

# 어도 형식과 어류의 이동 특성



**황길순 ▶▶▶**

한라건설 기술연구소 수석연구원  
gilsonh@halla.co.kr



**황종서 ▶▶▶**

하천생태복원연구소 소장  
hwangjs777@daum.net



**김동섭 ▶▶▶**

한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원  
Kimds@kwater.or.kr

장하고 살아가는 과정의 일부분이라고 할 수 있다. 따라서 이와같은 주기적인 이동특성을 보이는 생물에게는 이동로를 포함한 서식지가 영역으로 확보되어야 한다. 아직 정확하게 밝혀진 것은 아니지만 비슷한 종류라면 서식지 영역이 넓은 생물의 개체군 크기와 개체의 크기가 큰 것으로 알려져 있다. 물론 이동로를 서식지의 일부로 인정하지도 않고 서식지의 영역과 개체군의 관계에 대해서 의문을 제기하는 의견도 있다. 하지만 그렇다고 해서 회유하는 어류의 이동이 차단되는 것을 방치하는 것은 분명 생태적인 재앙이 될 것이다. 이동로가 생물이 살아가고 종족을 보전하는데 있어서 얼마나 중요한가를 다시 한번 생각해 볼 필요가 있다.

하천에 보와 같은 수리구조물이 설치되어 어류의 이동을 차단하는 경우 필요한 시설이 어도이다. 어도(魚道)는 하천을 가로막는 수리구조물에 의하여 이동이 차단 또는 억제된 어류를 포함한 동물의 소상을 목적으로 만들어진 수로 또는 장치(하천설계기준, 2009년)로 규정하고 있다. 최근 우리는 수생태복원에 대한 관심이 높아지면서 여러 하천에 수 많은 어도를 설치하고 있다. 하천은 자연의 관점에서 보면 여러 생물이 살아가는 서식지이고, 어도는 그 서식지를 연결하는 통로로써 서식지의 영역을 결정하는 중요한 요소이다. 단편화된 서식지는 자연성에 대한 논의 이전에 이미 건강성을 잃은 상태로 볼 수 있는 것처럼 하천에서의 생물이동에 대한 보장은 서식지의 영역과 직결되기 때문이다.

하천에 어도가 필요한 가장 많은 수리구조물은 '보'이다. 따라서 적절한 어도의 설치를 위해서는 해

## 1. 서론

하천에는 다양한 수리구조물이 설치되어 있고 그 종류도 댐이나 저수지에서부터 보나 낙차공까지 다양하다. 이렇게 하천을 횡단하여 물의 흐름을 차단하거나 낙차를 유발하는 시설물은 물을 거슬러 올라가는 어류의 이동에 큰 장애가 된다. 연어와 같은 회유어들은 하천에서 산란하고 성장하면서 바다로 나갔다가 다시 산란을 위해 하천을 찾는다. 뱀장어와 같은 어류는 하천에서 서식하다가 바다에서 산란하고, 치어는 하천으로 다시 돌아온다. 이처럼 하천을 태어난 고향으로 하거나 또는 샤프로 삼는 어류들에게 있어 이동은 성

당 수리구조물의 특성을 이해하여야 한다. 그러나 그 이전에 우리는 이러한 수리구조물의 현황을 제대로 알아야 한다. 하지만 농어촌공사에서 전국적인 보와 어도의 실태를 파악하기 전까지는 하천생태계에 어떤 일이 진행되고 있는지, 그 속에 처한 생물의 환경은 어떠한지를 우리는 알지 못하고 있었다.

이에 본 연구에서는 국내의 어도 현황에 대해 검토하고, 현재 하천설계기준(2009)에 제시되어 있는 어도(제29장)의 작성배경과 과정에 대하여 소개하고자 한다. 또한 이러한 어도기준 작성의 배경이 되었던 “하천에서 수산자원 보호를 위한 어도 표준설계·시공 등 표준모형개발 및 운영관리제도 연구(해양수산부, 2003)”의 결과를 소개하며 국내 어류의 이동특성과 어도의 형식에 대한 고찰을 하고자 한다.

