

어도설계에 대한 최근의 연구동향

- 일본 하천에 설치된 어도를 대상으로 -

김진홍*

1. 서론

본 연구에서는 수공구조물에 설치되는 어도에 대해서 기존의 계단식어도와 도벽식어도 대신 다양한 이동특성을 지닌 어종에 적합한 어도형상에 대해 언급하고자 한다. 이를 위해 우리와 가까운 일본 하천을 대상으로 하여 보, 두수공, 하구언, 댐 등 각 수공구조물에 설치되는 어도형태를 다룸으로써 각종 수공구조물 및 다양한 이동특성을 지닌 어종에 적합한 어도형태를 제시하는 것으로 하였다.

2. 보에 설치되는 최근의 어도 형태

높이 2m 이하의 보에 설치되는 어도로서 기존의 계단식어도를 개선한 pool 형태의 ice-harbour식 어도, vertical slot식 어도와 denil식 어도를 들 수 있다 (그림 1, 그림 2 및 그림 3 참조). 이들 어도는 어류의 휴식공간을 최대한 살리고 수심에 따라 변화되는 유속을 제공함으로써 유영력과 도약력이 다양한 여러 어종에 적합토록 되어있는 점이 특색이다. 일본에서는 이들 최신 어도가 히로시마를 흐르는 太田川 수계에 가장 많이 설치되어 있다. 현재 어도가 설치되어 있는 지점을 상류부터 나열하면 다음과 같다.

- ① 土居堰 : denil식 어도, vertical slot식 어도 (중앙설치)
- ② 堀下 頭水工 : ice-harbor식 어도 (우안설치)
- ③ 西調子 頭水工 : ice-harbor식 어도 (우안설치)
- ④ 木坂 頭水工 : ice-harbor식 어도 (좌안설치)
- ⑤ 附地堰提 : 우회수로 (우안설치)
- ⑥ 久日市堰提 : ice-harbor식 어도 (우안설치, 좌안계획)
- ⑦ 律伏 取水堰 : ice-harbor식 어도 (좌안계획)
denil식 어도 (중앙설치)
- ⑧ 高瀬堰 : 계단식(기복식)어도 (좌,우안 설치)
갑문식어도 (우안설치)

* : 광주대학교 공과대학 토목공학과 조교수

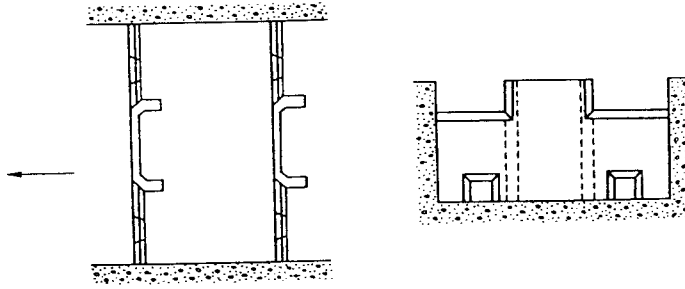
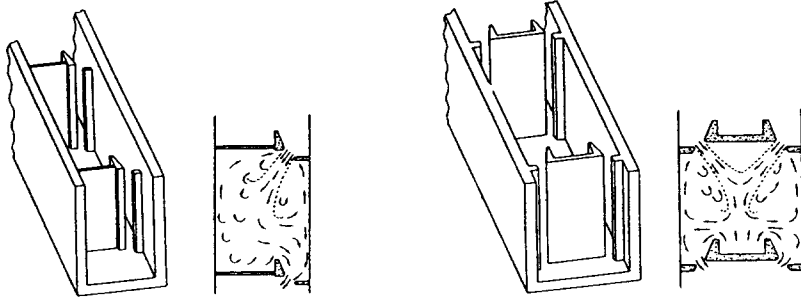


