한국환경생태학회지 22(2) : 184~191. 2008
Kor. J. Env. Eco. 22(2) : 184~191. 2008

탁수에 의한 금강모치(Kumgang fat minnow; *Rhynchocypris kumgangensis*) 개체군의 생태적 영향[1a]

이재용[2] · 최재석[3*] · 김재구[2] · 장영수[2] · 이광열[4] · 김범철[2]

Ecological Effects of Kumgang fat minnow(*Rhynchocypris kumgangensis*) on Turbid Water[1a]

Jae-Yong Lee[2], Jaeseok Choi[3*], Jai-Ku Kim[2], Young-Su Jang[2], Kwang-Yeol Lee[4], Bomchul Kim[2]

요 약

어류개체군에 대한 탁수의 영향을 파악하고자, 2004년부터 2005년까지 탁수하천(대기, 자운천)과 비탁수하천(봉산천, 계방천)에 분포하는 금강모치 개체군의 체장-체중 관계와 비만도지수의 변화를 알아보았다. 탁수하천과 비탁수하천 간의 금강모치 평균전장을 비교해본 결과, 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 남한강에서 체장-체중 관계에 따른 회귀계수 b값은 봉산천에서 3.21, 그리고 대기천에서 3.07로 나타났다. 이에 반하여, 북한강에 위치한 탁수하천의 회귀계수 b값은 비탁수하천의 값보다 약간 높았다. 그 값은 계방천에서 3.20, 자운천에서 3.23으로 각각 나타났다. 우리의 연구 결과는 금강모치 개체군 단계에서 만성 탁수의 영향이 적음을 보여준다.

주요어 : 어류개체군, 탁수하천, 비탁수하천

ABSTRACT

To investigate the effect of turbid water on fish population, the length-weight relationship and its condition factor were applied to Kumgang fat minnow Rhynchocypris kumgangensis collected in turbid (the Daegi and the Jaun streams) and non-turbid stream (the Bongsan and the Gyebang streams) for a year from 2004 to 2005. The mean length of minnow between turbid water and non-turbid water streams was not significantly different. In the South River system, the regression coefficients (b) based on length-weight relationship were 3.21 in the non-turbid Bongsan stream and 3.07 in the turbid Daegi stream, respectively. On contrary, the regression slope in the turbid stream was a little higher than that of the non-turbid stream located in the Bukhan River system. The values were 3.20 in the Gyebang-stream and 3.23 in the Jaun stream, respectively. Our result suggested that chronic turbid water effect on the level of fish population has a little or no effect.

KEY WORDS : FISH POPULATION, TURBID STREAM, NON TURBID STREAM

1 접수 12월 27일 Received on Dec. 27, 2007
2 강원대학교 환경과학과 Dept. of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon(200-701), Korea
3 강원대학교 부설 환경연구소 Institute of Environmental Research, Kangwon National University, Chuncheon(200-701), Korea
4 강원대학교 생물학과 Dept. of Biology, Kangwon National University, Chuncheon(200-701), Korea
a 본 연구는 강원대학교 환경연구소의 지원을 받았음, 이 연구에 참여한 이재용은 "2단계 BK21 사업"의 지원을 받았음
* 교신저자, Corresponding author(gobiobotia@hanmail.net)

서 론

하천생태계는 여러 가지 교란 요인들에 의해 어류군집의 변화를 유발할 수 있으며, 그 중 인위적인 간섭에 의한 환경변화가 가장 큰 요인이라 할 수 있다(Rutherford *et al.*, 1987; 최재석과 김재구, 2004). 최근 우리나라 하천생태계는 강우 패턴의 변화, 고랭지 채소밭의 증가, 골재채취 그리고 각종 토목공사에 의한 탁수 발생으로 많은 변화가 유발되고 있는 실정이다(장영수 등, 2007).

수체 내 탁도를 증가시키는 탁수는 어류의 성장에 직접적인 영향을 주기도 한다. 탁수의 강도에 따라 어류는 생리적으로 아가미 장애, 삼투조절 방해, 혈당량 증가, 면역능력 감소, 생식력 및 성장률 감소(Sigler *et al.*, 1984) 등 많은 피해를 받게 된다. 특히 이러한 피해들은 어류의 개체, 개체군, 군집 등, 여러 수준에서 많이 발생하고 그 형태도 매우 다양하게 나타난다. 우리나라에서도 최근 들어 개체 및 군집수준에서의 탁수 피해들이 서서히 보고되고 있으나, 개체군 수준에서의 피해 보고들은 아직까지 많이 부족한 실정이다. 특히 개체군 수준에서 탁수의 피해는 탁수의 농도, 지속시간 그리고 개체군의 종류에 따라 매우 다르게 나타날 수 있다. 즉 어떠한 개체군은 탁수로 인하여 개체군이 줄어들거나 사멸할 수 있으며, 또 어떠한 개체군은 개체군 크기가 증가할 수 있을 것으로 생각된다. 더욱이 전장-체중 관계 등을 이용한 어류의 성장도와 비만도 분석(Cone, 1989; Fulton, 1904)은 주어진 환경에서 어류의 건강상태나 생식능력의 정도를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 서식환경의 서식처등급, 수질 및 먹이 이용, 개체군 크기의 증감 등 다양한 정보를 제공하는 지표로 이용될 수 있다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993).

