

다변수 메트릭 모델을 이용한 식장산 계곡천의 생태 건강성 평가

배대열 · 김유표 · 안광국[†]

충남대학교 생명과학부

Ecological Health Assessment of Mountainous Stream in Mt. Sik-Jang using Multi-metric Models

Dae-Yeul Bae · Yu-Pyo Kim · Kwang-Guk An[†]

School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University

(Received 20 September 2007, Accepted 8 January 2008)

Abstract

This study was to introduce a methodology of ecological health assessment for efficient management and to provide some diagnostic results of the survey. We evaluated ecological health assessment at five sampling locations of Sikjang Mountainous Stream using the index of biological integrity (IBI) and Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) during May - October 2006. The health condition, based on the IBI model, averaged 32 and varied from 27 to 37 depending on the sampling sites. Thus, the stream health was judged as "good" to "fair" conditions. IBI values showed slight differences between upstream and downstream sites. Whereas, QHEI values varied from 75 (fair condition) to 196 (excellent condition) and QHEI at St. 4~5, indicating the downstream reach had significantly lower than the headwater site (St.1). Regression analyses also showed that QHEI values had a linear decrease from the headwater to downstream. This result indicated that habitat quality was rapidly degraded by human influence. Overall, data of IBI and QHEI suggested that the stream health was maintained well in the present but the habitat and biological quality were partially degraded in the downstream. So, the human interference should be minimized to protect the downstream environment.

keywords : Index of biological integrity (IBI), Mountainous stream, Qualitative habitat evaluation index (QHEI), Stream management

1. 서론

계곡천은 우리나라 거의 모든 하천의 시발점으로서 일반적으로 인적이 드문 산악지형을 흘러 연중 청정상태를 유지한다. 따라서 다양한 계곡천 어종의 서식처가 되어 왔으며 여가활동을 즐기는 사람들의 휴식처가 되어왔다. 한편, 최근 국민소득의 증가와 함께 여가시간이 늘고 주 5일제가 시행되는 등 계곡천과 이를 끼고 형성되어 있는 등산로를 이용하는 사람들이 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 행락업소, 음식점, 등산객에 의한 오염과 같은 다양한 수질오염원이 형성되어 왔다(박재현, 2000). 또한 Judy 등(1984)에 따르면 하상구조 변경, 인공제방 축조 등은 서식지 공간을 제한함으로써 어류의 급격한 감소를 가져온다고 보고한 바 있다. 이와 같은 상황은 계곡천 고유의 구조적, 기능적 교란을 가져오고 있고 자연 상태의 하천으로서의 생태적·경제적인 가치 상실을 가져오고 있어서 이에 대한 관리대책 마련이 시급한 상황이다.

산림 내 계곡천은 자연생태계의 보존과 수자원 확보에

중요한 구역이지만 국내에서는 이에 대한 기본적인 실태조사 및 체계적인 관리방안이 미미한 실정이다. 최근 U.S. EPA에서는 총체적 수생태 건강성을 파악하기 위한 일환으로 어류를 이용한 "신속한 생물평가 개념: Rapid Bio-assessment Protocol"(Barbour et al., 1999)을 확립하였고, 하천생태계 건강성 평가기법으로 생물통합지수(Index of biological Integrity, IBI) 산정법을 제시하고 있다(U.S. EPA, 1993). 하천 생태계의 건강성 평가를 위하여 어류분류군을 이용하는 방식들은 Karr(1981), Karr 등(1986)에서 제시된 바와 같이 다양한 장점을 지니고 있어 소위 환경선진국들에서 생물학적 수질평가에 널리 활용하고 있다. 본 연구에서도 어류의 다양한 특성이 반영된 모델을 사용하였다.

본 연구에서는 계곡천의 생태적 건강도를 파악하기 위하여 미국 환경부에서 개발한 RBP 다변수 메트릭 모델(Multi-metric)을 활용하여 하천 생태계건강도 지수를 산출하였고, 최종적으로는 안광국과 최지웅(2006)의 10-메트릭 모델에 기반을 두어 생태 건강도를 평가하였다. 선정된 모델 메트릭의 수질오염상태 및 서식지 환경여건에 대한 반영사항은 첫째, 어종의 구성성분을 반영한 생태지표 특성 및 수질특성 반영, 둘째, 영양단계구성으로서 유기물 오염 및 서식지의 양적, 질적 감소로 인한 어류의 트로픽 구조

[†] To whom correspondence should be addressed.
kgan@cnu.ac.kr

반영, 셋째, 어류의 개체풍부도 및 개체 건강성에 대한 속성으로서 수질 악화에 따른 개체수 감소, 어병 등의 비정상 개체의 출현빈도 증가를 반영하는 메트릭들로 구성되었다. 또한, 하천 건강도 지수와 함께 평가된 물리적 서식지 평가는 모든 하천 건강성 평가에 지대한 영향을 미치며 생물 채집을 함에 있어서도 각 지점마다의 서식환경 여건에 따라 자료의 질에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 서식지의 변형이나 질의 하락은 하천 내의 생물 군집 구조에 주요한 스트레스 요인으로 작용함에 따라(Karr et al., 1986) 서식환경이 악화되어 있는 지역에서 이루어진 조사는 유기물 오염, 혹은 수계 내 존재하는 다양한 위해물질 등에 의한 생태계 영향을 모호하게 만들 수 있다. 또한 이 같은 오염물질의 영향이 없는 지역에서 하천의 건강도가 낮게 평가될 수 있기 때문에 화학적 오염과 더불어 중요한 영향 요인으로 평가되고 있다. 따라서 계곡천에서의 물리적 서식지 평가는 중요한 것으로 사료되며, 많은 계곡천에서는 하절기의 집중 호우 시 산사태 방지를 위해 계곡에 많은 사방댐을 시공하고 있는 상황이어서 이런 물리적 서식지의 건강도 평가는 산림 내 계곡천의 유지관리에 중요한 요소로 작용할 것으로 사료된다.

