가 상온에 도달한 후에 무게를 측정하였다. 7일간 측정한 무게의 변화량이 전체 시료무게의 0.5% 이하일 때 평형상태에 도달한 것으로 간주하였다.

## 다) 평형함수율 모델

종자의 평형함수율을 예측하기 위해 ASAE Standards(ASAE, 1997) 에 제시되어 있는 Chung-Pfost, Modified-Henderson 및 Modified-Oswin 모델을 사용하였으며, 표(2.2)에 제시하였다.

Table 2.2 Equilibrium moisture content(EMC) models

Model	Equation
Modified Chung-Pfost	$EMC = E - F * \ln[-(T + C) * \ln(RH)]$
Modified Henderson	$EMC = 0.01 \left[ \frac{\ln(1-RH)}{-K(T+C)} \right]^{\frac{1}{N}}$
Modified Oswin	$EMC = (A + B * T) \left( \frac{RH}{1-RH} \right)^N$

Note) RH : Relative humidity(decimal)

T : Temperature(°C)

A, B, C, E, F, K, N : Parameters

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 온·습도 조건별 평형함수율 측정 결과

표(2.3)은 온도 4수준과 상대습도 5수준에서 측정된 박 종자의 평형함수율이며, 그림 (2.2)는 참박 종자의 온도별 평형함수율을 나타낸 것이다. 본 연구에서 시료의 함수율은 건량기준 함수율을 사용하였다.

그림(2.2)와 (2.3)에 의하면 박종자도 다른 농산물과 마찬가지로 온도가 낮을수



록, 상대습도가 증가할수록 평형함수율의 값이 커지는 경향(sigmoid)이 있음을 알 수 있으며, 온도가 상대적으로 상대습도 보다 박종자의 평형함수율 변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

현재 박종자의 건열 소독을 위해 박종자를 트레이에 담아서 72°C에서 72시간 정도 처리해야하는 것으로 보고되고 있다. 평형함수율 측정결과에 의하면 만약 상대습도를 제어하지 않을 경우 72°C의 건조공기에서 박종자의 함수율은 1.0%(d.b.)이하로 떨어질 것으로 예상된다. 또한 건열 처리 후 상온(20°C, RH 40~60%)에서 장기간 방치할 경우 함수율은 6.5~8.2%(d.b.)에 도달할 것으로 판단된다.

Table 2.3 Equilibrium moisture contents of bottle gourd seed in temperature and relative humidity

Relative Humidity (%)	Temperature (°C)			
	20°C	40°C	60°C	72°C
5%	2.79	1.94	1.65	0.73
	[6.61%]*	[5.50%]	[5.33%]	[5.20%]
10%	3.45	2.79	1.24	1.01
	[11.31%]	[11.21%]	[10.93%]	[10.51%]
20%	5.10	2.94	2.61	1.90
	[23.11%]	[22.68%]	[20.77%]	[22.83%]
40%	6.74	5.76	4.92	3.99
	[36.65%]	[49.66%]	[49.66%]	[51.43%]
60%	8.16	7.50	6.24	4.88
	[59.14%]	[66.09%]	[63.11%]	[60.97%]

note) [ \* ] : Relative humidity by Salt solution

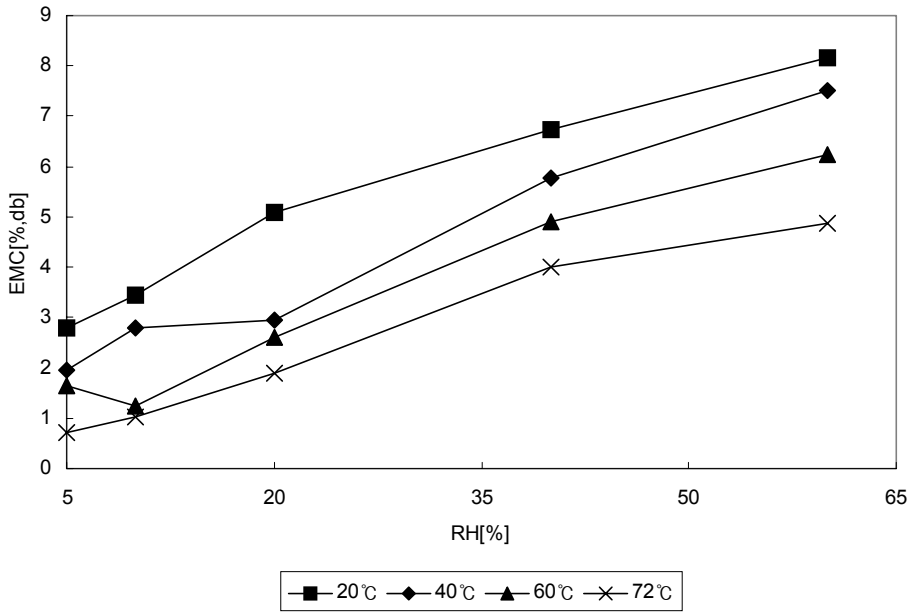


Fig. 2.2 Static equilibrium moisture contents at 20, 40, 60 and 72°C.

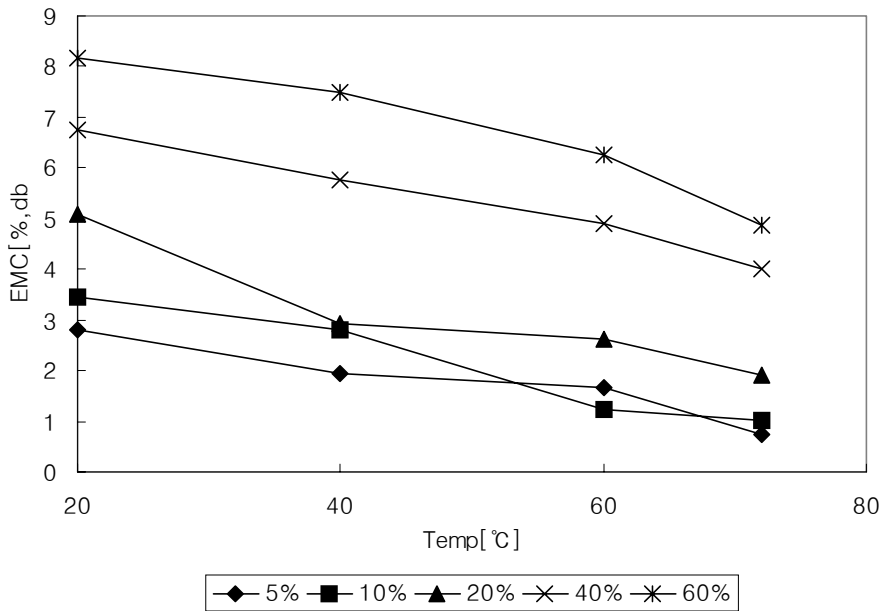


Fig. 2.3 Static equilibrium moisture contents at 5, 10, 20, 40 and 60%.

표(2.4)는 호박종자(Akritidis 등,1988), 인삼(최, 1992), 고추(조, 1986) 등의 평형함수율과 박 종자의 평형함수율을 비교한 것으로 박 종자의 평형함수율이 타 품목에 비해 낮음을 알 수 있다.

Table 2.4 Comparison of EMCs of different agricultural products

Temp.(°C)	RH(%)	Equilibrium moisture content (% , d.b)			
		Pumpkin seed	Ginseng	Pepper	Bottle gourd seed
20	5	4.34	—	—	2.79
60	40	5.295	6.52	6.39	4.92
60	60	8.085	—	13.67	6.24

## 2) 정적 평형함수율 예측 모델 개발

본 연구에서는 온도와 상대습도의 함수로 이루어진 정적인 상태(static state)에서의 평형함수율 모델을 통계적인 방법으로 결정하기 위하여 통계툴로 널리 사용되는 SAS(Ver.8.1)의 NLIN PROC의 DUD 방식을 채택하였다. 박 종자의 평형함수율 예측모델은 표(2.2)에서 제시한 3가지 모델을 선정하였으며 각 예측 모델의 회귀계수, 결정계수(R<sup>2</sup>) 와 RMS error 등은 표(2.5)에 제시하였다. 세 모델의 검정은 R<sup>2</sup>와 RMS error(root mean square error)를 사용하였으며, 그 결과는 Chung-Pfost 모델의 경우 R<sup>2</sup>= 0.9918, RMS error = 0.00210, Modified-Henderson의 경우 R<sup>2</sup>= 0.9540, RMS error = 0.479 이었고, Modified-Oswin 모델의 경우는 R<sup>2</sup>=0.9576, RMS error=0.4586이었다. R<sup>2</sup>와 RMS error로 각 모델의 성능을 비교한 결과 박 종자의 정적인 평형함수율을 예측하는데 좋은 모델은 세 모델 중에서 Chung-Pfost 모델이 가장 적합한 모델임을 알 수 있었다.

Table. 2.5 Estimated regression coefficients and root mean square error of Chung-Pfost, Modified-Henderson and Modified-Oswin models

Model	Parameter	Estimate	R2	RMS error
Chung-Pfost Model	E	0.1707		
	F	0.0297	0.9918	0.00210
	C	17.4421		
Modified-Oswin Model	A	0.0899		
	B	-0.0006	0.9576	0.4586
	N	0.3970		
Modified-Henderson Model	K	0.000371		
	C	7.3365	0.9540	0.479
	N	2.0503		

그림(2.4), (2.5), (2.6) 및 (2.7)은 온도별로 측정된 평형함수율과 개발된 세 모델로 예측한 평형함수율 값을 비교한 결과이다. 실험을 통해서 얻은 평형함수율과 모델에 의해 예측된 값이 20℃에서 가장 차이가 작고, 40℃와 60℃에서 오차가 커지는 것을 볼 수 있다. 72℃에서는 측정치와 예측치가 각 상대습도에 따라서 대체로 잘 맞고, 60%에서 오차가 큼을 볼 수 있다. Modified-Oswin 모델은 40℃에서 평형함수율 값을 잘 예측하는 것으로 보인다. Chung-Pfost 모델과 유사하게 Modified-Henderson 모델과 Modified-Oswin 모델에서도 저온에서 실측치를 잘 예측하는 것으로 보인다. 이상의 결과를 종합하면 예측 모델은 저온에서 가장 잘 맞는 것으로 보이며, Chung-Pfost 모델을 제외한 두 모델은 Modified-Oswin 모델, Modified-Henderson 모델 순으로 그 예측치의 정확도 값을 보인 것을 알 수 있다. 실측한 값이 모델로 개발한 값과 큰 오차가 발생하는 경우는 특정한 온도에서 일정한 상대습도를 유지하기 위해 사용한 염용액의 정확도와 상관이 있는 것으로 판단된다.

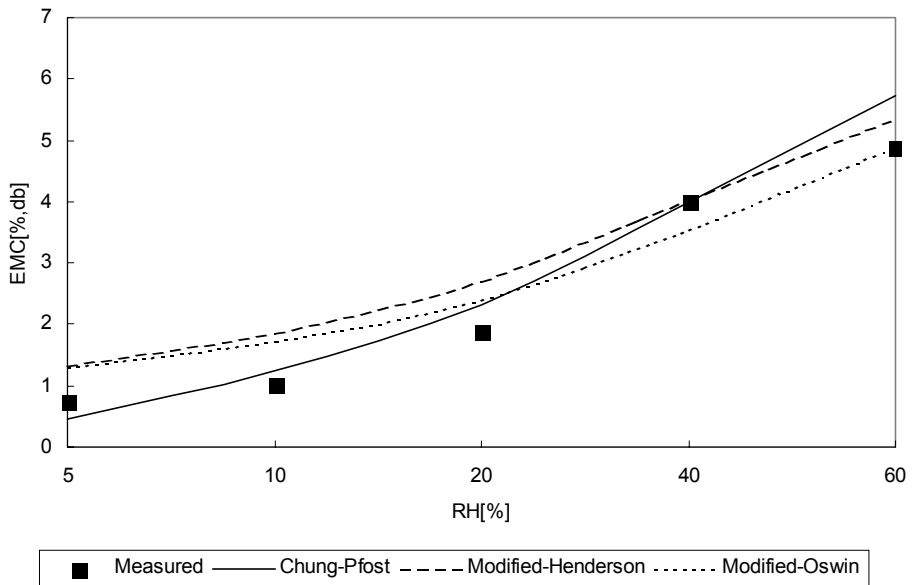


Fig. 2.4 Comparison of the measured and predicted static equilibrium moisture contents of bottle gourd seed using Chung-Pfost, Modified-Henderson and Modified-Oswin model at 72°C.

