J. Korean Soc. For. Sci. Vol. 108, No. 2, pp. 224~232 (2019)
https://doi.org/10.14578/jkfs.2019.108.2.224

한국산림과학회지
JOURNAL OF KOREAN SOCIETY OF FOREST SCIENCE
ISSN 2586-6613(Print), ISSN 2586-6621(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

산지계류에 설치된 계상구조물이 어류의 이동에 미치는 영향: 버들치를 중심으로

마호섭[1] · 박재현[2*]

[1]경상대학교 환경산림과학부(농업생명과학연구원), [2]경남과학기술대학교 산림자원학과

Influence on the Movement of Fish by the Installation of Structures in Mountain Streams: Focused on Chinese Minnow

Ho-Seop Ma[1] and Jae-Hyeon Park[2*]

[1]*Division of Forest Environment Science, Gyeongsang National University (Institute of Agriculture Llife Science), Jinju 52828, Korea*
[2]*Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea*

요 약: 산지계류에서 다양한 계상공작물의 설치에 따른 어류의 상부 및 하부로의 이동상태를 조사하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다. 콘크리트 박스공과 같은 개방형 구조물의 경우 강우의 영향으로 유량이 늘어나는 시기에는 낙차의 높이가 줄어드는 효과가 발생하여 버들치와 같은 유영성 어류들은 상부에서 하류로의 이동과 하부에서 상부로 소상하는데 비교적 양호하였다. 또한, 1 m 미만의 돌낙차공, 돌바닥막이 등 횡단 계상구조물은 상부에서 방사한 버들치의 개체가 하부에서 재 포획되어 구조물 상부에서 하부로의 이동은 가능하였으나, 유량이 많은 장마 직후에도 하부에서 상부로의 소상은 어려운 것으로 나타났다. 특히, 3 m 이상의 사방댐 등 횡단 사방공작물도 댐의 하단부에 물빼기 구멍의 수가 적거나 어류를 위한 소통 공간이 없는 경우는 유량이 많아도 버들치의 이동에 제한을 받고 있는 것으로 나타났다. 버들치는 활발하게 행동은 하지만 계상구조물의 유형 및 구조적인 특성에 따라 이동에 제한을 받고 있다. 산지 계류에서 구조물을 설치할 때에는 구조물의 종류, 높이 및 어류서식 상태와 평소 계류에 물이 있는 지를 고려하여 어류가 소통할 수 있도록 가능한 높이를 낮추거나 개방형의 구조물을 적절하게 설치할 필요성이 있다.

Abstract: The movement of fish to the upper and the lower parts of a mountain stream was investigated based on the installation of specific types of structures within the stream. The results indicated that as the flow rate increases after a rain, the height of the drop in an open-type structure, such as a concrete box, is decreased so that the floating fishes, such as the Chinese minnow fish, move relatively easily from the upper to the lower parts and from the lower to the upper parts of the stream. In contrast, the fishes released from an upper point of a wall-type structure with <1 m, such as rocks drop works and stone masonry for stream-grade stabilization, were trapped in the lower part of the stream and, even after the rainy season, it was difficult for the fish to move from the lower to the upper parts of the stream. In particular, the barrier-type structures ≥3 m limit the movement of fish, even when there are few drainage holes at the lower end of the dam, and there is no space for the fishes to communicate with each other, even when the flow rate is high; therefore, although the fish are active, they are restricted to move according to the type and characteristics of the structures. When installing structures in a mountain stream, the height of the structure must be low enough to allow the fish to communicate with each other or an open-type structure must be installed. The fish habitat and water conditions within the stream must be considered when designing the type and height of the in-stream structures.

Key words: *chinese minnow, communication space, open type structures*

* Corresponding author
E-mail: pjh@gntech.ac.kr
ORCID
Ho-Seop Ma https//orcid.org/0000-0002-2698-0639
Jae-Hyeon Park https://orcid.org/0000-0002-1446-7547

서 론

산지계류는 동물 및 식물의 서식에 필요한 다양한 미소환경을 가지고 있어 생물다양성의 보존 및 유지에 매우 중요하므로 계상 구조물을 설치할 때는 계류의 특성과 생태계를 고려하여 설치되어야 한다. 황폐계류 내에 시공된 다양한 계상 구조물들은 산지계류 생태계의 안정성을 고려하여 시공되어야 하지만, 주로 토사 석력의 이동을 방지하고, 사면의 안정 및 계류의 재해를 예방하거나 이용자들 편의 및 안전을 목적으로 설치된 것이 대부분이다.

산지계류의 계상구조물 중 횡구조물들은 산지재해 예방 및 계류의 안정화를 가져온 반면 계류의 단절로 인하여 어류의 소상 기회를 차단하는 등 계류 생태계의 변화를 가져왔다(Lee et al., 2003; Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2007; Ma et al., 2008b). 계상공작물은 계류의 특징 및 사업의 목적에 따라 구조물의 종류 및 설치 방법에 따라 계류의 안정성 및 계류생태계 미치는 영향이 다양할 것이다. 또한, 현재 계곡 내 설치된 인공구조물이 계류생태계에 얼마나 영향을 미치는가에 대한 체계적인 조사나 적절한 관리를 하기에도 여러 가지 어려움이 있다.

