

# 어도 생태수리실험에 의한 회유성 어류의 소상능력 평가 (I)

## - 사다리식 어도 -

### Assessment of Ascending Capacity of Migratory Fish in Fishways by Eco-hydraulic Experiments (I)

#### - Baffled Fishway -

박 상 덕\*

Park, Sang Deog

#### Abstract

This paper presents an eco-hydraulic experimental approach to assessment of ascending capacity of migratory fish in a baffled fishway. Sweetfish, *Plecoglossus altivelis*, trout, *Oncorhynchus mykiss*, are used in these experiments. Ascending environment of the migratory fish in rivers is analyzed through the results of eco-hydraulic experiments. Important factors affecting the ascending capacity of migratory fish in baffled fishways are the discharge and slope of fishways and the fall height between the fishway entrance and the river bed. In these fishways the migratory capacity of sweetfish for a given fishway discharge is mainly affected by fishway slope, whereas the ascending capacity of trout for a given fishway slope was influenced by the change of fishway discharge. Loss of ascending properties of landlocked salmon, *Oncorhynchus masou var ishikawai*, was confirmed by these experiments. An ascending hydraulic criteria of the baffled fishway is defined by means of dimensionless factor  $F_f$  and falling head  $H_f$ . Ascending capacity of migratory fish in existing baffled fishways in river of eastern coastal region is poor because the slope of fishways is very steep.

**keywords** : Baffled fishway, Eco-hydraulic experiment, Ascending capacity, Migratory fish, Ecological river environment, Ascending hydraulic criteria

#### 요 지

본 연구는 사다리식 어도에서 회유성 어류의 소상능력을 평가하기 위한 것으로서 은어와 송어를 대상으로 하여 생태수리실험을 실시한 것이다. 생태수리실험의 결과를 바탕으로 하여 하천에서 회유성 어류의 이동환경을 분석하였다. 사다리식 어도에서 회유성 어류의 소상능력에 영향을 미치는 주요 인자는 어도의 유량, 어도경사, 어도입구부의 어도와 하상 사이의 낙차이다. 사다리식 어도에서 은어의 소상은 주어진 유량에 대하여 어도경사에 좌우되고, 송어의 소상은 주어진 어도경사에서 유량에 영향을 많이 받는다. 산천어는 소하성이 거의 상실된 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 사다리식 어도에서 은어와 송어의 소상수리영역을 무차원 인자  $F_f$  와  $H_f$  에 따라서 설정할 수 있었다. 우리나라 동해안지역에 설치된 사다리식 어도의 소상기능은 어도의 최대경사가 매우 급하기 때문에 충분히 발휘되지 못하고 있다.

**핵심용어** : 사다리식어도, 생태수리실험, 소상능력, 회유성 어류, 하천생태환경, 소상수리조건

\* 강릉대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Kangnung National University, Kangnung, Kangwon, 210-702, Korea (E-mail : sdpark@kangnung.ac.kr)

## 1. 서 론

유역의 환경요소로서 대단히 중요한 위치를 차지하는 하천은 유수, 하도, 생태계로 이루어져 있다. 하천에서 풍부한 물과 좋은 수질을 바탕으로 하여 하천에 의지해 살고 있는 다양한 생물들이 서로 잘 조화를 이룰 때 하천의 기능이 보다 충분히 발휘될 수 있을 것이다. 하천 개발에 따라 건설된 취수보나 댐과 같은 하천횡단 수공구조물은 하천에 서식하는 어류의 이동 생태 환경에 악영향을 미친다. 즉 하천에 서식하는 회유성 어류가 하천 상류나 하류로 이동할 수 없어 그 하천에서 어류의 개체수가 급격히 감소하거나 자취를 감출 수도 있다. 따라서 이와 같은 회유성 어류의 생태환경 파괴를 최소화하기 위하여 하천횡단 수공구조물을 건설할 때에는 어도를 설치하도록 수산자원 보호령 12조로 규정하고 있다.

사다리식 어도는 계단식 어도와 마찬가지로 그 형상에 따라 붙여진 명칭이며 이는 강원도의 어도시설 관리대상 등에서 어도시설모형의 명칭으로 사용되고(해양수산부와 강릉대학교, 1999) 있다. 사다리식 어도는 수리학적 측면에서 도류벽식 또는 도벽식 어도(廣瀨和中村, 1991)라고 할 수 있다. 건설교통부(2000)에서 제정한 하천설계기준에서 도류벽식 어도는 유속을 줄이기 위하여 어도 내에 여러 형태의 도류벽을 설치한 구조라고 정의하고 있으며 中村(1995)이 제시한 것과 같은 다양한 형태의 도류벽식 어도들을 제시하고 있다. 이러한 도류벽식 어도 중에서 사다리식 어도는 강원도의 어도시설관리대상에서 사용되고 있으며 다양한 도류벽 형태를 포함하고 있는 도류벽식 어도보다 더 구체적인 명칭이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사다리식 어도라는 명칭을 사용하였다. 우리나라에서는 기존에 설치된 이와 같은 어도의 어류 소상기능에 대한 조사나 연구가 부족하지만 현재 이러한 어도를 많이 건설하고 있는 실정이다. 황중서와 허협(2000)은 양양남대천의 북평보에 1992년 설치된 내경 3.7m, 길이 25.0m인 사다리식 어도의 회유성 어류 소상효과를 조사하였으며, 이 어도를 통하여 소상한 것으로 보이는 회유성 어류인 은어와 황어를 보고한 바 있다.

하천에 설치된 실제 어도의 소상기능은 이를 이용할 회유성 어류와 하천의 특성이 어도의 수리특성과 결부되어 복합적인 결과로 나타날 것이다. 따라서 어떤 형태의 어도를 설치하기에 앞서 그 하천의 수리특성과 회유성 어류의 생태특성에 적절한 어도인지를 파악하

는 것이 대단히 중요하다고 할 수 있다. 그러나 우리나라에 설치되어 있는 어도는 이와 같은 점이 아직 확인되어 있지 않다. 기존에 설치된 어도의 회유성 어류 소상능력을 평가하기 위하여 실제 하천에 설치된 어도를 대상으로 조사하여야 하나 이는 다양한 어류와 어도의 수리조건을 고려하는 것이 사실상 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에 설치된 어도의 주요 형태의 하나인 사다리식 어도에 대하여 어도 생태수리 실험을 실시하여 회유성 어류의 소상능력을 평가하는데 목적이 있다.

## 2. 사다리식 어도의 실태

### 2.1 어도의 분포 및 규모

우리나라에 설치된 어도는 가장 고전적인 형태인 사다리식과 계단식이 주종을 이루고 있으며 1996년 현재 강원도에는 약 172개의 어도가(해양수산부와 강릉대학교, 1999) 설치되어 있다. 표 1에서도 알 수 있는 바와 같이 사다리식 어도는 93개소로서 약 54.1%를 차지하고 있으며 사다리식 어도가 설치된 보는 총 59개로서 전체 어도설치 보의 약 51.8%를 차지하고 있다. 우리나라의 어도는 금강, 낙동강, 영산강 하구언에 설치되어 있는 어도를 제외하면 대부분 중소하천의 취수보에 설치되어 있다. 이들의 분포를 보면 강원도 동해안지역 하천에 약 130개, 영서지역 하천에 42개 기타 경북 동해안 지역과 탐진강에 소수가 설치되어 있다(해양수산부와 강릉대학교, 1999).

전체 어도가 설치된 보나 어도의 수에 대한 사다리식 어도의 점유율은 동해안 지역과 영서지역 사이에 큰 차이가 없으나 어도의 규모를 보면 두 지역 간에 큰 차이가 있는 것을 표 1에서 확인할 수 있다. 동해안지역은 어도의 내경이나 길이가 영서지역의 사다리식 어도보다 훨씬 작다. 이는 동해안과 영서의 하천특성간에 큰 차이가 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 즉 유역이 큰 하천은 폭이 크고 갈수시 유량이 상대적으로 많기 때문에 어도의 규모가 크게 될 것이다. 영서지역의 어도 설치 하천은 동해안지역 하천에 비하여 유역면적과 하폭이 크고 유량이 많다. 동해안지역의 하천은 유역면적이 작고 상류는 태백산맥 사면으로서 경사가 매우 급하나 중하류는 충적지나 구릉지대로서 경사가 매우 완만하다. 동해안지역의 어도는 하구에 가까운 거리인 중하류지역에 대부분 설치되어 있어서 유량이 영서지역에 비하여 상대적으로 적고 하천경사가 완

표 1. 강원지역의 사다리식 어도 설치하천 및 어도시설 실태 (1996년 현재)

구분	지역		동해안지역	영서지역	계
	하천	유역면적 (km <sup>2</sup> )			
하천	하천의 수 (개)		15	8	23
	유역면적 (km <sup>2</sup> )		31.4~474.8	115.2~2886.6	
보	보의 수 (개소)		43	16	59
	총 어도설치 보에 대한 백분율 (%)		51.8	51.6	51.8
어도	어도의 수 (개)		71	22	93
	총어도에 대한 백분율 (%)		54.6	52.4	54.1
	길이 (m)	범위	6.0~22.9	9.0~20.0	6.0~22.9
		평균	9.2	14.3	-
		표준편차	4.4	4.2	-
	폭 (m)	범위	0.7~2.9	2.5~5.0	0.7~5.0
		평균	1.5	3.5	-
표준편차		0.7	0.8	-	

만하기 때문에 어도의 규모도 영서지역의 어도보다 작은 것이라고 할 수 있다.

