

北漢山 貞陵川과 曲陵川에棲息하는 水棲昆蟲의 季節的 群集構造와 生物學的 水質評價

박성배 · 배경석 · 서미연 · 이용기 · 박상현 · 유명진*

서울特別市 保健環境研究院 *서울市立大學校 環境工學科

Seasonal Community Structure of Aquatic Insects and Biological Assessment of Water Quality at the Jungneung and Gokneung Streams in the Mountain Bukhan

Sung Bae Park, Kyung Seok Bae, Mi Yeon Seo, Yong Ki Lee,
Sang Hyun Park and Myung Jin Yoo

Seoul Metropolitan Gov., Inst. of Health and Environment

*Dept. of Environment Engineering, Seoul City University

ABSTRACT

The present study was accomplished from October, 1992 to June, 1993 in order to examine the seasonal community structure of aquatic insects and the biological estimation of water quality by the aquatic insects of the Jungneung and Gokneung streams in the Mt. Bukhan.

The obtained results are as follows :

1. The total taxa of aquatic insects appeared as 77 species, 45 genera, 28 families in 7 orders.
2. Seasonal occurrence species numbers showed the highest in the autumn of the Jungneung stream (19 species) and in the spring of the Gokneung stream (41 species). Seasonal occurrence individual numbers showed the highest in the summer of the Jungneung and Gokneung streams (5,901, 3,180 individuals) and the lowest in the autumn of Jungneung stream (612 individuals) and in the winter of the Gokneung stream (1,764 individuals).
3. Annual dominance indices showed 0.52 (st.J1)~1.00 (st.J3) range in the Jungneung stream, and 0.47 (st.G1)~0.76 (G2) range in the Gokneung stream.
4. Seasonal species diversity indices showed 0.00 (st.J3, whole seasons)~3.12 (st.J1, Spring) range in the Jungneung stream and 0.69 (st.G2, summer) ~3.10 (st.G4, spring) in the Gokneung stream.
5. Biological saprobic system based on species diversity indices of aquatic insects appeared as oligosaprobic area: site J3, α -mesosaprobic area: site J2, G2, G3 and β -mesosaprobic area: site J1, G1, G4.

Keywords : Aquatic insects, Community structure, Biological estimation, Mt. Bukhan.

I. 서 론

수서곤충은 호수나 하천에서 가장 눈에 띄는 생명의 형태로서 호수의 바닥과 같은 나쁜 환경에서도 많은 종류수가 발견되고 몸의 구조와 습성이 매우 다양한 1 차 또는 2 차 소비자로서 수계 생태계 생물군집의 기능에 중요한 영향을 미치고 있다.¹⁾

또한 서식처의 선호성 및 낮은 운동력으로 인하여 물질의 영향을 직접 받음으로써 하천의 상태 평가 및 오염연구에 매우 유용하므로²⁾ 그 분포를 연구하는 것은 하천 생태계를 이해하는데 중요하다.³⁾

북한산은 해발 836.5 m로 서울시 일원에서 제일 높은 봉우리이며 행정구역상 서울시와 경기도 고양군에 위치하고 있는 명산으로 그 보존가치의 중요

성으로 인해 15번 째 국립공원으로 지정되어 있다. 북한산에서 발원하여 한강 하류로 유입되고 있는 정릉천과 곡능천은 유로연장이 약 9 km, 51.6 km이 며 폭은 25~60 m 정도의 하천으로 북한산 국립공원과 인근 생태계의 생물군집 형성에 중요한 영향을 미치고 있다. 이들 하천의 상류지역은 계곡이 잘 발달되었으므로 하절기에는 행락객들이 이용하는 유원지가 많고 도심을 통과하는 정릉천의 하류지역에는 상류에 비해 인구가 많고 곡능천의 하류지역에는 농경지가 비교적 많다. 따라서 본 연구는 이들 하천이 수중 생태계에 있어서 수서곤충의 계절적 군집변화와 이화학적 환경요인과의 상관관계를 파악하고 지표군에 의한 생물지수와 수리적 분석에 의한 군집지수를 통해 각 하천의 수질을 생물학적으로 진단함으로써 하천의 수환경을 종합적으로 평가할 수 있는 자료를 제시코자 한다.

II. 연구방법

1. 조사일정 및 조사지역

본 연구는 1992년 10월 26일~1993년 6월 23일 까지 계절별로 1회씩 총 4회 실시하였다. 조사지점은 유속, 하상구조 및 오염물질의 유입을 고려하여 중랑천 하류와 합류되어 한강으로 유입되는 정릉천 3개 지점, 한강하류로 합류되는 곡능천 4개 지점을 선정하여 수환경과 수서곤충의 계절적 군집변화 및 지역적 차이를 비교 분석하였다(Fig. 1).

- J1 : Jungneung park upper stream
- J2 : Sanjang apartment house
- J3 : Jaegi-dong Midopa department store
- G1 : Songchu park upper stream
- G2 : Songchu-bridge
- G3 : Shinheung park inlet
- G4 : Gokneung-bridge

2. 조사방법

수서곤충의 채집은 계류용 정량 채집망인 Surber net(50×50 cm)⁴⁾를 사용하여 1 m²씩 정량적인 채집을 하였다. 채집된 수서곤충은 현지에서 Kahl's fluid로 고정하여 실험실 수조에 놓고 최종적으로 재료를 취하였다. 분류한 수서곤충은 70% ethanol에 옮겨 보존하였다. 수서곤충의 군집구조를 파악하기 위해 각 지점별로 종구성, 우점도지수 및 다양도지수를 산출하여 비교하였다. 각 조사지점에 있어서 우점종은 개체수와 생체량을 고려하여 2종씩을 선

