

전기를 이용한 호박벌(*Bombus ignitus*)의 산란유도장치 개발

윤형주* · 임채대¹ · 이경용 · 이상범 · 박인균

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 곤충산업과, (주) DK Tech.¹

Development of an Apparatus for the Oviposition Induction of the Bumblebee *Bombus ignitus* Using Electricity

Hyung Joo Yoon*, Chae Dae Lim¹, Kyeong Yong Lee, Sang Beom Lee and In Gyun Park

Department of Agricultural Biology, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-100

¹DK Technology company, Bucheon 420-857, Gyeonggi Province, Republic of Korea

ABSTRACT: Bumblebees are widely used to pollinate crops in greenhouses and fields. Here we firstly developed an apparatus for the oviposition induction of the bumblebee *Bombus ignitus* using electricity. The apparatus consists of boxes for colony initiation, part of temperature control, part of heat transfer, and moving shelf. The result shows that the rates of oviposition and colony foundation in the newly developed apparatus are respectively 3.9% and 5.2% higher than in the existing apparatus using hot water. More importantly, the newly developed apparatus is 75% cheaper in costs and can more save energy than existing apparatus. These results indicate that the newly developed apparatus could serve as an effective apparatus for the oviposition induction of *B. ignitus*.

Key words: Bumblebee, *Bombus ignitus*, oviposition induction, apparatus, electricity.

초 록: 작물의 화분매개를 위해 사용되고 있는 뒤영벌 중 토종 호박벌에 적합한 전기를 이용한 산란유도장치를 본 연구에서 처음으로 개발하였다. 개발된 산란유도장치는 여왕벌의 산란이 이루어지는 산란상자, 산란상자의 온도 유지를 위한 온도 제어장치, 열전도부 및 이를 지탱할 수 있는 이동형 선반 등으로 구성되어 있다. 개발된 산란유도장치와 기존의 온수 보일러 장치를 이용하여 토종 호박벌의 산란성과 봉세발달을 조사한 결과, 개발된 산란유도장치에서 산란율이 3.9% 높고, 봉군형성율도 5.2% 높은 것으로 확인되었다. 특히 개발된 산란유도장치는 기존의 장치보다 설치비용을 75% 줄일 수 있었고, 에너지 절감이 가능하여 유지비용에 있어서도 효과적이었다. 이러한 결과들로 볼 때, 본 연구에서 새롭게 개발된 전기 산란유도장치는 비용절감과 함께 효과적인 산란유도에 따른 호박벌의 대량생산에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

검색어: 뒤영벌, 호박벌, 산란유도장치, 산란율, 봉세발달

뒤영벌은 진동수분형 벌이기 때문에 꿀이 없는 가지과 식물, 특히 토마토, 가지에 효과적이며, 비닐하우스 등 좁은 공간에 대한 적응성이 높은 특징이 있다. 또한 꿀벌에 비하여 저온 및 약천후에 활동성이 높아 방화활동이 우수하며 공격성이 약하기 때문에 시설재배자에게 화분매개에 필요한 노동력을 절감시키고, 질적, 양적으로 우수한 상품을 제공하는 장점을 가지고 있다(Buchmann and Hurley, 1978; Iwasaki, 1995). 뒤영벌은 1987년부터 시설채소 및 과수 등의 화분매개곤충으로 상품화되어 세계 각국에 수출되고

있으며, 2006년에는 전 세계의 뒤영벌 생산량이 100만 상자 이상으로 추정되고 있다(de Ruijter, 1997; Free, 1993; Masahiro, 2000; Velthuis and Doorn, 2006). 현재 전 세계에서 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)은 약 85%로 가장 많이 사용되고 있지만, 북유럽에서 중동에 걸쳐서 5 아종이 분류되어지고 있고 증식과정 내에서도 교잡이 쉽게 일어날 수도 있다(de Ruijter, 1997). 유럽 국가들은 서양뒤영벌(*B. terrestris*)을 재래종으로 사용하고 있지만, 서양뒤영벌(*B. terrestris*)과 다른 생태형의 혼용, 유전자 오염, 종간 생존경쟁에서 토종 뒤영벌이 도태될 위험성 등 문제가 제기되고 있다(Dafni and Shimida, 1996; Ono, 1997; Goka, 1998; Washitani, 1998; Hingston *et al.*, 2002, Yoon *et al.*, 2009a).

