

Species Diversity Analysis of the Aquatic Insect in Paddy Soil

Ki-Cheol Eom*, Min-Soo Han¹, Byung-Kook Lee, and Ho-Yong Eom

Sejong Institute of Data Analysis (SEIDA), Suwon 443-766, Korea

¹*National Academy of Agricultural Science, RDA, 441-707, Suwon-city, Gyeonggi-do, Korea.*

(Received: May 16 2013, Accepted: May 30 2013)

The aquatic insect collected at six areas (each 2 for mountain area, plain field, and urban area) from 2009 to 2011 were classified to analyze the distribution and diversity of species. Frequency (number of aquatic insect: N), number of species (S), similarity index (C), richness index (R1, R2), variety index (V1, V2), evenness index (E1, E2, E3, E4, E5), and dominance index (D1) were investigated. Total N and S were 143 and 84, respectively. C matrix of 153 combinations was constructed with the average of 0.542. The average C of 3 years (0.659) was 9.9%P, more higher than the average C of 6 areas (0.560). The average values of the index of 18 plots were 2.28, 0.17, 1.24, 1.08, 0.07, 0.06, 0.01, 0.87, 0.31, 0.93 for R1, R2, V1, V2, E1, E2, E3, E4, E5, D1, respectively. The order in the coefficient of variation (CV) of the indicator for 18 plots was N (70.0%) > E3 (54.9%) > E1 (49.6%) > R2 (40.5%) > S (35.3%) > R1 (33.7%) > E2 (28.4%) > E5 (15.9%) > V1 (11.1%) > E4 (6.3%) > V2 (5.1%) > D1 (4.8%). The correlation matrix with 66 combinations between the indexes was constructed with statistical significance for 33 combinations. However, R1, V1, E2 and D1 were the proper indexes to represent species diversity of aquatic insect based on the correlation matrix and the theory of statistical independence. The richness index was highest in mountain, variety index in urban area, and evenness index in plain field. However, the dominance index was lowest in urban area.

Key words: Species Diversity, Diversity Indices,, Similarity Index, Spacial Similarity, Periodical Similarity

Species diversity indices* of aquatic insect in paddy soil according to different topographies.

index	Mountain area			Plain field			Urban area		
	Anseong	Hamyang	AVG	Boeun	Gimje	AVG	Gunsan	Suwon	AVG
Frequent (N)	38.781	33.082	35.932	23.413	26.483	24.948	12.295	7.265	9.780
Number of species (S)	37.3	27.0	32.2	20.3	16.0	18.2	15.3	25.0	20.2
Richness index (R1)	3.47	2.53	2.999	1.95	1.49	1.717	1.53	2.71	2.115
Variety index (V1)	1.31	1.19	1.251	1.17	1.24	1.202	1.18	1.37	1.275
Evenness index (E2)	0.036	0.045	0.040	0.057	0.077	0.067	0.077	0.055	0.066
Dominance index (D1)	0.918	0.946	0.932	0.953	0.925	0.939	0.951	0.885	0.918

* mean value of 3 years.

*Corresponding author : Phone: +821088568765, Email: kceom6578@hanmail.net

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ907245)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

생물 종 다양성에 관한 국제적인 움직임은, 생물다양성 협약 10차 당사국 총회에서 2011년부터 2020년까지 “UN의 생물다양성 10년”이 선포되었으며, 이에 따라 각국은 10년간 개발계획 수립시 생물다양성 보전을 고려하고, 실천을 위한 전략계획 수립과 성과를 보고하게 됨으로써 생물자원이 보다 체계적이고 내실 있게 보전될 것으로 보고 있다 (Ahn, 2012). 특히 농업분야와 관련된 생물 종 다양성에 대한 시각을 보면, 증가하는 영농 강도와 도시화의 압력에 의하여 초래된 생물 서식지의 감소와 파편화에 의하여 감소해 왔으며 (Krebs et al., 1999), 특히 농업분야의 생물다양성에 중대한 영향을 주는 요인으로 여겨지고 있는 생물 서식지의 이질성과 연결성의 감소로 인하여 농업분야의 생물다양성은 감소하였다는 연구결과도 있다 (Yoo et al., 2012).

어떤 생태계에서 생물의 종 다양성을 파악하기 위해서는 여러 가지의 지표를 이용하여 계량화 평가를 하여야 한다. 현재까지 주로 이용되는 지표는; 개체수, 종수, 유사도지수, 풍부도지수, 다양도지수, 균등도지수, 우점도지수 등이다 (Sokal and Michener, 1958; Margalef, 1958; Menhinick, 1964; Shannon and Weaver, 1949; Simpson, 1949; Pielou, 1975; Sheldon, 1969; Heip, 1974; Hill, 1973). 그러나 이 지표들을 이용한 많은 연구 결과들이 종 다양성 관련 지표들의 값이 어떤 조건에서는 어느 정도의 값을 갖더라는 식의 고찰이 대부분이고, 지표의 값 차이가 뜻하는 의미에 대한 해석이나 지표들과의 상관관계를 해석한 연구는 매우 드물다. 또한, 종 다양성 관련 특성별 같은 특성을 나타내는 지표가 여러 개 개발되어 있어, 예를 들어 균등도 지수의 경우 현재 이용되고 있는 모델이 5개나 되는데, 그중 왜 어떤 지표를 이용하여 종 다양성을 파악하려고 했는지에 대한 설명은 찾아보기 어려웠다.