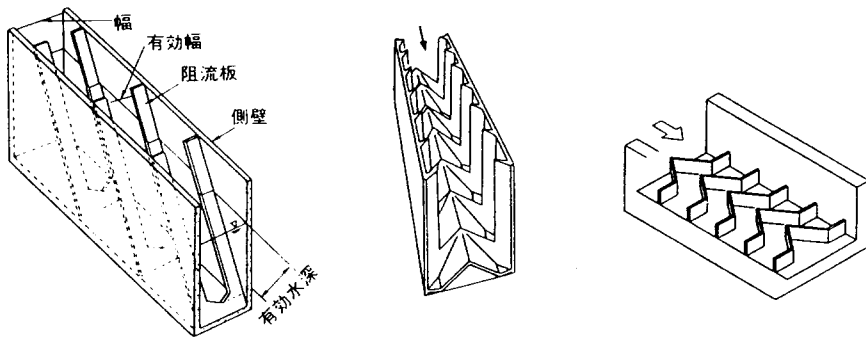
그림 1 ice-harbour식 어도



(a) single slot

(b) double slot

그림 2 vertical slot식 어도



(a) 표준형

(b) steep pass형

(c) Lannier식

그림 3 denil식 어도

이 외에도 현재 계획 중인 어도는 太田川 상류지점의 9군데에 이르고 있다.

상기 어도들은 높이가 2m 이상인 대형보에도 설치될 수 있다. 豊橋市를 흐르는 豊川 수계의 牛呂松原 頭水工은 높이가 3.3m로서(그림 4 참조) 어도가 설치되어 있는데 이들 어도의 제원은 다음과 같다.

좌안 : ice-harbour식 어도 (폭:2.0m, 연장:49.7m)

Larinier식 어도 (폭:2.0m, 연장:50.2m)

우안 : vertical slot식 어도 (폭:2.0m, 연장:82.5m)

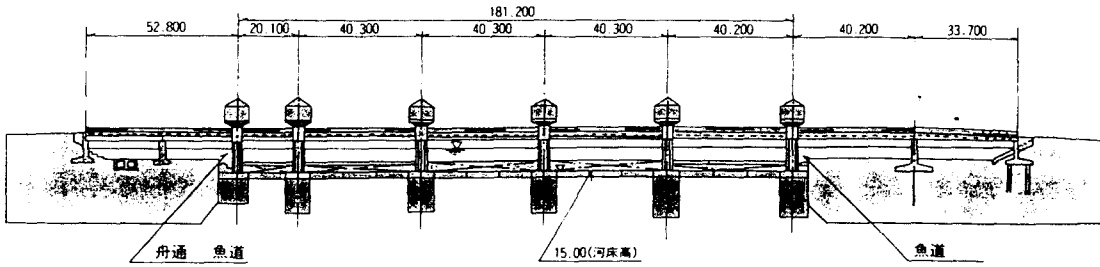


그림 4 牛呂松原 頭水工

한편 伊勢灣으로 흐르는 木曾川 하류에는 犬山 頭水工이 설치되어 있는데 이곳의 어도는 기존의 계단식어도를 개량한 형태로 되어 있다. 즉, 계단식어도에서 나타나는 횡파를 없애고 새들로부터 소상어류를 보호하기 위해 격벽에 대각선 방향으로 설치된 잠공과 notch를 같은 방향에 설치하고 앵글을 격벽 頂部에 설치하는 것으로 하였다. 이들 형태는 슬라이드 필름에 수록되어 있다.

3. 하구언에 설치된 최근의 어도형태

長良川 하구언은 최근에 설치된 수공구조물이다 (그림5 참조). 이곳은 완공된 지 2년이 경과되었으며 오랜 논쟁 끝에 완성된 구조물이라서 방문객의 발길이 지금도 계속되고 있다고 한다. 이곳에도 어도가 설치되어 있는데 다음과 같다.

