

## 헤링본 조류판 · 브러시 겸용어도의 수리 및 어류 소상실험

이형래 · 김기흥

경남과학기술대학교 토목공학과

### Hydraulic and Upstream Migratory Experiments on Combined Fishway of Herring-bone Bottom Baffle Type and Brush Type

Lee, Hyeong Rae and Kim, Ki Heung

Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology.

#### ABSTRACT

In order to promote efficiency of upstream and downstream migration of fishes, this study has developed a combined fishway of herring-bone bottom baffle type and brush type fishways. The results obtained are as follows :

1. In a channel with constant incline, the velocity of current generally shows a distinct tendency of acceleration as it goes down the stream. But in the hydraulic experiment of herring-bone bottom baffle type fishway, the velocity reached its maximum only at 0.4m/sec, and it tended to be stable without any acceleration.

2. The velocity in the brush type fishway showed a distinct tendency of acceleration as the discharge increased. But its greatest velocity was only 0.3m/sec, and its velocity change according to the discharge increase was only 0.15m/sec at maximum.

3. The maximum velocity in the combined type fishway was less than half of the blast speed of the poorest swimmer, the juvenile eel with 90mm of body length. So any species of fishes are supposed to be able to migrate upstream from the estuary through this combined type fishway.

---

**First author** : Lee, Hyeong Rae, Dept. of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, 150, Chilam-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-758, Korea,  
Tel : +82-55-751-3292, E-mail : hrlee@gntech.ac.kr

**Corresponding author** : Kim, Ki Heung, Dept. of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, 150, Chilam-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-758, Korea,  
Tel : +82-55-751-3294, E-mail : khkim@gntech.ac.kr

**Received** : 17 May, 2011. **Revised** : 22 June, 2011. **Accepted** : 24 June, 2011.

4. The field experiment of upstream migration showed that the combined type fishway can promote efficiency of upstream and downstream migration of any species of fishes.

Key Words : *Fish, Blast speed, Discharge, Field experiment, Hydraulic experiment, Velocity.*

## I. 서 론

우리나라의 하천에는 해수에서 성장하여 번식을 위해 담수로 회유하는 연어, 은어 같은 소상성(溯上性, Anadromous) 어종과 해수에서 번식하고 담수에서 성장하기 위해 회유하는 뱀장어 같은 강하성(降河性, Catadromous) 어종과 같은 회유어들이 있다. 과거의 기록을 보면 이러한 종들의 회유어들은 우리나라 모든 하천의 상·하류 전역에 분포했었지만 최근에는 하류의 일부에서만 이런 종들이 관찰되고 그 개체수도 아주 적은 실정이다. 이러한 현상은 여러 가지 요인이 있겠지만 가장 직접적인 원인은 하구역에서부터 설치된 보 및 낙차공과 같은 하천횡단구조물의 영향이 가장 크다고 볼 수 있을 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 보, 낙차공 설계 및 시공과 관련된 우리나라의 기준으로는 하천설계기준(한국수자원학회, 2005) 및 댐설계기준(한국수자원학회, 2004) 등이 있다. 또한, 어도생태수리실험에 의한 회유성 어류의 소상능력 평가(박상덕, 2001a ; 2001b), 계단식 어도에 대한 수리특성 분석(김진홍, 1999), 한강 잠실 수중보의 계단식 어도에 대한 어류 소상기능 평가(박상덕, 2004), 아이스하버식 어도의 수리모형실험과 어류 이동 모니터링(김재욱 등, 2004) 등 다수의 연구가 행해져 왔다.

국외에서는 일본의 경우 건설성하천사방기술기준(안)(建設省, 1997)이 있으며, 미국의 경우에는 각 주별로 대상어종에 따라 다른 기준을 적용하고 있으며, 대표적으로 Fishway guideline for Washington State(Washington State, 2000)가 있다.

어도 실험연구는 버틸결슬롯(vertical slot) 어

도에 대한 연구(Wu et al., 1999; Minnan, 2006), 데닐식 어도에 대한 수리실험(Mufeed Odeh, 2003), 원관에서의 읍셋배플 형식의 어도에 대한 연구(Rajaratnam et al., 1991; Ead et al., 2002) 등이 있다. 특히, 조류판 어도(baffle fishway)에 대한 연구(Larinier, 2002)는 헤링본 형상(herring-born pattern)의 조류판(阻流板, baffle)을 설치한 경우에 대하여 헤링본의 각도, 간격 및 높이에 따른 유속, 수면파의 발생 등을 고려하여 표준 헤링본 조류판 어도(herring-bone bottom baffle fishway)를 제안하였다.

우리나라에 설치된 기존의 어도들은 전부가 소상어만을 위한 어도이며 강하어의 유영특성과 생리특성을 고려하여 설치된 어도는 없을 뿐만 아니라 소상어 중에서도 치어상태로 회유하는 뱀장어류와 같이 유영력이 극히 미약한 어류들을 배려한 어도에 대한 연구사례가 전무한 실정이다.

