

ORIGINAL ARTICLE

수중보에 설치된 어도의 어류이동 연계율 평가

차순배 · 성진욱 · 김재옥¹⁾ · 박제철*

금오공과대학교 환경공학과, ¹⁾한국농어촌공사 농어촌연구원

Evaluation of Fish Migration Ratio at the Fishway Constructed in Weir

Cha, Soon-Bae, Seong, Jin-Uk, Jae-ok Kim¹⁾, Je-Chul Park*

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 730-701, Korea

¹⁾Rural Research Institute Korea Rural Community Corporation, Ansan 426-908, Korea

Abstract

In this study, the fish-migration ratios of rivers were analyzed, with the aim of proposing objective materials to help South Koreans to establish fish migration systems efficiently in the future. A total of 34,012 weirs have been built in the five major basins, with 5,081 fish-ways observed. Consequently, the fish migration ratio was considered low (14.9 %). According to the findings of the study analyzing the 5,081 fish-ways, standard-type fish-ways took up 68 % of the total while the non-standard types accounted for 32 %. The five major basins were observed to have a total fish-migration ratio of 21.4 %. Regarding tributaries, Tributary 1 accounted for 27.5 % of the fish-migration ratio, while Tributary 2 and 3 accounted for 19.8 % and 16.3 %, respectively. In conclusion, the study argues that any relevant field in the fishing industry of South Korea needs to improve their understanding of the fish-migration ratio. This would be expected, eventually, to help them maximize the efficiency of a minimum number of fish-ways. In addition, the study supports the need for those in relevant fields to study carefully the ecological needs of each fish species, before establishing priority standards for the building of fish-ways.

Key words : Constructed Weir, Standard type Fishway, Non-standard type Fishway, Fish migration ratio

1. 서론

하천은 유수작용에 의해 하천의 지형을 형성하고, 물의 흐름은 고도차에 따라 하류방향으로 지속적으로 흐르며 생태계의 구조를 구성하고 복잡한 기능이 망(Web)으로 연결되어 있는 복잡한 생지구화학적 시스템이다(Vannote *et al.*, 1980, Horne and Goldman, 1994; Allan, 1995). 하천 생태계는 해양 및 육상 생태계보다는 쉽게 교란을 받을 수 있고, 인위적 하천개발에 의해 많은

교란이 진행되고 있다(Ricciardi and Rasmussen, 1999; Baron *et al.*, 2002). 특히 하천 내에 수자원 활용을 위한 댐과 보 등의 지속적 건설로 인하여(Alland and Flecker, 1993; Thomas, 1996; Lemly *et al.*, 2000) 하천공간의 변화가 일어나고 있으며(Gray, 1992), 이러한 원인들로 인해 기존에 형성되어 있던 하천 생태계의 변화가 발생한다(Kinsolving and Bain, 1993). 특히 하천에 서식하는 최상위 소비자 중 담수어류에 있어서 하천 내 황구조물은 어류 이동(Nicola *et al.*, 1996; Joy and Death,

Received 26 December, 2014; Revised 2 February, 2015;

Accepted 9 February, 2015

*Corresponding author: Je-Chul Park, Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 730-701, Korea

Phone: +82-54-478-7633

E-mail: pjc1963@kumoh.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. 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.

2001), 군집 변화(Bain and Finn, 1988; Martinez *et al.*, 1994; Gehrke *et al.*, 2002; Quinn and Kwak, 2003; Habit *et al.*, 2007), 유전적 단절(Yammamoto *et al.*, 2004; Heggenes and Road, 2006), 서식처 변화(Poff *et al.*, 1997; Poff and Hart, 2002) 등의 다양한 문제를 조래하고 있다.

최근에는 하천관리를 수량뿐만 아니라 수질도 함께 체계적으로 관리할 수 있는 유역관리시스템으로 전환되었으며, 하천정비에 의한 인위적 영향을 최소화하기 위하여 생태건강성을 평가하는 등 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 특히, 하천 생태건강을 유지하기 위해 다양한 생태복원사업이 진행되고 있으며, 그 대표적인 복원사업중 하나가 수중보에 의해 상·하류 이동이 단절된 어류의 이동을 연결시키는 어도설치 사업이다(KEI, 2004). 어도는 약 50년 전부터 설치되어 운영되어 왔으나 최근에 들어 체계적인 조사와 운영시스템이 갖추어 졌다고 할 수 있다. 이와 관련하여 하천관리 담당부서에서는 횡구조물에 의해 어류이동이 단절되는 문제점을 해결하기 위하여 의무적으로 어도를 설치하도록 법제화하였고, 하천의 환경특성인 수리, 수질, 생태 등을 고려하여 어도를 체계적으로 관리할 수 있는 운영시스템이 구축되었다.

