

시설방울토마토에서 호박벌(*Bombus ignitus*)의 방화활동 및 과도한 방화가 토마토에 미치는 영향

이상범* · 배태웅¹ · 김삼은 · 윤형주 · 이명렬 · 채 영²

농촌진흥청 농업과학기술원 잠사곤충부 곤충자원과 화분매개곤충연구실
동아대학교 생명자원과학대 생명자원과학부, ²농촌진흥청 원예연구소 채소육종과 과채류육종실

The Influence of over Foraging, and Pollinating Activities on Tomato Fruits by a Korean Native Bumblebee, *Bombus ignitus* S. (Hymenoptera : Apidae) in Cherry-tomato Houses

Sang Beom Lee*, Tae Woong Bae¹, Sam Eun Kim, Hyung Joo Yoon,
Myeong Lyeol Lee and Young Chae²

Department of Sericulture and Entomology, The National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA,
Suwon 441-100, Republic of Korea

¹Faculty of Natural Resources and Life Science, Dong-A University, Pusan 604-714, Republic of Korea

²Fruit Vegetable Breeding Lab. Department of Vegetable Breeding, The Natural Horticultural Research, RDA,
Suwon 441-440, Republic of Korea

ABSTRACT : This study examined the foraging activities and the influence of excessive foraging activity by *B. ignitus* workers on the quality of cherry-tomato fruits in cherry-tomato green-house. The peak time of pollination by *B. ignitus* worker was recorded at 8:00 and the average of foraging time on each flower was 11.7 secs. The total pollinating time of *B. ignitus* was 41 mins and 37 secs and its total number of visiting flowers was 195.2. The average time of staying on flowers was 8.8 ± 5.4 secs when two bumblebees were allowed to pollinate per Pyong (3,954 square yards) in the green house of tomatoes for 24 hours, but it was two times shorter (4.0 ± 3.1 secs) compared with that when one bumblebee was allowed to pollinate per Pyong for one hour. The stamen color of tomato flowers visited by the bumblebee for one hour was brown while the stamen color for 24 hours was dark brown due to the frequent visiting. The average fruit bearing rate of the 4th-6th clusters of tomatoes visited for one hour was 48.9%, which was not significantly different from those allowed to visit for 24 hours. However, the number of seeds of flowers visited for 24 hours was 64.0, which was more than 55.3 seeds of flowers visited for one hour. The weight of fruit was 25.4 g and 24.4 g, respectively. The sweetness was not different significantly between one and 24 hours of visit ($P > 0.05$). The result revealed that end product of cherry-tomato was not influenced by over foraging activity of *B. ignitus* workers on tomato flowers.

KEY WORDS : Bumblebee, *Bombus ignitus*, Cherry-tomato, Foraging time, Foraging activity

초 록 : 방울토마토에서 호박벌의 방화활동과 과도한 방화가 토마토 생산물에 미치는 영향을 조사한 결과 호박벌의 최대 방화활동시각은 08:00였으며, 한 개의 꽃을 방문하기 위하여 걸리는 시간은 평균 11.7초였다. 일벌의 1회 외역활동시 총 방화시간은 평균 41분 37초였으며 평균 195.2

*Corresponding author. E-mail: lsbmlnu3@rda.go.kr

개의 꽃을 방문하였다. 평당 2마리의 일벌이 활동한 24시간 소문개방구에서 꽃에 체류하는 시간은 8.8 ± 5.4 초로, 평당 1마리 호박벌이 활동한 1시간 소문개방구에서 체류한 4.0 ± 3.1 초에 비해 두 배 이상 길었다. 1시간 소문개방구의 토마토 수술의 색깔은 대부분 갈색인 반면, 24시간 소문개방구는 잦은 방화에 의해 흑갈색으로 변하였다. 1시간 소문개방구의 토마토 4-6화방의 평균 착과율은 48.9%로서 24시간 소문개방구의 착과율 43.3%와 유의한 차이는 없었으나, 과실내 종자수는 24시간 소문개방구가 64.0개로 1시간 개방구 55.3개에 비해 많았다. 1시간 소문개방구와 24시간 소문개방구간의 과중은 각각 25.4 g과 24.4 g, 과실의 당도는 모두 5.1%로 차이가 인정되지 않았다($P > 0.05$). 이상의 결과로 볼 때 방울토마토의 경우 호박벌 일벌의 과도한 방화활동으로 인하여 생산물에 미치는 영향은 없는 것으로 조사되었다.