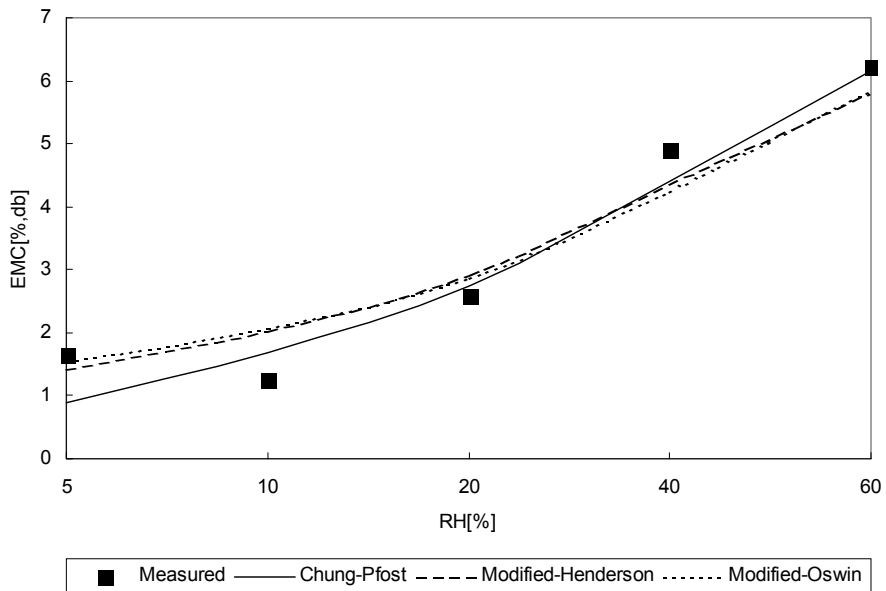


Fig. 2.5 Comparison of the measured and predicted static equilibrium moisture contents of bottle gourd seed using Chung-Pfost, Modified-Henderson and Modified-Oswin models at 60°C.

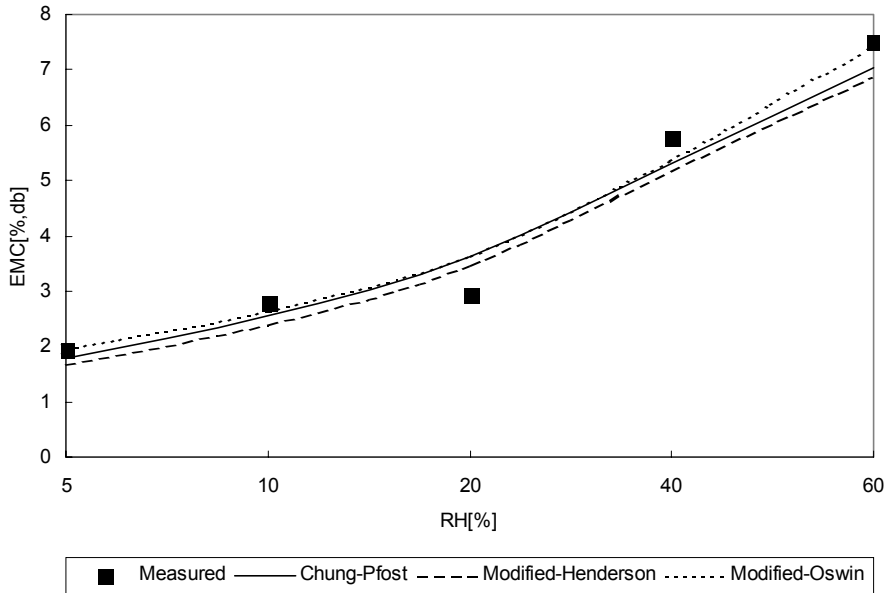


Fig. 2.6 Comparison of the measured and predicted static equilibrium moisture contents of bottle gourd seed using Chung-Pfost, Modified-Henderson and Modified-Oswin model at 40°C.

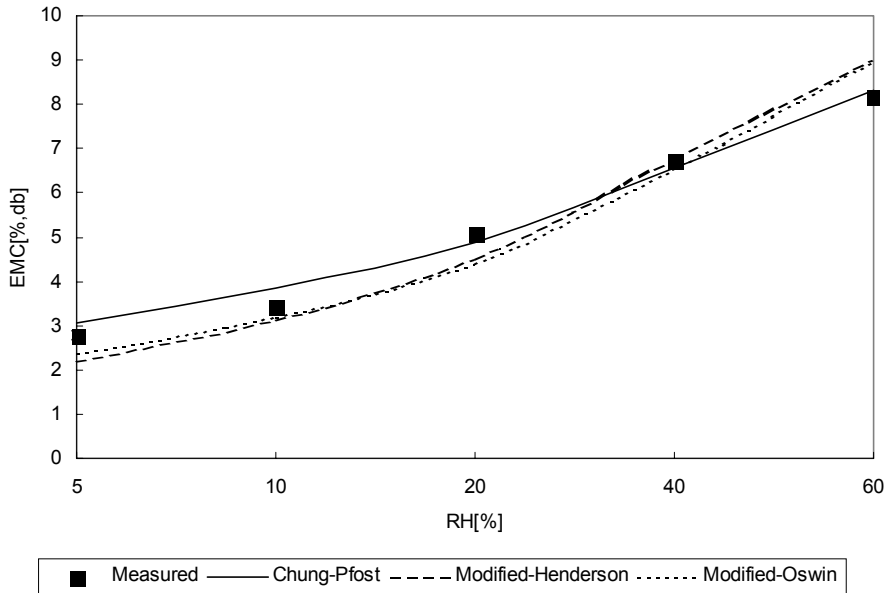


Fig. 2.7 Comparison of the measured and predicted static equilibrium moisture contents of bottle gourd seed using Chung-Pfost, Modified-Henderson and Modified-Oswin model at 20°C.

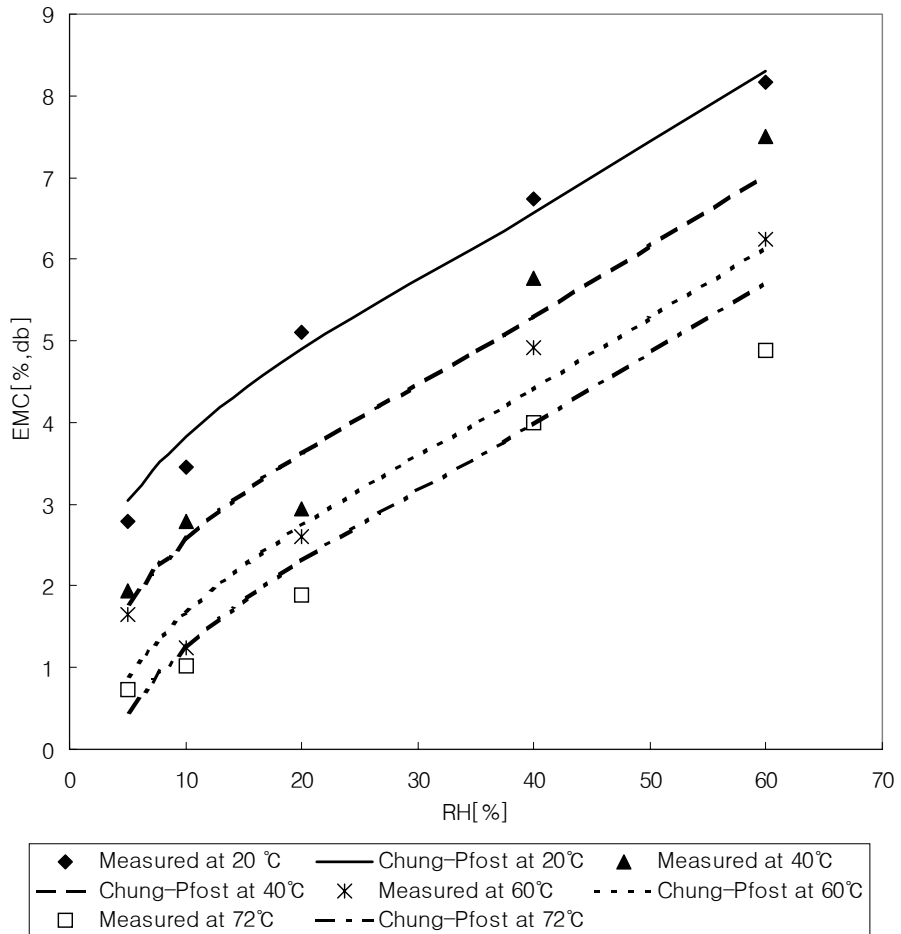


Fig. 2.8 Comparison of the measured and predicted static equilibrium moisture contents of bottle gourd seed by Chung-Pfost model at 20, 40, 60 and 72°C .

### 3) 동적 평형 함수율과의 비교

박 종자 박층 건조 실험을 위하여 설계·제작된 건조기를 이용하여 각 건조조건에서 건조실험을 수행한 후 얻어지는 최종함수율을 동적 평형함수율로 정의하였다. 평형함수율에 도달하도록 하기 위해 건조시간을 충분히 유지시켰다. 건조실험에 사용한 온·습도는 온도 4수준 (30, 45, 60 및 75℃)이며, 상대습도 4수준 (5, 15, 30 및 50%)이었으며, 각 조건에서의 최종함수율은 표 (2.6) 및 그림 (2.9)과 같다. 그림 (2.9)에서 몇몇 측정치를 제외할 경우 평형함수율 곡선의 전체적인 개형은 정적인 상태에서 측정한 것과 유사함을 알 수 있다. 앞에서 개발된 Chung-Pfost 평형함수율 예측 모델을 이용하여 건조실험에 사용된 온습도 조건에서의 예측된 평형함수율을 표 (2.6)에 표시하였다. 이들 결과를 비교하면 몇몇 조건을 제외하면  $\pm 0.8\%$ (d.b.)내에서 예측이 가능함을 알 수 있다. 그림 (2.10)~(2.13)는 각 온도, 그림 (2.14)는 15%의 상대습도에서 실측치와 예측치를 비교한 것으로 일반적으로 온도가 높을수록, 그리고 상대 습도가 낮을수록 오차가 커지는 경향을 보여주고 있다.



Table 2.6 Comparison of EMCs measured at dynamic state and those predicted by Chung-Pfost model developed at static state

RH(%)	Temp(°C)	Measured EMC(db,%)	Predicted EMC(db,%)
5	60	2.54	0.89
	75	1.19	0.37
15	30	5.01	3.71
	45	3.49	2.89
	60	2.43	2.25
	75	2.38	1.72
30	30	5.62	5.06
	45	4.69	4.24
	60	2.83	3.60
	75	2.85	3.07
50	30	6.74	6.70
	45	6.01	5.88
	60	5.00	5.24
	75	2.77	4.71

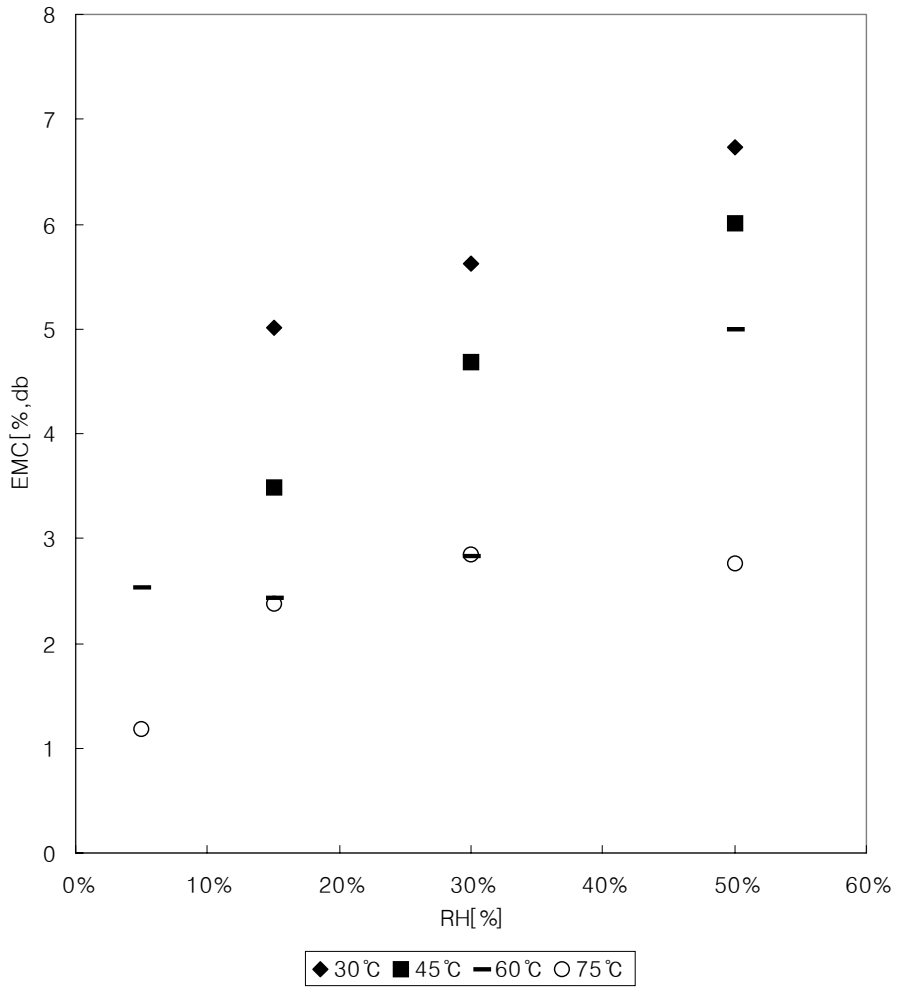


Fig. 2.9 Dynamic equilibrium moisture contents of bottle gourd seed measured at drying temperature of 30, 45, 60 and 75°C.

