

육상풍력발전단지 조성에 따른 곤충군집 변화에 관한 연구

이 진*, 김성수¹, 장문정

국립생태원 생태평가연구실 환경영향평가팀, ¹동아시아환경생물연구소

Changes in insect diversity and composition after construction of an onshore wind farm

Jin Lee*, Sung-Soo Kim¹ and Moon-Jeong Jang

Environmental Impact Assessment team, Division of Ecological Assessment, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea

¹Research Institute for East Asian Environment and Biology, Seoul 05841, Republic of Korea

*Corresponding author

Jin Lee

Tel. 061-950-5101

E-mail. jinlee@nie.re.kr

Received: 24 November 2022

First revised: 19 December 2022

Second revised: 23 December 2022

Revision accepted: 26 December 2022

Abstract: This study was conducted to identify changes of insect compositions and diversity after construction of an onshore wind farm. We investigated insect fauna and compositions between a grassland deforested by the construction and a forest located at Yeongdeok and Yeongyang, Gyeongsangbuk-do, Korea. Insects were collected using a sweeping net and light trap. A total of 11 orders, 50 families, and 246 species, and 1,076 individuals were collected at study sites. By taxonomic group, Lepidoptera species were the most frequently found with 141 species, 417 individuals (38.8%), followed by Hymenoptera (20.6%), Hemiptera (16.2%), and Orthoptera (12.3%). There were also significant differences in insect species and community compositions between sites. Creating open-field deforested forests are beneficial for some insect groups such as Hymenoptera and Orthoptera. Our results suggest that deforesting by the construction of an onshore wind farm might affect the composition and diversity of insects. Results of this study provide basic data for research on onshore wind farms.

Keywords: onshore wind farm, insect fauna, forest fragmentation, insect community

서 론

청정에너지원인 풍력발전은 기후변화에 대응하기 위한 대책의 일환으로 매우 빠른 속도로 성장해 나가고 있다(Perveen *et al.* 2014; Lee *et al.* 2020). 유럽의 경우, 전체 에너지 수요의 약 14% 이상을 풍력발전으로 충당하고 있으며, 특히 덴마크에서는 풍력발전의 기여율이 41%에 해

당한다(National Research Council 2007). 그러나 구릉지와 평지와 같은 상대적으로 지형과 식생의 훼손이 적은 외국과 달리 우리나라에서는 주요 농선축이거나(Zhu *et al.* 2020) 그에 가까이 설치하여 환경 측면으로 악영향이 예상되었다(Lee *et al.* 2020). 특히, 산줄기를 따라 설치되는 발전시설과 관리 도로로 인한 생태계 단절과 교란, 지역 생태계 생물 종 변화 등이 예상되며, 풍력발전기 블레이드

와의 조류 충돌, 조류 이동을 방해하는 등의 문제가 제기되었다(Lee *et al.* 2020).

육상풍력발전단지 조성으로 인한 관리 도로(임도)는 서식지를 훼손시키거나 파편화시켜서, 곤충뿐 아니라 일대의 포유류, 조류 등에도 서식지 기능 측면에서 생태적 단절, 숲 가장자리 면적 증가에 따른 미기후 변화, 식물 종 조성의 변화 및 외래종 침입에 의한 생태계 교란 등의 부정적으로 작용하나(National Research Council 2007), 이에 관한 연구는 국내·외에서 부족한 상태이다. 따라서 육상풍력발전의 생태계의 중·장기적인 모니터링을 통해 생태계에 미치는 영향을 파악하여 발전단지의 설치에 따른 근거를 마련할 필요가 있다.

곤충은 생물다양성의 중요한 무리이며, 환경변화에 민감한 생물 중 하나로 자리매김하여 여러 연구의 지표로 사용되어 왔다(Skendzić *et al.* 2020). 특히, 초식 곤충은 식물과 밀접한 관계를 이루어 환경변화에 따른 식물과 곤충의 상호관계에 대해 주목받는 대상이 되고 있으나(Straus and Zangerl 2002), 육상풍력발전단지 내에서의 식생과 곤충과의 관계에 대한 연구는 지금까지 덜 이루어졌다.

또한 곤충의 시·공간적인 변화는 매우 역동적이며 이는 생태계 내에서 삼극의 상호작용(Tri-trophic interaction)을 일으킨다. 초식 곤충은 소비자와 수분 매개자의 역할을 하고, 포식성 곤충, 박쥐, 새, 거미 등에게 중요한 먹이원이 된다(Hunter 2001; Lee *et al.* 2019). 따라서 곤충은 생태계 안정성을 유지하는 데 중요한 역할을 하는 생물군이므로 풍력단지의 체계적인 관리에 있어서 이들의 증감이 중요한

지표가 될 수 있다.

육상풍력발전단지 내에서의 그동안의 곤충에 대한 연구는 블레이드 색에 따른 곤충의 유인(Long *et al.* 2011), 풍력발전기에서 무당벌레의 활동 연구(Dudek *et al.* 2015), 경작지 주변의 풍력 발전단지에서의 곤충 다양성의 변화(Pustkowiak *et al.* 2018) 등이 있으며, 육상풍력발전단지 조성으로 인한 고지대의 산림 훼손과 서식지 파편화에 대한 연구는 거의 없었다. 하지만 육상풍력발전단지를 조성하는 데 고려해야 할 이유가 충분하다고 판단된다.

