

곤충 다양성 지수를 이용한 도시 및 공단지역 농경지 환경평가

최영철* · 김종길 · 최지영 · 김원태 · 심하식 · 박병도

농촌진흥청 농업과학기술원 농업생물부

Evaluation of Farm Lands located in Urban Area and Industrial Complex using Insect Diversity Indices

Young-Cheol Choi*, Jong-Gill Kim, Ji-Young Choi, Won-Tae Kim, Ha-Sik Shim and Beong-Do Park

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-100, Korea

ABSTRACT : To evaluate environment of farm lands using indicator insects and evaluation indices, the insect abundance of which is one of the major criteria for the evaluation of agricultural environment of farm land in urban areas and industrial complex, three sites (Ansan, Daesan, Suncheon) were designated and monitored from 2004 to 2006. The flora of agricultural land was more than urban areas and industrial complex of that in three sites. Soil, water and air pollution of urban areas and industrial complex were more serious than those of agricultural land in three sites. Overall population of insects were high from June to August in the surveyed three sites. Collected insects in agricultural land were 12 order, 106 family and 166 species, those in urban areas were 11 order, 102 family and 148 species, and in industrial complex were 11 order, 100 family and 152 species. Species and population belonging to Coleoptera was dominant in the surveyed sites. The insect diversity indices of farm land were 2.36 in agricultural land, 1.92 urban areas and industrial complex. And agricultural environment of agricultural land was good, urban areas was common and industrial complex was poor. Based on the major criteria of evaluation items, the criteria were selected as diversity index over 2.1, insect indicator *Pheropsophus javanus* in agricultural land, diversity index 1.5-2.0, insect indicator *Nephotettix cincticeps* in urban areas, diversity index below 1.5, insect indicator *Pagria signata* in industrial complex.

KEY WORDS : Indicator insects, Evaluation index, Insect diversity, Urban areas, Industrial complex

초 록 : 우리나라 도시 및 공단지역의 농경지에 대해 서식하고 있는 지표곤충 및 평가지수를 이용하여 농업생태계 내의 환경상태를 평가하고자 2004년부터 2006년까지 곤충 서식환경이 다른 지역을 대상으로 곤충 상을 조사하였다. 각 조사지역 내에서의 서식식물을 조사하여 식생을 평가한 결과 농업지역의 자연성이 좋았으며, 도시지역 과 공단지역은 자연환경 상태가 다소 떨어졌다. 각 지역별 수질, 토양 및 대기환경을 조사한 결과 농업지역에 비해 도시지역과 공단지역의 수질, 토양중금속, 대기 등 오염이 더 심한 것으로 나타났다. 5월부터 10월까지 서식곤충을 조사한 결과 조사지역 모두 6월부터 8월까지 가장 많은 곤충이 채집되었으며, 농업지역은 총 12목 106과 166종, 도시지역은 11목 102과 148종, 공단지역은 11목 100과 152종으로 농업지역에서 가장 많은 곤충이 서식하고 있었다. 목별로는 딱정벌레목의 곤충이 가장 많이 서식하였으며, 곤충 군집분석 결과 다양도 지수는 농업지역이 2.36으로 도시지역(1.92) 과 공단지역(1.28) 보다 높았다. 이상의 결과를 종합하여 평가 항목별 기준을 보면 양호한 지역은 농업지역

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

이며, 곤충 다양성 지수 2.1이상, 지표곤충은 남방폭탄먼지벌레, 환경조건은 수질 BOD 4.8 ml/L, 토양중금속 Cd 0.06 ppm이하였다. 보통인 지역은 도시지역이며, 곤충 다양성 지수 1.5-2.0, 지표곤충은 끝동매미충, 환경조건은 수질 BOD 10.98 ml/L, 토양중금속 Cd 0.30 ppm이하였다. 그리고 불량한 지역은 공단지역이며, 곤충 다양성 지수 1.5미만, 지표곤충은 콩잎벌레, 환경조건은 수질 BOD 29.7 ml/L, 토양중금속 Cd 1.01 ppm이었다. 따라서 도시 및 공단지역은 농업지역에 비해 곤충이 서식할 수 있는 환경조건, 특히 식생, 수질, 토양환경이 떨어졌으며, 서식하고 있는 곤충 종수, 개체수 등 서식밀도가 낮은 것으로 보아 이들 농경지에 대한 건전성을 평가할 수 있는 일부 기준이 될 것으로 사료된다.

검색어 : 지표곤충, 평가지수, 곤충다양성, 도시지역, 공단지역

인구의 급증과 사회·경제적인 문제의 해결을 위한 개발로 도시 및 공단지역은 매우 불량한 곤충들의 서식환경으로 되어 가고 있다. 또한 진존하는 자연지역의 고립화와 파편화로 적정 서식면적을 잃어 곤충이 사라졌거나 멸종 위기에 처하게 되고 바람직하지 않는 생물들로 도시 및 농업생태계는 더욱 악화되어 가고 있는 실정이다(Cho, 1999). 도시 및 공단지역의 생태계는 자연생태계나 농업생태계와는 달리 주로 인간과 자연으로 구성되는데, 그 지역은 주로 생물군집과 지형을 변형시키고 외부로부터 다량의 물질과 에너지를 도입하여 생산품과 폐기물을 배출하며, 왕성한 대사활동을 하는 인공생태계라 볼 수 있다(Kim, 1997). 이런 인공생태계는 급격한 인구의 증가에 따라 환경의 질이 저하되고, 생태계와 주변환경의 악화, 그리고 인간건강과 삶의 질의 위협 등으로 대표되고 있는데 기존의 녹지가 사라지고 습지가 매립되면서 곤충이 서식할 수 있는 공간은 더욱더 파편화, 고립화되어 가고 있다.

