https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.04.060

열화상카메라를 이용한 유시아강 곤충 꿀벌과 나비의 피부온도 측정과 이를 활용한 생체 활동 특성에 대한 실험 연구

Experimental Study on Biological Activity Analysis through Measuring Skin Temperature of Honeybee and Butterfly using Thermographic Camera

김정배
한국교통대학교 자동차공학과

Jeongbae Kim(jeongbae_kim@ut.ac.kr)

요약

우리 주변에는 다양한 곤충들이 서식하고 있다. 요즘 가정에서 취미로 곤충을 키우거나, 약용 곤충을 산업적 이용을 위해 대량으로 사육하고 있기도 하다. 그리고 곤충들의 다양한 생육 특성을 이해하기 위한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 주로 실험실에서 환경요인을 변화시켜 생육 특성만의 변화를 실험한 연구들이다. 그러나 곤충의 경우에는 피부온도나 체온을 측정하는 것은 쉽지 않다. 특히, 날개를 가진 곤충들의 체온 혹은 피부온도에 대한 실험 결과가 매우 부족하다. 본 연구에서는 자연상태로 서식하고 있는 벌(꿀벌)과 나비(남방부전나비)에 대하여 정지시와 비행시 등의 생체활동 조건에서 곤충들의 피부 온도를 비접촉식 온도 측정 방법인 열화상카메라를 이용하여 촬영 측정하였다. 실험으로 얻어진 결과를 정량적인 분석을 통하여 곤충별 피부온도와 생체 활동 특성의 관계를 규명하였다. 꿀벌은 비행, 꿀 채취, 그리고 자리 이동이라는 세 가지 중요 활동별로 다른 피부온도를 유지하고 있음을, 나비는 나방의 특성과 유사하게 비행을 위한 워밍업 단계를 실행함을 확인하였다.

■ 중심어 : | 꿀벌 | 나비 | 피부온도 | 생체활동 | 열화상카메라 |

Abstract

Various insects live around us. Nowadays, insects are raised as a hobby at home or medicinal insects are bred in large quantities for commercial purposes. In addition, various studies have been conducted to understand the various growth characteristics of insects. In the laboratory, environmental factors were changed to do that, but only the growth characteristics could be analyzed. However, it is almost not easy to measure the skin temperature or body temperature basically needed to reveal the growth characteristics in the case of insects. In particular, the results of experiments on the skin temperature of winged insects are very insufficient. In this study, the skin temperature of insects was photographed and measured for bees and butterflies living in natural conditions under various biological activity conditions such as at rest and during flight using a thermal imaging camera, a non-contact temperature measurement method. Through quantitative analysis of the experimental results, the relationship between the biological activity characteristics of each insect and the skin temperature resulting from such biological activity was investigated. In addition, it was confirmed that honeybees maintained different skin temperatures for three important activities, such as flying, honey collection, and relocation, and that the butterflies performed a warm-up stage for flight similar to the characteristics of moths.

■ keyword : | Honeybee | Butterfly | Skin Temperature | Biological Activity | Thermographic Camera |

접수일자 : 2020년 11월 05일
수정일자 : 2020년 11월 25일
심사완료일 : 2020년 11월 25일
교신저자 : 김정배, e-mail : jeongbae_kim@ut.ac.kr

I. 서 론

최근 코로나 바이러스의 대유행으로 우리의 일상생활에서 체온 측정이 아주 흔해지고 있다. 특히, 공학적인 활용에 집중되어 있던 열화상카메라를 주변에서 아주 쉽게 발견하게 되었다.

열화상카메라는 온도 측정방법 중에서 비접촉식 방법으로 알려져 있다. 0 K 보다 높은 모든 물체들은 표면 방사율에 해당하는 적외선을 방출하는데, 열화상카메라는 표면에서 방사되는 적외선 복사에너지량을 영상으로 촬영하고 그 크기를 온도로 표시한다. 다만, 측정자는 측정하고자 하는 표면의 방사율을 미리 알고 있어야 한다. 표면 방사율이 다른 물질들이 동일한 온도 상태에 있을 때, 고유의 방사율을 입력하지 않고 측정하면 촬영된 이미지에서는 전혀 다른 온도를 표시할 것이기 때문이다. 따라서 측정 원리상 반드시 거리에 따른 그리고 주변의 태양 복사량에 따른 보정 혹은 정확도 평가가 반드시 사전에 이루어져야 한다.

