

## 소하천의 신갈나무와 까치박달 낙엽의 분쇄

Leaf Litter Breakdown of *Quercus mongolica* and  
*Calpinus cordata* in a Headwater Stream정 근  
Keun Chung

**Abstract** - Leaf litter processing rate of *Quercus mongolica* was compared with that of *Carpinus cordata* in a first-order stream draining Mt. Jumbong in Inje-Gun, Kangwon Province. Daily processing rate ( $-k \cdot \text{day}^{-1}$ ) of *Q. mongolica* leaf litter in mesh bags was 0.00503, about one-third of that of *C. cordata* leaf litter. Forty five macroinvertebrate taxa were collected from litter bags; 39 taxa from *C. cordata* and 38 taxa from *Q. mongolica* litter bags. *Nemoura tau*, a plecopteran shredder, was the most abundant taxon in both leaf species, and the second was the non-predatory chironomids. In terms of biomass, *Gammarus*, an amphipodan shredder, was the largest, and followed by *Cincticostella castanea*, an ephemeropteran gatherers. The biomass of most insect taxa decreased during April to June, while that of non-insect taxa greatly increased during the same time period. *Gammarus* was the most important shredder taxon to the leaf litter breakdown in the experimental stream and appeared to prefer *C. cordata* to *Q. mongolica* leaf litter. *N. tau*, in spite of its abundance, seemed to have a limited effect on the leaf litter processing. Since other shredders were minor compared with these two taxa, leaf litter processing in this stream appeared to largely depend on the feeding ecology of *Gammarus*.

**Key Words** - Headwater stream, Shredders, *Gammarus*, *Nemoura tau*.

**초 록** - 강원도 인제군에 있는 점봉산의 한 소하천에서 신갈나무 낙엽이 분쇄되는 양상을 까치박달과 비교하여 보았다. 신갈나무 낙엽의 하루당 분쇄율 ( $-k \cdot \text{day}^{-1}$ )은 0.00503으로서 까치박달 낙엽의 약 1/3이었다. 낙엽주머니에서는 총 45 분류군에 속한 대형무척추동물이 출현하였는데 까치박달에서 39 분류군이, 신갈나무 낙엽 주머니에서 38분류군이 채집되었다. 강도래목에 속하는 *Nemoura tau*는 두 낙엽주머니에서 가장 흔한 분류군이었고 비포식성 Chironomidae는 두 번째로 흔한 분류군이었다. 현존량은 *Gammarus*가 가장 높았고 그 다음으로 하루살이에 속한 *Cincticostella castanea*가 높았다. 곤충 분류군의 대부분에서 4~6월 사이에 현존량이 큰 폭으로 감소하였으나 이 시기에 비곤충류의 현존량은 오히려 증가하였다. 낙엽을 뜯어먹는 무리 중 낙엽분쇄에 가장 중요한 분류군은 *Gammarus*로서 이들은 까치박달낙엽을 선호하는 것으로 나타났다. *Nemoura tau*는 가장 흔한 분류군이었으나 이들이 1차하천에서 일어나는 낙엽분쇄에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 보였다. 뜯어먹는 무리에 속한 다른 분류군은 이 둘에 비하여 개체수와 현존량이 매우 낮으므로 1차하천의 낙엽분쇄는 *Gammarus*의 섭식생태에 의하여 크게 결정될 것으로 판단되었다.

**검색어** - “뜯어먹는 무리”, 소하천, *Gammarus*, *Nemoura tau*.

숲을 흐르는 소하천은 주변의 나무에 의해 생육기간 동안 하천의 상부가 폐쇄된다. 이러한 하천의 1차

생산력은 매우 낮아 그 곳에 서식하는 타가영양생물들은 그들이 필요로 하는 에너지의 대부분을 육상에

서 유입되는 유기물로부터 얻는다 (Fisher and Likens, 1973). 숲생태계에서 하천으로 들어오는 유기물은 여러 가지가 있으나 저서성 대형무척추동물에게는 특히 나뭇잎이 중요하다 (Anderson and Sedell, 1979; Wallace *et al.*, 1997). 북반구의 중위도 온대지방에서는 나뭇잎의 대부분이 가을에 낙엽의 형태로 하천에 유입되는데 대형무척추동물 중 나뭇잎을 직접 섭식하는 “뜯어먹는 무리”(shredders; 이하 기능군에 관한 정의는 Cummins, 1973)는 형태적, 행동적으로 나뭇잎을 뜯어먹기 적당할 뿐만 아니라 (Cummins and Klug, 1979) 그들의 생활사도 여러 종류의 나뭇잎을 효과적으로 이용할 수 있도록 다양하게 적응되어있는 것으로 알려져 있다 (Ross 1963; Cummins *et al.*, 1989). 이들이 섭식과 배설과정을 통해 만들어내는 작은 유기물 입자는 “주워먹는 무리 (gatherers)”와 “걸러먹는 무리 (filterers)”의 먹이가 되며 (Short and Maslin, 1977; Grafius and Anderson, 1980), 이들 모두는 포식자의 먹이가 된다 (Cummins, 1973).

하천으로 들어온 나뭇잎은 초기에 수용성물질이 용탈되는 과정이 지난 후 미생물이 정착하고 증식하는 과정을 거치는 데 이때 나뭇잎이 부드러워지고 미생물에 의하여 잎의 단백질 함량이 증가하여 무척추동물의 선호성이 증가한다 (Kaushik and Hynes, 1971; Bärlocher and Kendrick, 1975). 이러한 변화는 나뭇잎의 종류와 수온에 따라 몇 주에서 몇 달이 소요되므로, 나뭇잎을 직접 섭식하는 “뜯어먹는 무리”는 미생물의 발달상태가 가장 좋은 나뭇잎을 계속 먹을 수 있게 된다 (Cummins and Klug, 1979). 북미대륙의 소하천에서는 주로 겨울에 성장하는 종류의 대형무척추동물은 가을-겨울 동안 빠르게 사라지는 종류의 나뭇잎을 섭식하고, 봄과 여름이 주성장기인 대형무척추동물은 중간 혹은 느린 속도로 사라지는 나뭇잎을 섭식해야 하므로 어떤 소하천에 서식하는 “뜯어먹는 무리”의 종 구성에 대하여 하천 주변의 숲을 구성하는 나무종류의 영향이 큰 것으로 생각되고 있다 (Cummins *et al.*, 1989).

