기후변화에 따른 해충유입 방지를 위한 방충포장기법의 필요성

Demand for Insect-Proof Packaging Technology in Food Application

이윤정[1], 민세철[2], 나자현[3], 한재준[1*]

Yun-Jeong Lee[1], Sea Cheol Min[2], Ja Hyun Na[3], Jaejoon Han[1*]

[1]성균관대학교 식품생명공학과, [2]서울여자대학교 식품공학과, [3]고려대학교 생명자원연구소

[1]Food Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University, [2]Seoul Women's University, [3]Institute of Life Science and Natural Resources, Korea University

1. 서론

급변하고 있는 기후변화에 따른 지구의 온난다습화는 해충의 활동시간 및 번식활동을 증대시키고 있으며, 또한 해충의 개체 수 급증을 초래하여 식품의 제조, 유통과정 중 동물성 이물의 혼입 가능성을 점점 더 높이고 있다. 최근 인기 있는 초콜릿, 라면, 과자류에서 해충의 애벌레가 발견되어 소비자에게 불쾌감을 주는 사례가 늘어나고 있다. 식품이 벌레에 오염되어 문제가 되는 일은 사실 새삼스러운 일은 아니나, 빈번히 발생하는 사례들의 원인들 중 하나로 벌레가 살아가는 환경이 변했기 때문으로 판단된다.

이렇게 저장된 식품에 피해를 입히는 해충을 저장해충이라 일컫는데, 이는 식품류에 기생하는 나비목, 명나방과가 대부분이고 기타 4~5종 정도가 주류를 이루고 있다. 식품에 따라 가해하는 해충의 종류도 다양하며 각 해충이 선호하는 식품 또한 각양각색이다. 널리 알려진 식품 저장해충으로는 어린쌀바구미, 쌀바구미, 줄알락명나방, 화랑곡나방등이 있다. 이러한 벌레는 강한 내한성을 지녀 한국, 일본, 미국, 유럽 등 전세계적으로 분포되어 있으며 겨울을 제외하고는 생육이 가능하다. 아래의 그래프와 같이(그림 1)[1)] 식품침입의 주요 해충은 명나방과의 '화랑곡나방(*Plodia interpunctella* (Hübner))'이다. 이는 열대성 또는 난대성 곤충으로서 높은 온도 조건에 적응하였으며 15℃ 이상에서 활동을 시작하여 30℃ 내외에서 가장 활발하고 37℃ 내외에 이르러서야 활력을 잃어버린다. 현재 지구의 온난화로 인하여 지난 100년간 우리나라의 온도는 평균 1℃가량 상승하였다. 따라서 저장해충들이 겨울을 나기 쉬워지고, 활동시기 및 번식시기가 빨라지는 문제점을 초래하였다. 그러므로 해충의 식품포장지 유입으로 인한 식품 안전성에 대해 문제가 빈번히 발생하고, 확산되고 있으며 식품포장의 안전성 확보가 매우 필요한 실정이다.

식품 포장재의 해충 침입과 그 대책을 세 가지 단계로 나누어 보면 식품의 생산과 제조 및 유통과정으로 나누어 볼 수 있다[1)]. 현재 식품 생산 및 제조 공정 중에 해충 혼입에 대

*Corresponding author: Jaejoon Han. Department of Food Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
Tel: +82-31-290-7803, Fax: +82-31-290-7882, E-mail: han2009@skku.edu

한 방제법으로 공장 내 살균 및 해충 방제 설비를 구축하여 안전성을 확보하고 있는 반면, 저장 및 유통과정에서 해충의 침입에 대한 방지책은 매우 미흡한 실정이다.