본 연구는 산림생태계 육상풍력발전단지 내에 서식하는 육상 곤충상을 파악하고, 관리 도로로 사용하고 있는 임도와 그 주변 산림에 서식하는 곤충 군집을 조사하여 산림 내 육상풍력발전단지 조성이 산림생태계에 미치는 영향에 대한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

이 연구는 현재 운영 중인 무창육상풍력발전단지에서 진행되었다. 이 단지는 경상북도 영양군 영양읍 무창리, 영덕군 창수면 장수리 일원(Fig. 1; N 36°36', E 129°13', 570~650 m)에 있으며, 면적이 86,888 m², 발전 용량이 24.14 MW (3.45MW 7기)이고, 2017년도에 착공하여 2018년도에 준공되었다. 풍력발전단지 건설 전의 주요 식물상으로

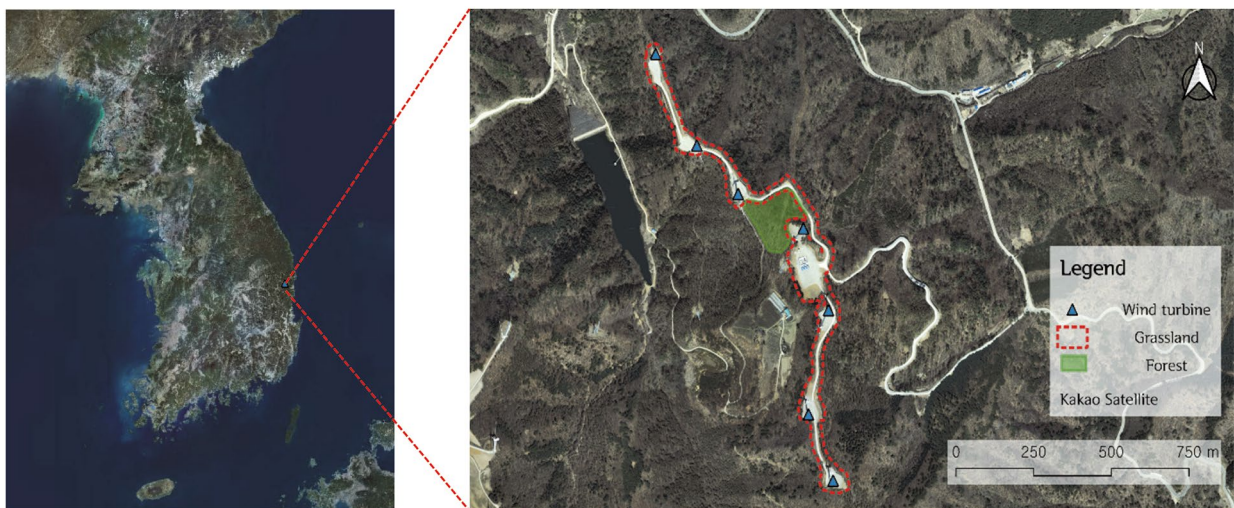


Fig. 1. Location map of the survey site in the wind farm.

는 산림지대에 분포하는 떡갈나무, 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 고로쇠나무, 일본잎갈나무 등이 있었고, 우점 군락으로는 일본잎갈나무 식재림, 신갈나무-상수리나무군락, 굴참나무 군락 등이 있었다(YGE 2016).

2. 조사 방법

조사는 풍력단지 내 산림이 훼손된 초지와 작은 관목이 있는 임도 주변, 인근 훼손되지 않는 산림 내부로 구역을 나누어 실시하였다(Fig. 1). 곤충상 조사는 구역당 2회(2022년 8월 13~14일, 9월 2~4일) 실시하였다. 각 조사구 별로 주간에는 포충망을 이용한 쓸어 잡기(Sweeping), 채어 잡기(Brandishing)를 각각 500회씩 하였으며, 맨눈으로 종을 확인하기 어려운 경우에 한해 채집한 뒤 연구실에서 동정하였다. 또한 야행성 곤충을 채집하기 위해 O자형 22 att 자외선등 버킷트랩(BioQip Co., USA)을 각 조사 지점에 설치하여, 일몰 후 4시간씩 작동하게 하였다. 트랩에 채집된 곤충은 종 단위까지 동정하였다. 이번에 확인한 종수와 개체수를 바탕으로 조사 지점별 다양도 지수(Shannon-Wiener, H')와 균등도 지수(Pielou, J)를 구하였다.

3. 통계 분석

임도 주변(Grassland)과 인근 산림 내부(Forest)에서 채집된 곤충들의 종수, 전체 개체수, 다양성 지수의 차이를 알아보기 위해 student t-test를 실시하였다. 또 분포 특성을

평가하기 위해 수집된 곤충 자료(목별)를 이용하여 서열 기법 중 하나인 DCA(Detrended Correspondence Analysis) ordination을 수행하여 2차원 공간 위에 나타내었다(Canoco 5. Micorcomputer power, USA; Leps and Smilauer 2007). 더불어 먹이자원과 관련된 섭식길드인 초식 곤충과 포식자와의 관계를 알기 위해 회귀분석을 시도하였다. 모든 변수는 정규성 검정을 하기 위하여 Shapiro-Wilk normality test를 하였고 정규분포에 따르지 않는 데이터는 상용log나 $\log(n+1)$ 로 변환시켜 정규분포를 따르도록 하였다. 모든 통계는 R 프로그램(ver.3.4.3, R development)을 이용하여 분석하였다.

