

저서성 대형 무척추동물에 의한 밀양강의 생물학적 수질평가

박연규·박현철*
밀양대학교 환경공학과·밀양대학교 농학과
(1998년 6월 29일 접수)

Biological Water Quality Evaluation using the Benthic Macroinvertebrates in Miryang River

Yeon-Kyu Park and Hyeon-Cheal Park
Miryang National University
(Manuscript received 29 June 1998)

Fauna and biological water quality using benthic macroinvertebrates were analysed and estimated macroinvertebrates. Samples were collected 5 times from the 7 sites in the river between April and December 1997, and the results are summarized as follows.

The taxa of benthic macroinvertebrates was totally composed 81 species, 45 genus, 37 families, 15 orders, 8 classes in 3 phyla. Among them, aquatic insects were mostly abundant as 65 species, and also, there were a species of oligochaetes, 2 species of hirundinida, 6 species of gastropods, 5 species of pelecypoda, and 2 species of crustaceans.

Average individual numbers in the whole sampling sites was 815 per square meter, and insects were abundant (Approx. 80%). Among the insects, the major taxa were respectively ephemeroptera (Approx. 70%) and trichoptera (Approx. 18%). According to the average individual numbers in each site, Chungdo stream (site 1) showed the highest appearance rate as 262 individual/ m^2 (32.2%), and the lowest value was at the end of Miryang River (site 7) as 38 individual/ m^2 (4.7%).

The dominant species among the whole samples was *Ecdyomurus levis* Navas, and dominance indices was 0.3. In each site, *Ecdyomurus levis* Navas was dominant species from site 1 to site 5, and dominant species at site 6 and 7 was respectively *Hirudinidae* sp. 1.

Species diversity index in total average of samples was 2.66. Average of species diversity index according to each study site was the highest value at site 4 ($H'=3.47$), and site 2, 1, 3, 5, 6, and 7 in that order.

According to the water quality as biotic indices, GPI value was 1.49 in total average of Miryang river, and the pollution indices evaluated secondary water quality criteria as β -mesosaprobics. In each site, the best water quality was at site 3, and it revealed the first water quality criteria as Oligosaprobic. It was then site 1, 2, 4 and 5 in the order of water quality, and was evaluated secondary water quality criteria as β -mesosaprobics, respectively. Site 6 was also revealed the third water quality criteria as β -mesosaprobics. The worst water quality was at site 7, which revealed the third water quality criteria as α -mesosaprobics.

Key words : Miryang River, Biological water quality evaluation, Benthic macroinvertebrates

1. 서 론

밀양강은 청도천과 동창천이 합류된 지점으로부터 시작되어 중간에 단장천과 제대천이 합류, 낙동강 본류로 유입된 지류로서 총 유로연장 96.2Km이며, 1998현재 건설중인 밀양댐의 하류 수역으로서 매우 중요한 강이다.

저서성 대형무척추동물은 물속의 바다이나 수초를 주

변으로 생활하는 생물 중 육안으로 식별이 가능하고 척추가 없는 동물을 말한 것으로서 이들은 그 종류가 매우 풍부할 뿐만 아니라 환경에 대하여 고도로 적응이 되어 있어 수질에 따라서 출현하는 종류가 서로 다르다. 또한 이들은 하천생태계의 영양단계에서도 중추적 역할을 할 뿐만 아니라 유기물 오염지표로서 가장 많이 이용되고 있는 생물군이다. 또한 저서생물은 유기물의 주요 축적

장소인 저질환경을 대표할 수 있는 생물이라 할 수 있는 것으로서 지표생물 조사를 통하여 그 수역의 수질을 평가할 수 있는 것이다.

각 수역에 유입되고 있는 오염물질은 수 만중에 이르고 있으며, 이러한 많은 오염물질을 이화학적 분석방법으로 모두 분석한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. 이에 대해 생물은 그 수역의 수질을 종합적으로 반영하기 때문에 분석할 수 없는 미지의 오염물질의 존재 가능성을 추정해 해 줄 뿐만 아니라 연간 수질을 대변해 주고, 또한 과거 오염물질의 임의적 유출에 대한 추정을 가능케 함과 동시에 오염물질의 복합효과 등에 의한 종합적 영향까지 반영해 주기 때문에 이화학적 분석방법의 한계점을 충분히 보완할 수 있는 장점이 있는 것이다.

특히 저서성 대형무척추동물은 분포지역이 광범위하여 거의 모든 지역에 제한 없이 어디서든지 발견되고, 또한 대체로 그 세대기간이 짧고 채집과 동정이 비교적 쉬울 뿐만 아니라 환경에 매우 민감하므로 많은 연구자들이 이를 이용한 수질평가에 관심을 갖게 된 것이다⁴⁻⁶⁾.

우리 나라의 저서동물의 군집에 관한 생태학적 연구는 주로 수서곤충을 중심으로 하여 이루어졌다^{5,6)}.

저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가는 전국 주요강과 하천을 중심으로 많은 조사⁷⁻⁹⁾가 이루어졌으나 낙동강의 지류인 밀양강에 대해서는 전혀 조사가 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구는 밀양강의 주요 지류인 청도천, 동창천, 단장천과 본류인 밀양강에 대한 저서성 대형무척추동물의 출현종수, 분류군 구성, 개체수 현존량 등을 산출하여 각 지점 별 변화를 알아보고, 이를 기초로 하여 다양도지수, 우점종 및 우점도지수와 생물학적 수질 판정을 통한 군집의 장기적 변화를 예측함으로써, 현재 건설중인 밀양댐 완공에 대비하여 밀양강 수계의 생태계 보전과 수질관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 조사기간 및 조사지점

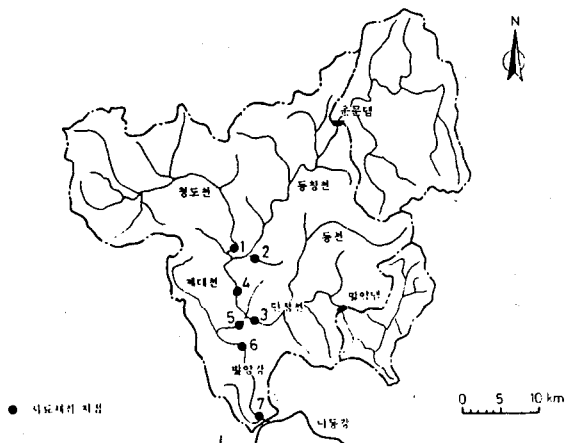


Fig. 1. Sampling sites in Miryang River.

저서성 대형무척추동물의 채집은 1997년 4월 부터 12월까지 약 2개월 간격으로 총 5회 실시하였으며, 조사일정은 다음과 같다.