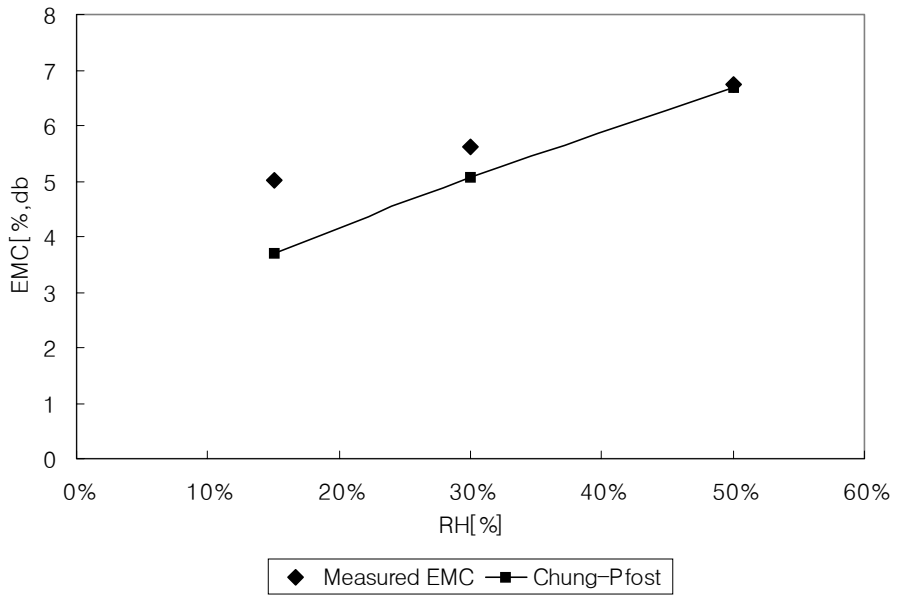


Fig. 2.10 Comparison of the measured dynamic EMC and the predicted by Chung-Pfost model at 30°C.

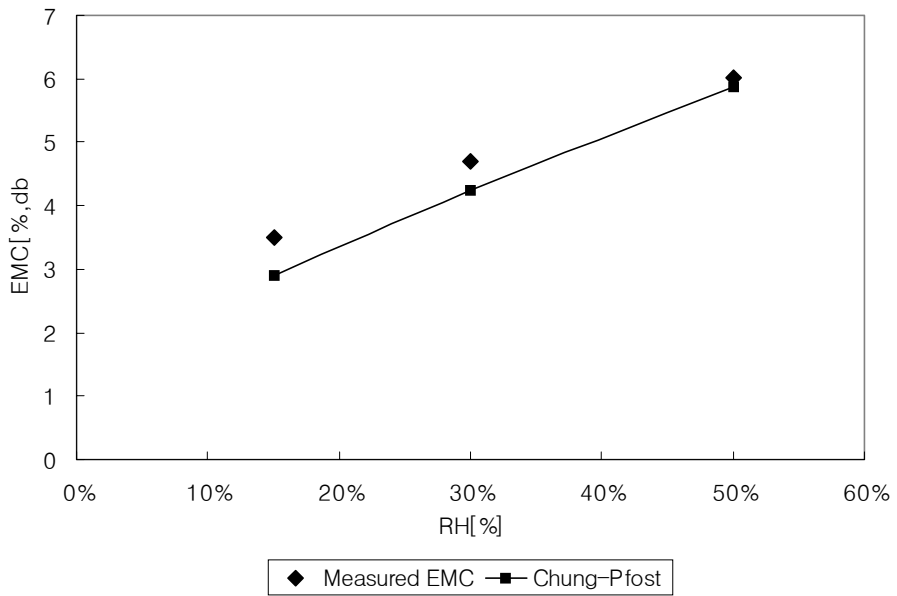


Fig. 2.11 Comparison of the measured dynamic EMC and the predicted by Chung-Pfost model at 45°C.

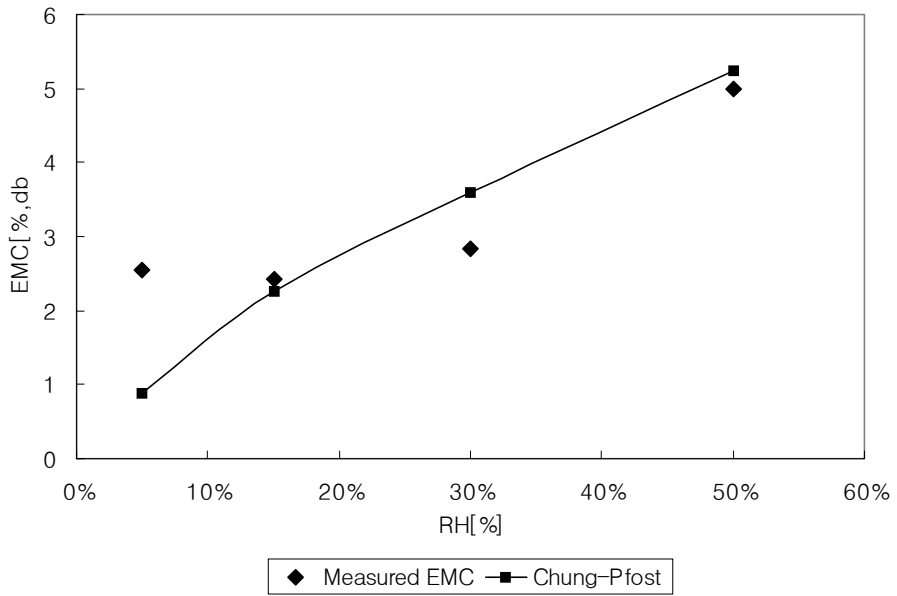


Fig. 2.12 Comparison of the measured dynamic EMC and the predicted by Chung-Pfost model at 60°C.

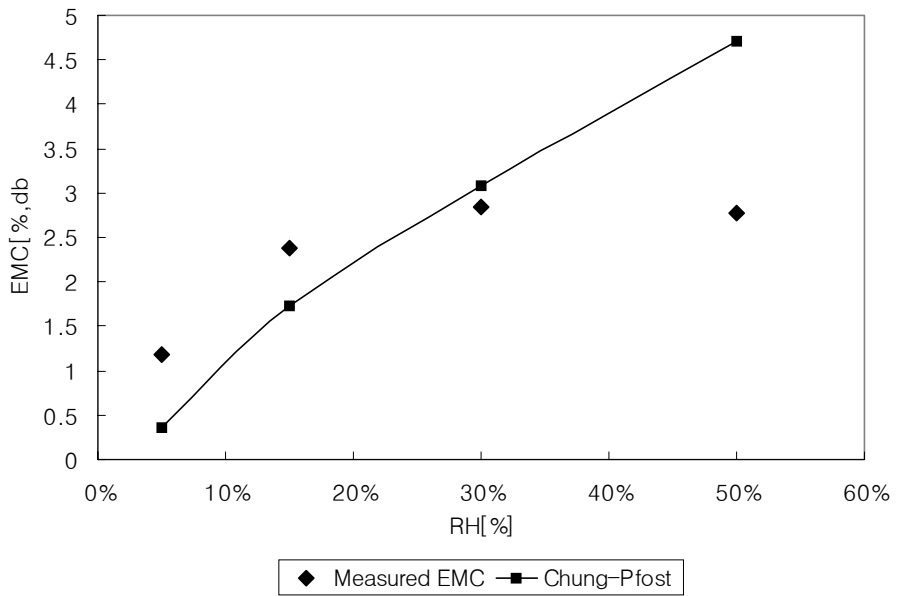


Fig. 2.13 Comparison of the measured dynamic EMC and the predicted by Chung-Pfost model at 75°C.

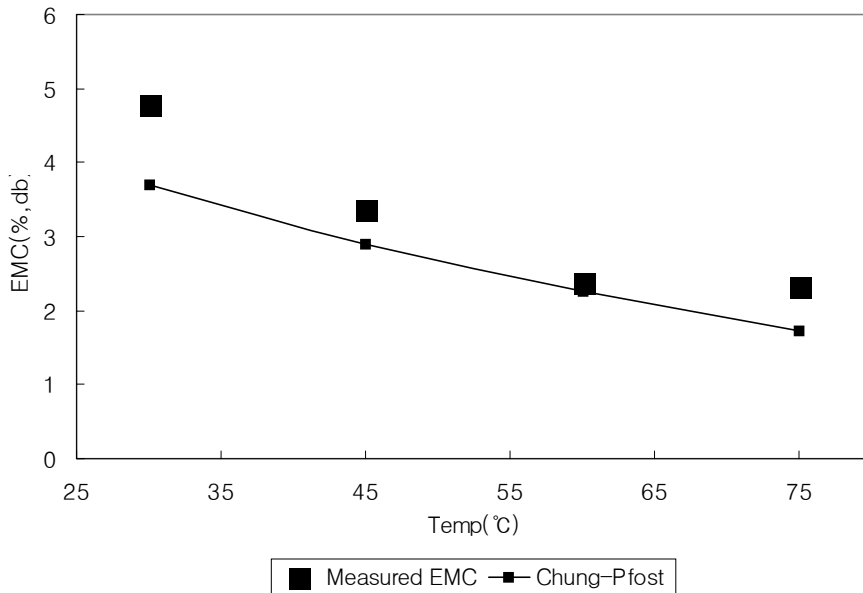


Fig. 2.14 Comparison of the measured dynamic EMC and the predicted by Chung-Pfost model at RH 15%.

위에 제시된 결과에 의하면 정적인 평형함수율에 기반하여 개발된 예측모델인 Chung-Pfost 모델은 동적인 평형함수율을 예측하는데 비교적 우수한 성능을 보였으나 일부 고온 고습의 경우 예측치가 실측치 보다 높게 나타났다. 정적인 평형함수율을 기반으로 개발된 평형함수율 예측 모델로는 정확한 동적인 평형함수율을 예측하기가 어렵지만 대체적인 예측은 가능함을 알 수 있다. 정적인 평형함수율 예측 모델로 동적인 평형함수율을 정확하게 측정하지 못한 것은 동적인 상태에서 정확한 온·습도의 유지가 곤란하고, 시료 무게의 측정 오차가 크기 때문인 것으로 판단된다.

### 3. 종자의 건조 특성 구명

#### 가. 재료 및 방법

##### 1) 이론적 배경

대부분의 농산물은 흡습성 통기성물질로서 Hukill(1947)은 건조공기에 완전히 노출된 흡습성물질은 수분을 주위의 공기로부터 혹은 주위의 공기에 이동하게 되는데 수분 이동량은 다음과 같은 식으로 추정할 수 있다(Anderson 과 Alock, 1953)

$$dM/dt = -C(P_g - P_a)$$

여기서 M:함수율(% db), t : 시간 C : 매개변수,  
 $P_g$  : 물질내의 수분의 증기압,  $P_a$  : 건조공기의 증기압

만약  $P_g$ 가  $P_a$ 보다 크면 건조가 되고  $P_g$ 와  $P_a$ 가 같으면 평형을 이뤄 수분의 이동은 발생하지 않으며  $P_g$ 가  $P_a$ 보다 작으면 흡습이 일어나게 된다.

농산물의 건조과정을 예측할 수 있는 모델로서 많은 건조모델들이 제안되었는데 Lewis(1921)는 Newton의 확산법칙을 이용하여 흡습성재료의 건조과정을 표현하기 위하여 확산모델을 개발하였다. Lewis의 확산모델은 다음과 같다

$$MR = \exp(-k \cdot t)$$

여기서 MR :함수율비, t, 건조시간, k : 매개변수

또한 Newton의 확산법칙의 해에 기초를 두고 제 1항만을 취한 유사확산모델이 많은 연구자들에 의해 여러 농산물의 건조모델로서 사용된 바 있는데 유사확산모델은 다음과 같다

$$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$$

여기서  $A, k$  ; 매개변수

Noomhorm과 Verma(1986)는 벼를 시료로 건조실험하여 유사확산모델을 다른 건조모델들과 함께 적합성 검정을 한 바 있으며, Wang 과 Singh(1978)도 장립 중 벼의 박층건조모델로서 이 모델의 적합성을 검정하였다.

또한, 확산법칙에 기초를 둔 2개의 불연속항으로 표현되는 건조모델이 Glenn(1978)에 의하여 개발되었으며, Syarief 등(1984)은 해바라기 씨의 건조실험에서 이 모델의 적합성을 검정한 바 있다. Glenn 모델은 다음과 같다.

$$MR = A_0 \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + A_1 \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$$

여기서  $A_0, A_1, k_0, k_1$  : 매개변수

Page(1949)는 확산모델을 변형하여 옥수수의 건조과정을 예측하였다.

$$MR = \exp(-k \cdot t^N)$$

여기서  $k, N$  : 매개변수

Misra와 Brooker(1980)는 옥수수의 박층건조와 흡습실험에서 이 모델을 사용하였으며, Li등(1987)이 해바라기 씨의 건조실험에, Chinnan(1984)이 피칸 (in-shell pecan)의 건조에 Page 모델에 적용하였다.

