

환경정화 곤충(동애등에, BSF)을 이용한 유기성 폐자원의
친환경 분해시스템 개발
Development of Manure Solids Conversion System Using
the Black Soldier Fly(BSF)

유기성 폐자원 분해를 위한 동애등에 증식기술 개발(협동과제)
Artificial Multiplication of the the Black Soldier Fly(BSF),
Hermetia illucens(Diptera: Stratmyidae) for Manure Solids Conversion
동애등에에 의한 유기성 폐자원 분해산물 이용기술 개발(협동과제)
A Study on the Application of Organic Wastes by Black Soldier Fly Larvae

그린테크주식회사

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “환경정화 곤충(동애등애, BSF)을 이용한 유기성 폐자원의 친환경 분해시스템 개발” 과제(세부과제 “유기성 폐자원의 친환경 분해 용기 개발”, “유기성 폐자원 분해를 위한 동애등애 증식기술 개발” 및 “동애등애에 의한 유기성 폐자원 분해산물 이용기술 개발)의 보고서로 제출합니다.

2009년 4월 25일

주관연구기관명 : 그린테크(주)

주관연구책임자 : 이 상훈

세부연구책임자 : 이 상훈

연 구 원 : 윤 인숙

연 구 원 : 김 인덕

연 구 원 : 김 문경

연 구 원 : 백 송이

협동연구기관명 : 국립농업과학원

협동연구책임자 : 최 영철

연 구 원 : 황 석조

연 구 원 : 김 종길

연 구 원 : 최 지영

연 구 원 : 김 원태

연 구 원 : 박 병도

협동연구기관명 : 국립축산과학원

협동연구책임자 : 유 동조

연 구 원 : 장 병귀

연 구 원 : 김 지혁

연 구 원 : 김 동욱

요 약 문

I. 제 목

환경정화 곤충(동애등애, BSF)을 이용한 유기성 폐자원의 친환경 분해시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

일반적으로 자연계에서 유기성 폐자원은 미생물에 의한 분해 작용 이전에 환경정화 곤충인 파리류 등에 의해 분해 되어진다. 그 중 동애등애는 집파리 등에 비해 사람에게 해를 주지 않으면서 분해 능력이 우수하여 기존 집파리 등의 단점을 보완할 수 있어 환경정화 곤충으로서의 개발이 시급한 실정이다.

현재 가축배설물 및 음식물쓰레기처리 문제는 환경보전 차원에서 심각한 문제로 대두되어지고 있고, 특히 음식물쓰레기는 '05년 1월 음식물류 폐기물의 직·매립 금지제도 시행으로 그 양이 증가하는 추세에 있다. 음식물쓰레기로 버려지는 자원이 연간 8조원에 이르고 그 처리비용 또한 2조원에 이르고 있다.

동애등애는 환경정화곤충으로서의 1차적 이용가치 외에 노숙 유충을 이용한 2차적 이용가치가 매우 뛰어나며 양어사료첨가제, 닭사료 단백질 첨가제, 과충류의 먹이, 조류의 생사료, 낚시미끼 등 경제적 가치가 톤(Ton)당 8,000~40,000\$(US)에 이르고, 화장품 원료 및 의약품 원료로의 개발이 가능하다. 이에 본 연구개발을 통하여 동애등애의 활용가치를 높일 수 있는 연구가 절실히 요구된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	2006	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성 폐자원 분해를 위한 용기 개발 ○ 동애등에 증식 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성 폐자원 분해를 위한 용기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 설계 및 디자인 - 소규모 용기 및 시스템 개발 ○ 동애등에 증식기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 동애등에의 생태적 특성 및 생태학적 독성구명 - 유기성 폐자원 분해 우수 동애등에 선발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기초연구 중심 <ul style="list-style-type: none"> - 시작기 개발을 위한 정보수집 및 설계도면작성 - 소규모 용기개발 - 동애등에 사육을 위한 곤충채집 및 생태조사
2차년도	2007	<ul style="list-style-type: none"> ○ 규모별 유기성 폐자원의 분해 시스템 개발 ○ 동애등에 대량사육 기술 개발 ○ 분해산물의 퇴비화 및 사료화 이용기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 규모별 유기성 폐자원의 분해 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 동애등에 유충을 이용한 최적분해 시스템 개발 ○ 동애등에 대량사육 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 동애등에 대량사육 시스템 개발 - 유기성 폐자원의 분해능력 검증 ○ 분해산물의 퇴비화 및 사료화 가치 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 분해산물의 퇴비화 분석 - 노숙 동애등에의 유충 사료화 가치분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술확립 중심 <ul style="list-style-type: none"> - 규모별 유기성 폐자원 분해용기 제작 및 활용 - 동애등에의 사육시스템 개발 - 분해산물의 퇴비화 및 사료화 가치 검증
3차년도	2008	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성 폐자원 분해 시스템 시작기 개발 ○ 동애등에 대량사육 기술 체계 확립 ○ 축분 및 음식물쓰레기 처리기술 개발 및 보급 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성 폐자원 분해 시스템 시작기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 규모별 분해 시스템 시작기 제작 ○ 동애등에 대량사육 기술 체계 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 동애등에 알 대량생산을 위한 사육시스템 개발 ○ 축분 및 음식물쓰레기 처리기술 개발 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 동애등에 및 분해시스템 보급 - 노숙 유충의 사료화 및 생산성 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 응용연구 중심 <ul style="list-style-type: none"> - 시작기 제작 및 보급 - 분해를 위한 동애등에 생산 공급 - 노숙 유충의 사료화 및 생산성 검증시험

IV. 연구개발 결과

1. 본 연구의 결과로 동애등을 이용한 음식물쓰레기를 친환경적으로 처리할 수 있는 분해용기를 규모별로 개발하여 최적 분해시스템 2종을 특허출원하였으며,
2. 동애등의 대량 증식 및 사육기술을 확립하기 위하여 개발된 분해시스템에 수시로 동애등에 유충을 공급할 수 있는 실내 대량증식 기술을 개발하여 인공산란 장치를 특허출원하였으며,
3. 동애등을 이용한 음식물쓰레기 분해산물을 퇴비화하고 동애등에 유충을 사료화하기 위한 실험을 통해 동애등에 분변토는 퇴비원료로 그리고 동애등에 유충(노숙유충 또는 번데기)는 닭, 어류 등의 사료로 활용함으로써 부가가치를 높일 수 있는 신 소득작목으로 농가시범사업을 통한 보급 및 신기술 홍보에 적극 활용하여야 할 것으로 사료됨.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 대규모 축산 농가 및 산업사회가 되어 수도권을 비롯한 대도시에서 많이 생산되고 있는 음식물 쓰레기의 감량을 위하여는 남은 음식물을 최적의 서식지로 삼으면서 단기간 내에 분해할 수 있는 기능이 있는 동애등에를 대량생산하여 활용할 수 있음
2. 활용 시 자연 생태계 파괴에 영향을 주지 않아야 하며, 안전시설을 갖춘 일정한 장소에서 공정의 단순화·자동화를 거친 후 감량과 변환된 자원(염분 등 제거)을 퇴비화 할 수 있음
3. 음식물 쓰레기 등 유기성 폐자원으로 생산된 동애등에 유충의 낚시미끼와 사료화, 번데기의 저온 저장으로 농가에서 필요로 할 때 가축이나 동물의 고단백 사료화와 분해산물을 유기질 비료로 재활용함으로써 그 가치는 극히 높다고 볼 수 있음
4. 축분 및 음식물쓰레기 분해를 위한 동애등에 알 생산업체 조기 육성
5. 동애등에 유충을 이용한 축분 분해 시스템 농가보급 및 조기 실용화
6. 기존 음식물쓰레기 처리시설과 연계하여 저비용 고효율 처리가 가능
7. 축산분뇨 처리, 음식물 자가 처리장, 대규모 처리장 등의 유기물분해에 활용
8. 유기성 폐자원 내 세균 및 곰팡이 등의 미생물을 섭식 처리하거나 항생물질 분비로 안전 퇴비 생산
9. 부산물 비료를 유기농 농가에 안전하게 공급 안전 농산물 생산 가능

Abstract

This experiment was conducted to develop the container and the mass-rearing protocol for the Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) that decomposes organic wastes such as human food in an environmentally friendly way, and to efficiently utilize by-products.

To develop the suitable methods and a model system to treat organic wastes using the black soldier fly, we investigated the amount of food waste and livestock manure and their treatment. The data were collected on the limit and the problems of using other fly species and the rearing container and related systems of the black soldier fly.

This study was conducted to investigate the distribution, genetic diversity, ecological characteristics and life cycle of the Black Soldier Fly (BSF) (*Hermetia illucens*) to determine effects of BSF on decomposing ability to food waste. The BSF was found in all parts of the country in Korea. Its main habitats were areas near cattle sheds, manure sheds, living waste dump grounds, and food waste dump grounds.

Observed characteristics of BSF in the developmental stage can be summarized as follows: an egg was long oval-shaped of $886.9 \pm 19.7 \mu\text{m}$ in major axis and $190.1 \pm 9.7 \mu\text{m}$ in minor axis; averaged weight was $24.0 \pm 1.6 \mu\text{g}$. One adult insect laid 1001 ± 247 eggs; days to hatch from eggs (27°C , 60% R.H.) were 81.3 ± 12.5 days. Larvae soon after hatching appeared to be close to white and turned into pale yellow as being last instar larva. Last instar larvae ranged about 20.7 ± 1.1 mm long. The duration of the larval stage was approximately 15~20 days. Pupae were red-brown colored and 19.2 ± 1.1 mm long; the pupal stage lasted 15.5 ± 1.4 days for female, 14.7 ± 1.4 days for male, exhibiting the tendency of males having the shorter period than females. Adult insects were about 13~20 mm long and black throughout its body.

This experiment was conducted to investigate the effect of using the Black Soldier Fly (BSF) larvae on performance of broiler chicks. Four hundred eighty broilers were divided into 3 treatments with 4 replications. Forty birds were allocated in each replicate. Treatments were corn-soybean meal based broiler diet (Control) and the basal diet was replaced with BSF at the level of 3 (Treatment 1) and 6 (Treatment 2) % respectively. Viability was not different significantly. Body weight gain was higher in Control than other treatments. Feed intake was not statistically different between treatments. Feed conversion ratio was lower in Control than other treatments. In serum biochemical values were not significantly different. It was concluded that organic broilers required similar ME and CP to those of regular commercial broilers. Therefore, it could be suggested that Black Soldier Fly larvae supplementation could beneficially improve the performance on broiler.

CONTENTS

Submission -----	1
Summary(KOREAN) -----	2
Summary -----	6
Contents -----	7
Contents(KOREAN) -----	9
Chapter 1. Introduction -----	11
Chapter 2. Current Situation of Related Techniques in Domestic and Oversea ----	12
Chapter 3. Contents and Results of Research and Development -----	13
Section 1. Development of Bio-Conversion system -----	13
Abstract(KOREAN) -----	13
Abstract -----	14
1. Introduction -----	15
2. Results of Research -----	15
1) Information Research of Development -----	15
2) Information Research of Development(oversea) -----	21
3) Development of Bio-Conversion system -----	24
Section 2. Artificial Multiplication of the the Black Soldier Fly(BSF), <i>Hermetia illucens</i> (Diptera: Stratmyidae) for Manure Solids Conversion -----	43
Abstract(KOREAN) -----	43
Abstract -----	44
1. Introduction -----	46
2. History -----	47
3. Materials and Methods -----	49
4. Results of Research -----	53
5. Summary -----	74
Section 3. A Study on the Application of Organic Wastes by Black Soldier Fly Larvae -----	76
Abstract(KOREAN) -----	76
Abstract -----	77
1. Introduction -----	78
2. History -----	78

3. Materials and Methods -----	79
4. Results of Research -----	81
Chapter 4. Completion of Objective and Contribution of the Related Research -----	85
Chapter 5. Application of Research Results -----	86
Chapter 6. Collected Information of Science and Technology during Research in Oversea -----	88
Chapter 7. Reference -----	91

목 차

제출문	1
요약문	2
SUMMARY	6
CONTENTS	7
목차	9
제 1 장 연구개발과제의 개요	11
제 2 장 국내외 기술개발 현황	12
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	13
제 1 절 유기성 폐자원의 친환경 분해 용기 개발	13
요약문	13
Abstract	14
1. 서론	15
2. 연구내용 및 결과	15
가. 시스템 개발을 위한 정보수집(국내)	15
나. 시스템 개발을 위한 정보수집(국외)	21
다. 유기성폐자원 분해를 위한 용기시스템 개발	24
제 2 절 유기성 폐자원 분해를 위한 동애등에 증식기술 개발	43
요약문	43
Abstract	44
1. 서론	46
2. 연구사	47
3. 재료 및 방법	49
4. 결과 및 고찰	53
5. 결과요약	74
제 3 절 동애등에에 의한 유기성 폐자원 분해산물 이용기술 개발	76
요약문	76
Abstract	77
1. 서론	78
2. 연구사	78
3. 재료 및 방법	79
4. 결과 및 고찰	81

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	85
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	86
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	88
제 7 장	참고문헌	91

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발대상 기술의 경제적·산업적 중요성 및 연구개발의 필요성

- 일반적으로 자연계에서 유기성 폐자원은 미생물에 의한 분해작용 이전에 환경정화 곤충인 파리류 등에 의해 분해 됨
- 파리류 중에서도 동애등에는 집파리에 비해 인간에게 해도 없으며, 분해능력도 우수하여 집파리의 단점을 보완할 수 환경정화곤충으로 개발이 시급함
- 가축배설물 및 음식물쓰레기 처리문제는 환경보전 차원에서 심각한 문제점으로 대두되고 있음
 - 축산분뇨 발생량 : 49,275천 톤/년(농림부, '03), 수질오염 심각
- 가축분뇨 처리시설은 5만8천 개소(축산농가 대비 98%)에 설치되어 있으나 인식부족, 기술부족 및 처리비용 과다소요로 제대로 운영되지 못함
- 음식물쓰레기로 버려지는 것이 연간 8조원이며, 처리 비용은 2조원 소요
- 현재 음식물쓰레기나 계분 등 유기성폐기물의 자원화 방식으로 건조나 미생물을 이용한 사료화, 퇴비화를 시도하고 있으나 처리과정 상에 악취, 침출수 등 문제대두
- 현재 배출되는 축분 및 음식물쓰레기의 양은 증가하여 분해성 곤충인 파리류의 대량 증식 기술이 필요함
- 파리류를 이용한 경제성 있는 유기성폐기물의 친환경적 처리시스템 개발이 필요함
- 동애등에 유충의 2차적인 영양적 이용 : 양어사료 첨가제, 닭사료 단백질 첨가제, 파충류먹이, 낚시미끼 등(경제적 가치 8,000~40,000 US\$/ton)

제 2 장 국내외 기술개발 현황

가. 연구개발대상 기술의 국내외 현황

(1) 세계적 수준

- 현재 동애등을 유기성 폐기물 분해에 이용하는 국가는 미국, 한국, 일본, 베트남, 중국 등 여러 나라에서 수행되고 있음
- 미국에서는 음식물쓰레기나 가축분뇨를 처리할 수 있는 동애등의 사육용기를 개발 중에 있으며, 아열대지방인 베트남에서 시험 중에 있음
- 중국과 일본 등에서는 동애등의 노숙유충이나 번데기를 닭사료나 물고기 사육에 이용하는 연구를 하고 있음
- 한국에서는 동애등의 실내 대량증식 기술을 세계 최초로 성공시켜 대량증식 원천기술을 보유하고 있음

(2) 국내수준

- 국가적인 차원에서 검토한 사항은 없으며, 축분분해를 위해 집파리, 금파리 등에 관한 연구가 추진되었으나 아직 실용화 단계에는 미치지 못함
 - 국가 기관인 국립농업과학원에서 집파리를 이용한 축분분해 연구가 수행되었음
 - 집파리 대량생산 기술 개발 및 산물이용 연구 수행함(농촌진흥청 국책과제)
 - 사설 연구소 수준에서 생활사 및 퇴비의 효율성 검토 시작 단계
- 연두금파리를 이용한 낚시미끼용으로 유충 생산
 - 야외에서 생선쓰레기나 가금부산물을 이용하여 파리유충 생산
- 동애등을 이용한 음식물쓰레기 친환경 분해 시스템 개발
- 동애등에 실내 대량증식 기술 확립

(3) 국내외의 연구현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
국립농업과학원	○ 집파리 대량사육 기술 및 산물이용 연구 - 집파리 성충 사육용 대형 사육상자 개발 - 집파리 성충 먹이조성 및 급이방법 - 집파리 대량사육용 생력급수기 개발 ○ 동애등에 연중 대량증식 기술 확립	○ 집파리 사육 기술이전
목포시험장	○ 연두금파리 이용 양파 인공수분 기술 개발	○ 농가 기술이전
한국유용곤충 연구소	○ 파리의 천적 생산 및 파리류 사육 기술 개발	○ 파리천적 생산 판매
(주)SBD연구소	○ 집파리 유충을 이용한 축분분해 시스템 개발	○ 시작 단계
러시아	○ 파리를 이용한 폐기물 재활용 시스템 개발 및 우수 파리종 선발	○ 우수 파리종 보존
미국 북캐롤라이나주	○ 음식물 쓰레기, 계분, 축분 등을 자연순환 시스템에 의해 동애등을 이용한 처리기술 개발	○ 50,000톤/일 분뇨처리 (동애등에)
일본 미야자키현	○ 파리류를 이용한 가축분뇨 자원화 및 유용 사료화 연구 ○ Field사에서 가축분뇨 및 남은 음식물 처리 실용화 연구	○ 퇴비 및 사료 공급

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 유기성 폐자원의 친환경 분해 용기 개발

요 약 문

음식물쓰레기와 가축 분뇨 등의 유기성 폐자원을 가장 친환경적으로 처리할 수 있는 기술은 미래 산업 개발의 시초이자 자연을 살리면서 깨끗한 미래 환경을 조성할 수 있는 최고의 방법이라 할 수 있다.

현재 시설화 되어 운영되어지는 대규모 유기성폐자원 자원화 시설을 제외한 소, 중규모 유기성폐자원 (음식물쓰레기, 축산분뇨 등)처리 시설들은 인식부족, 기술부족 및 처리비용 과다 등으로 인하여 제대로 운영되어지지 못하는 것이 현실이다.

'05년 1월부터 시행된 음식물류 폐기물의 직·매립 금지제도 시행으로 음식물 폐기물 발생량이 급증하고 있으며, 당분간 그 증가추세는 멈추지 않을 것이다.

음식물쓰레기는 대부분 사료화, 퇴비화, 축산 분뇨 등은 퇴비, 액비화시켜 처리하고 있으나 그 처리과정, 처리비용 등이 문제가 되어 왔으나 동애등을 이용하여 친환경적으로 분해하면 그 분해산물(분변토)과 2차적 부산물(노숙유충)을 얻을 수 있으며 그 활용 가치 또한 뛰어난 것이 사실이다.

이에 분해 용기 개발을 통하여 분해산물의 취득과 노숙유충의 수거를 용이하게 할 수 있고 일련의 처리 과정을 유용하게 진행할 수 있는 용기시스템 개발이 필수적이다.

본 연구는 동애등을 이용한 유기성폐자원 처리에 적합한 방법 및 모델을 구현하기 위하여 음식물, 축산분뇨 등의 발생현황과 그 처리현황 등을 조사하였고, 기존 파리류를 이용한 방법에 한계 및 문제점과 국외 동애등에에 관련된 용기 및 시스템 자료를 수집하였다.

그리하여 이에 적합한 용기시스템 개발을 위해 설계 및 디자인하여 각종 샘플을 구현하여 실험하였고, 그에 따라 음식물쓰레기 분해를 위한 동애등에 사육용기를 제작하였고, 동애등에 노숙 유충을 자동 분리할 수 있는 최적용기 개발에 활용하였다. 또한 분변토의 수집을 용이하게 한 시작기 개발완료를 목표로 하여 시험한 결과 사용이 용이한 시작기를 개발하게 되었다.

개발된 기계를 음식물쓰레기 발생원인 식당, 급식소, 또는 가정에 이용하면 친환경적 처리가 가능하고 축산 분뇨를 발생시키는 축산, 양계 농가 등에서는 축산 분뇨 처리는 물론 그 분해산물(분변토) 및 2차 부산물(노숙유충)을 이용하여 농업경영에 큰 소득원으로 자리매김 할 수 있을 것이다.

Abstract

Development of Manure Solids Conversion System Using the Black Soldier Fly(BSF)

This experiment was conducted to develop a container for efficiently collecting the Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and decomposed products that will eventually facilitate the organic waste treatment process.

To develop the suitable methods and a model system to treat organic wastes using the black soldier fly, we investigated the amount of food waste and livestock manure and their treatment. The data were collected on the limit and the problems of using other fly species and the rearing container and related systems of the black soldier fly

We designed and tested various containers to choose the most suitable system. Finally the BSF rearing system was developed to treat food waste and to automatically collect old larvae. And also we developed a prototype that enables us to collect the compost by the larvae.

The prototype can be installed at restaurant, feeding facilities and a household where food is generally wasted. If the prototype is used in animal farming facilities, it will effectively manage excrement, and decomposed products (manure compost) and other by-products (old larvae) will be obtained that will be additional income sources in the regional area.

1. 서 론

과리 유충을 유기성 폐자원 처리에 이용하는 방법은 처음 구소련의 유인 화성탐사 계획의 일환으로 장거리 여행 동안 우주인들의 신선한 음식물 공급을 위하여 자연 순환 방식의 하나로 개발 되어졌으나 구소련 붕괴 후 해외에 알려지게 되었다.

국내에서도 집과리나 금과리 등을 이용한 유기성폐자원 분해 등의 연구가 수행되었으나 실용화 되지 못한 실정이며 낚시 미끼용 유충생산 정도에 머물러 있는 실정이다.

동애등에는 과리류 중에서 뛰어난 섭식성과 번식력을 가지고 있어 이를 유기성폐자원 분해에 이용할 수 있는 분해용기를 개발하여 활용한다면 음식물쓰레기, 축산 분뇨 등을 가장 친환경적으로 생전환(Bio-Conversion)시킬 수 있으므로 가장 이상적인 방법이라 할 수 있겠다.

본 연구는 국내 음식물쓰레기 처리 현황, 축산 분뇨 처리 현황 조사 후 문제점과 타당성을 점검을 시작으로 국외의 과리류를 이용한 분해용기 등의 자료조사 후, 소규모 분해용기 설계 디자인을 통한 샘플구현 및 적용 시험, 문제점 파악 등 일련의 과정 후 소규모 최적 용기 시스템 개발과 이를 활용한 다층형 장치 구현 및 중소형, 중형 분해 시스템 등의 시작기 개발을 목표로 하였다.

이에 동애등에 유충을 활용할 소형 용기 시스템 개발을 완료하였고, 이를 응용하여 유충 수집과 분변토 수집이 용이하게 하여 중소형, 중형 분해 시스템 등의 시작기를 개발 하였기에 그 결과를 보고 하고자 한다.

2. 연구 내용 및 결과

가. 시스템 개발을 위한 정보수집(국내)

동애등을 이용한 용기 시스템 개발을 위해서는 국내 음식물 축산분뇨 처리 관련 현황 파악이 그 우선이며 그 문제점을 파악하여야 활용성 높은 용기시스템을 개발할 수 있기에 그 현황을 조사하였다.

(1) 국내 음식물쓰레기 처리 현황

국내 음식물 쓰레기 처리 현황은 직·매립 금지제도 실시('05.1)이후 음식물류 폐기물의 철저한 분리수거로 음식물류폐기물 발생량 증가로 원천 감량 필요성 증대되고 있는 실정<출처 : 음식문화개선 및 음식물류폐기물 종합대책 (2006~2010), 관계부처 합동, 06년 4월>이며 현재 음식물 쓰레기 처리 업체의 현황사항은 다음과 같다(표 1-1, 표 1-2, 표 1-3).

표 1-1. 음식물류폐기물 발생현황

구 분	분리수거율	음식물류 폐기물 발생량
'04	81%	11,464톤/일
'05	97%	13,028톤/일
증(감)율	16%	13.6%

표 1-2. 처리시설 확충 현황

(단위 : 개소, 톤/일)

구분	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05
계	46 (1,076)	167 (3,178)	231 (4,228)	233 (5,195)	225 (5,671)	249 (8,575)	262 (9,815)	253 (11,232)	256 (13,364)
공공	32 (547)	50 (1,007)	73 (1,223)	80 (1,905)	81 (2,099)	80 (2,598)	80 (2,945)	85 (3,239)	90 (4,198)
민간	14 (529)	117 (2,171)	158 (3,005)	153 (3,290)	144 (3,572)	169 (5,977)	182 (6,870)	168 (7,993)	166 (9,166)

- 사료, 퇴비 등 유통 체계구축 : '05년 말 기준으로 음식물류 폐기물 처리 시설 중 사료제조, 비료생산 시설은 225개소 (생산량 2,556톤/일)

표 1-3. 시설별 제품생산량 및 등록현황

(단위 : 톤/일)

구 분	계		등록		미등록		등록제외 (자가사용 등)	
	시설	생산량	시설	생산량	시설	생산량	시설	생산량
계	256	3,021.9	145	2,187.2	22	69.0	89	765.7
사료화	119	1,417.8	61	1,011.7	4	12.5	54	393.6
퇴비화	106	1,237.9	84	1,175.5	18	56.5	4	5.9
기 타	31	366.2	-	-	-	-	31	366.2

- 사료관리법 및 비료관리법의 규정에 의하여 사료제조업, 비료생산업에 등록된 시설은 145개소 (생산량 2,187톤/일), 미등록된 시설은 22개소 (생산량 69톤/일)이며, 기타 자가 사용 등으로 등록이 불필요한 시설이 58개소 (생산량 399톤/일)

현재 음식물쓰레기 처리에 가장 많이 이용하는 방법은 건식처리(그림 1-1, 그림 1-2)와, 습식 처리방법(그림 1-3)이며 성남시 폐기물 자원화 시설(세창환경)에서는 건식처리 방법을 화성시 남양농장(주)에서는 습식처리 방법을 사용하고 있다.

성남시 폐기물 자원화 시설(세창환경)은 하수병합처리, 협잡물소각(성남소각장), 건식사료화하여 축산농가에 무료공급하고 있으나 인식부족 및 건식사료에 염도가 높아 기피하고 있는 현실이며 화성시 남양농장은 습식 사료화하여 농가에 돼지 등의 사료로 공급하거나 사료제조업체에 중간원료로 공급하고 있으나 그 처리방법으로 인해 냄새와 파리 등의 위생환경의 어려움이 크다.

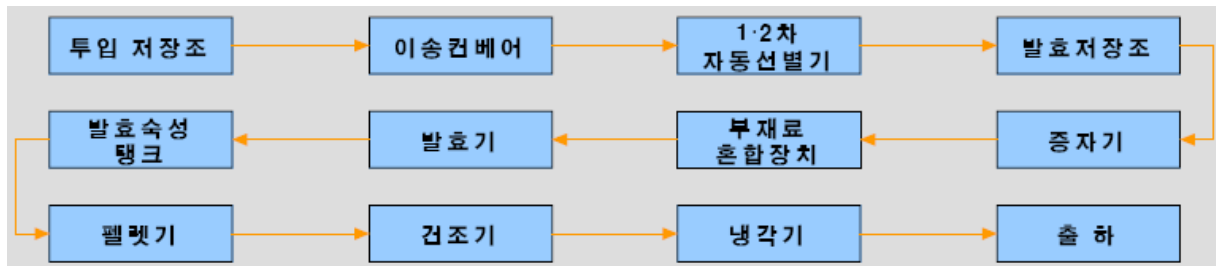


그림 1-1. 건식사료화 주요처리공정



<투입>



<분쇄>



<협잡물 배출>



<스팀>



<고압 건조>



<건식배출>

그림 1-2. 건식처리방법



<투입>



<분쇄, 탈수>



<배출, 수집>



<이송>

그림 1-3. 습식처리과정

(2) 축산분뇨 처리 현황

국내 축산 분뇨 발생량은 1일 142천 톤에 달하고 있으며 돼지 79(56%), 소·말 46(32%), 닭·오리 13(9%), 사슴·양 0.3(0.2%), 기타 4(2.8%) 이며, 처리는 비료자원화(위탁포함) 88.6%, 정화처리 7.5%, 해양배출 3.9% 순이다.<출처 : 가축분뇨 관리·이용대책, 농림부환경부 합동, 05년 11월>

파악 된 문제점은 다음과 같다(그림 1-4, 그림 1-5).