따라서 본 연구에서는 현재 가장 많이 이용되고 있는 지표 및 지수들에 대하여 지표들 간의 관련성을 분석하여 어떤 지표들이 논토양 수서곤충의 종 다양성을 구명하는데 보다 적절한 지표인지를 구명하고, 어떤 지표 또는 지수의 값 차이가 뜻하는 바를 고찰함으로써 종 다양성 관련 분석 기법을 보완함과 동시에, 곡간지 및 평야지에 위치한 논을 대상으로 하여 도시농업의 일환인 도시지역에 위치한 논토양과 수서곤충 종 다양성을 비교 분석코자 하였다.

Materials and Methods

지형별 곡간지는 안성과 함양, 평야지는 보은과 김제, 도시지역은 군산과 수원의 논토양에서 2009년부터 2011년까지 3개년 간 수서곤충을 채집하여 분류동정 하였다.

수서생물의 조사 시기는 2009~2011년까지 3년에 걸쳐

6~7월은 월 2회, 8월은 1회씩 년중 총 5회를 조사하였으며, 논 서식 수서 무척추동물의 채집방법은 비나 관개에 의해 만수위가 되는 것을 피하고 논물을 댄 후 24시간이 지나 수위가 5~10 cm 정도일 때 50 × 20 × 20 cm (높이) 크기의 채집기를 벼 포기사이에 박고 논물을 차단한 후 자루가 있는 국자로 논물을 망목 15 μm 망 (가로 30 × 세로 30 cm)에 담아 거른 후 채집하였으며 (농진청 조사 분석기준, 2003), 농가는 1필지 당 3회씩 채집한 후 채집망을 말아서 비닐봉투에 즉시 넣고, 입구를 접어 얼음이 충전된 아이스박스에 담아 실험실로 옮긴 다음 4℃에 보관하였다, 그 후 채집 수서 무척추 동물을 필지별로 꺼내서 선별하여 70%의 ethanol에 담아 보존하고, 수시로 해부 현미경 하에서 분류 동정하였으며, 각종의 개체수를 조사한 후 분석하였다. 본 연구의 대상 논에서 벼 제배 방식은 일반적인 관행방식이었다.

수서곤충의 종 다양성 분석을 위하여 아래와 같은 5가지 10종류의 지수를 산출하여 다양성의 지표로 삼아 지역 간 및 년차 간 다양성을 분석하였다.

- (1) 유사도 지수 (Similarity index: C)는 Sokal & Michener (1958) 방법에 의하여 산출하였다.

$$C = [2W / (S_1 + S_2)]$$

단, W는 두 군집의 공통종재 종 수, S₁는 군집 1의 종 수, S₂는 군집 2의 종 수

- (2) 풍부도 지수 (Richness index: R)는 Margalef (1958) 방법 (R1)과 Menhinick (1964) 방법 (R2)에 의하여 산출하였다.

$$R1 = [(S - 1) / \ln (N)]$$

$$R2 = [S / \text{SQRT} (N)]$$

단, S: 종수, N: 개체수

- (3) 다양도 지수 (Variety index: V)는 Shannon and Weaver (1949) 방법 (V1)과 Simpson (1949) 방법 (V2)에 의하여 산출하였다.

$$H = - \sum_{i=1}^S [P_i \cdot \ln (P_i)]$$

P_i: I번째 군집에 속하는 개체수의 비율 (n_i/N)

(N: 군집내의 전 개체 수, n_i: 군집 내 각 종의 개체 수)

$$V1 = \exp (H)$$

$$V2 = 1 / \sum_{i=1}^S [(P_i)^2]$$

(4) 균등도 지수(Evenness index)는 Pielou (1975) 방법 (E1), Sheldon (1969) 방법 (E2), Heip (1974) 방법 (E3), Hill (1973) 방법 (E4), 수정된 E4 방법 (E5)에 의하여 산출하였다.

$$E 1 = [H / \ln(S)] = [\ln(V1) / \ln(S)]$$

$$E 2 = [\exp (H) / S] = [V1 / S]$$

$$E 3 = [(V1-1) / (S-1)]$$

$$E 4 = [V2 / V1]$$

$$E 5 = [(V2-1) / (V1-1)]$$

(5) 우점도 지수 (Dominance index: D)는 Simpson (1949) 방법 (D1)에 의하여 산출하였다.

$$D1 = \sum_{i=1}^s [(Pi)^2]$$

종 다양성 관련 지표들 간의 관련성은, 각 년도와 장소에서 10 종류의 지표들을 산정한 후, 각각의 지표와 다른 지표와의 1차 회귀식을 구하여 그 회귀식에 대한 상관계수를 관

련성의 척도로 삼아, 10종류의 지표들 간 상호 상관계수를 matrix로 나타내었다.

Results and Discussion

논토양의 수서곤충 서식 양상 조사대상 6지역의 3년 간 수집된 수서곤충 (Table 1)은 총 423,958 개체가었으며 이중 깔따구 410,306 개체, 연못하루살이 2,082 개체, 아가미 실지렁이 6,265 개체로서 상기 3종의 수서곤충 개체수가 전체 개체수의 98.75%를 차지하였다. 수집된 누적종수는 423종이었으나 18개 조사 집구 중 년차간 또는 지역간 중복으로 수집된 종을 제외하면 총 66종이었다. 지형별 논토양에서 수집된 수서곤충의 년차별 개체수는 Table 1과 같으며 또한 3개년 간 평균 개체 수는 곡간지 (35,932) > 평야지 (24,948) > 도시지역 (9,780) 순이었으며, 종수는 곡간지 (32) > 도시지역 (20) > 평야지 (18) 순이었다. 상기 18개 조사 집구의 개체수 및 종수에 대한 변이계수 (Coefficient of variation: CV)는 각각 70.0 및 35.3 으로서, 개체수의 변이 계수가 매우 컸으며 이는 상기 3종의 차지비율이 매우 높은

Table 1. Distribution of the aquatic insect in paddy soil of mountain, plain field and urban area from 2009 to 2011.

