

## 한강 잠실수중보 계단식 어도의 어류소상기능 평가

## An Assessment of Ascending Functions of the Pool-and-Weir Fishway at Jamsil Weir in the Han River

박상덕\* / 신승숙\*\* / 안효윤\*\*\* / 마수봉\*\*\* / 황종서\*\*\*\*

Park, Sang Deog / Shin, Sung Sook / Ahn, Hyo Yoon / Ma, Soo Bong / Hwang, Chong Seo

## Abstract

In this paper, ascending functions of the pool-and-weir fishway which has been established for the upstream migration of migratory fish at Jamsil Weir in the lower part of the Han River was assessed by applying the Existing Fishway Measurement Method, and measures to improve these functions were suggested. The primary fish which ascended the fishway during the period of measurement was *Erythroculter erythropterus* Basilewsky, greater than 29 cm in the body length. A total of 361 individual fish were collected with traps established at the exit of the fishway. The maximum ascending capacity for the fish was  $2.53 \times 10^3$  fish/hr/g. The fishway of Jamsil Weir does not satisfy the various fish species inhabiting in the river. Especially, small fishes of lower swimming ability may not ascend the fishway because the difference in water levels between upper and lower pools in the fishway was too large at the exit and there was too much discharge flowing into the fishway. This fishway does not have a roll in the ascending function for other species except *Erythroculter erythropterus* Basilewsky and *Hemibarbus labeo* Pallas, for which swimming ability is great. In order to improve the ascending function of the fishway, the structures of the fishway need to be changed so that various species in the river can easily ascend and the fishway function be taken into consideration in operation of the gates of the weir. Additional construction of fishways on both sides of the lower flow channel are needed to correct a decline in the fishway effectiveness due to continuous flow over the fixed part of the weir.

**Keywords** : Pool-and-weir fishway, Migratory fish, Ascending capacity, Ascending function, Jamsil Weir

## 요 지

본 연구에서는 설치어도조사법을 적용하여 한강 하류부 잠실수중보의 회유성 어류 이동을 위해 설치된 계단식 어도에 대해 어류소상기능을 조사하고 그 개선방안을 제시하였다. 조사기간 동안에 어도출구에서 채집된 어도이용 대상어류는 체장이 29cm 이상인 강준치가 361개체로서 대부분을 차지하였으며, 그 강준치에 대한 소상능력은 최대  $2.53 \times 10^3$  개체/hr/g으로 나타났다. 잠실수중보의 계단식 어도는 한강에 서식하는 어류의 다양성을 만족시키기 어려운 형태일 뿐만 아니라 어도 출구의 월류격벽 낙차가 너무 크고 과도한 유량이 유입되기 때문에 유영력이 약한 어류가 이용할 수 없다. 따라서 이 어도는 유영력이 큰 강준치와 누치 이외의 다른 어류에 대해서는 소상기능을 발휘하

\* 강릉대학교 공과대학 토목공학과, 교수  
Professor, Dept. of Civil Engrg., Kangnung National Univ., Gangreung, Gangwon-do, 210-702, Korea,  
(E-mail : sdpark@kangnung.ac.kr)

\*\* 강릉대학교 대학원 토목공학과, 박사과정

\*\*\* 강릉대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

\*\*\*\* 하천생태복원연구소, 소장

지 못하고 있는 것으로 확인되었다. 어도의 기능을 향상시키기 위해서는 다양한 어류가 이용할 수 있는 형식으로 어도구조를 변경하고, 어도시설의 기능을 고려하여 가동보를 운영하여야 한다. 또한 고정보 전체의 상시 월류로 인해서 생기는 어도의 설치효과 저하에 대해서는 저수로 양안 측에 어도를 추가 설치할 필요가 있는 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 계단식 어도, 회유성 어류, 소상능력, 소상기능, 잠실수중보

## 1. 서 론

우리나라 하천의 인위적인 변화상을 잘 나타내고 있는 한강 하류부는 1986년 준공된 한강종합개발사업을 기점으로 하여 큰 변화를 겪었다. 치수와 이수기능 강화에 역점을 둔 당시의 하천개발에서는 하천의 생태환경 기능을 크게 주목하지 못하였으며, 생물의 서식처인 하천공간을 인간본위의 친수공간으로 변질시켰다. 또한 서해안과 한강을 왕래하는 회유성 어류의 이동통로가 잠실수중보에 의하여 차단되었다. 잠실수중보는 보 상류에 있는 수리시설물들의 기능을 보전하고 하천의 경관 및 친수성을 향상시킬 목적(서울특별시, 시설안전기술공단, 1999)으로 잠실대교 직 하류 지점에 한강종합개발과 함께 건설되었다. 그러나 하천에 대한 이해가 인간과 더불어 건전하게 지속되어야 할 대상으로 확대되고 경제수준이 향상됨에 따라 하천은 유역환경의 중요한 구성요소로 인식되었으며 하천의 생태적인 역할도 중요하게 되었다. 따라서 잠실수중보의 설치로 변화된 한강의 상시흐름과 하천경관은 생태적 측면에서 새로운 문제의 핵심이 되어왔다. 잠실수중보를 건설할 당시에도 보가 한강에 서식하는 어류의 이동에 미칠 부정적인 영향을 예상하고, 이를 완화시키기 위한 노력의 일환으로 보에 어도를 설치하였다.

잠실수중보 건설 이후 한강 하류부의 어류생태환경에 대한 평가는 어류의 분포를 조사한 많은 연구자(최기철, 1987; 전상린, 1990; 조규송 등, 1994; 변화근, 1998; 이완옥, 2001; 변화근, 2002)들을 중심으로 이루어졌다. 그 결과들을 종합하면 잠실수중보는 두우쟁이나 황복 등과 같은 회유성 어류의 이동에 큰 장애요인이 되고 있으며, 이를 완화하기 위해 설치된 어도도 제 기능을 발휘하지 못하고 있는 것으로 판단되고 있다. 어도가 하천개발로 인해 차단된 어류의 이동 통로를 확보하는 시설이므로 그 설치에는 이를 이용할 어류의 생태적 특성을 충분히 반영하여야 하나, 이를 파악하고 완벽하게 반영하는 것은 현실적으로 용이한 일이 아니다. 따라서 어도설치 후에 그 효과를 조사하는 것은 어도시설의 개선방안을 결정하기 위해서도 중요한 절차라고 할 수 있다.

어도의 설치효과를 조사하는 방법은 간접조사법과 직접조사법으로 구분되며, 간접조사법은 어도 지점의

상류와 하류에 서식하는 어류분포의 차이를 이용하거나(이완옥, 2001) 어도의 구조가 어떤 어류의 이동 조건에 적절한지를 조사(김진홍과 김철, 1994; 김진홍, 1996; 박상덕, 2001a)하여 간접적으로 그 효과를 평가하는 방법이라고 할 수 있다. 직접조사법은 이미 설치된 어도를 이용하는 어류를 채집 또는 관찰하거나(황중서, 2000; 박상덕 등, 2001) 그 어류를 대상으로 어도 생태수리모형실험을 실시하여(박상덕, 2001b, 2001c) 직접적으로 어도의 효과를 평가하는 방법이다. 조사비용과 시간적인 측면에서 간접조사법이 용이하나 정성적인 평가방법인 반면에 직접조사법은 비교적 정확하고 정량적인 평가방법이라고 할 수 있으나 많은 비용과 시간이 소요되는 단점이 있다.

