

낙동강 하류에서 수서무척추동물에 의한 정수식물의 낙엽분해

김구연¹ · 주기재¹ · 김현우² · 신건성 · 윤해순*

동아대학교 생물학과, ¹부산대학교 생물학과, ²순천대학교 환경교육학과

Leaf Litter Breakdown of Emergent Macrophytes by Aquatic Invertebrates in the Lower Nakdong River. Kim, Gu-Yeon¹, Gea-Jae Joo¹, Hyun-Woo Kim², Geon-Seong Shin and Hae-Soon Yoon* (Dept. of Biology, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea, ¹Dept. of Biology, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea, ²Dept. of Environmental Education, Sunchon National University, Sunchon, 540-742, Korea)

Leaf litter breakdown rates of the *Phragmites australis*, *Zizania latifolia* and *Typha angustifolia* were determined at the lower Nakdong River from Nov. 1998 to Sept. 1999. The relationship between leaf litter breakdown of three and abundance of aquatic invertebrates was investigated. Aquatic invertebrates collected in the litterbags were 11 family, 11 species (mean density: 222 ind./m², n = 792), and Chironomidae was dominant. Mean density of Chironomidae in the litterbags were different according to the aquatic plant species: *Z. latifolia* (180 ind./m², n = 264) *T. angustifolia* (187 ind./m², n = 264) *P. australis* (95 ind./m², n = 264). The breakdown of *Z. latifolia* was the shortest, and that of *T. angustifolia* was shorter than *P. australis*. Overall, the breakdown rate at floating layer was faster than that of submerged layer in all of three species and differences of the breakdown rate between open bags and closed bags were not found.

Key words : breakdown rate, aquatic invertebrates, *Phragmites australis*, *Zizania latifolia*, *Typha angustifolia*, Chironomidae

서 론

습지에서 분해는 부니질 생산에 우점하는 대형식물의 붕괴와 그 후의 분해에 국한된다. 습지에서 지상부의 연순생산물의 대부분은 초식자에게 소비되는 것이 아니라 습지표면에서 분해된다(Polunin, 1982). 습지에 따라 분해율은 다양하며 (Davis and Valk, 1983; Day, 1989), 분해하는 동안 방출되고, 흡착되는 물질은 분해물질의 물리적·화학적 조성 뿐만 아니라 분해장소의 환경적 조건에 따른다(Brock, 1985; Neely, 1985; Barko, 1991). 낙엽의 분해와 분해결과로 생기는 영양물질의 방출은 적어도 두 가지 과정을 포함한다. 최초의 용해성 물질의

감소는 무생물적 용탈(leaching)에 의하며, 이 과정은 아주 빠르고 감소 질량의 대부분은 분해의 초기에 일어난다. 침수식물과 부엽식물에서의 용탈은 초기 2~3일 이내에 건중량의 50% 이상이 소실된다(Gopal, 1990). 그리고 분해에 관여하는 부니질식자는 4가지의 중요한 그룹으로 구분된다. 즉, (1) 원생동물로 대표되는 미소 동물군(microfauna). (2) 진드기로 대표되는 몸의 길이가 100 μm와 2 mm 사이인 중형 동물군(mesofauna). (3) 선충류와 날도래유충과 하루살이 및 강도래유충으로 대표되는 2 mm와 20 mm사이의 대형 동물군(macrofauna). (4) 달팽이나 노래기로 대표되는 20 mm 이상의 거대 동물군(megafauna)이다(Smith, 1995). 이러한 부니질식자들은 배설물과 동물 및 식물의 잔여물을 먹이로 한다. 생

* Corresponding author: Tel: 051) 200-7266, Fax: 051) 200-2962, E-mail: hsyoon@donga.ac.kr

태계내에서 낙엽의 분쇄 및 분해에 직접 관여하는 생물은 분류학적으로 아주 넓은 범위에 걸쳐 있으며, 각 분류군(taxon)은 이들 과정에서 서로 다른 역할을 수행하지만 때로는 서로 비슷한 역할을 하므로 분해과정에서 이들의 역할을 밝힌다는 것은 쉬운 일이 아니다(심, 1990).

낙엽분해 실험은 일반적으로 많은 유기물이 유입되어 에너지 순환에 중요한 역할을 하는 소하천에서 주로 이루어져왔다. 일반적으로 하천으로 유입된 유기물(낙엽)은 미생물이나 많은 종류의 수서 무척추동물에 의하여 이용된다(Kaushik and Hynes, 1971; Webster and Benfield, 1986). 이러한 수서 무척추동물 중 섭식기능군 별로 나누어진 그룹에서 갉아먹는 기능군(shredder)은 상류하천(1-3차 하천)에서 그리고 크기가 작은 유기물을 주워먹거나 걸러 먹는 수집-모으는 기능군(collector-gather)와 수집-거르는 기능군(collector-filterer)은 중, 하류하천에서 높은 밀도를 나타내고 있으며 이들은 육상에서 유래된 에너지를 이용 가능하게 한다(Anderson and Sedell, 1979; Wallace and Merritt, 1980). 따라서 하천생태계를 이해하기 위하여 낙엽분쇄 및 수서 무척추동물과 하천의 낙엽분해에 관한 연구가 이미 많이 이루어져왔으며 국내에서도 1990년 중반에 실험적 접근이 시도된 적이 있다(Kim *et al.*, 1996). 그러나 조(1992)의 연구를 제외하면 강의 하류, 습지와 갯벌이 잘 발달되어 수생식물이 주요 일차 생산자 역할을 하고 있는 곳에서는 상대적으로 연구가 미약한 실정이다.