본 연구의 목표는 식장산 내에 위치한 계곡천의 수생태계 건강성 평가, 물리적 서식지 평가, 이-화학적 수질분석과 군집분석을 이용하여 계곡천의 통합적인 생태 건강성을 평가하는 것에 있다.

2. 연구방법

2.1. 조사지점 및 조사일자 선정

본 조사는 식장산 서쪽 사면에서 대청호 유입부까지 약 5 km의 주원천 상류 구간을 대상으로 영양염 오염 및 물리적 특성을 고려하여 5개 지점을 선정하여 실시하였다(Fig. 1). 또한 어류 조사는 군집에 변화가 없는 일 최고 기온이 19°C를 상회하는 기간(Karr, 1981)에 실시하였고, 강우량 특성을 반영하기 위하여 장마기를 기준으로 2006년 5월, 7월 및 10월의 3회 실시하였다(Fig. 2).

2.2. 조사 방법

2.2.1. 어류 채집법 및 채집도구

어류채집을 위하여 Ohio EPA(1989) 및 Barbour 등(1999)이 제시한 Wading method를 이용하였다. 채집은 정량화된 Catch Per Unit of Effort(CPUE)를 위하여 조사거리 100 m, 각 조사 구간 내 어류 채집 소구역은 여울(riffle), 소(pool) 및 유수지(run)와 같은 다양한 서식지를 최대한 포함하여 조사하였다. 채집도구는 족대(망목 : 4×4 mm 이하), 투망(망목 : 5×5 mm)을 이용하였으며 조사시간은 현장 채집 누적 횟수에 대한 최대 종수를 산정하는 방식을 이용하여 60분 조사를 원칙으로 하였다. 채집된 어류의 개체수 산정 시 Barbour 등(1999)이 제시한 바처럼 어류체장의 길이가 20 mm 이하인 치어의 경우 종분류가 명확하지 않기 때문에 포함시키지 않았다.

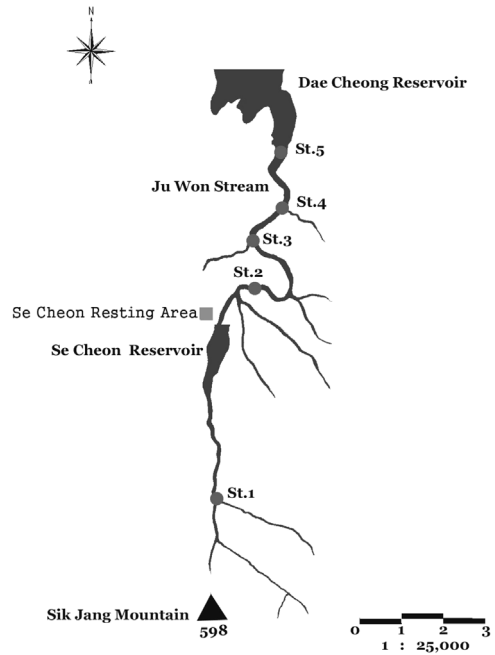


Fig. 1. Sampling sites in the mountainous stream.

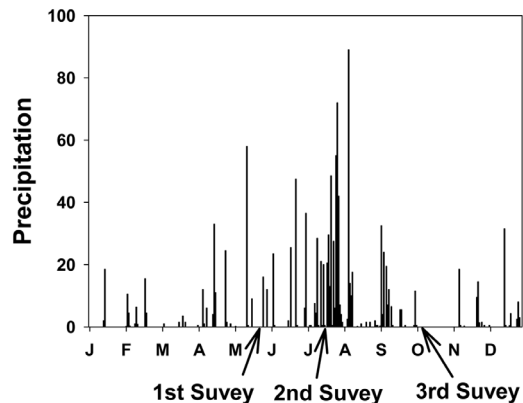


Fig. 2. Daily precipitation in the Daejeon Metro city and sampling date.

2.2.2. 어종분류 및 종 특성 분석

채집된 어류는 가능한 현장에서 동정 분류 및 개체수 산정을 한 후 풀어주되, 분류감별이 모호한 종의 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반 후 동정·분류하였다. 어류의 동정은 김익수와 박종영(2002)을 이용하였으며, 분류체계는 Nelson(1994)의 방법을 따랐다. 또한 현장에서 비정상어종의 외형적 감별을 실시하였으며 감별 방식은 U.S. EPA(1993)의 방법에 따라 기형, 종양, 지느러미의 손상, 상처 및 출혈의 비정상성 유형을 분석하였다.

2.3. 하천 생태건강성 평가

하천 생태 건강도 평가는 Karr(1981)의 IBI 모델을 기반으로 한 Barbour 등(1999)의 시스템을 수정·보완하여 구성하였으며, M₁ 총 본토종수, M₂ 여울성 저서종수, M₃ 민강성 생태 지표종수, M₄ 내성 지표종의 개체수빈도, M₅ 잡식성종의 상대빈도, M₆ 본토 충식성종의 상대빈도, M₇ 본토

육식종 빈도, M_8 본토종 총 개체수, M_9 외래종 빈도, M_{10} 개체의 비정상도 빈도의 10개 매트릭이다.

생물학적 건강도 평가는 10개 매트릭에 대하여 Barbour 등(1999)에 의하여 제시한 바와 같이 각각 “5”, “3”, “1”의 모델값을 부여한 뒤 최종값을 산정하여 최적상태(Excellent, 50~46), 양호상태(Good, 40~36), 보통상태(Fair, 30~26), 악화상태(Poor, 20~16), 최악상태(Very Poor, ≤10)의 5개 등급으로 구분하여 평가하였으며, 등급구분은 U.S. EPA (1993)의 기준에 의거하였다.

2.4. 물리적 서식지 평가

본 연구에 적용된 서식지 평가는 Plafkin 등(1989)과 Barbour 등(1999)의 서식지 평가지수를 국내실정에 맞게 보정한 총 11개의 매트릭 시스템으로 구성된 안광국과 김자현(2005)의 모델을 적용하였다.