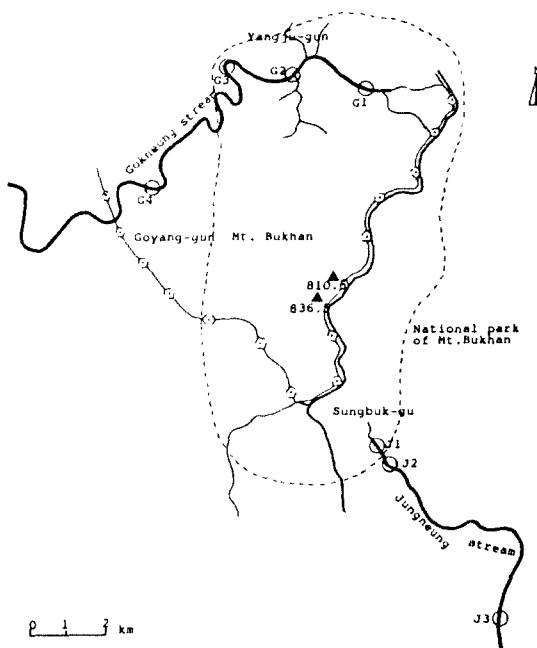


Fig. 1. A map of the study area in the Jungneung and Gokneung streams of the Mt. Bukhan.

정하고 지역 차이를 비교하였다. 우점도 지수는 각 군집의 단순도를 측정하는 방법으로 Naughton's dominance(DI)⁵⁾에 의해 산출하였다. 종다양도 지수는 군집의 종종부도와 개체수의 상대적 균형성을 측정하는 방법으로 Lloyd and Ghelardi의 공식⁶⁾에 따라 계산하였다. 이화학적인 수질분석은 수온 및 용존산소의 경우 채수시에 현장에서 측정하였으며, BOD 등을 포함한 기타 항목은 수질오염공정시험 방법⁷⁾ 및 standard method⁸⁾를 참고하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이화학적 분석

조사지점의 수질분석 결과는 Table 1과 같다. 수온은 조사지역의 수심이 낮고 유량이 많지 않아 대기온도에 의해 영향을 받고 있다. 연평균 pH는 7.1로 상수원수 1급 수질(pH 6.5~8.5)이내로 나타났다. pH는 도시나 공장의 하·폐수, 농약, 유기물 등의 유입에 의하여 수질을 변화시키지만 pH 5.0~9.0에서는 수생생물 군집에 큰 영향이 없고 치사요인으로 작용하지 않으며⁹⁾ 대부분의 수서곤충은 pH 5.5 이하에서는 소실된다는²⁾ 보고가 있다.

Table 1. The water quality at the investigated sites in the Jungneung and Gokneung streams of the Mt. Bukhan

		Jungneung stream				Gokneung stream				
		J1	J2	J3	Mean	G1	G2	G3	G4	Mean
W.T	Autumn('92)	12	12	11	11.7	11	10	12	11	11.0
	Winter('92)	4	3	7	4.7	4	7	1	2	3.5
	Spring('93)	5	9	11	8.3	7	7	6	9	7.3
	Summer('93)	17	17	21	18.3	17	19	21	22	19.8
	Annual	9.5	10.3	12.5	10.7	9.8	10.8	10.0	11.0	10.4
pH	Autumn('92)	6.7	7.9	7.6	7.4	6.6	7.2	7.8	8.0	7.4
	Winter('92)	5.9	7.2	7.1	6.7	6.5	7.1	7.5	7.5	7.2
	Spring('93)	7.0	7.1	7.2	7.1	5.9	6.5	7.2	7.6	6.8
	Summer('93)	7.2	7.0	7.2	7.1	6.8	7.0	7.2	7.4	7.1
	Annual	6.7	7.3	7.3	7.1	6.5	7.0	7.4	7.6	7.1
DO	Autumn('92)	10.4	11.0	4.2	8.5	10.6	10.0	11.8	13.6	11.5
	Winter('92)	12.5	13.0	7.4	11.0	12.8	12.0	14.0	15.6	13.6
	Spring('93)	12.0	11.6	4.5	9.4	12.0	12.6	13.2	14.0	13.0
	Summer('93)	9.4	8.4	4.0	7.3	9.4	8.6	9.0	9.4	9.1
	Annual	11.1	11.0	5.0	9.1	11.2	10.8	12.0	13.2	11.8
BOD	Autumn('92)	1.4	6.1	53.1	20.2	1.0	6.7	4.3	3.0	3.8
	Winter('92)	1.5	3.8	26.7	10.7	1.5	4.5	4.3	4.0	3.6
	Spring('93)	1.0	4.1	52.1	19.1	1.1	9.4	3.5	2.0	4.0
	Summer('93)	1.0	5.7	15.8	7.5	0.5	7.2	3.3	3.0	3.5
	Annual	1.2	4.9	36.9	14.4	1.0	7.0	3.9	3.0	3.7
T-N	Autumn('92)	1.362	4.510	12.450	6.107	1.732	4.821	3.501	5.112	3.792
	Winter('92)	1.632	4.608	12.720	6.320	1.824	4.800	3.408	5.280	3.828
	Spring('93)	1.776	4.704	14.400	6.960	1.872	5.472	4.848	4.272	4.116
	Summer('93)	0.960	2.928	12.048	5.312	1.632	4.272	3.888	3.792	3.396
	Annual	1.433	4.188	12.905	6.175	1.765	4.841	3.911	4.614	3.783
ABS	Autumn('92)	0.035	0.268	4.089	1.464	0.009	0.031	0.149	0.182	0.093
	Winter('92)	0.067	0.135	1.122	0.441	0.091	0.217	0.066	0.107	0.120
	Spring('93)	0.110	0.136	0.213	0.153	0.103	0.122	0.123	0.105	0.113
	Summer('93)	0.176	0.199	0.333	0.236	0.062	0.255	0.155	0.156	0.157
	Annual	0.097	0.185	1.439	0.574	0.066	0.156	0.123	0.138	0.121
Cond.	Autumn('92)	52.1	205.0	457.0	238.0	37.5	181.1	160.1	154.4	133.3
	Winter('92)	139.1	422.0	406.0	322.4	34.7	146.4	143.7	132.9	114.4
	Spring('93)	58.2	246.0	451.0	251.7	37.2	148.6	147.6	137.6	117.8
	Summer('93)	55.0	133.3	486.0	224.8	36.3	132.7	121.8	121.3	103.0
	Annual	76.1	251.6	450.0	259.2	36.4	152.2	143.3	136.6	117.1

W.T : Water temperature, DO : Dissolved oxygen, BOD : Biochemical oxygen demand, T-N : Total nitrogen, ABS : Alkyl benzen sulfonate, Cond. : Conductivity.