좌안 : 유인수로를 갖춘 계단식어도(승강식)

감문식어도

우안 : 유인수로를 갖춘 계단식어도(승강식)

감문식어도

여울식어도

이들 어도의 특징을 언급하면, 계단식어도는 상류부 격벽 10개소가 승강식으로 되어 있어 수위변화에 대처할 수 있어 일정수심을 유지함으로써 어류 소상을 용이하게 할 수 있다. 또한 유인수로가 설치되어 있어 어류를 어도로 유인하고 있다. 특기할만한 사실은 (다른 곳의 어도에도 설치되어 있지만) 참깨 소상을 위해 계단식어도에 rope를 설치하고

있다는 점이다. 그리고 어도를 이동하는 어류를 조사하기 위해 어도관찰실을 설치하고 있다. 한편 우안에는 어류소상이 용이하도록 여울형태를 갖춘 여울식어도가 설치되어 있다. 바닥에 돌을 깔고 어도 가운데에는 어느정도 수심을 갖추어 그늘을 조성시켜 어류의 휴식을 도모하고 있다.

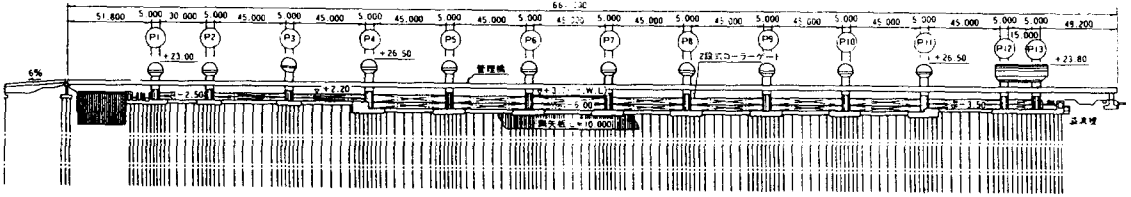


그림 5 長良川 하구언

4. 댐에 설치된 어도형태

댐에 설치된 어도로서 비교적 최근의 것은 木曾川 수계에 설치된 今渡 댐 어도와 吉野川 수계에 설치된 池田 댐 어도를 들 수 있다. 今渡 댐 어도는 關西電力에서 설치하여 관리하고 있는데 주요 내용은 다음과 같다 (그림6 참조).

좌안 : 다단계형 계단식어도 (개량형)

우안 : 잠공식어도 (상류부)

Denil식 어도 (하류부)

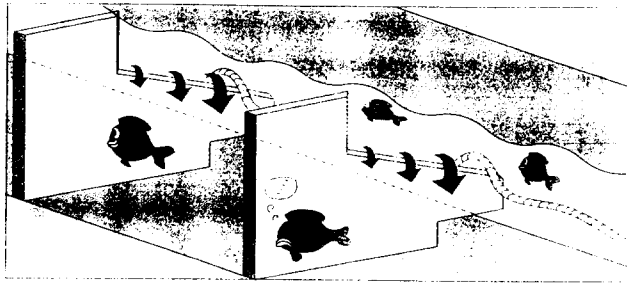
좌안에 설치된 계단식어도의 개선된 내용은 犬山 頭水工의 어도와 같다. 우안 어도의 경우 상류부는 경사가 1/15로서 잠공식어도로 되어 있고 하류부는 경사가 1/5로서 급경사인데 이 경우 표준형의 denil식 어도를 설치하여 유속을 줄이고 있다. 이들 어도 모두 참게 소상을 위해 rope를 설치하고 있다.

吉野川 수계에 설치된 池田 댐은 수자원개발공단이 설치, 관리하고 있는데 어도는 계단식어도에 기복식 격벽을 설치함으로써 수위변화에 대처할 수 있는 개선된 형태를 갖추고 있다. 이곳 어도는 주로 은어들이, 소상하고 있는데 새들에게 잡혀 먹히면서 어도를 이용하여 소상하는 모습을 찍은 video는 정말 인상적이었다.