결 과

육상풍력발전단지 조사 지역에서 출현한 곤충은 총 11목 50과 246종 1,076개체였고, 나비목(L: Lepidoptera), 벌목(H: Hymenoptera), 노린재목(He: Hemiptera), 메뚜기목(O: Orthoptera), 딱정벌레목(C: Coleoptera), 잠자리목(Od: Odonta), 매미목(Ho: Homoptera)의 순으로 확인되었다(Table 1, Fig. 1, Appendix 1). 밀들이목(Mecoptera), 사마귀목(Mantodea), 파리목(Diptera), 풀잠자리목(Neuroptera)은 발견된 개체수가 총 개체수의 1% 미만이며 이번 분석에서 제외했다(Fig. 2). 가장 많은 종과 개체수가 출현한 분류군은 나비목(L)으로 총 141종 417개체

Table 1. Surveyed insect taxon between forest and grassland sites in a wind farm

Order	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
Lepidoptera	52	89	141	134	283	417
Hemiptera	5	30	35	35	139	174
Orthoptera		16	16		132	132
Coleoptera	2	15	17	6	32	38
Hymenoptera	1	13	14	2	220	222
Odonata		7	7		54	54
Diptera	1	5	6	1	5	6
Mantodea		2	2		2	2
Mecoptera		1	1		2	2
Homoptera	6		6	28		28
Neuroptera	1		1	1		1
	68	178	246	207	869	1076

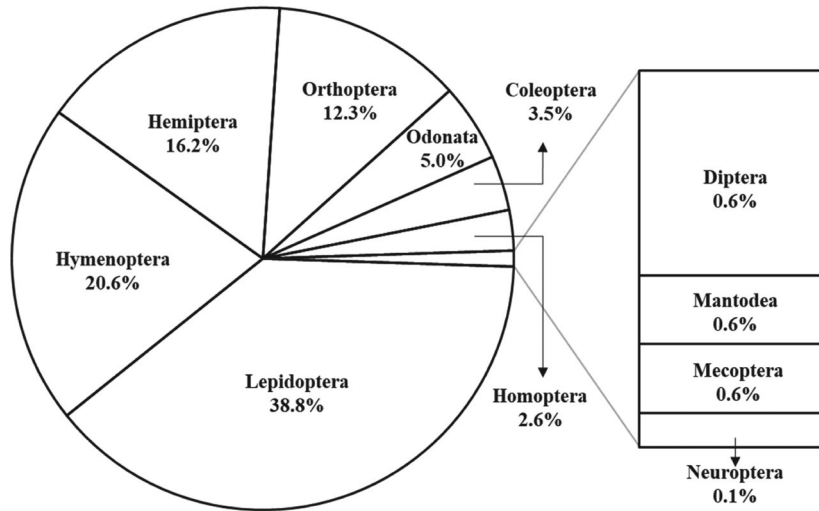


Fig. 2. Composition ratio of each insect taxa in the wind farm.

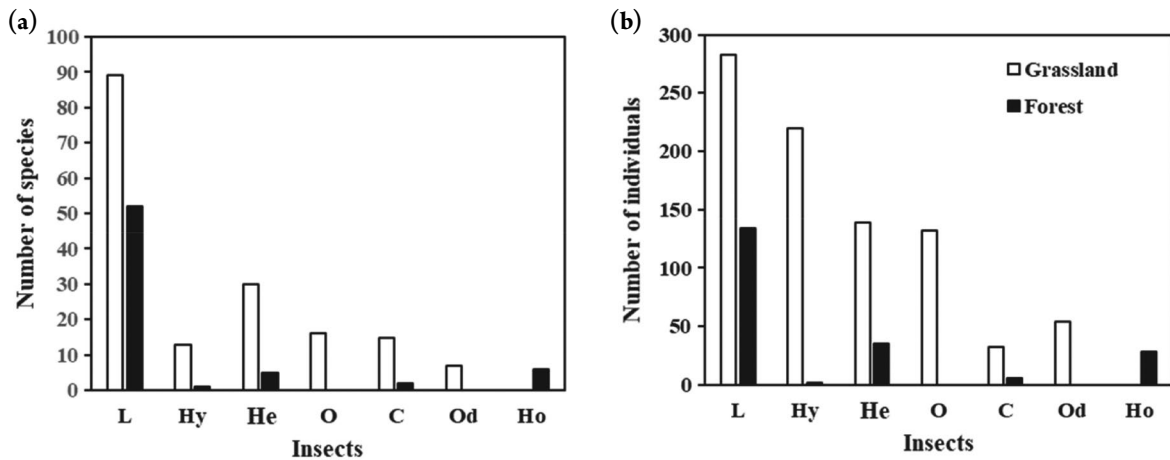


Fig. 3. Richness (a) and abundance (b) of insects between forest (black bar) and grassland (empty bar). L: Lepidoptera, Hy: Hymenoptera, He: Hemiptera, O: Orthoptera, C: Coleoptera, Od: Odonata, Ho: Homoptera.