물에 대한 산소의 용해도를 나타내는 DO는 하상의 구조, 수생식물의 유무, 유속 및 온도에 의한 영향을 많이 받아 측정 당시의 상황에 따라 변동의 폭이 크게 나타나는 경우가 많다. 정통천의 연평균 DO는 9.1 mg/l이며 연중 4.0~13.0 mg/l의 범위를 나타내고 하류지점인 J3 지점에서는 전 계절 모두

상당히 낮은 농도로 나타났다. 곡능천은 연평균 11.8 mg/l이며 연중 8.6~15.6 mg/l의 범위로 계절별로는 겨울에 약간 높고 상·하류간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

생물학적 산소요구량은 분해성 유기물질의 오염 정도를 파악하는 지표로서 일반적으로 10 mg/l 이

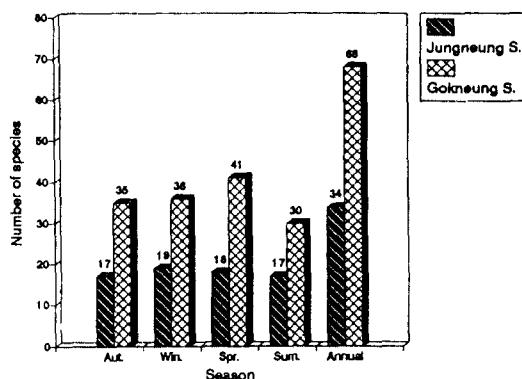


Fig. 2. Seasonal variations of species numbers of aquatic insects in the Jungneung and Gokneung streams in 1992~1993.

상의 농도에서 악취가 발생한다.¹⁰⁾ 정릉천의 경우 상류지역에서 하류지역으로 갈수록 매우 큰 차이를 나타냈고 지점 J3의 BOD 변동은 조사시기에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났는데 가을과 겨울 조사시 주변에 복개공사와 도시하수의 유입으로 인한 수질의 혼탁원인과 관계가 깊다고 생각된다. 곡능천의 BOD는 연평균 3.7 mg/l이고 연중 0.5~9.4 mg/l의 범위를 나타냈다. 조사지점 중 지점 G2 지점이 가장 오염된 수질상태를 나타냈는데 이는 주변 도시하수의 영향 때문이며 전 조사지점 모두 계절에 따른 변동은 크지 않은 것으로 나타났다.

영양염류 중 총질소는 정릉천의 경우 연평균 6.175 mg/l이며 연중 0.960~14.4 mg/l로 나타났다. 계절에 따른 변동은 거의 없고 다만 하류로 갈수록 점차 증가하여 상·하류간에 매우 큰 차이를 보였다. 곡능천 역시 계절에 따른 차이는 없지만 상류지점 G1이 가장 낮게 나타났고 G2~G4 지점간에는 큰 차이 없이 상류지점 보다는 높게 나타났다.

계면활성제는 정릉천과 곡능천 모두 가을과 겨울 보다는 봄과 여름에 높게 나타났는데 하류로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 합성중성세제의 주성분인 계면활성제는 분해 반응속도가 느리고 도시의 생활하수 중에 상당한 농도로 존재하게 되는데¹¹⁾ 수중 농도가 1 mg/l 이상 일 때에는 다수의 기포를 생성하게 되며 이로 인해 대기로부터의 산소화산과 광선을 차단시켜 하천수의 자정능력을 현저하게 저하시키는 요인이 되고 있다.¹²⁾

전기전도도는 전하를 운반하는 수중 물질의 정도를 숫자로 표시하는 것으로서 이온의 농도, 유동성 및 측정시의 온도에 영향을 받는다. 정릉천과 곡능천

모두 계절별로는 그다지 큰 변동폭을 보이지는 않았으나 정릉천은 하류로 갈수록 높은 수치를 나타냈고 곡능천은 상류지점 G1이 연중 36.3~37.5 µmhos/cm로 가장 낮게 나타났으나 G2 지점에서부터 하류로 갈수록 수치가 낮아졌다.

2. 분류군

(1) 출현종 비교

조사기간 동안 본 수계에서 출현한 수서군총은 총 7목 28과 45속 77종 이었다. 이중 날도래류가 10과 15속 24종으로 전체 분류군의 1/3 정도를 차지하고 있으며 하루살이류 5과 11속 19종, 파리류 6과 8속 19종, 강도래류 4과 5속 8종, 잠자리류 1과 3속 3종, 뱀잠자리류 1과 2속 3종, 딱정벌레류 1과 1속 1종으로 나타났다. 국내의 다른 산간 계류의 조사와 비교하면 지리산 피아골의 58종,¹³⁾ 백운산의 55종,¹⁴⁾ 태백산의 71종,¹⁵⁾ 월출산의 40종¹⁶⁾ 보다 많은 종이 출현했다. 이와 같은 결과는 본 연구의 경우 4계절에 걸친 조사가 이루어진 반면에, 다른 연구는 여름철의 단기간에 걸친 조사였기 때문으로 생각한다. 또한 종구성에서는 지리산 피아골, 함양 백운산, 태백산, 월출산에서 하루살이류가 21~28종으로 가장 많이 출현한 반면 본 수계에서는 날도래류가 24종으로 가장 많이 출현하였다. 그러나 강도래류의 경우는 본 수계에서 8종이 출현하여 무등산¹⁷⁾에서 20종이 출현한 것을 제외하고는 다른 지역에서도 5~13종으로 비슷한 출현양상을 나타냈다. 계절별 출현종수를 살펴보면 계절적 요인에 의한 종 출현율의 변동이 그리 큰 폭으로 나타나지는 않았으나 정릉천과 곡능천 두 하천이 공통적으로 겨울과 봄에 다양한 종이 출현하였다(Fig. 2).

