

발간등록번호

11-1543000-000848-01

수확 후 관리시설의 해충방제를 위한  
열-훈증-대기조성

3중 복합처리 시스템 개발

(Development of triple integrated system  
for the pest control in postharvest facilities)

(주) 캐처스

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “수확 후 관리시설의 해충방제를 위한 열-훈증-대기조성 3중 복합처리 시스템 개발”의 보고서로 제출합니다.

2015년 3월 16일

주관연구기관명 : (주) 캐처스

주관연구책임자 : 유 연 수

연 구 원 : 박 재 범

연 구 원 : 이 재 설

연 구 원 : 김 하 나

연 구 원 : 김 미 나

협동연구기관명 : 경북대학교 산학협력관

협동연구책임자 : 이 경 열

# 요 약 문

## I. 제 목

- 수확 후 관리시설의 해충방제를 위한 열-훈증-대기조성 3중 복합처리 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 수확 후 관리시설의 해충방제를 위해서 화학훈증제를 많이 사용하지만 안전성, 환경파괴, 잔류독성, 내성문제 등이 발생되고 있어 무독성, 비잔류성의 친환경 해충방제시스템의 개발이 시급한 실정이다. 본 개발과제의 최종목표는 다양한 수확 후 관리시설의 주요해충인 저장곡물 및 위생해충의 효과적인 방제를 위하여 열처리, 훈증(포스핀), 대기조성(CO<sub>2</sub>, 식용규조토)의 3중 복합처리에 의한 해충의 생리적 감수성 및 살충기작을 분석하고 이를 토대로 복합처리의 현장적용형 방제시스템을 개발하는 것이다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

- 열처리-훈증-대기조성 3중 복합처리에 대한 주요 저장곡물 및 위생해충의 살충 효능 및 생리적, 분자생물학적 작용기작 분석
- 열처리-훈증-대기조성 3중 복합처리의 작용기작 분석을 통한 최적 방제 효율 확립
- 열처리-훈증-대기조성 3중 복합처리를 이용한 주요 저장곡물 및 위생해충의 방제기술 개발
- 처리시설에 따른 방제 기술의 효능 분석 및 시설 맞춤형 현장적용 방제시스템 개발

## IV. 연구개발결과

- 주요 해충인 화랑곡나방 유충, 거릿쌀도둑거저리 성충, 어리쌀바구미 성충, 이질바퀴 성충에 대하여 열-훈증-대기조성 및 규조토의 아치사 수준의 양을 복합처리에 함으로서 시너지효과를 검정함
- 화랑곡나방 유충의 열충격유전자(heat shock protein genes)의 발현패턴에 대한 열, 포스핀, 이산화탄소, 및 규조토의 스트레스 반응을 분석해 본 결과 유전자의 발현패턴이 다양하게 나타났으므로 각 요인에 대한 세포내 작용기작이 서로 다를 것으로 판단됨
- 밀가루를 55℃조건으로 24~72시간 열처리할 경우 수분함량이 일부 감소하였으며, 또한 회분수치와 단백질 함량이 오차범위 내에서 미미하게 변화함. 제품의 품질상태에는 문제없음이 확인됨.
- 현장 시험에서 최적화된 복합처리조건은 두가지 열처리 조건(40℃, 45℃)에서 [포스핀(50ppm)+CO<sub>2</sub>(2%)+규조토(0.5mg/L)]임을 확인함
- 컨테이너 안에서 거릿쌀도둑거저리는 40℃+포스핀(50ppm)+CO<sub>2</sub>(2%)+규조토(0.5mg/L) 처리시 사멸시간이 48시간에서 12시간으로 36시간 단축되었으며, 45℃+포스핀(50ppm)+CO<sub>2</sub>(2%)+규조토(0.5mg/L) 처리시 36시간에서 9시간으로 27시간 단축되었음.
- 제분회사 안에서 거릿쌀도둑거저리 40℃+포스핀(50ppm)+CO<sub>2</sub>(2%)+규조토(0.5mg/L) 처리시 사멸시간이 60시간에서 12시간으로 48시간 단축되었으며, 45℃+포스핀(50ppm)+CO<sub>2</sub>(2%)+규조토(0.5mg/L) 처리시 36시간에서 9~12시간으로 24~27시간 단축되었음.

## V. 연구성과 및 성과활용 계획

○ 논문(SCI급 논문 4건) 및 특허(1건), 인력양성(1인) 등 우수한 연구성과를 얻었으며, 이를 바탕으로 참여기업에서는 개선된 현장기술을 바탕으로 기존 제분회사에서 식품회사 등 산업체 전분야로 친환경적인 해충방제 기술인 열-훈증-대기조성 3중 복합처리 시스템을 확대 사업화할 계획임

# SUMMARY

## I. Title

- Development of triple integrated system for the pest control in postharvest facilities

## II. Objective

- Chemical fumigants have been used for the control of stored-product pest insects, but its use has been restricted due to the safety on health and environment, and increased resistance. Our object is to develop improved alternative techniques using the combination of heat-phosphine-carbon dioxide-diatomaceous earth (DE) for the control of stored-product pests. We analyzed the physiological mechanism of the triple integrated system and determined those control efficacy in the various facilities which used for the storage and management of agricultural products.

## III. Experiments

- Analysis of the control efficacy and the physiological and molecular mechanism of the combined treatments of heat-phosphine-carbon dioxide-DE on stored-product insects
- Determination of the optimum control system of the combined treatments on the basis of the results of different combination of heat-phosphine-carbon dioxide-DE
- Development of control techniques of stored-product and sanitary pests using the combined treatments of heat-phosphine-carbon dioxide-DE
- Development of practical application systems of the combined treatments in various facilities which used for the storage and management of agricultural products

## IV. Results

- The combined treatments of sublethal levels of heat-phosphine-carbon dioxide-DE induced synergistic effects on the mortalities of *Plodia interpunctella*, *Tribolium castaneum*, *Sitophilus zeamais*, and *Periplaneta americana*.
- Gene expression analysis of the heat shock protein genes of the wandering larvae of Indianmeal moth indicated that stress responses of each element was different each other.
- There is no quality problem, when the heat treatment to 55°C in flour.
- The optimum conditions of the combined treatments for the practical field application were the combination of 50ppm Phosphine, 2% CO<sub>2</sub>, 0.5mg/L DE at either 40 °C or 45 °C.
- The control efficacy in the storage container showed that complete mortality of *Tribolium castaneum* was within 12 h and 9 h post-treatments at 40 °C and 45 °C, respectively.
- The control efficacy in the mill facility showed that complete mortality of *Tribolium castaneum* was within 12 h and 9–12 h post-treatments at 40 °C and 45 °C, respectively.

## V. Future plans

- Outcome of this research was publication of 4 SCI-level papers and 1 domestic patent, and financial support of 1 graduate student for her master degree. The results of this research, the combined treatments of heat-phosphine-carbon dioxide-DE, can be used for the practical application of stored-product pest insects in various facilities which used for the storage and management of agricultural products.

# CONTENTS

## (영 문 목 차)

Chapter 1	Objective
Chapter 2	The present state of the technology
Chapter 3	Experiments
Chapter 4	Achievement and contribution
Chapter 5	The research result and its use
Chapter 6	Foreign technical information collected in this research
Chapter 6	References

# 목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요.....	1
제 2 장	국내외 기술개발 현황.....	9
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과.....	11
제 1 절	저장곡물해충 열-훈증-대기조성 농도별 살충력 조사.....	11
제 2 절	열-훈증-대기조성 3중복합처리에 대한 해충의 생리적 감수성 분석.....	32
제 3 절	열처리시 밀가루 변성조사.....	51
제 4 절	현장적용 저장곡물해충 살충력 조사.....	56
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도.....	76
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획.....	77
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....	79
제 7 장	참고문헌.....	80

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

가. 열처리시스템은 해충 방제공간의 온도를 50~60℃로 유지하면서 실내의 유해 생물 및 해충을 방제하는 것으로써 기존의 고독성 화학약품 방제방법을 대체할 차세대 친환경 방제 기술이다.

나. 기존 열처리시스템의 핵심적 기술개발의 목표는 온도를 50~60℃로 유지함에 따른 열민감 장비의 기기 이상발생과 에너지 사용에 따른 비용적임 부담 감소와 또한 약 24~48시간 정도의 해충 치사온도 유지에 따른 에너지 및 인력 비용을 최소화하는 것이다.

다. 본 개발과제의 주요 핵심기술은 식품회사 열민감 장비의 안정성 확보를 위한 낮은 온도(45~50℃) 열처리 기술 개발 및 비용절감을 위한 방제시간의 단축을 위해서 저곡해충의 온습도에 대한 생리적 이해 및 대기압, 풍속(열전달), 식용규조토, CO<sub>2</sub>, PH<sub>3</sub> 등의 다양한 활용기술을 개발하는 것이다. 이를 통하여 어떠한 환경적 조건에서도 가장 최적화된 고효율 열처리시스템을 개발하는 것이다.

### 2. 연구개발의 필요성

가. 최근 인터넷의 발전과 소비자 참여의 증가로 식품 제품의 해충 클레임에 대한 관심이 폭발적으로 증가하고 있으며, 또한 생산 업체의 해충 방제에 대한 고민이 지속적으로 증가하고 있다. 식품에 해충이 발생하거나 혼입될 경우 소비자계에 혐오감을 줄뿐만 아니라 회사의 이미지 하락에 심각한 영향을 준다.

나. 국내 식품회사 및 제분회사의 제분(밀가루, 쌀가루, 옥수수가루, 전분류 등) 원료 보관 및 제품생산 공정의 경우 저곡해충에 의한 피해가 심각한 실정이며, 이들을 방제하기 위해서 훈증제를 이용한 훈증소독이 주로 사용되고 있다. 여기서 사용되는 훈증제는 인화늄(PH<sub>3</sub>)과 브롬화메틸(methyl bromide)을 주로 사용하고 있다.

다. 훈증약제들은 안정성, 환경파괴, 잔류농약문제, 중복사용으로 인한 내성문제 등으로 점차 규제가 확대될 예정인데 브롬화메틸의 경우 “몬트리올 의정서” 이행에 따라 선진국은 2005년부터 사용이 금지되었으며, 개발도상국가도 2015년부터 규제를 할 예정이다.

라. 인화늄은 취급이 간편하고 성충에 대한 방제 효과는 좋은 장점이 있으나 알에 대한 방제 효과는 미흡하며, 가스를 이용한 살충작용으로 시설 전체를 밀폐하여야 하는 어려움이 있

고 시간도 약 72시간 정도 소요되어 설비전체를 대상으로 하기에는 어려움이 많다. 또한 설비 내부 구리성분의 부식에 의한 장비 오작동 유발 및 작업자 안정성 문제가 우려된다.

마. 소비자의 먹거리에 대한 의식수준이 최근 지속적으로 높아짐에 따라서 무독성, 비잔류성의 친환경 해충방제시스템의 개발이 시급한 실정이다. 열처리의 장점은 해충의 모든 성장 단계인 성충, 유충, 알, 번데기에 방제 효과가 우수하여 해충 재발생 기간이 긴 것이며, 또한 제분 및 식품회사 설비 및 구조 내부 서식 해충에 대한 동시 방제가 가능하다. 작업자의 상시 출입에 의한 현장 확인가능 및 사일로등 별도 구획방제가 가능하며, 곰팡이 등 유해세균 감소기능 및 클리닝작업 편리도 있다.

바. 화학물질을 이용한 해충방제의 문제점을 극복하기 위하여 국외에서는 열처리 방법을 이용한 친환경 해충방제에 대한 연구가 20년 전부터 활발히 진행되어져 왔으며, 그 결과 대다수의 제분 공장을 비롯한, 식품공장, 호텔 및 가정집(Bed bugs 및 집먼지 진드기 등)에까지 널리 이용되고 있으나, 일부 고온의 열처리로 인한 방제공간 내 열민감장비의 오작동 등의 문제점도 나타나고 있다.

사. 열처리 해충방제의 문제점을 보완하고 화학적 해충방제 적용 수준을 획기적으로 낮출 수 있는 활용 가능한 해충방제법의 복합처리시스템에 관한 조속한 연구가 이루어져 국내 식품회사, 사일로, 저장창고, 수출입 컨테이너 등과 같은 다양한 수확 후 관리시설에 대한 효율적인 관리의 필요성이 있다.

### 3. 기술개발 선행연구

가. 2010년부터 당사는 열처리시스템의 연구개발을 통해 2011년 “열풍방제시스템 및 그의 운용방법(출원번호 10-2011-0095466, 2011. 09. 21)”를 특허출원 하였다.

○ 본 발명은 열풍 방제 시스템 및 그의 운용방법에 관한 것으로, 건물의 내부에 고온의 열풍을 발생시켜 실내의 유해 생물 및 해충을 방제하기 위하여 기존의 고독성 화학약품을 사용하지 않고, 무독, 무해하며 화학적 방제보다 뛰어난 방제효과를 도모할 수 있는 해충(미생물 포함) 방제 시스템 및 그의 운영방법에 관한 것이다. 열풍방제의 원리는, 유해 생물체 내의 단백질 성분이 45℃ 이상에서 응고하기 시작하는 성질을 이용하는 것으로, 해충의 성충, 유충, 그리고 알들은 모두 약 50℃의 온도가 일정시간 지속될 경우 체온이 상승하여 단백질이 응고되고 유해 생물체는 사멸하게 되는 특성을 이용한 것이다. 본 발명의 또 다른 목적은, 무선 온도 시스템을 설치하여 실내의 온도 변화를 실외에서 측정 및 감시할 수 있도록 하므로, 온도 감시 및 측정이 외부에서 이루어지고, 이에 따른 작업자의 실내 출입을 최소화함에 따라 불필요한 열손실을 방지하도록 하는 열풍방제시스템 및 그의 운용방법에 관한 것이다.

○ 현장적용 방제단계

구분		작업내용
1단계	준비작업	장비 반입 및 배치, 열민감장비 해체
	예비/점검	무선온도시스템 가동, 밀폐작업, 공시충 투입
2단계	열풍기가동	무선온도시스템 실시간 온도모니터링 , 밀폐 확인, 전기열풍기 점검 & 풍향 조정, 공시충 사멸 & 현장내부 사충 확인
3단계	개방작업	밀폐 제거, 장비회수, 공시충 & 현장내부 방제결과 확인

① 예비작업단계 (밀폐 및 열민감장비 단열작업)



열민감장비 단열작업



밀폐 작업

② 열풍기 가동 단계 (온도유지 및 해충사멸)



열풍기 가동



배전함안 열기 밀폐확인



공시충 투입



실시간 온도확인



무선온도시스템



송풍기

③ 개방단계 (해충사멸확인 및 수거, 장비회수)



저곡해충 사멸 확인

캐처스 전기형 열방제시스템 사진자료



전기형열풍기(CEH1800)



제분회사 방제현장(전기형열풍기)



전력 분전함



열방제 후 사멸한 거저리 해충

캐처스 오일형 열방제시스템 사진자료



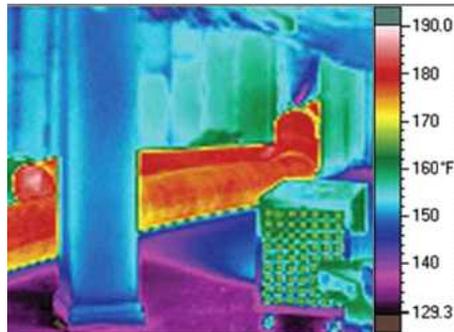
오일형열풍기(COH100)



열풍이송덕트



식품회사 방제현장(오일형)



열풍이송(열화상카메라)

캐처스 무선온도모니터링 시스템 사진자료



무선온도수신기 및 모니터링



무선온도측정송신기



적외선 표면온도측정기



온습도기록계(데이터로그)

나. 2011년 당사 제분공장 현장 시험 결과

(1) 밀가루 깊이별 해충 사멸률 조사

직경 20cm 유리용기에 밀가루를 2cm, 5cm, 10cm(2반복)로 달리 채우고 거짓쌀도둑거저리를 성충 20마리, 유충 20마리를 각각 투입 후 45시간 열처리 실시 후 사멸률 조사함

구분		2cm		5cm		10cm	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
사충수 (마리)	성충	20	20	20	20	20	20
	유충	20	20	20	20	20	20
사멸률(%)		100	100	100	100	100	100

(2) 열처리 시간별 해충 사멸률 조사

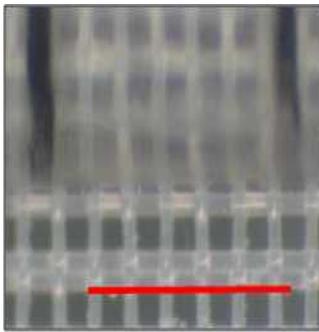
직경 9cm Cage에 밀가루를 2.5cm 채우고 거짓쌀도둑거저리를 성충 10마리, 유충 10마리를 각각 투입한 후 열처리를 실시하여 노출시간을 3, 6, 9, 12h으로 달리하여 사멸률 조사함

구분		열노출시간(h)			
		3h	6h	9h	12h
사충수 (마리)	성충	0	1	10	10
	유충	0	2	10	10
사멸률(%)		0	15%	100%	100%
평균온도(℃)		38	45	52	55

(3) 제분 분리용 시브 및 시브 접착제 내열성 조사

열처리 45시간 동안 시브의 체 간격(Mesh) 변화는 없음

시브 접착제는 구형의 경우 열 15시간부터 변형되며, 신형은 변화가 없음



100mesh(1mm)



구형 시브 접착제



18mesh(1cm)



신형 시브 접착제(Axia)

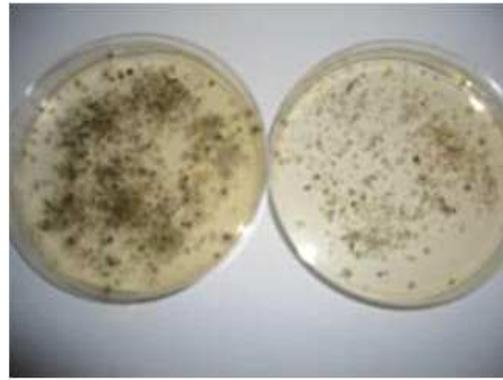


(4) 사무용 전자장비의 내열성 조사

열처리(50~60℃, 48h) 이후에도 부품에 이상 없으며, 정상 작동 확인



(5) 열을 이용한 위생관리(곰팡이) 효과 조사  
열처리(50~60℃, 48h) 이후 곰팡이 감소 효과 확인



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. 국내 관련기술 현황

- 가. 2005년 고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부 연구팀은 Korean J. Appl. Entomol. 44(1)에 제분시설에서의 화랑곡나방의 고온방제에 대한 연구결과를 발표하였으며, 2005년 대선제분주식회사는 식품과학과 산업 6월호에서 제분공장에서의 열을 이용한 해충 방제에 대한 활용을 발표하는 등 관련 연구가 상당히 미흡하다.
- 나. 국내 열처리 특허기술로는 대선제분주식회사에서 2001년 독일 ThermoNox GmbH Corp. 전기열풍기를 모방하여 고온열풍살충기에 대한 실용신안을 등록한 상태이며, 국내의 일부 중소기업에서는 열매체 가열형 온풍기를 특허등록하여 해충방제에 사용하였다.
- 다. 또한 2001년부터 대선제분주식회사에서 독일 ThermoNox GmbH Corp. 전기열풍기를 수입하여 매년 수차례 공장 전체에 대한 열처리가 이루어지고 있으며, 그 이후 삼양밀맥스, 동아제분, CJ 양산공장, 농심 아산공장 창고 등의 소규모 공간에 대해서 시험방제가 이루어졌다.
- 라. 본격적인 국내 열풍방제는 당사에 의해서 지난 2011년부터 진행되었으며, 방제 실적으로는 동아제분(부산공장, 1~6층) 3회, 삼화제분(인천공장, 1~5층) 1회, SPC(평택공장, 제분 Silo 2기) 2회, 태경농산(대구공장, 건파 Silo 2기) 1회, 동서식품(진천공장, 시리얼 생산라인 4층) 1회, 영남제분(부산공장, 1~3층) 1회를 수행하였다.

### 2. 국외 관련기술 현황

- 가. 열처리의 역사는 지난 1762년 프랑스에서 나방류 방제를 위하여 식품공장 내부를 69℃에서 3일 동안 열처리한 것부터 시작되며, 그 이후 1860년 영국에서 57℃로 곡물방제에 적용한 사례와 1910년 미국에서 제분공장에서 열풍방제를 도입한 사례가 알려져 있다. 또한 1920년 미국에서 약 30개 제분회사가 열풍방제를 실시한 기록이 있다. 그러나 1932년 프랑스에서 브롬화메틸(Methyl bromide)와 같은 훈증살충 방제가 도입되는 등 추가적인 화학살충제의 개발 및 확산이 이루어졌다. 그러나 안전한 먹거리에 대한 요구와 환경피해로 인하여 훈증 및 화학살충제에 대한 나쁜 인식과 규제가 강화되면서 1990년부터 미국, 캐나다, 독일, 영국을 중심으로 친환경 열처리 기술 개발과 활용이 증가하고 있다.
- 나. 또한 최근 미국 동부지역을 중심으로 숙박업소 및 일반가정을 중심으로 인체에 직접적으로 흡혈에 의해서 해를 미치는 Bed bugs가 확산되면서 심각한 사회 문제가 되었으며, 이를 방제하기 위한 친환경방제 방법으로 열처리가 성공적으로 활용되고 있다.

[www.thermalremediation.com](http://www.thermalremediation.com)

- 다. 독일의 ThermoNox GmbH Corp.에서는 전기식 열풍기를 이용하여 건물내부의 공기온도를 가열 시키는 것을 기본으로 하는 ThermoNox system을 개발하여 제분공장을 비롯한 식품 공장, 호텔객실, 가정집에까지 널리 보급되어 사용되고 있다. [www.thermonox.de](http://www.thermonox.de)
- 라. 1992년 캐나다의 농업 연구소에서 고온을 이용한 저장곡물해충 및 진드기의 방제에 대한 연구결과를 발표하였으며, 2003년 켄자스주립대학교의 Department of Entomology 및 Department of Grain Sciences and Industry 연구팀은 Journal of Stored Products Research 39에 거저리류에 대한 제분공장의 열처리시 온도와 습도의 변화와 해충의 영향과 2005년 Comparative Biochemistry and Physiology A141에 거저리류 유충에 대해서 열 쇼크 유전자의 발현에 대한 연구 등 다수의 연구결과를 발표하였다.
- 마. 해충방제에 활용되는 규조토는 해충의 몸에 흡착되어 체벽에 손상을 입히고 결국 수분손실로 해충을 죽게 하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 규조토를 저곡해충 열풍방제에 활용한 연구는 지난 2002년 미국 농림성에서 Journal of Stored Products Research 38에 발표하였으며, 또한 그리스 아테네농업대학교에서도 규조토가 거저리에 대해 살충효과를 가진다는 연구결과를 2004년 Crop Protection에 발표하였다. 이 경우 거저리살도둑거저리의 살충활성에 미치는 다양한 인자를 조사한 결과, 유충과 성충 모두 규조토 노출간격과 처리량을 늘릴수록 치사율이 증가하였고 성충보다 유충이 규조토에 대해 더 민감함을 확인하였다.
- 바. 저곡해충은 고농도 탄산가스에 노출시 마비가 일어나고 교미빈도, 산란율과 우화율이 떨어진다. 또한 기문이 열려 수분증산 억제력이 무너지고 중추신경 이온의 불균형이 유도되어 사망한다. 이와 관련된 최근의 연구로는 지난 2006년 국내에서 저곡해충인 거저리살도둑거저리와 화랑곡나방 방제에 CO<sub>2</sub>를 활용한 연구가 Korean J. Appl. Entomol. 45(3)에 발표되었으며, 또한 CO<sub>2</sub>와 CO를 혼합 처리할 경우 살충 개선효과 연구도 2009년 Journal of Stored Products Research 45에 발표되었다.
- 사. H. H. Lu는 지난 2011년 Micron 42에 저곡해충의 열처리시 마이크로파를 함께 투입할 경우 해충의 방제 효과가 개선됨을 발표하였으며, 또한 David K. Mueller는 지난 1995년 US Patent 5,403,597에서 PH<sub>3</sub> 훈증살충 효과를 개선시키기 위해서 CO<sub>2</sub>를 4-10% 정도 첨가할 경우 살충효과가 개선됨을 발표하였다.

