

어도 수리실험을 통한 어류 이동의 적합성 검증

김진홍*

Jin Hong Kim

요 지

본 연구는 어도에서의 어류이동의 적합성을 검증하기 위해 어도 수리실험을 통해 흐름에 따른 어류이동을 조사하는 것으로 하였다. 이를 위해 실험은 모형이 아닌 거의 실물에 가까운 원형 수준의 어도를 제작하였다. 물고기는 피라미를 준비하였으며, 어도 내부에 넣고 흐름을 형성시켜 어류의 거동을 비디오로 촬영하였다. 어도 격벽은 두께를 $t=0.1\text{m}$, 어도 폭은 $B=1.0\text{m}$, 격벽간 거리는 $L=1.0\sim 2.0\text{m}$, 격벽간 낙차는 $\Delta H=0.1\text{m}$ 로 하여 각 경우에 따른 실험을 실시하였다. 본 연구 결과에 따르면 어류 이동에 효율적인 흐름의 속도는 $1.0\sim 1.5(\text{m/s})$ 임을 나타내고 있는데, 이는 기존 피라미의 선호유속(0.8m/s)보다 높은 편으로서, 이는 어류의 상류이동을 위해서는 선호유속보다 약간 높은 유속을 형성시킴으로써 어류가 상류로 이동하려는 의욕을 가지게 하는 것이 중요함을 시사하였다. 상기 실험 결과를 바탕으로 어류(피라미)의 상류 이동에 적합한 계단식 어도는 경사가 $1/20$ 이고, 상하류 격벽 단차가 10cm 정도로서 순환류가 약하게 형성되며, 유효 흐름의 속도가 $1.0\sim 1.5(\text{m/s})$ 를 유지하는 형태임을 알 수 있었다.

핵심용어 : 어도, 어류 이동, 피라미, 어류 거동, 선호유속, 계단식 어도

1. 서 론

하천본래가 갖고 있는 물의 정상적인 유하 기능과 함께 거기에 서식하는 어류들의 보호 및 자연 생태계의 보전을 위하여 어류들의 이동이 가능하도록 하기 위하여 보 또는 댐 건설시 여러 가지 형태의 어도를 설치하게 된다. 어도란 어류의 이동을 곤란 또는 불가능하게 하는 장애가 있을 때, 이동의 목적을 달성할 수 있도록 만들어진 수로 또는 장치의 총칭을 말한다. 국내 하천에는 어류의 이동을 위해 많은 어도가 설치되어 있지만, 어도 위치 선정의 부적합성, 보를 유효한 흐름의 높은 소류력으로 인한 바닥 보호공이 훼손되거나, 어도 내의 유속이 너무 빨라 구조물 내부의 파손, 유인수로의 돌출 또는 입구부의 폐색으로 어류유인 효과 기능을 상실한 경우가 많다.

어류가 어도를 따라 이동하기 위해서는 이동을 쉽게 하기 위한 흐름의 적정유속과 도약수심을 갖추어야 하며, 와류나 순환류 등을 발생시키지 말아야 하고, 어도 내에서 어류의 지체시간이 길어서는 안 되는 등의 여러 조건을 갖추어야 한다. 또한 어류를 쉽게 유인할 수 있는 유인수의 방류대책도 마련되어야 한다. 따라서 수리모형실험을 통한 수리학적 분석을 통하여 어류가 피로를 느끼지 않고 최단시간 내에 이동을 하기 위한 효율적인 어도설계 기법이 요구된다. 어도설치 수리모형실험은 상기 조건을 만족시키는 적정구조물의 형태를 제시하는데 있다. 본 연구는 어도에서의 어류이동의 적합성을 검증하기 위해 실제로 어류를 어도에 넣고 흐름에 따른 어류이동을 조사하는 것으로 하였다. 이를 위해 실험은 모형이 아닌 거의 실물에 가까운 원형 수준의 어도를 제작하였다. 물고기는 피라미를 준비하였으며, 어도 내부에 넣고 흐름을 형성시켜 어류의 거동을 비디오로 촬영하였다.

