

어도의 표준모형 개발

°박상덕*, 박기영**, 신문섭***

1. 서론

하천에서 횡단수공구조물을 건설할 경우 발생할 수 있는 하천생태환경 교란을 최소화하기 위하여 설치되는 어도는 하천의 수리·수문학적 특성과 생태학적 특성을 충분히 반영할 수 있어야 한다. 우리 나라 하천의 특성은 강수량의 하계집중도가 크기 때문에 발생하는 계절별 유량변화가 대단히 크고 하천연변에 발달된 농경지에 농업용수를 공급하기 위한 취수보가 많이 건설되어 있다. 이에 따라 전국에 200여개가 넘는 어도가 설치되어 있으나 기존에 설치된 대부분의 어도는 어류소상 기능이 취약한 것으로 드러났으며 어도의 설계과정도 이론적 배경이 취약한 상황에 놓여 있다.

어도의 기능이 취약한 원인은 구조적인 문제와 관리상의 문제로 대별할 수 있다. 구조적인 문제로서 가장 많은 것은 설계와 시공잘못이고 관리상의 문제는 어도특성에 대한 지식이 없거나 관리체계의 결함 등에 의한 것이 가장 많다. 이러한 문제의 저변에는 어도설계 단계에서 우리 나라 하천의 특성을 충분히 고려하지 못한데 원인이 있다.

따라서 본 연구에서는 우리 나라 하천의 수리·수문학적 특성과 생태학적 특성에 적합한 어도의 표준모형을 개발하고 그 기능을 분석하였다.

2. 표준형 어도 설정의 기본원칙

어도의 표준모형이란 어류이동에 효율적인 모형으로서 우리나라 하천의 특성을 충분히 반영하는 것으로 하였다. 어도설계에 반영되어야 할 우리 나라 하천의 특성은 수리·수문학적 측면과 어류생태학적 측면으로 구분할 수 있다. 수리·수문학적 특성은 하천 유량의 월별 및 계절별 변화가 대단히 크다는 점이다. 즉 회유성 어류가 어도를 이용하여야 할 시기에 있어서의 하천유량이 어도의 기능을 좌우하게되기 때문에 어도는 하천의 유황에 적절히 기능할 수 있는 구조이어야 한다. 회유성 어류가 소상하는 시기에 유량이 적은 경우가 많기 때문에 어도시설을 관리하는 수리권자가 어도에 대한 충분한 지식이 없으면 어도의 기능유지 보다도 보의 취수기능을 우선적으로 생각하여 어도의 기능이 저하되거나 상실되는 경우가 많다. 또한 어도의 설계에서 하천 유량변화를 충분히 고려하지 않으면 갈수시 어도기능이 유지될 수 없다.

우리 나라 하천의 생태학적 특성은 연어를 제외한 대부분의 회유성 어류가 소형어라는 점이다. 회유성 어류의 종류도 다양하며 회유성 어류가 아닌 정착성 어류라 하더라도 어도를 이용하는 경우가 있다.

* 강릉대학교 공과대학 토목공학과 부교수

** 강릉대학교 생명과학대학 해양생명공학부 교수

*** 군산대학교 공과대학 토목공학부 교수

이상과 같은 특성을 어도설계에 반영하기 위하여 다음과 같은 세 가지 사항을 표준어도 설정의 대 전제로 하였다.

1. 하천유량변화에 대한 적절성
2. 어도이용 최유성 어류의 다양성
3. 시공 및 유지관리의 용이성

하천의 특성과 더불어 어도의 설계에서 중요한 것은 시공 및 유지관리가 용이하여야 한다. 생태학적 특성을 잘 반영하는 어도라 하더라도 어도형상이나 재질이 경적측면에서 시공가능하고 홍수시 상류로부터 유입되는 유목이나 토사에 대하여 안전한 어도가 되어야 한다.