저자는 선행연구에서 까치박달 잎을 이용하여 크기가 다른 하천에서 나뭇잎이 사라지는 양상을 비교해 보았고 (Chung, 1997), 나뭇잎 분쇄에 대한 대형무척추동물의 기여도가 계절에 따라 차이가 있는지에 대하여 알아보았다 (Chung, 1996). 그런데 실험이 수행되었던 하천의 낙엽더미에는 까치박달 잎 뿐만 아니라 하천에서의 분해속도가 매우 느린 신갈나무 잎도 많았다. 이 두 종류의 나뭇잎은 하천에서 분해되는 속도가 매우 다르므로 (Webster and Benfield, 1986) 각각의 나뭇잎과 관련된 대형무척추동물상도 서로 다를 가능성이 크다. 따라서 본 보고에서는 Chung (1996)의 까치박달 잎과 같이 하천에 넣어졌던 신갈나무 잎의 중량 감소 유형을 까치박달 잎과 비교하고 아울러 두 종류

의 나뭇잎과 관계된 저서성 대형무척추동물들을 개체수와 현존량 측면에서 비교하고자 하였다.

## 실험 장소

본 실험은 강원도 인제군의 점봉산의 남동사면을 흐르는 1차하천 (38°02'N, 128°27'E)에서 수행되었다. 이 하천은 길이가 600 m이고 집수유역에 민가 혹은 농경지가 없다. 실험이 수행된 장소는 이 하천이 2차하천과 합류하는 지점 (해발 약 800 m)으로부터 15~40 m 상류인 구간으로서 이곳의 하폭은 1~2 m, 하천의 바닥은 굽은 모래와 나뭇가지 및 나뭇잎 등의 유기 퇴적물로 이루어졌다. 이곳은 하천 주변의 나무에 의하여 하천의 상부가 가려져 있다. 가을철 하천에 퇴적된 낙엽더미는 주로 까치박달 (*Carpinus cordata*), 신갈나무 (*Quercus mongolica*), 단풍나무류 (*Acer sp.*)와 음나무 (*Kalopanax pictus*) 등의 낙엽으로 구성되어 있다.

## 재료 및 방법

### 낙엽주머니

1995년 10월 하순과 11월 상순 사이에 실험장소 근처의 숲 바닥에서 채취된 까치박달과 신갈나무의 낙엽은 실내에 방치된 후 실내건조중량으로 약 10 g씩 그물주머니 (크기: 20 × 30 cm: 망목 약 1 mm)에 넣어져 12월 10일 하천에 넣어졌다. 낙엽주머니의 양면에는 저서성 대형무척추동물이 자유롭게 출입할 수 있도록 미리 40개의 구멍 (가로 2~4 mm, 세로 20 mm)이 만들어졌다. 강우 시에 큰 구멍을 통하여 분쇄되지 않은 낙엽이 빠져나갈 가능성에 대비하여 주머니 밑바닥으로부터 4~5 cm 부분까지는 구멍이 만들어지지 않았다. 50쌍의 낙엽주머니가 한 쌍씩 큰못에 의하여 하천 바닥에 고정되었다. 낙엽주머니는 4~7주 간격으로 임의로 선택된 5쌍씩 회수되었다. 낙엽이 회수될 때에는 주머니 속의 무기/유기 퇴적물의 손실이 최소화되도록 주의하였고 수위감소로 물 밖으로 노출된 낙엽주머니는 하천에서 제거되어 실험에서 제외되었다.

회수된 낙엽주머니는 비닐주머니에 넣어져 현장에서 phloxine B 염료가 첨가된 5~8% formalin 용액으로 처리된 후 실험실로 옮겨져 상온에서 보관된 후 물로 씻어졌다. 씻는 과정에서 주머니 속의 유기/무기 퇴적물과 함께 있는 저서성 대형무척추동물과 낙엽주머니에 붙어 있던 개체들은 다시 5~8% formalin 용액으로 처리되어 polypropylene 용기에 보관되었다. 씻겨진 낙엽은 열풍건조기 (60°C)에서 5일간 건조되어 건조중량이 측정되고, 양에 따라 그 중에서 일부 혹은 전부는 전기로 (500°C)에서 6시간 동안 태워진 후 남아있는 재의 무게가 측정되었다. 낙엽의 열풍건조중량에서

재의 무게를 제외한 값으로 낙엽의 ash free dry mass (AFDM)가 얻어졌다. 낙엽분해율 (leaf breakdown rate · day<sup>-1</sup>)은  $m_t = m_0 \cdot e^{-kt}$  ( $m_t$ =t시간 후에 남아있는 낙엽무게,  $m_0$ =낙엽의 원래무게,  $-k$ =낙엽의 분해계수/day;  $t$ =물 속에서 지낸 기간)에 의하여 구해졌다 (Olson, 1963; Petersen and Cummins, 1974).