산지계류 내 계상구조물의 설치 후 계류생태계의 평가는 화학적 지표에 의한 수질로서 간접적으로 평가하기 보다는 서식하고 있는 생물로서 직접 평가하는 것이 바람직하다. 이러한 직접적인 방법으로 계류생태계의 서식처 구조와 기능 연구를 위한 평가지표로 하천생물 중에서 가장 다양하고 많은 개체수를 형성하고 있는 저서성 대형무척추동물을 이용하여 환경교란에 따른 생물학적 모니터링 분석을 많이 하였다(Hynes, 1970; Ward, 1992; Joo et al., 1997; Won et al., 2006; Morse et al., 2007; Kim, 2011).

1990년도 중반부터 환경에 대한 국민적 요구가 높아져 산지계류에서 실시하는 야계사방 사업도 다양한 생물들이 공존할 수 있도록 많은 노력을 기울이고 있다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2007). 최근에 산지계류의 사방사업으로 인한 환경피해 정도를 파악하고 예방하기 위하여 시공 전 생물학적 조사방법의 정립(Chun et al., 2003a; 2003b)과 계상공작물 설치에 따른 계류생태계의 영향을 분석한 연구가 수행된 바 있다(Ma et al., 2008a; 2008b; Lee et al., 2009). 또한, 사방댐에 설치된 어도에서 어류의 이동효과를 조사한 바 있다(Lee et al., 2003),

어류는 일반적으로 먹이, 성장, 산란, 월동 등을 위하여 특정 시기에 하천과 바다를 왕래하는 회유를 한다. 어류는 흐름 방향을 거슬러 이동하려는 특성이 있으며, 회유성 어류는 이 특성이 강하고 회유성 아닌 어류는 이 성질이 약하다(Han et al., 1999; Park et al., 2009). 특히, 하천 하류부에서 보의 설치에 따른 어류의 이동 변화(Lee et al., 2015; Kil et al., 2007) 및 어도를 이용한 어류의 소상을 연구한 보고서도 다수 있다(Hwang and Hur, 2000; Kim et al., 2001; Choi et al., 2016). 그러나 산지계류에서 계상구조물의 시공 후 직접적으로 많은 영향을 받는 어류생태계 교란 및 이동에 관한 연구는 없으므로 매우 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 계상구조물이 설치된 산지계류에 어류의 상류 및 하류로의 이동상태를 조사 분석하여 앞으로 친환경적 계상구조물의 모델개발과 기존 구조물의 구조개선 방안을 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

조사대상지인 북한산국립공원은 행정구역상 서울특별시와 경기도에 걸쳐 있으며, 북위 37°35′54”~37°43′54”, 동경 126°56′05”~127°03′04”에 위치하고 그 면적은 79,916 ㎢에

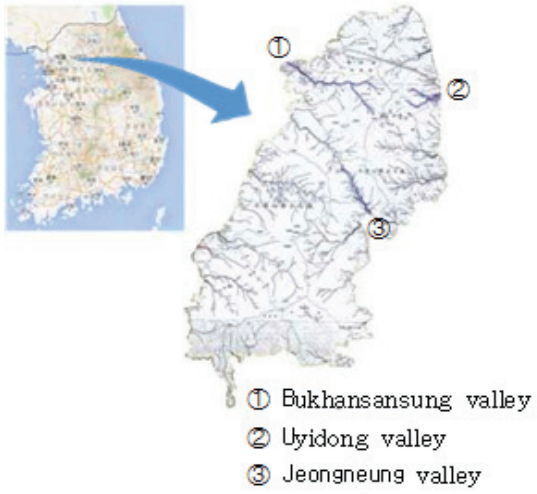

Figure 1. The location map of study area.

Figure 2. The cluster of chinese minnow in valley in study area.

(a) Rock drops structures of bukhansansung valley

(b) Concrete box structures of uyidong valley

(c) Stone erosion control dam in of jungreung valley

Figure 3. The view of structures in study area.

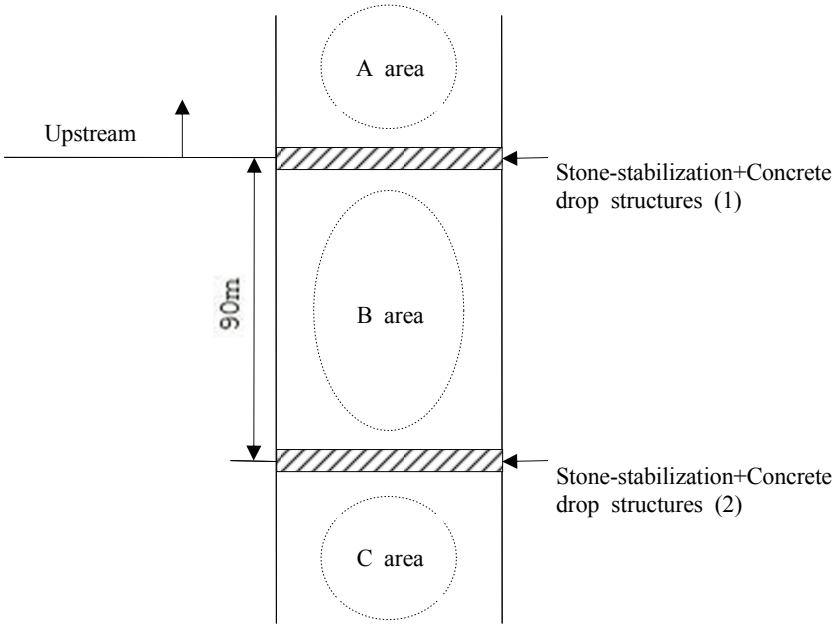

Figure 4. Investigation point and location of continues erosion control structures.

