

유연포장 필름의 종류 및 두께에 따른 화랑곡나방 침투율 연구

이수현 · 권상조 · 이상은 · 김정현 · 이정수 · 나자현¹ · 한재준*
고려대학교 생명과학대학 식품공학과, ¹고려대학교 생명자원연구소

Effects of Type and Thickness of Flexible Packaging Films on Perforation by *Plodia interpunctella*

Soo Hyun Lee, Sang-Jo Kwon, Sang Eun Lee, Jeong-Heon Kim, Jung-Soo Lee, Ja Hyun Na¹, and Jaejoon Han*

Department of Food Bioscience and Technology, Korea University

¹Institute of Life Science and Natural Resources, Korea University

Abstract This study investigated the effect of perforation by the Indian meal moth (*Plodia interpunctella*) larvae on various flexible food-packaging films, in relation to their thickness and type. Among the various flexible packaging films, polyethylene (PE), aluminum foil (AF), polypropylene (PP), polystyrene (PS), and polyethylene terephthalate (PET) were selected for this study due to their wide usage in food packaging. Based on their thickness, film penetration by *P. interpunctella* larvae was measured as in following order: PP, 20 μ m; AF, 9 μ m; PET, 12 μ m; PP, 30 μ m; PS, 30 μ m; PE, 40 μ m; PE, 35 μ m; PS, 60 μ m; and PET, 16 μ m. *P. interpunctella* larvae rapidly penetrated through the packaging films regardless of their thickness and type. In particular, it was observed that PP of 20 μ m and PS of 30 μ m were completely penetrated by *P. interpunctella* larvae within 72 h, rendering thin PP and PS films less valuable as anti-insect packaging films. Our results show that the perforations by *P. interpunctella* larvae were observed in the thin films. These results imply that each packaging film has a marginal thickness against the perforations by *P. interpunctella* larvae.

Keywords: Indian meal moth, flexible packaging film, perforation, penetration

서 론

식품 내 벌레나 해충의 혼입은 식품의 품질저하로 인한 경제적 손실과 생산기업의 이미지를 실추, 그리고 식품에 대한 소비자의 불안감과 불신을 초래하는 것으로 알려져 있다(1). 이러한 해충 관련 동물성 이물의 혼입은 식품의 제조, 유통과정 중에 주로 일어나는 것으로서, 최근 식품 포장 내로 침투하는 저장해충에 대한 문제가 빈번하게 발생하는 것으로 보고되어 있지만 이에 대한 안전 방안은 미흡한 실정이다(2). 따라서 소비자의 안전 및 소비자 우려를 감소시키기 위하여 이를 해결하기 위한 노력이 시급하다.

화랑곡나방(*Plodia interpunctella*)은 식품의 저장 중 가장 광범위한 피해를 입히는 해충이며, 범세계적으로 분포하여 저장식품에 해를 가하는 주요 해충이다. 강력한 턱을 지니고 있어 포장재를 뚫고 내부로 침입하는 능력을 가진 것으로 알려져 있다(3). 특히 식품 안전에 문제가 되는 시기는 유충(larvae) 시기로서 일차적으로는 저장식품의 섭취로 인한 양적인 피해뿐만 아니라 실크의 분비나 배설물을 통한 식품의 품질 저하를 유발한다(4). 또한, 이차적으로 해충으로 인해 오염된 식품은 해충의 대사로 인해 발생

된 열과 수분으로 인하여 세균이나 곰팡이 등과 같은 미생물이 생장하기 용이한 환경이 조성되어 미생물의 오염에 취약해지는 문제점이 있다(5). 이는 국내의 식품사고 원인의 일부를 반영하며, 전반적인 가공식품 포장재의 문제점으로 대두되고 있으나 이에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 한 연구에 따르면, 화랑곡나방과 관련된 연구가 해충생태학 연구 50%, 해충분석연구 25%, 해충살충법연구 20%, 방충포장연구 5%로서 방충포장재에 대한 연구의 부재를 보여주는 결과를 발표하였다(6). 따라서 해충의 침투로 인한 저장식품의 피해를 줄이기 위한 방충포장소재에 대한 집중연구가 필요하다고 볼 수 있다.