수생태계의 효과적인 복원을 위해서는 과학적 조사, 관리, 정책의 세 가지 측면이 고려되어야 한다. 이 중 가장 먼저 과학적인 조사가 선행되어야 하며 이를 바탕으로 수립된 정책을 통해 적절한 관리가 이루어진다(Meffe, 2002). 그러나 어도와 관련된 국내연구는 어도에서 어류의 이동에 관한 연구(Yang *et al.*, 2001; SDI, 2006), 어도에서 담수어류의 이용 분석에 관한 연구(Yoon *et al.*, 2011), 댐의 어도현황과 개선방안에 관한 연구(KEI, 2004)가 있으며, 국외연구에서는 어도의 설계 및 수리학적 특성을 평가하는 연구가 주로 이루어 졌다(Teresa *et al.*, 2006; Alvarez-Vázquez *et al.*, 2007, 2008; Yagci, 2010). 어류생태계 복원을 위해 어도를 지속적으로 설치하는 사업이 전개되고 있으나 대부분의 평가내용이 소규모의 수리학적 특성 조사나 댐 어도에 관한 연구가 주로 이루어졌고, 국내하천에 설치된 어도를 이용하여 실제 어류가 어느 정도 이동 가능한지 또한 어도를 효율적으로 설치하기 위한 지점 선정에 관한 객관적인 평가방법에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내하천에 설치된 취수보를 대상으로 어도를 조사하였고, 설치된 어도를 하천설계기준에 따라 분류하여 국내에 적합한 어도형식을 분석하였으며, 또한 효율적인 어도관리 방안을 제시하기 위해 실제 이동 가능한 어도를 평가하여 어류 연계율을 산정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상지의 개요

한국하천일람(2011)의 5대강 권역에 위치한 국가 및 지방하천 3,837개를 대상으로 하였고, 조사 대상지의 총 유역면적은 90,928 km², 하천의 총 길이는 29,841 km이다. 한강 권역은 한반도의 중심지역에, 낙동강 권역은 한반도의 남동부 지역에 위치하며, 이 두 권역에 인구의 약 80%가 집중되어 있으며 조사하천의 수도 가장 많다. 한강은 서울을 통과하며, 낙동강은 대구, 부산을 통과한다. 금강 권역과 영산강 권역은 한반도의 서쪽 지역에, 섬진강 권역은 낙동강과 영산강 권역 사이에 위치하고 있다(Fig. 1).

2.2. 조사 및 분석방법

• 보 및 어도 조사

5대강 권역 하천의 보 및 어도 조사는 2010년 7~12월에 실시하였다. 실내조사에서 위성사진을 통하여 대상 하천의 기점에서 종점까지 설치된 보의 위치를 파악하고, 현장 조사 시 하천의 기점에서 종점으로 이동하면서 사전 조사내용을 참고하여 조사하였다. 현장 좌표는 GPS(StoryishPoket GPS S1)로 확인하였고, 거리측정기(Bushnell Sport 600)와 줄자, 경사계(DigiPas-DWL-280)를 이용하여 보 및 어도제원을 측정하였다. 또한 어도의 입구와 출구, 내부, 측면, 전경과 특이사항을 카메라로 촬영하여 향후 연구실에서 어도 분류 및 평가 시 확인할 수 있게 하였다.

• 어도의 형식분류

하천설계기준에서 제시된 어도의 형식은 크게 풀형식, 수로형식, 조작형식으로 구분된다. 세부적으로는 풀형식은 일반형 계단식(P1), 노치형(P2), 잠공형(P3), 노치+잠공형(P4), 아이스하버형(P5), 버티컬슬롯형(P6), 수로형식은 도벽식(C1), 인공하도식, 데널식이 있으며, 조작

