

고도에 따른 제주 습지 수서곤충의 종풍부성 변화 : Rapoport 법칙의 검증

정상배 · 김동순^{1*} · 전형식 · 양경식² · 김원택

제주대학교 자연과학대학 생물학과, ¹제주대학교 생명자원과학대학 생물산업부 식물자원환경전공,
²제주생물종다양성연구소

Species Richness of Aquatic Insects in Wetlands along the Altitudinal Gradient in Jeju, Korea: Test of Rapoport's Rule

Jeong Sang Bae, Kim Dong Soon^{1*}, Jeon Hyeong Sik, Yang Kyoung Sik² and Kim Won Taek

Depart. of Biology, Jeju National University, Jeju 690-756; ¹Faculty of Bioscience and Industry, College of
Agriculture and Life Science, Jeju National University, Jeju 690-756; ²Research Institute for Biodiversity of Jeju,
Seogwipo 699-943, Korea

ABSTRACT: The effect of altitude and latitude on biodiversity (or species richness) has been a topic of great interest for many biogeographers for a long time. This study was conducted to examine the dynamics of species richness of aquatic insects along the altitudinal gradient in 24 wetlands on Mt. Halla, Jeju and test the Rapoport's rule. The species richness of aquatic insects monotonically decreased with increasing altitude, showing a significant inverse correlation ($r = -0.64$). However, the pattern of species richness with altitude showed a hump-shaped relationship, with a peak in species richness at intermediate elevations when the effects of area were removed. The altitudinal range of species tended to increase with increasing altitude, as Rapoport's rule predicts. There was a positive correlation between the altitudinal range size and the midpoint of the range size (Median) except for Hemiptera (Odonata: $r = 0.75$, Hemiptera: $r = -0.22$, Coleoptera: $r = 0.72$, Total: $r = 0.55$). Also, the extent of average altitudinal range of high-altitude species was 904.3m, and it was significantly wider than a 469.5m of low-altitude species. Consequently, the species richness of aquatic insects in wetlands on Mt. Halla along the altitudinal gradient well supported Rapoport's rule.

Key words: Aquatic insects, Wetlands, Altitudinal gradient, Rapoport's rule, Species richness

초 록: 생물다양성(또는 종풍부성)에 미치는 고도 또는 위도 효과는 과거에서부터 현재까지 생물지리학자들의 최대관심사 중 하나라 할 수 있다. 본 연구는 제주도 한라산 24개 습지에 발생하는 수서곤충을 대상으로 고도구배에 따른 출현 종수(종풍부성)의 변화특성을 구명하고 Rapoport의 법칙을 검증하고자 실시하였다. 습지의 면적 효과를 제거하지 않았을 때 해발고도가 증가 할수록 수서곤충 출현 종수는 단조적으로(monotonical) 감소하였고 상관분석결과 통계적으로 유의한 역상관 관계를 보였다($r = -0.64$). 고도와 출현 종수의 관계에서 출현 종수를 면적 대비 표준화하여 면적 효과를 제거한 결과 고도의 증가에 따라 처음에는 출현 종수가 증가하다가 최고점을 지나서는 감소하는 전형적인 고봉형 양상(hump-shaped pattern)을 나타냈다. 각 종의 평균 서식고도(수직분포의 중위값)와 수직서식분포 범위의 관계는 평균 서식고도가 높을수록 분포범위가 증가하는 Rapoport의 법칙을 따랐다. 노린재목을 제외하고 평균 서식고도와 수직분포 범위 간에는 정상관을 보였다(잠자리목: $r = 0.75$, 노린재목: $r = -0.22$, 딱정벌레목: $r = 0.72$, 전체: $r = 0.55$). 또한 상위영역 종은 평균 분포범위가 904.3m로 하위영역 종의 469.5m보다 통계적으로 유의하게 분포범위가 넓었다. 종합적으로 판단할 때 고도별 한라산 습지 수서곤충의 종풍부성 분포는 Rapoport의 법칙에 잘 일치되었다.

검색어: 수서곤충, 습지, 고도구배, Rapoport 법칙, 종풍부성

*Corresponding author: dongsoonkim@jejunu.ac.kr
Received June 23 2010; revised August 26 2010;
accepted September 6 2010

생물종다양성에 미치는 고도 또는 위도 효과는 과거에서부터 현재까지 생물지리학자들의 최대관심사 중 하나라

할 수 있다. Lomolino(2001)는 산지생물지리학(montane biogeography)에서 나타나는 종다양성의 고도구배 현상은 고도에 따른 이용 가능한 면적, 기후구배, 고도에 따른 산지 군집의 격리 특성(즉 인위적 교란, 종형성, 멸종, 이주 등에서 연속변이), 지역군집 간 피드백 등 4가지 요인에 따라 결정된다고 정리하였다. 해발고도에 따른 생물종다양성의 생태적 양상을 설명하는 이론 중 가장 원론적인 것은 고도와 생물 종의 분포범위 간에는 정상관 관계가 성립한다는 이론으로 Rapoport의 법칙(Stevens, 1992) 또는 효과(Blackburn and Gaston, 1996)라 할 수 있다. 이 법칙은 산의 정상과 같이 상위고도에서는 기후 변이가 심하기 때문에 이곳에 서식하는 생물 종은 기후에 대한 내성범위가 커서 넓은 분포범위를 갖는다고 가정한다. 반대로 하위고도 종은 비교적 안정된 기상변이에 적응하기 때문에 기후에 대한 내성범위가 좁아서 분포범위도 좁다. 이와 같이 하위고도 종들은 상위고도에서 생존할 수 없고 주로 서식하는 저위고도에서 각 종들 간 분포범위 중심의 근접성 때문에 고도에 따른 종풍부성은 저위고도에서 높게 나타난다. 결과적으로 고도에 따른 종풍부성은 단조적(monotonic)으로 감소한다.

비록 종풍부성에 미치는 고도의 부정적 효과가 널리 증명(Stevens, 1992; Brown *et al.*, 1996; Lomolino, 2001; Sanders, 2002) 되기는 했더라도 종풍부성 감소의 양상은 여전히 논쟁상태에 있다. 즉 일부 학자들은 고도 증가에 따른 종풍부성은 '단조적 감소(monotonic decrease)'를 보인다고 주장하고(Fernandes and Price, 1988; Stevens, 1992), 다른 한편의 학자들은 고도에 따라 처음 종풍부성이 증가하다가 최고값에 도달 후 감소하는 '고봉형(hump-shaped)' 변동을 주장하고 있다(Colwell and Hurr, 1994; Rahbek, 1997; Fleishman *et al.*, 1998; Sanders, 2002; Chatzaki *et al.*, 2005).

이와 같은 논쟁 속에서 고도에 따른 생물종풍부성의 변화를 설명하기 위한 두 가지 가설이 제시되었다. 즉 '중간영역 효과(mid-domain effect: Colwell and Lees, 2000)' 또는 '추이대 효과(ecotone effect: Lomolino, 2001)'와 '복구효과(rescue effect: Brown and Kodric-Brown, 1977)'이다. 중간영역 효과는 고도구배의 중간영역에서 생물종 서식 범위의 높은 중복으로 인하여 산의 중간 높이에서 종풍부성이 최대로 되는 것을 의미하고, 복구 효과는 고지대에서는 저지대 개체군과 비교했을 때 다른 구역에서부터 분산하여 유입되는 개체들에 의하여 복구되는 개체군의 출현 확률이 감소되는 것을 나타낸다. Stevens(1992)는 Rapoport-rescue 가설을

제안하였다. 이는 넓은 환경 내성 범위를 갖고 있는 고위도 종이 저지대 경계지역으로의 이주로 인하여 종풍부도는 낮은 고도에서 증가한다는 주장이다. 반면 저지대에 정착하고 있는 분류군은 환경내성 범위가 좁아서 분포범위를 위쪽으로 확장할 수 없다.

