

수리해석을 통한 어도의 최적 위치 선정

Best Position of Fishway Based on Hydraulic Analysis



백 경 오 |
국립한경대학교 토목공학과 교수
pko@hknu.ac.kr

1. 서론

댐이나 취수보, 낙차공과 같은 하천 횡단 구조물로 인하여 하천에 서식하는 회유성 어류는 물론 수생 동물의 이동통로가 차단되어, 구조물 상류의 어류 개체수가 급격히 감소하거나 심한 경우 멸종하여 하천 생태계의 다양성 및 균형에 심각한 악영향을 초래하고 있다. 이러한 악영향을 최소화하기 위한 방편으로 어도(fishway)가 개발되었는데, 어도란 하천 횡단 수리구조물에 의하여 이동이 차단 또는 억제된 경우에 어류를 포함한 수생 동물의 소상을 목적으로 만들어진 수로 또는 장치를 총칭한다. 과거에는 어도 설치의 목적이 경제적인 종의 보호에 중점을 주었으나, 최근에는 전체적인 어류 및 수생 동물의 이동을 가능케 하여 생태계의 다양성 및 건전성을 도모하기 위한 목적으로 어도의 인식이 전환되고 있는 추세이다(한국환경정책평가연구원, 2004).

우리나라 중소규모 하천에 설치된 어도는 홍수시

활발한 유사이동으로 인해 어도 자체가 파손되거나, 어도의 입·출입구가 유사 퇴적으로 막히는 경우가 빈번히 발생한다. 또한 하상의 급격한 변화로 인한 최심선(thalweg)의 이동으로 갈수기 어도의 이용효율이 현저히 저하되는 경우도 다반사이다. 따라서 어도의 설계시 수리해석을 통해 하천횡단구조물의 좌·우 또는 중앙 지점 중 어떤 위치에 어도를 설치해야 하는가가 주로 고민되어야 한다. 그러나 지금까지의 연구는 주로 어류 생태 현황, 어도의 종류나 형식에 따른 이동 효율성 등에 초점이 맞추어져 있고 흐름해석을 통한 위치선정에 관한 연구는 상대적으로 많지 않았다.

본 연구에서는 기존 연구 및 현장조사를 바탕으로 중소규모 하천 내 취수보에 어도 설치를 계획할 경우 고려해야 할 4가지 기준을 먼저 제시하였다. 제시된 기준을 바탕으로 최적의 어도 위치를 찾아내기 위해서는 수리해석이 필요한데, 이를 위해 평면 2차원 흐름 및 하상변동 모형을 사용하였다. 대상하천으로는 어도가 기 설치된 가평천을 선정하여 어도 설치 위치의 타당성을 분석해 보았고, 어도 설치 전후의 어류상의 변화 양상을 검토해 보았다.

2. 어도 위치 선정의 기준

‘하천횡단구조물의 어느 위치에 어도를 설치할

것인가' 라는 문제는 어도 설계시 공학적 입장에서 가장 어려운 문제 중 하나이다. 어도 위치 선정의 문제에서 가장 자유로울 수 있는 최적의 방안은 하나의 횡단구조물에 어도를 2개 이상 설치하는 것이다. 여러 개의 어도가 시설되어 있다면 설령 한 두 개의 어도가 기능을 제대로 발휘하지 못하더라도 나머지 어도들을 통해 어류 소상이 가능하기 때문이다. 그러나 초기 투자비나 효율성 제고 등의 문제로 하나의 횡단구조물에 하나의 어도를 설치해야 한다면 다음의 4가지 기준을 고려해야 할 것이다.

① 상류와 가까운 곳

하천횡단구조물은 일반적으로 하천의 주흐름과 직각이 되게끔 설치하나, 사행하는 하천에서는 정확히 주흐름과 직각방향으로 설치되어 있지 않는 경우가 많다. 이 때 소상하려는 어류는 횡단구조물을 만나면 구조물을 따라 보다 상류방향으로 향하려는 움직임이 있는 바, 그림 1처럼 상류와 가까운 쪽으로 어류들이 모이게 된다(申村, 1991; Cowx and Welcomme, 1998). 따라서 상류와 가까운 하안쪽에 어도를 설치하는 것이 어류가 어도 입구를 찾기에 용이하다.

