

원주천의 어류군집 건전화를 위한 하도의 서식구조 특성분석

Analysis of Channel Habitat Characteristics for Soundness of Fish Community at Wonju-stream

최흥식* · 최준길**

Choi, Heung Sik · Choi, Jun Kil

Abstract

Similarity indices between sampling sites are calculated and cluster analysis of fish community is carried out by UPGMA based on investigating fish fauna and water environment. The restoration indicators as target species of Wonju stream are selected *Cottus poecilopus*, *Zacco temmincki*, and *Zacco platypus* along upper, middle, and lower streams, respectively. For better habitat suitability, low flow increasing and induced water quality improving must be secured by sewer system rearrangement and watershed management. Composite habitat suitability of *Zacco temmincki* as target species at middle stream of Wonju stream improve significantly by low flow increasing, which is very important factor to improve habitat suitability. The changes of hydraulics of depth and velocity govern the habitat suitability in general, but the effects are not significant. Low flow increasing with the change of 10% reducing of lower channel improves the composite habitat suitability of 0.37~0.78 to their origin of 0.1~0.25, which represent the channel restoration scheme of Wonju stream for enhancing the habitat suitability of fish community.

Keywords : Fish community, target species, low flow, habitat suitability

요 지

원주천 수환경과 어류군의 조사연구를 기초로 하여 표본 집단 사이의 유사지수를 파악하고 UPGMA 분류법을 사용한 어류군집의 cluster분석을 실시하였다. 원주천의 상류, 중류, 하류의 복원을 위한 지표어종으로 독중개, 갈겨니, 피라미를 선택하였다. 서식환경 향상으로 하수관거의 재정비와 유역관리를 분석을 통한 갈수유량 증대와 그에 따른 수질향상을 분석하였다. 원주천 중류의 복원목표 어종으로 갈겨니를 선택하여 복합 서식적합도를 분석하였다. 갈수유량의 증가는 서식적합도 향상에 매우 중요한 것으로 나타났다. 저수로의 변경에 따른 수심과 유속의 변화가 복합서식적합도의 향상을 가져오지만 지배적인 변수는 아닌 것을 확인하였다. 갈수유량의 증가와 더불어 저수로 폭을 10%씩 줄인 결과는 초기 복합서식적합도 0.1~0.25에서 0.37~0.78로 약 3배 이상의 향상을 가져와, 이를 원주천 어류군집의 서식 적합한 하천구조 개선방안으로 제시하였다.

핵심용어 : 어류군집, 목표종, 갈수유량, 서식적합도

1. 서 론

하천생태계의 서식환경은 수체의 이화학적 특성과 함께 하천의 물리구조 및 하천바닥 물질(substrate)과 하천 연안을 이루고 있는 무기물과 유기물이 총체적으로 어우러져 형성한다. 즉 수체는 생물의 온도환경을 형성하고, 하천 바닥물질은 생물의 활동무대가 되기 때문에 그 상태에 따라 생물의 분포에 영향을 미친다(Minshall, 1984). 세계자연 및 자원 보전연맹(International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; IUCN)의 보고서(Pavlov, 1993)에 따르면 서식처 파괴와 외래종 유입은 어류의 종 다양성 감소에 있어서 가장 중요한 요인으로 작용한다고 밝힌 적이 있다. 유

류의 경우 어류군집에 있어서 멸종위기종으로 처하게 되는 원인을 보와 제방의 설치 및 하천 직강화 등의 물리적 변형에 따른 서식처 파괴, 수질오염, 유입종의 번식 등으로 정리한 바가 있다(Kirchhofer와 Hefli, 1996).

천연호수나 저습지의 발달이 미비하여 담수자원의 대부분을 하천에서 얻는 우리나라는 1970년대 이후 도시화 및 산업화의 가속으로 인하여 수량의 부족은 물론 수질오염과 더불어 물리 서식처가 크게 훼손되었다. 특히 인구밀도가 높은 도시하천의 경우 하천의 정비사업, 골재채취, 그리고 하수관의 매설이나 교량건설과 같은 구조물의 설치로 수질오염은 물론 하상구조의 단순화를 야기 시켰다. 하상의 단순화는 특정종의 우점을 초래하여 생물상의 종 다양도를 감소시키는

*정회원 · 교신저자 · 삼지대학교 건설시스템공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : hsikchoi@sangji.ac.kr)

**상지대학교 생명과학과 교수 · 이학박사 (E-mail : jkchoi@sangji.ac.kr)

결과를 초래하였다. 오늘날 훼손된 도시하천을 자연형 하천으로 전환코자 하였으나 연구자료 미비 또는 하천 생물상 파악의 미흡으로 좋은 결과를 얻지 못하고 있는 실정이다.

원주천은 유로연장 25.7 km, 유역면적 154.0 km²로 여러 개의 지류를 가지고 있다. 하상정비, 제방축조, 교량건설과 같은 인위적인 하천환경의 변화를 겪은 원주천에 대해서 수환경, 우점종, 다양도, 균등도, 유사도 등의 어류상 및 분포 특성을 파악하였다. 기존의 연구는 주어진 어류의 서식적합도 지수를 이용한 복합서식적합도의 분석과 서식적합의 향상을 위한 유량증대(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)에 의한 생태유량 또는 환경유량의 산정이다(성영두, 박봉진, 주기재, 정관수, 2005). 본 연구는 확보 가능한 갈수유량의 증대에 따른 복합서식적합도의 변화와 갈수유량을 증가할 수 없을 경우 저수로 폭의 개선을 통한 수심과 유속의 변화가 어류의 복합서식적합도에 영향을 줄 수 있는지를 판단하기 위한 연구로 갈수량을 관측한 2004년 5월의 자료를 이용하여 갈수유량에 대한 복합서식도의 개선의 유무를 확인코자 하였다. 이를 위해서 유사지수에 근거한 어류군집의 cluster 분석에 의한 복원지표종을 선정하고, 현재의 갈수량에 의한 서식적합도의 분석과 더불어 추가확보 가능한 갈수량의 분석과 아울러 추가 확보량에 의한 복합서식적합도의 개선을 제시하였다. 그리고 기존 및 추가확보 유량에 따른 복합서식적합도가 미흡함을 보완하고자 저수로의 변경을 통한 수심과 유속의 개선이 복합서식적합도에 어떠한 영향을 주는지를 분석하였다.