이른다(Figure 1). 북한산(836 m)과 도봉산(717 m)을 포함하는 북한산국립공원의 지정은 1983년 4월 2일 우리나라의 제 15호 국립공원으로 지정되었으며, 세계적으로 드물게 대도시 구역 안에 위치하는 자연생태보전지역이다(National Park Management Corporation, 2011).

북한산국립공원에서는 버들치, 피라미, 꺽지, 모래무지 등 총 13종의 어류가 분포하고 있다(National Park Management Corporation, 2011). 본 연구에서는 조사지역의 계류에 폭넓게 분포하는 우점종인 버들치를 선정하였다(Figure 2). 버들치는 산간 계류에서 서식하는 1급수 지표종으로 계류 생태 및 계류 수질을 파악하는데 중요한 어류이다. 활발하게 행동하는 잡식성으로 갑각류, 곤충류, 작은 동물 및 식물종자 등을 먹는다. 몸의 길이는 8-15 cm이며, 몸통은 길고 옆으로 납작하다. 산란기는 5-6월이며, 물이 느리게 흐르는 여울에서 알을 낳는다(Han et al., 1999).

본 조사대상지는 사방공작물의 설치에 따른 버들치의 소상능력을 파악하기 위하여 유량이 어느 정도 확보되어 있는 북한산성 계곡의 돌낙차공 1개 지점[Figure 3(a)],

Table 1. Label method of chinese minnow in Erosion Control Structures.

Types	Label method	Label
Upper tail cut		U
Down tail cut		D
Upper & Down tail cut		UD

우이동계곡의 콘크리트 낙차공 1개 지점[Figure 3(b)], 정릉계곡의 청수폭포 상부에 위치한 돌사방댐 1개 지점[Figure 3(c)] 및 돌바닥막이 공작물이 약 90 m 거리를 두고 연속적으로 설치된 1개 지점(Figure 4) 등 총 4개 지점을 선정하였다. 조사구간은 계상구조물을 중심으로 상류 및 하류에 각각 50 m 거리 내에서 총 100 m 구간에서 이루어 졌으며, 연속구조물이 설치된 지점은 약 200 m 구간에서 실시되었다.

조사 시기는 버들치의 산란기를 전후하여 부화된 치어가 유속이나 유량 등 물리적 영향에 의해 하류로 이동되고 성체가 산란을 위해 하류에서 상류로 소상하는 형태를 감안하여(Han et al., 1999) 4월에서 9월 사이에 총 3차에 걸쳐 조사하였다. 1차 조사는 봄 시기인 4월 강우가 내린 후 공작물 위로 물이 흐르는 시점에 실시하였으며, 2차 조사는 7월 장마가 끝이 나고 계류에 유량이 풍부한 시기에 실시하였고, 3차 조사는 9월 강우가 내린 후 계류에 유량이 비교적 풍부할 때 실시하였다.

어류의 이동상태를 조사하기 위하여 버들치의 포획은 물이 흘러가는 방향에 따라 계상구조물을 중심으로 상류와 하류로 구분하고 각각 2기의 어류채집용 어항트랩을 설치하여 포획하였다. 포획한 버들치는 채집한 위치에서 상류와 하류로의 이동에 영향이 없을 정도라고 생각되는 꼬리지느러미 일부를 절단하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2007). 특히, 구조물의 상류에서 포획한 버들치는 꼬리지느러미 상부 3 mm를 절단 표지하였으며, 하류에서 채집한 버들치는 꼬리지느러미 하부 3 mm를 절단 표지하고 방사하여 상류와 하류로의 이동을 조사하였다.

또한, 돌바닥막이 구조물이 연속적으로 배치된 복합구조물에서는 A, B, C의 3개 지점으로 구분하여 버들치를 포획하였다(Figure 3). A지점에서 포획한 버들치는 꼬리지느러미 상부 3 mm 정도를 절단 표지하여 방사하였고, B지점에서 포획한 버들치는 꼬리지느러미 하부 3 mm 정도를 절단 표지하여 방사하였다. 그리고 C지점에서 포획한 버들치는 꼬리지느러미 상부 및 하부 3 mm 정도를 절단 표지하여 방사하였다(Table 1).

각 계상구조물이 설치된 지점에서 포획-방사-재 포획(capture-release-recapture method)를 이용하여 버들치의 이동상태를 조사하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2007).