M_1 하천 서식지 구성(하상구조 / 서식처 피복도), M_2 하상매몰도(자갈 / 모래비율), M_3 흐름유형(유속 / 수심 조합), M_4 유량 상태, M_5 소규모 보 및 댐의 유무는 하상구조 및 하천 내 피식특성을 나타내는 매트릭이다. M_6 하천 변경도, M_7 하상유실 및 토사축적도(침전물), M_8 여울의 빈도 및 하천굴곡도는 수로특성을 나타내며, M_9 제방 안정도, M_{10} 제방식생 보호도, M_{11} 천변 식생대의 폭은 제방 특성 및 제방 구조를 나타내는 매트릭이다.

물리적 서식지 평가 값은 각 매트릭에서 “20~1”의 모델 값을 부여한 뒤 최종값을 산정하였으며, 각 변수값의 등급 구분은 U.S. EPA(1993)의 기준에 의거하여 최적상태(Excellent, 220~182), 양호상태(Good, 168~124), 보통상태(Fair, 110~66), 악화상태(Poor, 52~8)의 4개 등급으로 구분하였다.

2.5. 군집 분석

어류 군집 구조분석을 위하여 아래 식과 같이 군집 우점도 지수(Simpson, 1949), 종 풍부도 지수(Margalef, 1958), 종 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949) 및 종 균등도 지수(Pielou, 1975)를 산정하였다.

군집 우점도 지수(Simpson's dominance Index: λ)

$$\lambda = \frac{N_i^2 - N}{N(N-1)} \quad (1)$$

[N = 총 출현 개체수, N_i = i 종의 개체수, S = 총 출현 종수]

종 풍부도 지수(Margalef's species richness index: d)

$$d = \frac{(S-1)}{\ln(N)} \quad (2)$$

종 다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index: H')

$$H' = - \sum P_i \log_{10} P_i \quad (3)$$

[P_i = N_i / N]

종 균등도 지수(Pielou's evenness index: J')

$$J' = \frac{H'}{\log_e S} \quad (4)$$

2.6. 이화학적 수질자료 분석

현장의 이·화학적인 수질 현황은 Multi-Analyzer 815PDC (pH meter)와 YSI 85 다항목 측정기를 이용하여 수온, 수소이온농도, 용존산소, 전기전도도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 종조성 및 분포특성

식장산 계곡천에서의 어류조사 결과 채집된 어류는 총 16종 2751개체로서 지점에 따라 1종으로부터 13종까지 다양하게 채집되었다(Table 1). 종수와 개체수는 상류에서 하류로 내려갈수록 증가하여, 하천차수와 일차함수적인 함식 관계를 보였다. 이는 청정하고, 오염원이 없는 대조(Reference)하천에서 하천규모가 커질수록 종 다양도와 풍부도가 증가하는 일반적인 양상과 일치하였다(안광국 등, 2001).

종조성에 대한 공간적 분포특성 분석에 따르면, 최상류 지점인 St.1은 하천 폭이 1 m 내외이며 조사 시기에 따라 유량 변동이 큰 지점으로서, 계곡의 차가운 물에 주로 서식하는(김익수와 박종영, 2002) 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)만이 단일종으로 출현하였다. 채집된 개체들 대부분이 물살이 센 여울구간이 아닌 잔잔한 소에서 채집된 것으로 보아 적합한 서식지 즉, 소의 유무가 본 종의 서식에 핵심서식지조건으로 사료되었다. St.2는 식장산 세천유원지 위쪽에 위치한 세천저수지의 하부로서 최상류처럼 급격한 경사도는 보이지 않고 하천폭도 2~5 m 가량으로 넓어져 최상류부와는 이질적인 서식지 특성을 보였다. 계곡천에서는 일반적으로 출현하지 않는 붕어(*Carassius auratus*)가 출현하였으며, 이는 세천유원지를 비롯한 오염원으로부터 유기물 오염의 영향을 받아 출현한 것으로 사료되었다. 붕어는 대표적인 내성·잡식어종으로 하천의 오염도가 증가하고 서식지가 교란될수록 그 풍부도가 증가하는 종(U.S. EPA, 1993)으로 유기물 오염도의 특성을 잘 반영하였다. 한편 St.3은 8종이 출현하고 914개체가 채집되어 종 다양도와 풍부도가 크게 증가하였고 St.4는 규모가 작은 하천에선 찾아보기 힘든 배스(*Micropterus salmoides*)가 출현하였다. 이는 St.4가 호수 유입부로부터 약 500 m 가량 떨어진 지점으로 대청호의 어류가 소상하여 나타난 결과로 사료되었다. 최하류부 지점은 호수 유입부로서 외래종인 배스(*Micropterus salmoides*) 및 블루길(*Lepomis macrochirus*)이 출현하였고, 대표적인 정수성 어종인 치리(*Hemiculter eigenmanni*)의 수가 많아 호수의 영향을 극명하게 나타냈다.

전 조사지점에 대한 어류의 상대풍부도(Relative abundance) 분석에 따르면, 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 37%, 피라미(*Zacco platypus*) 25%, 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*) 17% 순으로 나타났다(Fig. 3). 지점에 대한 어류의 항존도 분석(Constancy analysis)에 따르면, 버들치는 최대 항존도 값을 보여 계곡천의 대표어종으로 파악되었다.