유량증가에 따른 어류 서식적 적합도 개선의 정도는 PHABSIM(USGS, 2001)을 이용하였고, 유량의 증대에 따른 수질 개선을 QUAL2E 모형에 의해 수치 실험하였다. PHABSIM 모형은 주로 하천의 물리 미소서식처(physical microhabitat) 구조의 특징을 규명하고, 목표종(target species)의 생물학적 반응과 성장단계(life stage)를 반영하여 유량에 따른 물리서식처의 특징을 분석할 수 있는 모형이다. 일반적으로 PHABSIM 모형결과는 유량에 따른 물리 서식처의 가용성을 제시함으로써, 하천유지유량의 필요성과 연관된 연구 또는 유량 및 하천변화가 하천 생태에 미치는 영향을 분석하는 연구에 활용되어 왔다. 또한 생태계 필요유량 산정에 주로 사용되는 PHABSIM 모형은 유량, 유속, 수심 등의 수리특성의 변화에 대한 하도 구간 내 성장단계별 대상어종의 물리적 서식처 변화를 예측하여 대상어종에 대한 서식처 면적-유량의 관계를 통해 서식에 필요한 최적유량의 산정을 위한 것으로 하천의 지형자료, 대상어종의 서식적합도 곡선, 수리특성자료 등이 필요한 입력 자료다.

QUAL2E 모형은 1차원 하천수질모델로서 용존산소(DO), 생화학적 산소 요구량(BOD), 온도 등 15가지의 수질항목을 모의하며, 이 모형의 주요한 수송기구인 이류와 분산은 흐름의 주된 방향(하천 또는 수로의 흐름방향측)에서만 주요하다고 가정하며, 하천 체계를 모델링하는 첫 번째 단계는 흐름을 여러 개의 구간(reach)으로 세분하여 구간은 균일한 수학적 특성을 갖는 흐름의 범위로 지정하였다. 각각의 구간은 같은 길이를 갖는 계산요소(computational element)로 다시 나누어진다. 따라서 모든 구간은 정수개의 계산요소로 구성된다. 하천의 구간은 계산요소의 집합체이며, 모든 입력자료

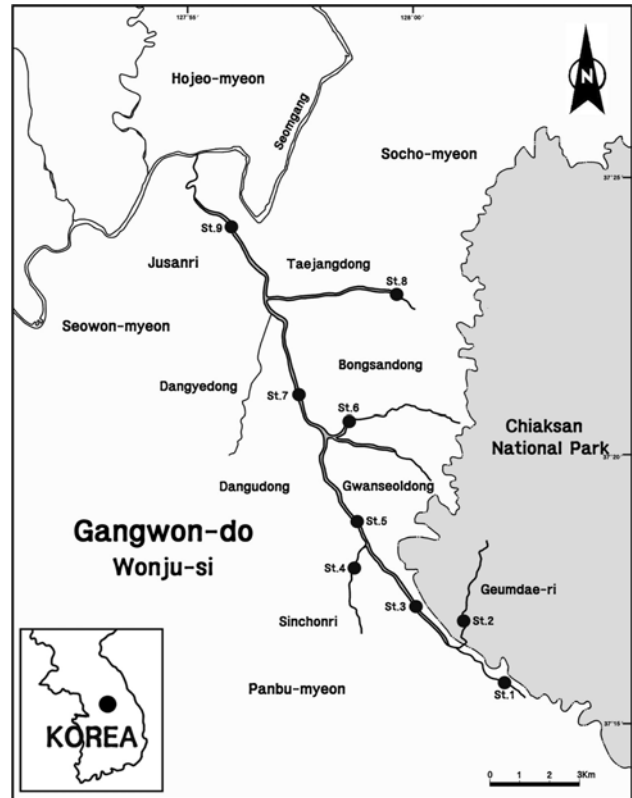


그림 1. 조사 시점

의 기본단위이다. 수리자료, 반응율계수, 초기조건, 유량의 증가자료는 하나의 구간 내에 있는 모든 계산요소에 대해서 일정하다고 가정한다. 이 모델은 정상상태 모델로서 이용할 때에는 유입수의 수질에 미치는 폐수부하의 효과(크기, 수질과 지역에 대한 모델링을 하였으며, 폐수부하량의 크기와 질의 특성을 규명하기 위해 2004년도 현장관측 자료를 사용하였고, 지류인 신촌천과 화천, 홍양천, 하수종말처리장에 대해서는 점 오염원(Point source)으로 지정하고 각각의 지점에 대한 하천유지유량에 계획된 유량증대량이 BOD의 변화에 어떠한 영향을 주는지를 조사하였다.

2. 하천환경 조사 및 분석

2.1 일반현황

조사지점은 원주천 최상류인 판부면 금대리에서 하류인 호저면 주산리까지 총 9개 지점을 선정하여 하천 환경조사 및 어류 채집을 계절별로 실시하였으며, 각 지점의 행정구역 명칭은 다음과 같다(그림 1).