이러한 열화상카메라를 이용한 온도 측정 방법을 이용하여 다양한 실험 대상에 대한 연구가 진행되어 오고 있다. 검도와 택견의 동작에 따른 피부온도 변화를 열화상카메라를 이용하여 촬영하고, 동작별 그리고 준비운동 전후에 따른 피부온도 변화를 정량적으로 평가하였다[1][2]. 열화상이미지를 이용하여 식물이 다양한 액체 속에서 어떻게 성장하는지를 실험적으로 규명하였다[3]. 젖소의 피부온도를 촬영한 열화상이미지들로부터 측정하고, 생체 상황을 명확하게 제시할 수 있는 표지온도의 위치를 제시하였다[4]. 열화상카메라로 야구 투구 동작시 사용하는 근육 주변의 피부온도와 운동량과의 연관성 분석이 가능함을 확인하였다[5]. 또한, 열화상카메라를 이용하여 눈물막의 건조 상태를 정량적으로 평가하기 위한 방법을 개발 제시하기도 하였다[6].

최근 곤충 사육이 식약용 산업과 연결되면서 2018년 말 기준 통계에 따르면 곤충 사육 농가와 법인이 총 2318개에 이르고 있다고 한다[7]. 이처럼 곤충에 대한 관심이 높아지고 있음에도, 곤충에 대한 생태 연구는 거의 대부분 실험실에서 환경요인(주로 온도와 습도)의 변화에 따른 생육 특성의 분석에만 집중하고 있는 실정이다[8][9]. 특히, 곤충의 체온 측정은 곤충을 실험실 내부에서 온도 측정을 위한 열전대를 직접 몸에 삽입하는 방법으로 측정하고 있다.

이러한 방법의 한계로 자연환경 하에서의 곤충의 다양한 생체활동에 따른 피부온도 변화 등에 관한 기초 데이터는 매우 부족하다. 자연상태 곤충의 피부온도(체온)을 측정하는 것이 매우 어려운 문제이므로, 현재의 기술로는 비접촉식 온도 측정방법인 열화상카메라를 이용하는 것이 유일한 대안이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 날개가 있는 유시아강의 곤충들 중에서 우리 주변에서 쉽게 찾을 수 있으면서도 자연상태로 서식하고 있는 자연상태의 벌(재래 꿀벌, Honey bee, Apis cerana)과 나비(남방부전나비, butterfly, Pseudozizeeria maha)에 대하여 다양한 생체활동과 열화상카메라로 측정된 그 순간의 피부 온도 결과를 비교하여, 생체활동과 피부온도의 관계를 설명하고자 한다. 본 논문에서는 실험을 통해 얻어진 곤충 생태에 대한 기초 온도 데이터를 생물학적으로 증명하거나 설명하려는 것은 아니라 생체적 현상 분석과 기초 데이터 제공에 목적이 있다. 또한 곤충 생체활동 분석에 열화상카메라 측정 방법이 충분히 적용 가능한지 확인하고자 한다.

II. 실험 장치 및 방법

1. 열화상 카메라

본 연구를 위하여 사용한 열화상카메라는 FLIR사의 T-250모델이었다. T-250 모델의 온도 측정 범위는 -20°C에서 1200°C까지, 온도 분해능은 80mK, 측정 정확도는 ±0.5°C이다. 특정한 값의 측정 정확도는 다른 접촉식 온도 측정방법과 비교하여 낮은 편이지만, 정확한 방사율의 입력에 따른 변화의 경향성 분석에는 명확한 결과를 제시하는 것을 본 연구자의 이전 연구결과들과 다른 연구자들의 결과로부터 확인하였다.

열화상카메라의 상세한 과학적인 측정원리는 참고문헌에 잘 설명되어 있다[10].

2. 실험 방법

실험의 대상은 현재 연구자가 근무하고 있는 충주의 학교 건물, 아파트, 그리고 근처 산림 지역에서 살아가고 있는 자연 상태의 곤충들이며, 개체 수는 각각 벌은 약 70마리, 나비는 3마리 이었다. 이렇게 자연상태로 서식하고 있는 2가지 곤충을 열화상카메라로 피부온도를 촬영하는 실험을 수행하였다.

일반적으로 동물들의 경우에는 피부 방사율이 0.95이며, 사람의 경우에는 0.98이다. 본 논문의 열화상이미지 촬영에도 동물의 값인 0.95로 설정하고 촬영하였다.