1차조사:1997.4.18, 2차조사:1998.6.19, 3차조사:1997.8.28, 4차조사:1997.10.11, 5차조사:1997.12.12.

조사지점은 밀양강 본류 4개지점과 지류하천 3개지점을 포함 모두 7개지점을 조사대상 수역으로 하여 밀양강 본류와 지류하천을 상호 비교하였으며 조사지점별 위치 및 주변 지역의 특성은 다음과 같다.

제1지점(Site 1. 청도천 하류, 경북 청도군 청도읍 유희면 유희리 유희교 부근) : 밀양강 상류의 주요 지천으로서 주변에 마을과 산지 및 국도가 있다. 수폭은 약 26m, 수심 0.15 ~ 0.3m, 유속 약 0.18m/sec, 저질은 pebble과 gravel이 주를 이루고 sand가 약간 섞여 있다.

제2지점(Site 2. 동창천 하류, 경북 청도군 청도읍 내호리) : 밀양강의 주요 상류 지천으로서 주변에 논과 야산 및 지방도로가 있다. 수폭 약 24m, 수심 15 ~ 30cm, 유속 0.22m/sec, 저질은 pebble 과 gravel이 주를 이루고 약간의 Sand가 섞여 있다.

제3지점(Site 3. 단장천 하류, 밀양시 황성동) : 밀양강의 주요 중류 지천으로서 주변은 야산과 들이 있다. 수폭 약 20m, 수심 10 ~ 25cm, 유속 0.29m/sec, 저질은 pebble, gravel이 주를 이루고 있다.

제4지점(Site 4. 교동취수장 상류, 밀양시 상동면 가곡리) : 밀양강 중상류지점으로서 주변에 논, 밭, 야산 등이 있다. 수폭 15~30m, 수심 30cm, 유속 0.4m/sec, 저질은 pebble과 gravel이 주를 이루고, 약간의 sand가 섞여 있다.

제5지점(Site 5. 밀양강 중류, 밀양시 황성동) 주변에 야산과 밭이 있다. 수폭 약 20m, 수심 20 ~ 50cm, 유속 0.18m/sec, 저질은 pebble과 gravel이 주를 이루고 약간의 sand가 섞여 있다.

Table 1. Index for determination of saprobic level

Water Quality	Saprobity	Yoon-Kong's GPI	Shannon-Weaver's H'
I	Oligosaprobic	< 1.0	> 3.2
II	(-mesosaprobic	1.0	3.2
		1.1	3.2
III	α-mesosaprobic	1.7	2.2
		1.8	2.0
IV	polisaprobic	2.3	1.4
		2.7	1.0
V		3.0	
			0.7
< V		4.0	0

제6지점(Site 6. 밀양강 중·하류, 밀양시 가곡동 예림교 부근) ~ 주변에 밭과 주택이 있다. 수폭 40 ~ 50m, 수심 20 ~ 50cm, 유속 0.4m/sec, 저질은 pebble과 gravel 및 sand가 고르게 섞여 있다.

제 7지점(Site 7. 밀양강 하류, 밀양시 삼랑진읍 삼랑진 취수장) : 밀양강 끝지점으로서 낙동강과 접하는 부분이며, 주변에 야산이 있다. 저서동물의 채집은 취수장 보호막으로서 이곳의 수심은 20-50cm이며 유속은 거의 완만하였고, 저질은 boulder와 silt로 이루어졌다.

2.2 조사 및 분석방법

저서성 대형무척추동물의 채집은 서버망(30cm x 30cm)을 이용하여 각 지점 별 4회씩 환경 조건을 고려하여 실시하였으며, 채집된 저서성 대형무척추동물은 Kahl's solution 에 고정하여 2 ~ 3일 후 75% Ethanol에 옮겨 보존하였다.

종의 동정은 문교부¹⁰⁾, 문교부¹¹⁾, 윤¹²⁾, 권 등¹³⁾, Minoru Sudzuki¹⁴⁾ 등을 참고로 하였으며, 이화학적 수질 분석은 수질오염공정시험법(환경부)에 준하여 분석하였다.

우점도지수(DI;McNaughton dominance index)는 McNaughton dominance index¹⁵⁾를 이용하여 산출하였으며, 다양도 지수는 Margalef⁶⁾의 정보이론에 의해 도출된 Shannon-Weaver function(H')¹⁷⁾을 Liyod & Gheraldi가 변형한 공식을 이용하였다¹⁸⁾.

$$DI = (n1 + n2) / N$$

DI : 우점도 지수. n1 : 제1우점종 개체수.

n2 : 제2우점종 개체수. N : 총개체수.

$$H' = - \sum \{ (ni/N) \cdot \log_2(ni/N) \}$$

H' : 다양도 지수. ni : i종의 개체수. N : 총개체수.

생물학적 수질 평가는 윤,공¹⁹⁾에 의해 오락계급치 및 지표가중치가 밝혀져 있는 종들을 대상으로 분석, Yoon-Kong의 군오염지수(Group pollution index, GPI)값을 토대로 하였다(Table 1)²⁰⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 저서생물상

밀양강 유입천 3개지점과 본류 4개지점에 대하여 1997년 4월부터 12월까지 5회에 걸친 조사에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 분류 목록은 Table 2와 같다.

출현한 총 분류군은 3문 8강 15목 37과 45속 81종으로 비교적 다양하게 나타났다(Table 2, Fig. 2). 이 중에서 곤충류가 65종으로 가장 많이 출현하였고 다음은 복족류(6종), 부족류(5종), 갑각류(2종), 빈모류(1종) 순이었다. 곤충류 중에는 하루살이목이 34종(52%)으로 가장 많이 출현하였고 다음은 파리목(9종), 날도래목(8종), 딱정벌레목(6종), 잠자리목(5종), 강도래목(3종) 순이었다(Fig.3).

본 조사에서 출현한 종과 낙동강에서 출현한 종을 비교해 보면, 낙동강 상류의 지류인 회천의 경우 84 ~ 88종에 비하여 밀양강은 약간 낮은 종의 출현율을 보이고 있지만, 낙동강 본류의 48 ~ 68종보다는 높은 출현

율을 보이고 있다.

조사지점별 출현한 종수(Table 2)를 보면, 가장 많이 출현한 지점은 제1지점(49종)이었고, 다음은 제4지점(47종), 제2지점(43종), 제5지점(39종), 제3지점(31종), 제6지점(25종), 제7점(15종)의 순으로서 밀양강 상류 지천인 제1지점과 2지점 및 밀양강 중류인 제4지점 및 제5지점은 대체로 출현종수가 많은 경향이었지만, 밀양강 하류인 제6지점과 제7지점은 출현종수가 적었다. 이와 같이 출현종수는 지점간 변동이 매우 커 조사 수역의 환경상태가 서로 크게 다를 수 있음을 시사해 주고 있다. 즉 밀양강 중류 이상의 수역은 하상이 주로 호박돌과 자갈 및 모래 등으로 이루어져 있어 서식환경과 수질이 비교적 양호함에 기인하여 출현종수가 많은 것으로 판단되며, 밀양강하류는 구조적 서식환경과 더불어 수질의 악화와 관련하여 출현종수가 상대적으로 빈약한 것으로 사료된다.