한편 본 연구대상인 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*)는 잉어목(Cypriniformes), 잉어과(Cyprinidae), 황어아과(Leuscinae), 버들치속(*Rhynchocypris*)에 해당하는 소형 담수어종으로 북한 일대와 한강 상류지역 및 금강 상류의 일부지역에 분포하며, 수온이 낮고 용존산소가 풍부한 산간계류에 서식하는 한국고유종(Uchida, 1939; 최기철 등, 1990; 김익수, 1997; 김익수와 박종영, 2002; 최재석 등, 2006b)으로 수질오염에 민감한 종으로 알려져 있다. 그러나 본 종이 탁수에는 어떠한 반응을 보이고, 어떠한 영향을 받는지는 아직까지 연구된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 탁수하천과 비탁수하천에 공통적으로 분포하는 금강모치를 대상으로 탁수에 의한 체장과 체중과의 관계, 비만도의 변화를 보여 주고 나아가 개체군에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 물리적 환경요인 분석 및 강우시 탁수 조사

하천의 물리적 서식환경을 파악하기 위하여 각 조사지점에서 수폭, 수심, 유속, 그리고 하상구조를 측정하였다. 각 조사구간은 3개의 소구역으로 횡단한 후 각 구역에서 수폭을 측정하고, 유속(MARSH-McBIRNEY, INC. Model 2000)과 수심은 3회 이상 측정하였다. 하상구조는 각 구간별로 이질적인 서식지를 선정하여 1㎡방형구를 3회 이상 설치하여 입자를 모아 Cummins(1962) 분류법에 따라 입자크기별로 분류하였다. 강우시 탁수 현황은 한강수계관리위원회(2005)의 탁수 자료를 인용하였다.

2. 부유물 부하량 산정방법 및 스트레스 지수 산정법

부유물질은 각 하천의 최하류 배수지점을 대상으로 2004년에서 2005년까지 여름 기간 동안 4회 강우사상을 대상으로 조사하였다. 부유물질 농도는 공정시험법에 따라 분석하였으며 유량은 유속계와 유속단면법을 사용하여 측정하였다. 각 하천의 부유물질농도의 대표치는 유량가중 평균농도(Event Mean Concentration; EMC)를 사용하여 제시하였다. 각 조사지점에서의 EMC는 강우시 일정 시간 간격으로 조사된 유량과 부유물질농도의 곱으로부터 누적부하량을 산정 한 후 누적유량으로 나누어 유량가중평균 농도를 계산하였다.

강우시 하천의 부유물질로 인한 스트레스 지수(Stress Index; SI)는 발생한 탁수의 EMC에 탁수지속기간을 곱하여 자연로그를 취해서 계산하였다 (Newcombe and MacDonald, 1991).

Stress Index(SI) = Ln[EMC(SS $mg \cdot L^{-1}$) x 탁수지속기간(hr)]

3. 어류조사

조사는 북한강 상류지역에 위치한 내린천 수계의 자운천과 계방천 그리고 남한강 상류 송천 수계인 봉산천과 대기천을 대상으로 2004년부터 2005년까지 2년간에 걸쳐 조사하였다(Figure 1).

연구대상어종인 금강모치의 채집은 각 조사지점에서 족대(4×4㎜: 40분)와 투망(7×7㎜: 14회)을 이용하여 실시하였다. 채집된 금강모치는 현장에서 10% 포르말린액으로 고정 후 실험실로 운반하여 전장과 체중을 계측하였다.