### 2.2 어도의 구조와 유지관리

하천의 회유성 어류생태 환경이 수계를 일관하여 유지되고 평가되어야 하기 때문에 어떤 하천에 설치되어 있는 어도가 하천 생태환경보전에 어느 정도 기여하고 있는지 하는 것은 각 어도의 기능발휘 여부에 좌우될 것이다. 특히 어떤 하천수계의 최 하류지역에 설치된 어도의 회유성 어류 소상기능은 하천 전체의 회유성 어류 이동생태환경에 중요한 영향을 미친다. 영동지역 하천의 어도시설의 기능이 저하되는 원인은 구조적인 문제와 관리상의 문제(박상덕, 1998b)로 대별될 수 있다. 구조적인 문제의 원인은 어도설계의 잘못이나 설계와 다르게 시공하여 발생하는 경우가 많다. 관리상의 문제는 어도설치 후 어도와 하상간의 상호작용으로 인한 하상저하, 유수에 의한 어도 및 보 시설의 파손, 어도를 고려하지 않은 보의 농업용수 취수 등에서 발생한다. 어도 하류부 하상저하는 보 하류부 저수로 수위 감소로 인한 어도와 하상간의 분리를 일으키고 낙차를 크게 하여 회유성 어류가 어도입구에 진입하는 것을 어렵게 할 수 있으며 동해안지역의 어도 중에 17개소에서(박상덕, 1998a) 이러한 문제가 발생하고 있다.

영동지역 주요 하천의 사다리식 어도 중에서 하구가 가까이에 있는 것을 일부 선정하여 어도의 경사를 조사한 결과는 표 2와 같다. 조사된 어도의 최대경사는 0.082~0.515의 범위에 있어 어도간 최대경사의 차이

가 매우 심할 것을 알 수 있다. 이는 하천설계기준(건설교통부, 2000)에서 권장하고 있는 어도경사 0.1이하에 비교하여 매우 큰 것이다. 또한 같은 어도 내에서도 최소경사와 최대경사의 차이가 매우 크다. 이러한 점은 어도의 회유성 어류 소상기능에 상당한 영향을 미칠 것으로 생각된다. 그러나 사다리식 어도의 경사와 우리나라에 서식하는 회유성 어류의 소상간의 관계에 대한 조사가 없기 때문에 기존의 사다리식 어도의 기능이나 하천수계의 회유성 어류 이동생태환경을 판단하는 것이 곤란한 실정이다. 따라서 사다리식 어도의 회유성 어류 소상능력에 관한 실험적인 연구가 필요하다.

## 3. 어도의 생태수리실험

### 3.1 실험장치

본 연구는 기존에 설치된 사다리식 어도의 회유성 어류에 대한 소상기능을 평가하기 위한 것이다. 이미 설치되어 있는 어도의 어류소상기능은 각 하천에 설치된 어도의 여건에 따라 다르게 된다. 특히 어도와 하상간의 상호작용이나 어도시설의 유지관리 결과에 따라서 어도의 소상기능이 크게 달라진다(해양수산부와 강릉대학교, 1999). 따라서 본 연구에서는 사다리식 어도의 유량과 경사, 회유성 어류의 종류에 따라서 어도의 소상기능이 어떻게 달라지는지를 실험을 통하여 평가하였다. 실험을 위한 어도시설의 대략적인 구조는 상류부 저류지, 어도, 하류부 웅덩이, 유량공급장치, 실험

표 2. 동해안지역 주요 하천 하류의 보에 설치된 사다리식 어도의 경사(1996년 현재)

구분 수계명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	본류연장 (km)	어도설치 보	어도별 경사	
				최소	최대
북천	139.6	24.5	대대보	0.037	0.119
				0.001	0.082
			교동하신보	0.003	0.163
				0.071	0.185
양양남대천	474.8	54.0	문서루보	0.111	0.397
				0.012	0.457
연곡천	163.8	27.0	송림보	0.010	0.311
				0.115	0.175
삼척오십천	394.7	56.8	상하정보	0.018	0.357
				0.001	0.411
마을천	149.3	29.5	부남보	0.005	0.477
가곡천	124.2	38.5	월천하보	0.001	0.365
				0.008	0.515
			양지보	0.001	0.328

어류를 일광조건에 순치시키기 위한 수조로 이루어져 있다. 실험어도의 규모는 동해안지역에 설치되어 있는 어도 규모와 유사한 어도길이 9.0 m, 폭 1.8 m, 격벽의 두께 0.1 m, 높이 0.6 m로 설정하였다. 실험어도는 목재로 제작되었으며 어도의 경사를 4단계로 조절할 수 있게 하였다. 그림 1은 어도 생태수리실험 장치의 평면도이고 사진 1은 실험장치의 전경이다.

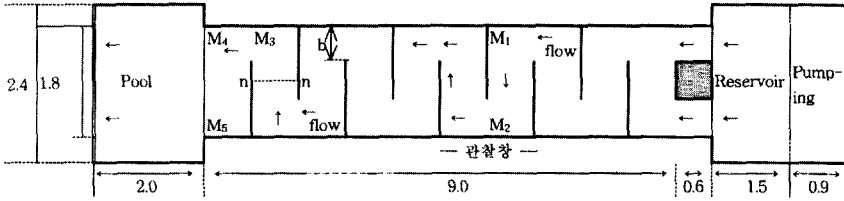
어도 생태수리실험장치는 어류양식 및 배양장을 갖추고 있는 국립수산진흥원 양양내수면연구소에 일광조건하의 옥외에 설치하였다. 일광조건에 어도 생태수리 실험장치를 설치한 것은 하천에 설치된 사다리식 어도와 유사한 환경을 조성하기 위한 일환이다. 상류 저류지는 실제 하천에 설치된 보에 의하여 상류에 형성되는 것과 같으며 소상 실험 어류가 최종적으로 도달할 수 있는 곳이다. 어도 상류부의 출구는 어도 내의 흐름 안정화와 수심확보를 위하여 0.6 m 폭의 평면수로를 양 측면에 설치하고 이를 통하여 상류부 저류지와 연결되도록 하였다. 어도 하류부 웅덩이는 폭 2.4 m 길이 2.0 m, 어도 입구부 표고를 기준으로 0.3 m 깊이로 하여 어도 입구부와 연결하였다. 어도 하류부 웅덩이의 배수구에는 그물을 설치하여 웅덩이에 투입된 실험어류가 밖으로 빠져나가지 못하도록 하였으며 배수구에서 임의로 수위를 조절하여 어도와 웅덩이간의 어도 하류단 낙차를 조절할 수 있도록 하였다. 이는 기존에 설치된 어도의 기능상 문제점으로 파악된 어도 하류부 하상저하에 따른 낙차가 회유성 어류소상에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다.

실험 용수는 지하수를 펌프로 양수하여 제1차 대형 수조에 저류시키고 이를 4대의 펌프를 이용하여 어도 상류부 저류지에 공급하였다. 지하수를 실험유량으로 사용한 것은 실험기간 중에 기온이 급격하게 변화하는데 비하여 지하수는 수온이 낮고 매우 안정적이기 때문이다. 실험유량의 조절은 펌프가동 대수로 하였으며, 각 펌프의 공급유량은 삼각형 웨어와 유속계를 이용하여 확인하였다. 각 실험에서는 유속과 수심을 측정하였으며 유속은 회전식 유속계를 사용하였다. 소상중에 있는 어류의 생태를 관찰하기 위하여 어도 중앙부 측벽에는 길이 1.8 m 높이 0.6 m의 관찰창을 10 mm 두께의 투명유리로 설치하고 어류소상 및 흐름을 8 mm 비디오로 촬영하였다.

