

논에 서식하는 수서 대형무척추동물의 채집기 비교: 채집망과 방형구 및 core

강현경 · 정 근*

강원대학교 농업생명과학대학 응용생물학전공

A Comparison of Samplers for Aquatic Macroinvertebrate in Rice Paddies: Aquatic Net, Quadrat and Core

Hyun Kyung Kang and Keun Chung*

Major in Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University,
Chuncheon, 200-701, Korea

ABSTRACT: With growing interest in biodiversity in rice paddies, efficient sampling methods for quantitative evaluation of aquatic macroinvertebrates are needed because of their important role in rice paddies' food webs. For this reason, we sought a proper sampling method through comparing data collected by using aquatic net, quadrat, and core in rice paddies located in Chuncheon-si, Kangwon-do, Hongseong-gun, and Chungcheongnam-do. Because the frame of the net was rectangular and had a flat bottom, the area, sampled with the aquatic net, was calculated by multiplying the net width by the sweeping length. All samples were taken from the space between the rows of rice plants. Twenty four taxa of macroinvertebrates were collected in Chuncheon and 28 taxa in Hongseong. In Chuncheon, the number of taxa was similar among three sampling methods (17-18 taxa), but the number of individuals was different (aquatic net, 1,317/m²; quadrat, 1,368/m²; core, 1,810/m²). In Hongseong, the number of taxa sampled by aquatic net was the highest (aquatic net, 25 taxa; quadrat, 21 taxa; core, 16 taxa), but the core was the highest in the number of individuals (aquatic net, 1,586/m²; quadrat, 2,595/m²; core, 3,704/m²). The efficiency of samplers differed among taxa. Most of aquatic insect taxa were more abundant in the aquatic net, while those living on or in the paddy substratum such as Oligochaeta and Chironomidae were collected more in the quadrat sampler. To collect quantitative data for aquatic insects as well as to produce inventory of rare taxa, we suggest, based on samplers used in this study, to take quantitative samples of 6 replications from each of the edge and inner zones of a rice paddy by using an aquatic net, and to take qualitative samples both from sides of levees and the inner zone of rice paddy by using an aquatic net.

Key words: Aquatic macroinvertebrates, Quadrat, Aquatic net, Rice paddy

초 록: 논 의 생물다양성 에 관 한 관심 이 증가 하 면 서 논 먹 이망 의 중 요한 부 분 을 차 지 하고 있 는 수 서 성 대 형 무 척 추 동 물 을 정 량 적 으 로 평 가 하 기 위 한 효 율 적 인 방 법 이 요 구 된 다. 이 를 위 해, 강 원 도 춘 천 시 와 충 청 남 도 홍 성 군 에 위 치 한 논 에 서 채 집 망 과 방 형 구, 파 이 프 형 채 집 기 (core) 로 얻 어 진 자 료 를 비 교 하 여 적 절 한 채 집 기 를 알 아 보 았 다. 채 집 망 은 틀 이 사 각 형 이 고, 바 닷 이 평 평 하 기 때 문 에, 채 집 망 의 조 사 면 적 은 토 양 을 훑 은 길 이 와 망 의 넓 이 를 곱 하 여 측 정 되 었 다. 모 든 채 집 물 은 두 벼 줄 사 이 에 서 채 집 되 었 다. 대 형 무 척 추 동 물 은 춘 천 과 홍 성 에 서 24, 28 분 류 군 이 채 집 되 었 다. 춘 천 에 서 분 류 군 수 는 세 가 지 채 집 기 에 서 유사 했 지 만 (17-18 분 류 군), 추 정 밀 도 는 그 령 지 않 았 다 (채 집 망, 1317/m²; 방 형 구, 1368/m²; core, 1810/m²). 홍 성 에 서 는 채 집 망 에 서 분 류 군 수 가 가 장 컸 지 만 (채 집 망, 25 분 류 군; 방 형 구, 21 분 류 군; core, 16 분 류 군), 추 정 밀 도 는 core 에 서 가 장 높 았 다 (채 집 망, 1586/m²; 방 형 구, 2595/m²; core 3704/m²). 각 채 집 기 의 효 율 은 분 류 군 에 따 라 달 랐 는 데, 채 집 망 에 는 주 로 수 서 곤 충 류 가 많 았 던 것 에 비 하 여 방 형 구 에 는 빈 모 류 나 깔 따 구 과 등 토 양 속 에 서 식 하 는 종 류 에 대 한 효 율 이 높 았 다. 논 에 서 식 하 는 수 서 곤 충 에 대 한 정 량 자 료 와 희 귀 분 류 군 에 대 한 정 성 자 료 를 동 시 에 얻 고 자 하 는 경 우 에 는 채 집 망 을 이 용 하 여 논 가 장 자 리 와 논 내 부 에 서 각 6 회 정 량 채 집 하 고, 논둑 근 처 와 논 가 운 태 에 서 정 성 채 집 을 수 행 되 는 것 이 시 간 및 노 동 력 측 면 에 서 가 장 경 제 적 이 라 고 생 각 된 다.

검색어: 수서 대형무척추동물, 논, 방형구, 채집망

*Corresponding author: kunchung@kangwon.ac.kr

Received August 13 2010; revised November 22 2010;
accepted November 25 2010

논은 벼를 재배하기 위해 인위적으로 조성된 영농공간으로서 벼 생육기 전체 또는 일부 기간에 물이 담겨졌다가 수확을 위해 건조되기를 반복하는 일시적 습지이다. 비록 짧은 기간일 수 있지만 담수되는 기간의 논에는 많은 수서성 대형무척추동물이 서식하게 된다. 이들은 벼의 해충천적과 함께 논의 먹이망을 형성하고 있지만 논 무척추동물상은 주로 벼 생산과 관련된 해충관리적 측면에서 연구되어 왔다 (예, Cohen *et al.*, 1994; Park and Lee, 2006; Schoenly *et al.*, 1996). 하지만, 논이 쌀을 생산하는 농경지로서 뿐만 아니라 지역의 습지생물과 조류의 다양성을 부양하는데 도움이 된다는 여러 증거(Czech and Parsons, 2002; Fasola *et al.*, 1996; Richardson *et al.*, 2001; Maeda, 2001)가 제시되면서 논이 습지의 한 종류라는 인식이 보편화되고 또 논 생물다양성 증가에 관한 관심도 높아지고 있다(Ramsar COP10 Resolution X.31, 2008: http://www.ramsar.org/pdf/res/key_res_x_31_e.pdf). 따라서 상대적으로 연구가 미진했던 우리나라 논 수서성 대형무척추동물상을 보다 정량적으로 접근하기 위한 방법에 관한 논의는 시의적절하다고 생각된다.

논에 서식하는 수서성 대형무척추동물을 조사하는 방법으로는 채집면적에 대한 밀도 추정이 가능한 면적채집기와 물의 양(생물서식공간의 크기)을 일정하게 유지할 수 있는 다양한 크기의 국자모양 채집기(dipper), 그리고 지금까지는 조사대상 공간이나 면적을 표준화하기 어려웠던 채집망 등이 있다. 면적채집기는 수서곤충을 비롯한 논 수서무척추동물을 채집하는데 가장 많이 사용되어 왔는데, 작은 구경(22.5 cm, Richardson *et al.*, 2001) 보다는 내부에 벼 1-4포기가 포함될 수 있는, 직경이나 한 변의 길이가 30 cm, 또는 그보다 큰 원형이나 사각형 방형구가 주로 사용되었다(Lawler and Dritz, 2005; Osawa *et al.*, 2004; Schoenly *et al.*, 1998; Schoenly and Domingo 1999; Takahashi *et al.*, 1982). 특히 Schoenly *et al.*(2003)은 자료의 정밀성을 향상하고 자료수집과정의 경비를 최적화하기 위해 직경 35-80 cm 사이의 다양한 원형 방형구를 비교하였다. 그렇지만 앞에 인용된 논문 중에서 대형무척추동물을 채집하기 전에 방형구 내부의 벼를 제거했다는 Schoenly and Domingo (1999)를 제외한 나머지는 방형구 안으로 들어가는 벼에 대해 구체적으로 언급되지 않았다.