*Corresponding author: yoonhj1023@korea.kr
Received February 8 2010; revised March 16 2010;
accepted March 15 2010

이에 여러 나라에서는 자국의 토종벌 보호차원에서 토종 뒤영벌이 개발, 육종되고 있다. 일부지역에는 일찍부터 토착재래종의 실용화가 진행되어 카나리아 제도에서는 *B. canariensis*를, 북유럽에서 동해안측은 *B. impatiens*, 서해안측은 *B. occidentalis*를 이용하고 있다(Velthuis and Doorn, 2006). 일본에서는 농림수산성 신산업선단기술개발사업의 하나로 재래종인 *B. hypocrita*와 *B. ignitus*의 실용화에 관한 연구가 행해지고 있다. 현재 일본에서 서양뒤영벌은 2006년부터 특정외래생물로 지정되어 수입이 금지되어 Biobest사와 일본자회사인 Tokaibussan에서는 일본의 재래종인 호박벌을 하니톤이라는 상표명으로, 또한 Koppo사와 일본자회사인 Arist life에서는 나투벌로서 판매하고 있다(Yoon et al., 2009b). 현재 우리나라에서는 토종뒤영벌중 봉군형성이 우수한 호박벌(*B. ignitus*)을 선정하여 이에 대한 대량 인공사육, 우량종 선발 및 인공수정법 등이 연구되고 있다(Yoon et al., 1999; Yoon and Kim, 2002; Yoon et al., 2002, 2007).

선발된 호박벌을 화분매개곤충으로서 실용화하기 위해서는 산란율을 높이고 첫산란소요일수를 단축시키며, 농가에 판매할 수 있는 단계인 봉군형성율을 높여야 한다. 여왕벌을 조기 산란시키기 위한 방법으로 3-4마리의 갓 우화한 서양종 꿀벌(*Apis mellifera* L.) 일벌 또는 같은 종이나 다른 종의 일벌 등을 산란촉진자로 투입하면 여왕벌에 내분비적인 변화를 일으켜 산란이 촉진된다고 보고 바 있다(Ptacek, 1991; van den Eijnde et al., 1991; Ono et al., 1994). Duchateau (1991)는 첫배에서 창설여왕벌의 실패가 봉세발달에 큰 영향을 미친다고 보고하였으며, Yoon et al.(2004)은 첫산란소요일수가 짧을수록 봉군형성을 및 신여왕벌출현율 등 봉세 발달이 우수하다고 보고하였다. 이와 같이 토종 호박벌을 실용화시키기 위해서는 무엇보다도 산란율을 높이고, 첫산란소요일수를 단축시키는 사육기술뿐만 아니라, 일찍 산란을 시킬 수 있는 대량 산란장치의 개발이 요구되어진다. 따라서 본 연구에서는 호박벌의 산란율과 봉군형성율을 높이기 위해서 토종 호박벌에 맞는 산란유도장치를 개발하고자 하였다.

재료 및 방법

호박벌의 산란상자 및 설탕물통

산란상자는 산란이 유도되는 여왕 호박벌이 놓여져 사육되는 장소로서 내부공간이 온도제어장치에 의해 최적의

사육온도로 유지되는 상자본체, 상자본체의 전면에 개폐 가능하게 조립, 설치되는 전면도어, 본체 내 설탕물 공급 및 분비물이 배설되는 기능을 하는 그릴, 여왕 호박벌의 산란이 유도되는 장소로서 온도제어장치에 의해 최적의 산란온도로 유지되는 산란접시로 구성되었고, 여왕 호박벌의 먹이가 되는 설탕물을 제공하는 설탕물통도 포함하여 만들었다(Fig. 1, A, B and C).

산란상자의 온도를 제어, 유지시켜주는 전기를 이용한 온도제어 장치

전기를 이용한 산란유도장치의 온도제어장치는 자동온도조절기, 산란상자의 온도 제어 및 유지를 위한 발열온도를 검출하는 온도센서, 전원을 인가받아 발열 작동하는 전열선 및 전열선으로부터 전달되는 열을 산란상자에 전달하는 열공급돌기, 열공급전도체, 보온단열재 등으로 된 열전도부로 구성하여 제작하였다(Fig. 2, A, B and C).

사육상자 지지대 및 바퀴로 구성된 이동형 선반

이동형 선반은 사육상자 지지대와 이동용 바퀴로 구성되는데, 지지대는 수직으로 설치된 프레임에 받침대를 수평으로 고정 설치한 선반 형태로 제작되어, 받침대들이 상하로 적층 설치되어 다단 적재가 가능한 구조로 구성되었다. 또한 지지대의 하단에는 이동용 바퀴가 구비되어 이동 가능하도록 제작하였다.