지금까지 고도에 따른 종풍부성의 양상에 대하여 단조적 감소 또는 증가 후 감소(고봉형) 등 형태의 많은 보고가 있었으나 극소수의 연구자만이 Rapoport의 법칙을 검증하였다(Fleishman *et al.*, 1998; Sanders, 2002). 제주도에 위치한 한라산은 해발고도 1,950m로 아열대에서 아한대까지 뚜렷한 수직적 기후분포를 보이므로 식물이나 동물의 산지 생물지리학 연구의 최적지라 할 수 있다. 하지만, 아직까지 한라산에서 생물 수직분포에 대한 이론적인 해석 연구는 미미하였다. 한라산에는 현무암 화산지형과 관련하여 고도별 다양한 습지가 형성되어 있다. 본 연구에서는 면적 및 고도가 서로 다른 24개 습지에서 수서곤충을 조사하였으며, 고도구배에 따른 출현 종수(종다양성, 종풍부성)의 변화특성을 구명하고 Rapoport의 법칙을 검증하고자 실시하였다.

재료 및 방법

조사장소

본 연구의 조사지역은 습지보전법에 규정된 내륙습지에 해당하는 제주도 지역 정수습지 24곳을 대상으로 하였다. 지역 및 고도별 조사대상 습지를 선정하였으며, 지역적으로는 북동, 북서, 남동, 남서지역에 각각 6개, 해발고도별은 0~100m, 101~200m, 201~300m, 301~500m, 501~1,000m, 1,001m 이상에 각각 4곳이 포함되었다(Fig. 1 with their area in m²).

수서곤충 채집과 분류·동정

수서곤충 조사는 2004년부터 2008년 기간 동안 습지당 3회 실시하였다(본 연구에서는 수서곤충의 존재유무에 초점을 맞추고 있으므로 세부조사 기록을 제시하지 않았음; 조사일자 Fig. 1 참조). 수서곤충 채집은 채집망(지름 500mm, 눈금크기 0.25mm, 길이 1.2m)을 이용하여 습지경계면의 약간 안쪽에서 물속 바닥을 긁어서 실시하였다(Southwood, 1978). 조사시기마다 습지별 총 10군데 지점에서 각각 약 5m 길이로 바닥을 긁어서 채집하였다(총 소요시간 약 1시간). 채집된 표본은 실험실로 가져와서 70% 에칠알코올에 3일 동안 담갔다가 꺼내어 세척액(95% 에칠알코

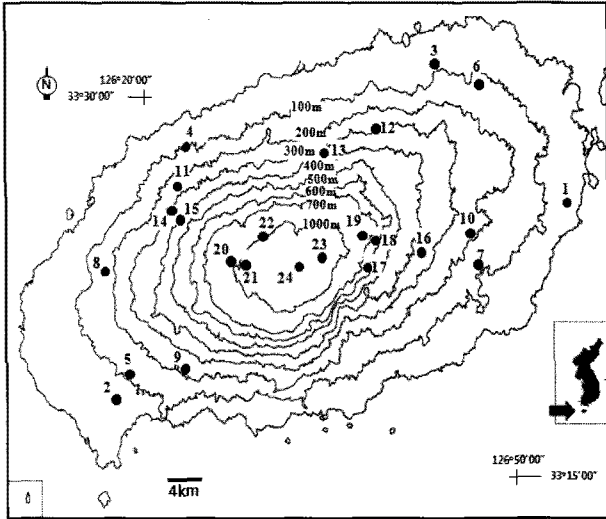


Fig. 1. Map of the altitudinal distribution of wetlands in Jeju surveyed in this study. The name of each wetland with the information of altitude (m) and area (m²) in parenthesis, and dates surveyed [Month/Day/Year]: 1 = Honingi (36, 1,500) [8/24/04, 4/28/05, 6/25/07]; 2 = Suweollimot (63, 3,500) [8/31/04, 6/6/05, 6/12/07]; 3 = Dongbaekdongsanmot (90, 500) [8/1/04, 4/9/05, 5/11/08]; 4 = Eouksaemimot (99, 100) [8/10/04, 7/31/05, 5/13/07]; 5 = Darinonmul (102, 900) [8/31/04, 6/13/05, 7/21/08]; 6 = Mosanimul (125, 2,500) [9/17/04, 5/23/05, 6/17/05]; 7 = Sanmultongmot (140, 330) [3/6/04, 9/17/04, 5/12/05]; 8 = Gangjeongmot (142, 550) [8/23/04, 5/19/05, 7/31/05]; 9 = Seonggumot (201, 1,000) [6/1/05, 5/2/07, 5/12/07]; 10 = Dadorimot (209, 600) [3/6/04, 9/7/04, 5/12/05]; 11 = Geolwallimot (255, 800) [5/22/04, 10/24/04, 8/27/05]; 12 = Goedreumot (300, 100) [9/1/04, 5/21/05, 7/31/05]; 13 = Myeongdoammot (310, 450) [4/24/04, 8/22/05, 5/28/07]; 14 = Jeongmul (357, 250) [8/20/04, 4/5/05, 8/6/06]; 15 = Wonmul (362, 600) [8/29/04, 6/6/05, 8/23/07]; 16 = Mulyeongari (464, 2500) [8/7/04, 10/1/07, 7/13/08]; 17 = Dongsuak (679, 3,675) [8/17/07, 7/15/08, 9/24/08]; 18 = Mulchatoreum (695, 5,000) [8/17/07, 5/8/07, 7/9/08]; 19 = Muljangol (900, 12,270) [9/11/06, 5/8/07, 6/15/08]; 20 = Sumeunmulbaengdi (996, 4,000) [7/10/07, 7/19/07, 7/9/08]; 21 = 1100 wetland (1,100, 18,786) [7/19/06, 5/1/07, 7/19/07]; 22 = Eoseungsaengak (1,130, 2,419) [5/8/07, 9/13/07, 7/8/08]; 23 = Saraak (1,306, 10,690) [5/15/07, 5/17/07, 8/17/08]; 24 = Baengnokdam (1,841, 11,637) [7/13/07, 7/31/07, 7/31/08].

을 54 ml, 증류수 44 ml, 벤젠 7 ml, 에칠 아세테이트 19 ml)으로 세척한 후 건조시켜서 현미경(SOMETECHVISION, ICS-3058)을 이용 동정하였으며, 해당 표본은 제주대학교 생물학과 표본실에 보관되어 있다. 수서곤충의 목록 및 분류 동정은 Yoon(1995)과 한국곤충학회와 한국응용곤충학회 (Anonymous, 1994)에 따랐으며, 필요한 경우 농촌진흥청 (RDA, 2008), Won *et al.*(2005), Asahino *et al.*(1973),

Takehiko *et al.*(2007), Kawai(2005), Ueno *et al.*(1985) 등도 참고하였다.

고도와 출현 종수(총 종수) 관계 : Rapoport 법칙의 적용과 검정

고도에 따른 출현 종수 변화 분석 : 고도에 따른 출현 종수의 대략적인 변화를 판단하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 즉 각 습지의 고도와 그 습지에서 발견된 총 종수(종 풍부성으로 표기함)를 한 쌍으로 서로 대응하는 변량을 구성하였다. 정상관인 경우는 고도에 따라 종수가 증가하는 것으로 그리고 역상관인 경우는 고도가 증가할수록 종수가 감소하는 것으로 판단하였다.

출현 종수는 서식처 면적에 따라 다소 영향을 받을 수 있기 때문에 면적효과를 제거하고 고도와 출현 종수 관계를 분석하였다. 즉 식 (1)과 같이 고도별 총 출현종수 자료를 면적대비 수치로 표준화시켰다.

$$(S_i/A_i) \times 100 \tag{1}$$

여기서, S_i는 i번째 습지에 출현하는 총 종수, A_i는 i번째 습지의 면적을 의미한다.

