

## 한국산 수서곤충류 섭식기능군 유형 및 군집 안정성 분석

노 태 호\* · 전 동 준<sup>1</sup>

(한국환경정책·평가연구원, <sup>1</sup>고려대학교 한국곤충연구소)

**Functional Feeding Group Categorization of Korean Immature Aquatic Insects and Community Stability Analysis. Ro, Tae Ho\* and Dong Jun Chun<sup>1</sup> (Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea, <sup>1</sup>Korean Entomological Institute, Korea University, Seoul 136-701, Korea)**

Based on the Merritt-Cummins system, the Korean immature aquatic and semi-aquatic insects were reviewed and categorized into 6 different functional feeding groups (FFG) at the generic levels (257 genera belonging to 96 families, 10 orders). Among 257 genera, the most abundant FFG was the predator type consisting of 122 (47%) genera. The second and third major groups were gathering-collectors (33 genera, 13%) and shredders (21, 8%), respectively. Next group was occupied by scrapers (20, 7%), and followed by filtering-collectors (12, 5%) and plant-piercers (6, 2%). In addition, a total of 43 genera in 7 orders were remained as uncategorized groups. Both relative degrees of resistance and resilience of each genus were also analyzed to evaluate the role of each FFG in maintaining community stability. The results elucidated that the gathering-collectors and the scrapers could play a role as a pioneer group and a functional mediator in the community, respectively. The results also indicated that the practical use of relative resistance and resilience degrees could be applied to conduct comprehensive studies in stream ecosystems.

**Key words : functional feeding group, resistance, resilience, community stability**

### 서 론

한국에서 유충단계에서의 수서 및 반수서곤충류는 10 목 96과 257속 495종이 정리, 보고되어 있으나(배와 윤, 1999) 이는 성충에 대한 보고 및 기록을 모두 합친 723종의 약 68%에 불과하다. 하천의 생태적 안정성과 건전성의 평가 그리고 복원에 있어서 유충의 시기 또는 전 생애를 담수에서 생활하는 이들의 중요성은 이미 잘 알려져 있다(노, 2002a). 이는 저서성 대형무척추동물의 대부분(95%)이 수서곤충으로서 이들이 하천생물의 종 다양성과 풍부성을 거의 결정하기 때문이다. 하천생태계는

생산자, 소비자 및 분해자의 각 영양단계 (trophic level)가 서로 유기적 관계로 연결되어 먹이사슬 (food chain)을 이루고, 이들이 망처럼 얽혀서 먹이그물 (food web)을 형성한다. 따라서 하천생태계의 다양성이나 단순성은 먹이사슬의 복잡성으로 측정될 수 있기 때문에 먹이사슬은 하천생태계의 기능을 규명하기 위한 주요 관심 사항일 뿐만 아니라 하천생태계의 환경을 평가하는 지표가 되기도 한다(Barnes and Minshall, 1983; 노, 2002a). 유충단계에서의 분류학적 완성도가 낮은 현실을 극복할 수 있는 대안으로서 생태적 접근방법을 고려할 수 있다. 즉, 분류학적 상위단계에서 이들의 기능성을 분류(그룹화하여 생태적 기능단위로 재구성하는 접근론을 들 수 있다. 이

\* Corresponding author: Tel: 02) 380-7671, Fax: 02) 380-7744, E-mail: thro@kei.re.kr

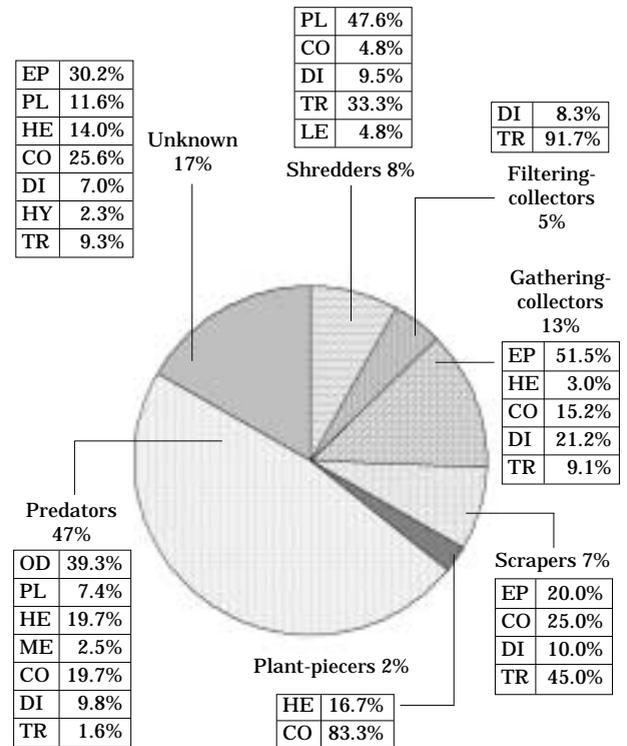
러한 방법론에 있어 가장 생태적 응용성이 높은 개념은 수서곤충류 섭식기능군 (functional feeding group; FFG) 별 분석 및 적용이라 할 수 있다. 하천생태계에 존재하는 다양한 먹이자원 (food resources)의 획득방법에 따른 섭식기능군의 유형이 Cummins (1973)에 의해 제시된 이래 이를 체계화하려는 일련의 연구가 시도되었다 (Cummins, 1974; Cummins and Klug 1979; Merritt and Cummins 1984, 1996). 또한 이와는 독립적으로 Wallace와 Merritt (1980), Hawkins and Sedell (1981), Bunn (1986), Behmer and Hawkins (1986), Beisser *et al.* (1991), Grown와 Davis (1994), 가 각 분류군 별로 섭식기능군의 세분화 작업을 수행한 바 있다. 한국의 경우, 노 (2002b)는 Merritt-Cummins의 체계를 근간으로 다양한 선행 조사자료와 문헌조사를 토대로 한국산 수서곤충류 섭식기능군의 유형 분류 및 생태적 중요성을 체계적으로 정리, 보고한바 있다. 한편, 배 등 (2003)은 가평천에 서식하는 수서곤충 군집의 구조에 있어 섭식기능군 조성을 하순에 따라 분석한 바 있다.

유수생태계의 기능을 분석함에 있어 하천이 지닌 고유한 물리적 특성과 지역성 그리고 인위적 간섭의 정도를 포함시키는 총체적인 계량화는 생태적 원리의 적극적인 응용이라는 측면에서 매우 중요하다. 이를 위해 하천생태계의 안정성 기작에 작용하는 저항력과 회복력에 대한 등급화를 섭식기능군 개념에 적용하여 상대적 분포유형 별에 따른 유수생태계의 기능 분석에 대한 연구가 필요하다. 국내에서는 하천생태계의 건전성을 파악하기 위한 일련의 방법으로 계 (system)의 안정성에 대한 분석 도구로 수서곤충류를 총 34개 군으로 세분한 후 이들의 상대적 저항력과 회복력에 대한 연구가 수행된 바 있다 (노, 2002a). 그러나 생태계 내에 서식하는 다양한 생물종들 가운데 보다 다양한 기능적 지표생물군의 선정이 필요하며, 교란에 대한 이들 생물군의 저항력과 회복력에 대한 종합적인 등급화 연구가 필요한 상황이다. 즉, 동식물군 중 주요한 생물군의 생태계 안정성 기작에 작용하는 저항력과 회복력에 대한 등급화의 확대연구 연구는 시급히 실현되어야 할 사항이다 (노, 2002a).

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 생태적인 응용성을 높이기 위한 토대자료로서 한국 유수생태계에 분포하는 수서곤충류 전반에 걸친 섭식기능군별 유형 분석 결과를 재검증하고 이들의 상대적 회복력 및 저항력을 동시에 분석함으로써 각각의 섭식기능군이 생태계 내 군집 안정성에 기여하는 정도를 규명, 이를 종합적으로 정리·체계화하고자 한다.