개발된 전기식 산란유도장치에서의 토종 호박벌의 봉세발달

실험곤충은 국립농업과학원 농업생물부 곤충산업과 화분매개곤충연구실에서 실내 계대사육한 2세대 여왕 호박벌(*B. ignitus*)을 탄산가스 처리(Yoon et al., 2003)하여 사용하였다. 실험곤충 사육은 Yoon et al.(2002)의 방법에 준하되, 먹이로는 40%의 설탕물과 화분단자를 공급하였다. 화분단자는 양봉장에서 채취한 신선 화분을 0.2% sorbic acid가 첨가된 40%의 설탕물로 혼합하여 소세지 형태로 만든 다음 필요할 때마다 잘라서 먹이로 공급하였다. 시험구는 새로 개발된 전기를 이용한 산란유도장치구와 기존의 온수보일러 장치(Yoon et al., 2006)구로 나누어 시험구당 30마리의 여왕벌을 3반복으로 사용하였다.

새로 개발된 산란유도장치의 효과를 검증하기 위하여, 산란율, 첫산란소요일수, 봉군형성율 등 호박벌에 대한 봉

세발달을 조사하였다. 사육과 동시에 여왕벌의 산란촉진을 위하여 호박벌 일벌 2마리를 산란상자 안에 투입하였다 (Yoon and Kim, 2002). 사육시작 후 40일 이내에 산란하지 않는 개체는 산란율에서 제외시켰고, 첫산란소요일수는 여왕벌을 사육하기 시작하여 처음으로 산란한 날짜를 기준으로 계산하였다. 봉군형성율은 일벌이 50마리 이상 출현한 구의 비율로 계산하였다.

본 실험의 통계분석을 위하여 One-way ANOVA Tukey's pairwise comparison test (MINITAB Release 13 for Windows, Minitab Inc. 2000)를 사용하였다.

결과 및 고찰

토종 호박벌의 산란이 이루어지는 산란상자 및 설탕물통

산란상자의 본체(Fig. 1, Aa, B and C)는 직육면체의 상자 형상으로 제작하는데, 플라스틱 또는 투명 아크릴 및 나무로도 제작이 가능하다. 플라스틱 또는 투명 아크릴로 상자본체를 만들 경우에는, 상자본체의 좌우 양 측면과 후면에는 여왕 호박벌의 최적 산란조건을 위하여 환기구멍(Fig. 1, Ab)을 형성함으로써, 산란상자 내에 습기 등이 차서 병이 발생하는 것을 예방할 수 있도록 하였다. 산란상자의 크기는 가로 7 ~ 8 cm, 세로 7 ~ 8 cm, 길이 10 ~ 11 cm 정도로 할 수 있으나, 적절히 변동이 가능하다. 산란상자의 전면도어(Fig. 1, Ac, B and C)는 뒤영벌의 활동을 쉽게 관찰할 수 있도록 투명 아크릴 등으로 제작한다.

상자본체의 바닥에는 설탕물통으로부터 공급되는 설탕물이 아래에서 흡수될 수 있도록 다수의 슬릿을 형성하여

구성한 그릴(Fig. 1, Ad, B and C)이 구비된다. 산란상자의 바닥에 형성된 그릴은 설탕물통으로부터 공급되는 설탕물이 유입되는 부분이기도 하면서 산란상자 내 여왕 호박벌의 분비물이 배출되는 배출구의 역할을 하기도 한다.

여왕벌이 산란하는 부분인 산란접시(Fig. 1, Ae, B and C)는 움푹 들어간 형태의 사각 접시 형상으로 제작하여, 상자본체의 바닥에 형성된 홈에 쉽게 탈부착이 가능하도록 조립, 설치하였다. 또한 산란접시의 바닥면 중앙에는 위쪽 방향으로 돌출 형성된 산란유도돌기(Fig. 1, Af, B and C)를 만드는데, 이 산란유도돌기는 하단부가 개구되고 내부가 비어있는 형태로 만든다. 산란접시의 산란유도돌기는 뒤에 언급되는 온도제어장치의 열전도부와 결합되어, 열전도부로부터 공급되는 열에 의해 산란유도돌기와 산란접시가 정해진 온도, 즉 여왕 호박벌이 더 빨리 산란할 수 있도록 하는 최적의 산란온도인 약 32 ~ 35°C로 유지하게 하였다. Heinrich(1979)는 뒤영벌은 산란 및 비행 등을 할 경우 자신의 체온을 32 ~ 35°C로 유지한다고 보고하였으며, Yoon et al.(2006)은 사육실 온도를 27°C, 산란부분의 온도를 32°C로 맞추어 줌으로서 뒤영벌의 산란을 더 빨리 촉진시킨다고 보고하였다.

