

대통 트랩에 유인된 벌류를 이용한 환경 평가법 개발

김종길* · 최영철 · 최지영 · 김삼은 · 김근영 · 김정규¹ · 이종은²농업과학기술원 농업생물부, ¹고려대학교 고려곤충연구소, ²안동대학교 자연과학대학

Environmental Evaluation by using Hymenoptera Induced by Bamboo Pipe Traps Indicated by Eumenid Wasp (Hymenoptera: Eumenidae)

Jong-Gill Kim*, Young-Cheol Choi, Ji-Young Choi, Sam-Eun Kim, Keun-Young Kim,
Jung-Kyu Kim¹ and Jong-Eun Lee²

Dept. of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science Technology, RDA, Suwon, 441-853, Republic of Korea

¹Korea Entomological Institute, Korea University, Seoul, 136-701, Republic of Korea²Andong National University, Andong, 760-749, Republic of Korea

ABSTRACT : In this study we tried to develop a biological method for evaluating environment using the potter wasps as an indicator. Wasp species in family Eumenidae, were collected from 13 locations including agricultural area using nest trap. The wasps collected were classified and selected candidate species as an environmental evaluation indicator. Seven species were collected and the *Anterhynchium flavomarginatum* was the most dominant species. The number of the nest of potter wasps was 12.8/m both in the non-fertilizer and the non-pesticide areas and 7.2/m in the general agricultural areas. The number of nests was 13.4/m in the location where the Degree of Green Naturality (DGN) was high (4.28) and it was 1.2/m where the DGN was low (1.00), suggesting that the index of both richness and diversity tend to increase in locations with more nests. Based on these results, *A. flavomarginatum*, *Orancistrocerus drewseni* (Saussure), *Isodontia nigellus* and *Chalicodoma sculpturalis* were selected as indicator species for the evaluation of environment including agricultural ecosystem. And a standard for grading an environment (I to IV) was made based on the occurrence, the total number of nesting and the species diversity of potter wasps.

KEY WORDS : Eumenidae, Potter wasps, DGN, Bio-indicator, Biologically environmental evaluation

초 록 : 호리병벌과를 이용한 생물학적 환경평가 기법을 개발하기 위하여 농업지역 등 총 13개 지역에 대통트랩(nest trap)을 설치한 후 채집된 호리병벌과의 벌류를 분류 동정하고, 채집지의 환경에 따른 서식밀도를 분석하여 환경평가를 위한 유망종을 선발하였다. 시험기간 동안 총 7종이 채집되었으며, 그 중 황습감탕벌(*A. flavomarginatum* Smith)이 우점종으로 나타났다. 호리병벌과에 속하는 종들의 영소수는 농업지역의 경우 무비무농약재배지에서 12.8개/m로 관행농업지의 7.2개/m에 비해 많았으며, 자연녹지의 경우 녹지지역(자연녹지도: 4.28)의 경우 13.4개/m로 상업지역(자연녹지도: 1.00, 1.2개/m)에 비해 많았다. 또한 영소수가 많은 지역일수록 종 풍부도 및 다양도 지수는 높게 나타났다. 한편, 농업농촌 생태계 등 자연환경평가 지표종으로 황습감탕벌, 줄무늬감탕벌, 먹조롱박벌, 왕가위벌 등 4종을 선발하였으며, 이들 종의 출현수 및 총 영소수, 종 다양도 등을 지표로 한 환경등급기준(I~IV 등급)을 설정하였다.

검색어 : 호리병벌과, 영소수, 자연녹지도, 생물지표, 생물학적 환경평가

*Corresponding author. E-mail: kjk1027@rda.go.kr

지구상의 벌류는 약 10만종에 이르는데(이, 2000) 포식 종인 호리병벌과의 경우 나비목 곤충 등의 유충을 먹이원으로 하는 곤충으로서 흙이나 풀잎 등을 재료로 하여 집을 만든 후 차세대를 생산하는 사냥벌의 일종이다(김, 1995).

일반적으로 곤충의 생존과 증식은 생물학적 환경, 특히 먹이원의 양과 질에 크게 영향을 받는다(김, 1990). 즉 먹이사슬에서 상위에 있는 호리병벌류의 서식 밀도가 높거나 종 다양성이 높을 경우 그 하위에 있는 생물, 즉 그 지역의 생물학적 환경의 양과 질을 대변할 수 있는 요인이 될 수 있을 것이다.