### 섭식기능군 유형의 분화양상 및 주요 분류군 현황

노 (2002b)는 선행연구에서 한국산 수서곤충류의 FFG를 속 (Genus) 수준에서 6가지 기능군으로 정리하면서 일부 속에 있어 상이한 FFG가 존재하는 경우에는 가장 비율이 높은 기능군을 해당 속의 대표 기능군으로 표기한다. 총 6가지의 FFG는 식물잔사체를 찢어 먹는 무리 (shredder; SH), 돌이나 저질의 부착된 조류, 이끼 및 유기물 등을 긁어 먹는 무리 (scraper; SC), 유수의 물리적 특성을 이용하여 유기물을 걸러 먹는 무리 (filtering-collector; FC), 주어먹는 무리는 (gathering-collector; GC), 수생식물을 직접 뜯어 이들의 영양물질을 이용하는 무리 (plant-piercer; PP), 그리고 육식성 포식자를 나타내는 무리 (predator; P) 등이다. 한국산 수서 및 반수서곤



**Fig. 1.** Relative percentages of 6 different FFG's (at generic level) and their taxonomic compositions for aquatic and semi-aquatic insect taxa (10 orders, 96 families, and 257 genera) reported in Korea. (EP: Ephemeroptera, OD: Odonata, PL: Plecoptera, HE: Hemiptera, ME: Megaloptera, CO: Coleoptera, HY: Hymenoptera, DI: Diptera, TR: Trichoptera, and LE: Lepidoptera).

총 10목 96과 257속을 대상으로 이들을 섭식기능군별로 분류한 결과 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것은 P로서 전체 기능군의 절반(122속, 48%)가량을 차지하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 1). 그 뒤를 GC(33속, 13%), SH(21속, 8%), SC(20속, 7%), FC(12속, 5%) 그리고 PP(6속, 2%)의 순으로 나타났으며, 기능군이 밝혀지지 않은 분류군이 43속으로 약 17%로 나타났다.

속 수준에서 분석된 전체적인 분포비율에 있어 P가 상대적으로 매우 높은 비율을 나타내는 이유는 일부 목(Order)에 속하는 분류군이 육식성 포식자의 특성을 나타내기 때문이다. 섭식기능군 P에 있어서는 잠자리류가 39.3%를 차지하여 가장 높은 비율을 나타냈으며 그 뒤를 노린재류 및 딱정벌레류가 각각 19.7%, 파리류가 9.8%, 강도래류 7.4%를 나타냈고 뱀잠자리류와 날도래류는 각각 2.5% 및 1.6%를 차지한다. 섭식기능군 GC는 하루살이목에 속하는 분류군이 51.5%를 점유하고 있으며, 파리류는 21.2%, 딱정벌레류, 날도래류 및 노린재류가 각각 15.2%, 9.1% 그리고 3%를 점유하여 총 5개 분류군이 섭식기능군 GC를 구성하였다. 외부로부터 하천생태계 내로 유입되는 나뭇잎이나 나뭇가지처럼 큰 고형물질(> 1 mm)인 CPOM을 썰어서 먹는 무리(SH)도 총 5개 목에 걸쳐 나타나는 것으로 분석되었으며 전체적으로 8%의 점유율을 보였다. 섭식기능군 SH에는 강도래류가 가장 많이 우점하여 47.6%를 차지하였고 날도래류는 33.3%의 점유율을 보였다. 딱정벌레와 나비류의 경우 각각 1개의 분류군이 SH로서 분류되어 4.8%의 비율을 차지하고 있다. 전체 섭식기능군의 7%를 차지하는 SC의 경우는 날도래류(45.0%)가 우점하고 딱정벌레류(25.0%)와 하루살이류(20.0%)가 비슷한 분포율을 나타냈다. 가장 낮은 비율을 보이는 분류군은 파리류로서 10%의 점유율을 나타냈다. 몸의 구조물이나 망을 이용하여 물 속에 떠있는 물질을 걸러서 먹는 섭식기능군 FC는 날도래류(91.7%)와 파리류(8.3%)에서만 나타났다. 수생식물을 직접 뜯어 이들의 영양물질을 이용하는 PP는 전체 섭식기능군의 약 2%를 차지하며 딱정벌레(83.3%)와 노린재류(16.7%)에 속하는 분류군에 한정하여 출현하는 것으로 나타났다. 섭식기능군의 형태가 아직까지 불분명한 분류군은 총 43개(17%)로서 이 중 가장 높은 비율을 차지하는 분류군으로서 하루살이류(13속, 30.2%)이며 딱정벌레류가 그 다음(25.6%)을 차지하고 있다.

하루살이류는 총 34개 속(Genus) 수준의 분류단계에서 2가지의 섭식기능군(GC 및 SC)이 나타났다. 주요한 섭식기능군은 GC로서 이들은 17개(51.5%) 속을 차지하고 있다(Table 1). 즉 대부분이 shredder에 의한 부산물

일 수도 있는 미세 또는 초미세유기물(FPOM 또는 UPOM)을 하상이나 저질층의 퇴적물에서 주워 먹는 기능군으로서 하천생태계 내에서 물질순환의 중요한 기능을 수행하는 것으로 나타났다. 돌이나 저질의 부착된 조류, 이끼 및 유기물 등을 긁어 먹는 무리인 SC에는 *Ameletus*, *Drunella*와 *Cinygmula* 등 3개 속이 해당하는 것으로 나타났다. 일반적으로 Baetidae에 속하는 8개의 분류군 가운데 섭식의 기능이 밝혀진 4개군의 경우, GC로 규명되어 나머지 분류군도 동일한 기능군으로서 담수생태계 내에서 유사한 생태적 기능을 수행할 것으로 추측되나, *Baetis*와 *Procladius*에 속하는 일부 종은 섭식기능군 SC로 선별되므로 이에 대한 면밀한 분석이 요구되어진다(노, 2002b). 또한 Potamantidae와 같이 규모가 큰 유수역에서 서식하는 분류군에 대한 기능군 판별은 하천의 생태적 특성을 규명하는데 필요한 선결사항으로서 이에 대한 연구가 시급한 것으로 사료된다.

날도래류는 외시류의 독립된 분류군으로서 생태적으로 가장 중요한 분류군 중의 하나이다. 이들은 하천의 최상류역에서 최하류역까지 지리적으로 매우 넓은 분포구배를 나타내는 적응성을 보이며 유수생태계 내에서 가장 중요한 지표 생물군으로서의 이용가치가 높다. 또한 다양한 형태의 집(case)을 짓는 전략을 구사하는 생활형을 나타내는 고도로 분화된 진화적 특성을 지니는 분류군임은 잘 알려진 사실이다(Wiggins, 1977). 총 36개의 속의 분류군으로 구성된 날도래 목에서는 6가지 섭식기능군 가운데 PP를 제외한 나머지 5가지 기능군이 나타났으며, 이 가운데 유수의 물리적 특성을 이용하여 유기물을 걸러 먹는 FC로서의 기능성을 띠는 군이 11개로서 약 30.6%를 차지한다(노, 2002b). 이와 유사하게 돌이나 저질의 부착된 조류, 이끼 및 유기물 등을 긁어 먹는 무리인 SC도 25%(9개)를 차지하고 있어 이들이 절반이상을 차지하는 주요한 섭식기능군으로서 파악되었다. 식물잔사체를 썰어 먹는 무리인 SH는 7개 군으로 19.4%를 차지하고 있고, GC 및 P에는 각각 4개 및 2개의 속으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 섭식기능군 P가 대표 기능군으로 분석된 *Rhyacophila*속의 경우 SC, GC 및 SH의 기능을 보이는 종들로 세분화되어 있으며, 그 외 *Psychomyia*, *Agapetus*, *Micrasema*, *Hydatophylax*, *Limnephilus* 및 *Ceraclea* 등을 포함한 10개 속도 섭식기능이 보다 세분화된 종들로 구성되어 있는 것으로 분석되었다(노, 2002b).