이렇게 변환된 출현 종수를 종속변량으로 취하고, 대응하는 고도를 독립변량으로 하여 아래 비선형모형식 식 (2)에 적합 시켰다.

$$f(x) = a \cdot \exp \left[1 + \frac{b-x}{k} - \exp \left(\frac{b-x}{k} \right) \right] \tag{2}$$

여기서, f(x) = 고도 x에서 출현 종수, a = 출현 종수의 최대값(즉, 고도 b에서 출현 종수), b : 최대 출현 종수를 보이는 고도, k = 매개변수를 나타낸다. 식 2는 독립변량 값이 증가함에 따라 처음에는 종속변량 값이 증가하여 최고점에 도달하고 그 후에는 감소하는 비선형 곡선을 나타내는 수식으로 고도에 따른 출현종수 변화가 ‘고봉 모양(hump-shaped)’을 갖는지 검토하기 위하여 이용하였으며, TableCurve 프로그램 수식목록에서 최적모형을 선택하였다(Jandel Scientific, 1996). 각 매개변수는 TableCurve 프로그램을 이용하여 추정하였다(Jandel Scientific, 1996). 모형 적합과정에서 비정상적 수치가 통계적 수렴(convergence)을 방해하였으므로 분석에서 제거하였다(습지 4 및 12).

고도별 분포범위 분석 : 발견된 총 92종의 수서곤충(Appendix 1)에 대하여 고도별 수직분포 범위를 분석하였다. 즉 어떤 종이 발견된 습지들의 고도 자료를 이용 중앙값

을 추정하여 평균 서식고도로 간주하였으며, 발견된 최대고도와 최소고도의 차이를 수직분포 범위로 취급하였다. 평균 서식고도와 수직분포 범위 간 상관분석을 실시하여 상호 관련성을 분석하였다. 또한 추가로 분류군별 양상을 파악하기 위하여 잠자리목, 딱정벌레목, 노린재목을 서로 분리하여 분석하였다. 단 1개 습지에서 발견된 종은 수직분포 범위를 계산할 수 없었기 때문에 분석에서 제외하였다.

평균서식고도 위치에 따른 수서곤충 종의 수직분포범위 크기를 비교하기 위하여 식 (2)에서 추정한 최대 출현 종수를 보이는 고도(매개변수 b)에서 표준오차 범위 이상 고도(305.5m)에 속한 종을 상위고도 영역 중, 표준오차 범위 이하 고도(211.9m)에 속한 종을 하위고도 영역 종으로 구분하였다. 각 해당 영역에 속한 종의 수직분포범위 크기의 통계적 차이 유무를 T-검정을 이용 분석하였다. 이 분석은 하위영역 종의 분포범위가 좁고 반면 상위영역 종의 분포범위가 넓다는 Rapoport 법칙을 검증하고자 실시하였다. 즉 상위고도 영역 종의 분포범위가 하위고도 영역 종의 분포범위 보다 통계적으로 유의하게 크다면 이 가설은 수락된다.

결 과

고도에 따른 출현 종수 변화

제주도 한라산의 다양한 고도에 위치한 24개 습지에서 총 7목 31과 68속 92종의 수서곤충이 발견되었다(Appendix 1). 해발고도가 증가 할수록 출현 종수가 단조적으로 (monotonic) 감소하였으며, 상관분석결과 통계적으로 유의한 역상관 관계를 보였다(Fig. 2: $r = -0.64, P < 0.001$).

고도와 출현 종수의 관계에서 출현 종수를 면적 대비

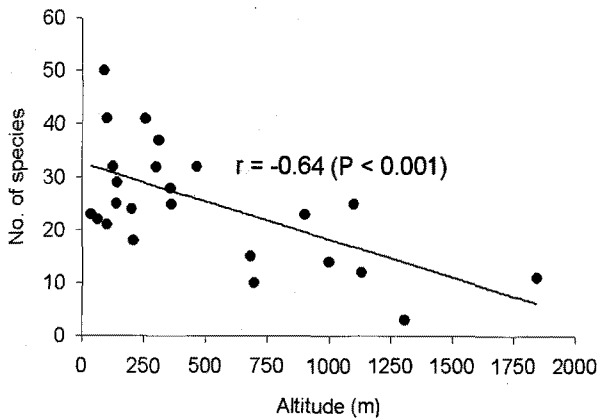


Fig. 2. The relationship between species richness and altitude in 24 wetlands in Jeju.

표준화하여 면적 효과를 제거한 결과 Fig. 3과 같이 전형적인 고봉형 양상(hump-shaped pattern)을 나타냈다. 즉 고도의 증가에 따라 처음에는 출현 종수가 증가하다가 최고 종수를 보이는 고도를 지나서는 급격히 감소했다. 모든 분류군을 포함하여 분석한 결과(Fig. 3A) 고도에 따른 종수 변화는 식 (2)에 유의하게 적합 되었으며($R^2 = 0.94; F = 167.7; df = 2, 21; P < 0.001$), 최대의 종수가 출현하는 고도는 $258.7 \pm 46.77m$ (즉, 매개변수 $b \pm SE$)로 추정되었다 (기타 매개변수 추정 값: $a = 6.0 \pm 1.13, k = 183.9 \pm 58.90$). 본 조사의 수서곤충 군집에서 주요 분류군인 잠자리목(Fig. 3B), 딱정벌레목(Fig. 3C), 노린재목(Fig. 3D)을 각각 분리

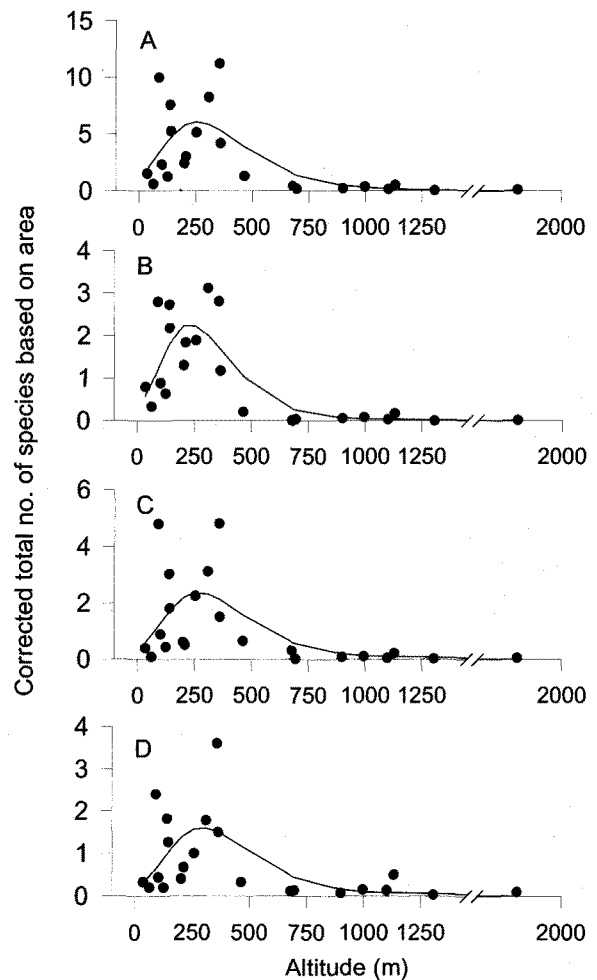


Fig. 3. The relationship between species richness corrected by the area of each wetland and the altitude of wetlands. A = total taxon, B = Odonata, C = Coleoptera, and D = Hemiptera. The equation 2, $f(x) = a \cdot \exp[1 + (b-x)/k - \exp[(b-x)/k]]$, was applied. The corrected species richness was obtained by $(S_i/A_i) \times 100$; where S_i is the total number of species at i th wetland and A_i is the total area of i th wetland.