② 최심선(最深線) 인근

현장조사를 통해 밝혀진 바에 의하면(국토해양부, 2004; 경기개발연구원, 2008), 중소규모 취입

보에 시설된 어도의 가장 큰 문제 중 하나는 저·갈수기에 어도 내 물이 없어 기능을 전혀 하지 못하는 경우이다. 최심선은 하상의 가장 낮은 곳을 종(흐름) 방향을 따라 연결한 선이다. 갈수기에는 유량이 매우 작아지므로 물이 주로 최심선을 따라 흐르게 된다. 따라서 갈수기에 어도 내 유량을 확보하기 위해서는 최심선의 인근 위치에 어도를 설치해야 한다.

③ 유심선(流心線) 인근

유심선은 최대유속이 발생하는 지점을 종(흐름) 방향을 따라 연결한 선이다. 어류의 유영 특성은 주흐름의 최대유속 인근을 따라 소상한다고 알려진 바(申村, 1991; Clay, 1995), 소상효율을 높이기 위해서는 유심선과 가까운 곳에 어도를 설치해야 한다.

④ 세굴, 퇴적이 활발하지 않은 곳

중소규모 하천에 시설된 어도는 홍수에 의해 어도의 입·출입구가 퇴적되거나 세굴되어 그 기능을 발휘하지 못하는 사례가 많다(국토해양부, 2004; 경기개발연구원, 2008). 어도의 위치는 세굴이나 퇴적이 상대적으로 활발하지 않은 곳에 설치해야 한다. 특히 어도의 입구 주변이 세굴되면 구조물이 하천바닥과 분리되어 어류가 소상을 못하며, 어도 출구가 퇴적되면 어도 내로 물이 흘러들지 않아 어도의 기능을 상실하게 된다. 따라서 어도의 입구 부근은 세굴여부를, 어도의 출구부는 퇴적여부를 파

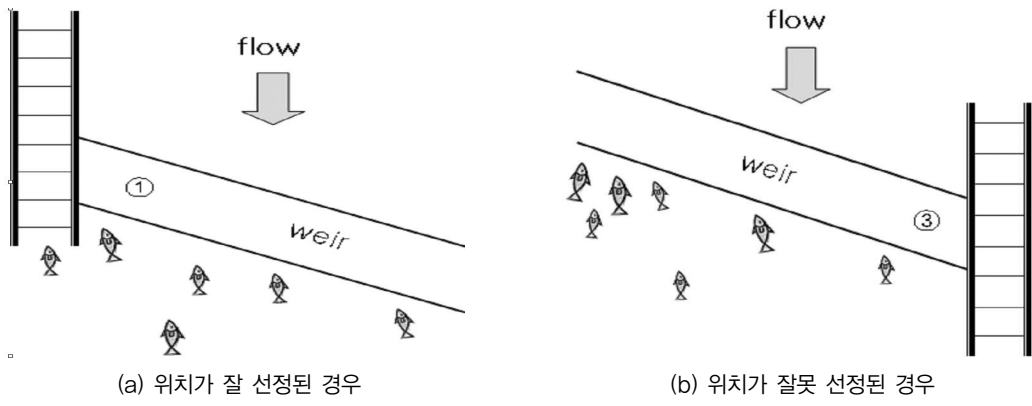


그림 1. 주흐름과 비스듬히 설치된 보에서의 어도 위치 선정 (Cowx and Welcomme, 1998)

악하는 것이 핵심이다.

이상의 어도 위치 선정 4가지 기준에서 ①과 ②는 하천지형자료 및 현장 조사를 통해 비교적 쉽게 알아 낼 수 있다. 하지만 ③과 ④는 지형자료만으로는 부족하고, 반드시 수리학적 계산을 통해 밝혀내야 한다. 특히 하천의 횡방향 위치를 알아내야 하므로 수리학적 계산 모형은 평면 2차원 모형을 사용해야 한다. 본 연구에서는 국내에서 널리 쓰이는 흐름 및 하상변동 2차원 모형인 RMA-2와 SED-2D를 이용하여 수리해석을 수행하였다.