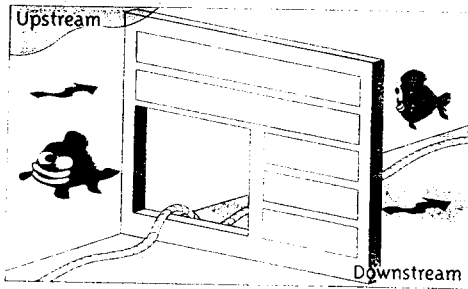
5. 어도의 적정 형태

어류는 산란, 성장을 위해 바다와 하천을 이동하는 회유성어류 외에도 수온과 유량의 변화에 대처하여 하천 상,하류를 오르내리는 국지회유성의 어류들이 있다. 따라서 이들 다양한 이동특성을 지닌 어류에 적합한 어도 형태를 고려하여야 한다.

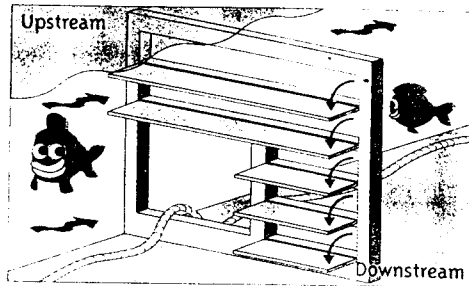
우리나라 하천에 설치된 기존의 계단식어도 및 도벽식어도는 비교적 유영력과 도약력



(a) 좌안에 설치된 계단식어도(개량형)

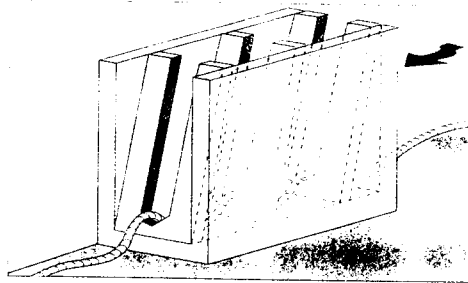


수위가 높을 때의 작동모습



수위가 낮을 때의 작동모습

① 상류부의 잠공식어도



② 하류부의 denil식 어도

(b) 우안에 설치된 어도

그림 6 今渡 댐 어도

이 강한 회유성어류인 은어, 연어 등을 대상으로 하였기 때문에 모든 어류들이 소상하는데에는 한계가 있다. 따라서 최근 선진국에서는 다양항 이동특성을 지닌 어류에 적합한 어도 형태로서 ice-harbour식 어도, vertical slot식 어도와 denil식 어도를 제시하고 있으며 일본 하천에서도 최근에 이들 어도들을 설치하고 있다. 이들 어도는 수심별로 변화된 유속분포를 나타내며, 격벽과 격벽 사이에 휴식공간이 제공되어 소상하다 지친 어류가 쉴 수 있도록 하고 있기 때문에 다양한 어류의 소상에 적합하다는 장점이 있다. 또한 이들 어도는 댐과 같은 높이가 큰 대형 수공구조물에도 설치가 가능하다. 즉, 어도를 zig-zag 형태로 다단계로 설치하되 어도 중간에 휴식터를 제공하면 충분히 소상이 가능하다고 알려져 있다. 특히 denil식 어도는 경사가 1/10 이상의 급경사에도 낮은 유속을 제공하기 때문에 높이가 큰 대형 수공구조물에 아주 적합하다.

따라서 ice-harbour식 어도, vertical slot식 어도 및 denil식 어도는 높이가 2m 이하의 보라든지, 높이가 10m 이상의 대형 보나 댐에도 설치가 가능하며 수심별로 변화된 유속을 나타내기 때문에 다양한 이동특성을 지닌 여러 어종에 적합하다는 점에서 적정 어도형태로 판단된다.

본 연구에서는 이들 어도에 대해 좀 더 자세한 수리특성을 분석함으로써 적정 어도형태를 규명하고자 한다.