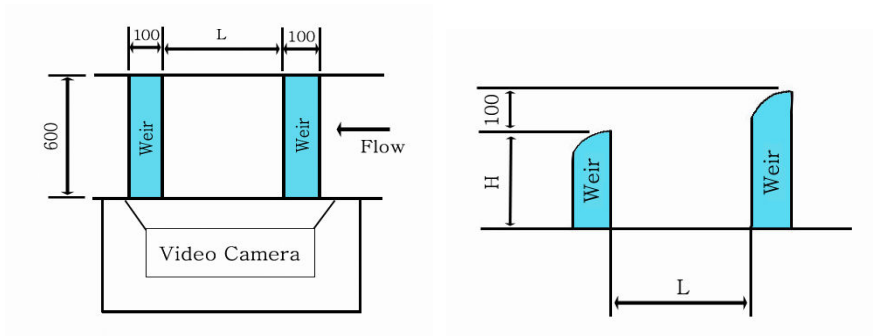
* 정회원·중앙대학교 토목공학과 교수·E-mail : jinhkim@cau.ac.kr

2. 실험의 시설 개요 및 실험 방법

2.1 어도 실험 시설

어도 모형은 아래 그림과 같이 제작하였다.

어도 격벽은 두께를 $t=0.1\text{m}$, 어도 폭은 $B=1.0\text{m}$, 격벽간 거리는 $L=1.0\sim 2.0\text{m}$, 격벽간 낙차는 $\Delta H=0.1\text{m}$ 로 하여 각 경우에 따른 실험을 실시하였다. 실험수로 측벽은 어류의 유영특성을 관찰하기 위해 투명유리를 부착하였으며, 0.1m 간격의 투명 mesh도 부착하여 비디오를 이용하여 거동 모습을 촬영하였다.



(a) 평면도 (b) 단면도

그림 1. 어도 실험 시설(단위:mm)

2.2 실험 방법

어도실험은 아래 표와 같이 8가지로 하여 각각의 경우에 대하여 실험을 실시하였다.

표 1. 어도 실험 방법

실험 case	상류격벽 높이(m)	하류격벽 높이(m)	격벽간 거리(m)	어도 경사(-)	실험 case	상류격벽 높이(m)	하류격벽 높이(m)	격벽간 거리(m)	어도 경사(-)
1	0.4	0.3	1.0	1/10	5	0.6	0.5	2.0	1/20
2	0.4	0.3	1.5	1/15	6	0.9	0.8	1.0	1/10
3	0.4	0.3	2.0	1/20	7	0.9	0.8	1.5	1/15
4	0.6	0.5	1.0	1/10	8	0.9	0.8	2.0	1/20

상하류 격벽간 낙차는 0.1m 로 고정하였으며, 격벽간 거리를 1.0m , 1.5m , 2.0m 로 하여 어도 경사를 $1/10$, $1/15$, $1/20$ 로 변경시켰다. 대상 어종은 어도의 규격 및 실험수로의 흐름 범위를 고려하여 피라미(양식어)로 선정하였다. 피라미를 어항에 오랫동안 두면 약해지고 유영특성이 둔해지므로, 정기적으로 폭기에 의해 공기를 유입시켜 피라미가 활발한 상태를 유지하도록 하였다. 그러나 피라미를 구입하는 즉시 가급적 빠른 시일 내에 실험을 하였다.

어도 실험에 사용된 피라미의 체장별 실험 빈도의 수는 아래 그림과 같다. 실험 대상 피라미는 어류 채집용 소망태를 사용하였다. 소망태를 이용하여 피라미를 어도에 투입시켜 흐름에 따른 유영특성을 관찰하였으며, 흐름에 밀려 하류로 떠내려 온 피라미는 어류 끝단에서 소망태를 이용하여 채집하여 어항에 투입하였다.