3. 어도위치 적정성 평가

어도가 기 시설된 가평천을 대상하천으로 선정하여 어도가 적절한 위치에 설치되어 있는가를 앞서 제시한 어도 위치 선정의 기준과 수리해석을 바탕으로 평가해 보았다. 대상구간은 그림 2와 같이 가평천 하류지역 약 1.5 km 구간이다. 이 곳의 하상경사는 1/204로 다소 가파르고, 사행도는 1.08로 거의 직선구간이며, 구간내 마장천(No.45)의 유입이 있다. 대상구간 내 하천횡단구조물은 마장보와 당무개보가 있으며, 이들 모두 현재 보 좌우측에 각각 하나씩 아이스하버식 어도가 시설되어 있다(그림 3 참조).

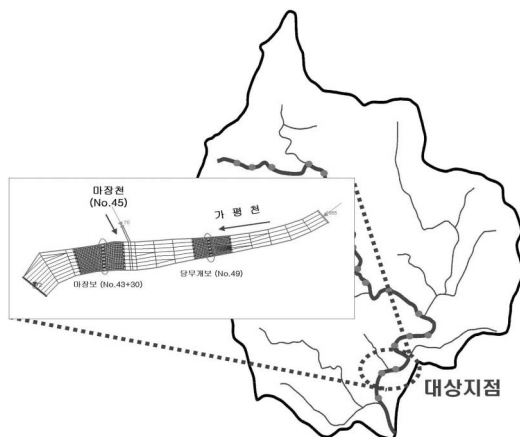


그림 2. 가평천 대상 영역 및 계산 격자

지형자료 및 수치모의 결과를 바탕으로 가평천에 기 설치된 어도 위치의 적정성을 평가해 보았다. 먼저 마장보와 당무개보 공히 주흐름과 직각으로 시설되어 있어 기준①은 고려할 필요가 없다. 두 번째로 기준②(최심선 인근)를 살펴보면 그림 4b)에서 보듯이 좌안쪽에 치우친 최심선이 당무개보를 전후로 중앙으로 이동했다가 마장보를 지나면서 다시 좌안쪽으로 생성되고 있다. 따라서 마장보의 경우 좌안쪽의 어도가 갈수기에도 기능을 유지할 것으로 사료된다. 당무개보의 경우 중앙부가 적정해 보이나, 보 전후로 수심의 횡방향 편차가 크지 않아 좌우안에 설치된 어도도 무방하리라 사료된다. 세 번째로 기준③(유심선 인근)을 따르면 마장보의 경우 그림 4a)에서 보듯이 우안쪽에 어도를 설치함이 타당하다. 그러나 기준④(세굴, 퇴적이 활발하지 않은 곳)가 지적하듯이 마장보 하류측은 세굴이 활발한 지역으로(그림 4c 참조) 어도 입구가 하상과 분리될 개연성이 높은 곳이므로 비록 유심선 인근일지라도 어도 설치를 피해야 할 것이다. 당무개보의 경우 보 양안측이 중앙부에 비해 세굴이 활발하지 않으므로 현재 양안에 설치된 어도가 잘 배치되었다고 평가할 수 있다. 결론적으로 마장보의 경우 좌측에 시설된 어도가 우측 것보다 더 많은 기능을 할 것으로 평가되며, 당무개보의 경우 좌우측에 설치된 어도 모두 기능을 잘 유지할 것으로 판단된다.