3. 표준형 어도설계

표준형 어도설계는 표준어도 설정의 기본원칙을 만족할 수 있도록 표 1과 같은 사항을 설계조건으로 하였다. 여기서 유영이동성이란 순항이나 돌진에 의하여 어류가 이동하는 것이고, 도약이동성은 도약을 선호하는 어류의 이동이며, 부착이동성은 수로의 바닥에 부착하여 느린 속도로 이동하는 이동특성이다.

표 1. 표준형 어도설계 기본조건

1. 어류이동에 필요한 최소 유수단면적 확보하여야 한다.
2. 다음과 같은 어류의 이동생태 특성을 만족하는 어도가 되도록 어도내의 유속, 유향, 낙하류, 표면류, 개구부, pool 등이 있어야 한다. ① 유영이동성 - 순항이동성, 돌진이동성 ② 도약이동성 ③ 부착이동성
3. 어도의 형태가 복잡하지 않고 가급적 단순하고 홍수시 유입된 토사가 어도 밖으로 배제되어야 한다.

부착이동성 어류나 계를 위해서는 개구부가 어도내에 존재하여야 하고, 도약이동성을 선호하는 어류를 위해서는 낙하류가 존재하여야 하며, 유영이동을 선호하는 어류를 위해서는 표면류가 어도내에 존재하여야 한다. 어도내 pool 은 어도가 긴 경우 소상 중에 있는 어류가 계속적인 소상을 위하여 휴식을 취할 수 있는 공간으로서 어도내에 확보되는 것이 좋다. 또한 개구부는 홍수시 어도로 유입된 토사가 어도내에 퇴적되지 않고 배제될 수 있는 기능을 한다. 어도의 형태가 복잡하면 시공중에 문제가 발생할 수 있고 구조적인 취약성이 내포될 수 있기 때문에 가급적이면 어도 형태가 단순하여야 한다.

이상과 같은 조건을 만족하는 표준형 어도를 그림 1과 같이 설계하였다. 그림 1에서도 알 수 있는 바와 같이 표준형 어도는 월류격벽에 의한 낙하류, slot에 의한 개구부 및 표면류, 비월류

격벽에 의하여 형성되는 pool을 갖추고 있으며 형상이 단순하다. 이러한 어도는 기존에 어도기능이 우수한 것으로 알려진 vertical slot식 어도에서 월류격벽을 추가 하므로써 낙하류가 어도내에 존재하도록 한 것이다. 어도의 유량이 적은 경우에는 slot으로만 흐름이 있어 vertical slot식 어도와 같은 기능을 하게 된다.