뒤영벌의 먹이가 되는 설탕물을 담은 설탕물통(Fig. 1, Ag, B and C)은 이전에는 산란상자 뒤쪽에 설치하였으나 (Yoon et al., 2006), 설탕물이 흘러나오는 단점을 보완하기 위해서 산란상자의 아래쪽에 구비되도록 하였다. 이렇게 아래쪽으로 구비함으로써 모세관 현상을 이용하여 섬유 직조물을 타고 올라온 적정량의 설탕물이 산란상자 아래쪽에서 바닥의 그릴을 통해 산란상자 내에 공급되도록 함으로써, 산란상자 내부를 깨끗한 상태로 유지할 수 있게 되었다.

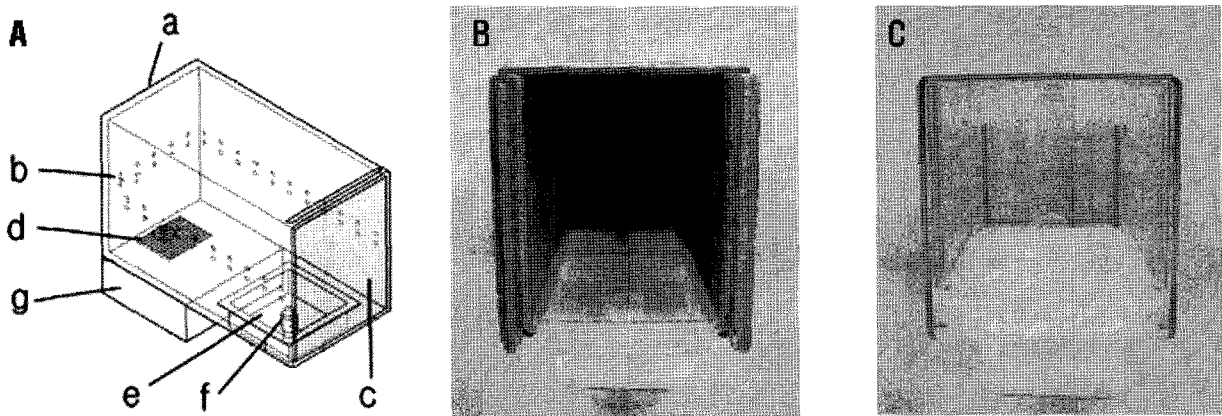


Fig. 1. The box for colony initiation. A, Diagram of colony initiation box. (a), main body; (b), hole; (c), front door; (d), grill; (e), dish for oviposition; (f), prominence for oviposition induction; (g), sugar water box. B and C, Photograph of colony initiation box made by wood (B) or plastic (C).

산란상자의 온도를 제어 및 유지시켜주는 온도제어 장치

자동온도조절기(Fig. 2, Aa and B)는 외부 전원을 공급받아 이를 전열선에 공급함으로써 전열선이 발열 작동하도록 하는 구성부로서, 열이 최종 전달되는 산란상자 내부의 산란 유도돌기 및 산란접시의 온도를 일정 온도로 제어하는 구성부이다. 자동온도조절기의 외부는 온도설정버튼과 설정한 온도를 표시하는 표시부를 구비하였고, 내부는 온도센서의 검출 값을 기초로 하여 전열선의 작동을 제어하기 위한 제어신호를 출력하는 제어부와 제어부가 출력하는 제어신호에 따라 전원을 전열선에 인가 또는 차단하기 위한 스위칭부를 포함하여 구성되어졌다.

온도센서(Fig. 2, Ab and B)는 산란상자에 열을 제공하는 구성부의 온도를 검출하기 위한 것으로, 산란상자의 내부 온도, 산란유도돌기 및 산란접시의 온도를 정확히 맞춰주기 위한 제어에 사용되는 것이다. 본 발명의 산란유도장치에서 온도센서는 전열선에 설치되거나 열전도부의 열공급전도체에 설치될 수도 있다. 온도센서는 각 산란상자의 산란유도돌기 및 산란접시의 온도를 피드백 제어하기 위한 온도검출 수단이므로 각 산란상자마다 설치되는 것이 가장 좋으나, 센서 비용 등을 고려하여 온도센서를 산란상자의 산란유도돌기 및 산란접시에 열을 공급하는 전열선 또는 열공급전도체에 설치한 뒤, 그로부터 검출되는 온도를 기초로 하여 자동온도조절기가 산란상자의 온도, 즉 산란유도돌기 및 산란접시의 온도를 일정하게 제어하도록 하는 것이 가능하다.

전열선(Fig. 2, Ac and B)은 자동온도조절기로부터 인가되는 전원으로 발열 작동하도록 구비되는 것으로, 열전도부에 열을 제공할 수 있도록 연결된다. 전열선은 전원 인가 시 열을 낼 수 있는 재료로 제작되며, 그 재료는 특별하게 한정하지 않으나, 예를 들면, 일반적으로 사용되는 정온전선이나 전기절연재로 피복된 히터선이 사용될 수 있고, 또한 필라멘트, 탄소, 텅스텐, 세라믹 등으로 제작되어 전기절연

재로 피복된 열선의 사용이 가능하다.