- St. 1: 판부면 금대리 가리파재
- St. 3: 판부면 금대리 금대교
- St. 5: 관설동
- St. 7: 봉산동 봉평교
- St. 9: 호저면 주산리
- St. 2: 판부면 금대리 금대계곡
- St. 4: 관설동 을미дук 하방
- St. 6: 봉산동 삼광택지
- St. 8: 태장동

조사시간은 2004년 5월부터 11월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며 각 조사 시기는 다음과 같다.

- 1차: 2004년 5월29일~30일
- 2차: 2004년 7월9일~10일
- 3차: 2004년 9월1일~2일
- 4차: 2004년 11월6일~7일

어류의 채집은 투망(망목 7×7 mm), 족대(망목 4×4 mm) 등을 사용하여 실시하였으며 채집한 어류는 현장에서 10% 포르말린액으로 고정된 다음 실험실로 운반하여 동정, 분류하였다. 어류의 동정은 국내에서 지금까지 발표된 검색표(김익수와 박종영, 2002)를 이용하였고 분류체계는 Nelson (1994) 방법을 따랐다. 군집분석은 각 조사지점에 대하여 우점도(Simpson, 1949), 종다양도(Shannon과 Weaver, 1963), 균등도(Pielou, 1966)를 산출하였다. 또한 원주천의 어류군집을 분류하고자 각 지점별로 유사도분석(Sørensen, 1948)을 실시하였다. 출현종을 근거로 한 지점간의 유사도는 유사도 지수를 기준으로 하여 각 지점간의 비가중치 평균연결법(UPGMA)으로 분석하였다.

$$S_{orenson's QS} = \frac{2S}{S_i + S_j} \quad (1)$$

여기서 S_i 는 i 지점과 j 지점의 공통출현종수이고 S_i 와 S_j 는 i 와 j 지점의 총출현종수이다.

2.2 하도구조 및 수 환경

본 조사지역의 하상구조와 수환경은 표 1과 같다. 하천바닥물질, 수심, 유속 등은 4회에 걸쳐 측정한 값이며, 기준 갈수유량과 수질은 2004년 5월의 측정결과이다. 치악산국립공원과 인접한 지점 1과 공원내에 위치한 지점 2는 하상은 대부분이 큰 돌(암반)로 이루어진 급경사 산간계류 하천으로 수심은 깊지 않으나, 유속은 빨랐다. 반면에 도심을 통과하는 지점 3, 5, 7은 인공제방과 하천정비로 하천의 직강화가 이루어진 구간으로 하상구조는 주로 자갈과 모래로 구성되어 있고, 저수로 폭은 30 m 이상이었다. 유량은 0.16~0.44 m³/s, 수심은 0.4~0.8 m, 유속은 0.09~0.6 m/s의 범위로 빠르지 않았으며 곳곳에 부유유기물이 있어 악취가 났다. 지점 4, 6 및 8지역은 원주천의 중하류로 유입하는 소 지류로서 작은 돌과 자갈로 이루어져 있었으며 수심은 깊지 않았고 유속 또한 빠르지 않다. 지점 9는 하류 지역으로 하상은 주로 자갈과 모래로 이루어져 있었다. 하수종말처리수의 유출로 유량은 2.52 m³/s, 저수로 하폭은 50 m 이상으로 넓었

고, 유속은 0.05~0.2 m/s 정도로 느렸으며 농경지와 산지를 통과하면서 섬강에 합류된다. 원주천은 상류지역은 유속이 빠른 반면, 하류로 내려갈수록 유속이 느려지는데 이는 도심을 통과하면서 하상정비와 보의 설치로 하상에 작은 돌과 모래가 퇴적하여 발생한 것으로 사료된다.

2.3 어류상

원주천에 대한 어류조사 결과 채집된 어종은 표 2에서와 같이 모두 6과 24종 2,308개체였다. 원주시 판부면 금대리 가리파재(지점 1)에서는 2과 2종, 판부면 금대리 금대계곡(지점 2)에서는 3과 3종, 판부면 금대리 금대교(지점 3)에서는 5과 9종, 원주시 관설동 을미동(지점 4)에서는 4과 6종, 원주시 관설동(지점 5)에서는 6과 16종, 원주시 봉산동 삼광택지(지점 6)에서는 5과 10종, 원주시 봉산동 봉산철교(지점 7)에서는 4과 10종, 원주시 태장동 홍양교 상방(지점 8)에서는 4과 8종, 그리고 마지막 지점인 호저면 주산리(지점 9)에서는 3과 14종이 각각 확인되었다.

출현한 어종 중 한국고유종은 가는돌고기, 쉬리, 긴몰개, 몰개, 돌마자, 배가사리, 새코미꾸리, 참중개, 통가리, 얼룩동사리 등 10종(41.7%)으로 나타났으며, 이는 한강수계의 고유종 출현비율인 41.7~48.9%의 범주와 유사하게 나타났다(손영목과 송호복, 1998).

채집된 24종 중 잉어과는 14종(58.3%)으로 가장 많았고, 다음은 미꾸리과가 6종(25.0%)이었으며, 통가리과, 독중개과, 동사리과, 그리고 망둑어과가 각각 1종(4.2%)씩 출현하였다. 개체수에 따른 각 과별 비교풍부도에서도 잉어과가 87.4% (2016개체)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 미꾸리과가 7.2%(167개체), 독중개과가 2.1%(48개체), 망둑어과가 1.7%(40개체), 동사리과가 1.2%(27개체), 그리고 통가리과가 0.4%(10개체) 등의 순으로 나타났다.