Ministry of Environment(1997, 1997), Cho(1999) 등의 보고에 의하면 인간과 환경오염과 자연환경과의 관계를 설명하면서 생물의 서식환경 및 생물 다양성과 관련하여 기초가 되는 것은 수환경, 대기환경, 토양환경이라고 할 수 있는데, 도시화로 불투수층 면적은 더욱 증가하여 이들 농경지 주변지역의 하천이나 수로는 곤충의 서식환경을 악화시키고 있다. 또한 도시 및 공단지역에서 배출되는 생활폐수나 대기오염물질이 농업생태계의 건전성을 위협하고 있다. 이와 같이 위협을 받고 있는 대부분의 생물들은 서식지가 파괴되어 생긴 희생자들이므로 적절한 서식지를 보존하는 것이 가장 중요하다.

그러므로 주변 환경과 각별한 관계를 맺고 있는 곤충 집단의 생태를 연구하고 그 곤충의 분포와 밀도를 조사함으로써 현재 서식하고 있는 지역의 환경의 질을 측정할 수 있다. 지금까지 환경지표곤충의 연구는 육상보다는

변이가 적은 수서환경에서 많은 연구가 되어 왔다. 국내에서도 간이환경평가 지수용 종이 선정되어 있는 등 수질과 관련된 연구가 있어 왔다(Yoon *et al.*, 1992a, b, c). 최근 들어서 육상의 농업생태계와 산림생태계에서도 지표곤충을 연구하려는 시도가 진행되고 있다(Duelli *et al.*, 1999; Frouz, 1999). 농경지에서 농약과 비료의 사용량 증가에 따라서 서식곤충의 종과 밀도 변화에 대한 연구, 산림의 건전성 평가 및 자연보호 지역의 계획(Petrillo, 2001)이나 선택(Morris *et al.*, 1991)에서도 지표곤충의 연구가 진행되고 있으나 환경오염 요소가 농경지 생물 다양성에 미치는 영향평가를 위한 지표곤충을 이용한 평가지수의 개발이 미흡한 실정이다.

따라서 지속가능한 농업을 유지하기 위해 도시 및 공단지역의 농경지에서 곤충의 서식유무와 농경지 특성과의 상호관련성을 구명하여 농업생태계 내의 건전성을 평가할 수 있는 기초자료를 얻고자 이 시험을 수행하여 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험조사지역 선정

가. 조사지역 선정 및 조사기간

1) 조사지역 선정

우리나라 도시 및 공단지역의 농경지에 대해 농업생태계내의 환경상태를 평가할 수 있는 지표곤충 및 평가지수를 밝히고자 곤충 서식환경이 다른 지역을 대상으로 선정하였다. 대상지역은 벼농사 중심의 경기도 안산 시화공단과 도시 주변의 농경지 및 일반농경지, 충남 대산 대산산단과 도시 주변의 농경지 및 일반농경지에 그리고 전남

순천 여수산단과 순천시 주변의 농경지 및 일반농경지 등 3개 지역을 선정하였다(Fig. 1, Fig. 2).

2) 조사지역의 특징

조사 대상지역의 특징을 보면 안산은 아파트단지 주변으로 생활폐수가 유입되고 있으며, 시화공단 내에 염색, 기계, 전자 및 도금산업이 주를 이루고 있어 이들이 수질과 대기의 오염원으로 사료된다. 대산은 대산읍 내에서 흘러나오는 생활폐수와 대산산단 내 석유화학 및 기초소

재산업이 주를 이루고 있으며 역시 대기와 수질의 오염원이었다. 그리고 순천은 순천시 아파트단지 주변으로 생활폐수가 유입되며, 여수산단 내에는 석유화학 및 발전소가 산재해 있어 대기 및 수질 오염원이었다(Table 1).

3) 조사기간

선정된 조사지역에서 각 지역 주변의 상태를 고려하여 25 m씩(5 m씩 5반복) 균일한 조건으로 2개소를 지정하여 1 m 간격으로 컵트랩을 설치하여 곤충을 채집하였다. 조사는 2004년부터 2006년까지 매년 5월부터 10월까지 매월 1회씩 조사하였으며, 대산 및 여수지역은 2005년부터 추가로 조사하였다.

나. 환경요인 조사

1) 식생조사

조사지역의 자연환경을 알아보기 위하여 논 주변의 서식 식물상을 조사하였으며, 각 지역별 경작지 주변부의 식생을 Braun-Blanquet(1964)의 식물사회학적 방법으로 조사하였다. 식생조사구는 조사구와 유사한 환경조건과 종구성을 나타내는 밭 경작지 주변의 식생이 발달한 곳으로 선정하였다. 조사된 식생자료는 식물의 발달기원, 지리적 분포, 감시대상식물종, 식물군락의 발달기간을 한국기준식물도감(Lee, 1996)의 생태정보를 이용하여 식생평가를 위해 식생의 특성을 분석하였다. 분석된 식생자료를

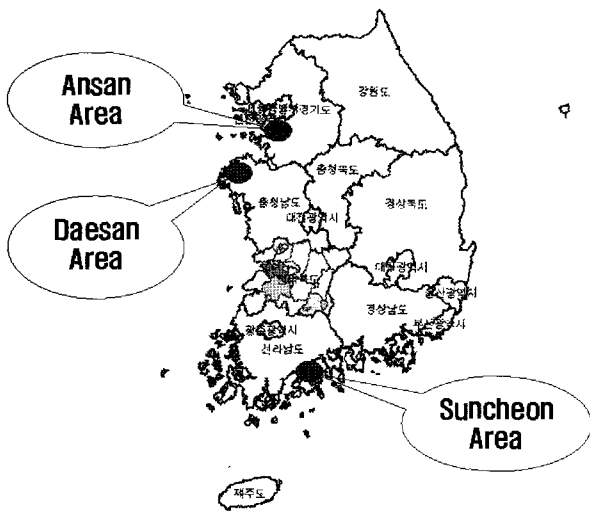


Fig. 1. Geographic location of surveying sites of insect and flora.