분류군별로는 곡능천에서는 하루살이류와 날도래류, 파리류가 전 조사지점에서 출현하였는데 정릉천 하류에서는 파리류만이 출현하였고, 하류로 갈수록 종출현도가 낮아진 반면 곡능천에서는 하류로 내려가면서 낮아졌다가 G4 지점에서 다시 회복되는 양상을 나타냈다(Table 2).

계절별로는 각 분류군의 출현율을 보면 정릉천에서는 연중 하루살이류, 파리류, 날도래류의 순으로 출현하였고, 곡능천에서는 날도래류, 하루살이류, 파리류의 순으로 비교적 다양한 출현을 나타냈다(Table 3).

(2) 출현개체수 비교

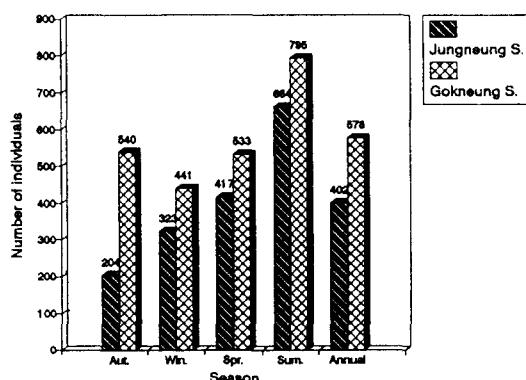
전 조사지점의 평균 개체수 현준량은 곡능천(578 개체/m²)이 정릉천(402 개체/m²)보다 많은 것으로 나타났다. 특히 정릉천 지점 J3에서 여름에 *Chirono-*

Table 2. Occurrence of major aquatic insect taxa at each site in the Jungneung and Gokneung streams of the Mt. Bukhan

	Jungneung stream				Gokneung stream				
	J1	J2	J3	Total	G1	G2	G3	G4	Total
Ephemeroptera	11	1	0	11	9	3	4	12	18
Odonata	1	0	0	1	2	0	0	2	3
Plecoptera	4	0	0	4	6	0	1	0	6
Megaloptera	0	0	0	0	1	1	1	3	3
Trichoptera	6	0	0	6	10	4	7	12	21
Coleoptera	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Diptera	9	7	2	11	10	7	7	9	17
Total	32	8	2	34	38	15	20	38	68

Table 3. Occurrence of major aquatic insect taxa in the seasons of 1992~1993 in the Jungneung and Gokneung streams

	Jungneung stream					Gokneung stream				
	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Ann.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Ann.
Ephemeroptera	6	8	6	6	11	12	12	14	10	18
Odonata	0	0	0	1	1	1	1	2	1	3
Plecoptera	3	3	2	3	4	4	3	1	1	6
Megaloptera	0	0	0	0	0	2	1	1	2	3
Trichoptera	3	2	3	2	6	11	11	12	8	21
Coleoptera	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Diptera	6	6	7	8	11	7	9	11	8	17
Total	18	19	18	18	34	37	37	41	30	68

**Fig. 3.** Seasonal variations of individual numbers of aquatic insects in the Jungneung and Gokneung streams in 1992~1993.

mus sp. 1만이 600개체나 출현하였고 겨울에는 *Chironomus* sp. 1만이 4개체 출현하여 큰 변동폭을 보여주었다(Fig. 3). 정릉천은 가을에, 곡능천은 겨울에

개체수 현존량이 가장 적었고, 두 하천 모두 여름에 개체수 현존량이 많은 것으로 나타났다.

Table 4는 두 하천에서 주요 분류군들이 차지하는 개체수 현존량을 나타내고 있는 데 정릉천의 경우 총 개체수가 4,824로서 그중 파리류가 2,529 개체로 전체의 52.4%를, 하루살이류가 2,096 개체로 43.5%, 그외 분류군이 4.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 곡능천의 경우는 총 개체수가 9,235로 그중 하루살이류가 4,588 개체로 전체의 49.7%를, 날도래류가 3,636 개체로 39.4%, 파리류가 897 개체로 9.7%, 그외 분류군이 1.2%로 나타났다. 정릉천은 곡능천에 비해 파리류가 차지하는 비율이 상대적으로 높았고 곡능천의 경우 지점 G4에서 하루살이류와 날도래류가 가장 우점하는 것으로 나타났다.

Table 5는 두 하천의 분류군별 출현 개체수의 계절에 따른 변동을 보여주고 있다. 정릉천의 경우 총 출현 개체수 4,824 개체 중 여름에 1,992 개체가 출현하여 41.3%를, 봄에 1,250 개체로 25.9%, 겨울에

Table 4. Number of individuals of major aquatic insect taxa at each sites in the Jungneung and Gokneung streams

	Jungneung stream				Gokneung stream				
	J1	J2	J3	Total	G1	G2	G3	G4	Total
Ephemeroptera	1692	404	0	2096	1016	806	523	2243	4588
Odonata	2	0	0	2	12	0	0	4	16
Plecoptera	129	0	0	129	48	0	4	0	52
Megaloptera	0	0	0	0	2	2	5	37	46
Trichoptera	66	0	0	66	676	28	569	2363	3636
Coleoptera	2	0	0	2	0	0	0	0	0
Diptera	599	710	1220	2529	196	151	201	349	897
Total	2490	1114	1220	4824	1950	987	1302	4996	9235

Table 5. Seasonal variations of individual numbers of major aquatic insect taxa in the Jungneung and Gokneung streams

	Jungneung stream					Gokneung stream				
	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Ann.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Ann.
Ephemeroptera	114	498	230	1254	2096	870	902	1108	1708	4588
Odonata	0	0	0	2	2	1	4	10	1	16
Plecoptera	19	70	40	0	129	28	10	12	2	52
Megaloptera	0	0	0	0	0	9	2	26	9	46
Trichoptera	4	14	42	6	66	1126	532	616	1362	3636
Coleoptera	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Diptera	475	388	938	728	2529	127	314	358	98	897
Total	612	970	1250	1992	4824	2161	1764	2130	3180	9235

970 개체로 20.1%, 가을에 612 개체로 12.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 곡능천의 경우는 총 출현 개체수 9,235 개체이었으며 이중 여름에 3,180 개체가 출현하여 34.4%를, 가을에 2,161 개체로 23.4%, 봄에 2,130 개체로 23.1%, 겨울에 1,764 개체로 19.1%를 차지하는 것으로 나타나서 두 하천 모두 개체수 현존량이 여름에 가장 풍부하게 나타남을 알 수 있다.