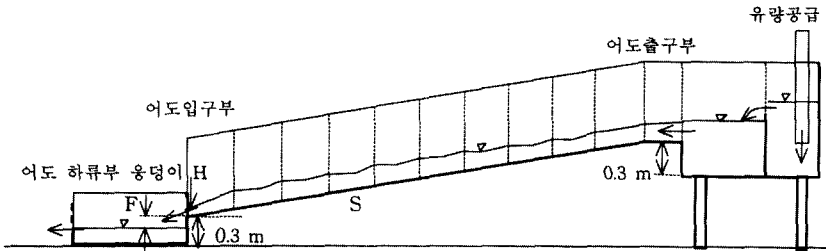
### 3.2 실험조건 및 방법

어도 생태수리실험의 실험조건은 표 3에 나타낸 바와 같으며 어도경사의 변화에 따라 각각 유량, 어중, 실험시간 등의 변화로 이루어졌다. 실험유량은 0.0146 m<sup>3</sup>/sec, 0.0299 m<sup>3</sup>/sec, 0.0379 m<sup>3</sup>/sec, 0.0538 m<sup>3</sup>/sec의 4단계로 구분되었으며, 이는 펌프에 의하여 고수조에 공급되어 어도를 통하여 저수조로 유출되며 저수조에서는 실험장의 수로를 통하여 밖으로 배출된다. 실험용수의 공급은 실험어류가 선호하는 적정온도를 고려하여 수온 11.2~15 °C의 지하수가 이용되었고 수온유지를 위하여 비순환구조로 되어있다.

실험 시간은 야간을 포함한 장기간 실험과 주간에만 실시되는 단기간 실험으로 구분하였다. 우리나라에 설



(a) 평면도(단위는 m)



(b) 단면도

그림 1. 사다리식 어도 생태수리실험 장치

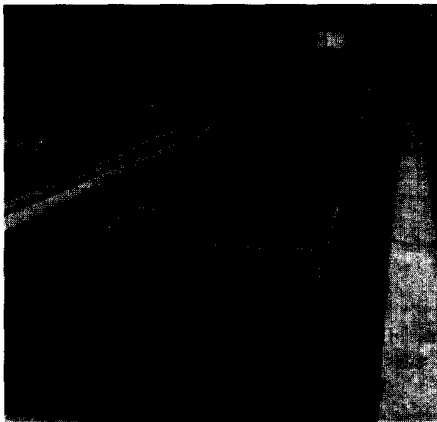


사진 1. 사다리식 어도의 실험전경

치된 어도의 회유성 어류 소상가능이 보 하류부 하상 저하로 인한 어도와 하상간의 낙차가 커져서 나빠지는 경우가 많기 때문에 이러한 영향을 분석하기 위하여 본 연구의 일부 실험에서 어도 입구부의 낙차를 변화시켜 실험하였다. 실험의 절차는 실험유량을 공급하고 흐름이 정상상태에 도달되면 실험어류 약 300마리를 어도 하류단 웅덩이에 투입하고 일정시간 경과한 후에 어도 상류단 저류지에 소상한 어류를 조사하였다. 소상한 어류의 조사항목은 소상어류의 개체수, 중량, 체장

및 전장이다. 본 연구에서 흐름조건은 실제 하천에 설치된 어도의 흐름상태와 같은 부등류 상태이다.

실험 대상어종은 우리나라 동해안 지역에 서식하는 대표적인 회유성 어류로서 은어(*Plecoglossus altivelis*), 냉수성 어종인 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)와 시마연어가 육봉화된 산천어(*Oncorhynchus masou var ishikawai*)가 사용되었다(김인배,1990; 최기철,1996; 정문기,1977). 본 연구에서 무지개송어는 편의상 송어라고 칭하기로 하였다.

### 3.3 실험결과

어도 생태수리실험결과는 표 4에 제시된 바와 같다. 여기서 소상율은 다음 식 (1)과 같이 단위시간당 소상한 어류의 개체수로 정의하였다.

$$M_r = \frac{n}{T} \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 실험어종의 소상어 수 (마리),  $T$ 는 실험소요시간(hr),  $M_r$ 는 소상율(마리/hr)이다. 식 (1)과 같이 소상율을 정의하여 사용한 이유는 각 실험 시간의 차이에서 발생하는 소상결과를 객관적으로 평가하기 위한 것이다. 어도 입구부의 수심은 그림 1의  $M_4$ 지점의 수심으로써 어도에 진입하고자 하는 어류에

표 3. 어도 생태수리실험의 실험조건

구 분		실험조건	비 고
수리적 조건	유량(m <sup>3</sup> /sec)	0.0146~0.0538	
	어도경사	0.1/9.0~1.5/9.0	
생태적 조건	어종	은어, 송어, 산천어	
	투입어수(마리)	270~330	
	수온(℃)	11.2~15	가온 : 15.5~30
실험어류 특성	은어	체장(cm)	5.1~11.5
		중량(g)	1.1~18.2
	송어	체장(cm)	6.3~12.4
		중량(g)	4.1~29.6
	산천어	체장(cm)	8.7~10.9
		중량(g)	10.0~14.2
실험시간 (hr)	단시간	2.0~4.3	
	장시간	15.3~65.0	
실험기간		1996. 6. 19~7. 24	

표 4. 어도 생태수리실험 결과

번호	실험 시간 (hr)	어도 경사	유량 (m <sup>3</sup> /sec)	수온 (℃)	실험어류		어도 입구부		소상어 특성		소상율 (마리/hr)
					어종	소상 어수 (마리)	M <sub>4</sub> 지점 수심 (m)	낙차 (m)	평균 중량 (g)	평균 체장 (cm)	
1	2	0.1/9.0	0.0299	12.5	은어	0	0.055	0.011	-	-	0
2	3	0.1/9.0	0.0299	12.5	은어	2	0.055	0.060	-	-	0.667
3	2	0.1/9.0	0.0538	11.5	은어	11(10)	0.080	0.050	-	8.0	5.5
4	65	0.1/9.0	0.0146	12.1	은어	23	0.035	0.070	6.1	8.2	0.354
5	45	0.1/9.0	0.0146	11.3	은어	27	0.035	0.0135	6.1	7.9	0.600
6	43:30	0.1/9.0	0.0146	11.6	은어	0	0.040	0.0190	-	-	0
7	2	0.5/9.0	0.0146	12.0	은어	0	0.035	0.0120	-	-	0
8	2	0.5/9.0	0.0299	12.0	은어	0	0.060	0.0100	-	-	0
9	15:30	0.5/9.0	0.0299	12.0	은어	15(1)	0.050	0.070	8.5	8.9	0.968
10	2	0.5/9.0	0.0379	13.0	은어	1	0.070	0.030	8.1	9.4	0.500
11	2	0.5/9.0	0.0538	13.2	은어	0	0.095	0.005	-	-	0
12	15	0.5/9.0	0.0299	12.5	은어	40	0.060	0.0	6.6	8.1	2.667
13	26	0.5/9.0	0.0538	12.5	은어	0	0.090	0.0	-	-	0
14	2	0.5/9.0	0.0379	12.5	은어	0	0.070	0.3	-	-	0
15	2	0.5/9.0	0.0379	12.5	산천어	0	0.070	0.3	-	-	0
16	16:30	0.5/9.0	0.0299	13.0	산천어	4	0.065	0.0	11.8	9.4	0.242
17	2	0.5/9.0	0.0539	12.0	산천어	0	0.090	0.0	-	-	0
18	2	0.5/9.0	0.0299	12.0	산천어	0	0.065	0.010	-	-	0
19	2	0.5/9.0	0.0146	12.0	산천어	0	0.035	0.0	-	-	0
20	16	0.5/9.0	0.0146	12.5	산천어	1(1)	0.035	0.0	13.7	10.0	0.063
21	2	0.5/9.0	0.0146	13.0	은어	1(62)	0.035	0.0	6.3	8.0	0.5
22	2	0.5/9.0	0.0299	13.0	은어	0(18)	0.060	0.0	-	-	0
23	17:30	0.5/9.0	0.0146	13.0	은어	68(1)	0.060	0.0	5.5	7.7	3.886
24	2	0.5/9.0	0.0146	13.0	송어	10(3)	0.060	0.0	13.8	8.8	5.000
25	2	0.5/9.0	0.0379	13.0	송어	12(8)	0.065	0.0	14.3	9.7	6.000
26	15:20	0.5/9.0	0.0299	13.0	송어	105	0.065	0.0	15.0	9.3	6.848
27	24:20	0.5/9.0	0.0146	13.0	송어	97	0.040	0.065	13.9	9.7	3.986
28	2	0.5/9.0	0.0299	13.3	송어	0	0.060	0.0107	-	-	0
29	00:40	0.5/9.0	0.0146	13.5	송어	0	0.040	0.065	-	-	0
30	15:40	0.5/9.0	0.0299	13.0	산천어	1	0.065	0.0	12.3	9.4	0.065