전체 24개 속으로 구성된 것으로 알려진 한국의 강도래류는 SH에 속하는 기능군이 41.7%이며, 이와 비슷한 점유율인 37.5%가 P로서의 기능을 수행하는 것으로 나

**Table 1.** Relative composition rates and numbers of 6 different FFG's at the level of genus in each order (Modified from Ro, 2002b). (EP: Ephemeroptera, OD: Odonata, PL: Plecoptera, HE: Hemiptera, ME: Megaloptera, CO: Coleoptera, HY: Hymenoptera, DI: Diptera, TR: Trichoptera, and LE: Lepidoptera).

	EP		OD		PL		HE		ME	
	No.	%								
Shredders	0	0.0	0	0.0	10	41.7	0	0.0	0	0.0
Filtering-collectors	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Gathering-collectors	17	51.5	0	0.0	0	0.0	1	3.1	0	0.0
Scrapers	4	9.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Plant-piecers	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	3.1	0	0.0
Predators	0	0.0	48	100.0	9	37.5	24	75.0	3	100.0
Unknown	13	39.4	0	0.0	5	20.8	6	18.8	0	0.0
Sum	34	100.0	48	100.0	24	100.0	32	100.0	3	100.0

	CO		HY		DI		TR		LE	
	No.	%								
Shredders	1	2.0	0	0	2	7.4	7	19.4	1	100.0
Filtering-collectors	0	0.0	0	0.0	1	3.7	11	30.6	0	0.0
Gathering-collectors	5	9.8	0	0.0	7	25.9	3	8.3	0	0.0
Scrapers	5	9.8	0	0.0	2	7.4	9	25.0	0	0.0
Plant-piecers	5	9.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Predators	24	47.1	0	0.0	12	44.4	2	5.6	0	0.0
Unknown	11	21.6	1	100.0	3	11.1	4	11.1	0	0.0
Sum	51	100.0	28	100.0	27	100.0	36	100.0	1	100.0

타났다 (Table 1). 그러나 5개의 속 (*Scopura*, *Taenionema*, *Kamimuria*, *Oyamia* 및 *Kiotina*)의 정확한 섭식기능군이 규명되어 있지 않는 것으로 나타났으며, 강도래류 중 대표 섭식기능군이 SH로 선별된 *Amphinemura*와 *Yoraperla*에 속하는 일부 종은 열악한 환경에서는 각각 GC 및 SC로 기능을 전환하는 보완적 적응성을 보이는 종도 있는 것으로 보고된 바 있다 (노, 2002b).

잠자리 목에 속하는 분류군은 생태적, 형태적 연구가 타 분류군에 비하여 상대적으로 활발히 진행되어온 분류군으로서 이들의 구기에 대한 형태적인 연구와 취식의 행동학적 특성이 잘 규명되어 있다. 총 48개 속으로 구분되는 본 분류군은 Table 1에서 보는 바와 같이 모두 P의 섭식기능군으로 분화되어 있는 것으로 나타났으며, 이들 중 일부는 피식자를 통째로 삼키는 *engulfer*이다 (노, 2002b).

국내의 경우 지금까지 파리목에서는 총 27개의 분류군이 속 수준에서 보고·정리되어 있으며, 이들은 모두 5가지 형태의 FFG로 분화되었다 (Table 1). 이 중 12개 (44.4%) 분류군은 섭식기능군 P로 분류되었으며, 그 뒤를 7개 분류군으로 형성된 GC가 전체의 약 26%를 차지하고 있다. 섭식기능군 SC와 SH가 각각 7.1%를 차지하고 FC는 *Simuliidae*과의 *Simulium*속이 유일한 것으로 나

타났다. 속 수준에서 유충 시기의 분류적 정리가 미비한 *Ceratopogonidae*, *Dolichopodidae*, *Ephydriidae* 및 *Muscidae*는 과 수준에서의 섭식기능군을 적용하여 분류하였다 (Table 2). 동일한 과에서 상이한 섭식기능군의 형태를 나타내는 분류군은 *Tipulidae*로서 P, SH 그리고 GC형태의 섭식기능군이 세분화되어 있는 것으로 분석되었으며, *Dicranomyia*와 *Nephrotoma* 등의 2개 속에 해당하는 생물군의 기능군 형태는 아직 알려지지 않고 있다 (노, 2002b).

### 섭식기능군의 상대적 저항력과 회복력

하천생태계의 안정성은 생물군집의 동적평형을 통하여 유지되며 이는 항상성 기작과 밀접한 연관성을 지니고 있다. 이러한 일련의 기작은 계량화가 가능한 군집의 저항력과 회복력으로 설명되어질 수 있다. 선행된 연구 (노, 2002a)에서 34개의 수서곤충 분류군들 간의 상대적인 저항력과 회복력은 각각 10등급으로 세분화되었으며 이에 기초하여 FFG 분류의 기본 단위인 257속의 상대적 저항력과 회복력을 분석한 결과는 표 2와 같다.

딱정벌레목에 속하는 대부분의 속 수준의 분류군은 상

**Table 2.** Comprehensive list (alphabetically ordered) of categorized FFG and degrees of relative resistance and resilience for all Korean aquatic and semi-aquatic insects (257 genera, 96 families, 10 orders).