결과 및 고찰

1. 돌낙차공 구조물에 의한 버들치의 이동 영향

본 연구지역인 북한산성계곡에 설치되어 있는 돌낙차공은 높이 0.4 m, 폭 약 1 m로서 단일 횡단구조물이다. 이 계곡에서 측정한 장마 전의 평균유속은 약 28 cm/s, 장마 후 평균유속은 37 cm/s 이었다. 각 조사지점에서 버들치의 포획 및 재 포획을 통한 상·하류로의 이동 상황을 조사한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보면 봄 시기인 1차 조사 시 구조물의 상류에서 포획한 버들치는 13개체이며, 13개체 모두 버들치의 꼬리 상부를 절단 표지(13U)하여 동일한 지점에 방사하였다. 구조물의 하류에서도 24개체를 포획하였으며, 포획한 24개체 모두 버들치의 꼬리 하부를 절단 표지(24D)한 후 포획한 장소에 방사하였다.

장마 후 2차 조사는 구조물의 상류에서 10개체가 포획되었으며, 이중에서 꼬리 상부가 절단 표지된 2개체(2U)가 재 포획되었다. 또한, 꼬리 상부가 절단 표지된 2개체

를 제외하고 나머지 8개체는 꼬리 상부를 절단 표지(8U)하여 10개체 모두 동일한 지점에 방사하였다. 구조물의 하류에서는 37개체가 포획되었으며, 이중에서 1차 조사에서 꼬리 상부가 절단 표지되어 방사된 1개체(1U)가 하부로 이동되어 재 포획되었고, 꼬리 하부가 절단 표지되어 방사된 24개체 중에서 7개체(7D)가 재 포획되었다. 또한, 꼬리가 절단 표지된 8개체를 제외하고 나머지 29개체는 꼬리 하부를 절단 표지(29D)하여 1개체는 상류, 36개체 모두 하류 지점에 방사하였다.

3차 조사에서 구조물의 상류에서는 13개체가 포획되었으나, 1차와 2차 조사에서 방사한 23개체(23U) 중 2개체(2U)가 재 포획되었다. 하류에서는 27개체가 포획되었으나, 1차와 2차 조사에서 방사한 61개체(61D) 중 5개체가 재 포획되었다. 이중에서 꼬리 상부가 절단 표지된 1개체(1U)가 하부로 이동되어 재 포획되었고, 꼬리 하부가 절단 표지되어 방사된 5개체(4D)도 재 포획되었다.

이상의 결과를 정리하면, 꼬리 상부가 절단 표지된 개체가 하류에서 재 포획되어 버들치가 구조물의 상류에서 하류로 이동한 것으로 나타났다. 일반적으로 버들치는 매우 활발한 어종이지만 이동거리는 그리 길지 않은 것으로 알려져 있다(Han et al., 1999). 버들치를 포함하여 어류는 대게 유영과 도약에 의하여 이동하고, 그 추진력은 몸을 비틀거나 좌우로 흔들 때 발생된다. 특히, 어류의 유영에는 장시간 계속해서 움직일 수 있는 순항이동과 순간적으로 움직이는 돌진이동이 있으며, 어종에 따라 다르지만 순항이동은 혈합근을 이용하고 돌진이동은 보통근을 사용하기 때문에 돌진이동 시 어류가 쉽게 피로할 수 있다(Kim et al., 2001; Park et al., 2009).

따라서 이 연구에서 나타난 상류에서 하류로의 이동은 유수가 흐르는 방향으로의 자연스러운 순항이동에 의한 유영이며, 장마기간 동안 증가된 유량 및 유속 등 외부의 물리적 요인에도 영향을 받았을 것으로 사료된다.

2. 콘크리트 박스공 구조물에 의한 버들치의 이동 영향

우이동계곡의 콘크리트 박스공은 하단부 높이 0.6 m, 폭 9.8 m로서 개방형의 단일구조물이다. 장마 전에 측정한 평균유속은 약 13 cm/s, 장마 후 평균유속은 27 cm/s이었다. 각 조사지점에서 버들치를 포획하여 방사한 후 재포획을 통하여 상・하류로의 이동을 조사한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 보면, 1차 조사는 구조물의 상류에서 포획한 버들치의 꼬리 상부를 절단 표지하여 33개체(33U)를 방사하였으며, 구조물의 하류에서도 포획한 31개체에 꼬리 하부를 절단 표지(31D)한 후 동일한 장소에 방사하였다.

장마 후 2차 조사는 구조물의 상류에서 31개체가 포획되었으며, 이중에서 꼬리 상부가 절단 표지된 14개체(14U)가 재 포획되었다. 또한, 꼬리 상부가 절단 표지된 14개체를 제외하고 나머지 17개체는 꼬리 상부를 절단 표지(17U)한 후 31개체 모두 동일한 지점에 방사하였다. 구조물의 하류에서는 43개체가 포획되었으며, 이중에서 1차 조사에서 꼬리 상부가 절단 표지되어 방사된 4개체(4U)가 하부로 이동되어 재 포획되었고, 꼬리 하부가 절단 표지되어 방사된 11개체(11D)도 재 포획되었다. 또한, 꼬리가 절단 표지된 15개체를 제외한 나머지 28개체는 꼬리 하부를 절단 표지(28D)한 후, 43개체 중 본래 상류에 방사되었던 4개체(4U)는 다시 상류 지점에, 나머지 39개체는 하류 지점에 방사하였다.