이와 같은 생물의 특정 기능을 이용하여 생물지표(bio-indicator), 즉 어떤 환경에서 생활하는 생물의 상황으로부터 그 환경의 오염도를 판정, 또는 그 기준이 되는 생물이나 생물군을 이용하는 생물학적 환경평가가 시도되고 있다. 특히 생물지표는 이화학적 계기로는 측정하기 어려운 오염물질의 상승작용 평가 등에 유용하며, 시간적으로 변동이 크고, 종종 데이터의 변형을 받기 쉬운 화학분석에 비해 신뢰할 수 있다. 또한 넓은 지역에 걸치는 조사망을 펼쳐 간단한 방법으로 광대한 자료가 얻어지기 때문에 조사의 광역화를 피할 수 있다는 이점도 있다. 특히 생물을 이용하여 환경을 평가한다는 것은 물리화학적 평가가 한시적이고 단편적인 평가법이라 할 수 있는 반면 생물학적인 환경평가법은 어떤 지역의 누적된 환경을 종합적으로 평가할 수 있는 장점이 있다.

일본의 경우 이와 같은 원리를 응용하여 호리병벌과의 일종인 감탕벌을 환경지표생물로 이용하여 전국 녹색 국제 조사를 실시하고 있다(Simonaka, 1997). 감탕벌의 먹이원인 곤충류가 서식하는 녹지공간의 양과 질을 평가하여 그 지역의 환경을 간접적으로 평가하고 있다.

국내의 경우 수서곤충을 환경지표종으로 이용하여 수서곤충 종별 발생에 따라 수질등급을 간접적으로 평가하는 환경평가법이 수립되어 있다(윤, 1992 a, b, c, 윤, 1995). 그러나 지금까지 여러 생물지표가 개발되어 있지만, 데이터의 집적이 없어서 본격적으로 이용 단계에 들어간 예는 적으며, 육상곤충을 이용한 환경평가기술은 초보 단계라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 지금까지 시도하지 않은 육상곤충을 대상으로 하여 환경을 평가할 수 있는 기술 개발을 위하여 호리병벌과를 이용하였다. 즉 나비목 유충, 메뚜기목 약충 및 양질의 화분을 먹이원으로 하는 벌류의 서식밀도와 군집분석을 통하여 농경지 주변 및 생활주변 환경을 평가할 수 있는 환경 지표종으로의 이용기술을 개발코자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

환경평가용 트랩설치

호리병벌과 채집을 위하여 트랩설치지역으로는 농업농촌지역, 도시지역, 대기측정망 설치지역 및 새만금지역 내 하천 주변 등에 트랩을 설치하였다. 농업농촌지역은 무비무방제 지역(홍천군 남면 명동리) 및 관행농업지역(홍천군 남면 양덕원리) 등 2개소에 설치하였으며, 도시지역(수원시)은 경제권역별로 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역 등으로 나누어 설치하였다. 한편 대기측정망 설치지역은 수원지역의 3개소를 대상으로 하였으며, 새만금지역은 만경강 지류 4개의 하천 주변에 설치하였다. 대나무로 만든 트랩은 길이가 20cm, 직경 7mm 내외 및 15mm 내외 두 종류로서 10개씩 묶어서 벌류의 활동이 개시되기 전인 4월에 지역별로 10셀(1셀: $\varnothing 15 \text{ mm} \times 20 \text{ cm} \times 10 \text{ 개} + \varnothing 7 \text{ mm} \times 20 \text{ cm} \times 10 \text{ 개}$)을 설치하였으며, 12월에 회수하여 지역별, 트랩크기별 영소특성을 구명하고 실내에서 개체별로 우화시킨 후 분류·동정하였다.

트랩설치지역별 환경 조사 분석

환경 조사 분석은 트랩을 설치한 전 지역을 대상으로 4월과 10월 사이에 트랩이 설치된 장소를 중심으로 500 m내(반경 250 m) 격자법(10 m씩 25개)으로 녹지자연도(Degree of Green Naturality: DGN) (환경부, 인공위성 영상자료와 GIS를 이용한 녹지자연도 등급, 1998)를 조사하였다. 또한 농촌지역은 농작물 재배방법별로 비교 분석하였으며, 대기측정망 3개소는 경기도 보건환경연구원에서 제공하는 대기환경지수(Hourly Air Environment Index: HAEI)를 이용하였다.

