

어도 흐름에 따른 어류유인 효과 검토

이홍식*, 김진홍**, 김철***, 최재완****

1. 머리말

본 연구에서는 어도를 통한 흐름에 따른 어류의 유인효과를 검토하여 어도설치 위치의 적정성을 분석하는데 있다. 아무리 어도가 어류이동에 효율적으로 잘 만들어졌다고 하더라도, 어류가 어도를 찾아 접근하지 못하면, 어도는 그 기능을 잃고 만다. 따라서 어도를 통한 흐름이 어류 유인을 결정하는 중요한 역할을 하며, 이를 위해 어도를 통한 흐름을 효율적으로 만들어주어야 한다. 어도를 통한 흐름을 효율적으로 하기 위해서는 어도의 위치가 중요한 변수가 된다. 따라서 본 연구에서는 어도의 위치에 따른 영향을 살펴보고 어류의 유인에 어떤 역할을 하는지 검토하며, 국내와 국외에 설치된 어도의 위치에 따른 영향과 어류 유인 효과를 분석하고 어도 설치 위치의 적정성을 판단하고자 한다.

2. 어도 위치에 따른 흐름 현상

어도 설치 위치는 어도 입구와 출구를 고려하여 결정된다. 어도 입구를 설치하는 가장 바람직한 장소는 소상하는 어류가 모여있는(集魚) 장소이다. 물론 어도 설치입구를 고려하지 않아도 될 경우는 보 전체를 통해 전면월류하는 경우와 어류의 소상기에 어도를 통한 흐름만 유지될 경우이다. 전자의 경우는 보 전체를 전면 어도화 한다는 측면에서 경제적으로 무리가 따른다. 따라서 후자의 경우가 바람직하다. 일반적으로 소상한 어류는 보 직하류부에서 다음과 같은 일반적인 행동을 한다(中村中六,1994).

- ① 유속이 너무 큰 흐름이 형성되면 어류는 유속이 비교적 약한 가장자리를 따라 이동한다.
- ② 유속분포가 일정하면서 그리 크지 않을 경우 어류는 그중 비교적 빠른 흐름을 따라 이동한다.
- ③ 흐름 주위가 복잡하고 난류가 형성되면 어류는 그중 비교적 직선 흐름을 향해 이동한다.
- ④ 비교적 강한 흐름 옆에 순환류가 형성되면 어류는 순환류의 정체영역에 머무른다.

그림 1은 상기 4가지 경우에 따른 어류의 집어 양상으로서 어도 입구 위치가 바람직하지 못한 경우를 나타내고 있다 (小山長雄, 1983). 그림 1(a)는 주흐름이 우안측에 있는 경우이며 상기 ②, ③의 결과 소상 어류는 좌안측 어도와는 반대편에 모여 있는 경우이다. (b)와 (c)는 보 자체 또는 보의 직하류부에서 발생하는 도수나 와류를 피해 상류로의 이동 결과 어도와는 동떨어진 위치에 모여 있는 경우이다. (d)는 좌안측의 순환류 영역에 소상어가 모여 있는 경우이며, (e)는 어도 입구를 찾지 못하고 보 직하류 지점에서 어류가 모여 있는 경우이다. (f)는 발전 방류의 강한 흐름 옆에 형성된 순환류 영역에서 소상어가 정체된 경우이다.

* 중앙대학교 토목공학과 교수, ** 중앙대학교 토목공학과 조교수

*** 호남대학교 토목공학과 부교수, **** 광주대학교 토목환경공학부 조교수

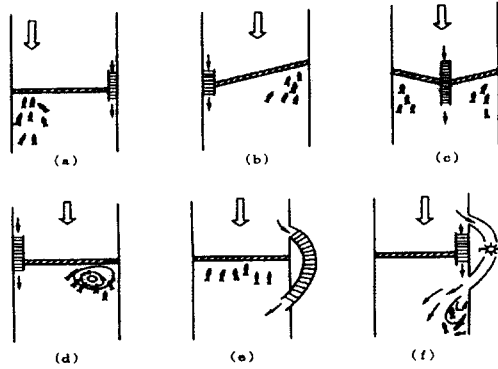


그림 1 어도 입구 위치가 바람직하지 못한 예 (小山長雄, 1983).