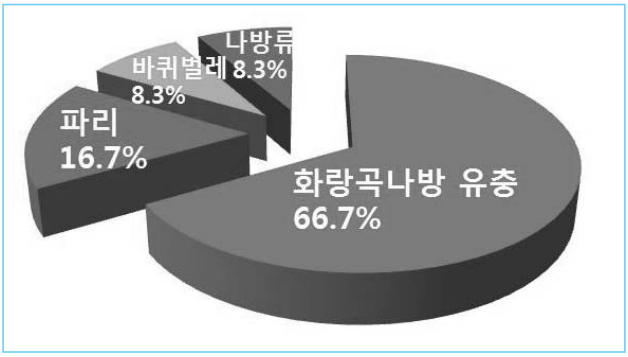

그림 1. 식품 침입 주요 해충
(출처: 해충 유입 차단을 위한 포장재 안전관리 방안 연구, 식품의약품안전청, 2009)

2. 화랑곡나방의 특성

이 저장해충의 학명은 화랑곡나방(*Plodia interpunctella* (Hübner))이며, 분류학적으로는 나비목 명나방과의 곤충으로 분류된다(그림 2)[4)5)]. 화랑곡나방은 범세계적으로 분포하면서 저장곡물, 건조야채, 가공식품 등 100여 종류의 저장식품에 문제를 일으키는 해충이다. 화랑곡나방은 다화성(多化性) 곤충으로 온대지방에서는 년 3~4회 발생하며 우화한 암컷은 18일 간, 우화 후 2~3일 간에 걸쳐 150-200개의 알을 낱개로 낳는다[6)]. 화랑곡나방은 낮은 온도, 단일장(日長), 고밀도 조건의 환경에서 휴면이 유기되고 기회적 휴면을 하는 것으로 알려져있다. 화랑곡나방 유충의 발육과 생존율 및 성충의 수명과 산란수는 온도, 습도, 먹이의 영향을 받는다. 이 나방의 부화 최저온도는 15℃이며, 최적의 조건은 25-28℃, RH 70-80% 이다. 유충의 발육속도는 온도와 습도가 증가함에 따라 빨라지며, 유충의 생존율은 32℃, 80% 상대습도에서 최대값을 보인다[8)].

가장 많은 피해를 주는 유충의 형태적 측면은 몸집에 비해 길이가 작은 원통형으로 최대 성장 시에 몸의 길이는 9-15mm 내외이다. 유충의 몸통은 노란색이나 백색 또는 담황색을 띄며, 머리는 노란빛이 도는 갈색이다. 화랑곡나방 유충의 가장 특이한 점은 다른 저장해충의 유충과 다르게 발달한 턱 구조라 할 수 있다. 이는 구겨진 포장재 또는 구멍(pin-hole)에 턱을 걸고 포장지를 뚫는 역할을 하는데 큰 기여를 한다.

화랑곡나방 유충의 일반적인 식별법으로는 다른 유충과 다른 배설물의 형태이며, 이는 어떤 먹이를 먹어도 암적색 알갱이의 배설물을 낸다[9)]. 유충의 생태적 측면은 성장과 함께 입에서 많은 실을 배출하여 쌀이나 곡식을 얽어매며, 먼저 쌀눈을 먹은 다음에 바깥부분을 갉아먹고 성장을 마치며 애벌레는 두께가 얇은 고치를 만들고 번데기가 된다. 유충이 고밀도로 존재할 경우에는 실로 먹이를 철하는 것 외에도 먹이 전체에 고치를 지은 것과 같은 형태로 실을 배출한다. 이러한 배설물 또는 실의 형태가 다른 해충과 비교되어지며, 비슷한 서식지를 지닌 쌀바구미보다도 더 건조한 환경에서도 살아 갈 수 있다. 암컷이 될 유충은 몸이 비대하므로 머리가 상대적으로 작아 보이며, 수컷이 될 유충의 경우에는 배의 제8마디 중앙에 담갈색의 반점을 지니고 있다.