번호	실험 시간 (hr)	어도 경사	유량 (m <sup>3</sup> /sec)	수온 (°C)	실험어류		어도 입구부		소상어 특성		소상율 (마리/hr)
					어종	소상 어수 (마리)	M <sub>1</sub> 지점 수심 (m)	낙차 (m)	평균 중량 (g)	평균 체장 (cm)	
31	2	0.5/9.0	0.0379	13.0	산천어	1	0.065	0.0	12.8	9.3	0.5
32	2	0.5/9.0	0.0538	12.0	산천어	0(2)	0.090	0.0	-	-	0
33	2	0.5/9.0	0.0299	12.0	산천어	0	0.060	0.0	-	-	0
34	19:30	0.5/9.0	0.0146	12.0	산천어	4	0.035	0.0	10.4	8.5	0.205
35	2	1.0/9.0	0.0146	13.0	은어	0	0.030	0.0	-	-	0
36	2	1.0/9.0	0.0299	12.0	은어	0	0.060	0.0	-	-	0
37	16	1.0/9.0	0.0299	12.0	은어	0	0.060	0.0	-	-	0
38	2	1.0/9.0	0.0379	12.0	은어	0	0.065	0.0	-	-	0
39	2	1.0/9.0	0.0538	12.0	은어	0	0.085	0.0	-	-	0
40	16:20	1.0/9.0	0.0146	12.0	은어	0	0.030	0.0	-	-	0
41	24	1.0/9.0	0.0146	12.0	은어	0	0.030	0.0	-	-	0
42	2	1.0/9.0	0.0379	12.0	송어	1(1)	0.060	0.0	13.0	9.1	0.5
43	2	1.0/9.0	0.0538	12.0	송어	0	0.090	0.0	-	-	0
44	17:20	1.0/9.0	0.0299	12.0	송어	46	0.065	0.0	13.8	10.0	2.654
45	2:30	1.0/9.0	0.0299	13.0	송어	0	0.065	0.0	-	-	0
46	2	1.0/9.0	0.0146	12.0	송어	1	0.035	0.0	10.0	8.9	0.5
47	18:50	1.0/9.0	0.0146	13.0	송어	22	0.035	0.0	14.3	9.3	1.169
48	20:30	1.0/9.0	0.0379	14.5	송어	108	0.060	0.0	14.3	9.5	5.268
49	2	1.0/9.0	0.0146	13.5	송어	0	0.035	0.0	-	-	0
50	2	1.0/9.0	0.0146	13.5	산천어	0	0.035	0.0	-	-	0
51	16:10	1.0/9.0	0.0299	13.0	산천어	1	0.060	0.0	10.1	8.7	0.062
52	2	1.5/9.0	0.0146	12.0	송어	0	0.040	0.0	-	-	0
53	15	1.5/9.0	0.0299	12.0	송어	5	0.050	0.0	15.9	9.8	0.333
54	2:20	1.5/9.0	0.0379	15.0	송어	4(3)	0.060	0.0	11.9	8.9	1.715
55	2	1.5/9.0	0.0538	14.0	송어	8(3)	0.080	0.0	18.8	10.1	4.0
56	4:20	1.5/9.0	0.0299	13.0	은어	0	0.050	0.0	-	-	0
57	2:10	1.5/9.0	0.0379	14.0	은어	0(2)	0.060	0.0	-	-	0
58	2	1.5/9.0	0.0538	14.5	은어	0(1)	0.080	0.0	-	-	0
59	15:30	1.5/9.0	0.0146	13.0	은어	0	0.040	0.0	-	-	0

주 : ( )의 값은 실험종료 후 어도 내의 체류어수

게는 매우 중요한 영향요소가 된다. 소상어의 특성은 주어진 각 실험조건에서 어도를 통하여 상류부로 올라간 어류의 특성을 나타내는 것으로서 평균체장은 소상어류의 주둥이에서 꼬리지느러미가 시작되는 부분까지로 측정되는 몸의 길이이다.

#### 4. 사다리식 어도의 수리특성

사다리식 어도의 흐름분포를 보면 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 M<sub>2</sub>지점과 상류격벽 사이에서 순환류가 발생하고 M<sub>1</sub>, M<sub>3</sub>지점에서 수면이 상승한다. 어도 입구에서 최대유속은 유량이 0.0146 m<sup>3</sup>/sec, 어도경사가 0.1/9.0 인 경우를 제외하면 모두 1.0 m/sec를 넘고 그 발생 위치는 좌측벽 5 cm 부터 10 cm 사이에서 발생하였다. 사다리식 어도 내의 최대수심은 그림 1 및 그림 3의 M<sub>1</sub>과 같이 격벽 안쪽 상류부 모서리 부

근에서 발생하며 격벽의 끝단 맞은편 어도벽에서 수심이 또한 크다 (그림 1의 M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>와 같은 지점). 어도 입구의 최대수심은 그림 3에서도 알 수 있는 바와 같이 어도 좌측벽에서 주로 발생하였다. 어도 내의 수심은 상류에서 하류로 갈수록 작아지고 있다. 즉 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>의 크기 순을 나타내고 있다. 이는 본 연구가 기존에 설치된 어도의 회유성 어류소상 능력을 평가하기 위한 것이기 때문에 실제 설치된 어도와 마찬가지로 어도 내의 흐름이 부동류 상태이기 때문이다.

어도하단부의 평균유속과 최대유속은 유량과 어도경사 증가에 따라서 증가하며 이를 나타내면 그림 4와 같다. 어도하단부에서 최대유속은 0.75~2.13 m/sec의 범위에 있었으며 평균유속은 0.71~1.94 m/sec의 범위에 있다.

표 5. 사다리식 어도의 흐름특성

어도 경사	유량 (m <sup>3</sup> /sec)	어도내 수심 (m)			어도 입구부(M <sub>4</sub> -M <sub>5</sub> 단면)			
		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	유수단면적 (m <sup>2</sup> )	유속 (m/sec)		최대수심 (m)
						평균	최대	
0.1/9.0	0.0146	-	0.090	-	0.0204	0.71	0.75	0.03.5
	0.0299	0.138	0.113	0.092	0.0301	0.99	1.08	0.05.5
	0.0538	-	0.230	0.135	0.0498	1.08	1.24	0.08.0
0.5/9.0	0.0146	0.110	-	0.065	0.0159	0.92	1.23	0.03.0
	0.0299	-	-	-	0.0319	0.94	1.42	0.06.5
	0.0379	0.220	0.160	0.125	0.0315	1.20	1.53	0.07.0
1.0/9.0	0.0538	0.280	0.230	0.140	0.0426	1.26	1.74	0.09.5
	0.0146	0.140	0.070	0.070	0.0135	1.08	1.40	0.03.0
	0.0299	0.200	0.120	0.120	0.0240	1.24	1.68	0.05.5
	0.0379	0.220	0.130	0.125	0.0288	1.32	1.64	0.06.5
1.5/9.0	0.0538	0.270	0.170	0.165	0.0345	1.56	1.92	0.07.5
	0.0146	0.150	0.080	0.075	0.0105	1.39	1.63	0.03.0
	0.0299	0.240	0.130	0.120	0.0210	1.42	1.94	0.04.5
	0.0379	0.280	0.150	0.150	0.0250	1.52	1.96	0.06.5
1.5/9.0	0.0538	0.310	0.170	0.170	0.0285	1.89	2.13	0.07.0

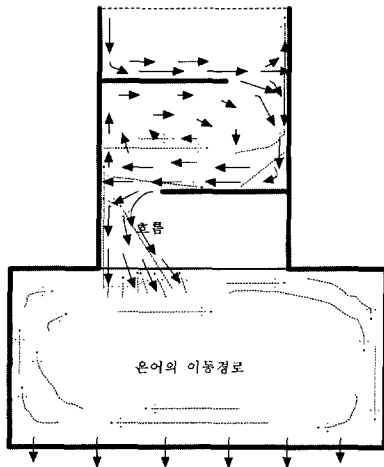


그림 2. 사다리식 어도의 흐름분포와 어류의 이동경로

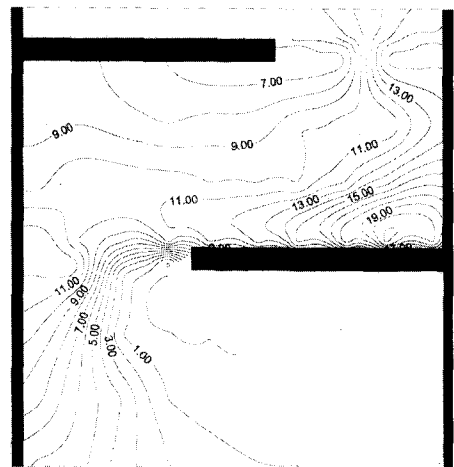


그림 3. 사다리식 어도 입구부의 수심분포 (Q=0.0379 m<sup>3</sup>/sec, S=0.5/9.0)