Order	Family	Genus	FFG type	Relative resistance	Relative resilience	Order	Family	Genus	FFG type	Relative resistance	Relative resilience
Coleoptera						Diptera					
	Chrysomelidae	<i>Galerucella</i>	SH	8	7		Athericidae	<i>Atherix</i>	P	3	4
	Dytiscidae	<i>Agabus</i>	P	8	7		Athericidae	<i>Suragina</i>	P	3	4
	Dytiscidae	<i>Clypeodytes</i>	P	8	7		Blepharoceridae	<i>Bibliocephala</i>	SC	2	4
	Dytiscidae	<i>Coelambus</i>	P	8	7		Blepharoceridae	<i>Philorus</i>	SC	2	4
	Dytiscidae	<i>Copelatus</i>	P	8	7		Ceratopogonidae	<i>Ceratopogonidae?</i>	P	u/d*	u/d
	Dytiscidae	<i>Cybister</i>	P	8	7		Chaoboridae	<i>Chaoborus</i>	P	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Dytiscus</i>	P	8	7		Chironomidae	<i>Chironomus</i>	GC	7.5	9.5
	Dytiscidae	<i>Eretes</i>	P	8	7		Dixidae	<i>Dixa</i>	GC	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Graphoderus</i>	P	8	7		Dolichopodidae	<i>Dolichopodidae?</i>	SH	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Guignotus</i>	P	8	7		Empididae	<i>Empididae?</i>	P	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Hydaticus</i>	P	8	7		Ephydriidae	<i>Ephydriidae?</i>	unknown	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Hyphydrus</i>	P	8	7		Muscidae	<i>Muscidae?</i>	P	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Ilybius</i>	P	8	7		Psychodidae	<i>Psychoda</i>	GC	9	8
	Dytiscidae	<i>Laccophilus</i>	P	8	7		Psychodidae	<i>Telmatoscopus</i>	GC	9	8
	Dytiscidae	<i>Liodessus</i>	P	8	7		Simuliidae	<i>Simulium</i>	FC	3	5
	Dytiscidae	<i>Neonectes</i>	P	8	7		Stratiomyiidae	<i>Stratiomyia</i>	GC	u/d	u/d
	Dytiscidae	<i>Oreodytes</i>	P	8	7		Syrphidae	<i>Eristalis</i>	GC	9	7
	Dytiscidae	<i>Platambus</i>	P	8	7		Tabanidae	<i>Atylotus</i>	P	4	6
	Dytiscidae	<i>Potamonectes</i>	P	8	7		Tabanidae	<i>Chrysops</i>	P	4	6
	Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	P	8	7		Tabanidae	<i>Tabanus</i>	P	4	6
	Elmidae	<i>Optioservus</i>	SC	3	6		Tipulidae	<i>Antocha</i>	GC	6	7
	Elmidae	<i>Stenelmis</i>	SC	3	6		Tipulidae	<i>Dicranomyia</i>	unknown	6	7
	Elmidae	<i>Zaitzevia</i>	GC	3	6		Tipulidae	<i>Dicranota</i>	P	6	7
	Gryinidae	<i>Dineutes</i>	P	8	7		Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	P	6	7
	Gryinidae	<i>Gyrinus</i>	P	8	7		Tipulidae	<i>Nephrotoma</i>	unknown	6	7
	Gryinidae	<i>Orectochilus</i>	P	8	7		Tipulidae	<i>Pedicia</i>	P	6	7
	Haliplidae	<i>Haliplus</i>	PP	8	7		Tipulidae	<i>Tipula</i>	SH	6	7
	Haliplidae	<i>Peltodytes</i>	PP	8	7	Ephemeroptera					
	Helodidae	<i>Helodes</i>	unknown	8	7		Ameletidae	<i>Ameletus</i>	SC	5	6
	Helodidae	<i>Scirtes</i>	unknown	8	7		Baetidae	<i>Acentrella</i>	GC	5	6
	Heteroceridae	<i>Heterocercus</i>	unknown	8	7		Baetidae	<i>Alainites</i>	unknown	5	6
	Hydrophilidae	<i>Amphiops</i>	unknown	8	7		Baetidae	<i>Baetiella</i>	unknown	5	6
	Hydrophilidae	<i>Berosus</i>	PP	8	7		Baetidae	<i>Baetis</i>	GC	5	10
	Hydrophilidae	<i>Cercyon</i>	unknown	8	7		Baetidae	<i>Cloeon</i>	GC	7	10
	Hydrophilidae	<i>Coelostoma</i>	unknown	8	7		Baetidae	<i>Labiobaetis</i>	unknown	5	6
	Hydrophilidae	<i>Cryptopleurum</i>	unknown	8	7		Baetidae	<i>NiGrobaetis</i>	unknown	5	6
	Hydrophilidae	<i>Enochrus</i>	PP	8	7		Baetidae	<i>Procloeon</i>	GC	5	6
	Hydrophilidae	<i>Helochares</i>	GC	8	7		Caenidae	<i>Brachycercus</i>	GC	5	6
	Hydrophilidae	<i>Hydrobius</i>	GC	8	7		Caenidae	<i>Caenis</i>	GC	6	7
	Hydrophilidae	<i>Hydrochara</i>	GC	8	7		Ephemerellidae	<i>Cincticostella</i>	unknown	5	6
	Hydrophilidae	<i>Hydrophilus</i>	GC	8	7		Ephemerellidae	<i>Drunella</i>	SC	5	6
	Hydrophilidae	<i>Laccobius</i>	PP	8	7		Ephemerellidae	<i>Ephacerella</i>	unknown	5	6
	Hydrophilidae	<i>Pachysternum</i>	unknown	8	7		Ephemerellidae	<i>Ephemerella</i>	GC	5	6
	Hydrophilidae	<i>Regimbartia</i>	unknown	8	7		Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	GC	5	6
	Hydrophilidae	<i>Sphaeridium</i>	unknown	8	7		Ephemerellidae	<i>Uracanthella</i>	unknown	6	7
	Hydrophilidae	<i>Sternolophus</i>	unknown	8	7		Ephemeraidae	<i>Ephemera</i>	GC	4.5	5.5
	Noteridae	<i>Canthydrus</i>	P	8	7		Heptageniidae	<i>Bleptus</i>	unknown	8	9
	Noteridae	<i>Noterus</i>	P	8	7		Heptageniidae	<i>Cinygmula</i>	SC	8	9
	Psephenidae	<i>Eubrianax</i>	SC	1	2		Heptageniidae	<i>Ecdyonurus</i>	unknown	8	9
	Psephenidae	<i>Mataeopsephus</i>	SC	1	2		Heptageniidae	<i>Epeorus</i>	GC	8	9
	Psephenidae	<i>Psephenoides</i>	SC	1	2						

Table 2. Continued.

Order	Family	Genus	FFG type	Relative resistance	Relative resilience	Order	Family	Genus	FFG type	Relative resistance	Relative resilience
	Heptageniidae	<i>Heptagenia</i>	SC	8	9	Megaloptera					
	Heptageniidae	<i>Iron</i>	GC	8	9	Corydalidae	<i>Parachauliodes</i>	P	4	3	
	Heptageniidae	<i>Rhithrogena</i>	GC	8	9	Corydalidae	<i>Protohermes</i>	P	4	3	
	Isonychiidae	<i>Isonychia</i>	GC	5	6	Sialidae	<i>Sialis</i>	P	4	3	
	Leptophlebiidae	<i>Choroterpes</i>	GC	3	6	Odonata					
	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i>	GC	5	6	Aeshnidae	<i>Aeschnophlebia</i>	P	7	6	
	Metretopodidae	<i>Metretopus</i>	unknown	5	6	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>	P	7	6	
	Neophemeridae	<i>Potamanthellus</i>	unknown	5	6	Aeshnidae	<i>Anax</i>	P	7	6	
	Polymitarciidae	<i>Ephoron</i>	GC	5	6	Aeshnidae	<i>Boyeria</i>	P	7	6	
	Potamanthidae	<i>Potamanthus</i>	unknown	3	4	Aeshnidae	<i>Gynacantha</i>	P	7	6	
	Potamanthidae	<i>Rhoenanthus</i>	unknown	3	4	Calopterygidae	<i>Calopteryx</i>	P	7	6	
	Siphonuridae	<i>Siphonurus</i>	GC	5	6	Calopterygidae	<i>Mnais</i>	P	7	6	
Hemiptera						Coenagrionoidae	<i>Cercion</i>	P	7	6	
	Aphelocheiridae	<i>Aphelocheirus</i>	unknown	7	5	Coenagrionoidae	<i>Ceriagrion</i>	P	7	6	
	Belostomatidae	<i>Diplonychus</i>	P	1	1	Coenagrionoidae	<i>Enallagma</i>	P	7	6	
	Belostomatidae	<i>Lethocerus</i>	P	1	1	Coenagrionoidae	<i>Ischnura</i>	P	7	6	
	Belostomatidae	<i>Muljarus</i>	P	1	1	Coenagrionoidae	<i>Mortonagrion</i>	P	7	6	
	Corixidae	<i>Cymatia</i>	unknown	7	5	Coenagrionoidae	<i>Nehalania</i>	P	7	6	
	Corixidae	<i>Hesperocorixa</i>	PP	7	5	Coenagrionoidae	<i>Anotogaster</i>	P	7	6	
	Corixidae	<i>Micronecta</i>	P	7	5	Corduliidae	<i>Cordulia</i>	P	7	6	
	Corixidae	<i>Sigara</i>	GC	7	5	Corduliidae	<i>Epithea</i>	P	7	6	
	Gerridae	<i>Aquaris</i>	P	7	5	Corduliidae	<i>Epophthalmia</i>	P	7	6	
	Gerridae	<i>Asclepios</i>	P	7	5	Corduliidae	<i>Macromia</i>	P	7	6	
	Gerridae	<i>Gerris</i>	P	7	5	Corduliidae	<i>Somatochlora</i>	P	7	6	
	Gerridae	<i>Halobates</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Anisogomphus</i>	P	7	6	
	Gerridae	<i>Metrocoris</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Burmagomphus</i>	P	7	6	
	Gerridae	<i>Rhyacobates</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Davidius</i>	P	3	3	
	Hydrometridae	<i>Hydrometra</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Gomphidia</i>	P	7	6	
	Mebridae	<i>Hebrus</i>	unknown	7	5	Gomphidae	<i>Gomphus</i>	P	7	6	
	Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Ictinogomphus</i>	P	7	6	
	Naucoridae	<i>Ilyocoris</i>	unknown	7	5	Gomphidae	<i>Nihonogomphus</i>	P	3	3	
	Nepidae	<i>Laccotrephes</i>	P	4	4	Gomphidae	<i>Onychogomphus</i>	P	7	6	
	Nepidae	<i>Nepa</i>	P	4	4	Gomphidae	<i>Ophiogomphus</i>	P	7	6	
	Nepidae	<i>Ranatra</i>	P	4	4	Gomphidae	<i>Sieboldius</i>	P	7	6	
	Notonectidae	<i>Anisops</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Stylurus</i>	P	7	6	
	Notonectidae	<i>Notonecta</i>	P	7	5	Gomphidae	<i>Trigomphus</i>	P	7	6	
	Ochteridae	<i>Ochterus</i>	P	7	5	Lestidae	<i>Indolestes</i>	P	7	6	
	Pleidae	<i>Plea</i>	unknown	7	5	Lestidae	<i>Lestes</i>	P	7	6	
	Saldidae	<i>Chartoscirta</i>	P	7	5	Lestidae	<i>Sympecma</i>	P	7	6	
	Saldidae	<i>Chiloxanthus</i>	P	7	5	Libellulidae	<i>Crocothemis</i>	P	7	6	
	Saldidae	<i>Macrosaldula</i>	P	7	5	Libellulidae	<i>Deilia</i>	P	7	6	
	Saldidae	<i>Salda</i>	P	7	5	Libellulidae	<i>Leucorrhinia</i>	P	7	6	
	Saldidae	<i>Saldula</i>	P	7	5	Libellulidae	<i>Libellula</i>	P	7	6	
	Veliidae	<i>Microvelia</i>	P	7	5	Libellulidae	<i>Lyriothemis</i>	P	7	6	
	Veliidae	<i>Pseudovelia</i>	unknown	7	5	Libellulidae	<i>Nannophya</i>	P	7	6	
Hymenoptera						Libellulidae	<i>Orthetrum</i>	P	7	6	
	Agriotypidae	<i>Agriotypus</i>	unknown	u/d	u/d	Libellulidae	<i>Pantala</i>	P	7	6	
						Libellulidae	<i>Pseudothemis</i>	P	7	6	
						Libellulidae	<i>Rhyothemis</i>	P	7	6	
Lepidoptera						Libellulidae	<i>Sympetrum</i>	P	7	6	
	Pyalidae	<i>Cataclysta</i>	SH	u/d	u/d	Libellulidae	<i>Tramea</i>	P	7	6	
						Platycnemididae	<i>Copera</i>	P	7	6	