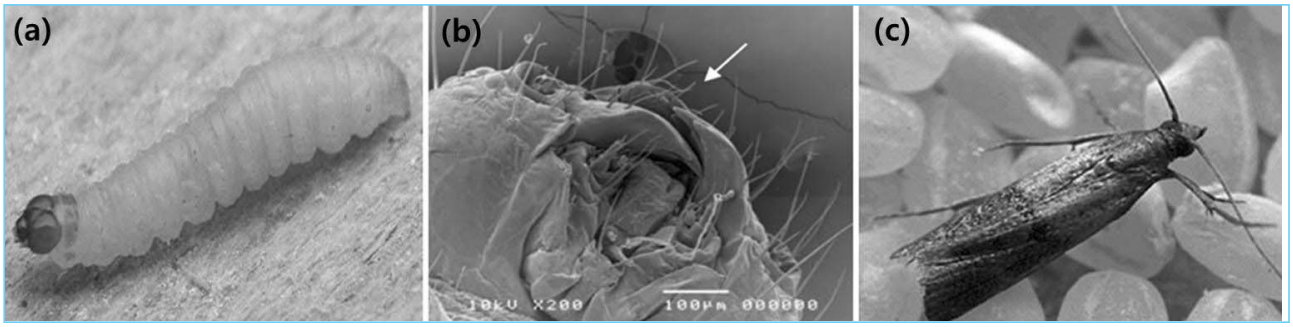

그림 2. (a) 화랑곡나방 유충, (b) 화랑곡나방 유충의 턱구조, (c) 화랑곡나방 성충

3. 화랑곡나방에 의한 피해사례

식품 포장재에 피해를 주는 해충의 종류는 매우 다양하며 해충의 발견은 식품업계의 경제적인 손실과 직결된다. 식품 포장재에 침입하는 주요 해충 중 무려 66.7%의 비율을 차지하고 있는 화랑곡나방 유충은 다른 해충에 비해 식품 포장재 침입 성향이 두드러지는 것을 볼 수 있으며, 전반적으로 다양한 식품군의 포장재에 피해를 입히는 것으로 나타났다(그림 3)[1]. 해충 애벌레와 관련한 식품 사고들이 다수 발생하고 있는데, 이는 제조 회사의 이미지 및 경제적 손실에 커다란 영향을 줄 수 있으며, 또한 소비자에게는 식품위생 및 제조사에 대한 불신을 줄 수밖에 없다.

식품의약품안전청에서 발표한 2010년 이물 종류별 보고 및 식품 종류별 피해 조사에서, 벌레의 침입으로 인한 피해는 과자류, 면류 등의 식품군에서 나타나고 있다(그림 4)[10]. 한가지 흥미로운 점은 면류의 경우에 제조단계보다 유통단계에서 이물의 유입이 현저히 많다는 점이다. 이는 턱이 유난히 발달한 화랑곡나방의 유충이 포장재를 뚫고 침입하는 경우가 많음을 나타내고 있다. 또한 화랑곡나방의 유충뿐만 아니라 성충 또한 간접적으로 많은 피해를 입히고 있다. 성충은 포장된 식품의 경우에는 침입이 불가하지만 매우 유동적이며 산란된 알이 적합한 환경에서 부화하고 유충이 됨으로 심각한 문제를 일으키게 된다[11].

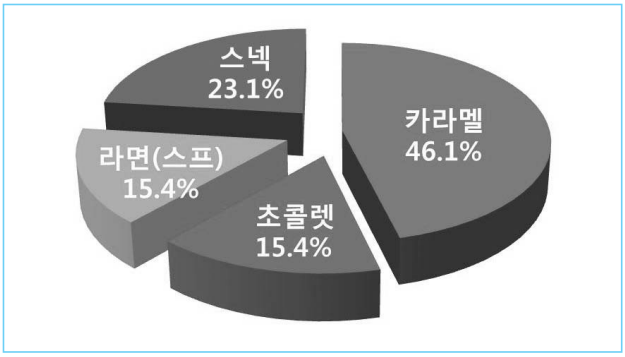

그림 3. 해충의 유입이 잦은 식품의 유형 분석
(출처: 해충 유입 차단을 위한 포장재 안전관리 방안 연구, 식품의약품안전청, 2009)