- (가) 비료자원화 여건 불리 : 가축분뇨를 포함한 전체비료 공급량이 토양의 양분수요를 초과(과잉공급 86%)하여 향후 비료공급 축소 불가피
- (나) 비료성분이 적고 일정치 않아 품질이 떨어지며, 살포시 많은 비용과 노동력이 필요
- (다) 화학비료와 경쟁에서 불리
(질소성분 : 화학 비료 21~46%, 축분 퇴비 0.3~1.2%)
- (라) 농가에서 분뇨관리 어려움 : 악취로 민원발생, 관리소홀로 인한 무단 방류나 부정적 처리로 환경오염 야기, 고농도 가축분뇨처리에 기술적, 경제적 어려움
- (마) 공공처리시설의 운영·관리 미흡 : 시설용량보다 처리량이 적음
(2003, 가동율 64.5%), 고농도의 혼합분뇨 유입 및 시설의 조기부식에

따른 노후화 등으로 처리효율 저하, 소규모농가 발생분뇨 수거체계 미흡
 (바) 공공처리시설 설치도 혐오시설 입지 주민반대, 지자체의 소극적인
 업무 추진 등으로 지연

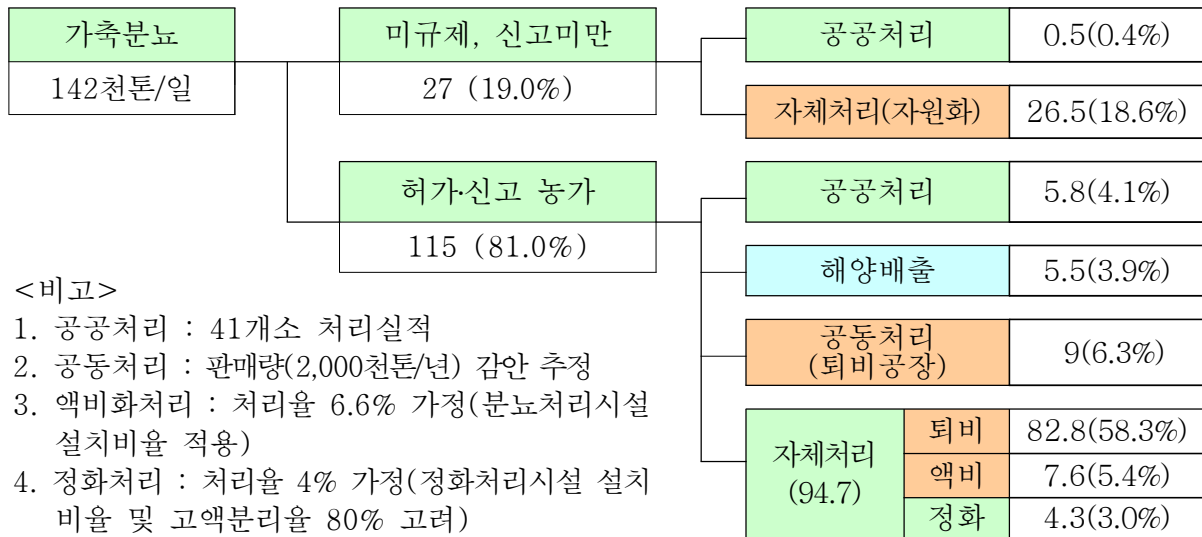


그림 1-4. 가축분뇨처리

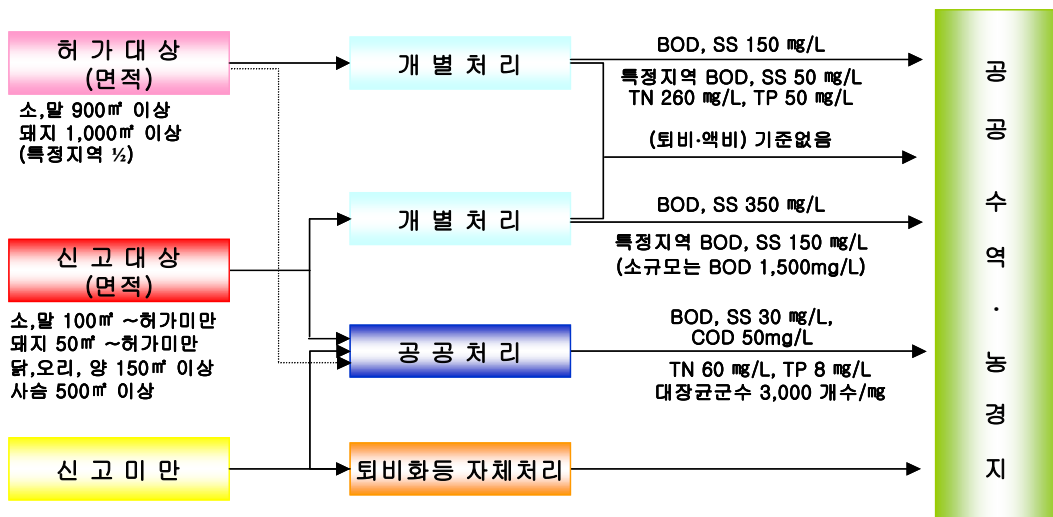


그림 1-5. 축산농가 관리체계도

(3) 집파리를 이용한 계분 처리 농가 방문

다음은 천안(양계농가)에 설치된 집파리를 이용한 계분처리 시스템으로 다음과 같은 문제점을 알 수 있었다(그림 1-6).

- (가) 투입 및 배출의 미자동화에 따른 새로운 관리 인력 필요로 농가의 인건비 상승 요인이 될 수 있음
- (나) 집파리 유충의 분해과정에서 생성되는 암모니아가스 농도 및 양 높아서 유충의 최적생태환경 조성이 안 됨
- (다) 소규모 환경 제어 장치로는 암모니아가스 문제 해결이 어려우며, 환기구를 통한 외부 배출로 또 다른 환경오염의 요인이 될 수 있음



<이동식 플라이 플랜트>



<계분 투입구>



<계분 배출구>



<계분 배출구>



<이동식 플라이 플랜트 내부>



<환기구>

그림 1-6. 집파리를 이용한 이동식 플랜트

(4) 음식물쓰레기 분해기 현황

현재 음식물쓰레기를 소규모 처리하는 방법으로는 일반 가정, 업소 등에서는 건조, 분쇄 또는 미생물 이용 처리 및 분해가 주로 사용되나 처리 분해 후에 찌꺼기 처분이 용이하지 않고, 개인규모로 이루어져 값이 비싸고 대중화 되지 못한 것이 단점이라 하겠다(그림 1-7).

제조사 / 판매처	제품안내		비고
오클린		호열, 호산, 호염성 미생물	가정용, 업소용, 간이화장실용
에코코트		Bio-Ring Think Zyme SP 100	가정용, 업소용
씽크피아			
푸드뱅크 25		미생물(Eco-Zyme 500) 파쇄, 압축, 탈수기, 건조기	가정용, 업소용
가-클린		건조처리기	가정용, 업소용

그림 1-7. 국내 제품 시장 조사

나. 시스템 개발을 위한 정보수집(국외)

국외에서 동애등에를 이용한 유기성 폐자원 처리 방법을 조사 하여 국내 여건에 맞는 동애등에 용기시스템 개발에 활용하기 위해 자료조사 및 현장방문을 실시하였다.

(1) ESR Bio-Conversion Units

[Plastic]



<외부>



<내부>



<뚜껑>

- 쓰레기통과 비슷하게 생긴 통 (US특허 6780637)
- 경사각이 이 통의 바닥에서 시작돼 꼭대기까지 나선모양으로 됨
- 경사의 폭 1인치 이하 → 좁은 공간을 차지



<New two-foot unit>



<6-foot unit>



<6-foot unit 내부 벽>

[Pre-cast Concrete]



<용기>



<6foot-unit>



<Urine-diverting Toilet>

- 바닥이 없음
- 모래위에 위치함 → 모래가 필터 역할
 - 필터를 통과한 영양분은 주변 식물의 뿌리에 흡수
- 값이 저렴
- 120°의 3가지 수직부분으로 형성 → 다루기 쉽고 쌓아 올릴 수 있음 → 수송 부피 감소
- 콘트리트에 금속 성형이 필요 없음 → 세 부분을 나일론 고리로 서로 연결 → 교점에서 압력 경감

- 콘트리트는 뚜껑의 무게를 지지하기에 좋음

그림 1-8. ESR Bio-Conversion Units

(2) 베트남 농림 대학 현장 방문 내용

베트남 현장방문을 통해 사용시설 등의 특징을 파악하고 그 적용과 문제점을 파악하였다 그 특징과 문제점은 다음과 같이 나타내었고 국외특허 사항 또한 파악하여 향후 용기 시스템 개발에 적용하였다(그림 1-9, 표 1-4).

(가) 특징

- ① 분해 용기와 실외 분해 시설
- ② 위도상 날씨가 덥고 분해에 적합한 온도 일정하게 유지 가능
- ③ 노지 채소단지용으로 사용 (용기 안에 채소 쓰레기 투입 : 약 10일경과 후 BSF 유충이 모임, 폐기물 분해)
- ④ 고급퇴비로 사용



<분해 용기>



<분해시설>



<퇴비화>



<제품화>

그림 1-9. 현장 상황

(나) 적용 및 문제점 파악

- ① 사계절 기후로 일정 온도 유지 불가능 (겨울철 단열필요)
- ② 우리나라와 유기성 분해물질의 특성이 다름 (염분↑ 등)
- ③ 온도와 분해물질의 특성에 따른 국산화 연구 필요

표 1-4. 특허 현황

제 목	특허번호	특허날짜	비 고
Device and method for the continuous treatment of waste by means of fly larvae	5,759,224	98.06.02	파리 유충에 의해 유기성폐기물을 처리하는 방법과 장치에 관한 특허 (컨베이어 벨트 방법)
Device and method for the continuous treatment of waste by means of fly larvae	6,001,146	99.12.14	파리 유충에 의해 유기성폐기물을 처리하는 방법과 장치에 관한 특허 (컨베이어 벨트 방법)
Method for bio-conversion of putrescent wastes	US 6,391,620 B1	02.05.21	연속적으로 유기성폐기물을 Bio-Conversion 할 수 있는 방법
Apparatus for bio-conversion of putrescent wastes	US 6,579,713 B2	03.06.17	연속적으로 유기성폐기물을 Bio-Conversion 할 수 있는 장치
Disposal apparatus and method for efficiently bio-converting putrescent wastes	US 6,780,637 B2	04.08.24	다수의 가정용 분해용기와 collection tube를 이용, 효과적으로 유충을 수거하는 방법과 장치

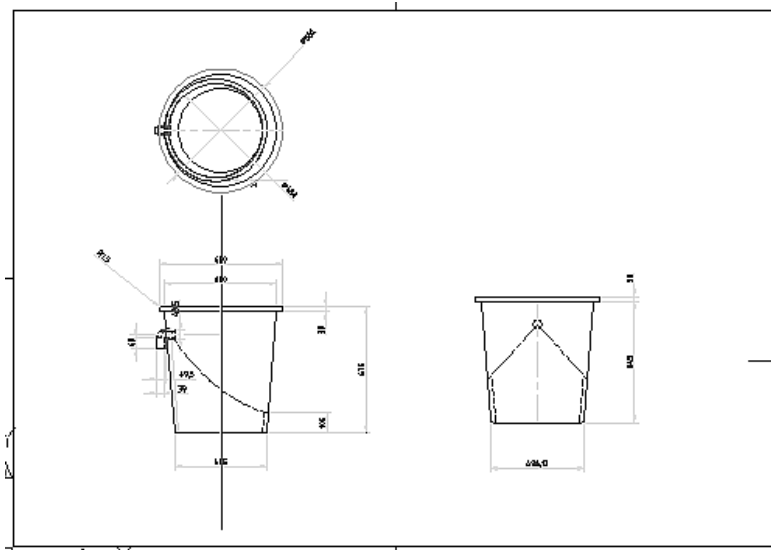
다. 유기성폐자원 분해를 위한 용기시스템 개발

기초자료 조사를 통하여 유기성폐자원의 분해, 노숙유충 수집이 가능한 소형 용기를 설계 디자인하여 그 샘플을 1차, 2차, 3차에 걸쳐 구현하고 보완 변경하였으며 소형 용기시스템을 설계, 개발에 적용하였고, 이를 활용하여 규모별 유기성 폐자원의 분해시스템을 개발 완료 하였다. 소형용기시스템 및 소형용기시스템을 이용한 다층형 시스템을 구현하였고, 중형시스템 시작기 개발 및 중형, 연속형 시스템 개발을 통하여 대규모 시스템 구현의 가능성을 확인하였다. 또한 상용으로 이동형 간편 분해 용기 개발하여 시험완료 하였다.

(1) 용기 설계 및 디자인

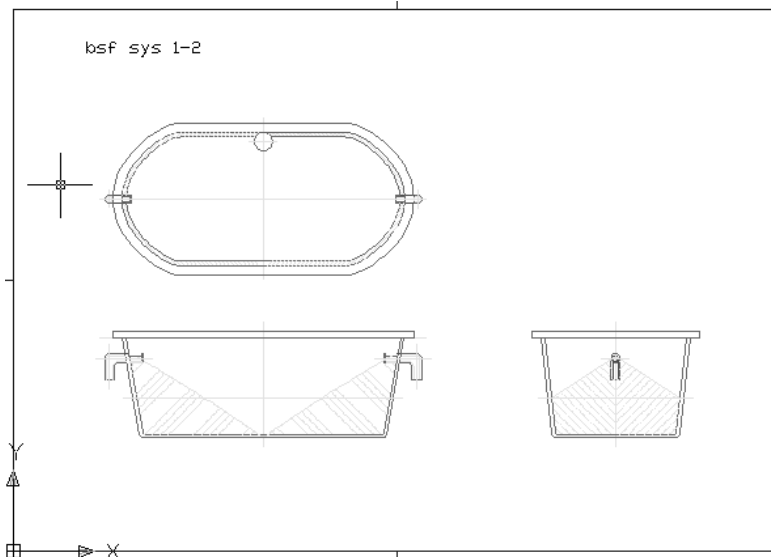
ESR Bio-Conversion Units 의 기초자료를 토대로 하여 용량 15~20kg (1일 2~4kg분해)분해가 가능한 A형 용기(그림 1-10)와 용량 50~100kg(1일 10~15kg분해)분해가 가능한 B형 용기(그림 1-11)를 샘플 구현을 위해 설계 디자인하였으며 이는 유충의 먹이활동이 가장 왕성한 7~10일 간의 기간을 기준으로 하였다. 또한 노숙 유충 수집을 위한 유인각도는 35°, 37°로 구성하였다. 이는 유충이 1~5령 경과 후 전용 단계에서 용화에 적합한 장소를 탐색하기 위해 경사각을 기

어오르는 습성에 착안한 것으로 샘플테스트 시 그 각도에 변화를 주어 시험하였다.



- 용량 : 15~20kg
- 크기
 - 상부 : ϕ 440mm
 - 하부 : ϕ 330mm
 - 높이 : 450mm
- BSF 유층 유인각도 : 37°







그림 1-10. A형 용기 설계



- 용량 : 50~100kg
- 크기
 - 상부 : 가로 930mm
세로 630mm
 - 하부 : 가로 750mm
세로 450mm
 - 높이 : 350mm
- BSF 유층 유인각도 : 35°

그림 1-11. B형 용기 설계

② 2차 : 1차 제작 시 접착 문제 보완, 경사로 재질 변경 및 제작

A-2형	 <p><분해용기></p>	 <p><수집구></p>	 <p><경사로></p>
<p>·1차 제작 시 한쪽 면 전체를 경사로로 했던 것을 수정, B형과 같은 좁은 경사로를 벽 안쪽에 제작하여 효율을 높임 ·사각형태로 제작, 수집구 두 곳</p>			
B-2형	 <p><분해용기></p>	 <p><수집구></p>	 <p><경사로></p>
<p>·1차 제작과 같은 형식으로 제작</p>			
보완	<p>·1차 제작 경사로와 용기의 부착 문제 해결 ·경사로의 재질을 내구성이 좋은 것으로 교체 ·경사로 끝에 수집통으로 이어지는 공간 외 밖으로 기어 나오지 않도록 위쪽에 방지막 설치</p>		
문제점	<p>·A형의 사각 형태는 유충이 모서리 부분에 모이게 되어 유충의 수집 효율 감소 ·방지막의 두께 조절 필요</p>		

③ 3차 : 2차 제작 시 방지막 문제 보완 및 유층의 수집 효율 향상

A-3형	A-3-1  <분해용기>	 <수집구>	 <경사로>
	A-3-2  <분해용기>	 <수집구>	 <경사로>
<p>·사각형태에서 원 형태로 용기 모양 변경 ·방지막을 경사로 바로위에 있도록 하는 모양과 용기 상부에 있도록 하는 두 가지 형태로 제작</p>			
B-3형	B-3-1  <분해용기>	 <수집구>	 <경사로>
	B-3-2  <분해용기>	 <수집구>	 <경사로>
<p>·2차 제작과 같은 형식으로 제작</p>			
보완	<p>·방지막 두께를 증가시켜 BSF 유층의 경사로 이탈 방지 ·2차 제작 시 문제점을 보완한 용기와, 각도를 달리한 이중 경사로를 설치한 두 가지 형태로 제작</p>		
비고	<p>·경사로 폭 및 경사로 각도 조절에 따른 용기에 가장 적합한 사양 시험을 통한 적합한 시스템 조건 구명</p>		

(나) 유충 분포에 따른 온도 측정

용기 시스템 제작 후 분해 시험 시 각 부위에 온도 편차 발생을 감지하여 시스템 항온 유지 전 후의 각 부위 온도데이터를 측정하였다. 측정은 용기 내부 전체 온도를 일정하게 하여 BSF 유충의 분포를 고르게 하는 시스템 조건 구명하기 위하여 실시하였고 그 항온 유지온도는 35℃내 외에서 BSF 유충의 분포가 일정함을 보였다(그림 1-12).

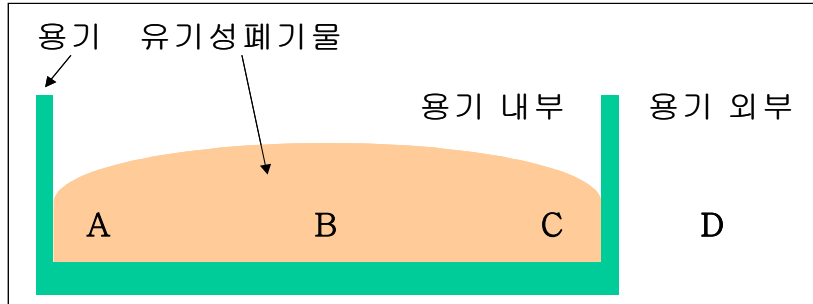


그림 1-12. 시스템 내 온도측정 Point

① 시스템 내부 전체 항온 유지 전 :

시스템 내부의 위치별 온도차에 의해 BSF 유충이 온도가 높은 중앙 (B)에 많이 분포
계절적, 시간적 요인으로 내부(A, B, C)와 외부(D) 온도 차가 큼
시스템 내부에서 위치(A, B, C)에 따른 온도차가 있음(그림 1-13)

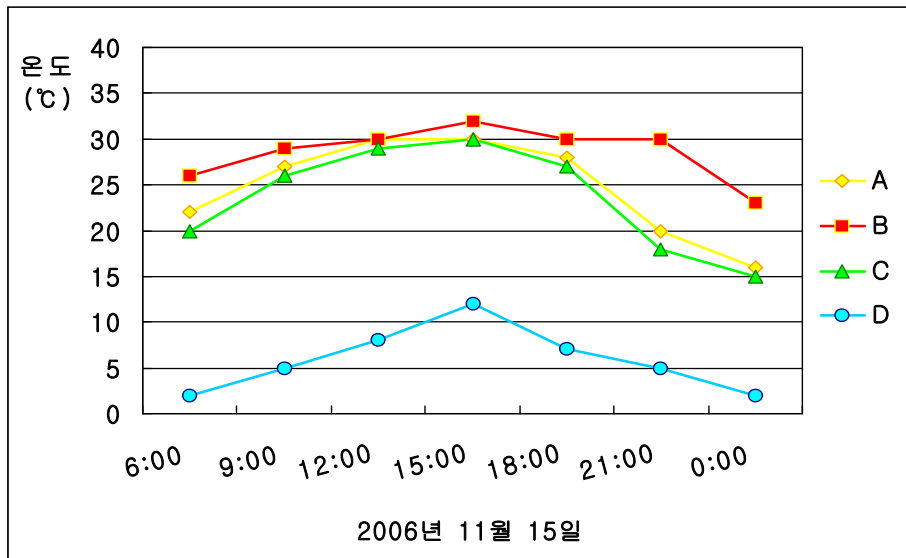
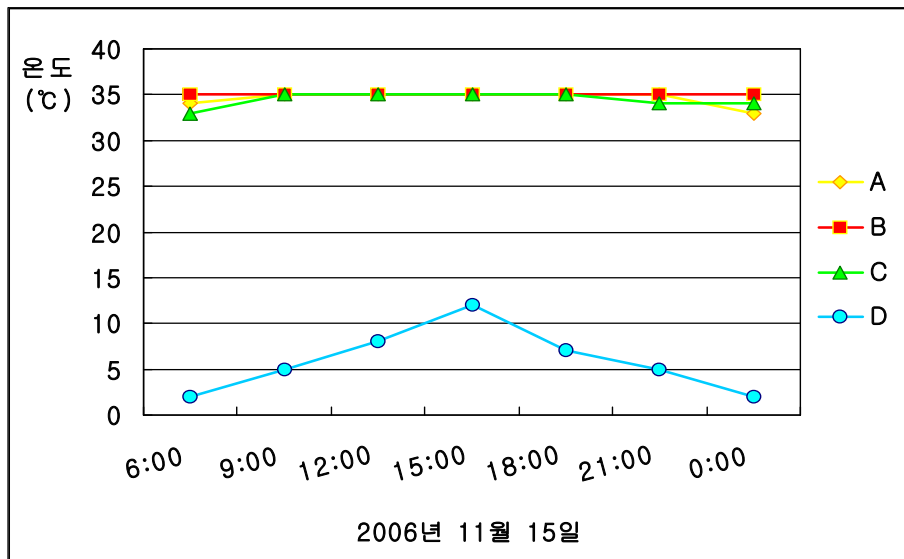


그림 1-13. 시간에 따른 온도변화 측정

② 시스템 내부 전체 항온 유지 후 :

시스템 외부 온도 (약 35℃) 유지로 BSF 유충의 분포 일정
계절적, 시간적 요인에 따른 온도 변화에서 시스템 내부가 영향을
받지 않음

시스템 내부의 위치(A, B, C)별 온도 일정(그림 1-14)



※ 온도측정계측기 : YOKOGAWA 온도측정기 (Input 6 Point)

그림 1-14. 시스템 내부의 위치(A, B, C)별 온도 일정

(3) 규모별 유기성 폐자원의 분해시스템 개발

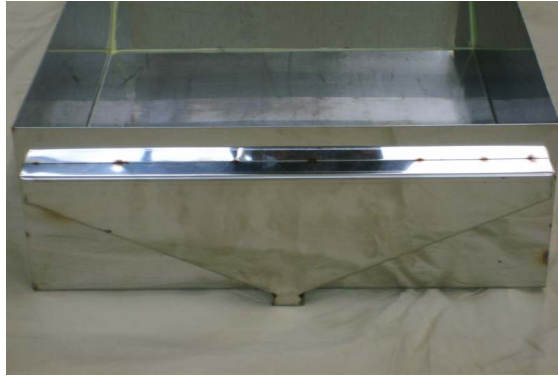
샘플 구현 및 시험한 A, B형 모델을 토대로 하여 가정, 간이용 최적 소형시스템(그림 1-15, 그림 1-17)을 제작하였고, 이는 유충사육용기로서도 활용성을 가졌다. 이에 소형시스템을 다단식으로 구성하여 다단형 유충 수집기를 제작하여 보았다. 또한 중형 시스템 구현을 위하여 실내용 중형시스템 시작기와 실외용 중대형 시스템 시작기 제작하여 보았으며, 분변토 수집 용이하고 연속적으로 유기성폐자원 분해가 가능한 중형 연속형 시스템 시작기를 제작하였다.

(가) 가정, 간이용으로 사용하기 위한 유기성폐자원 처리시스템(최적소형시스템)

가정, 간이용 소형시스템은 일일 1kg~3kg 처리 용량을 가질 수 있도록 설계하였고, 용기 재질은 스테인레스 스틸을 사용하여 녹이 생기는 것을 방지하였다. 유충수집을 위한 수집부는 두 곳으로 하여 수집율을 높였으며 유충수집률은 90%이상 이었다. 경사판의 각도는 42도로 하였고 유충의 외부탈출을 방지하기 위해 방지용 덮개를 제작하였다(그림 1-16).



<용기 외관 : 스테인레스 스틸>



<유충수집을 위한 수집부>



<유충 수집을 위한 Ramp>



<유충탈출 방지용 덮개>

그림 1-15. 최적소형시스템

① 특징

제원	스테인레스 스틸
크기	600*300*200
처리용량	일일 1~3kg처리에 적합
수집률	동애등에 유충 수집률 90% 이상



<1,3,5kg 처리 과정(유층 투입)>



<음식물분해 과정>

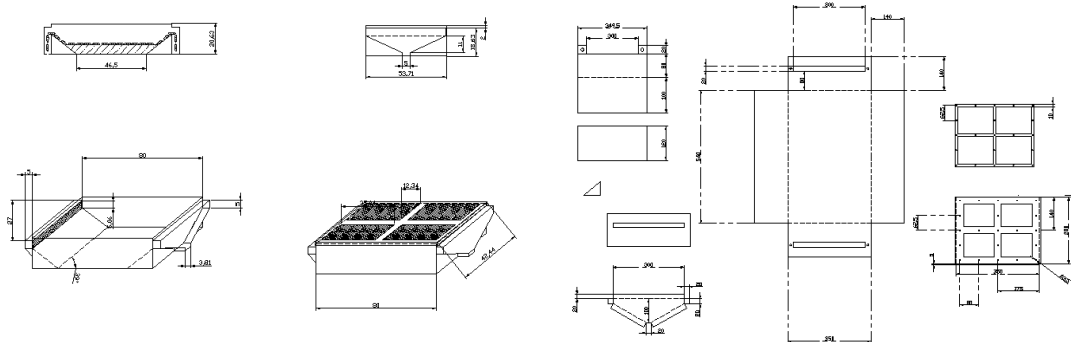


<노숙 유층의 수집과정>



<수집통으로 유층 자동수집(90%이상)>

그림 1-16. 음식물분해 및 수집과정



<소형 시스템 개요도>

<소형시스템 전개도>

그림 1-17. 소형시스템 설계

(나) 유충 수집용 다단식 시스템 개발(소형시스템)

최적소형시스템을 3단3열로 9개를 구성하여 다단식으로 사용할 수 있도록 구성한 다단식 시스템으로 총 4개의 수집구로 9개의 소형시스템에서 유충을 수집할 수 있도록 제작하였으며 그 수집률은 90%이상이었다(그림 1-18).