본 연구는 유영력이 극히 미약한 치어 상태의 뱀장어류 및 갑각류를 위한 섬모상의 브러시형 어도와 유영력이 탁월한 어종인 은어, 연어류를 위한 헤링본 조류판 어도를 하나의 어도 본체하는 헤링본 조류판·브러시 겸용어도를 설계하여 회유어의 소상과 강하가 효율적인 어도를 개발하는데 그 목적이 있다. 본 연구의 주요 과제인 수리실험과 어류 소상실험을 통하여 그 효용성이 어느 정도 입증되었으며 이런 형태의 어도의 개발과 보급은 하천생태계의 다양성을 높이고 한편으로는 하천의 생산성을 증대시켜 하천을 매개로 살아가는 주민들의 소득증대는 물론이고 하천 애호 활동에도 자발적으로 참여할 수 있는 일석이조의 효과를 누릴 수 있을 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험방법

본 연구에서는 우리나라에서는 시도되지 않은 헤링본(herringbone)·브러시(brush) 겸용어도에 대한 수리특성 파악을 위한 실내 수리실험과 손상능력을 평가하기 위하여 4종의 어류에 대하여 현장 손상실험을 수행하였다.

수리실험은 어도바닥의 조류판의 유무에 따른 유속저지 효과에 주안점을 두었으며, 브러시 어도부의 유속측정은 현장에서 인위적으로 유량에 변화를 줄 수 없고, 브러시 사이에 이물질이 부착

하여 정확성을 기할 수 없어 실험실에서 수행하였다. 수리실험은 조류판 어도(baffle fishway)에 대한 연구(Lariniere, 2002)의 결과를 기초로 그림 1~3과 같은 3 가지 조건의 대한 수리실험을 수행하였고, 표준인 그림 3의 A형을 수리실험용 어도로 선정하고 수리특성을 분석하였다.

수리실험에서 유속측정은 그림 1, 사진 1 및 2와 같이 수로의 일정 경사가 유지되고 있는 10m 구간에 대해 어도 출구로부터 하류방향으로 1m 간격으로 측정하였다. 그리고, 유속계는 전자식 유속계를 사용하였으며 측정 당시의 어도 수심은 10cm이었다.

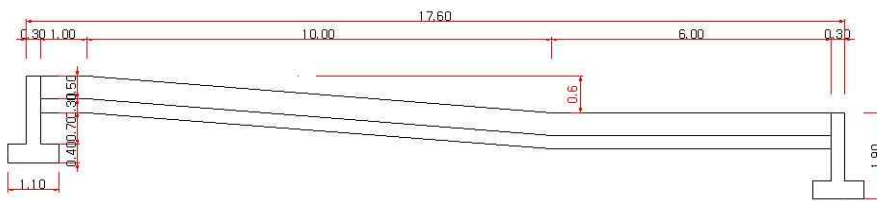


그림 1. 현장수리실험용 브러시어도 종단도(단위 : m).

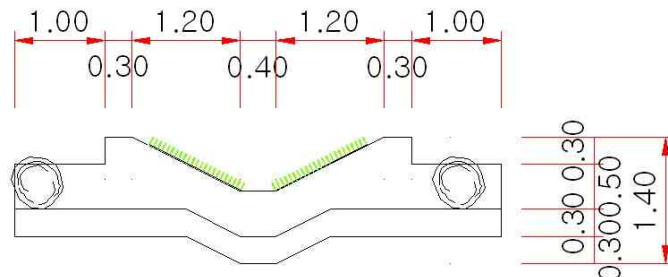


그림 2. 현장수리실험용 브러시어도 단면도(단위 : m).

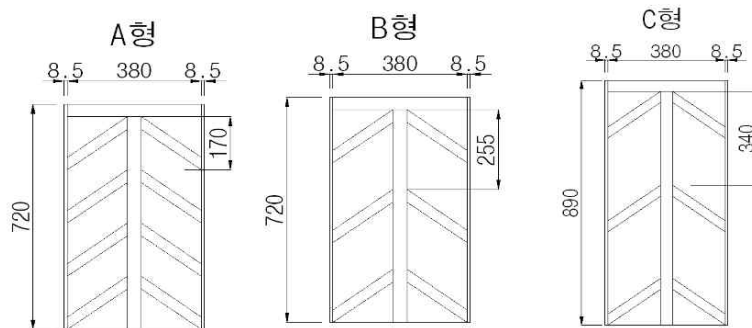


그림 3. 헤링본 조류판어도의 수리실험용 어도 모형도(단위 : mm).



사진 1. 어도 실내 수리실험 장면.



사진 2. 조류판설치 전후의 현장 유속 측정 장면.

현장 소상실험의 대상지는 경남 남해군 남해읍 봉천에 기 설치된 브러시 어도의 수로부(그림 1 및 그림 2)에 그림 3의 A, B 및 C형 헤링본 조류판어도를 수로부에 설치하였다. 기 설치된 브러시어도의 브러시 간격은  $25 \times 25(\text{mm})$ 에 길이  $100\text{mm}$  플라스틱제 솔기를  $10 \sim 12$ 매를 묶어 플라스틱판에 고정한 것이며, 조류판어도에 헤링본 타입으로 부착된 조류판은 두께  $50\text{mm}$ , 폭  $50\text{mm}$ 의 각목을  $10\text{mm}$  베니어판에 부착한 것을 사용하였다.