4. 방충포장(insect-proof packaging)의 개념 및 중요성

건조식품 및 곡류가공식품 등의 포장식품은 유통과정에서 다양한 저장 해충에 의해 천공이나 침입을 자주 받는다. 이를 방지하기 위하여 적용되는 포장 방법과 기술을 '방충포장'이라 한다. 특히 식품의 제조공정 및 유통과정, 소비단계에서의 식품으로의 해충 유입을 방지하는 포장법을 방충 식품포장이라고 일컫는다. 식품 방충포장은 근본적으로 식품을 다양한 화학적, 생물학적, 물리적 요인들로부터 보호하고, 식품의 편리성을 부여하고, 식품 정보를 전달하는 등의 식품 포장의 기본적 기능을 제공하는 동시 해충의 침입의 방지 및 피해의 최소화하는 기능성 포장 기법이라 할 수 있다. 제조과정에서는 살충법과 식품의 이물제거, 고온처리 및 마이크로파 조사, 불활성 가스 및 탈산소제에 의한 해충 치사 효과가 좋은 제조과정을 거쳐 주성분이 단백질인 해충의 치사율을 높이므로써 그 침입을 방지할 수 있다. 그러나 유통과정 중에는 현재 획기적인 방안이 제시되지 않고 있다. 포장재의 두께를 두껍게 함으로써 그 침입의 정도를 줄일 수는 있지만 단가 및 경제적 효율성이 매우 떨어지므로 식품 회사에서는 꺼려하고 있는 실정이다.

기능성 방충 포장소재 개발 기법으로서 직접적으로 포장소재에 천연 기능성 해충 제어 물질을 첨가하여 제조 방법에 따라 다양한 방충 효과를 부여하여 식품 포장의 해충 침입을 감소하는 연구가 진행되고 있다. 식품 포장소재 내부로 해충

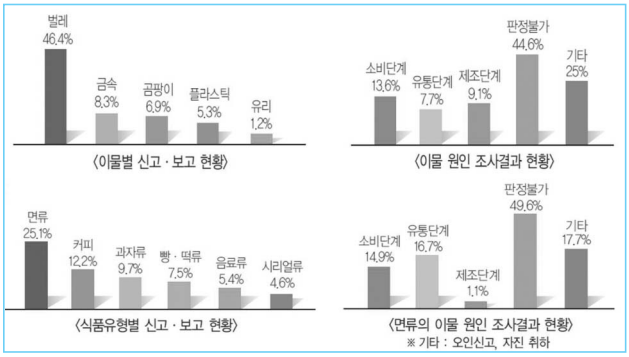

그림 4. 2010년 이물·신고 보고 현황
(출처: 이물 발견 시 소비자 대응 요령, 식품의약품안전청, 2011)

침입이 발생할 경우 소비자의 상당한 불쾌감뿐만 아니라 뚫린 구멍으로 인한 각종 미생물 및 다른 해충의 번식에 대한 우려를 배제 할 수 없다. 또한 수분과 산소의 투과로 인하여 부패, 변질 등 식품의 저장성 및 안전성을 위협할 수 있다[12]. 따라서 식품 포장소재 자체에 천연방충물질을 사용하여 개발한 기능성 포장재를 통하여 유통부터 소비단계까지 전반적인 해충으로 인한 피해를 감소 시킬 수 있는 방충포장소재 개발이 절실히 필요한 때이다[13]. 이렇듯 효과적인 방충포장 소재의 개발은 살충제 처리에 대한 의존성을 감소시키는데 도움이 되며 소비자 신뢰구축 및 브랜드가치의 하락을 막기 위한 중요한 역할을 하는 분야이다.

5. 방충포장의 국내 · 외 연구 동향

1) 국내의 방충포장 연구 동향

국내의 방충 포장재 연구로는 식품에 피해를 직접적으로 입히는 주요 해충의 생태학적 연구가 활발히 진행되고 있다. 절반의 연구가 해충의 생태학적 측면을 연구하는 것이 일반적이며, 논문, 특허, 연구보고서 전반적으로 유사하다. 해충 분석 및 해충 살충법에 대한 연구가 40% 가량 진행되고 있지만, 식품업계에 가장 필요한 방충 포장 연구는 불과 5% 밖에 안 되는 미미한 연구가 진행되고 있다. 현재 정부나 회사 등에서도 연구가 진행되고 있지만 아직도 뚜렷한 결과를 나타낸 보고는 없으며, 방충포장에 대한 명확한 체계가 잡혀있지 않으므로 연구의 범위가 광범위하게 다루어지지 않는 것으로 보인다(그림 5)[1].

