

도시와 산림지역 매미과 번식울음 차이 연구^{1a}

김윤재² · 기경석^{3*}

A Study on the Differences in Breeding Call of Cicadas in Urban and Forest Areas^{1a}

Yoon-Jae Kim², Kyong-Seok Ki^{3*}

요약

본 연구의 목적은 한국 중부지방 도시와 산림에 서식하는 매미종을 대상으로 번식울음 패턴과 번식울음에 영향을 미치는 중간영향 및 기상요인을 규명하여 번식울음 특성 차이를 밝히는데 있다. 연구대상지는 도시는 서울시 방배동 경남아파트로 산림은 원주시 치악산국립공원으로 선정하였다. 연구방법은 현장에 녹음기를 설치하여 24시간 녹음하고 그 결과를 분석하였다. 기상요인은 기상청 자료를 이용하였다. 연구기간은 2017년 6월 19일부터 9월 30일이었다. 연구 결과 두 대상지는 출현종에 차이를 보였다. 공통적으로 털매미(*Platypleura kaempferi*)와 참매미(*Hyalessa fuscata*), 애매미(*Meimuna opalifera*), 유지매미(*Graptopsaltria nigrofuscata*), 늦털매미(*Suisha coreana*)가 관찰되었으며, 도시에서는 말매미(*Cryptotympana atrata*)가 출현하였고 산림에서는 소요산매미(*Leptosemia takanonis*)가 출현하였다. 두 대상지는 매미 출현 시기에서도 차이를 보였다. 산림에서는 털매미와 소요산매미의 활동이 두드러지게 나타났으나 도시에서는 소요산매미가 관측되지 않고 털매미의 활동이 짧았다. 도시에서는 말매미가 출현하여 매우 오랜 기간을 울었으며 참매미, 애매미, 유지매미가 산림에 비해 빨리 나타났다. 늦털매미는 도시보다 산림에서 더 빠르게 출현하였다. 일주기 분석 결과 같은 매미종이라도 지역에 따라 일주기에 큰 차이를 보였으며 서로 다른 매미간의 중간영향과 도시와 산림의 환경적 차이가 매미의 울음에 영향을 주고 있었다. 각 매미 번식울음 여부와 각 대상지별 기상요인 간 상관분석 결과는 털매미와 늦털매미를 제외한 대부분의 매미가 온도에 양의 상관관계를 보였고, 동일 출현종은 산림 서식 매미가 일사량 등 더 다양한 기상요인에 양의 상관관계를 보였다. 로지스틱 회귀분석 결과 울음시기가 겹치는 매미들은 중간 번식울음에 유의미한 양의 영향을 미치고 있었다. 도시에만 출현한 말매미는 같은 시기에 우는 참매미, 애매미, 유지매미의 울음빈도에 양의 영향을 미쳤다. 산림에만 출현한 소요산매미는 같은 시기에 우는 털매미와 서로 양의 영향을 미쳤고 산림에서는 애매미가 참매미와 유지매미의 울음빈도에 양의 영향을 미치고 있었다. 기상요인의 경우 매미 울음빈도는 도시와 산림의 평균기온에 양의 영향을 받고 있었으며 산림에서 출현한 매미는 일사량에도 양의 영향을 받고 있었다. 통계분석 결과를 종합하면 활동 시기가 비슷한 도시 매미들은 도시 우점종 말매미를 중심으로 중간영향을 주고 받으며, 산림 매미들은 산림 우점종 애매미를 중심으로 중간영향을 주고 받고 있었다. 기상영향 분석결과는 상관분석 결과와 유사하게 기온에 주로 영향을 받았고, 산림에서 일사량의 영향력이 더 늘어나는 것을 확인하였다.

주요어: 털매미, 참매미, 애매미, 유지매미, 늦털매미, 말매미, 소요산매미

1 접수 2018년 8월 31일, 수정 (1차: 2018년 11월 30일), 게재확정 2018년 12월 20일

Received 31 August 2018; Revised (1st: 30 November 2018); Accepted 20 December 2018

2 상지대학교 대학원 응용식물과학과 원예조경학전공 석사과정 Dept. of Applied Plant Science, Graduate School of Sangji Univ., 83 Sangjidae-gil Wonju-si Gangwon-do 26339, Republic of Korea

3 상지대학교 친환경식물학부 원예조경학전공 조교수 Dept. of Horticulture and Landscape Architecture, Sangji Univ., 83 Sangjidae-gil Wonju-si Gangwon-do 26339, Republic of Korea

a 이 논문은 한국연구재단의 연구비 지원(NRF-2017R1C1B1008457)에 의해 진행되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel:+82-33-730-0566, Fax: +82-33-730-0503, E-mail: ecokks@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate differences in the breeding call characteristics of cicada species found in urban and forest areas in the central region of Korea by examining the interspecific effects and environmental factors affecting the breeding calls and breeding call patterns. The selected research sites were Gyungnam Apartment in Bangbae-dong, Seoul for the urban area and Chiak Mountain National Park in Wonju for the forest area. The research method for both sites was to record cicada breeding calls for 24 hours with a recorder installed at the site and analyze the results. Data from the Korea Meteorological Administration were used for environmental factors. The research period was from June 19, 2017 to September 30, 2017. As a result of the study, there were differences in the emergence of species between the two research sites: while *Platypleura kaempferi*, *Hyalessa fuscata*, *Meimuna opalifera*, *Graptopsaltria nigrofuscata*, and *Suisha coreana* were observed at both sites, *Cryptotympana atrata* was observed in the urban area and *Leptosemia takanonis* in the forest area only. The emergence periods of cicadas at the two sites were also different. The activities of *P. kaempferi* and *L. takanonis* were noticeable in the forest area. In the urban area, however, *L. takanonis* was not observed and the duration of activity of *P. kaempferi* was short. In the urban area, *C. atrata* appeared and sang for a long period; *H. fuscata*, *M. opalifera*, and *G. nigrofuscata* appeared earlier than in the forest area. *S. coreana* appeared earlier in the forest area than in the urban area. According to the daily call cycle analysis, even conspecific cicada showed a wide variation in their daily cycle depending on the region and the interspecific effects between different cicadas, and the environmental differences between the urban and forest areas affected the calls of cicadas. The results of correlation analysis between each cicada breeding calls and environmental factors of each site showed positive correlation with average temperature of most cicadas except *P. kaempferi* and *C. atrata*. The same species of each site showed positive correlations with more diverse weather factors such as solar irradiance. Logistic regression analysis showed that cicadas with overlapping calling times had significant effects on each other's breeding calls. *C. atrata*, which appeared only in the urban area, had a positive effect on the calling frequency of *H. fuscata*, *M. opalifera*, and *G. nigrofuscata*, which called in the same period. Additionally, *L. takanonis*, which appeared only in the forest area, and *P. kaempferi* had a positive effect on each other, and *M. opalifera* had a positive effect on the calling frequency of *H. fuscata* and *G. nigrofuscata* in the forest area. For the environmental factors, the calling frequency of cicadas was affected by the average temperatures of the urban and forest areas, and cicadas that appeared in the forest area were also affected by the amount of solar radiation. According to the results of statistical analysis, urban cicadas with similar activity periods are influenced by species, especially with respect to urban dominant species, *C. atrata*. Forest cicadas were influenced by species, mainly *M. opalifera*, which is a forest dominant species. The results of the meteorological impact analysis were similar to those of the correlation analysis, and were influenced mainly by the temperature, and the influence of the insolation was more increased in the forests.