3차 조사는 구조물의 상류에서 17개체가 포획되었으며, 이중에서 4개체(2U, 2D)가 재 포획되었다. 특히, 꼬리 하부가 절단 표지되어 방사한 2개체가 상류로 이동하여 재 포획되었다. 구조물의 하류에서는 34개체가 포획되었으며, 이중에서 6개체(2U, 4D)가 재 포획되었다. 꼬리 상부가 절단 표지된 64개체 중 2개체(2U)가 하류로 이동되어 재 포획되었고, 꼬리 하부가 절단 표지되어 방사된 74개체 중에서 4개체(4D)가 재 포획되었다.

Table 2. The move status by capture of chinese minnow in rock drops structures.

Number of surveys		Capture number		Release number		Recapture number	
		Upper(U)	Down(D)	Upper(U)	Down(D)	Upper(U)	Down(D)
Up&Down Release	1st	13	24	13U	24D	-	-
	2nd	10	37	10U(8U)	36D(29D)	2U	1U 7D
	3rd	13	27			2U	1U 4D

Table 3. The move status by capture of chinese minnow in concrete box structures.

Number of surveys		Capture number		Release number		Recapture number	
		Upper(U)	Down(D)	Upper(U)	Down(D)	Upper(U)	Down(D)
Up&Down Release	1st	33	31	33U	31D	-	-
	2nd	31	43	31U(17U)	39D(28D)	14U	4U 11D
	3rd	17	34	-	-	2U, 2D	2U 4D

이상의 결과를 정리하면 비가 많이 온 이후인 2차 및 3차 조사에서 꼬리의 상부와 하부가 절단 표지된 개체가 상류에서 하류로, 또는 하류에서 상류로 이동하여 재 포획되어 버들치가 구조물의 상류 및 하류로 무리 없이 이동하고 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 낙차가 있는 구조물에서 어류의 도약에 영향을 미치는 인자에는 낙차 높이, 월류수심, 유속, 계상경사 및 유량 등이 있으며 (Kim et al., 2001), 이러한 인자들은 강우의 영향을 직접적으로 받기 마련이다. 우이동계곡의 콘크리트 박스공이 폭 9.8 m, 높이 0.6 m의 낙차가 있는 개방형 구조물임을 고려할 때, 결국 강우의 영향에 의해 유량이 증가하여 낙차의 높이가 줄어들었을 것으로 추정되며, 이것이 버들치와 같은 유영성 어류가 유수의 흐름을 역행하여 구조물의 상류로 도약 및 유영할 수 있었던 원인으로 사료된다. 다만, 강우 시 구조물의 높이보다 더 많은 유량이 형성되어 통수단면적이 증가하게 되면 버들치의 유영에 (+)요인으로 작용할 수 있지만, 동시에 유속의 증가는 (-)요인으로 작용할 수 있어 상·하류로의 왕래가 매우 용이하지 않을 것으로 사료된다.

3. 사방댐 구조물에 의한 버들치의 이동 영향

북한산국립공원의 정릉계곡 내 돌사방댐의 높이 약 3.8 m, 폭 약 19.7 m이며, 시공한지 오래되어 물빼기 구멍은 댐의 중앙 하단부의 지표면에 직경 20 cm 크기로 1개만 시설되어 있으며, 현재 막힘이 없고 물 흐름도 양호하다. 1차 조사인 봄에 비가 온 후 사방댐 상단에서 측정된 평균유속은 약 30 cm/s, 장마 직후 평균유속은 57 cm/s, 3차 조사인 장마 후 평균유속은 43 cm/s이었다. 본 장벽형 사방댐의 경우 유량이 비교적 많아도 어류가 상류로 이동이 불가능하다고 판단되어 물빼기 구멍을 통한 하류에서 상류로의 소상능력을 평가하기 위하여 포획된 버들치를 모두 하부에 방사하였다. 각 조사지점에서 버들치를 포획하여 방사한 후 재 포획을 통하여 이동을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서 보면 1차 조사는 사방댐의 상류에서 포획한 28개체와 하류에서 포획한 30개체를 꼬리 상부와 하부에 각각 절단 표지한 후 58(28U, 30D)개체 모두 사방댐의 하류에 방사하였다.

2차 조사는 사방댐의 상류지점에서 38개체가 포획되었으나, 하류에서 상류로 이동한 개체는 없었다. 하류지점에서는 27개체가 포획되었으며, 이중 꼬리 하부가 절단 표지된 5개체(5D)가 재 포획되었다. 또한, 상류지점과 하류지점에서 포획된 65개체 중 꼬리 하부가 절단 표지된 5개체(5D)를 제외하고 나머지 60개체에 대하여 포획된 위치별로 각각 꼬리 상부와 하부에 절단 표지(38U, 22D)한 후 65개체 모두 하류에 방사하였다. 3차 조사에서는 사방댐의 상류지점에서 35개체가 포획되었으나, 꼬리 상부와 하부에 각각 절단 표지된 개체는 재 포획되지 않았다. 하류지점에서 38개체가 포획되었으며, 이중에서 꼬리 하부에 표지된 16개체(16D)가 재 포획 되었으나 하류에서 상류로 이동한 개체도 없었다.