그림 2. 피라미의 모습 및 체장별 실험 빈도의 수

3. 실험 결과

Case 2의 경우 어도 내의 흐름 상태 및 어류의 거동은 아래 그림과 같다. 상류 격벽을 월류한 흐름은 바닥까지 도달하여 하류부 격벽 근처에서 상승한 후 일부는 하류부 격벽으로 향하고 나머지는 상류부로 향하고 있다. 흐름은 하류 격벽 근처에서 분리된 후 상류 격벽 근처에서 다시 부착하고 있으며, 분리점과 재부착점으로 이루어지는 순환류 흐름을 보이고 있다.

흐름에 따른 어류의 거동은 대체로 3가지 경로를 따르고 있다. 경로 1의 경우, 어류는 하류 격벽을 월류한 후 어도 바닥으로 잠입하여 상류 격벽까지 접근한 후 상류 격벽 바로 하부에서 도약, 월류를 시도하려고 한다. 그러나 도약 경사가 급하여 상류 이동에 지장을 초래하고 있다. 경로 2의 경우 어류는 흐름의 중층을 이동하여 상류 격벽까지 접근한 후 도약에 성공한다. 경로 3의 경우 어류는 흐름의 상층을 주로 이용하며, 흐름의 순환류에 거슬러 한동안 순환하다 상류 격벽 근처에서 흐름을 감지하여 방향을 바꾼 후 상류로 이동을 시도한다. 아래 그림의 붉은 타원 영역에서 주로 어류는 일단 정지하게 되며, 이후 상류 격벽의 흐름을 감지하여 방향을 바꾼 후 상류로 이동을 시도한다. 어류의 상류 이동은 경로 2가 비교적 성공률이 큰 것으로 나타났다.

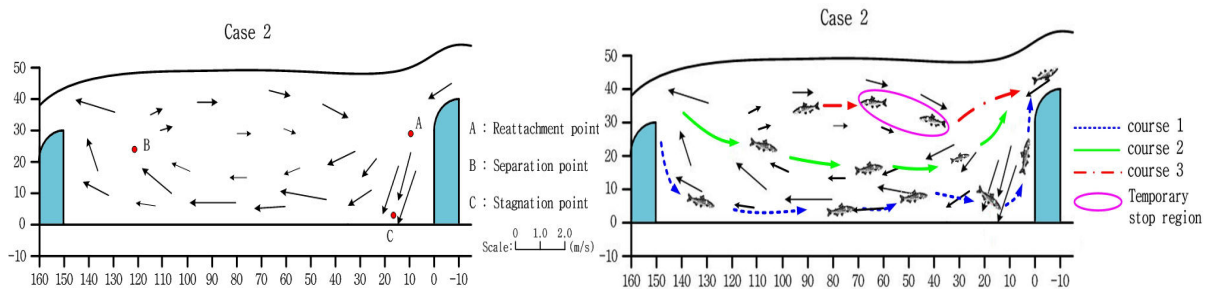


그림 3. 어도 내 흐름 상태(case 2) 및 어류의 거동 특성

Case 3의 경우 흐름 상태를 보면, 상류 격벽을 월류한 흐름은 바닥까지 도달하여 하류부 격벽 근처에서 상승한 후 일부는 하류부 격벽으로 향하고 나머지는 상류부로 향하고 있다. 그러나 대부분의 흐름은 하류 격벽을 월류하며, 상류부 격벽으로 향하는 흐름은 하류 격벽을 월류하는 흐름에 비해 적은 편이다. 따라서 상류로 향하는 흐름의 유속은 느린 편이어서 약한 순환류가 형성된다. 흐름은 하류부 격벽 지점에서 분리된 후 상류 격벽 근처에서 다시 부착하고 있으며, 분리점과 재부착점으로 이루어지는 순환류 흐름을 보이고 있다. 그러나 순환류 영역은 pool 상류부 영역에서 형성된다.