잠실수중보 어도에 대해서 직접조사법에 의한 어도 이용 어류조사는 현재 전무한 실정이나, 이완옥(2001)은 한강 하류부의 어류분포 조사에서 오래 전에 한강에서 자취를 감춘 우리나라의 대표적인 회유성 어류라고 할 수 있는 은어를 잠실수중보 직 하류 지점에서 채집하고 어도시설 개선의 필요성을 제기한 바 있다. 또한 잠실수중보 계단식 어도에 대해서 박상덕(2001a)은 은어의 이동에 관련하여 어도의 구조적인 특성을 검토하고 어도구조 개선이 필요하다고 지적하였다. 그러나 이와 같은 간접조사법을 이용한 잠실수중보의 어도기능 평가는 어도를 직접 이용하고 있는 어류조사에 근거하지 않기 때문에 어도시설의 개선방안에 그 결과를 활용하는 데 한계가 있을 수밖에 없다. 즉, 수위변동에 따라서는 어도와 관계없이 어류가 보 상류로 이동할 수도 있고, 어도를 이용할 수 있는 다양한 어류의 유영능력 등에 대해서도 충분히 파악되지 못한 실정이기 때문이다.

그러므로 본 연구와 같이 직접조사법을 적용하여 어도의 기능을 평가하는 것은 한강의 어류생태에서 잠실수중보 어도가 차지하는 위상을 감안할 때 대단히 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 직접조사법의 개념으로 어도기능을 평가하기 위해서 잠실수중보 계단식 어도를 이용해 소상하는 어류를 채집하고 그 특성을 조사하였다. 또한 이와 함께 어도의 수리특성에 영향을 미치고 있는 잠실수중보의 수위조절 기록을 분석함으로써 어도시설의 문제점을 파악하고 개선방안을 제시하였다.

## 2. 어도시설 현황

한강 하류부에서 어도가 설치된 잠실수중보 지점은 서해의 조위변동에 직접적인 영향을 받는 감소하천 구간으로서 하천양안은 서울시 광진구 자양동과 송파구 잠실동이다(서울특별시, 시설안전공단 1999). 잠실수중보는 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 한강의 우안에서부터 가동보(可動洑), 어도(魚道), 고정보(固定洑)의 순으로 되어 있다. 가동보는 수위 및 유량 조절을 위해 수문으로 설치되어 있고, 이를 이용하여 평상시 어도의 유입량에 직접적인 영향을 미치는 요소인 보의 월류수심을 조절하고 있다. 현재 가동보의 평상시 운영조작은 고정보에서 약 10cm 깊이의 월류가 발생되도록 하고 있다. 보 상류와 하류사이의 수면 차이는 서해안의 조위변동에 따라서 변하나 약 3m 이상에 달하고 있다. 이와 같이 큰 낙차는 회유성 어류가 보 상류로 이동하는데 장애가 되고 있으며, 이를 최소화하기 위하여 고정보에 콘크리트구조의 어도가 설치되었다.

잠실수중보의 계단식 어도는 기존 어도형식 중에서도 가장 고전적인 형태라고 할 수 있으며, 그 전경은 그림 2와 같고 어도의 규모는 표 1에서 제시한 바와 같다. 월류격벽(weir)의 높이는 1m이고, 계단식 어도의 어류소상에 결정적인 영향을 미치는 요소인 월류격벽의 최대낙차는 어도출구 웅덩이(pool)에서 50cm를 나타내고

있다. 이는 어도 내의 흐름이 낙하류 상태일 경우에 어도를 이용하는 어류가 상류로 이동하기 위해서 도약해야 할 최대 높이를 의미한다. 따라서 이와 같은 최대낙차를 도약하여 상류로 이동할 수 있는 어류가 있는지와 그 어류가 어떤 어종인지를 파악하는 것이 어도기능 평가의 질을 좌우할 중요한 관건이 된다고 할 수 있다. 우리나라에 서식하는 은어의 경우에는 계단식 어도의 최대낙차가 20cm를 넘으면 어도의 소상기능이 좋지 못한 것으로 조사(박상덕, 2001c)된 바 있다.

어도출구 월류부 표고는 어도유량의 유입을 위해 고정보의 마루보다 20cm 낮게 되어 있으며, 가동보의 평상시 운영조작에 따르면 어도출구부 수심은 30cm 이상이 된다. 어도가 설치된 지점에서 한강의 저수로 폭에 대한 어도 폭의 비를 폭원비라고 하며, 잠실수중보 어도의 폭원비는 2.58%를 나타내고 있다. 저수로의 폭을 고정보의 상시유수단면으로 할 경우 이 폭원비는 3.34%으로 높아진다. 어도의 폭원비는 보 하류에서 상류로 이동하고자 하는 어류가 어도의 입구를 찾을 수 있는 가능성의 판단지표가 되며, 폭원비가 크면 어류가 어도입구에 접근할 가능성이 커진다는 것을 의미한다. Goyama에 의하면 어도의 폭원비 3%이하가 되면 어도의 어류소상기능이 좋지 않다고 하였다(신문섭, 1998). 따라서 잠실수중보는 최소한의 폭원비 조건에 해당하고 있는 것으로 판단된다.

표 1. 잠실수중보 및 어도 제원

구분	내 용	
위치	광진구 광장동 ~ 송파구 잠실동, 잠실대교 직하류부	
보의 길이와 구성	길이 : 873m 구성 : 고정보 650.5m, 가동보 200m, 어도 22.5m	
가동보	수문형식 : 강제롤러게이트 수문의 수 : 5 수문규모(폭×높이) : 36.0m×3.7m	
고정보	형식 : 콘크리트 중력식 마루표고 : 6.2 EL.m 보 상하류간 수위차 : 3.0~3.5m(조위변동영향)	
어도	형식	계단식
	규모(폭×길이×높이)	22.5×28.3×2.9 m
	경사	0.102
	격벽의 두께	30 cm
	웅덩이 규모(폭×길이×깊이)	22.5m×3.7m×1.0m
	월류격벽의 최대낙차	50 cm
	보 만수위시 어도출구 수심	20 cm
	폭원비	2.58 %
어도 출구의 격벽표고	6.0 EL.m	

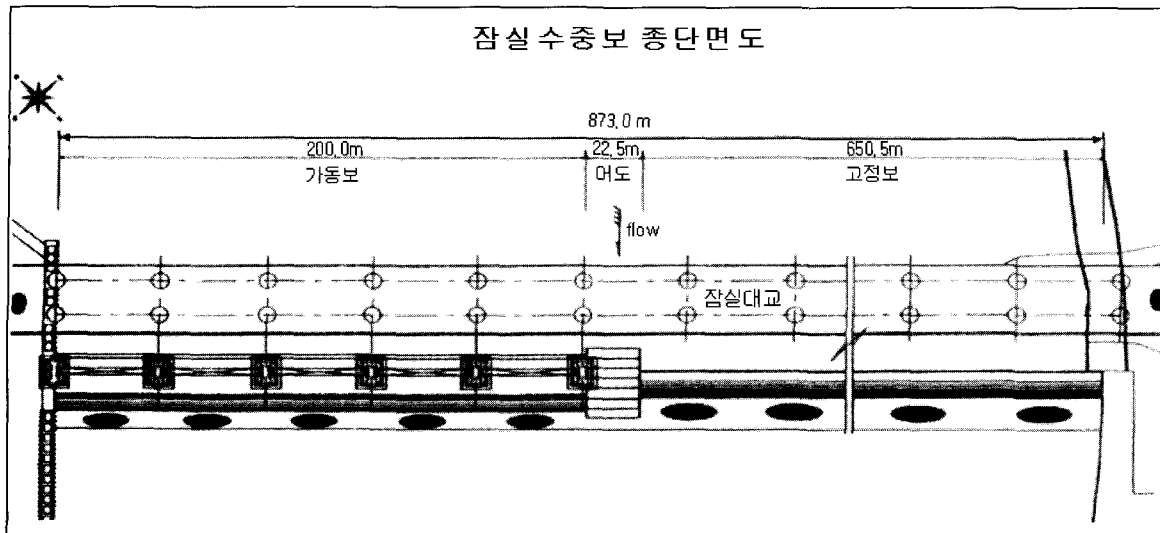


그림 1. 잠실수중보 평면도(서울특별시, 시설안전공단, 1999)

