

내성천에서 영주댐 운영전 어류 군집구조의 특성

Characteristics of Fish Community Structure before the Dam Operation in the Naeseong Stream, Korea

원종서¹ · 김석현² · 조강현^{1*}¹인하대학교 생명과학과, ²클립슨대학교Jong-Seo Won¹, Seog Hyun Kim² and Kang-Hyun Cho^{1*}¹Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea²Clemson University, Clemson, South Carolina 29634, USA

Received 27 March 2017, revised 30 March 2017, accepted 30 March 2017, published online 31 March 2017

ABSTRACT: The Naeseong Stream as a tributary of Nakdong River has conserved the unique structure and function of a typical sand-bed stream ecosystem. However, it is expected to change the stream bed environments and then the fish fauna in the downstream of the dam after the operation of the Yeongju Dam from 2016. We collected fishes and investigated their habitat environments from 2014 to 2016 in the downstream of the Yeongju Dam under construction in order to monitor changes in habitat environment, fauna and community structure of fishes in the Naeseong Stream. The size of the bed materials increased immediately downstream of the Yeongju Dam under construction. Before the operation of the Yeongju Dam, *Zacco platypus* was dominated and *Opsarichthys uncirostris amurensis*, *Coreoleuciscus splendidus*, *Hemibarbus longirostris* and *Pseudogobio esocinus* were sub-dominated according to the different sampling sites. *Hemibarbus labeo*, *H. longirostris*, *Pseudogobio esocinus*, *Gobiobotia nakdongensis*, *Cobitis hankugensis* and *Leiocassis ussuriensis* were found as a psammophilous fish specific to sand stream in the Naeseong Stream. At the downstream of the dam, the fish community was classified into a group of gravel-bed fishes such as *Microphysogobio yaluensis*, *Coreoleuciscus splendidus* and *Coreoperca herzi* and a group of sand-bed fishes such as *Hemibarbus labeo*, *Cobitis hankugensis* and *Gobiobotia nakdongensis*. These fish communities gradually tended to change from sand-bed fish community to gravel-bed fish community during the construction of the Yeongju Dam. Therefore, it is necessary to collect the baseline data for the stream ecosystem conservation in the sandy stream by continuously monitoring changes in the environment and fish in the downstream of the Youngju Dam.

KEYWORDS: Benthic fish, Dam, Fish community, Monitoring, Sand-bed stream

요 약: 낙동강의 지류하천인 내성천은 전형적인 모래하천으로 고유한 생태계의 구조와 기능을 가지고 있다. 그러나 2016년부터 운영되고 있는 영주댐에 의하여 내성천의 댐 하류에서 하상의 변화와 이에 따른 어류상의 변화가 예상된다. 본 연구에서는 2014년부터 2016년까지 모래하천인 내성천에서 어류의 서식환경, 생물상 및 군집구조의 변화를 모니터링하기 위하여, 공사중인 영주댐 하류와 대조지로서 서천에서 하천 환경을 조사하고 어류를 채집하였다. 내성천에 영주댐이 축조되기 시작하면서 댐 직하류에서 하상 재료의 입경 크기가 증가하였다. 영주댐이 운영되기 전 내성천에서는 피라미가 우점하였고, 조사지점에 따라서 끄리, 쉬리, 참마자, 모래무지가 아우점하였다. 내성천에서는 모래 하상에서 특이하게 서식하는 누치, 참마자, 모래무지, 흰수마자, 기름종개, 대동갱이가 발견되었다. 내성천의 영주댐 하류에서 어류군집은 하상 재료의 입경에 따라서 돌마자, 쉬리, 꺾지 등의 자갈 하상 어종 출현 군집과 누치, 기름종개, 흰수마자 등의 모래 하상 어종 출현 군집으로 구분되었다. 또한 이들 군집은 영주댐 건설 이후에 시간이 경과함에 따라서 점차 모래 하상 어류군집에서 자갈 하상 어류군집으로 변하는 경향이 있었다. 그러므로 영주댐 하류 하천에서 환경과 어류상의 변화를 지속적으로 모니터링하여 모래하천의 생태계 보전을 위한 기초자료를 확보하여야 할 것으로 생각된다.

핵심어: 저서어류, 댐, 어류군집, 모니터링, 모래하천

*Corresponding author: khcho@inha.ac.kr, ORCID 0000-0003-4546-3546

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

모래 하상 하천은 우리나라 중하류 하천에서 나타나는 대표적인 하천 유형이다. 이곳에서는 유역 산지의 모암이 풍화되어 입상 붕괴한 조립질의 모래가 다량으로 하천으로 공급된다. 이렇게 공급된 모래가 유수에 의한 침식, 운반 및 퇴적 작용에 의하여 하천 하상을 덮어서 모래하천의 고유한 경관을 유지하게 한다 (Lee et al. 2010). 모래 하천에서는 다양한 형태의 사주가 발달하는데 유수에 의해 형태와 위치가 수시로 변하기도 하고 식생 피복에 의해 그 형태를 유지되기도 한다 (Lee et al. 2013).

모래 하천에서는 모래 하상에서 서식하는 다양한 고유 어종이 서식하고 있다 (Yang and Kwon 1992, Zuanon et al. 2006, Kang et al. 2011, Yoon et al. 2014). 이들 모래 하상 서식 (psammophilous 혹은 sand-dwelling) 어류는 형태적으로나 행동적으로 특이성을 갖는다 (Zuanon et al. 2006). 즉 이들은 모래 하상에서 위장색을 띄거나 은신 행동을 하며, 부착 조류나 유기물을 걸러먹거나 가만히 있다가 (sit-and-wait) 포식하는 특성을 갖는 경우가 많다. 결국 이런 특성을 갖는 어류는 서식지인 하상 구조의 변화에 민감하게 반응할 것으로 생각된다.