본 연구는 낙동강 하류수계 중 수생식물에 의한 수생태계내 유기물량이 상대적으로 높고 수위변동이 거의 없는 안정된 하천변에서 우점하는 3종의 정수식물을 선택하여 낙엽분해속도(leaf litter breakdown rate)를 수서 무척추동물에 대한 개방 및 폐쇄주머니를 이용하여 식물의 부유층과 침수층 비교 및 낙엽분해에 관여하는 수서 무척추동물의 영향에 대해서 알아보려고 하였다. 또한 본 연구는 낙동강 하류의 습지에 분포하고 있는 수생식물의 영양소 순환과 유기물 분해에 따른 물질 이동에 관한 기초자료를 확보하여 하구역의 물질순환과 에너지흐름을 이해하는데 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험대상지 개황 및 조사기간

본 연구가 이루어진 지점은 낙동강하류 중 부산광역시 사상구 삼락동의 유두리로 낙동강 하구둑으로부터

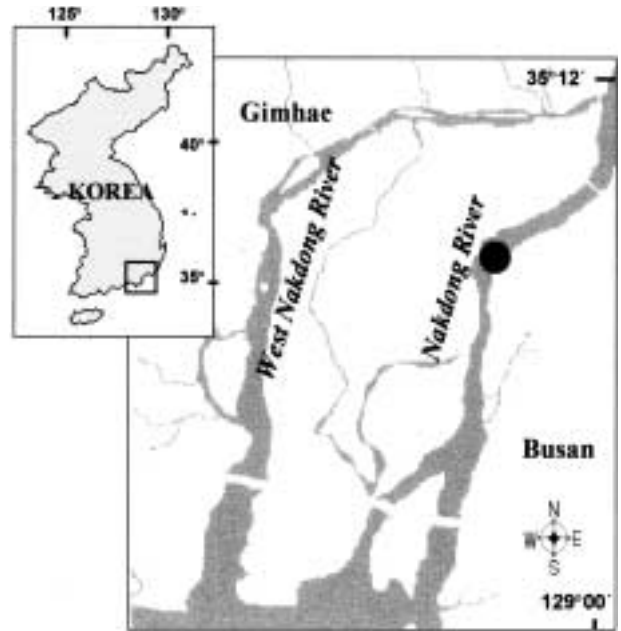


Fig. 1. Map of study site in the lower Nakdong River.

약 9 km 상부지점에 위치해 있다(Fig. 1). 실험대상지 주변에는 체육공원과 주말농장 그리고 소단위의 농경지가 수변을 따라 산재해 있으며 수변식생이 잘 발달되어 있다.

정수식물인 갈대(*P. australis*), 줄(*Z. latifolia*) 그리고 애기부들(*T. angustifolia*)의 분해율을 조사한 실험지점은 홍수기(6~9월)를 제외한 약 10여 개월 동안 수위가 안정되어 있으며, 수심은 1 m 내외로 변동폭이 낮고(30 cm 내외) 유속은 매우 느리다. 또한 수변부의 경사도가 낮고(<5°) 낙엽 등의 유기물 퇴적량이 많으며 잘 발달된 하중도(0.4 km²)로 인하여 다소 안정된 수생태계를 유지하고 있다. 조사기간 내 낙동강 하류부의 연평균 기온은 1998년 15.8°C, 1999년 15.0°C이었고, 최고기온은 28.0°C(1999년 8월), 최저기온은 -3.2°C(1999년 2월)의 기온차를 보였으며, 연강수량은 1998년에 2,028 mm, 1999년에는 2,396 mm로 30년 평년값(1961~1990) 1,472 mm 보다 높게 나타났다(부산지방기상청, 1999)(Fig. 2).

2. 조사방법 및 분석

수계의 특성은 현장에서 수온(YSI meter), 용존산소(YSI Dissolved Oxygen meter, model 58), pH(Orion pH meter, model 290A), 전기전도도(YSI Conductivity meter, model 33)를 측정하였다.