<Array Module의 시험사진>



<총 3개층으로 구성, 총9개 사용가능>



<총 4개의 수집구를 가짐>

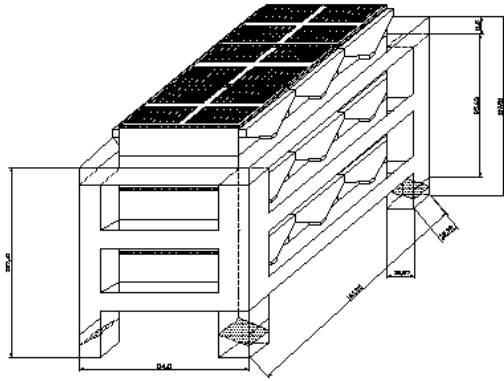


<수집률 90%이상>

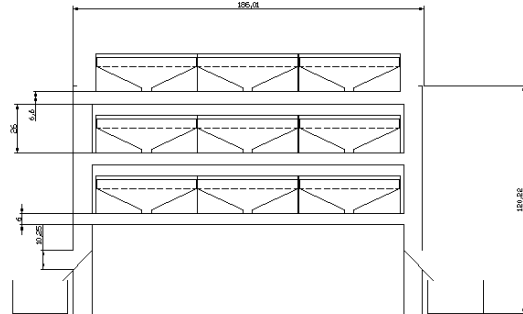
그림 1-18. 다단식 시스템

① 특징

제원	EGI 스틸
크기	1000*400*120
처리용량	일일 1~3kg*9EA 처리가능 일일 30kg내외처리
수집률	동애등에 유충 수집률 90% 이상



<Array Module 입체도면>



<Array Module 평면도>

그림 1-19. 음식물분해 및 수집과정

(다) 중형시스템 시작기 개발(실내용)

일일 10kg이상 유기성폐기물을 처리하고 유층수집을 원활히 할 수 있는 중형시스템 모델을 구현해 보았다. 높이조절을 가능하게 하였고 관찰이 용이하게 수집부를 제외한 용기부는 아크릴판넬 12T로 제작하였다, 유층 수집구는 4면에 한개 씩 두어 총 4개를 가지고 있으며 중형시스템 개발을 위한 시험, 관찰용으로 제작하였다(그림 1-20, 그림 1-21).



<처리량 10kg 이상>



<4면 수집구>



<높이 조절 가능>



<체적 증가 가능>

그림 1-20. 일일 10kg이상 처리용 중형시스템

① 특징

제원	EGI 스틸, 아크릴 판넬 12T
크기	800*400*90
처리용량	일일 10kg이상
비고	중형시스템 개발위한 시험, 관찰용



<일 10kg 투입>



<시험기 안의 상태 점검 가능>



<분해중 (일10kg 분해가능)>



<수집된 유층 (수집률 약 80% 이상)>

그림 1-21. 중형시스템 시험 관찰

(다) 중형시스템 시작기 개발(실외용)

노지 등 실외에서 사용을 목적으로 일일 100kg 처리가 가능, 시멘트 철골구조로 제작하였고 벽면에 유층 수집을 위한 V형 수집로를 다수 포함한 것이 특징이다(그림 1-22, 그림 1-23).



<실외용 시스템 외형>



<조류 등 침입방지 그물>



<V형 수집로(폭 10mm이상)다수 제작>



<V형 수집로(폭 50mm이상) 다수 제작>



<노숙 유충 수집로 제작>

<관형 경사로, 4개의 수집구 제작>

그림 1-22. 노지형 중형시스템

① 특징

제원	EGI 스틸 외 시멘트 철골
크기	4,000*2,000*60
처리용량	일일 100kg*이상
비고	노지형, 음식물쓰레기용
문제점	<ul style="list-style-type: none"> - 조류의 의한 유충 피해 : 네트설치 - 연속성이 안 됨 : 1회 처리 후 음식물 및 유충을 완전 제거 후 새로 시작 (연속형 시스템으로 보완)

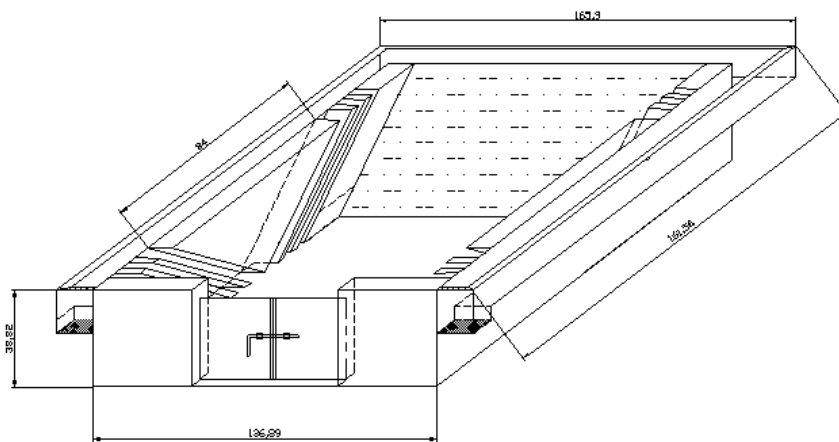


그림 1-23. 노지형 중형시스템 입체도

(라) 중형, 연속형 시스템 개발

중형시스템이 동애등에 유충의 분해 활동 및 노숙유충 수집에 용이하였으나 처리량이 많아지면서 수거해야할 분변토의 양 또한 증가하였다. 그러하기에 유기성폐자원 분해 시 발생하는 분변토 배출 및 수거를 용이하게 하였고 유기성폐자원 투입과 분해 후 배출이 가능한 연속형으로 제작하였다(그림 1-24, 그림 1-25).



<중형 연속형시스템>



<기어 구동으로 스크류 회전>



<하단 호퍼로 분변토 배출>



<분변토 수집용 스크류 제작>



<분해 과정>



<유충 수집로 유충 포집>

그림 1-24. 중형 연속형 시스템

(마) 2단식 중형시스템 시스템 개발

기존 중형시스템을 이용하여 대규모 시스템에 이용 가능하도록 2단식 중형 시스템의 모델을 개발 및 설계를 완료하였다. 이는 음식물쓰레기 등의 유층의 먹이 공급을 자동화하고 그 배출부를 자동화하여 인건비 절감을 가져올 수 있도록 설계 고안 되었다(그림 1-26, 그림 1-27).

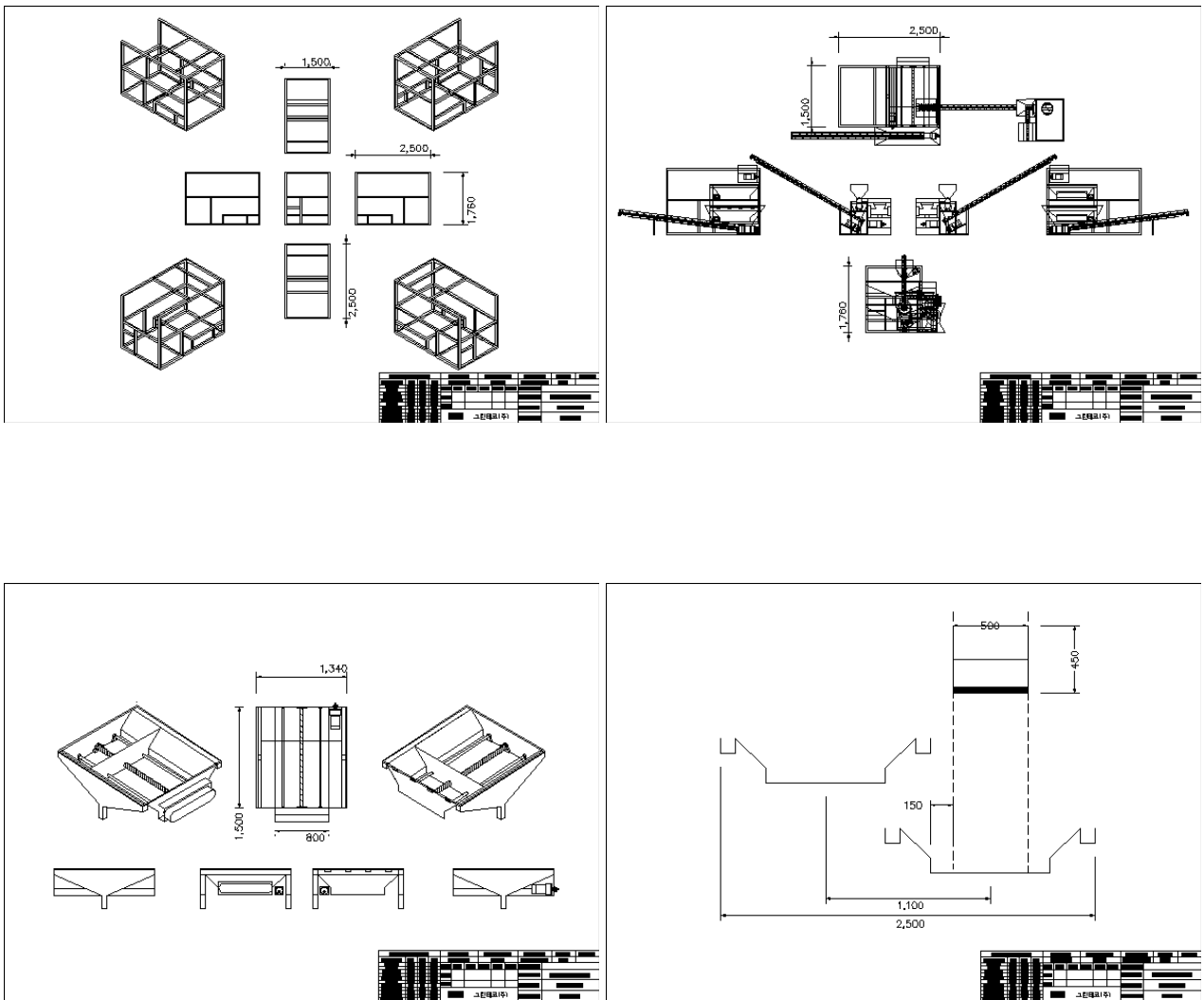


그림 1-26. 2단식 중형시스템 시스템 설계도



그림 1-27. 2단식 중형시스템 시스템

(바) 이동식 중형시스템 개발

일일 20~30kg의 유기성폐자원 처리에 사용할 수 있는 이동식 시스템으로 소규모 축산농가 등에서 가축 분뇨 처리에 유용하게 쓰일 수 있도록 개발하였으며 이동이 간편해 분변토 배출에 용이하며 상용화시 저렴한 가격으로 제작이 가능하여 동애등애를 이용한 유기성 폐자원 처리 기술 보급에 용이하도록 설계 하였다(그림 1-28, 그림 1-29).

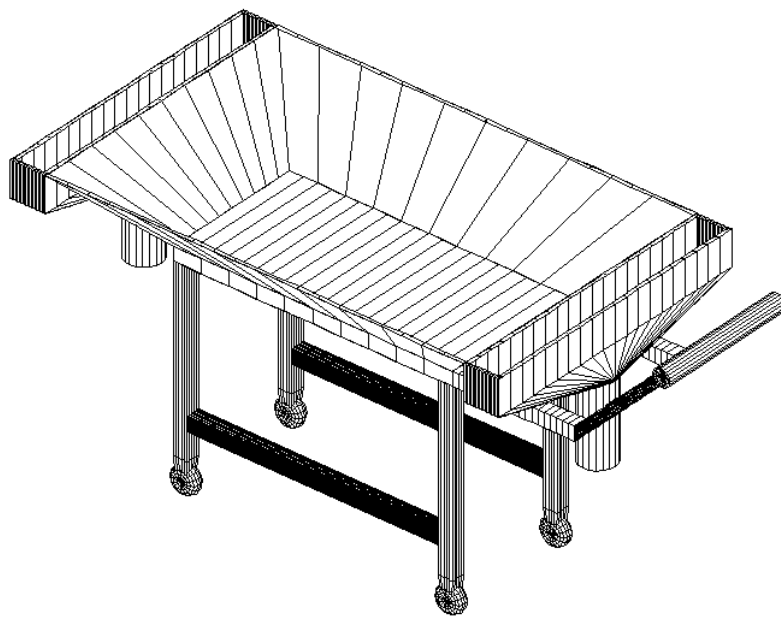


그림 1-28. 이동식 중형 시스템 입체도

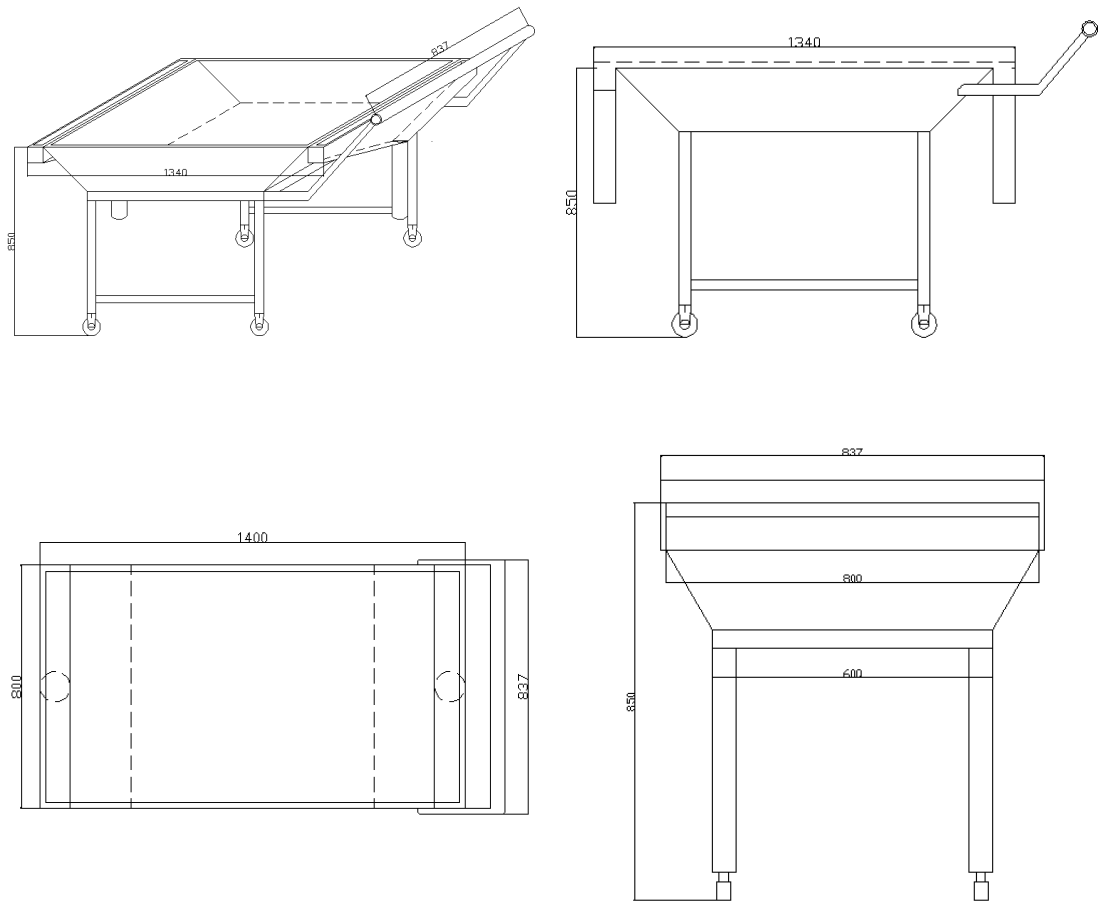


그림 1-29. 이동식 중형시스템 설계도

제2절 유기성 폐자원 분해를 위한 동애등에 증식기술 개발

요 약 문

본 연구는 국내 서식하는 BSF의 분포, 유전적 지역 다양성, 서식지 생태특성 구명 및 실내 인공사육을 통하여 생활사를 조사하였다. 또한 음식물쓰레기 처리 시 대량으로 요구되는 유충 생산을 위하여 실내 인공증식기술 개발하고 BSF의 음식물쓰레기 분해 능력을 검증하였다.

BSF의 국내 분포는 한반도의 지리적 특성을 고려하여 동서지역에서 각각 3개소, 제주도 1개소 등에서 조사하여 전국적인 분포를 확인하였으며, 축사, 퇴비사, 생활쓰레기장, 음식물쓰레기장 주변이 주 서식지임을 확인하였다.

BSF의 발육단계별 특성을 보면, 알의 크기는 장경 $886.9 \pm 19.7 \mu\text{m}$ 단경 $190.1 \pm 9.7 \mu\text{m}$ 로 장타원형이며, 알의 무게는 $24.0 \pm 1.6 \mu\text{g}$ 이었다. 성충 한 마리가 1001 ± 247 개의 알을 산란하며, 부화소요일수(27°C , 60% R.H.)는 81.3 ± 12.5 일 이었다. 유충은 갓 부화했을 때는 흰색에 가까우나 종령에 이르면 미색을 띤다. 종령 유충의 크기는 $20.7 \pm 1.1 \text{mm}$ 이며 유충기간은 15~20일 정도였다. 번데기는 암갈색을 띠며 크기는 $19.2 \pm 1.1 \text{mm}$, 번데기기간은 암컷이 15.5 ± 1.4 , 수컷이 14.7 ± 1.4 일로 수컷이 암컷에 비해 짧은 경향을 보였다. 성충은 크기가 13~20mm 정도이며 흑색을 띤다. 발생시기별 성충 수명은 1세대(6~7월)가 5~8일, 2세대(8~9월)가 7~10일 정도, 3세대(9월~10월)의 경우 13~18일 정도였으며, 암컷이 수컷보다 긴 경향을 보였다. 교미는 우화 후 2일째부터 시작하여 3일째 가장 왕성하였으며, 일일 중 교미시간은 일조량이 많은 10:00에서 16:00 사이에 대부분 일어났다. 산란은 우화 후 3일경부터 시작하고 4~6일 사이에 가장 많았다. 일일 중 산란시간은 교미시간대와 유사한 10:00에서 16:00 사이에서 가장 높은 산란율을 보였다.

실내 인공 증식기술 개발을 위하여 BSF 채집 및 각 발육단계별 실내사육 체계를 수립하였다. BSF의 채집은 6월에서 10월 사이에 1개월 간격으로 실시한 결과, 성충 유인제로는 송아지사료와 음식물쓰레기가 가장 좋았으며, 트랩설치지역은 음지가 양지에 비해 채집율이 높았고, 채집량은 8월과 9월에 가장 많았다.

인공채란을 위한 산란배지는 음식물과 송아지 사료가 가장 우수하였고, 산란실($W \times D \times H = 4 \times 2 \times 2 \text{m}$) 내 적정 배지투입 수는 8개, 성충은 2000두 투입구가 가장 산란효율이 높았다. 산란유도재료로 플라워폼과 목재에 구멍을 뚫어 산란을 유도하였으며, 산란장소의 구멍크기는 3~5mm, 깊이 7~10 mm의 크기를 가장 선호하였다. 유충은 2~4두/ cm^2 의 밀도로 사육하는 것이 과밀도(6~10두/ cm^2) 보다 실용형질이 우수하였다. 번데기 적정보호조건은 매질(톱밥)을 사용하여 은신처를 제공해야하며, 톱밥의 습도는 20~40% 가 가장 좋았다. 성충은 우화 즉시 사용해야하나, 용화 후 10°C 에서 10일 처리한 경우 우화율 93.3%로 우화시기를 약 10일 정도 조절이 가능하였다.

BSF의 음식물 처리능력 검증 결과, 유충 투입 후 5일이 경과되면 부피가 42.9%, 무게 67.6%가 감소되었으며, 유충 한 마리가 분해할 수 있는 음식물 무게는 $2.2 \pm 0.8 \text{g}$ 이었다.

Abstract

Artificial Multiplication of the the Black Soldier Fly(BSF), *Hermetia illucens*(Diptera: Stratmyidae) for Manure Solids Conversion

This study was conducted to investigated the distribution, genetic variability, ecological character and life cycle of Black Soldier Fly(BSF), *Hermetia illucens*, to determine effects of BSF on composing ability to waste-food. The distribution of BSF was defined in all parts of the country in Korea. Its main habitat was found to be areas near cattle sheds, manure sheds, living waste dump grounds, and food waste dump grounds.

Observed characteristics of BSF by developmental stage may be summarized as follows: eggs were a long oval shape of $886.9 \pm 19.7 \mu\text{m}$ in major axis and $190.1 \pm 9.7 \mu\text{m}$ in minor axis; they were $24.0 \pm 1.6 \mu\text{g}$ in weight. One adult insect laid 1001 ± 247 eggs in quantity; days to hatch from eggs (27°C , 60% R.H.) were 81.3 ± 12.5 days. Larvae which were hatched appeared to be close to white and turned into pale yellow as being last instar larva. Last instar larva ranged from 20.7 ± 1.1 mm in size, the length of larval stage was approximately 15~20 days. Pupae exhibited red brown, 19.2 ± 1.1 mm in size; pupal state lasted 15.5 ± 1.4 days for female, 14.7 ± 1.4 days for male, exhibiting the tendency of males having shorter period than females. Adult insects were sized about 13~20 mm and colored black.

Life span of adult insect by developmental period is 5~8 days for the 1st generation (June~July), 7~10 days for the 2nd generation (Aug.~Sept.), and 13~18 days for the 3rd generation (Sept.~Oct.), exhibiting the tendency of females to have longer life span than males. Mating started 2 days after emergence and was most active during the 3rd day. Mating mostly occurred between 10:00 and 16:00 during which light intensity is high. Laying eggs started 3 days after emergence and was most frequent during days 4~6. Time of laying eggs during the day was similar to copulation time, showing the highest laying rate between 10:00 and 16:00.

In order to develop artificial indoor rearing techniques, plans for BSF collection and indoor rearing protocol by each growing stage were established. BSF collection was conducted between June and October at 1 month intervals. For the imago attractant, calf feed and food waste were most effective; trap installed area located in shady spot compared to sunny place demonstrated higher collection rate; highest collection was obtained in August and September.

As the egg-laying medium for artificial egg collection, calf feed and food waste were most effective; appropriate number of medium inserted into egg-laying net ($W \times D \times H = 4 \times 2 \times 2\text{m}$) was 8 and adult insects 2000; two inlet showed the highest egg-laying rate. For

egg-laying materials, flower foam and wood with holes were used; holes sized 3~5mm in diameter, 7~10 mm in depth were most preferred for egg-laying. Larvae raised in 2~4 head / cm³ density demonstrated superior practical traits than those raised in overcrowded environment (6~10 head / cm³). As an appropriate pupal protection condition, medium (sawdust) should be used to provide a hiding place most appreciated degrees of humidity in sawdust was 20~40%. Adult insects should be used immediately after emergence; however, emergence rate of insects treated at 10°C for 10 days after pupation was 93.3%; emergence timing was adjustable with about 10 day flexibility.

In the examination of the ability of BSF to decompose food waste, volume of the food waste decreased by 42.9%, weight 67.6% 5 days after larval introduction capacity of decomposing food by a single larva was 2.2.±0.8g.

1. 서 론

곤충은 그 종류가 매우 많고 지상에 아주 폭넓게 분포하고 있으며, 생태계에도 다양하게 분포되어 있어, 탁월한 다양성을 나타낸다. 따라서 먹을 것도 광범위하여 지상에 존재하는 유기물 전부를 곤충이 먹을 수 있다고 해도 과언이 아니다. 곤충 중에는 썩은 동물질과 식물질, 동물의 배설물 등의 부식성 물질을 먹이로 이용하는 종류가 매우 많다. 이들은 자연에서 항상 발생하는 썩은 물질을 분해 시켜 쾌적한 환경을 유지하게 하는 분해자로서 역할을 수행한다. 이 같은 습성을 가진 곤충군 중에서 집약농업이나 인위적인 활동을 통해 발생하는 유기성 폐기물을 적극적으로 정화하거나 그 같은 활동에 투여할 수 있는 능력을 지닌 동애등에와 같은 환경정화곤충이 있다.

일반적으로 자연계에서 유기성 폐기물은 미생물에 의한 분해 작용 이전에 환경정화곤충인 파리류 등에 의해 분해 되고 있다. 가축배설물 및 음식물쓰레기 처리문제는 환경보전 차원에서 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 그 중에서도 음식물쓰레기는 가정에서 가장 많이 배출(69%)되며, 음식점, 집단급식소, 농수산시장 순이며, 가정과 음식점에서 전체 음식물쓰레기의 88%가 발생된다(음식물쓰레기 발생량 11,553톤/1일, '04. 2/4분기, 환경부). 이와 같이 발생하는 음식물쓰레기 처리는 환경보전 차원에서 심각한 문제점으로 대두되고 있다.

이들 문제를 해결하기 위해서 동애등에를 이용하여 친환경적으로 분해할 수 있는 연구가 활발히 진행되어야 할 것으로 생각되며, 또한 이들의 분해 산물 및 동애등에 유충과 번데기를 이용한 가축의 사료화 및 퇴비화 등의 연구도 병행되어야 할 것이다.

현재 음식물쓰레기 처리시설들은 환경위생을 고려하지 않아 악취 등 환경민원이 급증하고 있어 이를 대체할 새로운 기술의 개발이 요구되므로 동애등에를 이용한 음식물쓰레기를 친환경적으로 안정된 밀폐형 용기를 개발하여 자동화하므로 악취 문제, 침출수 문제 등 환경오염과 관련된 문제를 획기적으로 차단할 수 있을 것이다.

그러므로 동애등에를 이용한 음식물쓰레기 처리기술은 음식물쓰레기 등을 폐기물로 보는 사회적 시각을 고부가치 자원화 원료로 전환함으로써 대국민 인식전환의 계기로 삼을 수 있을 것이다. 따라서 앞으로 음식물쓰레기의 처리에는 환경오염을 방지한다는 대명제 아래 재활용의 방향으로 추진되어야 할 것이다. 이러한 과정에서 개발되는 기술에는 경제성이 수반되어야 하며, 현재 전량 외국으로부터 수입에 의존하고 있는 가축 배합사료 원료 중 단백질원으로 수입되는 것은 어분과 혈장단백인데, 매우 높은 가격에 수입되기 때문에 이를 대체할 수 있는 음식물쓰레기 등으로 증식한 동애등에의 유충을 건조하여 사료화함으로써 내수를 충족시킬 수 있을 것이다. 나아가 양질의 생체사료 대량생산이 가능할 경우 대외에 수출하여 외화획득이 가능하고 겨울철 낚시 미끼로 품귀 현상이 일어나는 문제를 해결함으로써 현재 상황의 일시적 해소 차원이 아니라 21세기 국가 경쟁력 확보와 환경보존 차원에서 범국가적, 범기업적, 범사회적으로 추진되어야 중대한 과제이다.

따라서 본 연구는 국내 서식하고 있는 아메리카동애등에(BSF)의 서식지 분포 및 생태적 특성을 구명하며, 인공사육을 통하여 실내 대량증식기술을 개발함으로써 동애등에를 이용한 음식물쓰레기의 친환경적 처리를 위한 기초자료로 활용하고자 이 시험을 수행하였다.

2. 연구사

아메리카동애등에(*Hermetia illucens* L.)는 **Black Soldier Fly**(BSF)라고도 하며, 파리목(Diptera) 동애등에과(Stratiomyidae)에 속하는 곤충으로 알려져 있다. 이 종은 한국, 일본, 중국, 대만 등 동남아시아와 미국 등지에 널리 분포되어 있다. 년 3세대 이상 발생하며, 첫 성충 출현은 6월경에 발생하여 10월경까지 나타난다. 이들은 고치 형태의 번데기를 만들지 않고 종령 유충 형태 그대로 번데기가 되어 월동한다(Sheppard et.al., 1994).