## 2. 수리실험

수리실험을 위한 현장조사 결과에 따라 어류

의 어도 소상에 최적의 모형이라 판단되는 그림 3의 A형에 대하여 브러시 어도를 현장과 같이 제작하여 실험실에서 헤링본·브러시 겸용어도의 유량별 유속분포를 조사하였다. 어도의 단면은 현장실험과 같게 제작하였으며 어도의 길이는  $7.3\text{m}$ , 경사는 우리나라 어도에서 가장 보편적으로 적용하는  $1/20$ 의 경사를 적용하였다. 실험에서 유속측정은 사진 1과 같이 어도 출구로부터 하류방향으로  $1\text{m}$  간격으로 측정하였으며 유량은  $0.06\text{m}^3/\text{sec}$ 로부터  $0.02\text{m}^3/\text{sec}$ 씩 증가시켜  $0.14\text{m}^3/\text{sec}$ 까지 총 5종의 경우에 대하여 실시하였다.

## 3. 현장 소상실험

헤링본·브러시 겸용어도의 어류 현장 소상실험은 수리실험을 위한 현장조사를 시행한 장소에서 실시하였다.

소상실험에 사용한 어류는 유영력이 약한 치어 상태의 회유어를 구입할 수가 없어 뱀장어의 유영력과 유사한 미꾸라지, 유영력이 비교적 약한 얼룩동사리와 돌고기, 은어와 같이 유영력이 탁월한 피라미 등 체장  $10 \sim 12\text{cm}$  전후의 4종의 어류를 사용하였다.



사진 3. 소상실험을 위한 어도설치장면.

표 1. 헤링본 조류판·브러시 검용어도의 수리실험 결과.

구분	조류판 윗면의 유량별 유속(m/sec)					조류판 윗면의 유량별 수심(m)					조류판 윗면의 유량별 Fr수				
	0.14 (m <sup>3</sup> /s)	0.12 (m <sup>3</sup> /s)	0.10 (m <sup>3</sup> /s)	0.08 (m <sup>3</sup> /s)	0.06 (m <sup>3</sup> /s)	0.14 (m <sup>3</sup> /s)	0.12 (m <sup>3</sup> /s)	0.10 (m <sup>3</sup> /s)	0.08 (m <sup>3</sup> /s)	0.06 (m <sup>3</sup> /s)	0.14 (m <sup>3</sup> /s)	0.12 (m <sup>3</sup> /s)	0.10 (m <sup>3</sup> /s)	0.08 (m <sup>3</sup> /s)	0.06 (m <sup>3</sup> /s)
거리 (m)															
1.3	0.326	0.292	0.284	0.278	0.261	0.030	0.030	0.025	0.020	0.020	0.600	0.538	0.573	0.628	0.589
2.3	0.266	0.248	0.221	0.218	0.210	0.030	0.030	0.030	0.020	0.020	0.489	0.457	0.406	0.492	0.473
3.3	0.270	0.237	0.229	0.194	0.183	0.032	0.040	0.040	0.040	0.025	0.481	0.378	0.365	0.309	0.369
4.3	0.302	0.295	0.206	0.192	0.193	0.040	0.035	0.030	0.030	0.015	0.482	0.503	0.379	0.353	0.502
5.3	0.306	0.306	0.292	0.201	0.230	0.040	0.035	0.030	0.030	0.020	0.488	0.521	0.537	0.370	0.519
6.3	0.262	0.270	0.226	0.174	0.218	0.040	0.045	0.035	0.030	0.020	0.418	0.406	0.385	0.321	0.492
7.3	0.270	0.317	0.295	0.232	0.283	0.050	0.030	0.035	0.035	0.020	0.386	0.583	0.503	0.395	0.638
평균	0.286	0.280	0.250	0.212	0.225	0.037	0.035	0.032	0.029	0.020	0.478	0.484	0.450	0.410	0.512

실험수로는 기존에 설치된 브러시 어도의 콘크리트 수로부에 사진과 같이 헤링본 조류판을 콘크리트에 붙인 상태와 붙이지 않은 상태로 구분하여 실시하였다. 조류판의 설치 길이는 만조 시 감소의 영향을 받지 않는 유입구로부터 하류 방향으로 10m 까지만 설치하였으며, 소상실험에 사용된 헤링본 타입의 조류판은 수리실험에서 유속의 저지 성능이 가장 좋았던 그림 3의 A, B 및 C형 중 A형에 대해서 현장 소상실험을 행하였고 실험시의 수심은 조류판 하상으로부터 10cm를 유지했다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수리실험 결과

조류판·브러시어도의 수리특성 중 유속이 커서 상대적으로 어류의 소상에 불리한 조류판 윗면 월류부에 대한 유량별 유속, 수심 및 Froude수 ( $= V/\sqrt{gh}$ )를 어도 출구로부터의 거리별 수리실험 결과를 표 1에 정리하였다.