KEY WORDS: *PLATYPLEURA KAEMPFERI*, *HYALESSA FUSCATA*, *MEIMUNA OPALIFERA*, *GRAPTOSALTRIA NIGROFUSCATA*, *SUISHA COREANA*, *CRYPTOTYMPANA ATRATA*, *LEPTOSEMIA TAKANONIS*

서론

야생동물 번식울음(Mating Calls)은 번식기에 주로 생성되는 복잡한 음향 신호이며 주로 수컷이 울음을 내고 암컷이 짝짓기 대상을 선택하는 번식방법이다(Searcy and Andersson, 1986). 야생 동물의 번식울음 연구는 조류, 양서류, 곤충류 등 생물종 전반으로 활발하게 이루어지며, 대부분의 생물종 번식울음은 주변 환경에 영향을 받는다(Derryberry, 2009; Oseen & Wassersug, 2002; Beckers & Schul, 2008; Souroukis *et al.*, 1992). Acorn(2015)는 곤충의 의사소통을 위한 다양한 울음소리를 Soundscape 적 접근을 통해 분석하여 곤충과 주변 환경을 모두 연구할 수 있다고 주장하였다.

매미는 주로 도시와 산림에 서식하며 두 환경의 차이는 일부 연구가 진행되었다. 산림은 토양탄소량이 도시에 비해 적어 탄소에 의한 고온현상이 적으며(Cho, 1999), 도시는 녹지가 적고 인공 포장면이 증가하면서 도시 열섬 현상이 일어나며 야간 조명이 곤충에게 영향을 끼친다는 연구 사례가 있다(Yoon, 2015; Lee, 2012). Choi(2007)는 도시는 이러한 환경조건 차이로 곤충 종 다양성이 산림에 비해서 낮다고 밝혔다. 도시 서식환경은 매미 생태에도 큰 영향을 미치고 있으며, Kang(2017)은 도시 내 서식지 유형, 미소서식지 환경은 매미 종 구성 및 발생량에 차이를 유발한다고 밝혔다. 또한 Moriyama and Numata(2015)는 도시 토양 압축이 매미 서식처에 악영향을 끼치며, 토양 압축이 완화된 산림 쪽이 종 다양성이 풍부하다고 밝혔다. 국내 연구에서도 매미 유충은 도시 내 토양 환경에 영향을 받는다고 하였다.(Kim *et al.*, 2011). 그리고 도시에 서식하는 말매미와 참매미는 도시열섬현상에 영향을 받아 밀도가 상승하고 있으며(Nguyen, 2018), 열대야 및 빛공해에 영향을 받아 번식울음의 시기가 길어지고 야간에도 우는 현상을 보이고 있다(Lee, 2012; Ki *et al.*, 2016).

매미 번식울음에 영향을 끼치는 요인은 주로 온도와 중간영향으로 알려져 있다. 매미는 온도가 높을수록 진동막 근육에 영향을 받아 울음빈도가 상승한다(Sanborn, 2002). Fonseca and Revez(2002)는 포르투갈 매미(*Tettigetta argentata*)가 온도가 높을수록 진동막 근육에 영향을 받아 울음주기가 늘어나지만, 적정온도보다 더 높아질 경우 울음주기가 줄어들고, 햇빛이 강할 시에는 체온이 10°C 이상 상승하여 진동막 근육에 영향을 받는다는 연구 결과를 보였다. Sueur(2002)는 멕시코 지역 매미가 다른 매미종과 주파수가 다른 번식울음을 내어 중간영향을 주고받는 것을 밝힌 바 있다.

도시와 산림에 서식하는 매미 종별 발생량 차이에 대하여 Kang(2017)은 도시에서 말매미 발생이 높지만 산림은 말매

미 발생량이 낮게 나타나며, 애매미, 소요산매미 등은 산림에서 상대적으로 높은 발생량을 보인다고 밝혔다. 또한 Kang은 2015년 연구에서 도시에 서식하는 매미종의 탈피 각 연구를 통해서 매미는 온도가 높을 때 탈피를 하며, 매미 발생이 장마전선 및 폭염과 관련성이 높다고 추측하였다. 특히 털매미는 다른 매미에 비해 강수량과 습도에 반응하는 것을 밝혀내었다. Shieh(2015)는 도시에 서식하는 매미 종 다양성은 산림에 비해 낮지만, 도시에 서식하는 매미는 환경 적응력이 산림 서식 매미에 비해 더 높다고 추정하였다. 반면 두 지역에 공통적으로 서식하는 매미는 울음소리 주파수와 울음 스펙트럼에 대해 유의미한 차이를 보이지 않는다고 하였다.

지금까지 매미 서식환경 관련 연구에서 도시 환경이 매미 생태에 영향을 미친다고 다수 보고된 바 있다. 또한 도시와 산림의 기상환경이 확연히 차이가 나며 두 지역별 매미 출현종과 우점종에도 차이가 있다. 그러나 국내 도시와 산림 매미 번식울음 패턴 차이와 중간영향 및 환경영향에 대한 비교연구는 부족하였다. 따라서 본 연구는 한국 중부지방 도시와 산림에 서식하는 여름철 매미종을 대상으로, 각 매미 번식울음에 영향을 미치는 기상요인의 차이를 중간영향과 기온, 일사량, 강수량 등 기상요인을 중심으로 규명하는데 목적이 있다.

연구방법

1. 연구대상지 및 대상종

연구대상지 중 도시는 한반도 중부지방 도시인 서울시 방배동 경남아파트 단지(N37°28'35.904", E126°59'59.6394")와 산림은 원주시 치악산국립공원(N37°23'58.2354", E128°2'58.632")을 선정하였다. 각 대상지 해발고도는 서울시 경남아파트가 61m, 치악산국립공원이 390m였다. 서울시 경남아파트 단지는 방배근린공원이 인접하고 있어 녹지가 풍부하여 매미가 서식하고 있음을 확인하였다. 원주시 치악산국립공원은 자연림 지역으로 매미 서식에 양호한 환경을 갖추고 있었다.

연구대상종은 각 대상지에서 관찰된 매미를 선정하였다. 두 대상지에서 공통적으로 관찰된 매미는 털매미(*P. kaempferi*)와 참매미(*H. fuscata*), 애매미(*M. opalifera*), 유지매미(*G. nigrofuscata*), 늦털매미(*S. coreana*)이었다. 각 대상지에서만 관찰된 매미는 경남아파트 단지에서는 말매미(*C. atrata*)이었고, 치악산국립공원에서는 소요산매미(*L. takanonis*)이었다.