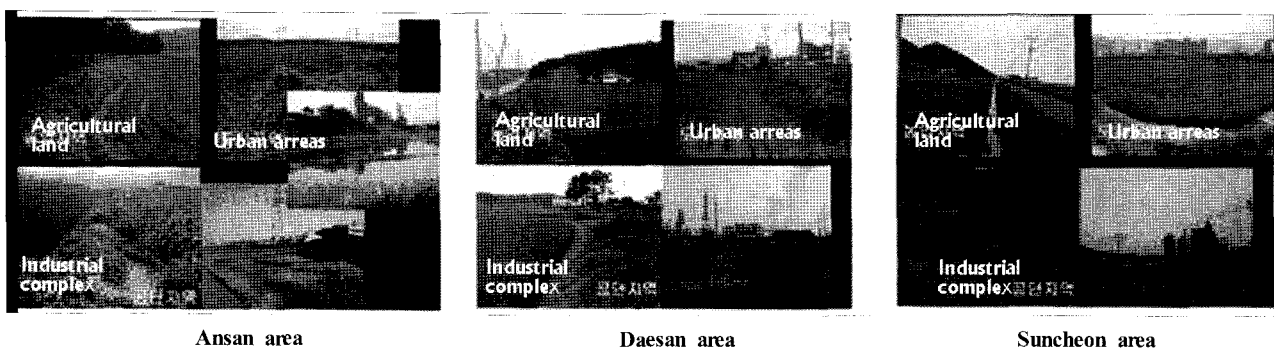


Fig. 2. Type of each surveyed farm lands.

Table 1. Pollution sources from urban area and industrial complex for each surveyed farm land.

Site	Urban area	Industrial complex
Ansan	Waste water from residential areas	Water and air pollution from dyeing, machine, electronic and coating industries
Daesan	Waste water from residential areas	Water and air pollution from petrochemical industry and basic resources
Suncheon	Waste water from residential areas	Water and air pollution from petrochemical industry and power plant

토대로 Kim(1997)의 기준에 의해 다항목 매트릭스 식생 자연성평가기법(Multicriterion Matrix Technique ; MMT)의 10가지 소항목에 적용하여 식생자연도 11개 계급으로 분류하고 환경영향평가의 응용을 위해 크게 5개의 식생등급으로 구분하였다(Fig. 4).

2) 토양, 수질 및 대기오염 조사

조사지역의 곤충 서식환경과 관련하여 토양, 수질 및 대기오염원을 알아보기 위하여 농업지역, 도시 및 공단지역의 농경지 주변의 토양, 물을 채취하여 분석하였다. 토양은 각 지역에서 3반복씩 채취하였으며, 물은 각 지역에서 1ℓ 씩 채취하여 분석하였다. 채취한 토양시료는 실내에서 풍건하여 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 및 Zn를 각각 분석하였다. 분석방법은 음건된 토양 10 g을 0.1N-HCl 50 ml를 가하고 30℃에서 1시간동안 진탕하여 No.6로 여과하여 추출액을 만들었으며, 추출액을 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP-OES XL-3100, Perkin Elmer, USA)의 고온을 이용한 발광분석법에 의하여 측정하였다. 또한 채취한 물은 수질분석기관(서산환경(주))에 의뢰하여 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P를 분석하였다. 그리고 대기오염은 환경부 발행 대기환경월보를 참고하여 해당 지역에서 조사된 SO₂, 미세먼지, 오존, NO₂, CO 등을 제시하였다.

2. 곤충채집 및 분석

가. 채집방법 및 분류

조사지역의 서식곤충을 채집하기 위해 각 지역의 조사 지점에 일정간격(10m)으로 시렵 및 생선을 유인재로 이용한 컵트랩을 50개씩 설치한 후 다음 날 오전에 수거하였으며, 또한 포충망을 이용하여 논 주변의 곤충을 30회 정도로 쓸어잡기하여 채집하였다.

채집된 곤충은 즉시 건조기를 이용하여 건조한 후 표본칩으로 정리하여 보관하였다. 정리된 곤충은 성충의 외부 형태에 의한 관찰을 통하여 한국응용곤충학회에서 발간한 한국곤충명집(1994)을 근거로 분류학적 정리를 하였는데, 이들은 각각 곤충목(Insect Order)에 따른 과(Family), 종(species) 수준까지 안동대학교 생명과학과 곤충분류팀(이종은 교수) 등 전문가에 의뢰하여 동정하였다.

나. 곤충 군집분석

조사지역의 서식곤충에 대한 군집분석은 다음과 같은 방법으로 실시하였다.

1) 우점도지수(Dominance index)

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

$$DI = (n1 + n2)/N \text{ 이며,}$$

여기에서,

N : 총개체수

n1 : 제 1 우점종의 개체수

n2 : 제 2 우점종의 개체수 이다.

2) 다양도지수(Diversity index)

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

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

여기서 H' : 다양도

S : 전체 종수

P_i : i번째에 속하는 개체수의 비율을 말하며 (ni/N)으로 계산

(N:군집내의 전 개체수, ni:각 종의 개체수)

3) 풍부도지수(Richness index)

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

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

여기서 RI : 풍부도

S : 전체종수

N : 총개체수

4) 균등도지수(Evenness index)

균등도는 각 지수의 최대치에 대한 실제 치의 비로써 표현된다. 각 다양도지수는 군집내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대가 되므로 결국 균등도지수는 군집내 종구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 Pielou(1975)의 식을 사용하여 산출하였다.