Table 2. Continued.

Order	Family	Genus	FFG type	Relative resistance	Relative resilience	Order	Family	Genus	FFG type	Relative resistance	Relative resilience
	Platynemididae	<i>Platynemis</i>	P	7	6		Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i>	SC	3	4
Plecoptera							Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	SC	6	6
	Capniidae	<i>Eucapnopsis</i>	SH	2	2		Hydropsychidae	<i>Aethaloptera</i>	FC	7	8
	Capniidae	<i>Paracapnia</i>	SH	2	2		Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i>	FC	7	8
	Chloroperlidae	<i>Alloperla</i>	P	2	2		Hydropsychidae	<i>Cheumatopsyche</i>	FC	7	8
	Chloroperlidae	<i>Sweltsa</i>	P	2	2		Hydropsychidae	<i>Diplectrona</i>	FC	7	8
	Leuctridae	<i>Leuctra</i>	SH	2	2		Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i>	FC	7	8
	Leuctridae	<i>Paraleuctra</i>	SH	2	2		Hydropsychidae	<i>Macronema</i>	FC	7	8
	Leuctridae	<i>Rhopalopsola</i>	SH	2	2		Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	PP	6	6
	Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	SH	2	2		Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i>	SH	6	6
	Nemouridae	<i>Nemoura</i>	SH	2	2		Leptoceridae	<i>Ceraclea</i>	GC	6	6
	Nemouridae	<i>Protonemura</i>	SH	2	2		Leptoceridae	<i>Mystacides</i>	GC	6	6
	Peltoperlidae	<i>Yoraperla</i>	SH	2	2		Limnephilidae	<i>Abynarchus</i>	unknown	6	6
	Perlidae	<i>Kamimuria</i>	unknown	2	2		Limnephilidae	<i>Goera</i>	SC	6	6
	Perlidae	<i>Kiotina</i>	unknown	2	2		Limnephilidae	<i>Hydatophylax</i>	SH	6	6
	Perlidae	<i>Neoperla</i>	P	2	2		Limnephilidae	<i>Limnephilus</i>	SH	6	6
	Perlidae	<i>Oyamia</i>	unknown	2	2		Limnephilidae	<i>Neophylax</i>	SC	6	6
	Perlidae	<i>Paragnetina</i>	P	2	2		Limnephilidae	<i>Nothopsyche</i>	unknown	6	6
	Perlodidae	<i>Archynopteryx</i>	P	2	2		Molannidae	<i>Molanna</i>	SC	6	6
	Perlodidae	<i>Isoperla</i>	P	2	2		Odontoceridae	<i>Psilotreta</i>	SC	6	6
	Perlodidae	<i>Megarcys</i>	P	2	2		Philopotamidae	<i>Dolophilodes</i>	FC	1	3
	Perlodidae	<i>Perloides</i>	P	2	2		Philopotamidae	<i>Wormaldia</i>	FC	1	3
	Perlodidae	<i>Stavsolus</i>	P	2	2		Phryganeidae	<i>Agrypnia</i>	SH	6	6
	Pteronarcyidae	<i>Pteronarcys</i>	SH	2	2		Phryganeidae	<i>Semblis</i>	SH	6	6
	Scopuridae	<i>Scopura</i>	unknown	2	2		Phryganopsychidae	<i>Phryganopsyche</i>	unknown	6	6
	Taeniopterygidae	<i>Taenionema</i>	unknown	2	2		Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i>	FC	6	6
Trichoptera							Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	GC	6	6
	Brachycentridae	<i>Micrasema</i>	SH	6	6		Rhyacophilidae	<i>Apsilochorema</i>	P	2	3
	Calamoceratidae	<i>Ganonema</i>	unknown	6	6		Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	P	2	3
	Ecnomidae	<i>Ecnomus</i>	FC	6	6		Sericostomatidae	<i>Gumaga</i>	SH	6	6
	Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	SC	3	4		Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i>	FC	6	6

\*: undetermined

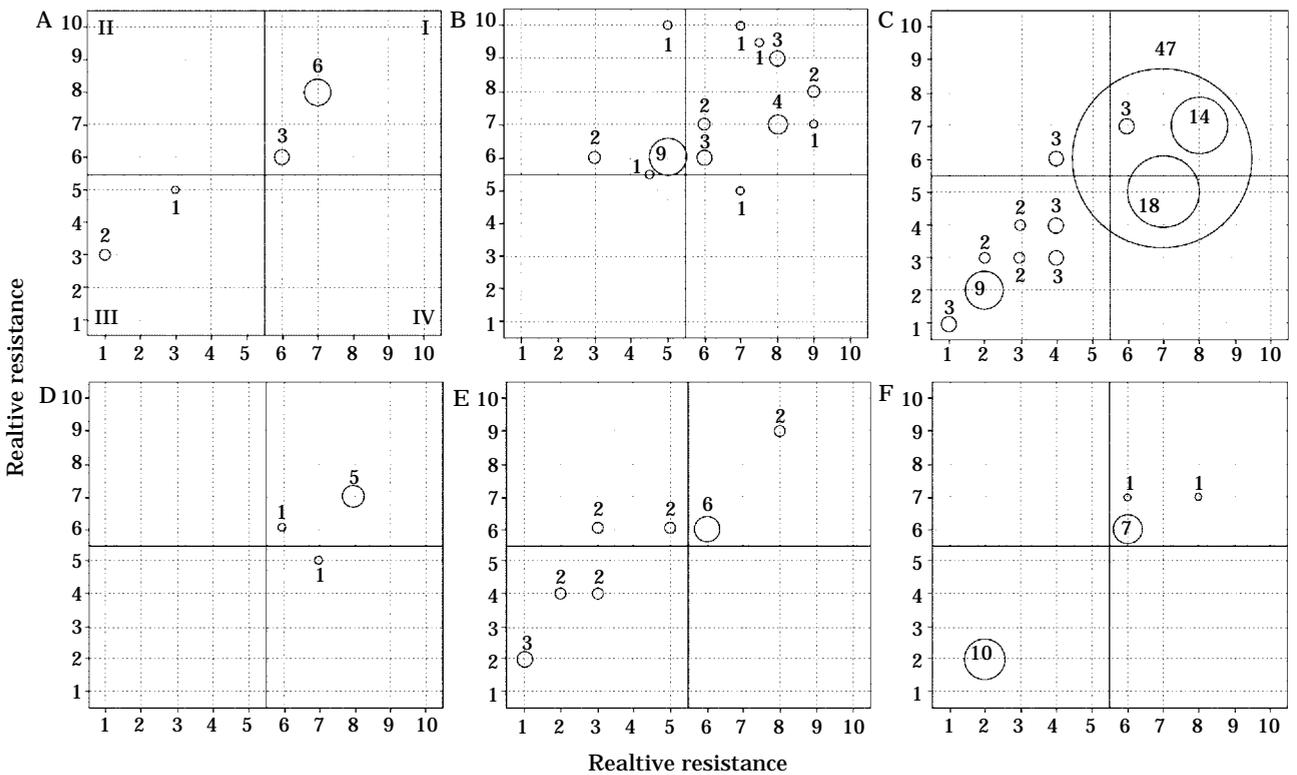
대적으로 높은 저항력 (8)과 회복력 (7)을 지니고 있는 것으로 분석되었다 (평균 7.3 및 6.6). 이는 이들의 뛰어난 이동력과 수환경의 변화에 대한 내성의 범위가 넓은 것에 기초하는 것으로 판단된다. Elmidae의 경우는 낮은 저항력 (3)과 중간정도의 회복력 (6)을 지니고 있으나, Psephenidae에 속하는 분류군은 매우 낮은 저항력 (1)과 회복력 (2)을 지니고 있어 비교적 작은 교란에도 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 파리류에 있어서는 8개 속에 해당되는 분류군의 상대적인 저항력과 회복력이 분석되지 못하였으나 상대적인 저항력과 회복력의 평균값은 각각 5.3 및 6.3으로 나타났으며, 저항력은 일반적인 견해와는 달리 높지 않은 것으로 나타났고 회복력은 다소 높은 편이었다. 이는 일부 분류군이 청청한 지역에서 서식