본 조사에서 어류의 개체수 구성비가 가장 높은 종은 피라미로 54.7%(1,263개체)를 차지하였으며, 다음으로 버들치가 16.7%(386개체), 붕어 5.4%(124개체), 참중개, 중개, 그리고 돌고기 등의 순으로 나타났다. 또한 개체수 구성비가 0.3% 이하로 나타나 희소종에 속하는 종은 가는돌고기, 잉어, 새코미꾸리, 몰개, 참붕어, 배가사리, 미꾸라지, 점줄중개 등 8종이었다. 특히 본 조사에서 우점종으로 출현한 피라미는 내성이 강하여 인위적인 환경 변화(수질오염, 보설치, 댐의

표 1. 각 지점별 구간의 일반적인 특징

Stations	Lower stream width(m)	Water depth(m)	Current velocity(m/s)	Low flow (m ³ /s)	BOD (ppm)	Bottom substrate *B:C:P:G:S
St. 1	7~10	0.2~0.5	0.7~1.2	-	-	B:C:P = 6:3:1
St. 2	10~15	0.2~0.8	0.6~1.1	-	-	B:C:P = 5:3:2
St. 3	20~25	0.4~0.7	0.3~0.5	0.16	0.61	C:P:G:S = 3:4:2:1
St. 4	6~10	0.3~0.5	0.2~0.6	0.03	0.73	C:P:G:S = 4:3:2:1
St. 5	20~23	0.4~0.8	0.1~0.6	0.25	0.68	C:P:G:S = 2:4:3:1
St. 6	7~13	0.2~0.5	0.1~0.3	0.04	0.99	C:P:G:S = 1:2:5:1
St. 7	25~30	0.3~0.6	0.09~0.3	0.44	0.96	C:P:G:S = 1:4:3:2
St. 8	10~15	0.2~0.7	0.1~0.3	0.08	1.06	C:P:G:S = 1:2:5:2
St. 9	40~45	0.5~1.6	0.05~0.2	2.52	3.57	C:P:G:S = 1:1:3:5

*B: Boulder(>256 mm), C: Cobble(64~256 mm), P: Pebble(16~64 mm), G: Gravel(2~16 mm), S: Sand(0.1~2 mm) = by Cummins(1962)

표 2. 원주천의 어류상(2004년 5월에서 11월)

Species	Stations									Total	RA
	1		3	4	5	6	7	8	9		
<i>Cyprinidae</i> 잉어과											
<i>Cyprinus carpio</i> 잉어					1				2	3	0.13
<i>Carassius auratus</i> 붕어						1	15	3	105	124	5.37
<i>Pseudorasbora pava</i> 참붕어									1	1	0.04
<i>Pungtungia herzi</i> 돌고기			7		39		14		9	69	2.99
※ <i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i> 가는돌고기			3				1		1	5	0.22
※ <i>Coreoleuciscus splendidus</i> 쉬리					10				4	14	0.61
※ <i>Squalidus gracilis majimae</i> 긴물개				12	6	11	6			35	1.52
※ <i>Squalidus japonicus coreanus</i> 물개									2	2	0.09
<i>Pseudogobio esocinus</i> 모래무지					6	6	27		29	68	2.95
※ <i>Microphysogobio yaluensis</i> 들마자									8	8	0.35
※ <i>Microphysogobio longidorsalis</i> 배가사리					1					1	0.04
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> 버들치	22	9	36	110	10	120	26	50	3	386	16.72
<i>Zacco temmincki</i> 갈겨니			32		3				2	37	1.61
<i>Zacco platypus</i> 피라미			4	5	139	126	864	73	52	1263	54.72
<i>Cobitidae</i> 미꾸리과											
<i>Orthrias toni</i> 종개			11	30	15	7	1	12		76	3.29
<i>Misgurnus anguillicadatus</i> 미꾸리					5	3		1		9	0.39
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지								1		1	0.04
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i> 새코미꾸리					2					2	0.09
<i>Iksookimia koreensis</i> 참종개		2	2	28	19	13	9	5		78	3.38
<i>Cobitis lutheri</i> 점줄종개									1	1	0.04
<i>Amblycipitidae</i> 통가리과											
<i>Liobagus andersoni</i> 통가리			5		5					10	0.43
<i>Cottidae</i> 독중개과											
<i>Cottus poecilopus</i> 독중개	7	31	7	1	2					48	2.08
<i>Odontobutidae</i> 동사리과											
<i>Odontobutis interrupta</i> 얼룩동사리					1	5		12	9	27	1.17
<i>Gobiidae</i> 망둑어과											
<i>Rhinogobius brunneus</i> 밀어						36	4			40	1.73
No. of family	2	3	5	4	6	5	4	4	3	6	
No. of species	2	3	9	6	16	10	10	8	14	24	
No. of individual	29	42	107	186	264	328	967	157	228	2308	

※: Korean endemic species, RA: Relative abundance(%)

구축 등에 따라 개체수가 증가(전상린, 1980)한 것으로 알려져 있다.

조사기간 동안 각 어종의 지점별 출현빈도를 확인한 결과, 버들치가 9개 지점 모두에서 출현하였고, 피라미와 참종개가 각각 7지점에서 출현하였다. 또한 종개가 6개 지점, 독중개가 5개 지점에서 출현하였다. 그러나 독중개의 경우, 지점 2를 제외하고 나머지 지점에서 개체수가 현저히 낮았으며 비교적 오염에 대한 내성이 강한 피라미와 버들치, 참종개 등이 많은 개체수로 널리 분포하였는데 이는 하천정비 및 각종 하수의 유입으로 인한 수질오염 때문인 것으로 판단된다. 또한 유속이 느리고 유량이 풍부한 하류성을 선호하는 어종인 잉어, 붕어 등은 중류역인 5, 6지점까지 출현하여 원주천의 제방공사 및 각종 환경변화로 인해 분포역이 넓어지는

것으로 사료된다.