검색어 : 뒤영벌, 호박벌, 방울토마토, 방화시간, 방화활동

뒤영벌의 분류학적 위치는 Hymenoptera (벌목), Apidae (꿀벌과), Bombidae (뒤영벌아과), Tribe Bombini (뒤영벌족)에 속하며, 뒤영벌족은 다시 35개 아속이 있는데 이 중 7아속이 한국에 분포한다(Kim, 1988). 땅벌의 일종인 뒤영벌(*Bombus*屬)은 전형적인 사회성 곤충으로서(Heinrich, 1979; Kim, 1995; Ono and Wada, 1996) 1859년 Darwin의 “종의 기원”에 의해 뒤영벌의 방화능력이 소개되었다. 본격적인 연구는 19C 말 유럽에서부터 시작되어 1985년에 최초로 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)의 대량증식법이 개발되었고(Röseler, 1985) 1988년에는 Biobest사에서 이를 상품화하는데 성공하여 현재는 Koppert사와 BBB사를 비롯한 여러 회사에서 세계적으로 판매하고 있는 산업화된 종이다(Ono and Wada, 1996). 유럽에서는 1990년에 들어서면서 이미 토마토(*Lycopersicon esculentum*) 재배농가의 거의 모두가 뒤영벌로 대체하고 있었다(Wada, 1993; Koida, 1994; Ono and Wada, 1996).

최근 우리나라에 있어서도 시설재배작물 다양화와 재배면적의 확대로 시설재배 작물의 화분매개곤충의 수요가 급증하고 있다. 1994년부터 시설재배 토마토의 수분을 위하여 서양뒤영벌이 네델란드, 벨지움으로부터 수입량이 1995년 1,500상자에서 1997년 약 10,000상자, 2001년 20,000상자 이상으로 농가에서의 이용이 점차적으로 늘어나고 있다(Lee et al., 2001). 전 세계적으로 뒤영벌의 추정 생산 봉군수(2000년)는 약 30만 상자이며 이 중 20만 상자는 북유럽에서 사용되고 있다. 일본에서는 방울토마토 시설재배면적의 증가로 뒤영벌의 수입량이 매년 증가하여 1994년의 경우 2만 상자였으나 1996년에는 약 96,000상자로 약 30억엔(300억원)에 이르렀으며 앞으로도 계속 수요가 증가할 것으로 보인다(Ono and Wada, 1996).

시설토마토에서 뒤영벌이 꽃에 머무는 시간과 꽃간

이동시간, 가슴을 진동하여 꽃가루를 수집하는 시간 그리고 몸에 떨어뜨린 꽃가루를 모으는 시간 등 방화활동이 조사되었다(Ravestijn and Sande, 1990; Wata, 1993; Albano et al., 2000; Mexia et al., 2000). 그리고 Sutcliffe and Plowright (1990)는 일벌의 먹이로서 꽃가루를 계속 공급했을 때가 짧은 시간 공급했을 때보다 3번째 산란부터 일벌의 수가 증가한다는 사실을 밝혀냈으며, Pyke (1978)는 뒤영벌의 크기와 꽃당 획득하는 평균 화밀량과의 사이에 상호관련성이 있다는 사실을 보고하였다. 뒤영벌의 화분매개효과에 관한 연구에서 Iikeda and Tadauchi (1995)는 토마토에서의 뒤영벌 사용 시 장점은 호르몬 처리에 비하여 노동력 경감, 동공과의 감소, 무게증가, 곰팡이 발생 억제 등이며, 문제점으로는 농약살포 시에 제한을 받게 되며, 12월에서 2월의 엄동기 착과 불안정, 벌의 가격이 비싸고 수명의 짧은 점등을 지적한 바 있다. 그리고 Dogterom et al. (1998)은 토마토의 상품성과 생산량 모두 진동기를 사용한 토마토 수분보다 뒤영벌을 이용한 토마토 수분에서 착과율이 높고, 가장 큰 과실을 생산하였다고 하였다. 외국의 경우 서양뒤영벌을 도입하여 토마토 수정에 이용하는 이점도 많지만 서양뒤영벌이 자국의 식물상에 미치는 악영향 및 화분매개 벌들의 상호작용성 혼란 등의 역효과(Batra, 1996; Ono and Wada, 1996)를 우려하여 미국, 캐나다의 경우 국내종을 자체 개발하여 이용하고 있다. 일본의 경우에도 이미 자국종에 대한 기초연구를 마치고 실용화연구에 역점을 두고 있다(Ono and Wada, 1996). 따라서 본 연구는 수입 서양뒤영벌을 대체하고자 국내 고유종 뒤영벌인 호박벌을 개발 이용하기 위하여 채집한 호박벌을 실내 증식하여 토마토 포장에서 호박벌의 방화 및 일주활동, 그리고 화분매개 특성과 과도한 방화가 생산물에 미치는 영향 등을 조사하였다.

재료 및 방법

호박벌의 방화활동 및 과도한 방화가 방울토마토에 생산에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2000년 5월 29일부터 8월 10일까지 농업과학기술원 잠사곤충부 50평 비닐하우스 2동에서 방울토마토(슈퍼 산체리)를 50평당 258-276주씩 식재하여 6월 중순부터 7월 하순까지 호박벌을 동당 각 1통씩을 방사하여 조사하였다. 호박벌 일벌의 방화활동을 극도로 제한한 1시간 소문 개방구는 14마리인 초기봉군을 이용하여 오전 09:30에 소문을 열어 호박벌의 방화활동을 유도한 후 1시간 후인 10:30에 소문을 닫아 귀소하도록 하였다. 그리고 최대한 호박벌 일벌이 방화활동을 하도록 유도한 24시간 소문개방구는 64마리의 봉군을 이용하였다. 봉군은 높이 1m정도로 제작된 지붕이 있는 백엽상처럼 만들어진 곳에 설치하여 직사광선을 피하도록 하였다.