## 2. 어도의 현황

그동안 하천에 설치된 수리구조물은 너무나 다양하고 설치 및 관리를 담당하는 기관이 서로 달라서 구체적인 현황도 파악되지 않고 있었다. 이 중에서 보는 그동안 전국적으로 약 18,000 여 개가 설치되어 있는 것으로 알려져 있었으나 2010년 전국의 국가하천과 지방하천에 설치된 보를 전수 조사하고 어도의 설치여부를 확인한 결과 보는 34,012개, 그중에서 어도는 14.9%가 설치된 것으로 나타났다(표 1). 이러한 조사 결과는 어도DB로 작성하여 국가어도정보시스템(NFIS, National Fishway Information System. <http://rawris.ekr.or.kr>)을 구축하고 관련 자료를 제

표 1. 전국의 보 및 어도 현황(김과 장, 2011)

권역	하천(개)	보(개)	어도(개)	어도설치율(%)
총 계	3,528	34,012	5,081	14.9
한강권역	877	6,995	1,302	18.6
금강권역	723	7,156	807	11.3
낙동강권역	1,170	12,350	1,605	13.0
영산강권역	337	2,459	492	20.0
섬진강권역	421	5,052	875	17.3

공하고 있다(농림수산식품부, 한국농어촌공사, 2010).

농림수산식품부와 한국농어촌공사(2010)의 국가하천과 지방하천에 대한 보와 어도의 전수조사는 그동안 추측만 해오던 보와 어도의 조성실태에 대하여 다각적인 측면의 정보를 제공하고 있다. 보는 급격하게 수량이 늘고 있으며, 어도는 상대적으로 여전히 조성미미한 실정이라는 것을 잘 보여주고 있으며, 지역적인 차이도 크다는 점을 보여준다(표 2). 이러한 지역적인 어도설치율의 차이는 회유어의 유무와 수산 및 관광자원화에 따른 경제적 이익을 감안한 결과로 보여진다. 또한 이 조사에서는 어도의 형식에 대하여 하천설계기준(국토해양부, 2005, 2009)에서 제시하고 있는 기준에 따라 어도의 형식을 구분하여 설치현황을 평가하고 있다. 어도형식의 분류 현황은 다음의 표 2와 같다.

표 2. 하천 권역별 어도형식 분류(%).(김과 장, 2011에서 변환)

권역	비준수	아이스하버식	도벽식	계단식	버티컬슬롯식
총 계	42	8	29	20	1
한강권역	57	10	20	13	0.002
금강권역	16	6	30	46	2
낙동강권역	49	2	36	12	1
영산강권역	23	17	30	28	2
섬진강권역	39	13	29	17	2

설치된 어도의 42%가 하천설계기준에서 제시하고 있는 표준형식을 따르지 않으며, 이러한 어도의 대부분이 최근 10~20년 사이에 신설되고 있다는 점도 간과해서는 안된다. 이것은 최근 하천에서의 생태복원을 표방한 사업이 활발하게 진행되며 하천정비나 재해복구사업 등에서도 보와 어도가 최우선으로 적용되기 때문이다. 이것은 어도가 반드시 필요해서 이기도 하지만 이러한 시설을 통하여 그만큼 예산이 확대되는 효과가 있기 때문으로 사료된다. 하지만 여전히 하천설계기준에 제시된 형식과 규격, 기준을 지키지 않고 있는 것은 어도를 설치하지 않는 것보다 못한 결과가 되고 있다. 이러한 현실은 하천의 수리특성과 그에따른 어류의 이동생태에 대한 연구의 필요성과 함께 국내 하천에 적합한 어도의 개발과 평가가 국가적인 차원에

서 요구된다는 점을 제시하고 있다.