유속은 평균적으로 약 0.20~0.30m/sec, 평균로서 약간 느리고, 유량의 차이만큼 유속의 변동이 심하지 않은 것으로 나타났다. 조류판의 월류 수

심은 평균적으로 0.02~0.04m로서 변동 폭이 큰 것으로 나타났으며, 이는 조류판에 의한 수면파의 발생에 따른 것이다. 유속과 장파파속의 비를 나타내는 Froude수는 평균적으로 0.4~0.5로서  $Fr < 1$ 인 상류(常流, subcritical flow)가 발생하는 것으로 나타나 어류소상에 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 유속, 수심 등의 수리특성이 유량에 따라 지점별로 균일성을 재현하지 못한 것은 헤링본 조류판을 목재로 제작하였기 때문인 것으로 보인다.

그림 4는 최적 헤링본 조류판어도(Type-A)와 브러시어도의 유량 변화에 대한 유속분포를 나타낸 것이다. 이 실험을 실시한 이유는 자연하천에서는 유량의 변화를 인위적으로 조절할 수 없기 때문에 유량의 증가에 따라 양 어도의 유속분포가 어떻게 변화하는가를 파악하여 유영력이 미약한 회유어들의 소상 가능성을 파악하기 위함이다.

유량은 최소 계측 가능 수심 0.1m를 유지할 수 있는 0.06m<sup>3</sup>/sec에서부터 본 실험수조에서 방류할 수 있는 최대 0.14m<sup>3</sup>/sec까지 총 5가지 경우에 대하여 실시하였다.

그림 6에서 흑선은 조류판 상의 격벽 사이의

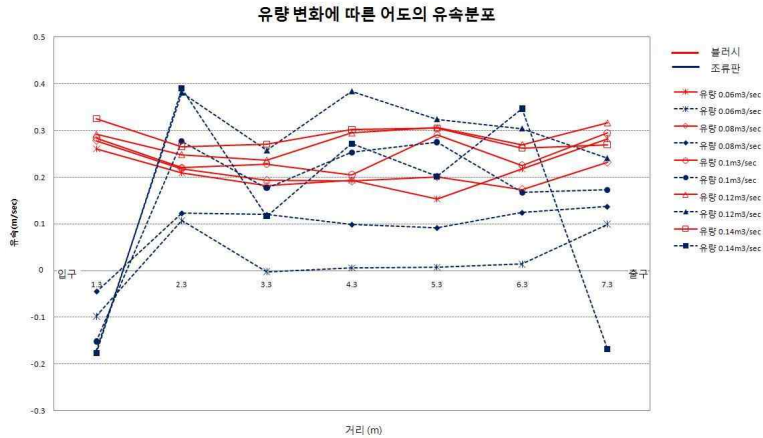


그림 4. 최적 헤링본 조류판어도(A형)와 브러시어도의 유량별 유속분포도.

평균유속, 적선은 브러시 사이의 평균유속이다. 유속의 측정은 어도출구의 접근유속의 영향을 최소화하기 위해 상류단으로부터 1.3m 떨어진 곳을 시작으로 하류측을 향해 1m 간격으로 실시하였다.

조류판의 유속은 유량이 증가할수록 유속이 증가하는 경향은 뚜렷하나 최대유속이 0.4m/sec 이하로 미약하고 일반수로에서는 하류로 갈수록 유속이 가속되는 경향이 뚜렷하나 헤링본 타입 조류판 어도에서는 이 현상이 나타나지 않고 오히려 유속이 감소하는 안정된 경향을 나타내고 있다.

브러시 내의 유속도 유량의 증가에 따라 증가하는 경향이 뚜렷하나 그 최대 유속은 0.3m/sec, 유량 변화에 따른 최대 진폭은 0.15m/sec로 아주 미미하다.

헤링본·브러시 겸용어도는 본 실험을 통하여 알 수 있듯이 유량이 증가하더라도 최대유속은 유연력이 가장 약한 최장 9cm의 뱀장어 치어가 낼 수 있는 돌진유속 0.8m/sec의 1/2밖에 안되기 때문에 하구로부터 회유하는 어떤 어종도 소상 가능할 것으로 판단된다. 특히 유연력이 약한 뱀장어 치어들은 브러시 슬기 사이로 이동이 가능하기 때문에 천적으로부터의 은폐 효과와 태양의 직사광선을 피할 수 있어 일척이조의 효

과를 거둘 것으로 판단된다. 조류판 상의 헤링본 격벽과 격벽 사이에는 부분적으로 역류현상이 발생하는 복잡한 양상을 띠기 때문에 소상하는 어류들의 에너지 소모를 막고 경우에 따라서는 그 틈새가 소상어의 휴식공간으로 활용될 수도 있을 것이다.

2. 현장실험 결과

그림 5는 헤링본 조류판의 유무에 의한 소상부의 평균유속분포를 나타낸 것이다. 적선은 수로부의 평균유속을, 청선은 수로와 브러시 사이 경계부의 평균유속을 나타내고 있다. 수로부의 유속은 조류판이 없는 경우가 있는 경우보다 평균 11.6배 높았고, 경계부는 2.8배의 차를 보였다. 이 결과는 이런 종류의 수로형 타입 겸용어도에서는 어류의 소상효율을 높이기 위하여 반드시 수로부에 유속을 저감할 수 있는 헤링본 조류판을 붙이지 않으면 어도입구로 갈수록 유수가 가속되어 결국에는 어도입구부의 유속이 대부분 소상어류의 돌진유속을 능가하여 상류로의 이동이 불가능해지게 된다. 이 영향은 수로부의 길이가 길면 길수록 그 영향은 더욱 커진다.