시설토마토 하우스 및 봉군내·외부 온도 및 습도변화

24시간 소문개방구에서 봉군의 이용기간 중 하우스 내부온도와 봉군 외부온도 그리고 봉군 내부온도를 알아보기 위하여 6월 23일부터 7월 10일까지 봉군내부에 자동온도 sensor부착온도계를 설치하고 하우스 내부와 봉군외부에는 온습도계를 설치하여 08:00와 17:30까지 3시간 간격으로 조사하였다. 매일 조사한 온도와 습도는 평균값을 취하였다. 그리고 온도 변화에 따라 봉군외부에 나온 일벌들의 행동을 관찰하였다.

호박벌의 일주활동

하우스내 일주활동은 24시간 소문 개방구에서 투입 약 2주 후 호박벌의 봉군이 왕성한 시기에 맑은 날과 흐리고 비오는 날 각각 1일씩 3회에 걸쳐 06:00부터 20:00까지 1시간 간격으로 10분간씩 포장내 온도의 변화와 방화 활동하는 일벌수를 기록하여 호박벌 일벌의 최대 활동시간과 온도와의 관계를 분석하였다.

호박벌의 방화활동

하우스내 호박벌의 꽃 방문시간과 꽃간 이동시간은

1시간 및 24시간 소문개방구에서 각각 오전 10시경에 호박벌이 토마토 꽃을 방문하는 시간을 초시계로 확인하였으며, 꽃간 이동시간은 방화한 후 꽃을 떠난 시점부터 다음 꽃을 방문하기까지의 시간을 각각 30회 이상 확인하여 평균값을 취하였다.

1시간 및 24시간 소문 개방구에서 각각 하우스내의 방울토마토 꽃수와 꽃가루량은 일정한 데 비하여 호박벌의 일벌수와 1일당 방화활동 개체수 차이로 인하여 각 처리구에서 호박벌 1마리가 채집하는 꽃가루량이 다를 것으로 생각되었다. 따라서 꽃가루를 채집하여 귀소하는 호박벌 일벌을 소문 앞에서 포획하였다. 개체별로 소형 유리병(2 cm Φ × 7 cm L)에 넣고 5°C 냉장실에 20-30분간 두었다가 움직임이 거의 없을 때 꺼내어 전체 무게와 꽃가루 분리, 일벌 무게와 꽃가루 무게를 산정하였다. 한편 일벌 무게와 채집된 꽃가루량과의 상관관계는 1시간 소문개방구에서만 조사된 일벌무게와 꽃가루량으로 통계 처리하였다. 이 때 포장내의 호박벌 일벌이 방화하지 않은 꽃, 1시간 및 24시간 소문 개방구에서 각각 방화한 꽃을 10개씩 채취하여 수술의 색깔과 꽃가루 수를 조사하였다. 꽃가루 수는 수확된 꽃 중 각각 5개의 꽃을 1일 건조 시킨 후 토마토꽃가루 분리기로 꽃가루를 분리한 후 처리별로 총 꽃가루수에서 평균값을 취하여 한 개꽃의 꽃가루수를 산출하였다. 호박벌 일벌이 토마토꽃 중 개화 1일 이내의 신선한 꽃과 개화 후 1일 이상된 꽃의 선호도를 조사하기 위하여 5일 동안 개화 직전의 미개화된 50개 꽃을 조사 하루 전 일, 오후에 표시하여 두었다가 다음날 09:00부터 16:00까지 2-3시간 간격으로 1일 4회에 걸쳐 개화시간과 호박벌 방화시간을 조사하여 방화선호도를 판정하였다.

호박벌 일벌 1마리의 방화능력 조사를 위해서 1시간 소문개방구에서 호박벌 일벌이 출소하여 귀소까지 하우스내를 정찰하는 시간, 첫 꽃부터 마지막 꽃까지 방문하는 꽃수와 소요시간을 추적 조사하였다. 이 때 호박벌 일벌의 등에 흰색과 황색 등으로 표시하여 추적 확인이 가능하도록 하였으며 조사하던 일벌 중에서 방화 중에 갑작스러운 비상이나 관찰범위를 벗어나 추적하지 못한 일벌은 제외하고, 처음부터 끝까지 추적 확인 된 일벌만을 성적에 넣었다.

착과율 및 생산물 조사

착과율은 시험초기 선정된 4-6화방에서 각각 30개

의 화방을 표본으로 전체 꽃수에서 착과된 열매수를 조사하여 비율을 계산하였으며, 과실의 품질조사는 각각 10개씩의 화방에서 토마토 줄기로부터 처음과 두번째 성숙되는 과실은 화방간의 크기가 차이가 있어 3-6번째 과실을 택하여 무게, 당도, 종자수를 조사하였다. 착과율과 생산된 과실의 비교를 통하여 과도한 방화가 생산물에 미치는 영향이 있는지를 평가하였다.