흐름에 따른 어류의 유영 특성을 보면, 경로 1의 경우 어류는 하류 격벽을 월류한 후 어도 바닥으로 잠입하여 상류 격벽까지 접근한 후 상류 격벽 바로 하부에서 도약, 월류를 시도하려고 한다. 그러나 도약 경사가 너무 급하여 상류 이동에 어려움을 겪고 있다. 반면 경로 2의 경우 어류는 흐름의 유

속이 비교적 작은 중층을 이동하여 상류 격벽까지 접근한 후 도약에 성공한다. 경로 3의 경우, case 1이나 case 2에 비해 많은 어류가 경로 2를 이용하여 상류 격벽으로 이동에 성공하고 있다. 경로 3의 경우 어류는 흐름의 상층을 주로 이용하며, 흐름의 순환류에 거슬러 순환하다 상류 격벽 근처에서 흐름을 감지하여 방향을 바꾼 후 상류로 이동을 시도한다. 그러나 순환류의 유속은 case 1이나 case 2에 비해 약한 편이어서 경로 3을 따르는 어류의 이동은 그리 많지는 않다. 따라서 case 3의 경우가 비교적 어류 이동에 효율적인 흐름이라 할 수 있다. 아래 그림의 붉은 타원 영역에서 주로 어류는 정지하게 되며, 이후 흐름에 밀려 하류로 내려가거나 상류 격벽의 흐름을 감지하여 방향을 바꾼 후 상류 이동, 도약을 시도하기도 한다.

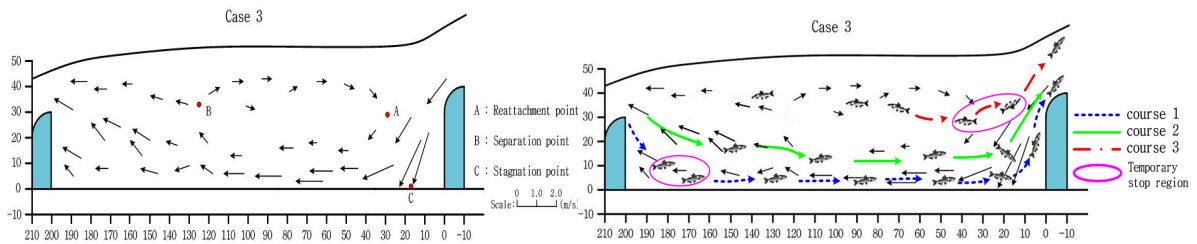


그림 4. 어도 내 흐름 상태(case 3) 및 어류의 거동 특성

실험 결과를 요약하면, 어류 이동에 효율적인 구조로는 아래 그림 5에서 보여 지듯이 case 3과 case 5이었다. 즉, 어도 경사는 1/20이고, 상하류 격벽 단차가 10cm 정도로서 그리 높지 않음으로써 순환류가 약하게 형성되는 흐름이 어류 이동에 효율적인 어도 구조로 결론지을 수 있다. 이 경우 어류는 대부분 경로 2인 흐름의 중층을 이동하여 상류 격벽까지 접근한 후 도약에 성공하고 있다. 그러나 case 8에서 보여지듯이 격벽 깊이가 깊어 순환류 영역이 pool 전체에 걸쳐 비교적 강하게 형성되는 경우 어류의 상류 이동은 제약을 받고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 흐름의 율류 속도에 따른 상류 격벽으로의 어류 소상 빈도를 나타내고 있다. 이 그림의 결과에 따르면 어류 이동에 효율적인 흐름의 속도는 1.0 ~ 1.5(m/s)임을 나타내고 있는데, 이는 기존 피라미의 선호유속(0.8m/s)보다 약간 높은 편으로서, 이는 어류의 상류이동을 위해서는 선호유속보다 약간 높은 유속을 형성시킴으로써 어류가 상류로 이동하려는 의욕을 가지게 하는 것이 중요함을 시사하고 있다.