한편 새만금지역은의 경우 청정천(고산천), 생활하수 유입천(전주천), 공업지역 주변천(정읍천) 및 축산폐수 유입천(익산천) 등 하천 특성을 기준으로 조사 분석하였다.

호리병벌과 군집분석 및 환경평가 지표종 선별

트랩설치 후 지역별로 영소활동이 끝난 트랩 중 일부를 회수하여 실내에서 우화시킨 후, 분류·동정하여 지역별 발생종에 대한 우점도, 다양도, 풍부도, 균등도 지수 등 군집분석 및 환경평가 기준을 설정하였다.

채집종에 대한 군집분석은 다음과 같은 방법으로 실시하였다.

1. 우점도 지수(Dominance index)

각 지점별로 개체수 현존량을 기준으로 하여 2종씩 선정하였으며, 지수의 산출은 McNaughton's dominance index에 의하였다(McNaughton, 1967).

$$DI = (n1 + n2)/N$$

여기에서, N: 총개체수

n1: 제1 우점종의 개체수

n2: 제2 우점종의 개체수 이다.

2. 다양도 지수(Diversity index)

Margalef(1958)의 정보이론에 의해서 유도된 Shannon-Weaver Function (Pielou, 1969; Shannon and Wiever, 1949)을 이용하여 산출하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^S Pi \cdot (\ln Pi)$$

H': 다양도

S : 전체 종수

Pi : i번째에 속하는 개체수의 비율을 말하며 (ni/N)으로 계산(N: 군집내의 전 개체수, ni: 각 종의 개체수)

3. 풍부도 지수(Richness index)

종풍부도지수는 총 개체수와 총 종수만을 가지고 군집의 상태를 표현하는 지수로서 Margalef(1958)의 지수를 사용하여 산출하였다.

$$RI = (S - 1) / \ln(N)$$

RI: 풍부도

S : 전체종수

N : 총개체수

4. 균등도 지수(Evenness index)

균등도는 각 지수의 최대치에 대한 실제 치의 비로써 표현된다. 각 다양도 지수는 군집 내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대가 되므로 결국 균등도 지수는 군집 내 종구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 Pielou(1975)의 식을 사용하여 산출하였다.

$$E = H' / \ln(S)$$

E : 균등도

H': 다양도

S : 전체 종수

결과 및 고찰

트랩설치지역 환경 조사

벌류를 이용한 자연환경 평가법을 개발하기 위하여 농업농촌지역, 도시지역, 도시지역 내 대기측정망 설치지역 등 14개소에 대나무로 만든 트랩을 설치하여 조사·분석한 결과 Table 1과 같이 녹지자연도가 관행농업지역이

Table 1. Degree of green naturality (DGN), standing crop and net production in each location installed traps

Location	DGN	Standing crop (t)	Net production (t/y)
Agri-NP	2.00	4,200	2,300
Agri-G	1.60	3,030	1,610
GB	4.28	10,620	2,412
RA	1.00	1,275	575
BA	1.00	1,275	575
IA	1.08	1,509	713
Air-1	1.12	1,626	782
Air-2	2.20	4,583	1,141
Air-3	1.00	1,275	575
JJ	1.32	2,541	1,357
KS	2.00	3,012	1,684
JU	1.44	2,892	1,564
IS	1.44	2,892	1,564

* Agri-NP; non-fertilizer and non-pesticide agricultural area, Agri-G; general agricultural area, GB; green belt area, RA; residential area, BA; business area, IA; industrial area, Air-1,2,3; Air aeroscopy area (Suwon), JJ; Juenju stream, KS; Kosan stream, JU; Jungeup stream. IS: Iksan stream.