우리나라에는 1998년 처음 기록되었으며(김, 1997), 이에 대한 연구는 전무한 실정이다. 동애등에과(Stratiomyidae)는 전 세계적으로 약 1,500종, 국내는 9속14종(이, 1998) 알려져 있다.

일본에서는 5월~9월에 채집된다고 한다(學研 1990). 과거 BSF를 외래 도입종으로 국내 생태계에 악영향을 미칠 것으로 보고, 해충으로 간주했었다. 하지만, 대표적 환경정화 곤충인 BSF는 유충시기에만 먹이활동을 할 뿐, 성충 시기에는 먹이활동을 하지 않는다. 이들은 사람들을 피해 숲으로 이동하며, 축사나 생활쓰레기 및 음식물쓰레기와 같은 유기성폐기물이 야적되어 있는 곳에서 생활사를 이어간다.

BSF(*Hermetia illucens* L.)는 해충이 아니며, 열대와 온대지방에 분포한다(James 1935; McCallan 1974). 이 종의 유충 개체군은 동일한 조건의 비처리한 유기물과 비교해서 집파리(*Musca domestica* L.)를 94~100%까지 저감할 수 있으며, 건조된 유기물도 42~56%까지(Sheppard, 1993), 질소량도 62%까지(Sheppard et al., 1998) 저감할 수 있다. 이것은 동물의 먹이 공급으로 인해 발생하는 많은 양의 유기물과 관련된 여러 문제들을 해결할 수 있다(Sheppard·Newton, 2000). BSF의 번데기는 건조중량으로 필수 amino와 fatty acide을 포함한 42%의 protein, 35%의 fat으로 구성하고 있다(Hale, 1973).

BSF는 동물의 배설물이나 다른 생물의 고형물과 같은 유기성 폐기물의 처리에도 유용하다. 미국의 조지아주에서는 4~11월 사이 년 3세대를 거치며, 부패하는 다양한 채소와 동물질에서 자생하고 있다(Sheppard et.al., 1994). 집파리(*Musca domestica*)의 산란에 의한 배설물의 관리는 몇몇 연구에서 매우 성공적이었다. 그러나 생존경쟁이 치열한 자연계에서의 신뢰성은 낮으며, 생물학적인 연구는 알과 유충의 원활하지 못한 공급으로 인해 그 한계성이 드러났다(Sheppard et al., 1994). 암컷 BSF가 배설물에 산란한다면, 추정치 60ton(55MT)의 전용이 100,000 hen caged-layer house에서 한여름에 자체 생산 될 수 있다고 한다(Sheppard et al., 1994).

Booth와 Sheppard(1984)는 암컷이 그들의 알을 유기물에 놓아둔 골함석 판지의 가장자리 작은 홈에 쉽게 산란을 유도하였다. 그들은 BSF의 알은 온도 24°C에서 부화하는 데 105h(4.3d)이 필요하며, Red eye spots이 명확해지기까지는 72h, 배 발생시 움직임은 84h이 필요하다고 하였으며, Copello(1926)은 아르헨티나에서 알은 5월 (1961년)에 4~6d가 걸리고, 뉴질랜드에서는 2월에는 5d, 4월에는 7~14d가 필요하다고 하였다.

Tomberlin J.K.와 Sheppard D.C.(2002)은 1988년 6월에 현재의 군집이 정립되었고, 100개의 알집이 베이컨주의 개방된 caged layer house에서 채집되었으며, 유충들은 protein 15% layer hen feed(Flint River Mills, Bain bridge, GA)를 물(60~70%)과 섞어서 사육하였다. Layer feed와 Gainesville house fly diet(Hogsette, 1992)는 BSF를 키우는데 동일하게 유용하였다(Tomberlin, 2001).

BSF는 닭장 또는 돼지축사 등의 배설물을 매우 쉽게 관리되었는데, 이들을 위한 별도 시설이나 장비는 필요하지 않았다. 왜냐하면 이들은 전용단계에 접어들면 성충이 되기 위해서 자연스럽게 먹이 공급원인 배설물에서 떠나야 하기 때문에 이들의 이동으로 배설물 관리는 쉽게 이뤄졌다. 이동을 마친 전용들을 수거하여 일부는 배설물을 소화시킬 충분한 유충 개체군을 확보하기 위해 성충으로 우화시켜 알을 받았고, 나머지 전용들은 사료를 위한 건조상태로 만들었다(Newton L., 2005). BSF의 번데기는 건조중량으로 필수 amino와 fatty acide를 포함한 42%의 protein, 35%의 fat으로 구성하고 있다(Hale, 1973). 번데기를 이용한 연구로 애완견 cockerels(Hale, 1973), swine(Newton et al., 1977) 그리고, 양식어 tilapia(Bondari-Sheppard, 1987)에 좋은 질소원이 된다는 것을 밝혔다. BSF를 이용한 돼지 배설물 관리를 해본 결과 배설물의 양은 42~56%가 줄어들었으며, 대부분의 구성물질과 영양소들의 농도는 40~55%가 줄어들었다(Sheppard et al., 1994).

Tingle et al.(1975)은 BSF의 교미행동에 대해 조사하였다. 수컷은 "resting" 장소에서 "calling"하는 암컷에게 유인되며, 교미는 수컷과 암컷이 서로 반대방향으로 땅 위에서 이루어졌다. 그러나 Copello(1926)는 교미가 비행 중에 일어난다고 하였다. 구애행동은 자연적인 배설물 관리를 하는데 있어 매우 중요할 수 있다.

Tomberlin(2001)은 1998년 조지아주 연안 평지에 있는 한 양계장에서 6월 21일부터 30일까지 11:00~14:00에 이뤄졌다. 그 결과, BSF는 두 장소에서 많은 수가 관찰되었는데, 양계장 안과 양계장 주위의 숲에서였다. 양계장 안은 91.9%가 암컷이었고, 숲 가장자리는 91.3%가 수컷이었다. 이는 교미와 산란을 목적으로 하는 암수의 역할 분담인 것이다. 즉 숲 가장자리에 수컷은 다른 경쟁자가 다가오면 전투를 벌이고, 암컷이 다가오면 교미를 하기 위한 행동을 하며, 교미를 마친 암컷은 세대번식을 위해 양계장 안으로 날아가 적합한 산란장소를 선정하여 산란을 하는 것이다.

BSF의 교미행동이 다른 비슷한 *Hermetia*속 종들에서도 관찰되었는데(Alcock, 1990), *Hermetia comstocki* Williston 수컷은 용설란속 나무에 모여, 잎 위에서 각각 따로 휴식을 취한다. 휴식중인 수컷은 다른 경쟁자가 나타나면 바로 전투를 벌이고, 승리자는 앞으로 돌아오는 반면 패배자는 그 곳을 떠나게 된다. 이와 같은 행동은 세력권 또는 구애행동으로 정의되었다(Alcock, 1990). 높은 밀도의 수컷들이 있는 장소는 암컷들이 교미를 위한 집합장소로써 역할을 할 것이다(Alcock, 1990). 또 다른 비슷한 구애행동 패턴을 가지고 있는 것이 벌목과 다른 파리류에서도 보고 되었다(Toft, 1989 & O'Neill, 1983).

BSF의 이러한 교미를 위한 구애행동이 필요한 특정 장소가 있어야한다면 이러한 장소의 구분과 보존은 BSF생활사에 매우 중요하다. 따라서 이러한 장소가 없다면 교미관찰이 어려워 질 것이며, 그 결과, 개체군의 감소를 가져올 수도 있다고 가정할 수 있다.

국내에서 BSF에 관한 연구는 거의 없는 실정이었다. BSF의 탁월한 유기성 폐기물 처리 능력을 배가 시키고 우리에게 이익을 안겨줄 또 하나의 중요한 산물이라면 본 연구자료를 기초로 하여 유기성폐기물 관리에 진일보 할 수 있는 계기가 마련되길 기대해본다.

3. 재료 및 방법

가. BSF의 국내 분포 및 생태 조사

(1) 분포조사 및 서식지 생태조사

BSF 서식지 분포조사는 2006년~2007년 동안 우리나라 지역적 특성을 고려하여 한반도의 동서에서 각 3개소, 제주도 1개소 등 전국 7지역을 대상으로 조사를 하였다. 서식지로 확인된 지역의 주변 환경 및 먹이원 등 생태 유형별로 그 특징을 분석하였다.

(2) 발생소장 조사

BSF의 성충 발생 소장을 조사하기 위하여 자연 서식지에서 번데기를 채집하여 자연온도, 자연광주기에서 보호하여 일별 성충 발생 패턴을 조사하였다.

나. BSF의 생활사

(1) 실내사육

(가) 시험곤충

본 연구에 사용한 아메리카동애등애(*H. illucens* L.)는 경기도 수원(N 37° 16' 08", E 126° 57' 31")에서 채집한 종으로 실내 인공사육을 통하여 그 생활사를 구명하였다.

(나) 채란 및 부화

우화한 성충은 자유롭게 날 수 있게 유리온실 내 망실(W*D*H= 4*2*2m)에 방사하여 교미 및 채란을 하였으며(Fig. 2-1-A), 일조량을 최대한 받을 수 있도록 하였다. 성충은 매일 일정한 량의 물을 급여하였으며, 플라스틱 상자(W*D*H=60*40*15cm)내 음식물을 넣어 산란 배지로 사용하였으며, 산란배지에 산란유도 재료인 플라워폼에 구멍을 뚫어 설치하였다(Fig. 2-1-B). 산란이 끝나고 부화를 위해 온도 27°C, 습도 60% 조건에서 보호하였다.

(다) 유충사육

유충사육은 플라스틱 상자(W*D*H=60*40*15cm)를 이용하였다. 사육은 상자 내 약 5,000두(2 두/cm²)의 밀도로 하였으며, 매일 약 1~2kg의 음식물쓰레기를 공급하였다. 사육환경은 온도 27°C, 습도 60%, 장일(14L:10D) 조건으로 하였으며, 상자를 천적으로부터 보호하기 위하여 망(200 mesh)으로 씌운 채로 사육하였다.

(라) 번데기 및 성충화 유도

다자란 유충은 전용단계에 이르러 건조한 곳으로 이동하는 습성이 있다. 사육상자에서 건조한 곳으로 이동한 번데기를 수거하여 수분함량이 약 20%인 톱밥을 매질로 하는 번데기 보호 장

치(W*D*H=30*20*35cm)에서 성충 발생을 유도하였다(Fig. 2-1-D). 번데기 보호 장치 내 약 1,000 마리씩 투입하였으며, 온도 27°C, 습도 60%에서 보호하였다.

(2) 발육단계별 특성 조사

(가) 알

교미를 마친 암 성충을 개체별로 산란수를 조사하였으며, 산란된 알은 온도 27°C, 습도 60%에서 보호하여 부화비율 및 부화소요일수를 조사하였다. 또한 산란 후 2일이 경과된 알 100개씩을 공시하여 현미경 하에서 크기, 무게 등 형태적 특성을 조사하였다.

(나) 유충

부화한 유충을 플라스틱 상자(Fig. 2-1-C)에 온도 27°C, 습도 60% 조건으로 음식물쓰레기를 사료로 하여 약 10,000두를 접종하여 사육하면서 형태적 특성 및 경과일수를 조사하였다.

(다) 번데기

번데기를 20두 3반복으로 하여 크기 및 형태 특성을 조사하였으며, 당일 용화된 번데기를 300두씩 번데기 유도장치(Fig. 2-1-D)에 넣어 번데기 기간을 조사하였다.

(라) 성충

번데기 보호 장치에서 우화한 성충을 암수 각 20마리씩 3반복으로 공시하여 크기 및 형태를 조사하였다(Fig. 2-1-D). 우화한 성충을 발생 시기별로 수명, 교미 및 산란 특성을 조사하였다.



Fig. 2-1. Indoor rearing of the BSF, *H. illucens*. A: a device oviposition and mating.(W*D*H=4*2*2m), B: oviposition medium.(W*D*H= 60*40*15cm), C: a device for larvae rearing.(W*D*H=60*40*15cm), D: a device designed to induce pupa and adults.(W*D*H=30*20*35cm).

다. BSF의 실내 인공증식

(1) BSF 채집

(가) 트랩설치 방법별 채집 특성

채집용 트랩은 유인제로 음식물쓰레기를 사용하였다. 망(W*D=40*50cm)속에 잘 발효시킨 음식물을 넣고 땅을 약 30cm 깊이로 파고 묻은 후 BSF가 접근하여 산란을 할 수 있도록 하였다(Fig. 2-2). 트랩 설치 후 약 30일 후에 수거하여 인공증식용으로 이용하였다.

한편, 채집효율을 높이기 위해 유인배지별 선호도를 조사하였다. 음식물, 송아지사료, 유박, 쌀겨가루 등 4종의 유인제를 이용해서 재료별 BSF의 선호도 조사하였다. 또한 트랩을 음지와 양지에 설치하여 산란 선호도 및 채집효율을 조사하였다.



Fig. 2-2. Trap setting. A: Sunny place, B: Shady place.

(2) 인공채란 조건 구명

(가) 산란 배지별 산란 특성

산란 배지별 산란특성 조사를 위해서 당일 우화한 성충 2000두를 유리온실 내 망실(W*D*H=4*2*2m)안에 방사한 후 배지 조성별, 배지투입 두수별, 배지상태에 따라 산란 특성을 조사하였다. 유리온실 내 환경은 자연광주기, 자연온·습도로 하였다.

산란배지별 산란 특성조사를 위해 음식물, 송아지사료, 유박, 쌀겨가루 등 4종을 투입하여 배지 종류별 산란 특성을 조사하였다. 각 배지 당 4개씩 산란유도 재료를 배치하였으며, 각 처리구별 3반복으로 투입하여 조사하였다.

산란배지 투입수별 산란특성을 조사하기 위하여 망실 내에 6개, 8개, 10개의 산란배지를 투입하였고, 이때 사용한 산란배지는 음식물을 사용하였다. 각 처리구당 3반복으로 실시하였으며, 산란배지 투입수에 따른 산란량을 조사하였다. 또한 산란배지 상태별 산란특성 조사를 위하여 신선한 음식물과 상온에서 2일간 부패시킨 음식물간에 산란비율을 조사하였다.

(나) 산란유도 재료별 산란 특성

성충이 산란할 때 알을 숨길 수 있는 적당한 장소를 제공해 주기 위하여 산란배지 위에 산란유도 재료를 설치할 필요가 있다. 적당한 산란유도 재료를 선정하기 위하여 플라워폼과 목재를 사용하여 산란선호도를 조사하였다. 산란배지에 각 재료별 4개씩 3반복으로 설치하여 조사하였으며, 산란유도 재료별 산란량 조사와 더불어 산란장소 구멍크기 및 깊이별 산란 선호도도 동시에 조사하였다. 이때 사용한 성충은 당일 우화한 2000두를 망실 내 투입하여 조사하였다.

(다) 성충 투입 밀도별 산란 특성

교미 및 산란효율의 극대화를 위해 망실 내 적정 성충 투입 두수를 조사하였다. 당일 우화한 성충 1000두, 2000두, 3000두씩 2반복으로 투입하여 산란 특성을 조사하였으며, 산란배지는 음식물로 하여 각 망실 내 6개씩 투입하였다. 산란유도 재료는 플라워폼을 각 산란배지마다 4개씩 배치하여 산란 특성을 조사하였으며, 투입된 성충두수별 산란수를 비교 조사하였다.

(3) 유충사육 밀도별 형질 조사

사육상자(Fig. 2-1-C) 내 각 5000두, 10000두, 15000두, 20000두씩 유충을 접종하여 유충 및 번데기 형질을 조사하였다. 사육은 음식물을 먹이로 제공하였으며, 온도 27°C, 습도 60%의 조건으로 사육하였다. 각 처리구별 20두씩 3반복으로 유충크기, 번데기 크기를 조사하였으며, 유충소요일수 및 용화율은 최초 용화시점부터 20일간 조사하였다.

(4) 번데기 보호 및 우화 유도

사육상자에서 탈출한 번데기를 수거하여 번데기 보호 장치로 이동시켰다. 번데기 보호 장치는 투명한 플라스틱 통을 이용하였으며(Fig. 2-1-D), 매질은 톱밥을 사용하였다. 번데기 적정보호 조건을 조사하기 위하여 대조구는 톱밥을 넣지 않고 번데기만 넣은 구와 톱밥의 상대습도를 0%, 20%, 40%로 하여 번데기를 보호한 후 우화율을 조사하였다.

(5) 저온처리에 의한 우화시기 조절

당일 용화한 번데기를 100두씩 3반복으로 하여 10°C에서 10~60일까지 처리한 후 매 10일마다 출고하여 온도 27°C, 습도 60% 조건에서 우화율을 조사하였다.

라. BSF의 음식물쓰레기 분해능 검정

(1) 음식물쓰레기 부피 및 무게 조사

검정에 사용된 음식물은 일반식당에서 잔반으로 나온 것을 사용하였다. 부화 후 5일 경과한 유충을 접종해서 3일 간격으로 투입한 음식물의 부피 및 무게의 감소율을 조사하였다. 사육조건은 온도 27°C, 습도 60%의 조건으로 하였다.

(2) 분해능 검정

음식물 배지에 성충 1두가 산란한 알을 접종하여(5반복) 음식물쓰레기 분해능을 조사하였다. 유충이 전용단계에 이를 때까지 음식물을 투입하여 완전하게 분해된 잔류물을 산정해서 유충 1두가 처리할 수 있는 음식물량을 조사하였다.

4. 결과 및 고찰

가. BSF의 분포 및 생태

(1) 국내 분포조사

아메리카동애등에(BSF)의 분포조사는 백두대간을 중심으로 동쪽으로 강원도 양양, 경상북도 봉화와 영천 등 3개소, 서쪽으로 경기도 수원, 충청남도 부여, 전라남도 구례 등 3개소 및 제주도 서귀포 등 총 7개소에서 서식지를 확인하였다(Fig. 2-3). BSF의 국내 서식은 1997년도에 최초로 보고 되었으며, 전국에 걸쳐 분포하고 있음을 보고하였다(김, 1997). 김(1997)의 보고에 의하면 1990년도 채집된 소량표본에서 최초로 확인하였고, 그 이후 서울, 경기도, 강원도, 경상남도 등에서 채집하여 전국적으로 분포한다는 것을 시사했다. 따라서 BSF의 경우 어느 특정 지역에만 서식하는 것이 아니라 전국에 걸쳐 서식함을 확인하였다.

한편, 일본에서는 5월~9월에 채집된다고 하나(學研, 1990) 국내에서는 6월~10월까지 채집되었다. 과거 BSF를 외래 도입종으로 국내 생태계에 악영향을 미칠 것으로 보고 해충으로 간주했었다. 특히, 대표적인 청소부 곤충인 BSF는 유충시기에만 먹이활동을 할 뿐, 성충 시기에는 먹이활동을 하지 않는다. 이들은 사람들을 피해 숲으로 이동하며, 축사나 생활쓰레기 및 음식물쓰레기와 같은 유기성폐기물이 야적되어 있는 곳에서 생활사를 이어간다.

본 연구에서는 기존에 보고기록이 없는 지역을 중심으로 하고 한반도 지리적 특성을 고려한 조사로서 외국에서 도입된 종이라 추정되고 있으나, 현재 우리나라 전역에 걸쳐 완전하게 정착한 종으로 추정된다.

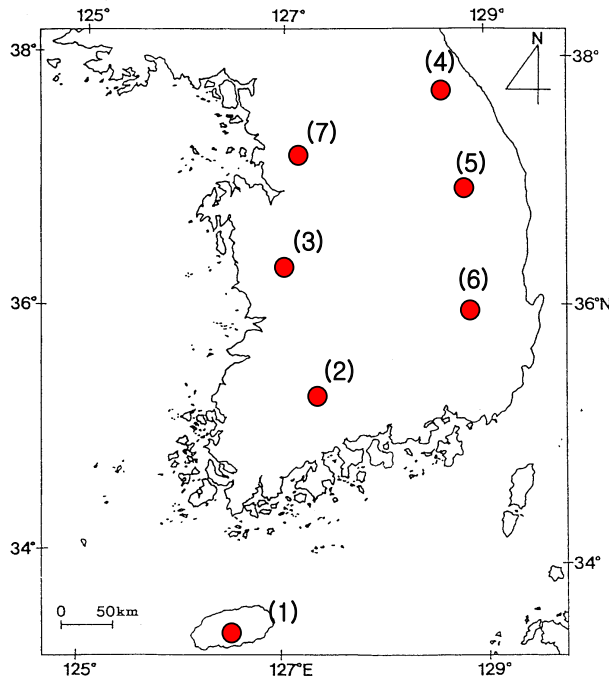


Fig. 2-3. Map of Korea peninsula showing distributions of the BSF, *H. illucens*. (1): Jeju, (2): Gurae, (3): Buyeo, (4): Yangyang, (5): Bongwaha, (6): Youngchon, (7): Suwon.

(2) 서식지 생태조사

서식지별 주위 경관, 유충이 생활하고 먹이원으로 유기성폐기물이 쌓여있는 장소 등 BSF 서식지에 대한 생태조사를 실시하였다. 조사된 BSF 서식지를 생태 유형별로 분석해 본 결과, 총 7개의 서식지 중 축사 및 퇴비사 주변 4개소, 생활쓰레기가 야적되어 있는 곳 1개소, 음식물쓰레기장 2개소 등을 확인하였다(Fig. 2-4).

이와 같은 사실로 미루어 볼 때 BSF의 서식지는 대부분 숲과 축사를 중심으로 하는 즉 유기성폐기물이 야적되어 있는 장소를 중심으로 하는 생태계 내에서 서식한다는 것을 확인하였다. 이들의 활동 반경은 매우 넓으며, 부패하는 유기물 주위에는 어디에서든 서식한다고 할 수 있다.

외국에서 도입된 종이라 해충으로 작용할 염려도 많았지만, 현재까지 해충 또는 위생곤충으로 취급되어 보고 된 기록은 없다. 특히 미국에서 BSF는 해충이 아니라고 보고 되었다(Sheppard D.C., 2002). 따라서 우리 주변에서 문제시 되고 있는 유기성폐자원을 친환경적으로 처리하면서 그 생태를 유지하는 BSF는 유기성폐자원의 분해 뿐만 아니라 다양한 분야에서 이용이 기대된다.



Fig. 2-4. An example of micro-habitat of the BSF, *H. illucens*.

A: manure, B: life waste ground, C: food waste ground.

(3) BSF 성충 발생소장 조사

BSF 성충의 발생소장조사를 위하여 자연 서식지에서 성충이 우화하기 전 4월에 번데기를 채집하여 자연온도, 자연광주기에서 보호하여 발생소장을 조사하였다. 성충발생은 5월말 경을 기점으로 성충발생 두수가 증가하기 시작하며, 6월 중순까지 최고의 피크를 나타냈고, 7월말까지 우화가 계속되었다(Fig. 2-5).

국내 기록에서 보면 (김, 1997) 6월에 1개체만 확인되었을 뿐 대부분 8, 9월에 채집 기록이 있다.

본 조사에 의하면 6월부터 10월까지 전 기간에 걸쳐 왕성한 성충 발생을 확인하였다. 과거 기록이 다소 차이가 나는 것은 조사강도에 의해 기인된 것이라 판단된다. 향후 BSF를 유용한 자원으로 활용하기 위하여 월동생태, 휴면기구 해명 등 생리 생태적인 분야에 심도 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 본다.

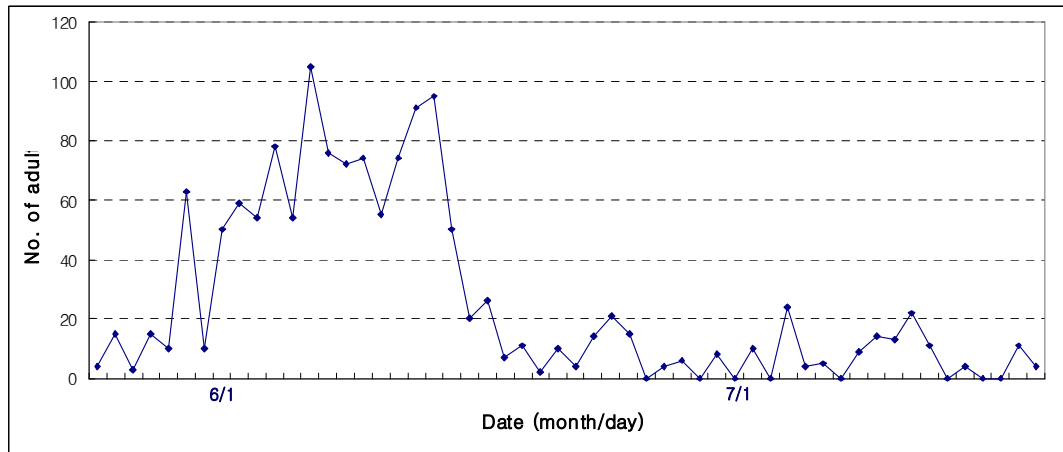


Fig. 2-5. Seasonal occurrence of the BSF, *H. illucens*, investigate by collection in 6~10 month of condition incubation; natural.

나. BSF의 생활사

(1) 발육단계별 특성 조사

(가) 알

자연상태에서 BSF는 축축하고 부패하는 유기물의 건조된 틈바구니에 산란한다(Copello 1926, Gonzalez et al. 1963). 교미를 마친 암 성충을 개체별로 산란수를 조사한 결과, 평균 산란수는 1001 ± 247 개임을 확인하였다(Table 2-1).

알의 크기 및 알의 형태적 특성을 조사한 결과, 알의 크기는 장경 $886.9 \pm 23.5 \mu\text{m}$, 단경 $190.1 \pm 19.7 \mu\text{m}$ 로서(Table 2-6) 타원형(Fig. 2-9)이며, 알의 무게는 $24.0 \pm 1.6 \mu\text{g}$ 이었다(Table 2-1).

한편 개체별로 산란된 알을 온도 27°C , 습도 60%에서 보호하여 부화비율 및 부화소요일수를 조사한 결과, 부화비율은 $99.6 \pm 0.3\%$ 로서 100%에 가깝게 부화하였으며, 부화소요시간은 81.3 ± 12.5 시간이 소요되었다(Table 2-1).

이상의 결과 중 산란량이 약 1000개 내외이고 부화비율이 100%에 가깝다는 것은 유기성폐자원 처리를 위한 실용형질로서는 아주 좋고, BSF의 이용 가치를 높일 수 있는 우수한 실용형질이라 사료된다.

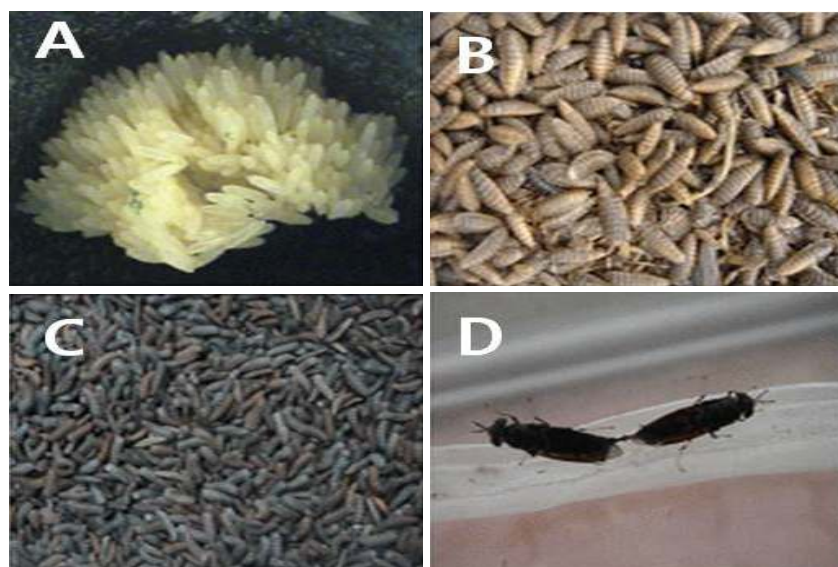


Fig. 2-6. Life cycle of the BSF, *H. illucens*. A: egg, B: larva, C: pupa, D: adult

Table 2-1. Size of the egg, number of eggs laid, weight, hatchability and duration of period of the BSF, *H. illucens*.