(38.8%)였고, 다음으로는 노린재목(He)이 14종 222개체 (Hymenoptera), 메뚜기목(O)이 16종 132개체 (12.3%)의 순이었다(Table 1, Fig. 2, Appendix 1).

1종을 제외한 벌목(Hy), 메뚜기목(O), 잠자리목(Od)은 초지에서만 발견되었고, 반대로 매미목(Ho)은 산림 내에서만 확인되었다(Fig. 3). 또한 곤충 군집(목 수준)으로 서열화한 결과(DCA), 그 배열은 곤충 구성의 차이가 초지와 산림으로 구분되어 배열되는 경향을 보였다(Fig. 3, axis 1: 31%, axis 2: 0.06%). 초지에서는 잠자리목(Od), 메뚜기목(O), 벌목(Hy), 딱정벌레목(C), 노린재목(He), 산림에

서는 나비목(L), 노린재목(T), 매미목(Ho)으로 배열되었다(Fig. 4).

산림에 비해 초지의 곤충 종 수(산림: 34.0 ± 60 , 초지: 89.0 ± 5.0), 개체수(산림: 103.5 ± 64.6 , 초지: 434.5 ± 185.5)는 높은 수치였으나 통계적으로는 출현 종 수만 유의한 결과를 보였다(Table 1, $p < 0.05$). 또한 다양성 지수(산림: 3.1 ± 0.3 , 초지: 3.5 ± 0.3)와 균등도 지수(산림: 0.6 ± 0.0 , 초지: 0.7 ± 0.1)는 산림에 비해 초지가 더 높았지만, 통계적으로는 유의하지 않았다(Table 2, $p > 0.05$).

섭식 길드에 따른 초식 곤충, 포식자의 종 수와 개체수

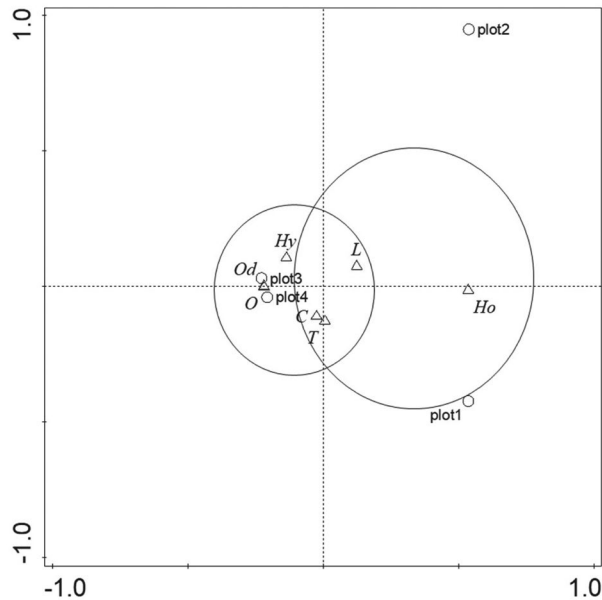


Fig. 4. Ordination of surveyed insects (order). Plots 1 and 2: Forest; Plots 3 and 4: Grassland. L: Lepidoptera, Hy: Hymenoptera, He: Hemiptera, O: Orthoptera, C: Coleoptera, Od: Odonata, Ho: Homoptera.

는 산림에 비해 초지에서 높았으나, 초식 곤충과 포식자와의 관계는 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다 (Table 3, $p > 0.05$).

고찰

육상풍력발전단지 내에 서식하고 있는 육상 곤충상을 확인하고, 관리 도로로 사용하고 있는 임도 및 그 주변 산림에 서식하는 곤충 군집을 조사하여 산림 내 육상풍력발전단지가 산림생태계에 미치는 영향에 대한 기초자료를 제공하고자 연구를 수행하였다. 총 11목 50과 246종 1,076 개체를 확인하였고 (Table 1, Fig. 2, Appendix 1) 산림 내부

(Forest)보다 초지(Grassland)에서 곤충 종 수가 더 많고 (Table 2, Fig. 3), 산림과 초지에 서식하는 곤충 군집도 상이하게 배열되었다 (Fig. 4).

산림 내부 (Forest)와 비교하여 초지 (Grassland)의 곤충 종 수가 유의 (Tables 1, 2)하게 높은 이유는 산림 내부에 주로 분포하던 교목 (일본잎갈나무, 소나무, 상수리나무 등 교목 및 관목 등 11,274주, 총 76,969 m²)이 훼손된 대신 (YGE 2016), 억새류, 질경이, 명아주, 참쑥, 강아지풀, 달맞이꽃, 환삼덩굴 등의 초본과 참싸리, 산딸기, 청미래덩굴 등의 관목이 생겨나 곤충에게 영향을 주었기 때문으로 보인다.

또한 다양한 식생 (특히 초본)은 나비목과 메뚜기목 등의 곤충에게 적합한 서식처 및 먹이를 제공하고 (Park and Park 2011), 말벌류를 제외한 벌목 곤충들은 나무베기 등에 따른 열린 서식지 (Open habitat)가 기온이 상대적으로 높아서 꽃을 찾기에 더 좋은 환경을 만들기 때문에 더 많이 유인되는 것으로 알려졌는데 (Pengelly and Carter 2010), 이번 조사에서도 이를 확인하였다.

