자연분해비닐 논토양 피복이 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 미치는 영향

박진영 · 권순직¹ · 남홍식² · 강충길² · 박종균*

경북대학교 생태환경대학 생물응용학과, ¹(주) 생태조사단, ²국립농업과학원 유기농업과

Effect of Covering the Soil with Naturally Degrading Polymer Film on the Benthic Macroinvertebrates Community Structure in Paddy Field

Jinyoung Park, Soon Jik Kwon¹, Hong Sik Nam², Chung Kil Kang² and Jong Kyun Park*

Department of Applied Biology, College of Ecology & Environmental Sciences, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Republic of Korea

¹Korea Ecosystem Service, Gasan-dong, Geumcheon-gu, Seoul Metropolitan Government, 550-1, Republic of Korea

²Organic Agriculture Division, Department of Crop Life Safety, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the influence of natural degrading polymer film covering in rice paddies on the benthic macroinvertebrate community structure in Dangsung-dong, Suwon, Gyeonggi-do from May 2009 to September 2009. We compared 5 treatments: golden apple snail farming (GF), natural degrading polymer film + organic farming (NOF), natural degrading polymer film + chemical farming (NCF), conventional farming (CF), and no fertilization (NF) as the control. The total number of species was highest in NOF followed by GF, NF, NCF, and CF. The total number of individuals was highest in NOF followed by NCF, CF, NF, and GF. The Dominance index (DI) ranged from 0.43 to 0.95. The highest dominance index was in GF followed by NCF, NF=CF, and NOF. The species diversity index (H') for each experimental plot ranged from 0.49 to 2.93. The average species diversity index was highest in NOF followed by NF, GF, CF, and NCF. After the natural degrading polymer film covered the paddies, the benthic macroinvertebrates tended to recover, but leeches and aquatic beetles increased. Mollusca and Annelida, which are sensitive taxa, decreased in both species and individual numbers after the soil was covered with the natural degrading polymer film. The number of species tended to recover. However, the number of individuals continued to decrease, especially individuals. Since then, the number of species tended to recover. However, the number of individuals decreased.

Key words: Benthic macroinvertebrates, Community structure, Natural degrading polymer film, Rice paddy

조 록: 본 연구는 2009년 5월부터 9월까지 경기도 수원시 당수동에 자연분해비닐을 피복한 논에 저서성대형무척추동물의 종류와 군집구조 영향을 파악하기 위해 조사하였다. 실험구는 5개로 왕우렁이농법(GF), 자연분해비닐+유기농법(NOF), 자연분해비닐+화학농법(NCF), 관행농법(CF), 무처리구(NF)를 설정하였다. 조사결과 저서성대형무척추동물의 종수와 개체수 각각 NOF>GF>NF>NCF>CF, NOF>NCF>CF>NF>GF 순으로 나타났다. 우점도지수(DI)는 각 실험구에서 0.43~0.95로 나타났으며, 평균 우점도지수는 GF>NCF>NF=CF>NOF 순으로 각각 나타났다. 종다양도지수(H')는 0.49~2.93로 나타났으며, 평균 종다양도지수는 NOF>NF>GF>CF>NCF 순으로 각각 나타났다. 비닐 피복 후 시간이 경과함에 따라 저서생물은 조금씩 회복이 되어가는 경향이 있었으나, 거머리류와 수서딱정벌레류가 증가하는 경향이 있었다. 비닐피복에 의해 민감하게 반응한 분류군은 환형동물문과 연체동물문이었으며 피복 후 종수와 특히 개체수가 매우 떨어졌으며, 이후 종수는 회복되는 경향이 있었으나 개체수는 줄어들었다.

검색어: 저서성대형무척추동물, 군집구조, 자연분해비닐, 논

*Corresponding author: entopark@knu.ac.kr

Received March 7 2011; Revised June 1 2011;

Accepted June 20 2011

지속가능한 농업과 국민의 건강에 안전한 농산물을 생산하기 위해서는 건전하고 균형 있는 농업생태계 보전의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 환경보전에 대한 국민의 관심과 안전 농산

물에 대한 선호도가 증대됨으로서 농산물 생산지 환경의 중요성이 높아지고 있다(Han *et al.*, 2007). 친환경 농업의 정의는 농약의 안전사용 기준을 지키고, 작물별 안전 시비 기준량을 준수하여 환경을 보전하며 안전한 농산물을 생산하는 것이며, 목표 또한 환경을 고려한 국민의 안전한 식량 공급과 생산성 유지, 농산물의 안전성 및 경제성 확보를 동시에 추구하는데 있다. 특히 쌀 생산의 친환경 농업을 달성하기 위한 기반기술 체계로는 INM(Integrated Nutrient Management) 및 IPM(Integrated Pest Management)이 적용되며 우리나라 농업실정을 감안하고 이러한 기준을 적용하여 환경을 보전하고 지속농업을 영위할 수 있도록 하고 있다. 그러나, 실제적 기술은 농경지의 이화학적 특성 및 병해충의 방제 측면만 고려되었으며(MIFAFF, 1999), 환경 보전 측면 및 농업생태계에서 논 생태계를 유지하는데 매우 중요한 지위를 차지하고 있는 논에 서식하는 수서무척추동물에 대한 연구는 미비한 실정이다.

논 생태계에 서식하고 있는 수서무척추동물의 종 다양성이나 계절적 변동 경향 등, 논 서식 수서무척추동물에 대한 연구는 미비한 반면(Kim *et al.*, 1996; Han *et al.*, 2000; Han, 2000; Han *et al.*, 2007), 수계의 수질오염에 대한 생물학적 수질판정 및 수계생물의 다양성 평가 연구는 최근 10여년부터 개선된 방법으로 수질급수 판정과 급수별 지표생물 선별 그리고 이들 수환경 지표생물을 이용한 수질 오염 모니터링 등 날로 발전하고 있다(Lee *et al.*, 2000a, 2003; Kim *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2000b, 2000c; Lee and Kim, 2001, 2002; Bae and Lee, 2001; Bae *et al.*, 2003). 논 잡초제거를 위해 쌀겨나 우렁이, 오리를 이용한 친환경, 유기농 벼 재배법이 보고되고 있으나(Park, 2002a; Park *et al.*, 2001; Park, 2002b), 이러한 농법 중에서 특히, 우렁이농업의 경우 오히려 생태계를 교란하고 있다는 보고도 있어(Bang and Cho, 2008), 친환경 벼 재배를 하는 농가에서 제시하는 농법이 환경적 차원에서 문제시 되고 있는 것도 사실이다.