하여 식 2에 적용시킨 결과 모두 높은 적합도를 보였다(잠자리목 : $R^2 = 0.97$; $F = 394.2$, 딱정벌레목 : $R^2 = 0.92$; $F = 122.3$, 노린재목 : $R^2 = 0.85$; $F = 58.9$, 모든 경우 $df = 2, 21$ 및 $P < 0.001$). 또한 추정된 매개변수 \pm SE 값은 잠자리목 $a = 2.3 \pm 0.30$, $b = 228.8 \pm 27.03$, $k = 149.5 \pm 29.30$, 딱정벌레목 $a = 2.4 \pm 0.52$, $b = 270.8 \pm 58.80$, $k = 181.7 \pm 60.96$, 노린재목 $a = 1.6 \pm 0.32$, $b = 293.4 \pm 55.28$, $k = 185.8 \pm 55.50$ 등 이었다.

고도별 분포범위 : Rapoport 법칙의 적용과 검증

고도에 따른 각 종의 분포범위는 Fig. 4와 같았다. 낮은 고도범위에서만 발생하는 종, 낮은 고도에서부터 높은 고도까지 폭 넓게 분포하는 종, 그리고 높은 고도에서만 제한적으로 출현하는 종 등 다양한 분포범위를 보여주었다. 예를 들면 방울실잠자리(Species no. 6)는 하위고도 영역 즉 211.9 m(표준오차 하한선) 이하에서만 분포범위를 보였으며, 왕잠자리(Species no. 9)는 낮은 고도에서부터 높은 고도까지 폭 넓게 분포하였고, 제주애기물방개(Species no. 61)는 상위고도 영역 즉 305.5m(표준오차 상한선) 이상에서만 분포하였다.

각 종의 평균 서식고도(수직분포의 중위값)와 수직분포 범위와의 관계는 Fig. 5와 같았다. 모든 종을 합하여 분석한 경우 평균 서식고도가 높을수록 분포범위가 증가하는 정상관을 보였다($r = 0.55$, $P < 0.01$). 잠자리목에 속한 종들의 평균 서식고도와 수직분포 범위는 거의 고위정상관을 나타냈으며($r = 0.75$, $P < 0.01$), 평균 서식위치가 약 400 m 이하인 것으로 분석되었다. 노린재목에 속한 종의 경우는

두 변량 간 상관관계가 인정되지 않았다($r = -0.20$, $P < 0.8745$). 딱정벌레목에 속한 종의 경우는 평균 서식고도가 하위고도에서부터 상위고도까지 폭 넓게 분포하였으며 평균 서식고도 증가에 따라 수직분포 범위가 증가하는 높은 정상관 관계를 보였다($r = 0.72$, $P < 0.01$).

상위고도에 속한 종의 분포범위와 하위고도에 속한 종의 분포범위의 크기를 500m 범위로 분류하여 정리한 결과 Table 1과 같았다(하위영역 중 39종, 상위영역 중 25종). 상위고도 영역 종으로 분류된 곤충의 경우 1,500m 이상의 넓은 분포범위를 갖는 종이 24.0%를 차지하였으나, 하위고도 영역 종은 단 2.6% 만이 포함되었다. 대부분의 하위영역 종은 500m 이하의 분포범위를 보였다(71.8%). 전체적으로 보았을 때 상위영역 종은 평균 분포범위가 904.3m로 하위영역 종의 469.5m보다 통계적으로 유의하게 분포범위가 넓었다(Fig. 6, $T = 3.81$; $df = 62$; $P < 0.001$).

고 찰

서론에서 기술한 바와 같이 고도에 따른 생물종다양성의 분포는 단조적으로 감소한다는 보고와 비단조적 변동(즉, Hump-shaped)을 보인다는 주장 간에 많은 논쟁이 있다. 본 연구에서는 면적효과를 제거하지 않은 단순 비교에서는 단조적 감소를 보였으나 면적효과를 제거한 경우 전형적인 고봉형 변동을 나타냈다. Rahbek(1997)은 신열대 조류 풍부성의 경우 면적효과를 고려하지 않는 경우 고도에 따라 단조적으로 증가하였으나, 고도효과를 제거한 경우 중위고도에서 종풍부성이 고봉을 나타낸다고 보고하였다. 반면,

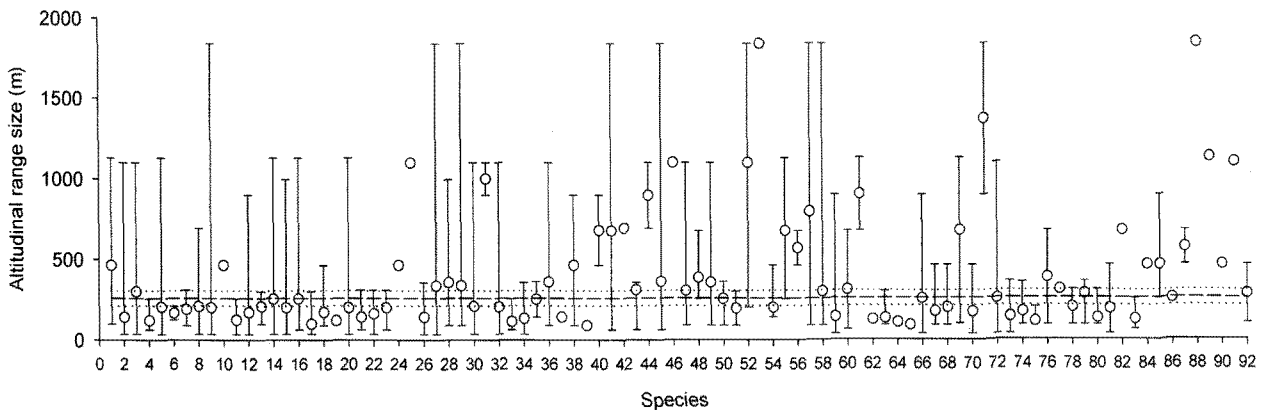


Fig. 4. Altitudinal habitat range (vertical bars) of each species of quatic insects along the altitudinal gradient in Jeju. Open circles indicate the median habitat altitudes of each species found. Also, the horizontal dashed line and dotted lines indicate the altitude of peak species richness and its standard error, respectively, which was estimated using the equation 2 (see estimated parameter 'a' in Fig. 3A). The scientific name of species are listed in Appendix 1.

Table 1. Median altitude and altitudinal range of each species of aquatic insects according to the category of range