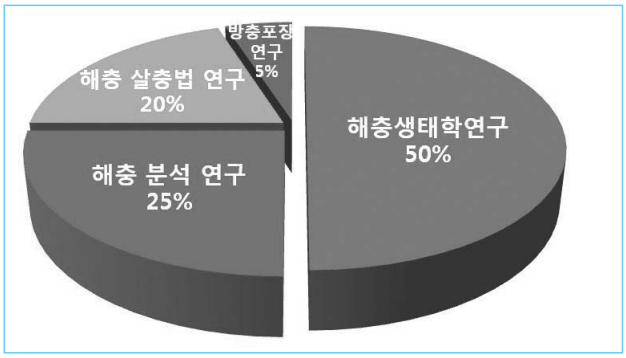

그림 5. 국내 방충 포장 관련 연구 현황
(출처: 해충 유입 차단을 위한 포장재 안전관리 방안 연구, 식품의약품 안전청, 2009)

- "변명우"등의 연구진은 곡류의 해충구제를 위한 감마선의 이용을 연구하여 1.0kGy 이하의 조사로서 쌀의 저장기간을 지속시킬 수 있다고 하였다[14].
- "배영수"등의 연구진은 수목 추출성분을 이용한 식품포장용 골판지 천연 방충처리제 개발이라는 연구를 통하여 천연기피물질을 탐색하였다. 따라서 주목 및 비자나무의 추출물을 이용하여 화랑곡나방 유충의 기피효과를 테스트하였으며, 이는flavan-3-ol에 기인한 효과라고 추측하였다[15].
- "나자현"은 제분시설에서의 화랑곡나방의 고온 방제를 연구하였다. 제분 가공시설 내부에서의 화랑곡나방을 방제하기 위하여 고온을 유도하고 이에 따른 방제효과를 연구하였다. 온도에 따라 각 충태별 사망률을 조사하였고, 온도의 범위에 의한 해충의 생존범위가 각각 다름을 나타내었다[16].
- "나자현"등의 연구진은 고농도 탄산가스 충전에 의한 식품 해충방제를 통하여 화랑곡나방과 이산화탄소의 노출시간에 대해서 연구하였다. 85%의 탄산가스로 채워진 3겹 크라프트지의 해충 방제 효과가 가장 크게 나타났다[17].
- "Chung SK" 의 연구진은 화랑곡나방 유충과 식품포장소재필름의 상관관계를 관찰하였다. 따라서 화랑곡나방 유충의 침투율이 PET〉 PP〉 PE 순서임을 알아내었다[5].
- "이상길"등의 연구진은 양고추냉이로부터 추출한 양고추냉이 정유를 활성성분으로 함유하는 저장해충 방제제로 활용하는 방안을 모색하는 특허출헌을 하였다[18].
- "김재능"등의 연구진은 페퍼민트 오일, 케러웨이 오일 및 겨자유가 코팅된 방충포장재를 특허출헌 하였다. 세 가지의 천연기피물질을 동시에 폴리필렌필름(OPP)에 도포하여 화랑곡나방의 침투성향을 억제시키고 동시에 우수한 지속효과를 나타냄을 관찰하였다[19].
- "나자현"등의 연구진은 초코렛 포장지에 사용되는 접착물에 계피 추출물을 혼합하여 화랑곡나방의 포장재로의 침입을 방지하는 연구를 하였다. 이는 특허출헌 되었으며, 유충의 천공을 100% 억제하는 효과를 얻었다. 또한, 계피

추출물 처리에 따른 착향은 발생되지 않았다[20].

2) 국외의 방충포장 동향 연구

국외 방충 포장재 연구로는 국내에 비해서는 전체적으로 활발히 진행되었으나, 아직까지 방충포장에 관련한 연구는 더디게 진행되고 있다. 국외는 우리나라와 마찬가지로 침입 해충의 생리적 및 생태학적 연구 분야가 45%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 해충의 기피제, 가해 해충을 분류하는 수준에 머물러 있다.