Area	Anseong			Hamyang		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Species	VA09	VA10	VA11	VH09	VH10	VH11
깔따구과 (Chironomidae)	15,461	31,292	65,499	23,369	23,655	49,558
모기과 (Culicidae)	46	37	6	51	50	5
털모기과 (Chaoboridae)	1	3	2			
등에모기과 (Ceratopogonidae)	12	102	127		6	8
물가파리과 (Ephydriidae)	6	42	4	1	3	
장다리파리 (Dolichopodidae)gen. Spp.)			5			
민나방파리 (Psychoda alternata)						4
빨들파리 (Sepedon aenescens)			7			
각다귀과 (Tipulidae)	4			5		
대만재등에 (Tabanus taiwanus)		4	4		1	
범동애등에 (Odontomyia garatas)		6	2		4	
깨다시등에 (Haematopota pluvialis tristis)			5			
꽃등에과 (Syrphidae)				2		
나비날도래 (Ceraclea KUa)	44					
연못하루살이 (Cloeon dipterum)	334	832	202	81	255	35
아시아실잠자리 (Ischnura asiatica)	5	2	6	1	1	13
가는실잠자리 (Indolestes gracilis)			9			
묵은실잠자리 (Sympecma paedisca)			4	6	1	
황등색실잠자리 (Mortonagrion selenion)	1	3				
고추좀잠자리 (Sympetrum depressiusculum)			2	1		
두점박이좀잠자리 (Sympetrum eroticum eroticum)						
깃동잠자리 (Sympetrum infuscatum)						
밀잠자리 (Orthetrum albistylum speciosum)	67	29	26	2		
된장잠자리 (Pantala flavescens)				3		3
베치레잠자리 (Lyriothemis pachygastra)	4					
왕잠자리 (Anax parthenope julius)			28			
가는줄물방개 (Coelambus chinensis)		1	28			
자색물방개 (Noterus japonicus)		7	16		6	4
아담스물방개 (Graphoderus adamsii)	1	1	2			

테물방개 (<i>Liodessus megacephalus</i>)	19	17	5	2	24	
꼬마물방개 (<i>Guignotus japonicus</i>)	43	49	34	2	24	6
깨알물방개 (<i>Laccophilus difficilis</i>)	44	48	26	2	12	5
줄무늬물방개 (<i>Hydaticus bowringi</i>)			2			
검정물방개 (<i>Cybister brevis</i>)	1		1	2		
애기물방개 (<i>Rhantus pulverosus</i>)		2	15	7	2	6
꼬마줄물방개 (<i>Hydaticus grammicus</i>)	4	8	4	8	18	9
알물방개 (<i>Hyphydrus japonicus</i>)	19	39	22		10	2
뒷가시물땡땡이 (<i>Edrosus lewisius</i>)	20			113	67	25
애넓적물땡땡이 (<i>Enochrus simulans</i>)		34	18	4	3	12
잔물땡땡이 (<i>Hydrochara affinis</i>)	1	1	16			1
북방물땡땡이 (<i>Hydrochara libera</i>)					1	
점박이물땡땡이 (<i>Berosus signaticollis punctipennis</i>)		16	2		16	
샤아프물진드기 (<i>Haliphus sharpi</i>)		14	8			
물진드기 (<i>Peltodytes intermedius</i>)	1	6				
중국물진드기 (<i>Peltodytes sinensis</i>)	22	5	6		4	
알락물진드기 (<i>Haliphus simplex</i>)			2			
검정길쭉알꽃벼룩 (<i>Cyphon sanno</i>)			5	1		8
송장해엄치게 (<i>Notonecta triguttata</i>)	5	1	5	11		
꼬마둥글물벌레 (<i>Plea indistinguenda</i>)		8				
진방물벌레 (<i>Sigara bellula</i>)		36			18	
방물벌레 (<i>Sigara (Tropocorixa) substriata</i>)	12	31	22		19	12
검정배물벌레 (<i>Sigara nigroventralis</i>)	2	101	40		35	25
애소금쟁이 (<i>Gerris latiabdominis</i>)	14	13	3	16	3	9
애실소금쟁이 (<i>Hydrometra procera</i>)		1		1		
긴깨알소금쟁이 (<i>Microvelia douglasi</i>)			3		6	
물자라 (<i>Muljarus japonicus</i>)	3	5	8	1		
게아재비 (<i>Ranatra chinensis</i>)				6		
장구애비 (<i>Laccotrephes japonensis</i>)	1			1		
아가미실지렁이 (B.W)	11	315	564	37	382	1,020
실지렁이 (<i>Tucifiskidae</i>)		188			83	
돌거머리 (<i>Erpobdella lineata</i>)		16	16	12	5	13
넓적거머리 (<i>Erpobdellidae</i>)		2	7		1	1
소 계 (N)	16,208	33,317	66,818	23,748	24,715	50,784
종 수 (S)	30	38	44	28	30	23