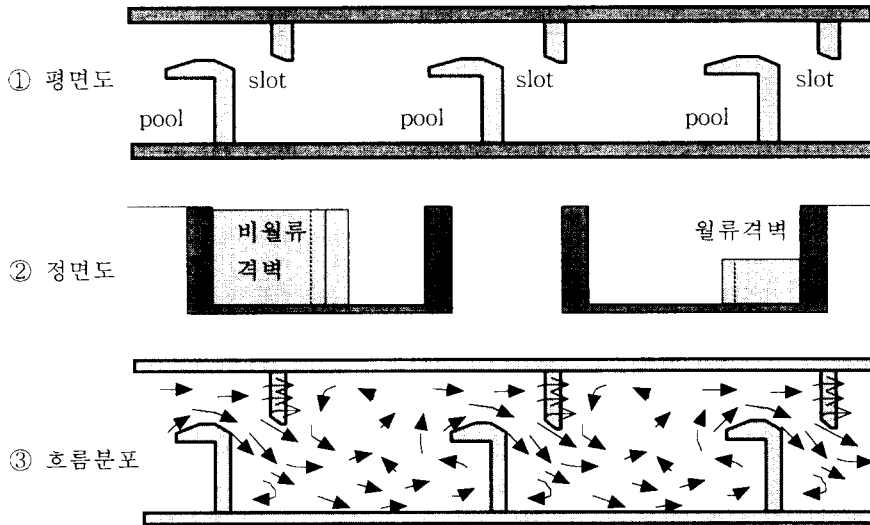


그림 1. 표준형 어도형상

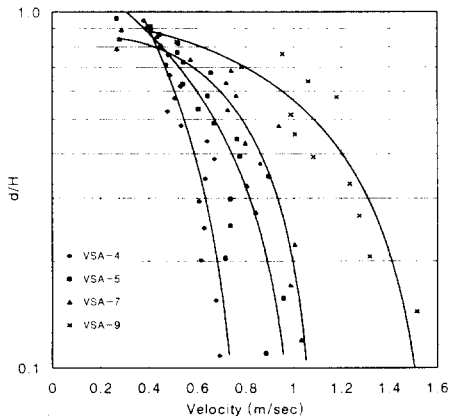
3. 표준형 어도의 수리특성

표준형 어도의 수리특성을 파악하기 위하여 수리모형실험을 실시하였다. 실험조건은 표 2와 같다. 이 실험에서는 어도내의 수심, 유속 및 유황을 조사하였으며, 그림 2와 3은 개구부에서의 유속분포를 나타내는 것이다. 여기서도 알 수 있는 바와 같이 표면류가 발생하는 개구부의 유속분포는 수면에서 수로바닥에 가까이 갈수록 빨라진다. 낙하류 하류부서 약한 순환류가 발생하고 pool에서는 흐름이 안정적이었다.

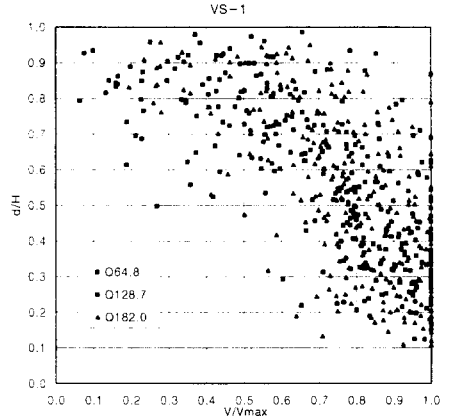
표 2. 표준형 어도 수리모형실험의 조건

월류격벽 (cm)		비월류격벽 길이 (cm)	slot 간격 (cm)	유량 (l/sec)	측정항목
길이	높이				
67~25	60, 30	67, 82	15~28	64.8	수위, 수심V, 유속V, 유황
				128.7	수위, 수심V, 유속V, 유황
				182.0	수위, 수심V, 유속V, 유속P, 유황

주) 수심V는 slot에서의 수심, 유속V는 slot에서의 유속, 유속P는 pool에서의 유속



a) T=15cm, Q=182.0 l/sec



b) 무차원 유속분포

그림 2. VS-1에서 수심에 따른 유속분포

3. 생태실험에 의한 표준형 어도의 소상기능

본 연구의 표준형 어도가 어류의 소상에 유효한 기능을 발휘할 것인지를 확인하기 위하여 어류생태실험을 실시하였다. 실험장치는 그림 3과 같이 제작되었으며, 표준형 어도와 기존에 어류의 소상기능이 우수한 것으로 알려진 그림 4와 같은 Ice Harbor식 어도를 이 실험장치에 설치하여 소상실험을 실시하였다. 하류부 pool에 100마리의 은어를 투입하고 일정시간 경과 한 후 실험장치 상류단 pool에 소상한 어류의 개체 수 및 개체 특성을 조사하고 이를 표준형 어도의 결과와 비교하였다.