비록 육상풍력발전단지 내에서의 초식 곤충과 포식성 곤충의 관계는 통계적으로 유의하지 않았으나 (Table 3), 초식 곤충의 종 구성의 변화는 다른 포식자 (박쥐, 새 등)에게 영향을 미칠 수 있다 (Hunter 2001). 예를 들면 붉은 나무박쥐 (*Lasiurus borealis*), 늑은이박쥐 (*Lasiurus cinereus*)의 20% 이상이 육상풍력단지 내 먹이활동을 하기 위해 찾아오고 이들은 주로 나비목, 메뚜기목 등을 포식하는 것으로 알려져 (Foo et al. 2017), 추후 이들의 관계를 파악하기 위해서는 곤충군 관련 포식자 (박쥐, 새 등)에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 육상풍력발전단지의 육상 곤충상과 일부 교목의 제거가 오히려 식생을 다양하게 만들었을 확인하였고, 이는 곤충 군집에도 영향을 주고, 동시에 포식자에게도 중요하게 작용하고 있음을 확인하였다. 그러나 육상풍력발

Table 2. Summary of insect community analysis including the number of species, individuals, and diversity indices between forest and grassland

	No. species	No. individuals	Shannon-Wiener (H')	Evenness (J)
Forest	34.0±6.0	103.5±64.5	3.1±0.3	0.6±0.0
Grassland	89.0±5.0	434.5±185.5	3.5±0.3	0.7±0.1
p -value	<0.05	0.30	0.35	0.38

p -value ($p < 0.05$) means significant difference between site (t -test)

Table 3. Number of species richness and abundance according to feeding guilds including herbivory, predator, and others between forest and grassland

	Species richness		Species abundance	
	Forest	Grassland	Forest	Grassland
Herbivory	63	144	197	626
Predator (including parasite)	3	14	3	28
Others	3	20	7	215
	68	178	207	869

전단지 구성에 따른 곤충의 영향을 파악하기 위해서는 장기간에 걸쳐서 곤충 군집의 동태를 살피고, 식물과 곤충의 상호관계와 포식자와의 관계 등의 추가 연구가 더 필요하다고 생각한다.

적 요

이번 연구는 육상풍력발전단지 내의 육상 곤충상을 파악하고, 발전시설과 관리 도로의 조성으로 발생하는 산림 훼손 및 파편화에 따른 곤충 군집의 변화를 알고자 수행하였다. 2017년에 준공된 경상북도 영양과 영덕에 있는 육상풍력발전단지 내 식생이 훼손된 임도와 인근 산림을 조사지로 선정하였고, 2022년 8~9월에 다양한 곤충 군집을 조사하기 위해 맨눈 조사와 야간 조사를 병행하였다. 총 11목 50과 246종 1,076개체가 채집되었고, 나비목 곤충이 38.8%로 가장 큰 비중을 차지했으며, 벌목, 노린재목, 메뚜기목 순으로 확인되었다. 또한 산림과 비교하여 초지의 곤충 종 수가 유의하게 높았고 종 구성도 산림과 초지가 다르게 배열됨을 확인하였다. 비록 단기간의 조사였으나, 육상풍력발전단지의 조성으로 일부 교목의 훼손이 오히려 식생의 다양성이 생겨 육상 곤충의 종 구성과 다양성에 좋은 영향을 줌을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 육상풍력발전단지 조성 때문에 생기는 생물상의 변화를 이해하는데 기초적인 자료로 활용되기를 기대해 본다.

CRedit authorship contribution statement

J Lee: Sampling, Writing-Original draft preparation, review and editing. SS Kim: Sampling, Review and editing. MJ Jang: Sampling, Review and editing.

사 사

본 연구는 국립생태원 수탁연구 「육상풍력 환경모니터링 및 환류체계 구축 연구」(NIE-C-2022-90)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Dudek K, M Dudek and P Tryjanowski. 2015. Wind turbines as overwintering sites attractive to an invasive lady beetle, *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Coleopt. Bull.* 69:665-669. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.4.665>
- Foo CF, VJ Bennett, AM Hale, JM Korstian, AJ Schildt and DA Williams. 2017. Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ* 5:e3985. <https://doi.org/10.7717/peerj.3985>
- Hunter MD. 2001. Multiple approaches to estimating the relative importance of top-down and bottom-up forces on insect populations: Experiments, life tables, and time-series analysis. *Basic Appl. Ecol.* 2:295-309. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00068>
- Lee J, YJ Lee, BJ Jang, GS Jeong and SW Choi. 2019. Effects of elevation and canopy openness on a dwarf bamboo (*Sasa quelpaertensis* Nakai) vegetation and their consumer communities. *Korean J. Environ. Biol.* 37:249-259. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.3.249>
- Lee YJ, HK Kim, WS Park, SW Park, JY Park and YJ Kang. 2020. Direction for the Mid- and Long Term Development for Expanding Renewable Energy and Responding to Future Environmental Changes: Current Status and Direction of Onshore Wind Power. Korea Environment Institute. Sejong, Korea.
- Long CV, JA Flint and PA Lepper. 2011. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *Eur. J. Wildlife Res.* 57:323-331. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0432-7>
- National Research Council. 2007. Environmental Impacts of Wind-Energy Projects. The National Academies Press. Washington, D.C.
- Park JY and JK Park. 2011. Insect fauna of cemetery area in forest from Korea. *Asian J. Turfgrass Sci.* 25:153-159.
- Pengelly CJ and RV Cartar. 2010. Effects of variable retention logging in the boreal forest on the bumble bee-influenced pollination community, evaluated 8-9 years post-logging. *Forest Ecol. Manag.* 260: 994-1002. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.020>
- Perveen R, N Kishor and SR Mohanty. 2014. Off-shore wind farm development: Present status and challenges. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 29:780-792. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.045>