결과 및 고찰

시설토마토 하우스 및 봉군내·외부 온도 및 습도변화

6월 23일부터 7월 10일까지 조사 평균값으로 산출한 봉군내부의 온도는 08:00경에 28°C로서 봉군외부 온도와 하우스 내부온도의 26°C보다 보다 오히려 약간 높았으나, 11:00경, 14:00경 그리고 17:30경에는 봉군외부온도와 차이를 보이지 않았다. 하우스 내부온도는 오전 08:00경과 17:30경에는 봉군내부 온도보다 낮았으나 11:00경과 14:00경에는 봉군내부온도 보다 2°C 높았다. 11:00경 이후부터 하우스온도가 36°C에 이르고 봉군 내부온도가 33°C를 넘어서면서 일벌의 활동이 둔해졌다(Koidae, 1994). 또한 10-20마리의 일벌들이 벌통입구에서 날개를 이용하여 바람을 일으켜 봉군의 내부의 열을 식혀주는 선풍행동을 하는 것이 관찰되었고, 내부에 있는 일벌들도 봉군내부에 발생된 열을 배출하기 위하여 날개를 이용하여 바람을 순환

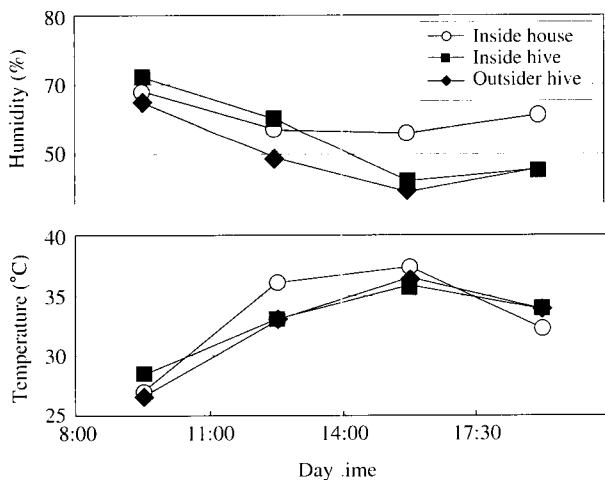


Fig. 1. Variation of temperature and humidity at inside and outside hive in cherry-tomato house during a day time during June 23 through July 10.

시키는 행동이 관찰되었다. 이러한 선풍행동은 하우스 온도가 35°C 이상 또는 봉군내부의 온도가 33°C 이상 올라가거나 반대로 5°C 이하로 떨어지면 수시간내에 유충이 사망할 수 있다는 자료(Ono and Wada, 1996)와 관련이 있는 것으로 사료된다. 또한 하우스 습도는 조사시간별 60-70%가 유지되었다. 봉군내·외부습도는 08:00경에는 하우스습도와 거의 같은 70%가 유지되었으나 11:00경 이후에는 온도가 고온으로 높아져도 50% 이하로 낮게 유지되고 있었다. 이렇게 봉군내부 온도가 높아져도 습도가 낮은 현상은 봉군내부의 고온으로 인하여 내부 열을 식히는 일벌들의 선풍행동 때문인 것으로 추정된다(Fig. 1).

호박벌의 일주활동

하우스내에서 호박벌 일벌의 일주 활동 변화를 매일 06:00부터 20:00까지 한시간 간격으로 3반복으로 조사하여 본 결과, 하우스내 온도가 27-28°C가 되는 08:00경에 최대 활동수를 보이고 온도가 상승할수록 활동개체수가 감소였으며 온도가 떨어지기 시작하는 16:00경에 다시 작은 활동피크를 보였다(Fig. 2). 이것은 호박벌의 일주활동이 온도와 관련이 있다는 것을 보여주고 있으며, Mexia *et al.* (2000)이 보고한 바와 같이 온실 토마토에 투입된 서양뒤영벌의 일주활동 양상은 하루 중 꽃이 열리고 닫히는 시간과 방화활동이 일치하고, 또한 오후의 방문 일벌수의 감소는 아침에 많은 일벌의 방문으로 꽃의 꽃가루량이 크게 감소되었기 때문이라는 자료와 관련이 있다. 이와 같은 일주활동은 서양종 꿀벌(*Apis mellifera* L.)에 있어서도 맑은 날 야외에서 일주활동 개체수의 변화와 같은 경

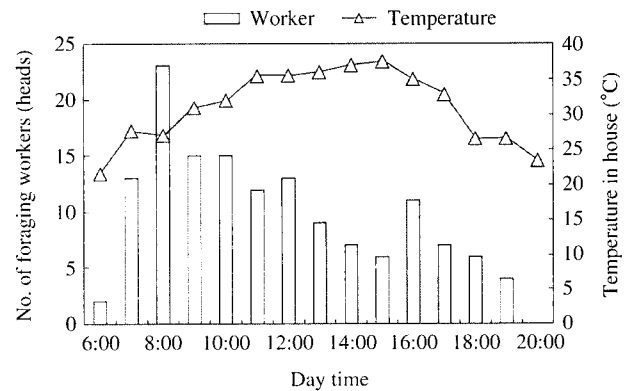


Fig. 2. Numbers of foraging workers according to the time variables in cherry-tomato house on sunny day (Date surveyed: June 26-28, No. of workers in hive are 96 individuals).