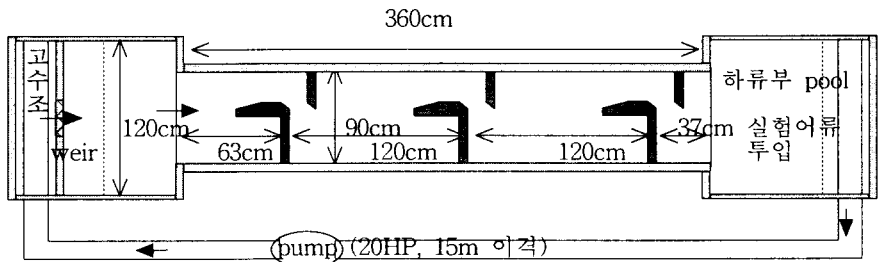


그림 3. 어류생태실험장치

실험장치는 노천에 설치하여 일광조건하에 실험이 이루어지도록 하였으며 실험 어류의 어도내 이동에 제약을 가급적 주지 않기 위하여 펌프는 실험장치로부터 약 15m정도 거리를 두었다. 어류의 개체특성 조사항목은 어류의 체중, 체장, 체고를 계측하였다. 실험장치는 수온을 일정하게 유지시키기 위해서 지하수를 일정량 공급 배수시켰으며 실험유량 조건은 고수조의 수위를 기준으로 120cm과 110cm를 사용하였다. 수위 120cm은 표준형 어도내의 월류부 격벽에서 월류가 발생하는 유량이고, 110cm는 격벽 틈새로만 물이 흐르도록 함으로써 표준어도내 어류 이동의 특성을 조사할 수 있도록 하였다. 주야간 어류 이동 특성과 실험시간에 따른 어류이동 특성을 조사하기 위

하여 주간의 오전 및 오후와 야간으로 구분하였으며 각각에 대한 실험시간은 3시간과 6시간으로 나누었다.

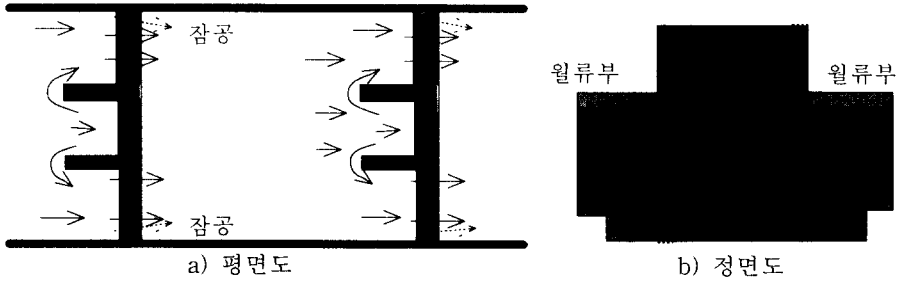
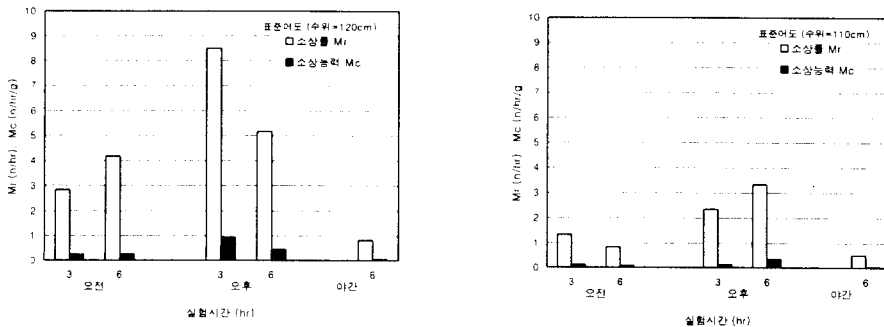


그림 4. Ice Harbor식 어도

그림 5와 6에서도 알 수 있는 바와 같이 본 연구의 표준형 어도는 기존에 우수한 것으로 알려져 있는 Ice Harbor식 어도보다 은어에 대하여 어류 소상기능이 우수한 것으로 나타났다. 이 어도를 이용하는 은어는 오전보다 오후에 활발한 소상을 하였고 야간보다는 주간에 활발한 소상 특성을 보여주고 있다. 본 연구의 표준어도는 유량이 작을 때 즉 월류 격벽에서 월류가 없을 때는 Vertical Slot식 어도와 같게 된다. 이 경우 어류 소상기능을 보면 수위가 110cm일 때 보다 120cm일 때가 훨씬 더 우수한 소상기능을 보이고 있다. 이는 어도내 흐름특성이 표면류만 존재하는 vertical slot식 어도보다 표면류와 낙하류가 공존하는 표준어도가 어류의 소상기능에 더 우수한 것으로 판단된다. 이러한 결과를 보이고 있는 것은 은어가 도약성이 강한 어류라는 특성을 지니고 있기 때문인 것으로 생각된다.