**저서성 대형무척추동물**

낙엽주머니에서 씻겨진 퇴적물 및 저서성 대형무척추동물은 망목 1 mm체와 0.125 mm체에 차례로 통과되었다. 1 mm체에 걸러진 대형무척추동물은 모두 선별되었으나, 1 mm체를 통과하고 0.125 mm체에 걸러진 개체들은 퇴적물의 양에 따라 전체의 1/2~1/32 부분에서만 선별되었다. 부분선별에는 turn table을 이용하여 제작된 부분채집기 (Waters, 1969)가 사용되었다. 선별된 무척추동물은 8~50배의 해부현미경하에서 동정되었고 mm단위로 몸의 길이가 측정되었다. 대부분의 곤충 및 연체동물인 *Gammarus* (Crustacea: Amphipoda: Gammaridae)는 속 혹은 종까지 동정되었으나, Chironomidae 등 일부 곤충은 과 수준에서, Turbellaria, Oligochaeta는 문/강 수준에서 분류 동정되었다. 대형무척추동물의 현존량은 낙엽주머니를 이용한 실험이 수행되었던 집봉산 강선리의 1차하천에서 2000년 3월부터 8월 동안 채집된 개체들에서 얻어진 몸길이-체중의 회귀식 (unpublished data)이 이용되어 추정되었다. 개체수가 적어 회귀식을 얻을 수 없었던 분류군은 몸의 모양이 유사한 다른 분류군의 회귀식이 이용되었다. 곤충 동정에는 Yoon (1995), Merritt and Cummins (1996), Kawai (1985)가 이용되었고 섭식기능군 배정은 Cummins and Merritt (1996)에 따랐다.

**결 과**

**낙엽분해**

신갈나무 잎의 5일 째 용탈량은 원래 무게의 5%로써 까치박달의 반 정도에 그쳤다. 192일에 걸친 실험기간 동안 까치박달 낙엽은 원래무게의 93%가 사라진데 비하여 신갈나무 낙엽은 60%가 감소하는데 그쳤다. 결과적으로 신갈나무의 낙엽의 하루 당 중량감소율 ( $-k \cdot \text{day}^{-1} \pm 1 \text{ S.E.}$ )은  $0.00503 \pm 0.00039$ 로 까치박달 낙엽의 중량감소율 ( $0.01456 \pm 0.00136$ ; Chung, 1996)의 1/3 수준에 그쳤다. 한편 까치박달 낙엽의 중량감소율은 시기에 따라 달랐는데 1~4월 중에는  $0.00975 \pm 0.00141$ 로 다소 낮았으나, 4~6월 사이에는  $0.03451 \pm 0.00920$ 로 낙엽의 중량이 하루에 3% 이상 감소하였던 것으로 나타났다 (Fig. 1). 반면, 같은 기간에 신갈나무 낙엽의 중량감소율은  $0.00464 \pm 0.00043$ 에서  $0.00497 \pm 0.00279$ 로 변화가 인정되지 않았다.

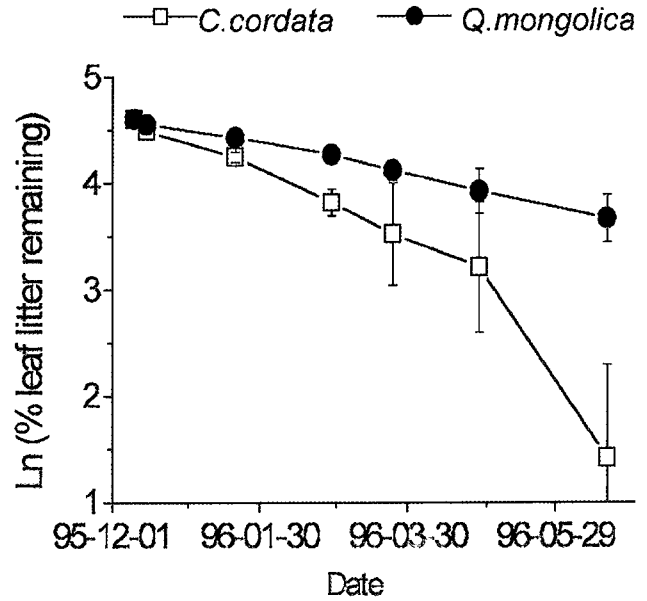


Fig. 1. Natural log of % leaf litter remained (Mean ± 1 S.D.) in mesh-bags. Leaf bags were placed in a headwater stream on Dec. 10, 1995. Data for *C. cordata* were modified from Chung (1996). N = 5 for *C. cordata*, except April when n = 4. For *Q. mongolica*, n = 4, 4, 5, 3, 4 for each sampling date.

**대형무척추동물**

전 실험 기간 중 채집된 수서곤충은 모두 42분류군이였다. 파리목에 속한 분류군이 다소 많았던 까치박달에서 36분류군이, 신갈나무 낙엽주머니에서 35분류군이 출현하였다. 조사 시기별 분류군 수는 낙엽주머니가 설치된 후 한 달만에 회수된 1월 표본에서 23~24분류군이 출현하였고 그 다음부터는 28~29분류군이 출현하였다. 비곤충류는 *Gammarus*를 포함하여 3분류군이 출현하였다.

**풍부도**

실험기간 전체동안의 신갈나무의 낙엽주머니에 들어있던 대형무척추동물의 평균밀도는 953개체로서 까치박달의 1,096개체와 다르다고 인정되지 않았다 (Student's t-test,  $P > 0.05$ ). 그러나 시기별 밀도증가양상은 다소 차이가 있었다. 까치박달 낙엽주머니에서 대형무척추동물의 밀도는 낙엽이 하천으로 투입된 후 두 번째 달에 최고밀도(1,306개체)에 달했고 첫 번째 달에 이미 최고밀도의 66% 수준에 달한 반면, 신갈나무 낙엽주머니에서는 셋째 달에 최고밀도(1,318개체)에 달했다 (Fig. 2).