분해실험에 사용된 재료는 낙동강 하류 및 실험지점의 수변을 따라 분포하고 있는 정수식물 중 우점종인 갈대와 준우점종인 줄과 애기부들 3종을 지상부의 죽은 잎 부분을 채취하였다. 수집한 식물은 건조기에서 60°C로 24시간 건조시킨 후(문 등, 1994) 약 10 cm의 길이로 잘라 PVC 망목 낙엽주머니(주머니 크기: 15×30 cm, 망목 직경: 1×1 mm)에 10 g씩 넣었다. 각 종의 낙엽주머니 중 50%는 수서 무척추동물이 자유로이 출입할 수 있도록 20개 정도의 구멍(직경: 1 cm)을 내어 개방낙엽주머니(open bag)를 만들고, 나머지는 구멍을 내지 않은 폐쇄낙엽주머니(closed bag)로 구분하였다. 물의 깊이에 따른 분해율을 비교하기 위하여 이들 낙엽주머니를 스티로폼 조각을 넣어 항상 수면에 뜨는 부유층과 자갈을 넣어 수심 50 cm 정도의 깊이에 항상 잠길 수 있는 침수층으로 구분하여 설치하였다(Table 1). 1998년 11월부터 1999년 9월 홍수로 설치한 방형구가 유실될 때까지 292일간 실시하였다. 1998년 11월 22일(day 0)부터 시작하여, 각각의 정수식물별 낙엽주머니는 1, 2, 3, 5, 7, 9, 14, 21일 이후 8차례와 14일 간격 9차례, 21일 간격 5차례에 걸쳐서 각 종별, 부유층과 침수층의 위치별, 개방망과 폐쇄망의 형태별로 3개씩 회수하였다. 수거한 낙엽주머니는 실험실로 옮겨 흐르는 물로 씻어 낙엽주머니 속의 분해 잔여물과 수서 무척추동물을 분리하고 무척추동물은 10% formalin 용액에 고정하여, 해부현미경 하에서 윤(1988, 1995), 강(1995), Cummins and Merritt(1984)에 따라 동정하였다. 분해 잔여물은 건조기에서 60°C로 24시간 건조시킨 후 건조량을 측정하였다.

하루의 낙엽분해율 k 는 다음 공식에 따라 산출하였다(Petersen and Cummins, 1974).

$$\ln(W_t/W_0) = -kt \quad \text{or} \quad W_t = W_0 e^{-kt}$$

W_t 는 t 시간 후에 남아있는 낙엽무게, W_0 는 낙엽의 원래무게, k 는 낙엽의 분해계수(day), 그리고 t 는 물 속에서 경과일수이다.

결과 및 고찰

1. 수질 분석

본 연구가 이루어진 지점에서 기초 수질은 계절적인 경향을 보여 시기별 변동폭이 높았다. 낙엽주머니 회수시에 측정된 수온 변화는 4.7~26.9°C, 용존산소량은 1.9~15.5 mg/L, 수소이온 농도는 6.9~9.5의 범위를 나타냈다. 전기전도도는 115~332 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위로 6월에 가장 높게 나타났다(Fig. 2). 초여름(6월 이후)에 급격한 용존 산소량의 감소를 보였으며, 전기전도도 및 pH의 변이 정도는 강우량 변동과 밀접한 상관성을 보였다.

2. 정수식물의 분해

본 실험결과 3종 정수식물의 분해율(k 값)은 줄이 0.0051~0.00095, 애기부들은 0.0019~0.0042, 갈대는 0.0016~0.0030이었고, 50% 분해에 소요되는 시간은 줄 72~131일, 애기부들 165~325일, 갈대 220~414일로 실험 종료일까지의 낙엽분해속도는 줄이 가장 컸으며, 애기부들 갈대 순으로 작아졌다(Fig. 3). 완전모형(full model)의 분산분석 결과 주요인 중 3종간 분해속도는 종간 분해율의 차이에 대한 F 값이 59.05로 유의수준 1%에서 유의하게 나타났다(Table 2).

낙엽주머니의 개방과 폐쇄에 관계없이 물의 깊이에 따라 50%까지 분해되는데 소요되는 시간은 갈대의 경우 부유층에서 224일, 침수층에서는 415일로 큰 차이를 보였다. 그리고 줄과 애기부들의 경우도 각각 83일과 131일, 165일과 325일로 물의 깊이에 따른 분해율을 알기 위하여 조사한 부유층과 침수층 간의 위치에 따른 분해 잔존량의 차이는 전체 종의 부유층과 침수층 간에 F 값이 39.13으로 유의수준 1%에서 유의하게 나타났다(Table 2). 그러나 각 종별 위치간의 차이는 유의하지 않은 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 3). 또한 정수식물의 낙엽분해에 관여하는 수서 무척추동물의 영향을 알기 위하여 실시한 개방망, 폐쇄망의 형태별 분해 잔존량의 차이도 유의하지 않은 것으로 나타났다(Fig. 3).

물 속에서 낙엽이 분해될 때에는 일반적으로 가용성

Table 1. The abbreviation of treated conditions

Symbol	Treated conditions of leaf litter bag
PFO	Floating open bag of <i>P. australis</i>
PFX	Floating closed bag of <i>P. australis</i>
PSO	Submerged open bag of <i>P. australis</i>
PSX	Submerged closed bag of <i>P. australis</i>
TFO	Floating open bag of <i>T. angustifolia</i>
TFX	Floating closed bag of <i>T. angustifolia</i>
TSO	Submerged open bag of <i>T. angustifolia</i>
TSX	Submerged closed bag of <i>T. angustifolia</i>
ZFO	Floating open bag of <i>Z. latifolia</i>
ZFX	Floating closed bag of <i>Z. latifolia</i>
ZSO	Submerged open bag of <i>Z. latifolia</i>
ZSX	Submerged closed bag of <i>Z. latifolia</i>