2. 조사분석방법

매미 번식울음 현장측정은 서울시 경남아파트 단지에는 녹음장치 Idam PRO U11 Digital voice recorder를 설치하여 진행하였다. 원주시 치악산 국립공원은 녹음장치 Songmeter SM4를 이용하였다. 녹음기 설치 위치는 서식환경이 양호하고 녹음이 용이한 장소를 선정하여 녹지 내 관목류 1.2m 높이에 설치하였다. 녹음 장비는 1주 단위로 현장을 방문하여 상태를 점검하고 SD카드를 교체하였다. 매미 울음 녹음은 24시간 연속으로 진행하였고 녹음 파일은 서울시는 mp3, 192kpbs 포맷으로 하였고, 치악산은 wav, 192kpbs 포맷으로 녹음하였다. 두 녹음 파일의 주파수 영역은 20kHz로 동일하게 녹음하였으며, sonogram 분석 결과 두 녹음 파일의 매미 번식울음 스펙트럼 차이는 없다. 연구기간은 첫 번째 매미가 우는 2017년 6월 19일부터 녹음이 끝난 9월 30일까지 약 3개월간 진행하였다.

매미 번식울음 분석은 소리분석 프로그램인 Adobe Audition CC를 이용하였다. 매미 울음소리는 청음분석과 sonogram을 이용한 시각분석을 동시에 실시하여 해당 소리 및 주파수 패턴이 연구대상종과 동일한지 파악하였다. 매미 출현 시기는 각 매미별로 첫 번째 울음이 기록된 시기를 첫 출현 시기로 판단하고, 마지막 울음이 기록된 시기를 출현 종료 시기로 판단하였다. 매미 일주기 분석은 오전 5시 이후 첫 매미 번식울음이 시작한 시각을 시작시각으로 판단하였고, 오후 20시 이후 번식울음 빈도가 낮아져 0에 수렴하는 시각을 종료시각으로 판단하였다.

매미 번식울음 일주기는 각 대상지별로 매미 울음 빈도를 분석하여 대상지 별 차이를 분석하고 매미 간 종간영향이 있는지 분석하였다. 울음 빈도는 매미 번식울음 시간대별 울음 여부의 누적 일수로 파악하였다. 또한 울음 빈도가 높게 나타난 시간대를 울음 피크로 간주하였다. 일주기는 각 대상지별로 매미 활동이 가장 활발하여 구분히 명확한 시기를 매미종으로 구분하여 분석하였다. 도시(서울시)의 경우, 털매미와 참매미, 늦털매미의 출현기간으로 구분하여 일주기 그래프를 작성하였다. 산림(치악산)의 경우, 털매미, 유지매미, 늦털매미의 출현기간으로 구분하여 일주기 그래프를 작성하였다.

기상요인은 도시와 산림의 기상요인 차이가 매미 번식울음에 영향을 주는지 파악하기 위하여 대상지 별 평균기온, 강수량, 풍속, 습도, 일사량을 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)에서 수집하였다. 기상관측지점은 서울시는 종로구 송월동 108지점, 원주시는 기상요인은 명륜동 114지점에서 관측한 기상자료를 수집하였다.

도시와 산림에 서식하는 매미 울음에 영향을 미치는 요인간 통계분석은 다음과 같이 진행하였다. 첫 번째, 각 대상지별로 연구기간 내 매미의 울음 여부를 분석하여 출현시기와 일주기를 그래프로 나타내어 경향을 파악하였다. 두 번째, 평균기온, 강수량, 풍속, 습도, 일사량 등 기상요인이 각 대상지 별 매미 울음소리 여부에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 상관관계 분석을 실시하였다. 세 번째, 로지스틱 회귀분석을 통해 각 대상지 별 매미 울음소리 여부에 대한 종간 영향과 기상요인이 미치는 가능성을 분석하였다. 통계분석은 IBM SPSS Statistics(version 23)을 이용하였다.