No. of egg laid per individual	Egg size (μm)		Weight (μg)	Hatchability (%)	Duration of incubation period(hrs)
	Major axis	Minor axis			
1001 \pm 247	886.9 \pm 19.7	190.1 \pm 9.7	24.0 \pm 1.6	99.6 \pm 0.3	81.3 \pm 12.5

Mean \pm S.D.

Condition of incubation : 27°C, 60% R.H.



Fig. 2-7. External morphology of the egg BSF, *H. illucens*. scale bar=20 μm

(나) 유충

갓 부화한 유충은 흰색이며, 시간이 지남에 따라 점점 미색으로 변한다. 여기에 더 어두운 개체들은 전용단계에 접어든 것이다(May 1961). 유충의 체절은 12절이며 제1절은 두부, 2~4절은 흉부, 5절 이하는 복부가 된다(Fig. 2-6-B). 두부에는 하나의 구기가 있고, 이 구기를 이용하여 먹이활동과 이동수단으로 활용하고 있다. 그리고 흉부에서 복부까지 강모가 각 체절마다 2개씩 있으며, 각 체절마다 1쌍의 다리가 있다. 다리는 흡착할 수 있는 형태를 하고 있어 경사면을 기어오르기에 적합하게 발달되어 있다.

알에서 부화한 유충을 사육상자(W*D*H=60*40*15cm)에서 온도 27°C, 습도 60% 조건으로 약 10,000두를 공시하여 사육하면서 유충에서 전용단계 전까지 기간을 조사하였다. 종령 유충의 크기는 $20.7 \pm 1.1\text{mm}$ 이며 유충기간은 15~20일 정도였다. Tomberlin J.K.와 Sheppard D.C.(2002)는 사육된 유충으로부터 10~14일 정도의 유충기간을 언급했는데, 본 실험에서는 그들보다 약 5~6일 정도 더 길게 나타났다(Fig. 2-8). 이는 BSF의 사료로 사용된 한국적 음식물쓰레기가 외국의 것과 다른 것에서 기인되었다고 판단된다. 특히 한국형 음식쓰레기를 사용할 경우 유충기간이 길어진다는 것은 BSF가 음식물을 분해하는 양이 그 만큼 더 많이 한다는 것에 큰 장점이 있다고 판단된다.

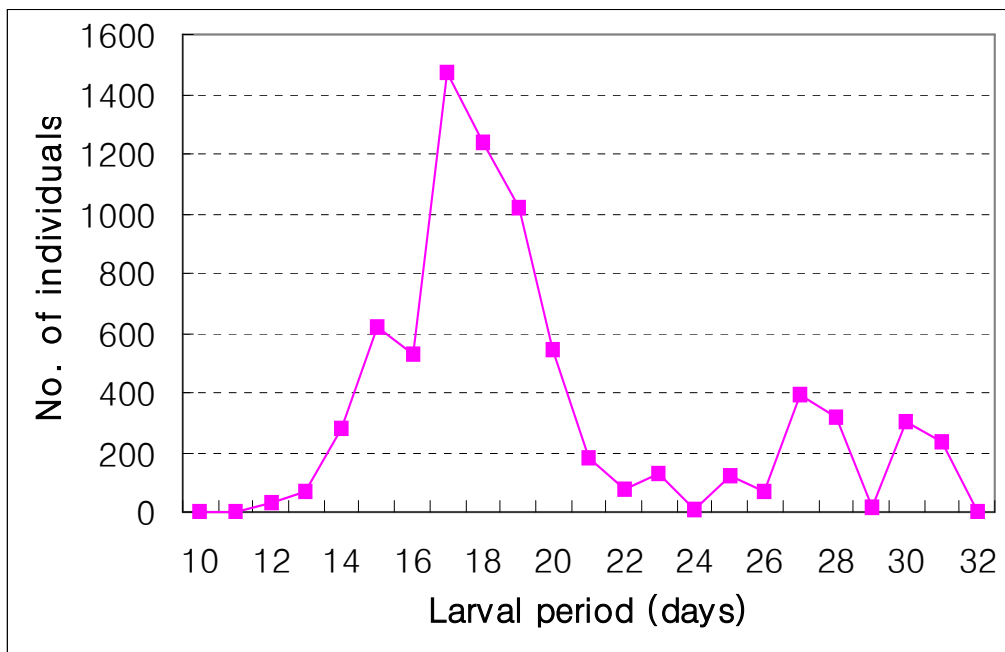


Fig. 2-8. Duration of larval period by indoor rearing, *H. illucens*.

(다) 번데기

BSF는 전용단계에 이르면 먹이활동을 중단하고 건조한 곳으로 이동하기 시작한다. 이들의 이동습성은 유충이 성공적으로 번데기에서 성충이 되기 위해서 유기물을 떠나야 하기 때문에 일어난다(L. Newton 2005). BSF의 번데기는 어떠한 고치형태를 만들지 않고 유충 형태 그대로 번데기가 된다. 단지 번데기 색깔이 암갈색으로 바뀔 뿐이다. 번데기 기간을 조사한 결과, 용화 후 11일째부터 우화, 즉 번데기 기간이 11일 정도부터 길게는 20일 가까이 소요되었다. 대부분의 번데기 기간은 13~17일 정도였으며, 수컷이 암컷에 비해 전반적으로 짧은 경향을 보였다(Fig. 2-9).

한편, BSF의 번데기는 사료로서의 가치와 양식의 효율 가치까지 있다(Newton L., Sheppard D.C. 2005). 전용단계의 BSF는 44%의 건조중량으로 필수 아미노와 지방산을 포함한 42%의 단백질, 35%의 지방으로 구성되어 있다(Hale, 1973). BSF는 이 단계에서 가장 큰 크기가 되며, 많은 지방체를 몸에 저장한다(Newton, Sheppard 2005).

특히, 번데기의 이동습성을 활용하여 인공증식효율을 높일 수 있으며, 유기성폐자원의 분해 후 새로운 용도로서 활용가치도 기대된다.

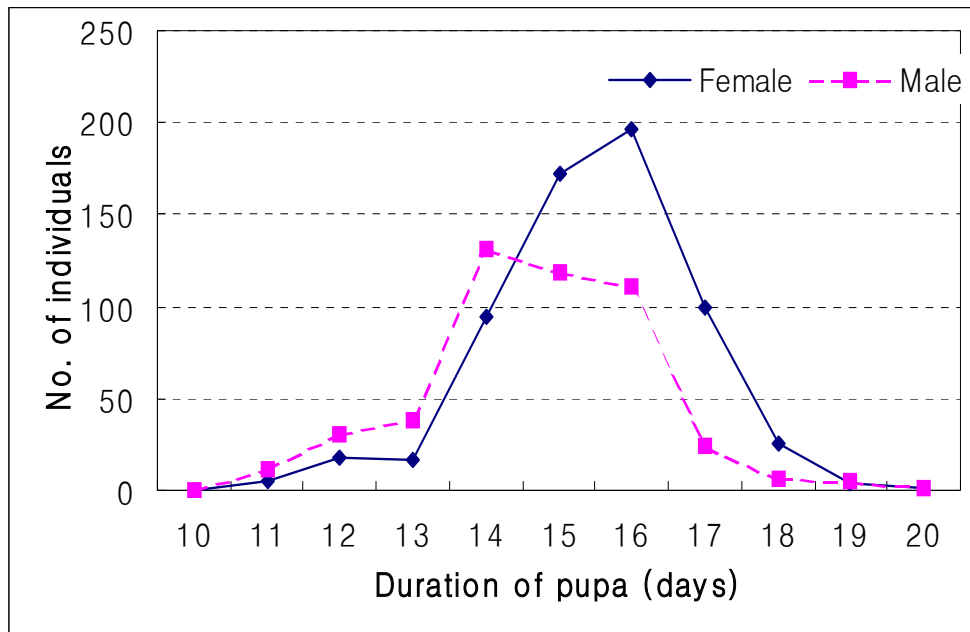


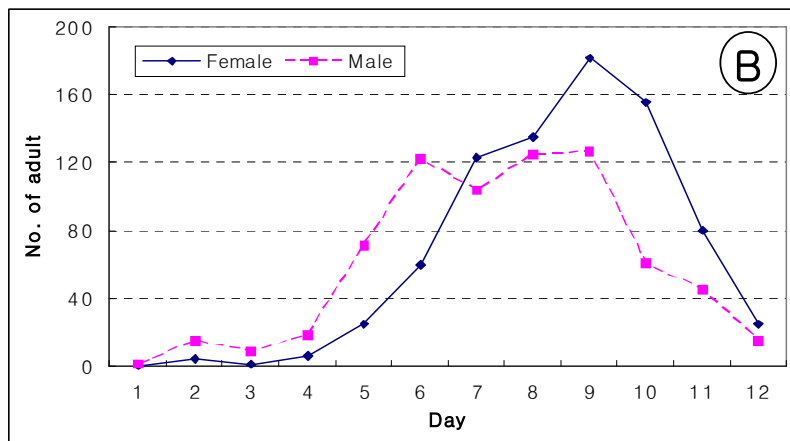
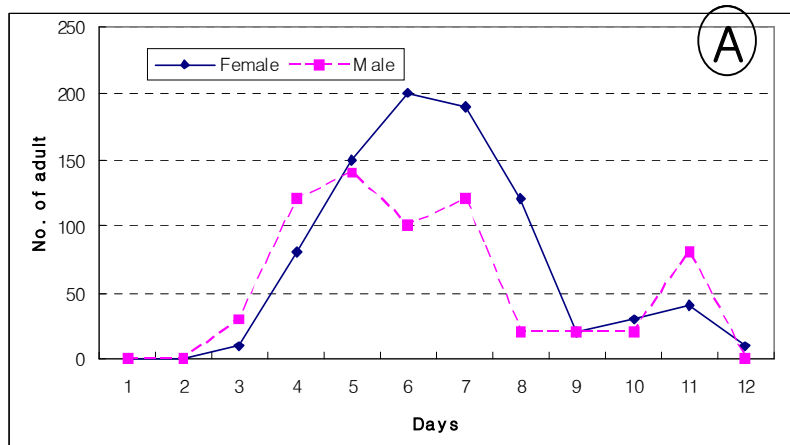
Fig. 2-9. Duration of the BSF pupa, *H. illucens* in both sexes.

(라) 성충

BSF 성충의 형태적 특성은 Fig. 2-6-D에서 보는 바와 같이 두부, 흉부, 복부로 나눌 수 있다. 몸의 길이는 13~20mm 정도이며 전체적인 색상은 흑색이다. 두부는 흑갈색으로 길이가 매우 짧으며 더듬이는 흑갈색이고, 어깨혹과 옆가장자리 융기선은 황갈색이며 작은 방패판은 짧고 뒷 가장자리는 둔각이다. 날개는 크고 흐리며 다리는 가늘고 긴 형태로 전체적으로 흑색을 띠지만 투명하고, 앞다리 종아리마디의 기부와 가운데 다리 발목마디 기부 2마디 그리고 뒷다리 발목마디 기부2마디는 황색을 띤다. 배는 크고 제2배마디는 회백색이며 중앙 뒤쪽의 삼각 무늬와 옆가장자리는 흑색이다(Fig. 2-6-D).

발생시기별 BSF 성충 암수 수명을 조사한 결과, 1세대의 경우 발생 시기가 6월 중순에서 7월 경으로 평균 5~8일 정도 수명을 이어갔고, 2세대의 경우 평균 7~10일 정도의 생존하였으며, 3세대의 경우는 13~18일 정도 생존하였다(Fig. 2-10). 전체적으로 볼 때, 암컷이 수컷에 비해 수명이 더 긴 것을 확인하였다.

세대별로 성충 수명의 차이는 BSF가 고온에서 잘 적응할 수는 있으나(Sheppard D.C., Tomberlin J.K. 2002), 야간의 온도가 낮은 시기 일수록 수명이 길어지는 것으로 보아 고온에 의한 에너지 소모가 많은데서 기인한 것으로 추정된다. 또한 수컷이 암컷에 비해 수명이 짧고 먼저 발생하는 현상은 암컷이 충분한 에너지를 가지고 있을 때 교미 및 산란이 이뤄질 수 있도록 하는 생태적 특성이라 추정된다.



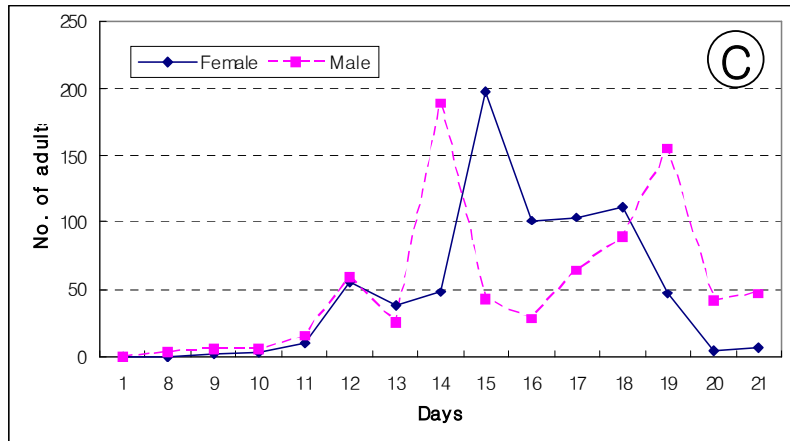


Fig. 2-10. Duration of day adult period at each generation by indoor rearing, *H. illucens*. A: 1st generation(June~July), B: 2nd generation(Aug.~Sept.), C: 3rd generation(Sept.~Oct.) Condition of oviposition place: natural temp(°C).humidity,(%) natural light cycle.

BSF 성충의 교미 특성을 조사한 결과, 교미는 우화 후 2일에서 시작하여 7일째까지 관찰되었는데, 3일째가 되는 날에 1세대를 비롯하여 2, 3세대 모두 가장 높은 교미 빈도를 보였다(Fig. 2-11).

성충 방사 후 일일 교미시간을 조사한 결과, 일일 중 광량이 증가하는 10:00에서 광량의 발생이 최고조에 달하는 14:00에 1세대를 비롯하여 2, 3세대 모두 교미활동이 가장 활발한 것을 볼 수 있었다(Fig. 2-12). 이는 일조량이 BSF의 교미 활동에 직접적인 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있었다. BSF 성충의 교미 활동은 온도가 27.0°C에 이르면 충분한 광량 하에서 교미가 일어난다고 하였다(Sheppard D. C. 1984).

성충이 자연환경에서 살아가며, 축사 시설에서 발견되는 것들은 새로 우화한 개체들이거나 산란하려는 암컷이라고 하였다(Furman et al., 1959, Sheppard et al., 1994). 숲 가장자리와 같은 장소는 수컷이 91.9%였으나, 양계장과 같은 유기성폐기물이 있는 산란장소에는 91.3%가 암컷이었다(Sheppard D. C., 2005.).

이를 종합해보면 BSF 성충은 충분한 광량과 적정 수준 이상의 온도(25°C 이상)가 반드시 필요하다는 것을 알 수 있다.

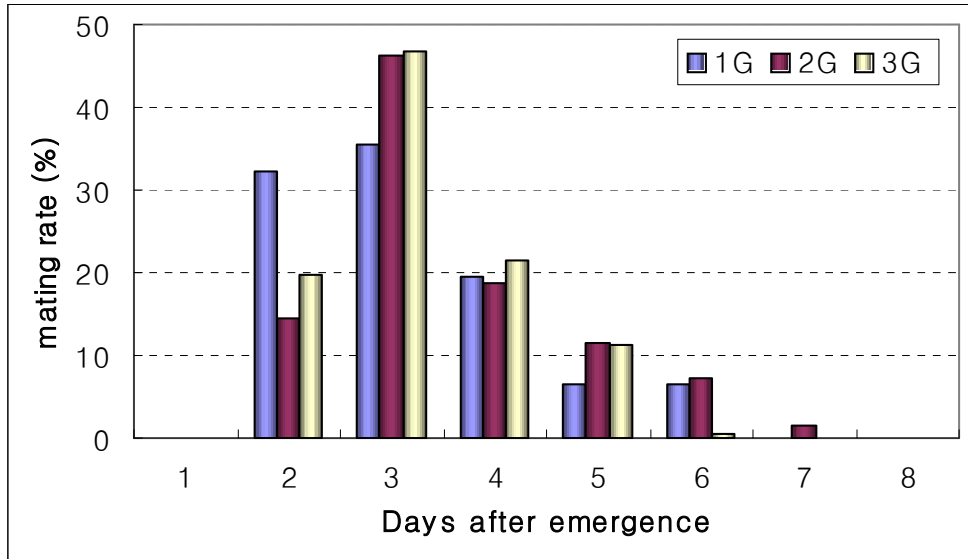


Fig. 2-11. Daily mating rate of the BSF Adult, *H. illucens*.
1G: 1st generation, 2G: 2nd generation, 3G: 3rd generation

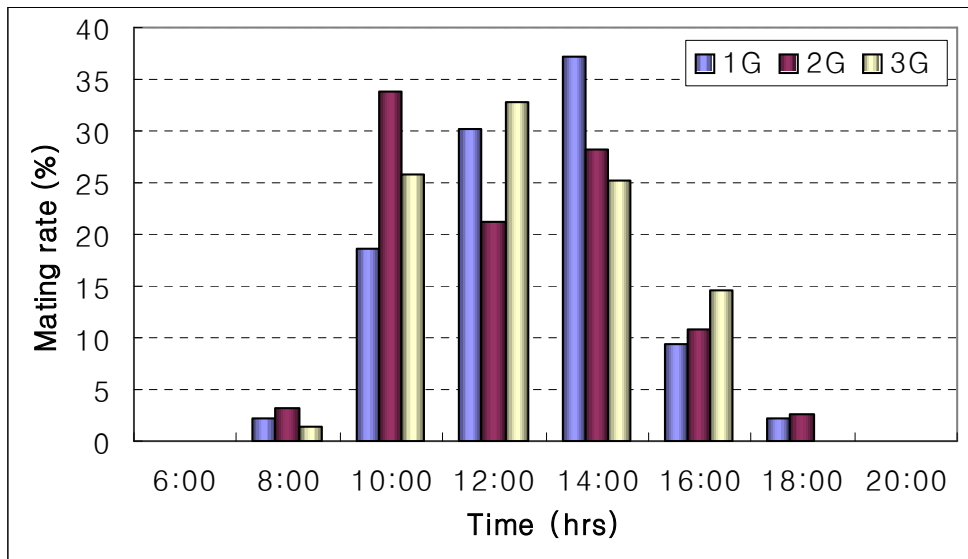


Fig. 2-12. Daily mating rate of the BSF adult, *H. illucens* by the time.
1G: 1st generation, 2G: 2nd generation, 3G: 3rd generation.

성충은 일반적으로 우화 후 3~4일 후부터 산란을 시작하는데, 1세대의 경우 우화 후 5일째 되는 날 산란비율이 가장 좋았고, 2세대의 경우 1세대보다 하루정도 빠른 우화 후 4일째 가장 좋은 산란비율을 보였으며, 3세대는 우화 후 6일째 가장 높은 산란 비율을 보였다(Fig. 2-13). 이와 더불어 일일 중 산란특성을 조사한 결과, 1세대의 경우 광량이 증가하는 10:00부터 증가를 시작하여 16:00에 제일 많은 산란을 관찰 할 수 있었고, 2세대는 10:00부터 증가하여 12:00에 가장 많은 산란을 볼 수 있었으며, 3세대 패턴은 1, 2세대와 다르게 오전에는 10:00에 오후에는 14:00에 가장 많은 산란을 관찰하였다. 전 세대에서 일조량이 많은 10:00~16:00 정도까지 가장 높은 산란 빈도를 나타냈다(Fig. 2-14). 이는 산란조건 또한 교미특성과 마찬가지로 자연광이 중요하게 작용한다는 것을 시사한다.

또한 교미가 이뤄지지 않은 암 성충은 아무리 시간이 경과하여도 산란하지 않고 일생을 보낸다. 이는 BSF는 반드시 교미를 해야만 산란하는 특성을 가지며 생리적으로 보면 교미가 산란의 개시를 알리는 시그널인 것으로 추정된다.

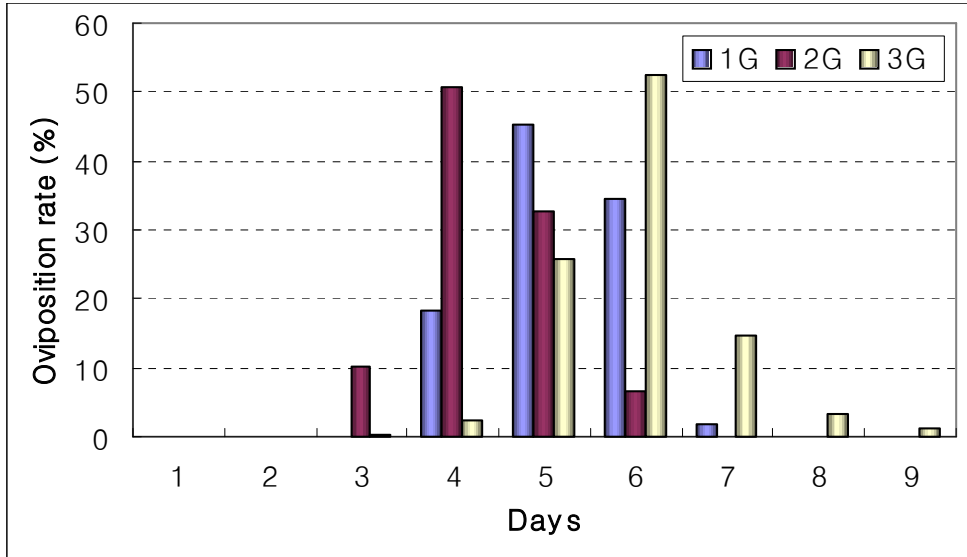


Fig. 2-13. Daily oviposition rate of the BSF adult, *H. illucens*.
 1G: 1st generation, 2G: 2nd generation, 3G: 3rd generation
 Condition of incubation: natural, glasshouse.

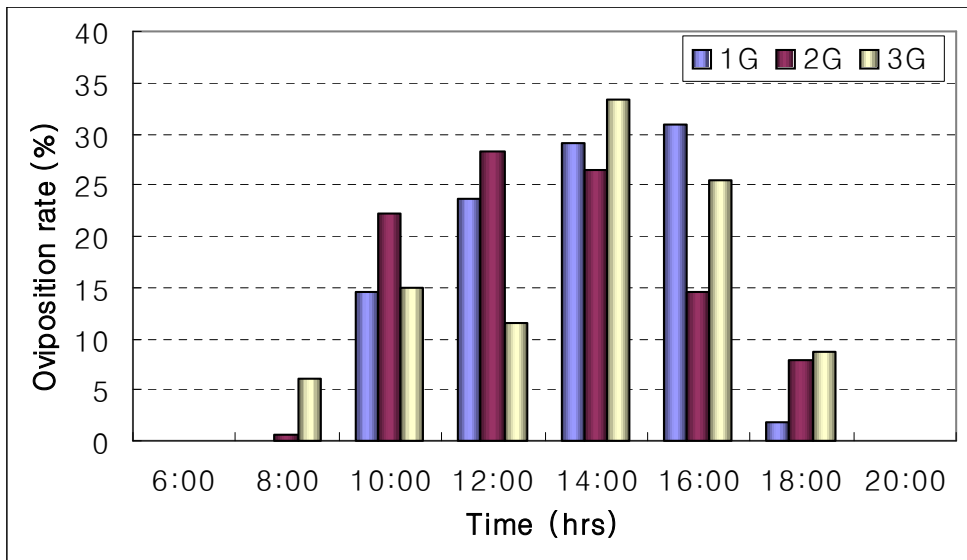


Fig. 2-14. Daily oviposition rate of the BSF adult, *H. illucens* by the time. 1G: 1st generation, 2G: 2nd generation, 3G: 3rd generation

다. BSF의 실내 인공증식

(1) BSF 채집

(가) 유인배지별 채집 특성

BSF 실내 인공 증식을 위해서는 생태적 특성 구명과 더불어 야외에서 채집하는 것이 기본이다. 효율적인 채집을 위해 유인배지별 선호도를 조사하였다. 그 결과, 음식물과 송아지사료가 유인배지로서 적합한 것으로 나타났으며, 그 중에서 송아지사료가 가장 효과적이었다. 또한, 음식물의 경우 발생초기에서부터 이틀 활동의 왕성한 시기까지 꾸준한 증가세로 유인배지로서의 가능성을 보였다. 유박은 음식물과 송아지사료에 비해 선호도는 낮았으나, 전반적으로 유인배지로서의 적합성을 보였다고 할 수 있다(Fig. 2-15). 그러나 쌀겨가루의 경우 유인배지로서는 적합하지 않은 것으로 확인되었다. 향후 BSF 채집을 위한 유인배지로 가장 적합성을 보인 송아지사료로 사용을 하는 것이 좋지만, 비용문제를 고려할 때 버려지는 자원을 이용한다는 측면에서 음식물쓰레기를 사용하는 것이 여러 면에서 장점이 있어 유인배지로 음식물을 사용하는 것이 바람직할 것이다.

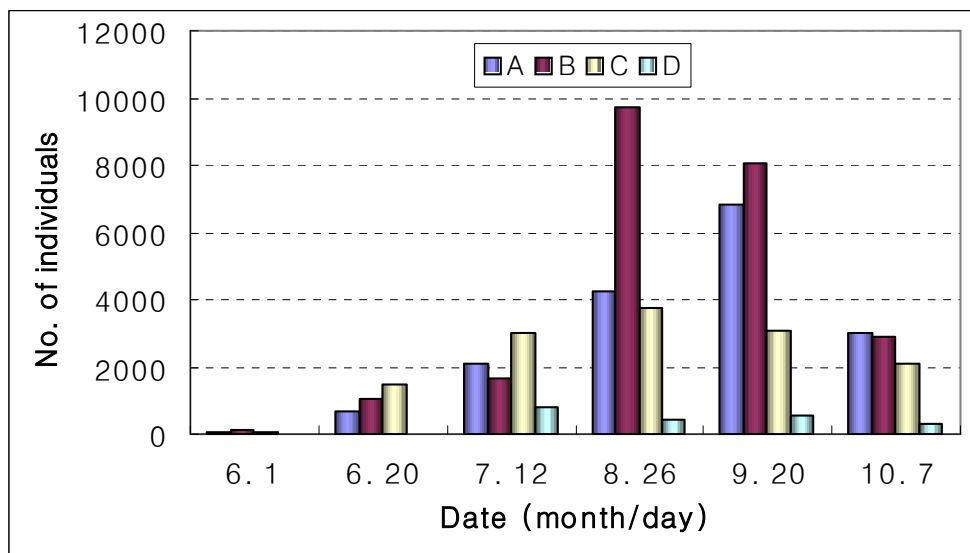


Fig. 2-15. Days after trap installation of *H. illucens*, by every 30 days during the experiment.

A: food waste, B: calf feed, C: oil cake, D: rice chaff powder

(2) 설치 지역별 채집 특성

한편, 트랩을 음지와 양지에 설치하여 산란 선호도를 조사한 결과, 6월과 7월에는 음지와 양지 간에 그리 큰 차이를 보이지 않았으나, 기온이 급상승하는 한여름에는 음지가 양지에 비해 월등히 채집량이 많은 것을 볼 수 있었다(Fig. 2-16). 이를 통해 음지가 양지보다 트랩 설치 시 채집 효율을 높일 수 있다는 것으로 알 수 있었다.