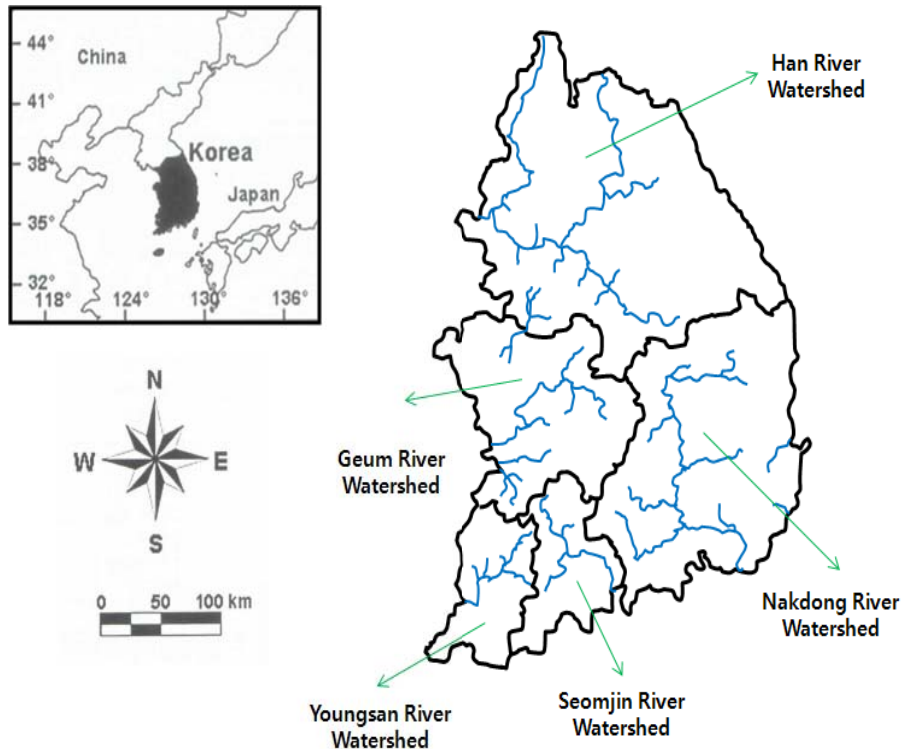


Fig. 1. Map showing the study sites. Each watershed is defined by the presence of a major river system (Han, Nakdong, Geum, Seomjin, and Yeongsan).

형식은 갑문식, 리프트식, 트럭식이 있다(MMF, 2004; MLTM, 2009). 본 연구에서는 하천설계기준에서 표준형식 어도로 정의하고 있는 풀형식, 수로형식을 기준으로 하였으며, 어떤 형식에도 속하지 않는 어도를 비표준형 어도로 분류하였다. 조작형식은 하구언이나 댐에 설치되는 어도이기 때문에 본 연구의 어도 형식분류에서는 제외하였다.

• 어도 연계율(Fish migration ratio) 평가

어도 연계율이란 각 하천의 종점에서 상류방향으로 실제로 어류가 소상할 수 있는 거리를 의미하며 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{어도 연계율(\%)} &= \\ &(\text{하천 종점에서 어류 소상 가능한 거리} \div \text{하천연장}) \\ &\times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

어도 연계율은 어류의 종류, 개체수와 상관없이 어도의 상태가 양호하면 소상한다는 가정하에 하천에서 조사된 보 및 어도 조사 결과를 이용하여 위성지도에 각 하천의 보 및 어도의 지점을 표시하고 위성지도에서 거리 재기 기능을 이용하여 어류가 실제로 이동할 수 있는 거리를 측정하여 상위지류 하천에서 실제 어류가 어느 정도 이동할 수 있는지를 거리비율로 산정하였다. 본 연구에서의 어도 연계율은 국지적으로 연결되는 부분은 고려하지 않았으며, 실제 어류가 이동하는 거리를 측정하는 것이 아니라 어류가 이동할 수 있는 가능성을 평가한 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 보 및 어도 현황

5대강 권역의 보 및 어도 현황을 Table 1에 나타내었다. 5대강 권역에 설치된 보는 34,012개로 km 당 약 1.2

Table 1. Status of weir and fishway in the five major Korean river

Watershed	Weir (EA)	Fishway (EA)	Weir/River Length (EA/km)	Installation ratio of fishway (%)
Han R.	6,995	1,302	0.8	18.6
Nakdong R.	12,350	1,605	1.3	13.0
Geum R.	7,156	807	1.2	11.3
Seomjin R.	5,052	875	1.9	17.3
Youngsan R.	2,459	492	1.1	20.0
Total	34,012	5,081	1.2	14.9