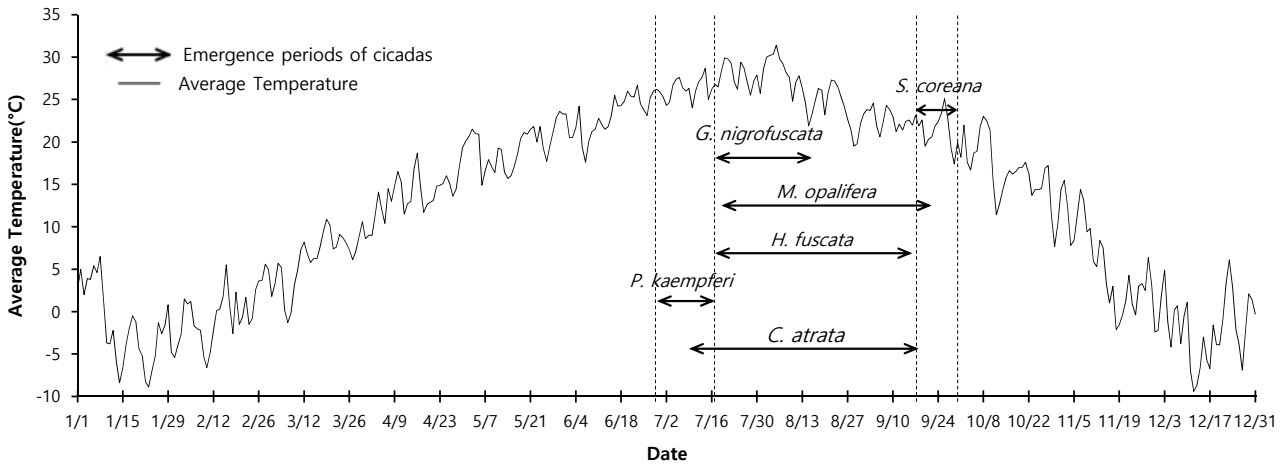
결과 및 고찰

1. 매미 출현 시기

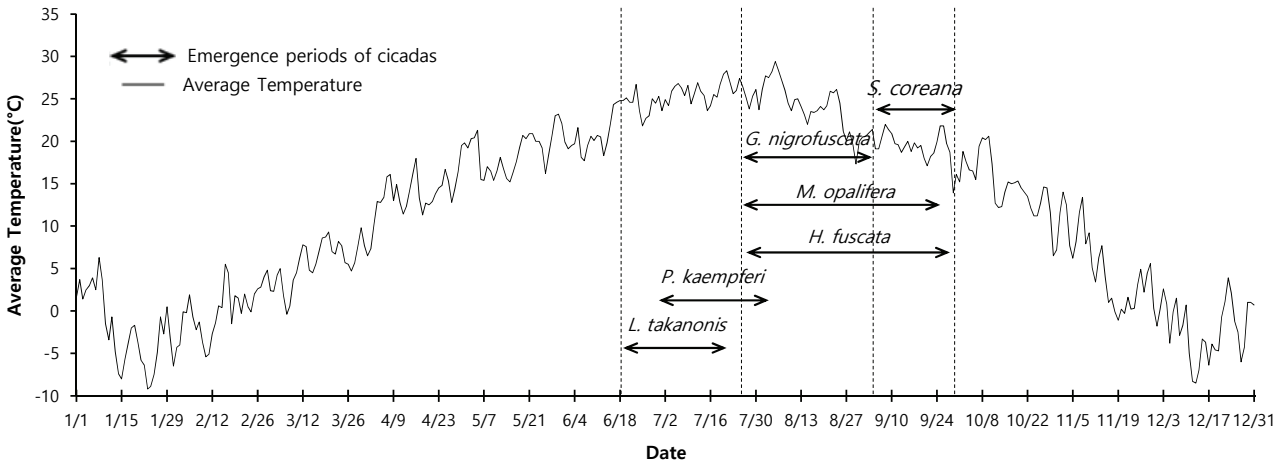
매미종 출현 시기는 서울시 분석 결과, 털매미는 6월 29일에 첫 출현을 하였고, 말매미는 7월 초에 출현하였다. 참매미, 애매미, 유지매미는 털매미가 울음을 그치는 7월 중순 일제히 출현하였다. 유지매미는 8월 중 울음을 그쳤고 참매미, 애매미, 말매미는 9월 초순까지 울다가 울음을 멈추었다. 늦털매미는 9월 중순에 출현하여 조사가 종료된 9월 30일까지 울음을 기록하였다(Figure 1).

2원주시 치악산국립공원 분석 결과, 소요산매미가 6월 19일에 첫 출현을 하였고 이어서 털매미가 울음을 시작하였다. 소요산매미와 털매미는 비슷한 시기동안 울었으며 소요산매미가 먼저 울음을 그치고 털매미가 이어서 울음을 멈추었다. 두 매미가 울음을 그친 후 에 7월 말부터 참매미, 애매미, 유지매미가 울음을 시작하였다. 유지매미가 9월 초 울음을 그친 후 늦털매미가 울음을 시작하였으며, 털매미와 애매미는 9월 말에 울음을 그쳤다. 늦털매미는 서울과 마찬가지로 조사가 종료된 9월 30일까지 울음을 기록하였다(Figure 1).

두 대상지는 출현종에서 차이를 보였다. 치악산에서는 소요산 매미의 활동이 두드러지게 나타났으나, 서울시에서는 소요산매미가 관측되지 않고 말매미가 출현하여 매우 오랜 기간을 울었다. 공통 출현종의 출현시기를 비교한 결과(Table 1), 털매미는 두 대상지에서 비슷한 시기에 출현하였으나 번식울음 일수는 치악산이 더 많았다. 참매미, 애매미, 유지매미는 서울시에 치악산에서 비해 더 빨리 나타났고 번식울음 일수는 비슷하였다. 늦털매미는 서울시보다 치악산에서 더 빠르게 출현하였다.



a. Urban area(Seoul, Gyungnam APT)



b. Forest area(Wonju, Chiak NP)

Figure 1. Emergence Period of Cicadas

Table 1. Breeding Call Date of Urban-Forest Cicadas

		Breeding Call Start (mm/dd)	Breeding Call End (mm/dd)	Total Calling Days
<i>P. kaempferi</i>	Seoul	06/29	07/17	18 days
	Chiak NP	06/30	08/03	34 days
<i>H. fuscata</i>	Seoul	07/17	09/16	61 days
	Chiak NP	07/27	09/28	63 days
<i>M. opalifera</i>	Seoul	07/19	09/22	65 days
	Chiak NP	07/26	09/25	61 days
<i>G. nigrofuscata</i>	Seoul	07/17	08/16	30 days
	Chiak NP	07/26	09/04	40 days
<i>S. coreana</i>	Seoul	09/17	-	-
	Chiak NP	09/05	-	-

2. 매미 일주기 차이

서울시 매미 일주기 분석 결과(Figure 2), 털매미는 나머지 매미에 비해서 출현기간 동안 빈도가 매우 낮았다. 말매미는 여름 동안 매우 높은 빈도를 보였다. 참매미, 애매미, 유지매미는 말매미에 비해 낮은 빈도를 보였으며 참매미는 새벽에 제일 먼저 피크를 형성하고, 애매미는 15시 경 피크를 형성하였으며, 유지매미는 19시 경 피크를 형성하였다. 이때 유지매미가 피크를 형성하는 동안 다른 매미들도 빈도가 다시 상승하는 경향을 보였다. 늦털매미는 9월 30일까지 분석되었으므로 빈도는 정확하지 않으나, 대체로 14시와 18시에 피크를 형성하였다.

치악산 매미 일주기 분석 결과(Figure 2), 소요산매미와 털매미의 빈도가 비슷하게 나타났고, 털매미가 새벽 5시와 오후 21시에 피크를 형성하였다. 매미가 집중적으로 운

유지매미 발생 기간 동안에는 참매미와 애매미의 빈도가 높았으며 유지매미의 빈도가 낮았다. 늦털매미 발생기간에는 참매미와 애매미가 늦털매미와 함께 기록되었으며, 늦털매미는 서울시와 비슷하게 14시와 18시에 피크를 형성하였다.

두 대상지 매미 울음 일주기를 비교하기 위해 공통적으로 관측된 각 매미 별 일주기 그래프를 하나의 그래프(Figure 3)로 나타낸 결과, 참매미는 산림에 비해서 도시에서 복잡한 형태를 보였다. 산림 우점종인 참매미 일주기는 도시 우점종인 말매미와 유사하였으나, 도시에서는 산림과 달리 새벽에 피크를 형성하고 야간에 우는 현상을 보였다. 도시 말매미 일주기 그래프와 비교하였을 때, 말매미가 없는 산림에서는 참매미가 말매미의 패턴과 유사하였다. 애매미는 도시보다 산림에서 빈도가 더 높았으며, 도시 애매미는 울음을