이상과 같이 정릉계곡에 위치한 높이 3.1 m, 폭 20.5 m의 돌사방댐에는 중앙 하단부에 물빼기 구멍이 1개 있음에도 불구하고 하류에서 상류로 이동한 버들치는 없는 것으로 나타났다. 이러한 장벽형 사방댐의 경우 어류 및 포유류 등 이동에 따른 불연속성은 이미 다수의 연구에 의해 지적된 바 있다(Chun et al., 2003a; 2003b; Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2007; Ma et al., 2008a; 2008b; Koo and Ma, 2018). 그러나 이를 극복하기 위한 연구도 진행된 바 있는데, Lee et al.(2003)은 사방댐에 설치된 어도에서 버들치의 소상실험을 실시하여 어도의 경사가 낮을수록, 그리고 0.5～0.7 m/sec 범위의 유속에서 소상율이 높다고 발표하였다. 또한, 어도는 평면식보다 도류벽식 형태가 물의 흐름이 수로 내에서 와류가 형성되어 유속이 감소되어 소상하는 어류의 임시 휴식공간으로 이용되어 더 효과가 있다는 점도 밝혀냈다. 그럼에도 불구하고 이 연구의 결과와 같이 계상구조물의 유형 및 구조적 특성에 따라 어류의 이동은 제한을 받으므로 물빼기 구멍의 수량을 증가시키는 등의 구조개선을 하거나 신규로 시설 시 어류의 소통을 배려한 새로운 구조의 사방댐을 개발할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

4. 돌바닥막이 연속구조물에 의한 버들치의 이동 영향

북한산국립공원의 우이동계곡 내 돌바닥막이 공작물은 높이 1 m의 장벽형으로 약 90 m 거리를 두고 연속적으로 배치되어 있으며(Figure 4), 장마 전 평균유속은 약 13 cm/s,

Table 4. The move status by capture of chinese minnow in erosion control dam.

Number of surveys		Capture number		Release number		Recapture number	
		Upper(U)	Down(D)	Upper(U)	Down(D)	Upper(U)	Down(D)
Down Release	1st	28	30	-	58(28U, 30D)	-	-
	2nd	38	27	-	65(38U, 22D)	-	5D
	3rd	35	38	-	-	-	16D

Table 5. The move status by capture of chinese minnow in erosion control dam of continues type

Number of surveys		Capture number			Release number		Recapture number
		Area A(U)	Area B(D)	Area C(UD)	Area A(U)	Area B(D)	Area C(UD)
Up&Down Release	1st	25	38	21	25U	38D	21UD
	2nd	36	47	39	36(30U)	46(37D)	35(28UD)
	3rd	23	31	27	-	-	-

장마 후 평균유속은 19cm/s 이었다.

연속적으로 배치되어 있는 바닥막이 공작물의 각 조사지점에서 버들치를 포획하여 방사한 후 재 포획을 통하여 상류 및 하류로의 이동을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 1차 조사는 A지점에서 포획한 25개체의 버들치에 대하여 꼬리 상부를 절단 표지(25U)하여 동일한 장소에 방사하였다. B지점의 경우 포획한 38개체에 대하여 꼬리 하부를 절단 표지(38D)하여 동일한 장소에 방사하였다. C지점의 경우 포획한 21개체에 대하여 꼬리 상부 및 하부를 모두 절단 표지(21UD)하여 동일한 장소에 방사하였다.

2차 조사는 A지점에서 36개체가 포획되었으며, 이중에서 꼬리 상부가 절단 표지된 6개체(6U)가 재 포획되었다. 또한, 꼬리 상부가 절단 표지된 6개체를 제외하고 나머지 30개체는 꼬리 상부를 절단 표지(30U)하여 36개체 모두 동일 장소에 방사하였다. B지점에서는 47개체가 포획되었으며, 이중에서 10개체(1U 9D)가 재 포획되어 1개체가 A지점에서 B지점으로, 즉 구조물 상류에서 하류로 이동한 것으로 나타났다. 또한, B지점에서 포획한 47개체 중 꼬리 절단 표지된 버들치 10개체를 제외하고 나머지 37개체는 꼬리 하부를 절단 표지(37D) 한 후, 본래 상류에 방사되었던 1개체(1U)는 다시 상류 A지점에, 나머지 46개체는 모두 B지점에 방사하였다. C지점에서는 39개체가 포획되었으며, 이중에서 11개체가 재 포획되었다. 재포획된 개체는 A지점에서 이동해 온 1개체(1U), B지점에서 이동해 온 3개체(3D), 1차 조사 시에 C지점에 방사된 7개체이다. 또한, C지점에서 포획된 39개체 중 꼬리 절단 표지된 11개체(1U, 3D, 7UD)의 버들치를 제외하고 나머지 28개체에 대하여 꼬리 상부 및 하부를 절단 표지(28UD)한 후, A지점에서 온 1개체는 다시 A지점에, B지점에서 온 3개체는 다시 B지점에, 나머지 28개체는 모두 C지점에 방사하였다.

3차 조사에서는 A지점에서 23개체가 포획되었으며, 이중에서 5개체(5U)가 재 포획되었다. B지점에서 31개체가 포획되었으며, 이중에서 3개체(3D)가 재 포획되었다. C지점에서는 27개체가 포획되었으며, 이중에서 5개체(1D, 4UD)가 재 포획되었다. 재 포획된 개체 중 B지점에서 C지점으로 1개체만 이동한 것으로 나타났다.