브러시와 조류판 사이의 경계부의 유속이 하류로 갈수록 가속되지 않고 낮은 유속분포를 보이는 것은 양 어도의 경계부가 각 어도의 유속저

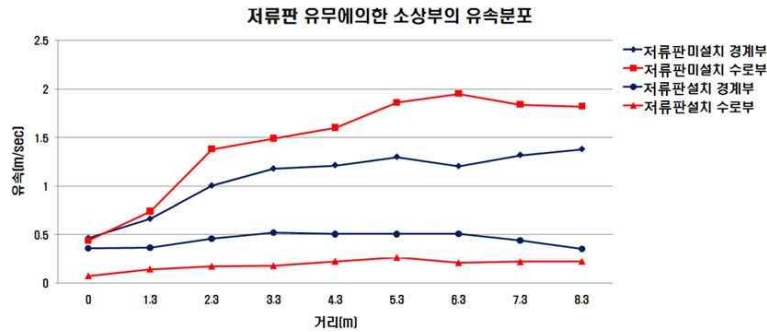


그림 5. 헤링본 타입 조류판의 유무에 의한 수로부의 유속분포.

지효과가 복합적으로 나타난 결과이며, 이는 조류판을 소상하는 유영력이 미약한 어류들이 양 어도를 넘나들며 유수의 상황에 따라 양 어도를 복합적으로 이용할 수 있음을 의미한다.

그림 6은 현장실험에 사용한 그림 3의 조류판 A, B, C형의 수로부와 경계부의 평균유속분포 나타낸 것이다. 수로부 및 경계부의 유속은 A형이 가장 낮은 유속분포를 보이고 B, C형 순으로 옮겨 갈수록 유속이 증가하는 양상을 보이고 있다. 이것은 헤링본의 격벽 간격이 커지면 커질수록 유속이 증가하는 현상을 말해 주고 있다. 수로부의 최대유속은 0.28m/sec, 경계부의 최대유속은 0.52m/sec로 아주 낮은 유속분포를 보이고 있다. 따라서, 현장실험결과 3가지 형식 중에서 유속이 가장 작은 A형이 수리학적으로 유리함을 알 수 있다.

헤링본 조류판·브러시 겸용어도는 하구로부터 소상하는 최유성 치어나 갑각류들에게 안

정된 0.8m/sec 이하의 낮은 유속 분포대를 형성하고 있기 때문에 소상어의 유영특성에 따라 양 어도를 모두 이용하면서 상류부로 소상할 수 있는 이상적인 어도의 조합으로 간주된다. 본 실험에서 브러시와 조류판 사이의 경계부에 상류로부터 떠내려 오는 오물들의 끼임을 방지하기 위하여 3cm 정도의 간격을 두었는데 양 어도 사이의 최적 이격 거리에 대해서는 차후 실험을 통하여 이 문제를 밝혀야 할 것으로 판단된다.

### 3. 현장 어류소상실험 결과

어류의 소상실험은 브러시어도가 기 설치되어 있는 남해읍 봉천 하구 제 1번 낙차공에서 행해졌다. 실험은 수로부에 조류판을 붙이지 않은 경우와 조류판을 붙인 두 경우를 나누어서 실험했는데, 조류판을 붙이지 않은 상태에서는 유속이 너무 빨라 대상어의 소상실험은 불가능했다. 대상어는 실험방법에서 전술한 바와 같이 체장 10

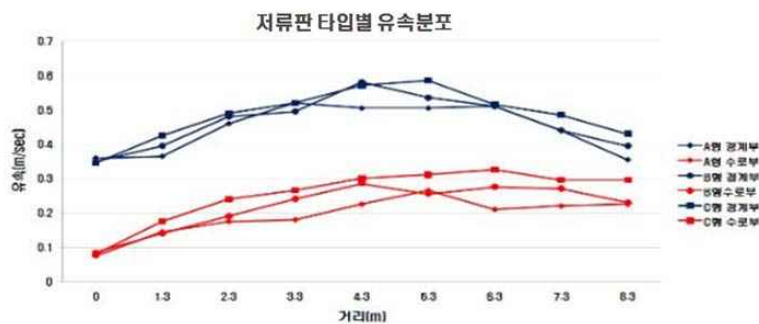


그림 6. 헤링본 타입 각 조류판의 유속분포도.

~12cm 전후의 피라미, 돌고기, 얼룩동사리 및 미꾸라지 등 4종류의 어류를 구입하여 행하였다.