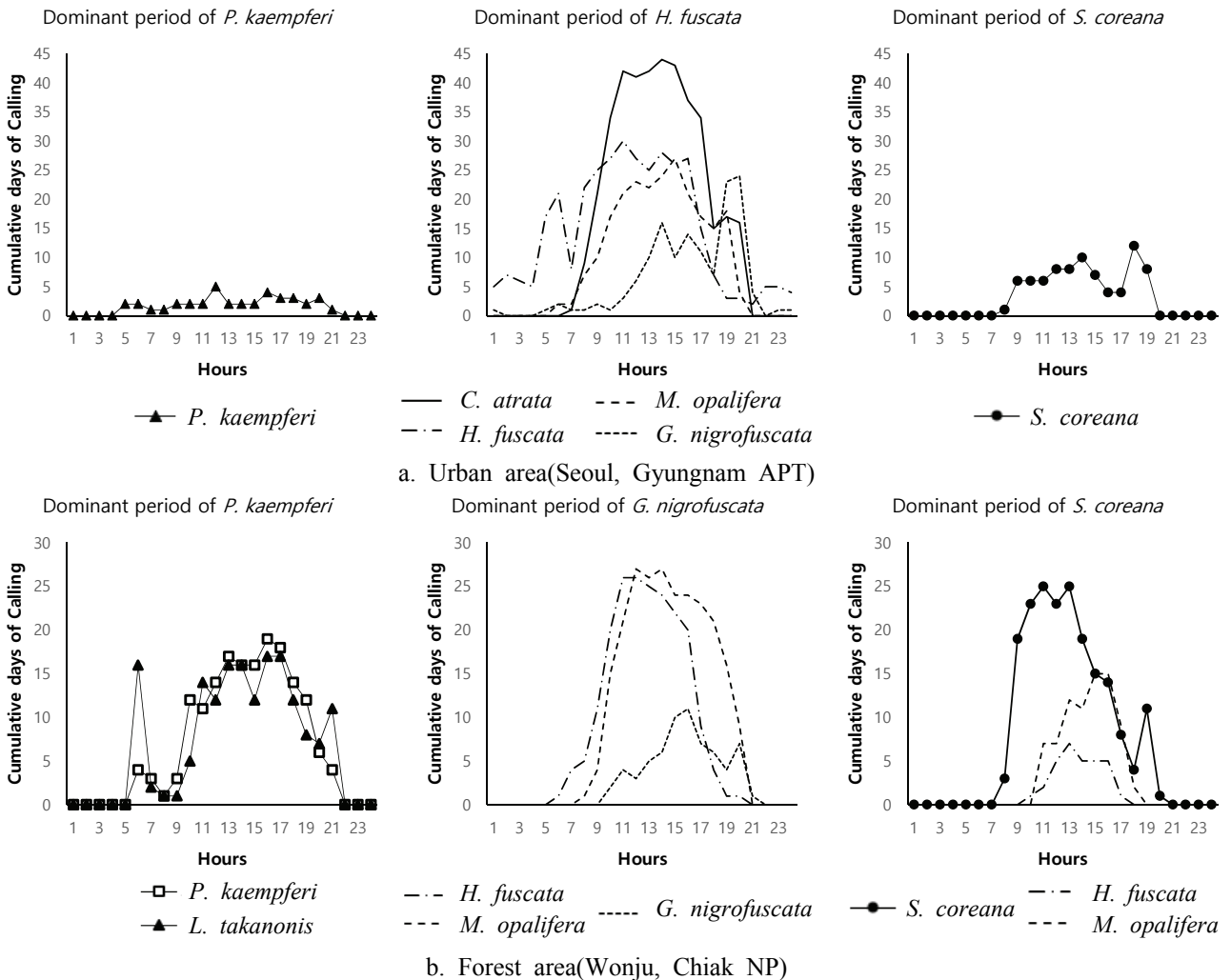


Figure 2. Daily Mating Calls Cycle

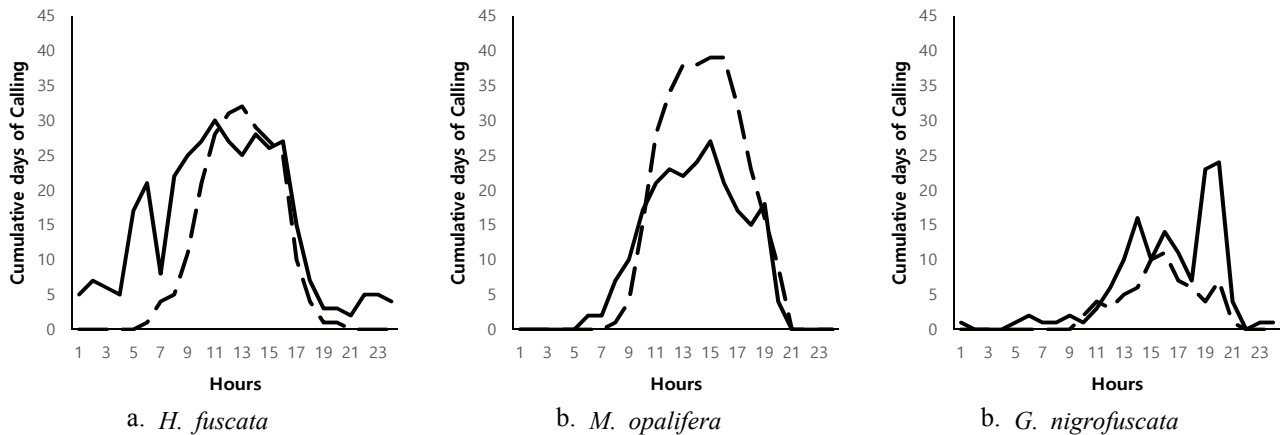


Figure 3. Specific Cicada Daily Mating Calls Cycle(—: in Urban area, ---: in Forest area)

일찍 시작하고 오후에 다시 빈도가 상승하는 현상을 보였다. 유지매미는 산림보다 도시에서 울음빈도가 높았으며, 도시에서 오후 피크 현상이 두드러지게 나타났다. 또한 유지매미는 참매미와 비슷하게 야간에 우는 현상을 보였다. 말매미와 같은 기간에 울지 않은 털매미와 늦털매미는 산림에 서식하는 쪽 빈도가 더 높고 패턴이 명확히 나타났다. 이상 결과를 종합해보면, 같은 매미종이라도 지역에 따라 일주기에 큰 차이를 보였으며, 서로 다른 매미 사이의 종간 영향과 도시와 산림의 환경적 차이가 매미 울음에 영향을 줄 수 있는 가능성을 확인하였다.

3. 매미울음과 기상요인 간의 상관분석

Table 2는 각 대상지별 기상요인과 대상지 내 서식하는 매미의 번식울음 여부 사이의 관계성을 위해 상관분석 결과이다. 도시(서울시)는 털매미는 어떤 기상요인과도 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 말매미는 다양한 기상요인과 관계성을 나타내었으며, 기온과 일사량과 양의 상관관계, 강수량과 습도와 음의 상관관계를 보였다. 참매미, 애매미, 유지매미는 모두 평균기온과 양의 상관관계를 보였다. 늦털매미는 풍속과 음의 상관관계를 보였다.

산림(치악산)의 경우, 여름 초에 함께 울음을 시작한 털매

미와 소요산매미는 서로 다른 기상요인에 반응하였으며, 털매미는 평균기온, 소요산매미는 일사량에 양의 상관관계를 나타내었다. 참매미, 애매미, 유지매미는 도시와 마찬가지로 평균기온에 양의 상관관계를 보였으나, 참매미와 애매미는 일사량에도 양의 상관관계를 보였다. 특히 애매미는 습도에 음의 상관관계를 보였다. 늦털매미는 도시와 달리 어떤 기상요인에도 반응하지 않았다.

두 대상지에 공통적으로 나타난 매미종의 상관분석 결과를 종합하면, 털매미는 도시와 달리 산림에서는 기온에 양의 상관관계를 보인다. 참매미는 두 환경의 기온에 양의 상관관계를 보였고 산림에서는 일사량과도 양의 상관관계를 보였다. 애매미는 참매미와 유사하게 두 환경의 기온에 양의 상관관계를 보였고 산림에서는 습도와 일사량에도 양의 상관관계를 보였다. 유지매미는 두 환경의 기온에만 양의 상관관계를 보였다. 늦털매미는 도시의 풍속 외에는 기상요인과 상관관계를 보이지 않았다. 따라서 대부분의 매미는 두 환경의 기온이 높을수록 울음빈도가 높아지지만, 산림에서는 일사량에도 양의 영향을 받았다. 또한 같은 매미종이라도 도시와 산림 등 서식하는 장소가 다르면 번식울음에 영향을 받는 기상요인에 차이가 있었다. 따라서 매미 번식울음은 서식지 기상환경 차이에 영향을 받는다고 파악하였다.