그림 2는 어도 입구 위치가 바람직한 경우이다 (小山長雄, 1983). 그림 2(a)의 경우 흐름이 좌우 어도를 통해 형성되므로 어류 이동에 효율적이다. (b)는 주흐름 위치에 어도가 설치되어 있다. (c)의 경우 어도는 중앙에 있지만, 하류 호상공의 중앙 지점이 낮게 설치되어 주흐름이 중앙부에 형성되어 있으며 더욱이 어도 입구가 보 하류쪽으로 크게 돌출되어 있지 않다. (d), (e), (f)는 보를 월류하는 흐름이 어도로 집중되므로 어류의 유인효과를 발생시켜 어류 이동을 효율적으로 하고 있다. 그러나 이 경우 흐름이 한쪽으로 집중되므로 홍수시 하상세굴이라든지, 토사나 이물질의 퇴적으로 어도 기능이 떨어질 우려가 있다. (g), (h), (i)는 복단면 하천에서 치수계획상 어도를 고수부지에 설치한 경우이다. 이 경우는 어도를 구부려서 어도 입구를 보 가까이 설치함으로써 보와 어도 사이의 간격을 줄여 정체영역을 줄이는 것이 바람직하다.

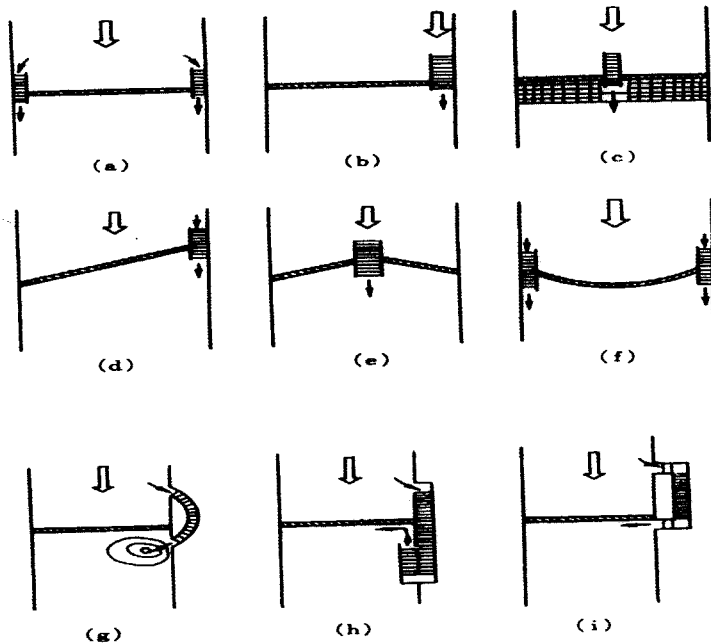


그림 2 어도 입구 위치가 바람직한 예 (小山長雄, 1983)

그림 2는 어도 입구가 바람직하게 설치되었다 하더라도, 어도가 설치된 후 흐름의 변화나 하상형태

가 바뀔으로써 어도의 장기적인 효과를 기대하기가 힘든 경우가 종종 발생된다. 따라서 어도 입구를 설치할 경우 어도 설치 후의 장기적인 흐름의 변화와 하상변동을 예측할 수 있어야 한다. 어도 위치 선정의 어려운 점은 이 때문이다.

한편 어도 출구 위치를 선정함에 있어 유의할 점은,

- ① 취수구로의 어류의 혼입에 관한 사항, 즉 취수구와 어도 출구와의 위치 관련성
- ② 어도 출구를 빠져 나온 어류가 재차 보 월류흐름에 편승하여 보를 월류 낙하하는 경우, 즉 보의 월류지점과 어도 출구와의 위치 관련성
- ③ 유송토사의 유입이나 퇴사에 의한 어도 폐색의 가능성
- ④ 유량조절장치나 어류 계측설비의 설치 위치와 어도 출구 위치와의 관련성 등이다.