현재 우리나라의 모래하천에서는 골재채취, 댐 건설, 하천정비 등의 다양한 교란에 의하여 모래 하상 어류의 서식환경이 급격하게 변화하고 있다 (Lee et al. 2013, 2015). 특히 댐 하류 모래 하천에서는 댐의 의한 수리 및 유사 환경이 변화하여 어류상의 변화가 초래되고 있다 (Bednarek 2001, Kim and Choi 2015). 우리나라의 대표적인 모래하천인 낙동강 지류의 내성천에는 멸종위기종으로 지정된 흰수마자르를 포함한 다양한 모래 하상 서식 어류가 발견되고 있다 (Yang and Kwon 1992, Kang et al. 2011). 최근 하천 환경 변화에 따른 흰수마자르의 보전하기 위하여 이들의 치어를 방류하는 등의 다양한 노력을 하고 있다 (Na et al. 2015). 그러나 2009년부터 낙동강 합류부로부터 56 km 상류의 내성천 중류에 축조되기 시작한 다목적댐인 영주댐이 준공되어 2016년 하반기부터 운영되고 있다 (Kang and Lee 2015). 따라서 영주댐 하류 하천에서는 하천 환경의 변화와 이에 따른 어류 군집 구조의 변화가 예상된다.

그러므로 본 연구에서는 모래하천인 내성천에서 영

주댐 운영 이후에 어류상의 변화를 추적하기 위한 기초선 (baseline) 자료를 마련하기 위하여, 영주댐이 건설 중인 2014년부터 2016년까지 댐 하류 하천에서 댐 운영 이전에 어류의 생물상과 군집구조 및 서식 환경을 파악하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 조사지 개황

조사 대상 하천인 내성천은 낙동강의 제 1지류 하천으로 본류는 경상북도 봉화군에서 발원하여 경상북도 예천군에서 낙동강과 합류하며 유로연장은 108 km이다 (Fig. 1). 지류 하천으로는 상류로부터 낙화암천, 토일천, 서천, 옥계천, 석관천, 한천, 금천이 있다. 내성천은 대표적인 모래 하상 하천으로서 하상이 대부분 중간 내지는 조립질 모래로 구성되어 있다 (Lee et al. 2013). 그러나 2016년부터 내성천 중류인 영주시 평은면에 건설된 영주댐이 운영됨에 따라서 댐 하류에서 급격한 하천 환경 변화와 이에 따른 어류상의 변화가 예상된다 (Lee et al. 2015).

본 연구에서 영주댐으로부터 하류 10 km 구간에서 5개의 조사지점을 선정하였고, 대조지소로서 서천 하류에서 1개 조사지점을 추가하였다 (Fig. 1). 내성천의 조사지점 S1는 댐 직하류의 미립교 상류에 위치하며 이

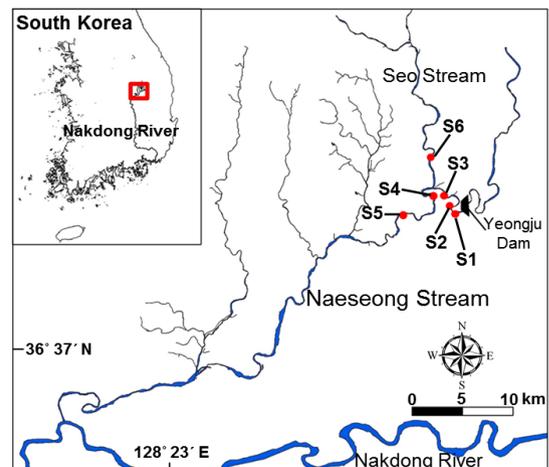


Fig. 1. Map showing the study area in the Naeseong Stream and Seo Stream. The red circle indicates the study site.

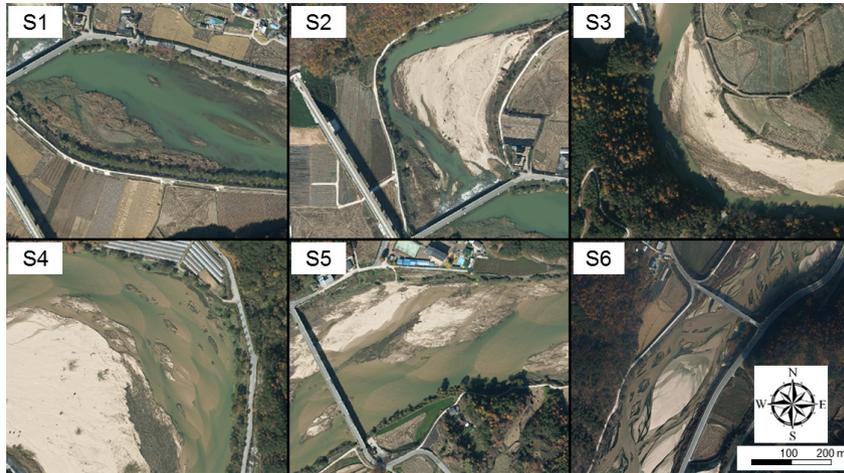


Fig. 2. Aerial photographs showing the study sites in the Naeseong Stream (S1 – S5) and Seo Stream (S6).