3. 우점종의 출현 현황

각 조사지점의 계절별 제 1, 2 우점종 및 이들이 차지하는 비율은 Table 6과 같다.

정릉천에 있어서 각 조사지점별로 연중 우점도를 살펴보면 지점 J1은 여름에 가장 높은 점유율을 나타낸 *Ecdyonurus kibunensis*(37.6%)가 제 1 우점종으로, 깔다구류(14.5%)가 제 2 우점종으로 나타났고, J2는 거의 전 계절에 걸쳐 다양으로 출현한 깔다구류(37.7%)가 제 1 우점종으로, 하루살이류인 *Baetis nla*(36.3 %)가 제 2 우점종으로 나타났다. 지

점 J3은 전 계절에 유기오타에 내성이 큰 파리류의 *Chironomus*류 한 종만이 우점적으로 출현하여 이 조사지점의 수환경 상태가 다른 지점과 비교하여 훨씬 악화되었음을 시사하여 준다.

곡릉천의 연중 우점도를 살펴보면 지점 G1은 전 계절을 통하여 하루살이류와 날도래류가 가장 많이 출현 하였는데 *Hydatophylax nigrovittalus*(29.6%)가 제 1 우점종으로 나타났고 연중 고른 출현율을 보여준 *Paraleptophlebia chocorata*(17.5%)가 제 2 우점종으로 나타났다. 지점 G2는 계절별 우점군 변동이 심하였으며, 여름에만 출현을 한 *Baetis nla*(69.6%)가 제 1 우점종으로, 가을에만 출현한 *Serratella rufa*가 제 2 우점종으로 나타났다. 지점 G3은 가을에만 날도래류인 *Hydropsyche* KUb가 우점하고 다른 계절에는 하루살이류가 우점하는 것으로 나타났는데 전 체적으로 *Hydropsyche* KUb(42.4%)가 제 1 우점종으로, *Baetis nla*(29.6%)가 제 2 우점종으로 나타났다. 지점 G4에서는 여름에만 날도래류인 *Hydropsyche* KUa가 우점하고 다른 계절에는 하루살이류인 *Ser-*

Table 6. 1st and 2nd dominant species at each site of the Jungneung and Gokneung streams in the Mt. Bukhan

Site	Season	First dominant species	Second dominant species	DI
J1	Autumn	<i>Cincticostella castanea</i> (55.0%)	<i>Amphinemura coreana</i> (11.4%)	0.66
	Winter	<i>Cincticostella castanea</i> (30.0%)	<i>Ecdyonurus dracon</i> (19.3%)	0.49
	Spring	<i>Chironomus</i> sp.6 (27.9%)	<i>Chironomus</i> sp.9 (21.7%)	0.50
	Summer	<i>Ecdyonurus kibunensis</i> (83.5%)	<i>Chironomus</i> sp.3 (5.0%)	0.89
	Annual	<i>Ecdyonurus kibunensis</i> (37.6%)	<i>Chironomus</i> sp.6 (14.5%)	0.52
J2	Autumn	<i>Chironomus</i> sp.4 (53.6%)	<i>Baetis nla</i> (17.9%)	0.71
	Winter	<i>Chironomus</i> sp.1 (63.6%)	<i>Chironomus</i> sp.6 (27.3%)	0.91
	Spring	<i>Chironomus</i> sp.6 (84.2%)	<i>Chironomus</i> sp.1 (14.9%)	0.99
	Summer	<i>Baetis nla</i> (90.8%)	<i>Chironomus</i> sp.6 (4.6%)	0.95
	Annual	<i>Chironomus</i> sp.6 (37.7%)	<i>Baetis nla</i> (36.3%)	0.74
J3	Autumn	<i>Chironomus</i> sp.9 (100%)		1.0
	Winter	<i>Chironomus</i> sp.1 (100%)		1.0
	Spring	<i>Chironomus</i> sp.9 (100%)		1.0
	Summer	<i>Chironomus</i> sp.1 (100%)		1.0
	Annual	<i>Chironomus</i> sp.9 (50.5%)	<i>Chironomus</i> sp.1 (49.5%)	1.0
G1	Autumn	<i>Cincticostella castanea</i> (29.1%)	<i>Hydropsyche</i> KUe (27.1%)	0.56
	Winter	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (41.2%)	<i>Cincticostella castanea</i> (18.5%)	0.60
	Spring	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (37.0%)	<i>Paraleptophlebia chocora</i> (26.7%)	0.64
	Summer	<i>Ecdyonurus kibunensis</i> (42.7%)	<i>Ecdyonurus dracon</i> (12.0%)	0.55
	Annual	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (29.6%)	<i>Paraleptophlebia chocora</i> (17.5%)	0.47
G2	Autumn	<i>Serratella rufa</i> (50.4%)	<i>Antocha</i> KUa (23.3%)	0.74
	Winter	<i>Tipula</i> KUb (39.4%)	<i>Chironomus</i> sp.1 (33.3%)	0.73
	Spring	<i>Chironomus</i> sp.3 (55.6%)	<i>Chironomus</i> sp.4 (33.3%)	0.89
	Summer	<i>Baetis nla</i> (87.6%)	<i>Baetis thermicus</i> (7.8%)	0.96
	Annual	<i>Baetis nla</i> (69.0%)	<i>Serratella rufa</i> (6.6%)	0.76
G3	Autumn	<i>Hydropsyche</i> KUb (81.8%)	<i>Chironomus</i> sp.4 (6.6%)	0.88
	Winter	<i>Serratella rufa</i> (29.0%)	<i>Antocha</i> KUa (27.4%)	0.56
	Spring	<i>Serratella rufa</i> (27.3%)	<i>Chironomus</i> sp.4 (25.0%)	0.52
	Summer	<i>Baetis nla</i> (79.7%)	<i>Baetis nla</i> (13.2%)	0.93
	Annual	<i>Hydropsyche</i> KUb (42.2%)	<i>Baetis nla</i> (29.6%)	0.72
G4	Autumn	<i>Serratella rufa</i> (47.6%)	<i>Hydropsyche</i> KUb (37.5%)	0.85
	Winter	<i>Serratella rufa</i> (50.0%)	<i>Hydropsyche</i> KUa (14.6%)	0.65
	Spring	<i>Serratella rufa</i> (32.6%)	<i>Hydropsyche</i> KUb (15.8%)	0.48
	Summer	<i>Hydropsyche</i> KUa (41.1%)	<i>Hydropsyche</i> KUb (27.6%)	0.69
	Annual	<i>Serratella rufa</i> (33.5%)	<i>Hydropsyche</i> KUb (23.0%)	0.57