Area	Boeun			Gimjae		
Year	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Species	PB09	PB10	PB11	PG09	PG10	PG11
갈다구과 (<i>Chironomidae</i>)	17,923	12,264	38,702	26,445	14,489	35,371
모기과 (<i>Culicidae</i>)	24	34	7	68	10	99
털모기과 (<i>Chaoboridae</i>)			1			
등에모기과 (<i>Ceratopogonidae</i>)			1			
물가파리과 (<i>Ephydriidae</i>)	1				20	57
장다리파리 (<i>Dolichopodidae</i> gen. Spp.)	1	2		1	2	2
민나방파리 (<i>Psychoda alternata</i>)					16	1
빨들파리 (<i>Sepedon aenescens</i>)	1					1
연못하루살이 (<i>Cloeon dipterum</i>)	32	169	80			
아시아실잠자리 (<i>Ischnura asiatica</i>)	1		1			13
고추잠자리 (<i>Sympetrum depressiusculum</i>)		4				
두점박이잠자리 (<i>Sympetrum eroticum eroticum</i>)	1	7				
밀잠자리 (<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>)	1					
뒤장잠자리 (<i>Pantala flavescens</i>)						3
베치레잠자리 (<i>Lyriothemis pachygastra</i>)			2			
자색물방개 (<i>Noterus japonicus</i>)		1				
테물방개 (<i>Liodessus megacephalus</i>)	2					
꼬마물방개 (<i>Guignotus japonicus</i>)	17		5	6	4	1
깨알물방개 (<i>Laccophilus difficilis</i>)	2	2				

검정물방개 (<i>Cybister brevis</i>)			1			
애기물방개 (<i>Rhantus pulverosus</i>)		1	1	2		
꼬마줄물방개 (<i>Hydaticus grammicus</i>)	2	5	1		9	
뒷가시물뽕뎡이 (<i>Edrosus lewisius</i>)	58			10		
애넓적물뽕뎡이 (<i>Enochrus simulans</i>)		7	4	31	16	45
잔물뽕뎡이 (<i>Hydrochara affinis</i>)	2	1			4	2
샤아프물진드기 (<i>Haliplus sharpi</i>)		5	2			
진방물벌레 (<i>Sigara bellula</i>)		12		1	24	
방물벌레 (<i>Sigara (Tropocorixa) substriata</i>)		10	26	69	21	21
검정배물벌레 (<i>Sigara nigroventralis</i>)	1	26	56	25	61	126
꼬마물벌레 (<i>Micronecta sedula</i>)				9	136	10
애소금쟁이 (<i>Gerris latiaabdominis</i>)	4	4	13		1	
긴깨알소금쟁이 (<i>Microvelia douglasi</i>)				7		
물자라 (<i>Muljarus japonicus</i>)	3	2	1			
장구애비 (<i>Laccotrephes japonensis</i>)			1			
아가미실지렁이 (B.W)	31	98	334	54	412	1696
실지렁이 (Tucifiskidae)		226			34	
녹색말거머리 (<i>Whitmania edentula</i>)				2		3
돌거머리 (<i>Erpobdella lineata</i>)	7	2	3		9	

Area	Boeun			Gimjae		
Year	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Species	PB09	PB10	PB11	PG09	PG10	PG11
넓적거머리 (Erpobdellidae)						1
소 계 (N)	18,114	12,882	39,242	26,730	15,268	37,452
종 수 (S)	20	21	20	14	17	17

Area	Gunsan			Suwon			총계
Year	2009	2010	2011	2009	2010	2011	
Species	UG09	UG10	UG11	US09	US10	US11	
깔다구과 (Chironomidae)	10,806	10,318	14,825	5,048	7,462	7,819	410,306
모기과 (Culicidae)		16	1	4	23	6	487
털모기과 (Chaoboridae)							7
등에모기과 (Ceratopogonidae)	1			2	8	2	269
물가파리과 (Ephydriidae)		15	2			5	156
장다리파리 (Dolichopodidae)egen. Spp.)			1				14
민나방파리 (<i>Psychoda alternata</i>)							21
빨들파리 (<i>Sepedon aenescens</i>)	2			2		2	15
각다귀과 (Tipulidae)							9
대만재등에 (<i>Tabanus taiwanus</i>)							9
범등애등에 (<i>Odontomyia garatas</i>)					1		13
깨다시등에 (<i>Haematopota pluvialis tristis</i>)							5
꽃등에과 (Syrphidae)				2			4
나비날도래 (<i>Ceraclea KUa</i>)							44
연못하루살이 (<i>Cloeon dipterum</i>)	5	7	1	2	15	32	2,082
아시아실잠자리 (<i>Ischnura asiatica</i>)	1	6	7	13	9	8	87
가느실잠자리 (<i>Indolestes gracilis</i>)					3		12
목은실잠자리 (<i>Sympecma paedisca</i>)					1		12
황등색실잠자리 (<i>Mortonagrion selenion</i>)							4
대륙줄잠자리 (<i>Sympetrum striolatum imitodes</i>)					6		6
고추줄잠자리 (<i>Sympetrum depressiusculum</i>)				18	5	3	33
두점박이줄잠자리 (<i>Sympetrum eroticum eroticum</i>)				15	10		33
깃동잠자리 (<i>Sympetrum infuscatum</i>)				3	4	3	10
밀잠자리 (<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>)			6	1	6	2	140
된잠자리 (<i>Pantala flavescens</i>)	2			2			13
베치레잠자리 (<i>Lyriothemis pachygastra</i>)							6
왕잠자리 (<i>Anax parthenope julius</i>)						1	29
가느줄물방개 (<i>Coelambus chinensis</i>)				1	3	2	35