이러한 대안으로 분해용 비닐이 개발되어 사용되기도 하였으나 주로 밭에 이용하거나 비닐의 고가로 인한 경제성이 떨어졌다. 지금까지 분해용 비닐을 개발하기 위해 세계적으로 많은 연구원들이 집중적으로 개발하였으나 성공하지 못했다. 예컨대 광분해비닐, 미생물분해비닐, 복합분해비닐 등의 실패가 적절 한 사례이다(Guillet, 1973; Huag *et al.*, 1990; Bloembergen *et al.*, 1993; Doane, 1992; Lee *et al.*, 2001; Shin *et al.*, 1997). 이것은 여러 이유도 있겠지만 폴리에틸렌(polyethylene)이라는 물질이 들어가면 쉽게 분해가 될 수가 없기 때문이다. 최근 Kang *et al.* (2009)은 논에 이용할 수 있는 자연분해비닐(Natural degrading polymer film)을 개발하였는데, 이 비닐은 벼 정식 후 60일 이후부터 분해되기 시작하고 160일 이후 80% 이상이 분해 되었다.

이에 본 논문은 논 생태계의 건강성 또는 여러 농법에 의한, 특히 논에 이용할 수 있다고 기보된 자연분해비닐을 논에 피복함으로써 논에 수서환경의 변화가 예측됨에 따라 논에 서식하고 있는 수서무척추동물의 군집구조를 조사하여 논 수서생물에 대한 자연분해비닐피복의 영향에 대해 보고하고자 한다.

재료 및 방법

조사 지점 및 조사 시기

조사지점은 경기도 수원시 당수동 유기농업과 시험포장에서 실시하였으며 총 5개 각 지점별 상이하게 처리한 처리구를 대상으로 조사를 수행하였으며, 각 조사구 처리 내용은 다음과 같다. **NF (No Fertilization)**는 무처리구로 이앙 전 처리구 공통적으로 처리한 규산질 비료, 논 퇴비 살포 이후 어떠한 처리도 하지 않은 처리구.

GF (Golden apple snail Farming)는 왕우렁이농법으로 이앙 후 왕우렁이를 입식한 이후 어떠한 처리도 하지 않고 왕우렁이에 의한 영향만 있는 처리구.

NOF (Natural Degrading Polymer Film Covering + Organic Farming)는 비닐피복 + 유기농법으로 자연 분해성 비닐을 피복하고, 논을 유기농법으로 관리한 처리구, 이앙 후 36일째 병해충 방제로 토박이처리, 이앙 후 69일째 병해충방제로 수도응삼이, 멀다이, 도열이 처리, 이앙 후 73일째 이삭거름으로 유기질 비료, 이앙 후 78일 병해충 방제로 수도응삼이, 멀다이, 도열이 처리한 처리구.

NOF1: 비닐로 완전히 피복된 지점, NOF2: 비닐로 피복이 되지 않은 지점

NCF (Natural Degrading Polymer Film Covering + Chemical Farming)는 비닐피복 + 화학농법으로 자연 분해성 비닐을 피복하고 논을 화학농법으로 관리한 처리구, 이앙 후 17일째 분얼비를 시용, 이앙 후 69일째 병해충 방제로 페노뷰카브유제, 다이아지논유제, 페림존트리사이클라졸액상수화제 처리, 이앙 후 73일째 이삭거름으로 N, K 처리, 이앙 후 78일 병해충 방제로 페노뷰카브유제, 다이아지논유제, 페림존트리사이클라졸액상수화제 처리한 처리구.

NCF1: 비닐로 완전히 피복된 지점, NCF2: 비닐로 피복이 되지 않은 지점

CF (Conventional Farming)는 관행농법으로 일반적 관행농법으로 관리한 처리구로 이앙 후 13일째 제초제 살포, 17일째 분얼비 시용, 이앙 후 36일째 병해충 방제로 펜토에이트유제 사용, 69일째 페노뷰카브유제, 다이아지논유제, 페림존트리사이클

Fig. 1. The surveyed sites of benthic macroinvertebrates in rice paddies.

NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; NOF1, NCF1: Natural degrading polymer film covering site; NOF2, NCF2: Natural degrading polymer film not covering site; CF: Conventional farming. Date of picture 21-VI-2009.

라졸액상수화제처리, 73일째 이삭거름으로 N, K 처리, 이앙 후 78일 병·해충방제로 페노뷰카브유제, 다이아지논유제, 페림존 트리사이클라졸액상수화제 처리한 처리구.

조사지 전경은 Fig. 1과 같다.

본 조사는 수서곤충류의 우화시기 및 이외 수생생물종의 생태적 특성에 따라 이앙 전, 후로 나누어 2009년 5월부터 9월까지 총 4회 조사를 실시하였으며, 조사 시기는 다음과 같다.

이앙시기 : 2009년 05월 27일

1차 조사: 2009년 05월 10일 2차 조사: 2009년 06월 21일

3차 조사: 2009년 08월 16일 4차 조사: 2009년 09월 06일

조사 방법

채집방법

각 지점별 처리된 5개 조사지점에 대해 정성 및 정량적인 방법을 병행하였으며, Core net(50×50×50cm)을 이용하여 정량채집을, hand net을 이용하여 정성채집을 실시하였다. 채집된 표본은 현장에서 95% ethanol에 고정하여 실험실에 보존하였으며, 채집된 종의 동정에는 Yoon(1995)과 Won *et al.*(2005) 및 각종 검색도설(Jung, 2007; Song, 1995)이 이용되었다. 표본은 경북대학교 생물응용학과에 보관되어 있다.

군집분석 및 생물학적 수질평가

군집분석은 우선 채집된 표본을 우선 소팅한 후, 검색도설을 참조하여 종류별로 동정하고 단위면적당 출현개체수(Individuals/m²)를 산출하여 각 종이 출현한 총 조사단위에서 개체수를 나타냈

다. 동정된 표본을 대상으로 각 조사지점별 군집분석 및 생물학적 수질평가는 다음 식에 준하여 실시하였다.