## 제 3장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1절 저장곡물해충 열-훈증-대기조성 농도별 살충력 조사

#### ○ 저곡해충선정

1. 거릿쌀도둑거저리 (*Tribolium castaneum*) 성충
2. 어리쌀바구미 (*Sitophilus zeamais*) 성충
3. 이질바퀴 (*Periplaneta americana*) 성충(무게: 800mg~1000mg)
4. 화랑곡나방 (*Plodia interpunctella*) 유충(5령 Wandering)

저곡해충 4종 모두 (주)캐처스에서 온도: 27~31도, 습도: 50~60% (온도 30도, 습도 60% 권장)로 계대 사육하여 사용하였다. 거릿쌀도둑거저리는 먹이로 밀가루, 이스트, 콩가루, 비타민 (75:15:8:2)의 혼합물을 만들어 플라스틱 케이스에 넣어서 사육하였으며, 어리쌀바구미는 쌀을 먹이로 사용하고 긴 유리병에 넣어 사육하였다. 이질바퀴는 가축용사료를 먹이로 원형 케이스에 넣어 사육하였고 화랑곡나방은 먹이로는 쌀겨, 화분, 꿀 (50:50:5) 배합으로 플라스틱 케이스에 사육하였다. 해충별로 열 저항성이 가장 강한 단계로 실험을 실시하기 위해 거릿쌀도둑거저리 성충, 어리쌀바구미 성충, 이질바퀴 성충(무게: 800mg~1000mg), 화랑곡나방의 5령 방황기 유충을 사용하여 실험하였음.



< 저곡해충 >

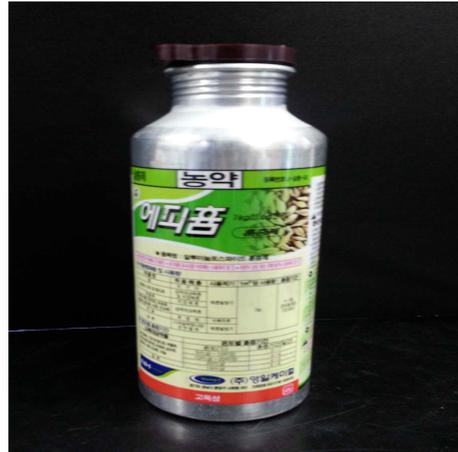
○ 실험처리균 선정

1. 온도 (Incubator)
2. Phosphine ( $\text{PH}_3$ )
3. 이산화탄소 ( $\text{CO}_2$ )
4. Diatomaceous earth (DE)

온도는 WiseCube(R)WIG Incubators을 사용하였으며 포스핀은 (주)농협캐미컬에서 ‘에피흙’ 제품을 구입하여 사용하였고 이산화탄소는 대한표준가스에서 봄베에 넣어 제공한 이산화탄소를 사용하였다. 규조토는 (주)상록물산에서 수입 판매하는 제품명 ‘퍼마가드 에프에스-애그’(Perma-Guard™, Inc.)를 사용하였음.



인큐베이터(WiseCube(R)WIG)



포스핀(에피흙)



이산화탄소(대한표준가스)



규조토(퍼마가드)

○ 살충력 실험방법

온도, 훈증, 대기조성의 각 처리와 온도-훈증-대기조성 복합처리에 대한 주요 저장곡물 및 위생해충의 살충효과를 보기위해 1L 테들라 비닐팩에 거짓쌀도둑거저리 성충, 어리쌀바구미 성충, 화랑곡나방 유충을 각각 10마리씩, 그리고 이질바퀴 성충 5마리씩 투입 후 PH<sub>3</sub> (0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm), CO<sub>2</sub> (0, 2, 5, 10, 20, 40, 50, 60, 100%), DE (0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L) 범위에 농도를 달리 각각 처리하여 밀봉한 후 incubator(40, 45, 50, 55, 60, 65, 70℃)에 넣어서 살충효과(LT100)를 시간별로 측정하여 조사 하였다. 또한 Drager x-am 7000를 사용하여 PH<sub>3</sub>와 CO<sub>2</sub>의 농도를 조절하여 실험에 사용하였음. 특이적으로 포스핀가스의 경우 에피흙 정제알갱이를 아크릴케이지 안에 두어 공기와 반응을 일으키면 포스핀가스가 나오는데 이것을 1L 점보실린더를 이용하여 가스를 희석하여 적용하였다. 살충조사는 핀셋으로 해충을 건드렸을 때 반응이 없거나 다리만 살짝 움직이는 것을 사멸한 것으로 간주하였다.



대표 저곡 및 위생해충



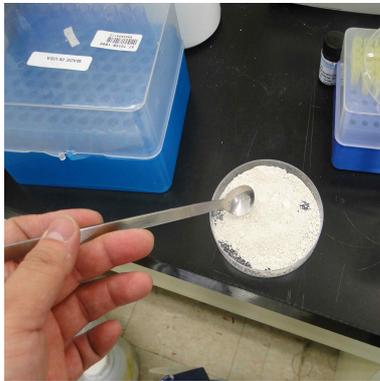
거짓쌀도둑거저리 사육



에피흙(포스핀가스발생)



이산화탄소



글루코토



1L 점보실린더



Dräger x-am 7000



실험개체 온도적용

○ 저곡해충 및 위생해충의 발달단계에 따른 온도 감수성 분석

본 연구에서 시험한 주요 저장곡물 해충은 화랑곡나방, 어리쌀바구미, 거짓쌀도둑거저리이다. 이 해충들은 저장곡물, 제분 및 다양한 가공식품 등에도 많이 발생하는 해충으로서 농작물의 습식하는 직접적 피해뿐만 아니라 실크 및 배설물 등을 분비함으로써 곰팡이의 발생을 유도하여 농작물을 부패시키는 등 이차적인 피해를 끼친다. 또한, 가공식품의 포장재를 가해하여 저장, 유통 및 판매과정에서 상품의 파손 및 오염을 유발하여 경제적 피해를 끼친다.

거짓쌀도둑거저리와 어리쌀바구미 발달단계별 온도감수성은 성충, 번데기, 유충 순서로 높았으며, 이질바퀴의 경우 몸집이 작을수록 온도감수성이 높았다. 화랑곡나방의 경우 유충단계에서 온도감수성이 가장 낮았다. 하지만 본 연구에서는 온도감수성이 아닌 해충별로 주로 피해를 끼치는 발달단계를 대상으로 시험하였다. 화랑곡나방은 유충단계, 어리쌀바구미는 성충단계, 거짓쌀도둑거저리 성충단계를 선별하여 시험하였다.

< 거짓쌀도둑거저리 발달단계별 온도감수성 조사>

{Mortality(%)}

발달단계	40℃			
	12hr	24hr	36hr	48hr
유충	10	30	70	100
번데기	60	90	90	100
성충	40	100	100	100

< 어리쌀바구미 발달단계별 온도감수성 조사>

{Mortality(%)}

발달단계	40℃	
	12hr	24hr
유충	20	100
번데기	40	100
성충	100	100

< 이질바퀴 발달단계별 온도감수성 조사>

{Mortality(%)}

발달단계	40℃	
	12hr	24hr
약충(100~300mg)	0	50
약충(400~700mg)	0	15
성충(800~1000mg)	0	0

< 화랑곡나방 발달단계별 온도감수성 조사>

{Mortality(%)}

발달단계	40℃	
	12hr	24hr
알	100	100
유충(5령 방황기)	10	25
성충	100	100

○ 저곡해충의 단일처리시 살충효과 분석

1. 거릿쌀도둑거저리

가. 온도에 따른 영향

거릿쌀도둑거저리 성충을 40℃에서 70℃까지 5℃ 간격으로 증가하면서 살충율을 분석하였다. (아래 그림 A). 40℃에서는 48시간까지 죽지 않고 생존하고 있었으나 45℃에는 24시간, 50℃부터는 1시간 안에 모든 개체수가 사멸했다.

나. PH<sub>3</sub>에 따른 영향

상온에서 거릿쌀도둑거저리에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 투여한 다음 아래 그림 (B)와 같이 살충효과를 나타내었다. PH<sub>3</sub> 농도가 높아짐에 따라 살충효과가 서서히 증가했다.

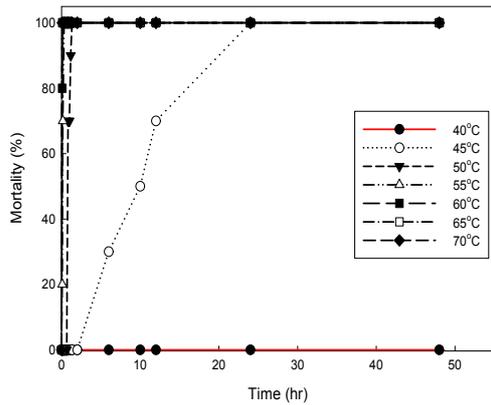
다. CO<sub>2</sub>에 따른 영향

상온에서 거릿쌀도둑거저리에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60, 100%가 되게 투여한 다음 아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. CO<sub>2</sub>가 100%일 때 높은 살충효과를 보였으나 0~20%까지는 살충효과가 없었으며 40~60%에는 미비한 살충효과를 확인 할 수 있었다.

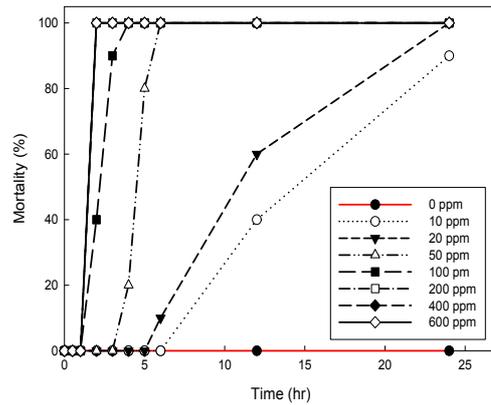
라. DE에 따른 영향

상온에서 거릿쌀도둑거저리에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (D)와 같이 살충효과를 나타내었다. 농도가 높아짐에 따라 살충효과가 서서히 증가했다.

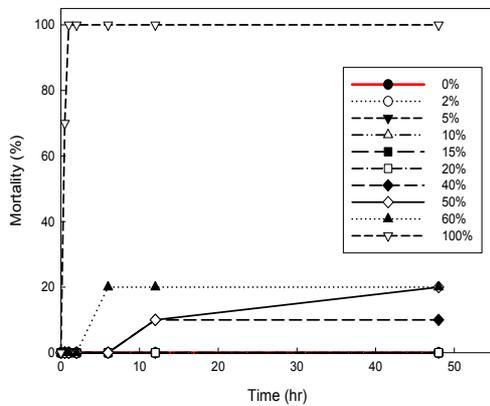
(A)



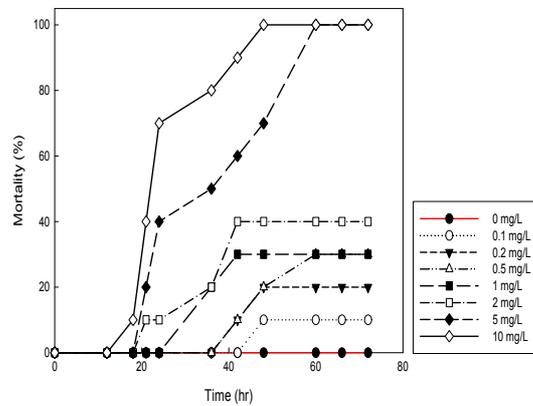
(B)



(C)



(D)

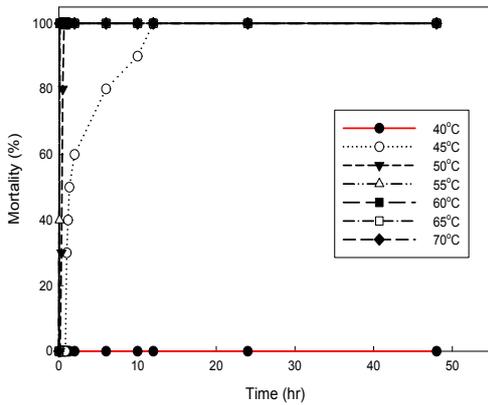


아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. 0~60%까지 농도가 증가하면서 서서히 사멸속도가 높아지다 100%일 때는 2시간 만에 모든 개체수 사멸하면서 살충효과가 높음을 확인 할 수 있다.

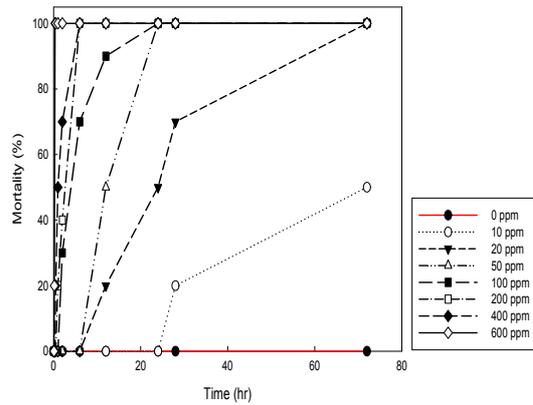
라. DE에 따른 영향

상기와 같이 어리쌀바구미에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (D)와 같이 살충효과를 나타내었다. 0.5 mg/L까지는 살충효과가 나타나지 않다가 그 이후 농도에서는 서서히 사멸이 진행이 되나 그 효과는 미비하다고 볼 수 있다.

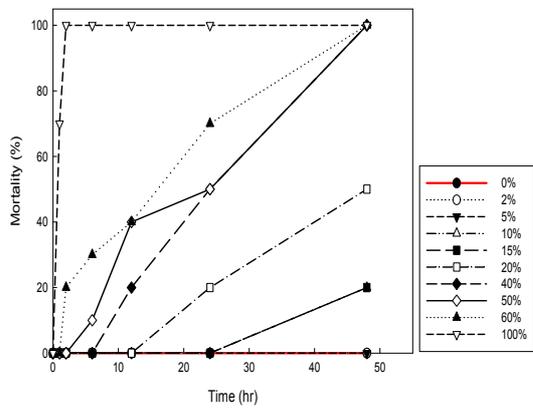
(A)



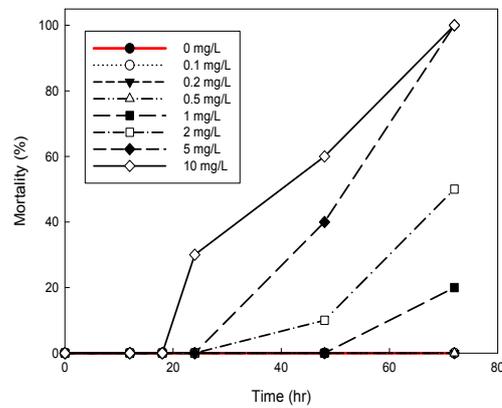
(B)



(C)



(D)



< 어리쌀바구미의 단일처리시 살충효과 >

### 3. 이질바퀴

#### 가. 온도에 따른 영향

상기와 같이 이질바퀴를 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70°C에서 아래 그림 (A)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸속도가 급격하게 빨라지는 모습을 볼 수 있다. 이것은 이질바퀴가 온도에 대해 민감하게 반응한다고 볼 수 있다.

#### 나. PH<sub>3</sub>에 따른 영향

상기와 같이 이질바퀴에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 처리한 다음 아래 그림 (B)과 같이 살충효과를 나타내었다. 10 ppm에서는 살충효과가 나타나지 않다가 20 ppm에서 72간, 50~200 ppm에서 24간, 400~600 ppm에서는 6시간으로 사멸속도가 빨라졌다. 그 결과 농도가 높아짐에 따라 살충효과가 높아진다고 할 수 있다.

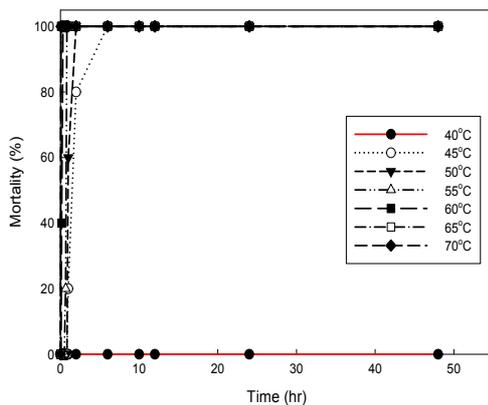
#### 다. CO<sub>2</sub>에 따른 영향

상온에서 이질바퀴에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60, 100%가 되게 처리한 다음 아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. 농도가 높아짐에 따라 사멸속도도 빨라짐이 확인되고 살충효과가 있다고 볼 수 있다.

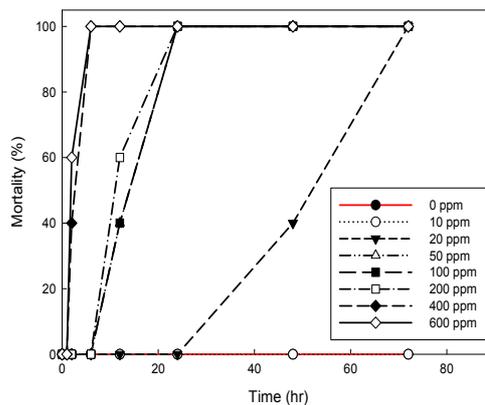
#### 라. DE에 따른 영향

상기와 같이 이질바퀴에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (D)와같이 살충효과를 나타내었다. 0~1 mg/L까지 살충효과가 나타나지 않으나 2 mg/L에서 40% mortality 보이다가 5 mg/L에서 24시간, 10 mg/L 12시간 사멸속도가 빨라짐에 따라 살충효과가 높아짐을 확인 할 수 있다.

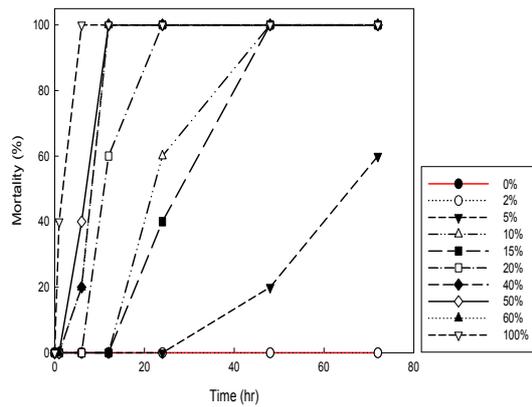
(A)



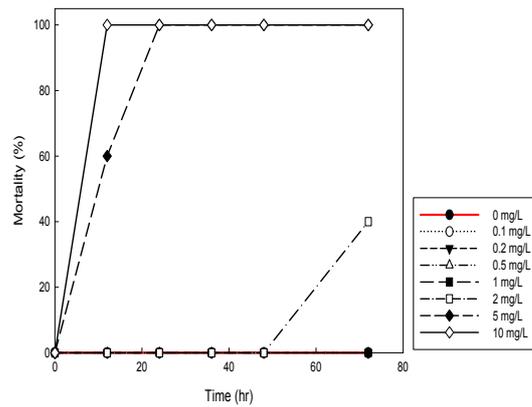
(B)



(C)



(D)



< 이질바퀴의 단일처리시 살충효과 >

#### 4. 화랑곡나방

##### 가. 온도에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방을 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70°C에서 아래 그림 (A)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸속도가 급격하게 빨라지는 모습을 볼 수 있다. 그 결과 화랑곡나방이 온도에 대해 민감하게 반응한다고 볼 수 있다.

##### 나. PH<sub>3</sub>에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 처리한 다음 아래 그림 (B)와 같이 살충효과를 나타내었다. 20ppm까지는 살충효과가 없으나 이후 농도가 높아질수록 사멸속도가 빨라지므로 살충효과가 높음을 확인 할 수 있다.

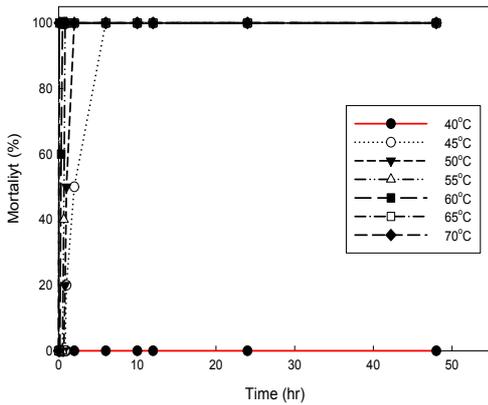
##### 다. CO<sub>2</sub>에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60, 100%가 되게 투여한 다음 아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. CO<sub>2</sub>가 100%일 때 높은 살충효과를 보였으나 60% 농도에서 40% 살충율로 미비한 살충효과를 보이며 다른 농도에서는 살충효과가 없었다.

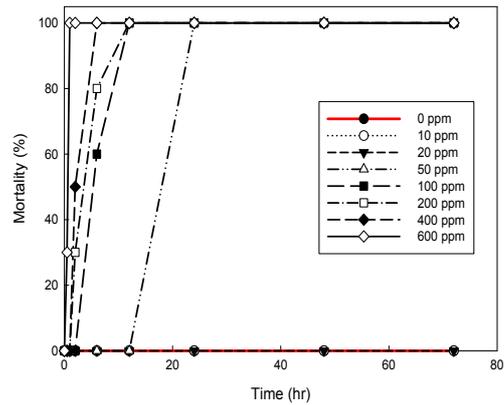
##### 라. DE에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (D)와같이 살충효과를 나타내었다. 0~1 mg/L까지는 사멸이 일어나지 않았으며 이후 농도가 높아져도 약간의 사멸만을 보여 살충효과가 미비하다고 볼 수 있다.

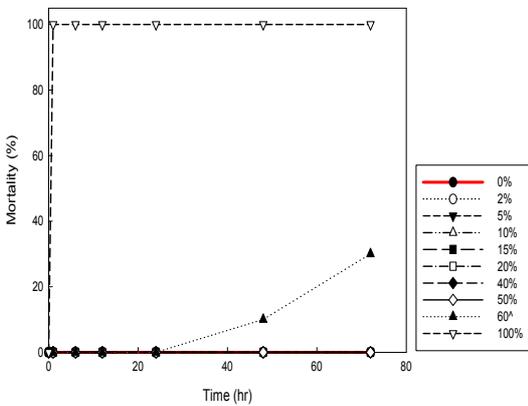
(A)



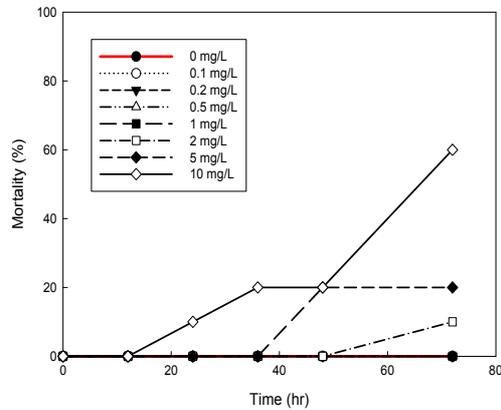
(B)



(C)



(D)



< 화랑곡나방의 단일처리시 살충효과 >

○ 온도(45°C) 및 처리군(PH3, CO2, DE) 각각 추가 처리시 살충효과

1. 거짓쌀도둑거저리

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

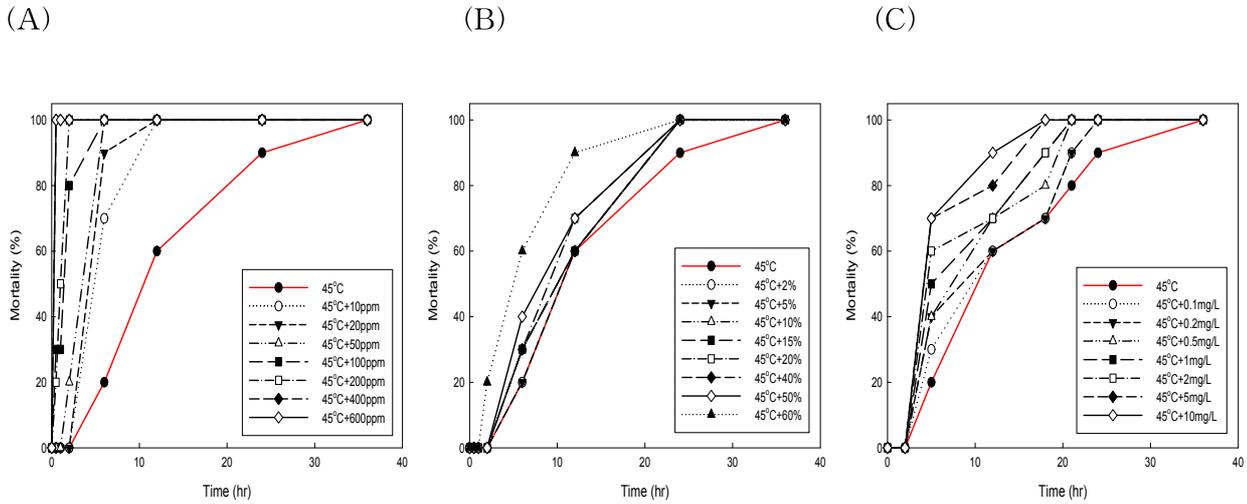
45°C에서 거짓쌀도둑거저리에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 처리한 다음 아래 그림 (A)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 농도가 높아질수록 사멸시간이 급격히 단축되므로 살충효과가 크다고 할 수 있다.