국자형 채집기는 모기의 유충과 번데기를 채집하는데 많이 사용되는데(Silver, 2008), 구조가 간단하고 사용이 편리하여 논 대형무척추동물 채집에 이용되기도 하였다

(Bambaradeniya *et al.*, 2004). 그렇지만, 논물이 얇으면 사용하기 힘들고, 논물의 수심변화에 따라 모기 서식공간의 크기가 수시로 변할 수 있어 조사결과를 일정한 면적으로 표준화하기 어려우며(Ikemoto, 1976), 모기 유충을 제외한 거의 모든 대형무척추동물에 대해 면적채집기보다 질적, 양적으로 효율이 낮을 수 있다(Takahashi *et al.*, 1982). 우리나라에서는 Han *et al.*(2002)이 시비에 따른 논 무척추동물상 변화를 연구하면서 비이커로 논물을 채취하여 대형무척추동물을 조사하였는데, 이 방법은 벼에 피해를 주지 않고, 또 물이 얇은 논에서도 사용할 수 있다는 장점이 있지만 자루가 없다는 점을 제외하면 국자형 채집기와 크게 다르지 않다고 생각된다.

채집망(aquatic net, 또는 kick-net)은 사용하기가 쉽고, 흐르는 물이나 고인 물에 관계없이 물이 깊지 않은 다양한 서식처를 정성적으로 조사하는데 사용된다(Merritt *et al.*, 1996). 따라서 논 수서성 대형무척추동물을 정성조사하기 위하여 채집망을 사용한 경우는 많을 수 있지만, 정량자료 획득을 목적으로 채집망을 사용한 경우는 거의 없다. Kandibane *et al.*(2007)이 반복당 채집망을 25회 사용하여 논 무척추동물을 표집하였지만 이는 상대밀도를 나타낼 수 있었을 뿐이다. 논 모기유충 조사에서 전통적인 국자형 채집기와 작은 채집망을 비교했을 때 채집망이 사용이 편리하고 포획력도 우수하였지만, 국자형 채집기와는 달리 표집 대상인 물의 양을 알기 어려우므로(Robert *et al.*, 2002) 조사 간 비교가 어렵다는 단점이 있다.

본 실험은 벼에 대한 피해를 최소화 할 수 있는 방형구와 정량적으로 사용된 채집망, 그리고 표집면적은 작지만 토양 깊숙한 곳에 서식하는 빈모류를 쉽게 조사할 수 있는 파이프형 채집기(core)로부터 얻어진 자료를 서로 비교하여 논에 서식하는 수서 대형무척추동물 표집에 가장 효과적인 채집기를 알아보고, 작은 노력으로 적절한 수준의 정량자료를 확보하면서 정성적 자료도 얻을 수 있는 절충안을 찾아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험장소

저서성 대형무척추동물은 2009년도 7월말 ~ 8월초에 걸쳐 강원도 춘천시 신북읍 유포리(Chunchon; 면적 약 0.7 ha; 37°56'48.28"N, 127°45'51.50"E)와 충청남도 홍성군 홍동면 금평리(Hongseong; 면적 약 0.5 ha; 36°32'44.79N,

126°41'39.85"E)에 위치한 유기재배 논에서 채집되었다. 두 논은 모두 우렁이를 이용하여 유기재배를 수행하고 있었다. 조사 당시 주변 논은 대부분은 유기/관행 재배에 관계없이 논물을 떼고 있었던 것에 비하여 조사대상인 두 논은 수심이 그대로 유지 되고 있어 대형무척추동물상이 잘 발달되어 있을 것으로 생각되었다. 두 논 모두에서 벼의 재식거리는 30 × 20 cm 이었다. 논둑에서부터 약 1 m 구간은 가장자리 효과(edge effects)가 우려되어 조사대상에서 제외되었다.

채집기

대형무척추동물 표본은 수서곤충조사용으로 흔히 쓰이는 채집망과 사각형 플라스틱 방형구, 그리고 직경이 작은 core의 3가지 방법으로 추출되었다. 각 채집기에 대한 반복수는 대략 1시간을 기준으로 각 채집기를 사용하는 데 필요한 시간과 현장에서 논흙을 제거하는 작업 등의 조사 현장에서 소요되는 시간을 고려하여 선택되었다.

채집자는 채집위치로 이동한 후, 오른발이 있는 벼줄의 오른쪽 벼줄 앞쪽으로 채집기를 들고 있는 오른팔을 뺀고 잠시 멈췄다가(5 - 10 sec.) 채집기를 사용하였다. 정지 시간은 대략 사람이 접근할 때 가장 민감하게 반응하는 왕물벌레들이 다시 논바닥에 내려앉고 그들의 움직임에 방향성이 사라지는 시간을 기준으로 하였다.

채집망은 나무봉(길이 150 cm, 직경 2.5 cm)에 연결된 직경 8 mm의 사각형 스테인리스 틀(폭 18 cm × 높이 20 cm)에 BioQuip®의 aquatic D-net(망목 0.5 mm)을 붙여 제작되었다. 스테인리스 틀의 폭은 분얼 후 벼의 줄간거리(대략 20 cm)보다 약간 좁게 설계되었으므로 벼 생육 후기에 사용할 때에도 벼포기와 채집망이 부딪히는 경우가 적었다. 대형무척추동물은 채집망을 논바닥에 올려놓고 30 - 45 cm를 수평으로 빠르게 끌면서 채집되었다. 채집망은 의도적으로 누르지 않아도 자체무게로 인하여 논바닥에 약 1 cm 정도 깊이의 흔적을 남겼다. 채집망에 의한 유효 표집면적은 채집망폭(18 cm) × 논바닥에 남겨진 채집망 흔적의 길이(cm)로 계산되었다. 채집망 조사는 가장자리(논둑으로부터 2 - 5 m)와 중간지대(논둑으로부터 15 - 20 m), 중앙부(논둑으로부터 25 - 30 m)에서 각각 5 씩, 총 15회 수행되었으며 조사원 2인이 약 45분을 소요하였다.

방형구는 시판중인 플라스틱 용기(Lock&Lock® Handy 12 L)의 밑 부분을 1 cm 정도 잘라내어 제작하였으며 유효 표집면적은 20 × 28.5 cm 이었다. 채집망을 사용할 때와 마찬가지로 방법으로 방형구를 채집지점에서 일단 멈춘 후에

방형구를 빠르게 논바닥에 안착시킨 후 어느 정도의 힘을 가해 논바닥 표면으로부터 약 2 - 3 cm 깊이까지 밀어 넣었다. 방형구 안의 물과 토양은 작은 사각 플라스틱 용기를 이용하여 비닐주머니에 옮겨졌다. 방형구가 주변의 논흙과 밀착되어 있었으므로 논물은 방형구 안으로 유입되지 않았다. 채집물은 논둑에서 망목 0.5 mm인 체에서 씻겨 흙이 제거되었다. 씻는 물은 체(망목 0.25 mm)로 거른 후 사용되었다. 방형구 채집은 논둑의 가장자리와 중앙부 두 구역에서 각각 5회씩 총 10회 수행되었다. 조사자 2인이 방형구 표본을 추출하는 데에는 방형구 내부의 물과 토양을 긁어 담는데 시간이 걸려 45분 내지 1시간이 소요되었으며, 논토양을 씻는 작업에도 다소 긴 시간이 필요했다.