강도래목은 가장 흔한 목으로서 까치박달과 신갈나무에서 각각 전체의 50% (35~66%)와 40% (29~57%)를 차지하였다 (Fig. 2). 모든 분류군 중에서 가장 흔한

것으로 나타난 *N. tau*는 까치박달에서 개체수의 48% (33~63%), 신갈나무에서는 38% (26~56%)를 차지하였는데 나뭇잎 종류에 따라 개체수 변동양상이 달랐다 (Fig. 3). 강도래중 두 번째로 흔한 분류군인 *Sweltsa*는 개체수의 1%정도를 차지하는데 그쳤다. 두 번째로 흔한 파리목 곤충은 까치박달과 신갈나무 낙엽주머니에서 각각 개체수의 25% (11~38%)와 40% (21~52%)를 차지하였다. 파리목 곤충중에서는 비 포식성 Chironomidae가 가장 흔하였으며 이들은 까치박달과 신갈나

무 낙엽주머니에서 개체수의 23% (10~36%)와 34% (19~48%)를 차지하였다 (Fig. 3). 한편, 하루살이목은 까치박달과 신갈나무에서 각각 전체 개체수의 7% (4~11%)와 6% (4~9%)를 차지하였고 날도래목은 나뭇잎 종류에 상관없이 3% 이하를 차지하였다. 비곤충류는 까치박달과 신갈나무 낙엽주머니에서 각각 전체의 17% (9~32%)와 11% (8~21%)를 차지하였다. 비곤충류는 두 종류의 낙엽주머니 모두에서 실험 후기로 갈수록 증가하였으며, 특히 실험 마지막 달인 6월에는 평

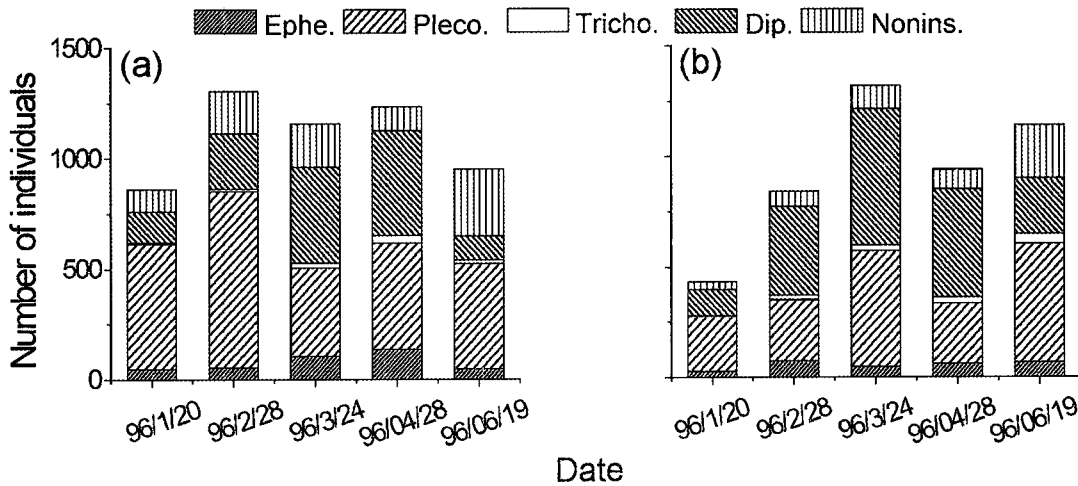


Fig. 2. Mean number of individuals of macroinvertebrates. (a) = *C. cordata* litter bags. (b) = *Q. mongolica* litter bags. Data for *C. cordata* were modified from Chung (1996). For *C. cordata*, n = 5 except April when n = 4. For *Q. mongolica*, n = 4, 4, 5, 3, 4 for each sampling date. Ephe. = Ephemeroptera, Pleco.= Plecoptera, Tricho. = Trichoptera, Dip. = Diptera, Nonins.= Non-insect taxa.

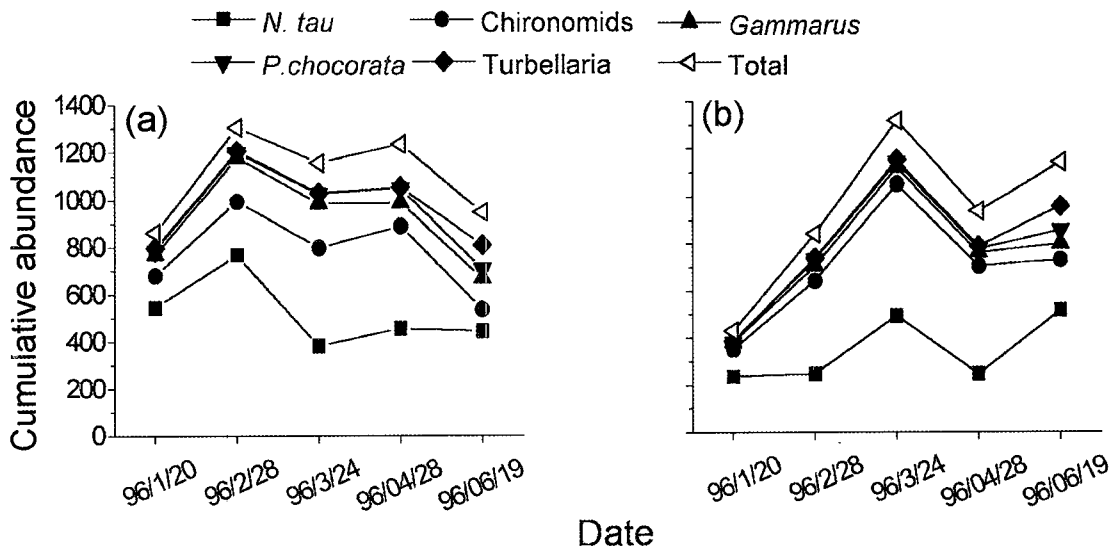


Fig. 3. Cumulative abundances of 5 major taxa. (a) : for *C. cordata* litter bags. Data for *C. cordata* were modified from Chung (1996). N = 5 except April when n = 4. (b) : for *Q. mongolica* litter bags and n = 4, 4, 5, 3, 4 for each sampling date.