우이동 계곡 내 약 1.0 m 높이의 돌바닥막이가 연속으로 시공된 지점의 2차 및 3차 조사에서 버들치는 상류에서 하류로의 이동은 확인되었으나 하류에서 상류로의 이동은 확인되지 않았다. 전술한 바와 같이 낙차가 있는 흐름에서 어류가 상류로 이동하기 위해서는 도약능력이 매우 중요하다. Park et al.(2009)은 우리나라 하천에 널리 서식하는 어류인 피라미를 대상으로 폭 28 cm, 길이 140 cm 개수로에서 격벽높이 5～10 cm, 월류수심 1.2～5.0 cm, 낙차 4 cm 조건으로 도약능력에 관한 연구를 수행하였다. 그 결과, 피라미의 소상율은 격벽높이가 낮거나 낙차가 적을 때는 증가하다가 격벽높이 10 cm와 월류수심 3 cm에서 유속 4.19 cm/ sec일 때를 정점으로 급격히 감소하였으며, 피라미의 체장이 클수록 소상율도 증가하는 관계를 갖는다고 보고하였다. 본 연구의 대상어종인 버들치 역시 매우 활발하지만 그 소상은 계상구조물의 유형 및 구조적 특성에 따라 이동에 제한을 받고 있으므로 가능한 높이를 낮게 시공하여 어류의 소통을 원활하게 할 수 있도록 시공할 필요성이 있을 것으로 생각된다. 다만, 연속적으로 시공된 구조물에서도 전술한 경우에서와 같이 유량이 증가하여 월류수심이 구조물의 높이와 유사하게 되면 하류에서 상류로의 이동이 가능할 것으로 생각된다.

결 론

북한산국립공원 지역 내에 설치되어 있는 계상구조물을 대상으로 산지계류에서 구조물의 설치에 따른 1급수 지표종인 버들치의 이동을 분석한 경과를 요약하면 다음과 같다.

북한산성계곡의 높이 0.4 m, 폭 약 1 m인 장벽형 돌낙차공의 경우 비가 많이 온 이후인 2차 및 3차 조사에서는 상류에서 방사한 개체가 하류에서 재 포획 되어 구조물의 상류에서 하류로 이동이 가능하였으나 하류에서 상류로의 이동은 없는 것으로 나타났다. 낙차가 있는 계상구조물에서 버들치의 상류에서 하류로의 이동은 자연스러운 유영과 보다 빠른 유속 및 유량 증가 등 물리적인 외부요인에 많은 영향을 받을 것으로 생각된다.

우이동계곡의 하단부 높이 0.6 m, 폭 9.8 m인 개방형의 콘크리트 박스공의 경우 상류에서 방사한 개체가 하류에서 재 포획 되어 구조물의 상류에서 하류로 이동이 가능한

것으로 나타났다. 또한, 하류에 방사한 개체도 상류에서 재 포획되어 하류에서 상류로 버들치의 개체가 소상하여 어류의 이동이 가능한 것으로 나타났다. 콘크리트 박스공의 경우는 높이 0.6 m 정도의 낙차가 있으나 강우의 영향으로 유량이 늘어나 낙차가 줄어들어 버들치와 같은 유영성 어류가 이동하는데 비교적 양호한 조건을 제공한 것으로 보인다. 또한, 구조물의 높이보다 더 많은 유량이 있을 경우는 이동이 더욱 용이할 것으로 생각된다.

정릉계곡의 높이 3.1 m, 폭 20.5 m 장벽형 돌사방댐의 경우 하부 지점에 방사한 버들치가 재 포획되었으나 상류 및 하류로의 서로 이동은 되지 않은 것으로 나타났다. 사방댐의 물빼기 구멍이 중앙 하단부에 1개 있을 경우 유량이 많아도 이동에 제한이 있는 것으로 나타났지만 좀 더 장기적인 관찰이 필요한 것으로 생각된다. 특히, 버들치는 활발하게 행동은 하지만 불투과형 및 높이 등 사방구조물의 유형과 구조적 특성에 따라 이동에 제한을 받고 있으므로 어류의 소통 공간을 위하여 물빼기 구멍의 수량 증가 등 구조개선을 하거나 신규로 사방구조물을 시설할 지역은 투과형 사방댐 등 새로운 모형을 개발하여 시공할 필요성이 있다.

우이동 계곡에서 약 1 m 높이 정도의 돌바닥막이가 90 m 간격에 연속적으로 시공된 지점의 2차 및 3차 조사에서 버들치는 상류에서 하류로의 이동은 확인되었으나 하류에서 상류로의 이동은 확인되지 않았다. 연속적으로 시공된 구조물에서도 유량이 풍부하여 월류수심이 구조물의 높이와 동일하게 되면 하류에서 상류로 이동도 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서, 버들치는 활발하게 행동은 하지만 계상구조물의 유형 및 구조적인 특성에 따라 이동에 제한을 받고 있다. 산지 계류에서 계상구조물을 설치할 때에는 구조물의 종류, 높이 및 어류서식 상태와 평소 계류에 물이 있는 지를 고려하여 어류가 소통할 수 있는 개방형의 구조물을 적절하게 설치할 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S211216L020110 및 S120911L040110)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

Choi, J.W., Kim, J.J. and Kwang, G.A. 2016. Fish passage evaluations in the fishway constructed on Seungchon Weir. Korean Society of Environment and Ecology 26(2): 116-116.