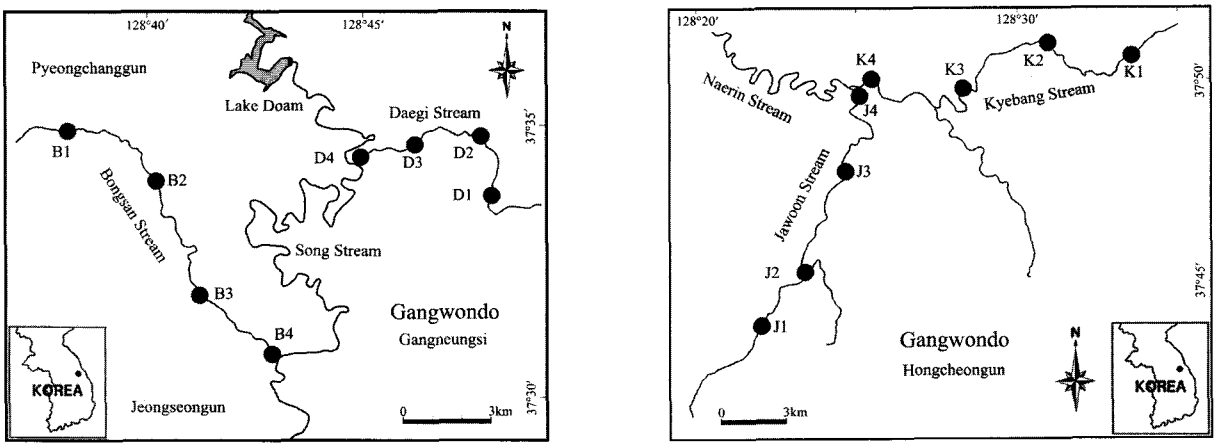

Figure 1. Map showing the sampling sites for water and fish collection. The Jawoon Stream and the Kyebang Stream converge into the Naerin Stream(Left). The Daegi Stream and the Bongsan Stream are tributaries of the Song Stream(Right) that converges into the South Han River

4. 개체군 분석

1) 체장-체중 관계

봉산천과 대기천 그리고 계방천과 자운천에서 공통적으로 출현하는 금강모치 개체군에 대하여 전장과 체중에 관한 관계식을 이용하여 어류의 성장도를 알아보았다. 전장과 체중의 관계식은 체중에 대한 전장의 지수 함수적 관계로서 표현되고, 이때 나타나는 성장곡선의 기울기를 비교하여 어류의 성장을 평가하는 방법이다.

$T_W = aT_L^b$

T_W = 체중(weight), T_L = 전장(total length), (a, b: 변수 [parameters])

$Log(T_W) = Log\ a + b \cdot Log(T_L)$

2) 비만도지수와 상대비만지수

Fulton-type의 비만도지수(condition factor, *K*; Anderson and Neumann, 1996)와 상대비만지수(Relative condition factor, *Kn*; LeCren, 1951)는 성장도에서 표현하는 a와 b의 관계보다 더 쉽게 설명되고 비교되는데 그 식은 아래와 같다.

$K = T_W/T_L^3 \times 10^n$ (n=2)

$Kn = T_W/aT_L^b$

결과 및 고찰

1. 물리적 환경요인 분석 및 강우시 탁수 현황

북한강수계 계방천과 자운천, 남한강수계의 대기천과 봉산천은 동일수계에 위치하고 있으며 하천의 유역면적, 크기, 하폭, 수심, 유속 등 물리적 특성이 서로 비슷하지만, 강우시 탁수의 영향으로 하상구성물은 탁수하천과 대조하천간에 차이가 크게 나타났다. 탁수하천인 자운천과 대기천의 경우 Sand (0.1～2㎜)의 비율이 30～40%로서 높은 반면 대조하천인 봉산천과 계방천은 대부분 Gravel(2～16㎜)보다 큰 큰돌(>256㎜)과 작은돌(62-256㎜)이 대부분이었으며 모래질의 퇴적은 10% 미만이었다(Table 1).

강우시 탁수현황 및 스트레스 지수의 값은 한강수계관리위원회(2005)의 자료를 참조하였으며 내용은 아래와 같다. 유역내 서로 다른 토지이용에 따라 강우시 하천들간의 탁수 유출정도는 차이를 보였다. 탁수하천인 자운천의 EMC(SS)는 대조하천인 계방천에 비해 강우량에 따라 6～45배 정도 탁수농도가 높았으며, 대기천은 봉산천에 비해 58～73배(3차, 4차 조사결과) 높았다. 한편 강우량에 따른 단위면적당 부유물(SS) 유출부하량은 자운천이 계방천에 비해서 4～36배 정도, 대기천은 봉산천에 비해서 20～200배 정도 높게 나타났다(Table 2). 한편 대기천과 자운천의 탁수 발생 패턴을 비교해 본 결과, 비슷한 것 같지만 전혀 다른 것으로 나타났다. 공통점은 두 하천 모두 강우시에 심한 탁수가 발생되고, 이 시기를 제외하면 비교적 깨끗한 수체가 흐르고 있었다는 것이다. 그러나 다른 점은 자운천의 경우 강우시를 제외하면 다른 시기에는 탁수가 흐르지 않고 하천 상태가 서서히 회복되었다는 것이고, 대기천은 하천의 최상류에서부터 지속적으로 모래가 흐르고 이것들이 하천의 바닥에 전반적으로 퍼져 하상구조를 완전히 바꿔 놓았다는 것이다. 따라서 대기천은 지속적으로 탁수의 영향을 받지만, 자운천은 강우시를 제외하면 탁수의 영향을 매우 적게 받는 것으로 판단된다.