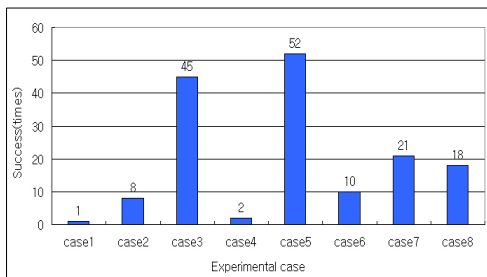


그림 5. 실험 case 별 소상 횟수

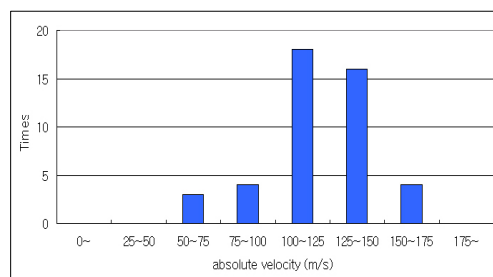


그림 6. 율류속도 별 어류 소상 빈도

상기 실험 결과를 바탕으로 어류(피라미)의 상류 이동에 적합한 계단식 어도는 경사가 1/20이고, 상하류 격벽 단차가 10cm 정도로서 순환류가 약하게 형성되며, 율류 흐름의 속도가 1.0 ~ 1.5(m/s)를 유지하는 형태라 할 수 있다.

본 과업에서 실시한 어류의 상류 이동 실험은 계단식 어도와 특정 어류인 피라미를 대상으로 실험하였으며, 따라서 보다 많은 어도 형태와 어류를 대상으로 실험하지 못했다는 점에서 한계성을 지닌다. 그러나 계단식 어도는 우리나라에 가장 많이 설치된 어도 형태이며, 피라미는 우리나라 하천에 비교적 많이 서식하는 어종이라는 점에서 실험의 의미를 찾을 수 있으며, 추후 여러 형태의 어도와 어류를 대상으로 광범위한 실험을 하는 것이 바람직하다.

4. 결 론

본 연구는 어류이동에 적합한 어도의 적정 형태를 결정하기 위해, 어도 수리실험을 통해 흐름에 따른 어류이동을 조사하였다. 물고기는 피라미를 준비하였으며, 어도 내부에 넣고 흐름을 형성시켜 어류의 거동을 비디오로 촬영하였다. 어도 격벽은 두께를 $t=0.1m$, 어도 폭은 $B=1.0m$, 격벽간 거리는 $L=1.0\sim 2.0m$, 격벽간 낙차는 $\Delta H=0.1m$ 로 하여 각 경우에 따른 실험을 실시하였다.

본 연구 결과, 어류 이동에 효율적인 흐름의 속도는 $1.0\sim 1.5(m/s)$ 임을 나타내었는데, 이는 기존 피라미의 선호유속($0.8m/s$)보다 높은 편으로서, 이는 어류의 상류이동을 위해서는 선호유속보다 약간 높은 유속을 형성시킴으로써 어류가 상류로 이동하려는 의욕을 가지게 하는 것이 중요함을 시사하였다. 상기 실험 결과를 바탕으로 어류(피라미)의 상류 이동에 적합한 계단식 어도는 경사가 $1/20$ 이고, 상하류 격벽 단차가 $10cm$ 정도로서 순환류가 약하게 형성되며, 율류 흐름의 속도가 $1.0\sim 1.5(m/s)$ 를 유지하는 형태임을 알 수 있었다.

본 과업에서 실시한 어류의 상류 이동 실험은 계단식 어도와 특정 어류인 피라미를 대상으로 실험하였으며, 따라서 보다 많은 어도 형태와 어류를 대상으로 실험하지 못했다는 점에서 한계성을 지닌다. 그러나 계단식 어도는 우리나라에 가장 많이 설치된 어도 형태이며, 피라미는 우리나라 하천에 비교적 많이 서식하는 어종이라는 점에서 실험의 의미를 찾을 수 있으며, 추후 여러 형태의 어도와 어류를 대상으로 광범위한 실험을 하는 것이 바람직하다.

감 사 의 글

본 연구는 건설핵심기술연구개발 사업인 '자연과 함께하는 하천복원기술(Ecoriver21)' 연구 용역 결과의 일부로서 본 연구를 지원해 주신 국토해양부에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2003). 보 및 낙차공 설계기술개발 연구보고서.
2. 김진홍(1994). “어도 격벽형상에 따른 수리특성 및 어족의 소상효과 분석”, 대한토목학회 학술 발표회논문집.
3. 한국수자원학회(2004). 어도설계 실무.
4. 한국수자원학회(2004). 하천설계기준.