원주천의 수중생태의 건전화 갖대종을 상류에는 독중개와 통가리, 중류에는 과거 많이 서식하였던(최준길 등, 2000) 갈겨니, 하류에는 피라미로 선정하였고, 붕어와 잉어가 거의 없는 즉, 생태적 건전성을 잘 유지할 수 있는 자연형하천의 하상구조로의 개선이 필요하다. 이를 위해서는 수질개선, 유량증대와 하상구조의 다양화가 요구된다.

3. 하천환경의 변화예측 및 평가

3.1 군집분석 및 분류

조사된 9개의 지점을 종의 다양도, 우점도, 균등도 지수에 관하여 분석해 보았다. 우점도 지수는 조사지점 1과 2, 그리

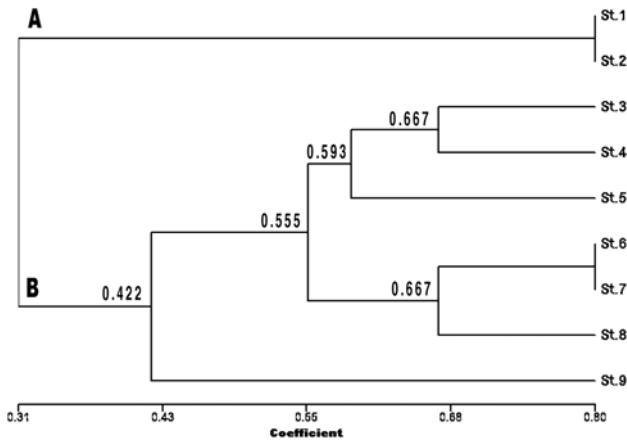


그림 2. 원주천의 유사도 지수를 근거로 한 지점별 집괴 분석

고 지점 9에서 각각 1, 0.95, 0.92로 높았다. 이외에도 각 지점들의 우점도 지수가 최소 0.64이상으로 높게 나타났다. 다양도 지수는 지점 7에서 0.54로 가장 낮았으며, 지점 3과 지점 5에서 각각 1.76과 1.73으로 지수 값이 크게 나타났다. 균등도 지수는 지점 7에서 0.2%로 가장 낮았으며, 지점 6에서 0.8%로 가장 높았다. 이외에도 지점 7을 제외한 모든 지점에서 0.5% 이상으로 나타났다.

각 유사도 지수를 근거로 각 지점별 집괴분석을 한 결과, 치악산국립공원과 인접하여 산간계류의 특징을 나타내는 지역과 원주시를 관통하여 일반적인 중·하류 하천의 특징을 갖는 2그룹으로 뚜렷이 나뉘었다(그림 2). 그룹 A는 최상류역의 특성을 보이는 지점들로서 출현종수가 적고 버들치, 독중개 등 상류역에 서식하는 어종들이 출현하는 지점1과 지점2이었다. 그룹 B는 원주천의 본류이면서 출현 종수가 비교적 많고 또한 중·하류 분포하는 어종들이 우점하는 특징을 보이는 지점 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9로 나타났다.

원주천이 치악산국립공원에 인접한 하천임에도 불구하고 상류역에 특징을 갖는 지점은 적게 나타났고, 이와 반대로 중·하류역은 오염에 내성이 강하거나 하상이 주로 모래인 곳에 분포하는 어종들이 많은 것으로 나타났다. 이는 하천정비에 의하여 수질을 포함한 하천바닥물질과 수리특성의 변화 또는 다양한 서식처가 사라짐과 교란으로 판단된다(최재석과 김재규, 2004).

3.2 유량증대방안 및 수질개선

2004년 5월에 실측한 갈수량은 $0.16 \text{ m}^3/\text{s} \sim 2.52 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 저수로 폭에 비해 유량이 작은 값으로 갑작스런 오염원의