향을 보인다(Choi, 1987a; Kim and Choi, 1988). 또한 흐리고 비온 날의 호박벌 일벌의 활동개체수는 맑은 날과는 달리 10:00부터 14:00 사이에 많은 활동 개체수를 보였으며 최대 활동 시간은 12:00-13:00경으로 나타났다(Fig. 3).

호박벌의 방화활동

꽃간 이동시간은 약 5초로 같았으나, 꽃당 체류시간은 1시간 소문개방구가 4.0초, 24시간 소문개방구가 8.8초로 24시간 소문개방구가 2배 이상 길게 꽃에 머물렀다. 1시간 소문개방구의 경우 방화시간이 약 4초로서 서양뒤영벌의 방화시간이 4.4-5.2초 된다는 보고(Albano et al., 2000; Ravestijn and Sande, 1990; Koidae, 1994)와 일치했지만 24시간 소문개방구에서는 방화시간이 9초로서 2배 정도 길게 조사되었다. 이는 호박벌 일벌의 중복 방화에 의하여 채집할 수 있는 꽃가루량이 절대 부족한 상황이었으며, 이 때 꽃을 방문한 일벌이 1회 가슴을 진동하여 꽃가루모으기 행동을 한 후 다시 한 번 2차 꽃가루 모으기 행동을 한 후 다른

꽃으로 이동하는 개체가 많았기 때문인 것으로 보인다. 호박벌 일벌 1마리가 1회 출소하여 채집해 오는 화분채취량은 1시간 소문개방구가 약 31.4 mg으로 일벌 체중에 대한 수집화분의 무게 비율은 14.3%였다. 1시간 소문개방구가 24시간 소문개방구의 10 mg보다 3배 이상의 꽃가루를 채집하였는데 이는 일벌 방화 후의 잔여 꽃가루량과 관련이 있는 것으로 보인다. 따라서 방화 후에 수술 색깔은 24시간 소문개방구가 1시간 소문개방구에 비해 더 짙은 흑갈색으로 변색되어 호박벌 일벌의 중복 방화가 있었다는 것을 알 수 있었다(Table 1). Allen et al. (1978)이 캘리포니아 Berkeley지방의 야외에 서식하고 있는 *Bombus vosnesenski*종은 꿀과 화분을 채취하는 데 걸리는 시간은 30분 내지 1시간 30분이고, 한 마리당 일벌이 가지고 돌아오는 평균 꽃가루량은 21 mg이라고한 보고와 토마토꽃에서 서양뒤영벌 일벌의 경우 수집하는 꽃가루 단자의 1개 무게가 10-35 mg, 꽃가루 단자의 직경은 2-3 mm라는 보고(Heinrich, 1979; Kim, 1995; Ono and Wada, 1996)와 같은 수준이었다.

24시간 소문개방구에서 방화 활동 후에 수술에 남아있는 잔여 꽃가루 수는 1시간 소문개방구의 1/9수준이었으며, 일벌이 수집하는 화분단자의 무게도 1/3 이하로 조사되었다(Table 1). 호박벌 일벌 중 정위하며 나온 일벌들은 출소하여 바로 꽃으로 가지않고 하우스의 긴 방향으로 여러번 왔다갔다한 후 방화를 시작하였다. 이들은 출소하여 첫 꽃 방화까지의 배회(정찰) 시간은 2분 19초였다. 이러한 정찰활동은 Dranstad (1996)의 보고에 따르면 뒤영벌이 자기의 벌집 주변이나, 50 m 이내에 밀원이 풍부하다고 해도 곧 바로 방화하지 않는 습성을 가진 것인데, 이는 포식자에 대한 회피와 다른 봉군과의 경쟁때문이라고 하였다. 따라서 호박벌이 출소하여 방울토마토 꽃을 방문하기 전에 2분 정도 하우스 내를 비행하며 정찰하는 데 이

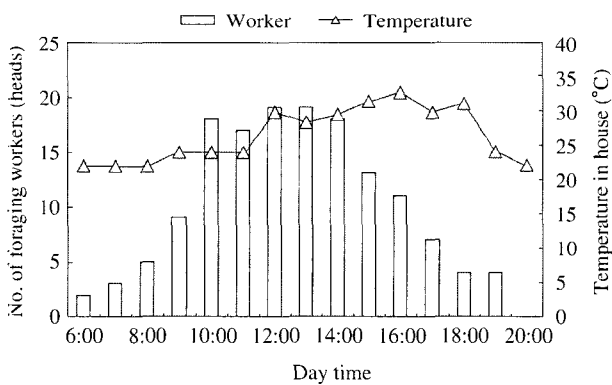


Fig. 3. Numbers of foraging workers according to the time variables in cherry-tomato house on cloudy and rainy days (Date surveyed: June 30-August 1, No. of workers in hive are 96 individuals).