core는 내경 6 cm, 길이 30 cm인 원통형 아크릴 파이프로 제작되었다. 예비실험에 사용되었던 WildCo®의 Hand core 제품(스테인레스, 직경 2", 길이 20")은 길고 무거워서 사용하기 불편했다. 토양에 박히는 단면은 파이프의 바깥테두리를 연마하여 파이프 내면적과 유효 표집면적이 일치하게 하였다. 예비실험에 따르면 빈모류는 교란 받으면 토양속 3.4 cm 깊이로 몸을 숨기는 것으로 나타났으며 5 cm 보다 더 깊은 곳에서는 거의 발견되지 않았는데, 실험 종료 후에 알게 되었지만, 이는 채집물을 망목 1 mm인 체에서 씻었던 예비실험에서 작은 빈모류가 유실되었기 때문일 가능성이 높다. 소형빈모류는 논토양 5 - 15cm 깊이에도 많은 수가 서식하는 것으로 알려져 있다(Yokota, 2002). 본 실험에서는 파이프를 논바닥으로 5 cm 정도 박아 넣은 다음, 채집물이 손실되지 않도록 core의 아랫부분을 손바닥으로 막고 떠올렸다. 채집망과 방형구는 폭이 벼의 줄간 거리와 비슷하여 채집공간을 임의로 선택할 수 없었던데 반하여, core는 직경이 작아 인접한 두 벼줄 사이에서도 채집공간을 쉽게 바꿀 수 있었다. core 내부의 토양은 일단 비닐 주머니에 담겨지고 현장에서 바로 망목 0.5 mm 체에서 씻어진 후, 체에 걸러진 유기물과 대형무척추동물만 수거되어 실험실로 옮겨졌다. 이때 사용된 물은 방형구에서와 같은 방법으로 준비되었다. core는 빈모류의 밀도를 알아보기 위해 사용되기는 했지만 벼줄 사이의 대형무척추동물 분포에 관한 정보를 얻기 위해 논둑의 가장자리와 중앙부에서 벼옆(채집시 벼 뿌리 일부 끊김)과 벼포기 사이 공간(두 벼줄 사이의 중간)에서 각각 15회씩 채집되었다. 따라서 한 논에서 총 60개의 core표본이 추출되었다. 조사원 2인이 60개의 core 표본을 채취하는데 약 1.5시간이 소요되었으며, 논 밖에서 채집물의 토양을 제거하는데에도 매우 긴 시간이 필요했다.

모든 채집물은 현장에서 10% formalin 용액으로 고정된 후 실험실에서 보관되었다. 보관되던 채집물은 겹쳐진 망목 1 mm 체와 0.5 mm 체에서 수돗물로 씻어졌다. 망목 1 mm 체에 걸러진 대형무척추동물은 해부현미경하에서 모두 선별되어 곤충류는 Yoon(1995), Ishida(1996)에 따라 동정되었다. 동정이 어려운 곤충과 비곤충류 확인에는 RDA(2008)이 이용되었다. 망목 1mm 체를 통과하여 망목 0.5 mm 체에 걸러진 부분에는 수서곤충도 포함되어 있었으나 이번 연구에는 포함되지 않았다. 망목 1 mm 체에 걸러진 중형동물(선충, 물벼룩 등)도 분석에서 제외되었다.

자료 분석

대형무척추동물상

눈에 서식하는 대형무척추동물에 대한 각 채집기의 효율성을 평가하기 위하여 채집기별 포획된 분류군수와 Shannon-diversity index, Evenness index, Sørensen community similarity index, Percentage similarity가 측정되었다. 지수를 계산하는 공식은 다음과 같다(Krebs 1998);

- 1) Shannon-diversity index: $H' = -\sum p_i \ln p_i$
 $p_i = n_i/N$ ($n_i = i$ 번째 분류군의 개체수, $N =$ 총 개체수)
- 2) evenness index: $J' = \frac{H'}{\ln n}$
 $H' =$ Shannon-diversity index
 $n =$ 총 분류군수
- 3) Sørensen community similarity index: $S_s = \frac{2c}{a+b}$
 $a =$ 군집 1의 분류군수
 $b =$ 군집 2의 분류군수
 $c =$ 두 군집에 공통으로 출현하는 분류군수
- 4) Percentage similarity: $P = \sum_i \text{Minimum}(p_{1i}, p_{2i})$
 $p_{1i} =$ 군집 1에서 분류군 i 가 차지하는 비율(%)
 $p_{2i} =$ 군집 2에서 분류군 i 가 차지하는 비율(%)

각 분류군의 추정밀도(m^2)에 대한 채집기별 비교는 비모수적인 Kruskal-Wallis 검정으로 수행되었다(Zar 1999). 비교 전에 모든 분류군의 추정밀도에 대한 정규성이 검정되었으나(Shapiro-Wilk 검정, $p = 0.05$) 정규성이 인정된 분류군은 없었다. 원자료를 $\ln(1+x)$ 또는 arcsin square root로 변형하여 정규성 검정을 수행하였지만 또아리물달팽이

(arcsin square root 변형)를 제외한 모든 경우에서 정규성이 인정되지 않았다.

표본추출 위치

눈 내부에서의 위치에 따른 추정밀도 비교는 채집망 조사(눈가장자리, 중간부, 눈중앙부)에는 Kruskal-Wallis 검정으로, 2개 집단(눈가장자리, 눈중앙부)을 비교하는 방형구와 core 조사에는 Mann-Whitney 검정으로 수행되었다(Zar, 1999).

벼 포기로부터의 거리에 따른 대형무척추동물 밀도비교는 눈 내부 위치와 관계없이 벼 포기 바로 옆($n = 30$)과 인접한 두 벼줄 사이의 가운데 위치($n = 30$)에서 얻어진 core 표본에 대한 Mann-Whitney 검정으로 수행되었다(Zar, 1999). 모든 통계처리는 Systat V.13(Systat Software, Inc. Chicago, USA)로 수행되었다.

적정 반복수

춘천과 홍성의 각 눈에 서식하고 있지만 밀도가 너무 낮아 본 조사에 출현하지 않았을 분류군을 포함한 총 분류군수는 Chao2(Chao, 1987; Colwell and Coddington, 1994)로 추정되었다. Chao2는 Jackknife1, 2 또는 Bootstrap 과 더불어 지역에 서식하는 총 종수를 비모수적으로 추정하는데, 생물들이 심하게 과상분포하지 않으면 예측력이 안정적인 것으로 알려져 있다(Chazdon et al. 1998). 비록 Chao2가 표본의 크기에 민감하여 표본의 크기가 커질수록 실제보다 큰 추정치를 계산해내는 경향이 있지만(Poulin, 1998; Chazdon et al., 1998) 본 실험 대상 눈의 면적에 비하면 반복수와 유효표집면적이 크다고 할 수 없으므로 분류군수가 과추정될 가능성은 낮을 것으로 생각된다. Chao2는 다음과 같이 얻어졌다:

$$S_{Chao2} = S_{obs} + \frac{t-1}{t} \frac{Q_1^2}{2Q_2}$$

위 식에서 S_{Chao2} 는 Chao2에 의해 추정된 지역의 총 분류군 수이며, S_{obs} 는 실제 표집된 분류군의 수, t 는 반복수, Q_i 는 총 반복 중 i 개의 반복에만 출현한 분류군의 수를 의미한다. 즉, Q_1 은 개체수와는 관계없이 총 n 반복 중 1개 반복에 출현한 분류군의 수를 의미한다.