Table 2. Correlation between cicada calling and environmental factors

			Average temperature (°C)	Rainfall (mm)	Wind speed (m/s)	Humidity (%)	Sunshine (MJ/m2)
Urban Only	<i>C. arata</i>	Pearson	0.560**	-0.332**	-0.005	-0.280*	0.584**
		(p)	(0.000)	(0.009)	(0.969)	(0.029)	(0.000)
Urban-Forest	<i>P. kaempferi</i>	Urban	Pearson 0.238	-0.303	0.029	-0.439	0.367
		(p)	(0.326)	(0.207)	(0.907)	(0.060)	(0.123)
	Forest	Pearson 0.554**	0.235	-0.108	0.256	0.033	
	(p)	(0.000)	(0.150)	(0.512)	(0.116)	(0.842)	
<i>H. fuscata</i>	Urban	Pearson 0.740**	-0.143	-0.016	0.027	0.147	
	(p)	(0.000)	(0.270)	(0.901)	(0.835)	(0.258)	
Forest	Pearson 0.702**	-0.303	0.297	-0.216	0.391*		
(p)	(0.000)	(0.118)	(0.124)	(0.269)	(0.040)		
Urban-Forest	<i>M. opalifera</i>	Urban	Pearson 0.406**	-0.236	-0.035	-0.023	0.205
		(p)	(0.001)	(0.067)	(0.790)	(0.860)	(0.112)
	Forest	Pearson 0.570**	-0.325	0.255	-0.391*	0.555**	
	(p)	(0.002)	(0.092)	(0.191)	(0.040)	(0.002)	
<i>G. nigrofuscata</i>	Urban	Pearson 0.677**	-0.128	0.066	-0.038	0.196	
	(p)	(0.000)	(0.324)	(0.613)	(0.772)	(0.130)	
Forest	Pearson 0.693**	-0.169	0.028	-0.089	0.372		
(p)	(0.000)	(0.389)	(0.887)	(0.651)	(0.051)		
<i>S. coreana</i>	Urban	Pearson -0.395	-0.341	-0.539*	-0.488	0.03	
	(p)	(0.163)	(0.233)	(0.047)	(0.076)	(0.919)	
Forest	Pearson -0.248	-0.236	0.334	-0.382	0.353		
(p)	(0.221)	(0.245)	(0.095)	(0.054)	(0.077)		
Forest Only	<i>L. takanonis</i>	Pearson	0.004	0.026	0.256	-0.207	0.422**
		(p)	(0.983)	(0.875)	(0.115)	(0.205)	(0.007)

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4. 서식지별 환경영향 및 종간영향

매미 번식울음과 기상요인 영향을 분석하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다(Table 3). 도시(서울시) 내 매미 번식울음에 종간영향이 미칠 가능성을 분석한 결과, 털매미와 늦털매미는 다른 매미종의 울음소리에 영향을 받을 유의미한 가능성이 나타나지 않았다. 말매미, 참매미, 애매미, 유지매미는 서로 양의 영향을 줄 가능성이 나타났다. 종간영향은 말매미가 울면 참매미, 애매미, 유지매미가 울 가능성이 각각 6.17배, 5.63배, 2.66배 증가하는 것으로 나타났다. 참매미, 애매미, 유지매미가 울면 말매미가 울 가능성이 각각 5.79배, 4.13배, 3.35배 증가하는 것으로 나타났다. 또한 애매미는 울 때마다 참매미가 울 가능성이 1.58

배 증가하였다. 여름 내 도시 매미 대부분이 서로 영향을 끼친다는 경향이 확인하였고, 따라서 말매미가 도시에서 가장 큰 영향력을 끼친다고 할 수 있다.

산림(치악산) 내 매미의 경우, 소요산매미와 털매미가 서로 양의 영향을 끼칠 가능성이 확인되었다. 종간영향은 소요산매미가 울면 털매미가 울 가능성이 4.44배 증가하는 것으로 나타났으며, 털매미가 울면 소요산매미가 울 가능성이 4.04배 높아지는 것으로 나타났다. 애매미는 참매미와 유지매미 모두와 양의 영향을 주고받을 가능성이 있었고, 참매미와 유지매미는 서로 영향을 미칠 가능성은 없었다. 늦털매미는 다른 매미종에 영향을 미칠 가능성이 없었다. 종간영향은 애매미가 울면 참매미와 유지매미가 울 가능성

Table 3. Logistic regression analysis between each cicada callings and environmental factors

Cicadidae	H&L	Interspecific effects						Environmental factors				
		<i>Lt.</i>	<i>Pk.</i>	<i>Ca.</i>	<i>Hf.</i>	<i>Mo.</i>	<i>Gn.</i>	Avg. Temp	Humidity	Sunshine	Wind speed	
Urban	<i>Pk.</i>	0.908	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Ca.</i>	0.098	-	-	-	5.79***	4.13***	3.35***	1.17***	1.03***	7.10***	-
	<i>Hf.</i>	0.069	-	-	6.17***	-	1.58**	-	1.18***	1.05***	-	0.80***
	<i>Mo.</i>	0.090	-	-	5.63***	-	-	-	-	-	1.59***	-
	<i>Gn.</i>	0.139	-	-	2.66***	-	-	-	1.38***	0.98*	0.48***	-
Forest	<i>Sc.</i>	0.725	-	-	-	-	-	-	-	0.96***	-	-
	<i>Lt.</i>	0.214	-	4.04***	-	-	-	-	0.64***	0.89***	1.86***	-
	<i>Pk.</i>	0.653	4.44***	-	-	-	-	-	1.52***	1.06**	1.71**	-
	<i>Hf.</i>	0.139	-	-	-	-	5.23***	-	-	1.08***	5.16***	-
	<i>Mo.</i>	0.051	-	-	-	3.64***	-	3.51***	1.17***	-	4.52***	-
	<i>Gn.</i>	0.866	-	-	-	-	3.27***	-	1.36***	-	-	-
	<i>Sc.</i>	0.661	-	-	-	-	-	-	0.85**	1.04***	7.02***	-

Lt.: *L. takanonis*, *Pk.*: *P. kaempferi*, *Ca.*: *C. arata*, *Hf.*: *H. fuscata*

Mo.: *M. opalifera*, *Gn.*: *G. nigrofuscata*, *Sc.*: *S. coreana*

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.00$

이 각각 5.23배, 3.27배 증가하는 것으로 나타났으며, 참매미와 유지매미가 울면 애매미가 울 가능성이 각각 3.64배, 3.51배 높아지는 것으로 나타났다.