하고 특이한 미소서식처를 지니는 특성을 지니고 있는데 기인하는 것으로 판단된다. 깔다구류의 경우에 있어 저항력과 회복력이 7.5 및 9.5로 분석된 이유는 오염에 강한 *Chironomus* (붉은색)와 비교적 양호한 수환경에 분포하는 종류 (흰색)가 같은 속에 나타나기 때문이다. 이는 FFG 대부분의 경우 속 (genus) 수준에서 결정이 되므로 동일한 속에 속하는 종의 대부분은 동일한 FFG에 속하게 되나, 일부 속에는 동일하지 않은 FFG로 분류되는 종이 존재하고 특정 속에 해당되는 종의 수가 각기 상이하므로 종 수준에서는 다르게 나타날 수 있는 것 (노, 2002b)과 같은 현상이다. 하루살이의 경우 상대적인 저항력과 회복력의 평균값이 5.5 및 6.7로 분석되었다. 이들 분류군 가운데 저항력과 회복력 모두 비교적 높은 값을 보이는

FFG 기본단위분류군은 Heptageniidae에 속하는 것으로 분석되었으며, 특히 Baetidae의 *Baetis*와 *Cloeon*은 상대적인 회복력이 가장 높은 10에 해당하는 것으로 나타났다. 이는 FFG가 GC인 두 분류군이 하천생태계의 개척자 (pioneer group)로서의 기능을 수행함을 간접적으로 시사한다. 즉, 미세 또는 초미세유기물 (fine and ultra particulate organic material; FPOM: 0.5 μm~1 mm; UPOM: <0.5 μm)을 주워먹는 무리가 하천생태계의 교란 직후 생물군집 정착에 있어 매우 중요한 기능을 수행하고 있음을 의미한다. 노린재류에 있어서는 Belostomatidae에 해당하는 섭식기능군은 가장 낮은 상대적 저항력 (1)과 회복력 (1)을 지니는 것으로 분석되었고 그 외 대부분의 기능군은 비교적 높은 저항력 (7)과 중간 정도의 회복력 (5)을 지니는 것으로 나타났다 (Table 2). 뱀잠자리류의 3개 포식자 분류군은 비교적 낮은 저항력 (4)과 회복력 (3)을 지니는 것으로 나타났으나, 잠자리류의 경우는 Gomphidae의 *Davidius* (저항력 3, 회복력 3)와 *Nihonogomphus* (저항력 3, 회복력 3) 속을 제외한 대부분의 기능군은 비교적 높은 저항력 (7)과 회복력 (6)을 나타냈다. 강도

래류의 모든 섭식기능군은 매우 낮은 저항력 (2)과 회복력 (2)을 나타내는 것으로 분석되었으나, 날도래의 경우 Glossomatidae (저항력 3, 회복력 4), Philopotamidae (저항력 1, 회복력 3) 그리고 Rhyacophilidae (저항력 2, 회복력 3)를 제외하고는 다소 높은 저항력과 회복력을 나타내어 평균적으로 6.2 및 6.4의 상대적 저항력과 회복력을 나타내는 것으로 분석되었다 (Table 2).

하천생태계에서 생물적 요소를 구성하는 분류군들 가운데 수서곤충류의 안정성에 대한 특성을 상대적 회복력과 저항력으로 나타내면 이들은 4개의 특성군으로 구분하여 볼 수 있다 (노, 2002a). 즉 상대적 회복력과 저항력을 각각 5.5를 기준점으로 하여 4분면 위에 도식화하면 가중치의 산정 없이 산출된 이들의 특성이 도식화 된다. 4개의 특성군은 상대적 저항력과 회복력이 모두 높은 특성군 I, 높은 상대적 회복력과 낮은 상대적 저항력을 보이는 특성군 II, 상대적 회복력과 상대적 저항력이 모두 낮은 특성군 III, 그리고 낮은 상대적 회복력과 높은 상대적 저항력을 보이는 특성군 IV로 구분된다. 섭식기능군이 규명되지 않은 43개 속과 저항력 및 회복력이 규명



**Fig. 2.** Analysis of stability factors—relative resistance and resilience—for 6 different FFG's. A: Filtering-collectors, B: Gathering-collectors, C: Predators, D: Plant-piercers, E: Scrapers, and F: Shredders. The different sizes of open circles mean the number of genus (an Arabic numeral near or inside each circle), and the center of each circle indicates the coordinates of degrees of relative resistance and resilience.

되지 않은 일부 분류군을 제외한 196개 분류군으로 구성된 총 6개 섭식기능군에 대하여 상대적 저항력과 회복력에 기초한 특성군 분석을 실시한 결과(Fig. 2)는 각기 다른 형태를 보여주고 있다.