Chao2에 의해 추정된 분류군이 모두 채집되는데 필요할 것으로 추정되는 추가반복수(m_1 , Chao et al. 2009)가 계산되었다. m_1 의 공식은 다음과 같으며 Chao et al (2009)의 Exel-sheet calculator (Ecological Archives E090-073-S1:

http://esapubs.org/archive/ecol/E090/073/suppl-1.htm)로 계산되었다:

$$m_1 \approx \frac{\log\left[1 - \frac{t}{(t-1)} \frac{2Q_2}{Q_1^2} (S_{Chao2} - S_{obs})\right]}{\log\left[1 - \frac{2Q_2}{(t-1)Q_1 + 2Q_2}\right]}$$

단 춘천의 채집망 조사에서는 $Q_1 = 3$, $Q_2 = 0$ (Appendix, Frequency of incidence 참조)이어서 m_1 이 계산될 수 없었으므로 Q_1 중 한 분류군(예, 등에모기과)이 다른 한 반복에서 추가로 발견되었다고 가정하고 $Q_1 = 2$, $Q_2 = 1$ 로 변경되어 m_1 이 계산되었다. 등에모기는 눈에 많이 서식하지만 몸이 가늘고 길어 0.5 mm 망목의 체나 채집망을 쉽게 빠져나간다.

채집과정과 대형무척추동물의 선별, 동정에 소요되는 노동력과 시간을 줄일 수 있으면서 흔한 분류군의 정량자료와 함께 희귀분류군에 관한 목록도 얻을 수 있는 절충안을 찾기 위하여 표집된 모든 분류군을 포함한 분류군 누적곡선과 오직 한 개의 반복에만 출현한 분류군(Q_1)을 제외하 나머지만으로 얻어진 분류군 누적곡선이 Mao tau (S_{obs} , Colwell *et al.*, 2004)로 계산되었다. 계산에는 default option의 EstimateS(V. 8.2, Colwell 2009)가 이용되었다.

결 과

대형무척추동물상

두 논 of 대형무척추동물상은 서로 달랐고, 한 논에서는

채집기에 따라 분류군 구성이 달랐다(Table 1). 춘천의 논에서는 비곤충류에 속한 4 분류군을 포함하여 총 24 분류군이 출현하였는데, 각 채집기에 의해 표집된 분류군 수는 서로 비슷하였지만 각 분류군의 추정밀도는 채집기에 따라 큰 차이를 보였다. 춘천에서는 core에서 가장 많은 개체가 채집되었으며($1810/m^2$), 채집망과 방형구는 core의 73-76% 수준을 기록하였다. 홍성에서는 채집기에 따라 출현 분류군의 수뿐만 아니라 밀도도 크게 달랐다. 홍성에서는 비곤충류에 속한 4 분류군을 포함한 총 28분류군이 출현하였는데, 채집망(25 분류군), 방형구(21 분류군), core(16 분류군)의 순으로 출현분류군 수가 작아졌다. 그러나 추정밀도는 core에서 가장 높았으며($3704/m^2$), 채집망과 방형구의 밀도는 각각 core 밀도의 43%와 70%에 지나지 않았다.

다양도지수는 채집기에 따라 달랐으며, 군집비교지수도 각 채집기-채집기 조합마다 다르게 나타났다. 또한, 두 논에서 그 차이가 비슷하지 않았다. 춘천에서는 Shannon-diversity index와 Evenness index 값이 채집망에서 낮고 core에서 높았지만 홍성에서는 Shannon-diversity index 값이 채집망에서 가장 크고 Evenness 값은 core에서 가장 컸다(Table 2). Sørensen's similarity index 값도 춘천에서는 채집망-방형구에서 가장 크게 나타났지만 홍성에서는 그러한 차이가 없었다(Table 3). 한편, 춘천에서의 Percentage similarity 값은 채집망-core에서 가장 작았지만 홍성에서는 정반대의 경향을 보였다 (Table 4).

춘천과 홍성 모두에서 대부분의 분류군에 대한 채집기의 효율은 서로 동일하지 않은 것으로 나타났다(Kruskal-

Table 1. Summary statistics for macroinvertebrates collected by three types of sampler (aquatic net: width = 18 cm, sweeping length = 35 - 45 cm; quadrat: width = 20 cm, length = 28.5 cm; core: diameter = 6 cm) from rice paddies located in Chuncheon (36°56'48.28"N, 127°45'51.61"E) and Hongseong (36°32'45.21"N, 126°41'41.50"E)

Sampling site (Total no. of taxa)	Sampler	No. of replication, (total area sampled)	No. of Indiv./m ²	No. of taxa per replication	No. of taxa
Chuncheon (24)	Aquatic net	15 (1.07 m ²)	1317	9.1	18
	Quadrat	10 (0.57 m ²)	1368	8.1	17
	Core	60 (0.17 m ²)	1810	2.9	18
Hongseong (28)	Aquatic net	15 (1.09 m ²)	1585	11.1	25
	Quadrat	10 (0.57 m ²)	2595	9.9	21
	Core	60 (0.17 m ²)	3704	4.0	16

Table 2. Shannon-diversity index and evenness index of macroinvertebrate assemblages collected by aquatic net, quadrat, and core from rice paddies in Chuncheon and Hongseong

Locality	Diversity index	Sampler		
		Aquatic net	Quadrat	Core
Chuncheon	Shannon diversity index	1.42	1.69	1.77
	Evenness	0.49	0.59	0.61
Hongseong	Shannon diversity index	1.76	1.58	1.61
	Evenness	0.55	0.52	0.58

Table 3. Sørensen's similarity indices among macroinvertebrate assemblages collected by aquatic net, quadrat, and hand core from rice paddies in Chuncheon and Hongseong

	Chuncheon		Hongseong	
	Aquatic net	Quadrat	Aquatic net	Quadrat
Quadrat	0.80		0.78	
Core	0.72	0.74	0.78	0.76

Table 4. Percentage similarity among macroinvertebrate assemblages collected by aquatic net, quadrat, and hand core from rice paddies in Chuncheon and Hongseong

	Chuncheon		Hongseong	
	Aquatic net	Quadrat	Aquatic net	Quadrat
Quadrat	68.7		71.0	
Core	43.3	69.4	83.5	80.4

Wallis test, $df=2, p < 0.05$). 춘천에서 각 채집기의 효율 차이가 인정되지 않은($p > 0.05$) 분류군에는 갈따구($p = 0.077$)처럼 모든 채집기에 고루 포획된 종류도 있었지만 거머리($p = 0.483$)와 산골조개($p = 0.099$)처럼 core에서 매우 많은 개체가 채집되고 채집망에서는 거의 포획되지 않는 종류도 있었다. 홍성에서도 채집기 사이의 유의차가 인정되지 않은 분류군들은 포아리물달팽이를 제외하면 모두가 희귀분류군으로서 세 채집기 중 하나에만 몇 개체이하로 포획된 것들 이었다(춘천: 소금쟁이, 게아재비, 꼬마줄물방개, 알꽃벼룩, 동애등에, 등애; 홍성: 포아리물달팽이, 등검은실잠자리, 소금쟁이, 털개알소금쟁이, 점박이물뽕뽕이, 동애등에, 등애).

대체로 추정밀도가 높은 분류군(빈모류, 연못하루살이, 갈따구, 집모기)은 모든 채집기에서 공통적으로 출현빈도가 높고 밀도도 안정적인 경향(낮은 CV값: Appendix 참조)을 보였지만 각 분류군에 대한 채집기의 효율은 그들의 미소서식처에 따라 다른 것으로 나타났다. 토양에 서식하는 빈모류와 산골조개는 방형구나 core에서 출현빈도와 밀도가 높게 나타났지만 채집망에서는 그렇지 않았다. 이와는 반대로, 포아리물달팽이와 집모기, 연못하루살이, 갈따구는 채집망

에서 출현빈도가 높았을 뿐 아니라 밀도도 core와 유사하거나 더 높은 경우도 있었다. 이들에 대한 방형구의 효율은, 분류군에 따라 다르기는 하지만, core나 채집망의 중간, 또는 높은 쪽에 가까웠다.