Figure 4.는 로지스틱 회귀분석 결과 중 유의미한 영향을 보인 매미 종간영향을 도식화한 것이다. 도시와 달리 산림에서는 털매미가 소요산매미와 서로 양의 영향을 받고 있었고, 일주기 그래프에서 높은 빈도를 보인 애매미가 도시 말매미와 비슷하게 다른 매미종에 양의 영향을 미치고 있었다. 또한 참매미와 애매미 사이에 유의한 영향력은 확인되지 않았다. 따라서 두 대상지의 서식하는 매미종에 따라 서

로에게 주는 종간영향이 다를 수 있음을 확인하였다. 또한 두 대상지에서 나타나는 동일 출현종인 참매미, 애매미, 유지매미는 특히 도시 우점종인 말매미에게 큰 영향을 받고 있으며, 말매미가 서식하지 않는 산림에서는 산림 우점종인 애매미를 중심으로 영향을 받아 도시와 다른 결과가 나타나는 것을 확인하다.

매미 번식율에 여부와 기상요인 간의 로지스틱 회귀분석 결과(Table 3), 도시에서는 상관분석과 마찬가지로 평균기온이 높을수록 말매미, 참매미, 유지매미가 울 가능성이 1.17배, 1.18배, 1.38배 높아진다. 말매미는 일사량에 높아

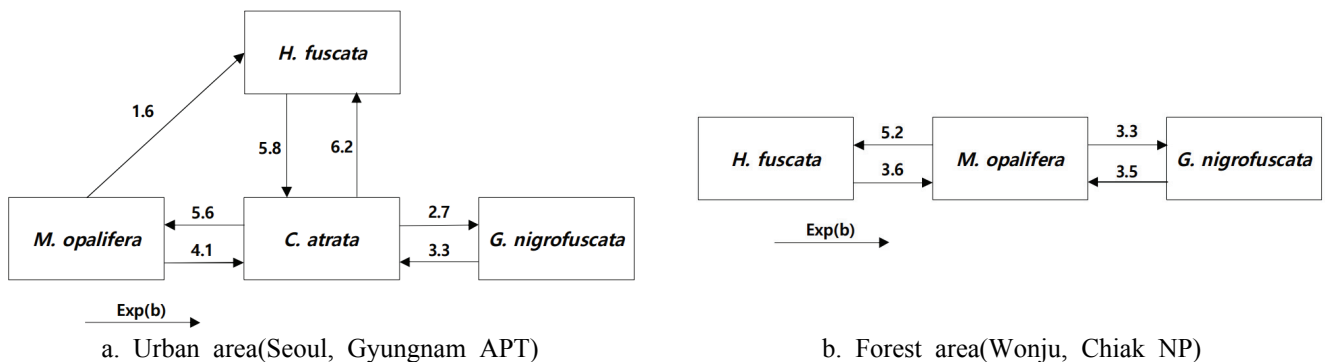


Figure 4. Interspecific effects about Urban and Forest area(in midsummer)

질수록 울음 가능성이 7.1배 높았고, 상관분석 결과와 다르게 참매미는 풍속이 강할수록 울음 가능성이 0.8배 낮아지며, 애매미와 유지매미는 일사량이 높아질수록 울 가능성이 각각 1.59배, 0.48배로 나타났다. 습도는 대다수 매미에게 음의 영향을 미칠 가능성이 나타났지만 Exp(b)값이 1에 매우 근접하므로 유의미한 영향을 미칠 가능성이 낮았다.

산림 분석 결과, 도시와 마찬가지로 상관관계 결과와 유사하게 평균기온이 높아질수록 털매미, 애매미, 유지매미가 울 가능성이 각각 1.52배, 1.17배, 1.36배 높아졌다. 일사량은 유지매미를 제외한 대부분의 매미에게 양의 영향을 주어서 일사량이 높아질수록 소요산매미(1.86배), 털매미(1.71배), 참매미(5.16배), 애매미(4.52배), 늦털매미(7.02배)가 울 가능성이 높아졌다. 습도가 유의미한 영향을 미칠 가능성이 낮음을 확인하였다. 상관분석 결과와는 다르게, 소요산매미는 평균기온이 높아질수록 울 가능성이 0.64배 낮아졌고, 털매미와 늦털매미가 일사량에 영향을 받을 가능성이 있음을 확인하였다.

따라서 로지스틱 회귀분석 결과에 따르면 매미들은 대체로 평균기온에 양의 영향을 받고, 산림에 서식하는 매미의 경우, 같은 종이어도 도시와 달리 일사량에도 양의 영향을 받을 가능성이 높았다. 또한 도시에서 말매미는 다른 매미에 비해 기상요인에 민감하게 반응하고 있었으며, 산림에서 유지매미를 제외한 나머지 매미들이 도시에 비해 기상요인에 더 민감하게 반응하는 것을 확인하였다. 결과를 종합하면, 매미의 번식율은 중간영향과 서식지 기상환경에 모두 유의미한 영향을 받으며, 도시보다는 산림의 기상환경에 더 민감하게 반응하는 것으로 판단되었다.

5. 고찰

본 연구의 목적은 한국 중부지방 도시와 산림에 서식하는 매미종을 대상으로 번식율 패턴과 번식율에 영향을 미치는 중간영향 및 기상요인을 규명하여 번식율 특성 차이를 밝히는데 있다. 기존 연구에 의하면, 도시에서 말매미 발생이 높지만 산림은 말매미의 발생량이 낮게 나타나며, 애매미, 소요산매미 등은 산림에서 상대적으로 높은 발생량을 보인다고 하였다(Kang, 2017). 본 연구 결과, 대상지 별 서식 매미종은 두 대상지에서 털매미, 참매미, 애매미, 유지매미, 늦털매미가 공통적으로 관측되었으며, 도시에는 말매미, 산림에는 소요산매미가 관측되었다. 따라서 도시에서 말매미가 출현하고, 산림에서 소요산매미가 출현한다는 기존 결과와 부합한다. 또한 애매미의 빈도가 도시에 비해서 산림이 높다는 결과와도 유사하였다. 본 연구에서는 도시와 산림에서 출현하는 매미 번식율 특성을 구체적으로 규명하고 각 매미 출현 시기를 밝혀내었다.

Nguyen(2018)는 도시열섬 현상 등에 의해 도시에 서식하는 말매미와 참매미 출현이 빨라지고 밀도가 높아진다고 밝혔다. 본 연구에서는 말매미와 참매미 외에도 도시와 산림에 출현하는 공통종 출현시기와 번식율에 기간이 다르며, 도시에 서식하는 매미가 산림에 비해 더욱 빠르다고 파악하였다. 또한 도시 참매미는 울음 일주기에서도 차이를 보여 산림과 달리 야간에도 번식율을 내는 것도 도시의 빛공해의 영향이라는 Ki(2016)의 기존 연구와 유사한 결과를 파악하였다. 애매미와 유지매미 역시 도시와 산림에서 다른 일주기 패턴을 보이는 것을 밝혔다.