BSF의 서식지 주변 숲 가장자리에 있는 수컷들은 식물의 잎 위에 앉아 쉬고, 경쟁자가 나타나면 수컷은 즉시 그 침입자와 싸운다. 경쟁에서 이긴 수컷은 다시 식물의 잎 위로 돌아오고, 휴식중인 수컷 주위에 암컷이 출현하면 비슷한 행동을 보이지만, 수컷은 싸움을 걸지 않고 교미하려고 한다(Tomberlin J. K., Sheppard D. C., 2001). 서식지 주변 식물들을 이용하여 BSF는 휴식을 취하고, 이곳에서 교미 및 산란 과정이 이뤄지기 때문에 음지의 역할은 이들의 생활사에 많은 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있다.

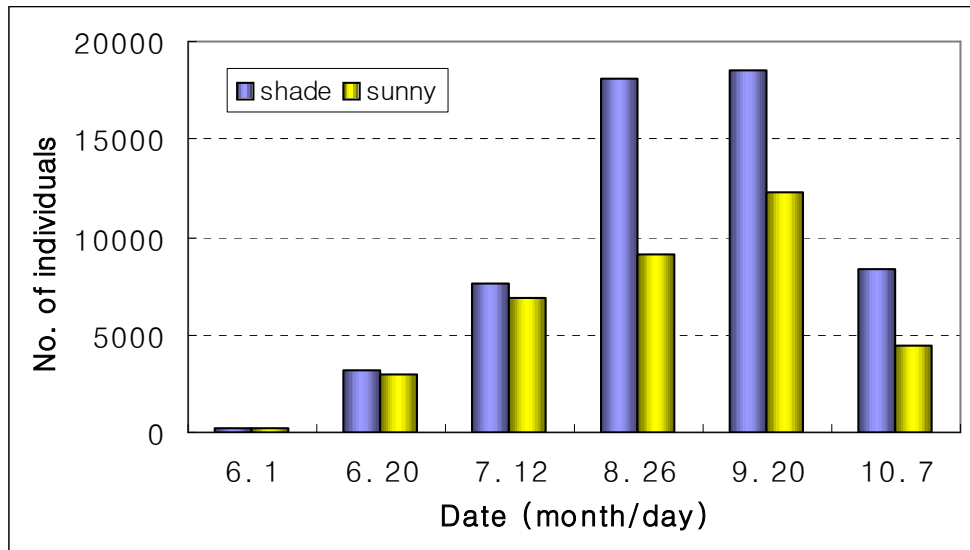


Fig. 2-16. Population trends of *H. illucens* days after trap installation; Collection: Shade place, Sunny place.

(3) 인공채란 조건 구명

(가) 산란 배지조성별 산란 특성

배지 조성별 산란특성을 조사하기 위해 음식물, 송아지사료, 유박, 쌀겨가루 등 4종을 선정하여 배지조성별 난괴수를 조사하였다(Fig. 2-17). 음식물과 송아지사료가 유박이나 쌀겨가루에 비해 난괴수가 월등히 높았다.

송아지사료가 가장 우수한 결과를 보였으나, 이 또한 트랩 설치 시 유인제와 마찬가지로 자원 재활용이란 측면에서 볼 때 음식물이 가장 좋다고 할 수 있을 것이다.

뿐만 아니라, 산란배지를 만들기 위해 배지 조성별 작업 능률로 보았을 때 음식물만큼 효율적인 것이 없었다. 가장 많은 난괴수를 보인 송아지사료와 유박은 산란을 받기 위해서는 매우 좋으나, 배지를 만들기 위해 고형분을 물과 혼합하여 적정 수분량을 맞춰줘야 하는 번거로움이 있고, 채란 기간동안 쉽게 굳어버리는 단점도 있어 음식물을 산란배지로 사용하는 것이 가장 좋다고 할 수 있다.

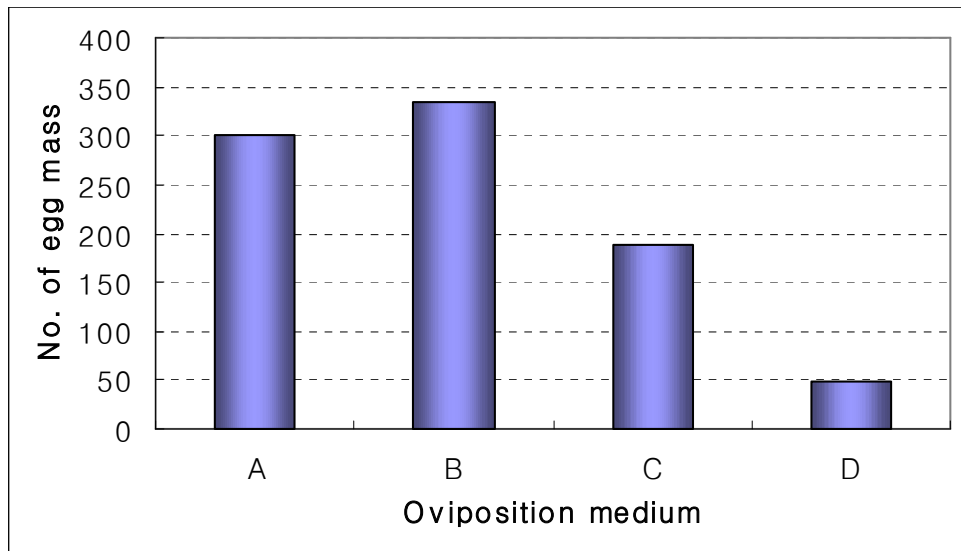


Fig. 2-17. Number of egg mass of *H. illucens* by oviposition medium patterns flower form. A: food waste, B: calf feed, C: oil cake, D: rice chaff powder

(나) 산란배지 투입수별 산란특성

성충의 배지수별 산란특성 조사를 위해 망실 내(W*D*H=4*2*2m)당일 우화한 성충 2000두를 방사한 후 산란 배지 6개, 8개, 10개로 투입하여 조사하였다. 그 결과, 배지 6개를 넣은 처리구에서는 263의 난괴를 얻었고, 8개를 넣은 처리구에서는 593개, 10개를 넣은 처리구는 698개의 난괴를 확인하였다(Fig. 2-18). 배지 10개를 투입한 구가 난괴수는 가장 많았지만, 성충수 대비 산란 효율면을 고려하면 8개의 배지를 투입하는 것이 가장 효율이 높았다.

물론, 산란배지 수는 망실 내 크기와 방사할 성충의 총 두수를 고려하여야 한다. 각 처리구별 성충 수에 비례하여 산란배지 수를 선택하면 BSF 관리를 효율적으로 할 수 있을 것이다.

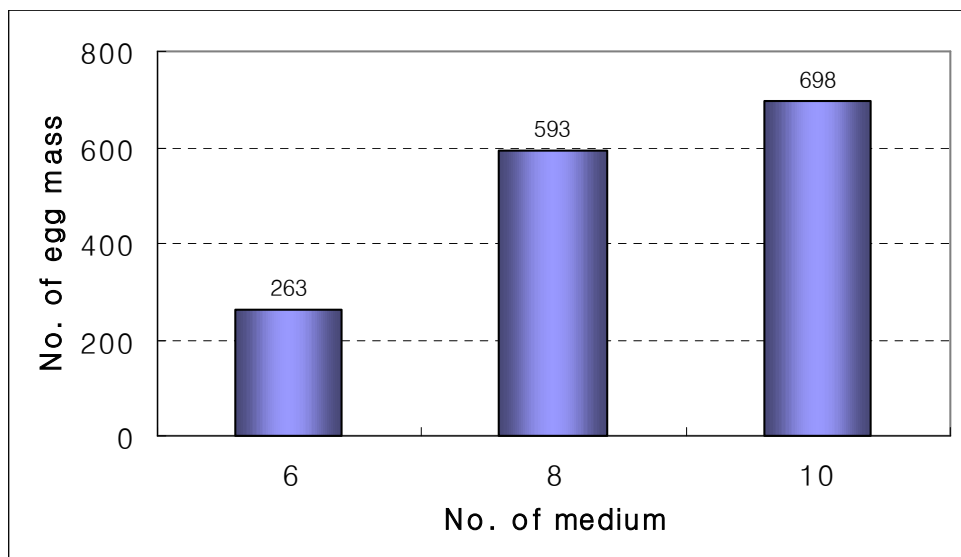


Fig. 2-18. Number of egg mass of *H. illucens* by number of medium. Medium: food waste, Induction material: flower form.

(다) 산란배지 상태별 산란특성

신선한 음식물과 상온에서 2일간 부패시킨 음식물을 각 3개씩 구성하여 산란특성을 조사한 결과, 신선배지와 부패배지 간에 산란비율의 큰 차이는 보이지 않았다(Fig. 2-19). 이는 신선배지라 할지라도 1~2일 지나면 부패가 진행되기 때문에 성충이 교미 후 산란할 시간을 고려하면 두 배지 간에 차이는 없는 것으로 판단된다.

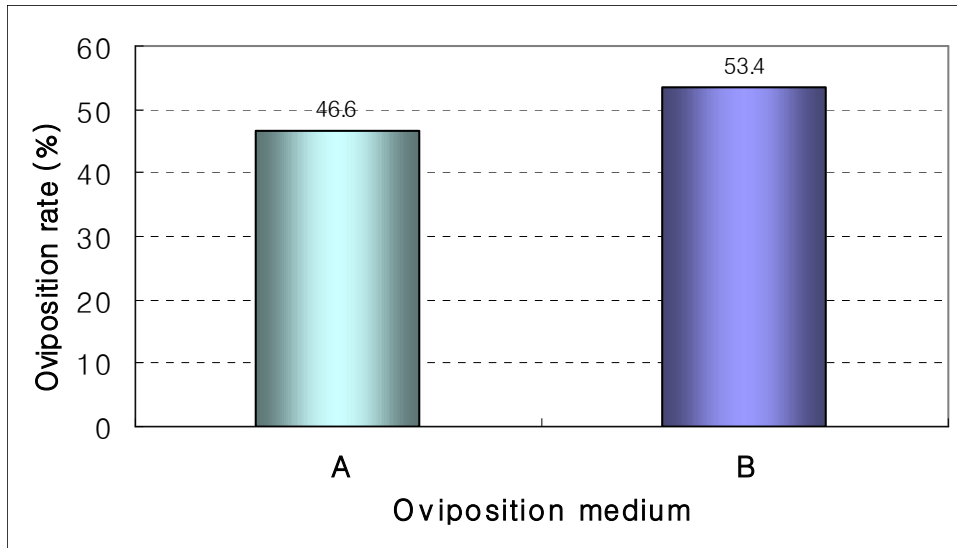


Fig. 2-19. Oviposition rate of *H. illucens* by oviposition medium type;
A: Fresh medium, B: Decomposed medium.

(라) 산란유도 재료별 산란 특성

성충의 산란유도 재료별 산란특성은 당일 우화한 성충 2000두 3반복으로 공시하여 온실 내 망실(W*D*H=4*2*2m)에서 자연온도 및 자연광주기 조건으로 조사하였다. 산란유도 재료로 플라워폼과 목재를 산란배지에 4개씩 구성하여 배치하였고, 산란장소를 만들기 위해 산란유도 재료에 구멍을 각 60개씩 뚫었다. 플라워폼을 적당한 크기(W*D*H=4*20*5cm)로 절단한 후 이 재료의 물 흡수성을 이용하여 물을 충분히 흡수하게 하였다. 그 결과 유도재료 1개당 목재의 경우 18.5개의 난괴를 얻었으며, 플라워폼은 17.4개로 목재가 다소 우수한 결과를 얻었다(Fig. 2-20). 그러나, 플라워폼의 경우 성충이 수분을 섭취할 수 있도록 장기간 수분을 유지한다는 큰 잇점이 있으며, 수분함량은 산란에도 영향을 미친다.

Fig. 2-21의 결과에서 보듯 산란율이 건조한 곳에서는 22.5%와 습한 곳에서 77.5%로 큰 차이를 보였다. Booth와 Sheppard D.C. (1984)는 BSF가 산란시 습한 곳보다는 건조한 곳을 더 선호한다는 것과는 상반된 결과인 것이다. 아마도 BSF가 산란장소를 선정함에 있어 적정의 수분량을 포함하고 알 부화 시 부정적 요소를 최소화하기 위해서 건조한 곳보다는 습한 곳을 더 선호한 듯 보였다. 따라서 산란유도 재료로는 목재보다 플라워폼이 더 적합할 것으로 사료된다.

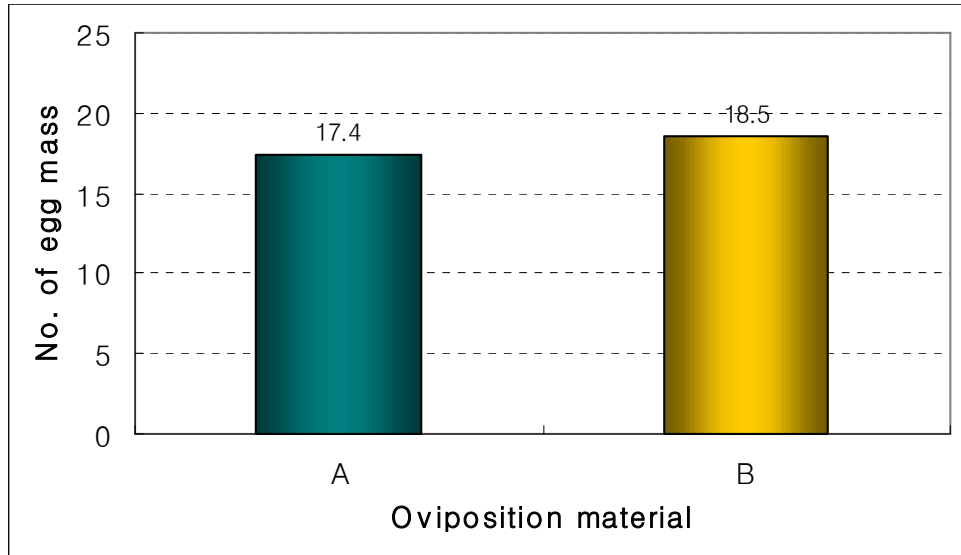


Fig. 2-20. Number of egg mass of *H. illucens* by oviposition material; A: flower form, B: wood

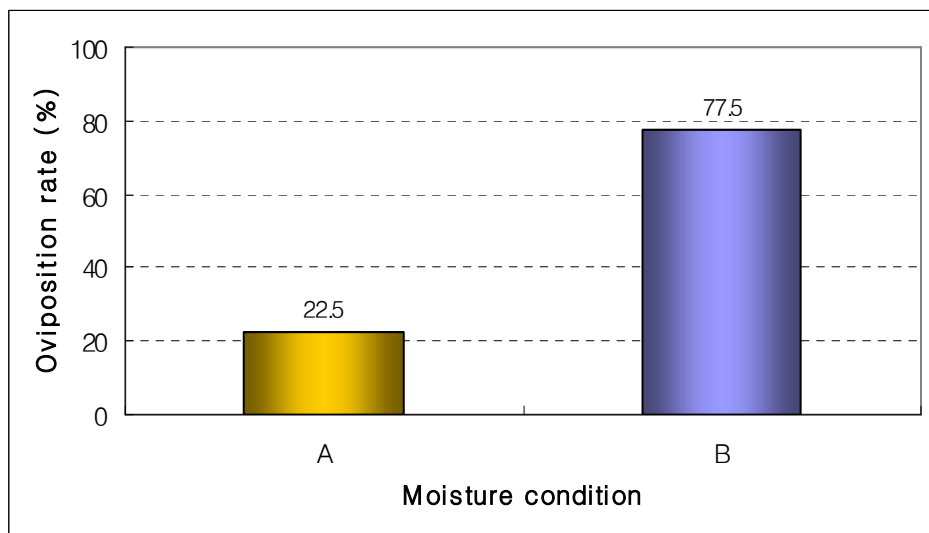


Fig. 2-21. Oviposition rate of *H. illucens* by oviposition material moisture condition; A: dry, B: damp.

구멍 크기별 산란 특성을 조사한 결과, 첫 시험구에서 지름 5, 7, 9mm로 조사한 결과, 5mm가 7, 9mm에 비해 산란비율이 월등히 높았다(Fig. 2-22). 따라서, 지름 5mm이하의 크기로 3, 4, 5mm에서 재조사한 결과, BSF 산란은 평평한 곳에는 전혀 산란하지 않고 본능적으로 알을 깊숙한 곳에 숨기는 특성이 있었다. 4mm의 구멍크기에서 가장 높은 산란비율을 나타내었지만(Fig. 2-23), 3mm 또는 5mm에서도 높은 산란비율을 보여 적합한 구멍크기는 산란에 3~5mm 정도가 적합한 것으로 확인되었다.

BSF의 산란장소는 구멍크기가 작은 곳을 더 선호하였지만, 3mm와 같이 구멍크기가 너무 작게 되면 1개의 구멍에 산란된 알이 여러 겹으로 쌓이게 되어 부화에 좋지 않은 영향을 줄 수

있기 때문에 4, 5mm의 구멍크기가 산란장소로서 적합할 것으로 사료된다.

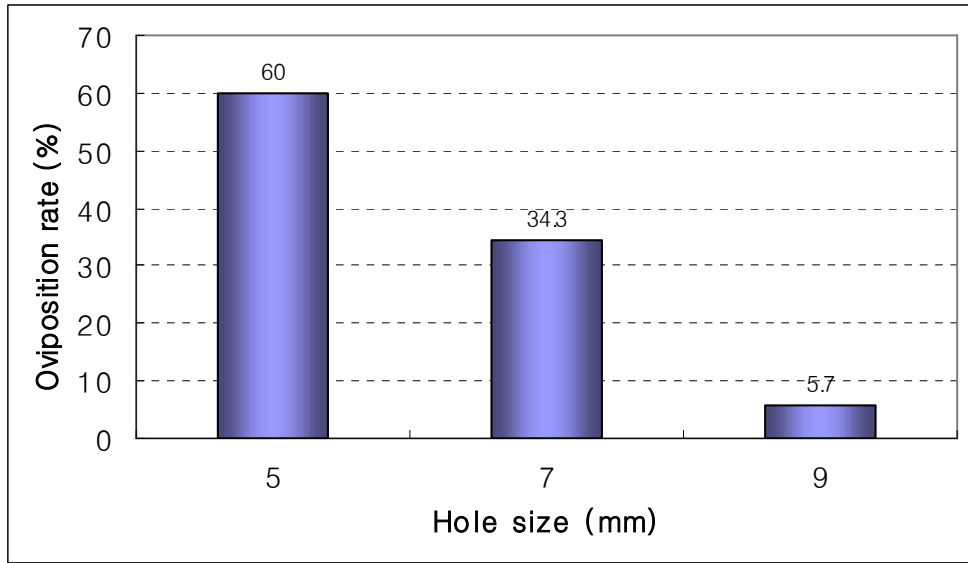


Fig. 2-22. Oviposition rate of *H. illucens* by hole size of oviposition material. Induction material; flower form.

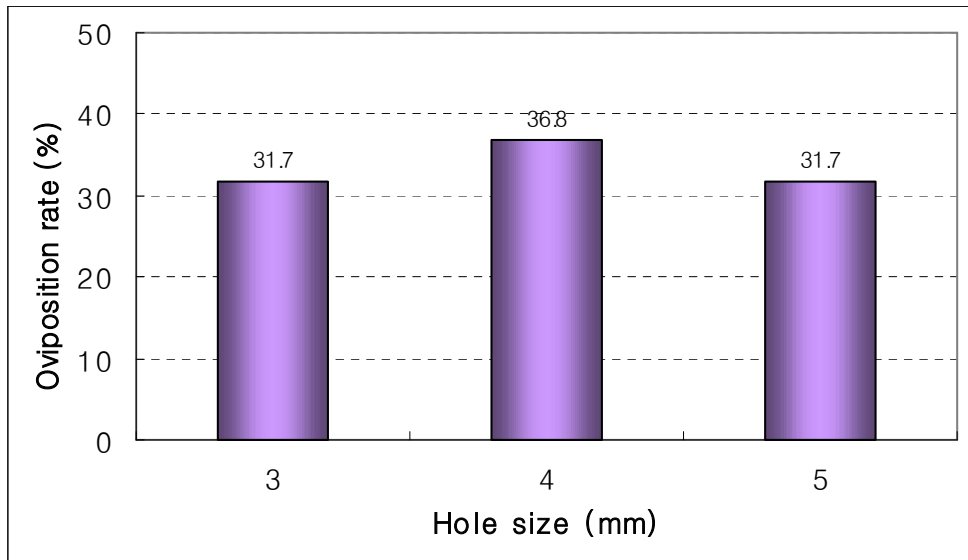


Fig. 2-23. Oviposition rate of *H. illucens* by hole size of oviposition material. Induction material; flower form.

한편, 구멍깊이 별, 즉 4~12mm의 구멍을 산란유도 재료에 뚫어 산란 특성을 조사하였다. 알을 숨길 수 있는 구멍깊이에 따라 다른 산란패턴은 깊이가 5mm이하의 얇거나 11mm이상의 깊은 크기는 거의 산란하지 않았다. 산란장소로서 가장 적합한 구멍의 깊이는 7mm와 10mm로 확인되었다(Fig. 2-24). 이는 BSF의 산란 모습을 보면 알 수 있는데, 산란할 암 성충은 산란관을 구멍 안쪽 깊숙이 집어넣어 안쪽부터 차례대로 산란을 시작한다. 이때 구멍의 깊이가 너무 깊거나 얇게 되면 이러한 행동 패턴에 제약을 줄 수 있을 것이다. 따라서 산란장소 구멍깊이는 7mm~10mm 범위 내에서 설정하는 것이 산란효율을 최대한 높일 수 있다고 판단된다.

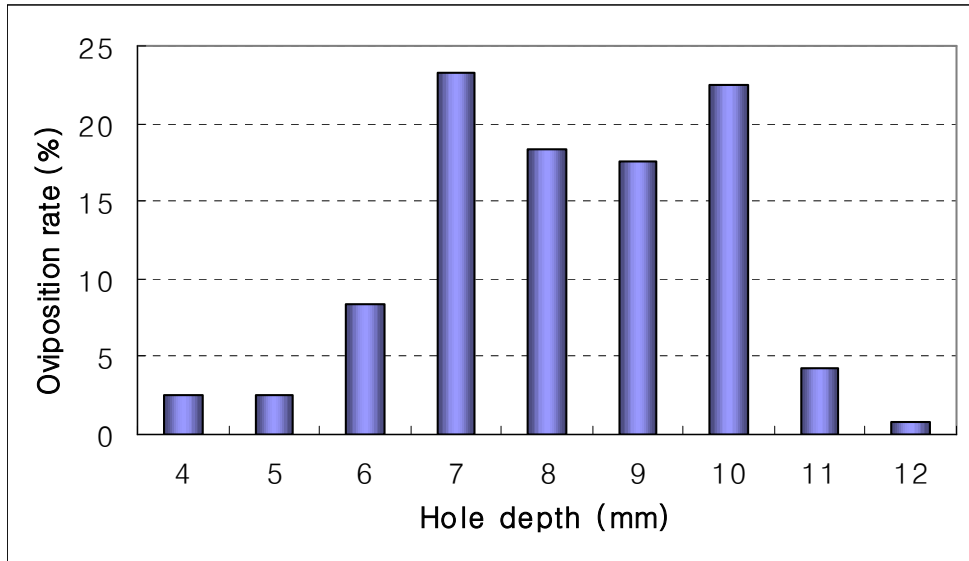


Fig. 2-24. Oviposition rate of *H. illucens* by hole depth of oviposition material. Induction material: flower form.

(마) 성충 투입 밀도별 산란 특성

당일 우화한 성충 1000, 2000, 3000두씩 2반복으로 공시하여 온실 내 망실(W*D*H = 4*2*2m)에서 자연온도 및 자연광주기 조건으로 각 처리구당 배지투입 수에 플라워폼 4개씩을 넣고, 산란특성을 조사하였다. 그 결과, 1000두에서는 산란수 276개로 확인되었고, 2000두에서는 714개, 3000두에서 842개의 난피를 확인할 수 있었다(Fig. 2-25). 성충의 투입 밀도가 증가됨에 따라 산란량이 증가함을 알 수 있었지만, 성충 밀도의 과도한 증가는 산란실 내에서 경쟁이 그만큼 치열할 것이다. 따라서 산란 효율적인 측면에서 볼 때, 성충 투입밀도로 2000 두/16㎡ 두 내외가 적당한 것으로 사료된다.

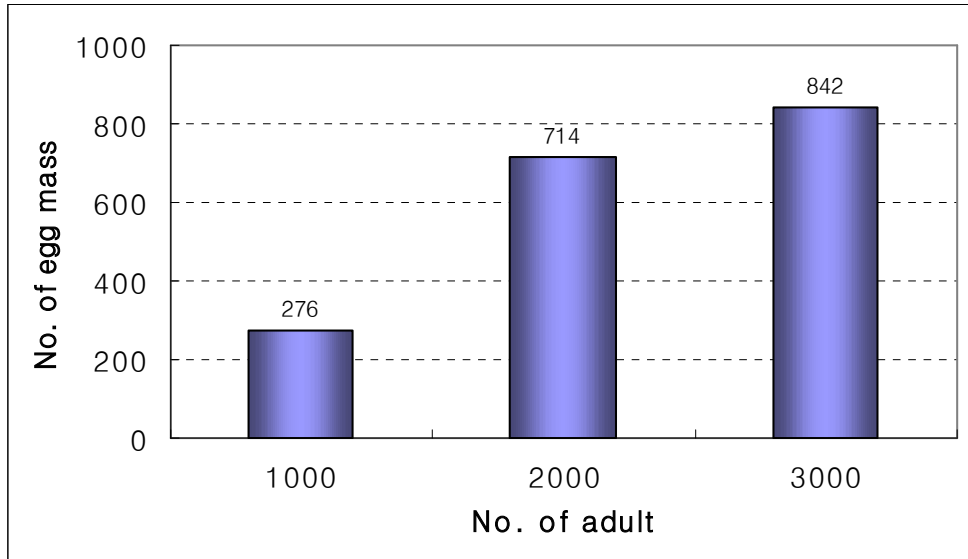


Fig. 2-25. Number of egg mass of each density of *H. illucens*.
 Condition of oviposition room: glasshouse, natural light cycle.
 net size: W*D*H=4*2*2m

(4) 유충사육

(가) 사육 밀도별 형질 조사

유충을 사육상자(W*D*H=60*40*15)에서 온도 27℃, 습도 60% 조건으로 투입 밀도별 조사를 하였다. 사육량은 5000, 10000, 15000, 20000두씩 하였고, 사육 후 유충 및 번데기 크기 조사와 더불어 용화율을 조사 하였다. 용화율은 용화시작 시점에서 20일간 조사하였다.

그 결과, 5000두의 경우 유충 크기는 $20.7 \pm 1.1\text{mm}$ 와 번데기 크기는 $19.2 \pm 1.1\text{mm}$, 그리고 용화율은 86.9%였으며, 용화는 부화 후 14일째부터 27일까지 계속되었고, 19일째 용화두수가 가장 많았다(Table 2-2).

10000두의 경우 유충 크기는 $18.2 \pm 1.6\text{mm}$, 번데기 크기는 $18.2 \pm 1.3\text{mm}$, 용화율은 76.4%였으며, 부화 후 경과일수는 16일째 가장 많은 용화두수를 보였는데, 5000두보다는 약 3일정도 빨랐다(Table 2-2).