어도 입구로서 좋은 장소를 선정하면 상기 ①의 문제가 발생하는 경우가 많다. 안정된 주흐름이 형성되는 어도 입구로서 좋은 조건은 동시에 취수구로서 좋은 조건이기 때문이다. 그러나 취수구에서 어느 정도 떨어진 거리에 어도를 설치하면 그리 큰 문제는 발생하지 않는다. 이는 취수구의 주변이 깊은 開口部이어서 취수구에서 약간 떨어진 곳은 흐름의 유속이 현저히 줄어들기 때문이다. 오히려 흐름의 유속이 비교적 큰 어도를 통해 소상한 어류가 갑자기 흐름의 유속이 없어지는 지점에 도착하면, 이동 방향 감각을 상실하는 경우가 있어 바람직하지 못한 측면도 있다. 따라서 취수구로의 혼입이 일어나지 않을만큼 어도를 취수구에서 약간 떨어지게 설치하면, 어도를 취수구에 설치하는 것이 오히려 바람직할 수 있다. 이같은 측면은 ③을 고려하면 분명히 알 수 있다. 즉, 취수구 부근에 어도를 설치하면 유송토사의 유입이나 퇴사가 일어나지 않기 때문이다. 실제로 ⑤때문에 제약을 받는 경우가 많다. 따라서 유량조절장치나 어류 계측설비는 원격조정이 가능하도록 설치되어야 한다.

3. 국내에 설치된 어도의 위치 검토

3.1 탐진강에 설치된 어도의 위치 검토

탐진강에는 은어의 소상을 위해 10곳의 보에 어도가 다수 설치되어 있다. 이들 어도들은 어도 출구의 바닥 높이가 보의 월류 높이와 같아, 평상시에는 어도로 물이 흐르지 않고 물이 보 전체를 월류할 때만 어도에도 물이 흐르므로 어류의 유인기능이 고려되고 있지 않다. 따라서 어도 출구의 바닥표고를 보의 월류표고보다 낮추게 하여 어류의 소상기에는 물이 어도로만 흐르게 함으로써 어도의 유인기능을 살려야 할 것이다. 또한 어도 측벽은 격벽보다 높아야 하나 측벽과 격벽의 높이가 같아 흐름이 도중에서 측벽을 월류하므로 어도 유인기능을 약하게 하고 있다. 따라서 측벽 높이를 격벽 높이보다 높게 하되 격벽 월류수심 이상으로 취함으로써 물이 어도의 측벽을 월류하지 않고 어도로만 흐르게 하여 유인기능을 강화시켜야 한다.

어도 위치는 어상보와 장산리보 및 박지리보를 제외하고는 주로 하천 중앙부에 설치되어 있다. 이는 하천 중앙부가 수심이 비교적 깊어 사람과 새가 접근하기 어려운 지점이기 때문이다. 그러나 어도 위치는 집어장소가 바람직하다. 석대보의 경우 취수구가 하천 우안에 있기 때문에 어도는 좌안에서 20m 떨어진 위치에 설치되어 있다. 그러나 집어 장소는 오히려 취수구 측의 보 하류지점에 있어 어류 소상을 극대화 할 수 없다. 따라서 어도는 하천 우안에 설치하되, 유황을 판단하여 어류 혼입을 일으키지 않을만큼 취수구로부터 약간 떨어진 지점이 바람직할 것이다. 장산리보의 어도는 축조된 지 오래되어 대체적으로 유지관리가 부실하다. 어도 끝단은 거의 파손되었고 측벽 및 바닥도 부분파손되어 어도 기능이 떨어지므로 보수대책이 요망된다.

탐진강 어도의 어도 위치 및 어류 유인기능을 요약하면 다음과 같다.

- ① 어도는 하천의 어류 집어장소를 판단하여 설치한다.

- ② 어도 유입부의 바다 표고를 보의 월류 표고보다 낮추도록 하여 어도로 물이 흐르도록 한다.
- ③ 어도 측벽은 격벽보다 높게 설치하여 흐름이 어도 중간에서 벗어나지 않도록 한다.
- ④ 어도에 유인수 방류대책이 마련되어야 한다.