## 5. 사다리식 어도의 어류소상

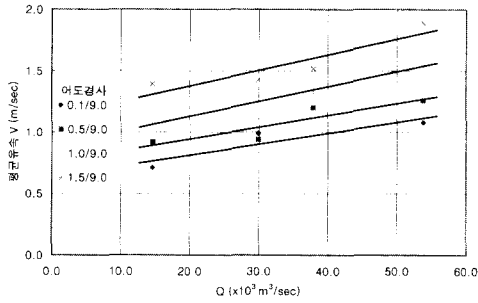
### 5.1 어도 유량과 어류의 소상능력

그림 5는 사다리식 어도에서 어도하단부 즉 입구부와 어도 하류부 웅덩이 사이의 낙차가 없는 경우의 각각 유량과 어도경사에 따른 은어와 송어의 소상특성을

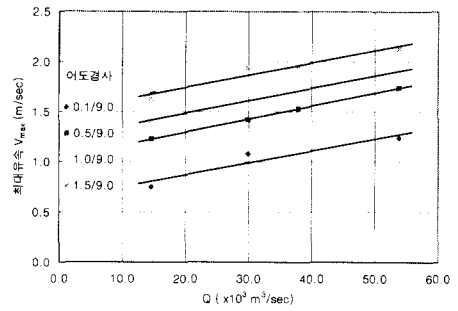
나타낸 것이다. 여기서 소상능력은 식 (1)을 소상어류의 중량으로 나눈 것으로 정의하였으며, 식 (2)와 같이 단위시간 및 단위중량당의 소상어류의 개체수를 나타낸다.

$$M_c = \frac{n}{WT} \quad (2)$$





(a) 평균유속



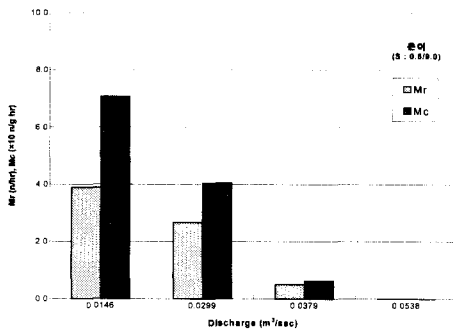
(b) 최대유속

그림 4. 사다리식 어도에 대한 유량과 유속의 관계

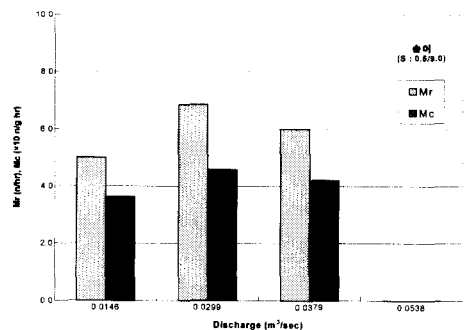
여기서  $W$ 는 소상한 어류의 평균중량(g)이고  $M_c$ 는 소상능력(마리/hr/g)이다. 동일한 어종과 실험조건이라고 하더라도 어류의 크기에 따라서 유영능력의 차이가 존재하고 소상결과도 다르게 된다. 따라서 단위중량당 단위시간당 소상어로 소상능력을 나타내면 실험

결과와 해석이 용이하게 된다.

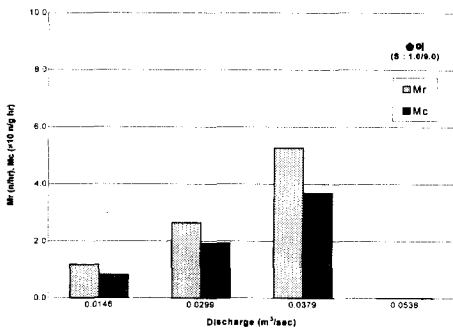
그림 5(a)와 (b)를 비교하여 보면 어도경사가 0.5/9.0일 때는 유량이 증가하면 은어의 소상능력은 현저히 감소하고 있으며, 유량이 0.0538 m<sup>3</sup>/sec일 때에는 소상하지 못하고 있다. 그러나 송어는 유량의 증가



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 사다리식 어도의 유량과 어류 소상

에 따라서 소상능력이 다소 증가하는 경향이 있으나 대체로 큰 변화를 보이지 않고 있다고 할 수 있으며, 유량이 많은 0.0538 m<sup>3</sup>/sec일 때에는 은어와 마찬가지로 소상하지 못하고 있다. 어도경사 0.5/9.0의 조건에서는 유량이 증가함에 따라 어도의 유속이 증가하기 때문에 유영력이 좋은 송어가 은어보다 높은 소상능력을 나타내고 있으나 송어도 0.0538 m<sup>3</sup>/sec의 유량으로 나타나는 유속에서는 소상하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 표 4의 실험번호 35~41과 56~59에서 알 수 있는 바와 같이 은어는 1.0/9.0와 1.5/9.0의 어도경사에서 유량의 크기에 관계없이 소상하지 못하고 있으며, 송어는 그림 5(c)와 (d)에서 알 수 있는 바와 같이 유량이 증가하면 소상능력이 증가하고 있다. 그림 5(b)를 (c)와 (d)에 비교해 보면 송어는 어도경사의 변화에 대해서 유량증가에 따른 소상능력 발휘의 경향이 현저하게 다르게 나타나고 있다. 즉 사다리식 어도에서 송어의 소상능력은 0.5/9.0의 어도경사에서는 유량변화에 민감하지 못한 반면에 1.0/9.0와 1.5/9.0의 어도경사에서는 유량변화에 대단히 민감하게 나타나고 있다. 회유성 어류인 시마연어가 육봉화된 산천어는 표 4의 실험번호 15~20와 50 및 51의 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 소상능력을 거의 보이지 않고 있다. 이는 산

천어가 회유성 어류가 아니라는 것을 나타낸다.

이상의 실험결과를 통하여 볼 때 사다리식 어도의 동일한 어도경사에서 유량의 증가가 어류소상에 미치는 영향은 어종에 따라서 각각 달라지는 것을 알 수 있다. 즉 은어는 소상가능한 어도경사에서 유량증가가 소상가능을 저하시키나, 송어의 경우 오히려 어떤 한계 유량 이하에서 유량 증가는 소상가능을 증대시킨다. 한계유량의 크기는 그림 5(c)와 (d)에서 추정하여 보면 어도경사가 커지면 증가하는 경향을 보이고 있다.

## 5.2 어도경사와 어류의 소상능력

주어진 유량에 대하여 사다리식 어도의 경사가 어류소상에 미치는 영향은 그림 6에서 파악할 수 있다. 그림 6(b), (c), (e)에서 보면 은어는 어도유량의 크기에 관계없이 어도경사가 1.0/9.0, 즉 0.1111 이상의 경사가 되면 사다리식 어도를 통하여 상류로 소상할 수 없다. 이는 하천설계기준(건설교통부, 2000)에서 어도경사를 0.1이하로 권장하고 있는 것의 타당성을 간접적으로 뒷받침하는 것이라고 할 수 있다. 이와 달리 송어는 그림 6(a), (d), (f)에서도 확인할 수 있는 것처럼 사다리식 어도의 동일 유량에서 어도경사의 증가는 소상능력이 저하되며 어도경사는 송어의 소상능력에