Table 2. Appeared species and relative frequency in each trap

Science name	Korean name	Appearance ratio (%)
<i>Anterhynchium flavomarginatum</i> Smith	황습감탕벌	41.0
<i>Rhynchium haemorrhoidae</i> Fabricius	고동배감탕벌	13.3
<i>Euodynerus dantici</i> Rossi	별감탕벌	1.6
<i>Euodynerus quadrifasciatus</i> (Fabricius)	땅감탕벌	7.1
<i>Ryngchium seulii</i> Radoszkowski	별참두줄감탕벌	3.0
<i>Orancistrocerus drewseni</i> (Saussure)	줄무늬감탕벌	2.5
<i>Discoelius japonicus</i> Perez	띠호리병벌	3.1
<i>Isodontia nigellus</i> Smith	먹조롱박벌	2.7
<i>Chalicodoma sculpturalis</i> Smith	왕가위벌	12.3
<i>Megachile nipponica</i> Cockerell	장미가위벌	2.9
<i>Coelioxys fenestratus</i> Smith	뿔족벌	2.2
<i>Anthidium septemspinatum</i> Lepeletier	열점박이뿔족벌붙이	0.1
<i>Leucospis japonica</i> Walker	밑들이벌	1.1
<i>Chrysis fasciata</i> Olivier	줄육니청벌	5.4
<i>Chrysis ignita</i> (Linne)	사치청벌	0.3
<i>Trypoxylon malaisei</i> Gussakovskij	어리나나니	0.4
<i>Polistes mandarinus</i> Saussure de Geer	어리쌍살벌	0.2
<i>Rhyssa persuasoria</i> (Linne)	송곳벌레살이납작맷시벌	0.1
<i>Osmia pedicornis</i> Cockerell	빨가위벌	0.8

1.60, 무방제농업지역이 2.00, 주거, 상업 및 공업지역이 1.0 내외였으며, 녹지지역은 4.28로 가장 높았고, 새만금 지역은 1.30~2.00으로 농업지역과 유사하였지만 환경조건에 따라 차이가 있어, 환경평가에 유용한 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

트랩설치지역별 종별 출현 및 생태 특성

대나무트랩을 회수하여 우화시킨 결과, 호리병벌과 1과 7종, 가위벌과 등 5과 12종, 총 6과 19종을 확인하였으며, 그 중 황습감탕벌(*Anterhynchium flavomarginatum* Smith)이 41.0%로 우점종으로 나타났으며, 그 다음으로 고동배감탕벌(*Rhynchium haemorrhoidae* Fabricius) 순이었다. 트랩크기별로 영소수를 조사한 결과, 황습감탕벌은 작은 트랩이 큰 것 보다 약 2배나 많았으나, 별감탕벌은 작은 트랩만을 선호하였고, 다른 종들은 트랩크기에 따른 차이가 없었다(Fig. 1).

따라서 환경평가를 위한 트랩의 대나무 직경은 15~20 mm 내외인 큰 것과 7~10 mm 내외의 작은 것이 다같이 적당한 것으로 판명되었다.

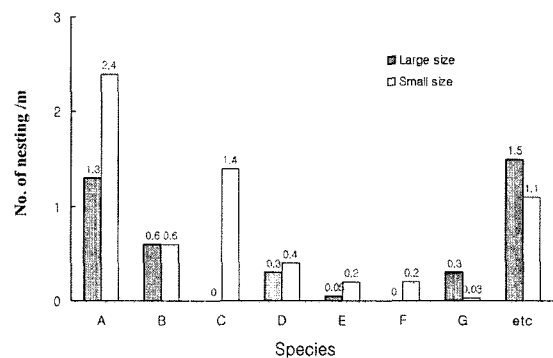


Fig. 1. Number of nesting according to the different species and trap sizes. A; *A. flavomarginatum*, B; *R. haemorrhoidae*, C; *E. dantici*, D; *E. quadrifasciatus*, E; *R. seulii*, F; *O. drewseni*, G; *D. japonicus*, etc; 구멍벌과 등.