소의 약 2배로 증가하였다. *Gammarus*는 까치박달과 신갈나무에서 각각 12%와 6%를 차지하였으며 Oligochaeta와 Turbellaria는 각각 전체의 2% 정도를 차지하였다.

**현존량**

까치박달 낙엽주머니에서 채집된 대형무척추동물의

현존량은 주머니당 247.9 mg AFDM으로서 신갈나무 낙엽주머니 (188.5 mg AFDM)에서보다 높은 것으로 나타났다(Student's t-test,  $P < 0.05$ ). 신갈나무 낙엽주머니의 개체수 발달에 세 달이 걸렸던 것에 비하여 현존량 발달은 두 종류의 낙엽에서 서로 비슷하게 두 달만에 최고에 달하였다(Fig. 4). 전체적으로 낙엽주머니의 현존량은 비곤충류가 가장 높았으며 다음으로

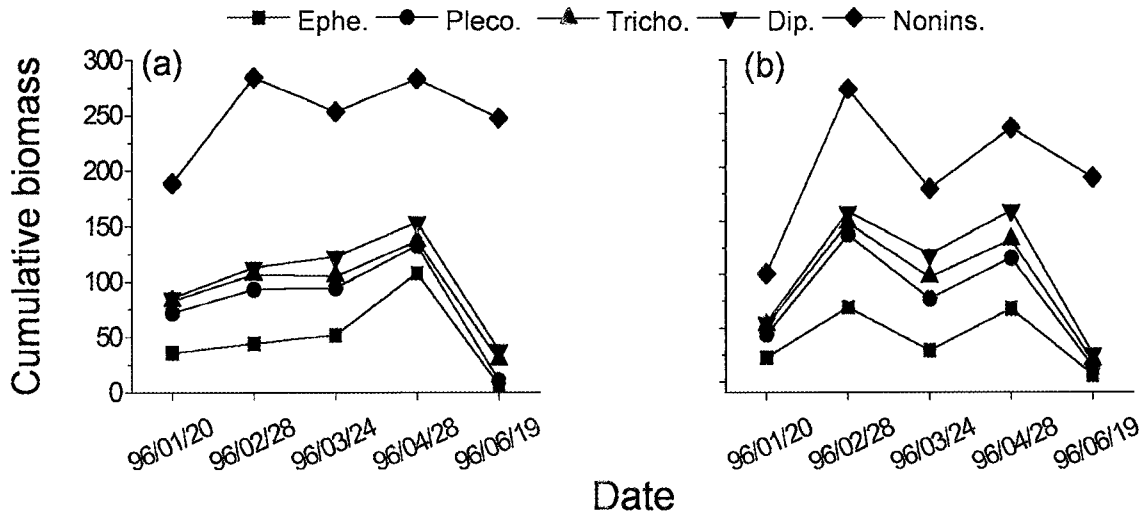


Fig. 4. Cumulative biomass of macroinvertebrates ( mg AFDM · bag<sup>-1</sup>). (a) = *C. cordata* litter bags. (b) = *Q. mongolica* litter bags. For *C. cordata*, n = 5 except April when n = 4. For *Q. mongolica*, n = 4, 4, 5, 3, 4 for each sampling date. Ephe. = Ephemeroptera, Pleco. = Plecoptera, Tricho. = Trichoptera, Dip. = Diptera, Nonins. = Non-insect taxa.

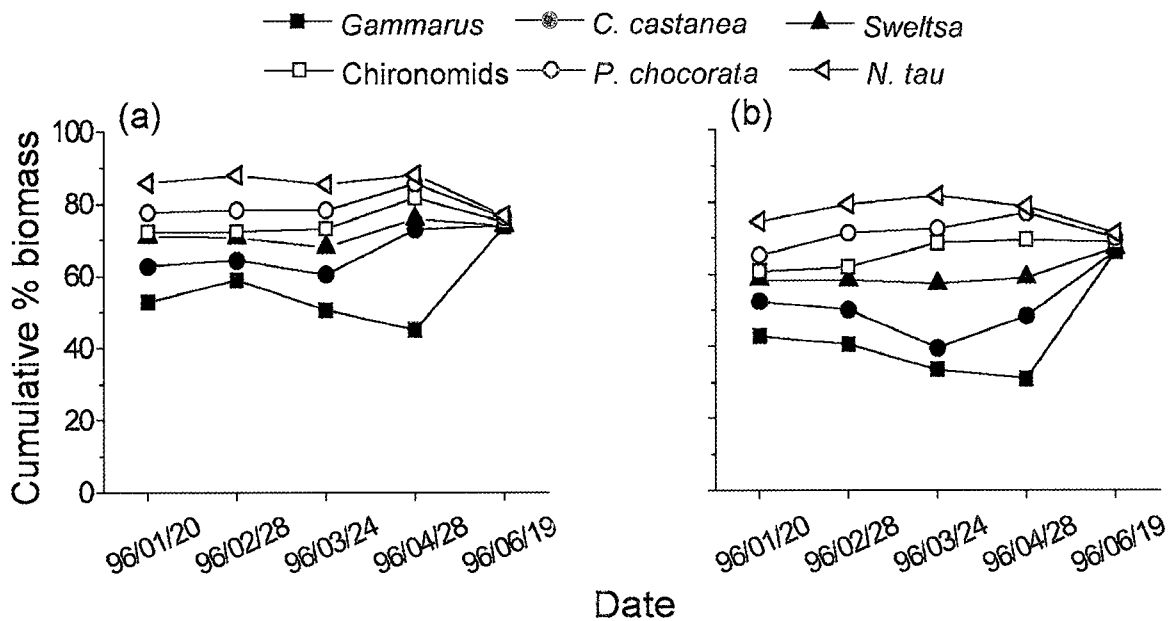


Fig. 5. Cumulative % biomass of six major taxa. (a) : for *C. cordata* litter bags. N = 5 except April when n = 4. (b) : for *Q. mongolica* litter bags and n = 4, 4, 5, 3, 4 for each sampling date.