이중 해충의 기피제 연구는 기존의 화학적 방제법이 아닌 친환경적 방제법으로의 전환을 연구하는 것을 말한다. 기존에는 많은 곳에서 methylbromide를 이용하였으나, 오존층을 파괴하고 지구온난화를 초래하는 결과를 낳으므로 이를 대체 할 천연기피물질을 찾으려는 연구이다(그림 6)[1].

- "Bowditch TG"의 연구에 따르면 초콜릿 제품의 저장 및 유통 과정에서 침입하는 해충들의 필름 포장재별 침투 성향을 분석하였다. 저장해충에 대해 polyvinyl chloride film이 다른 포장재들에 비해 높은 저항성을 가짐을 나타내었다.[21].
- "Xingwei Hou"등의 연구진은 식품 포장재 내로 침투하는 해충으로 인한 저장 식품의 상품성 저하를 방지하기 위하여 DEET와 Neem의 기피제를 사용한 해충 기피 연구를 진행하였다. DEET가 침입성향을 억제하는데 효과가 있음을 보였다[11].
- "Pretheep-Kumar P"등의 연구진에 따르면 완두콩에서 추출한 단백질 성분을 쌀에 포함시켰을 때 쌀바구미(*Sitophilus oryzae*)등에 있어서 침입억제를 향상시키고, 5개월의 저장기간동안 안전하게 저장할 수 있음을 밝혔다[22].
- "Mohammad S"등의 연구진에 따르면 Carum copticum의 종자로부터 추출한 에센셜오일이 화랑곡나방의 천연기피물질로서 이용가능성을 밝혔으며 여러 가지 활성물질을 GC-MS를 이용하여 관찰하였다[23].
- "Isikber AA"등의 연구진에 따르면 다양한 천연기피물질을 밝히는 연구를 하였다. 이중 마늘과 자작나무 추출물이 상대적으로 화랑곡나방의 알에 대해서 독성을 나타내었음을 밝혔다[24].
- "Burks CS"등의 연구진은 건조된 콩에서의 화랑곡나방 교배를 방해하여 식품저장에 피해손실을 줄이는 연구를 진행하였다.

6. 맺음말

기후 변화에 따른 주변 환경 인자의 변화는 식품안전성에 있어 여러 가지 영향을 야기하고 있으며 이에 대한 방안모색이 필요한 시점이다. 식품산업 및 사회적 환경이 발달함에 따라 소비자는 맛뿐만 아니라 식품의 질적인 측면 또한 중요시하고 있으며, 이에 따른 소비자의 식품 안전성에 관한 요구가 확대되고 있다. 현재 식품산업의 현안점은 가공식품에 침입하는 주요 가해 해충으로서 각 식품 업계에서는 이 문제를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으나 이에 대한 뚜렷한 해결방안이 제시되지 않고 있는 실정이다. 따라서 피해 손실을 줄이기 위해서는 소비자의 주의도 필요하다. 저장해충으로부터 식품을 안전하게 장기간 보관하려면 식품을 구입할 때 포장의 훼손 여부를 확인하고, 유통기한이나 포장날짜는 최근의 것을 구입하는 것이 바람직할 것이다. 또한 식품을 보관 시에는 바닥에서 일정 높이 이상 떨어진 건조하며 서늘한 장소에 유리 · 플라스틱 등 단단한 뚜껑이 있는 용기에 보관하는 것이 현명한 방법이라 볼 수 있다(그림 7)[10].

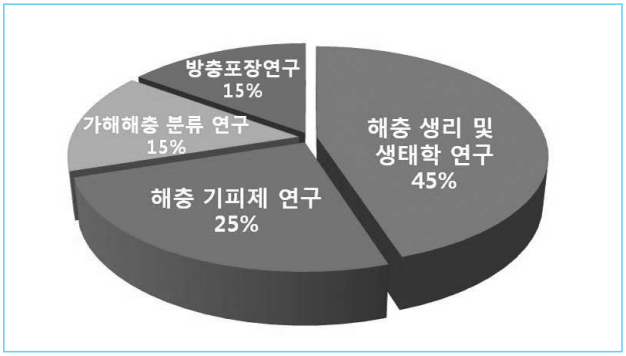

그림 6. 국외 방충 포장 관련 연구 현황
(출처: 해충 유입 차단을 위한 포장재 안전관리 방안 연구, 식품의약품안전청, 2009)