자색물방개 (<i>Noterus japonicus</i>)					2	2	38
아담스물방개 (<i>Graphoderus adamsii</i>)							4
테물방개 (<i>Liodessus megacephalus</i>)	2	6					77
꼬마물방개 (<i>Guignotus japonicus</i>)		18	3	1			213
깨알물방개 (<i>Laccophilus difficilis</i>)							141
줄무늬물방개 (<i>Hydaticus bowringi</i>)							2
검정물방개 (<i>Cybister brevis</i>)							5
애기물방개 (<i>Rhantus pulverosus</i>)						1	37
꼬마줄물방개 (<i>Hydaticus grammicus</i>)							68
알물방개 (<i>Hyphydrus japonicus</i>)							92
뒷가시물땡땡이 (<i>Edrosus lewisius</i>)							293
애넓적물땡땡이 (<i>Enochrus simulans</i>)	7	17	3	3	1	3	208
잔물땡땡이 (<i>Hydrochara affinis</i>)		3	1				32
북방물땡땡이 (<i>Hydrochara libera</i>)							1
점박이물땡땡이 (<i>Berosus signaticollis punctipennis</i>)							34
샤아프물진드기 (<i>Halipilus sharpi</i>)					3		32
물진드기 (<i>Peltodytes intermedius</i>)							7
중국물진드기 (<i>Peltodytes sinensis</i>)					4	1	42
알락물진드기 (<i>Halipilus simplex</i>)							2
검정길쭉알꽃벼룩 (<i>Cyphon sanno</i>)						25	39
송장해엄치게 (<i>Notonecta triguttata</i>)							22

Area	Gunsan			Suwon			총계
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	
Year	UG09	UG10	UG11	US09	US10	US11	
꼬마등글물벌레 (<i>Plea indistinguenda</i>)							8
진방물벌레 (<i>Sigara bellula</i>)		68			4		163
방물벌레 (<i>Sigara (Tropocorixa) substriata</i>)	26	27	57	22	3	12	390
검정배물벌레 (<i>Sigara nigroventralis</i>)	8	147	97	1	15	5	771
꼬마물벌레 (<i>Micronecta sedula</i>)							155
애소금쟁이 (<i>Gerris latiabdominis</i>)				9	1	1	91
애실소금쟁이 (<i>Hydrometra procera</i>)							2
긴깨알소금쟁이 (<i>Microvelia douglasi</i>)	7	5	2	2			32
물자라 (<i>Muljarus japonicus</i>)		5			1	17	46
게아재비 (<i>Ranatra chinensis</i>)							6
장구애비 (<i>Laccotrephes japonensis</i>)							3
아가미실지렁이 (B.W)	9	87	229	29	239	718	6,265
실지렁이 (<i>Tucifiskdae</i>)		16			23		570
녹색말거머리 (<i>Whitmania edentula</i>)		2	1	1		2	11
말거머리 (<i>Whitmania pigra</i>)				2			2
돌거머리 (<i>Erpobdella lineata</i>)	1	9		9	19	58	179
넓적거머리 (<i>Erpobdellidae</i>)					1	1	14
소 계 (N)	10,877	10,772	15,236	5,192	7,872	8,731	423,958
종 수 (S)	13	18	15	23	27	25	66

것에 기인되었다고 판단된다.

수서곤충 종 다양성의 유사도 분석 조사대상지 18집 구들에 대하여 2집구 간 153개 조합의 상호 유사도 (Similarity) matrix를 작성 (Table 2)하였으며, 153개 조합전체의 유사도는 0.318~0.788 범위의 평균 0.542 이었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 전체 종의 약 54%는 최소 1개 이상의 다른 집구에서도 서식하고 있는 종으로 판단되었다. 집구별 타 집구들과의 평균 유사도가 가장 낮은 구는 2009년 보은 평야지의 0.471 이었으며, 평균 유사도가 가장 높은 구는 2010년

군산 도시지역의 0.592 이었다.

곡간지, 평야지 및 도시지역의 년차별 평균 유사도는 0.659로서, 지형 간 평균 유사도 0.560보다 9.9% P. 더 높게 나타났다 (Table 3). 이는 어떤 종의 수서곤충이 같은 시기에 다른 지역에서 공동 서식할 가능성 (공간적 유사도: Spatial similarity) 보다 동일 지역에서 이듬해에 또다시 서식할 가능성 (시간적 유사도: Periodical Similarity)이 더 높다는 것을 뜻하며, 이와 같은 결과는 본 연구 대상지역의 공간적 거리는 개체의 유사성을 담보할 수 있는 거리로 보기 어려운 공간적 격리와 함께 지형 차이에 따른 외부환경

Table 2. Similarity index(C) matrix between each plot in paddy soil of mountain, plain field and urban area from 2009 to 2011.

	VA09	VA10	VA11	VH09	VH10	VH11	PB09	PB10	PB11	PG09	PG10	PG11	UG09	UG10	UG11	US09	US10	US11
VA09		0.706	0.622	0.621	0.567	0.566	0.640	0.431	0.640	0.318	0.426	0.383	0.372	0.500	0.489	0.415	0.421	0.473
VA10			0.780	0.545	0.765	0.623	0.552	0.610	0.586	0.346	0.509	0.400	0.392	0.571	0.453	0.459	0.646	0.603
VA11				0.583	0.703	0.597	0.563	0.554	0.563	0.345	0.426	0.426	0.421	0.484	0.475	0.507	0.620	0.667
VH09					0.552	0.588	0.625	0.490	0.583	0.333	0.400	0.356	0.390	0.478	0.419	0.510	0.436	0.528
VH10						0.717	0.560	0.588	0.560	0.500	0.553	0.426	0.512	0.625	0.489	0.491	0.632	0.582
VH11							0.605	0.636	0.651	0.486	0.600	0.600	0.556	0.537	0.526	0.565	0.520	0.625
PB09								0.634	0.550	0.412	0.595	0.541	0.485	0.632	0.629	0.558	0.468	0.533
PB10									0.634	0.514	0.684	0.421	0.412	0.615	0.500	0.500	0.667	0.565
PB11										0.471	0.541	0.432	0.545	0.579	0.514	0.558	0.553	0.578
PG09											0.645	0.645	0.444	0.625	0.690	0.486	0.341	0.410
PG10												0.706	0.400	0.686	0.625	0.450	0.455	0.429
PG11													0.533	0.629	0.750	0.550	0.364	0.524
UG09														0.645	0.571	0.667	0.450	0.526
UG10															0.788	0.585	0.533	0.558
UG11																0.632	0.429	0.550
US09																	0.640	0.708
US10																		0.731
US11																		

* VA: Anseong, VH: Hamyang, PB: Boeon, PG: Gimje, UG: Gunsan
 US: Suwon, 09: 2009, 10: 2010, 11: 2011.