Thompson 등(1968)은 옥수수를 건조 실험하여 옥수수의 건조과정을 다음과 같은 방정식으로 모델링하였다.

$$t = A[\ln(MR)] + B[\ln(MR)]^2$$

여기서  $A, B$  : 매개변수

Thompson 등은 실험 결과 건조공기 온도가 건조속도에 크게 영향을 미치고 옥수수의 품종이나 건조공기의 풍속 등은 유의한 영향을 주지 않음을 보고하였으며, 이 모델의 매개변수를 다음과 같은 온도의 함수로 나타내었다.

$$A = -1.862 + 0.00488T$$

$$B = 427.4 \exp(0.033T)$$

여기서 T : 건조온도(。 C )

## 2) 재료 및 방법

본 연구에 사용된 종자는 평형함수율 측정을 위해 사용된 것과 동일한 것으로 경희대에서 보관중인 4kg을 구하여 건조특성 구명용 시료로 사용하였다. 이 시료는 평형함수율에 사용된 종자보다 채종 후 초기 건조가 제대로 이루어지지 않아 종자 표면에 솜털 같은 것이 많았지만 이상이 있는 것은 아니었다. 시료는 30℃, 50%의 항온항습기에 보관함으로서 초기 함수율을 9~10% 내외로 유지하였다. 실험을 실시하기 10여분 전에 시료를 미리 데시케이터에 넣어서 시료의 온도가 상온과 같아지도록 하였다. 각 건조실험에 사용된 시료의 무게는 약 100g이었다.

### 가) 건조장치

건조특성을 구명하기 위해 건조실, 가열기, 가습기, 제습기, 로드 셀, 송풍기 등으로 구성되는 그림 (3.2)와 같은 소형 건조장치를 주문 제작하였다. 시료는 100g 정도를 로드 셀에 매달린 채반에 한 층으로 얇게 깔리게 하였으며, 특히, 무게 측정시에 건조실을 순환하는 기류의 영향을 배제하기 위해 송풍기에 온-오프 장치를 부착하여 시료의 무게를 측정하는 동안 송풍기가 자동으로 정지하도록 하였다. 건조실험에 사용된 건조 조건은 표(3.1)과 같으며, 주어진 건조 조건에서 평형함수율에 도달할 때까지 건조를 실시하였으며, 각 건조조건에서 3회 반복 실험을 수행하였다.



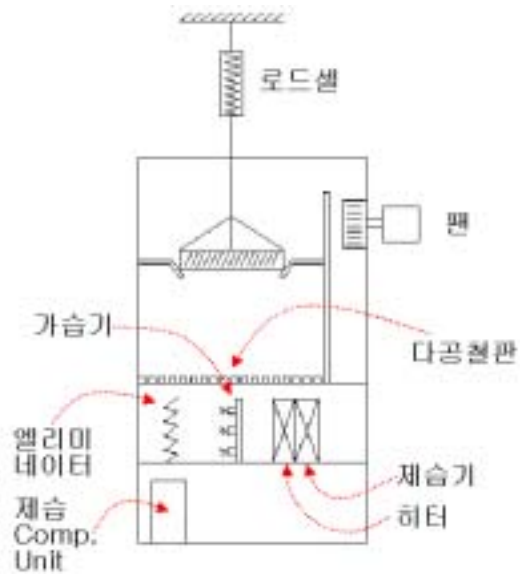


Fig. 3.1 Schematic diagram of the drying apparatus



Fig. 3.2. Picture of drying apparatus.

Table 3.1 Specification of the drying apparatus

Item	Specification
Dimension (Inner Chamber)	W×H×D : 495×380×500mm
Air conditioner	Dry bulb Temp. : 15~90℃(±0.5℃) Relative humidity : 10~95%(±5%)
Fan	200W

Table 3.2 Experimental conditions for drying test

Item	Specification
Initial M.C. of samples	9 ~ 10 % (w.b)
Drying temperature	30 ~ 75 ℃
Relative humidity	5 ~ 50 % (w.b)
Air velocity	0.5 ~1 m/s

## 나) 중량 측정장치

건조과정 동안 건조되는 시료의 무게를 실시간으로 측정하기 위하여 로드셀 (BCL-1L, CAS)을 사용하였다. 그림(3.1)에서와 같이 건조기 상단에 직경 30mm의 원형 구멍을 뚫고 로드셀을 건조열로부터 피해를 최소화되도록 건조기 외부에 설치하였다. 로드셀이 읽은 무게 값은 인디케이터(CI-1560A, CAS)에서 표시되며 실시간으로 컴퓨터에 RS-232C 방식으로 전송되어 파일에 저장된다.

시료의 무게는 매 10분마다 측정하였다. 이 때 기류의 영향을 배제하기 위해 30초동안 송풍기를 정지시켰으며, 이 30초동안 측정된 무게 신호 중에서 채반의 흔들림을 감안하여 마지막 20개의 데이터를 평균하여 사용하였다.

### 3) 박층 건조 모델 선정

박 종자의 건조속도를 예측하기 위하여 기존의 종자나 곡물 등에 주로 사용되었던 모델들을 선정하였다. 본 연구에서는 모델을 선형화 하여 함수율비를 시간의 로그함수로 나타내어 예측하였다(최, 1992). 표 (3.3)에 기존의 모델들을 나타내었다.

Table 3.3 Drying models

Model	Equation
Lewis	$MR = \exp(-k \cdot t)$
Approximate - Diffusion	$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$
Page	$MR = \exp(-k \cdot t^N)$
Thomson	$t = A \cdot \ln(MR) + B [\ln(MR)]^2$
Wang	$MR = 1 + w_1 \cdot t + w_2 \cdot t^2$

note) MR : Moisture ratio

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

M : Moisture content(% , db)

$M_0$  : Initial moisture content(% , db)

$M_e$  : Equilibrium moisture content(% , db)

t : drying time(min)

A, B, k, N,  $w_1$ ,  $w_2$  : parameters

통계적 방법의 모델 선정은 SAS(Ver.8.1)를 이용하여 RSQUARE PROC과 REG PROC들중 STEPWISE PROC를 이용하였다.

박 종자의 건조특성을 예측하기 위해 선정한 기존의 모델들은 선형화가 가능하며, 다음의 식들은 표(3.3)에서 언급한 건조 모델들을 선형화 한 것이다.

$$\text{Lewis 모델 : } \ln(\text{MR}) = -k \cdot t$$

$$\text{유사확산모델 : } \ln(\text{MR}) = \ln(A) - k \cdot t$$

$$\text{Page 모델 : } \ln[-\ln(\text{MR})] = \ln(k) - N \cdot \ln(t)$$

$$\text{Thompson 모델 : } t = A \cdot \ln(\text{MR}) + B \cdot [\ln(\text{MR})]^2$$

$$\text{Wang 모델 : } \text{MR}^{-1} = w_1 \cdot t + w_2 \cdot t^2$$

각 건조모델에 포함되어 있는 매개변수 A, B, k, N,  $w_1$ ,  $w_2$  등은 건조 공기의 온도, 상대습도 등의 함수로 표현된다. 이들 매개변수들을 결정하기 위해 각 매개변수는 다음식과 같이 7개의 독립변수로 표현되는 것으로 가정하였다.

$$\text{parameter} = a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot \ln(T) + a_4 \cdot \text{RH} + a_5 \cdot \text{RH}^2 + a_6 \cdot \ln(\text{RH}) + a_7 \cdot T \cdot \text{RH}$$

T : 건조 공기의 온도(°C)

RH : 건조 공기의 상대습도(%)

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  : 상수

위의 매개변수들은 총  $2^7$ 개의 모델을 만들 수 있는데 이것의 결정은 SAS의 STEPWISE PROC를 이용하여 결정계수가 크고 RMS error가 작은 값일수록 가장 적합한 모델의 매개계수를 보여 줄 수 있다는 정의에 기초하여 매개변수의 상수값을 결정하였다.

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 건조 온도의 영향

본 연구에서는 온도 4수준(30, 45, 60, 75℃)과 상대습도 4수준(5, 15, 30, 50%)으로 박층 건조 실험을 실시하였다. 그림(3.3)~(3.6)은 주어진 상대습도에서 건조 온도와 함수율의 상관관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 박 종자의 함수율은 시간에 따라 초기 10~20분 사이에는 급속하게 함수율이 감소하고 건조 속도가 서서히 둔해지는 것을 볼 수 있다.

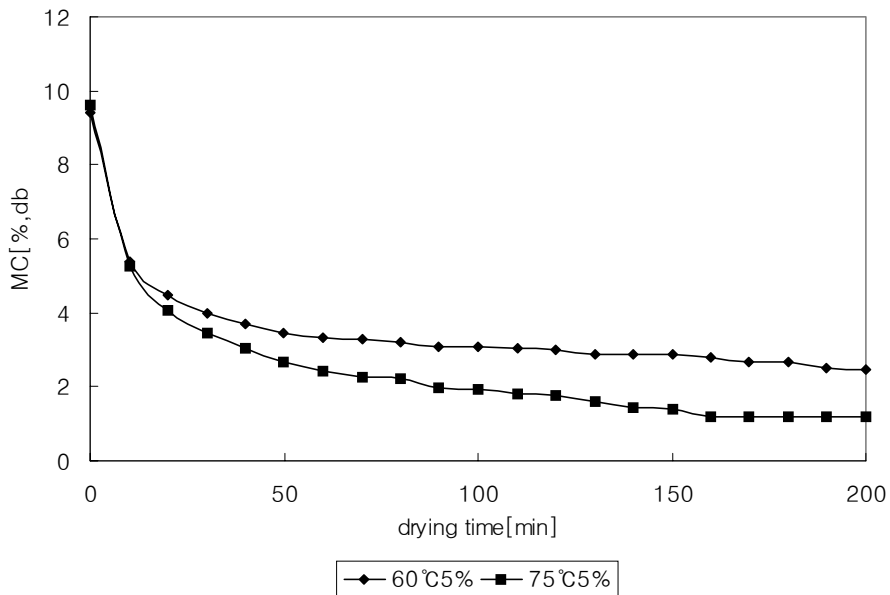


Fig. 3.3 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of RH 5%.

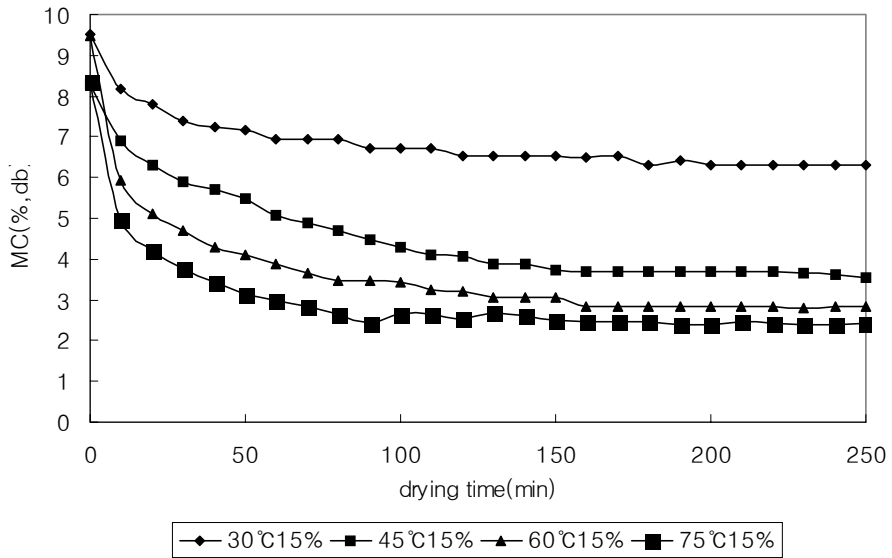


Fig. 3.4 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of RH 15%.

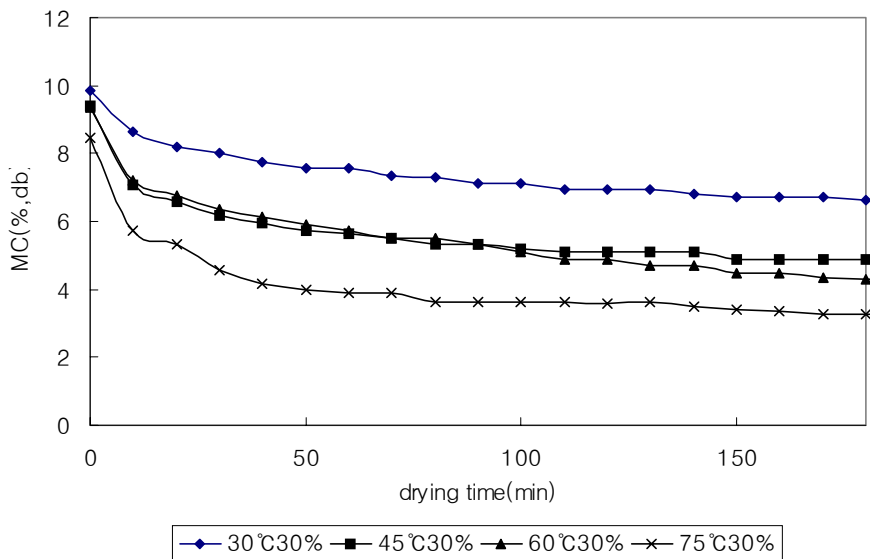


Fig. 3.5 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of RH 30%.