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

여기서 E : 균등도

H' : 다양도

S : 전체 종수

결과 및 고찰

도시 및 공단지역의 식생평가

각 조사지역의 식생을 조사하기 위해 논 주변과 인접한 도로주변의 식물을 채집하여 식물 상을 조사한 결과 안산의 농업지역은 털여뀌, 미국자리공, 토끼풀 등 85종, 도시지역은 토끼풀, 달맞이꽃 등 61종, 공단지역은 미국가막사리, 소리쟁이 등 46종이 서식하였다. 대산의 농업지역은 쇠뜨기, 환삼덩굴 등 26종, 도시지역은 새콩, 개여뀌 등 23종, 공단지역은 썩, 바랭이 등 28종이 서식하였다. 순천의 농업지역은 쇠뜨기, 환삼덩굴 등 32종, 도시지역은 고마리, 소리쟁이 등 47종, 공단지역은 미국가막사리, 썩 등 29종이 서식하였다(Table 2).

Fig. 3은 안산, 대산 및 순천지역의 식생도를 나타낸 것으로서 세 지역 모두 농업지역은 논을 중심으로 주변환

경이 산림지대와 인접해 있어서 대체로 양호하였으나 공단지역과 도시지역은 논 주변이 자연녹지 보다 주거지와 공단이 인접해 있는 곳이 많았다.

농업생태계는 생물적 요소와 무생물적 요소가 상호관계를 형성하며 이루어진 시스템이다. 따라서 생태계를 구성하고 있는 생물적 요소를 평가함으로써 지역의 자연성을 평가할 수 있는데(Kim, 2003), 조사지역의 식물종의 서식환경을 평가하기 위해 MMT 기법을 적용하여 서식환경을 평가하였다. 그 결과 인위적 교란이 심하다고 판단되는 I 등급에 포함되는 출현종은 털여뀌, 고마리, 썩 등으로 안산의 농업지역, 순천의 도시지역, 대산의 공업지역이 상대적으로 높은 빈도를 보였고, 교란이 어느 정도 진행된 II 등급은 미국가막사리, 바랭이 등으로 안산의 농업지역, 순천의 공업지역, 대산은 도시지역이 높은 빈도를 보였다. 교란이 심한 I, II 등급에서 농업지역은 안산을 제외하고 가장 낮은 빈도를 보였다. 건전한 이용과

Table 2. Plant species collected from three different sites.

Site	Agricultural land	Urban areas	Industrial complex
Ansan	<i>Persicaria orientalis</i> Spach(털여뀌) <i>Phytolacca americana</i> L. (미국자리공) <i>Trifolium repens</i> L. (토끼풀)	<i>Trifolium repens</i> L. (토끼풀) <i>Oenothera odorata</i> Jacq. (달맞이꽃)	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리) <i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)
Daesan	<i>Equisetum arvense</i> L. (쇠뜨기) <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr. (환삼덩굴)	<i>Amphicarpaea trisperma</i> (Miq.) Baker(새콩) <i>Persicaria longiseta</i> (De Btuyn) Kitagawa (개여뀌)	<i>Artemisia princeps</i> Pampanini(썩) <i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel.(바랭이)
Suncheon	<i>Equisetum arvense</i> L. (쇠뜨기) <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr. (환삼덩굴)	<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zuccarini) <i>H. Gross</i> (고마리) <i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리) <i>Artemisia princeps</i> Pampanini(썩)

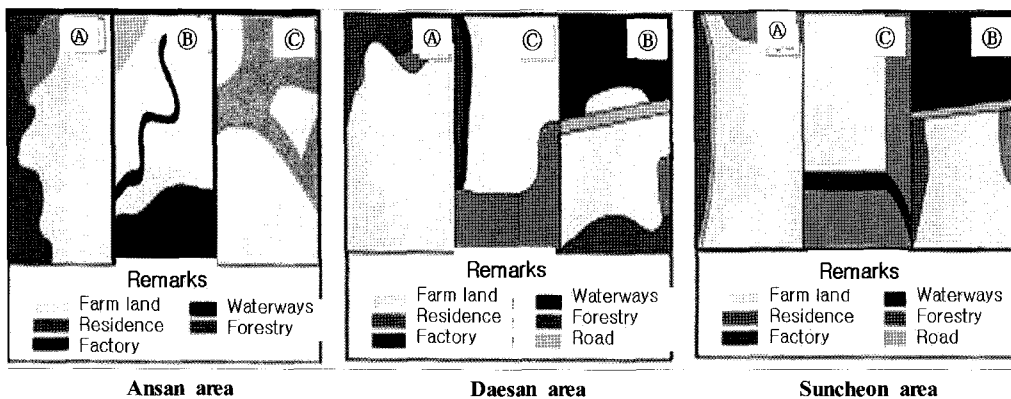


Fig. 3. Vegetation map of sites: (a) Agricultural land, (b) Industrial complex, (c) Urban areas