Table 3. The Analysis of mean similarity index according to the periodical and topological characteristics with aquatic insect collected from 2009 to 2011 at 6 regions.

Area	mean of year	mean of topography
Anseong	0.703	
Hamyang	0.619	
AVG	0.661	0.619
Boeon	0.606	
Gimje	0.665	
AVG	0.636	0.512
Gunsan	0.668	
Suwon	0.693	
AVG	0.681	0.548
Total AVG	0.659	0.560

의 차이 등에 기인 된 것으로 판단된다.

종 다양성 관련지수 분석 다양성관련 지수에 근거하여 생물 종다양성을 분석한 타 연구결과를 살펴보면; 식물 군락 중심으로 하천의 식생을 분석한 결과, 어느 한 지역에서 그 지역을 지배하는 우점종과 주변에 정착한 소수의 다른 추가적인 종들에 의하여 군집체를 이룸으로써 다양도지수를 높이는 결과가 도출된 반면, 극히 소수의 종들이 정착하여 그들만으로 군락을 이루고 다른 종들의 추가적인 침입을 전혀 허용하지 않은 구역에서는 다양도지수가 상당히 낮게 나타났고 (Lee et al., 2003), 산림식생에 대한 연구에서

도 환경의 변화에 의해서 다른 종의 침입이 가능하면 그에 따라 다양도지수 및 풍부도지수, 균등도지수가 높아진 경우도 있었다 (Kim et al., 1999). 균등도지수는 군락에 따라서는 다양도지수 및 풍부도지수와 거의 같은 경향을 나타냈다는 보고가 있으며 (Lee et al., 2003), 조류 서식지로서 삼림 습지의 군집 유사도를 분석한 연구 결과도 있다 (Yoo et al., 2012). 본 연구에서, 조사대상 18집구별 종 다양성 관련 10종류의 지수를 산정한 결과는 Table 4와 같다. 풍부도지수 (Richness index: R)인 R1은 1.28~3.87 범위의 평균 2.278, R2는 0.09~0.32 범위의 평균 0.175, 다양도지수 (Variety index: V)인 V1은 1.05~1.55 범위의 평균 1.243, V2는 1.01~1.24 범위의 평균 1.078, 균등도 지수 (Evenness index: E)인 E1은 0.02~0.14 범위의 평균 0.067, E2는 0.03~0.08 범위의 평균 0.058, E3는 0.00~0.02 범위의 평균 0.011, E4는 0.79~0.96 범위의 평균 0.873, E5는 0.24~0.43 범위의 평균 0.305, 우점도지수 (Dominance index: D)인 D1은 0.81~0.99 범위의 평균 0.930 이었다.

종 다양성 관련 12개 지표들에 대한 18개 집구 간의 변이 계수 (Coefficient of variation: CV)는 Table 5 에서처럼; 개체수 (N, 70.0%) > 균등도-E3 (54.9%) > 균등도-E1 (49.6%) > 풍부도-R2 (40.5%) > 종수 (S, 35.3%) > 풍부도-R1 (33.7%) > 균등도-E2 (28.4%) > 균등도-E5 (15.9%) > 다양도-V1 (11.1%) > 균등도-E4 (6.3%) > 다양도-V2 (5.1%) > 우점도-D1 (4.8%) 순 이었다. 이로 볼 때 수서곤충의 종 다양성 지표 중 우점도지수가 시간적 및 공간적 차이에 의한 영향을 가장 적게 받는다고 사료된다.

조사대상 18집구별 종 다양성 관련 12개 지표들간 66개

Table 4. The analysis of 10 kinds of species diversity indices of aquatic insect collected from 2009 to 2011 at 6 regions.

index	----- Anseong -----			----- Hamyang -----		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
R1	2.99	3.55	3.87	2.68	2.87	2.03
R2	0.24	0.21	0.17	0.18	0.19	0.10
V1	1.33	1.44	1.15	1.12	1.31	1.15
V2	1.10	1.13	1.04	1.03	1.09	1.05
E1	0.08	0.10	0.04	0.04	0.08	0.04
E2	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05
E3	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
E4	0.82	0.79	0.90	0.92	0.83	0.92
E5	0.29	0.30	0.26	0.26	0.30	0.34
D1	0.91	0.88	0.96	0.97	0.92	0.95

index	----- Boeun -----			----- Gimje -----		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
R1	1.94	2.11	1.80	1.28	1.66	1.52
R2	0.15	0.19	0.10	0.09	0.14	0.09
V1	1.08	1.32	1.10	1.08	1.33	1.30
V2	1.02	1.10	1.03	1.02	1.11	1.12
E1	0.03	0.09	0.03	0.03	0.10	0.09
E2	0.05	0.06	0.05	0.08	0.08	0.08
E3	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
E4	0.94	0.83	0.94	0.94	0.83	0.86
E5	0.26	0.32	0.29	0.26	0.33	0.40
D1	0.98	0.91	0.97	0.98	0.90	0.89

index	----- Gunsan -----			----- Suwon -----		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
R1	1.29	1.83	1.45	2.57	2.90	2.64
R2	0.12	0.17	0.12	0.32	0.30	0.27
V1	1.05	1.30	1.17	1.22	1.35	1.55
V2	1.01	1.09	1.06	1.06	1.11	1.24
E1	0.02	0.09	0.06	0.06	0.09	0.14
E2	0.08	0.07	0.08	0.05	0.05	0.06
E3	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
E4	0.96	0.84	0.90	0.87	0.82	0.80
E5	0.24	0.29	0.33	0.27	0.32	0.43
D1	0.99	0.92	0.95	0.95	0.90	0.81