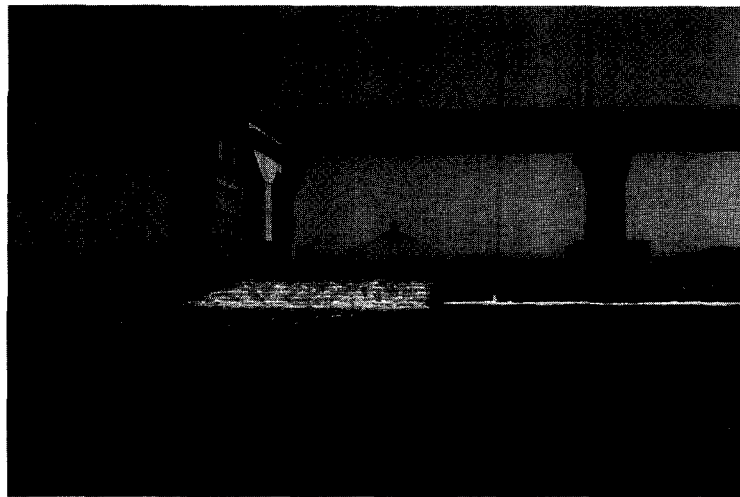


그림 2. 잠실수중보 어도(2002년 5월 1일 촬영)

### 3. 어도의 소상어류 조사

#### 3.1 조사방법 및 조사장치

어떤 어도가 하천에 서식하는 어류에게 적절한 형식 인지를 판단하기 위한 조사방법에서, 간접조사법은 어류분포조사법과 수리모형실험조사법으로 나눌 수 있고 직접조사법은 설치어도조사법과 어도 생태수리실험조사법으로 구분될 수 있다. 간접조사법의 개념을 적용한 경우에는 김진홍과 김철(1994) 및 김진홍(1996)이 계단식 어도의 수리모형실험으로 어류 소상에 적절한 격벽 형상을 연구한 바 있다. 직접조사법의 설치어도조사법을 적용한 연구로서, 황종서(2000)는 영암호 갑문식 어도의 어류이용을, 박상덕 등(2001)은 연곡천의 계단돌망태식 어도의 어류소상을 조사하였으며, 박상덕(2002b,

2000c)은 계단식 어도와 사다리식 어도에서 은어와 송어를 대상으로 어류생태수리실험을 하였다. 본 연구에서 적용한 직접조사법의 설치어도조사법은 하천에 설치된 어도에서 소상 중에 있는 어류를 관찰하거나 채집하여 어도의 어류소상효과를 판단하는 방법이다. 이는 어도의 기능을 정량적으로 평가할 수 있는 직접적이고도 가장 정확한 방법이라고 할 수 있으나, 어도를 이용하는 어류의 관찰이 용이하지 않고 어류의 채집에 많은 비용과 시간이 소요되는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 그림 3과 같은 어류채집기를 잠실수중보의 어도출구에 설치하여 어도를 이용해서 소상한 어류를 채집할 수 있도록 하였다. 어류채집기는 폭 0.9m, 너비 0.7m, 높이 1.2m의 규모로서 강재 틀에 망목 5mm의 그물을 씌웠다. 어도의 출구에 이를 설치 완료한 것은 2002년 5월 14일 오후 17시로서 총 22개의

어류채집기가 소요되었다. 그림 4는 잠실수중보 계단식 어도에 설치된 어류채집시설을 나타내는 것이다. 이와 같은 어류채집시설에서 어떤 시간이 경과한 후 소상 어류를 채집하였으며, 채집기 내에 있는 어류를 쉽게 잡을 수 있도록 각 채집기를 수면 상으로 인양한 후 어류 채취 작업을 실시하였다. 조사 차수 별로 각각의 어류 채집기에 들어 있는 어류의 종류, 개체 수, 체장, 전장, 중량을 측정하고 어도 출구부 및 보의 월류수심, 조사 일시, 날씨 등을 조사하였다. 어도출구부의 수심은 한강관리사업소의 잠실수중보 수문의 시간별 운영조각기록(서울특별시, 2002)을 참조하여 구하였다. 조사가 완료되면 다음 차수의 조사를 위해 어류채집기를 청소한 후 재 설치하였다.

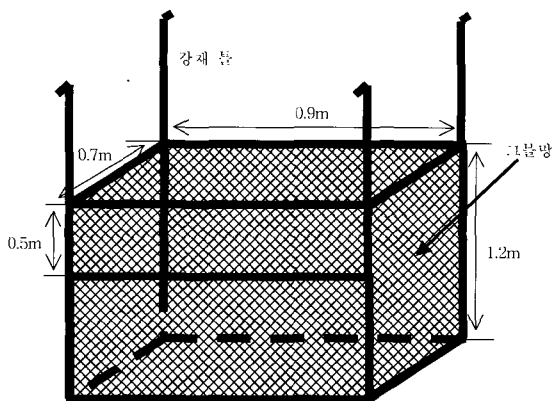


그림 3. 어류채집기

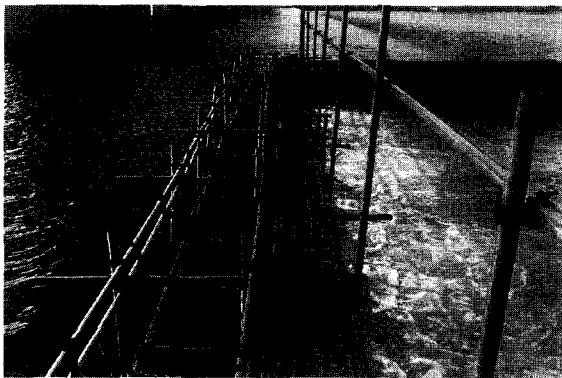


그림 4. 어도출구에 설치된 어류채집시설

### 3.2 조사결과

어류채집기를 어도 출구에 설치한 이후 어류소상 조사는 2002년 5월 14일 17:00부터 2002년 6월 8일 10:00까지 총 4차례에 걸쳐 이루어졌고, 각 차수의 어류 채집은 모두 오전 중에 실시되었다. 각 차수별 조사 결과는 표 2에 제시되었다. 제1차 조사에서는 한 개체도 채

집되지 않았으며, 제2차에서는 누치 2개체와 강준치 6개체가 소상하였다. 제2차 조사에서 소상한 누치의 체장은 38.5cm이고 중량은 0.49kg이었으며 강준치는 42~50cm의 체장에 0.54~1.1kg의 중량을 나타내었다. 제3차 조사에서는 총 4차례의 조사결과 중에서 가장 많은 207개체가 소상하였으며, 이들 중에 누치 1개체를 제외하면 모두 강준치였다. 여기서 누치의 체장은 32.8cm이고 중량은 0.45kg이었으며, 강준치는 33.5~54.5cm체장에 0.36~1.48kg중량으로 조사되었다. 제4차 조사에서는 149개체의 강준치만 채집되었으며, 이들은 29.0~52.5cm 체장과 0.24~1.5kg의 중량을 나타내었다. 각 차수별 어도출구부의 평균수심은 39.1~39.8cm 이었으며, 조사기간 동안 최소수심과 최대수심은 하천의 유량과 수문의 조작에 따라 비교적 큰 폭으로 변동하였다.