우점도지수(Dominance Index)

우점도는 각 지점의 군집의 단순도를 측정하는 방법으로, 각 조사지점의 개체수 현존량에 의거하여 우점종과 아우점종을 선정하였으며, 우점도지수는 McNaughton's dominance index(DI)를 이용하여 산출하였다(McNaughton, 1967).

$$DI = \frac{n_1 + n_2}{N}$$

(n₁ : 우점종의 개체수, n₂ : 아우점종의 개체수, N : 총 개체수)

다양도지수(Species Diversity Index)

다양도지수는 Margalef(1958)의 정보이론에 의하여 도출된 Shannon-Wiener function(H')을 Llyod and Ghelardi(1964)가 변형한 공식을 이용하였다(Pielou, 1969).

$$H' = -\sum \left[\frac{n_i}{N} \cdot \log_2 \frac{n_i}{N} \right]$$

(n_i : i종의 개체수, N : 총 개체수)

종풍부도지수(Species Richness Index)

종풍부도지수는 총 개체수와 총 종수만을 가지고 군집의 상태를 표현하는 지수로서 지수 값이 높을수록 종의 구성이 풍부하게 되므로 환경의 정도가 양호하다는 것을 나타낸다. 여기서는 대표적인 지수인 Margalef(1958)의 지수를 이용하여 산출하였다.

$$RI = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

(S : 전체 종수, N : 총 개체수)

$$EI = \frac{H'}{\log_2 S}$$

(H' : 다양도지수, S : 전체 종수)

종균등도지수(Evenness Index)

종균등도지수는 각 지수의 최대치에 대한 실재치의 비로서 표현되며, 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 Pielou(1975)의 식을 이용하여 산출하였다.

생물학적 수질평가

환경질의 평가와 생태환경 관리기준의 판정은 전국자연환경 조사지침(MERK, 2001)에서 제안한 저서성대형무척추동물 생태점수인 ESB지수를 적용하였다.

Table 1. The number of species in each surveyed site

Taxa \ Site		NF	GF	NOF	NCF	CF
Non-Insecta	Mesogastropoda	1	1	1	1	1
	Basommatophora	6	4	4	3	4
	Veneroida	1	1	1	1	1
	Neooligochaeta	1	1	1	1	1
	Rhynchobdellida			1	1	
	Arhynchobdellidae	1	1	1	1	1
Insecta	Ephemeroptera		1	1	1	
	Odonata	2	3	4	2	1
	Hemiptera	1	1	3		
	Coleoptera	6	6	6	4	3
	Diptera	4	5	3	5	6
Total		23	24	26	20	18

NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; CF: Conventional farming.

Table 2. The number of individuals in each surveyed site

Taxa \ Site		NF	GF	NOF	NCF	CF
Non-Insecta	Mesogastropoda	112	408	288	232	208
	Basommatophora	752	864	856	780	824
	Veneroida	112	164	256	72	48
	Neooligochaeta	288	284	464	360	336
	Rhynchobdellida	-	-	4	8	-
	Arhynchobdellidae	80	24	64	52	44
Insecta	Ephemeroptera	-	28	148	48	-
	Odonata	36	56	268	20	32
	Hemiptera	4	16	16	-	-
	Coleoptera	264	224	232	36	56
	Diptera	1,192	516	3,844	2,868	1,320
Total		2,840	2,584	6,440	4,476	2,868

NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; CF: Conventional farming.

$$ESB = \sum_{i=1}^4 (Si \cdot Qi)$$

ESB: Ecological score of benthic macroinvertebrate community
(저서성대형무척추동물 생태점수)

Qi: Environmental quality score of individual taxa
(개별분류군환경질점수)

Si: Species frequency to i environmental quality
(i 환경질에 대한 종 출현종수 합)

환경질 및 오수생물계열에 대한 ESB의 평가구간 분석 및 개별분류군 환경질점수(Qi) 분석은 전국자연환경조사지침(MERK, 2001)에서 제시한 분류 기준표를 참조하였다.

결과 및 고찰

저서성대형무척추동물상

전체 조사구에서 채집, 동정된 저서성대형무척추동물은 2009년 이양 전 1차 조사 결과, 총 3문 5강 8목 13과 15종 2,864 개체가 출현하였으며, 이양 후 2차 조사 결과 총 3문 5강 9목 14과 19종 8,812개체, 병해충 방제 및 이삭거름 등 각 처리구별 처리 내용이 끝난 이후 3차 조사 결과 3문 5강 11목 18과 24종 3,996개체, 이후 4차 조사 결과 3문 5강 11목 19과 26종 3,544개체가 출현한 것으로 조사되었다(Table 3, 4, 7).

각 조사구별 출현한 종 종수는 NOF 26종으로 가장 높았으며, GF 24종, NF 23종, NCF 20종, CF가 18종 순으로 나타났으며 (Table 1), 개체수는 NOF에서 6,440, NCF 4,476, CF 2,868, NF 2,840, GF 2,584개체 순으로 나타났다(Table 2).

NF에서는 1차 조사시 9종 560개체에서 2차 16종 1,860개체 3차 9종 236개체, 4차 7종 184개체로 2차에 종수가 급격히 증가한 이후 계속 감소되는 경향이었으며(Table 3, Fig. 2), 연체동물문에 속하는 종 및 절지동물문의 곤충강, 파리목의 깔따구류의 개체수 증가 하였으며(Table 4, Fig. 3), 후반기로 갈수록 NF 지점의 특성상 논의 물이 지속적으로 빠져 나가고 있어 수서생물 서식환경이 나빠져 종수 및 개체수가 줄어든 것으로 판단된다. 우점종은 1, 2차에는 깔따구류 sp.1로 조사 되었고, 3차에는 염주쇠우렁이가 4차에는 파리목이 전혀 조사되지 않았고, 우점종은 또아리물달팽이로 조사되었다(Table 5).

GF를 실시한 처리구에서는 각 조사시기별 종수와 개체수는 큰 차이가 없었으나 4차 시기에 종수는 늘었으나 개체수가 3차 조사 보다 급격히 줄어들었다(Table 3, Fig. 3). 이는 3차 조사에 많은 개체수가 조사되었던 환형동물문이 4차 조사시에 많이 줄어들었기 때문이며(Table 4, Fig. 3), 일부 왕우렁이를 외래종으로 규정하여 문제시 하고 있는데 왕우렁이의 섭식습성이 잡식으로 식물 뿐 아니라 일부 동물사체를 먹기도 하여(Bang and Cho, 2008; Kehde and Wilhm, 1972) 이러한 섭식습성의 영향으로 소형 수서곤충류의 개체수가 줄어든 것으로 일부 파악할 수 있다. 우점종은 1차에는 삼각산산골조개로 조사되었으나, 이 종은 이후 점점 줄어들어 4차 조사에는 전혀 발견되지 않았으며, 2차 조사에는 깔따구류 sp.1, 3, 4차 조사에는 비교적 오염내성이 강한 또아리물달팽이로 조사되었다(Table 5).