조사시기별 조사된 총 종수는 계절별로는 4월과 6월 47종, 8월 41종, 10월 39종, 12월 25종이었다. 일반적인 현상으로서 봄부터 여름 장마기 전까지는 기후 및 서식환경이 양호함으로 많은 종이 출현하는 현상을 보이고 있으나, 여름 장마기 이후 부터는 대체로 종수가 감소하는 경향이 있는 바, 본 조사에서도 유사한 경향을 보이고 있다. 특히 12월의 경우 출현종수가 낮은 것은 수서곤충류의 출현이 적었음에 그 원인이 있는 것으로 10월 하순경부터 제1지점인 청도천과 밀양강 일부의 하상공사와 관련이 있는 것으로 생각된다.

3.2 현존량

조사기간에 걸쳐 출현한 주요 분류군 별 평균 개체수 현존량의 지점별 변동은 Table 4와 같다.

전지점 평균 개체수 현존량은 815개체/m²였다. 가장 많이 출현한 분류군은 곤충류로서 도합 653개체/m²(약 80%)였으며, 이 중 하루살이류가 456개체/m²로서 전체의 56%를 차지하였고, 다음은 날도래류 117개체/m²(14.4%)로서 하루살이류와 날도래류가 주를 이루고 있다. 그리고 전체의 1%미만인 분류군은 잠자리류와 강도래류였다.

전체적으로 출현율이 가장 높게 나타난 하루살이류는 생활사 중 거의 대부분을 유충으로 물속에서 보내며, 담수생태계에서 1차소비자로서 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 어류 등 2차소비자들의 먹이로도 이용된다. 또한 종류에 따라서 오염에 대한 내성이 각기 다르기 때문에 수질 오염에 대한 지표종으로서 그 효율성이 높아 여러 연구자²¹⁻²³⁾들에 의해 연구가 수행되었다. 하루살이 다 음으로 출현율이 높은 날도래류 역시 담수생태계에서 1차 및 2차소비자로서 차지하는 비중이 매우 크며, 많은 종들이 생태환경에 대한 내성범위가 매우 좁기 때문에 수질을 평가할 수 있는 지표종으로서 중요하다.

본 조사에서 전체적으로 출현율이 낮은 잠자리류는 유충 및 성충이 모두 포식성이며, 계류에서 정수에 이르기까지 다양한 서식처에서 출현하고 있다. 본 조사에서 출현한 *Davidius lunatus* Bartenef나 *Nihonogomphus* KUa 등은 비내성종으로 구분되고 있는 반

Table 2. Taxonomic list of benthic macroinvertebrates collected in Miryang River during April ~ December, 1997

NO.	Taxa	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
	Phylum Annelida							
	Class Oligochaeta							
	Order Archiologochaeta							
	Family Tubificidae							
1	<i>Limnodrilus socialis</i> Stephenson	*	*		*	*	*	*
	Class Hirudinea							
	Order Rhyncobdellida							
	Family Hirudinidae							
2	<i>Hirudinidae</i> sp.1	*	*		*	*	*	*
3	<i>Whitmania pigra</i> Whiteman		*					
	Phylum Mollusca							
	Class Gastropoda							
	Order Archaeogastropoda							
	Family Pleuroceridae							
4	<i>Semisulcospira libertina</i> Gould	*	*	*	*	*	*	*
5	<i>Koreanomelania paucicincta</i> V.Martens		*					
6	<i>Semisulcospira forticosta</i> V. Martens	*	*	*		*		*
7	<i>Semisulcospira gottschei</i> V.Martens	*				*		
	Order Mesogastropoda							
	Family Viviparidae							
8	<i>Cipangopaludina chinensis malleate</i> Reeve					*		*
	Sub Class Pulmonata							
	Order Basommatophora							
	Family Lymnaeidae							
9	<i>Radix auricularia coreana</i> V.Martens	*	*		*	*	*	*
	Class Pelecypoda : Bivalvia							
	Order Veneroida							
	Family Corbiculidae							
10	<i>Corbicula fenouilliana</i> Heude	*	*		*	*	*	
11	<i>Corbicula fluminea</i> Mmuller		*		*	*		
	Order Mytiloida							
	Family Mytillidae							
12	<i>Limnopema fortunei</i> Dunker						*	*
	Sub Class Palaeoheterodonta							
	Order Unionoida							
	Family Unionidae							
13	<i>Unio douglasiae sinuolatus</i> V.Martens	*			*	*		
14	<i>Unio douglasiae</i> Gray in Griffith & Pidgeon	*					*	
	Phylum Arthropoda							
	Class Crustacea							
	Order Isopoda							
	Family Asellidae							
15	<i>Asellus</i> sp.	*			*	*	*	*
	Family Gammaridae							
16	<i>Gammarus</i> Sp.		*	*	*			*
	Class Insecta							
	Order Ephemeroptera							
	Family Baetidae Leach							

면, 그 외 다수의 종 들은 내성종으로 구분되고 있으며, 대체로 오염도에 따른 출현범위가 넓은 것으로 분석되고 있다²⁰⁾. 그리고 본 조사에서 극 소수 출현한 강도래

류는 비교적 깨끗한 맑은 수질을 갖는 유수지역을 선호 하고 있으며, 대부분의 유충은 수서생태계의 1차 및 2차소비자로서 수질을 평가할 수 있는 생물학적 지표종