개가 설치되어 있는 것으로 조사되었으며, 보에 설치된 어도는 5,081개, 설치율은 14.9 %로 나타났다. 어도 설치의 필요성에도 불구하고 국내의 어도 설치율은 매우 낮은 비율을 보이고 있었으며, 향후 이를 개선하기 위한 대책이 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다. 각 권역 별 보 및 어도의 설치현황을 살펴보면, 낙동강 권역에 보와 어도의 수가 가장 많았고, 영산강 권역이 가장 적은 것으로 나타났다. 어도 설치율은 한강, 섬진강, 영산강 권역의 경우 5대강 평균 어도 설치율 보다 높았고, 낙동강, 금강 권역은 평균 어도 설치율 보다 낮은 것으로 조사되었

다. 보 및 어도 개수는 지역적인 특성보다는 분류로 유입되는 하천이 많을수록 보와 어도의 개수가 많았지만, 어도 설치율은 유입하천수와는 관련이 없는 것으로 나타났다.

3.2. 하천설계기준에 따른 어도의 형식 분류

5대강 권역에 설치된 어도를 하천설계기준에 따라 형식을 분류하여 Fig. 2, Table 2에 나타내었다. 5,081개의 어도를 분류한 결과 표준형 어도가 약 68 %, 비표준형 어도가 약 32 %로 표준형 어도가 대부분이었지만 형식

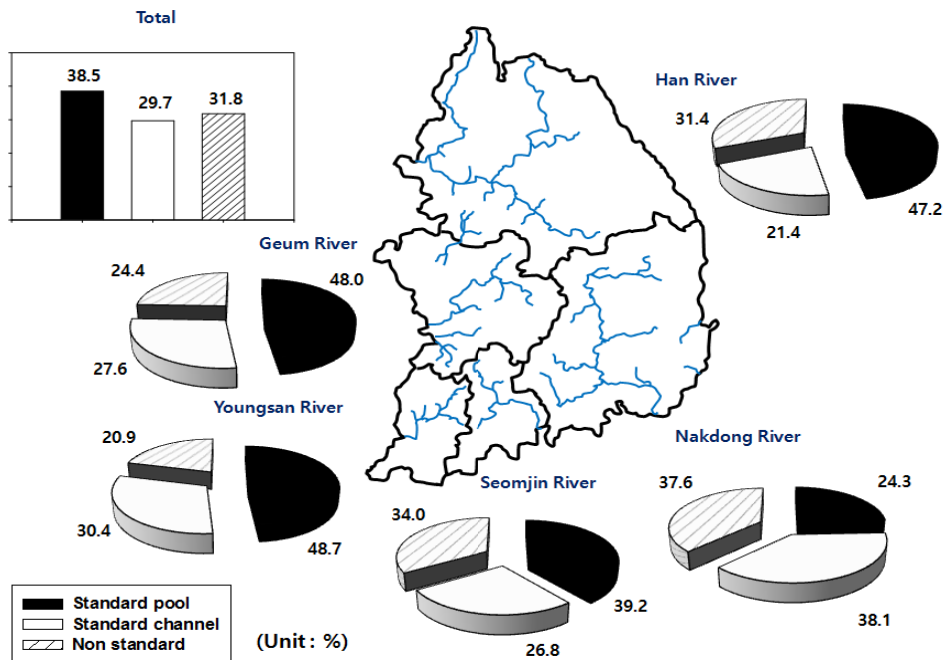


Fig. 2. Classification of fishway type in the five major Korean river.

Table 2. Detail types of standard type fishway in each watershed

Watershed	Details form of standard type fishway (%)						
	Pool						Channel
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	C1
Han	25.3	16.7	2.7	2.5	14.8	6.8	31.1
Nakdong	14.5	12.0	2.3	4.1	4.7	1.4	61.1
Geum	18.1	26.6	0.0	5.6	11.0	2.1	36.6
Seomjin	16.1	18.8	1.2	3.6	16.4	3.3	40.7
Youngsan	7.8	21.8	0.0	4.8	24.6	2.6	38.5
Total	17.4	18.0	1.6	3.9	12.6	3.4	43.1

(P1: General, P2: Notch, P3: Orifice, P4: Notch+Orifice, P5: Ice harbor, P6: Vertical slot, C1: Baffled)