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 거짓쌀도둑거저리에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60%가 되게 투여한 다음 아래 그림 (B)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간이 36hr에서 24hr로 줄어들기는 하였으나 살충효과는 미비하다고 할 수 있다.

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 거릿쌀도둑거저리에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. DE 농도가 높아질수록 서서히 사멸시간이 단축되는 모습을 볼 수가 있다.



< 거릿쌀도둑거저리의 복합처리(45°C+처리군) 영향에 따른 살충효과 >

## 2. 어리쌀바구미

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

상기와 같이 어리쌀바구미에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 처리한 다음 아래 그림 (A)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간이 24hr에서 10~30min으로 급격하게 빨리진 것을 확인할 수 있다. 그 결과 살충효과가 아주 높다고 사료된다.

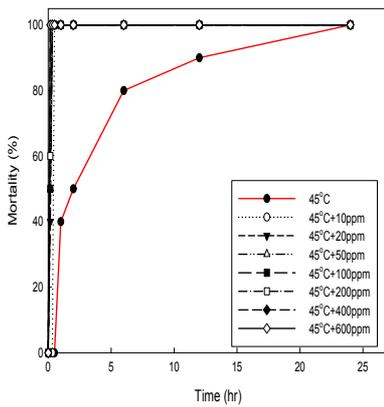
나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

상기와 같이 어리쌀바구미에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60%가 되게 투여한 다음 아래 그림 (B)와 같이 살충효과를 나타내었다. CO<sub>2</sub> 농도가 15%까지 사멸속도가 빨라지다가 그 이후 농도에서는 유지되는 모습을 볼 수 가있다.

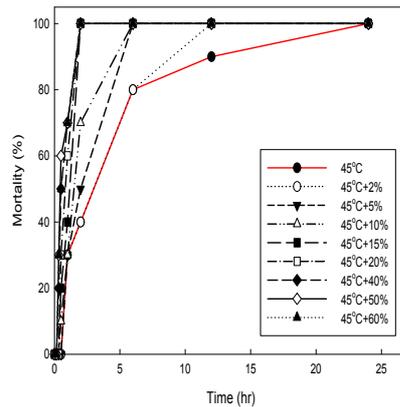
다. 45°C+DE에 따른 영향

상기와 같이 어리쌀바구미에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (C)와같이 살충효과를 나타내었다. DE 농도가 1 mg/L까지는 살충효과가 보이지 않다가 2~10 mg/L 농도에서는 사멸속도가 6hr 앞당겨져서 살충효과를 보인다.

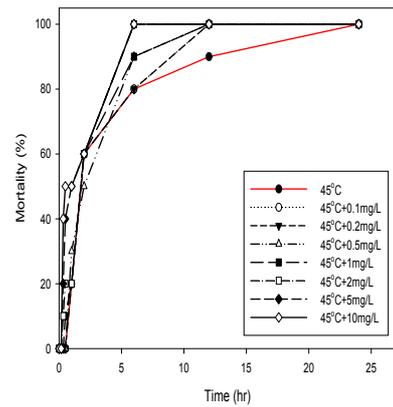
(A)



(B)



(C)



< 어리쌀바구미의 복합처리(45°C+처리군) 영향에 따른 살충효과 >

### 3. 이질바퀴

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

상기와 같이 이질바퀴에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 처리한 다음 아래 그림 (A)와 같이 살충효과를 나타내었다. 농도가 높아질수록 사멸속도가 6hr에서 20min으로 빨라지므로 살충효과가 높다고 할 수 있다.

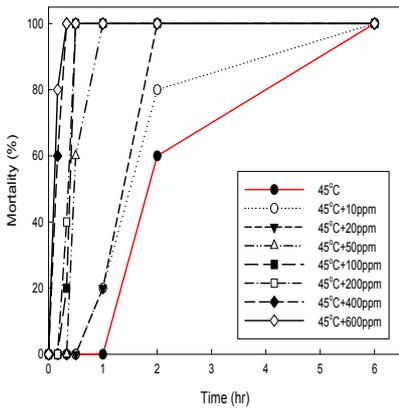
나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

상기와 같이 이질바퀴에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60%가 되게 투여한 다음 아래 그림 (B)와 같이 살충효과를 나타내었다. PH<sub>3</sub> 처리한 것과 마찬가지로 농도가 높아질수록 사멸속도가 6hr에서 20min으로 빨라지므로 살충효과가 높다고 할 수 있다.

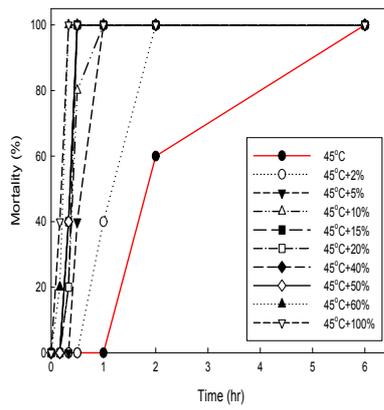
다. 45°C+DE에 따른 영향

상기와 같이 이질바퀴에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. DE 농도가 0.2 mg/L까지는 살충효과가 없다가 0.5 mg/L 농도부터는 6hr에서 1hr로 사멸시간이 앞당겨진 것을 확인할 수 있다. 그 결과 살충효과가 있다고 볼 수 있다.

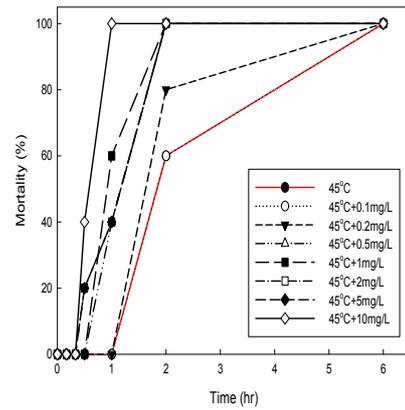
(A)



(B)



(C)



< 이질바퀴의 복합처리(45°C+처리균) 영향에 따른 살충효과 >

#### 4. 화랑곡나방

##### ① 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방에 PH<sub>3</sub>를 0, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600ppm이 되게 처리한 다음 아래 그림 (A)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 처리균 농도가 높아질수록 사멸속도가 단계적으로 빨라진다. 그 결과 살충효과가 있음을 확인할 수 있다.

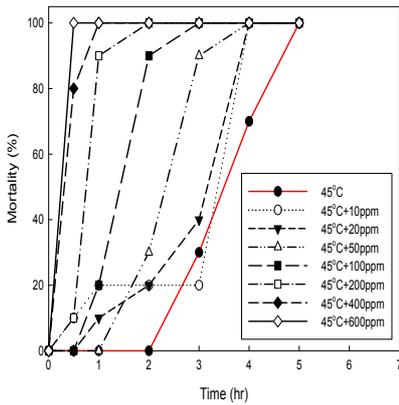
##### ② 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방에 CO<sub>2</sub>를 0, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 50, 60%가 되게 투여한 다음 아래 그림 (B)와 같이 살충효과를 나타내었다. CO<sub>2</sub> 농도가 2~15%까지는 사멸하지 않고 오히려 생존력이 높아지는 것을 확인할 수 있었고 20% 농도부터는 사멸시간이 단축되어 살충효과를 볼 수 있다.

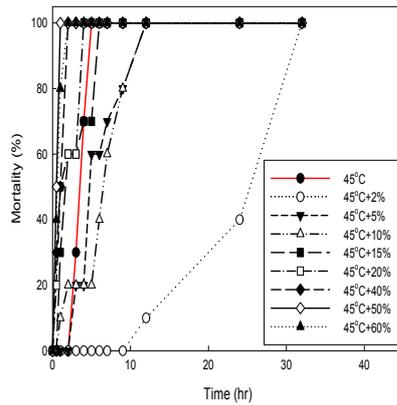
##### ③ 45°C+DE에 따른 영향

상기와 같이 화랑곡나방에 DE를 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 mg/L가 되게 투여한 다음 아래 그림 (C)와 같이 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 처리균 농도가 높아질수록 사멸시간이 6hr에서 1hr로 앞당겨져 살충효과가 있다고 할 수 있다.

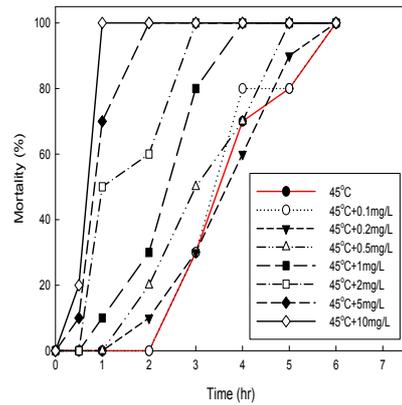
(A)



(B)



(C)



< 화랑곡나방의 복합처리(45°C+처리균) 영향에 따른 살충효과 >

○ 열-훈증-대기조성(CO<sub>2</sub>, DE) 3중 복합처리시 살충효과

### 1. 거릿쌀도둑거저리

가. 복합처리(40°C+훈증+대기조성)에 따른 영향

40°C에서 거릿쌀도둑거저리에 복합처리(3중복합 or 4중복합)하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 40°C+20ppm 복합조건에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간이 72hr에서 5~6hr로 단축된 것을 확인할 수 있었으며, 40°C+50ppm 복합조건에서는 72hr에서 3~4hr로 단축되는 것이 확인된다. 복합으로 처리 하였을 때에는 CO<sub>2</sub>와 DE 영향은 미비하였고 PH<sub>3</sub> 영향이 큼을 볼 수 가있다.

< 거짓쌀도독거저리의 복합처리(40℃+20ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	24h	36h	48h	72h
40℃	0	0	0	0	0	0	0	10	40	70	100
40℃+20ppm(PH3)	0	0	0	0	20	60	100				
40℃+20ppm+2%(CO2)	0	0	0	0	20	70	100				
40℃+20ppm+5%	0	0	0	0	40	90	100				
40℃+20ppm+10%	0	0	0	0	40	80	100				
40℃+20ppm+0.2mg/L(DE)	0	0	0	30	60	100					
40℃+20ppm+0.5mg/L	0	0	0	10	60	100					
40℃+20ppm+1mg/L	0	0	0	40	70	100					
40℃+20ppm+2%+0.2mg/L	0	0	0	30	50	100					
40℃+20ppm+2%+0.5mg/L	0	0	0	40	70	100					
40℃+20ppm+2%+1mg/L	0	0	0	40	70	100					
40℃+20ppm+5%+0.2mg/L	0	0	0	40	70	100					
40℃+20ppm+5%+0.5mg/L	0	0	0	40	80	100					
40℃+20ppm+5%+1mg/L	0	0	0	30	80	100					

< 거짓쌀도독거저리의 복합처리(40℃+50ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	24h	36h	48h	72h
40℃	0	0	0	0	0	0	0	10	40	70	100
40℃+50ppm(PH3)	0	0	40	70	100						
40℃+50ppm+2%(CO2)	0	0	40	60	100						
40℃+50ppm+5%	0	20	50	80	100						
40℃+50ppm+10%	0	10	50	70	100						
40℃+50ppm+0.2mg/L(DE)	0	30	50	100							
40℃+50ppm+0.5mg/L	0	40	70	100							
40℃+50ppm+1mg/L	0	60	80	100							
40℃+50ppm+2%+0.2mg/L	0	30	80	100							
40℃+50ppm+2%+0.5mg/L	10	40	70	100							
40℃+50ppm+2%+1mg/L	20	50	70	100							
40℃+50ppm+5%+0.2mg/L	0	40	70	100							
40℃+50ppm+5%+0.5mg/L	0	40	80	100							
40℃+50ppm+5%+1mg/L	10	60	70	100							

나. 복합처리(45°C+훈증+대기조성)에 따른 영향

45°C에서 거릿쌀도둑거저리에 복합처리(3중복합 or 4중복합)하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 45°C+20ppm 복합조건에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간이 24hr에서 2~3hr로 단축된 것을 확인할 수 있었으며, 45°C+50ppm 복합조건에서는 24hr에서 1~2hr로 단축되는 것이 확인된다. 복합으로 처리 하였을 때에는 CO<sub>2</sub>와 DE 영향은 미비하였으나 PH<sub>3</sub> 영향이 큼을 알 수 있었다.

< 거릿쌀도둑거저리의 복합처리(45°C+20ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	0.5h	1h	2h	3h	6h	12h	18h	24h
45°C	0	0	0	0	0	40	90	100
45°C+20ppm(PH <sub>3</sub> )	0	20	100					
45°C+20ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	0	20	100					
45°C+20ppm+5%	0	20	100					
45°C+20ppm+10%	0	0	100					
45°C+20ppm+0.2mg/L(DE)	0	60	100					
45°C+20ppm+0.5mg/L	0	60	100					
45°C+20ppm+1mg/L	0	40	100					
45°C+20ppm+2%+0.2mg/L	0	0	50	100				
45°C+20ppm+2%+0.5mg/L	0	0	50	100				
45°C+20ppm+2%+1mg/L	0	0	60	100				
45°C+20ppm+5%+0.2mg/L	0	0	100					
45°C+20ppm+5%+0.5mg/L	0	20	90	100				
45°C+20ppm+5%+1mg/L	10	20	100					

< 거짓쌀도둑거저리의 복합처리(45℃+50ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	0.5h	1h	2h	3h	6h	12h	18h	24h
45℃	0	0	0	0	0	40	90	100
45℃+50ppm(PH <sub>3</sub> )	40	80	100					
45℃+50ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	0	100						
45℃+50ppm+5%	20	100						
45℃+50ppm+10%	40	100						
45℃+50ppm+0.2mg/L(DE)	40	100						
45℃+50ppm+0.5mg/L	0	40	100					
45℃+50ppm+1mg/L	0	0	100					
45℃+50ppm+2%+0.2mg/L	0	20	100					
45℃+50ppm+2%+0.5mg/L	0	30	100					
45℃+50ppm+2%+1mg/L	0	10	100					
45℃+50ppm+5%+0.2mg/L	0	50	100					
45℃+50ppm+5%+0.5mg/L	0	40	100					
45℃+50ppm+5%+1mg/L	0	30	100					

## 2. 어리쌀바구미

45℃에서 어리쌀바구미에 복합처리(3중복합 or 4중복합)하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 45℃+20ppm 복합조건에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간이 12hr에서 20min로 단축된 것을 확인할 수 있었으며, 45℃+50ppm 복합조건에서는 12hr에서 10~20min로 단축되는 것이 확인된다. 복합으로 처리 하였을 때에는 CO<sub>2</sub>와 DE 영향은 미비하였으나 PH<sub>3</sub> 영향이 큼을 알 수 있었다.

< 어리쌀바구미의 복합처리(45℃+20ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	10m	20m	30m	1h	2h	6h	10h	12h
45℃	0	0	0	30	60	80	90	100
45℃+20ppm(PH <sub>3</sub> )	40	100						
45℃+20ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	50	100						
45℃+20ppm+5%	30	100						
45℃+20ppm+10%	40	100						
45℃+20ppm+0.2mg/L(DE)	40	100						
45℃+20ppm+0.5mg/L	50	100						
45℃+20ppm+1mg/L	60	100						
45℃+20ppm+2%+0.2mg/L	40	100						
45℃+20ppm+2%+0.5mg/L	40	100						
45℃+20ppm+2%+1mg/L	50	100						
45℃+20ppm+5%+0.2mg/L	50	100						
45℃+20ppm+5%+0.5mg/L	70	100						
45℃+20ppm+5%+1mg/L	80	100						

< 어리쌀바구미의 복합처리(45℃+50ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	10m	20m	30m	1h	2h	6h	10h	12h
45℃	0	0	0	30	60	80	90	100
45℃+50ppm(PH <sub>3</sub> )	50	100						
45℃+50ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	40	100						
45℃+50ppm+5%	50	100						
45℃+50ppm+10%	80	100						
45℃+50ppm+0.2mg/L(DE)	50	100						
45℃+50ppm+0.5mg/L	70	100						
45℃+50ppm+1mg/L	100							
45℃+50ppm+2%+0.2mg/L	40	100						
45℃+50ppm+2%+0.5mg/L	60	100						
45℃+50ppm+2%+1mg/L	40	100						
45℃+50ppm+5%+0.2mg/L	60	100						
45℃+50ppm+5%+0.5mg/L	70	100						
45℃+50ppm+5%+1mg/L	100							

### 3. 이질바퀴

45℃에서 이질바퀴에 복합처리(3중복합 or 4중복합)하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 45℃+20ppm 복합조건에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간이 6hr에서 1~2hr로 단축된 것을 확인할 수 있었으며, 45℃+50ppm 복합조건에서는 6hr에서 50~60min로 단축되는 것이 확인된다. 복합으로 처리 하였을 때에는 DE 영향은 미비하였으나 PH<sub>3</sub>와CO<sub>2</sub> 영향이 큼을 알 수 있었다.

< 이질바퀴의 복합처리(45℃+20ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	10m	20m	30m	40m	50m	1h	2h	6h
45℃	0	0	0	0	0	20	80	100
45℃+20ppm(PH <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	20	100	
45℃+20ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	0	0	0	0	40	100		
45℃+20ppm+5%	0	0	0	0	40	100		
45℃+20ppm+10%	0	0	0	0	60	100		
45℃+20ppm+0.2mg/L(DE)	0	0	0	0	0	20	100	
45℃+20ppm+0.5mg/L	0	0	0	0	0	40	100	
45℃+20ppm+1mg/L	0	0	0	0	20	60	100	
45℃+20ppm+2%+0.2mg/L	0	0	0	0	0	60	100	
45℃+20ppm+2%+0.5mg/L	0	0	0	0	0	60	100	
45℃+20ppm+2%+1mg/L	0	0	0	0	20	80	100	
45℃+20ppm+5%+0.2mg/L	0	0	0	0	0	100		
45℃+20ppm+5%+0.5mg/L	0	0	0	0	0	100		
45℃+20ppm+5%+1mg/L	0	0	0	0	0	100		

< 이질바퀴의 복합처리(45℃+50ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	10m	20m	30m	40m	50m	1h	2h	6h
45℃	0	0	0	0	0	20	80	100
45℃+50ppm(PH <sub>3</sub> )	0	0	0	0	60	100		
45℃+50ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	0	0	0	0	40	100		
45℃+50ppm+5%	0	0	0	60	100			
45℃+50ppm+10%	0	0	0	80	100			
45℃+50ppm+0.2mg/L(DE)	0	0	0	0	40	100		
45℃+50ppm+0.5mg/L	0	0	0	0	60	100		
45℃+50ppm+1mg/L	0	0	0	0	60	100		
45℃+50ppm+2%+0.2mg/L	0	0	0	0	40	100		
45℃+50ppm+2%+0.5mg/L	0	0	0	20	60	100		
45℃+50ppm+2%+1mg/L	0	0	0	0	80	100		
45℃+50ppm+5%+0.2mg/L	0	0	0	20	100			
45℃+50ppm+5%+0.5mg/L	0	0	0	40	100			
45℃+50ppm+5%+1mg/L	0	0	0	40	100			

#### 4. 화랑곡나방

45℃에서 화랑곡나방에 복합처리(3중복합 or 4중복합)하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 45℃+20ppm 복합조건에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간이 6hr에서 2hr로 단축된 것을 확인할 수 있으나 45℃+20ppm+2~5% 복합처리군에서는 살충력이 없었다. 45℃+50ppm 복합조건에서는 6hr에서 1~2hr로 단축되는 것이 확인된다. 특히 CO<sub>2</sub>는 살충력보다는 생존력에 대해서 영향을 미친 모습을 볼 수 있다.

< 화랑곡나방의 복합처리(45℃+20ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	10m	20m	30m	40m	50m	1h	2h	6h
45℃	0	0	0	0	0	20	50	100
45℃+20ppm(PH <sub>3</sub> )	0	0	0	10	20	40	100	
45℃+20ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	0	0	0	0	20	40	60	100
45℃+20ppm+5%	0	0	0	0	10	30	70	100
45℃+20ppm+10%	0	0	0	0	10	30	40	100
45℃+20ppm+0.2mg/L(DE)	0	0	0	30	40	80	100	
45℃+20ppm+0.5mg/L	0	0	0	40	70	80	100	
45℃+20ppm+1mg/L	0	0	0	40	80	90	100	
45℃+20ppm+2%+0.2mg/L	0	0	0	0	20	50	100	
45℃+20ppm+2%+0.5mg/L	0	0	0	0	30	60	100	
45℃+20ppm+2%+1mg/L	0	0	0	0	20	70	100	
45℃+20ppm+5%+0.2mg/L	0	0	0	0	50	50	100	
45℃+20ppm+5%+0.5mg/L	0	0	0	10	20	50	100	
45℃+20ppm+5%+1mg/L	0	0	0	20	30	60	100	

< 화랑곡나방의 복합처리(45℃+50ppm조건) 영향에 따른 살충효과 >

{Mortality(%)}

Conc.	10m	20m	30m	40m	50m	1h	2h	6h
45℃	0	0	0	0	0	20	50	100
45℃+50ppm(PH <sub>3</sub> )	0	0	0	10	20	40	100	
45℃+50ppm+2%(CO <sub>2</sub> )	0	0	0	0	40	50	100	
45℃+50ppm+5%	0	0	0	0	20	40	100	
45℃+50ppm+10%	0	0	0	0	10	30	100	
45℃+50ppm+0.2mg/L(DE)	0	0	0	0	40	80	100	
45℃+50ppm+0.5mg/L	0	0	0	20	80	80	100	
45℃+50ppm+1mg/L	0	0	0	30	80	90	100	
45℃+50ppm+2%+0.2mg/L	0	0	0	0	40	100		
45℃+50ppm+2%+0.5mg/L	0	0	0	0	50	100		
45℃+50ppm+2%+1mg/L	0	0	0	0	50	100		
45℃+50ppm+5%+0.2mg/L	0	0	0	0	30	50	100	
45℃+50ppm+5%+0.5mg/L	0	0	0	0	50	60	100	
45℃+50ppm+5%+1mg/L	0	0	0	30	40	70	100	

## 제 2 절 열-훈증-대기조성 3중복합처리에 대한 해충의 생리적 감수성 분석

### 1. 열처리시 규조토 혼용에 대한 상승효과 비교 분석

#### 가. 개요

- 가공공장의 살충을 위한 열처리는 50-60°C에서 최소 48시간 처리조건이 필요함
- 이러한 시간과 에너지의 사용을 줄이기 위하여 열처리시 규조토를 혼용함으로써 동일한 살충효과를 도출할 수 있으며 또한 시간과 에너지의 감소효과를 얻을 수 있음
- 주요 저장곡물해충인 화랑곡나방을 대상으로 규조토의 혼용효과를 분석함

#### 나. 재료 및 방법

- 화랑곡나방을 다년간 실내 사육함  
사육실 조건: 온도 25-26°C, 습도 70%, 광주기 16:8 (L:D)  
인공먹이: 밀겨, 꽃가루, 꿀, 글리세린, 물 (1:1:0.3:0.3:0.15 V/V)
- 열 및 규조토 처리 실험  
플라스틱 박스에 화랑곡나방 5령 유충을 넣고 일정량의 규조토를 투여 한 뒤에 Multi-room incubator (50x50x60 cm<sup>3</sup>)에서 다양한 온도 및 시간 별로 유지한 뒤에 살충율을 비교 분석함

#### 다. 결과

##### (1) 발달단계에 따른 열처리의 영향 분석

- 다양한 발달단계(알, 유충,蛹, 성충)의 화랑곡나방을 플라스틱 박스에 넣은 뒤에 incubator에서 40°C 및 45°C 조건에서 12 h 및 24 h 처리함
- 모든 발달단계의 화랑곡나방을 45°C에 12시간 처리한 결과 모두 사망함
- 40°C 조건에서 12시간 이상 처리한 경우, 5령 유충(습식 및 방황 유충)을 제외한 모든 발달단계의 개체들이 사망함
- 40°C 조건에서 12 및 24시간 처리한 경우, 5령 유충의 살충율은 습식유충이 23.2%, 53.3% 그러나 방황유충은 5.0%, 28.3%로 나타남
- 즉, 열처리에 대하여 가장 내성이 강한 발달단계는 5령 방황유충으로 나타남

Table. Mortality of each instar of *P. interpunctella* at two different temperature conditions.