*Serratella rufa*가 우점하는 것으로 나타났는데 역시 연중 고른 출현율을 보여준 *Serratella rufa*(33.5%)와 *Hydropsyche* KUb(23.0%)가 제 1, 2 우점종으로 나타났다.

정릉천과 곡능천의 우점종 비교에서 살펴보면 정릉천에서는 파리류인 *Chironomus*류가 차지하는 비율이 매우 높아서 이 종이 지점 J3에서는 연중 출현하였고 J2는 여름을 제외한 전 계절에 걸쳐 높은 우점율을 나타낸 것이 특징적이었으며, 또한 상류

지역에서 하류지역으로 갈수록 우점군이 하루살이류 중심에서 오염에 내성이 강한 것으로 알려진 파리류 중심으로 천이되어가는 현상을 보여 주었다. 이와는 상이하게 곡능천에서는 지점 G2의 봄에 우점하는 것으로 나타난 파리류인 *Chironomus* sp.3을 제외하고는 전 조사시기를 통해 하루살이류 및 날도래류가 우점하는 것으로 나타나 정릉천과 좋은 대조를 보여주고 있다.

Table 7. Correlation coefficients between species diversity (H'), dominance indices (DI) and water quality items of each site of the Jungneung and Gokneung streams in the Mt. Bukhan

	H'	DI	DO	BOD	SS	T-N	ABS
DI	-0.953**						
DO	0.735**	-0.617**					
BOD	-0.668**	0.537*	-0.711**				
SS	-0.440*	0.342	-0.519**	0.769**			
T-N	-0.546*	0.475**	-0.392	0.464*	0.581**		
ABS	-0.455**	0.363	-0.506**	0.721**	0.992**	0.641**	
Cond.	-0.740**	0.648**	-0.577**	0.459**	0.517**	0.685**	0.512**

*p<0.05, **p<0.01.

4. 생물지수의 공간적 동태

계절에 따른 각 지점별 우점도와 다양도를 산출한 결과는 Table 6과 8에 나타냈다. 우점도 지수는 값이 1에 가까울수록 군집내의 개체수 현존량이 차지하는 우점율이 큰 것을 의미하는 것으로 정릉천의 경우 하류로 갈수록 우점도 지수는 높아지는 경향이 있으며 상류지점인 J1에서 겨울에 0.49로 가장 낮게 나타났고 최하류 지점인 J3은 전 계절을 통하여 1.00으로 가장 높게 나타났다. 이와 같이 도시하수의 영향을 많이 받게 되는 정릉천의 중·하류지점들(J2, J3)에서 특정 종의 우점율이 높아지는 것은 오염물질과 같은 제한 요인이 수중에 유입하게 되면 적응하지 못한 종류는 사멸 또는 감소하게 되며, 또한 영양물질이 갑자기 증가하면 특정종이 높은 증가율을 나타낸다는 Margalef의 이론에 미루어 본 조사지점의 J2와 J3는 수서곤충이 다양하게 서식하기에는 적합치 않은 상태라고 할 수 있다. 곡능천에 있어서 우점도 지수는 G1 지점에서 0.55~0.64로 계절에 따른 큰 변동은 없으나 G2 지점에서는 다른 계절에 비해 봄과 여름에 0.89~0.96으로 상당히 높게 나타났고 G4 지점은 가을에 높게 나타났다가 겨울과 봄에 감소하면서 여름에 다시 높아지는 것을 볼 수 있었다.

다양도 지수는 정릉천 상류지점인 J1에서 봄에 3.12로 가장 높게 나타났고 J2와 J3는 다양도 면에 있어서 매우 빈약한 수치를 나타냈는데 특히 J3는 한 종만이 우점적으로 출현하였기 때문에 다양도는 0의 상태를 나타냈다. 곡능천의 경우 상류지점인 G1은 2.53~2.88로 계절에 따른 변동은 거의 없으나 G2 지점에서는 조사시기에 따라 가을에서 여름으로 갈수록 감소하는 경향을 나타냈다. 곡능천 중에서 가장 양호한 수서곤충의 서식지를 제공하고 있다고 생각되는 G4 지점에서는 봄에 3.10으로 가장 높고 다른 계절에는 비교적 낮게 나타났다.