한편, 열전도부(Fig. 2, A and C)는 전열선에 연결되어 전열선으로부터 열을 직접 전달받게 되는 부분인 열공급전도체, 열공급전도체를 둘러싸도록 설치되는 보온단열재 및 열공급전도체에 일체로 연결 설치되어 산란상자에 열전달이 가능하도록 결합되는 열공급돌기를 포함하여 제작되었다. 열공급전도체(Fig. 2, Ad and C)는 보온단열재로 밀봉되어 설치되며, 열공급전도체는 두께 5 mm, 넓이 20 mm의 형상으로 소정 길이를 갖는 막대기 형상으로 제작될 수 있으며, 두께와 넓이, 길이 등 실제 치수는 적절히 변동이 가능하다. 또한 열공급전도체의 소재로는 열전도율이 높은 알루미늄, 황동, 신주, 구리, 청동, 철 등이 사용될 수 있으며, 열전도율이 높고 쉽게 식지 않기 때문에 전기가 공급될 때와 차단될 때의 온도 편차를 줄일 수 있다.

열공급돌기(Fig. 2, Ae and C)는 열공급전도체에 일체로 설치되는 것으로서, 열공급전도체의 주변을 둘러싸는 보온단열재의 외부로 노출되도록 상방 수직으로 돌출시켜 설치한다. 열공급전도체는 받침대 위에 길게 설치되어 전열선으로부터 전달되는 열을 일체로 설치된 각 열공급돌기를 통하여 이에 결합된 각 산란상자에 공급하게 되며, 열공급돌기는 열공급전도체에 그 길이방향으로 따라 일정 간격으로 배치되도록 설치된다(Fig. 2, A and C). 열공급돌기는 여왕 호박벌이 산란에만 전념할 수 있도록 열공급전도체에 의해 공급되는 열로 최적의 산란온도로 유지하는 바, 산란유도돌기, 산란접시와 함께 여왕 호박벌이 더욱 빨리 산란하도록 유도하는 역할을 한다. 열공급돌기는 직경 13 mm, 길이 10 ~ 30 mm로 형성될 수 있으며, 이 치수는 산란상자의 크기에 따라 적절히 변동이 가능하다. 또한 열공급전도체에 용접하여 고정될 수 있으며, 이때 소재로는 열공급전도체와 동일한 재질이 사용될 수 있다. 한편, 전열선에 의해 설정된 온도만큼 발생한 열이 열공급전도체에서 유지될 수 있도록 열공급전도체를 둘러싸는 보온단열재를 설치하고, 보온단열재 위

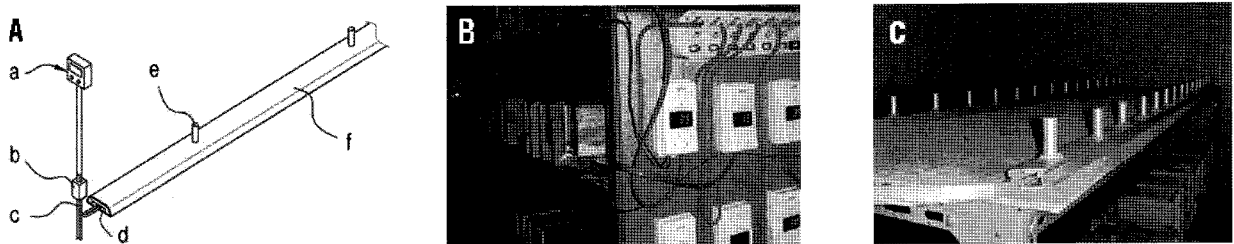


Fig. 2. The apparatus for temperature control. A, Diagram of the apparatus for temperature control. (a), automatic temperature control; (b), temperature sense; (c), wire; (d), conductor for heat transfer; (e), prominence for supplying heat; (f), cover. B, Photograph of the apparatus for automatic temperature control. C, Photograph of the apparatus for heat transfer.

에는 열공급돌기가 노출되도록 별도의 커버(Fig. 2, Af and C)를 덮어 고정하도록 제작하였다.

사육상자 지지대 및 이동용 바퀴

사육상자 지지대는 수직으로 설치된 프레임에 수평의 받침대를 고정 설치한 선반 형태로 제작될 수 있는데, 이때 여러 개의 받침대를 일정 간격의 높이로 상하로 적층 설치하여 다단 적재가 가능한 구조로 제작한다. 지지대는 가격이 저렴한 앵글(캐스트)로 제작될 수 있는데, 그 밖에 금속이나 플라스틱 등 다양한 재료를 사용하여 제작하는 것이 가능하며, 크기는 산란상자와 열공급돌기의 개수에 따라 조절이 가능하다(Fig. 3, A and B).