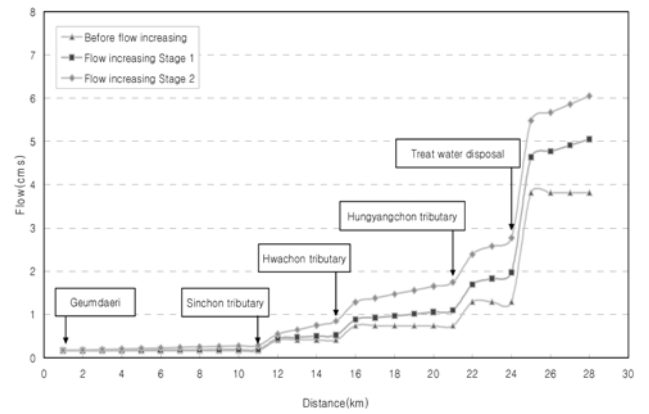


그림 3. 갈수 유량 증대

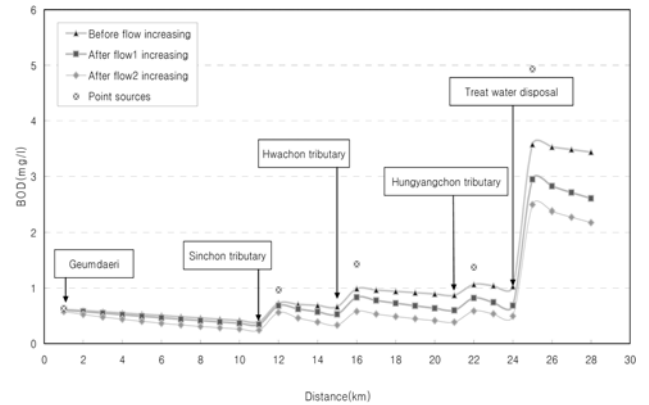


그림 4. 갈수유량 증가에 따른 수질개선

투입시 수질악화가 우려된다. 안정적인 수질확보와 어류상의 건전화를 위해서는 갈수량의 증대를 도모해야한다. 이를 위해서는 1단계로 하수관거의 재정비에 의한 우수와 오수의 철저한 분리 배출을 통한 유량증대와 더불어 우수유출량 저감 및 지하침투촉진 시설, 상류지역에의 식생조성 등의 유역관리를 통한 유량확보에 의한 유량의 증대는 1단계에서 $0.19 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3.42 \text{ m}^3/\text{s}$ 까지로 약 1.2배~약 2.5배까지 가능하다. 이때 증가 가능량은 실제 하수관거에서의 우수량을 측정한 결과에 기초하여 하수구역별 면적비로 환산한 값이다. 아울러 2단계는 상류에의 저수지 건설(건교부, 2004)에 의해 $0.29 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3.72 \text{ m}^3/\text{s}$ 까지로, 현재의 갈수량에 약 1.4배~약 2.5배까지 유량증가가 가능하다(표 3, 그림 3).

깨끗한 유량의 추가적 확보를 가정할 경우, QUAL2E 모형의 적용을 통하여 수치모의 한 BOD는 당초 현장관측 한 BOD $0.61 \text{ ppm} \sim 3.57 \text{ ppm}$ 을 1단계에서는 $0.60 \text{ ppm} \sim 2.94 \text{ ppm}$ 까지의 수질향상을 가져올 수 있고, 2단계에서는 0.56 ppm

표 3. 지점별 갈수유량 증대와 수질 향상변화

지 점	Before flow increasing (At present)		After flow increasing Stage 1		After flow increasing Stage 2		Remarks
	flow(m^3/s)	BOD(ppm)	flow(m^3/s)	BOD(ppm)	flow(m^3/s)	BOD(ppm)	
금대리상류	0.16	0.61	0.19	0.60	0.29	0.58	
신촌천 합류부	0.25	0.73	0.36	0.68	0.66	0.56	
치악교	0.33	0.99	0.59	0.83	0.89	0.58	
원주교	0.44	0.96	0.81	0.78	1.11	0.53	
홍양천 합류부	0.55	1.06	1.39	0.82	1.69	0.59	
하수처리장	2.52	3.57	3.42	2.94	3.72	2.49	

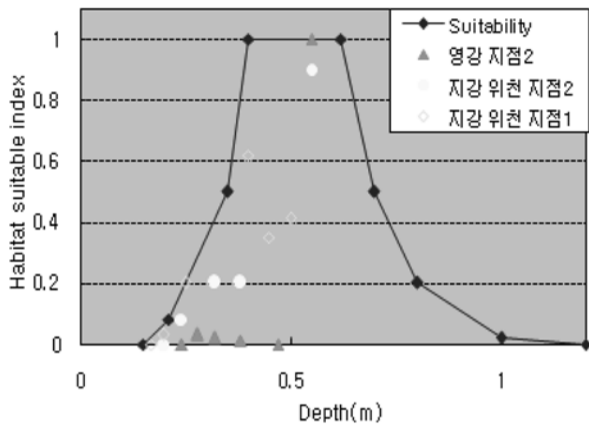


그림 5. 깊이와 유속에 대한 갈겨니의 서식적합도 지수(성영두 등, 2005)

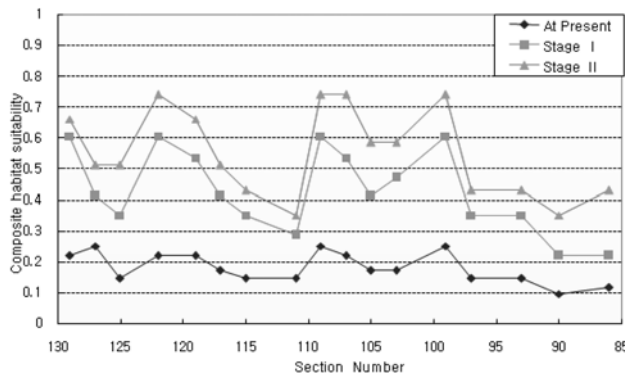
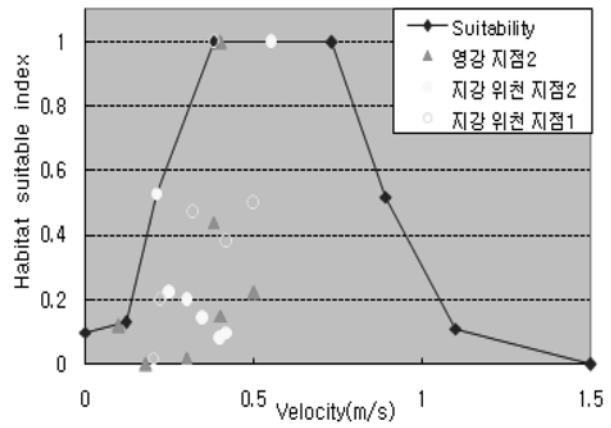