강우시 발생되는 탁수의 영향에 따른 하천의 스트레스

Table 1. Hydrological information and physical habitat of four streams(KB: Kyebang, JU: Jawoon, BS: Bongsan, DG: Daegi)

Stream		Items	Watershed (㎢)	Stream area (㎢)	Water width (m)	Depth (m)	Substrate B:C:P:G:S*	Current**
North (Naerin)	KB	K1	156.8	0.68	10～25	0.1～2.0	B:C:P:G=5:3:1:1	Rapid
		K2			30～45	0.1～1.8	B:C:P:G=4:3:2:1	〃
		K3			30～45	0.1～1.8	B:C:P:G=5:2:2:1	〃
		k4			50～80	0.1～1.8	B:C:P:G=4:3:2:1	〃
	JW	J1	133.4	0.86	8～13	0.1～0.5	B:C:P:G:S=3:2:1:1:3	Rapid
		J2			30～50	0.1～1.2	B:C:P:G:S=3:1:2:1:3	〃
		J3			40～55	0.1～1.2	B:C:P:G:S=3:2:2:2:1	〃
		J4			50～80	0.1～1.2	B:C:P:G:S=2:1:2:2:3	〃
South (Song)	BS	B1	59.2	0.34	10～15	0.1～0.6	B:C:P:G=3:4:2:1	Rapid
		B2			10～20	0.1～1.2	B:C:P:G=2:4:3:1	〃
		B3			30～40	0.1～1.2	B:C:P:G=1:4:3:2	〃
		B4			20～35	0.1～1.8	B:C:P:G:S=2:3:3:1:1	〃
	DG	D1	53.4	0.24	8～10	0.1～0.5	B:C:P:G:S=1:2:2:1:4	Rapid
		D2			10～20	0.1～1.0	B:C:P:G:S=1:2:2:2:3	〃
		D3			30～50	0.1～0.6	B:C:P:G:S=1:2:1:2:4	〃
		D4			20～35	0.1～0.8	B:C:P:G:S=1:1:2:2:4	〃

* B: Boulder(>256㎜), C: Cobble(62～256㎜), P: Pebble(16～64㎜) G: Gravel(2～16㎜), S: Send(0.1～2㎜) (Modified Wentworth classification by Cummins(1962)), **: Gorman and Karr(1978) classification

지수는 탁수하천과 대조하천간에 뚜렷한 차이를 보였다. EMC(SS)와 탁수노출시간에 따라 계산된 서식지의 스트레스 지수는 탁수하천인 대기천과 자운천의 중앙값이 10.37 정도였으며, 반면 대조 하천인 봉산천과 계방천의 SI(중앙값)은 5.94정도로서 매우 낮았다(Table 2). 이는 탁수하천에서 받는 서식지 스트레스가 약 84배정도 크다는 것을 의미한다.

2. 조사하천별 금강모치의 전장분포

탁수하천과 비탁수하천에서 공통적으로 출현하는 어종인 금강모치를 대상으로 전장분포와 전장빈도분포도를 비

Table 2. SS loading per unit area and stress index of each stream during the rainy event

Watershed	Stream Name	Sampling Sites	Rainfall (㎜)	EMC(SS) (㎎/L)	Exposure (H)	SS loading (ton·km^{-2}·event^{-1})	SI LN[SS*H]
North (Naerin)	KB	K1	45	4.43	50	0.6	5.40
		K2	187	41.84	89	7.1	7.81
		K3	240	72.40	72	6.0	8.56
	JW	K4	77	6.68	38	0.5	5.54
		J1	45	24.88	52	2.1	7.17
		J2	187	331.70	89	57.8	10.29
		J3	240	1014.05	60	64.5	11.02
		J4	77	297.76	38	18.2	9.33
South (Song)	BS	B3	124	13.80	41	0.1	6.34
		B4	20	1.68	33	0.02	4.01
	DG	D1	55	1150.26	30	25.2	10.45
		D2	293	628.00	163	70.5	11.54
		D3	124	1004.63	63	20.1	11.06
		D4	20	97.07	33	0.4	8.07

KB: Kyebang, JU: Jawoon, BS: Bongsan, DG: Daegi, SI: Stress Index, EMC: Event Mean Concentration