Table 1. Foraging behaviors and pollen ball collected, and rest pollen after collecting by *Bombus ignitus* workers depending on allowed foraging times in cherry-tomato houses²⁾

Activity time of workers (hr)	No. of workers /hive	Visiting time (sec.)	Flight time (sec.)	Pollen ball collected by a worker (mg/one times)	No. of rest pollen /flower (a piece)	Color of anther corn after flowers were visited by workers
1	47	4.0±3.1 ³⁾	4.8±3.6	31.4±18.8 ⁴⁾	98 ⁵⁾	Brown
24	92	8.8±5.4	4.5±3.2	10.0±11.3	11	Heavy brown

¹⁾ Period surveyed : early July

²⁾ House area : 166 m²

³⁾ No. of workers surveyed : >50 heads

⁴⁾ No. of workers surveyed : 36 and 18 heads

⁵⁾ No. of pollen of flower that workers did not visit : 197piece/flower

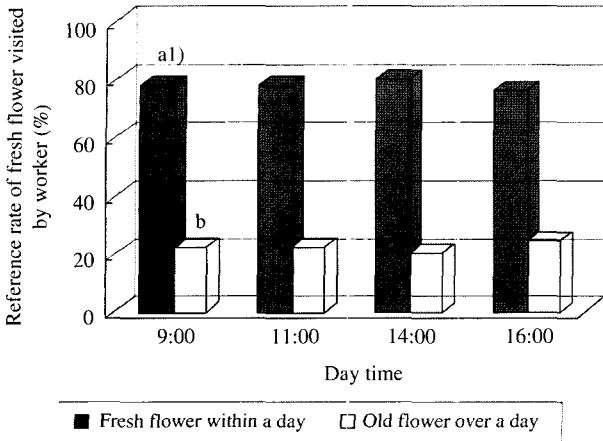


Fig. 4. Reference rate of fresh flower visited by *B. ignitus* worker for one day from July 23 through July 28. ¹⁾Different letters are significantly different at $\alpha=0.001$ by oneway ANOVA test.

는 Dranstad (1996)의 보고와 같이 위치확인 및 위험 감지 활동을 하는 것이라고 추정할 수 있다. 호박벌 일벌은 정찰활동이 끝나면 바로 화분수집활동을 시작하는 데 이는 한 지역에서 한 종의 꽃을 방문하는데 익숙하게 되는 한편, 꽃의 항상성은 벌 방화의 계속성을 의미한다고 한 보고와 관련이 있다(Mosquin, 1971). 이후에 본격적으로 방화를 시작하며 이때에 뒤영벌은 화분이 성숙한 꽃을 선택적으로 찾아 방문하는 데(Kim, 1995; Ono and Wada, 1996), 동절기 시설 방울토마토하우스에서 서양뒤영벌은 바로 개화한 꽃을 방문하지 않고 개화 후 1.9일 만에 방문한다고 보고한 바 있다(Lee *et al.*, 1999). 그러나 하절기에는 개화 후 1일 미만의 신선한 꽃을 주로 방화하는 것으로 조사되어 동절기의 토마토꽃 방화선호도와는 다른 경향을 보이고 있다(Fig. 4). 이는 하절기에는 해 뜨는 시간이 빠르고 일조시간도 길어, 포장내 고온을 방지하기 위한 측창망을 설치하여 개방하므로 온도는 높으나 습도는 낮아 꽃가루 수집을 위한 방화활동이 이른 아침부터 활발하다. 그렇지만 동절기에는 해 뜨는 시간이 늦고 일조시간도 짧다. 따라서 포장내 야간 및 아침 온도가 낮고 습도가 높아 10:00경이 되어야 포장내 습도가 80% 수준으로 떨어진다. 이 때부터 꽃가루 수집을 위한 방화활동이 시작되기 때문에 뒤영벌이 방화활동하는 시간이 짧아져 토마토꽃 개화 후 2일경에 방화가 이루어지는 것으로 사료된다. 또한 토마토꽃의 개화기간이 동절기에는 7일 정도 유지가 되나 하절기에는 3일 유지되는 것도 뒤영벌 방화활동에 영향이 있는 것으로 보인다.

Table 2. Total number of flowers foraged and foraging time when a *B. ignitus* worker went out from her hive¹⁾ in cherry-tomato house

Total no. of flowers	Foraging time (minute. second)	
	Pre-foraging time ³⁾	Total foraging time
195.2 (79-327) ²⁾	2' 19" (0' 12" ~ 3' 13")	41' 37" (16' 46" ~ 89' 37")

¹⁾ No. of workers surveyed for 1 hour/day ²⁾ Range
³⁾ Spending time till the first visiting flower after worker of *B. ignitus* went out her hive.