Table 1. Tolerance guilds and trophic guilds in the Mountainous Stream

Species	Tolerance guilds	Trophic guilds	Habitat guilds	1st Survey					2nd Survey					3rd Survey				
				St1	St2	St3	St4	St5	St1	St2	St3	St4	St5	St1	St2	St3	St4	St5
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-							1								21
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	TS	I	-					5					4					31
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	O	-	15	17	8	1		9	5	126	9	1	40	146	78	2	
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-		6	38	30	21		6	56	95	1		74	44		306
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	TS	O	-					1										21
<i>Iksookimia koreensis</i>	SS	I	RB								5					1		
<i>Misgurnus mizolepis</i>	TS	H	-			1	4	6			3				9	7	5	6
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	IS	C	RB								1		7					
<i>Plecoglossus altivelis</i>	SS	H	-			1	5	38	4	34	22				3	14		22
<i>Micropterus salmoides</i>	TS	C	-				8	1					42					80
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	O	RB			51	27	61	20	74	18	302			52	228	21	151
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	O	RB					6							16	144	12	3
<i>Lepomis macrochirus</i>	IS	O	RB					6										7
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	O	RB					6										7
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	IS	O	RB					6										5
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	IS	O	RB					6										6
Total number of species				1	2	5	6	8	1	5	7	4	5	1	6	7	4	13
Total number of individual				15	23	99	75	139	9	36	299	144	350	40	300	516	40	666

TS = Tolerant species, SS = Sensitive species, IS = Intermediate species, O = Omnivore, I = Insectivore, H = Herbivore, C = Carnivore, RB = Riffle benthic species, "-" = Not riffle benthic species

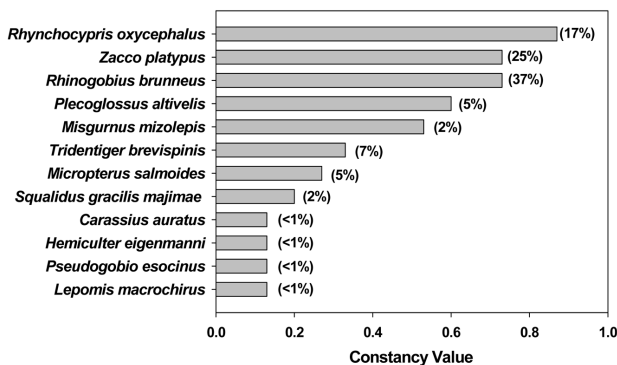


Fig. 3. Constancy values and relative abundance (values in the parenthesis) for each dominant species.

3.2. 생태 지표종 특성 분석

어류의 생태지표종 특성 분석은 수질오염 내성도의 정도에 의거하여 오염도에 따라 쉽게 사라지는 민감종(sensitive species: S), 내성종(tolerant species: T) 및 두 범주사이의 중간종(intermediate species: I)으로 구분하여 분석하였다. 내성도 길드(Tolerance guild) 분석에 따르면, 총 2751개체 중 오염 및 생태계 교란에 의해 쉽게 사라지는 민감종은 22%(606개체), 중간종은 44%(1207개체), 내성종은 34%(938개체)로 나타났다. 중간종을 구성하는 우점 어류는 밀어(*Rhinogobius brunneus*)로 나타났으며, 내성종 중 우점종은 피라미(*Zacco platypus*)로 나타났다. 상·하류간의 공간적 분포특성에 따라 1~3차 조사의 평균을 살펴보면 민감종의 비율은 상류에서 하류로 갈수록 전체적으로 감소하였고, 중간종과 내성종의 비율은 증가하는 양상을 보여 하류부의 생태계교란이 나타났다(Fig. 4).

3.3. 트로픽 길드 분석

트로픽 길드(Trophic guild)의 분석에 따르면, 잡식종(Omnivore species)은 33%, 초식종(Herbivore species)은 7%, 육식종(Carnivore species)은 5%였고, 충식종(Insectivore species)은 55%로 분석되었다. 이와 같은 결과는 각 지점의 상대풍부도에서 높은 수치를 보인 몇몇 종에 의한 것으로 나타났다. 충식종 중 밀어(*Rhinogobius brunneus*)의 비율은 66%로 나타났고, 잡식종 중 피라미(*Zacco platypus*)의 비율은 74%로 나타났다. U.S. EPA(1993)에 의하면 오염도가 높아질수록 잡식종의 상대빈도가 증가하며 하천의 하류로 내려갈수록 잡식종이 증가한다고 보고된 바 있다. 본 조사에서 피라미(*Zacco platypus*)는 최상류 및 최하류 지점을 제외한 지점에서 다량 출현하였으며 이는 정수대의 영향을 받는 최하류를 제외하면 U.S. EPA(1993)의 보고와 일치하는 경향을 보였다. 한편 St.2부터는 초식종이 출현하였는데 41개체가 채집되어 22%를 기록한 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)를 제외하면 모두 은어(*Plecoglossus altivelis*)로 확인되었으며, 대청호에 이식되어 번식한 은어가 세천유원지 인근까지 소상하는 것을 확인하였다.

3.4. 군집 분석

어류 군집특성 분석 결과에 따르면, 최상류에서는 버들치 한 종만이 출현하여 조사 시기별 군집구조에는 변화가 없었으나 타 지점은 군집특성의 변이를 보였다. 1차 조사 시 군집우점도 지수(범위 : 1~0.290)의 경우 하류부로 내려갈수록 감소하고 종 풍부도 지수는 증가하였다. 2차 조사의 경우 하류로 갈수록 군집 우점도 지수(범위 : 1~0.285)는 증가하는 반면, 종 풍부도 지수(범위 : 1.116~0)는 감소하

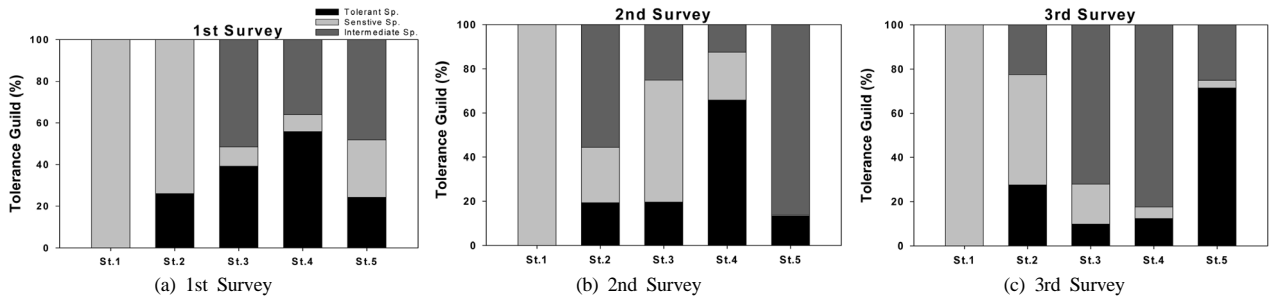


Fig. 4. Analysis of tolerance guilds during the survey period.