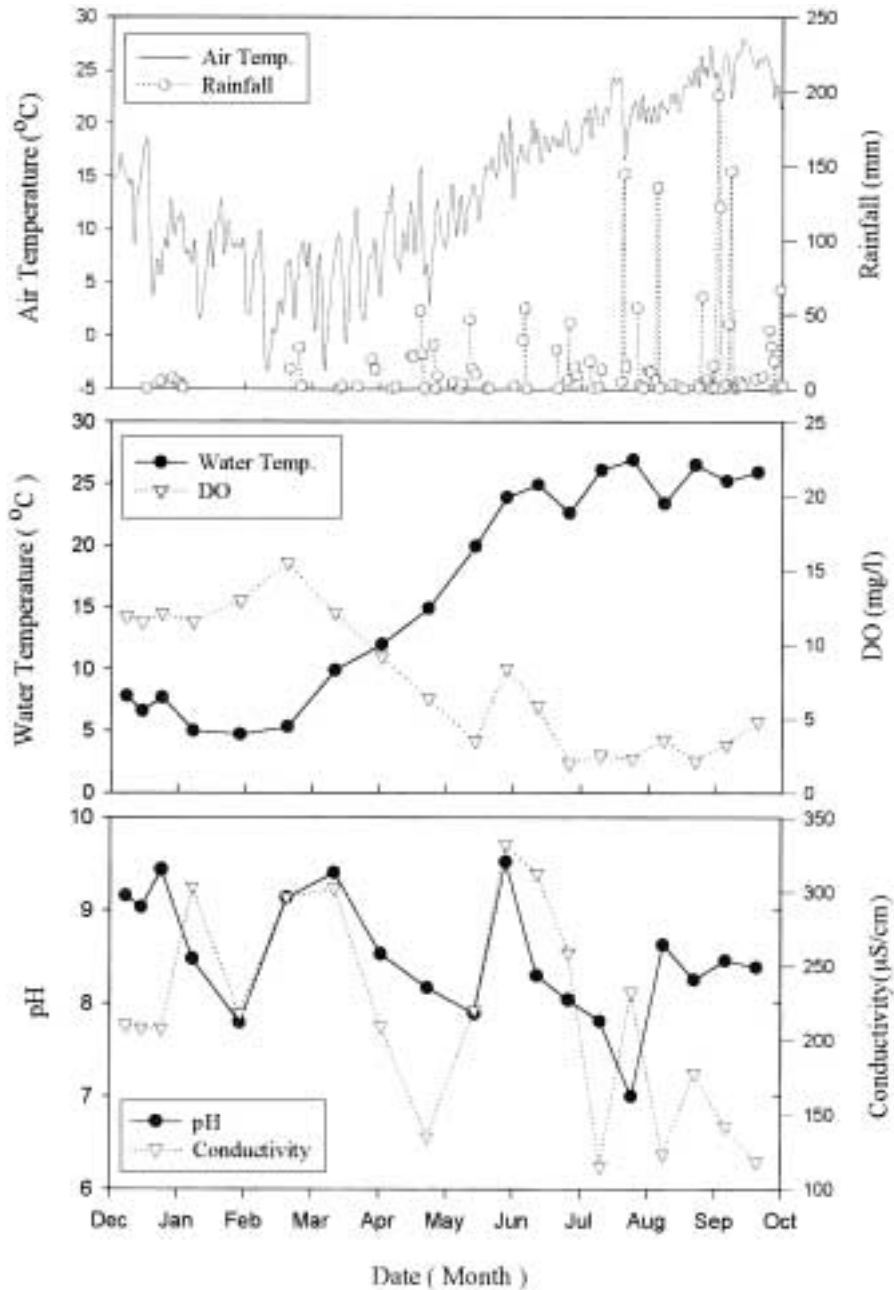


Fig. 2. Physico-chemical characteristics of the study site in the lower Nakdong River (Nov. 1998–Sept. 1999) (data from Korea Meteorological Administration).

물질이 녹아 없어지는 초기의 용탈단계를 거쳐 미생물의 정착·증식 및 무척추동물의 섭식으로 이어지는데 엽육부 등과 같이 연한 부분이 먼저 이용되고 잎맥, 잎자루 등의 난분해성 물질은 주로 미생물과 물 흐름에 의한 물리적 마찰에 의하여 서서히 분쇄되므로 낙엽의 중량감소는 강이나 하천으로 유입된 초기·중기에 빠르

고 후기에 느린 것이 일반적이다(Webster and Benfield, 1986). 그러나 본 연구에서는 실험 초기와 중기 그리고 후기의 낙엽중량 감소속도가 3종의 정수식물 모두 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 실험의 시작시기가 수온이 낮은 겨울철부터이었고, 이 시기에는 낙엽의 분해를 돕는 무척추동물군 역시 개체군이 극소수이므로