### 3. 어류 이동의 평가와 어도 기준

2010년에 진행된 농림수산식품부와 농어촌공사의 어도현황에 대한 조사 이전에도 현재의 농림수산식품부의 전신인 해양수산부에서 내수면의 어족자원 관리의 일환으로 하천어도에 대한 표준어도 형식과 설치기준에 대한 연구(해양수산부, 2003)를 통하여 국내 어도의 현황을 조사하고 어도시설 설치 및 관리규정을 제정하였다(해양수산부, 2005). 당시에 제정된 어도 설치기준의 내용은 해양수산부에서 독자적으로 결정한 기준이 아니라 하천에 관한 상위법령인 하천법에서 지정한 하천설계기준과 환경부의 생태하천사업 지침에도 반영되어 대한민국에서 하천, 수면, 환경관리를 담당하는 각각의 부처가 기준을 공유하도록 하였다. 또한 농업용수리시설물인 보의 설치와 관리를 담당하고 있는 농림수산식품부(당시는 농림부)의 친환경적인 수리시설물기준에도 반영되어 농업용수 취수보에 어도를 설치하는 기준으로 사용하도록 하였다. 이처럼 여러 국가기관에서 공동으로 합의한 어도시설에 대한 표준모형과 그 설치기준은 하천관리의 가장 상위법에 해당하는 하천법의 하천설계기준을 통하여 제시되었다. 당시에 해양수산부의 연구결과로 제시된 표준형식의 어도는 4가지 모형으로 어류 이동특성과 국내 어도의 형식에 따른 이용효율을 바탕으로 제안하였다. 이 형식과 설치기준은 당시에 동시에 진행되던 농림수산식품부의 친환경수리시설물 설치기준에 반영되어 공동기준으로 채택되었으며, 환경부의 생태하천사업에도 어도설치의 지침으로 사용하도록 합의되었다. 이렇게 개발된 표준형식의 어도와 설치기준은 2005년도에 당시 보 편에 일부 조항으로 수록되어 있던 어도 부분을 독립 편성하여 제29장에 별도의 어도편으로 작성되었다. 이렇게 제시된 어도형식과 설치기준은 일부 제약에도 불구하고 보편적인 하천환경에 적합하도록 규정되어 있다. 물론 어도형

식의 선정기준 등에 대해서는 여전히 논의가 진행중으로 현재의 하천설계기준(2009)에서는 이러한 부분이 수정 수록되었다.

이와같이 국내의 하천에 설치하는 시설물이 그 치수 및 이수적인 측면, 수면과 시설관리, 생태적인 측면을 적절히 고려하여 행정적인 통합을 이루어 낸 사례는 많지 않다. 이러한 기준설정과 합의의 과정에서는 또한 수 많은 협의가 있었다. 이러한 사례를 통하여 향후 생태적인 고려가 필요한 시설과 환경에 대한 부처간의 합의 도출의 본보기가 되기를 바란다.

한편, 어도 설치에 대한 기준의 작성에는 어도에서의 어류이동 특성에 대한 분석 결과가 유용하게 이용되었다. 어도의 형식과 설치기준에 대해서는 하천설계기준(2009)을 참조하고, 여기에서는 해양수산부(2003)의 연구에서 도출된 어도에서의 어류의 이동특성을 중심으로 어도가 갖추어야 할 기능을 정리하도록 한다.

#### ① 국지이동의 중요성

어도를 이용하여 이동하는 어류에는 회유어 만 있는 것이 아니라 하천에서 서식하는 어류의 국지적인 이동도 관찰되었다. 또한 이러한 이동은 그동안 알려진 계절적이고 주기적인 이동경향과는 다른 결과를 보였다. 대체로 지금까지의 조사결과로는 하천에 서식하는 모든 어종이 물의 흐름에 반응하여 이동하는 경향을 보였다. 이동하는 어류는 대체로 해가 지기 시작하는 시점을 전후하여 많이 움직이며, 특히 포식성 어류들은 모두 밤에 이동하는 특성을 보였다.

관개농업이 발달하면서 농업용 취수보가 급격히 늘어나서 그 밀도가 하천길이 1 km의 구간에서 1개 이상 조성된 경우도 많은 현실을 감안하면 국지이동까지 제약은 하천어종의 개체수 감소와 개체의 크기에도 영향을 미쳐 전반적인 종다양성과 건강성에 악영향을 줄 것으로 보인다. 실제로 국내 하천의 어종은 산업화의 과정에서 수질오염이 급격하게 진행되던 70~80년대 보다도 그 서식범위와 밀도가 크게 줄고 있다. 이러한

현상은 수질과 밀접하게 관련되었던 도시지역보다는 농촌지역에서 더 많이 관찰되고 있으며, 하천정비에 의한 물리적 구조의 단순화와 함께 보에 의한 서식지 단편화의 영향을 의심하게 한다.