현재 가공식품의 포장에는 플라스틱 포장재 및 알루미늄 소재가 광범위하게 사용되고 있다. 그 중 플라스틱 소재로서는 polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), polystyrene (PS)이 대표적이며, 알루미늄 소재로서 aluminum foil (AF)이 유연포장 필름 형태로 식품의 포장에 널리 사용되고 있다. 일반적으로 PE는 수증기 차단성이 우수하고, 화학적으로 안정하며, 충격 강도가 크고 유연성이 있어 가공이 용이하기 때문에 식품 포장에 광범위하게 사용된다(7,8). PP는 PE와 유사한 성질을 가지고 있으나, PE보다 투명성, 인쇄 적성, 내열성이 좋다. 이러한 성질 때문에 레토르트 식품의 투명 포장재로 사용되며, 방습성과 내 스크래치성을 이용하여 라면, 빵, 과자 등의 포장에 이용되고 있다(9). PET는 화학적으로 안정하며, 투명성, 강도, 내한성, 내열성이 커서 레토르트 식품, 냉동식품 등에 사용된다. 또한 향기 차단성이 좋아서 향신료와 같이 냄새가 강한 식품의 포장 재료로 사용되고 있다(10). PS는 무색 투명한 열가소성 수지로, 가격이 저렴하고 가공성이 용이하다는 장점이 있다. 발포제를 사용한 발

*Corresponding author: Jaejoon Han, Department of Food Bioscience and Technology, Korea University, Seoul 136-701, Korea
Tel: 82-2-3290-3022
Fax: 82-2-3290-3754
E-mail: jjhan@korea.ac.kr
Received August 13, 2014; revised October 13, 2014;
accepted October 13, 2014

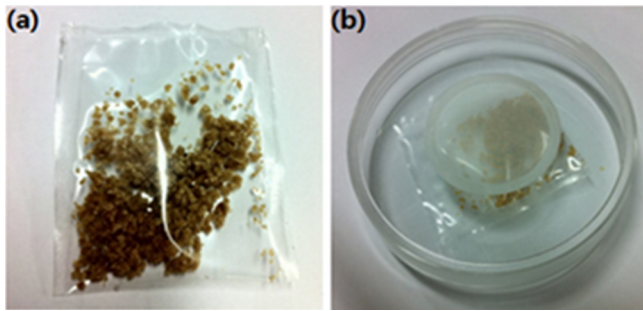


Fig. 1. (a) Film pouch containing feed and (b) Insect breeding petri dish.

포성 PS를 사용하여 용기면이나 계란용기, 접시 그리고 보냉용기로 만들며, 유제품의 용기 포장용으로는 고무성 물질을 포함한 고충격성 PS가 사용된다(10). AF는 가볍고, 내열성 및 내한성이 강하며 차광성, 차단성이 강해 식품을 보관할 때 사용되는데 가공성이 뛰어나 접시나 컵의 형태로도 이용되기도 한다(11).

따라서 본 연구의 목적은 식품포장에 일반적으로 사용되는 다섯 가지 단일유연포장재(single flexible packaging films)의 두께에 따른 화랑곡나방의 침투율(% penetration rate)을 시간의 경과에 따라 관찰하여 해충으로부터 식품을 보호하기 위해 갖추어야 할 최적의 포장필름 두께를 탐색하고자 하였다.

재료 및 방법

화랑곡나방 유충배양

실험에 사용된 해충인 화랑곡나방의 유충은 고려대학교 생명자원연구소 개체군 생태학 연구소에서 분양받아 배양기(incubator)를 사용하여 27-28°C, 상대습도 70-80%를 일정하게 유지하여 배양하였다. 해충의 먹이(feed)는 밀기울(wheat brown) 800 g, 효모 200 g, glycerol 500 mL, methyl p-hydroxybenzoate 2 g, sorbic acid 2 g을 혼합하여 이용하였으며(12), 이렇게 배양된 화랑곡나방의 3령 유충(3rd instar larvae)을 실험에 이용하였다.