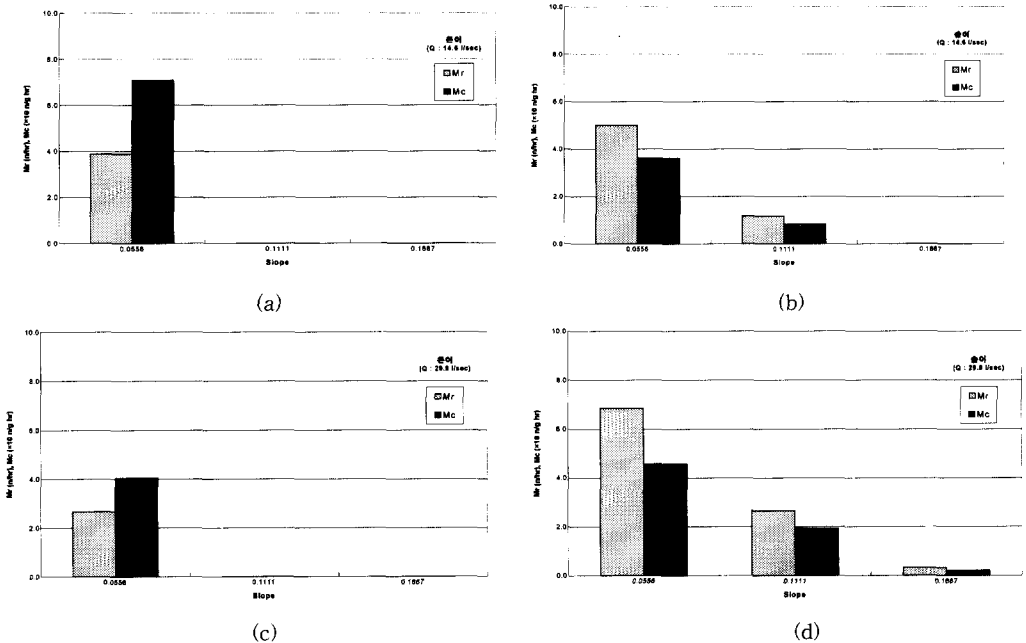
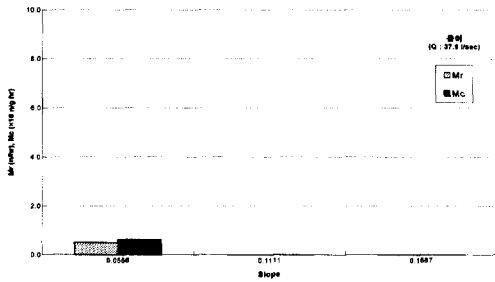
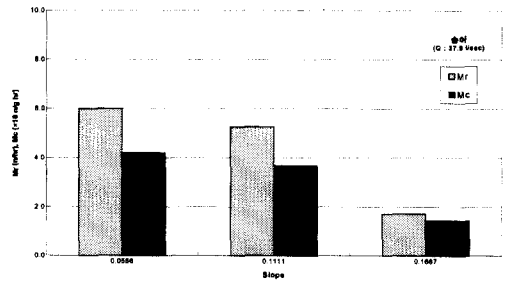


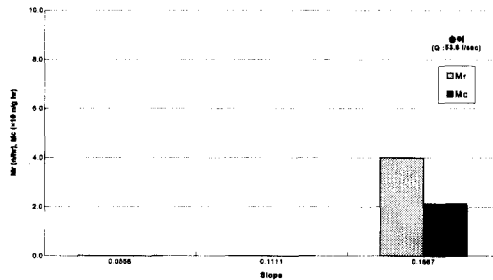
그림 6. 사다리식 어도의 경사와 어류 소상



(e)



(f)



(g)

그림 6. 사다리식 어도의 경사와 어류 소상 (계속)

민감하게 작용한다. 그러나 그림 6(g)에서 알 수 있듯이 유량이 0.0538 m/sec일 때는 오히려 어도경사가 큰 1.5/9.0 에서만 소상하고 있다.

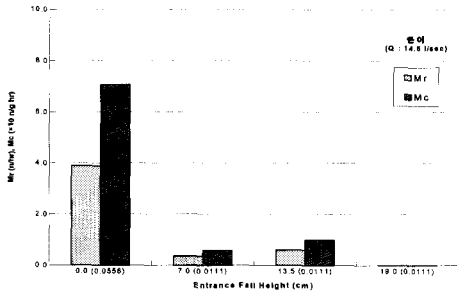
이상의 결과에서 보면 사다리식 어도는 송어의 경우 소상능력을 향상시키기 위해서는 어도경사가 급하면 급할수록 어도의 유량을 증대시켜야 하고, 은어의 경우에는 어떤 어도경사 이하가 되어야 할 뿐 만 아니라 유량도 감소되어야 한다. 그림 4에서 알 수 있듯이 어도의 유량과 경사가 증가하면 유속이 증가하게 되며 이는 각 어류의 유영력 특성에 따라 사다리식 어도의 소상기능이 다르게 나타나도록 하는 원인이 된다. 은어의 경우 유영에 적당한 유속은 0.5~1.2 m/sec이고 최고유속은 1.2~2.2 m/sec인 것으로 보고된 바가 있으며 유영력은 적당한 유속이 있을 때 충분히 발휘되는 것으로 알려져 있다(이종남과 신문섭, 1987).

### 5.3 어도 입구부 낙차의 영향

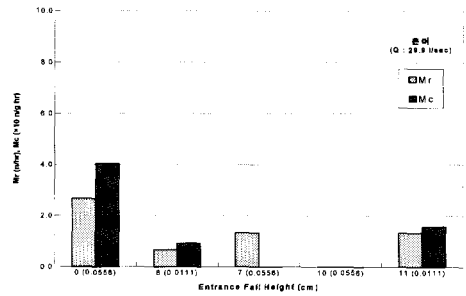
기존 설치어도에서 흔히 발견되는 어도 입구부 낙차에 따른 사다리식 어도의 소상기능을 분석하기 위하여 표 4의 실험번호 1~11과 27 및 28에 제시된 바와 같이 은어와 송어를 대상으로 어도 입구부 낙차의 변화를 고려한 소상실험을 실시하였다. 그림 7(a)에서 볼

수 있듯이 은어는 어도경사가 0.1/9.0으로 작고 실험유량이 0.0146 m/sec일 때 어도하단의 19.0 cm낙차에서 소상하지 못하고 있으며, 그림 7(b)에서는 어도경사가 0.1/9.0이고 유량이 0.0299 m/sec의 경우 낙차 11cm에서 소상하지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 유량이 0.0299 m/sec이고 어도경사가 0.5/9.0인 때는 10 cm의 낙차에서도 소상하지 못하고 있다.

본 연구의 실험에서 은어가 도약에 의하여 사다리식 어도로 진입할 수 있는 어도하류부 낙차는 어도경사와 유량의 증가함에 따라 감소한다. 도약능력이 탁월한 것으로 알려진 은어 치어의 최고 도약높이는 약 60 cm로서 평균 35~45 cm이며, 이는 정수 혹은 유수 여부에 크게 달라지고 유수중에서는 62~68 cm의 도약높이를 나타낸다는 보고(이종남과 신문섭, 1987)가 있으나 그 수리학적 상황은 전혀 알 수 없다. 이러한 은어의 도약높이는 본 연구에서 조사된 사다리식 어도하류부 낙차 19 cm를 도약하여 어도상류로 소상하지 못한 결과와 비교하면 큰 차이를 나타내는 것이다. 이는 어도 하류부에서 하상과 어도간에 낙차발생시 어도하류부에 수심이 작고 유속이 빠른 면상류가 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 면상류는 사다리식 어도의 하류부 하상이 저하되면 어도와 하상간의 연결이



(a)



(b)

그림 7. 사다리식 어도의 입구부 낙차와 은어의 소상

불량해지면서 어도 하류부에서 발생한다. 이와 같은 면상류의 방지를 위해서는 어도의 길이를 충분히 크게 하여 하상저하가 발생하여도 어도와 하상간의 불연속현상이 발생되지 않도록 하는 것이 필요하다. 송어는 표 4에서 알 수 있듯이 어도경사가 0.5/9.0이고 유량이 0.0146 m<sup>3</sup>/sec인 사다리식 어도를 통하여 소상하고 있으나 유량이 0.0299 m<sup>3</sup>/sec로 증가하고 낙차가 10.7 cm일 때는 소상하지 못한다. 이상의 실험결과를 통해서 보면 사다리식 어도 입구부 낙차의 크기는 어류가 사다리식 어도로 진입하는데 큰 영향을 미치고 있으며 이는 사다리식 어도의 소상기능을 크게 좌우할 수 있음을 나타낸다.