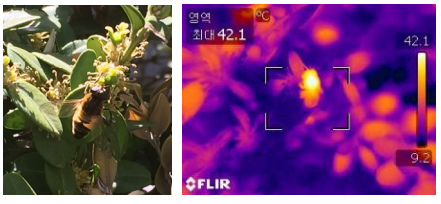
그리고 정량적으로 온도와 온도차를 설명하게 되는 경우에는 열화상이미지의 최대 온도값을 기준으로 하여 비교 설명하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 토종 꿀벌의 생체 활동과 피부 온도

열화상이미지의 우측 온도 범위는 자동 설정이며, 흰색이 가장 높은 온도를, 검은색이 가장 낮은 온도를 나타낸다. 그리고 하얀색 사각형 영역의 최대 온도가 좌측상단에 표시되어 있다.

[Fig. 1]에서와 같이 촬영된 열화상이미지로부터 꿀벌의 피부온도를 추출하면 피부의 최대온도는 가슴(thorax)에서 나타나는 것을 확인할 수 있다.



(a) Honey bee (b) A thermal image

Fig. 1 Maximum skin temperature measured in the thorax of honey bees

2019년 4월부터 2020년 8월까지 측정된 모든 꿀벌의 가슴온도를 명확하게 생태적인 특성을 확인할 수 있는 데이터 만을 아래의 [Fig. 2]로 나타내었다. 그래프에 표시된 한 개의 심볼이 한 마리 개체를 나타낸다. 그림에서와 같이 세 가지 그룹의 온도 영역으로 꿀벌의 피부온도가 나타나고 있다. 상태#1(State #1, 17개체, 날개 완전 정지 상태)은 한 개의 꽃망울에 암술머리가 여러 개인 꽃에 완전히 날개를 접고 꿀을 채취하는 상태이었으며, 상태#2(날개 정지 후 이동 혹은 가볍게 펄럭이는 상태)는 나무나 꽃에 비행 착륙 후 날개를 정지하고 나무를 타고 이동하거나 꽃에서 가볍게 이동하는 상태이었으며, 상태#3(비행 직후 혹은 빠른 날개짓 상태)은 작은 꽃나무에 꽃망울에 암술머리가 한 개 정도를 가지고 있는 나무에 꿀벌이 착륙 직후이거나 2-3초 정도의 꿀 채취 그리고 다시 이동을 위한 빠른 날개짓이 연속으로 이루어지는 상태를 확인할 수 있었다.

꿀벌이 상태#1 처럼 날개를 접고 꽃에서 꽤 오랜 시간 동안 꿀을 채취하고 있으면 20.8~26.0℃의 범위의 최대 가슴온도를 나타내었다. 날개의 온도는 17.0℃ 정도까지 낮아지는데, 이런 상태는 완전 정지 상태로 날개로 거의 혈액을 공급하지 않음에 따라 발생하는 것이다[Fig. 3].

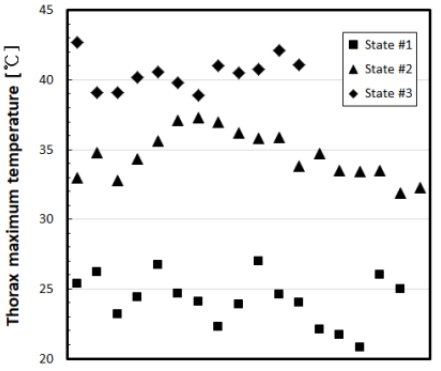


Fig. 2 Maximum skin temperature measured in the thorax of honey bees

상태#2는 비행 후에 착륙해서 충분한 시간이 흐른 뒤이므로 가슴 온도가 충분히 안정되어 31.9~37.3℃의 범위의 최대 가슴온도를 나타내었다. 이 상태에 있었던 18마리 중에서 8마리 정도가 최대 가슴온도 평균값에 가까운 34~36℃ 사이의 최대 가슴온도를 나타내었다. 이 온도 범위가 일반적으로 알려져 있는 35.2℃ 정도의

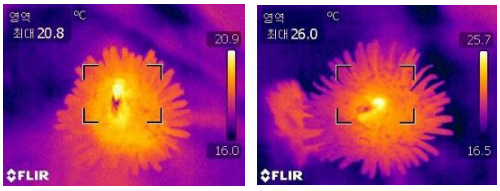
꿀벌의 체온에 해당하였다[9]. 따라서 일반적으로 알려진 꿀벌의 체온 측정 결과는 상태#2 조건에서 측정된 결과임을 확인할 수 있다[Fig. 4].