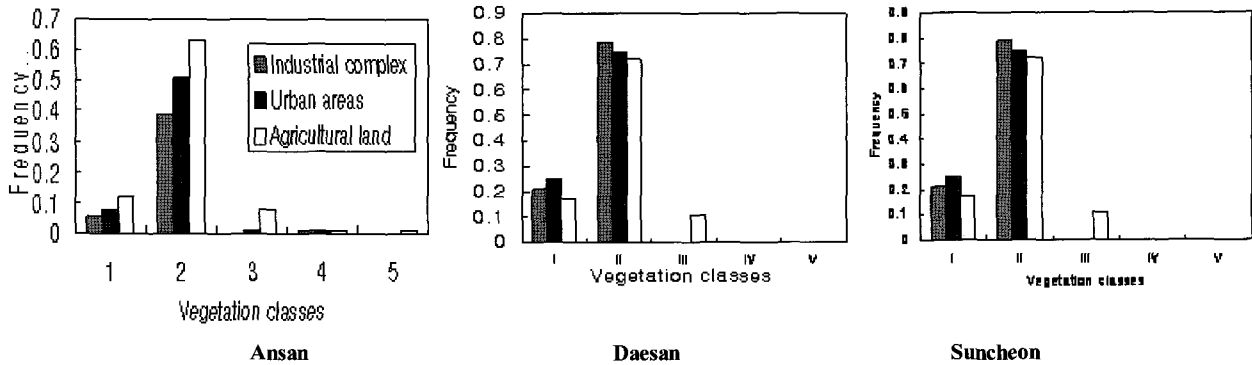


Fig. 4. Distribution of vegetation naturalness of sites.

보전이 필요한 III등급은 쇠뜨기, 환삼덩굴 등으로 안산, 대산과 순천 모두 농업지역만 출현빈도를 나타냈다. 보호 가치가 높은 지역인 IV, V 등급에 포함되는 종은 출현하지 않았다. 따라서 농업지역이 비교적 서식환경이 좋은 III등급 출현종이 많음에 따라 도시나 공단지역보다 건전한 환경을 유지하고 있었다(Fig. 4).

토양, 수질 및 대기환경 오염원

가. 토양환경

조사지역의 농경지 주변 토양오염을 알아보기 위하여 채취한 시료를 분석한 결과 Table 3에서와 같이 농업지역에 비해 도시 및 공단지역은 토양 내 중금속인 Cd, Cr, Cu 등 대부분 함량이 많았다. 특히 안산의 경우 공단지역은 농업지역에 비해 Cd 2.74 ppm, Cu 26.63 ppm, Zn 33.86 ppm으로 약 30배 이상 함량이 많이 검출되었다.

이와 같은 결과로 보아 시화공단 공단지역은 염색, 기계, 전자 및 도금산업이 주를 이루고 있어 농경지 주변의 토양이 일부 중금속에 오염되어 있는 것으로 사료된다. 따라서 곤충다양성 측면에서 볼 때 서식환경이 양호하지는 않는 것으로 판단되었다.

나. 수질환경

조사지역의 농경지 주변 수질오염을 알아보기 위하여 채취한 시료를 분석한 결과 Table 4에서와 같이 농업지역에 비해 도시 및 공단지역 모두 BOD, COD, 탁도(SS) 등 농경지 주변의 수질환경이 열악하였다. 수질환경에 있어서는 도시지역의 경우도 공단지역과 마찬가지로 탁도를 보면 농업지역이 17 mg/L인데 비해 도시지역 30 mg/L, 공단지역 31 mg/L으로 약 2배가량 더 높았다.

이와 같은 결과로 보아 도시지역이나 공단지역은 농경지 주변에 대부분 아파트와 공장이 밀집해 있어서 배출되

Table 3. Soil heavy metal analysis of sites.

Site		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Agricultural land	Ansan	0.07	0.08	2.65	0.29	6.70	3.95
	Daesan	0.20	0.37	8.18	1.00	9.37	29.71
	Suncheon	0.06	0.21	3.26	0.90	2.45	34.25
	Ave.	0.11	0.22	4.70	0.73	6.17	22.64
Urban areas	Ansan	0.13	0.05	6.35	0.91	4.90	12.27
	Daesan	0.20	0.37	8.18	1.00	9.37	29.71
	Suncheon	0.56	0.19	21.07	0.78	10.26	11.94
	Ave.	0.30	0.20	11.87	0.90	8.18	17.97
Industrial complex	Ansan	2.74	0.57	26.63	2.46	9.83	33.86
	Daesan	0.10	0.16	2.91	1.65	3.38	37.82
	Suncheon	0.19	0.32	4.45	1.29	2.66	58.50
	Ave.	1.01	0.35	11.33	1.80	5.29	43.39

Table 4. Water quality analysis of sites.

Site		BOD	COD	SS	T-N	T-P
		(mg/L)				
Agricultural land	Ansan	5.7	8.8	7.5	1.5	0.1
	Daesan	4.8	4.2	23.4	4.4	0.1
	Sucheon	4.0	5.4	20.0	2.9	0.1
	Ave.	4.8	6.1	17.0	2.9	0.1
Urban areas	Ansan	6.6	19.2	33.3	3.6	0.1
	Daesan	16.5	47.9	48.0	17.6	2.2
	Sucheon	9.6	17.4	8.0	9.6	1.2
	Ave.	10.9	28.2	29.8	10.3	1.2
Industrial complex	Ansan	72.0	72.9	44.0	24.2	3.8
	Daesan	2.6	9.7	40.0	0.7	0.2
	Sucheon	14.4	23.3	10.3	14.1	1.7
	Ave.	29.7	35.3	31.4	13.0	1.9

Table 5. Air survey of sites.

Site		SO ₂	PM10	O ₃	NO ₂	CO
		(ppm)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Agricultural land	Ansan	0.004	72.0	0.021	0.026	0.543
	Daesan	0.007	75.0	0.033	0.013	0.600
	Sucheon	0.008	49.0	0.033	0.020	0.300
	Ave.	0.006	65.3	0.029	0.020	0.481
Urban areas	Ansan	0.006	73.4	0.026	0.068	0.657
	Daesan	0.007	75.0	0.033	0.013	0.600
	Sucheon	0.008	49.0	0.033	0.020	0.300
	Ave.	0.007	65.8	0.031	0.034	0.519
Industrial complex	Ansan	0.006	73.4	0.026	0.068	0.657
	Daesan	0.007	75.0	0.033	0.013	0.600
	Sucheon	0.008	52.0	0.033	0.018	0.400
	Ave.	0.007	66.8	0.031	0.033	0.552

는 생활폐수와 공장폐수가 일부 흘러들어 온 것으로 사료된다. 따라서 곤충다양성 측면에서 볼 때 수질환경이 좋지 않으면, 곤충의 서식환경도 양호하지는 않기 때문에 다양성이 떨어지는 것으로 판단되었다.