또한 지지대 4 모퉁이의 각 수직 프레임의 하단에 이동용 바퀴를 장착하여 지지대 전체를 이동시킬 수 있도록 하여, 호박벌의 먹이를 공급하거나 사육 관리할 때 지지대 전체를 쉽게 이동시킬 수 있도록 함으로써, 사육실의 공간을 보다 유용하게 활용할 수 있도록 한다(Fig. 3, A). 위의 지지대에

는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 온도제어장치의 자동온도조절기가 설치되고, 각 받침대 위에는 열전도부가 길이방향을 따라 길게 설치되며, 열전도부에는 그 길이방향을 따라 소정 간격으로 여러 개의 산란상자들이 열전달이 가능하도록 결합되어 배치한다.

개발된 전기식 산란유도장치에서의 토종호박벌의 봉세발달

새로 개발된 전기식 산란유도장치와 기존의 온수식 산란유도장치를 이용하여(Fig. 4, A and B), 호박벌의 산란성과 봉세발달을 비교 조사한 결과를 Table 1에 나타내었다. 산란성의 경우, 새로 개발된 산란유도장치를 이용한 구의 산란율이 79.2%로 기존의 산란장치보다 산란율이 3.9% 높았으며, 첫산란소요일수도 약 1일 정도 빠른 것으로 나타났으나 통계적 유의성은 없었다(Tukey's pairwise comparison test: 산란율, $F=0.54$, $df=1, 48$, $p=0.504$; 첫산란소요일수 $F=0.18$, $df=1, 4$, $p=0.669$). 뒤영벌을 화분매개용으로 판매할 수

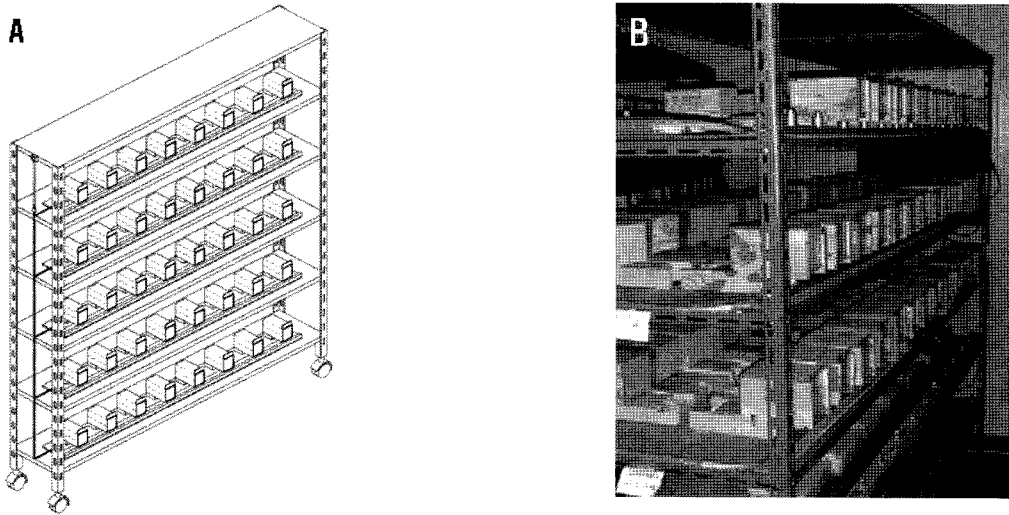


Fig. 3. Diagram (A) and photograph (B) of the apparatus for the oviposition induction of *B. ignitus* using electricity.

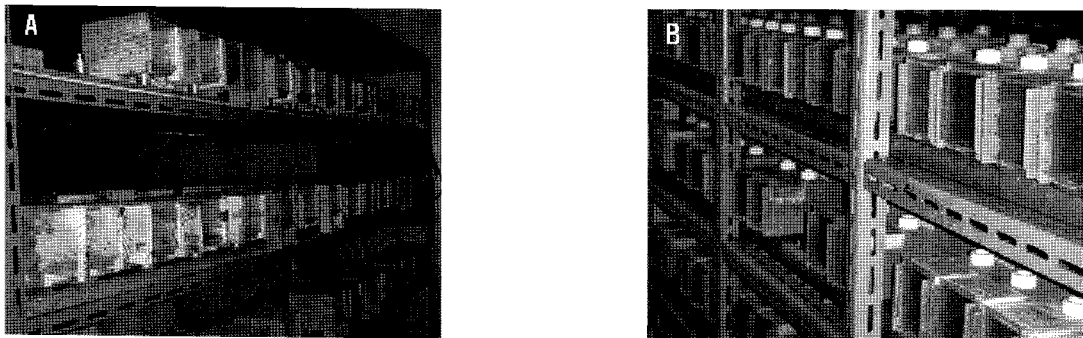


Fig. 4. Apparatuses for the oviposition induction of *B. ignitus* using electricity (A) or hot water (B).