그림 6. 갈수 유량 증대에 따른 종합서식 적합도

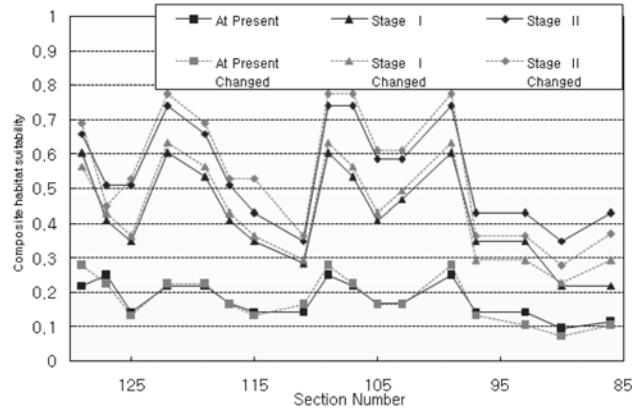


그림 7. 저수로 내 하상 구조 변경에 따른 종합서식 적합도

~2.49 ppm까지의 수질향상을 가져올 수 있다(표 3 및 그림 4).

3.3 하상구조 변경에 의한 서식환경 변화예측 및 평가

하도 및 저수로정비 기본계획방향은 자연 친화적 하천계획을 구체화하는 방법론으로 하천이 갖는 역동성 존중, 하천이 갖는 상하 좌우의 연속성 보장, 하천이 갖는 다양성 보장, 그리고 하천 개성 존중이라는 기본방향을 가지고 수행하여야 한다. 즉, 어느 정도의 변화가 불가피한 경우라도 자연하천이 갖고 있는 고유특성을 최대한 보장하는 방향에서 조정되어야 한다.

원주천의 서식환경 향상을 위한 노력으로 PHABSIM모형(USGS, 2001)을 사용하여 복합서식 적합도를 분석하였다. 어류를 대상으로 한 서식적합지수 곡선형태는 이분법(binary), 단일변량곡선법(univariate curve), 다변량응답표면법(multivariate response surface)으로 구분되고(USGS, 2001), 금회 적용한 어류서식적합지수 곡선의 형태는 낙동강 수계에서 어류조사를 통한 어류서식환경을 고려한 생태학적 추천유량의 산정결과(성영두, 박봉진, 주기재, 정관수, 2005)인 수심과 유속에 대해서는 단일변량곡선법(그림 5)을 적용하고, 하상재료에 대해서는 이분법을 적용하여 자갈에서는 1.0과 모래에서는 0.5의 서식적합도지수를 사용하였다.

대상 수역은 원주천의 중류 신촌합류점(No. 129)에서 원주수위표(No. 86)까지의 약 4.25 km이고, 이 지역은 자갈과 모래로 구성된 여울 구간으로 과거 갈겨니가 우점종으로 나타나, 이를 복원 목표종으로 선택받은 개체수가 많은 어종이 서식적합도 기준의 신뢰성을 높일 수 있기 때문(Bovee, Lam, Bartholow, 1998)이다.

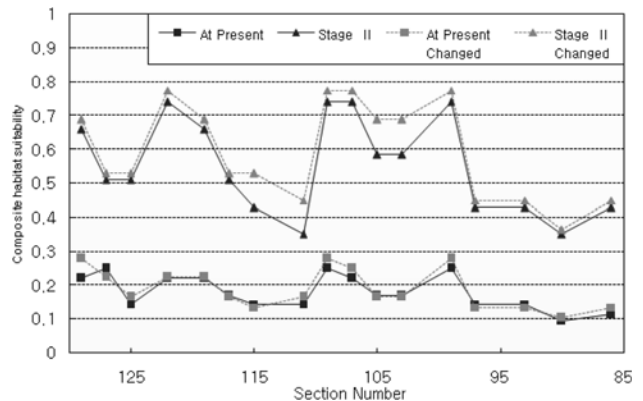


그림 8. 원주천의 저수로 구조개선에 따른 복합서식 적합도

단계별 유량 증대에 의한 갈겨니의 복합서식적합도는 그림 6에서와 같이 당초 복합서식적합도 0.1~0.25의 값을 1단계에서는 0.22~0.61까지 향상시키고, 2단계에서는 0.35~0.74까지 증대시킬 수 있어 유량의 증대가 서식환경에 중요하였음을 알 수 있었다.

저수로내 적절한 유속과 수심의 서식환경개선을 위하여 단면의 변화를 실시하였다. 그림 7은 유량증대 단계별 저수로 폭을 일괄적으로 10%씩 줄여서 유속과 수심의 증가하게 될 경우 복합서식적합도는 전반적으로 약간의 향상을 가져왔으나, 일부구간에서는 저하가 나타났다. 또한 저하된 구간에 대해서는 단면을 10%정도 늘렸으나, 복합서식적합도의 개선은 나타나지 않았다. 또한 단면의 축소를 50%까지 한 결과 서식환경의 적합도의 향상은 크게 증가하지 못하였다. 단면의 변화를 통한 수심과 유속구조의 변화는 서식환경의 개선을

가져올 수는 있으나, 지배적인 변수는 아님을 확인하였다.

원주천 서식환경의 개선을 위한 저수로 단면은 그림 8에서 보듯이 저수로 폭을 줄였음에도 불구하고 서식적합도가 떨어진 지점은 단면을 그대로 두고 나머지 구간에서 10%씩 줄인 결과 복합서식적합도의 분석결과 그림 8에서와 같이 단면을 줄이기 전보다 당초 0.10~0.25를 유량증대를 실시하기 전 단계는 0.10~0.29까지로 유량증대 2단계에서는 0.37~0.78까지로 향상되어, 이 단면을 원주천 하상구조의 개선으로 선택할 수 있다.