밀도가 중간에 속하는 잠자리와 왕물벌레는 대체로 채집망에서 높은 출현빈도를 보였고 희귀분류군에 속하는 물자라와 일부 노린재류, 딱정벌레류, 모기를 제외한 파리류는 어떤 특별한 경향도 보이지 않았다.

표본추출 위치

대부분의 분류군-채집기의 조합에서 논 내부의 표집위치에 따른 밀도차이가 인정되지 않았다(채집망: 논 의 가장자리, 중간부, 중앙부, Kruskal-Wallis test, $p = 0.05$; 방형구와 core: 논 의 가장자리, 중앙부, Mann-Whitney test, $p = 0.05$). 표본추출 위치에 따라 밀도차이가 인정된($p < 0.05$) 분류군-채집기는 춘천에서 거머리-방형구와 산골조개-core, 산골조개-방형구, 포아리물달팽이-채집망, 가는실잠자리-core, 물자라-채집망, 왕물벌레-방형구, 갈따구-채집망, 집모기-채집망이었으며, 홍성에서는 빈모강-채집망, 포아리물달팽이-방형구, 아시아실잠자리-방형구, 밀잠자리-방형구, 된장잠

자리-채집망, 왕물벌레-방형구, 애넵적물땡땡이-core, 자색 물방개-방형구, 깔따구-방형구 이었다. 즉, 채집위치에 따른 밀도차이가 인정된 경우에도 모든 채집기에서 공통적으로 위치효과가 있는 것이 아니라 세 채집기 중 하나에서만 위치효과가 인정되었다. 같은 채집기에 대하여 두 장소 모두에서 위치효과가 인정되는 일관성 있는 결과를 보여준 경우는 왕물벌레-방형구 뿐이었다.

core에서 얻어진 결과로 추정된 벼 포기로부터의 거리(벼 포기 바로 옆 인접한 두 벼줄 사이의 가운데)에 따른 밀도차이(Mann-Whitney test, $p = 0.05$)를 알아보았으나 홍성의 왕물벌레가 벼 바로 옆에 보다 인접한 두 벼 줄 사이의 공간에서 더 많이 분포했다는 것(Mann-Whitney test, $p = 0.003$)을 제외하면 모든 분류군에서 벼 포기로부터의 거리에 의한

대형무척추동물의 밀도차이가 인정되지 않았다($p = 0.05$).

적정 반복수

Chao2에 의해 추정된 예상 분류군을 모두 채집($g=1$)하기 위해 필요한 추가 반복수는 채집기마다 크게 달랐지만 각 채집기에 사용된 반복수의 최소 2-3배에서 7배정도 더 많은 반복을 필요로 하는 것으로 나타났다 (Table 5).

Mao Tau로 계산되는 누적 분류군 수(S_{obs})와 그의 95% 신뢰구간은 반복 증가와 함께 계속 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 1). 그렇지만 1개 반복에만 출현하는 분류군(Q_1)을 제외했을 때에는 채집망에서 대략 13반복부터, 방형구에서는 9반복부터 더 이상 예상 분류군 수에 변함이 없었지만 core의 경우에는 춘천이 46 반복, 홍성에서는 57반복에서

Table 5. Number of additional replication needed to catch the number of taxa estimated by Chao2

	Chuncheon			Hongseong		
	net*	quadrat	core	net	quadrat	core
Chao2	19.9	19.4	26.9	30.6	23.4	20.4
Number of additional samples	40.39	22.89	405.83	61.76	22.89	327.26

* : To calculate Chao2, Q_1 and Q_2 were changed from 3 and 0 to 2 and 1, respectively.

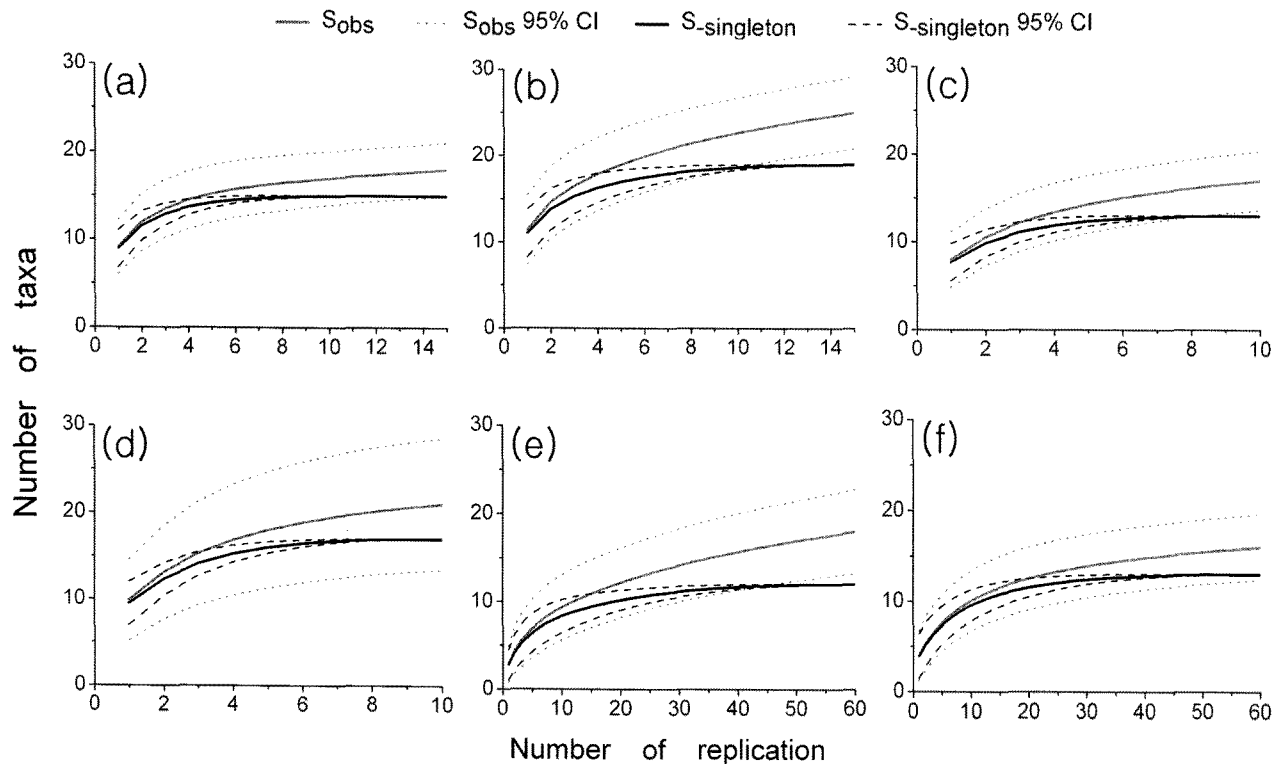


Fig. 1. Taxa accumulation curves of sample-based rarefaction (Mao Tau) for original data (S_{obs}) and data without singleton ($S_{singleton}$) for aquatic net (a: Chuncheon; b: Hongseong), quadrat (c: Chuncheon; d: Hongseong), and core (e: Chuncheon; f: Hongseong).

분류군 추정치가 안정되었다.

고 찰

대형무척추동물상

각 채집기의 효율 두 눈에서 서로 유사한 경향을 나타냈다. 채집망과 방형구에는 반복수에 비해 많은 분류군이 포획된 것에 비하여, core에는 반복수가 컸음에도 불구하고 포획된 대형무척추동물의 종류가 적었다. 이와 같은 차이는 core의 총 유효추출면적이 채집망이나 방형구의 그것에 비해 1/6-1/3에 지나지 않은 것도 이유일 수 있지만(Coleman *et al.*, 1982), 대상곤충의 밀도와 미소서식처, 순간이동력의 차이와 실험자의 편향적 표본추출 등(Merritt *et al.*, 1996) 여러 요인이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 생각된다.