Table 2. Continued

	Family Baetidae Leach								
17	<i>Baetis thermicus</i> Ueno	*			*	*			*
18	<i>Baetis nia</i> Imanishi			*		*			
19	<i>Baetiella japonica</i> Imanishi	*							
20	<i>Baetiella tuberculata</i> Kazlauskas	*			*	*			
	Family Heptageniidae								
21	<i>Epeorus latifolium</i> Ueno	*	*	*	*	*			
22	<i>Ecdyonurus</i> Kub	*	*	*	*	*			
23	<i>Ecdyonurus</i> Kub	*	*	*	*	*	*	*	*
24	<i>Cinygmula grandifolia</i> Tshernova	*	*		*				
25	<i>Ecdyonurus bajkova</i> Kluge	*	*	*	*	*	*	*	*
26	<i>Ecdyonurus levis</i> Navas	*	*	*	*	*	*	*	*
27	<i>Ecdyonurus kibunensis</i> Imanishi	*		*	*	*	*	*	*
28	<i>Rhithrogena</i> na	*	*	*	*	*			
29	<i>Heptagenia kihada</i> Matsumura	*	*						
30	<i>Bleptus fasciatus</i> Eaton	*			*				
31	<i>Heptagenia kytoensis</i> Gose	*							
32	<i>Epeorus curvatulus</i> Matsumura	*							
	Family Polymitarcyidae								
33	<i>Ephoron shigae</i> Takahashi							*	
	Family Potamanthidae								
34	<i>Rhoenanthus coreanus</i> Yoon & Bae	*		*	*				
35	<i>Potamanthus formosus</i> Eaton	*	*	*	*	*	*	*	*
36	<i>Potamanthus luteus oriens</i> Bae & McCafferty							*	
	Family Ephemerellidae								
37	<i>Uracanthea rufa</i> Imanishi	*	*		*	*	*	*	*
38	<i>Ephemerella keijoensis</i> Allen		*	*	*	*	*	*	*
39	<i>Acerella longicaudata</i> Undo				*				
40	<i>Drunella aculea</i> Allen							*	
41	<i>Ephemerella notofascia</i> Yoon & Bae	*		*					
42	<i>Serratella setigera</i> Bajkova					*			
	Family Leptophlebiidae								
43	<i>Choroterpes altioculus</i> Kluge	*	*	*	*	*	*	*	*
44	<i>Paraleptophlebia chcorata</i> Imanishi	*							
	Family Ephemeridae Leach								
45	<i>Ephemerella strigata</i> Eaton		*						
46	<i>Ephemerella orientalis</i> McLachlan	*	*	*	*	*		*	*
	Family Neophemeridae								
47	<i>Potamanthellus rarus</i> Tshernova	*			*	*	*	*	*
	Family Caenidae								
48	<i>Caenis Stephens</i> Kua	*			*	*	*	*	*
	Family Siphonuridae								
49	<i>Siphonurus chankae</i> Tshernova	*	*	*	*	*			
	Order Odonata								
	Family Gomphidae								
50	<i>Calopteryx japonica</i> Selys		*						
	Family Gomphidae								
51	<i>Nihonogomphus</i> Kua	*	*		*				
52	<i>Davidius lunatus</i> Bartenef		*				*	*	*
53	<i>Onychogomphus ringens</i> Needham								*
54	<i>Ophiogomphus obscura</i> Bartenef		*		*				
	Family Aeshnidae								
55	<i>Anax parthenope julius</i> Brauer	*							
	Order Plecoptera								
	Family Scopuridae								
56	<i>Scopura longa</i> Ueno	*					*		
	Family Pteronarcidae								

Table 2. Continued

54	<i>Ophiogomphus obscura</i> Barteneff		*		*			
	Family Aeshnidae							
55	<i>Anax parthenope julius</i> Brauer		*					
	Order Plecoptera							
	Family Scopuridae							
56	<i>Scopura longa</i> Ueno		*				*	
	Family Pteronarcidae							
57	<i>Pteronarcys sachalina</i> Klaplet						*	
	Family perlidae							
58	<i>Neoperla quadrata</i> Wu et Claassen		*	*			*	
	Order Trichoptera							
	Family Hydropsychidae							
59	<i>Macronema radiatum</i> McLachlan		*	*	*	*	*	*
	Family Rhyacophilidae							
60	<i>Rhyacophila brevicephala</i> Iwata		*	*	*	*		
61	<i>Rhyacophila</i> KUa		*	*	*	*	*	
62	<i>Rhyacophila shikotsuensis</i> Iwata				*	*		
	Family Grossosomatidae							
63	<i>Glossosoma</i> KUa		*	*				
	Family Stenopsychidae							
64	<i>Stenopsyche griseipennis</i> McLachlan			*				
65	<i>Stenopsyche bergeri</i> Martynov			*		*		
	Family Polycentropodidae							
66	<i>Plectrocnemia</i> KUa			*				
	Order Coleoptera							
	Family Hydrophilidae							
67	<i>Hydrophilus accuminatus</i> Motschulsky		*					
	Family Psephenidae							
68	<i>Psephenoides</i> KUa		*	*	*	*	*	*
69	<i>Mataeopsephus</i> KUa		*		*	*	*	
70	<i>Eubrianax</i> Kua		*	*	*	*		
	Family Elmidae							
71	<i>Zaitzevia nitida</i> Nomura		*	*	*	*		
72	<i>Optioservus varibilis</i> Nomura						*	
	Order Diptera							
	Family Tipulidae							
73	<i>Dicranoto</i> KUa		*	*	*			
74	<i>Tipula</i> KUa					*		
75	<i>Antocha</i> KUa					*		*
76	<i>Nephrotoma</i> KUb				*			*
	Family Rsydodidae							
77	<i>Tinearia alternata</i> Say		*			*		*
	Family Chironomidae							
78	<i>Chironomus nipponensis</i> Tokunaga			*	*	*		
79	<i>Chironomidae plumosus</i> Linnaeus.							*
80	<i>Chironomus salinarius</i> Kieffer					*	*	*
	Family Athericidae (Leptidae)							
81	<i>Atherix</i> Kua		*	*	*	*	*	*
	Count		48	42	32	47	40	26
								15

으로 중요성이 인정된다.

평균 출현개체수의 지점간 변동은 제1지점의 경우 262개체 / m²로부터 제7지점 38개체 / m²에 이르기까지 큰 변화 폭을 보였다. 출현개체수가 가장 많은 지점은

제1지점 262개체 / m²(32.2%)였으며, 이어서 많은 순서대로 정리하면 제5지점(154개체 / m², 18.9%), 제4지점(152개체 / m², 18.6%), 제2지점(90개체 / m², 11%), 제6지점(63개체 / m², 7.7%), 제7지점(38개체 / m², 4.7%)순

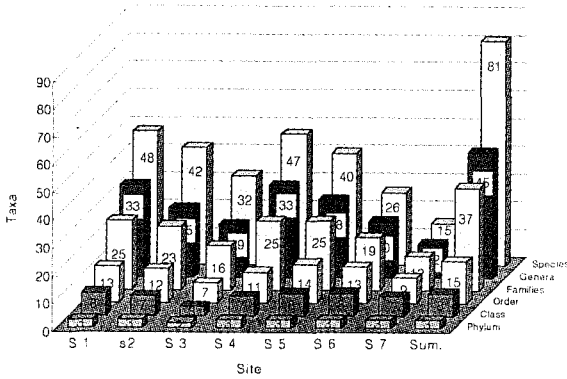


Fig. 2. Taxa of benthic macroinvertebrates collected in Miryang River.