다. 대기환경

조사지역의 농경지 주변 대기환경 상태를 알아보기 위하여 환경부에서 측정한 자료를 조사한 결과 Table 5에서 보는 바와 같이 농업지역에 비해 도시 및 공단지역은 대기환경은 큰 차이가 나타나지 않았다. 아황산가스(SO₂), 미세먼지(PM10), 그리고 일산화탄소(CO) 등 대기오염에 영향을 미치는 성분을 조사해 본 결과 각 지역 모두 큰 차이

가 없었다.

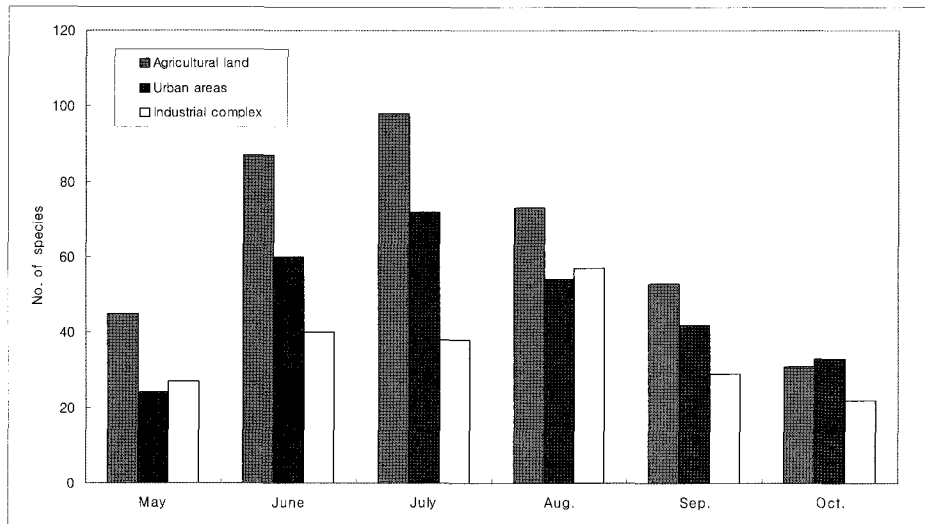
이와 같은 결과로 보아 조사한 도시 및 공단지역의 대기환경은 농업지역과 같이 곤충의 서식환경에 직접적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

도시 및 공단지역의 곤충 상

각 조사지역에서 2005년부터 2006년까지 5월부터 10월까지 농경지별 채집한 곤충 상을 조사한 결과 Table 6에서 보는 바와 같이 농업지역은 총 12목 106과 166종, 도시지역은 11목 102과 148종, 공단지역은 11목 100과 152종이 채집되었다.

Table 6. Number of insect order, family and species collected from agricultural land, urban area and industrial complex.

Areas	Order	Family	Species
Agricultural land	12	106	166
Urban areas	11	102	148
Industrial complex	11	100	152

**Fig. 5.** Monthly variation of insect species in collecting sites.

안산, 대산 및 순천지역의 일반농업지역은 곤충 서식환경이 양호하여 출현된 종수가 도시지역이나 공단지역에 비해 대체로 양호하였다.

이상의 결과로 보아 도시지역과 공단지역의 곤충 다양성은 농업지역에 비해 낮았으며, 환경 오염원이 대체로 적고 자연환경이 좋은 농업지역이 도시지역과 공단지역에 비해 다양한 곤충이 서식하고 있음을 확인하였다.

각 조사지역에서 시기별 채집, 동정된 곤충의 종수는 Fig. 5와 같다. 각 지역에서 채집된 곤충의 개체수를 보면 5월부터 서식밀도가 증가하여 7월에 가장 많은 곤충이 서식하는 것으로 나타났으며, 농업지역이 도시지역이나 공단지역에 비해 출현 종수가 20-30종 이상 시기별로 출현 곤충이 많았다.

각 지역 모두 8월부터 서서히 서식밀도가 줄어들면서 10월에는 각 지역 모두 밀도가 현저히 감소하여 서서히 월동상태로 접어드는 시기임을 알 수 있었다. 각 지역에서 채집된 곤충 종수를 보면 6월부터 8월까지 집중적으로 출현 종수가 다른 시기에 비해서 많았다. Choi *et al.* 등 (2004)의 보고에 의하면 1년 중 농경지 내에서 시기별 곤충 출현 밀도를 보면 6월부터 9월까지 가장 높았다는 것과 같은 경향을 보였다. 이 시기는 농경지 주변 환경이

다양한 식생대와 풍부한 수환경 등으로 곤충이 서식할 수 있는 가장 적절한 시기인 때문으로 사료된다.

그리고 각 조사지역에서 5월부터 10월까지 목별 채집, 동정된 곤충의 개체수 및 종수는 Fig. 6, 7과 같다. 각 지역에서 채집된 곤충은 총 11-12개 목의 곤충이 서식하는 것으로 나타났으며, 목별 개체수를 보면 조사된 세 지역 모두 딱정벌레목, 메뚜기목, 노린재목 순으로 많았고 12개 목의 곤충 중 위 3목의 곤충이 대부분을 차지하였다. 그리고 농업지역의 서식 곤충 개체수는 12목에 다양하게 출현하고 있으나 공단지역은 딱정벌레목에서 거의 대부분 출현하였고 특정종이 우점하는 경향을 보였다.