## ② 새보다 사람의 접근이 문제

자연적인 하천에서는 넓은 구간을 이동하면서 상대적으로 포식압이 낮지만 어도라는 특정 영역을 이동할 때는 상대적으로 새 등 외부의 포식자에게 잡힐 확률이 높아진다. 그래서 어떤 경우에는 어도가 오히려 어류의 서식과 이동을 가로막는다는 주장도 있었다. 하지만 대다수의 많은 종은 야간에 이동하며 포식자를 피하는 것으로 관찰되었다. 결국 하천어류의 일부를 포식하는 새로부터 어류를 보호하기 위한 어도의 부속 시설은 필요하지 않다는 것을 의미한다. 또한 새도 하천생태계를 구성하는 중요한 요소임을 감안하여 어도를 통한 하천 생태환경의 개선이 필요하다는 점을 보여준다. 결국 어도는 하천에 서식하는 수중 또는 수변 생물들에게 서식지의 영역을 확장하고 다양한 서식 기능을 제공하는 역할을 한다는 점에서 중요하다. 현재 수산업법에서는 어도를 포함하여 그 주변에서는 어로 작업을 하지 못하도록 규정하고 있다. 어류가 야간에 이동하면서 새는 피할 수 있지만 사람까지 회피하기는 어렵기 때문이다. 넓은 하천에서 어도로 집중된 어류의 이동으로 쉽게 포획하는 경우가 있기 때문에 동물보다 이러한 사람의 접근을 차단하는 것이 필요하다. 또한 어류는 어도를 통하여 이동하다 사람이 위에서 내려다 보면 하류로 도망치는 경향이 있으므로 특히 주간에는 어도로 접근 자체를 제한해야 한다. 물론 사람이 피하면 일부는 일정 시간 이후에 다시 이동을 시작하지만 사람의 접근이 가능한 곳에 있는 어도는 지속적인 간섭에 놓여 있는게 현실이다. 이것은 철새가 지면이나 수면에 앉아 있을 때 새를 자극하여 날게 하면 많은 에너지 소비로 철새의 이동에 치명적인 결과가 될 수도 있는 것과 같은 이치이다.

## ③ 치어의 이동

평생 일정 영역을 벗어나지 않고 정착생활을 하는 것으로 알려진 꺾지와 같은 테리토리(territory)를 갖는 어종도 이동하며, 특히 이소시기의 치어의 이동이 관찰되어 유영력이 떨어지는 작은 어류나 치어의 이동에 대한 관심이 필요함을 보여주고 있다.

어도에서의 유영력은 낙차에서 흐르는 물에 돌진할 때 필요한 추진력을 의미하며, 일반적인 유영상태와는 다르다. 지금까지는 체장의 10배까지의 유속에 저항하여 유영이 가능한 것으로 알려져 있었으나, 실제의 어도에서는 형상이나 구조에 따라 벽면부에서 매우 낮은 유속을 보이고 이런 부분을 통하여 치어나 작은 물고기가 이동하는 경우도 있다. 하지만 이것을 재현성 있게 현장에 시공하고 그런 상황을 연출하는 것은 쉽지 않다. 앞서 언급한 것처럼 하천의 수리적 상태의 미세변화는 다양한 상황에 따라 변동하기 때문이다. 이것을 인위적으로 구현하여 어도형식과 구조에 반영하는 것은 아직 기술적인 한계가 있으며, 일반적인 토목에서는 다루지 않는 부분이기도 하다. 향후에 미기상의 극한 변화와 같은 연구가 다양하게 실생활에 활용되듯이 미세수리 분야의 연구가 더 활발하게 진행되어 어류의 유인과 이동이 원활한 어도의 개발이 달성될 수 있을 것이다.