곳의 하류에 보가 설치되어 있었다 (Fig. 2). 조사지점 S2는 조사지점 S1과 미림교 하류의 나지 사주 부근에 위치하고 있었다. 조사지점 S3는 무섬교 상류 1 km에 위치하며 사행구간으로 사주가 발달하여 있다. 조사지점 S4는 수도리 무섬마을 하류에 위치하고 있다. 조사지점 S5는 석탑교 상류에 위치하며 좌안에 나지 사주가 넓게 발달하여 있다. 서천 하류에 위치한 조사지점 S6는 석잠교 하류에 위치하고 서천은 상류에 댐이 없는 비조절하천이다.

2.2 현장 조사

어류 및 환경 조사는 2014년 7월부터 2016년 5월까지 총 6회에 걸쳐 실시하였다. 선정된 조사지점에서 매 조사시 투망(망목 7 mm × 7 mm)을 15회 투척하고 족대(망목 4 mm × 4 mm)를 30분간 사용하여 어류를 정량적으로 채집하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하고 계수한 후에 방류하였다. 어류의 동정은 Kim and Park (2002)과 Kim et al. (2005)을 따랐다.

미국 환경청의 하천 표준 조사법 (Lazorchak et al. 1998, Barbour et al. 1999)을 참조하여 어류 서식처의 환경 요인을 조사하였다. 각 조사지점에서 등간격으로 5곳에 횡단면을 설치하였다. 이 단면을 따라서 2 m 간격으로 유속, 수심 및 하상구조를 조사하였다. 유속은 유속계 (Flowwatch, JDC Electronic SA, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 수심은 막대자를 이용하여 측정하였다. 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 참조하여 각 조사지에서 50 cm × 50 cm 방형구를 설치하고

방형구 내에서 가장 우세한 하상 입자를 기록하였다. 각 단면의 평균 유속과 평균 수심을 산출하고 다시 이 값의 평균으로 각 조사지점의 대표치로 산출하였다. 각 조사지점에서 하상구조의 대표치는 각 단면에서 하상 입자의 상대적 빈도를 구하고 이 빈도를 전체 조사지점에서 평균을 계산하여 산출하였다. 조사지점의 저수로 폭은 5개의 횡단면에서 측정하여 평균하였다. 저수로의 식생 분포는 정수식물 (emergent macrophytes)와 목본식물 (overhanging tree)의 2가지 식생형으로 구분하여 식생 피복도를 조사하였다. 각 횡단면의 양안에서 상·하류 5 m의 구간을 관찰하여 식생형별로 식생이 피복하는 하안 길이는 백분율을 측정하였다.

2.3 자료 처리

내성천의 식생사주와 나지사주에서 곤충 군집구조를 종다양성으로 비교하였다. 각 조사지점에서 곤충 군집의 종다양도 지수 (H')와 종균등도 지수 (E')를 산출하였다. 종다양도는 자연로그를 이용한 Shannon의 종다양도 지수를 사용하였다 (Shannon 1948). 종균등도 지수는 군집의 최대 Shannon 종다양도 지수에 대한 실제 종다양도 지수의 비율로서 표시하였다 (Pielou 1975). 내성천의 어류의 서식환경을 파악하기 위하여, 각 조사지점의 환경 자료를 이용하여 주요인분석 (principal component analysis, PCA)를 실시하였다. 조사기간에 총 6번의 조사시기에 각 조사지점별 환경요인을 입력 자료로 하여 R 환경 (R Development Core Team 2013)에서 Vegan package (Oksanen et al. 2015)의 'rda' 함

수로 PCA를 수행하였다. 또한 어류 군집 구조를 파악하기 위하여, 어류종별 수도 자료를 이용하여 비계량형 다차원척도법 (non-metric multidimensional scaling, NMDS)를 실시하였다. 군집구조의 조사지점 사이 거리는 Bray-Curits 방식 (Bray and Curtis 1957)으로 산출하여 NMDS를 R 환경 (R Development Core Team 2013)에서 Vegan package (Oksanen et al. 2015)의 ‘metaMDS’ 함수로 수행하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 환경 특성

내성천의 수로 폭은 서천이 합류하기 전에 위치한 조사지점 (S1, S2 및 S3)에서보다 합류 후에 위치한 조사지점 (S4 및 S5)에서 넓었다 (Table 1). 서천에 위치한 조사지점 (S6)의 수로 폭은 서천 합류 전의 내성천과 유사하였다. 조사지점 S1에서의 수리 환경은 다른 조사지점보다 수심은 깊고 유속이 매우 느렸다. 이러한 이

유는 이곳의 하류에 보가 설치되어 있기 때문이다. 수심은 하류 쪽은 조사지점 S3와 S4가 S2와 S3보다 깊었다. 조사지점 S1을 제외한 조사지점에서 유속은 0.6 - 0.9 m/s의 범위이었다.

내성천의 조사지점인 S3, S4, S5와 서천의 S6에서 하상은 주로 모래 (S)가 우세하였고 자갈 (G)이 다음으로 많았다 (Table 2). 그러나 내성천의 조사지점 S1과 S2에서는 모래와 자갈의 함량이 다른 조사지점보다 적었고 큰자갈 (P) 이상으로 입경이 큰 하상 재료가 많았다. 이들 조사지점 S1과 S2는 공사중인 영주댐 하류에 위치하여 유사 공급이 제한되어 하상의 조립화된 것으로 생각된다. 특히 조사지점 S1에서는 하류에는 보가 설치되어 있어서 유속이 느려지면서 진흙 (M)의 함량이 많았다.