Table 1. Comparison of colony development between the newly developed apparatus and existing apparatus

	Rate of oviposition (%)	Period of preoviposition (days)	Rate of colony foundation (%)
Developed apparatus	79.2±5.5	8.2±3.9	23.5±3.3
Existing apparatus	75.3±7.2	8.9±7.4	18.3±2.2

¹⁾Ninety queens were allotted for each experimental regime.

²⁾There was no significant difference in colony development at $p < 0.05$ by Tukey's pairwise comparison test

Table 2. Comparison of costs between the newly developed apparatus and existing apparatus

	Developed apparatus (1,000 won)	Existing apparatus (1,000 won)
Temperature control apparatus	1,074	2,560
Heat transfer apparatus etc.	1,684	15,400
Shelves etc.	2,600	2,600
Total	5,358	20,560

¹⁾The costs were calculated as 2,000 boxes for colony initiation.

있는 시점의 봉군형성율도 5.2%나 높은 것으로 확인되었으나, 이 역시 통계적 유의성은 없었다($F=5.10$, $df=1, 4$, $p=0.087$). 비록 통계적 유의성은 인정되지 않았지만 산란율, 첫산란소요일수 및 봉군형성율 등 봉세발달이 기존의 온수식보다 다소 우수함을 알 수 있었다. 이처럼 봉세발달에서 새로 개발된 산란유도장치가 기존의 장치보다 우수한 것은 자동온도조절로 열공급돌기의 온도를 편차가 거의 없이 32°C로 조절할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다. 새로 개발된 장치의 경우, 전기에 의한 자동온도조절로 열공급돌기의 온도의 편차가 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 인데 반하여 온수보일러 시스템인 기존의 장치는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 로서 온도편차가 10배 이상 차이가 났다(date not shown).

더욱이 가격적인 면에서 비교해보면, 온수식의 경우, 전문가에 의한 보일러 설치 및 펌프탱크, 난방 파이프 등의 사용으로 2,000개 산란용상자를 기준으로 제작할 경우 20,560천원이 들지만, 새로 개발된 전기 산란유도장치는 5,358천원으로 기존의 장치보다 비용을 약 75%나 줄일 수 있었다(Table 2). 또한 기존의 온수식에 비해 에너지 절감이 가능하여 유지비용을 매우 줄일 수 있는 효과를 가질 수 있을 뿐만 아니라, 보일러나 난방파이프와 같은 고정형 설비가 사용되지 않고 장치 전체를 이동식으로 구성함으로써, 먹이를 공급하거나 필요한 경우 이동이 가능하여 관리의 편의성 및 공간 활용성을 증대시킬 수 있는 장점이 가질 수 있었다(Fig. 3, A and B).

결론적으로 본 연구를 통해 개발된 전기를 이용한 산란유도장치는 토종 호박벌에 맞는 최적의 산란환경을 제공함으로써, 산란성 및 봉군형성율 등 봉세가 향상되었을 뿐만

아니라 산란유도장치의 가격을 약 75%까지 절감시키고, 유지비용도 상당히 줄일 수 있었다. 따라서 새로 개발된 토종호박벌의 산란유도장치는 호박벌의 산란을 유도하는데 매우 효율적인 장치일 뿐만 아니라 토종호박벌의 대량생산으로 상업화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Literature Cited

- Buchmann, St. L. and J.P. Hurlley. 1978. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. *J. Theor. Biol.* 72: 639-657.
- Dafni, A. and A. Shimida. 1996. The possible ecological implications the invasion of *Bombus terrestris* (L.) (Apidae) at Mt Carmel, in *The conservation of bees*. Matheson A.C. (ed.), pp. 183-200, The Linnean Society of London and The International Bee Research Association, London, UK.
- de Ruijter, A. 1997. Commercial bumblebee rearing and its implications. *Proc, 7th Int. Symp. Pollination, Acat Hort.* 437: 261-269.
- Duchateau, M.J. 1991. Regulation of colony development in bumblebees *Bombus terrestris*. *J. Entol.* 7: 141-151.
- Free, J.B. 1993. *Insect pollination of crops*. 2nd (ed.), 684pp. Academic Press, London.
- Goka, K. 1998. Influences of invasive species on native species: Will the European bumblebee, *Bombus terrestris* bring genetic pollution into the Japanese native species? *Bull. Biogeogr. Soc. Jap.* 53: 91-101.
- Heinrich, B. 1979. *Bumblebee economics*. Harvard University Press, Cambridge, USA.
- Hingston, A.B., J. Marsden-Smedley, D.A. Driscoll, S. Corvett, J. Fenton, R. Aanderson, C. Plowman, F. Mowling, M. Jenkin, K. Matsui, K.J. Bonham, M. Iowski, P.B. McQuillan, B. Yaxley, T. Reid, D. Storey, L. Poole, S.A. Mallick, N. Fitzgerald, J.B. Kirkpatrick, J. Febey, A.G. Harwood, K.F. Michaels, M.J.