본 연구의 각 조사차수별로 볼 때 소상결과에 큰 차이가 발생하였으며, 잠실수중보 어도를 통하여 소상한 어종은 강준치와 누치 2종류 밖에 없는 것으로 나타났다. 어도를 이용하여 소상한 강준치의 전장과 체장에 대한 중량의 관계는 그림 5에 나타난 바와 같이 지수함수의 관계를 나타내었다. 이는 어렸을 때의 단위체장당 중량증가에 비하여 성체가 되었을 때의 단위체장당 중량증가가 더 크게 된다는 것을 나타낸다. 이와 같은 단위체장당 중량 변화의 차이는 어류가 성장함에 따라 어류의 소상능력의 차이로 나타나게 된다.

강준치(*Erythroculter erythropterus* Basilewsky)는 서해로 흘러드는 큰 강 중류나 하류의 물살이 느린 곳에서 살고 깊은 물에서 겨울을 보낸다. 어린 강준치는 연안에서 떼를 지어 보내며 생후 4년이 지나면 약 24cm 정도까지 자란다. 완전히 자란 강준치의 몸 길이는 40~50 cm인 개체들이 흔하고, 산란기는 3~7월로서 가장 알맞은 시기는 5월 중순에서 6월 상순이며 끈적끈적한 알을 낳아 하천의 수초에 붙이는 것으로 알려져 있다. 누치(*Hemibarbus labeo* Pallas)는 생후 3년 정도 지나면 약 17cm이상으로 자라며 20~30cm인 개체가 많고 50cm안팎인 것도 있다. 누치는 물이 맑고 깊은 곳을 좋아 하고 모래나 자갈이 깔려 있는 바닥이 가까운 층에서 유영을 한다. 산란기는 5월이며 하천의 모래나 자갈바닥에 알을 낳는다(최기철, 1996). 이와 같은 강준치와 누치의 생태적 특징으로 볼 때 잠실수중보 어도를 이용한 개체들은 완전히 자라 산란할 수 있는 성체로서 본 연구의 조사기간이 이들의 산란기에 해당하므로 수초나 모래 또는 자갈이 깔려 있는 서식처를 찾아 상류로 이동하는 시기와 일치하는 것으로 판단된다.

표 2. 어도의 어류소상 조사결과

조사일시		1차	2차	3차	4차
		2002. 5. 18 7:30~10:00	2002. 5. 24 9:30~10:30	2002. 5. 29 9:30~11:30	2002. 6. 8 10:00~11:00
채집시간 (hr)		86.5	143.5	119	238.5
출구부 월류 수심 (cm)	최소	34.5	32.5	33.6	32.7
	최대	52.4	65.3	50.9	51.4
	평균	39.8	39.8	39.6	39.1
	표준편차	3.69	4.98	3.61	4.11
소상어수 (개체)		0	누치 : 2 강준치 : 6	누치 : 1 강준치 : 206	강준치 : 149
소상어 특성	전장 (cm)	-	누치 : 43.0 강준치 : 49.5~58.0	누치 : 39.0 강준치 : 40.5~61.5	강준치 : 34.5~60.5
	체장 (cm)	-	누치 : 38.5 강준치 : 42.0~50.0	누치 : 32.8 강준치 : 33.5~54.5	강준치 : 29.0~52.5
	중량 (kg)	-	누치 : 0.49 강준치 : 0.54~1.10	누치 : 0.45 강준치 : 0.36~1.48	강준치 : 0.24~1.50

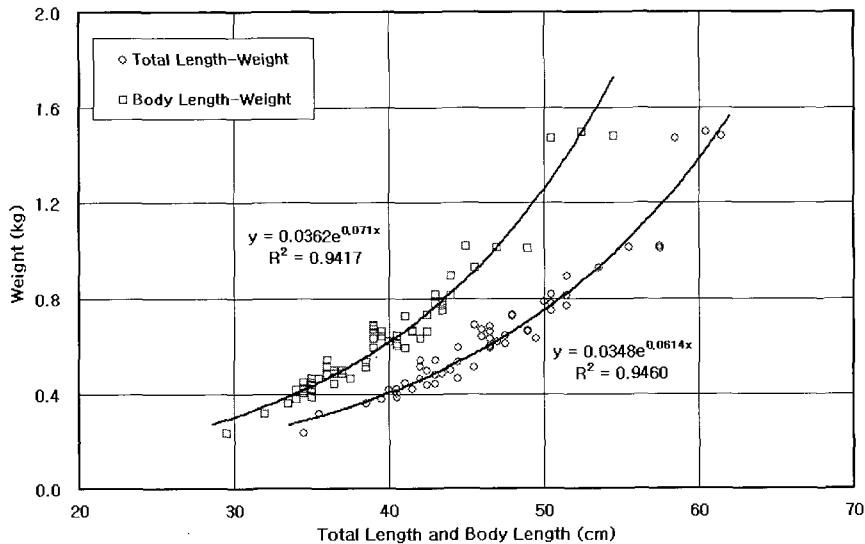


그림 5. 잠실수중보 어도를 소상한 강준치의 전장 및 체장과 중량의 관계

#### 4. 어도의 기능분석

##### 4.1 어도의 수리 특성과 어류소상

계단식 어도의 수리특성은 낙하류(plunging flow)와 표면류(streaming flow)의 여부에 따라 크게 달라진다. 본 연구 조사기간 동안에 잠실수중보 어도는 낙하류 상태를 나타내었다. 낙하류 상태는 어도 내의 유량이 적거나 월류격벽의 낙차가 커서 월류격벽 정부에서 낙하한 수류가 웅덩이 내로 잠입하는 흐름이다. 따라서 월류격벽 하류부 웅덩이의 흐름특성이 월류격벽 정부나 상류 웅덩이의 흐름에 영향을 미치지 않는다. 이와 같은 낙하류 상태의 경우에 어류가 어도를 소상하는 데

영향을 미치는 중요한 인자는 낙하류의 속도와 낙차의 크기라고 할 수 있다. 어류가 낙하 수류의 속도를 극복하고 상류로 도약하여 이동할 수 있는 지 여부가 계단식 어도의 기능을 좌우할 것이다. 따라서 잠실수중보 어도에서 최대 낙차를 나타내는 어도출구부의 유속변화를 조사하였다. 이를 위해서 서울특별시 한강공원관리사업소의 매시간별 가동보의 운영기록(서울특별시, 한강공원관리사업소, 2002)으로부터 각 조사기간 동안 어도 출구격벽 정부의 수심을 구하였다.