NOF를 실시한 처리구에서는 대체적으로 초기에 종수 및 개체수가 줄어들었다가 이후 점차 회복되는 모습을 나타내었다 (Table 3, 4, Fig. 2, 3). 비닐을 완전히 피복시킨 NOF1 지점에는 2차 조사시 개체수가 1차 조사에 비해 50% 이상 떨어졌으나 파리목의 깔따구류는 2,948개체로 기하급수적으로 늘어난 것을 볼 수 있다(Table 4, Fig. 4). 이는 비닐에 의해 수중 산소가 모자

Table 3. Total number of species and individuals in each surveyed site according to surveyed seasons

Taxa	Date	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
Total species	May 10	9	8	11	- ^a	8	-	12
	Jun. 21	16	13	8	-	12	-	13
	Aug. 16	9	12	14	14	9	9	10
	Sept. 6	7	14	16	16	11	10	9
Total individuals (Inds./m2)	May 10	560	636	616	-	348	-	704
	Jun. 21	1,860	608	3,104	-	2,112	-	1,128
	Aug. 16	236	872	528	576	548	656	580
	Sept. 6	184	492	1100	500	388	424	456

NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; NOF1, NCF1: Natural degrading polymer film covering site; NOF2, NCF2: Natural degrading polymer film not covering site; CF: Conventional farming; -^a: No data available.

Table 4. Taxonomic composition of each surveyed site according to surveyed seasons

Taxa	Date	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
Mollusca	May 10	4(144)	4(260)	3(316)	-a	4(128)	-	6(328)
	Jun. 21	6(576)	5(164)	2(108)	-	4(56)	-	5(88)
	Aug. 16	5(144)	5(632)	3(220)	5(316)	4(172)	4(352)	5(348)
	Sept. 6	4(112)	4(380)	5(232)	5(208)	4(140)	4(236)	5(316)
Annelida	May 10	1(108)	1(92)	2(76)	-	1(112)	-	2(84)
	Jun. 21	1(152)	1(68)	1(24)	-	...	-	2(48)
	Aug. 16	2(56)	2(100)	2(148)	2(80)	3(44)	3(32)	2(160)
	Sept. 6	1(52)	3(52)	2(156)	3(48)	2(132)	2(100)	2(88)
Odonata	May 10	1(28)	1(28)	1(4)	-	1(4)	-	1(24)
	Jun. 21	2(8)	1(4)	1(4)	-	1(4)	-	1(8)
	Aug. 16	...	1(16)	2(16)	2(36)	...	...	...
	Sept. 6	...	1(8)	2(144)	2(64)	1(4)	1(8)	...
Ephemeroptera	May 10	...	...	...	-	...	-	...
	Jun. 21	...	...	...	-	...	-	...
	Aug. 16	...	...	1(4)	...	...	...	...
	Sept. 6	...	1(28)	1(104)	1(40)	1(40)	1(8)	...
Hemiptera	May 10	...	...	...	-	...	-	...
	Jun. 21	...	1(16)	...	-	...	-	...
	Aug. 16	...	...	2(8)	1(4)	...	...	...
	Sept. 6	1(4)	...	1(4)	1(4)	...	...	...
Coleoptera	May 10	1(4)	1(12)	...	-	...	-	...
	Jun. 21	2(216)	1(84)	1(20)	-	3(28)	-	2(48)
	Aug. 16	2(28)	3(116)	2(40)	4(116)	1(4)	1(4)	1(8)
	Sept. 6	1(16)	3(12)	3(20)	2(36)	...	...	...
Diptera	May 10	2(276)	4(224)	2(240)	-	2(104)	-	3(268)
	Jun. 21	4(908)	3(272)	3(2,948)	-	4(2,024)	-	3(936)
	Aug. 16	1(8)	2(8)	2(92)	1(24)	2(328)	2(268)	3(64)
	Sept. 6	...	2(112)	2(440)	2(100)	3(72)	2(72)	2(52)

(): individuals; NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; NOF1, NCF1: Natural degrading polymer film covering site; NOF2, NCF2: Natural degrading polymer film not covering site; CF: Conventional farming; -^a: No data available.

Fig. 2. Species ratio of each surveyed site according to surveyed seasons.

NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; CF: Conventional farming.

Fig. 3. Individual ratios of each surveyed site according to surveyed seasons. NF: No fertilization; GF: Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; CF: Conventional farming.

Fig. 4. Species and individual ratios of NOF surveyed site according to surveyed seasons. NOF1: Natural degrading polymer film covering site; NOF2: Natural degrading polymer film not covering site.

Fig. 5. Comparison of the turbidity <<Unclear. I don't think specimens can be turbid?? Are you referring to the water??>> of the specimens in the natural degrading polymer film covering site. NOF1: Natural degrading polymer film covering site; NF: No fertilization.

Fig. 6. NOF1 and NCF1 in the decomposition of natural degrading polymer film. NOF1, NCF1: Natural degrading polymer film covering site.

라 다른 저서생물들이 적응하지 못하고 사멸하였고, 비교적 내성이 강한 아가미실지렁이나 깔따구류가 우점 하였기 때문으로

판단된다. 조사시 비닐이 피복된 지점의 채집물에서는 냄새가 났으며, NF에서 조사된 채집물의 탁도도 육안으로 확인 가능 할 만큼 차이가 났다(Fig. 5). 3차 조사 시기부터 눈에 피복한 비닐 이 분해되어 가는 것을 관찰 할 수 있었으며(Fig. 6), 그러한 영향 때문인지 4차 조사 때는 저서생물이 회복되는 것을 일부 관찰 할 수 있었다(Table 3, 4). 우점종은 1, 2차 조사에서 깔따구류 sp.1, 5차 조사에서 적색 깔따구류 sp.6으로 조사되었고, 3차 조사에 는 아가미실지렁이로 대부분 혐기적 조건과 비교적 오염에 내 성이 강한 종이 우점 하였다(Table 5).

NOF2 지점은 비닐과 비닐이 피복된 사이의 공간으로 3, 4차 조사 결과를 보면 NOF1와 종수는 동일하게 조사되었으며, 개 체수는 NOF1에 비해 3차에는 증가하였고 4차에는 감소하였다 (Table 3, 4, Fig. 2, 3). 이는 서식처가 비닐이 피복된 공간에 있을 때는 사멸하거나 일부 종이 NOF2로 이동하였으나 시간이 지남 에 따라 비닐이 분해되어 넓어진 NOF1의 서식공간으로 확대되 었기 때문으로 판단된다(Fig. 4). 우점종은 3, 4차 모두 토아리물 달팽이로 조사되었다(Table 5).