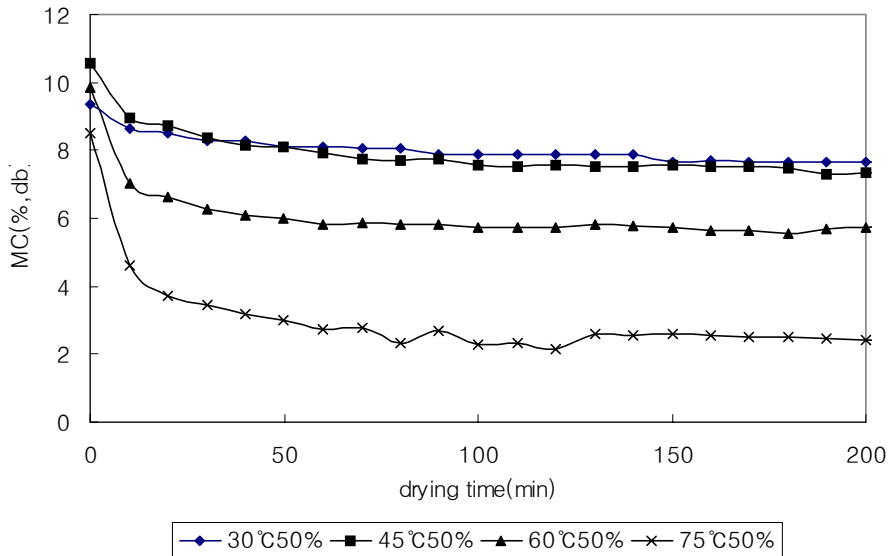


Fig. 3.6 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of RH 50%.

## 2) 상대습도의 영향

그림 (3.7)~(3.10)은 주어진 온도에서 상대습도에 따른 함수율변화를 나타낸다. 다습한 경우가 저습한 경우의 함수율 변화보다 급속하지 않음을 알 수 있다. 또한 저습한 경우에 비해 다습한 경우 온도차가 클수록 함수율의 변화폭도 커지는 것을 관찰할 수 있다.

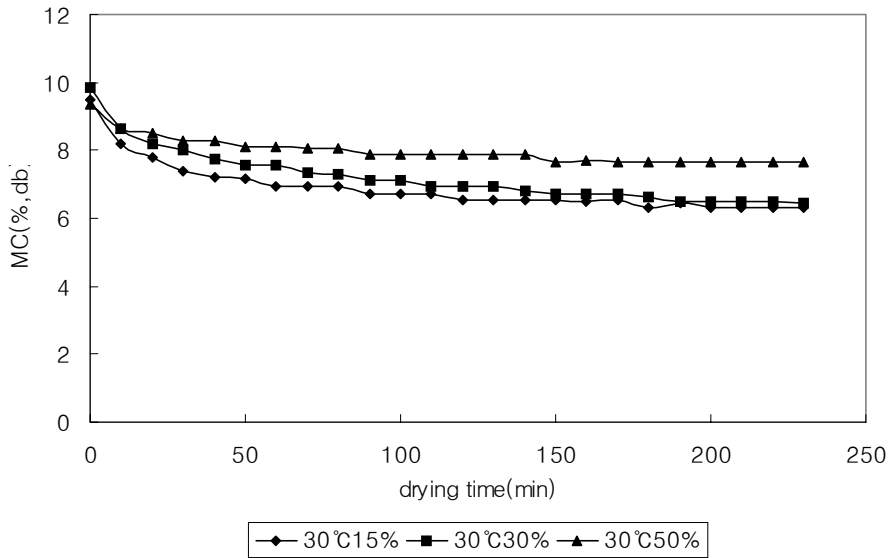


Fig. 3.7 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of 30°C.

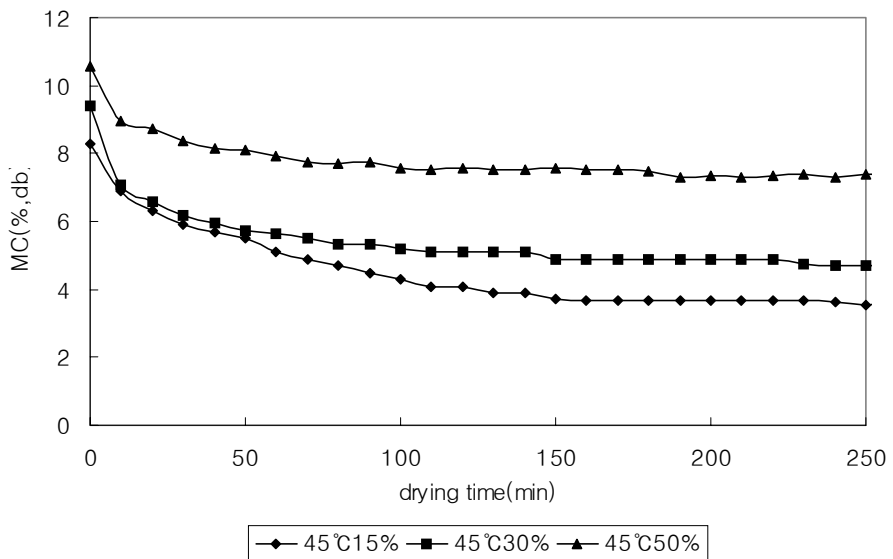


Fig. 3.8 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of 45°C.



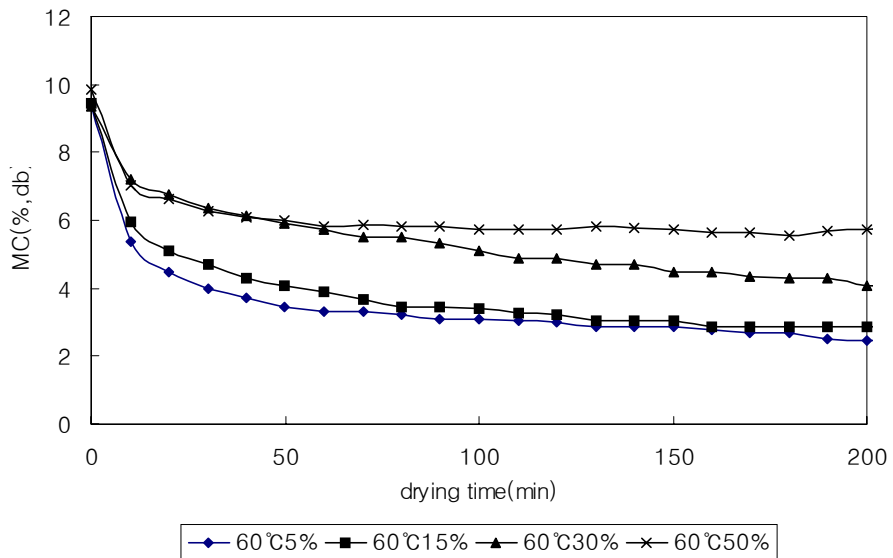


Fig. 3.9 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of 60°C.

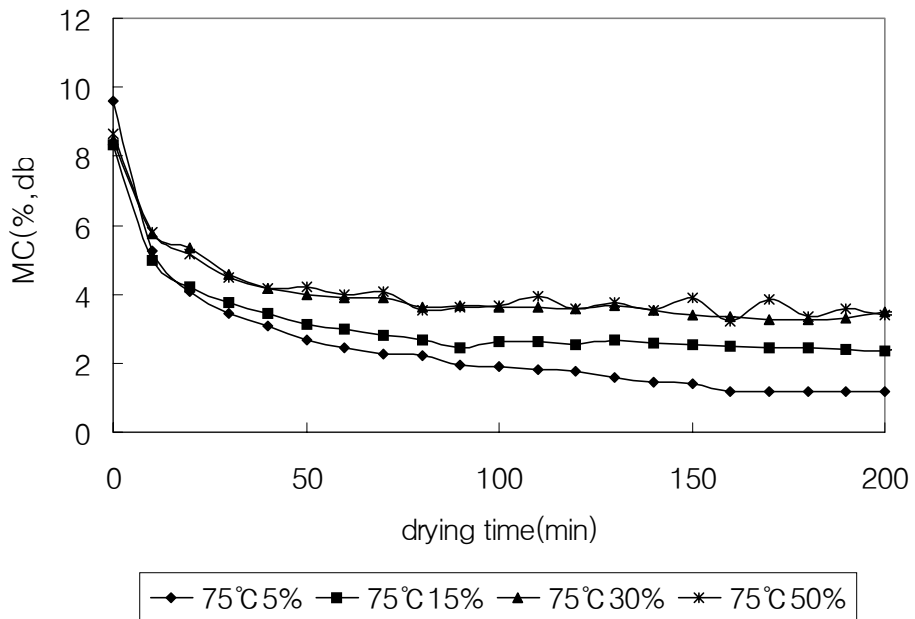


Fig. 3.10 Change of moisture content of bottle gourd seed exposed to an airstream of 75°C.

## 다. 박 종자의 건조 속도

박 종자의 박층 건조 실험의 건조속도를 알아보기 위하여 건조 시간대(매 10 분마다) 별로 건감률을 나타내었다. 건조속도는 단위건조면적 및 단위시간당 증발되는 수분의 양(kg/hr·m<sup>2</sup>), 단위 시간당 제거되는 수분의 양(kg/hr) 등으로 표시될 수 있다. 본 연구에서는 곡물의 경우에 가장 널리 사용되는 단위시간당 함수율 감소량(%db/hr)으로 표시하였다. 그림 (3.11)~(3.13)은 일정한 온도 45℃의 경우 각 상대습도에 따른 건감률을 나타내었고, 그림 (3.14)~(3.17)은 상대습도가 30%인 경우 건조온도 30, 45, 60과 75℃일 때의 함수율과 건감률을 나타내고 있다. 이때 상대습도가 6%까지 도달하는데 소요 시간은 75℃의 경우 초기 8.47%(d.b)에서 5.73%까지 약 10분, 45℃의 경우 9.39%에서 5.98%에 도달하는데 40여 분으로 그 차이를 나타내었다. 45℃의 경우 초기함수율 8.30%인 15%조건에서는 5.89%가 되는데 30여분, 30%의 경우는 초기함수율 9.40%에서 5.98%에 도달하는데 40여분이 소요되었다.

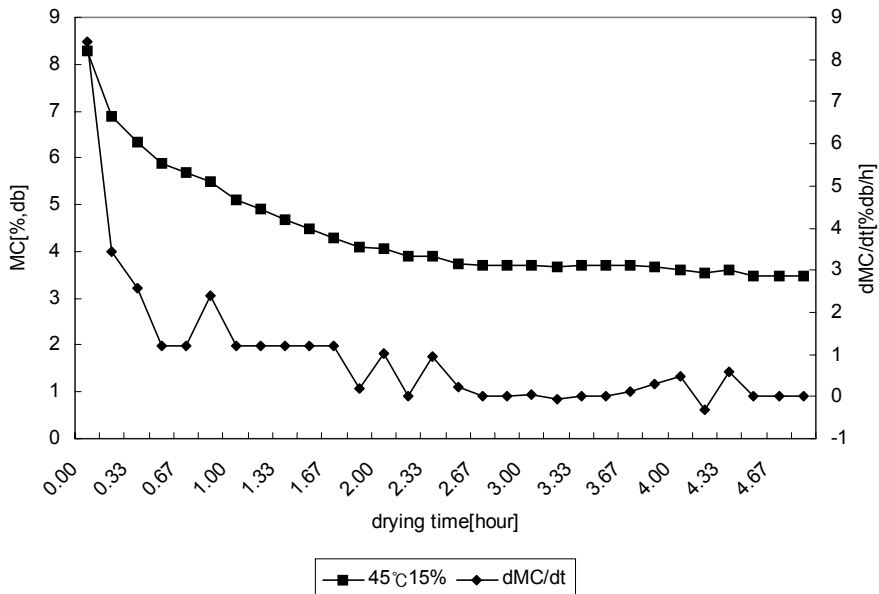


Fig. 3.11 Drying rates for bottle gourd seed at 45°C and 15%.

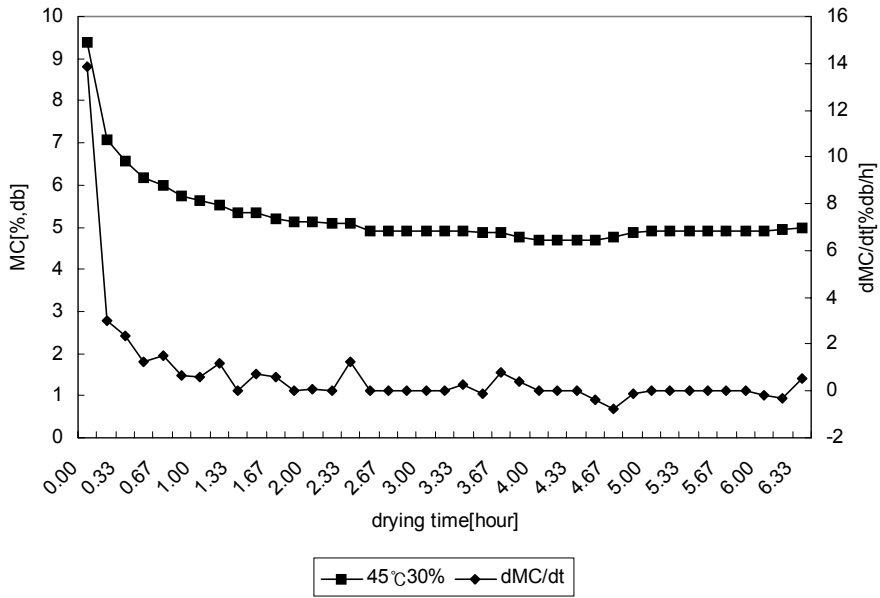


Fig. 3.12 Drying rates for bottle gourd seed at 45°C and 30%.