Developmental stages	40°C		45°C
	12 h	24 h	12 h
Egg	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a
1st instar larva	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a
2nd instar larva	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a
3rd instar larva	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a
4th instar larva	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a
5th instar larva (feeding stage)	23.3±4.4b	53.3±11.7b	100±0.0a
5th instar larva (wandering stage)	5.0±2.9c	28.3±7.3c	100±0.0a
Pupa	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a
Adult	100±0.0a	100±0.0a	100±0.0a

(2) 열처리시 구조토의 혼용효과 분석

- 화랑곡나방 5령 방황유충(암수)을 대상으로 가는 붓을 이용하여 구조토를 몸에 칠한 뒤에 25°C 및 40°C에서 10일간 사육하면서 매일 살충율을 측정함
- 25°C에서 사육할 경우에 살충율은 20%이하였으며 구조토 처리시 살충율이 약간 증가했으나 통계적으로 차이가 없었음
- 40°C에서 사육할 경우 구조토를 처리한 방황유충의 살충율은 2시간 이후부터 급격히 증가하여 3시간 이후에는 100%을 나타냄. 이러한 현상은 암수 모두 동일하게 나타남. 반면에 구조토를 처리하지 않은 방황유충은 처리후 4시간까지 살충율이 0%로 나타남
- 즉, 열처리시에 구조토를 첨가하면 방황유충의 살충율이 3시간 이내에 급격히 증가하는 시너지효과를 나타냄

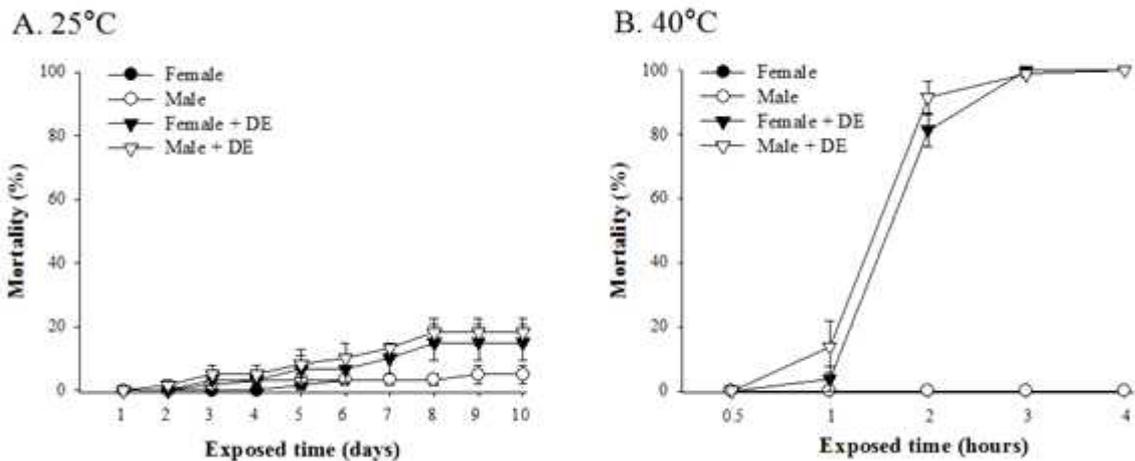


Figure. Effects of DE treatment on the mortality of wandering larvae at two different temperature conditions. Both male and female wandering larvae (n=20) were brushed with or without DE powder and incubated at 25°C (A) and 40°C (B). DE powder was brushed once onto the body of wandering larvae using a fine brush, then larvae were kept in the plastic box. Dead larvae were counted by observing no body movement and color change to dark. Data was expressed as the mean ± SE of 4 replicates (A) and 3 replicates (B).

- (3) 살충율 및 우화율에 대한 다양한 온도조건에 대한 규조토의 혼용효과 비교분석
- 5령 방황유충(암수)을 대상으로 규조토(4 mg/L(w/v))를 다양한 온도조건(25, 30, 35, 40, 45°C)에서 2시간동안 처리한 뒤에 25°C에서 사육하고 이후의 살충율 및 성충의 우화율을 비교분석함
  - 방황유충의 살충율은 35°C까지 열처리 했을 때에는 나타나지 않았으나 40°C에서 열처리 했을 때에 나타났는데 규조토를 처리하지 않았을 때에는 약 30% 였으나 규조토를 처리한 경우에는 암컷이 57%, 수컷이 94%로 아주 높게 나타남
  - 45°C에서 2시간동안 열처리 한 경우에는 규조토처리와 상관없이 모두 사망함
  - 즉, 규조토처리의 시너지효과는 열처리 온도가 40°C 정도 되어야 한다고 판단됨
  - 성충의 우화율을 비교해 본 결과 규조토를 처리하지 않은 경우에 40°C 이상에서 현저히 억제되었는데 규조토를 처리한 경우에는 모든 온도조건에서 15%이하로 나타남.
  - 즉, 규조토가 처리된 유충은 열처리를 하지 않은 조건에서도 성충의 우화율이 현저히 억제되었음

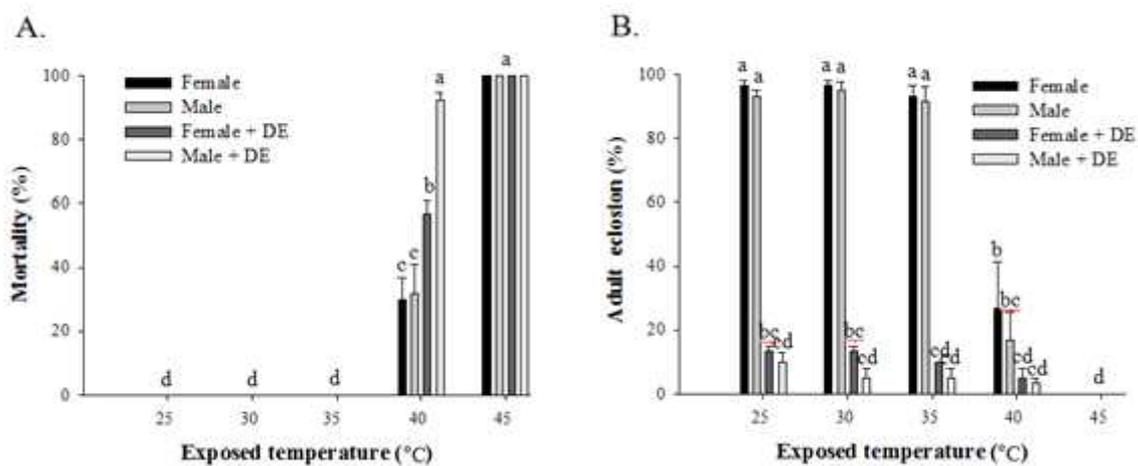


Figure. Effects of the DE treatment at various temperature conditions on larval mortality (A) and adult eclosion (B) of *P. interpunctella*. At first, DE powder was put into a plastic box and equally distributed by shaking the box. The box without DE powder was used as a control. Wandering larvae (7-9 days old of the fifth instar) (n=20) were kept with DE powder [4 mg/L (w/v)] at 25, 30, 35, 40, 45 °C for 2 h in a plastic box and then transferred at 25°C. Larval mortality was determined at 7 days after treatment and adult eclosion was determined for 30 days after treatment. Mortality was expressed as the mean ± SE of 6 replicates. Adult eclosion data were expressed as the mean± SE of 3 replicates. Different letters in each bar indicate significant difference by DMRT (P<0.05).

(4) 규조토의 농도에 대한 열처리 혼용효과 비교분석

- 다양한 농도(0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 mg/L)의 규조토를 4종류의 온도조건(25, 30, 35, 40°C)에서 10일간 사육하면서 살충율을 비교분석함
- 방황유충의 살충율은 25, 30, 35°C 조건에서 크게 증가하지 않았음
- 그러나, 40°C 조건에서 규조토의 농도가 증가할수록 살충율도 증가함. 규조토를 처리하지 않은 경우에는 7일 만에 100% 살충되었지만 규조토 4 mg/L를 처리한 경우에는 1일 만에 100% 살충됨
- 즉, 열처리시 규조토의 혼용효과는 40°C 이상의 온도에서 효과적이며 규조토의 농도가 높을수록 그 살충효과도 증가함
- 다양한 농도의 규조토를 40°C에서 24시간처리 후에 방황유충의 체표면 변화를 관찰해 본 결과 암수모두 농도가 높을수록 사체의 색깔이 검게 되면서 그 부피가 줄어드는 것을 관찰할 수 있었음

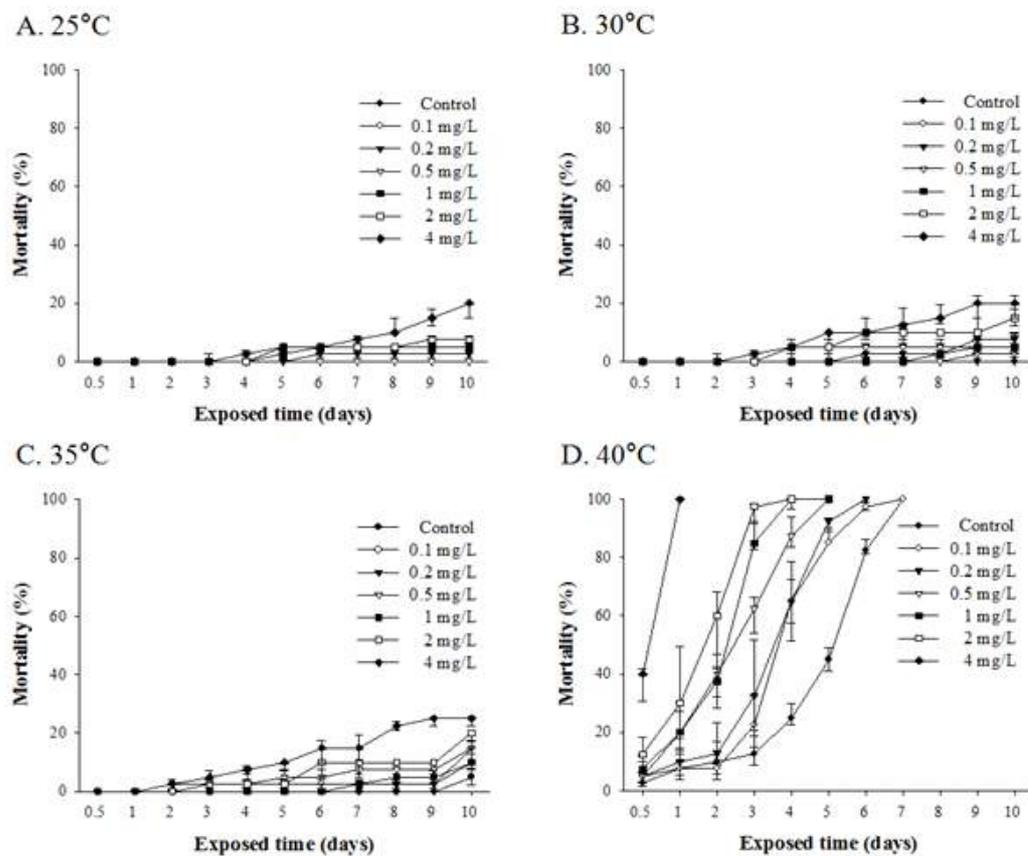


Figure. Effects of continued incubation on various amounts of DE on the mortality of wandering larvae of *P. interpunctella* at different temperature conditions. At first, various amount [0-4 mg/L (w/v)] of DE powder was put into a plastic box and equally distributed by shaking the box. The box without DE powder was used as a control. Wandering larvae (7-9 days old of the fifth instar) (n=20) were kept in treated plastic boxes at 25, 30, 35, or 40°C for 10 days. Larval mortality was determined every day after treatment. Mortality was expressed as the mean  $\pm$  SE of 4 replicates.



Figure. Photos of dead wandering larvae following various amount of DE powder treatments. The experimental method was the same as those of Fig. 3. Wandering larvae (n=20) were treated with 0 to 4 mg/L (w/v) DE powder for 24 h at 40°C. Representative dead individuals at each treatment were collected by observing no body movement, color change and dryness.

(5) 규조토 및 유사한 파우더에 대한 열처리 혼용효과 비교분석

- 방황유충(n=30)을 대상으로 규조토 및 가는 모래, 버미큘라이트를 처리하고 40°C에서 시간대별로 살충율을 비교 분석함
- 방황유충의 살충율은 가는 모래(4 mg/L)의 처리에 영향이 없었으며 버미큘라이트 처리(4 mg/L)에 의해서 12시간에는 15%, 24시간 후에는 38%로 나타났으나 규조토 처리(4 mg/L)에는 12시간 후에 65%, 24시간 후에 100%로 나타남
- 즉, 규조토의 살충효과는 가는 모래나 버미큘라이트보다 훨씬 뛰어남

Table. Comparison of fine sand, vermiculite and diatomaceous earth on the mortality of wandering larvae of *Plodia interpunctella* at 40°C.

Treatments	Size ( $\mu\text{m}$ )	Amount (mg)	Mortality (%) at different times after treatments*		
			12 h	18 h	24 h
Control	-	0	1.7 $\pm$ 1.7c	1.7 $\pm$ 1.7c	11.7 $\pm$ 9.2c
Fine sand	10-100	4	1.7 $\pm$ 1.7c	3.3 $\pm$ 1.7c	13.4 $\pm$ 6.0c
Vermiculite	10-100	4	15.0 $\pm$ 5.0b	31.7 $\pm$ 12.0b	38.3 $\pm$ 8.8b
Diatomaceous earth	1-10	4	65.0 $\pm$ 2.9a	76.7 $\pm$ 3.1a	100 $\pm$ 0.0a

## 2. 주요 저장곡물 해충에 대한 열처리시 규조토, 포스핀, 이산화탄소의 혼용에 대한 상승효과 비교 분석

### ○ 실험조건

아래의 7가지 조건에 대하여 살충율을 비교시험 하였다.

- 가. 무처리 (2개의 온도조건: 25℃, 40℃)
- 나. 규조토 1mg/L
- 다. 이산화탄소 10%
- 라. 포스핀 10ppm
- 마. 규조토 1mg/L + 이산화탄소 10%
- 바. 규조토 1mg/L + 포스핀 10ppm
- 사. 이산화탄소10% + 포스핀 10ppm
- 아. 규조토 1mg/L + 이산화탄소 10% + 포스핀 10ppm

#### 가. 무처리

테틀라 비닐팩(23×16cm)에 해충 20마리를 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 점보시린지로 1L의 공기를 넣음

#### 나. 규조토 1mg/L

테틀라 비닐팩(23×16cm)에 규조토 1mg을 먼저 넣은 후 해충 20마리를 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 점보시린지로 1L의 공기를 넣음

#### 다. 이산화탄소 10%

테틀라 비닐팩에 해충(n=20)을 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 한국표준 가스인가에서 제공된 이산화탄소 100mL를 점보시린지에 넣고 900mL의 공기를 주입하여 만들어진 1L의 기체를 넣음

#### 라. 포스핀 10ppm

테틀라 비닐팩에 해충(n=20)을 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 10ppm으로 희석된 포스핀 가스 1L를 점보시린지를 사용하여 넣음

#### 마. 규조토 1mg/L + CO<sub>2</sub> 10%

테틀라 비닐팩에 규조토 1mg을 먼저 넣은 후 해충(n=20)을 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 점보시린지에 이산화탄소 100mL와 공기 900mL를 주입하여 만들어진 1L의 기체를 넣음

#### 바. 규조토 1mg/L + 포스핀 10ppm

테틀라 비닐팩에 규조토 1mg을 먼저 넣은 후 해충(n=20)을 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 점보시린지로 1L의 공기를 넣은 후, 10ppm으로 희석된 포스핀 가스 1L를 점보시린지를 사용하여 넣음

#### 사. 이산화탄소10% + 포스핀 10ppm

테틀라 비닐팩에 해충(n=20)을 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤 작은 구멍을 내어 점보시린지에 이산화탄소 100mL와 10ppm으로 희석된 포스핀 가스로 만들어진 1L의 기체를 넣음

#### 아. 규조토 1mg/L + 이산화탄소 10% + 포스핀 10ppm

테틀라 비닐팩에 규조토 1mg을 먼저 넣은 후 해충(n=20)을 넣고 접착기로 사면을 붙인 뒤

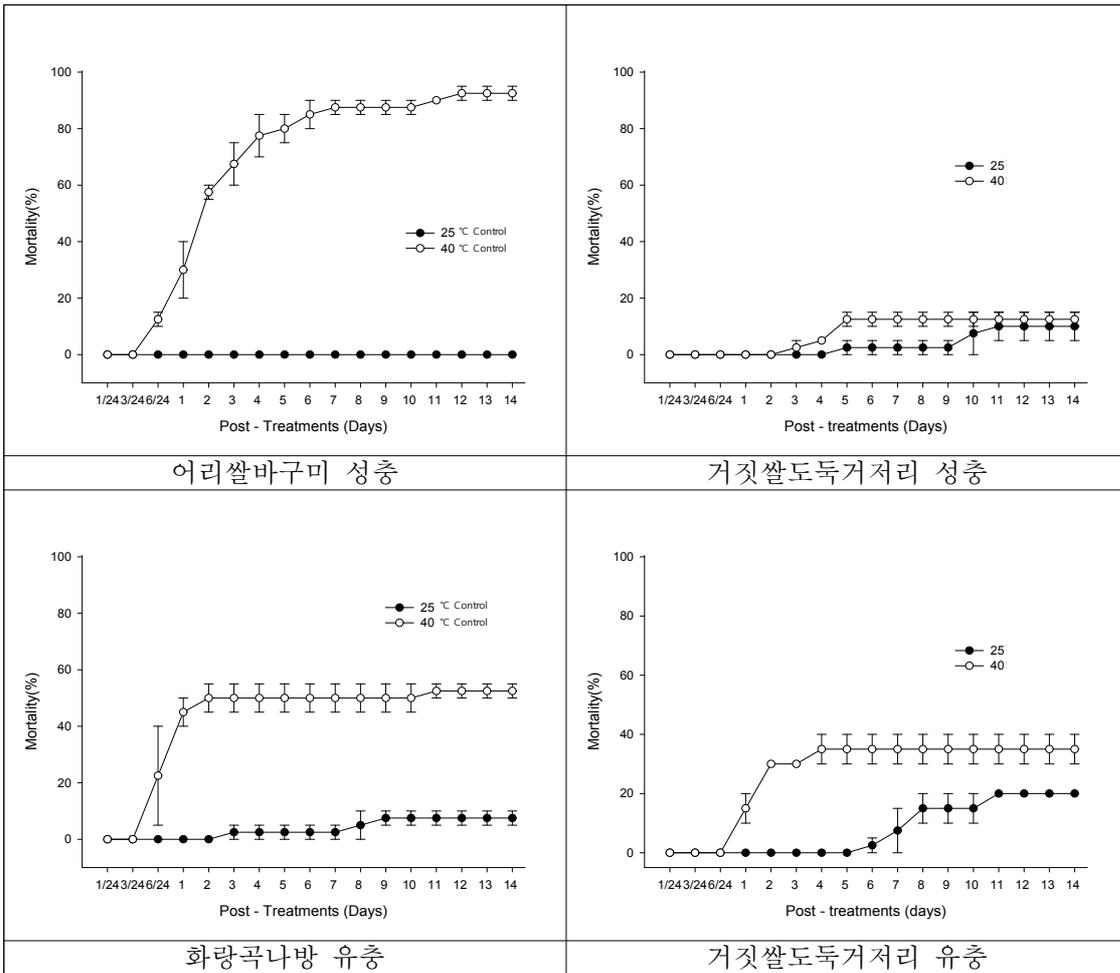
작은 구멍을 내어 점보시린지에 이산화탄소 100mL와 10ppm으로 희석된 포스핀 가스로 만들어진 1L의 기체를 넣음  
자. 다양하게 처리된 샘플을 25℃와 40℃에서 6시간동안 처리한 뒤에 실온에서 14일간 살충율을 관찰하였다.



< 1L 점보시린저, 테트라 백, 점보시린저를 사용하여 실험처리 된 실험구 >

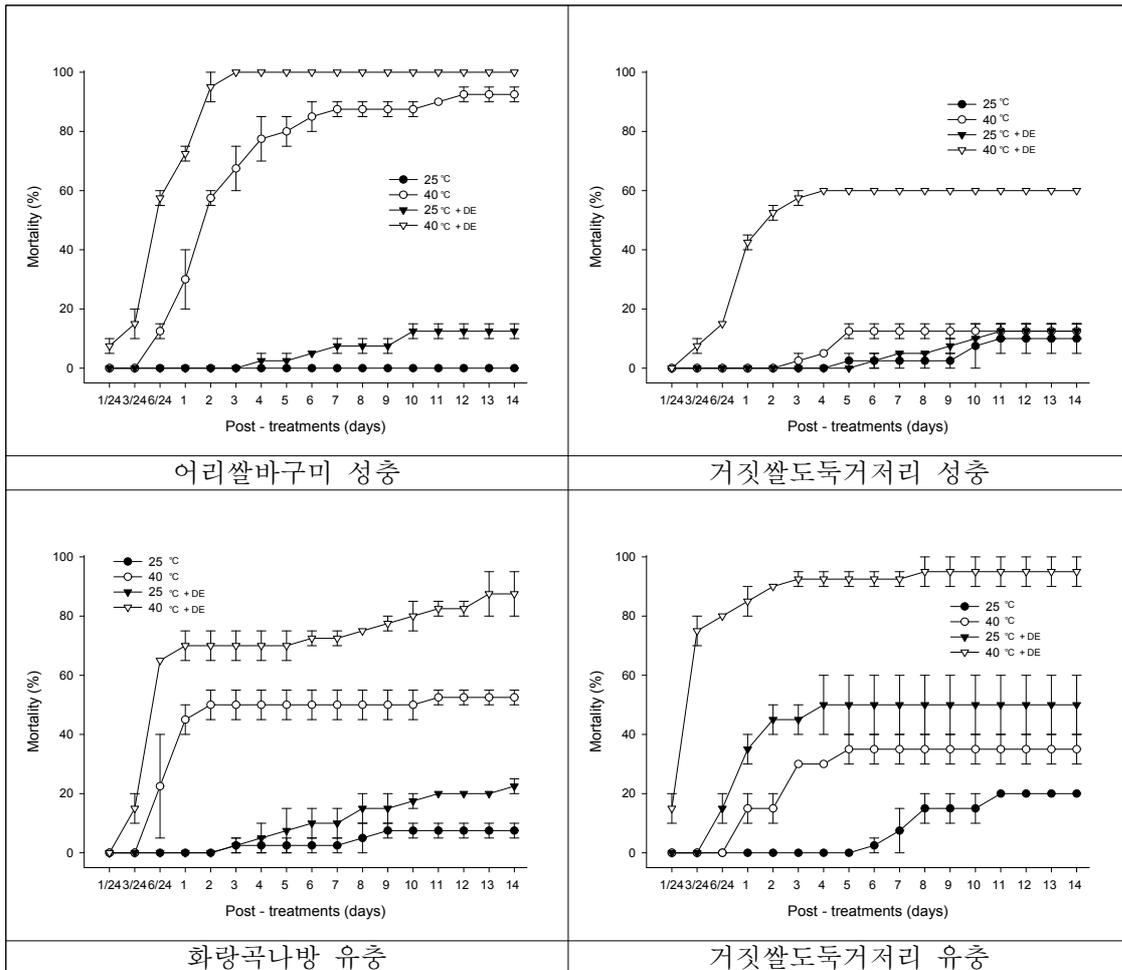
○ 온도에 따른 해충의 살충율 비교 분석

두 온도조건(25℃, 40℃)에서 6시간 처리한 뒤에 실온에서 14일간 사육해 본 결과, 25℃처리구에서는 살충율이 아주 낮았으나 40℃처리구에서는 각 해충마다 살충율의 차이가 나타났다. 즉, 어리쌀바구미 성충의 살충율은 처리 후 6시간부터 서서히 증가하여 14일째에는 92.5%를 나타냈다. 화랑곡나방은 40℃처리구에서 52.5%의 살충율을 나타냈다. 그러나 거짓쌀도둑거저리 성충 및 유충은 40℃처리구에서도 살충율이 증가하지 않았다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 80%, 우화율 75.5%와 거짓쌀도둑거저리의 유충 용화율 65%, 우화율 60%, 40℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충 용화율 20.5%, 우화율 20%와 거짓쌀도둑거저리 유충의 용화율 60%, 우화율 55.5%로 나타났다.