을 준수하지 않은 비표준형 어도도 상당 부분을 차지하였다. 내수면어업법 시행규칙 제21조에 의하면 “어도를 설치하려는 자는 어도에 관한 실시설계를 완료하기 전에 수산연구기관의 장과 미리 협의하여야 한다. 다만, 지방 하천 또는 소하천에 어도를 설치하려는 자가 해양수산부장관이 정하여 고시하는 어도설계 기준에 맞게 어도를 설치하는 경우에는 협의를 생략할 수 있다”라고 규정하고 있다. 5대강 권역의 비표준형 어도비율은 낙동강 수계의 연구결과(Seong *et al.*, 2013)인 37.7 %와 유사한 수치를 보였다. 또한 비표준형 어도가 설치된 배경에는 어도시설 설치 및 관리규정을 제정하기 전에 설치된 어도가 대부분인 것으로 보이며, 규정제정 이후에도 협의를 거치지 않고 시공사의 경험에 의한 무분별한 어도 설치에 의한 것으로 나타났다. 따라서 향후에는 수산연구기관과의 협의를 통해 어도가 설치될 수 있는 정책적 도구가 뒷받침 되어야 하며, 표준형 어도 형식의 재검토도 필요할 것으로 판단된다.

표준형 어도 중에서는 낙동강 권역의 경우 수로형식이 높은 비율을 보였지만, 나머지 4개 권역에서는 풀형식 어도가 더 높은 비율을 보이는 것으로 조사되었다. 2000년 이후 설치되는 어도는 어류 이용의 효율성이나 구조적 안전성이 뛰어난 풀형식의 어도가 설치되는 경우가 많은데, 낙동강 수계의 경우 도벽식 어도가 많이 설치되어 있어, 대체로 설치연도가 2000년 이전에 설치된 어도가 많이 분포하는 것으로 조사되었다(Seong *et al.*, 2013).

표준형식 어도를 세부적으로 분류한 결과 전체적으로 풀형식 어도가 약 57 %, 수로형식 어도가 약 43 %로 풀

형식 어도의 비율이 높은 것으로 나타났다. 풀형식 어도 중에서는 일반형 계단식, 노치형 계단식, 아이하버형 계단식이 풀형식 어도의 대부분을 차지하였다. 특히 영산강 권역의 경우 2000년 이후 풀형식이 많이 설치되고 있어 아이스하버형이 가장 높은 비율을 나타내고 있었다.

3.3. 어도 연계율 평가

5대강 권역의 지류별 어도 연계율을 Table 3에 나타내었다. 국내 어도의 상태를 평가한 MIFAFF(2011)에 따르면 국내 어도 중 양호한 어도는 약 30 %이며, 실제 어류가 이용가능한 어도는 1,600여개에 불과한 것으로 조사되었고, 이를 고려한 실제 어도 설치율은 5 %에 지나지 않는다고 분석하였다. 하천에 어도를 설치할 때에는 어도 설치율을 높이는 것도 중요하지만 본 연구에서 제시하고자 하는 어도 연계율 개념을 도입한다면 최소한의 어도 설치로 하천에서 물고기 이동을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

5대강 권역의 평균 어도 연계율은 약 21 %로 나타났다. 영산강 권역에서 가장 높았고, 섬진강 권역에서 가장 낮은 비율로 조사되었다. 하천의 어도 설치율과 어도 연계율은 서로 상관성을 보이지 않는 것으로 나타났는데 이는 각기 계산방법이 다른 원인도 있지만, 하천에 어도를 설치할 때 설치 지역에 대한 기준이 없고 또한 연계율을 고려하지 않고 무분별하게 어도를 설치하였기 때문인 것으로 나타났다.

하천의 지류별 어도 연계율은 1지류 28 %, 2지류 20 %, 3지류 이하 16 %로 분류와 직접 연결되어 있는 하천이 가장 높은 어도 연계율을 보였고, 상류 하천으로 갈수록

Table 3. Fish migration ratio in each watershed

Watershed	Fish migration ratio(%)			
	1st tributary	2nd tributary	Below 3rd tributary	Total
Han R.	29.6	21.6	15.4	21.7
Nakdong R.	30.8	18.8	14.2	21.5
Geum R.	26.0	22.8	21.7	23.6
Seomjin R.	16.3	10.5	12.7	13.2
Youngsan R.	27.2	21.7	19.8	23.8
Total	27.5	19.8	16.3	21.4

록 어도 연계율이 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 상류 하천일수록 하천 하류에 황구조물의 분포가 적고, 어도설치가 대체로 하천의 하류에서 상류방향으로 이루어졌기 때문인 것으로 분석되었다.