NCF를 실시한 처리구에서는 NOF보다 수서곤충류가 적게 조사되었으며, 비교적 내성이 있는 파리목 곤충들도 2차에 기하 급수적으로 증가한 이후 줄어들었으며, 다른 분류군과 달리 수 서곤충류는 마지막 4차 조사에는 초기 조사 시 발견된 종이 사라 지거나 비교적 내성이 강한 파리목 곤충들도 개체수가 급격히 줄어들었다(Table 3, 4, Fig. 2, 3). 이는 병·해충 방제를 위해 사용 한 화학농약에 의한 것으로 판단된다. NCF1 역시 비닐이 피복 된 지점의 채집물에서 냄새가 났으며, 탁도가 좋지 않았다. NCF1 지점 역시 NOF1 지점과 같이 비닐이 3차 조사 시기부터 분해가 되어 가는 것을 관찰 할 수 있었으나 화학농약으로 인한 영향 때문인지 저서생물의 종수 및 개체수의 회복율은 증가되 지 않았다. 우점종은 1, 4차 조사에서 아가미실지렁이가 조사되 었으며, 2차에서 깔따구류 sp.1이, 3차에서 적색 깔따구류 sp.6 이 조사되었다(Table 5, Fig. 7).

NCF 지점에서는 2차 조사 시 비교적 혐기적 조건 및 내성이 강한 아가미실지렁이가 조사 되지 않았다. 이는 비닐 피복과 화 학농법의 상호작용에 의한 것인지 는 미소서식처의 문제가 발 생하여 일어난 것인지 추후 조사가 필요한 것으로 판단된다.

CF를 실시한 처리구에서는 종수 및 개체수가 4차로 갈수록 종수에는 큰 변동이 없었으나 개체수 밀도가 떨어지는 것을 알 수 있었다(Table 3, 4, Fig. 2, 3). 이는 관행농법에서 제초제 사용 이나 농약사용에 의한 영향으로 판단된다. 우점종은 1, 2차에는 깔따구류 sp.1, 3차에는 수정토아리물달팽이, 4차에는 토아리 물달팽이로 조사되었다(Table 5).

Table 5. Dominant to subdominant species ratio of each surveyed site according to surveyed seasons

Taxa	Date	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
DS	May 10	Chironomidae sp. 1	<i>Sphaerium</i> (<i>Musculium</i>) <i>lacustre japonicum</i>	Chironomidae sp. 1	- ^a	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>	-	Chironomidae sp. 1
	Jun. 21	Chironomidae sp. 1	Chironomidae sp. 1	Chironomidae sp. 1	-	Chironomidae sp. 1	-	Chironomidae sp. 1
	Aug. 16	<i>Gabbia misella</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	Chironomidae sp. 6(red type)	Chironomidae sp. 6(red type)	<i>Hippeutis</i> <i>cantori</i>
	Sept. 6	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	Chironomidae sp. 6(red type)	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>
	ratio (%)							
SDS	May 10	44.3	36.5	31.8	-	32.2	-	30.7
	Jun. 21	46.5	35.5	93.3	-	82.6	-	73.0
	Aug. 16	25.4	39.9	27.3	22.2	54.0	37.2	27.6
	Sept. 6	30.4	45.5	35.6	16.0	28.9	34.0	28.1
	ratio (%)							
SDS	May 10	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>	Chironomidae sp. 1	<i>Sphaerium</i> (<i>Musculium</i>) <i>lacustre japonicum</i>	-	Chironomidae sp. 1	-	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>
	Jun. 21	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	-	Chironomidae sp. 1	-	Ceratopogonidae sp.
	Aug. 16	<i>Polypylis</i> <i>hemisphaerula</i>	<i>Gabbia misella</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Gabbia misella</i>	<i>Gabbia misella</i>	<i>Hippeutis</i> <i>cantori</i>	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>
	Sept. 6	<i>Hirudo</i> <i>nipponia</i>	<i>Gabbia misella</i>	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Gyraulus</i> <i>convexiusculus</i>	<i>Branchiura</i> <i>sowerbyi</i>	<i>Oxyloma</i> <i>hirasei</i>
	ratio (%)							
SDS	May 10	19.3	33.3	24.0	-	28.7	-	19.3
	Jun. 21	11.8	16.4	3.2	-	12.1	-	8.9
	Aug. 16	20.3	28.0	24.2	17.4	10.9	21.3	26.2
	Sept. 6	28.3	22.8	13.8	16.0	16.5	19.8	14.9
	ratio (%)							

DS: dominant species; SDS: subdominant species; NF: No fertilization; GF:

Golden apple snail farming; NOF: Natural degrading polymer film + organic farming; NCF: Natural degrading polymer film + chemical farming; NOF1, NCF1: Natural degrading polymer film covering site; NOF2, NCF2: Natural degrading polymer film not covering site; CF: Conventional farming; -a: No data available.

Fig. 7. Species and individual ratios at the NCF surveyed site according to surveyed seasons. NCF1: Natural degrading polymer film covering site; NCF2: Natural degrading polymer film not covering site.

조사지점별 군집분석

조사지점별 군집분석은 Table 6, Fig. 8과 같다. 본 조사 기간 별 군집지수는 2차 조사를 제외하고 큰 차이를 보이지 않았으며 (Fig. 8), 평균 우점도지수(DI)는 GF>NCF>NF=CF>NOF 순으로 각각 나타났다. 그러나 2차 조사시 비닐이 피복된 NOF1,

NCF1에서는 갈파구류 개체수가 기하급수적으로 증가하여 우점도 각 0.97, 0.95로 매우 높았으며, 다양도는 이에 비해 0.49, 0.98로 매우 낮게 조사 되었다(Table 6). 종다양도지수(H')는 0.49~2.93로 나타났으며, 평균 종다양도지수는 NOF>NF>GF>CF>NCF 순으로 각각 나타났다.

종풍부도지수(RI)는 2차 조사시 비닐이 피복된 NOF1에서 0.87로 나타나 환경이 매우 나빠졌다가 이후 점점 증가하여 4차 조사시 2.14로 환경의 정도가 가장 양호해 진 것으로 판단되며 NCF1에서는 2, 3차 큰 차이를 보이지 않았으며 4차 조사시 1.68로 나타났다. 평균 종풍부도지수는 NOF>GF>CF>NF>NCF 순으로 나타났다.