5. 군집의 생물지수와 환경요인과의 상관관계

수환경이 수서곤충의 군집에 미치는 영향의 정도를 파악하기 위해 분석한 종다양도 지수(H') 및 우점도 지수(DI)와 이화학적 수질 항목들과의 상관관계는 Table 7과 같다. 군집의 복잡성을 나타내는 H' 와 군집의 단순도를 나타내는 DI와의 상관관계는 -0.953의 높은 역상관관계로 나타나 수질오염이 심화된 지점에서 우점도가 높아질수록 종다양도는 반비례적으로 낮아지고 있음을 알 수 있다. 또한 H' 와 수질오염의 정도를 나타내는 생물학적 산소 요구량, 총질소, 계면활성제 및 전기전도도는 -0.668, -0.546, -0.455 및 -0.740의 역상관으로 나타나 수질오염이 진행될수록 수서곤충의 종다양성이 반비례적으로 낮아지고 있으며 반면 DI와 생물학적 산소요구량, 총질소, 계면활성제 및 전기전도도와는 0.537, 0.475, 0.363, 0.648로 정의 상관관계로서 수질오염이 심화될수록 종조성이 단순해지고 환경에 적응된 특정 종류만이 왕성하게 번식됨을 알 수 있다. 그외에 H' 와 수중의 용존산소량과의 상관성은 0.735로 나타나 수중의 용존산소량이 많을수록 수서곤충의 군집이 복잡하게 구성되어 있음을 알 수 있다. 반면에 DI와 용존산소량이 -0.617의 역상관관계를 보이는 것은 하천의 유기물이 증가한 후 미생물의 왕성한 호흡작용으로 수중의 용존산소량이 감소^{18,19}하게 된 지점들에서 오염의 정도에 따라 종의 풍부성이 사라지게 되고 오염에 적응된 소수의 종들만 개체수 현존량이 현저하게 증가된 결과이다.

이상의 결과로 군집의 특성인 종수의 다양성과 개체수의 균형성을 나타내는 H' 는 DI와 뚜렷한 역상관성을 나타내어 이를 생물지수가 수질오염의 양호한 지표가 될 수 있다고 여겨진다.

6. 종다양도 지수에 의한 생물학적 수질평가

이화학적 수질평가는 다만 그 당시의 하천 상태

Table 8. Values of species diversity indices (H') and biological estimation of water quality at the Jungneung and Gokneung streams in the Mt. Bukhan

Sites	Season	H'	Mean H'	Saprositic system
J1	Autumn('92)	2.44	2.39	β -mesosaprobic area
	Winter('92)	2.95		β -mesosaprobic area
	Spring('93)	3.12		Oligosaprobic area
	Summer('93)	1.05		α -mesosaprobic area
J2	Autumn('92)	1.72	1.08	α -mesosaprobic area
	Winter('92)	1.33		α -mesosaprobic area
	Spring('93)	0.68		Polysaprobic area
	Summer('93)	0.60		Polysaprobic area
J3	Autumn('92)	0	0	Polysaprobic area
	Winter('92)	0		Polysaprobic area
	Spring('93)	0		Polysaprobic area
	Summer('93)	0		Polysaprobic area
G1	Autumn('92)	2.53	2.69	β -mesosaprobic area
	Winter('92)	2.53		β -mesosaprobic area
	Spring('93)	2.82		β -mesosaprobic area
	Summer('93)	2.88		β -mesosaprobic area
G2	Autumn('92)	2.12	1.53	β -mesosaprobic area
	Winter('92)	1.94		α -mesosaprobic area
	Spring('93)	1.35		α -mesosaprobic area
	Summer('93)	0.69		Polysaprobic area
G3	Autumn('92)	1.20	1.81	α -mesosaprobic area
	Winter('92)	2.47		β -mesosaprobic area
	Spring('93)	2.51		β -mesosaprobic area
	Summer('93)	1.04		α -mesosaprobic area
G4	Autumn('92)	1.98	2.46	α -mesosaprobic area
	Winter('92)	2.50		β -mesosaprobic area
	Spring('93)	3.10		Oligosaprobic area
	Summer('93)	2.24		β -mesosaprobic area

만을 나타내므로 가끔 홀려 들어오는 어떤 화학물질의 농도는 쉽게 파악할 수 없는 반면에 생물학적 수질평가는 조사지점에 서식하는 생물 개체나 군집의 구조와 기능의 차이가 이화학적인 수질오염의 정도에 의해 나타나고 그 상태를 정확히 측정할 수 있다는데 장점이 있다.²⁰⁾ 생물학적인 수질 평가는 1900년대 초에 Kolkwitz와 Marson^{21, 22)}이 처음으로 동물과 식물을 지표종으로 사용하여 하천의 유기오염 지역과 회복지역을 표시한 후²⁰⁾ 많은 학자에 의해 여러 가지 수리적인 분석방법이 논의되고 있다.^{20, 23)} 그 중 Margalef²⁴⁾의 정보이론에 따라 유도된 Shannon-Weiner Function(H')²⁵⁾를 많이 이용하고 있다. Wilhm과 Dorris²⁶⁾가 다양도 지수 값이 낮으면 오염이 되었음을 의미한다는 보고 후 다양도 지수를 이용한 수질판정이 많이 시도되고 있다. 또한 Staub

등²⁷⁾은 다양도 지수(H')가 0~1.00 : 강부수성, 1.00~2.00 : α -중부수성, 2.00~3.00 : β -중부수성, 3.00~4.50 : 빈부수성 등으로 다양도 지수의 값에 의한 오수생물계열을 제시하였다. 본 연구의 결과 얻어진 계절별 평균 다양도 지수를 기준으로 위의 오수생물계로 구분하면 Table 8과 같다.

대체적으로 곡능천이 정릉천 보다 더 앙호한 수질상태를 유지하고 있다. 정릉천 J1과 곡능천 G1, G4가 β -중부수성 수역으로 나타났다. 정릉천 J2와 곡능천 G2, G3은 α -중부수성 수역으로 나타났고 정릉천 J3은 다양도 지수 값이 0으로 나타나 수중 생물의 서식에 부적합한 상태로 나타났다. α -중부수성 이하의 지역에 속하는 하천들은 대부분 도시 하수의 영향을 많이 받고 있고, 매립이나 인위적인 하상구조의 파괴 때문인 것으로 여겨진다. 즉 본

조사 수역의 7개 지점 모두 β -중부수성 이하의 오수생물계열에 속해 있었으며 빈 빈수성지역에 속하는 지점이 한 곳도 없는 것으로 보아 북한산 수계의 하천이 산지계류임에도 오염이 상당히 증가하고 있는 경향임을 알 수 있다.