| Range < 500m | | 500m ≤ Range < 1,000m | | 1,000m ≤ Range < 1,500m | | 1,500m ≤ Range < 2,000m | |
|--|--------------|--|--------------|---|--------------|--|---------------|
| Species | Median Range | Species | Median Range | Species | Median Range | Species | Median Range |
| Species with median altitude > 305.5m (High-altitudinal species) | | | | | | | |
| <i>Microvelia horvathi</i> Lundbald 호르바르트개알소금쟁이 | 682.0 436.0 | <i>Micronecta (Basilionecta) sedula</i> Horvath 꼬마물벌레 | 357.0 906.0 | <i>Cloeon dipterum</i> (Linne) 연못하루살이 | 464.0 1031.0 | <i>Sigara (Tropocorixa) substriata</i> (Uhler) 방물벌레 | 336.0 1805.0 |
| <i>Gerris gracilicornis</i> (Horvath) 등빨간소금쟁이 | 310.0 294.0 | <i>Hydrometra okinawana</i> Drake 제주실소금쟁이 | 464.0 810.0 | <i>Anisops kuroiwaie</i> Matsumura 남쪽애송장해엄치개 | 1000.0 200.0 | <i>Notonecta (Paranecta) trigutata</i> Motschulsky 송장해엄치개 | 336.0 1751.0 |
| <i>G. (Gerriselloides) nepalensis</i> Distant 옛소금쟁이 | 897.5 405.0 | <i>Copelatus japonicus</i> Sharp 섬등줄물방개 | 679.0 875.0 | <i>Nepa hoffmanni</i> Esaki 매추리장구애비 | 359.5 1010.0 | <i>Aquaris paludumludum</i> (Fabricius) 소금쟁이 | 679.0 1778.0 |
| <i>Laccophilus kobensis</i> Sharp 동쪽개알물방개 | 387.0 424.0 | <i>Rhantus (Rhantus) pulverosus</i> (Stephens) 애기물방개 | 310.0 616.0 | <i>Laccophilus lewisius</i> Sharp 무늬개알물방개 | 357.0 1010.0 | <i>G. (Gerris) latibdominis</i> Miyamoto 애소금쟁이 | 362.0 1778.0 |
| <i>Copelatus zimmermanni</i> (Gschwendtner) 맴시등줄물방개 | 571.5 215.0 | <i>Gyrinus (Gyrinus) japonicusfrancki</i> Ochs 물맴이 | 1370.5 941.0 | <i>Noterus japonicus</i> Sharp 자색물방개 | 679.0 1031.0 | <i>Guignotus japonicus</i> (Sharp) 꼬마물방개 | 1100.0 1640.0 |
| <i>Rhantus (Rhantus) yessoensis</i> Sharp 제주애기물방개 | 904.5 451.0 | <i>Laccobius (Laccobius) bedeli</i> Sharp 점물맴애미 | 384.5 589.0 | | | <i>Agabus japonicus</i> Sharp 땅콩물방개 | 797.5 1751.0 |
| <i>Helodes</i> sp. 알꽃벼룩 sp. | 571.5 215.0 | <i>Galerucella nipponensis</i> Laboissiere 일본일벌레 | 464.0 645.0 | | | | |
| Species with median altitude < 211.9m (Low-altitudinal species) | | | | | | | |
| <i>Ceragrion auranticum</i> Fraeser 새노란실잠자리 | 121.0 192.0 | <i>Anax nigrofasciatus</i> Oguma 먹줄왕잠자리 | 209.0 659.0 | <i>Cercion hieroglyphicum</i> (Brauer) 등줄실잠자리 | 141.0 1064.0 | <i>Anax parthenope</i> Selys 왕잠자리 | 201.0 1805.5 |
| <i>Platycnemis phillopoda</i> Djakonov 방울실잠자리 | 167.0 84.0 | <i>Crocothemis servilia</i> (Drury) 고추잠자리 | 171.5 864.0 | <i>Ischnura asiatica</i> (Brauer) 아시아실잠자리 | 205.0 1094.0 | | |
| <i>Indolestes gracilis</i> (Hagen) 가는실잠자리 | 190.0 220.0 | <i>Orthetrum albistylum</i> (Selys) 밀잠자리 | 201.0 960.0 | <i>S. depressiusculum</i> (Selys) 고추좀잠자리 | 201.0 1094.0 | | |
| <i>Epophthalmia elegans</i> (Brauer) 산잠자리 | 125.0 219.0 | <i>Ilybius apicalis</i> Sharp 모래무지물방개 | 141.0 864.0 | <i>Anisops ogasawarensis</i> Matsumura 애송장해엄치개 | 209.0 1064.0 | | |
| <i>Deilelia phaon</i> (Selys) 밀잠자리붙이 | 209.0 201.0 | <i>Crocothemis servilia</i> (Drury) 고추잠자리 | 171.5 864.0 | <i>Plea (Paraplea) indistinguenda</i> Matsumura 꼬마등글물벌레 | 205.0 1064.0 | | |
| <i>Pantala flavescens</i> (Fabricius) 된장잠자리 | 99.0 264.0 | Range < 500m | | | | | |
| <i>Pseudothemis zonata</i> (Burmeister) 노란허리잠자리 | 171.5 374.0 | <i>Amphiops mater</i> Sharp 알물맴애미 | 190.0 428.0 | <i>Hydrophilus accuminatus</i> Motschulsky 물맴애미 | 199.5 220.0 | <i>Haliphys (Liaphlus) simplex</i> Clark 알락물진드기 | 171.5 267.0 |
| <i>Sympetrum croceolum</i> (Selys) 노란잠자리 | 120.5 43.0 | <i>Regimbartia attenuata</i> (Fabricius) 콩알물맴애미 | 125.0 192.0 | <i>Sternolophus (Sternolophus) rufipes</i> Fabricius 애물맴애미 | 132.5 220.0 | <i>H. (Liaphlus) eximius</i> Clark 큰물진드기 | 112.0 111.0 |
| <i>Sympetrum eroticum</i> (Selys) 두점박이좀잠자리 | 142.0 247.0 | <i>Canthydrus politus</i> (Sharp) 노랑띠물방개 | 171.5 428.0 | <i>Cybister (Meganectes) brevis</i> Aube 검정물방개 | 174.5 374.0 | <i>Hydaticus (Hydaticus) bowringi</i> Clark 출무늬물방개 | 132.5 210.0 |
| <i>S. kunkeli</i> (Selys) 흰얼굴좀잠자리 | 163.0 274.0 | <i>Peltodytes sinensis</i> (Hope) 중국물진드기 | 142.0 326.0 | <i>C. (Cybister) japonicus</i> Sharp 물방개 | 198.5 374.0 | <i>H. (Hydaticus) grammicus</i> Germar 꼬마줄물방개 | 107.5 35.0 |
| <i>S. speciosum</i> Oguma 하나잠자리 | 201.0 247.0 | <i>Hydrovatus subtilis</i> Sharp 점물물방개 | 201.0 322.0 | <i>Clypeodytes frontalis</i> (Sharp) 머리테물방개 | 195.0 210.0 | <i>Lethocerus deyrollei</i> (Vuillefroy) 물장군 | 132.5 321.0 |
| <i>Hesperocorixa distanti</i> (Kirkaldy) 물벌레 | 142.0 321.0 | <i>Diplonychus esakii</i> Miyamoto and Lee 각시물자리 | 113.5 192.0 | | | | |