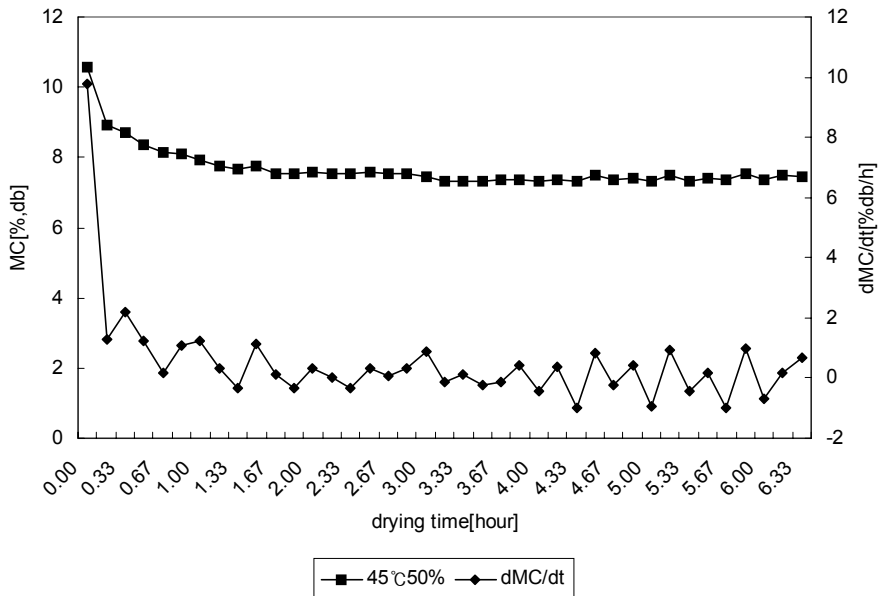


Fig. 3.13 Drying rates for bottle gourd seed at 45°C and 50%.

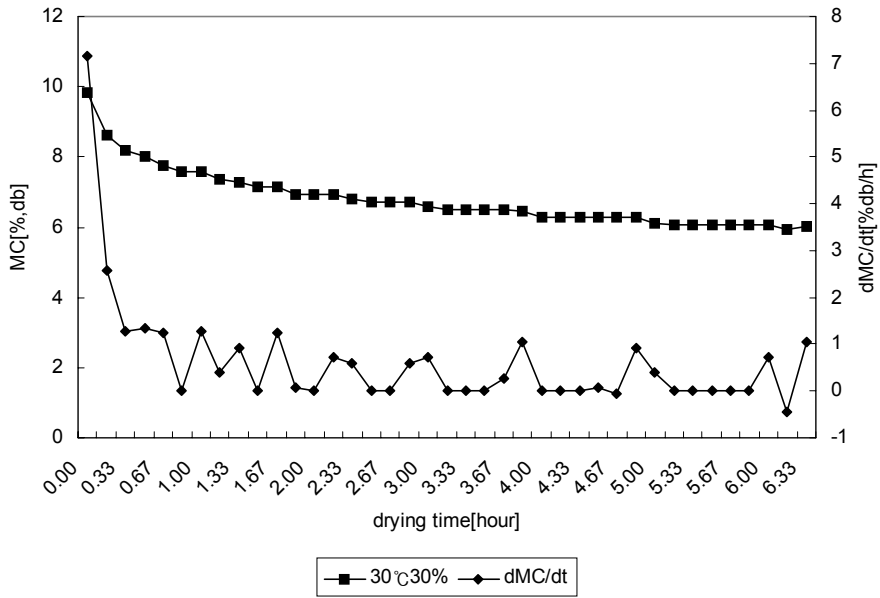


Fig. 3.14 Drying rates for the bottle gourd seed at 30°C and 30%.

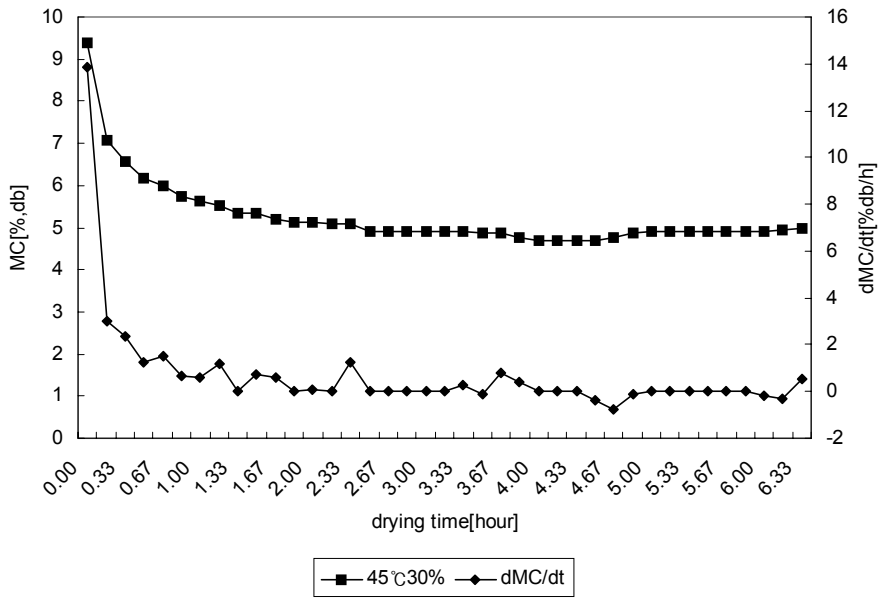


Fig. 3.15 Drying rates for the bottle gourd seed at 45°C and 30%.

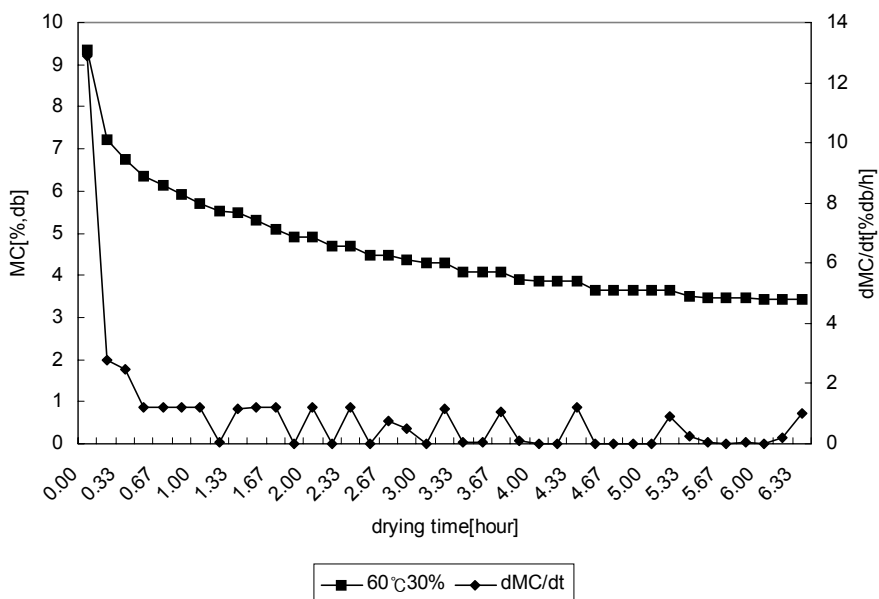


Fig. 3.16 Drying rates for the bottle gourd seed at 60°C and 30%.

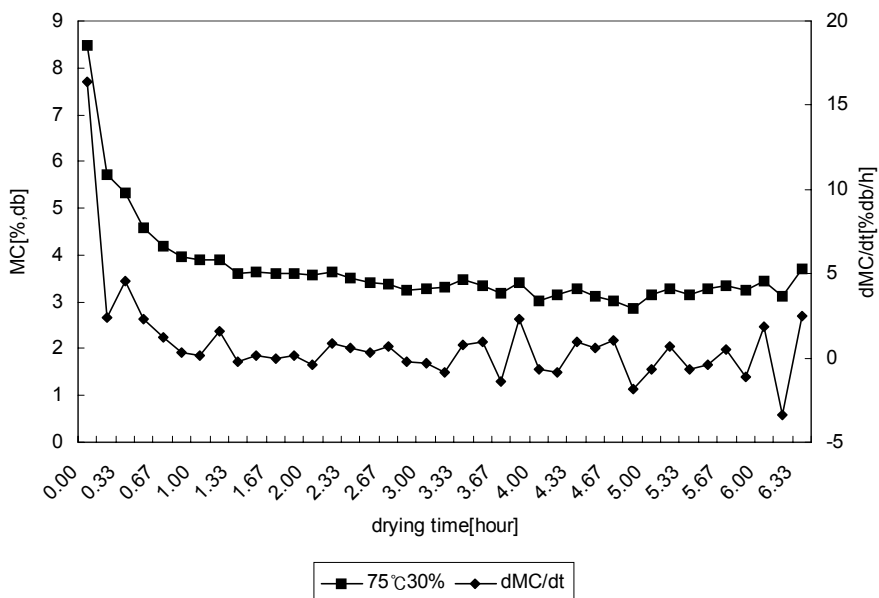


Fig. 3.17 Drying rates for the bottle gourd seed at 75°C and 30%.

일반적으로 건조속도는 건조공기의 온·습도, 풍속, 초기함수율 등의 영향을 받는다. 이 연구에 사용된 시료는 저장을 위해 건조된 것으로 초기 함수율이 7%(wb)~9%이었음을 감안할 때 수분 함량이 높지 않은 농산물에서 보여지듯이 본 연구에 사용된 박 종자의 경우에서도 예열기간이나 항률건조기간은 보이지 않고 감률건조기간만이 나타남을 볼 수 있다 (Henderson과 Perry, 1976: 고 등, 1990). 감률 건조기간은 액체확산현상(liquid diffusion)에 의하여 재료 내부에서 표면으로 수분이 이동한 다음 표면으로부터 수분이 제거되므로 (고 등, 1978) 점차 그 건조속도가 감소된다. 그림 (3.11)에서 (3.17)까지 모든 경우에 시간이 지남에 따라 초기의 급속한 변화에 비해 확연히 줄어드는 건조속도를 확인할 수 있다.

## 라. 박층 건조 모델

### 1) 함수율비(Moisture Ratio)의 변화

건조모델을 개발하기에 앞서 건조과정에서 주어지는 시료의 초기함수율, 건조과정중의 함수율 및 최종 함수율로 정의되는 함수율비를 구하고 각 건조조건에서 시간에 따른 함수율 비의 변화를 관찰하였다(그림 (3.18)~(3.21)). 이 때 각 실험에서의 최종 함수율을 주어진 조건에서의 평형함수율로 가정하였다.

그림 (3.19), (3.20) 및 (3.21)에서 주어진 온도에서 상대습도가 낮을수록, 그리고 상대습도가 동일할 경우 온도가 높을수록 시료의 건조 속도가 빠른 것을 확인할 수 있다. 그러나, 건조온도 45°C의 경우 그림 (3.18)에서 함수율비가 0.2가 되기까지 소요되는 시간을 조사한 결과 30%와 50%의 경우 약 60분이, 15%의 경우 100분이 소요됨을 알 수 있다. 이것은 일반적인 경향과 일치하지 않는 것으로 경우에 따라 함수율비를 계산하기 위해 사용된 평형함수율이 실제 평형에 도달한 함수율이 아닌 경우에 나타날 수 있으며, 실험오류에 기인하는 것으로 판단된다.

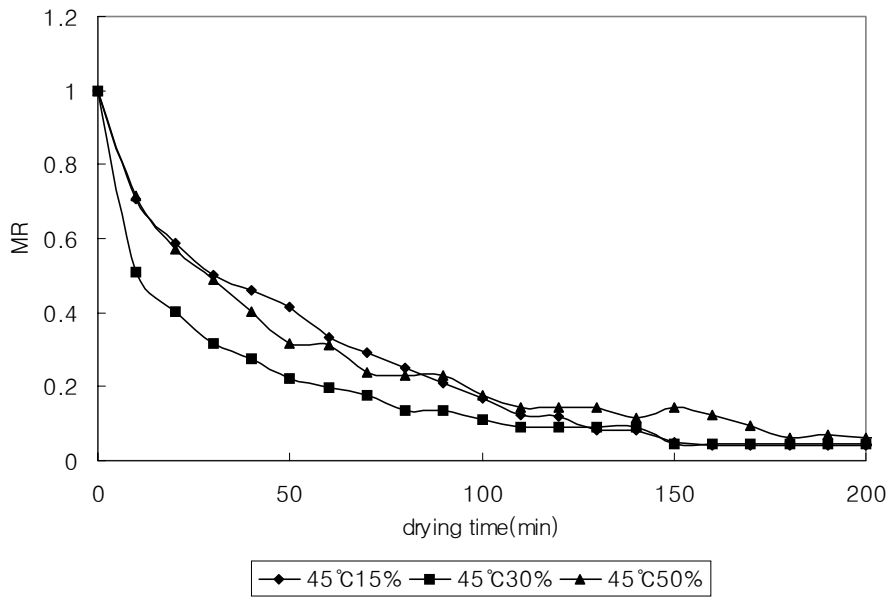


Fig. 3.18 Effect of relative humidity on drying rates of bottle gourd seed at 45°C.