Chun, K.W., Cha, D.S., Ma, H.S., Park, C.M., Lee, J.W. and Kim, K.N. 2003a. Establishment of environment friendly erosion control works(Making concept). Journal of The Korean Society of Forest Engineering 1(1) : 5-14.

Chun, K.W., Cha, D.S., Ma, H.S., Park, C.M., Lee, J.W. and Kim, K.N. 2003b. Establishment of environment friendly erosion control works II(The investigation of environment of mountain streams). Journal of The Korean Society of Forest Engineering 1(2): 89-114.

Hynes, H.B.N. 1970. The ecology of running water. Liverpool Univ. Press, Liverpool, U. K. pp. 18-129.

Han, K.H., Oh, S.H., Cho, J.K., Noh, B.O,, Park, J.T. and Sung, K.B. 1999. Early Life history and spawning behavior of chinese minnow, Rhynchocypris oxycephalus reared in the laboratory. Korean Journal of Ichthyology Vol.11(2): 177-183.

Hwang, C.S. and Hur, H. 2000. Fish migration through fishways on Namdae-Cheon in Yangyang and Osib-cheon in Yungdeok. Korean Society of Agricultural Engineers 42(5): 70-77.

Joo, G.J., Kim, H.W. and Ha, K. 1997. The development of stream ecology and current status in Korea. Korean Journal of Ecology 20(1): 69-78.

Kil, H.K., Kim, D.G,, Jung, S.W., Shin, I..K., Cho, K.H,, Woo, H.S. and Bae, Y.J. 2007. Changes of Benthic Macroinvertebrate communities after a small dam removal from the Gyeongan stream in Gyeonggi-do, Korea. Korean Society of Environmental Biology 25(4): 385-393.

Kim, C.S. 2011. Physical changes on habitat by scour variations at the downstream area of natural low drop structures. (Doctor of Philosophy Dissertation). Seoul. Myongji University.

Kim, D.H., Kwon, S.M,, Park, S.D. and Choe, B.S. 2001. Ascending capacity of migratory fish of fishways(In the Youngok stream). Journal of The Korean Society of Civil Engineers 2001(1): 1555-1558.

Koo, G.B. and Ma, H.S. 2018 Analysis of ecological function and percent passing of erosion control dam by openness. Journal of Agriculture & Life Science 52(6): 1-12.

Lee, D.H,, Lee, K., Lee, H.H., Ma, H.S,, Bae, K.H. and Kim, J.H. 2009. The Variation of Benthic Macroinvertebrates caused by erosion control works in a torrential stream (Focused on variation of Benthic Macroinvertebrates analyzed immediately after construction works). Journal of Ecology and Environment 23(4): 353-364.

Lee, J.K,, Lee, C.G. and Lee, S.H. 2003. Fish migration in fishway structure of erosion control dam. Journal of The Korean Society of Forest Engineering 1(2): 127-136.

Lee, S.J. and An, K.G. 2015. Fish Fauna and Community Analysis after Sejong weir construction. Korean Society of Environment and Ecology 25(2): 91-91.

Ma, H.S., Park, J.W., Lee, B.C., Kang, W.S. and Won, D.H. 2008a. Assessment of effects of erosion control structures on stream ecosystem(Focused on benthic macroinvertebrates). Journal of Korean Forestry Society. pp. 303-306.

Ma, H.S., Park, J.W., Lee, B.C., Kang, W.S. and Won, D.H. 2008b. Change of stream ecosystem by spacing erosion control structures(Focused on Benthic Macroinvertebrates). Journal of Korean Forestry Society. pp. 307-310.

Ministry of agriculture, pood and rural affairs. 2007. Development of environment-friendly erosionc control techniques for ecosystem conservation in torrent. pp. 147-187.

Morse, J.C., Bae, G., Munkhjargal, N., Sangpradub, K., Tanida, T.S., shivkova, B.X., Wang, L.F. and Yules, C.M. 2007. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. Frontiers in Ecology and the Environment 5: 33-42.

National park management corporation. 2011. Basic statistics of resource investigation field in National park. pp. 20.

Park, S.D., Kim, H.S,, Hong, J.S., Lee, S..G. and Cho, J.W. 2009. An experimental study on jump of Zacco platypus. Proceeding in Journal of Korean Society on Water Environment: 2103-2107.

Ward, J.V. 1992. Aquatic Insect Ecology 1. Biology and habitat. John Wiley & Sons, Inc., New York. pp. 438.

Won, D.H., Jun, Y.C., Kwon, S.J., Hwang, S.J., Ahn, K.G. and Lee, J.K. 2006. Development of konan saprobic index using Benthic Macroinvertebrates and its application to biological stream environment assessment. Journal of Korean Society on Water Environment 22(5): 768-783.

Manuscript Received : November 16 2018
First Revision : January 16, 2019
Second Revision : March 4, 2019
Third Revision : March 21, 2019
Accepted : March 26, 2019