교하여 보았다. 먼저 탁수하천인 자운천에서 전장분포는 20~95㎜였고, 평균전장은 61.2(±20.1)㎜인 것으로 나타났으며, 대기천의 경우 전장분포는 27~79㎜, 평균전장은 56.5(±13.3)㎜였다. 반면 맑은 하천인 계방천에서는 23~119㎜ 범위이고, 평균전장은 66.2(±25.0)mm였다. 봉산천의 경우 전장분포는 26~108㎜ 범위이고, 평균 63.5(±21.3)㎜였다(Figure 2). 이와 같이 탁수하천과 비탁수하천에 서식하는 금강모치의 평균 전장을 비교해본 결과, 유의성이 없는 것으로 나타났으며(One-way ANOVA, $F_{3,652}$= 2.173, p=0.090), 전장 분포 범위에서 비탁수하천보다 탁수하천이 더 좁은 것으로 나타났다(Figure 2). 이러한 결과는 탁수하천이 어류의 서식에 즉 탁수의 영향으로 시계의 감소, 먹이자원의 감소 및 섭식율 감소(Berg 1982; Berg & Northcote, 1985), 그리고 서식지 파괴(Noggle 1978; Reed *et al.*, 1983; Lloyd 1987; Bash *et al.*, 2001) 등이 일어나 금강모치 개체군이 안정화되지 못하기 때문인 것으로 생각된다. 특히 지속적인 탁수의 영향을 받는 대기천에 분포하는 개체들은 대부분 크기가 작은 그룹들이었다. 그러나 또 다른 탁수하천인 자운천의 경우 위에서 설명한 바와 마찬가지로 탁수의 패턴이 다르게 일시적으로 영향을 받으므로 금강모치 개체군은 분포 폭이 적긴 하지만, 비교적 안정된 개체군을 유지하고 있는 것으로 생각된다.

3. 금강모치의 행동패턴

탁수 하천인 대기천과 자운천을 현장조사하면서 금강모치의 행동 패턴을 분석해 보았다. 두 하천 모두 탁수가 흐를 때에는 하천의 가장 자리나 수풀 사이로 이동하여 회피하였으며, 탁수가 어느 정도 농도까지 낮아지거나 수량이 적어질 때까지 이동을 하지 못하고 있었다. 그러나 오랜 시간 탁수가 지속되거나 또는 모래입자가 하천을 완전히 덮을 때에는 하천의 가장자리로 회피하는 것이 아니라 하천의 하구역으로 모두 이동하였으며 따라서 하천의 상류나 중류역에는 어류가 거의 없고 소수의 개체들만 채집되었다. 특히 다른 어종들은 거의 볼 수 없었다. 또한 탁수가 흐르지 않을 때에는 대기천의 경우 모천인 송천에서 어종들이 서서히 상류쪽으로 올라와 회복되었으나, 자운천의 경우 모천인 내린천이나 자운천의 중류나 하류역에서 서서히 회복되었다. 그러나 얼마 지나지 않아 다시 탁수가 흘러 이러한 회복을 방해하였다. 한편 일부 개체들은 두부와 체측에 타박상(피멍) 흔적을 발견할 수 있었다. 이러한 타박상(Chapman, 1988)은 탁수 내 입자들에 의해 생긴 것으로 생각된다.