향후 하천에 어도를 설치할 때에는 무분별한 어도 설치보다는 어도 우선 설치 지점에 대한 기준을 명확하게 설정하여 어도를 설치하여야 어도 설치 효율을 극대화하고, 하천간의 서식지 연결성을 높여 건강한 수생태계가 유지될 수 있도록 관리해야 할 것이다. 특히 바다로 직접 유입되는 하천의 경우 기수역에 서식하는 어류나, 산란을 위해 소상하는 어류들이 많기 때문에 어도 연계율에 따라 어도를 설치할 경우 내륙 하천보다 더 큰 효과를 가져올 수 있을 것이다. 다만 본 연구에서 분석한 어도 연계율은 하천의 중점에서 하천 상류방향으로 이동가능한 절대적인 비율만을 평가하였기 때문에 향후 하천 내에 국지적으로 연결되어 있는 부분들도 반영한 종합적인 하천의 어도 연계율 분석이 필요하다. 또한 기타 어종의 분포 특성 등을 종합적으로 고려하여 어도 우선설치 지점 선정기준을 수립하여야 할 것이다.

4. 결론

본 연구는 국내 하천에 설치된 어도의 설치 및 효율적인 유지관리를 위해 어도 현황 및 연계율(Fish migration ratio)을 분석하였다.

- 5대강 권역에 설치된 보는 34,012개, 어도는 5,081개로 나타났고 어도 설치율은 14.9 %로 대부분의 보에 어도가 설치되어 있지 않은 것으로 나타났다.
- 5,081개의 어도를 분류한 결과 표준형 어도가 68 %, 비표준형 어도가 32 % 였으며, 표준형 어도 중 풀형

식 어도를 세부적으로 분류한 결과 전체적으로 일반형 계단식 31 %, 노치형 계단식 32 %, 아이하버형 22 %로 세 가지 형식이 풀형식 어도의 대부분을 차지하였다.

• 5대강 권역의 총 어도 연계율은 약 21 %로 나타났고, 하천의 지류별 어도 연계율은 1지류 27.5 %, 2지류 19.8 %, 3지류 이하 16.3 %로 5대강 본류와 직접 연결되어 있는 하천이 가장 높은 어도 연계율을 보였고, 상류 하천으로 갈수록 어도 연계율이 낮아지는 것으로 나타났다.

국내 5대강 권역의 어도 설치율은 약 15 % 이하로 낮은 편이며, 현재 어도 우선 설치 지점에 대한 객관적인 기준이 불분명한 실정이다. 하천에 어도를 설치할 때에는 어도 설치율을 높이는 것도 중요하지만 실제로 물고기 이동하는 거리를 고려한 연계율 개념을 도입하여 어도 설치로 효율성을 극대화 할 필요성이 있으며, 추가적으로 어류의 생태적 특성을 반영한 어도 우선 설치 기준의 확립이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임(2012-104-125).

REFERENCE

- Allan, J.D., 1995, Stream ecology-Structure and function of running waters, Chapman and Hall.
- Allan, J.D., A.S. Flecker, 1993, Biodiversity conservation in running waters, Bioscience, 43, 32-43.
- Alvarez-Vázquez, L.J., A. Martínez, C. Rodríguez, M.E. Vázquez-Méndez, M.A. Vilar, 2007, Optimal shape