## ④ 수서곤충의 이동

어도를 통하여 어류 만이 아니라 다슬기나 잠자리 유충을 포함한 다양한 수생생물이 이동하는 결과를 보였다. 앞서 제시한 치어나 작은 물고기처럼 유영능력이 적은 이러한 수서곤충은 수리적인 고려뿐만 아니라 어도를 구성하는 재료와 구성에도 영향을 받는다. 어도에 부착조류가 발생하고 많은 수중생물이 서식하는 환경이 어도의 효율에도 긍정적인 결과를 보인다. 이것은 어도 내부에 먹이감이 풍부해지면서 어류와 기타 수서곤충, 양서류의 유인효과를 높일 수도 있을 것이라 판단된다. 따라서 표준형식의 어도이든 인공하도식

으로 인위적인 하천형태를 조성하여 어도로 이용하는 지 상관없이 어도의 내부는 다양한 수중생물의 서식이 가능한 재료와 구조를 갖출 필요가 있다. 물론 그렇다고 해서 표준형식의 어도구조에 제시하고 있는 규격을 벗어나는 것은 바람직하지 않다.

### ⑤ 하류로 이동하는 어류

하천설계기준(2009)에는 어도의 정의에서 소상하는 어류를 위한 시설로 규정하고 있다. 하지만 황어와 같은 어종의 경우에는 상류에서 하류로 이동하는 강하도 고려되어야 한다. 또한 황어와 같이 자발적인 이동도 있지만 물의 흐름에 밀려 보 하류로 내려가는 경우도 있는데 보의 구조에 따라 물받이나 하상보호공에 걸려 고립되어 죽거나 새의 먹이가 되는 경우도 있다. 최근에는 보 하단에 하상의 세굴을 방지하기 위해 다양한 블록을 사용하는 경향이 많은데 이런 경우 블록의 틈새에 끼어 폐사하기도 한다. 이러한 보조시설이나 구조물은 비단 하류로 이동하는 어류에게만 문제가 되는 것은 아니다. 소상하기 위해 이동하던 어류가 어도로 진입하기 위해 보로 접근할 때 수량이 많은 경우에는 이러한 시설을 통과하지만 수량이 줄어들게 되면

빠져 나오지 못해 역시 고립되어 먹이가 되거나 폐사한다. 이러한 현상은 최근 대형 보에서도 관찰된 사례가 있었으며, 동해안 하천의 황어가 산란 후 바다로 돌아가는 도중에 고립되는 사례도 있었다(그림 1).

### ⑥ 어도 관리

대부분의 시설과 같이 하천의 어도는 설치보다 관리가 중요하다. 인위적으로 조성한 대다수의 시설이 그렇듯이 조성 이후에 적절한 관리가 없다면 시설 자체가 스스로 사용 가능한 상태를 유지하는 것은 불가능하다. 하천은 많은 물리적 교란이 빈번하게 발생하는 공간이다. 자연적으로는 홍수로 인해 시설이 파손되거나 침식, 퇴적의 영향을 받기도 한다. 또한 인위적으로는 각종 하천공사가 진행되어 적절하게 설치된 어도도 수량과 물의 흐름의 변화로 재설치하거나 교정, 관리를 해야 하는 경우가 발생한다. 최근에도 하수관로나 상수관로는 부지매입이나 공사의 편의성 때문에 거의 모두 하천의 수변이나 하상을 따라서 매립하여 시공하고, 이외에도 하천정비나 생태하천 조성과 같은 공사도 빈번하게 진행된다. 토목공사외에도 용수의 이용을 위해 추가로 설치되는 보는 하천의 수량을 변화



그림 1. 보에서 하류로 이동하던 황어가 하상보호공에 고립되어 폐사하거나 물놀이 온 사람들에게 잡혀가는 모습. 양양남대천.