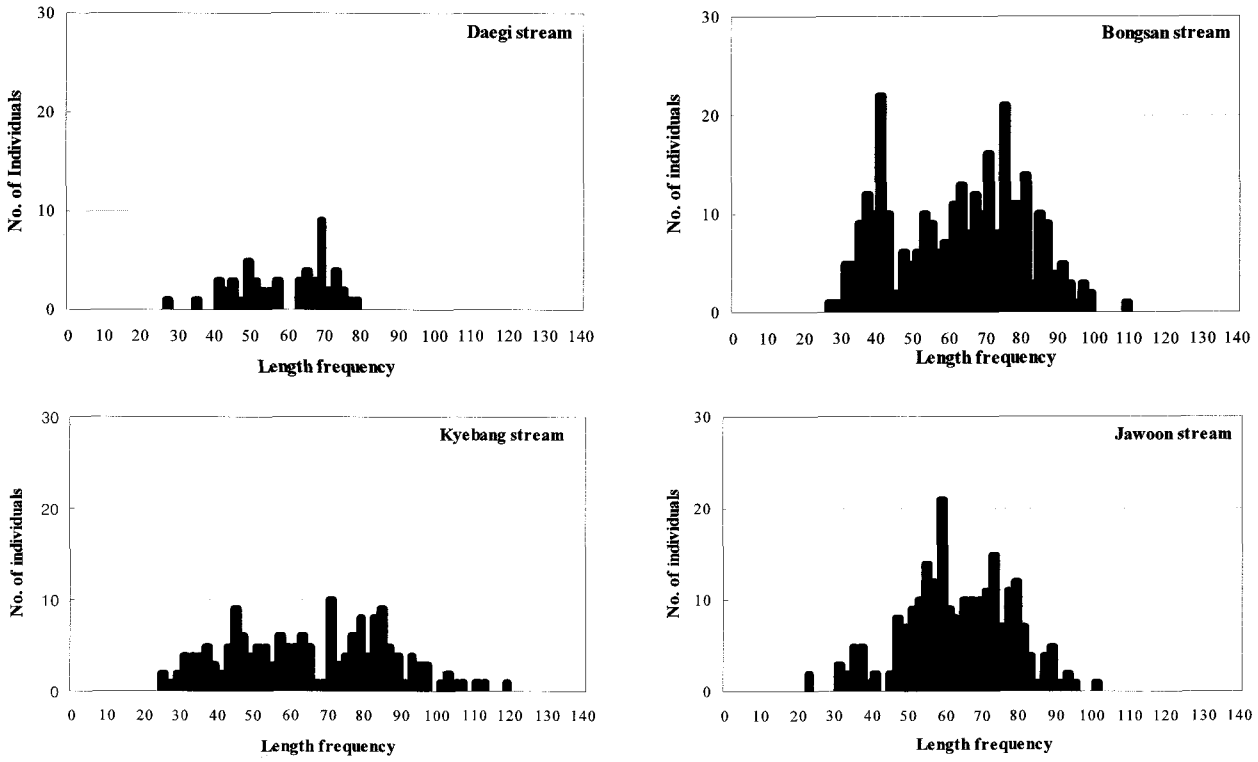

Figure 2. Frequency distribution of *Rhynchocypris kumgangensis* based on total length