트랩설치 지역별 영소 특성 조사 분석

농업농촌지역에서 영소수를 조사한 결과, 무방제 농업 지역이 12.8개/m로 관행농업지역의 7.2개/m보다 많았는데, 이는 무방제농업지역에서 먹이원이 풍부하다는 것을 의미하며, 1차 생산 구조인 초지환경 등이 우수하다고생각할 수 있다(Table 3). 또한 녹지자연도(Table 1)가 높은 지역일수록 벌류의 먹이원이 다양하면서 풍부하여 벌류

Table 3. Number of nesting according to the different species and locations (No. of nesting/m)

Species *	Location **						
	Agri-NP	Agri-G	GB	RA	BA	IA	
A	5.2	2.0	4.7	1.8	0.2	0.3	
B	0.01	0.0	0.5	0.07	0.2	1.2	
C	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	
D	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	
E	0.1	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	
F	0.3	0.02	0.8	0.0	0.0	0.05	
G	0.5	0.3	0.3	0.0	0.0	0.2	
H	1.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	
I	2.8	1.4	1.2	0.0	0.0	0.0	
etc	5.2	3.7	6.3	0.0	0.8	0.3	
Total	12.8	7.2	13.4	1.8	1.2	1.9	

* Mean of two years from 2002 to 2003

* A; *A. flavomarginatum*, B; *R. haemorrhoidae*, C; *E. dantici*, D; *E. quadrifasciatus*, E; *R. seullii*, F; *O. drewseni*, G; *D. japonicus*, H; *I. nigellus*, I; *C. sculpturalis*, etc; 구멍벌과 등

** Agri-NP; non-fertilizer and non-pesticide agricultural area, Agri-G; general agricultural area, GB; green belt area, RA; residential area, BA; business area, IA; industrial area

의 서식밀도가 높게 나타난다고 할 수 있으며, 이러한 지역이 환경적으로 우수하다고 할 수 있을 것이다.

한편 도시지역에서도 녹지지역이 13.4개/m로 주거지역(1.8개/m), 상업지역(1.2개/m), 공업지역(1.9개/m)에 비해 월등히 높았다. 이러한 결과도 녹지자연도와 일치하는 경향이였다(Table 3)

트랩설치지역별 종별 영소수를 보면 무방제 농업지역에서 13종, 관행농업지역에서 9종으로 무방제농업지역에 비해 종수가 적었으며, 황습감탕벌이 우점종이였다(Table 3). 경제권역별로 보면 녹지지역 11종, 주거지역 2종, 상업지역 4종, 공업지역 7종이 출현하여 지역간에 큰 차이를 보였고, 황습감탕벌이 우점종이었으나 공업지역만은 고동배감탕벌이 우점 하였다.

지역별 출현종에 대한 군집분석 결과, 무방제 농업지역

이 관행농업지역에 비해 다양도 지수 및 풍부도 지수가 높게 나타났으며, 우점도 및 균등도 지수는 거의 유사한 값을 나타냈다(Table 4). 이는 무방제 농업지역이 출현종수 뿐만 아니라 서식밀도도 높았다는 것을 감안하면 환경적으로 관행농업지역에 비해 무방제 농업지역이 우수하다고 할 수 있다. 또한 경제권역별로도 역시 녹지지역이 주거지역 등 다른 지역에 비해 다양도 및 풍부도 지수가 높다는 것을 알 수 있었으며, 이 또한 녹지지역이 환경적으로 우수한 지역으로 판단할 수 있다.

수원지역 내 대기측정망 설치 지역 3개소에 트랩을 설치하여 영소특성을 조사 분석한 결과, 신평동(Air-2) 지역이 영소수가 7개/m로 가장 높게 나타났다. 3개소의 대기환경지수(HAEI)가 경우 모두 기준치 이하로 보통의 환경을 유지하는 지역으로서 영소수의 경우 대기환경에 크게

Table 4. The indices according to the different locations

Location **	Index* ('02 / '03)			
	DI	H'	RI	EI
Agri-NP	0.61 / 0.64	1.67 / 1.78	1.80 / 2.07	0.65 / 0.70
Agri-G	0.70 / 0.64	1.45 / 1.59	1.36 / 1.63	0.66 / 0.72
GB	0.75 / 0.58	1.59 / 1.81	1.70 / 1.80	0.62 / 0.75
RA	1.00 / 1.00	0.17 / 0.12	0.22 / 0.28	0.25 / 0.18
BA	0.76 / 1.00	1.12 / 0.66	0.68 / 0.48	0.81 / 0.96
IA	0.77 / 0.79	1.07 / 1.13	0.79 / 1.46	0.98 / 0.58

* DI; Dominance index, H'; Diversity index, RI; Richness index, EI; Evenness index.