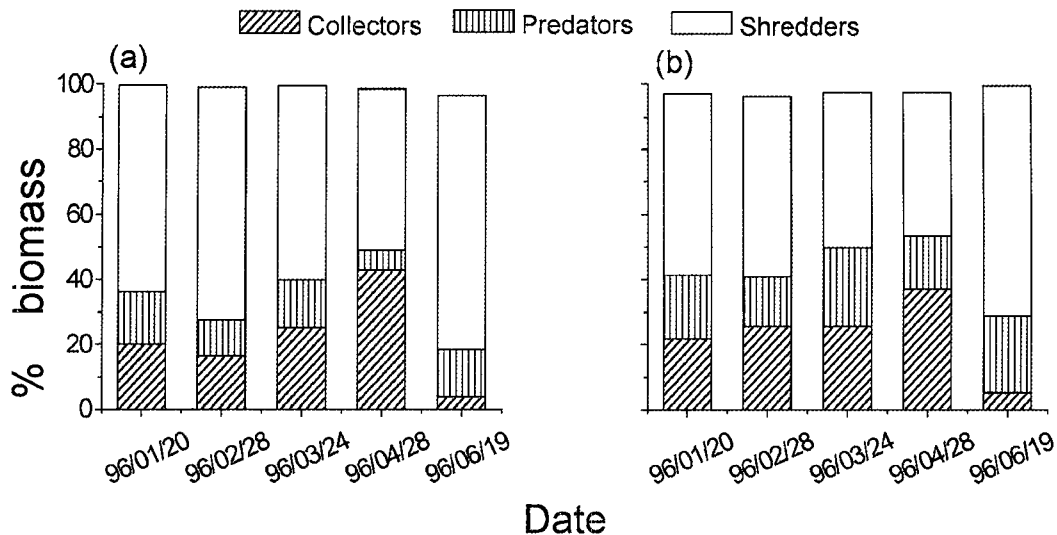


Fig. 6. Biomass (mg AFDM) of functional feeding groups. (a) : for *C. cordata* litter bags. N = 5 except April when n = 4. (b) : for *Q. mongolica* litter bags and n = 4, 4, 5, 3, 4 for each sampling date.

하루살이목, 강도래목의 순서로 낮아졌다. 개체수가 많았던 파리목의 현존량은 밀도에 비하여 상대적으로 낮았다.

*Gammarus*는 까치박달과 신갈나무 낙엽주머니에서 전체 현존량의 45~74%와 31~66%를 차지하여 현존량 측면에서 가장 중요한 위치를 차지하였고 낙엽종류에 관계없이 6월에 가장 많은 양으로 분포하였다. 상위 6개 분류군 중 *Gammarus*를 제외한 나머지 5개 분류군은 모두 곤충에 속했다 (Fig. 5). 하루살이목의 *C. castanea*는 곤충 중에서 현존량이 가장 높았던 분류군으로 1~4월 중 전체의 5~28%의 비율을 차지하였으나 6월에는 0.1~0.2% 수준으로 감소하였다. 다른 곤충들도 6월에 현존량이 큰 폭으로 감소하였다.

### 기능군 조성

개체수로 본 기능군 조성은 *N. tau*와 *Gammarus*가 속한 “뜯어먹는 무리 (shredders)”와 Chironomidae가 속한 “주워먹는 무리”가 가장 흔하였다. 뜯어먹는 무리는 까치박달과 신갈나무 낙엽주머니에서 각각 개체수의 48~74%와 36~64%를 차지하였고, “주워먹는 무리 (gatherers)”는 각각 21~47%, 31~56%를 차지하였다. 그 다음으로 많은 수로 출현한 기능군은 “잡아먹는 무리 (predators)”로서 전체의 3~13%를 차지하였다. 반면 “긁어먹는 무리 (scrapers)”와 “걸러먹는 무리 (filterers)”는 밀도가 매우 낮았다.

“뜯어먹는 무리”의 현존량은 까치박달과 신갈나무에서 각각 전체의 50~78%와 44~71%를 차지하였다 (Fig. 6). 그 다음으로 *C. castanea*와 Chironomidae가 속한 “주워먹는 무리” (5~43%)와 “잡아먹는 무리” (6~

24%)가 그 뒤를 따랐다. “긁어먹는 무리”는 현존량의 4% 이하, “걸러먹는 무리”는 1% 이하를 차지하였다.

### 고 찰

까치박달 잎과 신갈나무의 잎은 기존에 보고된 값에 비하여 다소 빠른 속도로 분쇄되었다. 여러 문헌에 보고된 식물의 잎이 물 속에서 사라지는 속도를 식물의 과 수준에서 검토한 Webster and Benfield (1986)는 까치박달이 속한 Betulaceae의  $-k \cdot \text{day}^{-1}$ 는 약 0.0050, 신갈나무가 속한 Fagaceae는 0.0025 정도로 추정하였다. 그러나 나뭇잎이 하천에서 사라지는 속도는 식물의 종과 하천의 유속, 영양염류의 농도, 수온과 그곳에 서식하는 생물상에 따라 다르다고 (Webster and Benfield, 1986) 또한 나뭇잎을 준비하고 하천에 설치하는 방법에 따라 다르므로 (Boulton and Boon, 1991) 본 실험의 결과가 비정상적으로 높았다고 볼 수는 없다.