였으며 3차 조사는 St.5를 제외한 나머지 지점들에서 2차 조사와 유사한 양상을 보였다. 어류의 경우 집중호우 시 상류로 소상하는 특성을 갖고 있는데 이는 빨라진 유속에 하류로 쓸려가는 것을 방지하기 위한 것으로 사료되며, 세 차례의 조사결과 2차 조사의 어류상이 1, 3차 조사에 비하여 전체적으로 상류 쪽으로 이동한 뚜렷한 특성을 보였다 (Table 4).

조사지점의 공간적 측면에서 군집분석 결과에 따르면 하류지점들(St.4~5)에서 군집우점도 지수는 1차 조사에 비해 2차 조사시기에 상승한 반면, 종 풍부도 지수와 종 다양도 지수는 감소하였다. 이는 대청호의 수위상승으로 인한 결과로 사료되며, 실제 St.5의 경우는 1, 3차 조사 시는 유수구간(Riverine Zone)이었지만 2차 조사 시는 정수구간(Lacustrine Zone)으로 서식지가 변화되어 있기 때문으로 사료되었다(Table 4).

3.5. 하천 건강도 평가

1차 조사의 생물학적 건강도 지수(IBM)는 평균 28.4(n = 5)로 생태건강도 등급에서 “보통상태”(Fair)를 보였다. 2차 조사 결과 평균 IBM모델 값은 32.8(n = 5)로 “양호~보통상

태”(Good~Fair)로 나타났으며, 3차 조사 결과 평균 34(n = 5)로 “양호~보통상태”(Good~Fair)로 나타났다. 상기 3회의 조사결과를 합한 평균 모델 값은 31.7로 “보통상태”(Fair)로 진단되었다(Table 2).

지점별 모델 값의 분석결과에 따르면, 최상류 지점은 평균 31로 “양호 상태”(Good)로 나타났고, St.2는 각각 28, 36, 40으로 “보통상태”(Fair)에서 “양호상태”(Good)로 나타났으며, St.3 역시 각각 30, 42, 40으로 생태 건강성이 다양하게 나타났다. 이는 총 채집 개체수와 출현 종수의 증가와 더불어 여울성 저서종인 밀어, 민감성종인 벼들치와 은어의 개체수 증가로 인한 것으로 사료되었다. 한 종만 출현한 St.1의 IBM 모델 값이 St.2와 St.4보다 높은 것은 하천 규모(하천 차수)에 의하여 점수가 좌우되는 모델의 특성과 풍부한 개체수에 기인한 것으로 판단된다. St.4는 각각 24, 26, 30으로 “악화~보통상태”(Poor~Fair)에서 “보통상태”(Fair)로 나타났고, 최하류 지점에서 IBM모델 값은 각각 30, 30, 28로 “양호상태”(Fair)로 판명되었다(Table 2). St. 2~3구간은 최상류 구간에 비하여 하천의 규모가 커짐으로 인해 세천유원지의 영향에도 불구하고 하천 건강도가 상승하였으나 하류부(St.4~5) 구간은 농경지와 마을 등의 오염

Table 2. The metric assessments, based on the 10 metric models after Karr (1981) and Barbour et al. (1999) in the Mountainous Stream

Sampling location	TNS	RBS	SS	TS	OS	IS	CS	TNI	XT	AI	IBI (Criteria)	Average	
1st survey	St.1	1(1)	0(1)	1(1)	0(5)	0(5)	100(5)	0(1)	15(1)	0(5)	0(5)	30(III)	28.4 (III)
	St.2	2(3)	0(1)	1(1)	26.1(1)	26.1(3)	73.9(5)	0(1)	23(3)	0(5)	0(5)	28(III)	
	St.3	5(3)	1(1)	2(3)	39.4(1)	38.4(3)	59.6(5)	0(1)	99(3)	0(5)	0(5)	30(III)	
	St.4	5(3)	1(1)	2(3)	50.8(1)	44.8(3)	41.8(3)	0(1)	67(3)	10.7(1)	0(5)	24(III-IV)	
	St.5	7(5)	2(3)	1(1)	23.9(1)	20.3(3)	47.8(5)	0(1)	138(5)	0.7(3)	0.7(3)	30(III)	
2nd survey	St.1	1(1)	0(1)	1(1)	0(5)	0(5)	100(5)	0(1)	9(1)	0(5)	0(5)	30(III)	32.8 (II-III)
	St.2	5(5)	1(3)	2(5)	19.4(3)	19.4(5)	69.4(5)	0(1)	36(3)	0(5)	5.6(1)	36(II)	
	St.3	7(5)	3(5)	3(3)	19.7(3)	18.7(5)	68.6(5)	0.3(1)	299(5)	0(5)	0(5)	42(I-II)	
	St.4	4(3)	1(1)	2(3)	66(1)	66(1)	18.8(1)	0(1)	144(5)	0(5)	0(5)	26(III)	
	St.5	4(3)	1(1)	1(1)	1.6(5)	0.3(5)	99.7(5)	0(1)	308(5)	12(1)	0.3(3)	30(III)	
3rd survey	St.1	1(1)	0(1)	1(1)	0(5)	0(5)	100(5)	0(1)	40(3)	0(5)	0(5)	32(II-III)	34 (II-III)
	St.2	6(5)	2(5)	2(5)	27.7(1)	30(3)	66(5)	0(1)	300(5)	0(5)	0(5)	40(II)	
	St.3	7(5)	3(5)	3(3)	9.9(3)	36.4(3)	59.5(5)	0(1)	516(5)	0(5)	0(5)	40(II)	
	St.4	4(3)	2(3)	1(1)	12.5(3)	30(3)	57.5(5)	0(1)	40(1)	0(5)	0(5)	30(III)	
	St.5	11(5)	2(3)	1(1)	67.4(1)	61.5(1)	32.6(3)	1(3)	579(5)	13.1(1)	0(5)	28(III)	