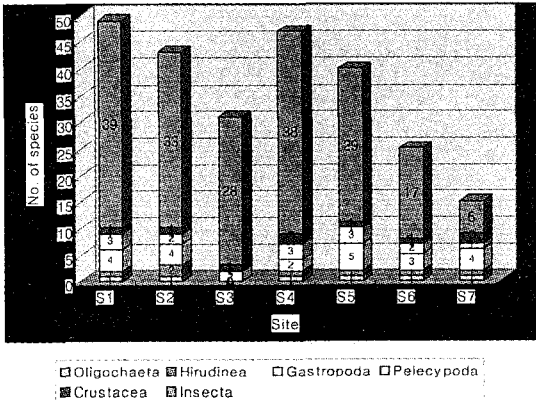


Fig. 3. Species frequency of major benthic macroinvertebrates taxa at each site in Miryang River.

Table 3. Species frequency of major benthic macroinvertebrates taxa at each site in Miryang River.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SUM.
Oligochaeta	1	1	0	1	1	1	1	1
Hirudinea	1	2	0	1	1	1	1	2
Gastropoda	4	4	2	2	5	3	4	6
Pelecyopoda	3	2	0	3	3	2	1	5
Crustacea	1	1	1	2	1	1	2	2
Insecta	39	33	28	38	29	17	6	65
Total	49	43	31	47	39	25	15	81

지는 하루살이류의 *Ecdyonurus levis* Navas가 우점종이었고, 제6지점과 제 7지점은 *Hirudinidae* sp.1가 우점종이었다. 제2우점종은 제1지점에서 *Macronema radiatum* McLachlan였으며, 제 2지점은 *Psephenoides* KUa, 제3지점은 *Ecdyonurus levis* Navas 제4지점과 제5지점은 *Macronema radiatum* McLachlan, 제6지점은 *Ecdyonurus levis* Navas, 제 7지점은 *Semisulcospira forticosta* V.Martens 로 다양하게 나타났다. 계절별 우점종은 4월에 *Ecdyonurus levis* Navas였으며, 6월에 *Macronema radiatum* McLachlan, 8월과 10월에 *Ecdyonurus levis* Navas로서 역시 하루살이류의 *Ecdyonurus levis* Navas가 거의 전 수역에서 우점종으로 출현한 것이다. 이와 같은 출현 우점종의 변동은 생물학적 지표종으로서 그 효율성이 크므로 수질 판정에 중요한 자료가 된다.

대부분의 지점(제1~제5지점)에서 제1우점종으로 출현하고 있는 *Ecdyonurus levis* Navas는 내성이 강한 종으로 분류되고 있으며, 일부지역(제6~제7지점)에서 우점종으로 나타난 *Hirudinidae* sp.1는 대체로 α -mesosaprobic수역의 지표군으로 인정되고 있다. 그리고 본 조사에서 총체적으로 지점 별 제2우점종으로 출현하고 있는 종은 *Macronema radiatum* McLachlan (제1, 4, 5지점), *Psephenoides* KUa (제2지점), *Epeorus latifolium* Ueno (제3지점), *Ecdyonurus levis* Navas(제6지점), *Semisulcospira forticosta* V. Martens(제7지점)로서, 이 중 *Macronema radiatum* McLachlan는 β -mesosaprobic으로부터 α -mesosaprobic 수역까지 출현도의 폭이 넓지만, 대부분의 날도래류는 내성이 작고 β -mesosaprobic 수역으로부터 Oligosaprobic 수역까지 출현하고 있고, *Psephenoides* KUa 는 β -mesosaprobic에서 주로 출현하고 있는 종이며, *Semisulcospira libertina* Gould는 일반적으로 내성이 약한 것으로 알려져 있으나, *Semisulcospira forticosta* V.Martens는 본 조사결과에 의하면, 출현지점의 특성으로 보아 내성이 있는 종으로 판단된다.

지점별 평균 우점도지수는 0.33으로서 비교적 낮은

으로서 가장 개체수가 빈약한 지점은 제 7지점인 밀양강 끝지점이었다. 이로 보아 밀양강은 상(중류 수역에 비하여 하류로 내려갈수록 개체수 출현율이 감소함을 알 수 있다.

대체로 제1지점에서부터 제6지점까지는 하루살이류가 우점분류군 출현을 보이고 있으나, 제7지점에서는 복족류와 거머리류가 우점분류군으로 출현하고 있다. 제.6지점의 경우도 하루살이가 다음으로 거머리류가 높은 비율로 출현한 반면, 날도래류 및 강도래류의 출현은 전혀 없었다. 따라서 밀양강 중·하류지점인 에림교 부근과 밀양강 끝지점인 삼랑진 취수장은 열악한 수환경을 보여주고 있음을 알 수 있다.

3.3 군집분석

본 조사 기간동안 7개 지점과 계절별로 나타난 우점종의 변동은 Table 5와 같다. 전체평균수준에서의 제 1우점종은 하루살이류의 *Ecdyonurus levis* Navas였으며, 제2우점종은 날도래류의 *Macronema radiatum* McLachlan으로서 우점도지수는 0.33이었다. 각 지점별 평균수준의 우점종을 보면, 제1지점부터 제5지점까

Table 4. Total average individual occurrences(No./m²) of benthic macroinvertebrates according to major taxa

Taxa / Site	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	Total	Mean	%	
Oligochaeta	3	1	0	3	3	3	2	15	2.1	1.8	
Hirudinea	8	2	0	4	2	16	13	45	6.4	5.5	
Gastropoda	9	10	7	1	6	4	13	50	7.14	6.1	
Pelecypoda	2	6	0	6	8	1	3	26	3.7	3.2	
Crustacea	10	8	1	2	3	1	1	26	3.7	3.2	
Insecta	Ephemeroptera	172	36	33	89	94	31	456	65.1	56.0	
	Odonata	1	1	0	1	1	1	5	0.71	0.6	
	Plecoptera	1	2	1	0	1	0	5	0.71	0.6	
	Trichoptera	4	10	8	28	28	0	0	117	16.7	14.4
	Coleoptera	9	12	4	14	7	1	1	48	6.9	5.8
	Diptera	4	2	2	4	1	5	4	22	3.1	2.7
Semi total	230	63	48	136	132	38	6	653	93.3	80.1	
Total	262	90	56	152	154	63	38	815		100	

Table 5. Dominant species of benthic macroinvertebrates community in Miryang River