15000두의 경우 유충 크기는 $17.3 \pm 1.4\text{mm}$, 번데기 크기는 $16.6 \pm 1.4\text{mm}$, 용화율은 81.1%였으며, 부화 후 경과일수는 17일과 25일쯤 가장 많은 용화두수를 보였는데, 밀도율이 높아서인지 용화가 불규칙적으로 조사되었다.(Table 2-2)

20000두의 경우 유충 크기는 $17.8 \pm 1.5\text{mm}$, 번데기 크기는 $17.1 \pm 1.4\text{mm}$, 용화율은 53.2%였으며, 부화 후 경과일수는 25일쯤 가장 많은 용화두수를 보였는데, 이 또한 밀도가 높아서인지 용화가 5000두보다 유충 및 번데기의 크기가 작았고, 부화 후 용화가 가장 많이 일어나는 시점 또한 9일이나 늦게 나타났다(Table 2-2).

유충은 표면적 cm^2 당 2.5마리일 때 가장 잘 자라며 1마리당 1~1.5g의 먹이를 요구하며, 매일 신선한 먹이를 유충들이 4~6시간 안에 소비할 때 가장 좋은 성장률을 나타낸다고 하였다 (Sheppard D.C., 2002). 본 시험에서는 결과적으로 사육량에 따라 유충 및 번데기의 크기가 감소하는 것으로 조사되었는데, 사육 상자에서 5000두 정도로 기준을 잡고 사육량을 조절하면 실

용형질이 우수한 유충 및 번데기를 생산하고 인공증식 효율을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 2-26).

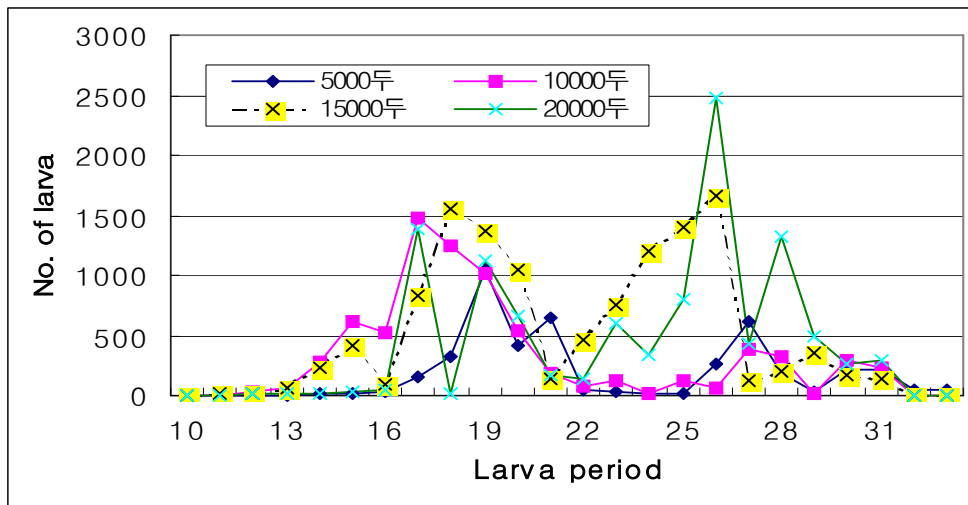


Fig. 2-26. Duration of the BSF larval , *H. illucens* by density.

Table. 2-2. Size of larval and pupa, emergence rate at each density by indoor rearing *H. illucens*.

density (No. of larva)	Size (mm)		Emergence rate (%)
	larvae	pupa	
5000	20.7±1.1	19.2±1.1	86.9
10000	18.2±1.6	18.2±1.3	76.4
15000	17.3±1.4	16.6±1.4	81.1
20000	17.8±1.5	17.1±1.4	53.2

Mean±S.D.

Condition of breeding : 27°C, 60% R.H.

(5) 번데기 보호 및 우화 유도

번데기 적정 보호 조건을 조사한 결과, 매질을 사용하지 않은 대조구의 경우 용화율은 44.9%로 매우 저조하게 나타났고, 매질을 넣고 수분공급이 있을 때와 없을 때 약간씩 용화율의 차이가 있음이 확인되었다. 수분이 전혀 없고 톱밥만을 넣은 0%의 경우 92.5%, 톱밥에 상대습도 20%의 시험구는 93.4%, 그리고 톱밥에 상대습도 40%의 시험구에서는 94.7%였다(Fig. 2-27).

따라서, 번데기에서 성충으로 우화유도를 원활히 하기 위해서는 반드시 번데기가 숨을 수 있는 매질이 필요하고, 생리적 장애가 없도록 하기 위해서 건조피해 등 적절한 습도 유지가 필수라 판단된다. 수분공급은 이들의 먹이원이라기 보다는 활동을 위한 최소한의 조건이라고 하였다(Furman et al., 1959).

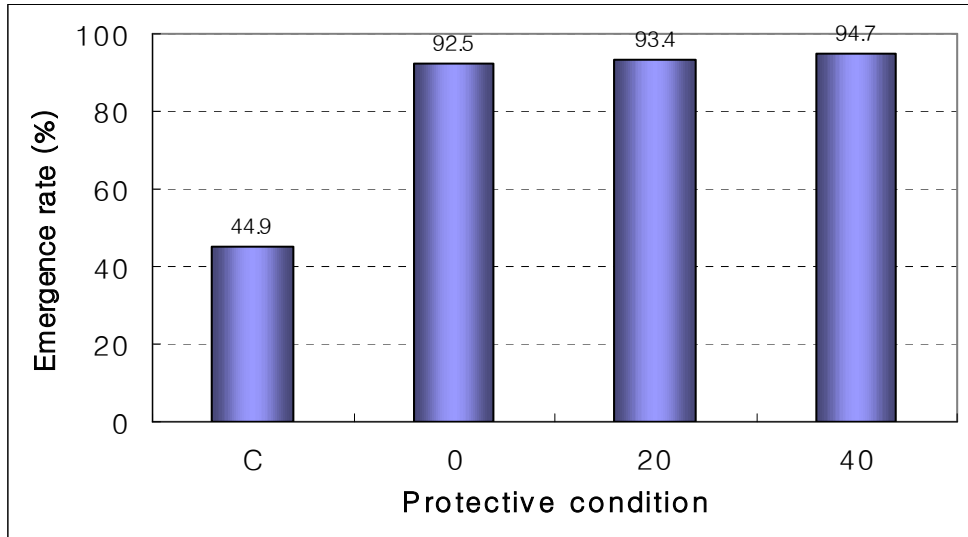


Fig. 2-27. Emergence rate of *H. illucens* by humus moisture; C: Control (non-medium), 0, 20, 40: degree of medium humidity(%), medium: sawdust.

(6) 저온처리에 의한 우화시기 조절

성충 우화시기를 조절하기 위하여 번데기를 저온(10°C)에 보관하여 저온에 대한 적응성을 조사하였다. 그 결과, 대조구는 98%의 우화비율 보였고, 10일 동안 처리한 구는 93.3%, 20일 구는 86.3%로 떨어졌고, 30일 이후부터 급격하게 떨어졌다(Fig. 2-28).

일반적으로 우화한 성충은 곧 바로 교미, 산란장에 투입하는 것이 좋으나, 인공증식 과정에서 우화시기를 조절해야할 필요가 있을 때 저온처리로 번데기 기간을 연장할 필요가 있다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 정상적인 성충을 생산할 수 있는 우화지연 조건은 10°C에서 10일정도로 가장 안전할 것으로 판단된다.

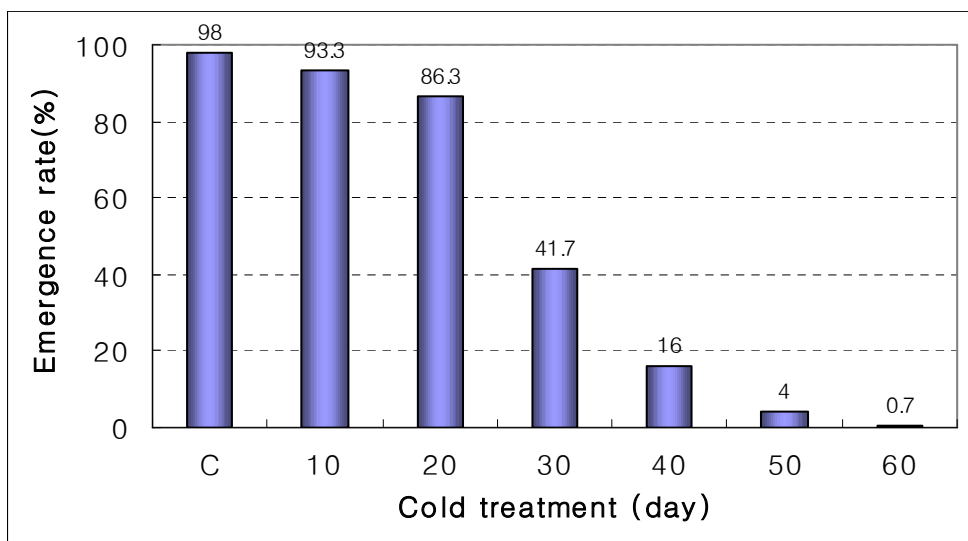


Fig. 2-28. Emergence rate depending on duration of cold treatment in pupa. Cold treatment: 10°C-dark, Control: 27°C, 60% R.H.

(7) BSF의 음식물쓰레기 분해능 검정

(가) 음식물쓰레기 부피 및 무게 조사

온도 27°C, 습도 60%의 사육실에 음식물에 부화 후 5일이 경과한 유충 총 977±237을 5반복으로 접종하였다(Table 2-3). T2는 938두의 유충으로 3000g의 음식물을 투여하였는데, 유충 1두의 분해량은 3.20g으로 가장 높게 나왔고, T5의 경우 1389두의 가장 많은 유충이 투입되었음에도 유충 1두의 분해량은 1.08g으로 가장 적게 나왔다(Fig. 2-29). 이는 음식물 투입량에 기인된 것으로 음식물 량에 따라 유충 투입을 고려하여 음식물의 처리를 효율적으로 해야 할 것으로 사료된다. Fig. 2-32은 BSF를 이용한 음식물의 처리과정을 보여주고 있다.

(나) 분해능 검정

음식물 배지에 유충을 투입하여 전용 단계전까지 음식물을 제공하고 이를 완전하게 분해된 잔류물을 산정하여 1두가 처리한 음식물량을 조사한 결과 BSF 유충 한 마리가 2.2±0.8g의 음식물을 분해 할 수 있는 것으로 확인되었다(Table 2-3).

즉 암컷 한 마리가 약 1000개의 알을 산란하게 되면 성충 한 마리당 약 2~3kg의 음식물을 분해할 수 있는 능력이 있다는 것이다. 이는 BSF를 이용하여 음식물쓰레기의 친환경적으로 처리가 가능함과 동시에 현안문제로 대두되고 있는 음식물쓰레기 문제를 해결하는데 중요한 역할을 담당할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 2-3. Food waste decomposition quantity per one larva of BSF

Treatment	No. of larva*	Food waste (g)	decomposition quantity/one larva(g)
T1	879	2000	2.30
T2	938	3000	3.20
T3	785	2000	2.55
T4	893	1400	1.68
T5	1389	1000	1.08
Mean±S.D.	977±237	1880±756	2.2±0.8

Mean±S.D.

Condition; 27°C, 60% R.H.

*: One imago oviposition.

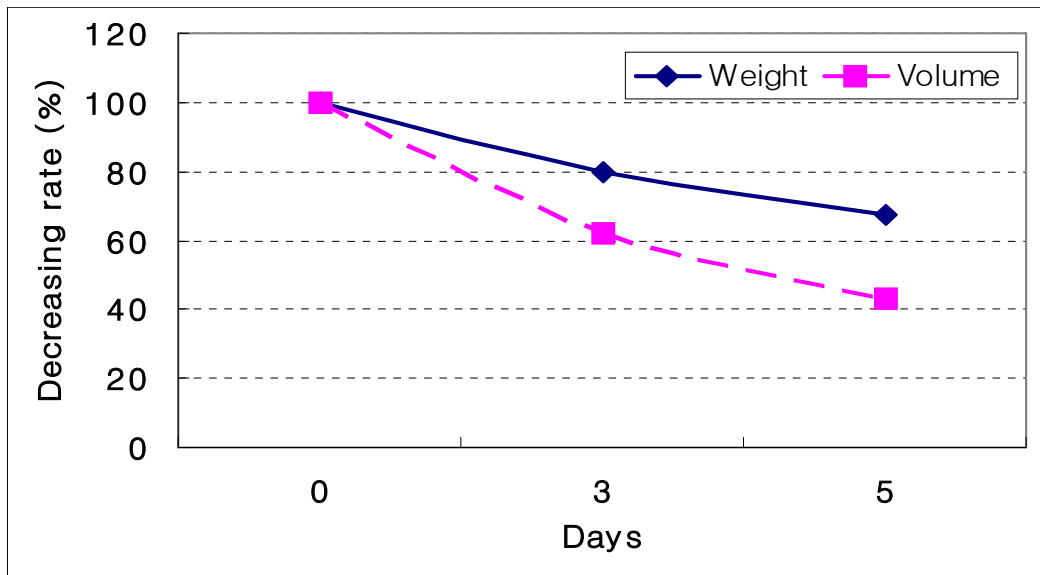


Fig. 2-29. The decreasing rate of *H. illucens* by food waste according to the volume and weight

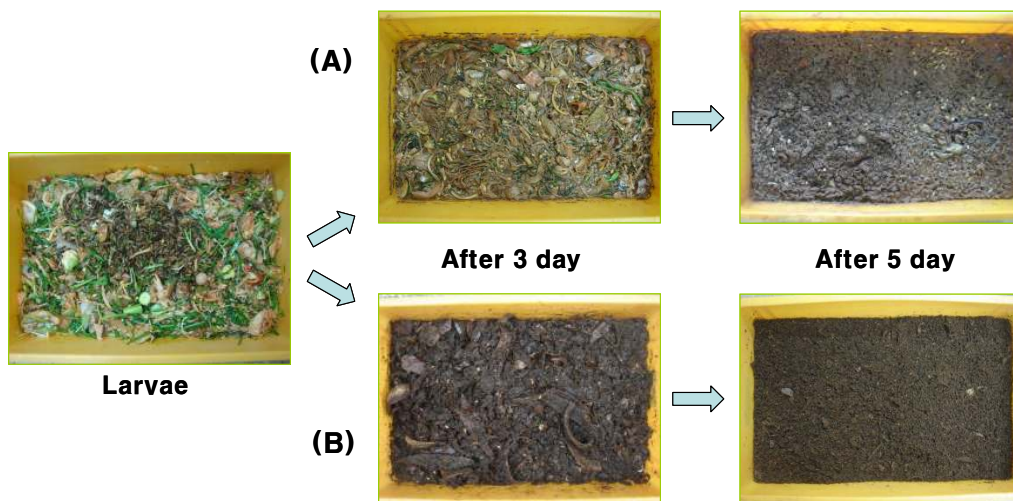


Fig. 2-30. The treatment food waste control of *H. illucens*;
 A: Only food waste, B: food waste + sawdust (3 : 1)

5. 결과요약

본 연구는 국내 서식하는 BSF의 분포, 유전적 지역 다양성, 서식지 생태특성 구명 및 실내 인공사육을 통하여 생활사를 조사하였다. 또한 음식물쓰레기 처리 시 대량으로 요구되는 유충 생산을 위하여 실내 인공증식기술 개발하고 BSF의 음식물쓰레기 분해 능력을 검증하였다.

1. BSF의 국내 분포는 한반도의 지리적 특성을 고려하여 동서지역에서 각각 3개소, 제주도 1개소 등에서 조사하여 전국적인 분포를 확인하였으며, 축사, 퇴비사, 생활쓰레기장, 음식물쓰레기장 주변이 주 서식지임을 확인하였다.
2. BSF의 발육단계별 특성을 보면, 알의 크기는 장경 $886.9 \pm 19.7 \mu\text{m}$ 단경 $190.1 \pm 9.7 \mu\text{m}$ 로 장타원형이며, 알의 무게는 $24.0 \pm 1.6 \mu\text{g}$ 이었다. 성충 한 마리가 1001 ± 247 개의 알을 산란하며, 부화소요일수(27°C , 60% R.H.)는 81.3 ± 12.5 일 이었다.
3. 유충은 갓 부화했을 때는 흰색에 가까우나 종령에 이르면 미색을 띤다. 종령 유충의 크기는 $20.7 \pm 1.1\text{mm}$ 이며 유충기간은 15~20일 정도였다.
4. 번데기는 암갈색을 띠며 크기는 $19.2 \pm 1.1\text{mm}$, 번데기기간은 암컷이 15.5 ± 1.4 , 수컷이 14.7 ± 1.4 일로 수컷이 암컷에 비해 짧은 경향을 보였다. 5. 성충은 크기가 13~20mm 정도이며 흑색을 띤다. 발생시기별 성충 수명은 1세대(6~7월)가 5~8일, 2세대(8~9월)가 7~10일 정도, 3세대(9월~10월)의 경우 13~18일 정도였으며, 암컷이 수컷보다 긴 경향을 보였다.
6. 교미는 우화 후 2일째부터 시작하여 3일째 가장 왕성하였으며, 일일 중 교미시간은 일조량이 많은 10:00에서 16:00사이에 대부분 일어났다.
7. 산란은 우화 후 3일경부터 시작하고 4~6일 사이에 가장 많았다. 일일 중 산란시간은 교미 시간대와 유사한 10:00에서 16:00 사이에서 가장 높은 산란율을 보였다.
8. 실내 인공 증식기술 개발을 위하여 BSF 채집 및 각 발육단계별 실내사육 체계를 수립하였다. BSF의 채집은 6월에서 10월 사이에 1개월 간격으로 실시한 결과, 성충 유인제로는 송아지 사료와 음식물쓰레기가 가장 좋았으며, 트랩설치지역은 음지가 양지에 비해 채집율이 높았고, 채집량은 8월과 9월에 가장 많았다.
9. 인공채란을 위한 산란배지는 음식물과 송아지 사료가 가장 우수하였고, 산란실 ($W \times D \times H = 4 \times 2 \times 2\text{m}$) 내 적정 배지투입 수는 8개, 성충은 2000두 투입구가 가장 산란효율이 높았다. 산란유도재료로 플라워폼과 목재에 구멍을 뚫어 산란을 유도하였으며, 산란장소의 구멍크기는 3~5mm, 깊이 7~10mm의 크기를 가장 선호하였다. 유충은 2~4두/ cm^2 의 밀도로 사육하는 것이 과밀도(6~10두/ cm^2) 보다 실용형질이 우수하였다. 번데기 적정보호조건은 매질(톱밥)을 사용하여 은신처를 제공해야하며, 톱밥의 습도는 20~40% 가 가장 좋았다. 성충은 우화 즉시 사 용해야하나, 용화 후 10°C 에서 10일 처리한 경우 우화율 93.3%로 우화시기를 약 10일 정도 조절이 가능하였다.
10. BSF의 음식물 처리능력 검정 결과, 유충 투입 후 5일이 경과되면 부피가 42.9%, 무게 67.6%가 감소되었으며, 유충 한 마리가 분해할 수 있는 음식물 무게는 $2.2 \pm 0.8\text{g}$ 이었다.

제3절 동애등에에 의한 유기성 폐자원 분해산물 이용기술 개발

요 약 문

본 시험은 동애등에의 공급이 육계의 생산성에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다. 공시축으로는 육계 초생추 병아리를 이용하였으며 3처리 4반복 반복 당 30수씩 총 360수를 공시하였다. 시험설계는 대조구(C), 동애등에 분말 3%(T1), 6%(T2) 첨가구로 배치하였다. 시험사료는 옥수수과 대두박을 기초로 에너지와 영양소 수준은 NRC(1994) 요구량을 충족시켜 주었으며 육계 전기(3,100 kcal/kg ME, CP 22.0%) 및 육계 후기(3,100 kcal/kg ME, CP 20.0%) 사료로 나누어 공급하였다.

생산성 조사 결과 생존율은 각 처리구간 유의적인 차이가 없었으며, 시험이 종료되는 5주령 체중 및 증체량에서는 대조구가 가장 무거웠으나 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. 사료섭취량은 체중이 가장 무거웠던 대조구에서 사료섭취량이 많았으며 사료요구율도 체중이 무거웠던 대조구가 낮은 사료요구율을 보였다. 부분육 수율은 동애등에를 급여한 처리구가 대조구에 비해 도체율을 비롯한 부분육 수율이 높은 경향을 보였으며 가슴수율에서는 동애등에를 6% 급여한 처리구가 대조구에 비해 유의적으로 높은 수율을 보였다($P<0.05$). 동애등에의 지방산 조성에 대한 결과는 대조구와 비교 시 처리구에서 지방산 가운데 축산물에 다량 함유되어 있는 것으로 보고 된 바 있는 불포화지방산 중 하나인 올렌산(Oleic acid, 18:1n-9)과 포화지방산 중 팔미트산(Palmitic acid, 18:0)의 함량이 증가하는 경향을 나타내었다.

Abstract

A Study on the Application of Organic Wastes by Black Soldier Fly Larvae

This experiment was conducted to investigate the effect of using the Black Soldier Fly(BSF) larvae on performance in broiler chicks. Four hundred eighty broilers were distributed into 3 treatments with 4 pens at 40 birds per replicate. Treatments were corn-soybean meal based broiler diet(Control) and the basal diet replaced with BSF at the level of 3 and 6% respectively. Viability was not different significantly. Body weight gain was higher in Control than other treatments. Feed intake was not statistically different of treatments. Feed conversion ratio was lower in Control than other treatments. In serum biochemical values were not significantly different. It was concluded that organic broilers required similar ME and CP to those of regular commercial broilers. Therefore, it could be suggested that Black Soldier Fly larvae supplementation could beneficially improved the performance on broiler.

1. 서론

오늘날 축산업은 일부 친환경축산을 시행하면서 지속가능한 축산을 위해 노력하고 있지만 아직도 대부분의 축산은 대규모 사육에 따른 가축배설물 처리 및 환경보전 차원에서 심각한 어려움을 안고 있다. 축산분뇨 발생량은 연간 약 5천만 톤 이상 발생되며, 계분 같은 유기성폐기물의 자원화 방식으로 건조나 미생물을 이용한 사료화, 퇴비화를 시도하고 있으나 처리과정 중에 악취, 침출수 등의 문제점이 발생하고 있다. 이런 가축분뇨 처리 시 단점으로 지적되어온 침출수와 악취에 대한 오염이 없이 경제적인 해결방안으로 최근 집파리 유충에 대한 많은 관심이 집중되고 있다. 따라서 본 연구는 지속가능한 양계산업 유지를 위해서 동애등애를 이용한 친환경적인 가축분뇨 처리의 가능성과 닭 사료의 단백질 공급원으로서의 가능여부를 알아보기 위하여 실시하였다.

2. 연구사

우리나라에서는 생활 쓰레기 등과 같은 유기성 폐기물 처리 방법은 소각, 매몰 등의 방법이 일반적으로 활용되어왔으나 환경적인 측면과 지속가능한 지구환경이라는 부분에서 많은 문제점이 나타나고 있는 실정이다. 하지만 지렁이나 동애등애를 활용한 이러한 유기성 폐기물의 처리 방법은 제 2차적인 환경오염이 없으며, 이 과정 중에 발생되어지는 부산물 또한 안전성이 높아 유기성 폐기물 재활용 방법 중 가장 친환경적인 방법으로 미래 지향적인 방법임에 틀림없다고 할 수 있다(이태복과 최훈근, 2002; 황보순, 2005). 더욱이 탁월한 식성을 자랑하는 지렁이와 동애등애는 번식능력이 좋아 지속적으로 활용가능성이 높다. 집파리는 알, 유충, 번데기 그리고 성충으로 변화하는 4단계의 변태 과정을 거치게 되며, 성충이 된 후 3일째부터 산란을 시작한다.

파리유충은 arginine, methionine, lysine 등과 같은 필수아미노산의 좋은 공급원으로 알려져 있는데 이러한 아미노산 함량은 대두박보다 높고 어분과 같은 수준이다(Teotia와 Miller, 1970ab). 따라서 가금 사료의 단백질 공급원으로써 충분한 가능성이 있다고 보고하고 있다(Park 등, 2003).

따라서 친환경적인 유기성 폐자원을 동애등애를 이용한 친환경적인 가축분뇨 처리의 가능성과 닭 사료의 사료·영양학적 가치를 평가하고 사료로서의 확대를 모색코자 한다.

3. 재료 및 방법

가. 시험재료

공시재료로 사용한 동애등에는 친환경적인 사육과정을 거쳐 성충이 되기 전에 포집하여 건조된 형태를 이용하였다. 사료에 배합하기 위해 3mm 이하로 분쇄한 후 사용하였다.

나. 시험설계 및 시험사료

1일령 육계 Ross 수평아리를 3처리 4반복, 반복 당 30수씩 총 360수를 공시하여 5주간 사양 시험을 실시하였다. 시험설계는 대조구(C), 동애등에 분말 3%(T1), 6%(T2) 첨가구로 배치하였다(Table 3-1) 시험사료는 옥수수과 대두박을 기초로 에너지와 영양소 수준은 NRC(1994) 요구량을 충족시켜 주었으며 육계 전기(3,100 kcal/kg ME, CP 22.0%) 및 육계 후기(3,100 kcal/kg ME, CP 20.0%) 사료로 나누어 공급하였다. 시험 사료의 배합 및 조성은 Table 2에 나타내었다. 동애등에의 급여수준 증가에 따른 영양소 함량 변화는 사용된 원료의 첨가량을 조정해 주었다.

Table 3-1. The experimental design

Items	Treatments		
	C	T1	T2
Supplimentation	0.0%	3.0%	6.0%

Table 3-2. The composition of basal diet

Ingredients	Starter			Finisher		
	C	T1	T2	C	T1	T2
	----- (%) -----					
Yellow corn	53.93	57.86	58.11	60.43	61.05	62.30
Soybean meal (CP 44%)	32.78	30.00	30.00	30.00	30.00	28.19
Corn gluten meal (CP 60%)	4.70	4.51	1.94	3.27	1.04	—
Soybean oil	4.55	1.23	—	2.94	1.52	0.04
DL-Methionine (50%)	0.28	0.36	0.80	0.07	0.09	0.11
L-Lysine (80%)	0.05	—	0.02	—	—	0.02
Tricalciumphosphate	1.74	0.99	1.49	0.81	0.85	1.00
Limestone	1.22	1.30	0.89	1.73	1.70	1.59
Salts	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Vit.-min. premix*	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
BSF	—	3.00	6.00	—	3.00	6.00
SUM	100	100	100	100	100	100
Chemical composition;**						
ME, kal/kg	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,105
CP, %	22	22	22	20	20	20
Lysine, %	1.05	1.07	1.06	1.05	01.03	1.00
Methionine, %	0.46	0.47	0.45	0.35	0.35	0.35
Ca, %	1.01	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00
Available P, %	0.53	0.53	0.55	0.55	0.55	0.56

* Supplied followings per kg of diet: vit. A, 1,600,000 IU; vit. D₃, 300,000 IU; vit. E, 800 IU; vit. K₃, 132 mg; vit. B₂, 1,000 mg; Vit. B₁₂, 1,200mg; niacin, 2,000mg; pantothenate calcium, 800mg; folic acid, 60mg; choline chloride, 35,000mg; dl-methionine, 6,000mg; iron, 4,000mg; copper, 500mg; manganese, 12,000mg; zinc, 9,000mg; cobalt, 100mg; BHT, 6,000mg; iodine, 250mg.