Appendix 1. List of aquatic insect species found in wetlands, Jeju

| No. | Species | Wetlands found (see Fig. 1) | No. | Species | Wetlands found (see Fig. 1) |
|-----|---|--------------------------------------|-----|--|-------------------------------------|
| 1 | <i>Cloeon dipterum</i> (Linne) 연못하루살이 | 4, 9, 13, 16, 20-22 | 30 | <i>Anisops ogasawarensis</i> Matsumura 애송장혜엄치개 | 1-5, 7-12, 14-16, 19-21 |
| 2 | <i>Cercion hieroglyphicum</i> (Brauer) 등줄실잠자리 | 1-9, 11-14, 21 | 31 | <i>A. kuroiwae</i> Matsumura 남쪽애송장혜엄치개 | 19, 21 |
| 3 | <i>Ceragrion melanurum</i> (Selys) 노란실잠자리 | 1, 3, 6, 7, 10, 12, 13, 16, 19-21 | 32 | <i>Plea (Paraplea) indistinguenda</i> Matsumura 꼬마등글물벌레 | 1-5, 7-16, 21 |
| 4 | <i>C. auranticum</i> Fraeser 새노란실잠자리 | 2, 4, 5, 7, 9, 11 | 33 | <i>Diplonychus esakii</i> Miyamoto and Lee 각시물자라 | 2-8, 11 |
| 5 | <i>Ischnura asiatica</i> (Brauer) 아시아실잠자리 | 1-5, 19, 21, 22 | 34 | <i>Lethocerus deyrollei</i> (Vuillefroy) 물장군 | 1-3, 6, 7, 10, 11, 14 |
| 6 | <i>Platycnemis phillopoda</i> Djakonov 방울실잠자리 | 6, 10 | 35 | <i>Laccotrephes japonensis</i> Scott 장구애비 | 8, 15 |
| 7 | <i>Indolestes gracilis</i> (Hagen) 가는실잠자리 | 3, 6, 11, 13 | 36 | <i>Nepa hoffmanni</i> Esaki 매추리장구애비 | 3, 4, 11, 14, 15, 17, 18, 21 |
| 8 | <i>Anax nigrofasciatus</i> Oguma 먹줄왕잠자리 | 1-4, 6, 10-13, 15, 18 | 37 | <i>Mesovelia oreinetalis</i> Kirkaldy 물노린재 | 8 |
| 9 | <i>A. parthenope</i> Selys 왕잠자리 | 1-15, 19, 24 | 38 | <i>Hydrometra okinawana</i> Drake 제주실소금쟁이 | 9, 16, 19 |
| 10 | <i>Gynacantha japonica</i> Barteneff 잘록허리왕잠자리 | 16 | 39 | <i>Microvelia douglasi</i> Scott 긴깨알소금쟁이 | 3 |
| 11 | <i>Epophthalmia elegans</i> (Brauer) 산잠자리 | 1, 6, 11 | 40 | <i>M. horvathi</i> Lundbald 호르바드깨알소금쟁이 | 16, 19 |
| 12 | <i>Crocothemis servilia</i> (Drury) 고추잠자리 | 1-15, 19 | 41 | <i>Aquaris paludum ludum</i> (Fabricius) 소금쟁이 | 2, 9, 13-22, 24 |
| 13 | <i>Deilelia phaon</i> (Selys) 밀잠자리붙이 | 4, 7, 10-12 | 42 | <i>A. elongatus</i> (Uhler) 왕소금쟁이 | 18 |
| 14 | <i>Lyriothemis pachygastra</i> (Selys) 배치래잠자리 | 1-6, 8-16, 19-22 | 43 | <i>Gerris gracilicornis</i> (Horvath) 등빨간소금쟁이 | 2, 13, 14 |
| 15 | <i>Orthetrum albistylum</i> (Selys) 밀잠자리 | 1-15, 19-20 | 44 | <i>G. (Gerriselloides) nepalensis</i> Distant 엿소금쟁이 | 18, 21 |
| 16 | <i>O. melania</i> Selys 큰밀잠자리 | 2, 3, 6, 9, 11-13, 18, 22 | 45 | <i>G. (Gerris) latiabdominis</i> Miyamoto 애소금쟁이 | 2-6, 13-21, 24 |
| 17 | <i>Pantala flavescens</i> (Fabricius) 된장잠자리 | 1, 2, 4, 8, 12 | 46 | <i>Corallocoris</i> sp. | 21 |
| 18 | <i>Pseudothemis zonata</i> (Burmeister) 노란허리잠자리 | 3, 4, 6, 8, 9, 12, 15, 16 | 47 | <i>Laccophilus difficilis</i> Sharp 깨알물방개 | 3-5, 8, 12-15, 19, 21, 24 |
| 19 | <i>Sympetrum croceolum</i> (Selys) 노란잠자리 | 4, 8 | 48 | <i>L. kobensis</i> Sharp 동쪽깨알물방개 | 11, 13, 16, 17 |
| 20 | <i>S. depressiusculum</i> (Selys) 고추잠자리 | 1, 3, 4, 6-11, 13, 14, 21, 22 | 49 | <i>L. lewisius</i> Sharp 무늬깨알물방개 | 3-5, 12-17, 20, 21 |
| 21 | <i>S. eroticum</i> (Selys) 두점박이잠자리 | 2-6, 8-13 | 50 | <i>Hyphydrus japonicus</i> Sharp 알물방개 | 3, 4, 8, 11, 12, 14, 15 |
| 22 | <i>S. kunkeli</i> (Selys) 흰얼굴잠자리 | 1, 3, 6, 9, 11, 12 | 51 | <i>Clypeodytes frontalis</i> (Sharp) 머리테물방개 | 3, 12 |
| 23 | <i>S. speciosum</i> Oguma 하나잠자리 | 2, 4, 8, 9, 11-13 | 52 | <i>Guignotus japonicus</i> (Sharp) 꼬마물방개 | 9, 17, 20-24 |
| 24 | <i>S. infuscatum</i> (Selys) 깃동잠자리 | 16 | 53 | <i>Oreodytes kanoi</i> Kamiya 동해물방개 | 24 |
| 25 | <i>Nemoura</i> Kub 민강도래 | 21 | 54 | <i>Hydrovatus subtilis</i> Sharp 점물물방개 | 8, 9, 16 |
| 26 | <i>Hesperocorixa distanti</i> (Kirkaldy) 물벌레 | 1, 3, 4, 7, 8, 11-14 | 55 | <i>Copelatus japonicus</i> Sharp 섬등줄물방개 | 11, 16, 17, 19, 22 |
| 27 | <i>Sigara (Tropocorixa) substriata</i> (Uhler) 방물벌레 | 1, 3, 4, 6, 8, 10-13-15-21, 24 | 56 | <i>C. zimmermanni</i> (Gschwendtner) 맬시등줄물방개 | 16, 17 |
| 28 | <i>Micronecta (Basilionecta) sedula</i> Horvath 꼬마물벌레 | 3, 6, 13-16- 20 | 57 | <i>Agabus japonicus</i> Sharp 땅콩물방개 | 3, 4, 7, 12, 13, 18-24 |
| 29 | <i>N. otonecta (Paranecta) triguttata</i> Motschulsky 송장혜엄치개 | 3, 4, 7, 9, 11, 13, 15, 18-21, 24 | 58 | <i>A. browni</i> Kamiya 큰땅콩물방개 | 3, 4, 6-8, 11-14, 16, 19, 21, 24 |

Appendix 1. List of aquatic insect species found in wetlands, Jeju (Continued)

| No. Species | Wetlands found (see Fig. 1) | No. Species | Wetlands found (see Fig. 1) |
|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| 59 <i>Ilybius apicalis</i> Sharp 모래무지물방개 | 1, 3, 4, 6-8, 11-13, 19 | 76 <i>Laccobius (Laccobius) bedeli</i> Sharp 점물땡땡이 | 3, 17 |
| 60 <i>Rhantus (Rhantus) pulverosus</i> (Stephens) 애기물방개 | 2, 3, 13, 15, 17 | 77 <i>Enochrus (Lumetus) uniformis</i> Sharp 한일넓적물땡땡이 | 13 |
| 61 <i>R. (Rhantus) yessoensis</i> Sharp 제주애기물방개 | 17, 22 | 78 <i>Hydrophilus accuminatus</i> Motschulsky 물땡땡이 | 3, 4, 12, 13 |
| 62 <i>Eretes sticticus</i> (Linnaeus) 갯빛물방개 | 6 | 79 <i>Hydrochara affinis</i> (Sharp) 잔물땡땡이 | 3, 4, 11, 13-15 |
| 63 <i>Hydaticus (Hydaticus) bowringi</i> Clark 줄무늬물방개 | 3, 6, 7, 12 | 80 <i>Sternolophus (Sternologphus) rufipes</i> Fabricius 애물땡땡이 | 3, 4, 6, 7, 11, 13 |
| 64 <i>H. (Hydaticus) grammicus</i> Germar 꼬마줄물방개 | 3, 6 | 81 <i>Amphips mater</i> Sharp 알물땡땡이 | 1, 2, 4-6, 11, 13-16 |
| 65 <i>H. (Guignotites) pacificus</i> Aube 큰알라물방개 | 3 | 82 <i>Berosus (Berosus) japonicus</i> Sharp 새가슴물땡땡이 | 17 |
| 66 <i>Graphoderus adamsii</i> (Clark) 아담스물방개 | 1, 3, 4, 11, 14, 16, 19 | 83 <i>Regimbartia attenuata</i> (Fabricius) 콩알물땡땡이 | 2, 3, 5-8, 11 |
| 67 <i>Cybister (Meganectes) brevis</i> Aube 검정물방개 | 3-5, 7, 10-12, 16 | 84 <i>Hydrochus japonicus</i> Sharp | 16 |
| 68 <i>C. (Cybister) japonicus</i> Sharp 물방개 | 3, 8, 11, 16 | 85 <i>Galerucella nipponensis</i> Laboissiere 일본잎벌레 | 11, 16, 19 |
| 69 <i>Noterus japonicus</i> Sharp 자색물방개 | 4, 14-17, 19-22 | 86 <i>Galerucella</i> sp. | 11 |
| 70 <i>Canthydrus politus</i> (Sharp) 노랑띠물방개 | 1, 3-5, 7-11, 14-16 | 87 <i>Helodes</i> sp. 알꽃벼룩 sp. | 16, 17 |
| 71 <i>Gyrinus (Gyrinus) japonicusfrancki</i> Ochs 물맴이 | 19, 24 | 88 <i>Apatania</i> KUb 우묵날도래 KUb | 24 |
| 72 <i>G. (Gyrinus) gestroi</i> Regimbart 참물맴이 | 1, 3, 6, 7, 10-14, 16, 21 | 89 <i>Semblis phalaenoides</i> (Linne) 굴뚝날도래 | 22 |
| 73 <i>Peltodytes sinensis</i> (Hope) 중국물진드기 | 1, 3-9, 11-15 | 90 <i>Mystacides</i> Kua 청나비날도래 | 16 |
| 74 <i>Haliphys (Liaphlus) simplex</i> Clark 알라물진드기 | 2-5, 8, 9, 11, 12, 14 | 91 <i>Tipura</i> sp. | 21 |
| 75 <i>H. (Liaphlus) eximius</i> Clark 큰물진드기 | 3, 4, 6, 9 | 92 <i>Chrinomus</i> sp. | 5, 16 |