- design for fishways in rivers, *Mathematics and Computers in Simulation*, 76, 218-222.
- Alvarez-Vázquez, L.J., A. Martínez, C. Rodríguez, M.E. Vázquez-Méndez, M.A. Vilar, 2008, An optimal shape problem related to the realistic design of river fishways, *Ecological engineering*, 32, 293-300.
- Bain, M.B., J.T. Finn, 1988, Streamflow regulation and fish community structure, *Ecology*, 69, 382-392.
- Baron, J.S., N.L. Poff, P.L. Angermeier, C.N. Dahm, P.H. Gleick, N.G. Hairston Jr., R.B. Jackson, G.A. Johnston, B.D. Richter, A.D. Steinman, 2002, Meeting ecological and societal needs for freshwater, *Ecological Applications*, 12, 1247-1260.
- Gehrke, P.C., D.M. Gilligan, M. Barwick, 2002, Changes in fish community of the Shoalhaven River 20 years after construction of Tallowa dam, Australia, *River Research and Application*, 18, 265-286.
- Gray, A., 1992, The Ecological Impact of Estuarine Barrages, British Ecological Society/Field Studies Council, Shrewsbury.
- Habit, E., M.C. Belk, O. Parra, 2007, Response of the riverine fish community to the construction and operation of a diversion hydropower plant in central Chile, *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 17, 37-49.
- Heggenes, J., K.H. Road, 2006, Do dams increase genetic diversity in brown trout (*Salmo trutta*)? Microgeographic differentiation in a fragmented river, *Ecology of Freshwater Fish*, 15, 366-375.
- Horne, A. J., C. R. Goldman, 1994, *Limnology*. McGraw-Hill, Inc.
- Joy, M.K., R.G. Death, 2001, Control of freshwater fish and crayfish community structure in Taranaki, New Zealand: dams, diadromy or habitat structure, *Freshwater Biology*, 46, 417-429.
- Kinsolving, A.D., M.B. Bain, 1993, Fish assemblage recovery along a riverine disturbance gradient, *Ecological Application*, 3, 531-544.
- Korea Environment Institute, 2004, Fish ways at rivers and dams: current status, and future installation and management.
- Lemly, A.D., R.T. Kingsford, J.R. Thompson, 2000, Irrigated agriculture and wildlife conservation: conflict on a global scale, *Environmental Management*, 25, 485-512.
- Martinez, P.J., T.E. Chart, M.A. Trammell, J.G. Wullschleger, E.P. Bergersen, 1994, Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White River, Colorado, *Environmental Biology of Fish*, 40, 227-239.
- Meffe, G.K., 2002, Connecting science to management and policy in freshwater fish conservation, p. 362-372. In: *Conservation of Freshwater Fishes: Options for the Future* (Collares-Pereira, M.J., I.G. Cowx, M.M. Coel-ho, eds.). Blackwell Science.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2011, A study on the construction of integrated management system for improving efficiency of fishway operation of Korea.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009, *Rivers Design Criteria*.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2004, Management system research facility standard design, construction, and the Standard Model developing and operating, at least for the protection of fisheries resources in the river.
- Nicola, G.G., B. Elvira, A. Almodovar, 1996, Dams and fish passage facilities in the large rivers of Spain: effects on migratory species. *Archiv für Hydrobiologie*, 113, 375-379.
- Poff, N.L., D.D. Hart, 2002, How dam vary and why it matters for the emerging science of dam removal, *Bioscience*, 52, 659-668.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks, J.C. Stromberg, 1997, The nature flow regime: a paradigm for river conservation and restoration, *Bioscience*, 47, 769-784.
- Quinn, J.W., T.J. Kwak, 2003, Fish assemblage changes in an Ozark River after impoundment: a long-term perspective, *Transactions of the American Fisheries Society*, 132, 110-119.
- Ricciardi, A., J.B. Rasmussen, 1999, Extinction rates of North American freshwater fauna, *Conservation Biology*, 13, 1220-1222.
- Seong, J.W., J.H. Park, J.O. Kim, J.C. Park., 2013, Classification and Assessment of Fishway in the Tributary of Nakdong River, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 46(2), 185-191.

- Seoul Development Institute, 2006, Improving river corridor of Cheonggyecheon in Seoul.
- Teresa Teijeiro Rodríguez, J. Puertas Agudo, Luis Pena Mosquera, E. Peña González, 2006, Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capabilities, *Ecological engineering*, 27, 37-48.
- Thomas, D.H.L., 1996, Dam construction and ecological change in the riparian forest of the Hadejia-Jama are floodplain, Nigeria, *Land Degradation and Development*, 7, 279-295.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, C. E. Cushing, 1980, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.
- Yamamoto, S., K. Morita, I. Koizumi, K. Maekawa, 2004, Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: spatial-temporal changes in gene frequencies, *Conservation Genetics*, 5, 529-538.
- Yang, H.J., K.H. Kim, J.D. Kum, 2001, The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong river mouth dam, *Korean Journal of Limnology* 34(3), 251-258.
- Yagci, O., 2010, Hydraulic aspects of pool-weir fishways as ecologically friendly water structure, *Ecological engineering*, 36, 36-46.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, G.J. Joo, J.W. Seo, Hubert Pak, M.H. Jang, 2011, Freshwater fish utilization of fishway installed in the Jangheung dam, *Korean Journal of Limnology* 44(3), 264-271.