- Russell, P.G. Black, L. Emmerson, M. Visoiu, J. Morgan, S. Breen, S.S. Gates, M.N. Bantich and J.M. Desmarchelier. 2002. Extent of invasion of Tasmanian native vegetation by the exotic bumblebee *Bombus terrestris*(Apidea: Apidae). *Aust. J. Ecol.* 27: 162-172.
- Iwasaki, M. 1995. Introduction of commercial bumblebees into Japan. *Honeybee Sci.* 16: 17-21.
- Masahiro, M. 2000. Pollination of crops with bumblebee colonies in Japan. *Honeybee Sci.* 21: 17-25.
- Minitab Incorporated Company 2000. Minitab user's guide., Minitab Inc., USA.
- Ono, T., M. Mitsuhashi and M. Sasaki. 1994. Use of introduced *Bombus terrestris* worker helpers for rapid development of Japanese *B. hypocrita* colonies (Hymenoptera; Apidae). *Appl. Entomol. Zool.* 29: 413-419.
- Ono, M. 1997. Ecological implications of introduced *Bombus terrestris*, significance of domestication of Japanese native bumblebees(*Bombus spp.*). Proceedings of International Workshop on Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms held in National Institute of Agro-Environmental Sciences, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tsukuba, Japan pp. 242-252.
- Ptacek, V. 1991. Trials to rear bumblebees. *Acta Hort.* 288: 144-148.
- Van den Eijnde, J.A., de Ruijter and J. van der Steen. 1991. Method for rearing *Bombus terrestris* continuously and the production of bumblebee colonies for pollination purposes. *Acta Hort.* 288: 154-158.
- Velthuis, H.H.W. and A. van Doorn. 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie* 37: 421-451.
- Washitani, I. 1998. Conservation-ecological issues of the recent invasion of *Bombus terrestris* into Japan. *Jap. J. Ecol.* 48: 73-78.
- Yoon, H.J., Y.I. Mah, M.Y. Lee, I.G. Park and M. Bilinski. 1999. Ecological characteristics of *Bombus ignitus* Smith in Kor. *J. Appl. Entomol.* 38: 101-107.
- Yoon, H.J. and S.E. Kim. 2002. Facilitation effects of helpers on oviposition and colony development of the bumblebee queen, *Bombus ignitus*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 41: 239-245.
- Yoon, H.J., S.E. Kim and Y.S. Kim. 2002. Temperature and humidity for colony development of the indoor-reared bumblebee, *Bombus ignitus*. *Appl. Entomol. Zool.* 37: 419-423.
- Yoon, H.J., S.E. Kim, S.B. Lee and I.G. Park. 2003. Effect of CO₂-treatment on oviposition and colony development of the bumblebee, *Bombus ignitus*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 42: 139-144.
- Yoon, H.J., S.E. Kim, Y.S. Kim and S.B. Lee. 2004. Colony developmental characteristics of the bumblebee queen, *Bombus ignitus* by the first oviposition day. *Int. J. Indust. Entomol.* 8: 139-143.
- Yoon, H.J., S.E. Kim, S.B. Lee and S.H. Han. 2006. The effect of two temperature system on egg-laying characteristics of the bumblebee, *Bombus ignitus*. *Kor. J. Apiculture* 21: 61-64.
- Yoon, H.J., Y.H. Cho and B. Baer. 2007. Development of the artificial insemination instrument of bumblebee queens. *Kor. J. Appl. Entomol.* 46: 123-129.
- Yoon, H.J., S.Y. Kim, K.Y. Lee, S.B. Lee, I.G. Park and I. Kim. 2009a. Interspecific hybridization of the bumblebee, *Bombus ignitus* and *B. terrestris*. *Int. J. Indust. Entomol.* 18: 45-52.
- Yoon, H.J., I.G. Park, S.B. Lee, K.Y. Lee, M.A. Kim and Y.C. Choi. 2009b. Bumblebee rearing technology for crop pollination, RDA, Korea pp. 99-113.