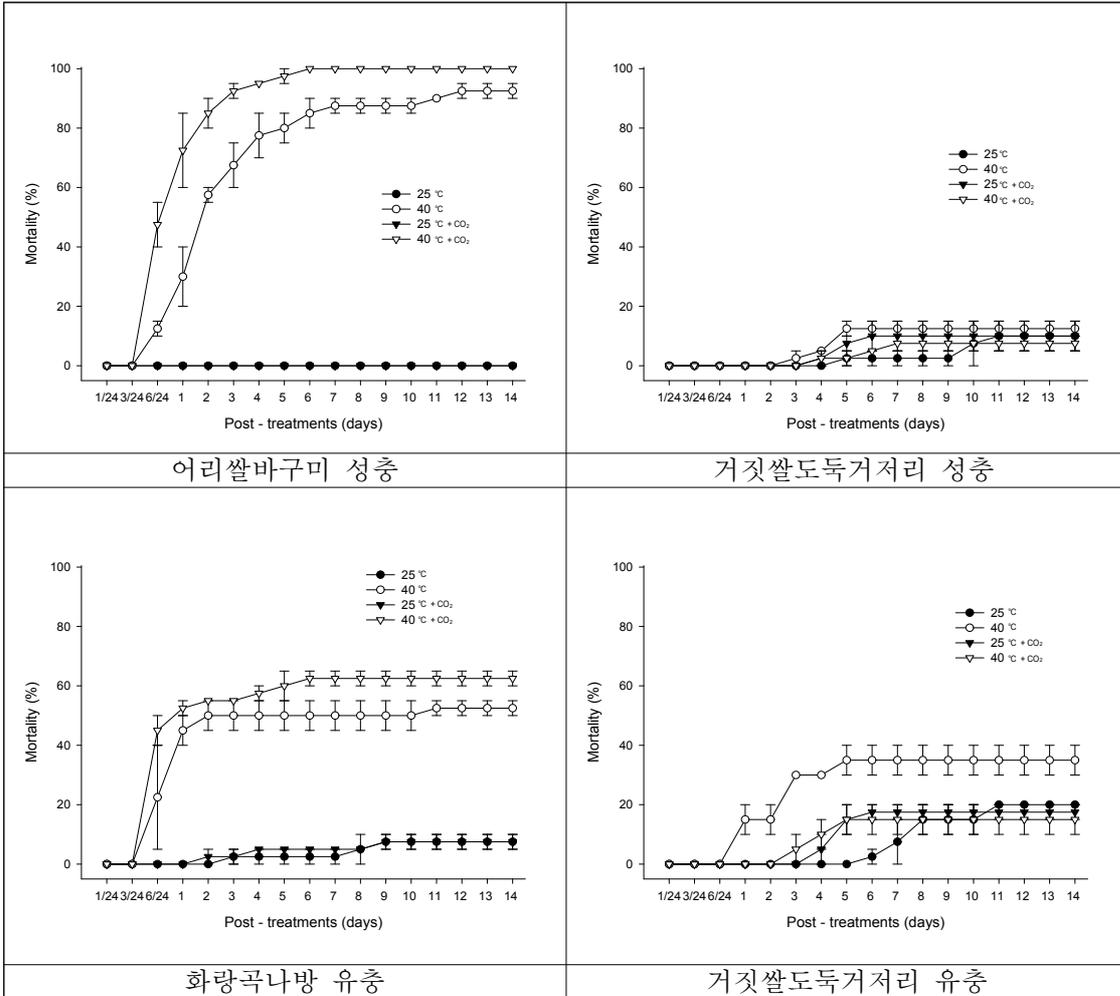
○ 규조토 (1mg/L) 처리에 대한 살충율 비교 분석

규조토를 처리한 경우 실온에서는 각 해충의 살충율이 큰 변화가 없었다. 그러나 거짓쌀도독거저리 유충은 50%로 상승하였다. 규조토 처리시 40℃에서 각 해충의 살충율이 크게 증가하였다. 즉, 어리쌀바구미는 10%, 화랑곡나방은 80% 그리고 거짓쌀도독거저리 성충은 60%, 유충은 100% 살충되었다. 즉, 고온에서 규조토를 처리할 경우 상승효과가 있는 것으로 판단된다. 유충 실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 60.5%, 우화율 60%와 거짓쌀도독거저리의 유충 용화율 55%, 우화율 50%, 40℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충 용화율 5%, 우화율 0%와 거짓쌀도독거저리 유충의 용화율 10%, 우화율 0%를 나타냈다.



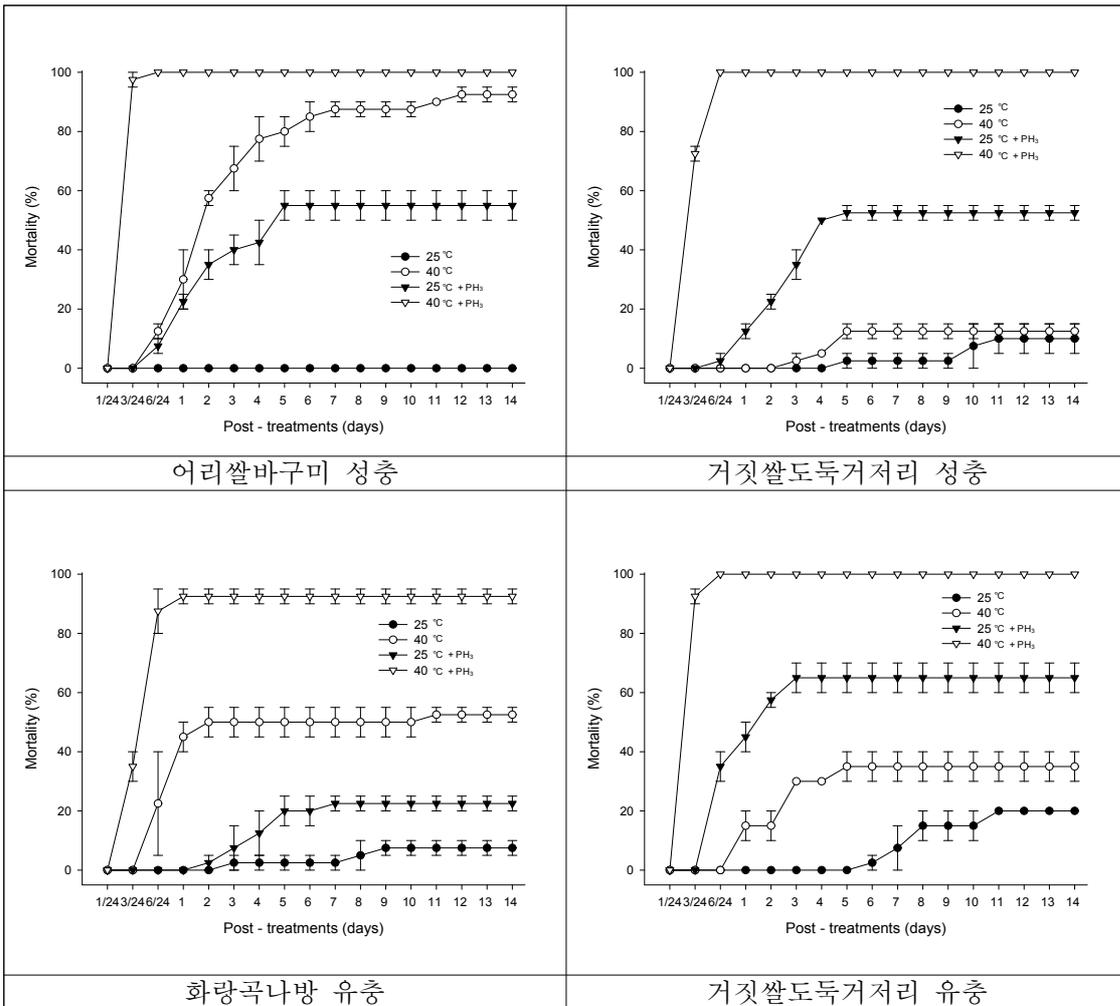
○ 이산화탄소 (10%) 처리에 대한 살충율 비교 분석

이산화탄소를 실온에서 처리한 경우 각 해충의 살충율은 큰 차이가 없었으나 40℃에서 처리했을 때에 어리쌀바구미와 화랑곡나방은 각각 10%, 5% 상승하였다. 그러나 거짓쌀도둑거저리는 성충과 유충 모두 큰 차이가 없었다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 40.5%, 우화율 40%와 거짓쌀도둑거저리의 유충 용화율 75%, 우화율 65%, 40℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충 용화율 20%, 우화율 15.5%와 거짓쌀도둑거저리 유충의 용화율 80%, 우화율 75%를 나타냈다.



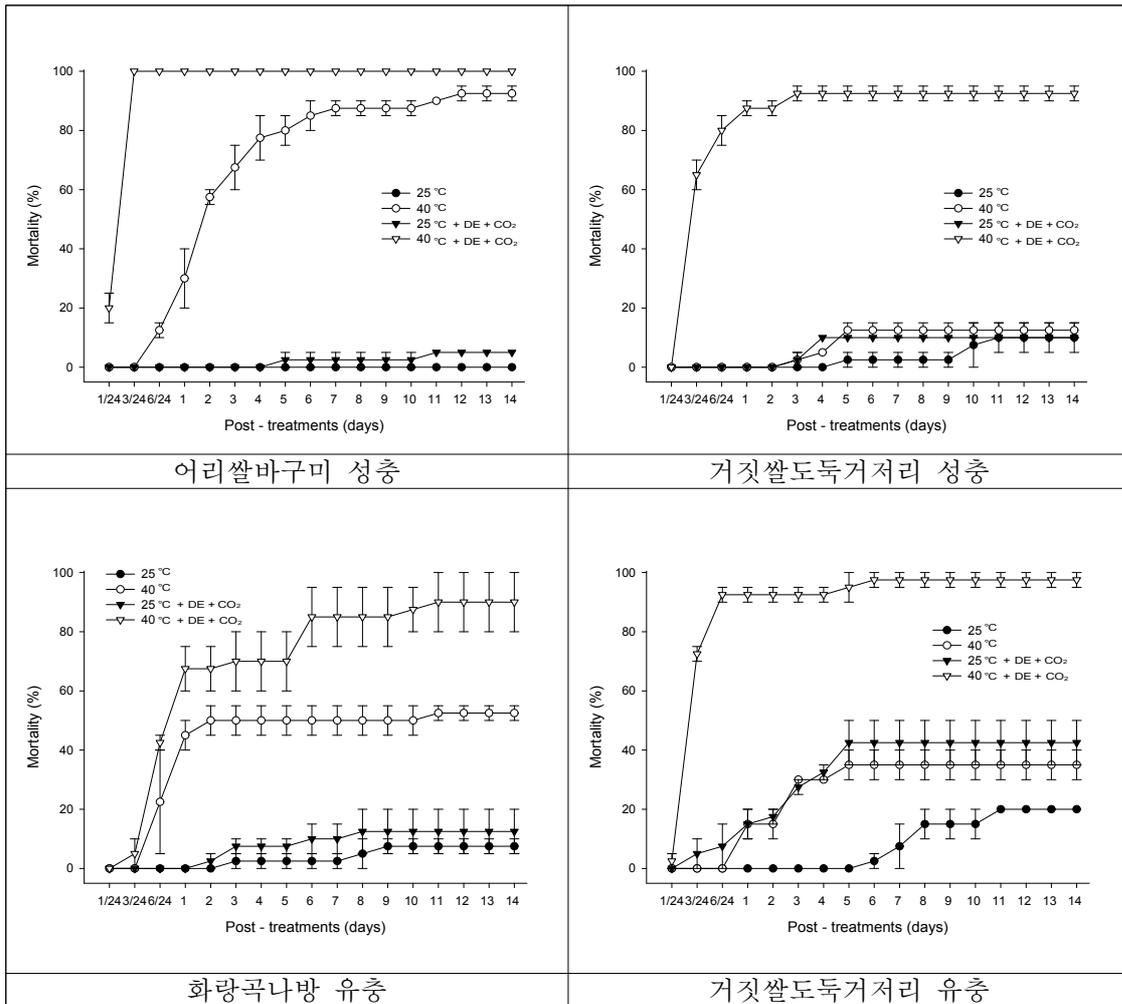
○ 포스핀 (10ppm) 처리에 대한 살충율 비교 분석

포스핀을 실온에서 처리한 경우 각 해충의 살충율은 어리쌀바구미는 55%, 화랑곡나방은 20%, 거저리 성충은 50%, 유충은 63%로 증가하였다. 그러나, 40℃ 처리한 경우에 살충율은 시험 해충 모두 6시간 이후에 100%로 나타났다. 즉, 40℃ 조건에서 포스핀을 처리할 경우에 시험 해충 모두 아주 높은 상승효과가 나타났다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 60.5%, 우화율 50%와 거저리도둑거저리의 유충 용화율 35%, 우화율 30%를 나타냈다.



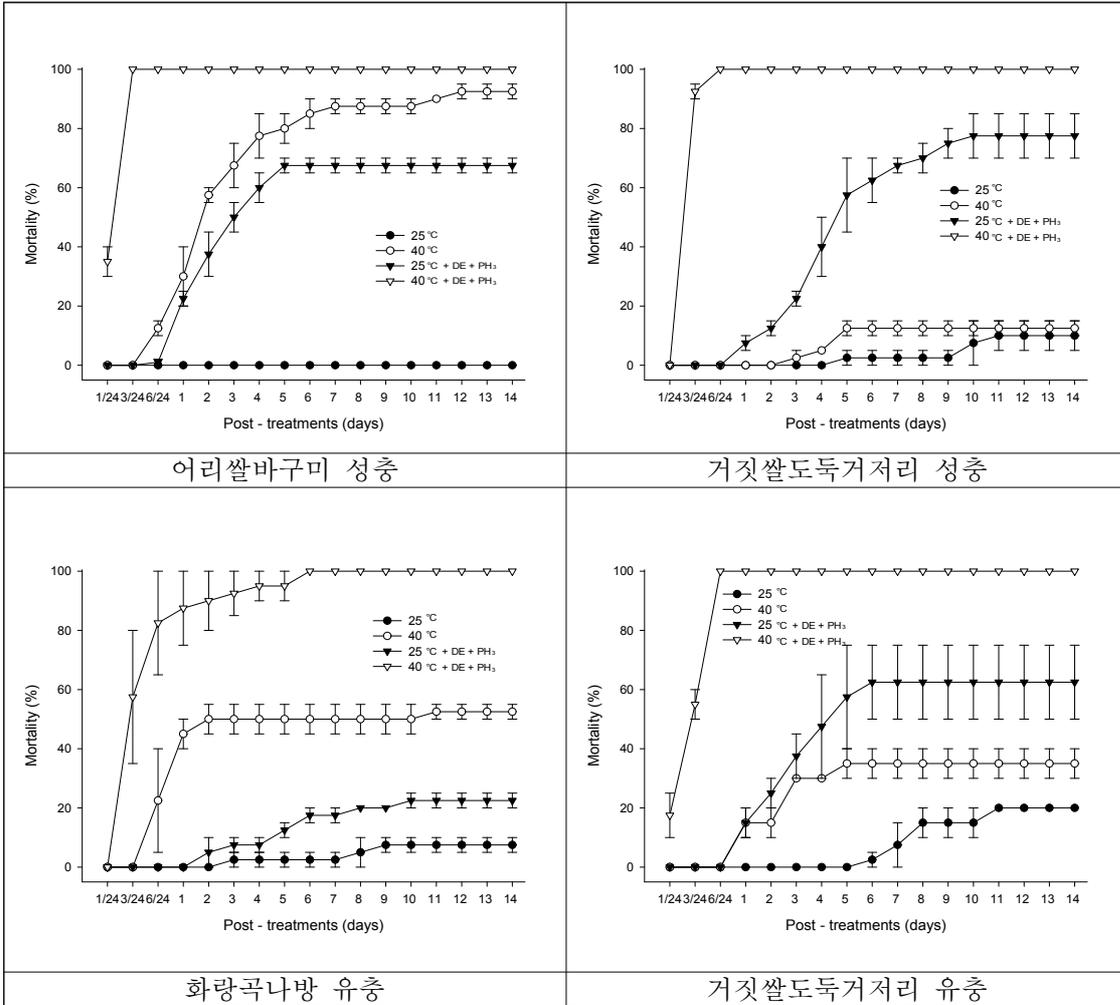
○ 규조토(1mg/L) + 이산화탄소(10%) 처리에 대한 살충율 비교 분석

규조토와 이산화탄소 복합처리시 실온에서는 큰 차이가 없었지만 40℃에서 처리한 경우에 어리쌀바구미는 6시간 후 100%의 살충율을 나타냈고 화랑곡나방은 90%, 거짓쌀도둑거저리 성충은 92.5%, 유충은 100% 살충율을 나타냈다. 즉, 규조토와 이산화탄소 복합처리시에 40℃ 조건에서 높은 상승효과를 나타냈다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 70%, 우화율 65%와 거짓쌀도둑거저리의 유충 용화율 25%, 우화율 20%, 40℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충 용화율 10.5%, 우화율 10%와 거짓쌀도둑거저리 유충의 용화율 10%, 우화율 10%를 나타냈다.



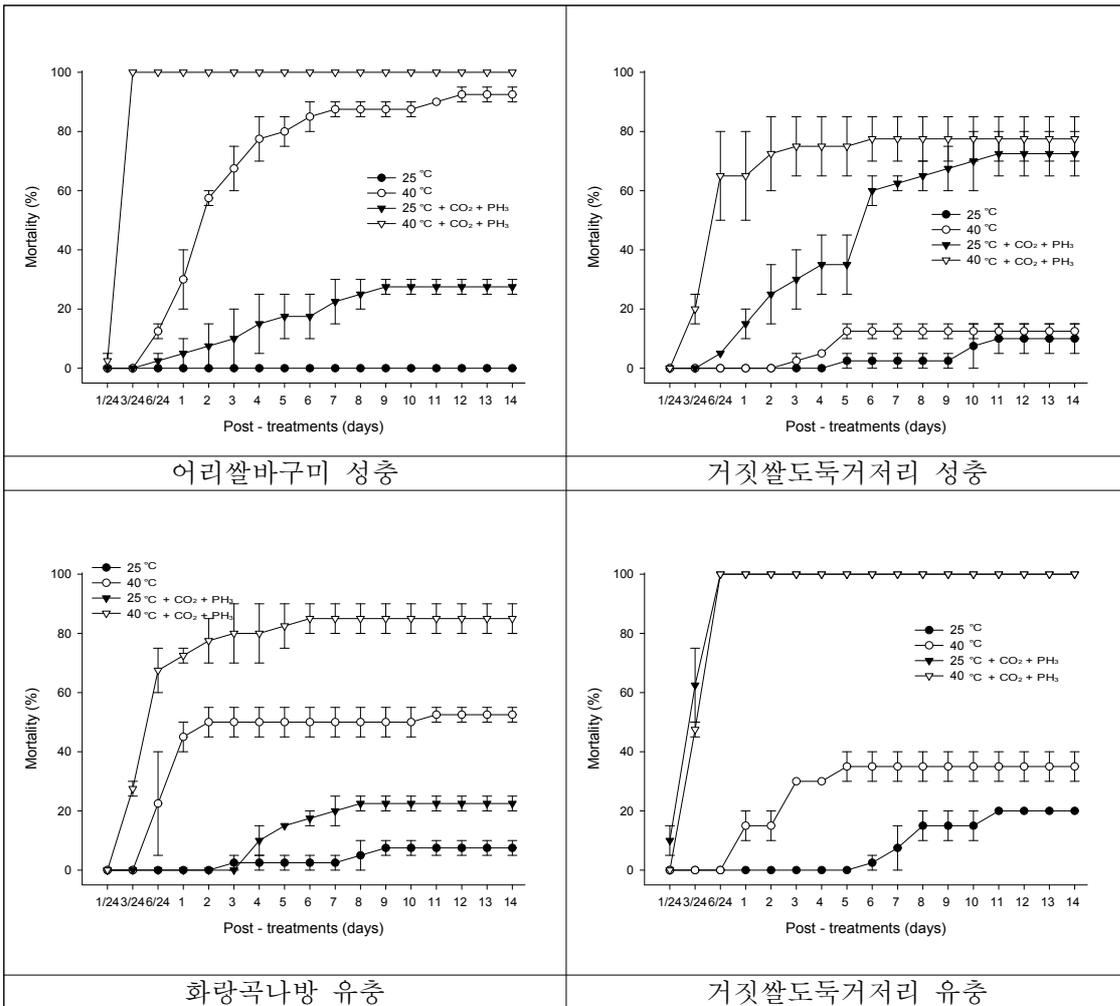
○ 규조토(1mg/L) + 포스핀(10ppm) 처리에 대한 살충율 비교 분석

규조토와 포스핀 복합처리시, 실온에서는 어리쌀바구미와 거짓쌀도둑거저리가 모두 60-70%의 살충율을 나타냈으나 화랑곡나방은 무처리구와 큰 차이가 없었다. 그러나, 40℃에서 처리할 경우에 모두 3-6시간에 100% 살충율을 나타냈다. 즉, 규조토와 포스핀을 혼합처리할 경우 실온에서 일부 해충에 관해서 상승효과가 있었으나 40℃에서 3종류 해충 모두 아주 빠르고 높은 상승효과를 나타냈다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 40%, 우화율 30%와 거짓쌀도둑거저리의 유충 용화율 30.5%, 우화율 30%를 나타냈다.



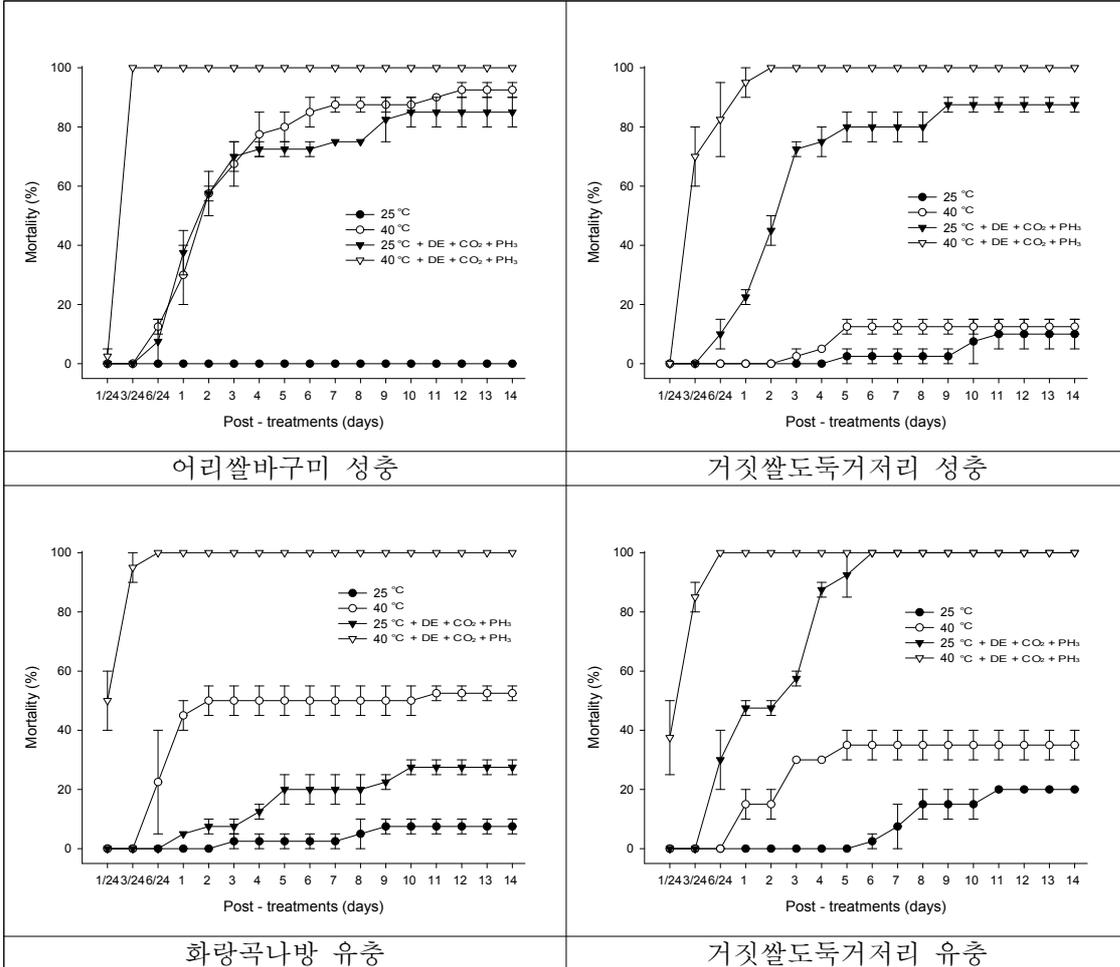
○ 이산화탄소(10%) + 포스핀(10ppm) 처리에 대한 살충율 비교 분석

이산화탄소와 포스핀 복합처리시 실온에서 어리쌀바구미 성충은 20% 살충되었으나 거짓쌀도둑거저리 성충 및 약충은 모두 100% 살충율을 나타냈다. 또한, 40℃에서는 3종 해충 모두 100% 살충율을 나타냈다. 즉, 두 종류의 훈증가스 혼합처리시에 아주 높은 상승효과를 나타냈다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 50%, 우화율 40%와 거짓쌀도둑거저리의 유충 용화율 35.5%, 우화율 30%, 40℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충 용화율 30%, 우화율 10%를 나타냈다.



○ 규조토(1mg/L) + 이산화탄소(10%) + 포스핀(10ppm) 처리에 대한 살충을 비교 분석

규조토와 이산화탄소 그리고 포스핀 복합처리시 실온에서는 바구미 및 거저리가 80-100%의 높은 상충효과를 나타냈으나 화랑곡나방은 27.5% 살충율을 나타냈다. 그러나, 40℃에서는 3종 모두 12시간 이내에 100% 살충되었다. 유충실험의 경우, 25℃ 처리구에서 화랑곡나방 유충의 용화율 30%, 우화율 45%와 거짓쌀도둑거저리의 유충 용화율 30%, 우화율 10%를 나타냈다.