TNS = Total # of native species, RBS = # of riffle benthic species, SS=# of sensitive species, TS = % individuals as tolerant species, OS = % individuals as omnivores, IS = % individuals as native insectivores, CS = % individuals as native carnivores, TNI = Total # of individual, XT = % individuals as exotics, AI = % individuals with anomalies, I = Excellent, II = Good, III = Fair, IV = Poor

원 증가, 호수의 영향으로 인하여 하천 건강도가 악화된 것으로 분석되었다. 세 차례의 조사로 단정 짓기는 어렵지만 전체적으로 시간특성에 따른 하천건강도 지수는 상승하였으나, 이와 같은 결과가 하절기 유량증가로 인한 것인지 어류의 소상으로 인한 것인지는 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

3.6. 이 · 화학적 수질평가

이 · 화학적 수질분석결과에 따르면, 계절적 변이특성은 분명했다. 수온의 경우 하절기에는 수질이 상승하는 타 수계와 동일한 양상을 보였다. 한편, 최하류 지점의 용존산소량이 급격히 감소한 이유는 유수구간에서 대청호의 영향을 받는 정수구간으로 변경됨에 따라 일어난 것으로 판단되었다.

pH의 경우, 조사 시기에 따라 큰 변이를 보였다. 7월의 2차 조사의 경우 1차 조사에 비하여 집중호우로 인한 빗물의 영향으로 전체적인 pH가 감소하는 경향을 보였다. 즉, 빗물의 평균 pH가 5.7인 점을 감안한다면, 빗물에 의한 하천수의 희석현상으로 사료되었다.

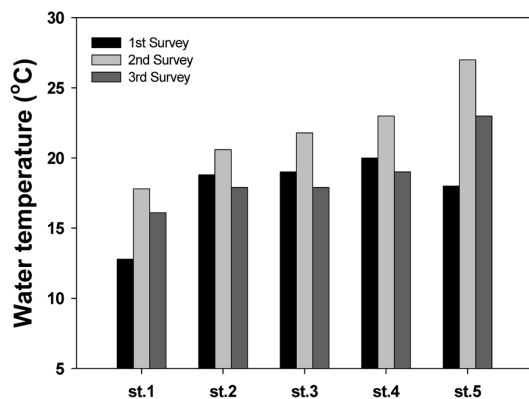
전기전도도는 일반적으로 이온을 띤 오염물의 증가와 양의 상관관계를 갖는데 하류로 갈수록 세천유원지와 농경지 등의 영향으로 인하여 상승하는 양상을 보였다. 1차 조사에 비하여 강우에 의한 희석효과로 2차 조사에는 전기전도도가 감소하였으며, 가장 유량이 적었던 3차 조사의 전기전도도는 St.2~4까지 급격히 상승하였다.

탁도는 세천유원지의 영향이 존재하는 St.2부터 급격히

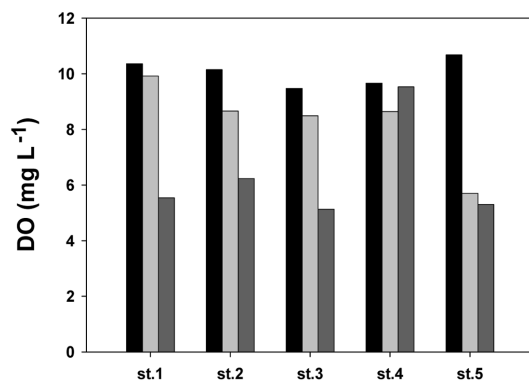
증가하여 조사기간 중 하천 공사가 실시된 St.4의 경우 50 NTU를 기록하여 하천 공사로 인한 혼탁도의 증가를 보였으며, 공사가 완료된 3차 조사에서는 다시 급감하는 양상을 보였다(Fig. 5).

3.7. 물리적 서식지 평가 분석

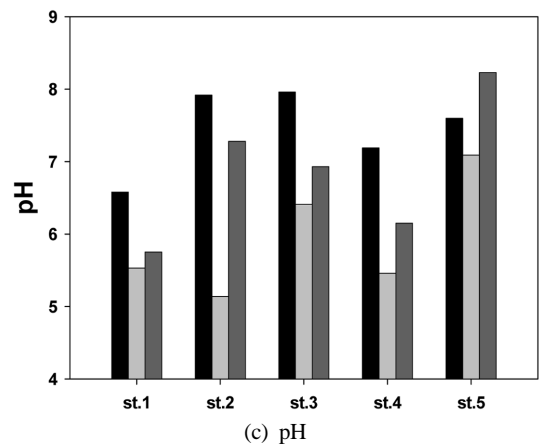
물리적 서식지 평가는 어류 조사와 같은 기간 같은 구역에서 실시되었다. 물리적 서식지 평가는 하류로 갈수록 평가값이 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 6). 하지만 St.1은 전형적인 계곡천으로서 어류가 서식지 환경은 가장 좋게 나타났지만, 흐름유형을 나타내는 M₃은 지형적인 이유로