로지스틱 회귀분석 결과, 중간영향에 대해서는 도시 털매미, 양 지역 늦털매미 등 울음시기를 달리하는 매미는 다른 매미의 울음빈도에 영향을 미치지 않았다. 반면 같은 시기에 우는 매미들은 Sueur(2002)의 멕시코 지역 매미 연구 등 기존 연구와 유사하게 중간영향을 미치고 있었으며, 특히 울음빈도가 높은 도시 말매미는 다른 매미들의 울음빈도에 높은 양의 영향을 주었다. 산림에 서식하는 소요산매미는 털매미에게 양의 영향을 주었고, 산림에서 높은 빈도를 보여준 애매미는 참매미와 유지매미에게 높은 양의 영향을 주었다. 번식율에 영향을 미치는 기상요인은 주로 기온과 일사량이었다. 이는 매미 번식율이 온도에 영향을 받는다는 Sanborn(2002)의 기존 연구와 유사하였으며, 포르투갈 매미가 햇빛에 의해 체온이 상승하여 번식율에 영향을 받는다는 것과는 유사하다(Fonseca and Revez, 2002). 도시에 서식하는 매미와 달리 치악산에 서식하는 매미는 동일종이라도 일사량에 영향을 받았는데, 기상청 환경자료에 의하면 치악산(산림)의 일사량이 서울시(도시)에 비해서 더 높게 나타나는 것과 관련이 있는 것으로 추측된다. 또한 기존 연구와 달리 본 연구에서 유지매미는 일사량에 높을수록 오히려 울 가능성이 낮아지거나 영향을 받지 않는다는 것을 밝혀내었다. 이는 유지매미가 일사량이 점차 낮아지는 오후에 울음피크를 치는 일주기 그래프로 보아 오후에 우는 매미의 특성으로 추측하였다.

본 연구의 의의는 기존 국내 매미 연구에서 미흡했던 도시와 산림에 서식하는 매미 비교분석으로 유의한 차이를 밝혔다. 또한 통계학적 접근을 통해 매미 중간영향과 기상요인 영향을 규명하였다. 따라서 기존 매미 연구에 대해 새로운 접근을 제시하였으며 매미종에 대한 설명을 보충하였다.

본 연구의 한계는 연구대상지가 두 지역으로 한정되었으므로 보다 정확한 분석을 위해 장기적이고 다양한 지역에서 조사 및 연구가 필요하다. 또한 Shieh(2015)에 따르면 공통 출현 매미종은 환경 적응력이 높을 것으로 추정되므로 단일종에 대한 구체적인 분석이 필요하다. 그리고 Kim(2011)과 Moriyama and Numata(2015)의 연구에 따르면 매미는 중

간영향과 기상요인 뿐만 아니라 토양 등 유충의 서식환경에도 영향을 받는다는 연구 사례에 따라 매미울음 영향요인에 대한 더 다양한 관점에서의 접근이 필요하다.

REFERENCES

- Acorn, J.(2015) Insects and the “Soundscape”. *American Entomologist* 61(4): 263-264.
- Beckers, O.M. and J. Schul(2008) Developmental plasticity of mating calls enables acoustic communication in diverse environments. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 275(1640): 1243-1248.
- Cho, H.G. and G.S. Han(1999) Comparison of soil characteristics and carbon storage between urban and natural land. (in Korean with English abstract)
- Choi, Y.C., J.G. Kim, J.Y. Choi, W.T. Kim, H.S. Sim and B.D. Park(2007) Evaluation of Farm Lands located in Urban Area and Industrial Complex using Insect Diversity Indices. *Korean Journal of Applied Entomology*: 363-373. (in Korean with English abstract)
- Derryberry, E.P.(2009) Ecology shapes birdsong evolution: variation in morphology and habitat explains variation in white-crowned sparrow song. *The American Naturalist* 174(1): 24-33.
- Fonseca, P. and M.A. Revez(2002) Temperature dependence of cicada songs (Homoptera, Cicadoidea). *Journal of Comparative Physiology A* 187(12): 971-976.
- Kang, J.Y., G.S. Jeong and H.J. Lee(2015) The relationship between the occurrence of cicadas in metropolitan parks and meteorological factors. *Korean Journal of Applied Entomology*(2015): 73-74. (in Korean)
- Kang, J.Y., Y.S. Kwon, G.S. Jeong and S.S. Kim(2017) A Study on the Composition and Occurrence of Cicadas in the Urban Environment. *Korean journal of applied entomology*(2017): 66-66 .(in Korean)
- Kang, J.Y., Y.S. Kwon, G.S. Jeong, Y.S. Choi, S.B. Joo, S.Y. Park and S.S. Kim(2017) A Study on the Production and Species Composition of Cicadas According to the Urban Artificiality. *Korean Journal of Applied Entomology*(2017): 73-73. (in Korean)
- Ki, K.S., J.Y. Kim, K.S. Yoon and J.Y. Lee(2016) Effects of Tropical Night and light Pollution in cicadas calls in Urban Areas. *Korean J. Environ Ecology* 30(4): 724-729. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.H. and J.G. Kim(2011) Soil habitat characteristics of cicada nymph in an urban apartment garden. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 14(3): 47-55. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.J., Y.K. Kim, Y.D. Joo, B.S. Park, M.S. Kim and Y.S. Bae(2012) Attraction characters of insects and ecological effect by the artificial night lighting. *Korean Journal of Applied Entomology*: 111-111. (in Korean)
- Moriyama, M. and H. Numata(2015) Urban soil compaction reduces cicada diversity. *Zoological letters* 1(1): 19.
- Nguyen, H.Q., D.K. Andersen, Y. Kim and Y. Jang (2018). Urban heat island effect on cicada densities in metropolitan Seoul. *PeerJ* 6: e4238.
- Oseen, K.L. and R.J. Wassersug(2002) Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. *Oecologia* 133(4): 616-625.
- Sanborn, A.F., J.H. Breitbarth, J.E. Heath and M.S. Heath(2002) Temperature responses and habitat sharing in two sympatric species of Okanagana (Homoptera: Cicadoidea). *Western North American Naturalist*: 437-450.
- Searcy, W.A. and M. Andersson(1986) Sexual selection and the evolution of song. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17(1): 507-533.
- Shieh, B.S., S.H. Liang and Y.W. Chiu(2015) Acoustic and temporal partitioning of cicada assemblages in city and mountain environments. *PloS one* 10(1): e0116794.
- Souroukis, K., W.H. Cade and G. Rowell(1992) Factors that possibly influence variation in the calling song of field crickets: temperature, time, and male size, age, and wing morphology. *Canadian Journal of Zoology* 70(5): 950-955.
- Sueur, J.(2002) Cicada acoustic communication: potential sound partitioning in a multispecies community from Mexico (Hemiptera: Cicadomorpha: Cicadidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 75(3): 379-394.
- Yoon, M.H.(2015) A study on the Biotope Map Production and Green Space Design Focused on Insect Ecology -Focused on Chungju City-. *Bulletin of Korean Society of Basic Design & Art* 16(3): 413-427. (in Korean with English abstract)
- <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>