유연포장필름 선택

실험에 사용된 포장재는 단일 유연포장필름으로서 식품포장 분야에서 일반적으로 가장 널리 사용되는 품목들을 선택하였으며, 그 종류와 두께는 다음과 같다. (i) PE 필름(35, 40, 70, 80, 90 μm 두께); (ii) PP 필름(20, 30, 40, 50, 60 μm 두께); (iii) PET 필름(12, 16 μm 두께); (iv) PS 필름(30, 60 μm 두께); (v) AF (9, 16, 30 μm 두께). PE 필름은 (주)SR테크노팩(SR Technopack, Cheonan, Korea)에서, 그리고 PP, PET와 PS 필름은 (주)에이유(AU Co., Bucheon, Korea)에서 공급받아 실험에 사용하였다. AF는 시중에서 판매되고 있는 제품(Lotte Aluminum Co., Seoul, Korea)을 구매하여 사용하였다.

침투테스트(penetration test)

각각의 단일 유연포장 필름을 열 접착기(SK-310, Chueng-II Co., Seoul, Korea)를 이용하여 6x5 cm 파우치(pouch)형태로 만든 후 유충 배양에 사용하는 먹이 1 g 넣어 화랑곡나방 유충의 유인제로 준비하였다(10) (Fig. 1a). 유인제가 함유된 필름샘플을 insect breeding petri dish에 넣은 후(Fig. 1b), 화랑곡나방 2령말-3령초 유충을 각각 10마리씩을 넣어 준비하였다. 그 후 유충의 침입에 의해 시료에 생긴 핀홀(pin-hole)의 여부를 일정 시간 별로 72시간

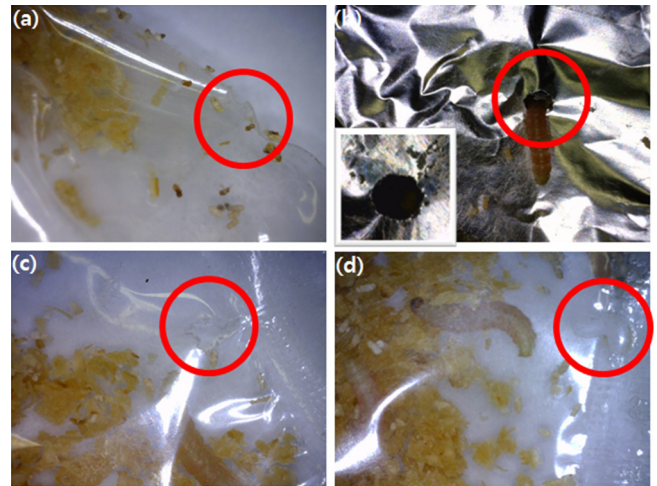


Fig. 2. Images of holes produced by *Plodia interpunctella* larvae in (a) polyethylene 35 μm , (b) aluminum foil 9 μm , (c) polypropylene 20 μm and (d) polyethylene terephthalate 12 μm .

까지 관찰하였다. 실험은 18번 반복하였으며, 화랑곡나방 유충은 28°C 인큐베이터에서 보관하며 실험하였다. 결과는 전체 반복 수에 대하여 침투된 포장재의 수를 침투율(% penetration rate)로 나타냈다.

결과 및 고찰

화랑곡나방 유충에 의한 유연포장 필름의 천공 여부

파우치(pouch) 형태의 유연 포장재는 식품포장의 대표적인 방법 중 한가지로서, 해충 관련 식품사고 예방을 위한 포장소재 탐색에 적합한 포장 방법으로 선택하였다. 실험 결과에 의하면 각각의 유연 포장 필름은 종류에 따라 유충 침투율의 차이를 보였으며, 모든 필름이 그 종류에 상관없이 두께가 얇을수록 24시간 이내에 침투가 되는 것을 관찰 할 수 있었다(Fig. 2). 이는 화랑곡나방 유충의 날카롭고 강력한 턱구조로(3) 합성플라스틱 필름 소재를 뚫는 천공(perforation) 능력을 보여주는 결과로서 실험에 사용된 유연필름의 종류별, 두께별 침투테스트 결과는 아래와 같다.