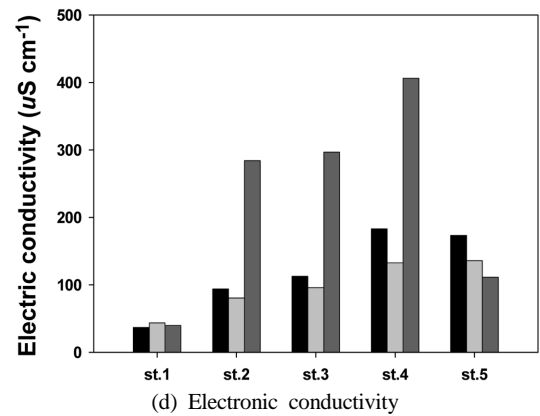
(a) Water temperature



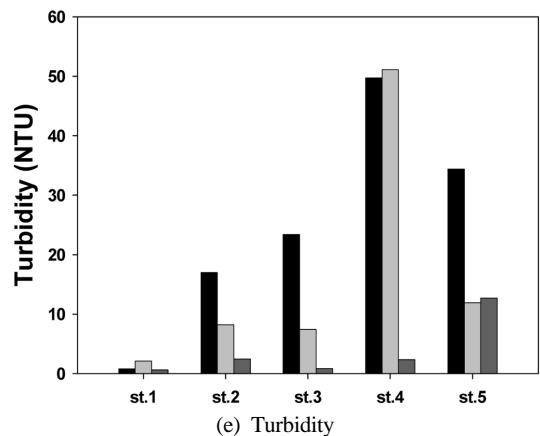
(b) Dissolved oxygen



(c) pH



(d) Electronic conductivity



(e) Turbidity

Fig. 5. Seasonal dynamics of physico-chemical condition in the sampling sites.

인하여 낮게 나타났다. St.5는 모든 메트릭 지수가 낮게 나왔는데 하상매물도를 나타내는 M₂가 특히 낮게 나타났다. 이는 St.5가 대청호 유입부로서 자갈이나 모래가 거의 없었고 대부분 진흙으로 이루어져 있어 이러한 결과가 나타났다. 여울의 빈도 및 하천 굴곡도를 나타내는 M₈은 St.5가 낮게 나왔는데 이는 호소의 특성상 여울의 빈도가 낮아 이러한 결과가 나타났다(Table 3). 또한, 1, 2차 조사기간 중 St.3부터는 하천공사가 실시되고 있었으며, 이는 서식지 질의 급격한 하락을 불러왔다. 특히 이·화학적 분석에서 드러난 바와 같이 St.2부터 시작된 혼탁도의 증가는 하상에 퇴적물을 쌓이게 하여 어류의 서식지를 감소시키며 심할 경우 아가미에 물리적인 마모로 인한 손상까지 가져올 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요한 바이다. 실제로 채집구간 중 공사 중인 구역에서는 수층성 어종인 피라미만이 일부 출현하여 하상의 퇴적물이 저서성 어종의 서식을 제한하는 것으로 드러났으며 St.4의 혼탁도가 St.1에 비하여 50배 이상 상승하는 결과를 가져온 것으로 판단되었다. St.1

의 경우 인위적인 교란 요인이 거의 없어 206으로 “최적상태”(Excellent)를 기록하였으나 인공제방과 하천 공사 등으로 하류로 갈수록 서식지는 급격히 악화되고 있었다(Fig. 6). 일반적으로 서식지의 질이 감소하면 하천건강도 역시 감소하는 양상을 보이거나 계곡천의 경우 위낙 출현종이 적어 일부 출현종의 특성에 따라 하천건강도가 영향을 받는 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 계곡천의 5개 지점을 선정하여 생물학적 건강도 지수 및 이·화학적 수질분석을 실시하였다. 종조성의 조사시기별 분석에 따르면 시기별로 큰 변이를 보이는 것으로 나타났다. 1~3차 조사 결과의 비교분석에 따르면, 2차 조사 시 종 다양도와 풍부도가 각 지점에서 상승하였는데 하절기 강우 시 유량증가로 인한 서식 환경의 개선으로 판단되었으며, 계곡천의 유량관리가 하천 건강성에

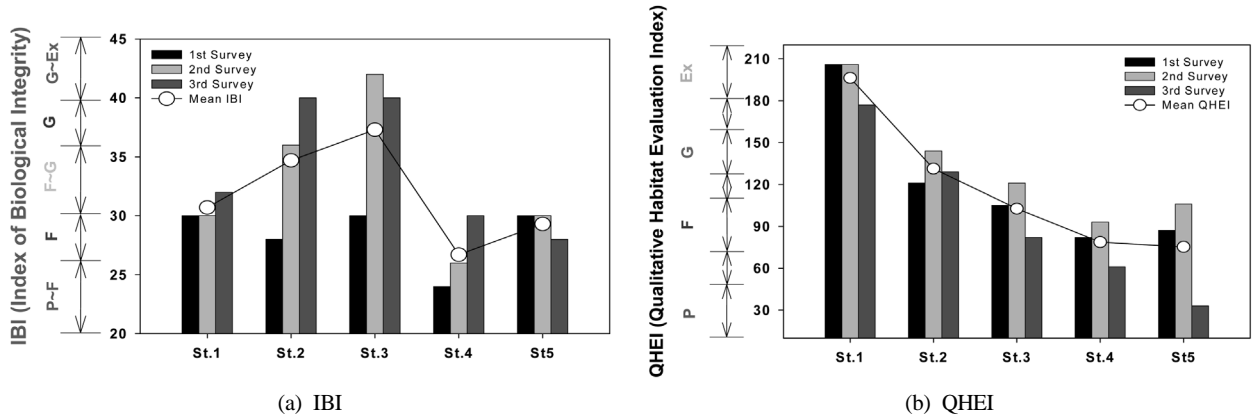


Fig. 6. Index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the sampling sites.