어류채집기를 설치한 후 시간이 경과함에 따라 그 장치의 그물망에 보 상류에서 유출된 각종 부유물질이 걸려서 통수능 저하에 따른 수면강하가 발생되었다. 이 현상을 조사한 결과 시간에 따른 수면강하는 관계식

(1)과 같다.

$$H_d = 0.7933Ln(t) + 1.0563 \quad (1)$$

여기서  $H_d$ 는 수면강하(cm)이고  $t$ 는 어류채집기 설치 후 경과시간(hr)이며 이 식의 결정계수는 0.9896이다. 이와 같은 수면강하의 영향을 어도 출구부 수심산정에 반영하였으며 이에 따른 각 조사기간 동안 수심변화를 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6에서 전체적인 수심변동을 살펴보면 그 변화 폭이 비교적 크다. 제 1차 조사기간의 최소 수심은 34.5cm 이었으나 이후의 조사에서는 이보다 작은 수심이 발생하였으며 그 발생시간은 2차의 경우 3시간 이상, 3차에서는 1시간, 4차에서는 5시간 이상으로 나타났다. 전체 조사기간 동안의 최소 수심과 최대수심은 2차 조사에서 나타났으며 각각 32.5cm와 65.3cm 이었다. 1차와 2차 조사기간의 평균수심은 39.8cm로 같았으나 어류의 소상결과에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되는 최소수심은 각각 34.5cm, 32.5cm로서 2차 조사에서 더 작았다. 어류의 소상결과도 1차와는 달리 2차에서 누치 2개체와 강준치 6개체를 나타내었다. 또한 3차와 4차 조사에서 평균수심은 각각 39.6cm, 39.1cm를 기록해 4차 조사의 평균수심이 전체 조사차수 중에 가장 작았다. 이러한 결과로 볼 때 월류부의 수심은 낙하류의 유속을 좌우하고 결과적으로는 소상결과에 민감한 영향을 미치는 것으로 판단된다.

낙하류의 유속과 어류소상 결과 간에 어떤 관계가 있는지를 판단하기 위해 다음 식 (2)를 적용하여 어도 출구 정부에서 최대 및 최소 한계류의 유속을 구하였다.

$$V = \sqrt{2gH/3} \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 낙하류의 지배단면에 대한 한계류 유속(m/s)이고,  $H$ 는 어도출구부의 월류 수심(m)이며 그 결과는 표 3에 제시하였다. 어류의 소상결과에 중요한 관련이 있을 것으로 판단되는 최소유속은 2차와 4차에서 거의 같은 1.46 m/s 이었으나 최대유속은 각각 2.065 m/s, 1.833 m/s을 나타내었다. 가장 많은 소상결과를 보인 3차 조사에서는 1.483~1.824 m/s의 유속범위를 기록하였고 한 개체도 소상하지 못한 제1차 조사의 유속은 1.501~1.850 m/s이었다.

그림 6의 시간에 따른 월류수심 변동과 어류 소상결과를 비교할 때 어류의 소상에 가장 중요한 것은 최소 유속의 크기인 것으로 생각된다. 즉 본 조사기간 동안 잠실수중보 계단식 어도에서 강준치와 누치는 1.49~

1.50 m/s의 한계류 유속 범위에서 소상한계를 나타내는 것으로 판단된다. 일본의 하천에 서식하는 은어에 대한 소상실험 결과를 1965년 발표한 Goyama에 의하면 소상한계 유속은 1.5~2.0m/s라고 하였다(신문섭, 1998). 이는 낙하류에 대한 실험이 아니기 때문에 본 연구의 낙하류에 대한 결과와 비교하기 어려우나, 유영 어류의 돌진속도와 체장의 관계가 10BL/s(中村, 1995; 해양수산부, 1999)를 나타내므로 은어보다 체장이 큰 강준치가 소상 한계유속도 더 클 것으로 생각된다.

Peake 등(1997)은 송어(brook trout)와 연어(Atlantic salmon)를 대상으로 계단식 어도의 소상을 위한 웅덩이 내의 선호유속에 관한 실험에서 송어는 느린 유속을 선호하고 연어는 빠른 유속을 선호한다고 하였다. 여기서도 알 수 있듯이 계단식 어도 내 웅덩이의 흐름조건은 어종별 소상결과에 큰 영향을 미치는 요인이라고 할 수 있다. 따라서 계단식 어도의 낙하류 하부 웅덩이 내의 흐름을 좌우하는 낙하류 유속의 크기는 어류소상에 대단히 중요하며, 잠실수중보 계단식 어도에서는 특히 어도 출구 월류격벽에서 유입유량이 과다하고 낙차가 너무 크기 때문에 소상결과에 큰 제약조건이 되고 있는 것으로 판단된다. 즉 어류가 월류격벽 하부의 웅덩이에서 도약 후 낙하류를 거슬러 상류로 진입하기 위해서는 잠실수중보 어도 출구의 한계류 유속과 낙차를 극복하기 위한 생체적인 조건을 갖추어야 하나 이를 만족하는 것은 단지 큰 개체의 강준치인 것으로 생각된다.

조사기간 동안 관찰된 바에 의하면 잠실수중보의 계단식 어도 내에서 체장이 큰 잉어가 다수 체류 중인 것을 체포하여 확인하였으나, 이들이 최종적으로 어도를 통과하여 상류로 올라가지 못한 것은 조사기간의 유속 조건 하에서 출구부의 낙차가 어류소상에 결정적인 장애로 작용하고 있다는 것을 나타낸다. 월류수심의 과대, 즉, 유량의 과대가 어도의 구조적인 결함과 복합적으로 작용하여 어도의 기능을 저하시키고 있다. 어도의 구조적인 결함은 계단식 어도의 기능에 결정적인 역할을 하는 격벽의 낙차가 출구에서 비정상적으로 크다는 점에 원인이 있다. 본래 계단식 어도에서는 어류 개체의 도약능력이 소상결과에 중요한 변수가 되기 때문에 격벽의 낙차를 어느 정도로 제한하여야 한다(박상덕 2001c). 그러나 동일한 도약능력의 경우 유량이 적으면 유량이 많을 때보다 한계류 유속이 작아지기 때문에 격벽의 제한 낙차가 커질 수도 있다. 따라서 잠실수중보 어도에서는 격벽의 높이와 유량의 과대가 기능저하의 주 원인이 된다.

유속을 좌우하는 어도 유입유량의 과대는 그림 6의 수심에 직접 영향을 미친 잠실수중보 운영조각이 어도

의 어류소상 기능을 전혀 고려하지 않고 이루어진 것을 의미한다. 어도 출구부의 평균월류수심이 30cm이하가 되도록 잠실수중보의 운영조작 방법을 변경하면 보다 많은 강준치와 누치가 어도를 이용하여 소상할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이와 같은 운영조작을 한다고 하더라도 유영력이 약한 어종의 어도이용은 불가능할 것으로 판단된다. 이는 어도의 월류격벽의 최대 높이가 50cm로 너무 크기 때문이다. 이완욱(2001)이 잠실수중보 직하부에서 채집한 은어와 같은 어종의 경우 계단식 어도의 최대 낙차는 20cm를 넘지 않도록 하는 것이 바람직하다는(박상덕 2001c) 점에 비추어 볼 때 잠실수중보 계단식 어도의 최대낙차는 강준치나 준치 이외의 한 강에 서식하는 유영력이 약한 어종에게는 극복하기 어려운 장애물이라고 할 수 있다.