채집망은 다른 두 채집기에 비해 이동력이 강하고 논바닥 위에서 활동하는 왕물벌레, 연못하루살이 등에 대한 효율이 높았다. 그렇지만 채집망은 논바닥 표면, 또는 그 아래에 서식하는 종류(빈모류, 산골조개, 거머리, 깔다구) 뿐만 아니라 유영력이 거의 없는 분류군(또아리물달팽이)에 대한 효율이 좋지 않았다. 이런 현상은 눈에 수초가 많을수록 심해지는 것으로 보이는데, 논바닥에 잡초가 많으면 채집망이 바닥 표면을 효과적으로 훑지 못하고 바닥으로부터 뜬 상태를 유지하기 때문으로 생각된다. 빈모류는 교란되면 채집망으로 포획하기에는 너무 빠르게 몸을 움츠리므로(Zoran and Drewes, 1988) 눈잡초의 많고 적음에 관계없이 채집망으로 포획하기 어려울 것으로 보인다. 또한, 일반적으로 net(망)형 채집기는 망이 막히거나 유속이 빨라 망을 통해 빠져나갈 수 있는 것보다 많은 양의 물이 유입되면 망 내부의 물이 역류하여 채집물이 손실될 수 있는데(Merritt *et al.*, 1996), 순간 이동력이 거의 없는 또아리물달팽이에 대한 효율이 코어보다 낮은 것은 채집망 내부의 물이 역류할 때 물과 함께 망 밖으로 떠내려갔기 때문일 가능성이 높다. 물의 역류를 억제하기 위해 채집망을 천천히 끌면 역류가능성이 낮아지겠지만, 대신 이동성 분류군에 대한 효율이 낮아질 수 있다.

방형구는 채집망과 core의 장점을 두루 갖춘 효과적인 채집도구로 생각된다. 특히 수초에 관계없이 넓은 유효채집면적에서 많은 종류의 대형무척추동물을 채집할 수 있었다. 그렇지만 빈모류나 산골조개를 채집하는 데에는 core보다 효율이 낮았는데, 이는 빈모류나 산골조개가 방형구 내에서 제거된 논흙의 깊이(2 - 3 cm)보다 깊은 곳에도 서식한다는

가능성을 의미하는 것으로 보인다. 또한 방형구는 채집망에 비하여 움직임이 민첩한 수서곤충(예: 왕물벌레와 소금쟁이, 일부 딱정벌레 류)에 대한 효율이 낮은 것으로 보인다. 방형구로 이들을 채집하기 위해서는 채집자의 상체가 수면 가까이로 접근해야 하는데 벼가 작을 때에는 사람의 움직임에 매우 민감하게 반응하므로 특히 소금쟁이와 왕물벌레 등은 채집하기가 매우 어렵다. 벼가 자라 수관이 막히면 채집자가 접근하는 것에는 둔감해지기는 하지만, 벼 잎을 제치고 벼 줄 사이로 방형구를 넣는 과정에서 움직임이 빠른 수서곤충이 도피하는 경향이 있다. 벼에 대한 피해를 무시하고 방형구를 민첩하게 사용한다면 위와 같은 문제는 크게 개선될 수 있겠지만 연구기관의 실험포장에서만 가능할 것으로 생각된다.

빈모류의 밀도를 알아보기 위해 사용된 core는 토양에 서식하는 빈모류와 산골조개를 채집하는데 가장 효과적이었으며 순간이동력이 거의 없는 또아리물달팽이에 대해서도 좋은 채집도구로 나타났다. 그렇지만 표집면적이 작아 이동력이 높은 분류군을 채집하기 어렵고, 반복당 채집되는 분류군 수가 작으므로 종다양성을 확보하기 위해 많은 반복이 필요하다. 또한, 채집물과 함께 많은 토양이 채취되므로 토양을 제거에 많은 시간과 체에 거른 많은 양의 물이 필요하고, 따라서 현장에서 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또 다른 단점으로는 core를 사용하는 중에 채집자의 의도와는 다르게 몸이 크거나 희귀한 분류군을 겨냥하여 표본을 취할 가능성도 적지 않다.

본 실험의 결과를 서론에서 인용되었던 방형구로 눈의 무척추동물상을 조사했던 여러 연구들과 직접비교하는 것은 큰 의미를 둘 수 없는데, 이는 각각 연구가 표집방법(논토양 포함 여부, 선별 시 사용된 체의 망목크기)뿐만 아니라 분류수준(특히 깔다구과), 총 유효표집면적 등이 서로 다를 뿐만 아니라 연구 지역의 생물상도 다르기 때문이다. 그렇지만 본 실험의 채집망이나 방형구는 필리핀 국제미작연구소의 Schoenly and Domingo(1999)가 설계한 'Floodwater collector'와 그의 비교대상인 다른 3 종류의 흡입형 채집기에 비하여 동등 내지 월등한 효율을 보인다고 생각된다. Schoenly and Domingo(1999)에서 가장 좋은 효율을 보였던 'Floodwater collector'의 경우에는 토양을 채집물에 포함시키지 않으므로 빈모류가 차지하는 비율은 매우 낮았겠지만 채집물선별에 본 실험(1 mm 체)에 비해 고운 체(86 mesh, 약 0.17mm)가 사용되었으므로 본 실험의 빈모류에 의해 발생된 밀도차이는 상쇄되고도 남았을 것으로 생각된다.

그들은 총 1 m²의 유효표집면적에서 벼의 생육단계에 따라 28 - 32 분류군에 속하는 약 1600 - 2450개체의 대형무척추동물 표집하였다.

표본추출 위치

논둑으로부터의 거리와 벼 포기로부터의 거리가 대형무척추동물의 분포에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 생각된다. 일본의 소형빈모류도 벼 포기로부터의 거리에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Yokota, 2002). 따라서 논 가장자리를 제외한 나머지 구역에서 대형무척추동물을 임의추출해도 얻어지는 자료의 질에 큰 문제는 없을 것으로 생각된다. 논둑에서 갑자기 시작되는 논은 내부가 거의 균일한 환경이므로 논 가장자리는 수생식물이 잘 발달한 일반 습지의 가장자리에서와 같이 다양한 대형무척추동물이 높은 밀도로 서식하는 곳(Wallace and Anderson, 1996)은 아니지만, 일부 곤충은 논 내부에 비해 가장자리에 더 많을 수 있다. 예를 들면 토양에서 번데기 기간을 거쳐야 하는 수서 딱정벌레의 노숙유충은 논둑 주변에 머무려는 경향이 있다(Dolmen and Solem, 2002). 또한 논 가장자리는 논둑에서 목표생물을 확인하면서 채집할 수 있으므로 채집망을 이용한 정성채집에 적절한 장소로 생각된다.

최적 반복수

춘천과 홍성에서 Chao2로 추정된 분류군 수는 두 장소 각각에서 포획된 총 분류군 수보다 작기는 했지만 Chao2에 의해 추정된 분류군을 확보하기 위해서는 각 채집기마다 반복수가 큰 폭으로 증가되어야 하는 것으로 나타났다. 하지만 어느 한 가지 방법으로 대형무척추동물상을 표집하건, 추가될 일의 양은 현실적으로 감내하기 어려운 수준이다. 일반적으로 어떤 지역에서 특정 시기에 채집가능한 모든 분류군을 확보하는 것이 중요하기는 하지만 대부분의 생태 연구에서 시간과 예산, 가용인력 등의 문제로 인해 거의 불가능에 가깝고 또 실용적이지도 않다(Gotelli and Colwell, 2001). 따라서 완벽하지는 않지만 적절한 수준의 정량적 결과와 정성적 결과를 모두 얻을 수 있는 절충안을 찾는 것이 중요하다.