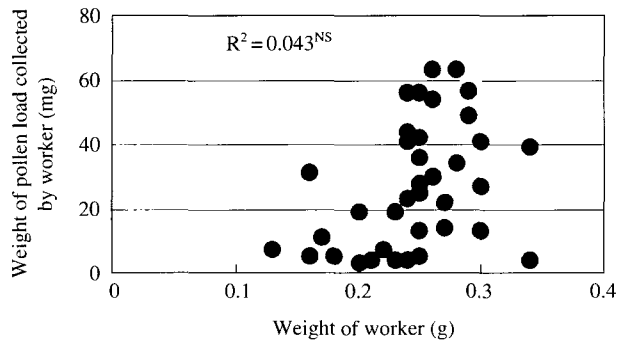


Fig. 5. Correlation with worker's weight and pollen load collected by worker (N = 45) From July 13 through August 10.

호박벌 일벌이 첫 꽃 방화로부터 귀소 전 마지막 꽃까지 방문하는 꽃수 195개로 관찰되었는데 토마토의 경우 *B. terrestris* 일벌은 꽃가루를 채집하기 위하여 하루에 5-12회 정도 소문 밖으로 나가고, 1개 꽃에 2-10초 정지하면서 1회 채집활동에서 50-200개의 꽃을 방문한다는 보고(Heinrich, 1979; Kim, 1995; Ono and Wada, 1996)와 같은 수준이었다. 또한 Macheuura (1993)의 20평 이하의 소형방울토마토하우스에서 서양뒤영벌이 1회 화분채집에서 20-60회의 꽃을 방문한다는 보고보다는 50에서 실시한 본시험에서의 호박벌이 방문하는 꽃수가 많았다. 그리고 호박벌 일벌의 1회 외역 방화 활동 시간은 41분 37초였다(Table 2). 이것은 Koidae (1994)가 소형토마토하우스에서 서양뒤영벌의 경우 방화와 외역 활동조사 결과 평균 외역 시간은 26분 9초였으며, 평균 외역 회수는 7.7회라고 한 조사보다는 훨씬 길었다. 한편 뒤영벌의 크기와 꽃당 획득하는 평균 화밀량과 사이에 상호관련성이 있다는 보고(Pyke, 1978)와 관련하여 호박벌 일벌이 채집하여 오는 꽃가루단자와 일벌체중과의 분포도를 작성하여 상관관계를 계산하여 본 결과(Fig. 5) 일벌의 체중과 수집하는 화분단자 무게간에는 유의한 상관관계는 나타나지 않았다($R^2 = 0.043$; $P = 0.289^{NS}$). 0.15 g에서

Table 3. Comparison between rate of setting fruits and special quality of fruits after flowers were visited by *B. ignitus* workers on May 23 through August 10

Hive opening (hr)	Cluster ¹⁾	No. of fruit set (each)	No. of flowers (each)	No. of seeds (each)	Fruits weight (g)	Brix (%)
1	4	70.5	140.4	52.5	23.8	5.4
	5	68.5	133.8	55.1	26.9	4.9
	6	95.0	209.7	58.2	25.6	4.9
	Average	78.0	161.3	55.3a ²⁾	25.4 ^{NS}	5.1
24	4	70.0	138.1	66.2	25.5	5.6
	5	75.0	183.8	61.1	23.9	4.8
	6	62.7	163.3	64.8	23.9	4.8
	Average	69.2	161.7	64.0b	24.4 ^{NS}	5.1

¹⁾No. of cluster surveyed : 10 clusters/treatment²⁾Means followed by different letters in the same column are significantly different at $\alpha=0.05$ by oneway ANOVA test.

0.35 g 사이의 체중을 가진 호박벌 일벌이 꽃가루를 주로 수집하였으며, 그 중에서 0.20 g에서 0.25 g 사이의 일벌들이 가장 활발하게 방화활동을 하는 것으로 조사되었다. Plowright and Jay (1977)에 의하면 뒤영벌 사육중 먹이를 적게 섭취한 유충은 체구가 작은 일벌이 되며, 외역을 하지 않고 내역에만 종사하는 반면에 먹이를 많이 섭취한 유충이 성장하여 체구가 큰 집단에 속하는 일벌들이 되어, 야외에서 몸의 온도를 쉽게 조절할 수 있고 나는 데 더 유리하여 외역에 주로 종사한다고 보고한 바 있다. 따라서 본 시험에서도 호박벌은 일벌체중 0.15 g 이상되는 비교적 큰 체구의 일벌들이 활동하는 것으로 조사되었다.

착과율 및 생산물조사

1시간 소문개방구와 24시간 소문개방구의 착과율과 품질에 미치는 영향을 조사한 결과(Table 3) 1시간 소문개방구의 토마토 4, 5화방 그리고 6화방의 평균 착과율 48.9%와 24시간 소문개방구의 착과율 43.3%와 유의한 차이는 없었으며($P=0.252^{NS}$), 과일의 무게와 당도에도 유의차는 없었다. 반면에 과실내 종자 수는 24시간 소문개방구가 64.0개로서 1시간 소문개방구 55.3개에 비해 많았다($P=0.017^*$). 이상의 결과로 볼 때 방울토마토의 경우 호박벌 일벌의 과도한 방화활동으로 인한 영향은 없는 것으로 조사되었다.