#### 4.2 강준치와 누치의 소상능력

본 연구의 조사기간에 소상한 어류가 잠실 수중보 계단식 어도에서 발휘한 소상능력을 판단하기 위해서, 어도를 소상한 어류의 단위시간당 개체수로 정의한 식 (3)의 소상율과 어도를 소상한 어류의 평균중량당 소상

율로 정의한 식 (4)의 소상능력을 적용하였다. 소상율은 조사기간의 장단에 따른 소상결과와 차이를 평가하는데 사용될 수 있고, 소상능력은 어종별 특성이나 개체의 크기 등으로 인한 유영능력의 차이를 설명하는데 사용될 수 있다. 소상율이나 소상능력은 어도의 형식과 유량, 어종, 개체의 크기, 이동시기 등에 의하여 달라질 수 있다(박상덕, 2002b, 2001c).

$$M_r = \frac{n}{T} \quad (3)$$

$$M_C = \frac{n}{WT} \quad (4)$$

여기서  $M_r$  과  $M_C$  는 각각 소상율(개체/hr)과 소상능력(개체/hr/g)이며,  $n$ 은 소상한 어류의 개체 수(개체),  $T$ 는 조사기간(hr),  $W$ 는 소상어류의 평균중량(g)을 나타낸다. 잠실수중보에서 조사된 강준치와 누치의 소상율과 소상능력 및 상대도약고는 표 4와 같다. 여기서 상대도약고(cm/cm)는 어도 격벽의 최대낙차를 소상어류의 체장으로 나눈 것으로서 어떤 어종의 도약능력을 판단하기 위한 척도로 사용하기 위해서 도입하였다.

표 3. 어도출구부 지배단면의 유속

(단위 : m/s)

유속	조사차수	1차	2차	3차	4차
최소		1.501	1.461	1.483	1.462
최대		1.850	2.065	1.824	1.833
평균		1.613	1.613	1.608	1.598
표준편차		0.491	0.570	0.486	0.518

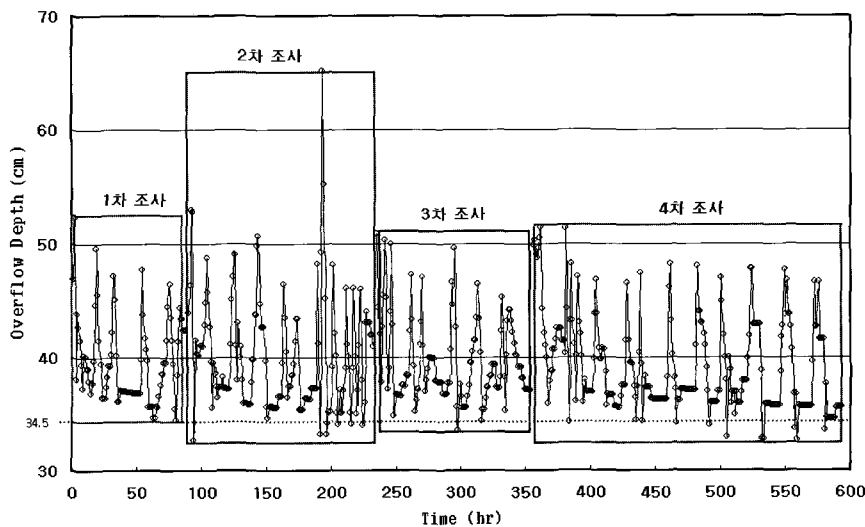


그림 6. 잠실수중보 어도 출구부의 월류수심 변동(2002. 5. 14 17:00~6. 8. 10:00)



표 4. 잠실수중보 어도에서 강준치와 누치의 소상능력과 상대도약고

조사차수		1차	2차	3차	4차
소상율 (개체/hr)	강준치	0	0.042	1.731	0.625
	누치	0	0.014	0.008	0
소상능력 (개체/hr/g)	강준치	-	$5.79 \times 10^{-5}$	$2.53 \times 10^{-3}$	$1.25 \times 10^{-3}$
	누치	-	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.78 \times 10^{-5}$	-
상대도약고 (cm/cm)	강준치	-	1.00~1.19	0.92~1.49	0.95~1.72
	누치	-	1.30	1.52	-

강준치의 최대소상율과 소상능력은 제 3차 조사에서 각각 1.731 개체/hr와  $2.53 \times 10^{-3}$  개체/hr/g으로 나타났다. 이는 잠실수중보 계단식 어도의 최대낙차 50cm와 낙하류의 한계유속을 반영한 것이며 강준치가 누치보다 소상능력이 우수한 것으로 판단된다. 유영 중에 있는 어류는 몸을 구부리거나 비트는 진동을 결합시켜 양력과 추진력을 얻으며, 그 추진력의 크기는 사용하는 근육의 종류, 체장과 체고의 크기 등(박상덕, 2000)의 생체조건에 따라 달라지므로 잠실수중보 어도에서 소상능력이 더 큰 것으로 나타난 강준치가 누치보다 유영력이 우수하다고 할 수 있다.

그러나 강준치에 대한 그림 5와 같이 체장과 중량이 지수함수의 관계보이고 있으므로 어떤 어류가 주어진 수리학적 조건에서 최대의 소상능력을 발휘하는 체장이 존재할 것으로 생각된다. 이는 본 연구에서 채집된 강준치 중에 체장이 34~44cm의 범위에 있는 개체가 가장 많았고 45cm 이상의 큰 개체는 적은 수를 나타내었다는 사실에서도 추정할 수 있다. 그러나 하천에 서식하는 강준치 개체의 체장분포를 확인할 수 없기 때문에 이러한 결과가 하천에 서식하는 개체분포의 차이에서 유래한 것인지 아니면 단위체장당 중량증가에서 유래한 것인지를 판단하기 곤란하며 이에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 어류의 유영능력과 도약능력은 어류의 크기가 증가하면 커지고 동일한 크기라 하더라도 어종과 어도의 기하학적인 조건에 따라서 달라진다는 Aaserude와 Orsbom(1985)의 연구결과를 고려하면 본 연구의 조사결과 상대적으로 큰 개체인 강준치가 어도를 주로 이용하는 것은 잠실수중보 어도의 소상능력이 좋지 못하다는 것을 나타내는 것이다.

그러나 어도에서 강준치의 상대도약고는 0.92~1.72cm/cm로서 누치보다 광범위한 변화 폭을 나타내고 있으며, 특히 제2차와 제3차에서는 강준치의 상대도약고가 누치보다 작게 나타났다. 이러한 결과는 계단식 어도에서 어류가 도약을 통해서 소상할 때 어종에 따른

체장대비 도약효율이 다르게 나타날 수 있음을 의미한다. 따라서 어류가 도약을 통하여 이동하는 때는 어류의 체장 뿐 만 아니라 사용하는 근육의 종류와 중량 등과 같은 생체적인 조건들이 관련되므로 이에 대한 추후 연구가 필요한 것으로 판단된다. 본 연구의 조사에서 체장이 큰 강준치와 누치만 어도의 출구에서 채집되고 체장이 작은 회유성 어류가 한 개체도 잡히지 않은 것은 한강에 서식하는 어류의 유영능력이 잠실수중보 어도의 설계와 보의 운영에 전혀 반영되지 않고 있는 것을 나타내는 것이다. 즉 잠실수중보 어도는 어류소상기능에 관련된 어류역학적인 조건이 매우 불량하다.

#### 4.3 잠실수중보 어도의 설치효과와 문제점

##### 1) 어도설치효과

본 연구의 조사결과 한강 하류부에 서식하는 회유성 어류가 이동하는 데 가장 큰 장애요인이 잠실수중보라는 사실을 다시 한번 확인할 수 있었다. 한강종합개발 사업의 시행에서도 이를 예상하고 잠실수중보에 계단식 어도를 설치하였으나 어도 설치목적에 부합하는 효과는 전혀 없는 것으로 나타났다. 즉 한강하류부에서 그 서식환경 보호를 위해 이동통로가 반드시 확보되어야 할 대부분의 회유성 어류 뿐 만 아니라 강준치와 누치를 제외한 어떤 종류의 어류도 잠실수중보 계단식 어도를 이용하여 상류로 소상할 수 없는 실정이다.