PE 필름의 경우(Fig. 3), 실험에 사용된 모든 두께에서 처리 12 시간까지 화랑곡나방 유충에 의한 침입 흔적을 발견할 수 없었다. 하지만 12시간 이후부터 35 μm , 40 μm 두께의 필름에서 빠른 속도로 핀홀 발생량이 증가하였고, 특히 40 μm 의 필름의 경우에는 24시간 이후 48시간 이내에 급격히 침투되는 현상을 보였다. 또한 PE 필름은 48시간 이후에서 35 μm 보다 40 μm 이 10% 가량 더 높은 침투율을 보이며 두께 의존적이지 않은 결과를 보였는데, 이는 5 μm 라는 두 샘플간의 미비한 두께 차이가 원인으로 작용한 것으로 사료된다. 70 μm 이상의 두께에서는 화랑곡나방 유충에 의한 PE 필름의 천공이나 침입 흔적을 발견할 수 없었다. 따라서, 화랑곡나방 유충에 의한 천공을 막기 위해서는 70 μm 이상의 두께가 요구된다고 판단된다.

PP 필름은 실험에 사용된 다른 종류의 필름들보다 얇은 두께에서 침투율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다(Fig. 4). PP 20 μm 는 6시간 이내에 40% 가량의 높은 침투율을 보이며, 이후 침투속도가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 또한 모든 반복실험에서 72시간 내 침투율 100%라는 결과를 보여 방충 포장소재로서 상대적으로 취약한 것으로 나타났다. 이에 반해 PP 30 μm 의 경우에는 72시간 이내에 55% 정도의 침투율을 보였으며, 40 μm

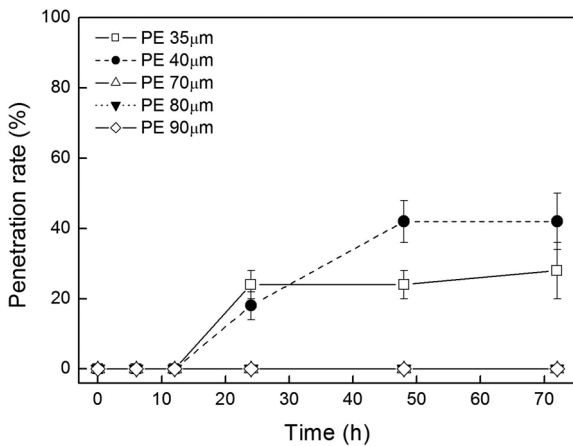


Fig. 3. Penetration profile by Indian meal moth larvae through polyethylene films with various thickness.

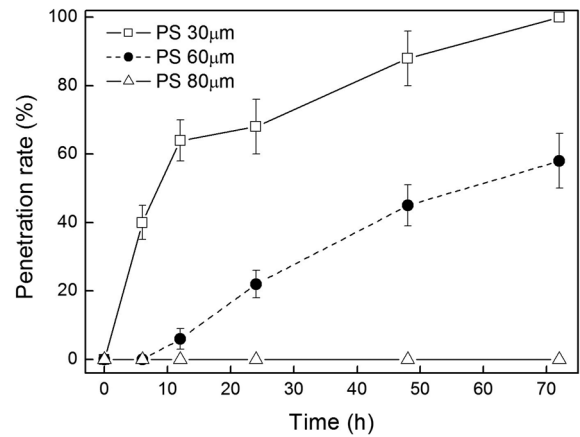


Fig. 5. Penetration profile by Indian meal moth larvae through polystyrene films with various thickness.

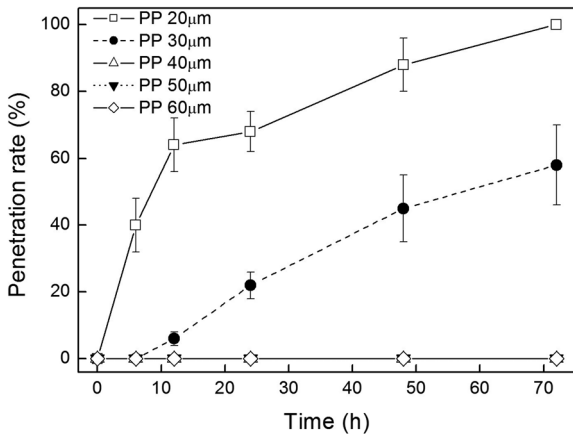


Fig. 4. Penetration profile by Indian meal moth larvae through polypropylene films with various thickness.