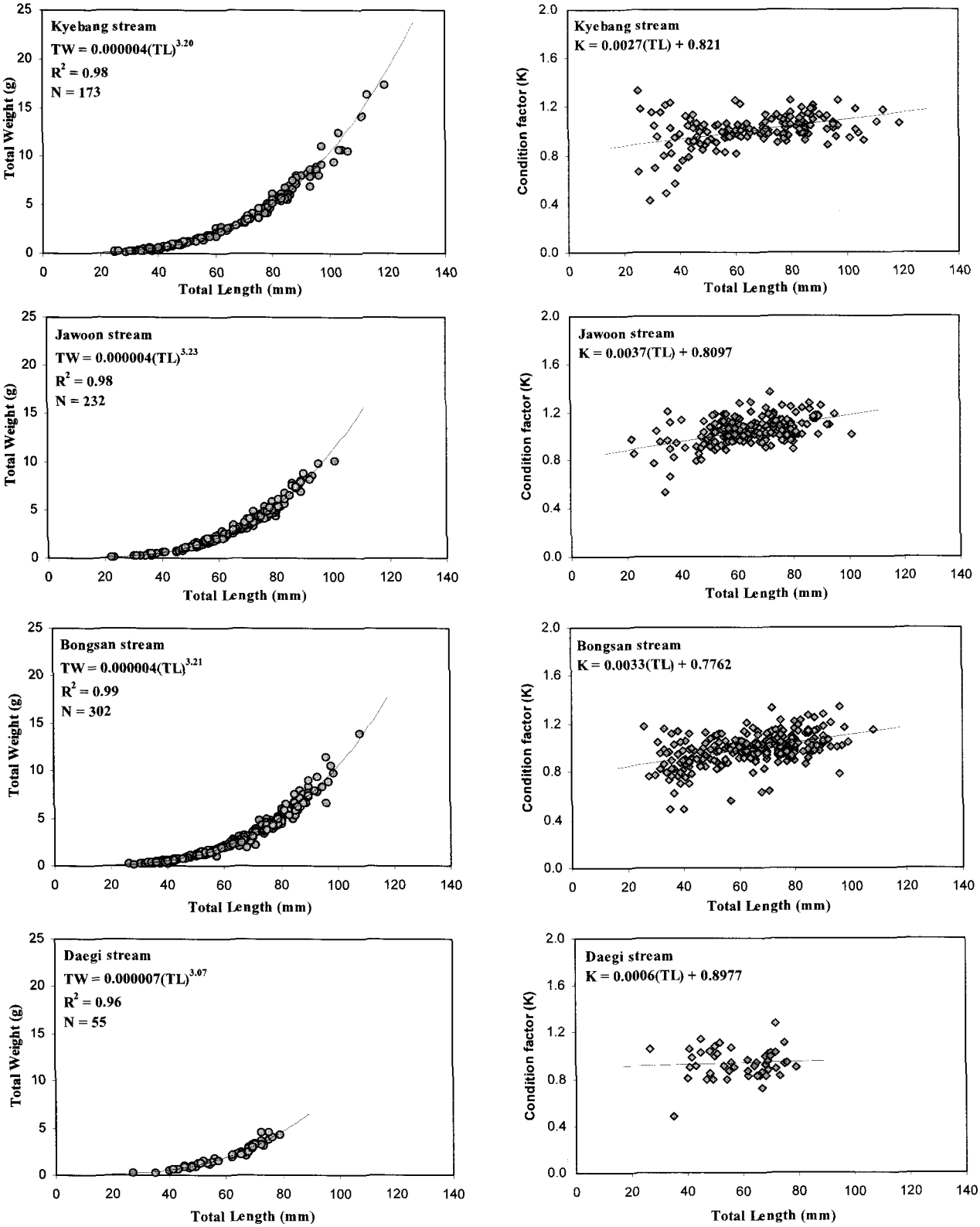

Figure 3. Length-weight relationship and condition factor of Rhynchocypris kumgangensis in four different streams

4. 체장-체중 관계 및 비만도지수 비교분석

탁수하천과 비탁수하천에 분포하는 금강모치 개체군들을 대상으로 체장-체중 관계와 비만도지수를 산정하여 탁수로 인해 어떠한 차이를 보이는지 비교분석하였다(Figure 3). 하천별로 체장-체중 관계를 비교해본 결과, 회귀계수 b값이 남한강의 봉산천에서는 3.21, 그리고 대기천에서는 3.07로 나타나 탁수하천인 대기천의 값이 월등히 떨어짐을 알 수 있다. 이는 위에서 설명한 바와 마찬가지로 지속적인 탁수의 영향 때문인 것으로 판단된다. 그러나 북한강의 계방천에서는 3.20, 자운천에서는 3.23으로 회귀계수 b값이 오히려 탁수 하천이 약간 높은 것으로 나타났다. 이는 탁수 패턴이 남한강의 대기천과는 달리 나타났기 때문인 것으로 생각된다. 즉 위에서 설명한 바와 마찬가지로 탁수가 지속적으로 영향을 주는 것이 아니라 일시적으로 나타나므로 금강모치 개체군이 탁수영향 기간 이외의 기간에 비교적 안정적으로 성장할 수 있었고, 또한 자운천의 탁수는 고랭지 채소밭이 근원이므로 수체에 인과 질소를 많이 함유하고 하천의 영양(먹이)공급이 원활해져 생긴 결과라 생각된다. 따라서 금강모치 개체군은 탁수하천 집수역의 형질과 탁수 패턴에 따라 성장도가 달라 질수 있다고 생각된다.

많은 보고에 따르면 탁도가 22-113 NTU범위에서 냉수성 어종의 성장률감소(Sigler, 1980; Sigler *et al.*, 1984), 10-60 NTU에서 섭식률 감소(Berg, 1982; Berg & Northcote, 1985)가 일어나는 것으로 보고되었으며, 온수성 어류인 배스와 블루길의 경우 14-16 NTU에서 섭식행동의 변화(Heimstra *et al.*, 1969)가 나타나는 것으로 보고하고 있다.

체장-체중 관계와 함께 어류의 건강성과 개체군 평가에 널리 이용되는 비만도지수는 어류에 있어서 풍부한 먹이원 유용을 반영하며 높은 에너지 축적으로 설명된다(서진원, 2005; 최재석 등, 2006a). 각 하천별로 비만도지수를 살펴본 결과 남한강의 봉산천에서는 0.0035 그리고 대기천에서는 0.0007, 북한강의 계방천은 0.0027 그리고 자운천에서는 0.0037로 각각 나타났다(Figure 3). 이와 같이 각 하천별로 차이를 보이는 것은 체장-체중 관계에서 설명한 바와 거의 같은 이유라 할 수 있다.

인용문헌

김익수(1997) 한국동식물도감. 제 37권 동물편(담수어류). 교육부, pp. 263~264쪽.

김익수, 박종영(2002) 한국의 민물고기. 교학사, pp. 172~173쪽.

서진원(2005) 감천 중상류역의 어류상과 갈겨니(*Zacco temminckii*) 개체군의 생태학적 특성. 한국육수학회지 28: 225-232.

장영수, 최재석, 이광열, 서진원, 김범철(2007) 횡성호에 분포하는 피라미(Pale chub: *Zacco platypus*)개체군의 Length-weight Relationship 및 Condition factor. 한국육수학회지 40(3): 412-418.

최기철, 전상린, 김익수, 손영목(1990) 원색한국담수어도감. 향문사, 서울, pp. 64~65쪽.

최재석, 김재구(2004) 홍천강의 어류상 및 어류군집. 한국환경생물학회지 18: 446-455.