신갈나무 잎의 분쇄속도는 전 실험 기간을 통하여 거의 변함이 없었던 것에 비하여 까치박달 잎은 4~6월에 빠른 속도로 사라지는 현상이 관찰되었는데, 이런 현상은 낙엽주머니에서 나뭇잎을 “뜯어먹는 무리”에 속한 주요 종의 섭식생태가 반영된 결과로 생각된다. 낙엽주머니의 “뜯어먹는 무리” 중 *Gammarus*는 개체수와 현존량 모두에서, *N. tau*는 개체수에서 가장 중요한 분류군이었다. 현존량에서 가장 중요한 분류군인 *Gammarus*는 까치박달 잎을 선택적으로 섭식한 반면 신갈나무 잎은 거의 섭식하지 않은 것으로 생각된다. *Gammarus*는 장내의 pH가 중성에 가까워 곤충

류 보다 나뭇잎의 난분해성 다당류를 소화하는데 어려움이 있으나 (Bärlocher and Porter, 1986), 이동력이 좋고 나뭇잎의 표면에 서식하는 미생물에 대한 선택성이 높아 (Rong *et al.*, 1995) 특정 종류의 나뭇잎에 대한 선호성이 매우 높은 것으로 알려져 있다 (Kaushik and Hynes, 1971). *Gammarus*는 또한 계절에 따라 주요 먹이를 바꾸거나 혹은 잡식을 하는 경향이 있는데 (Coffman *et al.*, 1971; Bärlocher, 1983; DeLong *et al.*, 1993), 이런 사실이 소하천의 낙엽분쇄와 같은 유기물 대사에서 그들이 수행하는 역할의 중요성을 감소시키지는 않을 것으로 생각된다. 오히려 먹이를 다양하게 섭취할 수 있기 때문에, 소하천에서 하천 바닥 위로 노출된 낙엽현존량이 매우 낮은 장마 이후부터 낙엽이 질 때까지의 기간 (personal observation)을 짧고 지낼 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 그들의 섭식 습성에서 이와 같은 유연성을 배제한다면 낙엽주머니 속에 나뭇잎의 입자루와 모래 퇴적물, 크기가 작은 고형유기물 (예: 수서곤충의 배설물), 그리고 낙엽주머니에 붙은 점액성 물질로 구성된 6월의 까치박달 잎 주머니에 오히려 평소보다 많은 양의 *Gammarus*가 있었던 것과 선호도가 낮은 신갈나무 잎 주머니 (Kaushik and Hynes, 1971)에도 상당량의 *Gammarus*가 살고 있었던 것을 설명하기가 매우 어려워진다.

*N. tau*는 개체수가 가장 많은 분류군이었으나 *Gammarus*에 비하여 현존량이 매우 낮아 그들이 나뭇잎 분쇄에 미치는 영향은 작을 것으로 생각되었다. 더구나 *N. tau*는 몸 길이 2 mm 이하인 작은 개체들이 차지하는 비율이 90%를 넘었는데 특히 4월과 6월에는 이들이 98% 이상을 차지하였다. 몸이 작은 *N. tau*는 엽육을 직접 섭식하는 “뜯어먹는 무리”이기 보다는 잎의 표면에 형성된 생물막을 떼어먹거나 혹은 생물막에 부착되었거나 퇴적된 모래 사이에 있는 작은 고형유기물을 주워먹을 가능성이 높다 (Cummins and Klug, 1979). 이런 이유로 이들은 잎이 거의 남아있지 않은 6월의 까치박달 잎 주머니에도 많은 수로 서식할 수 있었을 것으로 생각된다. 몸이 큰 *N. tau*는 3월을 정점으로 4월에 대폭 감소하였으며 6월에는 까치박달과 신갈나무 낙엽 주머니 모두에서 나타나지 않았는데 이것은 그들이 4~5월에 우화하기 때문으로 생각된다.

본 실험이 주머니에 신갈나무잎이 많이 남아 있었음에도 불구하고 6월에 종료된 이유는 소하천에 그때까지 남아있던 낙엽더미가 조만간 큰비 혹은 장마에 의하여 하류로 떠내려갈 것이므로 (personal observation) 하천바닥에 고정되어 있는 주머니 속의 나뭇잎이 더 이상 자연스럽지 못하기 때문이었다. 큰비가 오면 불어난 물에 의하여 나뭇잎은 그들이 머무르던 지역의 생물에게 이용되지 못하고 하류의 다른 생태계

로 유출된다. 신갈나무잎은 실험이 수행된 소하천뿐만 아니라, *Gammarus*가 서식하지 않는 하류의 물웅덩이나, 혹은 적당한 장애물에 의하여 나뭇잎이 퇴적될 수 있는 곳에 적지 않은 양으로 분포한다. 이들이 그대로 하류로 떠내려간다면 소하천 생태계의 에너지 효율은 낮아질 수밖에 없다. 그런데, 군집은 그들이 서식하는 지역의 에너지효율을 최대화하는 방향으로 형성되는 것이 일반적인 경향이므로 (Vannote *et al.*, 1980), 점봉산의 소하천에 서식하는 생물들도 신갈나무잎을 적극적으로 이용할 것이라고 기대해 볼 수 있다. 이런 관점에서, 본 실험만으로는 단언할 수 없지만, 개체수는 많으나 몸이 작은 *N. tau* 등의 강도래류 보다는 *Hydatophylax*와 *Goerodes* 등의 날도래목에 속한 “뜯어먹는 무리”가 신갈나무잎과 같은 “느리게 분쇄되는 나뭇잎”을 분쇄하는데 중요할 것으로 생각된다. *Hydatophylax*는 조사지점으로부터 약 1 km 하류의 4차 하천에 있는 한 커다란 웅덩이 바닥에 퇴적된 많은 낙엽을 모두 소비하는데, 5월 말에는 웅덩이바닥에 다 자란 *Hydatophylax* 유충과 그들의 배설물로 생각되는 입자가 고운 퇴적물 위로 그들이 집을 끌고 이동한 흔적만 남는다 (personal observation). 이것은 그들이 웅덩이 바닥에 퇴적되어 있던 나뭇잎을 종류에 관계없이 5월중으로 모두 소비한다 것으로 해석될 수 있다. *Goerodes*도 최상류의 1차하천 보다는 하류에 더 많이 서식하는 것으로 생각되는데 (Chung, 1997의 지점 4), 이들은 나뭇잎을 직접 섭식할 뿐만 아니라 나뭇잎으로 집을 지으므로 그들이 실제 섭식하는 것보다 많은 양의 나뭇잎을 분쇄하는 것으로 알려져 있다 (Whiles *et al.*, 1993).