수로변의 총 길이에 대한 정수식물이 피복하는 길이의 백분율 (Cins)은 상류의 조사지점인 S1, S2 및 S3에서는 7% 이상으로서 하류 조사지점보다 높았다 (Table 2). 버드나무 등의 목본식물의 수관에 의한 피복율 (Ccnp)은 0-4%의 범위로 낮았다. 이상의 결과로 보아, 본 조사

Table 1. Comparison of aquatic environmental factors at the at the study sites of the Naeseong Stream (S1 – S5) and Seo Stream (S6) (mean ± SD).

Study site	Water width (m)	Water depth (m)	Water velocity (m/s)
S1	33 ± 8	0.51 ± 0.05	0.00 ± 0.01
S2	36 ± 12	0.24 ± 0.06	0.62 ± 0.33
S3	22 ± 4	0.27 ± 0.08	0.81 ± 0.52
S4	59 ± 19	0.17 ± 0.06	0.75 ± 0.38
S5	60 ± 14	0.16 ± 0.04	0.86 ± 0.55
S6	29 ± 8	0.17 ± 0.06	0.81 ± 0.42

Table 2. Comparison of substratum materials and vegetation cover at the at the study sites of the Naeseong Stream (S1 – S5) and Seo Stream (S6) (mean ± SD).

Study site	Substratum ¹ (%)						Cins (%) ²	Ccnp (%) ³
	M	S	G	P	C	B		
S1	17.5 ± 24.2	36.3 ± 37.7	18.5 ± 19.5	16.7 ± 16.9	11.0 ± 15.5	0.0 ± 0.0	8.5 ± 5.8	3.1 ± 3.0
S2	0.2 ± 0.5	13.2 ± 11.2	15.1 ± 13.2	41.6 ± 19.0	24.4 ± 18.4	5.5 ± 7.5	9.6 ± 7.8	0.0 ± 0.0
S3	1.4 ± 2.3	54.7 ± 29.7	27.6 ± 25.8	9.4 ± 9.6	3.0 ± 5.7	4.1 ± 3.2	7.0 ± 5.7	4.4 ± 3.4
S4	0.1 ± 0.3	57.6 ± 31.9	41.4 ± 31.0	0.6 ± 0.9	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.6	2.6 ± 2.6	1.1 ± 0.9
S5	0.6 ± 1.0	55.7 ± 30.9	37.6 ± 27.2	5.7 ± 8.0	0.2 ± 0.4	0.3 ± 0.4	2.2 ± 2.1	3.5 ± 2.8
S6	3.1 ± 4.3	48.3 ± 22.1	45.0 ± 21.1	3.0 ± 3.4	0.3 ± 0.9	0.3 ± 0.8	5.9 ± 3.8	3.2 ± 3.2

¹Substratum classification by Cummins (1962): M (mud, < 0.1 mm), S (sand, 0.1 – 2 mm), G (gravel, 2 – 16 mm), P (pebble, 16 – 64 mm), C (cobble, 64 – 256 mm), B (boulder, > 256 mm)

²Cins, percentage of channel-line covered by emergent macrophytes

³Ccnp, percentage of channel-line covered by overhanging tree canopy

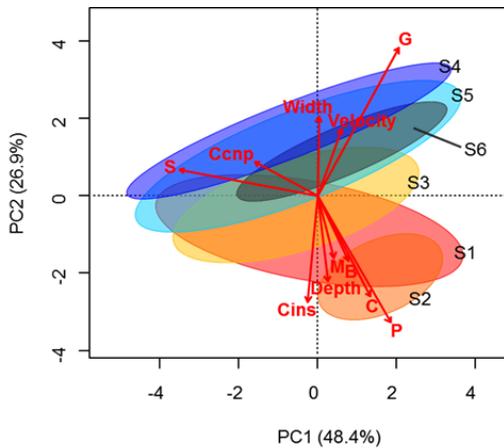


Fig. 3. The biplots of the principal components analysis (PCA) results using environmental factors at the study sites in the Naeseong and Seo Stream. The ellipses show the extent of the environment that changed at each site over time. Abbreviation refers to Table 1 and Table 2.

지점에서 사주에는 식생이 아직 번성하지 않은 것으로 판단된다.

2014년부터 2016년까지 조사시기에 따른 조사지점별 환경을 주요인분석(PCA)을 실시한 결과에서 영주댐 하류에서 상류에 위치한 조사지점 S1과 S2가 가까이 위치하였고 보다 하류에 위치한 조사지점 S4와 S5가 서로 가까이 위치하였다(Fig. 3). 조사지점 S1과 S2는 수심이 깊고, 하상에 보다 진흙, 큰자갈, 호박돌, 전석이 많으며 정수식물 피복율이 높았다. 반면에 조사지점 S4와 S5는 수로 폭이 넓고, 유속이 빠르며, 모래와 자갈의 함량이 많고, 목본식물 피복율이 높은 경향이였다. 조사지점 S3의 환경특성은 상류와 하류 쪽의 조사지점 환경 특성의 중간 정도를 나타내었다. 또한 서천 조사지점인 S6는 내성천 조사지점 S4와 S5의 환경과 유사하였다.