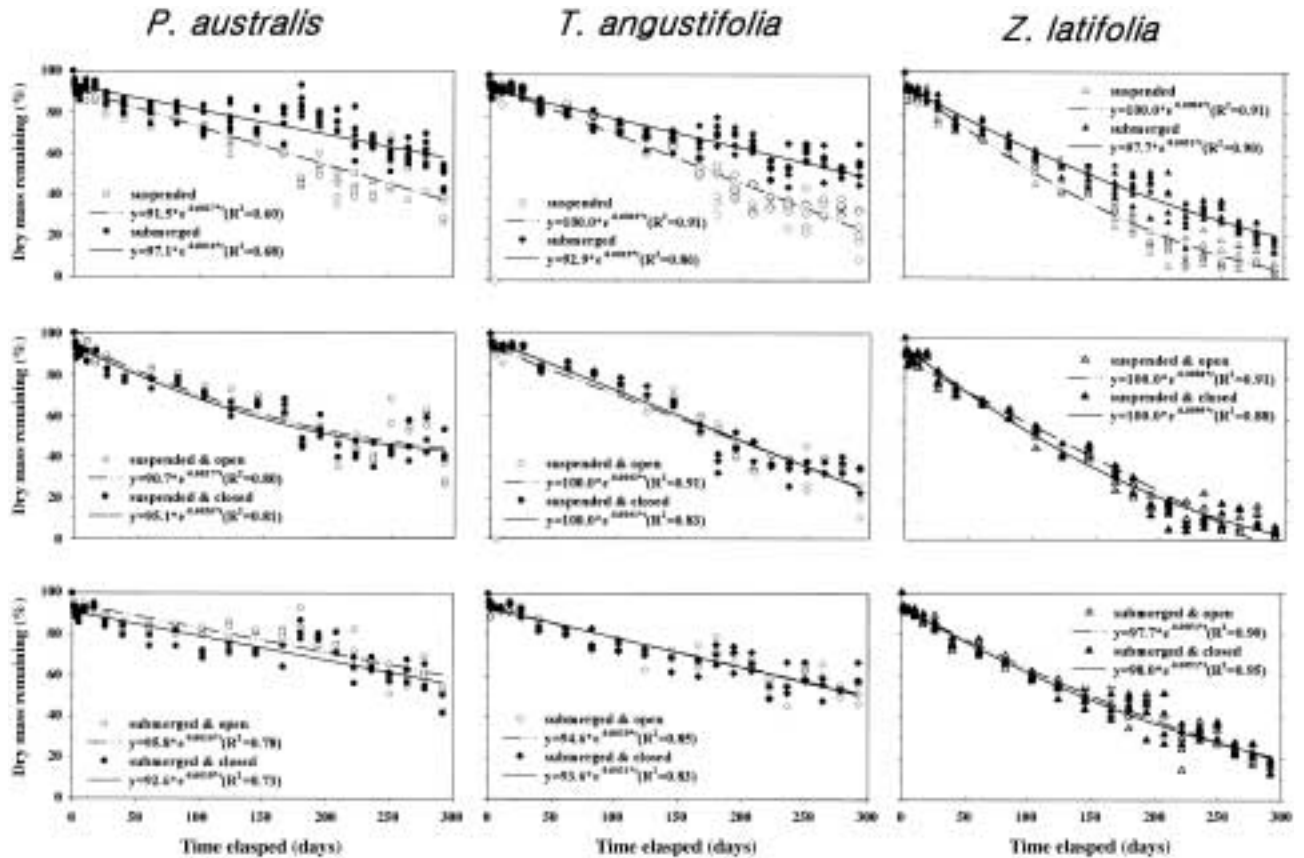


Fig. 3. The comparison on the leaf litter breakdown rates of three species of treated condition.

Table 2. The result of ANOVA on remaining biomass in each condition

Source	DF	F	Pr > F
Species	2	59.05	0.0001
Depth (floating vs. submerged)	1	39.13	0.0001
Type (open vs. closed)	1	0.31	0.5784
Species*Depth	2	0.04	0.9623
Species*Type	2	0.39	0.6779
Depth*Type	1	0.20	0.6562
Species*Depth*Type	2	0.02	0.9767

초기 감소속도가 느리게 나타난 것으로 판단된다.

4. 수서 무척추동물

실험기간 동안 낙엽주머니에서 채집한 수서 무척추동물은 7과 7종의 수서곤충과, 4과 4종의 비곤충 무척추동물이 동정되었다 (Table 3). 출현한 전체 수서 무척추동물의 평균 밀도는 222 ind./m² (n = 792)였으며, 월별로는 6월에 가장 많았다 (Table 4). 우점종은 평균 밀도의 약

Table 3. The species list of aquatic invertebrates collected in leaf litter bags

Family	Species	Korean name
Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	갈따구속의 일종
Hydrophilidae	<i>Amphiops mater</i>	알물팽팽이
Dytiscidae	<i>Guignotus japonicus</i>	꼬마물방개
Coenagrionidae	<i>Ischnura asiatica</i>	아시아실잠자리
Aphelocheiridae	<i>Aphelocheirus nawae</i>	물빈대
Ephemereillidae	<i>Ephemerella keijoensis</i>	알락하루살이
Physidae	<i>Physella acuta</i>	원돌이 물달팽이
Megascolecidae	sp.	지렁이과의 일종
Erpobdellidae	<i>Erpobdella lineata</i>	돌거머리
Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia complanata</i>	갈색넙적거머리

68% 이상을 차지하는 파리목 갈따구과의 *Chironomus* sp. (갈따구속) 로 수집-모으는 기능군 (collector-gather) 이 우점하였다. 수서 무척추동물의 서식 밀도는 개방망 보다 폐쇄망에서 높게 나타났다. 부유층과 침수층에서의

Table 4. The total numbers (ind./m²) of aquatic invertebrates collected in leaf litter bags at the study site