영국 지역 고사리에 발생하는 식식성 곤충군집에서는 면적 효과를 제거한 경우 오히려 고도와 출현 종수 간 일정한 관련성이 없었다는 상반된 보고도 있다(Lawton *et al.*, 1987).

이러한 종풍부성의 변동은 고도에 따른 생태계의 변이와 관련지어 자주 설명되고 있다. 즉 Lawton *et al.*(1987)은 생물풍부성에 영향을 미치는 고도의 효과는 (1) 고도에 따른 생산력 감소, (2) 전체 서식 면적감소, (3) 자원의 다양성 감소, (4) 높은 고도에서 우세한 기상환경의 비예측성 및 가혹성 등에 기인한다고 하였다. 이 중 온도는 수서곤충의 종다양성, 분포, 풍부도 결정에 가장 주요한 요인으로 취급되었다(Reviewed in Ward and Stanford, 1982). 물론 Hogg and Williams(1996)는 우수 온도를 2~3.5°C 증가시켰을 때 정상온도 조건과 비교하여 무척추수서동물의 종풍부성은 통계적으로 증가하지는 않았다는 정량적 결과를 보고하

기는 하였으나 단기간에 거친 결과이기 때문에 장기간에 걸쳐 형성되는 생물군집을 설명하기에는 부족하다고 생각된다. 온도와 같은 기상환경은 고도의 증가에 따라 감소되는 것이 당연하고 한라산의 경우 기후요소의 수직분포가 뚜렷하기 때문에 수서곤충 종풍부성에 지대한 영향을 미쳤을 것임에는 틀림없다. 다만 본 연구에서는 수서곤충 종풍부성에 미치는 온도의 영향을 정량적으로 다루지는 못하였다.

수서곤충의 1차 먹이가 되는 수서생태계 바닥의 유기물은 그 생태계의 생산력을 감안하는 중요한 지표가 될 수 있으며, 면적은 총 생산력의 크기를 제한하는 요소이기 때문에 생물 종풍부성에 영향을 미치는 또 하나의 중요한 요인으로서 취급되고 있다(Schoener, 1976). 산지생태계에서 서식처 면적은 고도가 증가할수록 감소하는 것이 일반적이다. Sanders(2002)은 고도구배에 따른 개미군집의 종풍부성 연구에서 고도가 증가할수록 변동하는 서식처 면적이 개미군

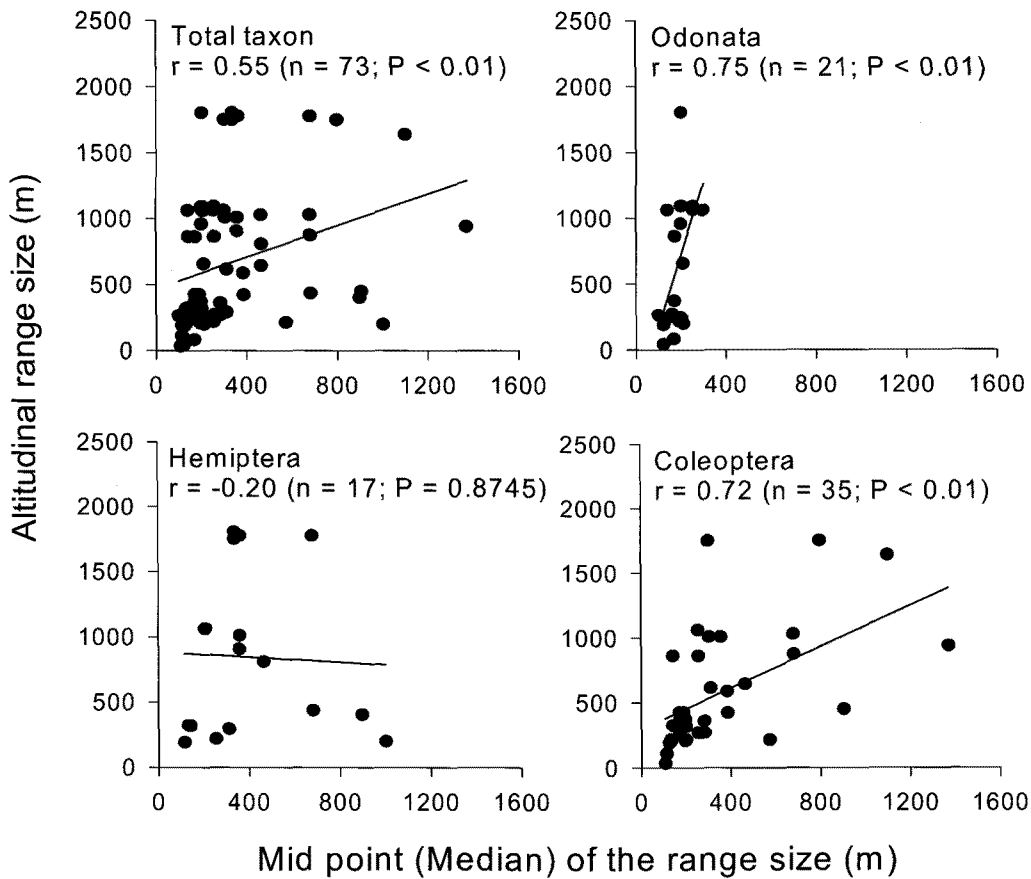


Fig. 5. Rapoport's effect on altitudinal habitat ranges of total taxon and the three most abundant orders. The line is the least squares linear regression line. The altitudinal habitat ranges were obtained by subtracting the minimum altitude from the maximum altitude of a species found in Mt. Halla.

집의 종풍부성 변이를 설명하는 중요한 요인이라고 주장하였다. 본 연구는 유수(stream)가 아닌 뚜렷한 경계를 갖는 정수(lentic) 습지생태계를 다루고 있으므로 비교적 정확히 해당 면적을 추정할 수 있었다. Fig 7과 같이 본 연구 대상인 습지의 면적은 고도에 따라 오히려 증가하는 양상이었다($r = 0.74; P < 0.001$). 따라서 본 연구에서 '넓은 면적이 보다 많은 생물종을 부양한다(Schoener, 1976)'는 가설을 적용하기에는 불충분한 것 같다.