3.2 어류상

영주댐 운영 전인 2014년 7월부터 2016년 5월까지 내성천의 댐 하류와 서천에서 채집된 어류는 총 10과 23속 26종이었다(Table 3). 이러한 결과는 영주댐 하류 내성천 조사 구간에서 보고된 Yang and Kwon (1992)의 22종 및 Kang et al. (2011)의 25종과 비슷하였다. 선행 연구 결과와 비교하면 이번 조사에서 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)와 쏘가리(*Siniperca*

scherzeri)가 새로 발견되었다. 그러나 모래주사(*Microphysogobio koreensis*), 벵들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 갈겨니(*Zacco temminckii*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 땡경모치(*Microphysogobio jeoni*) 등은 더 이상 발견되지 않았다.

내성천과 서천의 조사지점별 출현 종수는 평균 18.4종이었다(Table 3). 출현종수는 영주댐의 직하류인 조사지점 S1에서 21종으로서 가장 많았다. 특히 떡붕어, 큰입배스, 쏘가리가 이곳에서만 발견되었다. 이곳은 보에 의하여 유속이 느려진 구간이 형성되어 있었고 댐 공사로 하상재료가 굵어졌다. 따라서 하류의 다른 구간에 비하여 더 다양한 어류상을 나타낸 것으로 생각된다.

내성천에서 환경부 지정 멸종위기종인 흰수마자(*Gobiobotia naktongensis*)는 모래 하상이 유지되고 있는 조사지점 S3, S4 및 S5에서 발견되었다(Table 3). 반면에 외래종인 큰입배스(*Micropterus salmoides*)는 S1의 보 상류의 정체수역에서 채집되었다. 주로 모래 하상에 서식하는 어류로서는 누치(*Hemibarbus labeo*), 참마자(*H. longirostris*), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*), 흰수마자, 기름종개(*Cobitis hankugensis*), 대동갱이(*Leiocassis ussuriensis*)가 내성천의 조사구간에서 발견되었다. 이들은 영주댐 운영 이후에 하상이 변동되면 영향을 크게 받을 것으로 예상되는 어종인 것으로 생각된다.

3.3 어류종의 수도와 다양도

내성천과 서천의 전체 조사 지점에서 출현한 어류 중에서 상대수도(relative abundance)는 피라미(*Zacco platypus*) (51.9%) > 꼬리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*) (7.3%) > 모래무지(6.6%) > 참마자(6.0%) > 돌고기(*Pungtungia herzi*) (5.6%)의 순이었다(Table 3). 따라서 피라미가 전체 수도의 절반 이상을 차지하는 우점종이었다. 모든 조사지점에서 우점종은 피라미이었다(Table 4). 아우점종은 내성천의 S1과 서천의 S6에서는 꼬리이었고, S2에서는 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), S3에서는 참마자, S4와 S5에서는 모래무지이었다. 현재의 우점종을 과거의 연구 결과와 비교하면, 1988년에는 갈겨니, 기름종개, 벵들치, 피라미 등이 우점하였던 것과 큰 차이가 있었다(Yang and Kwon 1992). 또한 2007 - 2009년에는 파라미가 우점하였고 갈겨니, 모래무지, 흰수마자 등이 아우점종이었던 결과

Table 3. Fauna and individual numbers of fish collected at the study sites of the Naeseong Stream (S1 –S5) and Seo Stream (S6).

Species	Study site						Total	RA1 (%)
	S1	S2	S3	S4	S5	S6		
Cyprinidae								
<i>Cyprinus carpio</i>	2	0	0	1	1	0	4	0.1
<i>Carassius auratus</i>	28	4	0	2	3	5	42	1.1
<i>Carassius cuvieri</i>	4	0	0	0	0	0	4	0.1
<i>Pseudorasbora parva</i>	13	0	0	0	4	1	18	0.5
<i>Pungtungia herzi</i>	40	59	33	26	14	34	206	5.6
<i>Coreoleuciscus splendidus*</i>	0	80	21	5	11	0	117	3.2
<i>Squalidus gracilis majimae*</i>	40	6	0	0	6	0	52	1.4
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae*</i>	2	26	9	0	11	19	67	1.8
<i>Hemibarbus labeo</i>	41	18	9	13	30	21	132	3.6
<i>Hemibarbus longirostris</i>	21	57	63	32	37	11	221	6.0
<i>Pseudogobio esocinus</i>	30	22	51	61	57	23	244	6.6
<i>Gobiobotia naktongensis*</i>	0	0	1	2	15	0	18	0.5
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	24	13	0	0	0	0	37	1.0
<i>Zacco platypus</i>	256	329	282	304	379	367	1,917	51.9
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	80	31	15	34	15	95	270	7.3
Cobitidae								
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	13	2	6	17	11	30	79	2.1
<i>Cobitis hankugensis*</i>	3	0	7	7	11	3	31	0.8
Bagridae								
<i>Leiocassis ussuriensis</i>	0	4	1	0	0	8	13	0.4
Siluridae								
<i>Silurus asotus</i>	1	0	1	0	0	0	2	0.1
Amblycipitidae								
<i>Liobagrus mediadiposalis*</i>	0	3	0	0	1	0	4	0.1
Centropomidae								
<i>Coreoperca herzi*</i>	9	28	20	12	12	9	90	2.4
<i>Siniperca scherzeri</i>	6	0	0	0	0	0	6	0.2
Centrarchidae								
<i>Micropterus salmoides#</i>	2	0	0	0	0	0	2	0.1
Odontobutidae								
<i>Odontobutis platycephala*</i>	14	5	13	10	19	16	77	2.1
Gobiidae								
<i>Rhinogobius brunneus</i>	4	9	5	3	15	0	36	1.0
Belontiidae								
<i>Macropodus chinensis</i>	0	0	0	0	0	6	6	0.2
Number of species	21	17	16	15	19	15	26	
Number of individuals	633	696	537	529	652	648	3,695	

¹RA, Relative abundance; * Korean endemic species, #exotic species

Table 4. Simpson's species diversity index (H'), Pielou's species evenness index (E') and dominants species (numeral in the parenthesis is relative abundance) at the study sites of the Naeseong Stream (S1 – S5) and Seo Stream (S6).