*R1: Richness index of Margalef, R2: Richness index of Menhinick, V1: Variety index of Shannon and Weaver, V2: Variety index of Simpson, E1: Evenness index of Pielou, E2: Evenness index of Sheldon, E3: Evenness index of Heip, E4: Evenness index of Hill, E5: Evenness index modified E4, D1: Dominance index of Simpson.

조합 (${}_{12}C_2 = 66$) 에 대한 상호관련성(단순상관)을 Correlation matrix (Table 6)로 나타내었으며, 총 66개 조합중 33개 조합의 경우가 통계적으로 유의성 있는 관련성을 보여주었다. 상기 12개 지표 중 10개의 지표들은 모두 개체 수 (N)와 종

수 (S)의 복합함수로 산정되지만, 10개 지수들 중 개체수와 상관관계가 있는 것은 1개이었으며 종수와 상관관계가 있는 것은 2개 뿐이었다. 또한 개체수와 종수의 상관관계는 5% 유의수준에서 유의성이 인정되었다. 기타 10개 지수들

Table 5. Coefficient of variation (CV) for the index based on 18 plots.

index	Average	Standard deviation	CV (%)
R1	2.28	0.768	33.7
R2	0.17	0.071	40.5
V1	1.24	0.139	11.1
V2	1.08	0.055	5.1
E1	0.07	0.034	49.6
E2	0.06	0.017	28.4
E3	0.01	0.006	54.9
E4	0.87	0.055	6.3
E5	0.31	0.049	15.9
D1	0.93	0.045	4.8

*R1: Richness index of Margalef, R2: Richness index of Menhinick, V1: Variety index of Shannon and Weaver, V2: Variety index of Simpson, E1: Evenness index of Pielou, E2: Evenness index of Sheldon, E3: Evenness index of Heip, E4: Evenness index of Hill, E5: Evenness index modified E4, D1: Dominance index of Simpson.

간 상호관련성은 45개 조합 ($_{10}C_2 = 45$) 중 29조합에서 통계적 유의성이 인정되는 상관관계를 보였으며 16조합의 경우에는 유의성이 없었다. 따라서 종 다양성을 대표하는 특성이라고 할 수 있는 지표 (지수)들 간에는 상호관련성이 낮은 지표들로 구성될수록 종 다양성에 대하여 좀 더 많은 정보를 제공해 줄 수 있기 때문에, 본 연구에서는 풍부도 지표로는 R1지수를, 다용도지표로는 V1지수를, 균등도 지표로는 E2지수를, 우점도 지표로는 D1지수를 선정하여 조사대상 집구별 종 다양성에 대한 분석을 실시하였다.

주요지형별 논토양의 수서곤충 종 다양성 분석 곡간지와 평야지 및 도시지역의 논토양에 서식하는 수서곤충의 종 다양성을 분석한 결과(Table 7), 풍부도지수 (R1)는 곡간지 (2.999) > 도시지역(2.115) > 평야지 (1.717) 순이었고, 다양도지수 (V1)는 도시지역 (1.275) > 곡간지 (1.251) > 평야지 (1.202) 순이었으며, 균등도지수 (E2)는 평야지 (0.067) > 도시지역 (0.066) > 곡간지 (0.040) 순이었다. 한편 우점도지수 (D1)는 도시지역 (0.918) < 곡간지 (0.932) < 평야지 (0.939) 순이었다. 종 다양성을 평가함에 있어 풍부

Table 6. Correlation matrix of the correlation coefficient(R) between the indices.

	N	S	R1	R2	V1	V2	E1	E2	E3	E4	E5	D1
N		0.48*	ns	-0.48*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S			0.98**	ns	ns	ns	ns	-0.92**	ns	ns	ns	ns
R1				0.63*	ns	ns	ns	-0.90**	ns	-0.49*	ns	ns
R2					0.57*	0.48*	0.49*	ns	ns	-0.61**	ns	-0.48*
V1						0.97**	0.98**	ns	0.83**	-0.97**	0.68**	-0.98**
V2							0.96**	ns	0.86**	-0.87**	0.81**	-1.00**
E1								ns	0.93**	-0.95**	0.73**	-0.97**
E2									ns	ns	ns	ns
E3										ns	ns	ns
E4											-0.78**	0.78**
E5												-0.54*
D1												

*N: Frequency, S: The number of species, R1: Richness index of Margalef, R2: Richness index of Menhinick, V1: Variety index of Shannon and Weaver, V2: Variety index of Simpson, E1: Evenness index of Pielou, E2: Evenness index of Sheldon, E3: Evenness index of Heip, E4: Evenness index of Hill, E5: Evenness index modified E4, D1: Dominance index of Simpson.