3.2 탐진댐 어도의 위치 검토

탐진강 상류에는 고흥, 해남, 목포 등지의 용수해결을 위해 탐진댐이 계획되어 있다. 계획위치는 전남 장흥군 부산면 지천리로서 탐진강 본류와 제비천이 합류하는 바로 하류지점이다. 댐의 유역면적은 193.0km²로서 탐진강 전체유역의 38%에 해당된다. 탐진댐이 설치되면 흐름이 차단됨으로써 어류의 이동은 불가능하게 된다. 그러나 탐진강은 물이 맑아 은어, 뱀장어를 비롯한 회귀성어종과 국지회유성어종들의 이동이 활발한 편이다. 현지 조사된 바로는 탐진댐 바로 하류지점인 부산면 지천리의 심천마을에도 어도가 설치되어 있어 이곳까지 어류소상이 있었음을 알려주고 있다. 탐진 댐과 같은 높이 30m 이하의 중규모 댐에는 어도를 설치해도 어류소상이 충분히 가능하다.

탐진댐 어도 형태는 은어의 소상을 위한 다단계형 계단식어도와 장어의 소상을 위한 바닥에 돌을 채운 평면경사형 암거식 어도를 택하였다(김진홍, 1995). 어도 중간에는 소상하다 지친 어류의 휴식을 위하여 어도 방향이 바뀌는 지점에 휴식처를 설치하였다.

그림 3은 계획된 탐진댐 어도의 위치를 나타낸다. 어도의 위치는 댐 발전 방류수를 어도의 유인수로 이용하고, 유지관리가 용이하도록 하천의 좌안에 설정하였다. 하천의 우안은 여수로가 위치하고 있으며, 사람의 접근이 어려워 유지관리가 좌안보다 어렵기 때문이다. 어도 입구의 방향은 하천 흐름 방향에 일치시키지 않고 흐름 방향과 약 30°의 각도를 유지하여 어도를 통한 흐름이 하천 전단면에 걸쳐 형성되도록 함으로써, 하류에서 소상 중인 어류가 쉽게 어도를 찾을 수 있도록 하였다. 한편 장어 어도는 어도를 통한 흐름의 유속이 계단식 어도보다 작아야 하므로, 계단식 어도보다 하천 안쪽에 설치함으로써 발전 방류수로부터의 영향을 덜 받도록 하였다. 발전 방류수를 어류의 유인수로 이용하기 위해서는 방류유속을 충분히 줄이도록 해야 한다. 이는 발전 방류수의 흐름이 강할 경우 유속이 커져서 어류의 소상 자체가 불가능해질 수 있으며, 순환류가 생겨 어류 소상을 지체시킬 우려가 있기 때문이다. 따라서 방류수의 유속을 줄이기 위해 방류구에 정수지와 감세공을 설치하였다.

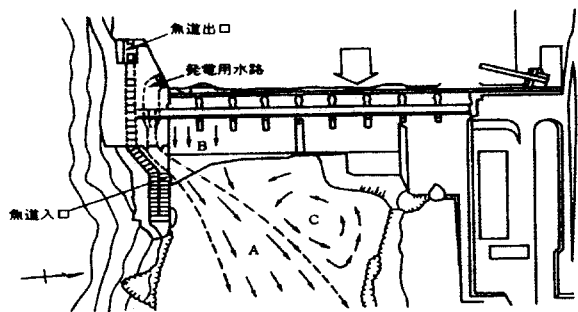


그림 3 탐진댐 어도의 위치 계획도

3.3 섬진강 수중보 어도의 설치 위치 검토

섬진강 수중보는 전남 구례군 마산면 광평리의 섬진강 본류에 위치하고 있다(김진홍, 1997). 섬진강 수중보는 총 연장이 376.5m이며 보의 높이는 1.3m이고 정폭은 2.1m이다. 수중보에는 총 8련의 배수문이 설치되어 있다. 배수문의 규격은 1.4m*0.8m로서, 홍수시 흐름은 보를 월류하고 일부는 배수문을