Literature Cited

Albano, S., E. Salvado and J. Cadima. 2000. General pattern of bumblebee visits to tomato flowers in greenhouse condition. 43pp. Abstract book I-XXI International Congress of Entomol-

- ogy, 298pp. Brazil.
- Allen, T., S. Cameron, R. McGinley and B. Heinrich. 1978. The role of workers and new queens in ergonomics of a bumblebee colony (Hymenoptera: Apidae). *J. Kans. Entomol. Soc.* 51: 329~342.
- Batra, S.W.T. 1996. Bees and pollination in our changing environment. *Honeybee Sci.* 17: 67~70.
- Choi, S.Y. 1987a. Studies on foraging activity of honey bees in the apple blossom (I). *Kor. J. Apiculture* 2: 93~100.
- Darwin, C.R. 1859. On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. 1st ed. 502pp. John Murray, London.
- Dogterom, M.H., J.A. Matteoni and R.C. Plowright. 1998. Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). *Entomol. Society of America* 91: 71~75.
- Dranstad, W.E. 1996. Do bumblebees (Hymenoptera: Apidae) really forage close to their nests? *J. Insect Behav.* 9: 163~182.
- Heinrich, B. 1979. *Bumblebee economics* (ed.). 250pp. Harvard University Press · Cambridge, Massachusetts, and London, England.
- Iikeda, F. and Y. Tadauchi. 1995. Application of bumblebee as pollinators on fruit vegetables. *Honeybee Sci.* 16: 49~56.
- Kim, C.H. 1995. *Industrial insects* (ed.). 204pp. Press of University of Kyungsang.
- Kim, C.W. 1988. A systematic reexamination of the bumblebees and cuckoo bees from Korea (Hymenoptera, Bombidae). *National Academy of Sciences (Natural science)* 27: 43~81.
- Kim Y.S. and S.Y. Choi. 1988. Diurnal activity of the honeybees on the Blossoms of *Tilia amurensis* Rupr. *Kor. J. Apicul.* 3: 11~15.
- Koidae, D. 1994. Effects of pollination and caution point by using of bumblebee in cherry-tomato cultivating house. *Cultivation and Horticulture.* 201pp.
- Lee, S.B. and T.W. Bae. 1999. Foraging activities by bumblebee, *Bombus terrestris* S. (Hymenoptera, Apidae) at two cultivating types of cherry-tomato house. *Korean J. Life Science* 11: 523~529.
- Lee, S.B., S.E. Kim, M.R. Lee, H.J. Yoon, I.K. Park, J.W. Kim and T.W. Bae. 2001. Compare with foraging activities of *Bombus ignitus* and *B. terrestris* in cherry-tomato cultivating house. *Kor. J. Apicul.* 16: 113~120.
- Macheuura, M. 1993. Ecology and Application of bumblebees as pollinator-IV. *Agricultural chemicals* 40: 20~22.
- Mexia, A., E. Salvado and S. Alvano. 2000. Pollination of greenhouse tomato crop by bumblebees. 63pp. *In Abstract book I-XXI International Congress of Entomology*, 298pp. Brazil.
- Mosquin, T. 1971. Competition for pollinators as a stimulus for

- the evolution of flowering time. *OIKOS* 22: 398~402.
- Ono, M. and T. Wada. 1996. The bumblebee world-Biological foundation and application-. Japanese Plant protection Association. 132pp.
- Plowright, R.C. and S.C. Jay. 1977. On the size determination of bumblebee castes (Hymenoptera: Apidae). *Can. J. Zool.*, 55: 1133~1138.
- Pyke, G.H. 1978. Optimal body size in bumblebees. *Oecologia (Berl.)* 34: 255~266.
- Ravestijn, W. van. and J. van der Sande. 1990. Use of bumblebees for the pollination of greenhouse tomatoes. pp. 204~209. *In Acta Horticulturae* 288. 6th International Symposium on Pollination. eds. by C. van Heemert and A. de Ruijter. 472pp. Tilburg, the Netherlands.
- Röseler, P.F. 1985. A technical for year-round rearing of *Bombus terrestris*. (Apidae, Bombini)colonies in captivity. *Apidologie* 16: 165~170.
- Sutcliffe, G.H. and R.C. Plowright. 1990. The effects of pollen availability on development time of the bumblebee. *Bombus terrestris* K. (Hymenoptera : Apidae). *Can. J. Zool.* 68: 1120~1123.
- Wada, T. 1993. Pollination of fruit vegetables and fruit trees by bumblebee as new pollinator. *Biological Industry* 10: 22~28.

(Received for publication 13 June 2003;
accepted 31 July 2003)