Site/Month	1st. Dominant species	2nd. Dominant species	DI
Site	S 1 <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Macronema radiatum</i> McLachlan	0.35
	S 2 <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Psephenoides</i> KUa	0.26
	S 3 <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Epeorus latifolium</i> Ueno	0.33
	S 4 <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Macronema radiatum</i> McLachlan	0.41
	S 5 <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Macronema radiatum</i> McLachlan	0.39
	S 6 <i>Hirudinidae</i> sp.1	<i>Ecdyonurus levis</i> Navas	0.51
	S 7 <i>Hirudinidae</i> sp.1	<i>Semisulcospira forticosta</i> V.Martens	0.58
Month	Apr. <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Ecdyonurus</i> KUb	0.16
	Jun. <i>Macronema radiatum</i> McLachlan	<i>Hirudinidae</i> sp.1	0.40
	Aug. <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Potamanthus formosus</i> Eaton	0.39
	Oct. <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Macronema radiatum</i> McLachlan	0.45
	Dec. <i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Chironomus salinarius</i> Kieffer	0.65
Total level	<i>Ecdyonurus levis</i> Navas	<i>Macronema radiatum</i> McLachlan	0.33

경향이였다. 제1지점 0.35였으며, 제2지점은 0.26, 제3지점 0.33, 제4지점은 0.41, 제5지점은 0.39, 제6지점 0.51, 제7지점은 0.58로서, 상대적 지수값을 비교하면 제6, 제7지점이 우점도지수가 비교적 높았고 제4지점이 낮은 값을 보임으로서 이 지점은 소수의 특정종이 주로 서식하고 있음을 알 수 있다.

조사시기별 우점도지수의 평균값을 보면, 4월에는 0.51, 6월에는 0.52, 8월에는 0.54, 10월에는 0.56, 12월에 0.65로서 12월에 우점도지수가 다소 높은 경향이였다. 그리고, 각 지점별 계절적 변동에 있어서 대부

분의 경우 그 차이가 비교적 크게 나타난 것으로 보아 각 수역 별 환경상태에 차이가 있음은 물론, 동일 수역에서도 환경영향의 변화가 있었음을 암시하고 있다.

각 지점별 우점종에 의한 수질을 평가하면 제1지점에 서부터 제5지점까지, 즉 밀양강 상류 지천과, 밀양 시내를 중심으로 한 그 상류 수역은 비교적 환경에 대한 내성이 강한 *Ecdyonurus levis* Navas 가 우점종으로 출현하는 반면, 제2우점종은 비교적 양질의 수질에서 서식하는 *Macronema radiatum* McLachlan, *Psephenoides* KUa, *Semisulcospira libertina* Gould

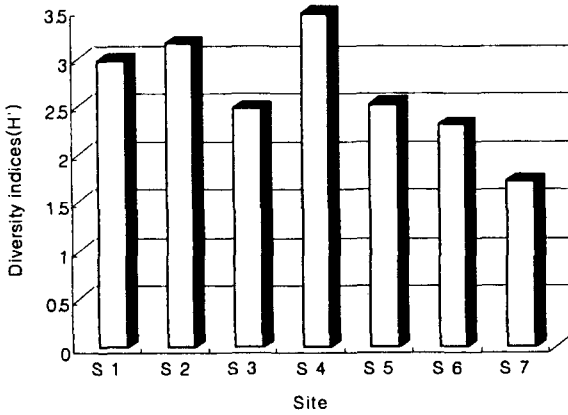


Fig. 4. Diversity indices(H') variation of benthic macroinvertebrate Community in Miryang River.

등이 출현하였다. 따라서 밀양시내를 통과하기까지는 비교적 양질의 수역으로 인정되며, 제6지점과 제7지점은 주로 III~IV급수에서 출현하는 거머리류가 우점종이었고, 비교적 내성이 강한 *Ecdyonurus levis* Navas 와 *Semisulcospira forticosta* V.Martens 가 제2우점종으로 출현한 것으로 보아 수역의 수질이 다소 불량함을 추정케 한다.

각 조사시기별 및 조사지점별 다양도지수(H')의 변동은 Table 6 과 같다.

본 조사수역의 평균 다양도지수는 2.66이었으며, 조사시기별 지점간 다양도지수의 범위는 제1지점이 2.15~3.81이었으며, 제2지점 2.45~3.69, 제3지점

2.10~2.84, 제4지점 2.91~3.85, 제5지점 2.1~3.36, 제6지점 1.43~3.09, 제7지점 0.92~2.52로서, 각 지점 별 평균 다양도지수는 제4지점(3.47)이 가장 높았고, 다음은 제2지점(3.16), 제1지점(2.89), 제3지점(2.48), 제5지점(2.52), 제6지점(2.31), 제7지점(1.72)순으로서 대체로 밀양강 하류의 경우 다양도지수가 낮은 경향이였다.

다양도는 동물군집의 종 풍부성과 개체수의 상대적 균형성을 뜻하고, 군집의 복잡성을 나타내주므로 다양성이 높은 수역에서는 많은 종이 균일하게 분포하고 있음을 의미한다. 따라서 밀양강 수계의 중·상류수역은 하류수역에 비하여 비교적 많은 종이 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다.

양수중보 건설로 인한 하상교란 및 기타 원인에 의한 수질환경의 변화가 있었음을 암시한다.

각 지점별 종 다양도지수의 평균값에 의하여 오수생물계열을 평가²⁴⁾하면, 제4지점은 Oligosaprobic에 속하며, 제1,2,3,5,6지점은 β-mesosaprobic수역, 제7지점은 α-mesosaprobic으로 볼 수 있다.

다양도지수가 높을수록 수질이 양호하다는 개념에서 본다면, 밀양강 하류로 갈 수록 오염이 가중되고 있음을 알 수 있다. 다만, 단장천은 밀양강 중·상류에 비하여 수질이 양호한데도 다양도지수가 낮게 나타난다. 이러한 원인은 극도로 양호한 빈부수성 수역에서는 오히려 다양도가 떨어짐을 보여준 것으로서 다양도지수에 의한 방법만으로는 모든 수역에 걸쳐 적용하기에는 무리가 따른다고 할 수 있을 것이다. 그러므로 Staub et al²⁴⁾의 다양도지수에 의한 수질평가는 종합 분석을 위한 참고 자료로 활용하는 것이 좋을 것이며, 또한 지수 급간에 의한 수질평가 영역은 보다 세분화 할 필요성이 있다고 사료된다.