○ 요약

- 저장곡물 해충 2종에 대하여 다양한 처리를 해 본 결과 중에 따라서 그 살충효과의 차이가 있었다.
- 규조토, 이산화탄소 및 포스핀의 단일처리보다 2중 및 3중 혼합처리에 실온에서는 완전 살충효과가 나타나지 않았지만 40℃에서 대부분 100% 살충효과를 나타냈을 뿐만 아니라 방제 시간도 훨씬 단축할 수 있었다.
- 즉, 혼합처리시 40℃ 조건에서 실시할 경우 훨씬 높은 상승효과를 기대할 수 있다.

< 3종류의 해충에 대한 각종 처리의 살충율, 용화율, 우화율 비교 >

No	처리조건	해충 및 발달단계	최고 살충율 (% , 14d)		LT100 (h or d)		용화율 (% , 30d)		우화율 (% , 50d)	
			25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃
1	무처리	화랑곡나방 유충	7.5	52.5	-	-	80	20.5	75.5	20
		바구미 성충	0	92.5	-	-	-	-	-	-
		거저리 성충	10	12.5	-	-	-	-	-	-
		거저리 유충	20	30	-	-	65	60	60	55.5
2	규조토 1mg/L	화랑곡나방 유충	22.5	87.5	-	-	60.5	5	60	0
		바구미 성충	12.5	100	-	3 d	-	-	-	-
		거저리 성충	12.5	60	-	-	-	-	-	-
		거저리 유충	50	95	-	-	55	10	50	0
3	이산화탄소 10%	화랑곡나방 유충	7.5	62.5	-	-	40.5	20	40	15.5
		바구미 성충	0	100	-	6 d	-	-	-	-
		거저리 성충	10	7.5	-	-	-	-	-	-
		거저리 유충	17.5	15	-	-	75	80	65.5	75
4	포스핀 10ppm	화랑곡나방 유충	22.5	92.5	-	-	60.5	-	50	-
		바구미 성충	55	100	-	6 h	-	-	-	-
		거저리 성충	52.5	100	-	6 h	-	-	-	-
		거저리 유충	65	100	-	6 h	35	-	30	-
5	규조토1mg/L +이산화탄소10%	화랑곡나방 유충	12.5	90	-	-	70	65	10.5	10
		바구미 성충	5	100	-	3 h	-	-	-	-
		거저리 성충	10	92.5	-	-	-	-	-	-
		거저리 유충	42.5	97.5	-	-	25	20	10	10
6	규조토1mg/L +포스핀10ppm	화랑곡나방 유충	22.5	100	-	6 d	40	-	30	-
		바구미 성충	67.5	100	-	3 h	-	-	-	-
		거저리 성충	77.5	100	-	6 h	-	-	-	-
		거저리 유충	62.5	100	-	6 h	30.5	-	30	-
7	이산화탄소10% +포스핀10ppm	화랑곡나방 유충	22.5	85	-	-	50	30	40	10
		바구미 성충	27	100	-	3 h	-	-	-	-
		거저리 성충	72.5	77.5	-	-	-	-	-	-
		거저리 유충	100	100	6 h	6 h	35.5	-	30	-
8	규조토1mg/L +이산화탄소10% +포스핀10ppm	화랑곡나방 유충	27.5	100	-	6 h	45	-	30	-
		바구미 성충	85	100	-	3 h	-	-	-	-
		거저리 성충	87.5	100	-	2 d	-	-	-	-
		거저리 유충	100	100	6 h	6 h	30.5	-	10.5	-

### 3. 복합처리에 대한 해충의 생리적 감수성 및 살충기작 분석

#### 가. 개요

- 열처리시 다양한 혼용처리에 대한 해충의 감수성 및 그 작용기작을 분석함으로써 효율적인 방제효능을 확보하고자 함
- 열처리 및 다양한 방제인자의 처리에 대한 세포내 스트레스의 지표로 활용되는 열충격단백질(heat shock proteins)의 유전자를 클로닝하고 각 유전자의 프라이머를 제작하여 quantitative realtime PCR법으로 전사체의 변화를 측정 비교함

#### 나. 재료 및 방법

- 화랑곡나방의 열충격단백질 4종류(hsp, hsp70, grp78, hsp90)의 프라이머를 제작하고 대조구로서 리보솜단백질 유전자인 rpS7의 프라이머를 디자인함
- 화랑곡나방 방황유충을 대상으로 열처리시 규조토, 포스핀, 이산화탄소를 혼용처리한 후에 전사체를 추출하고 cDNA를 합성한 뒤에 적정량을 이용하여 발현패턴을 비교 분석함

Table. Quantitative realtime RT-PCR primers of *P. interpunctella*

Genes	Directions	Sequences (5' → 3')	Products	References
<i>shsp (piac25)</i>	F	CGGGACATCGGCTCGA	71	U94328
	R	GAGAAATGCTGCACGTCCAA		
<i>hsp70</i>	F	CTGAACGTCCTACGCATCATCA	81	EF202591
	R	TTTAAGTTCTTGTGCGAGGCCG		
<i>grp78</i>	F	TTGGGTGGCGGTACCTTTG	71	EU556149
	R	AGTGTACCATTGGTAGCAACC		
<i>hsp90</i>	F	GTACGCTGACCATCATCGACA	76	DQ9888682
	R	TTAGCAATCGTACCCAAGTTGTTC		
<i>rpS7</i>	F	TATGTGCCGATGCCCAAAC	71	EB828957
	F	GCCGCTGAACTTCTTTTCCA		

#### 다. 결과

##### (1) 열처리시 아치사량의 규조토, 포스핀 및 이산화탄소 혼용처리에 대한 살충율 분석

- 화랑곡나방 5령 방황유충(n=20)을 대상으로 규조토(1 ppm), 포스핀(10 ppm), 이산화탄소(10%)를 테틀라 비닐팩(1 L)에 주입하여 25°C와 40°C에서 6시간동안 처리한 뒤에 25°C에서 24시간 및 72시간 후에 살충율을 조사함
- 방황유충은 열처리(40°C, 6시간)을 하지 않은 경우에 규조토, 포스핀 및 이산화탄소를 처리해도 살충율이 0%임
- 열처리시에 처리 후 24시간에는 35%, 72시간에는 55%를 나타냄. 그러나 규조토를 혼용했을 경우에는 살충율이 65.0%, 73.0%로 증가했고 포스핀을 혼용처리했을 경우에는 85.0%, 93.3%로 증가했으며 이산화탄소를 혼용처리했을 경우에는 48.3%, 51.6%로 증가함
- 즉, 열처리시 아치사량의 규조토 및 포스핀을 혼용처리할 경우에 살충율이 증가했으나 아치사량의 이산화탄소를 혼용처리했을 경우에는 살충율이 증가하지 않았음

Table. Mortality of wandering fifth instar larvae of *Plodia interpunctella* against treatments of diatomaceous earth, phosphine and CO<sub>2</sub> at either 25°C or 40°C

Treatments	Amount	Mortality (%) after treatment		Mortality (%) after treatment	
		at 25°C for 6 h*		At 40°C for 6 h	
		24 h	72 h	24 h	72 h
Control	0	0.0±0.0c	0.0±0.0c	35.0±18.0c	55.0±12.5c
DE	1 ppm	0.0±0.0c	0.0±0.0c	65.0±5.7b	73.0±9.5b
Phosphine	10 ppm	0.0±0.0c	0.0±0.0c	85.0±13.2a	93.3±2.8a
CO <sub>2</sub>	10%	0.0±0.0c	0.0±0.0c	48.3±7.6c	51.6±7.4c

(2) 열처리시 아치사량의 규조토, 포스핀 및 이산화탄소 혼용처리에 대한 스트레스 유전자 발현패턴 비교분석

- 방황유충 암컷을 대상으로 열처리시 아치사량의 규조토(1 ppm), 포스핀(10 ppm) 및 이산화탄소(10%)를 1시간 처리하고 25°C에서 1시간 후에 전사체를 추출하여 해당 유전자의 발현패턴을 비교분석함
- 네종류의 전사체는 실온보다 열처리(40°C, 1시간)했을 경우에 모두 발현량이 1-3배 증가했으나 그 정도는 차이가 있었음
- 규조토를 혼용처리한 경우에 실온에서 뿐만 아니라 열처리시에도 1-2배 정도 네종류의 전사체가 증가했음. 그러나, 그 정도는 약간의 차이가 있음
- 포스핀을 혼용처리한 경우에 실온에서 뿐만 아니라 열처리시에도 1-2배 정도 네종류의 전사체가 증가했음. 그러나, 그 정도는 약간의 차이가 있음
- 이산화탄소를 혼용처리한 경우에는 실온에서는 1.3-8.2배 증가했으며 hsp70이 가장 많이 증가했음. 그러나, 열처리시에는 15.1-1231.2배 증가했으며 shsp, hsp70, grp78, hsp90의 증가량이 1231.2배, 647.8배, 15.1배, 43.4배로 대부분 급격하게 증가함.
- 즉, 혼용처리에 대한 화랑곡나방의 스트레스 반응이 규조토나 포스핀의 경우에는 약하게 나타났으나 이산화탄소의 혼용처리시 급격히 증가했음. 동일한 실험에 대한 살충율의 결과와 비교해 볼 때에 열처리시 규조토 및 포스핀의 혼용처리에는 살충율이 증가했으나 이산화탄소 혼용처리에는 살충율이 증가하지 않았음. 즉, 열처리시 이산화탄소 혼용처리의 경우 스트레스 유전자의 급격한 활성화로 인하여 화랑곡나방의 세포 및 조직을 보호하는 역할을 함으로서 살충율이 증가하지 않은 것으로 판단됨. 이는 다양한 처리에 대한 생리적 생화학적 반응이 다르게 나타날 수 있다는 증거를 제시함으로서 추후 혼용처리에 대한 중요한 자료가 될 수 있다고 판단됨

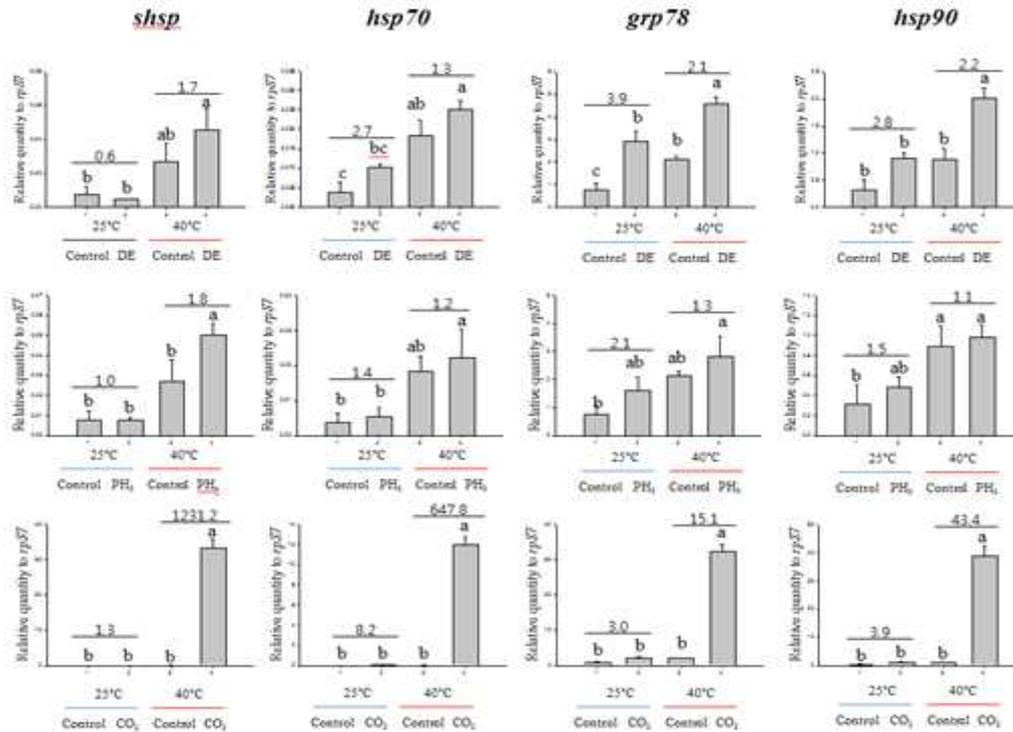


Figure. Effects of DE, phosphine or CO<sub>2</sub> treatments on the levels of 4 hsp genes of wandering larvae at two different temperature conditions. Wandering larvae (n=3) were treated DE powder, phosphine gas or CO<sub>2</sub> gas for 1 h at 25°C (A) and 40°C (B). Total RNAs were extracted from treated larvae at 1 h after treatments. Data was expressed as the mean ± SE of 3 replicates. Different letters in each bar indicate significant difference by DMRT (P<0.05).

### 3. 고찰

현재 상업적으로 활용되고 있는 열처리조건은 50-60°C에서 최소 48시간이상 처리해야 충분한 살충효과를 나타낼 수 있다. 그러나 이러한 조건은 처리시간과 에너지의 효율성이 저조하기 때문에 처리조건을 개선할 필요성이 대두된다. 본 연구에서는 이러한 조건을 규조토, 포스핀 및 이산화탄소와 혼용처리를 함으로서 충분히 개선된 방제조건을 제시한다. 또한, 각 방제요인들의 치사량보다 낮은 수준에서 처리하기 때문에 각 방제인자들의 간접적 피해를 줄일 수 있는 장점이 있다. 즉, 50°C이상의 온도에서는 신선한 농작물들의 생리 생화학적 특성이 변하기 때문에 신선한 수확농작물에 처리하기에는 부적합하다. 또한, 포스핀의 경우 구리와 같은 금속성 시설물의 부식을 초래하기 때문에 저농도로 활용하는 방법의 개선이 필요하다.

본 연구에서 제시하는 혼용처리법(40°C조건에서 규조토 및 포스핀의 아치사량 혼용처리)는 저장곡물 및 가공공장에서 해충방제를 위하여 효율적으로 적용할 수 있는 개선책이 될 수 있다. 또한, 다양한 처리에 대한 해충의 생리적 생화학적 작용기작에 관한 정보는 보다 더 효율적인 조건을 개발하는데 중요한 정보를 제공한다. 즉, 본 연구에서 밝힌 여러 가지 방제인자에 대한 스트레스 유전자의 발현패턴의 활용방법은 추후의 혼용방제조건을 결정하는데 도움이 될 것으로 판단된다. 본 연구를 통하여 수확 후 관리시설, 가공시설 및 검역시설등의 해충방제를 위한 효율적인 방제기술의 개발에 기여할 수 있기를 바란다.

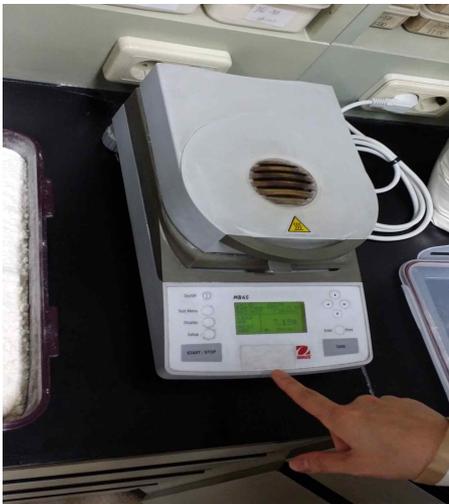
### 제 3 절 열처리시 밀가루 변성조사

#### ○ 밀가루 변성 조사

##### 1. 밀가루 변성 조사방법

###### 가. 수분함량분석

OHAUS 수분분석기에 155℃ 5분 30초 가열하도록 setting 한 후 빈 칭량 접시를 올려놓고 영점조절을 한다. 시료를 칭량 접시에 약 7g을 담아 뚜껑을 닫고 start버튼을 누른다. 분석이 완료되면 화면에 “Test over”가 뜨고, 자동으로 계산되어 나온 수분 data를 기록한다.



< 수분함량분석 >

###### 나. 단백질함량분석

Foss 2300 단백질 분석기의 온도를 420℃로 setting하여 예열하고 시료를 약 1g을 유산지에 취하여 유산지를 접어 촉매제 2정과 진한 황산 15ml 함께 분해관에 넣는다. 분해관을 분해기에서 약 60분간 가열 후 냉각팬에 서서히 냉각 시킨다. 증류기 스위치를 켜고 steam on을 하여 예열시킨다. 시료 무게를 입력하고 분해관을 삽입 후 COVER를 내리면 자동으로

측정되고 측정된 결과를 기록한다.



< 단백질함량분석 >

#### 다. 회분분석

회화로의 온도가 650℃가 되도록 미리 예열하고 온도가 올라가면 도가니를 회화로에 넣고 1시간이상 예열한다. 예열된 도가니를 데시케이터에 옮겨 실내온도로 방냉시킨다. 도가니에 시료를 3g 넣어주고 회화로에 옮겨 650℃에서 3시간 30분 회화시켜준다. 회화가 끝난 시료를 데시케이터에 옮겨 실온에서 방냉하여 무게변화를 측정한다.





< 회분분석 >

라. 밀가루 탄력성 분석 (Farinograph)

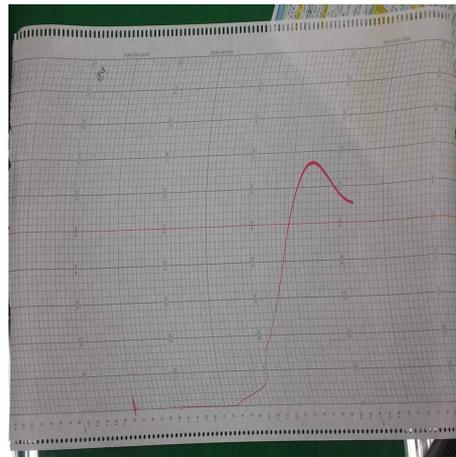
항온조 물의 온도를 30℃로 맞춘 후 밀가루 약 300g정도 mixing bowl에 넣어준다. 항온조와 연결된 뷰렛에 물을 채운 후 시료의 예상 흡수율만큼 뷰렛의 물을 mixing bowl에 넣어 기기를 작동시키면 반죽이 형성이 되기 시작하면서 측정바늘이 기록지에 그래프를 그리게 된다.



< 밀가루 탄력성 분석 >

마. 밀가루 점도 분석 (Amylograph)

증류수 460ml에 수분함량에 따라 밀가루를 넣어 덩어리가 풀려서 균질해질 때까지 섞어 불에 넣어준다. spindle을 장착하고 amylograph의 head 부분을 측정 위치에 이동 시킨 후 시작온도를 30℃로 맞추고 온도가 점점 올라가도록 setting한다(1.5℃/min). amylograph를 작동시키고 타이머를 40분으로 맞추고 기록지의 그래프를 분석한다.



< 밀가루 점도 분석 >

## 2. 밀가루 변성 조사결과

밀가루는 시중에 유통되는 CJ 고급면용(1등급 중력분)을 사용하였으며, 보통 식품회사 열처리시스템 도입시 48시간 기준을 정함.

※ 보통 제분회사의 경우 공장 내부 밀가루를 제거하여 열처리 시스템을 도입

### 가. 수분

열처리 전과 최고 열처리 72시간 처리시 점차 수분이 증발하여 감소함을 확인 할 수 있지만 그 차이가 1.7%로 미비하여 제품품질에는 이상이 없음.

### 나. 회분

밀가루 1등급 기준은 0 ~ 0.4%로 열처리 전과 최고 열처리 72시간 처리시 점차 회분율은 증가하나 0.4%이하로 1등급을 유지하여 품질에는 이상이 없음.

### 다. 단백질

중력분안의 글루텐의 함량은 8 ~ 10.5%로 열처리 전과 최고 열처리 72시간 처리시 점차 글루텐의 양은 증가하여 0.41% 상승함을 확인하였으나 여전히 중력분 상태를 유지하여 품질에는 이상이 없음.

라. 흡수율

수분함량에 따라 밀가루의 무게를 조절하여 흡수율의 차이는 크게 없으나 같은 무게를 넣어 분석을 하였을 경우 수분이 낮은 밀가루가 흡수율은 높아진다고 판단됨.

마. 탄력성

파리노그래프 분석수치에는 차이가 있으나 그래프의 형태 및 모양은 거의 유사한 형태로 나타남.

바. 점도

점도가 점점 상승하면서 72시간 뒤에는 170BU이상 상승한 것으로 보아 수분함량이 상대적으로 줄어들면서 순수한 밀가루의 기질이 많아져서 나타나는 현상으로 판단됨.

사. 신장력

신장력이 점점 떨어지는 데이터를 보이며, 상대적으로 된반죽이 됨. 이것은 열로 인한 수분함량이 떨어져서 일어나는 현상임.

< 밀가루 변성 조사 >

검사항목	단위	분석결과				분석방법
		열처리 전	열처리 24h	열처리 48h	열처리 72h	
수분	%	13.9	13.7	13.3	12.2	105℃ 건조법
회분	%	0.332	0.347	0.340	0.346	600℃ 연소회화법
단백질	%	8.20	8.32	8.34	8.61	Kjeldahl법
백도	%	84.9	84.3	84.0	83.3	백도계
흡수율	%	61.0	61.0	61.0	62.5	Farino graph
생성시간	Min	2.6	2.5	2.1	3.5	Farino graph
안정도	Min	9.7	24.7	8.3	23.8	Farino graph
약화도	B.U	45	20	40	20	Farino graph
최고점도	B.U	1020	1090	1100	1190	Amylo graph
저항	B.U	370	400	360	370	Extensio graph
신장도	mm	145	137	132	132	Extensio graph

## 제 4 절 현장적용 저장곡물해충 살충력 조사

컨테이너 및 A 제분회사에 온도-훈증-대기조성 복합처리에 대한 주요 저장곡물 및 위생해충의 살충효과를 보기위해 망이 쳐져있는 dish에 거릿쌀도둑거저리 성충, 어리쌀바구미 성충, 화랑곡나방 유충 50마리 이질바퀴 성충 20마리씩 투입 후 온도 45°C+CO<sub>2</sub> 2%, 온도 45°C+ PH<sub>3</sub> 50ppm, 온도 45°C+ DE 0.5mg/L 농도와 거릿쌀도둑거저리에 40도+50ppm(포)+2%(CO<sub>2</sub>)+0.5g(규), 45도+50ppm(포)+2%(CO<sub>2</sub>)+0.5g(규)농도에서 살충효과(LT100)를 시간별로 측정하여 조사 하였다. 또한 Drager x-am 7000를 사용하여 PH<sub>3</sub>와 CO<sub>2</sub>의 농도를 유지하며, 공간내부는 테이프등을 이용하여 밀폐하여 실험을 진행하였다.

- ① 온도 : 자사 자체개발한 열풍기(뜨거운 바람이 나오는 기계장치)를 이용 하여 온도를 유지. (열풍기는 적정온도가되면 켜졌다 꺼졌다 반복하면서 온도가 유지)
- ② PH<sub>3</sub> : 실험공간내부 사방에 Petri dish를 설치하고 그 위에 예피흙을 적정농도에 맞게 두고 Drager x-am 7000을 사용하여 농도를 유지.
- ③ CO<sub>2</sub> : 저울위에 CO<sub>2</sub>분배두고 적정농도에 맞게 저울무게를 확인하여 적용. Drager x-am 7000을 사용하여 농도를 유지를 위해 추가 CO<sub>2</sub> 투입.
- ④ 규조토 : 열풍기 앞에 적정 농도에 맞는 무게의 규조토를 두면 바람에 의해 전체적 확산.