통해 흐르고 있으며 이때 배수문은 잠공(orifice) 역할을 하고 있다. 흐름의 유속은 배수문 입구에서는 대략 1.10m/s이나 배수문을 지나면서 유속은 약 3.34m/s로 증가되고 apron 끝단에서는 4.24m/s로 더욱 증가되면서 고속의 사류형태를 띄고 있다. 이같은 흐름에서는 어류이동이 불가능하며, 어류이동을 위해서는 수심을 갖추고 흐름의 유속을 줄일 필요가 있다. 어도는 웅벽 우안으로부터 약 128m, 138m, 148m 지점에 위치하고 있는 3련의 배수문에 설치하였다. 이들 3련의 배수문으로 부터의 흐름은 수심이 비교적 깊고 유량이 많아 주 흐름을 흐르고 있어 어류의 주요 이동경로가 되고 있기 때문이다. 어도 형식은 우안 128m의 배수문에는 vertical slot식 어도(B=2.0m)이고, 나머지 2련의 배수문에는 ice harbour 식 어도(B=1.5m)이다. 어도 입구는 수중보의 상류단과 호상공의 표고를 고려하여 상류단의 표고에 맞추고, 어도 출구는 기존 호상공의 표고에 맞추도록 하였다.

그림 4는 어도가 설치된 후 어도 주위의 흐름 상태를 나타내고 있다.



그림 4 어도가 설치된 후 어도 주위의 흐름 상태

그림 4를 보면, 어도 설치 후 주흐름은 어도 설치 지점에서부터 좌안 쪽의 배수문 지점으로 바뀌고 있다. 즉, 종전에는 어도 설치지점에 많은 유량이 흘러 주흐름의 형성 영역이었으나, 어도가 설치되면서 어도로 흐르는 유량이 적어짐으로써 상대적으로 많은 유량이 좌안 쪽의 배수문으로 유입되어 이 흐름이 배수문을 통과하면서 주흐름을 형성하고 있다. 주흐름은 좌안 쪽의 배수문을 통과하면서 시간이 지날수록 하상세굴을 일으켜 그 영역을 더욱 분명하게 할 것이다. 이 경우 주흐름은 어류의 유인효과를 그만큼 더 갖게 되고, 어류는 주흐름을 따라 이동하게 되며, 따라서 어류는 어도를 찾을 수 없게 되고 어도는 기능을 잃게 될 것이다.

어도의 기능을 회복하기 위해서는 주흐름은 어도를 통해서만 이루어져야 한다. 수중보의 지형 여건을 고려해 볼 때, 어도를 어느 한 쪽의 배수문에만 설치하면 주흐름은 반드시 다른 쪽의 배수문을 따라 형성될 수밖에 없으며, 이 경우 한 쪽에 설치된 어도는 어류의 유인기능을 잃게 된다. 따라서 어도의 기능회복을 위해서 수중보의 배수문에는 모두 어도를 설치하는 것이 바람직하다.

4. 국외에 설치된 어도의 위치 검토

그림 5는 일본 吉野川の 하구에서 약 80km 상류에 위치한 池田댐의 위치도이다(中村中六, 1994). 이 댐은 홍수조절, 용수취수 및 발전 목적을 위해 설치된 다목적댐으로서 어도는 발전방수로가 있는 우안측에 설치되어 있다. 어도의 형식은 계단식이고 폭 4.5m, 길이는 165m이며, 상류부에 유량조절장치(3련 기복식)이 있다. 어도의 유량은 약 0.64m³/s이고, 상하류의 수위차는 11.3m이며, 어도 구배는 1/12이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 어도의 입구는 발전용 방수구에 인접되어 있다. A는 발전방류량이며, 유량이 많을 경우 수문 개방에 따른 B 흐름이 형성되기도 한다. A흐름은 비교적 강한 흐름으로써 하천

좌안까지 유지되고 있다. 따라서 대부분의 어류는 어도 방향을 쉽게 찾을 수 있으며, 방수구 부근에서 강한 흐름을 피해 어도 입구로 유인될 것으로 판단된다. 한편 A흐름의 우안측에는 약한 순환류인 C흐름이 형성되어 어류의 지체를 가져올 우려도 있으므로 도류벽을 설치하는 것이 바람직하다.