섭식기능군 FC는 12개 분류군 중 9개가 특성군 I에 해당하여 상대적 저항력과 회복력이 모두 높은 경향을 보이는 것으로 나타나 이들 대부분이 안정된 생물군집을 유지하는데 중요한 기능을 수행하는 것으로 분석되었다(Fig. 2A). 그러나 일부 분류군은 특성군 III에 해당하여 동일한 섭식기능군 내의 각기 다른 분류군은 서로 양극화된 특성을 지니고 있는 것으로 분석되었다. 섭식기능군 GC에 있어서는 대부분의 분류군이 비교적 높은 회복력을 보이는 것으로 나타났으며 이는 교란된 하천의 생물군집이 다시 회복됨에 있어서 가장 먼저 유입됨으로써 고차 소비자와 생산자를 연결하는 중간영양단계를 형성하는 중추적인 역할을 수행하는 것을 의미한다(Fig. 2B). 또한 이들은 섭식기능군 P에 이어 두 번째로 높은 비율을 유지하고 있고 5개 목(order)으로 구성되어 있음을 고려할 때 하천 연속체내에서 폭 넓은 분포역을 지니며 하천의 생물 다양성 유지에 핵심적인 기능을 담당하고 있음을 시사한다. 이들 중 41%는 상대적 저항력은 비교적 낮으나 비교적 높은 회복력을 보이는 특성군 II에 해당하여 교란이 자주 일어나는 하천생태계에 적응한 섭식기능군이라 할 수 있어 주기성을 보이는 물리적 교란에 대한 복원을 필요로 하는 하천생태계의 생물군집의 안정화에 있어 우선적으로 고려되어야 할 기능군이라 판단된다(Fig. 2B). 총 7개 목의 분류군으로 구성되어 전체 섭식기능군의 약 50%를 차지하는 섭식기능군 P는 모든 특성군에 고르게 분포하고 있어 하천생태계에 있어 광범위한 환경에 적응한 것으로 판단된다(Fig. 2C). 이들 중 약 67%는 특성군 I에 분포하나 중앙 기준점에 인접하여 분포하고 있어 섭식기능군 GC에 비하여 하천생태계의 안정화에 직접적으로 기여하는 바는 높은 편은 아니라고 판단된다. 그러나 약 16%에 해당하는 분류군이 다소 낮은 상대적 회복력과 높은 상대적 저항력을 보이는 특성군 IV로 구분되어 총 83%의 분류군이 교란에 대한 저항력을 지니고 있는 것으로 분석되었다. 이는 섭식기능군 P가 전반적으로는 생물군집의 저항력 유지에 기여하는 정도가 높은 것임을 알 수 있다. 섭식기능군 중 가장 적은 구성비율(Fig. 1)을 보이는 섭식기능군 PP는 수변 또는 수중식물과 직접적인 상호작용을 하므로 비교적 높은 저항력과 안정된 회복력을 지니고 있음을 보여주고 있다(Fig. 2D). 섭식기능군 SC의 경우(Fig. 2E), 특성군 I에 위치하는 분류군은 8개로 약 42%가 이에 해당하였으며

특성군 II는 4개 분류군으로 21%를 차지하고 있다. 이들은 특성군 I과 특성군 III과는 다른 생태계내의 기능을 보이며 독특한 생태적 지위를 지니는 종류들이라 할 수 있다. 상대적 회복력과 상대적 저항력이 모두 낮아 인위적 간섭이나 교란에 매우 민감한 특성군 III은 7개 분류군으로 전체의 37%로 나타났다. 특성군 IV에는 1개의 분류군도 분포하지 않았다. 그러나 특성군 I, II, III 영역에 비교적 고른 분포를 보이는 것은 전체 섭식기능군의 7%에 불과한 SC의 폭 넓은 기능성을 의미한다고 볼 수 있다. 섭식기능군 SH의 경우에는 상대적 저항력과 회복력에 있어 양극화된 특성군 분포를 보이고 있다(Fig. 2F). 즉 일부 분류군은 비교적 안정된 저항력과 회복력을 보이고 있으나 일부는 환경적 변화 또는 교란에 대하여 민감하게 반응하는 분류군으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이는 SH가 에너지원을 외부로 유입되는 식물잔사체에 의존하여야 하는 특성으로부터 기인하기 때문인 것으로 판단된다. 이들이 주로 이용하는 특정 식물군은 비교적 수환경이 안정적인 상류역에 분포하므로 이러한 미소서식처에 적응한 SH는 저항력과 회복력이 비교적 낮은 상태를 보인다.

### FFG 유형에 따른 저항력 및 회복력의 응용성

국외의 경우 섭식생태에 관한 연구는 과거로부터 이루어져왔고 섭식기능군의 정보를 제공하는 일련의 연구로서 수서곤충간의 상호작용에 대한 연구가 최근 들어 활발히 진행되고 있다(노, 2002b). 특히 포식-피식 관계에 관한 연구가 많이 진행되었고(Peckarsky, 1980, 1984, 1985, 1988), CPOM과 shredder와의 관계(Cummins *et al.*, 1973; Anderson *et al.*, 1978; Reice 1980; Short *et al.*, 1980; Beisser *et al.*, 1991), 조류(algae)와 scraper와의 관계(Cowan and Peckarsky, 1990, 1994; Dudley, 1992; Lamberti and Resh, 1985) 및 수생대형식물과 수서곤충간의 관계(Lamberti *et al.*, 1992) 등 하천생태계의 기능적 측면에서의 연구가 활발히 시도된 바 있다. 국내에서는 수서곤충의 섭식기능군에 대한 종합적인 정리와 연구가 현재까지 수행되어 된 바 없으며, 이로 인해 하천생태계, 특히 유수생태계의 기능에 관한 연구는 아직 미비한 상태로 남아 있다(노, 2002b). 섭식기능군의 파악에 관련된 현재까지의 국내 연구를 보면 강도래의 식성조사(나 등, 1992), 수서곤충의 낙엽분쇄기작(김 등 1996; 정 1996, 1997), 강도래의 취식 습성과 포식물에 관한 연구(나, 2000) 등 극히 소수만이 보고되어 있다. 이러한 연구

현황을 고려해 볼 때, 본 연구결과는 국내 섭식기능군의 종합적인 유형분류를 정립하고, 이들의 상대적 저항력과 회복력을 규명함으로써 구체적이고 실용성이 있는 하천 생태계 기능 연구를 위한 토대자료로서 그 활용도가 높을 것으로 판단된다. 섭식기능군 간의 상호작용에 관한 생태학적 연구는 하천생태계 내의 물질순환과 에너지의 흐름을 섭식기능군 간의 관계로서 설명할 수 있으며 이는 계 생태학적인 접근을 보다 용이하게 할 것이다. 특히 유역 내 영양염류의 이용 및 순환에 관련되어 중요한 역할을 수행하는 섭식기능군에 대한 연구는 하천의 복원 및 오염총량관리제도에 있어 매우 긴요한 정보를 제공할 수 있다(노, 2002b). 국내 섭식기능군의 유형분류에 따른 생태적 접근방법의 개발과 응용, 즉 섭식기능군의 항상성 기작에 작용하는 저항력과 회복력에 대한 등급화 방안은 우수생태계의 보전과 복원에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 상대적 저항력과 회복력에 대한 적용을 통하여 3지역의 수중생태계를 비교한 연구(노, 2002a)는 이러한 응용성을 통해 자연의 개발과 보전에 필요한 사항들을 최적화하는데 응용될 수 있음을 지적한 바 있다. 따라서 보다 세밀하게 유형화된 저항력과 회복력을 섭식기능군별로 등급화 함으로써 하천생태계 내 생물군집의 안정성을 평가할 수 있고, 이는 계량화된 객관적인 진단과 이에 따른 보전대책을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

하천이 최상류에서 최하류(강의 하구연)까지 연속적으로 연결되는 하나의 계(system)로서 접근하는 하천의 연속성 개념은 우수시스템에 서식하는 생물서식형태의 구배에 따라 수환경 진단과 복원 및 우수생태계 특성의 파악에 가장 중요한 이론적 기초를 제공한다(노, 2002b). 따라서 섭식기능군의 적절한 적용으로 향후 기존의 수환경 진단을 위한 생물학적 수질판정의 계량화 방법을 개선하고 오염 및 교란 등에 의한 하천생태계의 기능 변화를 파악할 수 있는 모니터링 체계의 구축이 가능할 수 있다(Plamer *et al.*, 1996). 그러므로 우수생태계의 기능을 분석함에 있어 하천이 지닌 고유한 물리적 특성과 지역성 그리고 인위적 간섭의 정도를 포함시키는 총체적인 계량화는 생태적 원리의 적극적인 응용성이라는 측면에서 매우 중요하다(노, 2002a). 이를 위해 생물군의 항상성 기작에 작용하는 저항력과 회복력에 대한 등급화의 완성도를 종(species) 수준까지 높이는 일련의 노력이 요구되어 진다. 또한 국내 하천생태계의 하천 연속체에 대한 개념이 시급히 정립되어야 하며, 각각의 하천구역에서 상이하게 나타나는 하천생태계 안정성을 분석할 수 있는 능력의 배양이 필요하다. 현재까지 FFG의 유형과

상대적 저항력 및 회복력이 규명되지 못한 분류군에 대하여는 향후 지속적인 보완 작업이 우선적으로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