본 연구에서는 면적 효과를 제거한 경우 고도에 따른 수서곤충 종풍부성의 분포는 고봉형을 나타냈다. Fig. 4를 보면 고봉(258.7m)을 중심으로 표준오차 범위 고도에서 분포범위가 중복되는 수서곤충 종이 증가되는 현상을 관찰할 수 있다. 하위영역 종은 대체적으로 좁은 분포범위를 가지고 있으므로 상위지역으로 이동할 수 없고 이들의 중복에 의하여 중저 고도에서 고봉이 형성된 것으로 보인다. 아직 정량적인 통계적 검정 결과를 제시하기는 어려우나 '중간영역 효과'가 작동하고 있는 것으로 판단된다. 다만,

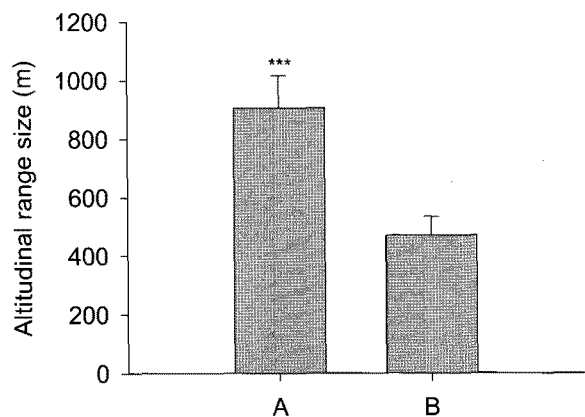


Fig. 6. Comparison of the size of altitudinal habitat ranges between high-altitudinal species (A) and low-altitudinal species (B). High-altitudinal species are aquatic insects found above 305.5m, while low-altitudinal species are aquatic insects found below 211.9m; these criteria are based on the upper and lower limit of standard error from the altitude with maximum species richness, respectively. *** Significant at $P = 0.001$ by T-test. The vertical bars on the figure indicate standard error.

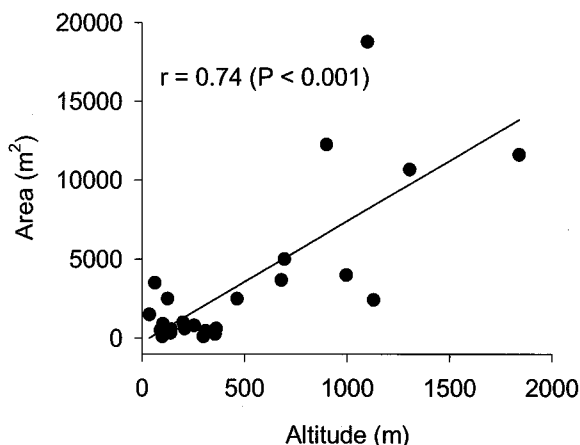


Fig. 7. The variation in the size (m^2) of 24 wetlands in Jeju according to the altitude of their location.

본 연구에서는 하위영역 종의 분포범위가 좁고 상위영역 종의 분포범위가 넓으므로(Fig. 6) 저위고도에서 분포범위의 중복으로 인하여 고도가 증가할수록 종풍부성은 감소한다(Fig. 2)는 Rapoport의 법칙을 통계적으로 검증하였다.

습지 수서곤충의 분류군에 따라서 평균 서식고도와 고도에 따른 분포범위의 반응이 다른 양상(Fig. 5)을 보였는데, 이런 양상은 앞으로 검토해 볼 흥미로운 연구과제라 생각된다. 즉 잠자리목은 평균 서식고도가 저위고도 영역에 형성되어 있으나 높은 고도까지 분포하는 특성을 보이고, 고도와 분포범위 간 거의 고위상관을 보이고 있는데 아마도 잠자리목의 행동반경과 서식처 선택행동 등 특이적 생태와 관련되어 있을 것으로 보인다. 또한 노린재목은 고도와 분포범위 간 유의한 상관관계가 관측되지 않아 Rapoport 법칙의 적용을 받지 않았는데, 이 분류군이 어떠한 형태로 수서곤충 종풍부성 분포에 공헌하고 있는지 구명하는 작업도 흥미거리다. 더 나아가 고도에 따른 종풍부성 분포에서 '중간영역 효과' 및 '복구효과' 등이 어떻게 작동하고 있는지 정량적으로 평가하는 통계적 기법의 개발도 필요하다고 생각된다.

Literature Cited

- Anonymous. 1994. Check list of insects from Korea (In Korean). 744 pp. The Entomological Society of Korea & Korean Society of Applied Entomol., Konkuk Univ. Publisher, Seoul.
- Asahino, S., T. Ishihara and K. Yasumatsu. 1973. Iconographia insectorum japonicorum Colore naturali edita, Volumen III. Hokuryukan. pp. 103-108.
- Blackburn T.M. and K.J. Gaston. 1996. Spatial patterns in the geographic range sizes of bird species in the New World. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B 351: 897-912.
- Brown, J.H. and A. Kodric-Brown. 1977. Turnover rates in insular biogeography: effect of immigration on extinction. Ecology 58: 445-449.
- Brown, J.H., G.C. Stevens and D.M. Kaufman. 1996. The geographical range: size, shape, boundaries, and internal structure. Annu. Rev. Ecol. Syst. 27: 597-623.
- Chatzaki, M., P. Lymberakis, G. Markakis and M. Mylonas. 2005. The distribution of ground spiders (Araneae, Gnaphosidae) along the altitudinal gradient of Crete, Greece: species richness, activity and altitudinal range. J. Biogeogr. 32: 813-831.
- Colwell, R.K. and D.C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. Trends Ecol. Evol. 15: 70-76.
- Colwell, R.K. and G.C. Hurtt. 1994. Nonbiological gradients in species richness and a spurious Rapoport effect. Am. Nat. 144: 570-595.
- Fernandes, G.W. and P.W. Price. 1988. Biogeographical gradients in galling species richness. Oecologia 76: 161-167.
- Fleishman, E., G.T. Austin, and A.D. Weiss. 1998. An empirical test of Rapoport's rule: elevational gradients in montane butterfly communities. Ecology 79: 2482-2493.
- Hogg, I.D. and D.D. Williams. 1996. Response of stream invertebrates to a global-warming thermal regime: an ecosystem-level manipulation. Ecology 77: 395-407.
- Jandel Scientific. 1996. TableCurve 2D. Automated curve fitting and equation discovery: Version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kawai, D. 2005. Aquatic insects of Japan. East Sea Univ. Publish group. 658 pp.
- Lawton, J.H., M. MacGarvin and P.A. Heads. 1987. Effects of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores on bracken. J. Anim. Ecol. 56: 147-160.
- Lomolino, M.V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. Global Ecol. Biogeogr. 10: 3-13.
- Rahbek, C. 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. Am. Nat. 149: 875-902.
- RDA (Rural Development Administration). 2008. An illustrated book for aquatic invertebrate in rice ecosystem. 416 pp. National Institute of Agricultural Science and Technology, Kangmoon-dang, Suwon.
- Sanders, N.J. 2002. Elevational gradients in ant species richness: Area, geometry, and Rapoport's rule. Ecography 25: 25-32.
- Schoener, T.W. 1976. The species-area relation within archipelagoes: models and evidence from island land birds. In: Firth, H.J. and Calaby, J.H. (eds), Proc. of the XVI Int. Ornithol. Congr. Australian Acad. of Sci., pp. 629-642.
- Southwood, T.R.E. 1978. Ecological methods. Halsted Press, Chapman and Hall. London. 524 pp.
- Stevens, G.C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. Am. Nat. 140: 893-911.
- Takehiko N., O. Kazuo, N. Shizumu and K. Yoshihiko. 2007. Iconographia Insectorum Japonicorum Colore Naturali Editata Vol. II. Hokuryukan. 526 pp.
- Ueno, S., Y. Kurosawa and M. Sato. 1985. Coleoptera of Japan

- in color Vol. II. Hoikusha, 515 pp.
- Ward, J.V. and J.A. Stanford. 1982. Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. *Annu. Rev. Entomol.* 27: 97-117.
- Won, D.H. S.J. Kwon and Y.C. Jeon. 2005. Aquatic insects of Korea. Ecological Survey Team Press, 415 pp.
- Yoon, I.B. 1995. An explanatory diagram and identification key of aquatic insects. Junghaengsa, Seoul, 237 pp.