시키고 갈수기의 수위를 낮춘다. 이것은 기존에 조성한 어도에게는 치명적인 결과가 될 수 있으며, 이러한 상황이 반복, 누적되면 하천은 건천화가 진행될 수도 있다. 실제 하천에서 보가 일정 수준 이상으로 많아지면 용수 사용량에 의한 하천수 감소 외에도 보에 의한 토사 퇴적량 증가로 지하 침투수 및 증발량이 늘어나 건천화가 뚜렷하게 나타난다. 하천에서 이러한 물리적인 교란은 흐름을 변화시키고 유사량의 변동으로 생물의 서식환경 자체를 훼손하고 어도시설의 기능을 유지하기 어렵게 한다. 따라서 하천의 모든 어종이 어도를 이용하여 이동하기 위해서는 연중 물의 흐름이 유지되도록 관리되어야 한다. 특히 농업용수의 취수량 확보를 위하여 어도를 막거나 훼손하지 않도록 방지하고 처벌할 수 있는 규정을 수리시설물 관리법규에 포함하여야 한다.

### ⑦ 어도 형식과 국내어도의 우수성

일반인뿐만 아니라 일부에서는 어도를 제한적인 아

이디어만으로 설치하는 경우가 많다. 토목공학자는 수리적인 관점에서, 어류학자는 물고기의 생리생태적 측면에서 접근하고, 경제학자는 경제성 어종의 이동을 위한 어도의 형식을 제안하는 식이다. 그러나 이렇게 고안된 어도나 또는 기존 어도의 변형은 많은 경우에서 어류의 이동에 긍정적이지 않다.

그리고 이론적으로는 근사해 보이는 어도도 실제 하천에 설치하고 어류의 이동을 평가하게 되면 이동성 이전에 구조적인 안전성이나 토사나 유목에 대한 피해, 설치비용에 따른 한계 등의 문제가 발생한다. 최근에는 수리학자가 토사의 유동이 많은 국내 하천의 환경을 고려하여 토사에 의해 어도 내부가 퇴적되어 막히는 것을 방지하기 위해 어도 출구에 토사차단시설을 고안했지만 실제 하천이라면 출구부에 쌓인 토사로 어도기능이 마비되었을 것이다. 이처럼 단편적인 생각에 의한 고안은 이제 실증적인 어류 이동과 하천환경의 제약을 반영한 어도형식이 되도록 해야 한다. 그러기 위해서는 국가적인 기구로 어도위원회(가칭)를 설립하여 개발 평가하도록 하거나 국립생태원이나 환경과학



그림 2. 놀이터의 미끄럼틀과 사람이 다니는 계단처럼 생긴 어도. 아주 가끔 어도로 적당량 물이 흐르는 때가 있지만 알고 빨라 뱀장어 등을 제외하면 이동이 어려움. 탐진강.

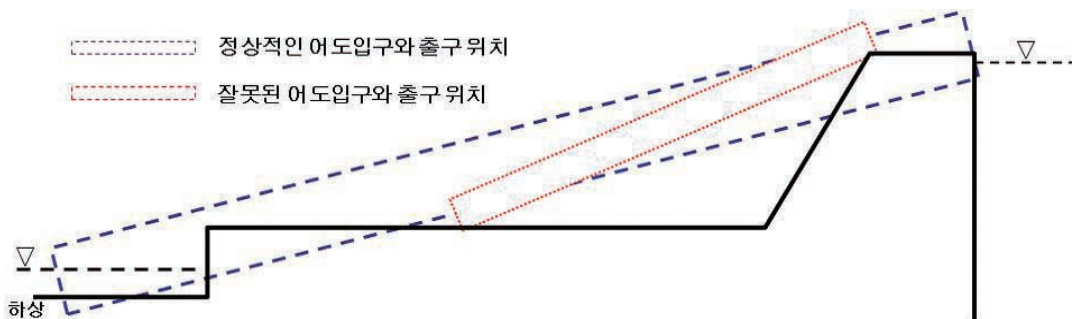


그림 3. 보 시설의 종단면과 어도의 배치. 어도입구와 출구의 위치에 주의해야 함.

원 등에 어도연구나 개발평가와 관련된 부서를 두어 검증하도록 하는 과정이 필요하다.