상태#3은 꿀벌이 상당한 빠르기의 날개짓을 하고 있는 상태이므로, 측정결과에서도 온도가 가장 높은 38.9~42.7℃의 최대 가슴온도를 나타내었다. [Fig. 5]에서와 같이 날개가 촬영이 되더라도 거의 초점이 맞지 않고 흔들리는 것을 확인할 수 있다. 특히, 이 상태에서의 최대 가슴온도는 42.7℃ 정도로, 기존 연구자들이 측정한 최대온도 약 45℃에 가까운 매우 빠른 날개짓 상태임을 알 수 있다[Fig. 5].

피부온도를 측정한 꿀벌들의 개체수가 많고 시기와 시간이 너무 다양하여, 본 논문에는 각 상태별로 꿀벌 개체별 최대 가슴온도의 평균과 표준편차를 Table 1에 나타내었다. (2019년 4월 2일 오후 2시, 4월 3일 오전 10시, 4월 23일 오전 9시, 5월 1일 오후 2-3시, 5월 15일 오전 9시, 2020년 7월 4일 오후 3시, 8월 4일 오후 2시, 8월 5일 오전 10시)

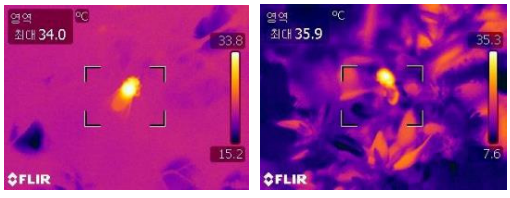
Table 1. Temperature of honey bee with each state

생체활동 상태	#1	#2	#3
개체수	17	12	18
평균온도 [℃]	24.2	34.6	40.5
표준편차 [℃]	1.8	1.2	1.7



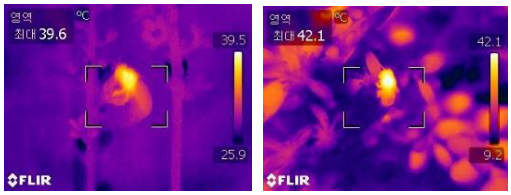
(a) minimum thorax temp. (b) maximum thorax temp.

Fig. 3 Skin temperature measured in the thorax of honey bees in State #1



(a) average thorax temp. (b) average thorax temp.

Fig. 4 Skin temperature measured in the thorax of honey bees in State #2



(a) temp. (b) maximum thorax temp.

Fig. 5 Skin temperature measured in the thorax of honey bees in State #3

2. 남방부전나비의 생체 활동과 피부 온도

남방부전나비는 흔히 발견되는 개체로 날개를 편 길이가 대략 17-28mm로 부전나비과 중에서 매우 작은 편이다. 저자가 직접 촬영한 [Fig. 6]의 사진에서와 같이 수컷의 날개 윗면은 흰색이 도는 청색을 띠나, 개체에 따라 차이가 많았다. 그리고 날개 테두리는 넓고 흑갈색을 띠며, 뒷날개 외연부를 따라 검은색 점무늬가 있는 것을 알 수 있다.

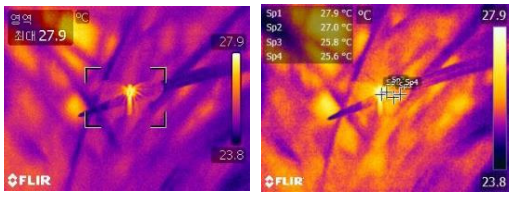
남방부전나비의 열화상이미지에서 보듯이 비행 날개짓 이후에 착륙 직후 가슴 부분의 온도가 몸에서 최대 온도임을 알 수 있다[Fig. 7(a)]. 그리고 명확하게 몸통에서 연결된 혈관들[Fig. 8]의 온도도 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. [Fig. 7]의 (b)에서와 같이 착륙 직후 가슴에서 가까운 혈관 위치 Sp2, 사진 상으로 확인되는 혈관 말단 위치 Sp3, 날개 위치 Sp4의 온도는 각각 가슴 온도가 27.9℃, 27.0℃, 25.8℃, 그리고 25.6℃를 나타내었다.