이와 같은 결과는 환경이 열악할 경우 특정종이 우점하는 경향이 있는 데 도시지역의 매미목 곤충의 개체수와 공단지역의 딱정벌레목의 개체수가 특히 많았다.

각 지역에서 채집된 목별 곤충 종수를 보면 개체수의 경우와 같이 조사된 세 지역 모두 딱정벌레목, 메뚜기목, 노린재목 순으로 많았고 12개 목의 곤충 중 위 3목의 곤충이 대부분을 차지하였다. 그리고 각 지역의 서식 곤충 종은 11목에 다양하게 출현하고 있으나 목별 구성을 보면 딱정벌레목에서 거의 대부분을 차지하였다.

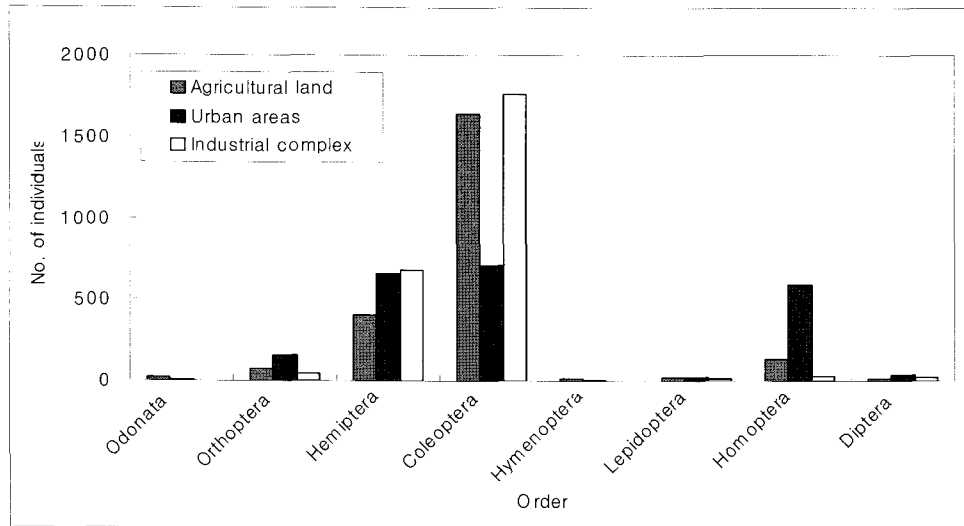


Fig. 6. Population of insect orders in collecting sites.

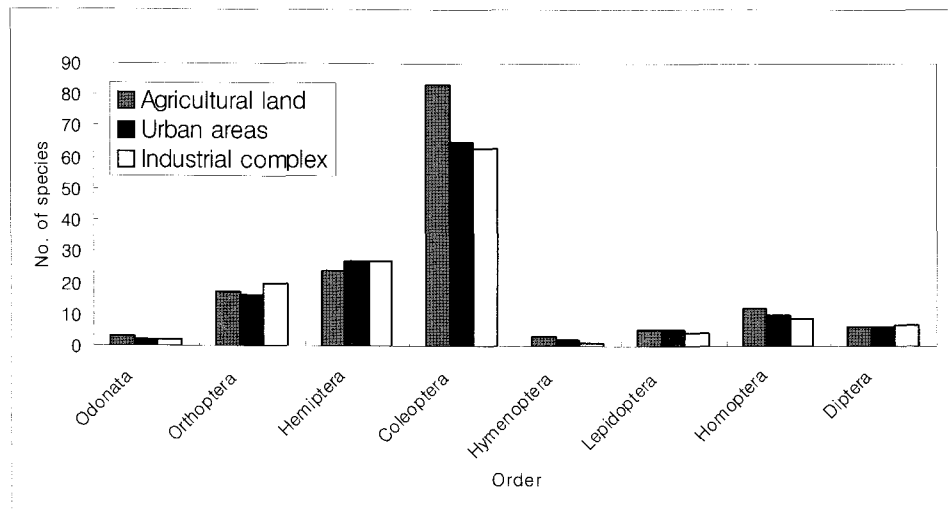


Fig. 7. Population of insect species in collecting sites.

곤충 군집분석

각 조사역에서 채집, 동정된 곤충의 우점 정도 및 다양성을 알아보기 위하여 군집분석한 결과는 Table 7과 같다. 조사지역의 우점도 지수를 보면 농업지역은 0.48, 도시지역은 0.61, 공단지역은 0.58로 도시지역과 공단지역이 농업지역 보다 특정 종의 우점 정도가 높은 것으로 나타났다. 특히 도시지역은 다른 지역에 비해 우점도가 높았다.

그리고 세 지역의 종 다양성을 보면 농업지역이 다양도 지수 2.36으로 도시지역(1.92)이나 공단지역(1.28) 보다 높은 것으로 보아 농업지역에서 다양한 곤충 종이 많이 서식하는 것으로 나타났다. 또한 종 풍부도와 균등도

를 보면 역시 농업지역이 풍부도 5.41, 균등도 0.72로 도시지역(4.10, 0.64)과 공단지역(4.75, 0.71) 보다 높은 것으로 보아 곤충 서식환경이 양호한 것으로 판단된다.

곤충 다양성 지수를 이용한 농경지별 환경평가

도시 및 공단지역에서 채집, 동정된 곤충에 대해 농업생태계 내의 건전성을 평가하기 위해 환경평가와 관련된 항목을 Table 8과 같이 선정하였다. 농경지 내에 서식하는 곤충 다양성을 알아보기 위해 농경지 유형별 서식하는 곤충의 종수 및 개체수 그리고 이와 관련된 곤충의 군집분석을 실시하여 우점도와 다양도 지수를 산출하였다.