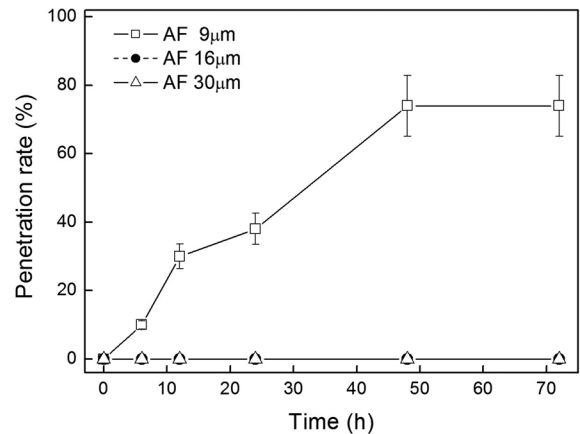


Fig. 6. Penetration profile by Indian meal moth larvae through aluminum foil with various thickness.

이상의 두께에서는 화랑곡나방 유충의 침입이 전혀 일어나지 않아, 이는 본 소재를 식품포장에 사용함에 있어 유충 침입 방지를 위해 필요한 최소한의 두께로 판단된다.

PS의 경우 실험에 사용된 필름 중 30, 60 µm 두 가지 두께에서 24시간 이후 48시간 이내에 침투율이 급격히 증가하는 유사한 경향을 보였으며 다른 종류의 필름과 마찬가지로 두께가 얇은 30 µm 필름에서 20% 정도 더 높은 침투율을 보였으며, 모든 반복실험에서 72시간 내 침투율 100%라는 결과를 보였다(Fig. 5). PS 60 µm는 최종적으로 약 55%의 침투율을 나타내었는데 이와 비슷한 결과를 보인 다른 종류와 두께의 필름들은 PET 12 µm, PP 30 µm, PE 40 µm로서 PS 60 µm보다 훨씬 더 얇아 PS의 두께대비 방충효과가 상당히 취약한 것으로 밝혀졌다. PS 80 µm의 경우 화랑곡나방에 의한 천공이 전혀 발생하지 않았으므로 PS를 포장재로 사용할 경우 최소 80 µm 두께가 요구된다고 판단된다.

AF의 경우 화랑곡나방 유충의 날카롭게 발달된 갈고리 모양의 턱 구조로 인해(13) 금속 소재임에도 불구하고 9 µm의 두께에서 화랑곡나방 유충에 의한 천공이 관찰되었다(Fig. 2b). 이 경우 24시간 이후 48시간 이내에 침투율이 급격히 증가하는 경향을 나타냈으며, 최종적으로 72%의 침투율을 보였다(Fig. 6). 그러나 AF의 두께가 16 µm 이상에서는 화랑곡나방이 침투를 저해하는 결과를 보여 금속 소재인 AF가 플라스틱 소재인 다른 실험군과는

달리 얇은 두께에서도 화랑곡나방의 침입에 비교적 안전한 것으로 보인다. 더욱이 일반적으로 가정에서 사용하는 AF의 경우 16 µm 두께이며, 보통 heavy-duty 표기가 되어있는 AF는 30 µm의 두께인 것으로 볼 때, AF는 화랑곡나방 유충 침입이 어려운 소재라고 볼 수 있다. 반면 천공이 발견된 AF 9 µm 두께의 경우 유충의 침입을 방지하기에는 부적합한 소재이며, 이를 해결하기 위해서는 다른 종이 소재나 플라스틱 필름 등과 접착 또는 증착하여 두께적 한계를 극복해야 한다고 사료된다. 다른 연구 보고에 따르면 9, 15, 20, 25, 30 µm 두께의 AF를 사용하여 화랑곡나방 유충에 의한 천공여부를 실험한 결과, 20 µm 이하의 필름에서는 모두 유충에 의한 침투가 발생한 것으로 관찰되었으며, 두께가 증가할수록 침투 속도가 감소하는 것을 확인하였다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다(6).