온도+이산화탄소 처리



이산화탄소 샘플링



온도+이산화탄소 처리



온도+규조토 처리



포스핀가스 샘플링

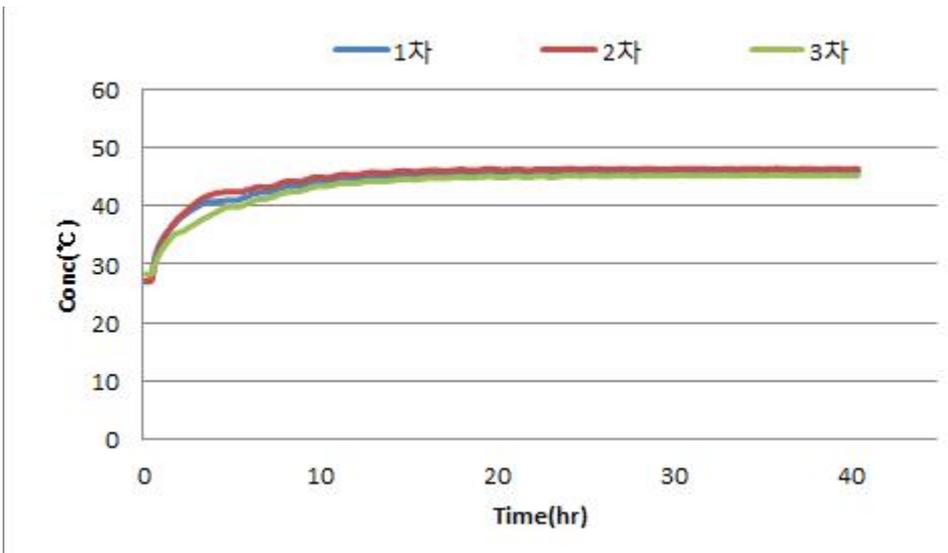


포스핀가스 농도 측정

○ 컨테이너 처리균 농도유지

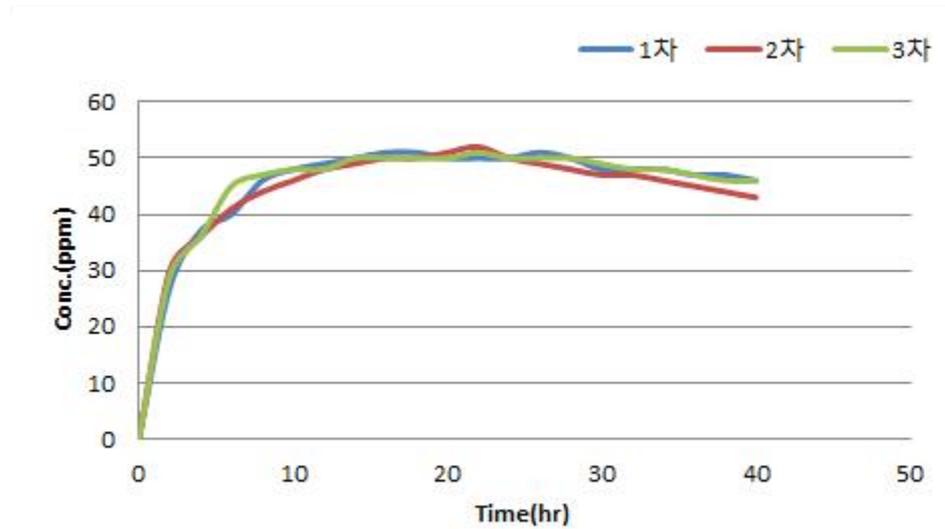
### 1. 온도(45℃기준)

약 8시간까지 45℃에 도달하였고 이 후 약 40시간까지 45℃에서 일정하게 온도가 유지 되었다.



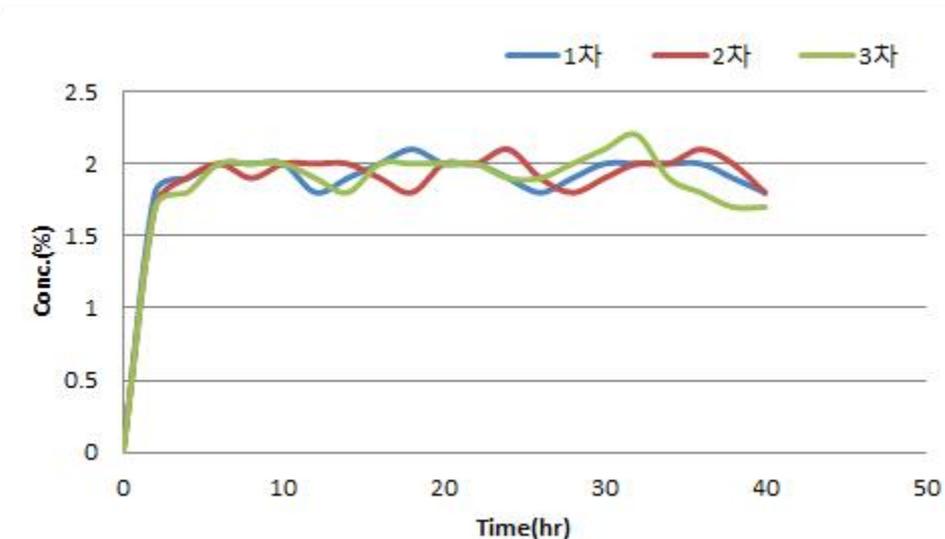
## 2. PH<sub>3</sub>(50ppm)

약 6시간까지 PH<sub>3</sub> 농도가 50ppm에 도달하였고 약 40시간까지 서서히 감소되었지만 농도는 일정하게 유지 되었다.



## 3. CO<sub>2</sub>(2%)

약 3시간까지 CO<sub>2</sub> 농도가 2%에 도달하였고 약 40시간까지 CO<sub>2</sub>를 추가적으로 투입하여 농도를 일정하게 유지 하였다.



○ 컨테이너 저장곡물해충 단일처리시 살충력 조사

### 1. 거릿쌀도둑거저리

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 거릿쌀도둑거저리에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 12hr으로 24hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc.(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	12	30	54	68	86	100
50-①	0	0	18	54	86	100			
50-②	0	0	10	38	76	100			
50-③	0	0	14	50	88	100			

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 거짓쌀도둑거저리에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충 효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 36hr, 24hr로 같거나 12hr 단축되었으며, 대조군과 처리군이 사멸시간이 같은 부분은 살충시간 24hr에 살충율을 확인하면 각각 86, 98%로 12% 차이가 나므로 미비하게 살충효과가 있음을 확인.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc.(%)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	12	30	54	68	86	100
2-①	0	0	0	28	54	74	86	100	
2-②	0	0	0	26	56	72	80	100	
2-③	0	0	0	28	48	76	90	98	100

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 거짓쌀도둑거저리에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을때 사멸시간(LT100)이 36hr → 24hr 으로 12hr 단축이 되어 살충효과가 있음.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	12	30	54	68	86	100
0.5-①	0	0	8	30	50	62	90	100	
0.5-②	0	0	0	26	52	68	94	100	
0.5-③	0	0	4	32	44	72	86	100	

2. 어리쌀바구미

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 어리쌀바구미에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충

효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 3hr, 6hr으로 33hr, 30hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc,(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	14	36	50	76	94	100
50-①	0	76	100						
50-②	0	70	96	100					
50-③	0	78	100						

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 어리쌀바구미에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 18hr로 18hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc,(%)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	14	36	50	76	94	100
2-①	0	8	24	38	50	82	100		
2-②	0	4	28	50	58	78	100		
2-③	0	12	20	40	52	76	100		

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 어리쌀바구미에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을때 사멸시간(LT100)이 36hr → 9hr 으로 27hr 단축이 되어 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	14	36	50	76	94	100
0.5-①	0	22	48	78	100				
0.5-②	0	18	42	66	100				
0.5-③	0	12	36	64	100				

### 3. 화랑곡나방 유충

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 화랑곡나방 유충에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살

충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 12hr → 6hr으로 6hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc,(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h	12h
0(control)	0	0	10	26	64	100
50-①	0	34	74	100		
50-②	0	40	80	100		
50-③	0	32	74	100		

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 화랑곡나방 유충에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 12hr → 18hr로 오히려 6hr 증가되어 살충효과가 없다. 실험실상 실험과 마찬가지로 화랑곡나방 유충에 있어서 저농도의 CO<sub>2</sub>는 생존력을 높임을 알 수 있음.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc,(%)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h
0(control)	0	0	10	26	64	100	
2-①	0	0	0	8	34	64	100
2-②	0	0	0	4	20	62	100
2-③	0	0	0	4	30	66	100

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 화랑곡나방 유충에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 12hr → 12hr, 9hr로 같거나 3hr단축되었으며, 대조군과 처리군이 사멸시간이 같은 부분은 사멸시간 9hr에 살충수를 확인하면 각각 64, 94%로 30% 차이가 나므로 미비하게 살충효과가 있음을 확인.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h	12h
0(control)	0	0	10	26	64	100
0.5-①	0	0	20	56	100	
0.5-②	0	2	24	50	100	
0.5-③	0	4	32	60	94	100

#### 4. 이질바퀴

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 이질바퀴에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 9hr → 3hr으로 6hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc,(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h
0(control)	0	20	40	85	100
50-①	0	60	100		
50-②	0	75	100		
50-③	0	75	100		

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 이질바퀴에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 9hr → 6hr로 3hr 단축되므로 살충효과가 있음을 확인.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc,(%)	0h	1h	3h	6h	9h
0(control)	0	20	40	85	100
2-①	0	50	80	100	
2-②	0	25	60	100	
2-③	0	50	75	100	

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 이질바퀴에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 9hr → 9hr, 6hr로 같거나 3hr 단축되었다. 이 경우 DE가 이질바퀴와 같은 큰 해충에게는 영향이 없거나 미비하게 작용함.

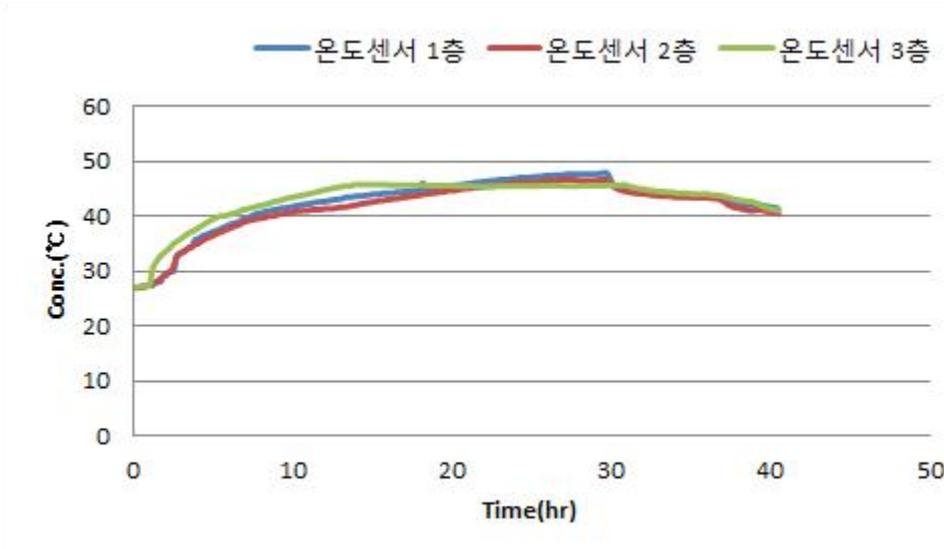
{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h
0(control)	0	20	40	85	100
0.5-①	0	20	65	100	
0.5-②	0	25	60	90	100
0.5-③	0	30	75	100	

○ 제분회사 처리군 농도유지

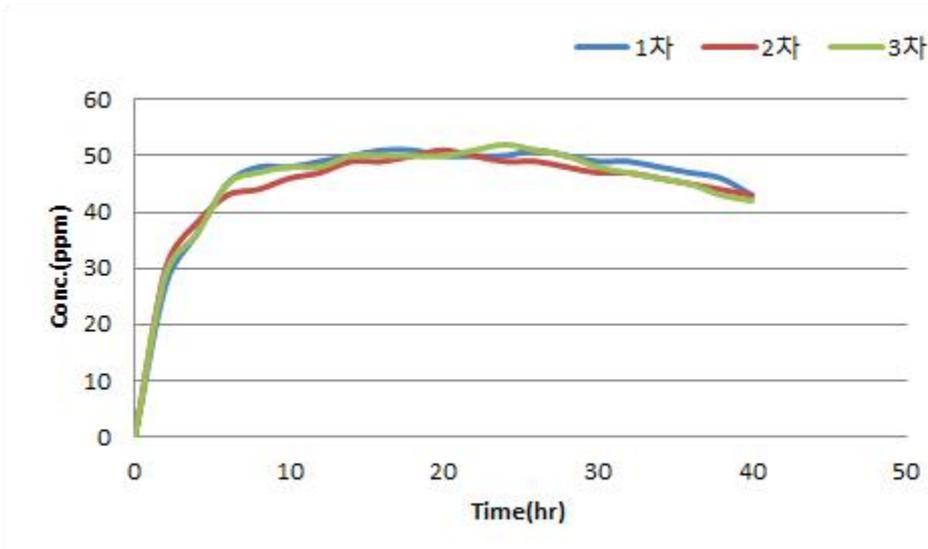
### 1. 온도(45℃기준)

약 10시간까지 45℃에 도달하였고 이 후 약 40시간까지 45℃에서 일정하게 온도가 유지 되었다.



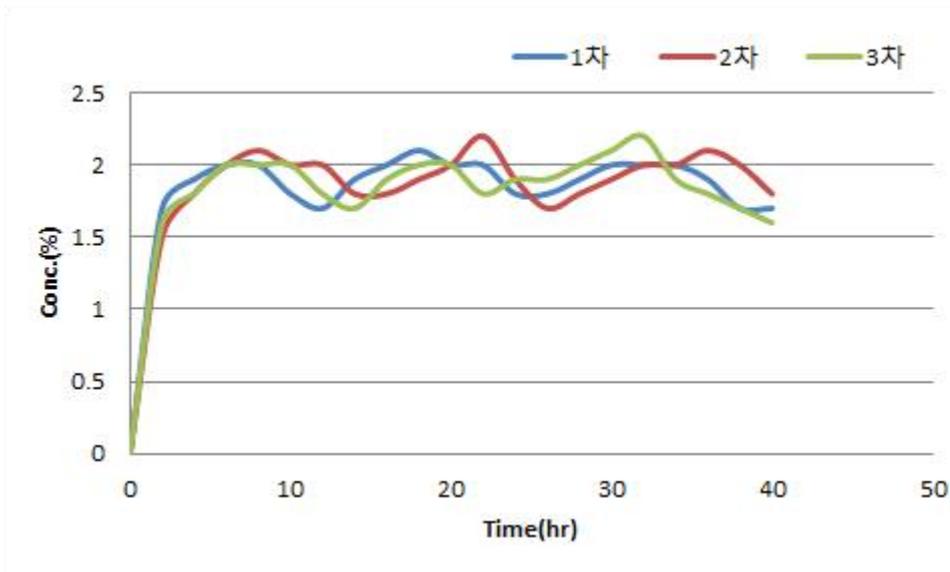
### 2. PH<sub>3</sub>(50ppm)

약 8시간까지 PH<sub>3</sub> 농도가 50ppm에 도달하였고 약 40시간까지 서서히 감소되었지만 농도는 일정하게 유지 되었다.



### 3. CO<sub>2</sub>(2%)

약 4시간까지 CO<sub>2</sub> 농도가 2%에 도달하였고 약 40시간까지 CO<sub>2</sub>를 추가적으로 투입하여 농도를 일정하게 유지 하였다.



○ 제분회사 저장곡물해충 단일처리시 살충력 조사

### 1. 거릿쌀도둑거저리

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 거릿쌀도둑거저리에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 12hr, 9hr으로 24hr, 27hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc,(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	8	32	44	64	90	100
50-①	0	0	16	58	84	100			
50-②	0	0	20	64	100				
50-③	0	0	14	56	80	100			

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 거릿쌀도둑거저리에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 24hr으로 12hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc.(%)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	8	32	44	64	90	100
2-①	0	0	0	20	50	76	88	100	
2-②	0	0	0	20	52	68	84	100	
2-③	0	0	0	28	52	74	90	100	

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 거릿쌀도둑거저리에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr → 36hr으로 사멸시간이 같아 영향이 없음.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
0(control)	0	0	0	8	32	44	64	90	100
0.5-①	0	0	0	10	30	48	68	82	100
0.5-②	0	0	0	8	32	48	70	86	100
0.5-③	0	0	0	10	40	52	60	78	100

## 2. 어리쌀바구미

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 어리쌀바구미에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 24hr → 3hr으로 21hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc.(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h
0(control)	0	0	10	28	52	66	82	100
50-①	0	74	100					
50-②	0	80	100					
50-③	0	70	100					

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 어리쌀바구미에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 24hr → 18hr, 12hr으로 6hr, 12hr

단축되므로 살충효과가 있음을 확인.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc.(%)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h
0(control)	0	0	10	28	52	66	82	100
2-①	0	8	24	38	60	82	100	
2-②	0	4	28	50	68	100		
2-③	0	12	20	40	58	76	100	

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 어리쌀바구미에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 살충시간(LT100)이 24hr → 12hr, 9hr으로 12hr, 15hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h
0(control)	0	0	10	28	52	66	82	100
0.5-①	0	6	26	48	70	100		
0.5-②	0	20	38	62	100			
0.5-③	0	10	20	64	100			

### 3. 화랑곡나방 유충

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 화랑곡나방 유충에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 12hr → 6hr, 9hr으로 3hr, 6hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc.(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h	12h
0(control)	0	0	4	26	58	100
50-①	0	28	74	100		
50-②	0	32	80	96	100	
50-③	0	32	70	100		

나. 45°C+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45°C에서 화랑곡나방 유충에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충

효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 12hr → 18hr로 오히려 6hr 증가되어 살충효과가 없다. 실험실상 실험과 마찬가지로 화랑곡나방 유충에 있어서 저농도의 CO<sub>2</sub>는 생존력을 높임을 알 수 있음.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc,(%)	0h	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h
0(control)	0	0	4	26	56	100		
2-①	0	0	0	0	0	22	58	100
2-②	0	0	0	0	4	28	68	100
2-③	0	0	0	0	2	10	64	100

다. 45°C+DE에 따른 영향

45°C에서 화랑곡나방 유충에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 12hr → 12hr으로 같아 살충효과가 없음.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h	12h
0(control)	0	0	4	26	56	100
0.5-①	0	0	8	30	82	100
0.5-②	0	0	10	36	78	100
0.5-③	0	0	6	26	74	100

#### 4. 이질바퀴

가. 45°C+PH<sub>3</sub>에 따른 영향

45°C에서 이질바퀴에 PH<sub>3</sub>를 50ppm이 되게 처리한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 9hr → 3hr으로 6hr 단축되므로 살충효과가 큼.

{Mortality(%)}

PH <sub>3</sub> Conc,(ppm)	0h	1h	3h	6h	9h
0(control)	0	15	35	75	100
50-①	0	40	100		
50-②	0	50	100		
50-③	0	90	100		

나. 45℃+CO<sub>2</sub>에 따른 영향

45℃에서 이질바퀴에 CO<sub>2</sub>를 2%가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 9hr → 6hr로 3h 단축되므로 살충효과가 있음을 확인.

{Mortality(%)}

CO <sub>2</sub> Conc.(%)	0h	1h	3h	6h	9h
0(control)	0	15	35	75	100
2-①	0	40	75	100	
2-②	0	25	90	100	
2-③	0	50	90	100	

다. 45℃+DE에 따른 영향

45℃에서 이질바퀴에 DE를 0.5mg/L가 되게 투여한 다음 아래 표와 같이 3반복하여 살충효과를 나타내었다. 대조군과 비교 하였을 때 사멸시간(LT100)이 9hr → 6hr으로 3hr 단축되므로 살충효과가 있음을 확인.

{Mortality(%)}

DE Conc.(g/m <sup>3</sup> )	0h	1h	3h	6h	9h
0(control)	0	15	35	75	100
0.5-①	0	25	70	100	
0.5-②	0	10	70	100	
0.5-③	0	30	80	100	

○ 컨테이너 저장곡물해충 복합처리시 살충력 조사

1. 복합처리(40℃+훈증+대기조성)에 따른 영향

40℃에서 거릿쌀도둑거저리에 복합처리하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 아래 표에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 48hr에서 12hr으로 단축된 것을 확인할 수 있다.

{Mortality(%)}

	0	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h	48h
40도	0	0	0	0	0	8	32	56	80	100
40도+50ppm(포)+2%(CO <sub>2</sub> )+0.5g(규)-1	0	14	30	50	80	100				
40도+50ppm(포)+2%(CO <sub>2</sub> )+0.5g(규)-2	0	14	28	54	78	100				
40도+50ppm(포)+2%(CO <sub>2</sub> )+0.5g(규)-3	0	16	34	58	84	100				

2. 복합처리(45℃+훈증+대기조성)에 따른 영향

45℃에서 거짓쌀도둑거저리에 복합처리하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 아래 표에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr에서 9hr로 단축된 것을 확인할 수 있다.

{Mortality(%)}

	0	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
45도	0	0	0	12	30	54	68	86	100
45도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-1	0	40	72	92	100				
45도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-2	0	42	72	94	100				
45도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-3	0	38	72	96	100				

○ 제분회사 저장곡물해충 복합처리시 살충력 조사

1. 복합처리(40℃+훈증+대기조성)에 따른 영향

40℃에서 거짓쌀도둑거저리에 복합처리하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 아래 표에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 60hr에서 12hr으로 단축된 것을 확인할 수 있다.

{Mortality(%)}

	0	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h	48h	60h
40도	0	0	0	0	0	0	8	24	48	90	100
40도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-1	0	10	24	50	82	100					
40도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-2	0	18	20	40	74	100					
40도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-3	0	8	18	46	76	100					

2. 복합처리(45℃+훈증+대기조성)에 따른 영향

45℃에서 거짓쌀도둑거저리에 복합처리하여 살충효과를 다음 표와 같이 나타내었다. 아래 표에서 보는 것과 같이 대조군과 비교하였을 때 사멸시간(LT100)이 36hr에서 9~12hr로 단축된 것을 확인할 수 있다.

{Mortality(%)}

	0	1h	3h	6h	9h	12h	18h	24h	36h
45도	0	0	0	8	32	44	64	90	100
45도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-1	0	18	58	76	96	100			
45도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-2	0	28	54	80	100				
45도+50ppm(포)+2%(CO2)+0.5g(규)-3	0	14	52	82	100				

○ 사일로 열처리시스템도입

사일로의 경우 높이가 약 15~30m 정도로 높기 때문에 열처리시스템을 도입할 경우 해충의 주요 서식처인 상부까지 열을 전달하는 것이 중요하다. 그래서 열풍기의 앞부분에 천덕트를 연결하여 사일로 상부 2/3 지점에서 열풍이 토출되도록 하여 사일로 상부의 온도를 집중적으로 높여 방제를 실시하였다. 그 결과 20kw 열풍기 1대를 활용하여 높이 15m 및 직경 약 3m의 사일로 상부의 온도를 약 8~10시간만에 50℃까지 도달시켰으며, 50℃에서 약 12시간 정도 온도를 유지하여 중요 설비 내부에 서식하는 해충을 사멸시킬 수 있었다.