- rser.2013.08.108
- Pustkowiak S, W Banaszak-Cibicka, LE Mielczarek, P Tryjanowski and P Skórka. 2018. The association of windmills with conservation of pollinating insects and wild plants in homogeneous farmland of western Poland. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25:6273–6284. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0864-7>
- Skendžić S, M Zovko, IP Živković, V Lešić and D Lemić. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects* 12:440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Strauss SY and AR Zangerl. 2002. Plant-insect interactions in terrestrial ecosystems. pp. 77–106. In: *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Approach*. Wiley-Blackwell. Hoboken, NJ.
- YGE. 2016. Environmental Impact Assessment (Mu-chang onshore wind farm). Code: DG20160108. Environmental Impact Assessment Support System. Korea Environment Institute. Sejong, Korea. Available from <https://www.eiass.go.kr>
- Zhu YY, HC Sung, YJ Kim, SH Cha and SW Jeon. 2020. Study on location and ecological environmental characteristics of onshore wind and solar generation project. *J. Clim. Chang. Res.* 11:145–153.

Appendix 1. List of collected species

Species name	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
Coleoptera						
Chrysomelidae						
<i>Chrysolina aurichalcea</i>		1	1		2	2
<i>Ophraella communa</i> LeSage		1	1		1	1
<i>Physosmaragdina nigrifrons</i>		1	1		1	1
Coccinellidae						
<i>Coccinella septempunctata</i>		2	2		3	3
<i>Harmonia axyridis</i>		2	2		4	4
<i>Henosepilachna vigintioctomaculata</i>		1	1		1	1
<i>Propylea quatuordecimpunctata</i>		1	1		1	1
Geotrupidae						
<i>Phelotrupes auratus</i>		2	2		7	7
Hydrophilidae						
<i>Sternolophus rufipes</i>		1	1		1	1
Scarabaeidae						
<i>Hilyotrogus bicoloreus</i>	1	1	2	5	3	8
<i>Maladera ovatula</i>	1	1	2	1	7	8
<i>Popillia mutans</i>		1	1		1	1
Diptera						
Rhiniidae						
<i>Stomorhina obsoleta</i>		1	1		1	1
Syrphidae						
<i>Episyrphus balteatus</i>	1	1	2	1	2	3
<i>Eristalis arbustorum</i>		1	1		1	1
<i>Volucella nigropicta</i>	1		1	1		1
Tachinidae						
<i>Hermya beelzebul</i>		1	1		1	1
<i>Tachina akovlewii</i>		1	1		1	1
Homoptera						
Cicadidae						
<i>Auribicen intermedius</i>	1		1	5		5
<i>Hyalessa maculaticollis</i>	2		2	9		9
<i>Meimuna opalifera</i>	2		2	13		13
<i>Platypleura kaempferi</i>	1		1	1		1
Hymenoptera						
Apidae						
<i>Apis cerana</i>		2	2		51	51
<i>Apis mellifera</i>		2	2		15	15
Formicidae						
<i>Camponotus japonicus</i>		1	1		7	7
<i>Camponotus obscuripes</i>		1	1		1	1
<i>Formica japonica</i>		2	2		130	130
Megachilidae						
<i>Megachile sculpturalis</i>		1	1		1	1
Vespidae						
<i>Ectopioglossa taiwana</i>	1	4	5	2	15	17

Appendix 1. Continued

Species name	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
<i>Vespa crabro flavofasciata</i>		1	1		2	2
<i>Vespa simillima</i>	1		1	2		2
<i>Vespula flaviceps</i>		1	1		1	1
<i>Vespula koreensis</i>		1	1		7	7
Lepidoptera	52	89	141	134	283	417
Adelidae	1	1	2	1	5	6
<i>Nemophora askoldella</i>	1	1	2	1	5	6
Bombycidae		1	1		1	1
<i>Oberthueria caeca</i>		1	1		1	1
Crambidae	8	13	21	39	51	90
<i>Anania verbascalis</i>	1		1	2		2
<i>Bradina atopalis</i>	1	1	2	27	9	36
<i>Haritalodes derogata</i>		1	1		1	1
<i>Herpetogramma luctuosalis</i>	2		2	4		4
<i>Lamprosema commixta</i>	1		1	3		3
<i>Maruca vitrata</i>		1	1		1	1
<i>Mecyna gracilis</i>		1	1		1	1
<i>Nomophila noctuella</i>		1	1		1	1
<i>Ostrinia zealis</i>	1		1	1		1
<i>Paliga auratalis</i>		1	1		1	1
<i>Palpita nigropunctalis</i>		1	1		1	1
<i>Paracymoriza prodigalis</i>		1	1		1	1
<i>Platytes ornatellus</i>		1	1		27	27
<i>Pyrausta nigrimaculata</i>	1		1	1		1
<i>Sitochroa verticalis</i>		2	2		3	3
<i>Spoladea recurvalis</i>		2	2		5	5
<i>Tyspanodes hypsalis</i>	1		1	1		1
Erebidae	15	10	25	26	11	37
<i>Arctornis album</i>		1	1		1	1
<i>Catocala nagioides</i>	1	1	2	4	1	5
<i>Chionarctia nivea</i>		2	2		2	2
<i>Collita griseola</i>	1		1	1		1
<i>Diomea discisigna</i>	1		1	1		1
<i>Gonitis mesogona</i>	1	1	2	2	1	3
<i>Hadennia incongruens</i>	2		2	3		3
<i>Herminia arenosa</i>	1		1	1		1
<i>Hypena kengkalis</i>		1	1		1	1
<i>Leiostola mollis</i>	1		1	1		1
<i>Lygephila maxima</i>		1	1		1	1
<i>Paracolax pryeri</i>	1		1	1		1
<i>Pelosia noctis</i>	1	1	2	4	1	5
<i>Rivula sericealis</i>	1		1	1		1
<i>Sypnoides picta</i>		1	1		1	1
<i>Zanclognatha griselda</i>	1		1	2		2
<i>Zanclognatha lunalis</i>	2	1	3	4	2	6
<i>Zanclognatha umbrosalis</i>	1		1	1		1