PET 필름의 경우 12 µm 두께에서 12시간 이후 24시간 이내에 가장 높은 화랑곡나방 유충의 침투율 변화를 보였으며, 72시간 후 약 62%의 침투율을 보였다. 하지만 이보다 약간 더 두꺼운 16 µm 필름의 경우에는 72시간 내에 16%의 침투율을 보였고, 30 µm에서는 천공이 발생하지 않았다(Fig. 7). PET 필름의 경우 유연 포장재로 사용될 시에는 일반적으로 다른 필름 소재에 비해 얇게 제작되어 적용되기 때문에 유충에 의한 침입이 발생할 가능성이 높은 소재로 판단된다. 하지만 PET 필름은 단층(single layer) 포장으로 사용되기 보다는 다른 합성 플라스틱 필름 등과

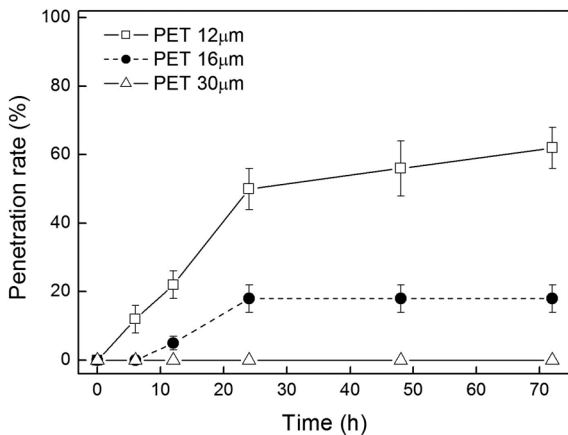


Fig. 7. Penetration profile by Indian meal moth larvae through polyethylene terephthalate films with various thickness.

접착시켜 만드는 다층(multi-layers) 필름의 소재로 쓰이는 것이 일반적이므로 이와 같은 사용은 화랑곡나방 유충의 침투를 효과적으로 방지할 것으로 사료된다. 이와 유사한 다른 연구 결과에서도 실험에 사용된 PET 12, 15 µm 중 두께가 얇은 12 µm에서의 화랑곡나방 유충 침투율이 더 높았다는 연구 결과를 보고한 바 있다(14).

이상의 결과를 통해 필름의 종류에 관계없이 두께가 증가할수록 화랑곡나방 유충의 침투율이 감소하는 것을 확인하였다. 이와 같이 포장의 두께를 두껍게 함으로써 유충의 침입 정도를 효과적으로 제어할 수 있지만 단가(cost) 및 경제적 효율성이 매우 떨어진다는 단점이 생긴다. 따라서 방충효과를 위해 포장의 두께에만 의존하기보다는 경제적인 측면을 고려한 새로운 방충포장 소재의 개발이 절실히 요구된다(15).

또한 본 연구에서는 같은 두께의 필름이라도 종류에 따라 서로 상이한 침투율 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 그 예로 PP 30 µm, PS 30 µm, AF 30 µm, PET 30 µm이 72시간 이내에 최종적으로 각각 55, 100, 0, 0%의 침투율을 나타낸 것들을 들 수 있다. 이는 각 필름의 물리적 성질이 서로 다르기 때문이라고 판단되는데 PE, PET, PP, linear low-density polyethylene (LLDPE) 등의 필름을 두께별로 분류하여 필름의 물리적 성질에 따른 화랑곡나방 유충의 침투 테스트를 한 실험에서 필름의 연신율(elongation)이 증가하고 인장강도(tensile strength)가 감소할수록 방충효과가 증가한다는 연구 결과가 보고된 바 있다(14). 결론적으로 유연포장 필름의 종류에 따른 물리적 특성의 차이가 해충에 의한 필름의 표면 손상 및 천공 여부에 영향을 미친다고 사료된다.