Table 7. Species diversity indices* of aquatic insect in paddy soil according to different topographies.

index	----- Mountain area -----			----- Plain field -----			----- Urban area -----		
	Anseong	Hamyang	AVG	Boeun	Gimje	AVG	Gunsan	Suwon	AVG
Frequent (N)	38.781	33.082	35.932	23.413	26.483	24.948	12.295	7.265	9.780
Number of species (S)	37.3	27.0	32.2	20.3	16.0	18.2	15.3	25.0	20.2
Richness index (R1)	3.47	2.53	2.999	1.95	1.49	1.717	1.53	2.71	2.115
Variety index (V1)	1.31	1.19	1.251	1.17	1.24	1.202	1.18	1.37	1.275
Evenness index (E2)	0.036	0.045	0.040	0.057	0.077	0.067	0.077	0.055	0.066
Dominance index (D1)	0.918	0.946	0.932	0.953	0.925	0.939	0.951	0.885	0.918

* mean value of 3 years.

도와 다양도 및 균등도지수는 높을수록, 우점도지수는 낮을수록 그 생태계의 종 다양성은 양호하다고 평가됨을 고려할 때, 논토양 수서곤충의 종 다양성은 다양도와 우점도는 도시지역에서, 풍부도는 곡간지에서, 균등도는 평야지에서 가장 양호하였다.

Abstract

곡간지 (안성, 함양)와 평야지 (보은, 김제) 및 도시지역 (군산, 수원)의 논토양에 서식하는 수서곤충을 2009~2011의 3년간 채집 분류 동정하여, 전체 18 집구에 대하여, 12종류의 지표에 근거한 종 다양성 분석 결과는 다음과 같다.

1. 지형별 논토양에서 수집된 수서곤충의 개체 수는 곡간지 (35,932) > 평야지 (24,948) > 도시지역 (9,780) 순이었으며, 종수는 곡간지 (32) > 도시지역 (20) > 평야지 (18) 순이었다.
2. 조사대상지 18집구들에 대하여 2집구 간 153개 조합의 상호 유사도 (Similarity) matrix를 작성하였으며, 153개 조합전체의 유사도는 평균 0.542, 즉 전체 종의 약 54%는 최소 1개 이상의 다른 집구에서도 서식하고 있는 종으로 구명되었다.
3. 조사대상지 18집구 중에서 종 다양성이 다른 집구와 차이가 가장 큰 경우는 2009년 보은 평야지, 차이가 가장 작은 경우는 2010년 군산 도시지역 이었다.
4. 년차간 유사도 (0.659)가 지형간 유사도 (0.560)보다 높게 나타나, 어떤 종의 수서곤충이 같은 시기에 다른 지역에서 공동 서식할 가능성 (공간적 유사도 : Spatial similarity)보다, 동일 지역에서 이듬해에 또다시 서식할 가능성 (시간적 유사도 : Periodical Similarity)이 더 높다고 구명되었다.
5. 종 다양성 관련 12개 지표들에 대한 18개 집구 간의 변이계수 (Coefficient of variation: CV)는 개체수 (N, 70.0%) > 균등도-E3 (54.9%) > 균등도-E1 (49.6%) > 풍부도-R2 (40.5%) > 종수 (S, 35.3%) > 풍부도-R1 (33.7%) > 균등도-E2 (28.4%) > 균등도-E5 (15.9%) > 다양도-V1 (11.1%) > 균등도-E4 (6.3%) > 다양도-V2 (5.1%) > 우점도-D1 (4.8%) 순이었다.
6. 조사대상 18집구별 종 다양성 관련 12개 지표들 간 66개 조합에 대한 상호관련성을 보여주는 correlation matrix를 작성하였고, 66개 조합 중 통계적으로 유의성 있는 관련성을 보여주는 경우는 33개 조합의 경우 이었다.
7. 종 다양성을 나타내는 지표 중 10종류의 지수들 간 correlation matrix를 근거로 한 통계적 독립의 개념에 따라 지수간 관련성이 낮은 지수, 즉 풍부도지수

(R1, R2)는 R1, 다양도지수 (V1, V2)는 V1, 균등도지수 (E1, E2, E3, E4, E5)는 E2, 우점도지수는 D1이 수서곤충의 종 다양성과 관련하여 가장 적절한 지표라고 판단되었다.

8. 수서곤충의 풍부도지수 (Richness index: R1)는 곡간지 논토양에서, 다양도지수 (Variety index: V1)는 도시지역 논토양에서, 균등도지수 (Evenness index: E2)는 평야지 논토양에서 더 높았으며, 우점도지수 (Dominance index: D1)는 도시지역 논토양에서 더 낮았다.

References

- Ahn, Y.S. 2012. International symposium on research of biodiversity's conservation and cooperation for the green future. Opening adress.
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1950. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*. 32:476-496.
- Heip, C. 1974. A new index measuring evenness. *Journal of Marine Biological Association*. 54:555-557.
- Hill, M.O. 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequence. *Ecology* 54:427-432.
- Kim, C.H., H. Myung, and B.C. Shin. 1999. Species diversity of forest vegetation in Mt. Jangan, Chollabuk-do. *Kor. J. Env. Eco.* 13(3):271-279. (in Korean).
- Lee, K.B., C.H. Kim, D.B. Lee, J.G. Kim, C.W. Park, and S.Y. Na. 2003. Species diversity of riparian vegetation by soil chemical properties and water quality in the upper stream of Mankyeong river. *Korean journal of Environmental Agriculture* 22(2): 100-110. (in Korean).
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3:36-71.
- Menhinick, E.F. 1964. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology* 45:859-861.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley, New York.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Sheldon, A.L. 1969. Equitability indices: dependence on the species count. *Ecology* 50:466-467.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Sokal, R.R. and C.D. Michener. 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ. Kans. Sci. Bull.* 38:1409-1438. [255, 306, 321]
- Yoo, S.H., K.S. Lee, C.H. Park. 2012. Landscape ecological evaluation for avian fauna habitats at the forest swamp minefields of CCZ close to the DMZ of Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 26(2):247-256.