현장 소상실험에서 가장 큰 문제점은 실험 당시 가뭄 때문에 충분한 하천유량이 확보되지 않아 다양한 수심과 유량에 대한 비교실험을 물리적으로 할 수 없었던 점을 미리 명기하고자 한다. 4종의 대상어종들은 운반중 스트레스로 죽거나 소상의욕이 떨어진 상태였지만 그중 건강한 것을 골라 1종당 5회 이상 소상실험을 실시한 결과 전 어종이 소상을 완료하였다. 어류 소상실험에서 소상방향은 조류판의 헤링본 형상(→)이다.

1) 피라미의 소상방법

사진 4는 피라미의 유연특성에 따른 주요 소상 장면을 나열한 것이다. 어도하류에서 방류된 피라미는 초기 체력이 좋은 상태에서 유수에 정위(正位)하는 자세로 브러시어도와 조류판 사이의 경계부를 따라 소상(사진 상좌)한다.

소상 중 체력이 떨어진 피라미는 헤링본 사이의(사진 상중) 헤링본의 틈사이로 이동해 체력을 회복할 때까지 휴식(사진 상우, 하좌)을 취한 다음 유속이 약한 헤링본의 중심축을 타고 소상을 완료한다. 동일 대상어의 소상 행동양상은 거의 비슷한 형태를 보였다. 피라미의 소상양상은 초

기에는 조류판과 브러시 경계면을 따라 소상을 시작했으나 이후부터는 그림 6에 나타난 바와 같이 유속이 경계부에 비하여 1/2정도로 작은 헤링본의 중심축 부근을 따라 이동하면서 소상을 완료하였다, 이는 동일단면에서는 유속이 빠른 헤링본의 중심보다는 조도의 영향으로 유속이 느린 지점으로 소상을 시작하고 피라미의 유연력과 유사한 유속의 조건에서는 헤링본 중심부로도 소상할 수 있음을 나타낸다. 회유어 중 유연력이 탁월한 은어도 유사한 소상양상을 보일 것으로 판단된다.

2) 얼룩동사리의 소상방법

얼룩동사리는 돌틈이나 모래톱에 숨어 사는 습성이 있기 때문에 소상특성이 타 어종에 비하여 독특했다. 대상어는 초기 소상에는 브러시와 조류판의 좁은 틈새에 끼어 조금씩 상류로 소상(사진 5의 좌)하다가 헤링본의 격벽 사이에서 휴식(사진 5의 중)을 취한 다음 비슷한 방법을 반복하면서 소상을 완료(사진 5의 우)했다.

얼룩동사리는 저서성 어류로서 장애가 되는 조류판을 직접 넘어 이동하기보다는 그림 6과 같이 유속이 작은 조류판과 브러시의 경계면을 따라 이동하는 것을 알 수 있다.



사진 4. 피라미의 소상 양상.





사진 5. 얼룩동사리의 소상 양상.

3) 돌고기의 소상방법

사진 6은 돌고기의 소상양상을 보여주고 있다 (사진 상좌로부터 순차적으로 하류방향으로부터의 소상 순서). 돌고기는 피라미에 비하여 유영력이 떨어지므로 조류판에도 중심부 보다는 조도계수에 의한 영향으로 유속이 상대적으로 작은 조류판과 브러시의 경계면을 따라 소상하는 양상을 보였다. 이는 어류가 소상시에 유속분포의 차이를 감지하고 스스로 유영력에 가장 가까운 조건의 흐름을 따라 소상함을 알 수 있다. 그러므로

횡단방향의 유속분포를 고려해야 한다.

4) 미꾸라지의 소상방법

뱀장어 체형과 유사한 유영 특성을 가진 미꾸라지는 어종의 특성에 맞는 소상특성을 보였다. 사진 7 중 위 6매는 조류판 위로 소상하는 미꾸라지의 소상특성을 보여주는 것이고, 아래 3매는 브러시 어도를 이용하는 행동양상을 보여주고 있다. 조류판 최하단에서 방류한 수십마리의 미꾸라지는 크게 2가지 형태의 소상특성을 보였는데,