** Table 3과 동일

영향을 받지 않는 것으로 확인되었다. 반면 녹지자연도의 경우 영소수가 가장 많은 신평동(Air-2)이 2.20으로 1.00 내외인 2개소와 큰 차이를 보이는 것으로 보아 대기환경 보다는 녹지자연도와 더 관계가 있는 것으로 판단되었다.

지역에 따른 종별 영소수를 조사한 결과(Table 5), 인계동(Air-1) 지역이 고동배 감탕벌(0.8개/m) 등 2종, 신평동(Air-2)에서는 황습감탕벌(5.1개/m) 등 5종이 출현하였으며, 우만동(Air-3)의 경우 황습감탕벌(0.2개/m) 1종만이 출현하였다.

지역별 군집분석 결과 신평동(Air-2)의 경우가 종 다양도 및 풍부도 지수에 있어서 다른 2개 지역에 비해 우수한 값을 나타냈다(Table 6). 이는 신평동(Air-2) 지역이 벌류가 서식하기에 유리한 조건을 갖추고 있다고 판단되며,

자연녹지도 등급도 높게 나타났듯이 환경적인 측면에서도 우수한 지역이라는 것을 간접적으로 시사한다고 할 수 있다.

새만금지역 주변하천인 고산천(KS), 주천(JJ), 정읍천(JE) 및 익산천(IS)에서 종별 영소수를 조사한 결과(Table 7), 전주천이 우점종인 먹조롱박벌 등 2종, 고산천의 경우 우점종 고동배감탕벌 등 8종, 정읍천 고동배감탕벌 등 2종, 익산천 먹조롱박벌 등 2종이 출현하였으며, 청정천인 고산천이 가장 다양한 종이 출현하였다. 또한 군집분석에서 종 다양도 및 풍부도 지수에서도 청정천 유역이 가장 우수한 값을 보였다. 반면 총 영소수에서 가장 높은 값을 보인 익산천의 경우 특정종이 우점하는 현상이 나타나는 지역으로 생태계 균형이라는 측면에서 볼 때 고산천에

Table 5. Number of nesting according to the different locations already installed aeroscope and the different species

Species*	Location**			
	Air-1	Air-2	Air-3	
A	0.0	5.1	0.2	
B	0.8	0.4	0.0	
C	0.0	0.0	0.0	
D	0.0	0.0	0.0	
E	0.0	0.0	0.0	
F	0.0	0.0	0.0	
G	0.0	0.0	0.0	
H	0.0	0.0	0.0	
I	0.2	0.4	0.0	
etc	0.0	1.1	0.0	
Total	1.0	7.0	0.2	

* Table 3과 동일,

** Air-1; Air aeroscopy area (Ingae-dong, Suwon), Air-2; Air aeroscope area (Sinpoong-dong, Suwon), Air-3; Air aeroscope area (Ooman-dong, Suwon)

※ HAEI in the locations already installed aeroscope

Location	SO ₂ (ppm)	PM10 (μg/m ³)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	CO (ppm)
Air-1	0.0064	74.2	0.019	0.028	0.96
Air-2	0.0054	62.3	0.021	0.032	0.83
Air-3	0.0050	61.8	0.016	0.034	0.88

Table 6. The indices in each location already installed aeroscope

Location**	Index*			
	DI	H'	RI	EI
Air-1	1.00	0.47	0.29	0.68
Air-2	0.82	0.94	0.74	0.59
Air-3	1.00	0.00	-	-

* Table 4와 동일, ** Table 5와 동일

Table 7. Number of nesting according to the different species and locations

Species*	Location**			
	JJ	KS	JU	IS
A	0.1	0.1	0.0	0.0
B	0.3	0.9	2.4	1.4
C	0.0	0.0	0.0	0.0
D	0.0	0.4	0.0	0.0
E	0.0	0.1	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
G	0.0	0.0	0.0	0.0
H	0.0	0.6	1.1	5.2
I	0.4	0.5	0.0	0.0
etc	0.0	0.2	0.0	0.0
Total	0.8	2.8	3.5	6.6

* Table 3과 동일,

** JJ: Jeonju stream (sewage-inflowing area), KS: Kosan stream (unstained waterway area), JU: Jeongeup stream (industrial area) IS: Iksan stream (livestock-wastewatering area).