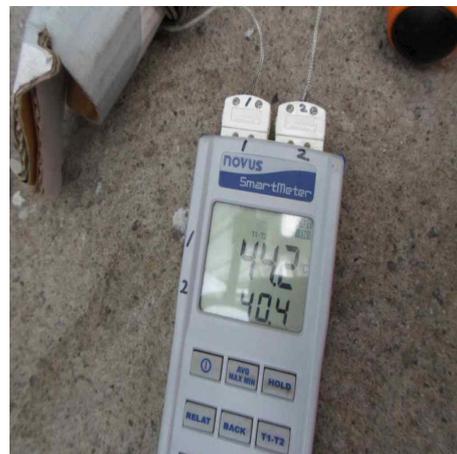
사일로 내부에 설치된 열풍기



천덕트에 의해서 열풍 이송



현장시험 사일로(제분) 모습



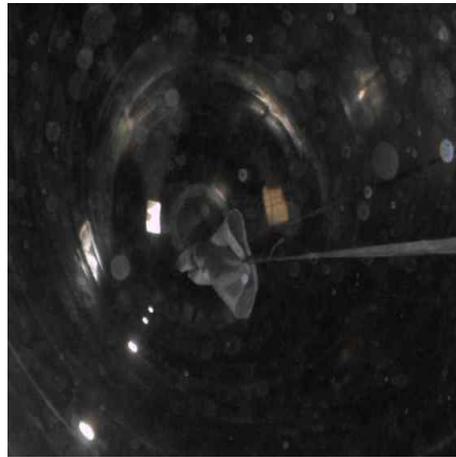
유선 온도 모니터링 장비



사일로 상부 필터 해충 점검 및 청소 작업



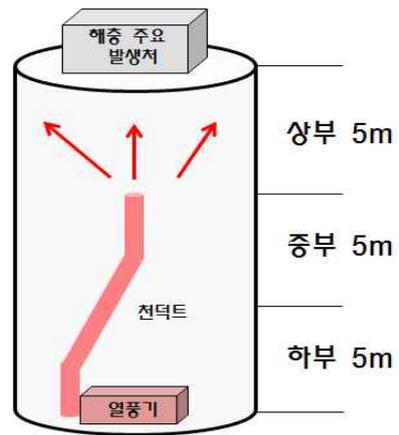
사일로 상부 필터(해충 주요 서식처)



사일로 상부 천덕트 연결 모습



현장시험 이후 수거된 거저리(성충)

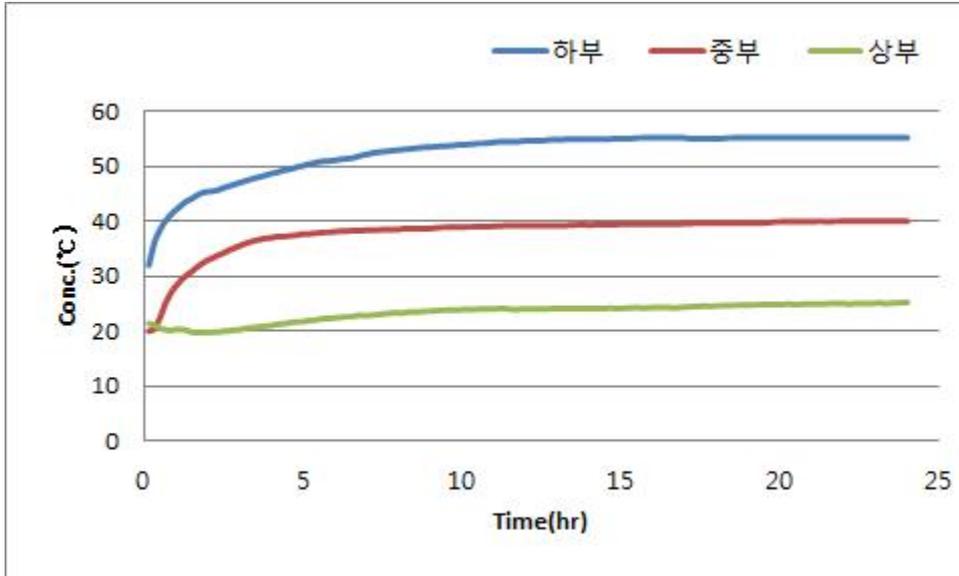


사일로 열처리시스템 내부 도식도

○ 사일로 상, 중, 하부 온도 그래프

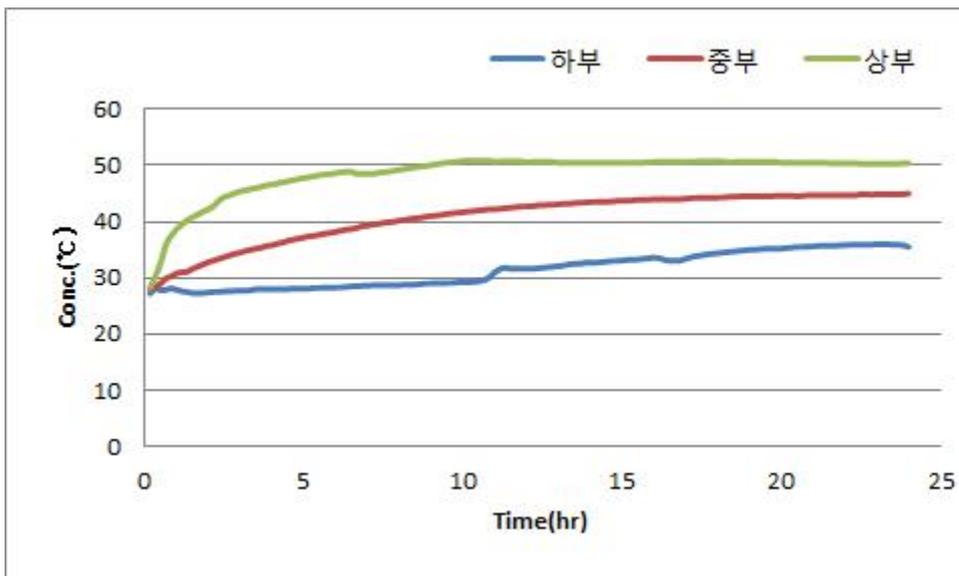
1. 1차 천덕트 없을 경우

천덕트 없이 열풍기를 가동하였을 때 하부의 온도는 적정온도 55℃에 도달하여 온도가 유지 되지만 해충 주요 발생지인 사일로 상부로 갈수록 온도는 낮아져 제대로 된 방제가 이루어지 지 않는다.



2. 2차 천덕트 사용할 경우

열풍기에 천덕트를 연결하여 상부에 열풍이 나오게 하였을 때 해충 주요 발생지인 사일로 상부에 온도를 약 8~10시간만에 50℃까지 도달시켰으며, 50℃에서 약 12시간 정도 온도를 유지 하여 중요 설비 내부에 서식하는 해충을 사멸시킬 수 있었다.



○ 고찰

1. 포스핀과 규조토의 안전성

가. 포스핀

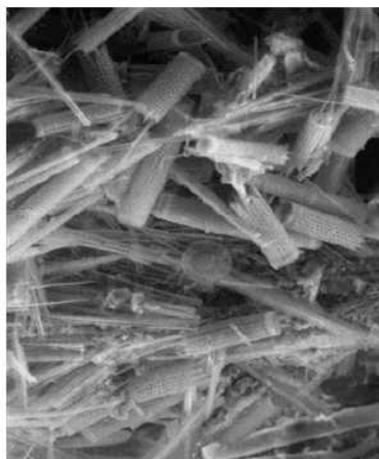
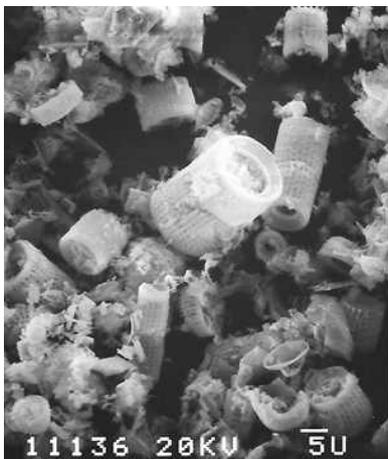
정부양곡창고에 보관하는 정부 양곡의 해충(바구미 등) 방제를 위한 훈증제로 인화늄 정제(알루미늄 포스파이드, 상표명: 에피훅)를 사용하고 있습니다(연 1회 우기가 오기 전 6월~7월에 훈증 소독 시행). 에피훅은 휘발성이 강하여 4~7일 훈증소독 후 3시간 이상 환기하면 양곡에 거의 잔류하지 않고 맛, 향기, 영양 등 품질에도 손상을 주지 않아 대부분 국가에서 양곡 해충 방제를 위해 사용하고 있습니다(미국, 일본, 호주, EU 등 대부분의 국가에서도 수입품 검역 방제 및 양곡 소독 등에 사용). 식품의약품안전처의 잔류허용기준은 0.1mg/kg이지만, 1992년, 1994년, 2012년, 2013년 4차례 잔류시험을 한 결과 모두 허용기준 미만으로 검출되었습니다. 특히, 2013년 10월 국립농산물품질관리원이 실시한 훈증 소독 후 기간 경과별 잔류량 조사결과에서는 훈증소독 후 3시간 경과 후에도 잔류량이 기준치 미만인 0.048mg/kg 검출되었습니다.

\* 잔류량(mg/kg) : (훈증소독 후 3시간경과) 0.048, (1일) 0.006 (2일) 0.005  
따라서, 포스핀으로 방제 후 3시간 이상 환기는 필수적으로 이루어져야한다.

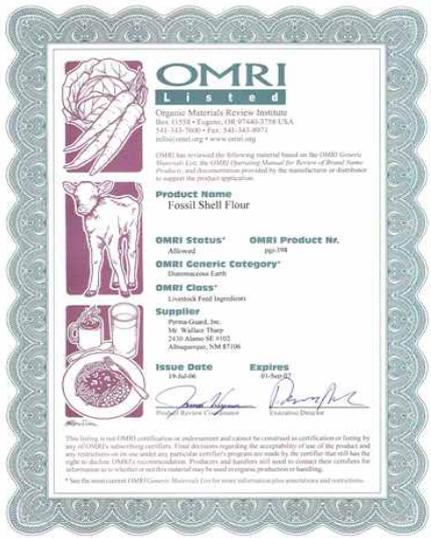
※ 출처 : 농림축산식품부

나. 규조토

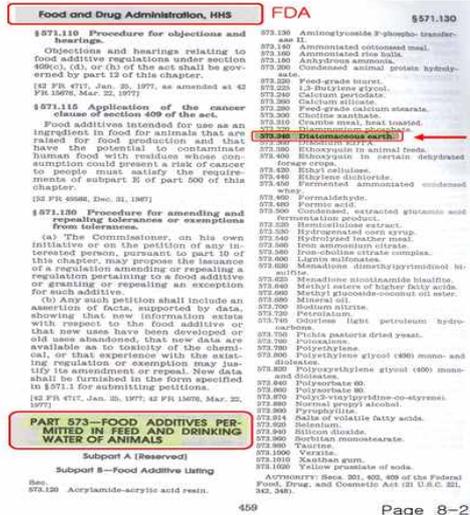
- 비결정질 : 식물학적으로 진화된 유기조직이 없음, 화학적 비결정질.
- 석회화되지 않으며 결정질 실리카 1%미만.
- 화학적이고 아니고 물리적, 기계적으로 작용함으로 해충의 면역반응은 보고되지 않음.
- 뾰족한 모양이어서 해충에 직접 반응하여 도망가도록 함.
- 규조토 경도는 7/ 해충의 경도는 3으로 규조토가 해충의 표피를 파괴하여 탈수로 죽게 함.
- 무내성, 무독성, 무잔류의 곡물 보호제이며 한번 처리하면 저장기간 내내 유효함.
- 규조토 3kg으로 1,000kg 곡물이나 씨앗을 보호.
- EPA(환경보호국)에서 효과가 검증된 해충: 가루이, 진디, 벼룩, 딱정벌레, 배추벌레등 28종



규조토 현미경 사진



OMRI 인증자료



FDA 인증자료

2. 기존 열처리 방제와 3중복합처리 시스템 방제의 경제성 비교분석

기존 열처리 방제와 3중복합처리 시스템을 비용산출 하였다. 3중복합처리 시스템을 도입시 기존 열처리 방제에 비해 100만원에서 96만원으로 방제비용이 4만원정도 비용이 절감되었으며, 또한 방제시간이 48시간에서 24시간으로 24시간 단축되어 인건비 감소, 열풍기 노후화 감소등 이점을 지닌다. 특히, 거래처의 경우 방제를 실시하기 위해 생산라인이 멈추게 되는데 생산라인 중단시간이 하루 앞당겨져 생산에 있어 불편함을 덜 수 있다.

제분회사 현장적용 결과를 살펴보면 거짓쌀도둑거저리에서 온도(45℃)+PH3(50ppm) 농도와 온도(45℃)+PH3(50ppm)+CO2(2%)+규조토(0.5g)를 비교하였을 때 살충시간(LT100)이 9~12hr로 같아 비용절감을 위해 제분회사 현장적용에서는 CO2를 처리하지 않는게 적합하다고 사료된다.

	기존 열처리 방제	3중복합처리 시스템
처리균 농도	온도(55℃)	온도(45℃)+ PH3(50ppm)+ CO2(2%)
방제시간	48hr	24hr
전기료 및 처리균비용	1400m3 면적에 대하여 비용산출	
	전기료: 약 100만원	전기료 : 약 40만원 PH3비용 : 약 6만원 CO2비용 : 약 50만원 (규조토비용 : 적은양이라 비용에 불포함) <span style="float: right;">▶ 총 96만원</span>

### 3. 현장에 따른 처리군 조합

#### 가. 컨테이너

거짓쌀도둑거저리에서 가장 높은 살충력을 보인 온도(45℃)+PH3(50ppm)+CO2(2%)+규조토(0.5g)농도를 사용하여 방제를 실시하는게 적합하다고 사료된다.

#### 나. 제분회사

거짓쌀도둑거저리에서 온도(45℃)+PH3(50ppm)+CO2(2%)+규조토(0.5g)농도에서 가장 높은 살충력을 보이나 온도(45℃)+PH3(50ppm)농도와 살충력에서 차이가 거의 없으며 CO2의 처리비용이 높기 때문에 온도(45℃)+PH3(50ppm)농도를 사용하여 방제를 실시하는게 적합하다고 사료된다.

#### 다. 사일로

사일로는 밀가루 저장고로 열처리를 제외하고 내부에 PH3, CO2 규조토를 처리하는데 어려움이 있으며 바로 식품 근처에 처리하는거라 민감한 부분이 있어 식품회사에서 꺼려하는 부분이 존재한다. 따라서 열풍기에 천덕트를 이용하여 사일로 상부에 50~55℃ 온도를 높여 방제를 실시하는 것이 적합하다고 사료된다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 개발과제의 최종목표는 다양한 수확 후 관리시설의 주요해충인 저장곡물 및 위생해충의 효과적인 방제를 위하여 열처리, 훈증(포스핀), 대기조성(CO<sub>2</sub>, 식용규조토)의 3중 복합처리에 대한 해충의 생리적 감수성 및 살충기작을 분석하고 이를 토대로 복합처리의 현장적용형 방제 시스템을 개발하고자 하였다. 본 실험결과 저장곡물 및 위생해충에 대해 살충시간을 단축시킬 수 있었다. 기존의 화학적방제(훈증제)의 단일 적용방법에서 나타난 식품안정성, 약품잔류문제, 환경파괴, 내성 해충증가 등의 문제점 해소가 가능하여, 환경 및 식품 안전성에 대해 소비자의 높은 요구도를 만족시킬 수 있으며, 복합 열처리기술은 단독처리법에 비해 높은 살충율을 나타내므로 방제시간 단축, 방제온도 감소 등에 의한 에너지 절약과 단가 인하 등에 의한 경제적인 효과가 예상된다. 이러한 새로운 방제기술은 화학적 방법의 단독적용이 일으킨 부작용과 물리적 방법(열처리)의 한계를 극복할 수 있는 방제산업의 발전에 새로운 대안이 될 것으로 기대된다.

세부연구목표	달 성	달성도 (%)
온도-훈증-대기조성 복합 처리시 주요 저장곡물 및 위생해충의 살충율 분석	저장곡물 및 위생해충에 대해 온도-훈증-대기조성 농도별 살충율 확인	100
현장적용 저장곡물 및 위생해충 살충율 분석	컨테이너 및 제분회사 현장에서 저장곡물 및 위생해충 살충율 확인	100
열처리시 규조토 혼용에 대한 상승효과 비교 분석	화랑곡나방 5령 방황유충을 대상으로 열처리 규조토 혼용시 살충율 상승과 우화율 억제를 확인	100
주요 저장곡물 해충에 대한 열처리시 규조토, 포스핀, 이산화탄소의 혼용에 대한 상승효과 비교 분석	저장곡물 해충에 대한 열-훈증-대기조성 복합처리시 살충율 상승효과 확인	100
복합처리에 대한 해충의 생리적 감수성 및 살충기작 분석	화랑곡나방 유충에 혼영처리시 스트레스 유전자 발현상승 및 저하 확인	100

# 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

## 1. 연구 성과 목표

(단위 : 건수)

구분	(예시)특허		(예시)신품종				(예시)유전자원 등록	(예시)논문		기타
	출원	등록	품종명칭 등록	품종생산 수입판매 신고	품종보호			SCI	비SCI	
					출원	등록				
1차 년도	목표						5	1		
	달성						5	1		
2차 년도	목표	1	1				5	3		
	달성	0	0				5	3		
계	목표	1	1				10	4		
	달성	0	0				10	4		

※ 현재 연구결과물에 대한 특허 출원을 위하여 변리사와 협의 진행중이며, 향후 6개월 이내에 특허를 출원할 계획이다.

### 가. 논문게재 성과

본 연구를 통하여 SCI급 논문 2건을 게재하였고 SCI급 논문 1건은 심사중이며, 나머지 SCI급 논문 1건 투고중에 있어 총 4건 논문게재가 이루어질 것으로 판단된다.

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신 저자	공동 저자				
2014	Molecular identification of glucose-regulated protein 78 ( <i>grp78</i> ) gene from Indian meal moth, <i>Plodia interpunctella</i> , and its regulation by nutrient uptake	심재경	이경열	김한나	Journal of Asia-Pacific Entomology	17, 303-309	국외	SCIE
2014	Synergistic effects of heat and diatomaceous earth for the control of <i>Plodia interpunctella</i> (Lepidoptera: Pyralidae)	김한나	이경열	유연수	Entomological Research	44, 130-136	국외	SCIE
2015	Differential induction of cellular stress responses on the combined treatments of heat with diatomaceous earth, phosphine or carbon dioxide on <i>Plodia interpunctella</i>	김한나	이경열	유연수	Journal of Asia-Pacific Entomology	심사중	국외	SCIE
2015	Synergistic effects of heat and diatomaceous earth, phosphine and carbon dioxide on three insects	김한나	이경열	유연수	Journal of Asia-Pacific Entomology	투고중	국외	SCIE

나. 인력지원 성과

본 연구를 통하여 석사(여) 1명을 배출하였다.

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
1		1				1			1

본 과제를 수행하면서 2013년 추계 세계곤충학회에서 “Synergistic effects of both heating and diatomaceous earth treatments for the control of stored-product insect, *Plodia interpunctella*” 제목과 “수확 후 관리시설의 해충방제를 위한 열-훈증-대기조성 3중 복합처리 시스템 개발” 제목으로 2건 발표를 하였고, 2014 춘계 응용곤충학회에서 “화랑곡나방의 방제를 위한 열과 구조토 혼용처리 상승효과” 제목으로 1건을 발표하였다. 또한 2104 추계 한국응용곤충학회에서는 “열-훈증-대기조성 3중복합처리 현장적용형 해충방제 시스템 개발” 제목으로 1건 발표를 하였다.

현재 지속적으로 국내 제분회사 및 식품회사에 열처리시스템 도입을 제안하고 있으며, 본 연구과제 결과를 활용하여 현장에 적용할 경우 방제시간 단축 및 에너지 효율을 극대화할 수 있음을 강조하여 마케팅을 진행하고 있다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 1. 국내의 관련분야 환경변화

- 식품가공회사, 제분회사 등 수확 후 관리시설의 친환경적인 해충방제 요구도가 지속적으로 증가하고 있음. (주)캐처스의 경우 지난 2013년 9월 국내 최대 규모(약 50,000m<sup>3</sup>)의 충남 당진 한국제분을 대상으로 열풍방제를 성공적으로 수행하였음. 이를 위하여 (주)캐처스는 전기 열풍방제기를 기존 106대에서 120대를 추가로 확보하여 활용하고 있음.
- 또한, 지난 2013년 8월 농심 안양공장 원료의 혼합 및 로라실을 대상으로 열풍방제를 수행하여 성공적으로 방제를 실시함. 국내 대부분의 식품 가공회사에서 동일하게 보유중인 원료 혼합로라실의 경우 향후 주기적인 열풍방제를 수행하여 내부 해충을 정기적으로 관리해야할 것으로 사료됨.
- 최근 국내에서도 숙박업소(호텔)의 경우 외국인의 투숙이 많으면서 진드기류 등 외래해충이 일부 발생하고 있으며, 이를 위한 화학살충제를 사용하지 않는 친환경적인 방제에 대한 요구도가 지속적으로 증가함.
- 3중 복합처리기술을 이용한 새로운 방제기술은 화학적 방법의 단독적용이 일으킨 부작용과 물리적 방법(열처리)의 한계를 극복할 수 있는 방제산업의 발전에 새로운 대안이 될 것으로 기대되며, 세계적으로 이 분야의 선도적인 기술을 확보하여 국가경쟁력을 향상시킬 수 있음.

## 제 7 장 참고문헌

- 나자현, 남영우, 류문일, 천용식. (2006) 고농도 탄산가스 충전에 의한 식품 해충 방제: 거릿쌀도둑거저리와 화랑곡나방의 살충효과에 미치는 노출시간과 식품포장 재질의 영향. Korean J. Appl. Entomol. 45(3): 363-369.
- 나자현, 류문일. (2005) 제분 시설에서의 화랑곡나방(Lepidoptera: Pyralidae)의 고온 방제. Korean J. Appl. Entomol. 44(1): 67-72.
- 나자현, 남영우, 류문일, 천용식. (2006) 고농도 탄산가스 충전에 의한 식품 해충 방제 : 거릿쌀도둑거저리와 화랑곡나방의 살충효과에 미치는 노출시간과 식품포장 재질의 영향. Korean J. Appl. Entomol. 45(3): 363-369.
- Alan K. Dowdya,1, Paul G. Fields. (2002) Heat combined with diatomaceous earth to control the confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) in a flour mill. Journal of Stored Products Research. 38(1): 11-22.
- Almeida-e-Silva, A.P.R-de., L.R.D.A. Faroni, R.N.C. Guedes and A.G.da Silva-Junior. (2002) Phosphine combined with low level carbon dioxide for the control of *Tribolium castaneum* (Herbst) at different temperatures. Bull. OILB/SROP. 25: 253-257.
- Athié I, Gomez, R.A.R. Bolonhezi, S. Valentini, SR.T. and M. Fernanda Penteadó M. de Castro. (1998) Effects of carbon dioxide and phosphine mixtures on resistant populations of stored grain insects. Journal of Stored Products Research, 34(1): 27-32.
- Benoit JB, Lopez-Martinez G, Phillips ZP, Patrick KR, Denlinger DL. (2010) Heat shock proteins contribute to mosquito dehydration tolerance. Journal of Insect Physiology 56: 151-6.
- Dowdy AK, Fields PG. (2002) Heat combined with diatomaceous earth to control the confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) in a flour mill. Journal of Stored Product Research 38: 11-22.
- Donahaye, EJ, Navarro, S, Rindner, M, Azrieli, A. (1996) The Combined Influence of Temperature and Modified Atmospheres on *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). J. stored Prod. Res. 32(3): 225-232.
- Hallman GJ, Thomas DB. (2011) Evaluation of the efficacy of the methyl bromide fumigation schedule against Mexican fruit fly (Diptera: Tephritidae) in citrus fruit. Journal of Economic Entomology 104:63-68.
- H.H. Lu, J.C. Zhou, D. Yan, S.M. Zhao, S.B. Xiong. (2011) Effects of microwave radiation and conductive heating on *Tribolium castaneum* microstructure. micron. 42(1): 36-41
- Hulasare, R.B., N.D.G White, D.S Jayas. (2005) Effect of suboptimal temperatures and sublethal CO<sub>2</sub> level on multiplication of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), alone or competing with *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Cucujidae). Journal of Stored Products Research 41: 187-197.
- Jordan Thomas Silver, Earl G. Noble. (2011) Regulation of survival gene hsp70. Cell Stress and Chaperones. 17(1): 1-9.

- Kim H, Yu YS, Lee KY (2014) Synergistic effects of heat and diatomaceous earth treatment for the control of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae).
- Korunic Z (2013) Diatomaceous earths–natural insecticides. *PesticidePhytomed.*(Belgrade) 28, 77–95.
- Leesch J. G. (1992) Carbon dioxide on the penetration and distribution of phosphine through wheat, *Journal of Economic Entomology*, 85:1, 157–161.
- Liu, Y.–B. (2008) Low temperature phosphine fumigation for postharvest control of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on lettuce, broccoli, asparagus, and strawberry. *J. Econ. Entomol.* 101: 1786–1791.
- Mueller D.K. (1994) A new method of using low levels of phosphine in combination with heat and carbon dioxide, In: *Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored product Protection*, Vol. I, (Edited by Highley E., Wright, E.J., Banks, H.J. and Champ, B.R.) CAB International Canberra. 123–125.
- Moon Y–M, Park M–G, Tumaming J, Kim B–S, Lee B–H (2012) ECO2 Fume as a quarantine fumigant for import of nursery trees. In: Navarro S, Banks HJ, Jayas DS, Bell CH, Noyes RT, Ferizli AG, Emekci M, Isikber AA, Alagusundaram K, [Eds.] *Proc 9th. Int. Conf. on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products*, Antalya, Turkey. 15 - 19 October 2012, ARBER Professional Congress Services, Turkey pp: 300–304.
- Nedeljka N. Rosic, Mathieu Pernice, Sophie Dove, Simon Dunn, Ove Hoegh–Guldberg (2010) Gene expression profiles of cytosolic heat shock proteins Hsp70 and Hsp90 from symbiotic dinoflagellates in response to thermal stress: possible implications for coral bleaching. *Cell Stress and Chaperones*. 16(1): 69–90.
- Rajendran S (1990) The toxicity of phosphine methyl bromide, 1,1,1, trichloroethane and carbon dioxide alone and as mixture to the pupae of red flour beetle. *Pesticide Science*. 29(1): 75–83.
- Rizana Mahroof a, Bhadriraju Subramanyamb\*, Dale Eustace (2003) Temperature and relative humidity profiles during heat treatment of mills and its efficacy against *Tribolium castaneum*(Herbst) life stages. 39(5): 555–569.
- Rizana Mahroof, Kun Yan Zhu, Lisa Neven, Bhadriraju Subramanyam, Jianfa Bai (2005) Expression patterns of three heat shock protein 70 genes among developmental stages of the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 141(2): 247–256.
- Zettler J.L., Halliday W.R., Arthur F.H. (1989) Phosphine resistance in insects infesting stored peanuts in the southeastern United States. *J. Econ. Entomol.* 32:1508 - 11.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 생명산업기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.