본 연구의 조사기간은 강준치와 누치가 산란기를 맞아 상류로 이동하려는 욕구가 강한 시기에 해당하기 때문에 본능적으로 최대의 유영능력을 발휘할 가능성이 크다. 따라서 한강에 서식하는 어떤 회유성 어종이 강준치보다 작은 개체라고 하면 강준치보다 큰 유영력을 기대하기는 어려울 것으로 생각된다. 또한 잠실수중보의 상시운영조건이 본 연구의 조사기간에 기록한 고정보의 평균월류수심 20~25cm정도로 유지되면 어도출구부 월류격벽의 한계류 유속이 더 작아지기 어려울 뿐만 아니라 최대 월류격벽의 낙차가 50 cm인 현 상황에서

유영력이 약한 어종의 이용은 불가능한 것으로 판단된다. 어도를 이용하고 있는 것으로 확인된 강준치나 누치도 각각 체장이 29.0cm, 32.8cm 이상인 대형 개체일 뿐이다. 따라서 설치된 어도의 기능이 하천개발에 의해서 불가피하게 파괴될 수 있는 회유성 어류의 서식환경을 보호하는 데 있다는 것을 고려하면 한강하류부의 어류이동 생태환경은 매우 열악하다고 할 수 있다.

## 2) 어도의 문제점

잠실수중보 어도에 대한 소상어류 조사결과와 어도 형식, 어도의 낙차, 어도 폭, 어도위치, 어도유량 등을 종합하여 판단할 때 잠실수중보의 어도는 한강에 서식하는 유영력이 약한 어류와 다양한 어류가 이용할 수 없는 실정이다. 어도의 형식은 다양한 어류의 이용이라는 측면에서 대단히 중요한 요소이다. 그러나 잠실수중보 계단식 어도는 이 조건을 만족시킬 수 없는 가장 고전적인 형식이라고 할 수 있으며, 이 어도에서는 일반적으로 낙하류가 지배적인 흐름이 되고 따라서 이를 이용할 어류들은 도약을 통하지 않고는 상류로 올라갈 수 없다. 즉 계단식 어도는 도약능력이 약한 어류에게는 적합하지 않은 어도형식이다.

어류의 순항이동과 돌진이동으로 구분되는 유영방법으로 소상하는 어류의 유영속도는 체장(BL)에 비례하는 것으로 알려져 있으며, 中村(1995)가 제시한 유영에 관한 제2 보조정리에 의하면 순항속도는  $2\sim 4BL/s$ 이고 돌진속도는 약  $10BL/s$  정도이다(해양수산부, 1999). 이를 적용하면 체장이 25cm인 어류의 순항속도는 1.0m/s, 돌진속도는 2.5m/s 정도가 된다. 따라서 잠실수중보 어도의 출구에서 나타난 유속범위 1.5~2.0m/s는 순항속도보다 빠르나 돌진속도보다는 작기 때문에 체장이 25cm인 어류가 돌진을 이용하여 소상할 수 있는 범위라고 판단된다. 그러나 어도 내에서 흐름이 표면류가 아니고 낙하류이기 때문에 체장의 크기가 40cm 이상으로 크다고 해도 잉어나 웅어 같이 도약력이 작은 어류는 이용할 수 없는 것으로 생각된다. 특히 어도의 웅덩이 내에서 체류하는 것이 확인된 대형 잉어들이 최종적으로 한 개체도 어도출구를 통과하지 않은 것은 유속의 영향뿐만 아니라 도약을 선호하지 않기 때문으로 보인다. 즉 유속측면에서 소상결과를 보면 체장이 20cm정도만 되어도 약 2.0m/s의 돌진속도로 낙하류 유속을 극복하고 소상할 수 있을 것이나, 유영력이 좋은 것으로 판단되는 약 30cm 이상의 강준치와 누치만 소상한 것은 어류의 도약능력이 소상결과에 어떤 영향을 미치고 있는 것을 나타낸다.

따라서 계단식 어도에서 낙차는 어도의 기능발휘를

위해서 가장 중요하게 다루어져야할 요소(박상덕, 2001c)이나 잠실수중보 어도는 최대낙차로 인해 유영력이 큰 어류라 하더라도 이를 이용하는데 한계를 나타낼 수밖에 없도록 되어 있다. 어도의 폭의 적절성은 폭원비로 설명될 수 있다. 잠실수중보 어도의 폭원비가 2.58~3.34%의 범위에 있어 어류가 흐름을 인식하고 어도의 입구를 찾기 어렵다고 할 수 있다. 가동보를 개방하여 보의 월류수심을 조절하고 있기 때문에 평상시 흐름이 발생하는 범위는 잠실수중보 전체의 저수로에 가깝다고 할 수 있다. 이는 Goyama의 3%라는 폭원비 기준(신문섭, 1998)을 적용할 때 어류의 소상효과를 저해하는 요소로 판단된다. 또한 한강의 어류서식 생태환경보전이 중요하면 할수록 이와 같은 어도의 폭은 부족하다고 할 수 있다.

어도의 위치는 우안으로부터 저수로 폭 873m의 약 1/4 위치에 설치되어있다. 그러나 고정보 전면에서 상시 월류가 발생하고, 수문에서는 개방위치에 따라 선택적으로 흐름의 위치가 변하기 때문에, 하류에서 보를 향하여 이동하는 어류의 이동경로에 현재의 어도 위치가 적절히 해당되는 지를 확인하기 어렵다. 주 흐름이 형성되면 이를 따라 어류가 이동하는 경우가 많으나 특히 현재의 한강과 같이 저수위가 균일한 단면으로 정비되고, 고정보 전체를 통하여 많은 유량이 월류하는 경우에는 주 흐름이 분명하지 못하기 때문에 어도의 기능이 취약해질 수 있다. 즉 어류의 이동경로는 하천에서 흐름의 강약과 어류의 생태적 이동특성이 밀접하게 관련되어 있으나 잠실수중보 어도의 현재 위치만으로는 이를 충족시키기 어려운 것으로 생각된다. 특히 고정보 전체에 상시흐름의 존재는 어도의 폭이나 위치의 문제와 더불어 어도기능을 저하시키는 것으로 판단된다.

## 5. 어도기능 개선방안

한강 하류부는 1986년에 완공된 하천종합개발사업에 따라 건설된 잠실수중보에 의하여 회유성 어류가 상류로 이동하는 것이 거의 불가능한 상황에 놓여 있다. 보의 건설계획 당시에 이미 예상되었던 이 같은 문제를 최소화하기 위한 노력의 일환으로 잠실수중보에 계단식 어도를 설치하였으나, 이 어도는 본 연구의 어도이용 어류를 직접 조사한 결과와 기존에 이루어진 어류분포를 이용한 간접 조사한 결과들로 판단할 때 그 효과를 거의 나타내지 못하고 있다. 따라서 잠실수중보 어도의 기능을 개선하기 위해서는 다음과 같은 방안들이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

① 어류의 다양성을 만족하는 어도가 필요하다.

잠실수중보의 계단식 어도는 어느 정도의 도약능력을 갖춘 대형 어류만이 이용할 수 있으므로 한강에 서식하는 다양한 어류가 이용할 수 있는 어도형식으로 개선되어야 한다.