생물학적 수질판정의 기준이 되는 ESB 지수는 전 조사지점에서 후반기로 갈수록 대체적으로 높아졌고 ESB 지수에 의한 수질등급은 NF은 1-3차는 III 급수였으나 4차에는 IV-V 으로 나타났다, GF, NCF, CF지점은 III 급수로 나타났으나 비닐 피복된 NOF에서는 1-3차에는 III 급수였으나 4차 조사에는 II 급수를

Table 6. Community analyses and biological indices of each surveyed site according to surveyed seasons

Index	Date	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
DI	May 10	0.64	0.70	0.56	-a	0.61	-	0.50
	Jun. 21	0.58	0.52	0.97	-	0.95	-	0.82
	Aug. 16	0.46	0.68	0.52	0.40	0.65	0.59	0.54
	Sept. 6	0.59	0.68	0.49	0.32	0.45	0.54	0.43
H'	May 10	2.43	2.24	2.67	-	2.38	-	2.76
	Jun. 21	2.62	2.88	0.49	-	0.98	-	1.64
	Aug. 16	2.93	2.49	2.89	3.44	2.29	2.46	2.73
	Sept. 6	2.28	2.48	3.02	3.56	2.97	2.63	2.80
RI	May 10	1.26	1.08	1.56	-	1.20	-	1.68
	Jun. 21	1.99	1.87	0.87	-	1.44	-	1.71
	Aug. 16	1.65	1.77	2.07	2.20	1.43	1.39	1.57
	Sept. 6	1.34	2.10	2.14	2.41	1.68	1.49	1.31
EI	May 10	0.77	0.75	0.77	-	0.79	-	0.77
	Jun. 21	0.66	0.78	0.16	-	0.27	-	0.44
	Aug. 16	0.88	0.67	0.76	0.88	0.69	0.74	0.79
	Sept. 6	0.76	0.65	0.75	0.89	0.86	0.79	0.88
ESB	May 10	13	13	19	-	13	-	18
	Jun. 21	22	17	14	-	19	-	21
	Aug. 16	15	19	25	24	15	15	14
	Sept. 6	12	25	27	27	18	17	13

DI: Dominance index; H': Species diversity; RI: Species richness index; EI: Evenness index; -a : No data available.

Fig. 8. Average of biological indices of benthic macroinvertebrates in each surveyed site.

나타내었다. 오수생물계열은 전 조사지점이 α -중부수성과 β -중부수성으로 나타났다(Table 6).

논 수서생태계는 계류형 하천과 상이하고, 호소의 형태와도 다른 특징을 가지고 있다. 왜냐하면 논은 일부분 농민에 의해 수량이 조절되기 때문에 다른 수서생태계와 차이가 있다. 현재까지 이용되는 군집분석은 하천 위주의 군집분석으로 본 연구결과와 제시한 군집지수가 특수한 논 생태계를 대변해주기에는 일부 부족할 것으로 판단되나, 지속적인 자료가 축적된다면 이후 논 생태계의 생물군집 최적의 분석방법을 도출하는데 있어 기

초자료가 될 것으로 판단된다.

본 연구결과 자연분해비닐 피복시 문제가 되는 것은 비닐이 분해 전 단계에 비닐 하층에 외부와 통기가 제대로 되지 않아 냄새가 나고 논 토양이 검게 나타났는데 이러한 환경은 본 연구결과와 연체동물문, 환형동물문의 개체수에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 만약 자연분해비닐을 넓은 면적을 다량으로 피복시 분해되기 전까지 냄새나 하부 논 토양의 영향을 고려해야 할 것으로 판단된다.

자연분해비닐 피복 후 시간이 경과함에 따라 저서생물은 조금씩 회복이 되어가는 경향이 있었으나, 거머리류와 수서딱정벌레류가 증가하는 경향이 있었고, 비닐피복에 의해 민감하게 반응한 분류군은 환형동물문과 연체동물문이었으며, 피복 후 종수와 특히 개체수가 매우 떨어졌으며, 이후 회복되는 경향이 있었으나 개체수는 줄어들었다. 특히 삼각산골조개의 경우 1차 이후 나타나지 않다가 일부 회복 되었을 경우 개체수가 매우 적거나 전혀 회복되지 않은 것을 관찰할 수 있었다(Table 7). 또한 비닐 피복과 화학농법이 같이 이용될 때 NCF의 결과뿐만 아니라 전 조사지점의 환형동물문에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이것은 유수생태계가 아닌 정수생태계에 가까운 논의 환

경에서 논 토양의 호흡을 도와주고 논에 서식하는 수중생물의 1차 먹이원이 되어 주는 중요한 생물인 파리목 깔따구류와 환형동물문에 영향을 미치기 때문에 비닐 피복과 화학농법을 병행

할 때는 수서생물상을 고려해야 할 것으로 판단된다.

생물지수는 하천과 다른 수서생태계를 나타내는 논에서는 종수에 의해 결정이 되어지는 ESB 지수값만으로 논 생태계 환

Table 7. List of benthic macroinvertebrate species of each surveyed site according to surveyed seasons

Scientific name	Korean name	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
Phylum Mollusca	연체동물문							
Class Gastropoda	복족강							
Order Mesogastropoda	중복족목							
Family Bithyniidae	쇠우렁이과							
<i>Gabbia misella</i>	염주쇠우렁이	● ○ ◆	● ○ ◆	● ◆	◆	● ◆	◆	● ○ ◆
Order Basommatophora	기안목							
Family Lymnaeidae	물달팽이과							
<i>Radix auricularia</i>	물달팽이	○	○			○		● ○
Family Physidae	원돌이물달팽이과							
<i>Physa acuta</i>	원돌이물달팽이	◆						
Family Planorbidae	또아리물달팽이과							
<i>Gyraulus convexiusculus</i>	또아리물달팽이	● ○ ◆	● ○ ◆	● ○ ◆	◆	● ○ ◆	◆	● ○ ◆
<i>Hippeutis cantori</i>	수정또아리물달팽이	● ○ ◆	● ○ ◆	○ ◆	◆	● ○ ◆	◆	● ○ ◆
<i>Polypylis hemisphaerula</i>	배꼽또아리물달팽이	◆		◆				
Family Succineidae	젼물우렁이과							
<i>Oxyloma hirasei</i>	뽕족젼물우렁이	○ ◆	◆	◆	◆	◆	◆	● ◆
Class Bivalvia	이매패강							
Order Veneroida	백합목							
Family Sphaeriidae	산골과							
<i>Sphaerium (Musculium) lacustre japonicum</i>	삼각산골조개	● ○ ◆	● ○ ◆	● ◆	◆	● ○		● ○ ◆
Phylum Annelida	환형동물문							
Class Oligochaeta	빈모강							
Order Neoligochaeta	지렁이목							
Family Tubificidae	실지렁이과							
<i>Branchiura sowerbyi</i>	아가미실지렁이	● ○ ◆	● ○ ◆	● ○ ◆	◆	● ◆	◆	● ○ ◆
Class Hirudinia	거머리강							
Order Rhynchobdellida	부리거머리목							
Family Glossiponidae	넙적거머리과							
<i>Alboglossiphonia lata</i>	조개넙적거머리				◆	◆	◆	
Order Arhycobdellida	턱거머리목							
Family Hirudinidae	거머리과							