#### 5.4 어류의 소상경로

사다리식 어도에서 은어와 송어의 각 소상 경로는 그림 2에 표시한 것과 같이 유속이 약하고 어류의 이동에 적당한 흐름이 있는 곳을 이용하여 상류로 이동하였다. 어류가 하류단 웅덩이에서 어도에 진입하는 경로는 유속이 작은 어도측벽과 흐름의 가장자리를 이용하는 것으로 파악되었다. 즉 어도 입구부의 측벽이나 흐름의 가장자리를 통하여 어도에 진입한 어류는 격벽에 의하여 형성된 유속이 약한 지역에서 대기하고 있다가 흐름에 반대 방향으로 향하여 어도상류로 진행한다. 어도 하류부 웅덩이에 투입된 어류는 어도에 진입하기 전까지는 시계방향으로 계속하여 회전하거나 어도입구부에서 어도로 진입하기 위하여 대기하고 있었다. 이와 같은 어류의 행동은 웅덩이내의 흐름분포와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉 어도에서 유출한 물이 어도 하류부 웅덩이의 좌측에 치우쳐 흐르기 때문에 웅덩이내의 주 흐름이 좌측에 형성되고 또한 어류가 흐름에 반대방향으로 역행하고자 하는 본래

의 성질을 가지고 있기 때문인 것으로 생각된다.

#### 5.5 어류의 소상수리영역

사다리식 어도에서 은어와 송어의 소상에 적합한 흐름조건이 존재할 것이다. 본 연구의 실험 결과를 그림 5에서 보면 은어는 어도경사 0.5/9.0일 때 0.0538 m<sup>3</sup>/sec의 유량에서 소상하지 못하고, 어도경사가 1.0/9.0과 1.5/9.0에서는 모든 유량조건에서 소상하지 못하고 있다. 송어는 어도경사 0.5/9.0과 1.0/9.0의 경우 유량이 0.0538 m<sup>3</sup>/sec 일 때 소상하지 못하고, 어도경사 1.5/9.0의 경우 0.0538 m<sup>3</sup>/sec 유량에서는 소상하나 오히려 가장 적은 유량 0.0146 m<sup>3</sup>/sec에서는 소상하지 못하고 있다. 그림 5와 6에서 보면 어류가 소상할 수 없는 한계유량과 어도경사가 존재할 것이라는 것을 쉽게 생각할 수 있다. 그림 7에서는 어도하류부 하상과 어도입구부 바닥간의 낙차가 사다리식 어도에서 어류의 소상여부에 결정적인 영향을 미칠 것이라는 것을 알 수 있다. 이상과 같은 결과로부터 사다리식 어도에서 어종별 소상에 적합한 수리조건이 존재할 것이라는 판단을 할 수 있으며 본 연구에서는 이를 어도의 소상수리조건이라 하였다. 어류의 소상에 영향을 미치는 흐름조건으로는 어도 내의 유속분포, 수심, 어도경사 및 유량과, 어도하류부 하상과 어도입구부 간의 낙차를 생각할 수 있다. 따라서 본 연구의 실험결과를 정리하면 그림 8과 같이 소상수리조건을 나타낼 수 있다. 그림 8에서  $F_f$ 와  $H_f$ 는 각각 다음 식 (3), (4)와 같다.

$$F_f = \frac{qS}{\sqrt{gH^3}} \quad (3)$$

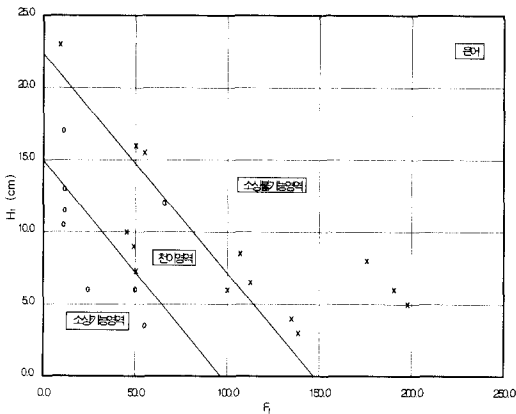
$$H_f = H + F \quad (4)$$

표 6. 사다리식 어도의 소상수리영역

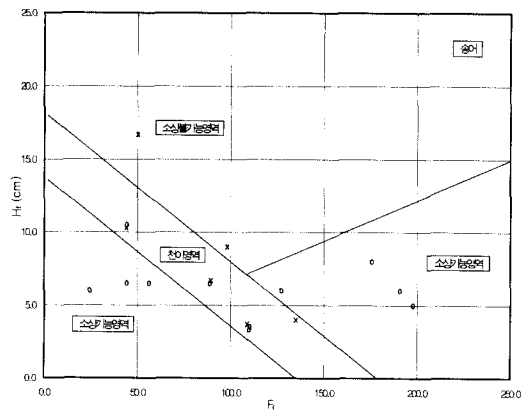
어종	소상영역구분	
	은어	소상가능
	천이구간	$15.0 < H_f + 0.156F_f < 22.5$
	소상불가능	$H_f + 0.156F_f \geq 22.5$
송어	소상가능	$18.3 < H_f + 0.104F_f \leq 0.159F_f, F_f > 107$ $H_f + 0.104F_f \leq 14.0, F_f < 134.0$
	천이구간	$14.0 < H_f + 0.104F_f \leq 18.3$
	소상불가능	$H_f + 0.104F_f \geq 14.0, F_f < 107.0$ $H_f - 0.055F_f \geq 1.0, F_f > 107.0$

여기서  $q$ 는 단위폭당유량( $m^3/sec$ )으로서  $Q/b$ 로 구하며,  $Q$ 는 어도의 유량( $m^3/sec$ ),  $b$ 는 그림1에서 알 수 있는 바와 같이 사다리식 어도 내의 도류벽 지점 통수단면폭( $m$ ),  $S$ 는 어도경사,  $g$ 는 중력가속도( $m/sec^2$ ),  $H$ 는 어도하류부  $M_4$ 지점의 수심( $m$ ),  $F_f$ 는 무차원인자,  $F$ 는 어도하류부 하상의 수면과 어도하류부 바닥사이의 낙차,  $H_f$ 는 어도하류부 하상의 수면에서 어도하류부  $M_4$ 지점까지의 수위차( $cm$ )이다.  $F_f$ 는 어류의 소상능력에 관계하는 인자로서 어도경사와 단위폭당 유량, 어도하류부 수심에 따라 달라진다. 이들은 회유성 어류가 어도를 이용하여 소상하는데 중요한 영향을 미치는 변수라는 것을 실험결과를 통해서 확인할 수 있다.  $H_f$ 는 어류가 어도에 진입하

는데 영향을 미치는 변수로서 사다리식 어도 하류부 하상의 바닥에서 어도 바닥까지의 높이  $F$ 와 어도 하류부의 수심  $H$ 에 따라서 달라진다. 어류가 어도에 진입하기 위해서는 최소한  $F$ 의 도약이 필요하고 도약하여 어도 내에 안착하기 위해서는 어도하류부의 유속을 극복하고 상류로 올라갈 수 있는 유영력이 필요하게 된다. 이 때에 필요한 최소한의 유영력은 유속과 어류의 형태, 어류의 크기 등에 관계가 있을 것이다. 이를 반영할 수 있는 변수는  $H$ 가 될 수 있다. 사다리식 어도에서 회유성 어류의 소상에 대한 수리영역은 소상가능영역, 천이영역, 소상불가능영역으로 구분할 수 있으며, 본 연구의 실험결과로부터 소상수리영역을 나타내면 그림 8과 표 6과 같다. 은어와 송어의 소상



(a) 은어



(b) 송어

그림 8. 사다리식 어도의 소상영역

표 7. 산천어, 은어, 송어의 평균소상능력 (어도경사 0.5/9.0)

유량 (m <sup>3</sup> /sec)	산천어		은어		송어	
	소상능력 (마리/hr/g)	비율	소상능력 (마리/hr/g)	비율	소상능력 (마리/hr/g)	비율
0.0146	0.0023	1	0.3930	170.9	0.2899	126.0
0.0299	0.0086	1	0.2021	23.5	0.4565	53.8

영역을 비교하면  $F$  와  $H$  가 작은 영역에서는 공통적으로 나타나고 있으나 송어의 경우에는 보다 큰  $F$  에서도 소상이 가능할 수 있음을 알 수 있다.

### 5.6 산천어의 소상

실험결과의 표 4에서도 확인할 수 있듯이 사다리식 어도에서 산천어는 거의 소상하지 않는 것으로 나타났다. 표 7은 어도경사가 0.5/9.0이고 유량이 0.0146 m<sup>3</sup>/sec 및 0.0299 m<sup>3</sup>/sec인 경우에 대하여 산천어의 평균소상능력을 은어와 송어에 비교하여 나타내는 것이다. 여기서 비율은 산천어를 기준으로 할 때의 소상능력을 나타낸다. 산천어는 회유성 어류인 은어와 송어에 비하면 사다리식 어도에서 잘 소상하지 않으려는 것을 확인할 수 있다. 이는 시마연어의 육봉형인 산천어가 본래 육봉화 이전에 지니고 있던 소하성의 특징을 상실한 결과라고 생각된다.