Table 3. Qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the mountainous stream

Sampling location	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	QHEI (Criteria)	
1st survey	St.1	20	20	10	18	20	18	20	20	20	20	206(I)	
	St.2	11	13	10	13	11	8	13	15	10	8	121(II-III)	
	St.3	10	15	17	12	11	6	12	16	5	4	105(III)	
	St.4	6	5	6	6	11	6	7	10	8	8	82(III)	
	St.5	8	3	13	8	7	8	8	11	10	4	7	87(III)
2nd survey	St.1	20	20	10	18	20	20	18	20	20	20	206(I)	
	St.2	17	17	14	14	13	9	13	14	11	12	10	144(II)
	St.3	10	14	17	14	11	6	13	15	5	4	12	121(II-III)
	St.4	8	7	7	7	10	8	8	11	10	10	7	93(III)
	St.5	12	11	5	18	7	8	18	3	9	8	7	106(III)
3rd survey	St.1	20	20	3	8	20	20	18	20	18	10	20	177(I-II)
	St.2	18	18	6	6	18	10	6	10	10	16	11	129(II)
	St.3	16	16	10	5	13	5	5	5	3	3	1	82(III)
	St.4	8	6	6	3	3	3	5	5	6	8	8	61(III-IV)
	St.5	3	3	3	1	11	1	3	1	3	3	1	33(IV)

M₁ = Substrate / Instream cover, M₂ = Embeddedness, M₃ = Flow velocity / Depth combination, M₄ = Channel flow status, M₅ = Dam construction impact, M₆ = Channel alteration, M₇ = Bottom scouring & Sediment deposition, M₈ = Frequency of riffles or bends, M₉ = Bank stability, M₁₀ = Bank vegetative protection, M₁₁ = Riparian vegetative zone width

Table 4. Community analysis, based on the species richness index (d), evenness index (J'), species diversity index (H'), and dominance index (λ) in the mountainous stream

Sampling location		d	J'	H'	λ
1st Survey	St.1	0	-	0	1
	St.2	0.319	0.828	0.574	0.597
	St.3	0.871	0.625	1.005	0.414
	St.4	1.158	0.763	1.367	0.299
	St.5	1.419	0.704	1.463	0.290
2nd Survey	St.1	0	-	0	1
	St.2	1.116	0.772	1.243	0.351
	St.3	1.053	0.722	1.404	0.285
	St.4	0.604	0.718	0.995	0.475
	St.5	0.683	0.290	0.466	0.758
3rd Survey	St.1	0	-	0	1
	St.2	0.877	0.730	1.307	0.329
	St.3	0.961	0.710	1.381	0.303
	St.4	0.813	0.800	1.109	0.368
	St.5	1.846	0.649	1.663	0.282

영향을 미치는 만큼 계곡천의 건천화 방지와 유량 확보에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 출현종 분석결과 회유성 어종인 은어가 출현하였는데 본래 은어는 강과 바다를 드나드는 어종으로 이번 계곡천 조사에 출현한 은어는 대청호와 계곡천을 오가는 것으로 판단된다. 은어는 뛰어난 맛으로 경제성을 지닌 어종이며 호수와 맞닿아 있는 하천들을 산란지로 이용하는 만큼 호수로 유입되는 계곡천의 서식지를 보존한다면 향후 은어를 이용한 경제 활동도 가능할 것으로 판단된다.

계곡천의 하천 건강도는 “양호상태”(Good)부터 “악화~보통상태”(Poor~Fair)까지 다양하게 나타났으며 수체가 안정된 시기에 실시된 3차 조사의 결과가 비교적 양호하게 나타났으며, 또한 서식지 평가결과 세천유원지 하부부터는 인위적인 제방조성과 하상의 교란 퇴적물의 침적 등으로 서식환경이 악화되고 있었으며 이는 어류의 서식환경 제한을 불러오고 미관을 해치는 결과를 가져왔다. 이.화학적 분석 결과도 상기 제시한 바처럼 전기전도도와 탁도는 세천유원지 하부에서부터 급격히 증가하는 양상을 보였다. 이는 세천유원지와 인근 마을, 농경지 등으로부터 유입되는 부유물질 및 유기오염물의 영향으로 사료되었으며, 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료되는 바이다.

참고문헌

김익수, 박종영(2002). *원색도감 한국의 민물고기*, 교학사, 서울.
 박재현(2000). 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성(2) - 이화학적 특성을 중심으로 -. *한국임학회지*, **89**(2), pp. 241-248.
 안광국, 김자현(2005). 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단. *한국유수학회지*, **38**(3), pp. 361-371.
 안광국, 염동혁, 이성규(2001). 생물보전지수(Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천

수계의 평가. *한국환경생물학회지*, **19**(4), pp. 261-269.
 안광국, 최지웅(2006). 초강의 통합적 생태 건강성 평가. *한국유수학회지*, **39**(3), pp. 320-330.
 Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D. and Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. 2nd Ed, EPA 841-B-99-002. US EPA Office of Water, Washington, D.C., U.S.A.
 Judy, R. D., Seeley, Jr. P. N., Murray, T. M., Svirsky, S. C., Whitworth, M. R. and Ischinger, L. S. (1984). National Fisheries Survey. Vol. 1. *Technical Report : initial findings*. United States Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-84/06.
 Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, **6**, pp. 21-27.
 Karr, J. R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R. and Schlosser, I. J. (1986). *Assessing biological integrity in running water: A method and its rationale*. Illinois National History Survey, Special Publication 5, Champaign, IL., pp. 28.
 Nelson, J. S. (1994). *Fishes of the world*, 3th ed., John Wiley & Sons, New York, U.S.A.
 Ohio EPA (1989). *Biological criteria for the protection of aquatic life*, Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities, Ohio, U.S.A.
 Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K. and Hughes, R. M. (1989). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrate and fish*. EPA/444/4-89-001. Office of water regulations and standards. US EPA. Washington, D.C., U.S.A.
 U.S. EPA (1993). *Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters*. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory - Cincinnati office of Modeling, Monitoring systems, and quality assurance Office of Research Development, US EPA, Cincinnati, Ohio 45268, U.S.A.