Table 6. Diversity indices(H') variation of benthic macroinvertebrates community in Miryang River

Month/Site	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
April	3.81	3.69	2.15	3.73	2.80	2.33	2.01
June	3.04	2.91	2.45	3.85	3.36	1.43	2.52
August	3.59	3.37	2.84	3.65	2.10	2.75	1.64
October	2.30	3.39	2.84	2.91	2.23	3.09	1.50
December	2.15	2.45	2.10	3.23	2.10	1.94	0.92
Mean	2.98	3.16	2.48	3.47	2.52	2.31	1.72
Total mean	2.66						

Table 7. Factors of physico-chemical water quality at each site in Miryang River

Factor	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
Temp.(°C)	19.6	19.8	19.8	19.6	19.6	19.8	20.0
PH.	7.5	7.0	7.1	7.7	7.4	7.2	7.7
DO.	9.1	8.7	8.9	8.0	8.7	8.3	8.3
COD.	4.2	3.8	3.0	2.9	3.3	5.6	7.9
BOD.	2.7	2.3	1.3	2.0	1.9	4.3	4.5
SS.	3.3	2.5	1.1	3.2	2.2	4.8	14.2

Table 8. Group pollution indices variation in Miryang River

Month/Site	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	Mean
Apr.	1.55	1.16	0.87	1.56	1.21	1.97	1.98	1.47
Jun.	1.48	1.50	1.06	1.38	1.43	2.16	2.51	1.65
Aug.	1.32	1.39	1.12	1.51	1.23	1.74	2.22	1.5
Oct.	1.22	1.30	0.94	1.39	0.95	1.29	2.24	1.33
Dec.	1.61	1.16	0.86	1.51	1.18	1.43	2.29	1.43
Mean	1.44	1.30	0.97	1.47	1.20	1.72	2.25	1.48

Table 9. Saprobic state variation according to Group pollution indices (GPI)

Site	GPI.	saprobic
S 1	1.44	β -mesosaprobic(II)
S 2	1.30	β -mesosaprobic(II)
S 3	0.97	Oligosaprobic(I)
S 4	1.47	β -mesosaprobic(II)
S 5	1.20	β -mesosaprobic(II)
S 6	1.72	β -mesosaprobic(III)
S 7	2.25	α -mesosaprobic(III)

3.4 이화학적 수질평가

이화학적 수질분석결과의 계절별 평균치는 Table 7과 같다.

각 성분의 조사지점에 대한 조사시기별 평균범위를 보면 pH는 7.0~7.7의 범위로서 대체로 중성을 나타내고 있다. 그리고 DO는 8.0~9.1mg/L의 범위였으며, COD는 2.9~7.9mg/L, BOD는 1.3~4.5mg/L, SS는 1.1~14.2mg/L로서 환경정책기본법 시행령 제2조의 수질환경기준에 의하여 비교할 때, pH와 DO 및 SS는 비교적 양호한 결과를 나타내고 있다. 생물화학적 산소요구량(BOD)은 제3지점 1.3mg/L에서부터 제7지점인 밀양강 끝 지점의 4.5mg/L까지의 범위였다. 조사지점별로 보면 제 1지점에서부터 제5지점까지 즉, 밀양강 중·상류 수역에는 환경정책 기본법에 의한 환경기준과 비교할 때 II등급 수준이었으나, 밀양강 중·하류인 제6지점에서부터 제7지점까지는 III등급 수준으로 분석되었으며 조사시기에 따라서 큰 차이는 없었다.

전체적으로 볼 때, 가장 양호한 수질로 평가된 수역은 제3지점(BOD 1.3mg/L)이었으며, 차례로 제5지점(BOD 1.9mg/L), 제4지점(BOD 2.0mg/L), 제2지점(BOD 2.3mg/L), 제1지점(BOD 2.7mg/L), 제6지점(BOD 4.3mg/L), 제7지점(BOD 4.5mg/L)의 순으로서 밀양강 하류수역은 수질이 불량한 것으로 나타났다.

이상의 이화학적 수질분석 결과는 이²²⁾ 및 밀양군의 결과와 비교할 때, 수역에 따라서 다소 차이는 있지만 대체로 수질환경이 악화된 결과로 나타났으며, 이것으로 보아 밀양강의 전체적인 수질은 해가 갈수록 미소하

게나마 저하하고 있는 것이 아닌가 생각된다.

3.5 군오염지수에 의한 생물학적 수질평가

생물학적 지표종을 중심으로 군오염지수(Group pollution index : GPI)에 의한 생물학적 수질평가 결과는 Table 8, 9와 같다.

본 조사 수역의 평균 군오염지수는 1.48였다. 조사지점별 조사시기의 평균오염지수의 범위를 보면 제1지점이 1.22~1.61였으며, 제2지점 1.16~1.50, 제3지점 0.86~1.12, 제4지점 1.38~1.56, 제5지점 0.95~1.43, 제6지점 1.29~2.16, 제7지점 1.98~2.51이었으며, 계절별로 가장 변동이 심한 지역은 제 6지점이었고, 제2지점부터 제5지점까지는 비교적 안정된 값을 보였다.

군오염지수의 비교로서 계절별로 수질을 평가하면, 가장 수질이 양호한 것으로 나타난 제3지점은 4월과 10월에 특히 수질이 양호하여 Oligosaprobic의 I급수 수질 등급으로 평가되었으며, 6월과 8월은 β -mesosaprobic의 II급수로 평가되었다.

제1지점과 제2지점 및 제4지점은 계절별 차이가 별로 없었으며, 모두 β -mesosaprobic II등급의 수질로 평가되었고, 제5지점은 4월부터 8월까지는 β -mesosaprobic으로서 II급수였으나 10월은 Oligosaprobic의 I급수로 수질이 향상되었다. 그리고 제6지점은 β -mesosaprobic에서부터 α -mesosaprobic까지의 수역으로서 II~III급수의 수준을 보였다.

분석된 군오염지수의 결과는 제3지점을 제외하고는 종다양성과 군오염지수에 의한 수질평가(Table 9)에서 밀양강 전체의 평균 수질은 β -mesosaprobic의 II급수로 평가되었다.

가장 양호한 수역은 제3지점으로서 Oligosaprobic이었고, 제1지점과 제2지점 및 제4지점과 제5지점 β -mesosaprobic이었으며, 제6지점은 β -mesosaprobic이었지만 지수가 높은 수준이었고, 제7지점은 α -mesosaprobic으로서 수질이 가장 불량하였다.

군오염지수값을 수질등급으로 표현(Table 1)하면, 제3지점은 I급수로 가장 양호하였고, 제1지점과 제2지점 및 제4지점과 5지점인 밀양강 중·상류에서는 II급수 수준의 비교적 양질의 수질이었으며, 밀양강 하류의 제6지점과 제7지점은 III급수 수준으로 수질이 불량한 것으로 평가 되었다. 이러한 결과는 제3지점을 제외하고는 종 다양성과 우점도에 의한 평가 및 이화학적 수질평가와도 일치하였다.

이상에서와 같이 밀양강 본류 중 제5지점이 제4지점의 수역보다 수질이 양호하게 나타난 것은 수역 자체에서의 정화와 더불어 수질이 양호한 제3지점의 지류와 합류되면서 개선되었기 때문인 것으로 보며, 밀양강 하류인 제6지점에서부터 그 하류로 수질이 불량하게 나타난 원인은 밀양시내와 밀양사포공단을 경유하면서 생활하수와 산업폐수 등 물리화학적으로 다양한 성상이 오염물질 부하에 기인된 것으로 생각한다.