Species	1998	1999								
	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun	Jul.	Aug.	Sep.
<i>Chironomus</i> sp.		8	21	101	55	549	596	158	278	77
<i>Amphiops mater</i>		1		1		1	19	14	3	1
<i>Guignotus japonicus</i>	1	1		7		2	2	3		1
<i>Ischnura asiatica</i>				14						
<i>Aphelocheirus nawae</i>						3	5	1	4	
<i>Ephemerella keijoensis</i>							1	1	2	1
<i>Physella acuta</i>		7	7	15	11	174	110	155	55	11
Megascolecidae sp.				4	2	23	26	29	22	14
<i>Erpobdella lineata</i>						1	3	21	16	8
<i>Glossiphonia complanata</i>	1			1		7	21	21	31	10
Total	2	17	28	143	68	760	783	403	411	123

Table 5. The percent of dominant species (Chironomidae) in aquatic invertebrates on each condition (F: floating, S: submerged, O: open, X: closed) (unit: %, n = 60)

Species Condition	<i>P. australis</i> (mean ± SD)	<i>T. angustifolia</i> (mean ± SD)	<i>Z. latifolia</i> (mean ± SD)
	FO	58 ± 34.9	70 ± 28.6
FX	44 ± 23.4	60 ± 23.2	61 ± 32.8
SO	48 ± 31.4	54 ± 35.4	62 ± 32.3
SX	57 ± 31.8	55 ± 35.5	63 ± 30.9

서식밀도는 크게 차이가 없었으며, 5~6월에 모든 조건에서 서식밀도가 높았다.

낙엽주머니 내에서 깔따구과가 차지하는 비율은 최고 84%로 전체적으로는 애기부들에서 가장 높았고, 갈대에서는 낮게 나타났다 (Table 5). 평균 밀도는 애기부들 (187 ind./m², n = 264), 줄 (180 ind./m², n = 264), 갈대 (95 ind./m², n = 264) 순 이었고 부유층보다 침수층에서, 개방망보다 폐쇄망에서 다소 높게 나타났다.

낙엽주머니에서 채집된 수서 무척추동물의 분류 결과 낙엽의 분쇄 및 분해에 관여하는 종이 1997년 동일지점에 실시한 예비실험시 조사한 것 보다 다양하지 않았고 개체수도 적었다. 이는 실험지점인 유두리 주변에 본 실험설치 후 봄에 강변 농경지를 확대하는 과정에서 퇴적토를 준설하여 주변환경이 교란되었으며, 사상구의 주말농장이 개설되고, 산재해 있는 소단위의 농경지와 비닐하우스 및 잔디 양묘장 그리고 체육공원 등으로부터 지속적으로 오·폐수가 유입되어 수서 무척추동물의 번식과 종 다양성을 제한한 것으로 생각된다.

수서 무척추동물의 개체수와 식물 종간의 관계는 F값 4.30으로 유의수준 10%에서 유의하게 나타났으며,

Table 6. The result of analysis of total number of aquatic invertebrates

Source	DF	F	Pr > F
Species	2	4.30	0.0138
Depth (floating vs. submerged)	1	0.08	0.7797
Type (open vs. closed)	1	3.15	0.0763
Species*Depth	2	0.71	0.4935
Species*Type	2	0.07	0.9288
Depth*Type	1	0.02	0.8834
Species*Depth*Type	2	0.02	0.9759

Table 7. The result of multi-way on the breakdown rate of three plant species according to Chironomidae abundance

Source	DF	F	Pr > F
Species	2	5.14	0.0064
Depth (floating vs. submerged)	1	24.86	0.0001
Type (open vs. closed)	1	27.88	0.0001
Species*Depth	2	3.22	0.0415
Species*Type	2	1.67	0.1895
Depth*Type	1	3.93	0.0485
Species*Depth*Type	2	0.85	0.4279

Tukey의 HSD 방법과 SNK 방법에 의한 다중비교 (multiple comparison) 결과 수서 무척추동물의 개체수는 갈대와 줄에서 서로 다른 것으로 나타났다 (Table 6). 우점종인 깔따구과의 출현 개체수와 식물 종간의 관계는 종별, 위치별, 형태별 F값이 5.14, 24.86, 27.88로 유의수준 1%에서 유의하였다 (Table 7). 수서 무척추동물의 출현 개체수와 유의성에 대한 다중비교 결과 줄과 애기부들은 출현 개체수가 서로 다른 것으로 나타났다. 오염지표종인 깔따구의 높은 서식밀도는 조사지점의 부영영향을 알 수 있다.

낙동강 하류지역 내의 정수식물의 현존량(예: 갈대, $500 \sim 1119 \text{ g} \cdot \text{dw}/\text{m}^2$; 김, 2002)은 높으며 이로 인한 유기물 유입량 또한 매우 높음을 알 수 있다. 따라서, 하류 주변의 정수식물의 낙엽분해는 생태계내의 에너지 흐름과 물질 순환과 같은 기능적 측면에서 매우 주요한 연구 분야임을 시사한다. 본 연구 결과에 의하면 정수 식물별 잎의 분해속도는 줄, 애기부들 그리고 갈대 순으로 나타났다. 국내 대형 인공호수 중 수위 변동폭이 다소 적은 팔당호 내에서의 유기물 분해 실험결과(조, 1992), 줄과 애기부들의 유기물 분해 반감기는 각각 140일과 185일로 본 실험 결과보다 짧았으며, 이는 실험시기의 수온변화와 서식동물군의 분포 차이로 사료된다. 이러한 잎의 분해에 따른 영양염류 동태 변화 및 에너지 활성화도의 증가(Gessner, 2000)는 수 생태계내 먹이사슬에 직·간접적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