Study Site	Species diversity (H')	Species evenness (E')	Dominant species
S1	0.80	0.71	<i>Zacco platypus</i> (40%), <i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i> (13%)
S2	0.74	0.68	<i>Zacco platypus</i> (47%), <i>Coreoleuciscus splendidus</i> (12%)
S3	0.69	0.63	<i>Zacco platypus</i> (53%), <i>Hemibarbus longirostris</i> (12%)
S4	0.64	0.59	<i>Zacco platypus</i> (58%), <i>Pseudogobio esocinus</i> (12%)
S5	0.64	0.59	<i>Zacco platypus</i> (58%), <i>Pseudogobio esocinus</i> (9%)
S6	0.65	0.60	<i>Zacco platypus</i> (57%), <i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i> (15%)

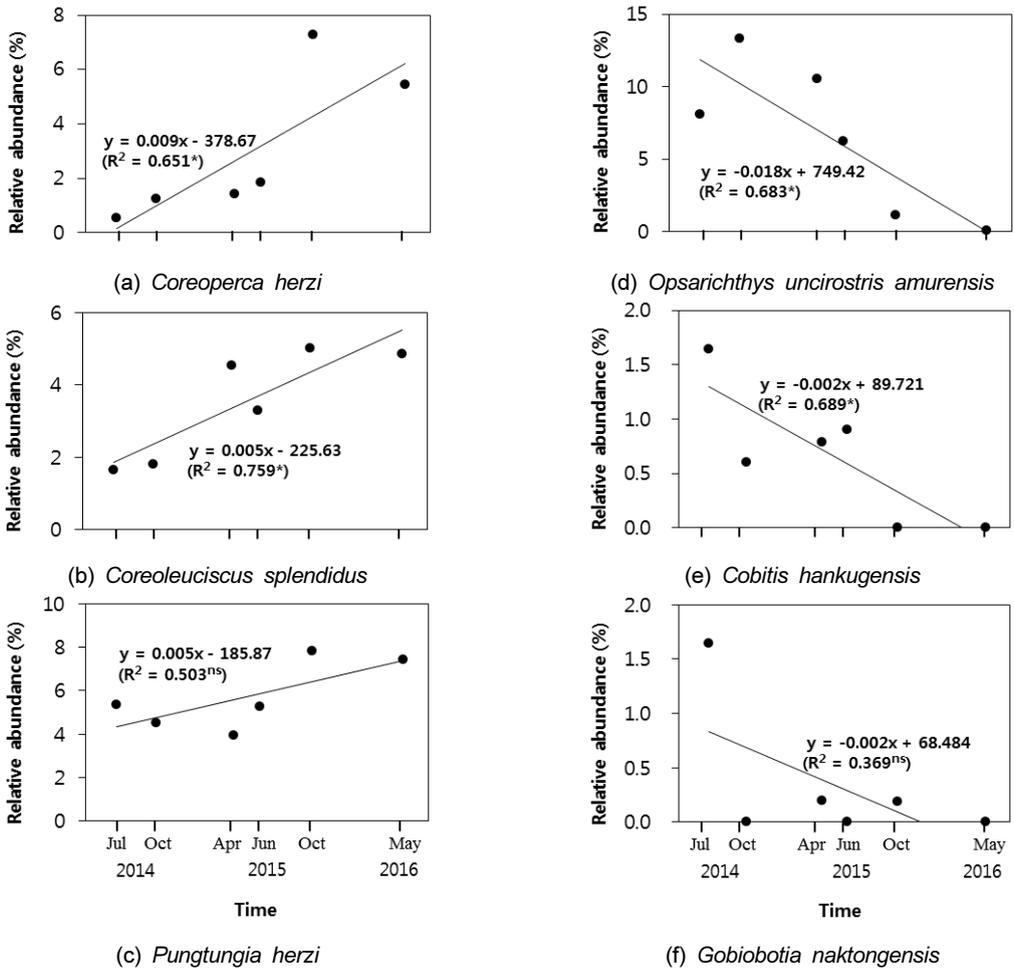


Fig. 4. Changes in the relative abundance of major fish over the study time in the Naeseong Stream and Seo Stream (line, linear regression line, R², coefficient of determination; *, p<0.05; ns, p>0.05).

와 비교하면 아우점중에서 차이가 있었다 (Kang et al. 2011).

조사지별 종다양도지수는 조사구간에서 상류인 조사 지점 S1에서 0.80으로 가장 높았고 하류로 갈수록 감소

하여 조사지점 S5에서는 0.64이었다 (Table 4). 서천의 조사지점 S6에서도 종다양도지수가 0.65로 낮았다. 종 균등도지수 또한 상류에서 하류로 갈수록 감소하였다.