Table 7. Total list of benthic macroinvertebrates species of each surveyed site according to surveyed seasons(Continued)

Scientific name	Korean name	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
<i>Hirudo nipponia</i>	참거머리	◆	◆	● ◆	◆	◆	◆	● ○ ◆
Family Haemopidae	말거머리과							
<i>Whitmania edentula</i>	녹색말거머리		◇					
Class Insecta	곤충강							
Order Ephemeroptera	하루살이목							
Family Baetidae	꼬마하루살이과							
<i>Cloeon dipterum</i>	연못하루살이		◇	◆ ◇	◇	◇	◇	
Order Odonata	잠자리목							
Family Libellulidae	잠자리과							
<i>Sympetrum depressiusculum</i>	고추잠자리	● ○	●	● ○ ◆		● ○		● ○
Family Lestidae	청실잠자리과							
<i>Sympecma paedisca</i>	묵은실잠자리	○	○					
Family Coenagrionidae	실잠자리과							
<i>Cercion calamorum</i>	등검은실잠자리			◆ ◇	◆ ◇	◇	◇	
<i>Ischnura asiatica</i>	아시아실잠자리		◆ ◇		◆			
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	밀잠자리			◇	◇			
Order Hemiptera	노린재목							
Family Corixidae	물벌레과							
<i>Sigara substriata</i>	방물벌레		○	◇	◇			
<i>Hesperocorixa distant</i>	물벌레			◆				
Family Belostomatidae	물장군과							
<i>Muljarus japonicus</i>	물자라	◇		◆	◆			
Order Coleoptera	딱정벌레목							
Family Dytiscidae	물방개과							
<i>Guignotus</i> sp. (larva)	꼬마물방개류	●	●					
<i>Potamonectes hostilis</i>	흑외줄물방개	○	○	○		○		○
<i>Coelambus chinensis</i>	가는줄물방개	◆	◇	◆	◆ ◇			
Family Noteridae	자색물방개과							
<i>Noterus japonicus</i>	자색물방개	◇	◆ ◇	◇	◆ ◇			

Table 7. Total list of benthic macroinvertebrates species of each surveyed site according to surveyed seasons(Continued)

Scientific name	Korean name	NF	GF	NOF1	NOF2	NCF1	NCF2	CF
Family Hydrophilidae	물뽕뽕이과							
<i>Berosus signaticollis punctipennis</i>	점박이물뽕뽕이			◆		○		○
<i>Helochaers striatus</i>	좀물뽕뽕이	○	◆	◇	◆	○		
Family Curculionidae	바구미과							
<i>Lissohoptras oryzophilus</i>	벼물바구미	◆ ◇	○ ◆		◆	◆	◆	◆
Family Helodidae	알꽃벼룩과							
Helodidae sp.(larva)	알꽃벼룩류		◇					
Order Diptera	파리목							
Family Tipulidae	각다귀과							
<i>Tipula</i> sp.	각다귀류		●					
Family Ceratopogonidae	등에모기과							
Ceratopogonidae sp.	등에모기류	○	○ ●	○ ●		○ ●		○
Family Chironomidae	갈따구과							
Chironomidae sp. 1	갈따구 sp.1	● ○ ◆	● ○ ◇	● ○ ◆	◇	● ○ ◆	◆ ◇	● ○ ◆
Chironomidae sp. 6(red type)	갈따구 sp.6	○ ●	●	○ ◆	◆ ◇	○ ◆ ◇	◆ ◇	● ◆
Family Mucidae	집파리과							
Mucidae sp.	집파리류							●
Family Culicidae	모기과							
<i>Anopheles</i> sp.		○	○ ◆ ◇			○		○ ◆
<i>Culex</i> sp.						◇		◇

●: First survey ; ○: Second survey ; ◆: Third survey ; ◇: Fourth survey.

경을 판단하기보다 논 관리, 농법의 상이성 등을 고려하여 종합적인 판단이 필요하리라 판단된다.

과거 논 수서생태계의 저서성무척추동물에 대한 연구는 Lee(1993), Han *et al.*(2002, 2007), Park *et al.*(2009)에 의한 단편적 연구만이 존재하며, 하천의 생물학적 지표로 저서성무척추동물을 이용한 연구결과들이(Hynes, 1963; Wilhm, 1972) 지속적으로 발표되고 있으며, 전 세계적으로 생물학적 지표생물에 대한 관심 및 연구가 높다(Lee *et al.*, 2000b, 2000c; Lee and Kim, 2001, 2002; Bae and Lee, 2001; Bae *et al.*, 2003). 이에 비해 논 수서생태계의 경우 여러 가지 변수와 인위적 요인 등 복잡한 형태를 나타내고 있지만 논 수서생태계에 대한 연구도 앞으

로 지속적으로 해 나가야 할 과제라고 할 수 있다.

본 연구는 1년 조사 결과이며, 이후 논 수서생태계에서 많은 부분을 차지하는 연체동물문을 비롯하여 저서성대형무척추동물상의 월별 지속적인 모니터링이 실시하여 자연분해비닐이 논 수서생태계에 서식하는 저서성대형무척추동물에 미치는 영향 및 최근 증가되고 있는 유기농법에 의한 논 생태계의 변화에 대해 생물군집에 대한 장기적인 조사 및 연구결과와 축적이 요구된다. 또한 이러한 연구결과와 축적으로 생물을 이용한 논 생태계의 건강성을 파악할 수 있는 방법을 모색할 수 있도록 해야 할 것이다.