국내의 어도이용 어종은 국외의 어종에 비하여 체장이 작고 유영력도 떨어진다. 또한 과거에는 연어나 은어, 송어와 같은 경제성 어종을 위한 어도가 대부분이고 현재 미국과 일본 같은 나라에서 조성하는 어도도 이와 같다. 이러한 어종은 대체로 크기도 크고 유영능력이 뛰어나 어도의 규격에 제약이 많지 않다. 그리고 일정한 수준의 범위에서는 오히려 낙차와 흐름이 적은 것보다는 조금 있는 것이 이러한 어종을 어도로 유인하고 이동하게 하는 효과가 있다. 따라서 이러한 어종을 대상으로 제시된 국외의 어도보다는 국내의 소형어류나 치어가 이용 가능한 어도형식을 개발 보급하는 것이 필요하다. 그렇다고 기울기가 1/30 이하로 지나치게 완만한 어도나 수리적인 고려나 어류의 이동특성을 고려하지 않은 어도형식은 지양되어야 한다. 블럭 형태로 개발 판매되는 어도도 낙차가 크거나 너무 얇은 물흐름과 풀(pool), 낙하지점과 하단의 풀이 연결되지 않는 등의 문제점을 갖고 있다. 그리고 무엇보다 일반인들의 의식속에 돌과 같은 자연재료를 사용하면 좋은 어도라는 생각이 문제를 더욱 어렵게 하고 있다. 돌이 자연재료인 것은 분명하지만 돌의 특성상 흐름을 예측하기 어려워 어류의 이동을 위해 필요한 적절한 흐름을 구현하기가 어렵고, 사람에 따라 배치 기술에 대한 차이가 많다는 문제가 있다. 다시말해 어도 시설의 품질이 천차만별이 되어 안정적인 효율을 기대하기 어렵게 된다. 게다가 돌로 조성된 어도는 길이가 길어지면 휴식이 어렵고, 얇고 빠르게 흐르는 특성에 따라 어류가 유영이

아니라 도약을 해야하는 문제가 있다. 어류는 특수한 상황이 아니면 도약을 거의 하지 않는데 에너지 소모가 많기 때문이다. 그럼에도 뛰는 물고기를 보기 위해 도로 어도를 만드는 것은 바람직하지 않다.

### ㉔ 어도의 설치기준

어도의 형식도 중요하지만 설치기준의 제시가 필요하다. 하천과 수리구조물의 종류와 형식이 많이 다양해서 현장의 조건을 적절하게 고려해야 한다. 대체로 여류 수량에 따른 관점에서의 하천 규모와 수리구조물의 낙차가 어도형식을 결정하는데 가장 주요하게 작용한다. 보에 의한 상하류의 낙차가 0.5m 미만(세굴과 침식에 의해 연중 변동하므로 관찰이 필요)이고 어도의 길이를 10m 이내로 할 경우에는 보와 어도 일체형의 돌붙임어도 등을 적용 할 수도 있다. 그러나 낙차가 0.5m를 넘는 경우에는 표준형식을 준수하지 않은 변형 어도보다는 하천설계기준상의 4가지 표준어도를 적용하는 것이 현재로써는 가장 바람직하다. 4가지 형식의 표준어도 중에서는 버티컬슬롯식 어도가 가장 어도유량을 많이 필요로 하므로 이 점도 고려되어야 하며, 도벽식도 마찬가지이다. 또한 도벽식은 낙차가 큰 보에 설치하면 어도길이가 길어지면서 흐름이 가속되어 불리하다. 낙차가 커서 길이가 길어야 한다면 계단식이나 아이스하버식을 사용하는 것이 좋다. 기본적으로 어도의 운영과 관리 전반에 인위적인 조작이 필요한 조작형식의 어도는 추천하지 않는다. 최근 댐의 어도를 위하여 조작형식의 어도가 많이 추천되고 있지만



그림 4. 격벽 간격이 넓게 조성된 일본의 어도(좌)와 국내의 돌로 조성된 어도(중, 우). 어도 입구가 세굴되어 진입이 어렵고 내부에서는 도약을 해야 함.