낙엽분해에 따른 영양물질의 유입은 이를 먹이원으로 하는 수서 대형무척추 동물군의 분포에 영향을 미친다. Kim *et al.* (1996)은 개방망과 폐쇄망에 따른 낙엽분해 정도에서 개방망이 폐쇄망보다 빠른 것으로 나타났으나 본 실험 결과는 개방망과 폐쇄망 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았고, 부유층과 침수층에서 유의한 차이를 나타내었다. 이는 생태계내에서는 낙엽분해에 관여하는 수서곤충은 강의 상류와 하류에 따라 기능군의 차이가 있으며(Cummins, 1974; Kim *et al.* 1996) 상류와 하류에서의 유속(물리적요인)의 차이가 주요한 원인으로 사료된다. 본 실험에서의 개방망 및 폐쇄망 간의 분해 속도 및 분해율 차이가 없는 것은 물의 흐름이 거의 없고, 또한 상류하천에서의 낙엽분해군(생물적요인)은 갯아먹는 기능군이나, 본 실험망 내의 대표적 수서곤충은 갯아먹는 기능군이 아닌 수집-모으는 기능군인 깔따구과가 우점하였기 때문인 것으로 생각된다.

수생태계내의 영양상태와 오염의 정도에 따라 수변식물의 분해율이 다르게 나타난다(Andersen, 1978; Larsen and Schierup, 1981). 따라서, 환경특성과 낙엽의 분해과정에 따른 분해패턴을 파악하면 낙엽의 종류에 따른 분해율의 차이가 해석 가능하며, 강을 따라 서식하는 수변식물의 영양소 순환과 유기물 분해에 따른 물질 이동 정도를 파악할 수 있어서 수생태계의 관리와 조절이 가능하다. 이러한 방법을 통해서 분해가 빠르게 일어나는 식물의 과영양을 방지하기 위해 적절한 시기에 식물을 제거해주어 2차오염을 방지하는 등 하천의 오염예방을 가능하게 하므로 다른 수변식물을 이용한 동일한 방법으로 장기적 연구가 필요할 것이다. 또한 낙동강하구와 같이 수변식생이 잘 발달되어 있거나 수심이 얕고 생산

성이 높은 갯벌이 대부분 소실된 생태계에서는 남아있는 수변식물 군락이 하구전체에 미치는 영향이 매우 클 것으로 예상되며 유기물 분해보로부터 시작되는 에너지흐름과정에 대한 이해가 절실히 요구된다.

적 요

큰 강의 하류에서 우점하는 정수식물의 분해 기작을 알기 위하여 1998년 11월부터 1999년 9월까지 낙동강 하류의 수변에 분포하는 정수식물 중 우점종인 갈대와 준우점종인 줄 및 애기부들의 낙엽분해속도(개방망과 폐쇄망, 부유층과 침수층)를 비교하고, 수서 무척추동물의 낙엽분해 기여도를 조사하였다. 낙엽주머니에서 채집된 수서 무척추동물은 11과 11종이었으며 평균 밀도는 $222 \text{ ind.}/\text{m}^2$ ($n=792$)였다. 우점종은 평균 밀도의 약 68% 이상을 차지하는 파리목 깔따구과의 *Chironomus sp.* (깔따구속)로 수집-모으는 기능군(collector-gather)이 우점하였다. 수서 무척추동물의 서식 밀도는 개방망보다 폐쇄망에서 높게 나타났으며 부유층과 침수층에서는 큰 차이가 없었다. 낙엽주머니 내 깔따구과의 평균 밀도는 줄($180 \text{ ind.}/\text{m}^2$, $n=264$), 애기부들($187 \text{ ind.}/\text{m}^2$, $n=264$), 갈대($95 \text{ ind.}/\text{m}^2$, $n=264$) 순이었고 부유층보다 침수층에서, 개방망보다 폐쇄망에서 다소 많이 출현하였다. 50% 분해에 소요되는 기간은 줄이 가장 짧고 다음은 애기부들 그리고 갈대 순으로 나타났다. 실험결과 분해율은 줄이 가장 높았으며, 애기부들이 갈대보다 조금 더 빨리 분해되었다. 그리고 3종의 낙엽 모두 분해율이 침수층에서보다 부유층에서 더 빠르게 분해되었다. 개방망과 폐쇄망에서는 분해율의 차이가 나타나지 않았다.

사 사

수서곤충 동정에 많은 도움을 주신 고신대 이동규 교수님, 통계처리를 도와주신 동아대 이정형 교수님께 고마움을 전합니다. 그리고 본 연구는 1998학년도 동아대학교 학술연구비(일반과제) 지원에 의하여 연구되었습니다.