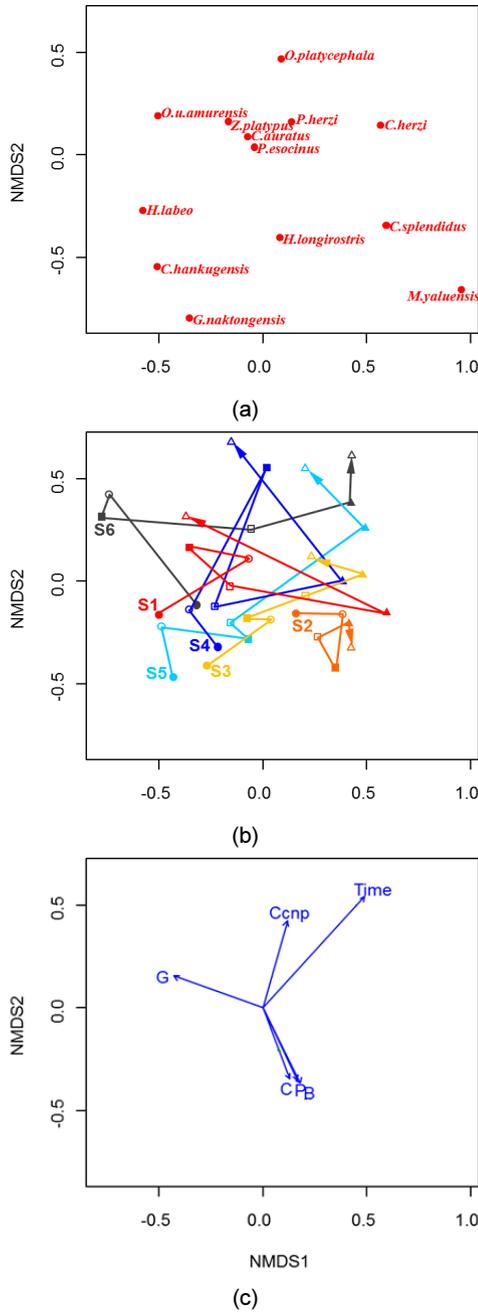


Fig. 5. Ordination biplot of non-metric multidimensional scaling (NMDS) based on the fish communities collected at the study sites of the Naeseong Stream and Seo Stream. (a) Red dot indicates fish species. Species name refer to Table 3. (b) Changes of fish communities over the sampling time from July 2014 to May 2016. Abbreviations for the sampling sites refer to Fig. 1. (c) The length and angle of arrows show the contribution of the environmental variables and the elapsed time to the NMDS axes. Abbreviations for the environmental factors refer to Table 2.

3.4 어류종 수도의 시간적 변화

내성천에서 2014년 7월부터 2016년 5월까지 어류종의 수도 변화를 직선회귀분석으로 파악하였다(Fig. 4). 최근에 꺾지와 쉬리의 상대수도는 증가하였고, 돌고기의 상대수도는 유의하지는 않으나 증가하는 경향이 있었다. 이들 종은 자갈 하상에서 서식하는 특성을 지니고 있다. 반면에 끄리와 기름종개의 상대수도는 감소하였고, 흰수마자도 유의하지는 않으나 감소하는 경향이 있었다. 이들 감소 경향의 종 중에서 기름종개와 흰수마자는 전형적인 모래 하상에 서식하는 어종이었다. 따라서 건설중인 영주댐의 하류에서는 자갈 하상 서식종은 증가하고 모래 하상 서식종은 감소하는 것으로 판단된다.

3.5 어류 군집 구조

내성천과 서천에서 2014년 7월부터 2016년 5월까지 각 조사시기에 따른 조사지점별 출현 어종의 수도 자료를 이용하여 비모수다차원척도법(NMDS)을 수행하였다(Fig. 5). 어류 종의 배열에서는 1축의 왼쪽에 돌마자(*M. yaluensis*), 쉬리(*C. splendens*), 꺾지(*C. herzi*) 등이 위치하였다(Fig. 5a). 이들은 주로 자갈 하상에 서식하는 어종이었다. 또한 오른쪽 아래에는 누치(*H. laleo*), 기름종개(*C. hankugensis*), 흰수마자(*G. naktongensis*) 등이 위치하였다. 이들은 주로 모래 하상에 서식하는 종이었다. 나머지 종들은 1축의 중앙에 넓게 분포하였다.

조사시기별 조사지점의 비모수다차원척도법(NMDS)에 의한 배열에서 조사지점 S2와 S3가 오른쪽 아래에, 조사지점 S1과 S6이 왼쪽 위에 서로 가까이 위치하였다(Fig. 5b). 조사시기의 경과를 표시하고 있는 화살표는 대체로 오른쪽 위로 향하여 전체 조사지점에서 시간 경과에 따라서 일정한 방향으로 어류 군집의 변화가 일어나는 것으로 판단되었다. 비모수다차원척도법(NMDS) 배열에서 환경요인의 영향을 나타낸 그림에서도 시간의 경과가 오른쪽 위로 나타났다(Fig. 5c). 시간의 경과에 따라서 사주에 목본 피복율이 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결론

우리나라의 대표적 하천 유형의 하나인 모래하천에서는 모래 하상에 특이적인 어류가 서식하고 있다

(Kang et al. 2011, Yoon et al. 2014). 낙동강의 주요한 지류인 내성천은 영주댐 축조 전까지 모래하천으로 특성을 보존하고 있었다 (Lee et al. 2013). 그러나 공사중인 영주댐의 직하류에서는 댐 운영 전에 이미 하상 재료의 입경 크기가 다른 조사지점에 비하여 컸다 (Table 2). 이러한 하상 변화는 댐 조성지에서 하류로의 미립질의 유사 공급이 제한되기 때문인 것으로 생각된다. Kim and Choi (2015)는 내성천에서 영주댐의 직하류로부터 하상 침식과 장갑화가 진행되어 점차 모래하천에서 자갈하천으로 변할 것으로 예상하였다.