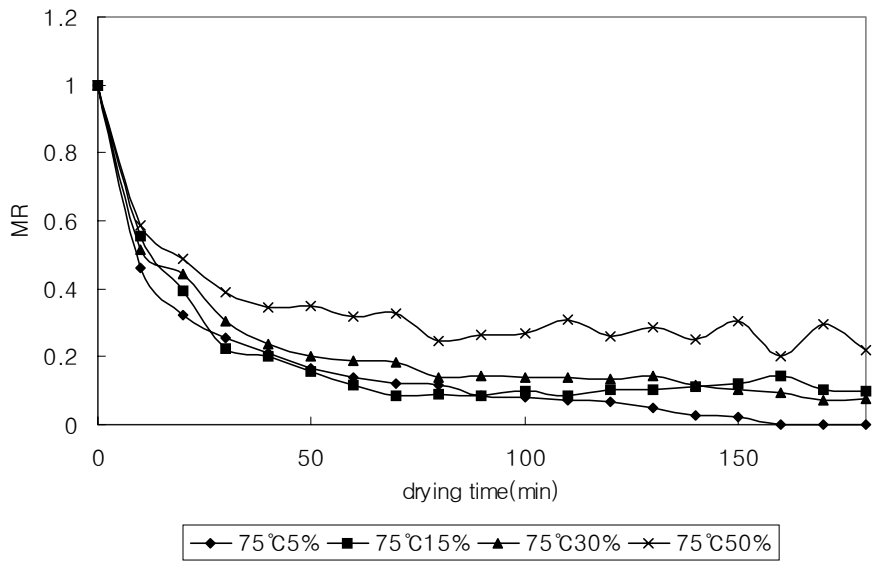


Fig. 3.19 Effect of relative humidity on drying rates of bottle gourd seed at 75°C.

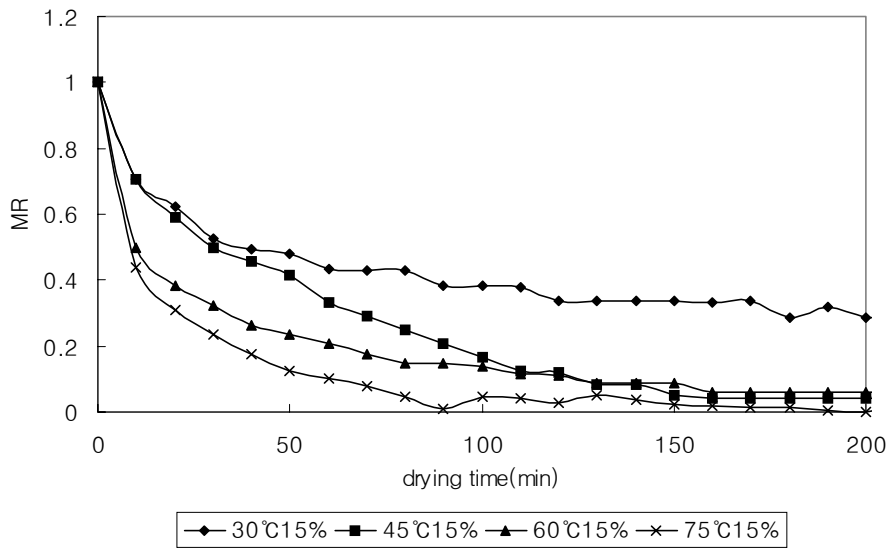


Fig. 3.20 Effect of temperature on drying rates of bottle gourd seed at 15%.

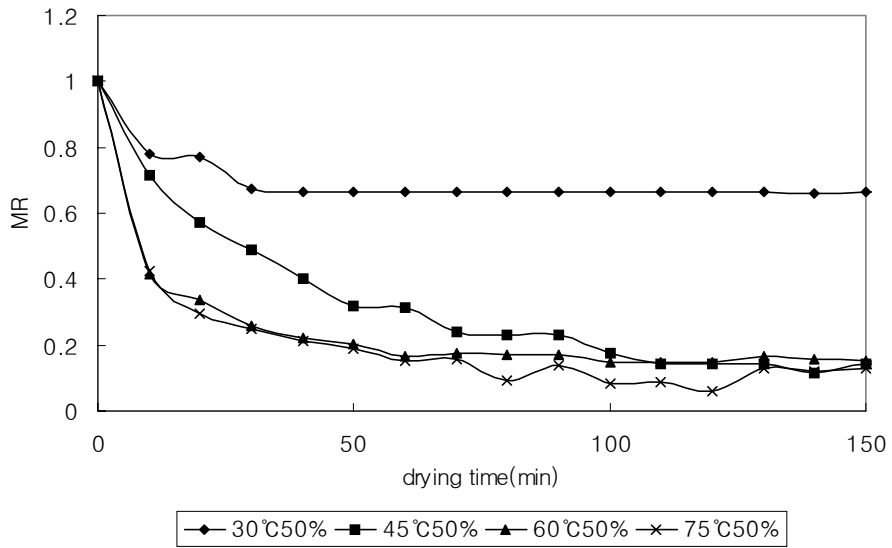


Fig. 3.21 Effect of temperature on drying rates of bottle gourd seed at 50%.



## 마. 박층 건조모델 개발

박 종자의 건조특성을 건조온도, 상대습도를 함수로 하여 박의 건조속도를 예측하기 위한 각 모델의 매개변수를 결정하였다. 건조모델은 표(3.4)에 기술하였다.

통계적 모형 분석은 SAS(Ver.8.1)의 RSQUARE PROC 및 REG PROC에 의해서 이루어졌다. 먼저, 요인의 수가 매우 많기 때문에 RSQUARE PROC를 수행하여 결정계수와 Mallows의 Cp를 평가한 후 몇 가지 통계적 모형을 선택하였다. 여기서 결정계수가 클수록, Cp 값은 작을수록 좋은 모형이 될 가능성이 크게 된다. 이와 같이 선택된 통계적 모형을 사용하여 REG PROC방법 중 STEPWISE PROC를 이용하여 매개변수를 추정하였다.

Table 3.4 Parameters of drying models

Model	Estimated Parameters	R2	F
Lewis	$k = -1.52916 + 0.00674T + 0.99222RH^2 - 1.84675\ln(RH) + 0.03158T \cdot RH$	0.7286	536.28
Appro.- Diffusion	$a = 9.02219 - 8.2698\ln(T) + 0.37372T \cdot RH$ $k = -0.00447T + 3.20712RH - 5.04603RH^2$	0.6483	293.77
Page	$k = -39.8688 - 10.3196T + 44.77403\ln(T) - 0.25811\ln(RH) + 4.9276T \cdot RH$ $N = 0.000117T - 0.99184T^2 - 3.22726RH + 0.54906RH^2 + 0.00447\ln(RH)$	0.7497	233.90
Thompson	$A = -147.89549 - 346.80809T + 1.73998T^2 + 8262.59816\ln(T) - 49255RH + 38299RH^2 + 6927.87056\ln(RH) + 702110T \cdot RH$ $B = -108.50785 - 32.01237\ln(RH) + 3.20034T \cdot RH$	0.7026	187.33
Wang	$w1 = -0.6395 - 0.00001432T^2$ $w2 = -0.00000416 + 0.00411\ln(T)$	0.4216	199.45

각 모델에 포함되어 있는 매개변수와 각 모델의 결정계수 및 RMS 에러를 표 (4.6)에 제시하였다. 이 표에서 알 수 있듯이 Page 모델의 경우 매개변수에 포함되는 독립변수의 수가 상대적으로 다른 모델 보다 작을 뿐만아니라 결정계수가 0.749로 가장 높음을 알 수 있다. 그 다음으로 Approximate-Diffusion 모델, Thompson 모델, Lewis 모델, Wang 모델 순이었으나 대체적으로 매개변수에 포함되는 독립변수의 수가 많을 뿐만 아니라 결정계수가 작음을 알 수 있다. 보다 만족스러운 모델 개발을 위해 앞으로 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

그림 (3.22)~ (3.24)는 45°C의 각 상대습도의 경우에(15, 30, 50%) 측정된 MR과 Page 모델에 의해 예측된 MR을 비교한 그림이다. 결정계수는 15%의 경우 0.978, 30%의 경우는 0.979였으며 50%의 0.683이었다.

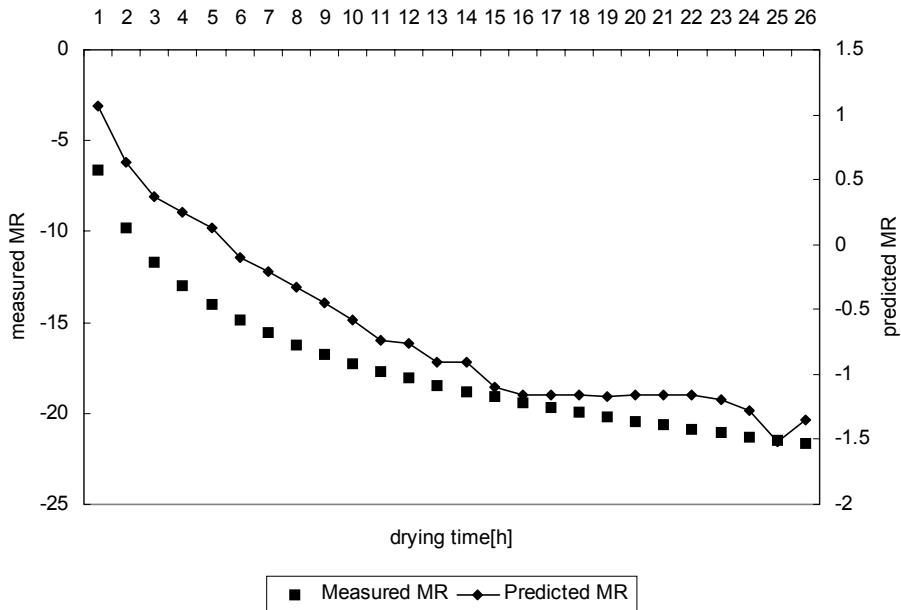


Fig. 3.22 Comparison of the moisture ratios measured and predicted by Page model at 45°C, 15%.

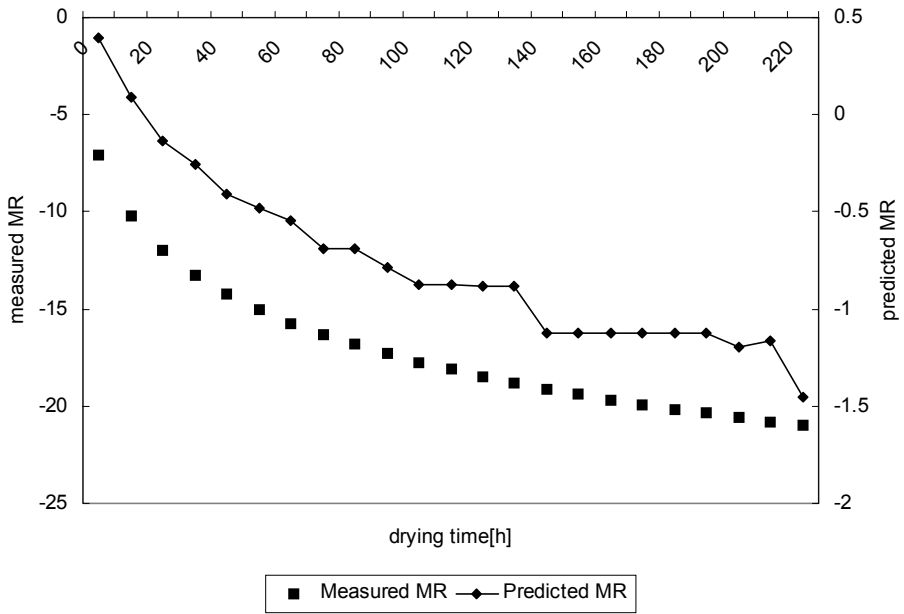


Fig. 3.23 Comparison of measured MR and predicted MR by Page model at 45°C, 30%.

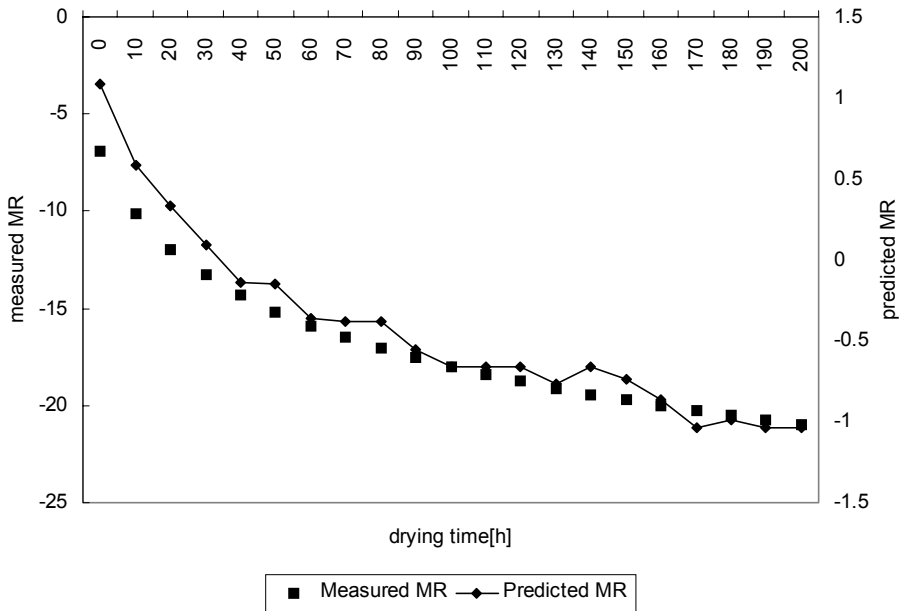


Fig. 3.24 Comparison of measured MR and predicted MR by Page model at 45°C, 50%.