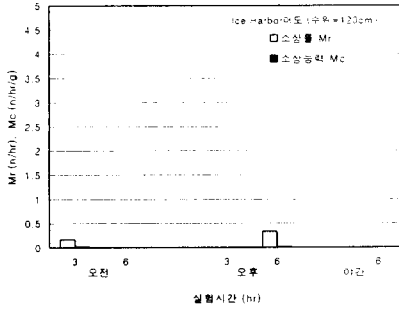
그림 6에서 알 수 있는 것처럼 Ice Harbor식 어도는 유량이 많은 120cm일 때보다 유량이 적은 110cm일 때 소상이 우수하게 나타났다. 이 때의 흐름특성을 보면 120cm일 때에는 월류가 발생하였고 110cm일 때에는 월류가 발생하지 않았으며 잠공으로 만 흐름이 있었다. 따라서 Ice Harbor식 어도에서 은어는 월류부로의 소상이 미약하였으며 유량이 많게 되면 잠공에서의 유속이 강해지기 때문에 유량이 작을 경우에 소상능력이 크게 나타났다. 그렇다하더라도 이는 본 연구에서 제시한 표준어도의 소상능력에 비하면 매우 작은 값을 보여주고 있는 것이다. 따라서 흐름특성으로 보아 본 연구에서 제시한 표준어도가 은어와 같은 소형어류의 소상에 우수한 기능을 하는 것으로 사료된다.



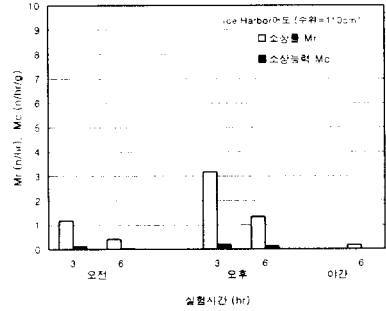
(a) 수위 = 120 cm

(b) 수위 110 cm

그림 5. 표준형 어도의 소상결과



(a) 수위 = 120 cm



(b) 수위 110 cm

그림 6. Ice Harbor식 어도의 소상결과

4. 결론

우리 나라 하천의 수리·수문학적인 특성과 어류의 생태학적 특성을 고려하여 하천 유량의 월별 및 계절별 변화에 대한 적합성, 어도를 이용하는 어류의 다양성, 시공 및 유지관리의 용이성이라는 측면에서 표준형 어도를 개발하였다. 은어를 대상으로 한 어류의 소상실험 결과에 따르면 기존에 우수한 것으로 알려진 vertical slot식 어도나 Ice Harbor식 어도보다 표준형 어도가 은어의 소상에 있어서 더 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 박상덕, "동해안 지역 어도시설 실태 및 기능", 동해안지역 회유성 어류를 위한 하천 생태환경 보전, 강릉대학교 동해안지역 연구소 심포지움 논문집, pp. 5-1~5-40, 1998. 4. 17.
2. 박상덕, 박기영, 백국기, 홍관의, 최유길, "표준어도에서 회유성 어류의 이동에 관한 연구", 한국어류학회 추계학술발표회 발표논문 요지록, 한국어류학회, 1998. 11.
3. Rajaratnam, N. and Katopodis C., "Hydraulics of Vertical Slot Fishways", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 10, pp.909~927, 1986.
4. 廣瀬利雄, 中村中六, 魚道の設計, 山海堂, 1994.
5. 中村俊六, 魚道のはなし-魚道設計のためのガイドライソ-, 山海堂, 1995.
6. 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六, 河川生態環境工學-河川生態と河川計劃-, 東京大學 出版會, 1993.