영주댐이 운영되기 전인 댐 하류 내성천에서는 피라미가 우점하였고 조사지점에 따라서 쾰리, 쉬리, 참마자, 모래무지가 아우점하였다 (Table 3). 한편 모래하상에서 특이하게 서식하는 누치, 참마자, 모래무지, 흰수마자, 기름종개, 대동갱이가 발견되었다. 그러나 영주댐이 축조되는 과정에서도 내성천에서 어류 군집의 변화가 관찰되었다. 모래 하상에 서식하는 기름종개와 흰수마자는 감소하고 자갈 하상에 서식하는 꺾지와 쉬리는 증가하는 경향이였다 (Fig. 4).

내성천의 영주댐 하류에서 어류 군집은 하상 재료의 입경에 따라서 돌마자, 쉬리, 꺾지 등의 자갈 하상 어종 출현 군집과 누치, 기름종개, 흰수마자 등의 모래 하상 어종 출현 군집으로 구분되었다 (Fig. 5). 또한 이들 군집 구조는 영주댐 건설 이후에 시간이 경과함에 따라서 점차 모래 하상 어류 군집에서 자갈 하상 어류 군집으로 변하는 경향이였다.

이상의 결과로 보아서, 앞으로 영주댐이 운영됨에 따라서 모래 하상 지표종이 하상 환경 변화에 크게 영향을 받을 것으로 생각된다. 그러므로 영주댐 하류 하천에서 환경과 어류상의 변화를 지속적으로 모니터링하여 모래하천의 생태계 보전을 위한 기초자료를 확보하여야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling,

- J.B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA.
- Bednarek, A.T. 2001. Undamming rivers: a review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management* 27(6): 803-814.
- Bray, J.R. and Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27(4): 325-349.
- Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *The American Midland Naturalist* 67(2): 477-504.
- Kang, G.H. and Lee, W.S. 2015. Introduction of Yeongju Multipurpose Dam construction project. *Water for Future* 48(3): 63-70. (in Korean)
- Kang, Y.H., Kim, S.K., Hong, G.-B and Kim, H.-S. 2011. Change of fish fauna and community structure in the Naeseong Stream around the planned Yeongju Dam. *Korean Journal of Limnology* 44(2): 226-238. (in Korean)
- Kim, I.S and Park, J.Y. 2002. *Freshwater Fishes of Korea*. Kyohaksa, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kim, I.S, Choi, Y., Lee, C.R., Lee, Y.J., Kim, B.J. and Kim, J.H. 2005. *Illustrated Book of Korean Fishes*. Kyohaksa, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kim, S.K. and Choi, S.U. 2015. Simulation of change in physical habitat of fish using the mobile bed model in a downstream river of dam. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2(4): 317-323. (in Korean)
- Lazorchak, J.M., Klemm, D.J. and Peck D.V. 1998. *Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters: Field Operations and Methods for Measuring the Ecological Condition of Wadeable Streams*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA.
- Lee, C.J., Chung, S.J. and Hwang, S.Y. 2013. Study on the monitoring of the changes in landform and riparian vegetation of sand-bed stream before the dam construction: in the case of Naesung Stream before the dam construction. 46(5): 120-127. (in Korean)
- Lee, C.J., Kim, J.S., Kim, K.H. and Shin, H.S. 2015. Analysis on fluvial geomorphological characteristics based on past and present data for river restoration: an application to the Miho River and the Naesung River. *Journal of Korea Water Resources Association* 48(3): 169-183. (in Korean)
- Lee, G.R., Cho, Y.D., Kim, D.S., Kim, J.S., Jeong, W.H., Cho, H.J. and Yun, K.H. 2010. A study on geomorphic environments and sediments of channels at Naeseongcheon River in Gyeongpook Province. *Journal of the Korean Association of Regional Geographers* 16(2): 85-99. (in Korean)
- Na, J.Y., Choi, B.S., Hwang, S.C. and Yang, H. 2015. Augmentation and monitoring of an endangered fish, *Gobiobotia naktongensis* in Naeseongcheon Stream,

- Korea. Ecology and Resilient Infrastructure 2(3): 216-223. (in Korean)
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. and Wagner, H. 2015. Package 'vegan', Community Ecology Package. <http://vegan.r-forge.r-project.org>. Assessed 1 August 2015.
- Pielou, C.E. 1975. Ecology Diversity. Wiley, New York, USA.
- R Development Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. Assessed 1 March 2015.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal 27: 379-423 and 623-656.
- Yang, H.J. and Kwon, O.T. 1992. On the ichthyofauna and ecological survey of freshwater fishes in the Naesong River. Journal of Environmental Sciences (Kyungbook National University) 6(1): 15-29. (in Korean)
- Yoon, S.J., Choi, J.K. and Lee, H.G. 2014. Comparison of fish distribution characteristics by substrate structure in the 4 streams. Korean Journal of Environment and Ecology 28(3): 302-313. (in Korean)
- Zuanon, J., Bockmann, F.A. and Sazima, I. 2006. A remarkable sand-dwelling fish assemblage from central Amazonia, with comments on the evolution of psammophily in South American freshwater fishes. Neotropical Ichthyology 4(1): 107-118.