Table 8. The indices according to the different locations

Location**	Index*			
	DI	H'	RI	EI
JJ	0.88	0.98	0.72	0.89
KS	0.54	1.66	1.39	0.85
JU	1.00	0.62	0.22	0.89
IS	1.00	0.52	0.19	0.75

* Table 4와 동일, ** Table 7과 동일

비해 다소 불량한 지역이라 할 수 있다.

한편 영소특성을 조사 분석한 결과(Table 8) 영소수가 익산천이 6.6개/m로 가장 많았으며, 정읍천 3.5개/m, 고산천 2.8개/m, 전주천이 0.8개/m 순으로 나타나, 농경지나 생활환경권과는 상반된 결과, 즉 녹지자연도가 높을수록 영소수도 높게 나타났으나 이 지역의 경우 녹지자연도가 가장 높은 고산천(DGN=2.00)에 비해 익산천(DGN = 1.44)에서 높게 나타났다.

환경평가 지표종 선발 및 평가기준 설정

이상 결과에서 자연환경을 평가할 수 있는 벌류, 즉 황습감탕벌, 먹조롱박벌, 줄무늬감탕벌, 왕가위벌 등 4종을 선발하였다(Fig. 2).

황습감탕벌 및 줄무늬감탕벌은 나비목 유충 등을 주 먹이로 하여 년 1회 발생하며, 영소재료는 흙을 주로 이용한다. 따라서 나비목의 먹이원이 좋은식생대에서 서식이 용이할 것으로 생각된다.

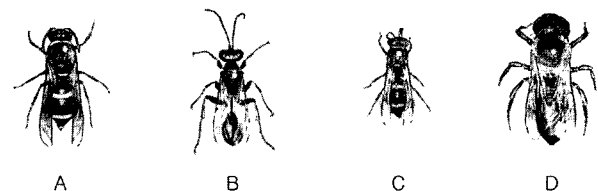


Fig. 2. Environmental indicators for the pollinated extent. A; *A. flavomarginatum*, B; *I. nigellus*, C; *O. drewseni*, D; *C. sculpturalis*.

먹조롱박벌은 먹이원이 메뚜기목의 약충으로 년 1-2회 발생하며 지푸라기 등을 이용하여 영소한다. 메뚜기목의 주서식지는 주로 초생대 라는 것을 감안하면 이 종 또한 서식처인 초생대의 환경과 밀접한 관련이 있다고 판단된다. 왕가위벌은 다른 3종과는 달리 포식성 곤충이 아니라 화분을 먹기 때문에 양질의 화분이 많이 있는 곳일수록 이들의 서식밀도도 높게 나타날 것이다.

이러한 4종이 어떤 지역의 환경을 대변할 수 있는 생물 지표로서 활용이 가능할 것으로 본다.

이상의 결과를 기준으로 환경평가 등급 기준을 설정하였다(Table 9). 평가 등급은 I~IV 등급으로 하였으며, 평가 요인으로는 지표종으로 선발된 4종의 출현종 수, 총 영소수, 종 다양도 및 풍부도 지수 등 4개의 요인을 설정하였다.

지표종 출현의 경우 4종 모두 출현 시 I 등급, 3종 II 등급, 2종 III 등급, 1종 이하의 경우 IV 등급으로 하였으며, 총 영소수의 경우 15개/m 이상, 종 다양도 및 풍부도의 경우 2.0 이상을 I 등급으로 설정하였다. 이상의 4개 요인 중 등급별 3개 이상의 자격을 갖출 경우 그 등급으로 평가 하였으며, I등급의 경우 최상의 환경 보전지역, II등급은 우량 환경지역, III 등급은 최소한의 환경지역으로 개선이 요구되는 지역, IV 등급의 경우 불량환경 지역으로 개선

이 시급히 요구되는 지역으로 구분하였다.