**Calculated values.

다. 사양관리

본 시험의 공시계가 수용된 계사는 콘크리트 바닥이 설치된 개방식계사이며, 각 pen의 크기는 210×164cm(3.44m²)였다. 깔짚은 왕겨를 이용하였으며 각 pen당 5cm 두께였다. 온도조절은 입추 시 35℃를 기준으로 매일 1℃씩 낮추어 상온과 동일한 10일령에 폐온 시켰다. 습도는 입추 시 65~70%로 조정하였고 이후 60%정도로 유지하다가 폐온 시부터 외부 습도와 동일하게 사육하였다.

점등은 입추 후 3일간 24시간 점등을 실시하였고, 이후 7일령까지 23시간점등 : 1시간소등으로 하였으며 8일령부터 시험종료시까지 야간간헐점등 1L : 2D로 실시하였다. 광도는 시험 전 기간 10~15Lux 였다. 백신은 1일령에 ND+IB 혼합백신은 분무접종, 7일령에 IBD, 11일령에

ND+IB, 14일령에 IBD, 21일령에 ND, 28일령에 IBD를 각각 음수 접종하였다. 사료와 물은 신선한 것으로 자유롭게 섭취할 수 있도록 하였으며, 기타 사양관리는 축산과학원 가금과 관행에 준하여 실시하였다.

라. 조사항목 및 조사방법

(1) 생산성 조사

체중은 입추 시와 매주 측정하였는데, 반복별 전체중량을 칭량하여 개체수로 나누어 평균체중을 측정하였다. 사료섭취량은 주간별로 누적사료섭취량으로 조사하였고, 사료요구율은 사료섭취량을 증체량으로 나누어 주간별 누적 사료요구율로 계산하였다. 폐사된 개체는 발견 즉시 제거하였으며 주간별로 나누어 육성율로 표시하였다.

(2) 도체조사

시험이 종료되는 5주령에 반복별로 각1수씩 가금과 관행에 준하여 도계한 후 도체중을 전자저울로 칭량하여 생체중에 대한 비율(%)로 도체율을 산출하였으며, 복강지방과 복강지방 축적율은 근위 주위와 복강 내부에 축적된 지방을 분리하여 전자저울로 칭량하여 복강지방축적량(g)을 산출하고, 생체중에 대하여 복강지방이 차지하는 비율을 복강지방축적율(%)로 표시하였다.

부분육 생산비율은 가슴, 대퇴, 하퇴, 날개, 등, 목의 6개 부위로 나누어 도체중에 대한 비율(%)로 표시하였다.

마. 통계분석

본 시험에서 얻어진 시험 결과들은 SAS package(SAS Institute, 1996)의 GLM procedure로 분산분석을 실시하고, 처리 간 유의성 검정은 Duncan's new multiple range test를 이용하여 95% 수준에서 유의성 분석을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 분해산물의 퇴비화 가치 분석

초기 남은음식물의 암모니아 농도를 조사한 결과는 Table 3-1에 나타내었다. 첫날은 대조구에서 1.4ppm, 처리구1에서 100.7 및 처리구2에서 113.9ppm으로 대조구를 제외하고 매우 높은 농도를 보였다. 이와 같은 농도는 대조구보다 훨씬 높은 농도로 음식물이 파리의 유충에 의해 분해 되고 있음을 알 수 있다. 파리의 유충에 의해 분해 될 때 발효 및 음식물의 물성변성으로 인한 암모니아의 발생은 처리과정중 초기에 높게 발생하였다. 본 시험과는 조금 다르지만 유산

균의 첨가로 인한 암모니아 가스 발생량이 감소하였다는 박 (2001)의 결과에서처럼 초기 2일차에 급격히 암모니아가스 발생량이 높아져서 3일차에 가스발생량이 최대로 나타나 6일차까지 유지되었는데 유산균 첨가구와 무첨가구간에 가스발생량이 다소 차이는 있지만 50%이상 차이가 발생하였다. 초기 발생량이 높고 후반에 낮은 것은 조단백질의 소화율과 이용율의 차이에 기인한 것으로 여겨진다. 암모니아 가스는 질소 성분에 많은 관련이 있는데 남은 음식물 내 질소성분인 단백질을 동애등에가 이용하였다고 볼 수 있다. 이것이 NH₃가스 발생량을 감소시킨 원인이라 생각된다.

Table 3-3. Influence on NH₃ gas emission from food wastes

Treatments*	0day			3day		
	Control	T1	T2	Control	T1	T2
	ppm					
NH ₃	1.4	100.7	113.9	203.4	424.9	386.7

* Control : Food wastes+Sawdust
 T1 : Food wastes+Sawdust+BSF
 T2 : Food wastes+Sawdust+BSF+Microbes

Table 3-4. Influence on Sulfur-compounds gas emission from food wastes

Treatment*	0day			3day		
	Control	T1	T2	Control	T1	T2
	ppm					
H ₂ S	1.4	100.7	113.9	203.4	424.9	386.7
MM	-	-	-	-	-	-
DMS	-	-	-	-	-	-
DMDS	-	-	-	-	-	-

* Control : Food wastes+Sawdust
 T1 : Food wastes+Sawdust+BSF
 T2 : Food wastes+Sawdust+BSF+Microbes

남은 음식물에서 발생하는 황계열의 성분을 측정하기 위해서 Vac-U-chamber와 5L 테들러 백을 이용하여 포집한 후 GC/PFPD(Varian 3800)와 열탈착시스템(TD)을 이용하여 4가지 황화합물 성분인 황화수소(H₂S), 메틸머캅탄(CH₃SH), 다이메틸설파이드(DMS) 및 다이메틸다이설파이드(DMDS)을 ppm 수준으로 분석하여 Table 3-4에 나타내었다.

일반적으로 대기 중에 황화합물의 발생농도 기준은 20, 2, 10 및 9ppb 이므로 1차분석에서 다이메틸설파이드(DMS)는 대조구와 처리구1에서 검출되지 않을 것을 제외하고 모든 처리구에서 기준농도보다 높은 수치가 검출되었다. 그러나 같은 시료를 가지고 3일후에 조사한 결과 무처리인 대조구는 모든 성분의 발생농도가 급격히 증가되었다. 그러나 처리구1과 처리구2에서는 다이메틸다이설파이드(DMDS)가 시간이 지나면서 황화수와 메틸머캅탄 및 다이메틸설파이드는 검출되지 않음에 따라 처리구에서의 악취발생은 급격히 감소한 것으로 사료되었다.

따라서 암모니아에서는 시간이 지남에 따라 무처리와 함께 처리구 모두 급격히 증가하여 악

취가 많이 발생되었으나 무처리보다 악취발생 시간을 단축될 것으로 판단된다.

황화합물은 동해병정파리 유충에 의해 음식물에서 발생하는 황화합물은 급격히 감소되었고 두 처리 모두 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 3-5 Proximate analysis of larva

Items	Moisture (%)	Crude ash (%)	Ether extract (%)	Crude protein (%)	Crude fiber (%)	DE (kcal/kg)
Larva	5.77	6.13	16.71	43.42	5.74	6,119.4

파리유충의 사료적 가치를 평가하기 위해 일반성분을 분석한 결과는 Table 3-5와 같다. 어분의 경우 조단백질 함량이 64%내외이며, 조지방 함량은 4.5% 내외인데 동애등을 분석한 결과 조단백질이 43.42%로 대두박과 비슷한 수준의 높은 단백질가를 보였으며 에너지도 매우 높은 결과를 보였다. 조지방은 어분보다 높은 16.7%로 매우 높게 나왔다.

나. 생산성

동애등의 사료 공급원으로서 가치는 대두박과 어분의 비슷한 수준인 아미노산을 함유하고 있다(Teotia 와 Miller, 1970a,b). 또한 광물질 등의 미량성분을 다량 함유하고 있어 가금 사료의 단백질 공급원으로써 가능성을 갖고 있다. 동애등의 급여가 육계의 생산능력에 미치는 사양 시험 결과는 Table 3-6에 나타내었다. 생존율은 각 처리구간 유의적인 차이가 없었으며, 시험이 종료되는 5주령 체중 및 증체량에서는 대조구가 가장 무거웠으나 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. 사료섭취량은 체중이 가장 무거웠던 대조구에서 사료섭취량이 많았으며 사료요구율도 체중이 무거웠던 대조구가 낮은 사료요구율을 보였다. 시험이 종료되는 5주령에 도체수율을 조사한 결과는 Table 3-7과 같다. 부분육 수율은 동애등을 급여한 처리구가 대조구에 비해 도체율을 비롯한 부분육 수율이 높은 경향을 보였으며 가슴수율에서는 동애등을 6% 급여한 처리구가 대조구에 비해 유의적으로 높은 수율을 보였다($P<0.05$). 이상의 결과에서 동애등의 육계사료 급여 시 생산성에 큰 차이가 없으며 도체수율에서는 유의적이진 않지만 높은 경향을 보여 사료적 이용 가능성을 보였다.

Table 3-6. Effect of the feeding Black Soldier Fly larvae on feed intake, mean body weight, weight gain and feed conversion ratio in broiler at 5weeks

Treatment	Viability (%)	Mean body weight(g)	Weight gain (g)	Feed intake (g)	FCR
C	99.1	1,837	1,795	2,827	1.57
T1(3%)	98.2	1,739	1,697	2,753	1.65
T2(6%)	99.1	1,795	1,753	2,836	1.62
SEM	0.503	22.496	22.514	36.866	0.025

Table 3-7. Effect of the feeding Black Soldier Fly larvae on carcass rate in broiler chick at 5weeks

Treatment *	Carcass rate (%)	Abdominal fat pad rate(%)	Thigh rate (%)	Breast rate (%)	Wing rate (%)	Neck rate (%)	Back rate (%)
C	62.3	0.6	18.0	17.1 ^b	7.7	4.1	13.2
T1(3%)	66.7	0.8	18.6	17.8 ^{ab}	8.2	4.6	14.9
T2(6%)	68.2	0.7	18.3	20.4 ^a	7.4	4.2	15.7
SEM	1.438	0.054	0.375	0.614	0.228	0.147	0.652

^{a,b}Means with different superscripts within a column differ at p<0.05.

다. 동애등에의 지방산 조성

동애등에의 지방산 조성에 대한 결과는 Table 3-8과 같다. 대조구와 비교 시 처리구에서 지방산 가운데 축산물에 다량 함유되어 있는 것으로 보고된 바 있는 불포화지방산 중 하나인 올렌산(Oleic acid, 18:1n-9)과 포화지방산 중 팔미트산(Palmitic acid, 18:0)의 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 표에서 나타낸 바와 같이 대조구와 비교 시 포화지방산 함량에 있어서 T1 처리구에서 1.99% T2에서 1.64%의 개선효과를 나타내었으며 이에 따라 불포화지방산 함량이 증가하는 효과를 나타내었다. 결과적으로 이는 파리유충을 산란계 사료 내 급여 하였을 때 계란 내 포화지방산 함량 중 올렌산 함량과 팔미트산함량이 유의적으로 증가하였다는 황보 등(2005)의 연구와 유사하였으나 포화지방산 함량에서 유의적으로 높았다는 결과와는 다소 상이한 차이를 나타내었다. 따라서, 육계 사료 내 동애등에의 첨가·급여는 일반 유충의 급여와는 달리 포화지방산 함량을 낮추며 불포화지방산을 증가시키는 경향을 나타내어 향후 동애등에의 지방산 함량 조성 변화에 따른 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 3-8. Composition of fatty acids in broiler

Fatty acids	Control	T1	T2
C14:0	0.53	0.43	0.50
C16:0	22.44	22.88	22.92
C16:1n7	2.56	3.55	3.09
C18:0	9.97	7.64	7.94
C18:1n9	41.22	41.76	43.30
C18:2n6	17.75	19.54	17.61
C18:3n6	0.00	0.00	0.00
C18n:3n3	1.29	0.36	0.31
C20:1n9	0.00	1.90	0.84
C20:4n6	4.25	1.46	3.12
C20:5n3	0.00	0.48	0.38
C22:6n3	0.00	0.00	0.00
SFA	32.94	30.95	31.36
UFA	67.06	69.05	68.64
UFA/SFA	2.04	2.23	2.19
Total	100.00	100.00	100.00

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표달성도

구분	연도	세부연구개발 목표	달성도	평가의 착안점 및 기준
1차 년도	2006	○ 유기성 폐자원 분해를 위한 용기 개발	100 %	○ 용기의 설계 및 디자인
		○ 동애등에 증식 기술 개발	100 %	○ 동애등에 채집 및 사육량
2차 년도	2007	○ 규모별 유기성 폐자원의 분해 시스템 개발	100 %	○ 규모별 분해용기 개발 정도
		○ 동애등에 대량사육 기술 개발	100 %	○ 동애등에 산란 및 사육량
		○ 분해산물의 퇴비화 및 사료화 이용기술 개발	100 %	○ 분해산물의 퇴비화 및 사료화 검정 정도
3차 년도	2008	○ 유기성 폐자원 분해 시스템 시작기 개발	100 %	○ 시작기 제작 및 보급 가능성
		○ 동애등에 대량사육 기술 체계 확립	100 %	○ 동애등에 사육량 및 계대
		○ 축분 및 음식물쓰레기 처리기술 개발 및 보급	100 %	○ 분해산물의 퇴비 및 사료의 품질

2. 관련분야 기여도

- 기존의 음식물쓰레기 처리 시설과 연계하여 동애등에를 이용한 친환경적 음식물쓰레기 처리기술 개발 보급
- 동애등에 유충생산을 위한 곤충사육농가 육성으로 신 소득원 창출
- 음식물쓰레기 변환산물의 퇴비화, 유충의 가축사료화로 폐자원 재활용
- 동애등에 유래 항균물질, 의약품 소재 개발 등 고부가 산물 개발

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

가. 연구개발결과의 활용방안

- 축분 및 음식물쓰레기 분해를 위한 동애등에 알 생산업체 조기 육성
- 동애등에 유충을 이용한 축분 분해 시스템 농가보급 및 조기 실용화
- 기존 음식물쓰레기 처리시설과 연계하여 저비용 고효율 처리가 가능
- 축산분뇨 처리, 음식물 자가 처리장, 대규모 처리장 등의 유기물분해에 활용
- 유기성 폐자원내 세균 및 곰팡이 등의 미생물을 섭식 처리하거나
 항생물질 분비로 안전 퇴비 생산
- 부산물 비료를 유기농 농가에 안전하게 공급 안전 농산물 생산 가능
 - ※ 미숙축분을 비료로서 유기농 농산물 생산에 사용될 경우 유기농 식료품으로부터 E. coli: 0157 감염되는 확률이 8배 높음(미 농무성)
- 동애등에 유충의 2차적인 영양적 이용 : 양어사료 첨가제, 닭사료 단백질 첨가제, 과충류먹이, 낚시미끼 등

나. 성과

(1) 기술적 측면

- 대규모 축산 농가 및 산업사회가 되어 수도권을 비롯한 대도시에서 많이 생산되고 있는 음식물 쓰레기의 감량을 위하여는 남은 음식물을 최적의 서식지로 삼으면서 단기간 내에 분해할 수 있는 기능이 있는 동애등에를 대량생산하여 활용할 수 있음
- 활용 시 자연 생태계 파괴에 영향을 주지 않아야 하며, 안전시설을 갖춘 일정한 장소에서 공정의 단순화·자동화를 거친 후 감량과 변환된 자원 염분 등 제거)을 퇴비화 할 수 있음
- 음식물 쓰레기 등 유기성 폐자원으로 생산된 동애등에 유충의 낚시미끼와 사료화, 번데기의 저온 저장으로 농가에서 필요로 할 때 가축이나 동물의 고단백 사료화와 분해산물을 유기질 비료로 재활용함으로써 그 가치는 극히 높다고 볼 수 있음

(2) 경제적·산업적 측면

- 축산 분뇨 및 음식물 쓰레기의 처리에는 환경오염을 방지한다는 대명제 아래 재활용의 방향으로 추진되어야 함
- 이러한 과정에서 개발되는 기술에는 경제성이 수반되어야 하며, 현재 전량 외국으로부터 수입에 의존하고 있는 가축 배합사료 원료 중 단백질원으로 수입되는 것은 어분과 혈장단백으로 각각 kg당 1,100원, 4,200원으로 매우 높은 가격에 수입되어, 이를 대체할 수 있는 축분 이나 음식물쓰레기감량으로 증식한 유충을 건조하여 사료화함으로써 내수를 충족시킬 수 있음
- 나아가 고질의 생체 사료 대량생산이 가능할 경우 대외 수출하여 외화 획득이 가능하고 겨울철 낚시 미끼 품귀 현상이 일어나는 문제를 해결함으로써 현재

상황의 일시적 해소 차원이 아니라 21세기 국가 경쟁력 확보와 환경보존 차원에서
범국가적·범기업적·범사회적으로 추진되어야 할 중차 대안 과제임

- 현재 음식물쓰레기 처리시설들은 환경위생을 고려하지 않아 악취 등 환경민원이 급증하고
있어 이를 대체할 새로운 기술의 개발이 요구되므로 동애등을 이용한 축산분뇨 및
음식물쓰레기 감량화는 환경적으로 안정된 밀폐형 용기를 개발하여 자동화하므로 악취 문제,
침출수 문제 등 환경오염과 관련된 문제를 차단할 수 있음
- 동애등을 이용한 축산분뇨 및 남은 음식물 감량 처리기술은 음식물쓰레기 등을 폐기물로
보는 사회적 시각을 고부가치 자원화 원료로 전환함으로써 대국민 인식전환의 계기로 삼을
수 있음

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 동애등에 관련 사육기술 정보 및 연구협약(베트남, 2006)

가. NongNam대학교 농학부

(1) 동애등에 연구현황 소개

(가) 연구현황 소개

- 동애등에 사육 시작 : 2000년부터
- 농가개발을 위한 유기성 폐자원 바이오시스템 프로젝트 수행 : IOBB
- 유기성 폐자원의 분해 연구 : 동애등에 및 지렁이 이용
- 유기성 폐자원의 종류 : 우분, 계분 및 음식물쓰레기 등



동애등에 연구현황 소개



동애등에 현황판

(나) 동애등에 사육 기술 습득 및 정보 수집

- 사육방법 : 야외사육 시설(콘크리트 탱크)을 이용 동애등에 사육
- 사육배지 : 우분, 음식물쓰레기 등
- 분해용기 이용 : 유기성 폐자원 분해(Bioconversion system)
- 분해량 : 음식물쓰레기 등을 용기 크기에 따라 1.5kg~2tons/일 분해
- 계대사육 : 야외사육장 이용 콘크리트 탱크내에서 성충 발생시킴
- 수집자료 : 사육관련 사진 및 파일



콘크리트 탱크



동애등에 번데기

(2) 연구협의 내용

(가) 베트남측 : Dr. Tran Tan Viet 교수, 조교

(나) 한국측 : 최영철 연구관, 김종길 연구사, 이상훈 대표(그린테크(주))

(다) 연구협의 내용

- 공동연구 및 과학자 교류 추진 제의
- 한·베트남 국제공동연구 : 동애등에 분류 및 사육기술 교환
- 과학자 초청: Brain Pool에 의한 단기 초청 또는 해외명예연구원 활용
- 유기성폐자원 분해를 위한 동애등에의 친환경 분해시스템 개발 및 정보교환
- 분해 용기를 이용한 동애등에 계대사육 기술에 대한 정보 교환
- 크기별 분해용기 개발 : 전문가 초청 또는 방문, e-mail 등



연구협의 장면



동애등에 사육 용기

나. 동애등에 사육농가 방문

- 장소 : Phan Thiet 시(축산농가)
- 활용방법 : 야외사육 시설(콘크리트 탱크)을 이용 동애등에 사육
- 유기성 폐자원 : 가축분뇨(우분)
- 분해용기 이용 : 유기성 폐자원 분해(Bioconversion system)
- 활용정도 : 아직 농가 수준에서는 초보 단계임



동애등에 활용 농가



동애등에의한 축분 변환

2. 동태등에 사육용기 개발 기술 습득 및 업무협약(베트남, 2007)

가. 동태등에 사육용기 개발 기술습득 및 업무협약

- 장소 : ESR International LLC(Dalat 시 소재)
- 베트남측(미국) : Dr. Paul Olivier(미국인)
- 한국측 : 최영철 연구관, 이상훈 대표(그린테크(주))
- 사육용기 개발 기술
- 사육용기 개발 : 가정용으로 2-Foot Units 와 4-Foot Biopod 개발
- 활용방법 : 야외(정원, 옥상, 베란다 등)에 설치하여 음식물쓰레기 처리
- 유기성 폐자원 : 음식물쓰레기 처리
- 분해용기 이용 : 유기성 폐자원 분해(Bioconversion system)
- 활용정도 : 가정용으로 개발하고 있으며, 기술수준에서는 초보 단계임
- 시작기 개발로 현장에 시험 설치



사육용기 등 기술개발 협의



사육용기 설명



2-Foot Unit(사육용기)



야외 설치

- 업무협약

- 사육용기 한국에 도입 시험
- 사육용기 개발을 위해 정보교환 등 기술 공유

제 7 장 참고문헌

1. Alcock, J. 1990. A large male competitive advantage in a lekking fly, *Hermetia comstocki* Williston (Diptera: Stratiomyidae). *Psyche* 97: 267–279.
2. Bondari, K., and Sheppard, D.C. 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque, and blue tilapia, *Oreochromis aureus*(Steindachner). *Aquaculture and Fisheries Mgt.* 18:209–20.
3. Booth, D. C., and C. Sheppard. 1984. Oviposition of the black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): eggs, masses, timing and site characteristics. *Environ. Entomol.* 13: 421–423.
4. Copello, A. 1926. *Biologia de Hermetia illucens* Latr. *Rev. Sco. Entomol. Argent.* 1: 12–27.
5. Excoffier, L., G. Laval and S. Schneider 2005. Arlequin ver. 3.0. An integrated software package for population genetics data analysis. *Evol. Bioinf. Online* 1, 47–50.
6. Excoffier, L., P. E. Smouse and J. M. Quattro 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131, 479–491.
7. Folmer, O., M. Black, W. Hoeh, R. Lutz and R. Vrijenhoek (1994) DNA primer for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 3, 294–299.
8. Furman, D. P., R. D. Young, and E. P. Catts. 1959. *Hermetia illucens* Latr. *Rev. Soc. Ent. Argentina* 1: 23–27.
9. Gonzalez, J. V., W. R. Young, and M. R. Genel. 1963. Reduction de la poblacion de mosca domestica en gallinzapor la mosca soldado en el Tropica. *Agric. Tec.(Mex.)* 2: 53–57.
10. 學研, 1983(90). 學研生物圖鑑, 昆蟲 III: 200, 日本
11. Hale, O. M. 1973. Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as feed additive for poultry. *J. Ga. Entomol.*8:16–20.
12. Hogsette, J. A. 1992. New diets for production of house flies and stable flies(Diptera: Muscidae) in the laboratory. *J. Econ. Entomol.* 82: 2291–2294
13. 황보순·조익환. 2005 우분에 톱밥 혼합 수준이 지렁이의 생육과 분립생산에 미치는 영향. *한국유기농업학회지* 13(4) : 423–433.
14. 황보중, 이병석, 홍의철, 배해득, 강환구, 한광희, 장애라, 박병성. 2005. 산란계에서 파리 유충의 급여가 계란 품질에 미치는 영향. *한국가금지* 32(3):203–209.

15. James, M. T. 1935. The genus *Hermetia* in the United States (Diptera: Stratiomyidae). Bull. Brooklyn Entomol. Soc. 30: 165–170.
16. 김진일. 1997. 韓國未記錄 外來昆蟲 2種, 韓生研誌 2: 223–226.
17. 이종욱. 1998(2002). 한국곤충생태도감. IV: 148.
18. 이태복·최훈근. 2002 지렁이사육상 자동화장치개발 및 활용. 한국유기성폐자원학회 춘계학술대회 143–150.
19. May, B. M. 1961. The occurrence in New Zealand and the life–history of the soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), N.Z. J. Sci. 4: 55–65.
20. McCallan, E. 1974. *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), a cosmopolitan American species long established in Australia and New Zealand. Entomol. Mo. Mag. 109: 232–234.
21. Nei, M. 1982. Evolution of human races at the gene level. pp. 167–181 in Human genetics, Part A: The unfolding genome, Proceedings of the sixth international congress of human genetics, eds. by B. Bonné–Tamir, T. Cohen and R. M. Goodman. 619 pp. Alan R Liss Incorporation, New York.
22. Newton, G. L., C. V. Booram, R. W. Barker, and O. M. Hale. 1997. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. J. Anim. Sci. 44: 395–400.
23. Newton, G. L. Sheppard. C., Watson D. W., Burtle G. Dove R. 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, As a value–added tool for the management of swine manure. Report for Mike Williams, Director of the Animal and poultry Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC Agreements between the NC Attorney General, Smithfield Foods, and Premium Standard Farms, and Frontline Farmers.
24. NRC 1994. Nutrient requirements of poultry. National Academy Press, Washington DC.
25. O'Neill, K. M. 1983. Territoriality, body size, and spaing in males of the bee wolf *Philanthus basilaris* (Hymenoptera: Sphecidae). Behaviour 86: 295–321.
26. Park, B. S, Kang, H. K, Lee, E. S, Park, T. J, and Yu, T. G. 2003. Feed nutritional value of fly larvae. Annals of Animal Resources Science, Kangwon National University. 14:67–75.
27. 박수영. 2001. 유산균의 급여가 육계의 생산성 및 계사내 환경에 미치는 영향, 전북대학교 석사학위 논문.
28. SAS Institute 2004. SAS User's Guide. Statistics. Version 9.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
29. Sheppard, D. C., Tomberlin. J. K., Joyce. J. A., Kiser. B. C., Sumner S. M. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyi– dae). J. Med.

Entomol. 39: 695–698

30. Sheppard, D. C., 1983. House fly and lesser house fly control utilizing the black soldier fly in manure management systems for caged laying hens. *Environ. Entomol.* 12: 1439–1442.
31. Sheppard, D. C., G. L. Newton, S. A. Thompson, and S. Savage. 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bio. Tech.* 50: 275–279.
32. Sheppard, D. C., G. L. Newton, S. Thompson, J. Davis, G. Gascho, and K. Bramwell. 1998. Using soldier flies as a manure management tool for volume reduction, house fly control and reduction, house fly control and feed stuff production, pp. 51–52. *In* G-wen Roland (ed.), Sustainable Agriculture Research and Education, Southern Region, 1998. Annual Report. Sustainable Agriculture Research and Education, Southern Region, Georgia Station, Griffin, GA.
33. Sheppard, D. C., and G. L. Newton. 2000. Valuable by-products of a manure management system using the black soldier fly – a literature review with some current results. Proceedings, 8th International Symposium – Animal, Agricultural and Food Processing Wastes, 9–11 October 2000. Des Moines, IA. American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, MI.
34. Swofford, D. L. 2002. PAUP*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and Other Methods). Version 4.10. Sinauer Associates, Sunderland, MA (on disk).
35. Teotia, J. S. and B. F. Miller. 1970a. Factors influencing catabolism of poultry manure with *musca domestica*. *Poultry Sci.* 49:1443.
36. Teotia, J. S. and B. F. Miller. 1970b. Nutritional value of fly pupae and digested manure. *Poultry Sci.* 49:1453.
37. Tingle, F. C., E. R. Mitchell, and W. W. Copeland. 1975. The soldier fly, *Hermetia illucens* in poultry houses in north central Florida. *J. Ga. Entomol. Soc.* 10: 179–183
38. Toft, C. A. 1989. Population structure and mating system of a desert bee fly (*Lordotus pulchrissimus*; Diptera: Bombyliidae). I. Male demography and interactions. *Oikos* 54: 345–358.
39. Tomberlin, J. K., and D. C. Sheppard. 2001. Lekking behavior of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Fla. Entomol.* 84: 729–730.
40. Thompson, J. D., T. J. Gibson, F. Plewniak, F. Jeanmougin and D. G. Higgins 1997. The CLUSTAL X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Res.* 24, 173–216.

주 의

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