## 적 요

Merritt-Cummins의 체계에 기초하여 한국에 정리·보고된 수서곤충류(10목 96과 257속)를 6개 섭식기능군 유형의 분석과 검증을 실시하였다. 총 257개 속 가운데 포식자인 섭식기능군이 122개(47%) 속으로 가장 많았으며, 두 번째와 세 번째로 높은 점유율을 나타낸 섭식기능군은 gathering-collectors(33개 속, 13%)와 shredders(21개 속, 8%)로 나타났다. 그 다음으로는 Scrapers가 20개(7%) 속으로 나타났으며, filtering-collectors(12개 속, 5%)와 plant-piercers(6개 속, 2%)의 순으로 나타났다. 그러나 7개 목의 총 43개 속에 해당하는 분류군은 섭식기능군이 밝혀지지 않았다. 생물군집의 안정성을 유지하는데 있어 섭식기능군의 기능을 규명하기 위하여 속 수준에서의 상대적 저항력과 회복력이 분석되었다. 그 결과 섭식기능군 gathering-collectors와 scrapers는 군집 내에서 각각 개척자와 기능적 중간자로서의 역할을 수행하고 있음이 규명되었다. 상대적 저항력과 회복력의 등급화의 실질적 적용은 하천생태계에 대한 포괄적인 연구의 수행에 높은 응용성을 지니는 것으로 분석되었다.

## 사 사

본 연구는 차세대핵심환경기술개발사업(KIEST, 03-1-05-2-011) 위탁과제(KEI, 2003-036)로 수행되었음을 밝히며, 자료의 분석 및 초기 원고의 내용에 조언을 주신 고려대학교 이성진 박사, 박재홍 선생, 김명철 선생 그리고 논문의 체계를 바로잡는데 도움을 주신 익명의 심사자들에게 감사를 표한다.

## 인 용 문 헌

- 김현우, 주기재, 최종훈. 1996. 한국 남동지역 상류 하천에서의 낙엽 분해기작과 shredder 분포 유형. 한국생태학회지 19(6): 529-541.
- 나 현. 2000. Feeding Habits and Prey Consumption of Carnivorous Stoneflies *Kamimuria coreana* (Plecoptera) in a Mountain Stream. M. Sc. Thesis. Korea Univ.
- 나철호, 위인선, 이종빈, 조영관, 김종선. 1992. 강도래상과 4중

- 의 먹이습성에 관한 연구. 한국육수학회지 **25**(2): 63-71.
- 노태호. 2002a. 생물 군집의 회복력 및 저항력: 하천생태계 건전성 평가를 위한 응용성. 환경정책연구 **1**: 91-110
- 노태호. 2002b. 유수생태계 내 핵심적 기능 단위인 섭식기능군의 분류 및 생태적 중요성. 한국자연보존협회 연구보고서 **21**: 68-93.
- 배연재, 윤일병. 1999. 한국 담수 저서동물의 분류현황. 분류학회보 **30**: 1-8.
- 배연재, 원두희, 황득희, 진영헌, 황정미. 2003. 경기도 가평천의 하수에 따른 수서곤충 군집조성과 섭식기능군. 한국육수학회지 **36**(1): 21-28.
- 정 근. 1996. 점봉산 소하천의 낙엽분쇄에 대한 대형무척추동물 기여도의 계절간 차이. 한국생태학회지 **19**(6): 563-573.
- 정 근. 1997. 점봉산 소하천에 설치된 낙엽주머니의 저서성 대형무척추동물과 낙엽분쇄. 한국육수학회지 **30**(1): 9-20.
- Anderson, N.H., J.R. Sedell, L.M. Robert and F.J. Triska. 1978. The role of aquatic invertebrates in processing wood debris in coniferous forest stream. *Am. Midl. Nat.* **100**: 64-82.
- Barnes, J.R. and G.W. Minshall. 1983. Stream ecology, Application and Testing of general ecological theory. Plenum Press, p. 399
- Behmer, D.J. and C.P. Hawkins. 1986. Effects of overhead canopy on macroinvertebrate production in a Utah stream. *Freshwater Biology* **16**: 287-300.
- Beisser, M.C., S. Testa, III, and N.G. Aumen. 1991. Macroinvertebrate trophic composition and processing of four leaf species in Mississippi stream. *J. Freshwat. Ecol.* **6**: 23-33.
- Bunn, S.E. 1986. Spatial and temporal variation in the macroinvertebrate fauna of streams of the northern jarrah forest, Western Australis: functional organization. *Freshwater Biology* **16**: 621-632
- Cowan, C.A. and B.L. Peckarsky. 1990. Feeding by a lotic mayfly grazer as quantified by gut fluorescence. *J. N. Am. enthol. Soc.* **9**(4): 368-378.
- Cowan, C.A. and B.L. Peckarsky. 1994. Diel feeding and positioning periodicity of a grazing mayfly in a trout stream and a fishless stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **51**: 450-459.
- Cummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* **18**: 183-206.
- Cummins, K.W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *Bioscience* **24**(11): 631-641.
- Cummins, K.W. and M.J. Klug. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Syst.* **10**: 147-172.
- Cummins, K.W., R.C. Petersen, F.O. Howard, J.C. Wuycheck and V.I. Holt. 1973. The utilization of leaf litter by stream detritivores. *Ecology* **54**: 336-345.
- Dudley, T.L. 1992. Beneficial effects of herbivore on stream macroalgae via epiphyte removal. *OIKOS*. **65**: 121-127.
- Growns, I.O. and J.A. Davis 1994. Longitudinal changes in near-bed flows and macroinvertebrate communities in a Western Australian stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **13**(4): 417-438.
- Hawkins, C.P. and J.R. Sedell. 1981. Longitudinal and seasonal changes in functional organization of macroinvertebrate communities in four Oregon streams. *Ecology* **62**(2): 387-397
- Lamberti, G.A. and V.H. Resh. 1985. Distribution of benthic algae and macroinvertebrates along a thermal stream gradient. *Hydrobiologia* **128**: 13-21.
- Lamberti, G.A., S.V. Gregory, C.P. Hawkins, R.C. Wildman, L.R. Ashkenas and D.M. Denicola. 1992. Plant-herbivore interactions in streams near Mount St Helens. *Freshwater Biology* **27**: 237-247.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1984. An introduction to the Aquatic Insects of North America. 2nd ed. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, Iowa.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd ed. Kendall/Hunt Publ. Co.
- Palmer, C.G., B. Maart, A.R. Palmer and J.H. O'Keeffe. 1996. An assessment of macroinvertebrate functional feeding groups as water quality indicators in the Buffalo River, eastern Cape Province, South Africa. *Hydrobiologia* **318**: 153-164.
- Peckarsky, B.L. 1980. Predation-prey interactions between stoneflies and mayflies: behavial observations. *Ecology* **61**: 932-943.
- Peckarsky, B.L. 1984. Predation-prey interactions among aquatic insects, pp. 196-254. *In*: Resh, V.H. and D.M. Rosenberg (eds.). The Ecology of Aquatic Insects. Praeger Publ., New York.
- Peckarsky, B.L. 1985. Do predaceous stonflies and siltation affect the structure of stream insect communities colonizing enclosures. *Can. J. Zool.* **63**: 1519-1530.
- Peckarsky, B.L. 1988. Why predaceous stonflies do not aggregate with their prey. *Verh. Int. Ver. Limnol.* **23**: 2135-2140.
- Reice, S.R. 1980. The role of substratum in benthic macroinvertebrate microdistribution and litter decomposition in a Woodland stream. *Ecology* **61**(3): 580-590.
- Short, R.A., S.P. Canton and J.V. Ward. 1980. Detrital pro-

- cessing and associated macroinvertebrates in a Colorado mountain stream. *Ecology* **61**(4): 727-732.
- Wallace, J.B. and R.W. Merritt. 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* **25**: 103-32.
- Wiggins, G.B. 1977. Larvae of the North American caddisfly genera. Univ. Toronto Press, Toronto.
- (Manuscript received 11 April 2004,  
Revision accepted 12 June 2004)