그림 6은 木曾川수계 掘斐川の 중류에 위치한 높이 31.5m의 西平댐이다. 어도는 폭 2.5m, 길이 209 m, 구배 1/8~1/10의 계단식으로서 12련의 기복식 gate로 조절된 0.5m³/s의 유량이 흐르고 있다. 어도 입구는 발전 방류와 감세지를 활용할 수 있도록 하였다. 그림 6에서 알 수 있듯이 발전 방류수는 하류로 향하는 A₁흐름과 어도 흐름 B에 합쳐지는 A₂흐름으로 구분된다. 어도 흐름 B와 A₂흐름은 감세지에 유입되면서 유속이 줄어들어 어류의 이동에 적합한 흐름을 형성한다. 이 흐름은 A₂'흐름이 되어 副堰堤를 월류하여 하류로 향한다. 부언제에는 副魚道(계단식, 폭 2.5m, 구배 1/5)가 설치되어 있다. 따라서 소상 어류는 강한 A₁흐름을 피해 부언제의 직하류 지점에 모인 후 부어도를 통과하고, B와 A₂흐름에 유인되어 어도 입구를 찾을 것으로 판단된다. 방수언제나 부언제의 방향을 흐름 방향에 경사지게 설치함으로써 흐름이 하천 좌안까지 도달하도록 하여 어류가 쉽게 부어도를 찾을 수 있도록 한 점이 바람직한 것으로 판단된다. 그러나 이 댐은 순환류 C를 형성함으로써 어류의 지체를 일으킨 점과 부어도의 구배가 급해 어류의 소상에 지장을 줄 수 있다는 점에서 우려가 된다.

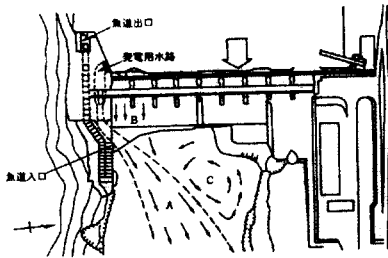


그림 5 池田댐 어도의 위치도

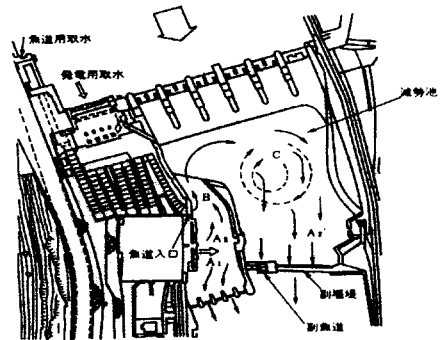


그림 6 西平댐 어도의 위치도

5 맺음말

어도를 통한 흐름이 어류 유인을 결정하는 중요한 역할을 하며, 이를 위해 어도의 위치를 잘 선정하여야 한다. 어도 입구는 집어 상황을 파악하여 주흐름이 형성되는 영역에 설치하고, 댐 어도의 경우 발전 방류수를 활용하는 것이 바람직하다. 또한 어도를 통과한 흐름이 하천 전단면에 걸쳐 형성되도록 어도 입구의 형상과 흐름의 강도를 잘 조절하여야 한다.

참고문헌

1. 김진홍 : “탐진댐 신규축조에 따른 어도 설치의 필요성”, 대한토목학회 학술발표회논문집, 1995.
2. 김진홍, 양승진 : “하천 보에서의 어도 설계법”, 대한토목학회 학술발표회논문집, 1997.
3. 中村中六 : 「魚道の設計」, 東京:財團法人 ダム水源池環境整備センター, 1994.
4. 中村俊六 : 「魚道のはなし」, 東京:財團法人 リバフフロント整備センター, 1995.
5. 小山長雄 : “魚道の診断と設計(4)” 「にほんのかわ」, 第27號, 1983.