한편 지금까지 조사된 지역을 대상으로 환경 건전도를 평가한 결과, 농업지역의 경우 무방제농업지역 및 관행농업지역 모두 II 등급 수준이었다. 또한 녹지지역의 경우 II 등급, 주거, 상업, 공업 지역의 경우 III-IV 등급 수준이었으며, 대기측정망 설치지역의 경우 신평동이 III 등급, 나머지 2개소는 IV 등급 수준이었다(Table 10). 새만금 지역의 하천에서는 청정천인 고산천이 II 등급이었으나 나머지 지역은 III 등급으로 약간의 개선이 요구되는 지역으로 평가 되었다. 특히 익산천의 경우 총 영소수에서는 청정천인 고산천 보다 높았으나 특정종이 우점하여 우점도가 높고, 종 다양도나 풍부도 지수는 낮은 경향을 보여 평가표에 적용했을 때 오히려 낮은 등급을 나타냈다.

Table 9. Standard grade for the environmental estimate (rural, agricultural, or urban environment)

Grade*	Environmental indicators ¹	No. of nesting ²	Index	
			H ³	RI ⁴
I	4	15 ≤	2.0 ≤	2.0 ≤
II	3	8~15	1.0~2.0	1.0~2.0
III	2	2~8	0.3~1.0	0.3~1.0
IV	1 ≥	2 ≥	0.3 ≥	0.3 ≥

¹ Environmental indicators: A; *A. flavomarginatum*, B; *I. nigellus*, C; *O. drewseni*, D; *C. sculpturalis*

² Total number of nesting in each trap

³ Diversity index

⁴ Richness index

* I: superior, II: good, III: bad, IV: inferior

Table 10. Environmental healthiness according to locations installed traps

Location*	Environmental indicators	No. of nesting	Index		Grade
			DI	RI	
Agri-NP	4	12.8	1.78	2.07	II
Agri-G	4	7.2	1.59	1.63	II
GB	4	13.4	1.81	1.80	II
RA	1	1.8	0.12	0.28	IV
BA	1	1.2	0.66	0.48	IV
IA	2	1.9	1.13	1.46	III
Air-1	1	1.0	0.47	0.29	IV
Air-2	2	7.0	0.94	0.75	III
Air-3	1	0.2	0.00	-	IV
JJ	2	0.8	0.98	0.72	III
KS	3	2.8	1.66	1.39	II
JU	1	3.5	0.62	0.22	III
IS	1	6.6	0.52	1.19	III

* Table 4와 동일

이상의 결과와 같이 자연환경 평가에 호리병벌과를 포함한 벌류를 이용함으로써 지속적이고 종합적인 생물학적 평가가 가능할 것으로 기대되며, 다른 환경평가법에 의한 결과와 상호 비교함으로써 상호 보완 및 보다 정밀한 환경평가가 가능할 것이라 여겨진다.

Literature Cited

- Kim, C.H., 1990. General entomology. Bummunsa, The Entomological Society of Korea, p. 299~319.
- Kim, J.K. 1995. Systematic of eumenidae (hymenoptera) from korea, with phenetic and cladistic analysis of far-east asiatic eumenidae. Ph. D. dissertation. Korea University.
- Lee, H.S. and H.K. Lee. 2000. Bamboo and Reed Stem-nesting Hymenoptera. Korean J. Apiculture. 15(1): 21~28.
- Margalef, D.R. 1958. Information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36~71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. Nature. 216:168~144.
- Pielou, C.E. 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. Amer. Nat., 100: 463~465.
- Pielou, C. E. 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York. 165 pp.
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Simonaka, K. 1997. Field guide series, Bio-indicator, pp. 222~225 Nature Conservation Society of Japan (NACS-J). Tokyo.
- Yoon I.B., D.S. Kong, and J.K. Ryu. 1992a. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1) - Saprobic valency and indicative value -. Korean J. Environ. Biol. 10(1): 24~39.
- Yoon I.B., D.S. Kong, and J.K. Ryu. 1992c. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (2) - Effects of environmental factors to community -. Korean J. Environ. Biol. 10(1): 40~55.
- Yoon I.B., D.S. Kong, and J.K. Ryu. 1992b. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (3) - Macroscopic simple water quality evaluation -. Korean J. Environ. Biol. 10(2): 77~84.
- Yoon, I.B., 1995. An illustrated book of aquatic insects. Jung-hangsa, p. 233~237.

(Received for publication 21 September 2005;
accepted 7 December 2005)