최재석, 박승철, 장영수, 이광열, 최준길(2006a) 횡성호 상·하류에 분포하는 참갈겨니(*Zacco koreanus*, Cyprinidae)의 개체군 동태. 한국환경생태학회지 20: 391-399.

최재석, 이광열, 장영수, 박정호, 권오길(2006b) 홍천강 상류에 서식하는 금강모치, *Rhynchocypris kumgangensis*(Cyprinidae)의 식성. 한국환경생물학회지 24: 29-37.

한강수계관리위원회(2005) 탁수로 인한 수중생태계 영향조사 및 저감대책 제시. 한강유역환경청.

Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter(1983) Length weight and associated structural indices. Pages 283-300 in L.A. Johnson editor. Fisheries techniques. American Fisheries Society. Betheda, Maryland, USA.

Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter(1983) Length weight and associated structural indices. Pages 283-300 in L.A. Johnson editor. Fisheries techniques. American Fisheries Society. Betheda, Maryland, USA.

Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, weight, and associated structural indices. Pages 447-482 in B.R. Murphy and D.W.. Willis, editor. Fisheries Techniques, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.

Bash, J., C. Berman, and S. Bolton(2001) Effects of turbidity and suspended solids on Salmonids. Center for Streamside Studies, Univ. of Washington, Seattle, Washington, USA.

Berg, L.(1982) The effect of exposure to short-term pulses of suspended sediment on the behavior of juvenile salmonids. Pages 177-196 in G. F. Hartman et al., editors. Proceedings of the Carnation Creek workshop: a ten-year review. Department of Fisheries and Oceans, Pacific Biological Station, Nanaimo, British Columbia.

Berg, L., and T. G. Northcote(1985) Changes in territorial, gill-flaring, and feeding behavior in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following short-term pulses of suspended sediment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42: 1410-1417.

Busacker, G.P., I.A. Adelman, and E.M. Goolish(1990) Growth. Pages 363-377 in C.B. Schreck and P.B. Moyle. editor Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Chapman, D. W.(1988) Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. Transactions of the American Fisheries Society 117: 1-21.

Cone, R.S.(1989) The need to reconsider the use of condition indices in fishery science. Transactions of the American Fisheries Society 118: 510-514

Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. American Midland Naturalist 67: 477-504

Fulton, T.W.(1904) The rate of growth of fishes. Fisheries Board of Scotland Annual Report Edinburgh, UK, 22: 141-241

Gorman, O.T. and J.R. Karr(1978) Habitat structure and stream fish communities. Ecology 59: 507-515

Heimstra, N. W., D. K. Damkot, and N. G. Benson(1969) Some effects of silt turbidity on behavior of juvenile largemouth bass and green sunfish. U. S. Fish and Wildlife Service, Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Technical Paper 20, Washington, D. C.

LeCren, E.D.(1951) The length-weight and condition in the seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch Perca *fluviatilis*. Journal of Animal Ecology 20: 201-219.

Lloyd, D. S.(1987) Turbidity as a water quality standard for salmonid habitats in Alaske. North American Journal of Fisheries Management 7: 34-45.

Noggle, C. C.(1978) Behavioral, physiological and lethal effects of suspended sediment on juvenile salmonids. Master's thesis. Univ. of Washington, Seattle, Washington, USA.

Newcombe, T.W. and D.D. MacDonald(1991) Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. North American Journal of Fisheries Management 11: 72-82.

Newcombe, T.W. and D.D. MacDonald(1991) Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. North American Journal of Fisheries Management 11: 72-82.

Ney, J.J.(1993) Practical use of biological statistics. pp 137-158 in C.C. Kohler and W.A. Hubert, editor. Inlant fisheries management of North American Fisheris Society. Betheda, MD. USA.

Reed, J. P., J. M. Miller, D. F. Pence, and B. Schaich(1983) The effects of low level turbidity on fish and their habitat.. Report No. 190., Dept. of Zoology, North Carolina State Univ., Raleigh, NC, USA.

Rutherford D.A., A.A. Echelle and O.E. Maughan(1987) Changes in the fauna of the little river drainage, southeastern Oklahoma, 1948-1955 to 1981-1982 : Test of the hyphothesis of environmental degradation. Community and evolutionary ecology of north American stream fishes. Univ. of Oklahoma, pp 178-183.

Sigler, J.W.(1980) Effects of chronic turbidity on feeling, growth and social behavior of steelhead trout and coho salmon. Doctoral dissertation. University of Idaho, Moscow.

Sigler, J.W., T.C. Bjornn, and F.H.Everest(1984) Effects of chronic turbidity on density and growth of steelheads and coho salmon. Transactions of the American Fisheries Society 113: 142-150.

Uchida, K.(1939) The Fishes of Tyosen. Part 1. Nematognathi, Eventognathi, Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Tyosen, 6. 458pp.