결론적으로 *Gammarus*는 소하천의 유기물 대사에서 큰 역할을 담당하고 있는 것으로 보인다. 그러나 이들은 소하천의 가장 상류에만 서식하는 경우가 대부분이고, 낙엽종류에 대한 선호성이 매우 강하므로, 소하천 전체의 유기물 대사에서 이들이 차지하는 비중은 다소 제한적일 것이다. 한편, 상류하천에 신갈나무 낙엽과 같은 먹이 원이 있음에도 불구하고 이들을 잘 이용할 수 있는 “뜯어먹는 무리”가 *Gammarus*에 비하여 훨씬 적다는 것은 먹이뿐만 아니라 다른 요인도 그들의 분포에 중요할 수 있다는 것을 암시한다. 따라서, 소하천 생태계의 유기물 대사를 보다 잘 이해하기 위해서는 *Gammarus*와 *Hydatophylax* 등 “뜯어먹는 무리”에 속한 주요 종의 섭식생태와 아울러 이들의 분포에 관한 개체군생태학적 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 사 사

낙엽수집에 참여해 주었던 95년도에 3학년이었던

여러분에게 감사드린다. 또한 조사지와 실험실에서 여러 가지로 도움이 되었던 이미선, 송경혜, 김강현에게 감사드린다. 본 연구는 서울대학교 환경대학원 이도원 교수에게 지급되었던 한국과학재단의 지원(생물학, 94-0401-01-01-3)으로 수행되었다.

## 인 용 문 헌

- Anderson, N.H. and J.R. Sedell. 1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 24: 351~377.
- Bärlocher, F. 1983. Seasonal variation of standing crop and digestibility of CPOM in a Swiss Jura stream. *Ecology* 64: 1266~1272.
- Bärlocher, F. and B. Kendrick. 1975. Leaf-conditioning by microorganisms. *Oecologia* 20: 359~362.
- Bärlocher, F. and C.W. Porter. 1986. Digestive enzymes and feeding strategies of three stream invertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 5: 58~66.
- Boulton, A.J. and P.I. Boon. 1991. A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: Time to turn over an old leaf? *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 42: 1~43.
- Chung, K. 1996. Seasonal difference in macroinvertebrate contribution to the leaf litter breakdown in a headwater stream at Mt. Jumbong. *Korean J. Ecol.* 19: 563~573.
- Chung, K. 1997. Leaf breakdown and macroinvertebrate associated with litter-bags placed in headwater streams at Mt. Jumbong. *Korean J. Limnol.* 30: 9~20.
- Coffman, W.P., K.W. Cummins and J.C. Wuycheck. 1971. Energy flow in a woodland stream ecosystem: I. Tissue support trophic structure of the autumnal community. *Arch. Hydrobiol.* 68: 232~276.
- Cummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 18: 183~206.
- Cummins, K.W. and M.J. Klug. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 10: 147~172.
- Cummins, K.W., M.A. Wilzbach, D.M. Gates, J.B. Perry and W.B. Taliaferro. 1989. Shredders and riparian vegetation. *BioScience* 39: 24~30.
- Delong, M.D., R.B. Summers and J.H. Thorp. 1993. Influence of food type on the growth of a riverine amphipod, *Gammarus fasciatus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1891~1896.
- Fisher, S.G. and G.E. Likens. 1973. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecol. Monogr.* 43: 421~439.
- Grafius, E. and N.H. Anderson. 1980. Population dynamics and role of two species of *Lepidostoma* (Trichoptera: Lepidostomatidae) in an Oregon coniferous forest stream. *Ecology* 61: 808~816.
- Kaushik, N.K. and H.B.N. Hynes. 1971. The fate of the dead leaves that fall into streams. *Arch. Hydrobiol.* 68: 465~515.
- Kawai, T. 1985. An illustrated book of aquatic insects of Japan. 409 pp. Tokai University Press, Tokyo.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. (eds) 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd. ed., 862 pp. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa.
- Olson, J.Y. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322~331.
- Petersen, R.C. Jr. and K.W. Cummins. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biol.* 4: 343~368.
- Rong, Q., K.R. Sridhar and F. Bärlocher. 1995. Food selection in three leaf-shredding stream invertebrates. *Hydrobiologia* 316: 173~181.
- Ross, H.H. 1963. Stream communities and terrestrial biomes. *Arch. Hydrobiol.* 59: 235~242.
- Short, R.A. and P.E. Maslin. 1977. Processing of leaf litter by a stream detritivore: effect on nutrient availability to collectors. *Ecology* 58: 935~938.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell and C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130~137.
- Wallace, J.B., S.L. Eggert, J.L. Meyer and J.R. Webster. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream lined to terrestrial litter inputs. *Science* 277: 102~104.
- Waters, T.F. 1969. Subsampling for dividing large samples of stream invertebrate drift. *Limnol. Oceanogr.* 14: 813~815.
- Webster, J.R. and E.F. Benfield. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystem. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17: 567~594.
- Whiles, M., J.B. Wallace and K. Chung. 1993. The influence of *Lepidostoma* (Trichoptera: Lepidostomatidae) on recovery of leaf-litter processing in disturbed headwater streams. *Am. Midl. Nat.* 130: 356~363.
- Yoon, I.B. 1995. Aquatic insects of Korea. 262 pp. Jung-haengsa. Seoul.

(2000년 11월 21일 접수; 2000년 12월 11일 수리)