4. 결 론

조사지점은 원주천 최상류인 판부면 금대리에서 하류인 호저면 주산리까지 총 9개 지점을 선정하여 2004년 5월부터 11월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였다. 어류의 동정과 이의 서식환경인 하상구조, 바닥물질, 유량 및 수질은 물론, 조사어류 6과 24종 2,308개체에 대한 우점도, 종다양도, 균등도, 유사도분석을 하였다. 유사도 분석은 유사도지수를 기준으로 각 지점간의 비가중치 평균연결법(UPGMA)으로 cluster분석을 실시하여 원주천의 수중생태의 건전화 복원 지표종을 상류에는 독중개와 통가리, 중류에는 갈겨니, 하류에는 피라미로 선정하였다. 단계별 유량의 증가에 따른 PHABSIM을 이용한 어류 서식처 적합도 개선의 정도는 매우 큰 것으로 나타났다, QUAL2E 모형에 의한 수질개선 또한 기대되는 것으로 나타났다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

단계별 유량증대는 조사된 갈수량 $0.16 \text{ m}^3/\text{s} \sim 2.52 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서 $0.29 \text{ m}^3/\text{s} \sim 3.72 \text{ m}^3/\text{s}$ 으로, 현재 갈수량의 1.4배에서 2.5배까지 유량증가가 가능하다. 그에 따른 수질의 개선은 당초 BOD 0.61 ppm~3.57 ppm을 1단계에서는 0.60 ppm~2.94 ppm까지의 수질향상을 가져왔고, 2단계에서는 0.56 ppm~2.49 ppm까지의 수질향상을 가져왔다.

중류부의 복원 목표종인 갈겨니에 대한 서식적합도 분석을 통하여 단계별 유량 증대에 따른 복합서식적합도는 당초 0.1~0.25의 값을 1단계는 0.22~0.61까지 향상시키고, 2단계에서는 0.35~0.74까지 증대시킬 수 있어 유량의 증대가 서식환경에 중요하였음을 알 수 있었다.

저수로 폭을 줄였음에도 불구하고 복합서식적합도가 떨어진 지점은 단면을 그대로 두고 나머지 구간에서 10%씩 줄인 결과 복합서식적합도의 분석결과는 단면을 줄이기 전의 당초 0.10~0.25의 값이 유량증대를 실시하기 전 단계는 0.10~0.29까지로 증대를 보였으며, 유량증대 2단계에서는 0.37~0.78까지로 향상되어 이 단면을 원주천의 하상구조의 개선으로 선택할 수 있다. 그러나 저수로 내 적절한 유속과 수심의 확보를 위한 저수로 폭의 변화는 종합서식적합도에 전반적인 향상을 가져오나, 지배적인 변수는 아님을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(자연과 함께하는 하천복원 기술개발ECORIVER21; 과제번호06건설핵심B01)에 의해 수행되었다.

참고문헌

- 건설교통부(2004) **섬강유역치수단위종합계획**.
김익수, 박종영(2002) **한국의 민물고기**, 교학사.
성영두, 박봉진, 주기재, 정관수(2005) 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제7호, pp. 545-554.
손영목, 송호복(1998) 거제도의 담수어류상과 분포상의 특징, **한국어류학회지**, 한국어류학회, 제18권, pp. 87-97.
전상린(1980) **한국산담수어의 분포에 관하여**, 박사학위논문, 중앙대학교.
최재석, 김재구(2004) 홍천강의 어류상 및 어류군집, **한국환경생물학회지**, 한국환경생물학회, 제18권, 제3호, pp. 446-455.
최준길, 변화근, 석형근(2000) 원주천의 어류군집 동태, **한국육수학회지**, 한국육수학회, 제33권, 제3호, pp. 274-281.
최홍식(2008) 유지유량 증가방안에 따른 원주천 수질 및 어류서식환경 개선효과, **한국습지학회지**, 한국습지학회, 제10권, 제3호, pp. 57-68.
Bovee, K.D., Lam, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taklor, J., and Henriksen, J. (1998) *Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*, Biological Resources Division Information and Technology Report, USGS/BRD/1998-0004, USGS, Fort Collins, Colorado.
Cummins, K.W. (1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water, *Am. Midl. Nat.*, Vol. 67, pp. 477-504.
Kirchhofer, A. and Hefli, D. (1996) Conservation of endangered freshwater fish in Europe, *Birkhuser Verlag*, Boston, p. 341.
Minshall, G.W. (1984) Aquatic insect-substratum relationship, Edited by Resh, V.H. and Rosenberg, D.M., *The Ecology of Aquatic Insects*, Praeger, New York.
Nelson, J.S. (1994) *Fishes of the World*, John Wiley & Sons.
Pavlov, D.S. (1993) *Strategies of the World(3rd ed.)*, John Wiley and Sons, New York. p. 600.
Pielou, E.C. (1966) Shannon's formula as a measure of specific diversity; its use and disuse, *Amer. Nat.*, Vol. 100, pp. 463-465.
Shannon, C.E. and Weaver, W. (1963) *The mathematical theory of communication*, Illinois Univ. Press, Urbana-Champaign, p. 117.
Simpson, E.H. (1949) Measurement of diversity, *Nature*, Vol. 163, p. 688.
Sørensen, T. (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons, *Biol. Skar.*, Vol. 5, pp. 1-34.
USGS (2001) *PHABSIM for Windows-User's Manual and Exercises*, Midcontinent Ecological Science Center.

(접수일: 2008.10.10/심사일: 2008.12.15/심사완료일: 2009.4.16)