Appendix 1. Continued

Species name	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
Geometridae	10	11	21	16	14	30
<i>Abraxas niphonibia</i>		1	1		1	1
<i>Angerona prunaria</i>		2	2		4	4
<i>Asthenes nymphaeata</i>		1	1		1	1
<i>Astygisa chlorophnodes</i>	1		1	1		1
<i>Chlorissa anadema</i>		1	1		1	1
<i>Ectropis excellens</i>		1	1		1	1
<i>Eustroma aerosum</i>	1		1	1		1
<i>Eustroma melancholicum</i>	1	1	2	1	2	3
<i>Gandaritis fixseni</i>	1		1	1		1
<i>Geometra dieckmanni</i>	1		1	1		1
<i>Hypomecis roboraria</i>		1	1		1	1
<i>Idea biselata</i>	1	1	2	2	1	3
<i>Idea muricata</i>	1		1	1		1
<i>Jankowskia fuscaria</i>	1		1	1		1
<i>Protoboarmia simpliciaris</i>	1		1	1		1
<i>Rikiosatoa grisea</i>		1	1		1	1
<i>Scopula modicaria</i>	1	1	2	6	1	7
Hesperiidae		4	4		107	107
<i>Daimio tethys</i>		1	1		3	3
<i>Parnara guttata</i>		2	2		103	103
<i>Pyrgus maculatus</i>		1	1		1	1
Lasiocampidae		2	2		4	4
<i>Euthrix laeta sulphurea</i>		1	1		1	1
<i>Odonestis pruni</i>		1	1		3	3
Lycaenidae	1	6	7	1	13	14
<i>Celastrina argiolus</i>		2	2		5	5
<i>Cupido argiades</i>		1	1		2	2
<i>Favonius taxila</i>	1		1	1		1
<i>Lampides boeticus</i>		1	1		1	1
<i>Rapala arata</i>		2	2		5	5
Noctuidae	7	11	18	7	21	28
<i>Acronicta jozana</i>		1	1		1	1
<i>Amphipoea fucosa</i>	1	1	2	1	3	4
<i>Athetis dissimilis</i>	2	1	3	2	3	5
<i>Athetis stellata</i>		1	1		1	1
<i>Axylia putris</i>		1	1		1	1
<i>Callopietria juvenina</i>	1		1	1		1
<i>Ctenoplusia albostrata</i>		1	1		2	2
<i>Maliattha chalcogramma</i>		1	1		1	1
<i>Mocis annetta</i>		1	1		1	1
<i>Niphonyx segregata</i>		1	1		5	5
<i>Phyllophila obliterata</i>	1		1	1		1
<i>Protodeltote distinguenda</i>	1		1	1		1
<i>Sidemia bremeri</i>		1	1		1	1
<i>Sphragifera biplaga</i>	1		1	1		1