## 6. 고 찰

우리나라에 설치되어 있는 사다리식 어도는 약 54.1%를 차지하고 있으며, 하천의 규모에 따라 어도의 규모가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 즉 유역면적이 큰 하천은 하천의 폭이 넓고 갈수시 유량이 상대적으로 많기 때문에 어도의 규모가 상대적으로 크다. 영동 지역 주요 하천 하류지역의 사다리식 어도에서 어도별 최대경사는 건설교통부의 하천시설기준에서 제시하고 있는 0.1 보다 매우 큰 경우가 많았으며 동일 어도에서도 부분적인 어도경사가 매우 다양하게 되어있다. 이는 어도시설의 설계나 시공상의 문제로 발생된 것으로 생각된다. 이는 본 연구의 실험결과 사다리식 어도의 회유성 어류 소상능력에 큰 영향을 미치는 것으로 파악된 어도경사를 고려할 때 기 설치 어도시설의 어류 소상 기능이 충분치 못할 뿐만 아니라 각 하천수계별 회유성 어류 생태환경이 좋지 못하다는 것을 시사한다.

본 연구에서 실험에 사용된 회유성 어류인 은어와 송어는 양어장에서 양식되고 있던 것으로서 양식이 소

하성 어류의 특성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 생각된다. 양식으로 인하여 나타날 지도 모를 문제를 피하기 위하여 실험어류를 실험에 사용하기 전에 옥의 양어장에서 충분한 기간동안 순치하였으며 실험이 끝나면 다시 옥의 양어장에 두었다. 시마연어가 육봉화된 산천어는 본래의 소하성이 거의 상실된 것으로 보인다. 본 연구에서는 각 실험에서 어도 하류부에 설치된 가로 2.4 m, 세로 2.0 m, 어도하단부 기준깊이 0.3 m의 웅덩이에 실험어류를 300마리 투입하였다. 어도 하류부 웅덩이의 실험 어류가 차지하는 면적은 실험어류 개체당 160 cm<sup>2</sup>이다. 어도 하류부 웅덩이에 투입된 실험 어류의 밀도가 어도의 소상에 미치는 영향에 관한 후속의 연구가 필요한 것으로 생각된다.

본 연구에서는 사다리식 어도의 어류소상기능을 좌우하는 중요한 인자로는 어도경사, 어도유량, 어도입구부 하상과 어도간의 낙차의 크기인 것으로 판단되었다. 어도의 경사와 유량은 어도의 평균유속을 좌우하는 중요한 변수이기 때문에 어도에서 유속의 크기가 회유성 어류의 소상결과에 중요한 것으로 생각되며 또한 어도 내의 유수단면적도 어류의 소상에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 일반적으로 어류별로 선호하는 유속의 크기가 다르기 때문에 이러한 점을 어도에서 충분히 반영하는 것은 쉬운 일이 아니다. 사다리식 어도와 같이 표면류가 존재하는 수로식 어도에서 어류의 소상에 결정적인 영향을 미치는 것은 유속분포, 유수단면적, 어류의 유영력이라고 할 수 있다. 현재까지는 어류의 유영력과 흐름의 관계에 대한 조사연구가 미흡한 실정이며 이에 대한 충분한 연구가 이루어져야 어류의 이동생태에 관련된 수공구조물의 설계와 유지관리 분야의 발전이 이루어질 것으로 판단된다.

사다리식 어도에서 유속은 하류 쪽에 흐름의 장애물이 없는 어도의 입구부에서 가장 크게 나타날 수 있다. 실제로 기존에 설치된 사다리식 어도의 많은 경우에서 어도 입구부와 하상간의 연결부분을 콘크리트로 평평하게 처리한 경우가 있어 유속이 매우 크고 수심이 작

은 면상류가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 면상류의 길이가 또한 큰 경우가 많기 때문에 많은 면상류에서 어도의 어류소상 기능상에 부정적인 문제가 발생하고 있다. 사다리식 어도는 어도입구에 도달한 회유성 어류가 상당한 물살을 극복하고 어도 내로 진입하여야 하기 때문에 많은 경우 어도 입구부에서 문제가 발생하고 있다. 본 연구의 결과를 통하여 볼 때 사다리식 어도의 기능을 적절하게 확보하기 위해서는 어도의 설계나 설치후의 유지관리에 있어서 어도입구부 낙차를 적정한 범위 내로 유지하는 것에 주의하여야 할 것으로 생각된다. 은어와 송어에 대하여 실험자료를 바탕으로 소상수리영역을 조사하였다. 은어보다 송어는 복잡한 영역구분을 나타내었으며 산천어는 그 영역구분이 곤란하였다. 보다 다양한 조건에 따른 실험을 실시하여 소상수리영역을 확인하는 추후 연구가 필요한 것으로 생각된다.

본 연구에서 실험시간은 대체로 장시간과 단시간으로 구분될 수 있으며 단시간의 경우 약 2시간으로 하였고 장시간의 경우에는 약 15시간으로 하였으나 실험시간의 변화에 따른 어도의 소상기능에 대한 추후 실험이 필요한 것으로 생각된다. 본 연구의 실험을 통하여 볼 때 사다리식 어도의 경사는 0.1이하가 바람직한 것으로 생각된다.

## 7. 결 론

본 연구는 어류생태 수리실험을 통하여 사다리식 어도에 대한 회유성 어류의 소상능력을 평가하기 위한 것으로서 은어, 송어를 대상으로 실험하였으며 기존 설치된 사다리식 어도의 경사를 조사하여 수계별 회유성 어류 이동생태환경을 분석하였다. 시마연어의 육봉형인 산천어는 어도에서 잘 소상하지 않는 것이 실험을 통하여 확인되었다.

사다리식 어도에서 회유성 어류의 소상능력은 어도의 유량, 어도경사, 어도 입구부 낙차의 크기에 지배를 받고 있으며 동해안지역 주요 하천의 기 설치 사다리식 어도는 어도경사가 매우 급하여 어도의 회유성 어류 소상기능이 나쁘다. 사다리식 어도의 동일한 어도경사에서 유량의 증가가 어류소상에 미치는 영향은 어종에 따라서 각각 달라진다. 소상이 가능한 어도경사에서 유량증가는 은어의 소상기능 저하작용을 하고 어떤 한계유량 이하에서 유량 증가는 송어의 소상기능 증대작

용을 한다. 사다리식 어도에서 은어의 소상은 주어진 유량에 대하여 어도경사에 민감하고 송어는 주어진 어도경사에서 유량변화에 민감하다. 은어와 송어에 대한 소상수리영역을 조사하였으며 무차원인자  $F_f$  와 어도 하류부의 수위차  $H_f$  에 따라서 소상가능영역, 천이영역, 소상불가능영역으로 구분할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부의 1995년도 수산특정연구개발사업 지원에 의해 수행된 연구성과 중 일부이며 이에 감사드립니다. 국립수산진흥원 양양내수면연구소와 당시 배국기 소장님께 감사를 드리며 실험을 도와준 강릉대학교 김진열 군에게도 감사합니다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부 (2000). 하천설계기준. pp. 650~656.
- 김인배 (1990). "냉수성 어류의 양식.", 한국송어양식 25주년 기념집, 한국송어양식협회의회, pp. 35~65.
- 박상덕 (1998a). "동해안지역 어도시설 실태 및 기능." 동해안지역 회유성 어류를 위한 하천 생태 환경 보전 심포지움, 강릉대학교 동해안 지역연구소, pp. 5-1~5-39.
- 박상덕 (1998b). "동해안지역 어도시설 및 관리." 한국수자원학회지, 제31권, 제4호, pp. 28~33.
- 이종남, 신문섭 (1987). 수산토목공학. 경문사, pp. 424-437.
- 정문기 (1977). 한국어도보. 일지사, pp. 124-133.
- 최기철 (1996). 우리민물고기 백가지. 현암사, pp. 484~487.
- 해양수산부, 강릉대학교 (1999). 어도시설 표준모형 개발에 관한 연구.
- 황종서, 허협 (2000). "양양남대천과 영덕오십천의 어도 및 어류의 소상." 한국농공학회지, 제42권, 제5호, pp. 70~77.
- 広瀬利雄, 中村中六 (1991). 魚道の設計. 山海堂.
- 中村俊六 (1995). 魚道のはなし-魚道設計のためのガイドライン. 山海堂.

(논문번호:01-029/접수:2001.04.04/심사완료:2001.07.09)