결론적으로, 논에 서식하는 일반적인 대형무척추동물상을 파악하기 위해서는 정량조사와 함께 정성조사를 병행하여 흔한 분류군의 정량자료를 확보하고, 희귀분류군에 대해서는 정성조사를 통해 그들의 목록을 확보하는 것이 조사시간과 인력을 최소화할 수 있을 것으로 생각된다. 이를 위해

서는 채집망을 이용하여 논둑에 인접한 부분을 제외한 논 중앙부와 가장자리에서 각 6회 정도 정량채집하고 추가적으로 논둑 바로 옆과 논 중앙부에서 각 1회씩 정성채집하는 것이 적절하다고 생각된다. 특히 분류군에 대한 동정능력이 있는 사람이 정성채집물의 선별과정을 담당하면 흔한 종은 무시하고 희귀분류군을 가려낼 수 있으므로 채집물 처리시간을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 다만, 빈모류나 산골조개 등 토양 속에 서식하는 분류군을 조사하기 위한 채집에는 방형구나 core가 사용되어야 할 것이다.

사 사

김수연, 박경완, 박슬아 세분은 채집과 선별작업에 큰 도움을 주었습니다. 그리고 채집을 허락해 주신 원유직(춘천), 이종설(홍성) 두 분에게 감사드립니다. 아울러 새로운 시각을 제공해주신 두 심사위원께 감사드립니다. 본 연구는 농촌진흥청의 지원으로 수행되었습니다(친환경 유기농업 기술, 2009: 유기농업 실천의 공익적 기능 평가 연구, 유기농 실천농경지에서 수서생물 및 식생의 다양성 평가).

Literature cited

- Bambaradeniya, C.N.B., J.P. Edirisinghe, D.N. De Silva, C.V.S. Gunatilleke, K.B. Ranawana, and S. Wijekoon. 2004. Biodiversity associated with an irrigated rice agroecosystem in Sri Lanka. *Biodiversity and Conserv.* 13: 1715-1753.
- Chadzon, R.L., R.K. Colwell, J.S. Denslow and M.R. Guariguata. 1998. Chapter 16. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of northeastern Costa Rica. pp. 285-309. *In Forest biodiversity research, monitoring and modeling.* eds. by F. Dallmeier and J. A. Comiskey). The Parthenon Publishing Group. Nashville, TN. USA.
- Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43: 783-791.
- Chao, A., R.K. Colwell, C.W. Lin and N.J. Getelli. 2009. Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. *Ecology* 90: 1125-1133.
- Czech, H.A. and K.C. Parsons. 2002. Agricultural wetlands and waterbirds: a review. *Waterbirds* 25 (Special Publication 2): 56-65.
- Cohen, J.E., K. Schoenly, K.L. Heong, H. Justo, G. Arida, A.T. Barrion and J.A. Litsinger. 1994. A food web approach to evaluating the effect of insecticide spraying on insect pest population dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *J. Appl. Ecol.* 31: 747-763.
- Coleman, B.D., M.A. Mares, M.R. Willig and Y.-H. Hsieh. 1982. Randomness, area, and species richness. *Ecology* 63: 1121-1133.

- Colwell, R.K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell, R.K. and J.A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 345: 101-118.
- Colwell, R.K., C.X. Mao and J. Chang. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85: 2717-2727.
- Dolmen, D. and J.O. Solem. 2002. Life history of *Ilybius fenestratus* (Fabricius) (Coleoptera, Dytiscidae) in a Central Norwegian Lake. *Aquat. insects* 24: 199-205.
- Fasola, M., L. Canova and N. Saino. 1996. Rice fields support a large portion of herons breeding in the Mediterranean region. *Colonial Waterbirds* 19: 129-134.
- Gotelli, N.J. and R.K. Colwell. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4: 379-391.
- Han, M.S., J.D. Shin, Y.E. Na, N.J. Lee, M.H. Park and S.G. Kim. 2002. Changes of invertebrate density in rice paddies of different fertilizer managements in demonstration villages of sustainable agriculture. *Kor. J. of Environmental Agriculture* 21: 96-101.
- Ikemoto, T. 1976. A method, using a static quatrat device and a small suction pump, for sampling of the immature stages of mosquitoes in rice field. *Jap. J. Sanit. Zool.* 27: 153-156.
- Ishida, K. 1996. Monograph of Odonata larvae in Japan. Hokkaido university Press, Sapporo, Japan.
- Kandibane, M., S. Raguraman and N.R. Mahadevan. 2007. Diversity and community structure of aquatic arthropods in and irrigated rice ecosystem of Tamil Nadu, India. *Asian J. Plant Sci.* 6: 741-748.
- Krebs, C.J. 1998. *Ecological Methodology* (2ed). Harper and Row, New York, USA.
- Lawler, S.P. and D.A. Dritz. 2005. Straw and winter flooding benefit mosquitoes and other insects in a rice agroecosystem. *Ecol. Appl.* 15: 2052-2059.
- Maeda, T. 2001. Patterns of bird abundance and habitat use in rice fields of the Kanto Plain, central Japan. *Ecol. Res.* 16: 569-585.
- Merritt, R.W., V.H. Resh, and K.W. Cummins. 1996. Collecting, sampling and rearing procedures. pp. 12-28. *In* An introduction to the aquatic insect of North America eds. by R.W. Merritt and K.W. Cummins. Kendall-Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, USA.
- Osawa, S., T. Inoue and T. Katsuno. 2004. Effects of Paddy Field Management during Winter on the Condition of the Aquatic Animals in Valley-bottom Paddy Fields in Spring. *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture* 67: 335-338.
- Park, H.H. and J.H. Lee. 2006. Arthropod trophic relationships in a temperate rice ecosystem: a stable isotope analysis with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. *Environ. Entomol.* 35(3): 684-693.
- Poulin, R. 1998. Comparison of three estimators of species richness in parasite component communities. *J. Parasitol.* 84: 485-490.
- RDA (Rural Development Administration, Korea). 2008. Illustrated aquatic invertebrate fauna in rice paddy ecosystem (revised).
- Richardson, A.J., I.R. Taylor and J.E. Gowns, 2001. The foraging ecology of Egrets in rice fields in southern New South Wales, Australia. *Waterbirds* 24: 255-264.
- Robert, V., G. Le Goff, F. Arley and J. B. Duchemin. 2002. A possible alternative method for collecting mosquito larvae in rice fields. *Malar. J.* 1: 4.
- Schoenly, K.G., J.E. Cohen, K.L. Heong, J.A. Litsinger, G.B. Aquino, A.T. Barrion and G. Arida. 1996. Food web dynamics of irrigated rice fields at five elevations in Luzon, Philippines. *Bull. Entomol. Res.* 86: 451-466.
- Schoenly, K.G., H.D. Justo, Jr., A.T. Barrion, M.K. Harris and D.G. Bottrell. 1998. Analysis of invertebrate biodiversity in a Philippine farmer's irrigated rice field. *Environ. Entomol.* 27: 1125-1136.
- Schoenly, K.G. and I. Domingo. 1999. A modified area sampler for aquatic invertebrate assemblages in flooded rice. *Int. Rice Res. Notes* 24: 38-40.
- Schoenly, K.G. and I. Domingo and A.T. Barrion. 2003. Determining optimal quadrat size for invertebrate communities in agrobiodiversity studies: a case study from tropical irrigated rice. *Environ. Entomol.* 32: 929-938.
- Silver, J.B. 2008. *Mosquito ecology: field sampling methods*. 3rd ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Takahashi, R.M., T. Miura and W.H. Wilder. 1982. A comparison between the area sampler and the two other sampling devices for aquatic fauna in rice fields. *Mosquito News* 42: 211-216.
- Wallace, J.B. and N.H. Anderson. 1996. Habitat, life history, and behavioral adaptations of aquatic insects. pp. 41-73. *In* An introduction to the aquatic insect of North America eds. by R.W. Merritt and K.W. Cummins. Kendall-Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, USA.
- Yokota, H. 2002. The effect of tillage on the population density of small Oligochaeta (Enchytraeidae and Naididae) in paddy field, Japan. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 73: 33-39 (Japanese with english abstract)
- Yoon, I.B. 1995. *Aquatic insects of Korea*. Junghaengsa. Seoul, Korea.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4th ed. Prentice-Hall International. Simon & Schuster Asia Pte Ltd. Singapore.
- Zoran, M.J. and C.D. Drews. 1988. The rapid tail withdrawal reflex of the tubificid worm, *Brunchiura sowerbyi*. *J. Exp. Biol.* 137: 487-500.