IV. 결 론

북한산 정릉천과 곡릉천에 서식하는 수서곤충의 계절적 군집구조와 생물학적 수질평가에 관한 조사 결과는 다음과 같다.

- ① 총 분류군수는 7목 28과 45속 77종으로 나타났다.
- ② 계절별 출현종수는 정릉천은 겨울에(19종), 곡능천은 봄에(41종) 가장 많은 것으로 나타났다. 계절별 개체수 현존량은 두 하천 모두 여름에 가장 풍부하게 나타났고(정릉천 1,992 개체, 곡능천 3,180 개체), 정릉천은 가을에(612 개체), 곡능천은 겨울에(1,764 개체) 가장 적게 나타났다.
- ③ 연중 우점율은 정릉천 J3 지점과(1.0) 곡능천 G2 지점(0.76)이 가장 높고 정릉천 J1(0.52)과 곡능천 G1(0.47)이 가장 낮았다.
- ④ 종다양도 지수는 두 하천 모두 봄에 정릉천 J1 지점과(3.12) 곡능천 G4(3.10) 지점이 가장 높게 나타났고 정릉천 J3(0.00) 지점은 전 계절에, 곡능천은 여름에 G2 지점(0.69)이 가장 낮은 것으로 나타났다.
- ⑤ 계절별 평균 종다양도 지수(H')에 의한 오수생물계열로 구분하였을 때 강부수성 지역에는 J3 지점, α -중부수성 지역에는 J2, G2, G3 지점, β -중부수성 지역에는 J1, G1, G4 지점으로 나타났다.

참고문헌

- 1) Usinger, R. L. : Aquatic insects of California Univ. Calif. Press. Berkeley p. 508, 1956.
- 2) Yasuhiko, T. : Stream pollution. p. 141, 1974.
- 3) Kawai, T. : An illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai Univ. Press, Tokyo, 1-383, 1985.
- 4) Surber, E. W. : Rainbow trout and bottom fauna production in one mile of stream *Trance. Amer. Fish Soc.*, **66**, 1973.
- 5) McNaughton, S. T. : Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature*, **216**, 168-169, 1967.
- 6) Lloyd, M. and Ghelardi, R. J. : A table for calculating the "Equalitability" component of species diversity *J. Anim. Ecol.*, **33**, 317-225, 1964.
- 7) 환경처 : 수질오염공정시험방법, 1991.
- 8) APHA-AWWA-WPCF : Standard method for examination of water and wastewater (17th) Washington.
- 9) Hawker, H. A. : Invertebrates as indicators of river water quality. Biological indicators of water quality (eds. James, A. and L. Evison), John Wiley and Sons. Chichester, Great Britain. pp. 1-45, 1979.
- 10) Murdoch, W. W. : Environment resources pollution and society. 2nd ed. Sinanuer Associates Inc. Publ., Aaunderland, 251-270, 1975.
- 11) 임중기, 홍은환 : 한강수계의 ABS 오염도에 관한 연구. *한국육수학회지*, **5**(3, 4), 3-7, 1972.
- 12) 배경석, 이인학, 이완중, 김현국, 고한성, 염석원, 오수경 : 한강수계 수질오염도 조사연구(제 6보). 서울시 보건환경연구원보, **26**, 317-237, 1990.
- 13) 윤일병, 변종욱 : 지리산 피아골계류 수역의 생물 군집구조에 관한 연구 2) 수서곤충에 관하여. 자보회 조사보고서, **21**, 143-151, 1982.
- 14) 윤일병, 이성준, 김기홍 : 함양 백운산 일대의 수서곤충 군집에 관한 연구. 자보회 조사보고서, **24**, 139-152, 1986.
- 15) 나철호, 백순기, 조영관 : 월출산 일대의 하계 수서곤충상. 자보회 조사보고서 **27**, 147-158, 1989.
- 16) 김진일, 김기홍, 윤일병 : 태백산 일대의 수서곤충 군집구조에 관한 연구. 자보회 조사보고서 **25**, 121-129, 1987.
- 17) 나철호, 백순기, 조영관 : 무등산 주요 계곡에 서식하는 수서곤충 군집의 계절 변화에 관한 연구. *한국육수학회지*, **24**, 1.1-10.
- 18) 안태석, 이동훈 : 화로호 수중 생태계에서의 미생물 분포 및 활성도. 미생물학회지, **26**, 230-236, 1988.
- 19) Chrzanowski, T. H and Hubbard, G. J. : Primary and bacterial secondary production in a South Western reservoir. *Appl. Environ. Microbiol.*, **54**, 661-669, 1988.
- 20) Wilhm, J. L. : Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream. *Ann. Rev. Ent.*, **17**, 223-252, 1972.
- 21) Kolkwitz, R. and Marsson, M. : Ecology of Plant saprobria. *Ber. d. Dent. Bot.(Ger)* 260-505, 1908.
- 22) Kolkwitz, R. and Marsson, M. : Ecology of animals saprobria Int. Rev. d. *Gesamton Hydrobiol.*, **2**, 126, 1909.
- 23) Harkins, R. D. and Austin, R. E. : Reduction and evolution of biological data. *J. WPCF*, **45**17, 1606-1611, 1973.

- 24) Margalef, D. R. : Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**, 36-71, 1958.
- 25) Pielou, E. C. : An introduction to mathematical ecology. Wiley-interscience, New York, 292-331, 1969.
- 26) Wilhm, J. L and Dorris, T. C. : Biological parameters of water quality, *Bioscience.*, **18**, 447-481, 1968.
- 27) Staub, R. J. W., Appling, A. M. Hofstetter and Hass, I. J. : The effects of introduction wastes of Memphis and Shelby country on primary plankton producers, *Bioscience*, **20**, 905-912, 1970.