## 4. 요약 및 결론

본 연구는 박 종자의 기본 물성중 건조 및 흡습 특성 구명을 위하여 수행되었다. 박 종자의 건조 특성을 구명하기 위해서 먼저 박 종자의 함수율과 평형함수율 측정을 실시하였고, 박 종자의 평형함수율 예측 모델을 개발하였다. 평형함수율은 정적인 방법과 동적인 방법을 이용하여 각각 구하였으며, 동적인 평형함수율은 건조기를 이용하여 여러 단계의 온·습도 상태에서 실험을 실시한 최종함수율을 평형함수율로 설정하였다. 정적인 평형함수율 모델을 개발하여 실험치와 비교한 결과는 Chung-Pfost 모델의 경우  $R^2 = 0.9918$ ,  $RMS\ error = 0.00210$ 의 상당히 효과적인 결과를 가져왔으며, 동적인 상태의 평형함수율을 정적인 평형함수율 모델로 예측한 결과는  $\pm 0.8\%$ 이내의 예측 결과를 보여 상당히 신뢰성 있는 모델임을 확인 할 수 있었다.

박종 건조 특성 구명을 위해서는 온도 4조건과 상대습도 4조건을 이용하여 실험하였다. 정밀한 무게 측정을 위해 건조기 운영을 멈추고 30초간의 무게를 측정하였으며, 마지막 20개의 데이터를 평균한 값을 사용하였다. 모델을 통계적인 방법으로 개발하여 검증한 것 중 가장 좋은 Page모델이 0.749를 보임으로 박종 건조 예측 모델로 가능성은 충분히 있음을 확인하였다.

박 종자의 흡습 실험은 정적인 방법을 사용하여 여러 건조기 및 항온항습기를 사용하면서 일정한 온도를 유지하는 것이 어려워 적절한 결과가 나타나지 않았다. 향후 박 종자의 흡습 실험을 위해서 다양한 접근법이 필요한 것으로 판단된다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도

### 1. 목표 달성도

#### 가. 다기능 건열 소독 기기 개발 및 효율적 이용 방안 수립 [고려기기]

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 다기능 건열 소독 기기 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 소독 기기의 문제점 분석</li> <li>- 중형 건열 소독 기기 개발</li> <li>- 생력화 장치 개발</li> <li>- 정밀 온·습도 제어 기술 개발</li> <li>- 대형 건열 소독 기기 개발</li> <li>- 성능 보완 및 개선</li> </ul>	100%
○ 건열 소독 기기의 효율적 이용 방안 및 제도적 보완 대책 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건열 처리를 위한 보세 구역 설치 및 운영 방안 모색</li> <li>- 건열 처리 기기의 공동 이용 방안 강구</li> <li>- 건열 처리 기기의 효율적 이용 방법 교육</li> <li>- 건열 처리 종자의 표기 방안 강구 및 홍보 책자 발간 및 교육</li> </ul>	100%

#### 나. 건열 처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정과 바이러스 불활성화 정도의 판정 [경희대]

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 건열 처리 조건별 종자 및 유묘활력 검정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 종자 발아세 검정</li> <li>- 발아율의 검정</li> <li>- 건열 피해의 종류 및 해결 방안</li> <li>- 유묘활력 변이에 관한 연구</li> </ul>	100%

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 건열 처리 조건별 바이러스 불활성화 정도의 판정	- 열처리간 바이러스 활성 조사 - 다양한 생물 검정 방법의 효율성 비교 - 처리온도 및 기간에 따르는 검정효율 비교 - 건열 처리 종자의 바이러스 불활성화 검정 (생물검정)	100%

#### 다. 최적 건열소독공정 개발을 위한 종자의 건조 및 흡습 특성 구명 [서울대]

연구 내용	연구 수행 내용	달성도
○ 장치 및 모델 개발	- 향온 흡습 측정 기기 개발 : 공기유동 속도조절에 의한 측정 오차 최소화 - 건조 및 흡습 모델 개발 : 건조 예측 모델 개발, 건조 파라미터 구명	100%
○ 장치 및 모델의 성능 평가	- 평형 흡수율 측정 - 시작품 건조/제습/흡습 성능 테스트 : 문제점 도출 및 성능 개선안 제시 - 시뮬레이션 모델 개발 및 검증 : 모델을 이용한 건조/흡습 과정 검증 실험	100%

## 2. 관련 분야에의 기여도

- 자동 온·습도 조정이 가능해 짐에 따라 종자의 스트레스를 감소시킬 수 있었으며 이로 인하여 종자의 발아력이 증가할 것으로 기대함
- 종자용 건열소독 이외의 분야에서 응용이 기대됨.
- 2중 안전장치를 부착함으로써 기기의 안전성과 신뢰성을 확보하여 이용효율을 극대화 할 수 있을 것으로 기대함.
- 고압분사노즐을 이용한 가습장치의 문제점인 노즐의 막힘 현상, 가습 효율의 저하, 가습시 가습수의 불완전 증발로 인한 수분입자의 기기 내부 유입 등을 방지할 수 있도록 설계하였고, 또한 고온에서의 습도조절을 위한 제

습기의 가동 시 제습용 Compressor의 보호를 위하여 일정온도 이상이 되면 냉매의 일부를 제습용 Compressor로 By-pass시켜 제습용 Compressor가 과열 소손되는 것을 방지 할 수 있는 System을 채택함으로써 보다 운용의 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대함.

- 시스템의 부하를 줄임으로써 기계수명을 연장시킬 수 있을 것임
- 건열처리 효과에 따른 종자활력 및 고온장해, 종자전염바이러스의 무독화에 관한 특성을 구명함으로써 앞으로 이와 관련된 연구에 활용이 기대됨.
- 건조 및 흡습과정 동안 종자의 무게를 연속적으로 측정하기 위하여 로드셀에서 나오는 신호를 컴퓨터로 받아들이고 이를 정량화하는 자동계량장치를 개발함으로써 건열처리간 실시간 모니터링이 가능함
- 건조 특성 및 건조모델 중에서 종자의 건조를 가장 잘 설명할 수 있는 모델을 최종적으로 개발함으로써 다른 방식의 건열소독기기 개발에 효율적 이용이 기대됨

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획

- 농업 분야 이외의 건열소독장치의 연구개발에 활용
- 작물별 및 품종별 안전처리범위를 파악하여 해외에서 채종되어 반입되는 박과채소류의 종자전염 CGMMV 공포로부터 벗어날 수 있고, 그 밖의 고추 등의 채소종자에서도 바이러스병(tobamovirus)을 격감하는데 유용하게 이용
- 처리종자의 생리 생화학적 특성을 파악함으로 이와 관련된 연구에 이용
- 건열처리 효과에 따른 종자활력 및 고온장해, 종자전염바이러스의 무독화에 관한 특성을 구명함으로서 박과류 이외의 종자에 대한 기초 연구자료로 활용될 수 있음.
- 처리종자의 생리 생화학적 특성을 파악함으로 이와 관련된 연구에 이용
- 건열 처리과정 중의 실시간 모니터링이 가능해 짐으로써 정확한 기초 데이터의 확보가 가능해 짐
- 종자의 건조 모형을 개발함으로써 최적의 건조를 위한 기초 자료를 확보하였으며 이를 이용한 건조 공정의 최적화에 활용될 수 있음.



## 제 6 장 참고 문헌

1. ASAE Standards 1997. 44th Edition. ASAE. St. Joseph. MI.
2. Akritidis, C. B., C. A. Tsatsarelis, and C. B. Bagiatis. 1988. Equilibrium moisture content of pumpkin seed. Transactions of the ASAE. Vol. 31(6) : 1824 - 1827.
3. Anderson, J. A. and A. W. Alcock. 1953. Storage of Cereal Grains and Their Products(Ch. 4. Drying Cereal Grains).
4. Brooker, D.D., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. Drying Cereal Grains. The AVI Publishing Company,Inc.
5. Chen, Chia-Chung, R. Vance Morey. 1989. Comparison of four EMC/ERH equations. Transactions of the ASAE. Vol. 32(3) : 983-990.
6. Chinnan, M. S. 1984. Evaluation of selected mathematical models for describing thin-layer drying of in-shell pecans. Transactions of the ASAE. Vol. 27(2) : 610 - 615.
7. Chung, H. D. and J. M. Lee. 2001. Plug seedling production in Korea and calcium nutrition in grafted tomato. Intern. Symp. on Develop. Hort. Industry, July 2001, Taiwan. p. 28-42.
8. Chung, D. S., and Pfost Harry B. 1967. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. Part II : Development of the general isotherm equation. Transactions of the ASAE. Vol. 10 (4) : 552 - 555.
9. Glenn, T. L. 1978. Dynamic analyses of grain drying system. Ph.D. Thesis. The Ohio State University. Univ. Microfilms No. 79-15-977, Ann Arbor, MI.
10. Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agr. Eng. 33 : 29 - 31.
11. Hukill, W. V. 1947. Basic principles in drying corn and grains sorghum. Agric. Eng. 28 : 335 - 338, 340.
12. Kim, D. H. and J. M. Lee. 2000. Seed treatment for cucumber green mottle mosaic virus (CGMMV) in gourd (*Lagenaria siceraria*) seeds and its

- detection. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41(1): 1-6.
13. Lee, J. M., H. J. Bang, and H. S. Ham. 1999. Quality of cucumber fruit as affected by rootstocks. *Acta Horticulturae* 483: 117-124.
  14. Lee, J. M., and E. . Bae. 19. Seedling growth and fruit set and quality of cucumber as affected by triazole chemicals. *Acta Horticulturae* 483: 125-133.
  15. Li, Y., R. V. Morey and M. Afinrud. 1987. Thin-layer drying rates of oilseed sunflower. *Transactions of the ASAE*. Vol. 30(4) : 1172 - 1180.
  16. Misra, M. K. and D. B. Brooker. 1980. Thin-layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. *Transactions of the ASAE*. Vol. 23(5) : 1254 - 1260.
  17. Noomhorm, A. and L. R. Verma. 1986. Generalized single-Layer rice drying models. *Transactions of the ASAE*. Vol. 29(2) : 587 - 591.
  18. Page, C. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M. S. Thesis. Purdue University.
  19. Syarief, A. M., R. V. Morey, and R. J. Gustafson. 1984. Thin-layer drying rates of sunflower seed. *Transactions of the ASAE*. Vol. 27(1) : 195 - 200.
  20. Thompson, T. L. 1967. Predicted performances and optimal designs of convection grain dryers. Ph.D. Thesis, Purdue University. University Microfilms Order No. 67-10-264, Ann Arbor, MI.
  21. Thompson, T. L., R. M. Peart and G. H. Foster. 1968. Mathematical simulation of corn drying - a new model. *Transactions of the ASAE*. Vol. 30(2) : 522 - 528.
  22. Weiss Umwelttechnik Catalog. Environmental Simulation Measuring Technique.
  23. Young, J. H. 1976. Evaluation of models to describe sorption and desorption equilibrium moisture content isotherms of Virginia type peanuts. *Transactions of the ASAE*. Vol. 19(1) : 146 - 150.
  24. Yunfei Li, R. Vance Morey, and Mark Afinrud. 1987. Thin-layer drying rates of oilseed sunflower. *Transactions of the ASAE*. Vol. 30(4) : 1172 - 1175.

25. 今西英雄 外 15人. 1998. 園藝種苗生産學. 朝倉書店. p. 20.
26. 山本勉. 1975. キュウリ線班モザイク病に關する研究. 徳島農試特報 第5号 小室康雄. 1973. 野菜のウイルス. 誠文堂新光社.
27. 日本園藝學會. 1998. 新園藝學全編. pp. 265-274.
28. 中村浩·山田英一·清水達夫. 1978. ユウガオ種子の耐熱性に關與する類種要因. 野菜試報告 A. 4 : 119-147.
29. 中村浩·小林和彦·山田英一. 1981. 各種野菜種子の耐熱性について. 野菜試報告. A 8 : 33-51.
30. 고희균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 향문사
31. 고희균. 1978. 벼의 평형함수율 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지 3(2) : 62 - 68.
32. 김성은, 강충길, 이정명. 2001. SMP 처리 및 처리후 저장일수가 수박종자의 발아 및 묘 생육에 미치는 효과. 한국원예학회지 42(1):43-47.
33. 김종순. 1998. 단립종 벼의 수분흡습특성. 서울대학교 석사학위 논문.
34. 농림부 농산 51142-709 (1999. 11. 6.). 박과류의 CGMMV 종합방제대책 적극 추진.
35. 유은하. 2001. 박 종자의 발달 및 발아율 향상. 서울대학교 박사학위 논문.
36. 이정명. 1999. 첨단가공 및 종자처리에 따른 박과채소종자의 활력극대화 및 우량접목묘 양산기술 개발. 농림부 첨단농업기술개발사업연구과제 최종보고서. pp. 1-240.
37. 이정호. 1995. 마늘의 건조특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
38. 정창주, 김현래, 고희균. 1978. 농산기계학. 향문사.
39. 조용진. 1986. 고추의 건조특성과 건조모델에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문.
40. 조용진. 1991. 고추의 건조과정 모형화 및 최적화에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
41. 최병민. 1992. 인삼의 평형함수율 및 건조 모델. 전북대학교 박사학위 논문.
42. 한국종자협회. 1999. 종묘소식 1999-02호.