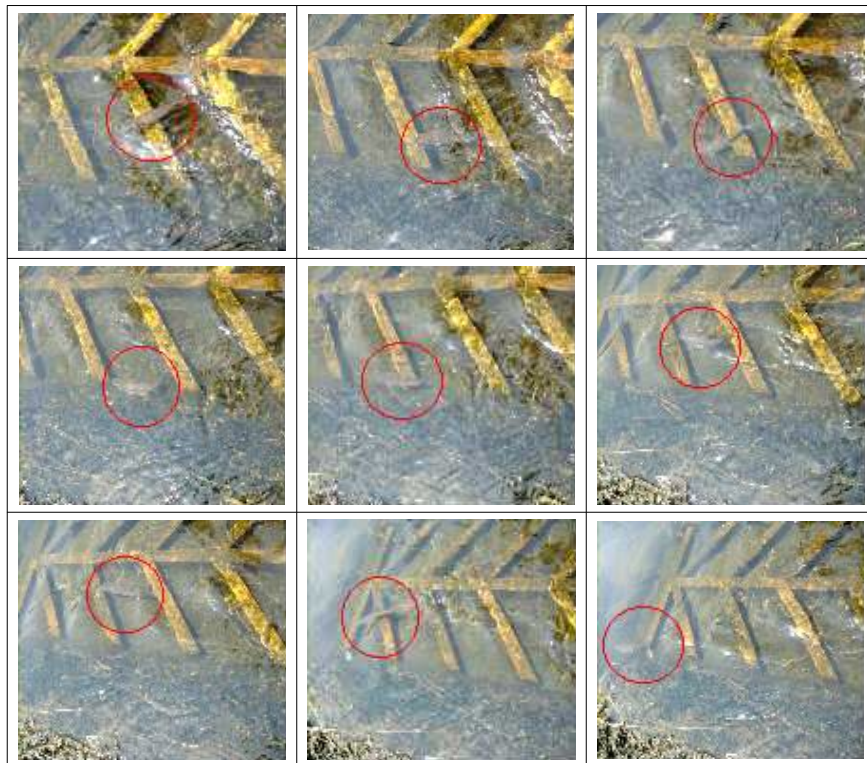


사진 6. 돌고기의 소상 양상.

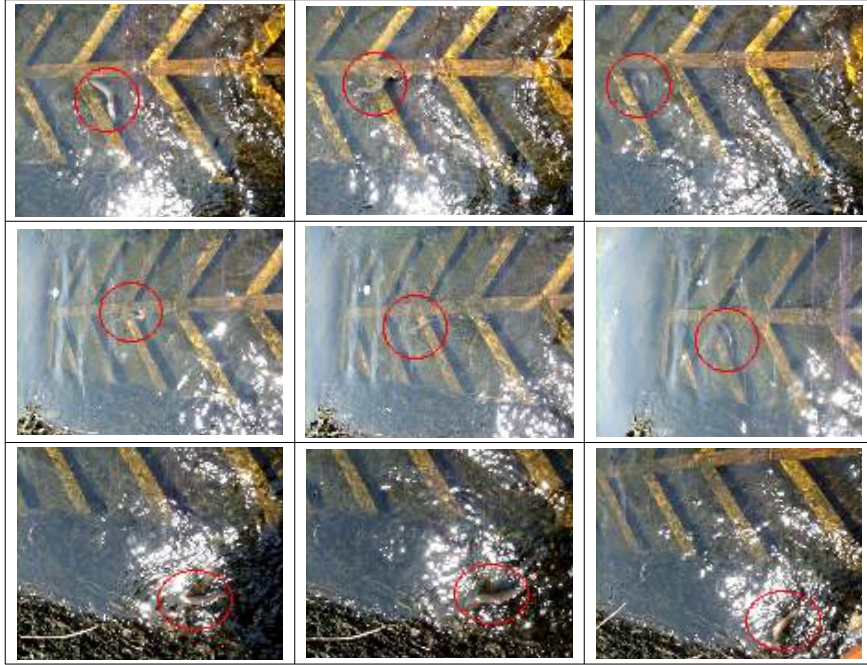


사진 7. 미꾸라지의 소상 영상.

우선 조류관 위로 소상하는 미꾸라지의 대부분은 자신의 유영력이 미약하기 때문에 한꺼번에 여러 단계의 헤링본 조류관을 넘지 못하고 한 단계 소상 후에 조류관 격벽 사이에서 휴식하며 단계적인 방식으로 소상을 완료하였다. 한편 경계부로 진입한 미꾸라지들은 경계부의 빠른 유속을 거슬러 소상할 수 없자 브러시 사이로 머리를 파고들면서 소상 기회를 찾고 있었다. 이 미꾸라지의 소상행동 양상을 볼 때, 몸통이 훨씬 가늘고 긴 뱀장어 치어들은 대부분 브러시 사이로 파고들어 소상할 것은 자명한 사실이다.

##### 5) 수리실험 및 현장실험의 고찰

실내 수리실험에서 헤링본 조류관·브러시 겸용어도의 수리특성을 분석한 결과 브러시어도 부분의 유속은 유량의 변화에 따라 대략 0.15~0.3m/sec 범위에서 변동 폭이 안정적으로 나타났지만, 조류관 어도 부분은 유량의 변동에 따라 유속의 변동 폭이 크게 나타날 뿐만 아니라 어도의 출구 및 입구에서 역류현상이 발생하기도 하

였으며, 유량의 증가에 따른 유속의 증가하지만 0.4m/sec를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

어류의 소상과 강하를 위한 현장실험결과, 헤링본 조류관을 부착함으로써 어도 유입부의 유속을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 어도 전구간에 걸쳐 수로부에서는 유속을 평균적으로 1/10이하, 경계부에서는 1/2 이하로 저감시켜 수리학적으로 어도의 소상효율을 높일 수 있음을 확인하였다. 특히, 어도의 전구간에 걸쳐 유속을 대폭 감소시키고, 유속의 변화를 안정화할 수 있음을 입증하였다. 따라서, 유영력이 낮은 저서성 어류의 소상을 위해서는 헤링본 조류관어도가 유용함을 확인하였다.