인 용 문 헌

- 강계원. 1995. 잊혀져가는 생물 거머리. 아카데미서적.
김구연. 2002. 낙동강 하구의 수생관속식물의 분포와 생장에

- 관한 연구. 동아대학교 석사학위논문. 51p.
- 문형태, 표재훈. 1994. 낙엽의 분해과정에 따른 영양염류 및 화학적 구성원의 동태. 한국생태학회지 **17**(4): 501-511.
- 부산광역시. 2001. 을숙도 생태공원 조성 기본 계획. 336p.
- 부산지방기상청. 1999. 기상연보(1991~1999). 기상청.
- 심재국. 1991. 온대낙엽수림내 주요 수종의 낙엽의 분해에 미치는 미생물 및 소동물의 영향. 박사학위 논문. 중앙대학교 대학원. 83p.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원. 233p.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감. 제30권 동물편(수서곤충류). 문교부, 서울.
- 윤일병. 1995. 수서곤충검색도설. 정행사. 서울.
- Andersen, F.Ø. 1978. Effect of nutrient level on the decomposition of *Phragmites australis* Trin. *Arch. Hydrobio.* **84**: 42-54.
- Anderson, N.H. and R.J. Sedell. 1979. Detritus processing by macro invertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* **24**: 351-377.
- Barko, J.W., D. Gunnison and S.R. Carpenter. 1991. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. *Aquat. Bot.* **41**: 41-65.
- Brock, T.C.M., B.G.P. Paffen and J.J. Boon. 1985. The effect of the season and of water chemistry on the decomposition of *Nymphaea alba* L.: Weight loss and pyrolysis mass spectrometry of the particulate matter. *Aquat. Bot.* **22**: 197.
- Cummins, K.W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience.* **24**: 631-641.
- Cummins, K.W. and R.W. Merritt. 1984. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 2nd ed. Kendall/Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa.
- Davis, C.B. and A.G. Valk. 1983. Uptake and release of nutrients by living and decomposing *Typha glauca* Godr. tissue at Eagle Lake, Iowa. *Aquat. Bot.* **16**: 75-75.
- Day, F.P. 1989. Limits on decomposition in the periodically flooded, nonriverine dismal swamp. *Freshwater and Wetlands and Wildlife*. Sharitz, R.R. and Gibbons, J.W., Eds., U.S. Department of Energy. 153p.
- Gessner, M.O. 2000. Breakdown and nutrient dynamics of submerged *Phragmites australis* shoots in the littoral zone of a temperate hardwater lake. *Aquat. Bot.* **66**: 9-20.
- Gopal, B. 1990. *Ecology and Management of Aquatic Vegetation in the Indian Subcontinent*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.
- Kaushik, N.K. and H.B.N. Hynes. 1971. The fate of the dead leaves that fall into streams. *Arch. Hydrobio.* **68**: 465-515.
- Kim, H.W., G.J. Joo and J.H. Choi. 1996. Leaf litter processing and patterns of shredder distribution in headwater streams in southeastern Korea. *Korean J. Ecol.* **19**(6): 529-541.
- Larsen, V.J., H.-H. Schierup. 1981. Macrophyte cycling of zinc, copper, lead, and cadmium in the littoral zone of a polluted and a non-polluted lake. II. Seasonal changes in heavy metal content of above-ground biomass and decomposing leaves of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. *Aquat. Bot.* **11**: 211-230.
- Mason, C.F. and R.J. Bryant. 1975. Production nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* Trin. and *Typha angustifolia* L. *J. Ecol.* **63**: 71-96.
- Neely, R.K. and C.B. Davis. 1985. Nitrogen and phosphorus fertilization of *Sparganium eurycarpum* Engelm. and *Typha glauca* Godr. stands. Emergent plant decomposition. *Aquat. Bot.* **22**: 363.
- Petersen, R.C. and K.W. Cummins. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biol.* **4**: 343-368.
- Polunin, N.V.C. 1982. Processes contributing to the decay of reed (*Phragmites australis*) litter in freshwater. *Arch. Hydrobio.* **94**: 182-209.
- Smith, R.L. 1995. *Ecology and Field Biology*. R.L. Smith. 5th ed. West Virginia Univ. ISBN. **10**: 159-161.
- Wallace, J.B. and R.W. Merritt. 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* **25**: 103-132.
- Webster, J.R. and E.F. Benfield. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystem. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **17**: 567-594.

(Received 18 July 2002, Manuscript accepted 26 Aug. 2002)

Appendix. The density (ind./m², mean±SD) of aquatic invertebrates collected on each condition of leaf litter bags at the study site (n = 6).

Treatment	Month 1998	1999								
	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
POO	22±0	—	—	204±65	—	546±298	689±569	193±114	180±144	66±12
POX	—	—	—	66±0	—	524±440	865±308	364±145	257±147	110±50
PSO	22±0	66±31	220±166	225±99	198±62	315±133	220±100	132±65	260±142	154±25
PSX	—	22±0	99±15	154±45	323±66	484±251	315±209	181±84	293±129	198±88
ZOO	—	—	—	95±44	139±70	788±600	664±319	251±151	539±325	88±55
ZOX	—	22±0	—	77±77	44±0	869±704	1049±402	381±195	279±148	286±101
ZSO	—	132±0	88±0	176±176	176±79	498±363	1159±1232	125±45	301±85	506±1330
ZSX	—	—	22±0	264±264	99±55	631±677	697±352	401±211	825±320	572±352
TOO	—	66±0	—	88±0	154±154	414±440	583±286	203±102	564±216	154±58
TOX	—	—	66±0	132±31	—	917±932	968±278	291±92	348±174	242±99
TSO	—	44±22	22±0	182±178	183±67	1290±1421	616±491	154±60	282±75	66±25
TSX	—	—	33±15	154±132	213±55	1375±1419	759±594	291±134	363±133	198±95