Appendix 1. Density, coefficient of variation and frequency of incidence of macroinvertebrates collected by three types of sampler from rice paddies located in Chuncheon (37°56'48.28"N, 127°45'51.50"E) and Hongseong (36°32'44.79"N, 126°41'39.85"E)

Scientific name	Korean name	Number of individuals (m ⁻²)			Coefficient of variation (%)			Frequency of incidence		
		Aqua-tic net	Quad-rat	Core	Aqua-tic net	Quad-rat	Core	Aqua-tic net (n=15)	Quad-rat (n=10)	Core (n=60)
Chuncheon										
Oligochaeta	빈모강	17.6	366.7	796.2	105	61	129	10	10	48
Hirudinea	거머리강	4.5	21.1	94.4	180	140	181	4	5	15
Sphaeriidae	산골조개과	0.0	3.5	118.0	-	316	257	0	1	12
Planorbidae	또아리물달팽이과	149.1	143.9	94.4	88	50	228	14	10	12
<i>Cloeon dipterum</i>	연못하루살이	121.9	154.4	135.6	52	57	180	15	10	17
<i>Ischnura asiatica</i>	아시아실잠자리	22.4	3.5	17.7	107	211	440	10	2	3
<i>Mortonagrion selenion</i>	황등색실잠자리	13.3	0.0	5.9	130	-	775	7	0	1
<i>Indolestes peregrinus</i>	가는실잠자리	24.9	19.3	23.6	106	90	377	11	3	4
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	밀잠자리	2.8	7.0	5.9	207	176	775	3	2	1
<i>Pantala flavescens</i>	된장잠자리	21.3	3.5	0.0	98	211	-	11	2	0
<i>Diplonychus</i> sp.	물자라속	5.0	1.8	0.0	148	306	-	5	1	0
<i>Sigara</i> sp.	왕물벌레속	10.1	17.5	11.8	176	106	543	5	6	2
<i>Gerris</i> sp.	소금쟁이속	0.0	3.5	5.9	-	317	775	0	1	1
<i>Ranatra</i> sp.	게아재비속	0.0	0.0	5.9	-	-	775	0	0	1
Leptoceridae	나비날도래과	5.6	0.0	17.7	127	-	440	6	0	3
<i>Hydaticus grammicus</i>	꼬마줄물방개	0.0	0.0	5.9	-	-	775	0	0	1
Helodidae	알꽃벼룩과	1.1	0.0	0.0	373	-	-	1	0	
Ceratopogonidae	등에모기과	0.9	12.3	0.0	400	135	-	1	4	0
Chaoboridae	털모기과	0.0	1.8	0.0	-	306	-	0	1	0
Chironomidae	깔따구과	812.8	547.4	430.5	76	45	90	15	10	43
<i>Anopheles</i> sp.	얼룩날개모기속	3.5	7.0	11.8	171	130	543	4	4	2
<i>Culex</i> sp.	집모기속	99.6	54.4	23.6	68	165	377	14	4	4
Stratiomyiidae	등에등애과	0.8	0.0	0.0	400	-	-	1	0	0
Tabanidae	등애과	0.0	0.0	5.9	-	-	775	0	0	1
Hongseong										
Oligochaeta	빈모강	99.6	929.8	772.6	111	29	77	13	10	55
Hirudinea	거머리강	16.5	14.0	70.8	112	115	222	10	6	11
Sphaeriidae	산골조개과	10.3	21.1	53.1	129	95	240	7	7	9
Planorbidae	또아리물달팽이과	444.4	421.1	837.5	38	75	80	15	10	54
<i>Cloeon dipterum</i>	연못하루살이	98.0	19.3	47.2	71	157	292	15	4	7
<i>Ischnura asiatica</i>	아시아실잠자리	23.5	5.3	17.7	95	160	440	11	3	3
<i>Paracercion calamorum</i>	등검은실잠자리	0.9	0.0	0.0	400	-	-	1	0	0
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	밀잠자리	1.7	5.3	5.9	271	160	775	2	3	1
<i>Pantala flavescens</i>	된장잠자리	2.7	1.8	0.0	204	306	-	3	1	0
<i>Diplonychus</i> sp.	물자라속	1.7	7.0	0.0	271	176	-	2	3	0
<i>Micronecta</i> sp.	꼬마물벌레속	13.1	12.3	0.0	190	151	-	7	4	0
<i>Sigara</i> sp.	왕물벌레속	98.9	128.1	118.0	89	74	239	15	10	11

Appendix 1. Density, coefficient of variation and frequency of incidence of macroinvertebrates collected by three types of sampler from rice paddies located in Chuncheon (37°56'48.28"N, 127°45'51.50"E) and Hongseong (36°32'44.79"N, 126°41'39.85"E) (Continued)

Scientific name	Korean name	Number of individuals (m ²)			Coefficient of variation (%)			Frequency of incidence		
		Aqua-tic net	Quad-rat	Core	Aqua-tic net	Quad-rat	Core	Aqua-tic net (n=15)	Quad-rat (n=10)	Core (n=60)
Hongseong										
<i>Gerris</i> sp.	소금쟁이속	0.9	0.0	5.9	400	-	775	1	0	1
<i>Pseudovelgia</i> sp.	털개알소금쟁이속	0.8	0.0	0.0	400	-	-	1	0	0
<i>Coelambus chinensis</i>	가는줄물방개	10.2	8.8	17.7	134	105	573	7	5	2
<i>Guignotus japonicus</i>	꼬마물방개	3.0	3.5	0.0	290	211	-	2	2	0
<i>Hydaticus grammicus</i>	꼬마줄물방개	0.0	1.8	0.0	-	-	-	0	1	0
<i>Peltodytes sinensis</i>	중국물진드기	2.8	0.0	0.0	207	-	-	3	0	0
<i>Berosus signaticollis punctipennis</i>	점박이물팽팽이	0.9	0.0	5.9	400	-	775	1	0	1
<i>Enochrus simulans</i>	애넙적물팽팽이	6.5	1.8	29.5	178	-	401	5	1	4
<i>Noterus japonicus</i>	자색물방개	8.0	19.3	23.6	139	-	377	6	4	4
Chironomidae	칼따구과	662.4	889.5	1610.0	80	72	92	15	10	56
<i>Anopheles</i> sp.	얼룩날개모기속	8.1	3.5	17.7	141	211	440	7	2	3
<i>Culex</i> sp.	집모기속	68.7	96.5	70.8	86	85	257	15	10	9
Ephydriidae	물가파리과	0.0	3.5	0.0	-	211	-	0	2	0
Stratiomyiidae	동애등애과	0.9	0.0	0.0	400	-	-	1	0	0
Tabanidae	등애과	0.8	0.0	0.0	400	-	-	1	0	0
Tipulidae	각다귀과	0.0	1.8	0.0	-	306	-	0	1	0