Table 7. Community analysis of insects in collecting sites.

Site	Agricultural land	Urban areas	Industrial complex	
Dominance index (DI)	Ansan	0.45	0.58	0.60
	Daesan	0.52	0.61	0.55
	Sucheon	0.47	0.63	0.58
	Ave.	0.48	0.61	0.58
Diversity index (H')	Ansan	2.46	1.97	1.73
	Daesan	2.41	1.91	1.02
	Sucheon	2.22	1.88	1.08
	Ave.	2.36	1.92	1.28
Richness index (RI)	Ansan	5.38	4.57	6.55
	Daesan	6.74	3.88	4.02
	Sucheon	4.10	4.16	3.69
	Ave.	5.41	4.10	4.75
Evenness index (EI)	Ansan	0.74	0.62	0.68
	Daesan	0.65	0.70	0.70
	Sucheon	0.77	0.61	0.76
	Ave.	0.72	0.64	0.71

Table 8. Evaluation items of insects in collecting sites.

Items	Agricultural land	Urban areas	Industrial complex
Insect species	166	148	152
Insect individuals	2,330	2,197	2,571
Dominance index (DI)	0.48	0.61	0.58
Diversity index (H')	2.36	1.92	1.28
Indicator species	<i>Pheropsophus javanus</i>	<i>Nephotettix cincticeps</i>	<i>Pagria signata</i>

Table 9. Environment evaluation grade of items in sites.

Grade	Agricultural Pattern	Diversity index (H')	Indicator species	Environment conditions
Good	Agricultural land	2.1 over	<i>Pheropsophus javanus</i>	Water BOD 4.8 ml/L, Soil Cd 0.06 ppm
Common	Urban areas	1.5-2.0	<i>Nephotettix cincticeps</i>	Water BOD 10.9 ml/L, Soil Cd 0.30 ppm
Poor	Industrial complex	1.5 below	<i>Pagria signata</i>	Water BOD 29.7 ml/L, Soil Cd 1.01 ppm

평가 항목별 기준은 Table 9에서 보는 바와 같이 양호한 지역은 농업지역이며, 곤충 다양성 지수 2.1이상, 지표곤충은 남방폭탄먼지벌레, 환경조건은 수질 BOD 4.8 ml/L, 토양중금속 Cd 0.06 ppm이하였다. 보통인 지역은 도시지역이며, 곤충 다양성 지수 1.5-2.0, 지표곤충은 끝동매미충, 환경조건은 수질 BOD 10.98 ml/L, 토양중금속 Cd 0.30 ppm이하였다. 그리고 불량한 지역은 공단지역이며,

곤충 다양성 지수 1.5미만, 지표곤충은 콩잎벌레, 환경조건은 수질 BOD 29.7 ml/L, 토양중금속 Cd 1.01 ppm이었다.

이상의 결과를 종합하면 도시 및 공단지역은 농업지역에 비해 곤충이 서식할 수 있는 환경조건, 특히 식생, 수질, 토양환경이 떨어졌으며, 서식하고 있는 곤충 종수, 개체수 등 서식밀도가 낮은 것으로 보아 이들 농경지에 대한 건전성을 평가할 수 있는 일부 기준이 될 것으로 사료된다.

Literature Cited

- Barbour M.G., J.H. Burk and W.D. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. pp. 4-10. The Benjamin/Cummings Publishing Co.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensociologie. Springer-Verlag. 3rd ed., 865pp. Vienna. New York.
- Cho, D.G. 1999. A study on the effects of the biodiversity increase after construction of the artificial wetland. 114pp. Graduate School, Seoul National University.
- Choi, Y.C., H.C. Park, J.G. Kim, H.S. Shim and O.S. Kwon. 2004. Selection of Indicator Insects for the Evaluation of Agricultural Environment. Korean J. Appl. Entomol. 43(4): 267-273.
- Duelli, P., M.K. Obrist, & D.R. Schmatz, 1999. Biodiversity evaluation in agricultural landscape: above-ground insects. Agriculture ecosystem & environment. 74: 19-32.
- Frouz, J., 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: A review of ecological requirements and response to disturbance. Agriculture ecosystem & environment. 74: 167-186.
- Kim J. W. and E.J. Lee. 1997. Multicriterion Matrix Technique of Vegetation Assessment - A New Evaluation Technique on the Vegetation Naturalness and Its Application -. Korean J. Eco., 20(5): 303-313.
- Kim, J. W. 2003. Green ecology. 340pp. World Science.
- Kim, T. J. 1997. Resource plant of Korea (I, II, III, IV, V). Seoul National University Press.
- Lee, W.C., 1996. An illustrated plant book of Korea. 624pp. Acamedy Press.
- Margalef, D.R., 1958. Information theory in ecology, Gen. Syst. 3: 36-71.
- McNaughton, S.J., 1967. Relationship among functional properties of California Glassland. *Nature*. 216: 168-144.
- Ministry of Environment. 1997. Development of creation technology for the wildlife habitat in Korean rural area. 316pp. the first report.
- Ministry of Environment. 1998. Development of creation technology for the wildlife habitat in Korean rural area. 353pp. the second report.
- Morris, M.G., N.M. Collins, R.I. Vane-Wright, & J. Waage. 1991. The utilization and value of non-domesticated insects. In: N. M. Collins, The conservation of insects and their habitats. pp.319-347. Academic Press.
- Petrillo, H., 2001. The Use of Indicators in Reserve Design.
- Pielou, 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. Amer. Nat., 100:463-465.
- 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. 1992b. 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. 1992c. 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.

(Received for publication September 11 2007;
accepted December 6 2007)