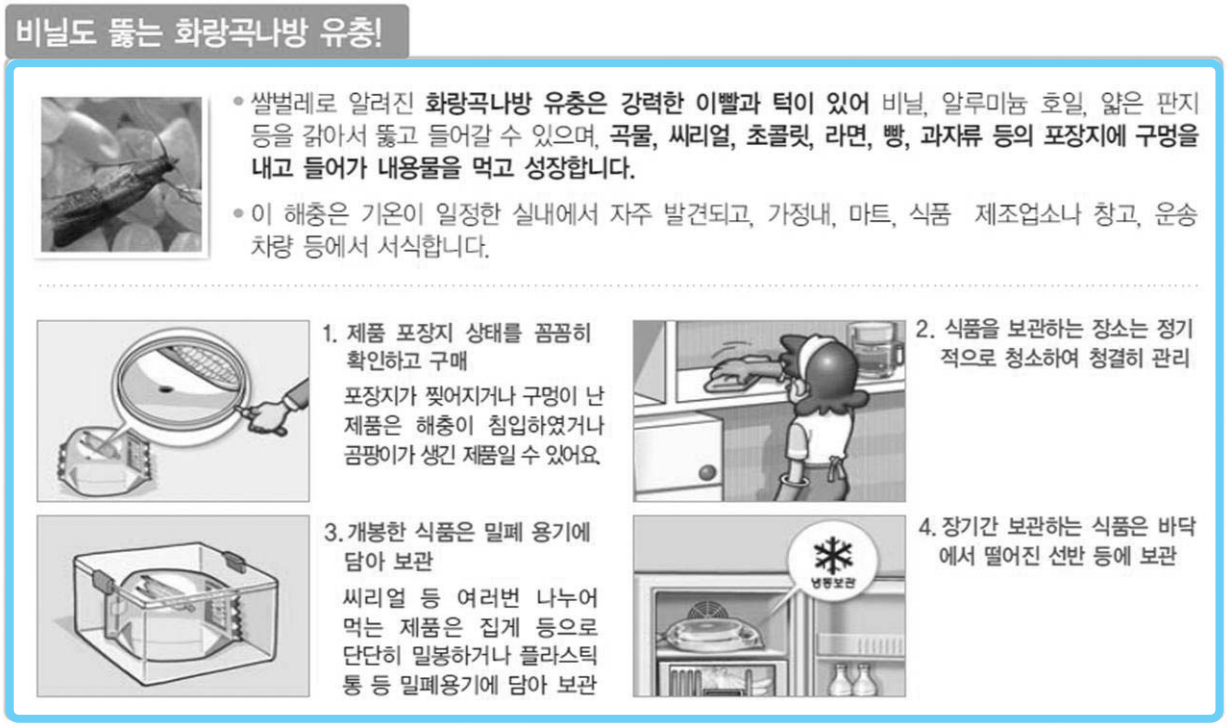

그림 7. 화랑곡나방 유충의 피해를 줄이기 위한 방안
(출처: 이물 발견시 소비자 대응 요령, 식품의약품안전청, 2011)

현대사회에서 우리나라의 식품 포장산업이 세계시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서는 전문화되고 체계적인 제조 및 유통구조의 개선이 필요하다. 즉, 식품업계는 앞으로 식품포장 본연의 목적을 충실히 만족하여야 하며 기능성 포장으로서 해충의 침입 억제를 방지하는 합리적인 방안 및 기술을 모색하는 데에 총력을 기울여야 할 것 이다.