Fig. 6 Photos of Pseudozizeeria maha

착륙 이후에 꽃대의 끝에 매달려 정지해 있는 남방부전나비의 몸 전체 온도는 2020년 9월 14일 오후 16:47분경에 촬영된 [Fig. 9(a)]와 오후 18:15분경에 촬영된 [Fig. 9(b)]로 나타났다. 충주 기상대에서 측정한 충주의 동일 시간에서의 기온은 각각 23.8℃와 22.2℃인 것으로 확인되었다. 남방부전나비를 측정한 위치

와 충주 기상대와의 거리는 직선거리로 7km 떨어져 있다. [Fig. 9]에서와 같이 착륙 이후 시간이 꽤 흐르면 몸 전체의 온도를 거의 일정하게 유지하고 있으며, 그 온도는 주위온도에 가까운 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 변온동물의 체온조절 특성의 결과임을 충분히 이해할 수 있다.

이렇게 정지해 있는 [Fig. 9(b)] 남방부전나비의 동작을 유도하기 위하여 약 4분 동안 입으로 바람을 계속적으로 불고 열화상카메라로 촬영하기를 반복하였는데, 3.92분 직후에 다른 곳으로 비행하여 날아가는 것을 확인하였다. [Fig. 10(a)]는 [Fig. 9(b)] 이미지 촬영 후 22초 뒤에, (b)는 (a)로부터 2.78분 뒤에, (c)는 3.92분 뒤에 촬영한 이미지들이다. 특히, 비행하기 전까지 완전히 정지해 있던 상태들에 비하여 전체적으로 체온을 높이려 하였고, 직행 직전에는 날개 혈관의 온도는 상대적으로 낮게 유지하려 하는 것을 확인하였다.



(a) temp. (b) temp. with each position

Fig. 7 Thermal image of Pseudozizeeria maha right after landing

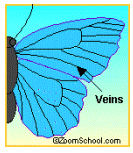
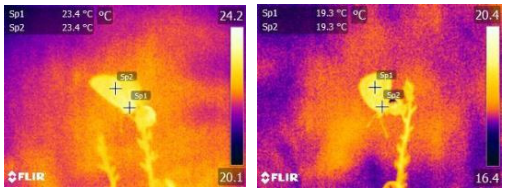
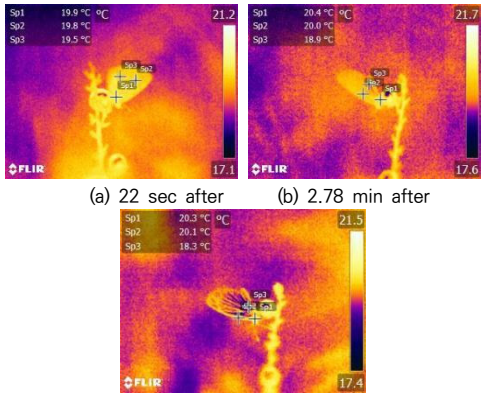


Fig. 8 Wing structure of butterfly



(a) PM 16:47 (b) PM 18:15

Fig. 9 Thermal images of Pseudozizeeria maha holding at twig after landing



(a) 22 sec after (b) 2.78 min after

(c) 3.92 min after Fig. 9(b)

Fig. 10 Thermal images of Pseudozizeeria maha holding at twig during wind flowing

정지에서부터 비행 전까지 남방부전나비의 시간에 따른 가슴의 최대온도, 날개 혈관의 최대온도, 그리고 날개 혈관 최소온도를 열화상이미지에서 추출하여 아래의 [Fig. 11]로 나타내었다. 이러한 시간 동안을 나방의 경우에는 워밍업 기간으로 부른다.

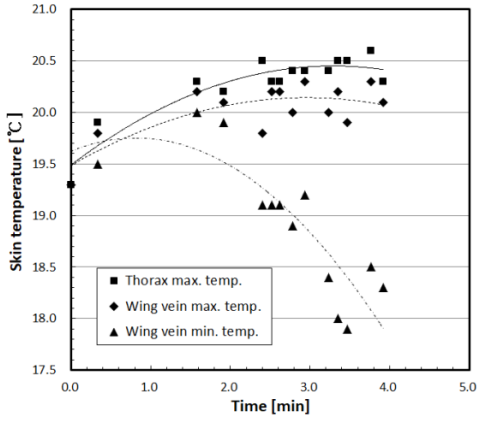


Fig. 11 Temperature behavior of Pseudozizeeria maha holding at twig from stop to flight