헤링본 조류관어도의 설계시 3가지 경우에 대한 조류관의 수리특성을 분석한 결과 A형이 수로부의 최대 유속은 0.28m/sec, 경계부의 최대유속은 0.52m/sec로 아주 낮은 유속분포를 보임으로서 하구로부터 소상하는 회유성 치어나 갑각류들에게 안정된 0.8m/sec 이하의 낮은 유속 분포대를 형성하는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 저서성 어류의 소상과 강하를 위한 헤링본 조류판·브러시 겸용어도에 대하여 수리실험 및 현장 소상실험을 수행하고 분석하였다.

유영력이 극히 미약한 회유성 치어를 소상시키기 위해 고안된 헤링본 조류판·브러시 겸용어도는 실험결과에서 보듯이 어떤 형태로든 수로부의 유속을 저감할 수 있는 조류판(baffle)를 붙여야만 브러시어도에 미치는 유수의 영향을 최소화할 수 있음을 확인하였다.

3종의 헤링본 조류판 어도에 대한 수리실험 결과 조류판의 간격이 가장 좁은 A형이 유속의 가속을 경감함으로써 유속이 가장 작고, 수리적으로 어류가 소상하기 쉬운 조건을 형성할 수 있음이 밝혀졌다.

브러시어도를 이용하는 뱀장어류 치어들의 fall-back 현상을 방지하기 위하여 분리벽을 설치하지만 본 실험결과 오히려 분리벽이 없는 헤링본 조류판·브러시 겸용어도의 경우가 더 양호한 수리조건이 되는 것으로 나타났다. 그러나, 경계부분의 간격이 좁으면 좁을수록 유수의 영향은 미약하게 될 것이므로 헤링본 조류판과 브러시가 일체형으로 이루어진 어도에서는 분리벽의 유무에 상관없이 대상어의 소상이 효율적으로 이루어질 것으로 판단된다.

소상목적에 부합하는 대상어를 구할 수 없어 대체 어종으로 소상실험을 했으나 그 결과는 예견한대로 각종 어류의 유영특성에 맞는 소상행동을 보여 주었고, 또한 헤링본 조류판어도는 어류의 소상에 적합한 기하학적 특성을 가진 것으로 판단된다. 아직까지 문헌상 수로형어도와 브러시어도를 일체형으로 한 어도의 연구사례가 없기 때문에 금회의 연구 성과는 유사한 종류의 어도를 개발하는데 많은 참고사례가 될 것으로 판단한다.

헤링본 타입의 기하학적 구조 특성 중 헤링본

의 격벽 간격은 소상하는 소형어의 휴식공간이 되어 소상효율을 높이는데 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

그러나, 현장여건상 하천유량이 적어 다양한 유량과 유속분포에 따른 수리실험과 소상실험을 행할 수 없었기 때문에 본 연구의 결과만으로는 충분치 않다고 생각한다. 차후 유량변동에 따라 다양한 실험이 계속되어야 할 것이다. 또한 본 연구는 현장중심의 결과로서 대상어도는 수로경사가 고정되어 있는 상태에 국한하여 실험이 이루어졌으므로 조건의 변동이 가능한 실험실에서 헤링본 조류판어도의 수리실험을 행하여 현장실험을 보완해야 할 것이며, 조류판의 간격 및 배치 각도와 유속의 변화, 동일단면에서 횡방향 유속 분포와 어류의 소상경로에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 경남과학기술대학교 기성회연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 인 용 문 헌

- 김재옥·박상현·조재원·황종서·조국현·조성주. 2004. 조립식 아이스하버식 어도의 현장적용을 위한 수리모형실험. 한국농공학회 논문집 46(2) : 3-14.
- 김진홍. 1999. 어족의 소상을 위한 계단식 어도의 수리특성에 관한 연구. 대한토목학회 논문집 27(2) : 63-72.
- 박상덕. 2001. 어도 생태수리실험에 의한 회유성 어류의 소상능력 평가(I) -사다리식 어도-. 한국수자원학회 논문집 34(4) : 365-379.
- 박상덕. 2001. 어도 생태수리실험에 의한 회유성 어류의 소상능력 평가(II) -계단식 어도-. 한국수자원학회 논문집 34(4) : 381-390.
- 한국수자원학회. 2005. 하천설계기준·해설<계

- 획편>.
- 한국수자원학회. 2005. 댐설계기준.  
建設省. 1997. 建設省河川砂防技術基準(案).
- M. Larinier. 2002. Baffle Fishway, Bull. Fr. Pêche Piscic.
- Minnan Liu, Nallamuthu Rajaratnam and David Z. Zhu. 2006. Mean Flow and Turbulence Structure in Vertical Slot Fishway, J. of Hydraulic, ASCE, 132 : 765-777.
- Mufeed Ddeh. 2003. Discharge Rating Equation and Hydraulic Characteristics of Standard Denil Fishway, J. of Hydraulic, ASCE, 129 : 341-348.
- Rajaratnam, N, Katopodis, C., and Lodewyk, S. 1991. Hydraulics of culvert fishway IV ; Spoiler baffle culvert fishways, Can. J. Civ. Eng., 18 : 76-82.
- S. Wu, N. Rajaratnam and C. Katopodis. 1999. Structure of Flow in Vertical Slot Fishway, J. of Hydraulic, ASCE, 125 : 351-360.
- Washington State. 2000. Fishway guideline for Washington State.