Appendix 1. Continued

Species name	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
<i>Xestia vidua</i>		1	1		2	2
Nolidae		1	1		2	2
<i>Earias pudicana</i>		1	1		2	2
Notodontidae	2	3	5	2	5	7
<i>Cerura erminea menciiana</i>		1	1		3	3
<i>Peridea gigantea monetaria</i>	1	1	2	1	1	2
<i>Pheosiopsis cinerea ussuriensis</i>		1	1		1	1
<i>Ptilodon capucina kuwayamae</i>	1		1	1		1
Nymphalidae	1	13	14	1	30	31
<i>Argynnis laodice</i>		2	2		3	3
<i>Kirinia epaminondas</i>	1	1	2	1	5	6
<i>Limenitis helmanni</i>		2	2		2	2
<i>Minois dryas</i>		2	2		4	4
<i>Neptis sappho</i>		2	2		3	3
<i>Polygonia c-aureum</i>		2	2		10	10
<i>Vanessa cardui</i>		1	1		2	2
<i>Ypthima multistriata</i>		1	1		1	1
Pieridae		3	3		6	6
<i>Eurema mandarina</i>		2	2		4	4
<i>Pieris melete</i>		1	1		2	2
Pyralidae	4	6	10	38	9	47
<i>Endotricha consocia</i>		2	2		3	3
<i>Lista ficki</i>		1	1		1	1
<i>Nyctegretis triangulella</i>	2		2	36		36
<i>Oncocera semirubella</i>		2	2		4	4
<i>Stemmatophora albifimbrialis</i>	2	1	3	2	1	3
Scythrididae		1	1		1	1
<i>Scythris sinensis</i>		1	1		1	1
Sphingidae	1	1	2	1	1	2
<i>Dolbina exacta</i>	1	1	2	1	1	2
Tettigoniidae	2	2	4	2	2	4
<i>Acleris paradiseana</i>	1		1	1		1
<i>Archips audax</i>		1	1		1	1
<i>Clepsis rurinana</i>	1	1	2	1	1	2
Mantodea		2	2		2	2
Hymenopodidae		2	2		2	2
<i>Statilia maculata</i>		1	1		1	1
<i>Tenodera sinensis</i>		1	1		1	1
Mecoptera		1	1		2	2
Panorpidae		1	1		2	2
<i>Panorpa coreana</i>		1	1		2	2
Neuroptera	1		1	1		1
<i>Chrysopidae</i>	1		1	1		1
<i>Cunctochrysa albolineata</i>	1		1	1		1
Odonata		7	7		54	54
Libellulidae		7	7		54	54

Appendix 1. Continued

Species name	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
<i>Orthetrum albistylum</i>		1	1		3	3
<i>Pantala flavescens</i>		1	1		6	6
<i>Sympetrum depressiusculum</i>		2	2		3	3
<i>Sympetrum pedemontanum</i>		2	2		38	38
<i>Sympetrum striolatum</i>		1	1		4	4
Orthoptera		16	16		132	132
Acrididae		6	6		65	65
<i>Anapodisma beybienkoi</i>		1	1		3	3
<i>Calliptamus abbreviatus</i>		1	1		1	1
<i>Locusta migratoria</i>		1	1		2	2
<i>Megaulacobothrus aethalinus</i>		1	1		9	9
<i>Oedaleus infernalis</i>		2	2		50	50
Gryllidae		2	2		41	41
<i>Oecanthus longicauda</i>		2	2		41	41
Pyrgomorphidae		1	1		2	2
<i>Atractomorpha lata</i>		1	1		2	2
Tetrigidae		1	1		1	1
<i>Tetrix japonica</i>		1	1		1	1
Tettigoniidae		6	6		23	23
<i>Phaneroptera nigroantennata</i>		2	2		7	7
<i>Ruspolia interrupta</i>		1	1		3	3
<i>Xizicus coreanus</i>		3	3		13	13
Trichoptera	5	30	35	35	139	174
Alydidae		5	5		57	57
<i>Anoplocnemis dallasi</i>		1	1		4	4
<i>Cletus schmidti</i>		1	1		1	1
<i>Homoeocerus unipunctatus</i>		1	1		1	1
<i>Plinactus bicoloripes</i>		1	1		1	1
<i>Riptortus clavatus</i>		1	1		50	50
Aphrophoridae		1	1		1	1
<i>Lepyronia coleoptrata</i>		1	1		1	1
Cicadellidae		2	2		26	26
<i>Bothrogonia ferruginea</i>		2	2		26	26
Cicadidae	1		1	30		30
<i>Leptosemia takanonis</i>	1		1	30		30
Flatidae	1		1	2		2
<i>Metcalfa pruinosa</i>	1		1	2		2
Lygaeidae		4	4		8	8
<i>Lygaeus sjostedti</i>		1	1		1	1
<i>Nysius plebejus</i>		1	1		2	2
<i>Pachygrontha antennata</i>		1	1		4	4
<i>Tropidothorax cruciger</i>		1	1		1	1
Pentatomidae	2	6	8	2	22	24
<i>Carbula putoni</i>		1	1		7	7
<i>Dolycoris baccarum</i>		2	2		3	3
<i>Halyomorpha halys</i>		1	1		5	5

Appendix 1. Continued

Species name	Species richness			Species abundance		
	Forest	Grassland	Total	Forest	Grassland	Total
<i>Menida violacea</i>	1	1	2	1	5	6
<i>Pentatoma semiannulata</i>	1		1	1		1
<i>Rubiconia intermedia</i>		1	1		2	2
Plataspididae		2	2		3	3
<i>Coptosoma biguttulum</i>		1	1		1	1
<i>Coptosoma scutellatum</i>		1	1		2	2
Rhopalidae		7	7		18	18
<i>Adelphocoris lineolatus</i>		1	1		5	5
<i>Apolygus lucorum</i>		1	1		3	3
<i>Apolygus spinolae</i>		1	1		2	2
<i>Eurystylus coelestialium</i>		1	1		2	2
<i>Liorhyssus hyalinus</i>		1	1		3	3
<i>Stenodema longula</i>		1	1		1	1
<i>Stictopleurus minutus</i>		1	1		2	2
Rhyparochromidae	1		1	1		1
<i>Neolethaeus dallasi</i>	1		1	1		1
Ricaniidae		3	3		4	4
<i>Orosanga japonica</i>		1	1		1	1
<i>Ricania sublimata</i>		2	2		3	3
Total	68	178	246	207	869	1076