청도천과 더불어 동창천은 밀양강의 주요한 상류지천으로서 당연히 수질이 양호할 것으로 생각되나, 본 조사 결과에 의하면 다소 수질이 악화된다는 의미의 부정적인 요인이 있다. 이는 청도 주민의 생활하수와 산업 및 축산폐수가 주 원인인 것으로 생각되는 바, 앞으로 정밀 조사분석을 통하여 사전에 악화요인을 철저히 차단함으로써 밀양강의 수질을 한층 양호하게 향상시켜야 할 것이다.

4. 적 요

밀양강 수계 7개 지점에 대하여 1997년 4월부터 12월까지 5회에 걸쳐 채집된 저서성 대형무척추동물의 군집분석 및 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

분류군은 총 3문 8강 15목 37과 45속 81종으로서 빈모류 1종, 거머리류 2종, 복족류 6종, 부족류 5종, 갑각류 2종, 곤충류 65종으로 곤충류가 가장 많았다.

전체 지점에 대한 평균 개체수 현존량은 815개체/m²였다. 이 중 곤충류(약80%)가 가장 많았으며, 다시 곤충류 중에는 하루살이류(약 70%)와 날도래류(약 18%)가 주를 이루었다. 각 지점별 평균개체수 현존량을 보면, 제1지점인 청도천의 경우 262개체/m²(32.2%)로서 가장 많은 출현율을 보였고, 제7지점인 밀양강 끝지점의 경우 38개체/m²(4.7%)로서 가장 출현율이 낮았다.

전체 평균 수준에서의 제1우점종은 *Ecdyomurus levis Navas*였으며, 우점도지수는 0.3이었다. 각 지점별 우점종을 보면 제1지점부터 제5지점까지는 *Ecdyomurus levis Navas*이었고, 제6지점과 제7지점은 *Hirudinidae* sp.1이었다. 그리고, 전체 평균 수준에서의 다양도지수는 2.66이었다. 조사지점별 평균 다양도지수를 보면 제4지점이 가장 높았으며(H'=3.47), 다음은 제2지점, 1지점, 3지점, 5지점, 6지점, 7지점의 순이었다.

생물학적 지표종을 중심으로한 수질평가에 의하면, 밀양강 전체의 평균은 군오염지수(GPI) 1.49로서 β -mesosaprobic의 II급수로 평가되었다. 각 지점별로는 제3지점의 경우 Oligosaprobic의 I급수로서 가장 양호한 수질이었고, 제1지점과, 제2지점, 제4지점, 제5지점은 β -mesosaprobic의 II급수로, 제6지점은 β -mesosaprobic의 III급수로 평가되었다. 그리고, 제7지점은 α -mesosaprobic의 III급수로서 가장 수질이 불량한 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

1) 松本浩一, 1976. 指標生物による水質汚濁の判定. 遺

傳 8月 : 32~41.

- 2) 森下郁子, 1973. 北攝三河川, 安威川, 芥川, 水無瀬川の底生動物による生物學的 水質判定. 用水と廢水 15(8):27~37
- 3) Hynes, H.B.N., 1960., The Biology of polluted waters. Liverpool Univ.Press. London Hynes 1970. The ecology of stream insects. A.nn. Rew. Ent., 15:25-42
- 4) Chandler, 1970. Abiological approach to water quality management. Water Poll. Control. 69 : 415~422.
- 5) 위인선, 나철호, 최충길, 1974. 영산강 상류의 수서곤충 현존량. 육수지 7 : 1~7.
- 6) 윤일병, 강옥철, 변중욱, 1984. 서귀포 시내하천의 수서곤충의 군집에 관한 연구. 육수지 17 : 65~76.
- 7) 위인선, 1974. 영산강의 저서동물에 의한 생물학적 수질 판정. 육수지 7 : 29-35.
- 8) 윤일병, 공동수, 유재근, 1992. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가(1) -오탁계급치 및 지표가중치 산정을 중심으로-. 한국환경생물학회지. 10 (1) : 24~39
- 9a) 조영관, 배석진, 백순기, 나철호, 1996. 황용강수계에서의 저서동물의 계절적 분포와 생물학적 수질 평가에 관한 연구. 한국육수학회지, 29(3) : 177~185.
- 9b) 조영관, 박병훈, 백순기, 김종선, 나철호, 1996. 저서동물을 이용한 승암천 상류 하천의 생물학적 수질평가. 한국육수학회지, 29(3) : 167~175.
- 10) 문교부, 1988. 한국동식물도감 제 30권(수서곤충류) : 1~840.
- 11) 문교부, 1990. 한국동식물도감 제 32권 동물편(연체동물 I) : 27~234.
- 12) 윤일병, 1995. 수서곤충검색도설 정행사. : 1~362
- 13) 권오길, 박갑용, 이준상. 1993. 원색한국패도감. 아카데미서적 : 154~224.
- 14) Minoru Sudzuki, 1991. Atras of freshwater saprobic organisms. Hokuryukan co.,LTD.
- 15) McNaughton, S. J., 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. Nature, 216 : 168~169.
- 16) Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. General Systematics 3:36-71
- 17) Shannon, C.E. and W. Weaver., 1949. The Mathematical theory of cmmunication. University of Illinois Press, Urbana.
- 18) Pielou, E.C., 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York : 165
- 19a) 윤일병, 공동수, 유재근, 1992. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가(2) -생물군집에 대한 환경요인 영향을 중심으로-. 한국환경생물학회지. 10 (1) : 40~55.
- 19b) 윤일병, 공동수, 유재근, 1992. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가(3) -육안적 간이

- 수질평가방법을 중심으로-. 한국환경생물학회지, 10 (2) : 77~84.
- 19c) 윤일병, 공동수, 이상협, 1992. 저서성 대형무척추 동물에 의한 금호강 수계의 생물학적 수질평가. 한국육수학회지, 25(3) : 177~183.
- 20) 국립환경연구원, 1992. 생물학적 수질평가 기법연구(3차년도) : 71~192.
- 21) 조영관, 백순기, 김종선, 나철호, 1993. 동북천수계에 서식하는 수서곤충의 군집에 관한 연구. 한국육수학회지, 26(4) : 285~292.
- 22) 이병인, 1992. 밀양강 유역의 수질환경평가. 밀양전문대학 논문집, 26 : 167~175.
- 23) 박정호, 조규송, 1995. 강원도 방태천 수서곤충군집의 생태학적 특성. 한국육수학회지, 28(3) : 309~322.
- 24) Staub, R. et al. 1970. The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby Country on primary plankton producers. Bioscience, 20: 905-912.