- ② 어도위치의 다양화가 필요하다. 저수로 양안에 어도를 증설하여 하류에서 어류가 보에 접근할 수 있는 다양한 이동경로를 취할 가능성에 대비하여야 한다. 또한 추가되는 어도는 현재와 같은 가동보 운영조건에 따라서 불가피하게 고정보 전체로 물이 월류하기 때문에 발생하는 고정보 하부의 집결어류를 저수로 양안 측으로 유도하여 상류로 이동시킬 수 있어야 한다.
- ③ 어도의 기능을 고려한 가동보의 운영기준이 필요하다. 가동보의 운영조작 기준에 따라서 고정보의 월류유량과 어도의 유입유량이 좌우되고 보 하류 저수로의 흐름분포가 달라지므로 어도의 어류소상에 적절한 수리학적 조건들이 조성될 수 있는 가동보의 운영기준이 개발되어야 한다.

## 6. 결론

본 연구는 한강하류부 잠실수중보의 계단식 어도에 대한 어류소상기능을 평가한 것으로서, 설치어도조사법을 적용하여 회유성 어류소상 기능을 정량적으로 조사하고 그 개선방안을 제시하고자 하였으며, 본 연구의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 본 연구의 조사기간 동안 채집된 어도이용 소상어류는 체장이 29cm 이상인 강준치가 361개체로 대부분을 차지하였으며, 나머지는 체장이 32.8cm 이상인 누치가 3개체로 조사되었다. 또한 잠실수중보 어도에서 확인된 강준치의 소상능력은 최대  $2.53 \times 10^{-3}$  개체/hr/g으로 나타났다. 잠실수중보 어도는 유영력이 큰 강준치와 누치 이외의 다른 어류에 대해서는 소상기능을 발휘하지 못하고 있는 것으로 판단된다.
2. 잠실수중보 어도는 한강에 서식하는 어류의 다양성을 만족하기 어려운 형태일 뿐만 아니라, 어도 내의 최대 월류격벽 낙차가 50cm로 너무 크고, 어도 출구부에서 큰 월류수심으로 인해 과도한 유량이 어도로 유입되기 때문에 유영력이 약한 어류들이 이를 이용하여 상류로 이동할 수 없다. 어도 출구부의 큰 월류수심은 고정보 전체를 통하여 월류가 발생하도록 하는 가동보의 운영방법에 따라 생기고 있으며, 가동보의 운영조작은 어도의 기능을 반영하지 못하고 있다.

3. 잠실수중보 어도는 다양한 어류가 이용할 수 있도록 어도의 구조나 형식이 개선되어야 하며, 가동보의 운영기준도 어도시설의 기능을 고려하여 변경되어야 한다. 잠실수중보는 고정보 전체에서 상시 월류되고 있기 때문에 어류가 어도입구의 위치를 찾는 것이 어려울 뿐만 아니라 저수로 폭에 비해 어도의 폭이 작아 보 상류로 어류가 소상하는데 한계를 나타내고 있는 것으로 판단된다. 따라서 저수로 양안 측에 어도를 추가 설치하여 어류의 이동통로를 다양하게 함으로써 어도의 어류소상 기능을 향상시킬 필요가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 서울특별시의 2002년도 “한강 어류수중식공간 확보 방안”에 관한 연구결과의 일부로서 연구비를 지원해준 서울시정개발연구원에 감사드립니다. 또한 본 연구가 가능할 수 있도록 협조하여 주신 서울시 한강공원관리사업소와 (주)신강하이텍의 조성주 대표에게 깊이 감사드리며, 강릉대학교 수공학연구실의 전명권과 우창완 군에게도 감사를 포함합니다.

## 참고 문헌

- 김진홍, 김철 (1994). “어족의 소상을 위한 계단식 어도 수리특성에 관한 연구”. **한국수문학회지**, 한국수문학회. 제27권 2호, pp.63~72.
- 김진홍 (1996). “계단식 어도에서 격벽형상에 따른 수리학적 특성 및 어류의 상류이동”. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회. 제 29권 6호, pp.225~235.
- 박상덕 (2000). “어도와 어류역학”. **한국수자원학회지**, 한국수자원학회. 제33권 2호, pp.31~40.
- 박상덕 (2001a). “은어 이동통로”. 은어가 돌아오는 한강 심포지엄. 서울특별시. pp.49~61.
- 박상덕 (2001b). “어도 생태수리실험에 의한 회유성 어류의 소상능력 평가(Ⅱ)-사다리식 어도”. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회. 제34권 제4호, pp.377~391.
- 박상덕 (2001c). “어도 생태수리실험에 의한 회유성 어류의 소상능력 평가(Ⅱ)-계단식 어도”. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회. 제34권 제4호, pp.393~402.
- 박상덕, 김동하, 최백순, 권순민 (2001). “어도의 회유성 어류 소상능력 평가-연곡천을 중심으로”. **2001년도 대한토목학회 학술발표논문집(CD)**, 대한토목학회.
- 변화근 (1998). “어류”. **한강생태계조사연구보고서** 제13

- 장. 서울특별시. pp.357~391.
- 변화근 (2002) “한강의 생물상 현황 어류”. 서울특별시 한강생태계조사연구보고서 제2장. 서울특별시. pp.243~250.
- 서울특별시, 시설안전기술공단 (1999). 잠실수중보 정밀 안전진단 보고서. pp.9~14.
- 서울특별시, 한강공원관리사업소 (2002). 잠실수중보 운영 및 수위기록(5월, 6월).
- 서울특별시 (2002). “한강 어류수중서식공간 확충방안”. 한강생태계 조사연구 보고서. pp.647~711.
- 신문섭 (1998). “어도의 설계방향”. 동해안지역 회유성 어류를 위한 하천 생태환경 보전. 강릉대학교 동해안지역연구소 심포지움 발표논문집. pp.7~19~36.
- 이완옥 (2001). “은어서식 환경으로서 한강의 평가 및 개선방안”. 은어가 돌아오는 한강 심포지움 발표 자료집. 서울특별시. pp.31~45.
- 전상린 (1990). “서울 한강에 서식하는 담수어의 조사연구”. 서울특별시 한강생태계조사연구보고서 제14장. 서울특별시. pp.445~453.
- 조규송, 변화근, 최재석 (1994). “어류”. 한강생태계조사연구보고서 제14장. 서울특별시. pp.339~373.
- 최기철 (1987). “서울의 한강에 서식하는 담수어에 관하여”. 서울특별시 한강생태계조사연구보고서. 서울특별시. pp.297~322.
- 최기철 (1996). 우리 민물고기 백가지. 현암사. p.532.
- 해양수산부(1999). 어도시설 표준모형 개발에 관한 연구. 최종연구보고서. 강릉대학교. pp.192~194.
- 황중서 (2000). “영암호 감문식어도를 통한 어류 회유”. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회. 제33권 5호, pp561~568.
- 中村俊六 (1995). 魚道のはなし. 山海堂.
- Aaserude, R. G. and Orsborn F. F. (1985). *New Concept of Fish Ladder Design*. Final Project Report, part 2, Results of Laboratory and Field Research on New Concepts in Weir and Pool Fishways. US Department of Energy, Bonneville Power Administration, Division of Fish and Wildlife. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, pp.11~29.
- Peake, S., McKinley R. S. and Scruton D. A. (1997). “Swimming performance of various freshwater Newfoundland salmonids relative to habitat selection and fishway design”. *Journal of Fish Biology*, FSBI, Vol 51, pp.710~723.

(논문번호:04-32/접수:2004.03.23/심사완료:2004.06.16)