그래프에서 보듯이 남방부전나비는 비행 전까지 가슴 온도는 점점 증가시키고, 그에 따라 가슴에서 가까운 혈관들의 온도도 점점 상승하였다. 다만, [Fig. 10(c)]에서와 같이 비행 시작 약 1분 전부터 날개면의 온도는 거의 가슴 온도에 비하여 2℃ 정도 낮게 유지하고 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

열화상카메라를 이용하여 자연상태에 있는 꿀벌과 나비(남방부전나비)에 대하여 촬영된 열화상이미지로부터 피부온도를 추출하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열화상카메라를 이용한 비접촉식 온도 측정 방법이 곤충과 같은 동물의 피부 온도 측정에는 효과적이며, 이로부터 얻어진 정량적인 데이터가 충분히 생체현상을 설명할 수 있음을 확인하였다.
2. 꿀벌의 경우에는 알려진 연구 결과들을 보충하는 다양한 결론에 도달하였는데, 꿀벌의 비행, 꿀 채취, 그리고 자리 이동이라는 세 가지 중요 활동별로 다른 피부온도를 유지하고 있었다.
3. 남방부전나비는 비행 준비를 위한 워밍업 단계를 실행하며, 이러한 특성은 나방의 생체활동 특성과 매우 유사하였다. 또한, 변온동물의 특성을 피부온도로서 확인할 수 있었다.
4. 비유시아강류의 곤충들에 대한 추가 기초실험이 필요하며, 기초 데이터를 생물학적으로 증명하기 위한 곤충연구자들과의 공동 작업을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] G. Lee, J. W. Nam, K. H. Seok, and J. Kim, “A Basic Study on Temperature Characteristic Analysis of Kumdo Motion by Infrared Rays Camera,” J. Institute of Convergence Technology, Vol.2, No.1, pp.18-23, 2012.

[2] G. Lee, J. W. Nam, K. H. Seok, and J. Kim, “A Basic Study on Temperature Characteristic Analysis of Taekgyeon Motion by Infrared Rays Camera,” J. Institute of Convergence Technology, Vol.2, No.1, pp.31-37, 2012.

[3] S. M. Park, D. H. Nam, J. H. Kim, G. Y. Jo, H. Y. Kim, and J. Kim, “An Analysis of Relationships between Plant Growth and Temperature Characteristics Measured with Thermographic Camera,” Journal of Korean Solar Energy Soc., Vol.36, No.2, pp.1-7, 2016.

[4] J. Kim, “Basic Experimental Study to decide the Marker Positions for Proper Body Temperature Measurement of Dairy Cattle using IR Camera,” AJMAHS, Vol.8, No.1, pp.857-865, 2018.

[5] J. E, Kwak, D. H. Hwang, K. S. Choi, and J. Kim, “An Experimental Study to Reveal Skin Temperature's Variation with Pitching Motion of Baseball,” AJMAHS, Vol.9, No.7, pp.375-384, 2019.

[6] C. W. Park, O. J. Lee, and S. W. Lee, “Thermographic Assessment in Dry Eye Syndrome, Compared with Normal Eyes by Using Thermography,” J. the Korean Ophthalmic Optics Soc., Vol.20, No.2, pp.247-253, 2015.

[7] http://www.foodnews.co.kr/news/articleView.html? idxno=70069

[8] J. B. Lee and Y. Park, “Insecticidal Effect of an Entomopathogenic Fungus, Beauveria bassiana ANU1 to Spodoptera exigua and Plutella xylostella by Different Temperature and Humidity Conditions,” The Korean Journal of Pesticide Science, Vol.19, No.2, pp.125-133, 2015.

[9] H. Yi and C. Jung, “Colony Temperature Regulation by the European Honeybee (Apis mellifera L.) in Late Summer in Temperate Region,” Journal of Apiculture, Vol.25, No.1, pp.1-7, 2010.

[10] H. J. Kim, J. Kim, and N. Kim, “Recent Advancement and Development on Infrared thermography Technique,” Spring Conference Proceedings of Korean Soc. for Railway, pp.1109-1117, 2011.

저 자 소 개

김 정 배(Jeongbae Kim) 정회원

■ 2004년 8월 : 포항공과대학교 기계공학과(공학박사)
■ 2004년 8월 ~ 2008년 2월 : 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부
■ 2008년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 자동차공학과 교수

〈관심분야〉 : 열화상카메라를 이용한 다양한 분야의 열전달 현상 실험