[감사의 글]

본 연구는 2011년도 식품의약품안전청 용역연구개발과제의 연구개발비 지원(10162기후식995)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1) 김재능. 2009. 해충 유입 차단을 위한 포장재 안전관리 방안 연구. 식품의약품안전청.
2) Kitto GB., Thomas PW., Lemburg J., Brader B., Burkholder W. 1996. Immunoassays for detecting insect contamination of food products. Immunoassays for Residue Analysis. 621: 281-291.
3) Rajendran S. 1999. Detection of insect infestation in stored food commodities. Journal of Food Science and Technology-Mysore. 36(4): 283-300.
4) 나자현, 류문일. 온도가 화랑곡나방(나비목:명나방과)의 생활사에 미치는 영향. 한국응용곤충학회지. 37(2): 143-149.
5) Chung SK., Seo JY., Lim JH., Park HH., Kim YT., Song KH., Park SJ., Han SS., Park YS., Park HJ. 2011. Barrier property and penetration traces in packaging films against *Plodia interpunctella* (Hübner) larvae and *Tribolium castaneum* (Herbst) adults. Journal of Stored Products Research. 47(2): 101-105.
6) Lum PTM., Flaherty BR. 1969. Effect of mating with males reared in continuous light or in light-dark cycle on fecundity in *Plodia interpunctella*. Jounal of Stored Products Research. 5: 80-94.
7) Mbata GN. 1985. Some physical and biological factors affecting

oviposition by *Plodia interpunctella* Hubner (Lepidoptera: phycitidae). Insect Science and its Application. 6: 597-604.
8) Johnson JA., Wofford PL., Whitehand LC. 1992. Effect of diet and temperature on development rates, survival, and reproduction of the indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Economy Entomology. 85: 561-566.
9) Huang FN., Subramanyam B. 2004. Behavioral and reproductive effects of ultrasound on the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. Entomologia Experimentalis Et Applicata, 113(3): 157-164.
10) 2011. 이물소비자대응요령. 식품의약품안전청.
11) Hou XW., Fields P., Taylor W. 2004. The effect of repellents on penetration into packaging by stored-product insects. J. Stor. Pro. Res. 40(1): 47-54.
12) Riudavets J., Salas I., Pons MJ. 2007. Damage characteristics produced by insect pests in packaging film. Journal of Stored Products Research. 43(4): 564-570.
13) 김성수. 2009. 천연 기피물질을 적용한 방충 포장소재 개발. 연세대학교 대학원.
14) 변명우, 권중호, 차보숙, 정규회, 조한옥. 1988. 한국농화학회지, 31(2): 143-146.
15) 배영수. 2001. 수목 추출성분을 이용한 식품포장용 골판지 천연 방충처리제 개발. 임산에너지. 20(2): 9-19.
16) 나자현, 류문일. 2005. 제분시설에서의 화랑곡나방(Lepidoptera: Pyralidae)의 고온방제. Korean J. Appl. Etomol. 44(1): 67-72.
17) 나자현, 남영우, 천용식, 류문일. 2006. 고농도 탄산가스 충전에 의한 식품 해충 방제: 거짓쌀도둑거저리와 화랑곡나방의 살충효과에 미치는 노출시간과 식품포장재질의 영향. Korean J. Appl. Etomol. 45(3): 363-369.
18) 이상길. 2000. 양고추냉이 정유를 저장물해충의 방제제로 사용하는 방법.
출원번호: 10-2000-0016467
19) 김재능. 2009. 페퍼민트 오일, 케러웨이 오일 및 겨자유가 코팅된 방충 포장재.
출원번호: 10-2009-0030352
20) 나자현. 2008. 제과류 포장재. 출원번호: 10-2007-0007258
21) Bowdith TG. 1997. Penetration of Polyvinyl Chloride and Polypropylene Packaging Films by *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae, and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) Adults. Journal of Economic Entomology, 90(4): 1028-1031.
22) Pretheep-Kumar P., Mohan S., Ramaraju K. 2004. Protein-enriched pea flour extract protects stored milled rice against the rice weevil, *Sitophilus oryzae*. Journal of insect Science.
23) Mohammad S., Saeid M., Bibi ZS. 2008. Fumigant toxicity of essential oil from *Carum copticum* against Indian Meal Moth, *Plodia interpunctella*, Journal of plant protection research 48(4)
24) Ali A. Işıkber, Nihal Özder, Özgur Sağlam. Susceptibility of eggs of *Tribolium confusum*, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* to four essential oil vapors. Phytoparacitica, 37(3): 231-239.
25) Charles SB., John RM., James RM., David GB. 2011. Mating disruption for control of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in dried beans. Journal of Stored product research. 47(3): 216-221.