국내 댐에 설치된 조작형식의 어도가 지속적으로 운영되지 않는다는 점을 보면 인위적인 운영관리가 얼마나 어려운지를 잘 말해주고 있다. 이것은 시설의 조작이 어려워서가 아니라 어도운영을 업무로 담당할 때의 중요성을 낮게 보기 때문이다. 따라서 어도에서 인위적인 관리는 시설이기 때문에 어쩔 수 없이 필요하지만 운영은 방치하고 물 흐름만으로 어류이동이 가능하도록 하는 것이 가장 현명하다.

### ㉑ 어도 상하류의 생태적 연속성

어도는 형식이나 관리 이전에 설치 과정에 대한 검토도 충실해야 한다. 특히 어도가 놓일 자리와 그 상하류의 생태적 연결성에 대한 검토와 복원은 필수적이다. 어도 시설의 형식에 대해서는 많은 고민을 하고 있지만 아직 우리나라를 포함하여 국외에서도 실제 어도까지 진입하고 다시 어도 상류로 이동하는 어류를 위한 수변과 하상의 자연성에 대한 고려는 그 대상에 포함하지 않고 있다. 그러나, 이러한 자연환경의 연속성이라는 조건이 결국 어류의 이동을 유인하는 실마리가 되고 이동이 완성된다는 점에서 무엇보다 우선하여 고려해야 할 점이다.

## 4. 맺음말

생물은 나서 죽을 때까지 다양한 형태의 서식지와 그 서식지를 연결하는 공간을 이동한다. 결국 인간을 포함하여 생물은 그들이 살아가는 동안 이동과 함께 성장한다. 이동을 멈추면 죽은 것이고 개체와 그 군집

의 성장도 기대할 수 없다. 이처럼 모든 생물에게 있어서의 이동은 생존 자체이다. 따라서 인간의 활동 영역 하에 있는 하천에서 생물의 다양성과 건강성을 지표하는 것은 어도의 효율이라고 볼 수 있다.

어도의 형식을 선정하고 하천환경에 적합하도록 설치하는 것은 쉬운 일이 아니다. 설계기준이 갖는 보편타당성이라는 한계를 벗어나 환경과 생물이 갖는 관계의 복잡성을 이해하는 것이 필요하다. 그런 의미에서 해양수산부에서 진행된 표준형식의 어도 구축과 관리 규정 작성을 위한 연구와 이러한 결과로 제시된 하천설계기준의 추진 배경을 살펴보았다. 여기에서 제시하였던 내용의 결론은 다음과 같다.

어도에서의 어류 이동에 관한 다양한 생리생태적 조사결과가 반영된 하천설계기준의 표준형식 이외의 어도형태를 시공하고자 할 때는 어류의 이동효과에 대한 실험평가 결과를 반영하도록 하여야 한다. 단편적인 이해에 의한 어도계획과 설치가 42%나 되는 표준형식 비준수라는 결과를 초래하고 이것이 국내 어도의 실효성을 낮추었다고 판단된다. 따라서 어도위원회와 같은 국가기관을 설립하여 어도의 선정과 유지관리, 평가와 개선을 위한 연구 등을 수행하도록 해야 할 것이다.

## 사사

본 연구는 환경부 Eco-STAR Project 수생태복원사업의 “수생태계 생물서식처 복원기술 개발(과제번호 : EW11-07-10)” 과제로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 🌊



## 참고문헌

1. 국토해양부(구 건설교통부). 하천설계기준·해설. 2009(2005).
2. 김재욱, 장규상. 전국의 어도실태 전수조사 및 국가어도정보시스템(NFIS) 구축. 물과 미래. Vol 44(7) 50~55. 2011.
3. 농림수산물부, 한국농어촌공사. 전국 어도실태 조사 및 DB구축 연구. 2010.
4. 환경부. 하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발 연구. 2001.
5. 황길순, 서식지 조성을 통한 수생태복원 기술. 한국수자원공사 K-Water techzine. 2010.
6. 해양수산부. 하천에서 수산자원 보호를 위한 어도 표준설계·시공 등 표준모형개발 및 운영관리제도 연구. 2003.