Literature Cited

- Bang, S.W. and M.K. Cho. 2008. Ecological Risk of Alien Apple Snails Used in Environmentally-friendly agriculture and the urgent need for its risk management in Korea. *J. Environ. Biol.* 26: 129-137.
- Bae, Y.J. and B.H. Lee. 2001. Human impacts on stream ecosystems and freshwater arthropods in Korea. *Kor. J. Entomol.* 21: 63-76.
- Bae, Y.J., D.H. Won, W.J. Lee and H.U. Sung. 2003. Development of environment assessment technique and biodiversity management system and their application to stream ecosystems in Korea. *Kor. J. Entomol.* 23: 223-233.
- Bloembergen, S., J. David, D. Geyer, A. Gustafson, J. Snook and R. Narayan. 1993. Biodegradation and composting studies of polymeric materials. In: *Biodegradation plastics and polymers*. Doi, Y. and Fukuda, K. (eds.). Osaka. pp. 601-609.
- Doane, W.M. 1992. USDA research on starch-based biodegradation plastics. *Starch* 44: 292-295.
- Guillet, J.E. 1973. *Polymers and ecological problems*. Baum, B. and White, R.A. (eds.), Plenum Press, New York. pp. 45-60.
- Han, M.S. 2000. Evaluation of biological diversity in environmentally-friendly agriculture. KRC. *Agricultural Technology*. pp. 38-42.
- Han, M.S., K.K. Kang, J.H. Kim, S.K. Kim, M.H. Go and H.M. Park. 2000. Evaluation of biological diversity in rice cropping. RDA. *Research Reports*. pp. 128-137.
- Han, M.S., J.D. Shin, Y.E. Na, N.J. Lee, M.H. Park and S.G. Kim. 2002. Change of invertebrate density in rice paddies of different fertilizer managements in demonstration villages of sustainable agriculture. *Kor. J. Environ. Agri.* 21: 96-101.
- Han, M.S., Y.E. Na, H.S. Bang, M.H. Kim, M.K. Kim, K.A. Roh and J.T. Lee. 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field. *Kor. J. Environ. Agri.* 26: 267-273.
- Huag, J.H., A.S. Shetty and M.S. Wang. 1990. Biodegradable plastics. *Adv. Polym. Technol.* 10: 23-30.
- Hynes, H.B.N. 1963. Imported organic matter and secondary productivity in streams. *Proc. 16th Int. Congr. Zool.* 4: 324-329.
- Jung, K.S. 2007. *Odonata of Korea*. Ilgongyooksa press. Seoul. 512 pp.
- Kang, C.K., H.S. Nam, J.E. Park, M.K. Hong, T.S. Park, J.H. Rye and Y.H. Cho. 2009. Natural degrading polymer film developed for organic weed management of rice paddy. *Kor. J. Weed. Sci.* (Proceedings of the second half of 2009). 29: 107.
- Kim, B.S., Y.K. Park, S.K. Kim, Y.H. Jung and K.C. Jung. 1996. Effects of pesticide use on agricultural biota. RDA project report. pp. 1112-1122.
- Kim, S.H., J.Y. Lee, S.W. Seo and J.E. Lee. 2003. Community structure and biological water quality evaluation of benthic macroinvertebrates in water system Andong. *J. Enviro. Res.* 3: 89-97.
- Kehde, P. M. and J. L. Wilhm. 1972. The effects of grazing by snails on co-munity structure of periphyton in laboratory streams. *Am. Midl. Nat.* 87: 8-24.
- Lee, D.K. 1993. Ecological study on the aquatic insect community in organic and chemical farming rice paddies. *Kor. J. Limn.* 26: 129-140.
- Lee, J.W., J.H. Shin, J.C. Jung and H.J. Kang. 2000a. Aquatic insect community structure of Mt. Myeongjisan in a mountain stream. *J. Bas. Sci. Res.* 20: 153-164.
- Lee, J.W., K.B. Kim and J.H. Kim. 2003. Community structure of benthic macroinvertebrates in the Osib river. *Bulletin. KACN.* 1: 111-130.
- Lee, J.E., S.J. Kwon and J.Y. Park. 2000b. Aquatic insecta fauna of Gudam backwamp. *Bulletin. KACN.* 5: 56-61.
- Lee, J.E., J.S. Kim and S.D. Kim. 2000c. Community structure of benthic macroinvertebrates in Mt. Cheongryangsan vally. *J. Environ. Res.* 1: 257-260.
- Lee, J.E. and J.S. Kim. 2001. Community structure change of benthic macroinvertebrates in a mountain stream of forest fire area and non forest fire area. *J. Enviro. Res.* 1: 87-93.
- Lee, J.E. and S.D. Kim. 2002. Community structure and biological water quality evaluation of benthic macroinvertebrates of Andong region upstream of the Nakdong river. *J. Environ. Res.* 2: 72-79.
- Lee, S.I., S.H. Sur, K.M. Hong, Y.S. Shin, S.H. Jang and B.Y. Shin. 2001. A study on the properties of fully bio-photodegradable composite film. *J. Int. of Industrial Technol.* 29: 129-134.
- Lloyd, M. and R. J. Ghelord. 1964. A table for calculation the "Equitability" component of species diversity. *J. Anim. Ecol.* 33: 217-225.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Sys.* 3: 36-71.
- McNaughton, S. J. 1967. Relationship among functional properties of california grassland. *Nature* 216: 168-169.
- MERK. 2001. The 2nd National Natural Environment Research Guidelines. MERK. pp. 49-116.
- MIFAFF. 1999. Sustainable Agriculture Demonstration Village Project Guidelines. RDA. pp. 1-114.
- Park, K.L., W.K. Jung, J.W. Choi and Y. Kim. 2009. *Kor. Ass. Org. Agri.* Evaluation of biodiversity within rice paddy ecosystems. *Kor. J. Org. Agri.* (Proceedings of the second half of 2009). pp. 23-28.
- Park, S.D. 2002a. Fertilizer, herbicide effects on the farming of rice bran excellent. *Kor. Nat. Fam.* 55: 63-67.
- Park, J.S., S.Y. Lee and C.K. Kang. 2001. Technological and Economic Analysis of Environment-friendly Rice Farming. *Kor. J. Org. Agri.* 9: 69-82.
- Park, Y.H. 2002b. Comparison of duck and snails farming in sustainable agriculture of rice cropping. *Kor. J. Org. Agri.* (Proceedings of the first half of 2002). pp. 133-141.
- Pielou, E. C. 1969. Shannon's formula as a measure of specific di-

-
- versity, its use and misuse. *Amer. Nat.* 100: 463-465.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecology diversity* Wiley, New York. 165 pp.
- Shin, B.Y., S.H. Jang and B.W. Jung. 1997. A study on the photo-biodegradable film containing calcium carbonate, starch and crab shell. *J. Int. of Indus. Technol.* 25: 103-119.
- Song, G.R. 1995. Systematics of the Hirudinea (Annelidae) in Korea. Master thesis, Korea University, Seoul, Korea.
- Wilhm, J. L. 1972. Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream. *Annu. Rev. Entomol.*, 17: 223-252.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Jeon. 2005. *Aquatic insect of Korea*. Korea ec system service press. Seoul. 415 pp.
- Yoon, I.B. 1995. *Explanatory diagrams of aquatic insects*. Jeongheangsa press. Seoul. 262 pp.