요 약

이 연구에서는 식품포장분야에 사용되는 유연포장재들의 두께에 따른 방충효과를 규명하여 각각의 포장재에서 일정 수준의 방충효과를 나타내기 위한 필름의 최적의 조건을 연구하고자 하였다. 식품용 유연포장재들 중에서도 가장 널리 이용되고 있는 PE, PP, PS, AF, PET를 채택하여 실험을 진행한 결과, 각 포장재들의 두께에 따른 화랑곡나방 유충에 의한 침투율은 전반적으로 필름

의 종류에 관계없이 두께가 얇을수록 포장재 내부로 빠르게 침투하는 경향을 보였다. 특히 PP와 PS의 경우 다른 필름들과는 다르게 각각 20 µm와 30 µm에서 72시간 이내에 100% 침투되는 결과값을 보여 방충포장소재로서의 상대적 취약함을 보였다. 결과적으로 필름의 종류에 상관없이 두께가 증가할수록 화랑곡나방 유충의 침투율이 낮아진다는 것을 보여 주었다. 따라서 식품 내 해충과 같은 동물성 이물의 혼입을 방지하기 위해서는 포장 소재의 종류에 따라 특정 두께 이상을 확보해야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ009793)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Phillips TW, Berberet RC, Cuperus GW. Post-harvest integrated pest management. pp. 2690-2701. In: Encyclopedia of Food Science Technology. John Wiley & Sons (ed). New York, NY, USA (2000)
- Campbell JF, Mullen MA. Distribution and dispersal behavior of *Trogoderma variabile* and *Plodia interpunctella* outside a food processing plant. J. Econ. Entomol. 97: 1455-1464 (2004)
- Paek WH. Pests in stored products. pp. 338-339. In: Agricultural Pestology. Hyangmoonsa, Seoul, Korea (1963)
- Williams GC. The life-history of the indian meal-moth, *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lep. Phycitidae) in a warehouse in Britain and on different foods. Ann. Appl. Biol. 53: 459-475 (1964)
- Singh CB, Jayas DS, Paliwal J, White NDG. Detection of insect-damaged wheat kernels using near-infrared hyperspectral imaging. J. Stored Prod. Res. 45: 151-158 (2009)
- Kim JN. A study on safety management of packaging for anti-insect. Ministry of Food and Drug Safety, Seoul, Korea. pp. 10-12 (2009)
- Noh BS, Kim SS, Chang PS, Lee HK, Kim TJ. Food Preservation. Soohaksa, Seoul, Korea. pp. 248-257 (2008)
- Han HG, Park CY. Functional polymer packaging film. Polym. Sci. Technol. 12: 174-182 (2001)
- Kim DW. Characteristic and types of materials for food packaging. Food Sci. Indus. 23(3): 12-35 (1990)
- Robertson GL. Food Packaging: Principles and Practice. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp. 31-37 (2012)
- Marsh K, Bugusu B. Food packaging-roles, materials, and environmental issue. J. Food Sci. 72: R39-R55 (2007)
- Silhacek DL, Miller GL. Growth and development of the indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Phycitidae), under laboratory massrearing conditions. Ann. Entomol. Soc. Am. 65: 1084-1087 (1972)
- Lee SH, Jo HJ, Lee YJ, Han J. Development of a fennel (*Foeniculum vulgare*) oil-based anti-insect sachet to prevent the Indian meal moth (*Plodia interpunctella*). Korean J. Packag. Sci. Technol. 19: 81-85 (2013)
- Chung SK, Seo JY, Lim JH, Park HH, Kim YT, Song KH, Park SJ, Han SS, Park YS, Han SS, Park YS, Park HJ. Barrier property and penetration traces in packaging films against *Plodia interpunctella* (Hübner) larvae and *Tribolium castaneum* (Herbst) adults. J. Stored Prod. Res. 47: 101-105 (2011)
- Lee YJ, Min SC, Na JH, Han J. Demand for insect-proof packaging technology in food application. Safe Food 6: 24-30 (2011)