그림 3. 당무개보 좌우측에 각각 설치된 어도

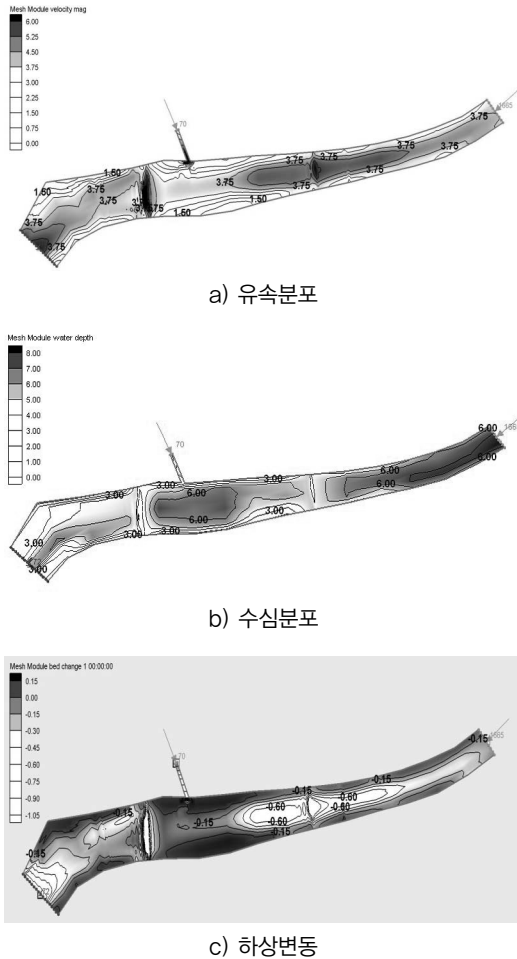


그림 4. 가평천의 유속, 수심 분포 및 하상변동

4. 어도 시설 전후의 어류상 변화

가평천 대상 구간에서 어도 설치 전후의 어류상의 변화를 살펴 보았다. 어류상 조사에서 조사횟수, 조사기간, 조사방법 등에 따라 채집된 어종 및 개체수가 매우 유동적일 수 있다. 따라서 어도 설치 전후의 어류상 조사를 단순히 개체수의 증가 유무로 판단하는 것은 무리가 따른다. 하지만 어도설치 이전에 관찰되지 않았던 종이 어도 설치 이후에 관찰되었거나, 우점종이 바뀌었다면 그 어종이 어도를 이용했을 가능성이 높으므로 어도가 유효했음을 나타내는 증거



그림 5. 트랩을 이용한 어도 내 어류 조사

자료가 될 수 있다.

본 연구에서는 먼저 어도를 이용하는 어종 및 개체수를 조사하기 위해 그림 5와 같이 어도 출구에 폭 1.0 m, 길이 1 m, 높이 0.6 m의 트랩을 설치하였다. 트랩은 어류 이동이 활발한 시간대인 14시 ~ 17시에 설치하였고, 어류의 움직임이 많아지는 4월 중순부터 조사를 시작하여 10월 중순까지 약 8회 실시하였다. 채집된 어류는 전장을 측정하고, 한국의 민물고기(김익수, 2002)를 참조하여 현장에서 분류하였다. 어류상 조사는 마장보에 설치된 어도에서 주로 수행되었다. 표 1에 어도를 이용하여 소상하는 어종 및 개체수를 정리하였다. 다음으로 어도가 설치되기 이전의 마장보 상류에서 어류상은 문헌을 통해 확인하였다. 가평군(2004)은 마장보에 어도가 설치되기 이전에 보 상류 어류상을 조사한 바가 있다. 그 결과를 비교, 도시하면 표 1과 같다.

앞서 언급했듯이 조사횟수, 조사기간, 조사방법 등에 따라 채집된 어종이나 개체수가 유동적이기 때문에 어도 설치 전·후의 어류상의 변화를 표 1에서의 비교만으로 결론낼 수 없다. 일례로 이 표에서 참중고기, 누치, 새코미꾸리 등은 어도 설치 후에만 관찰되는 어종이므로 어도가 기능을 발휘했다고 판단할 수 있다. 하지만 그 개체수가 너무 작기 때문에 어도 설치 이전에도 존재했으나 다만 채집이 되지 않았다는 결론도 내릴 수 있다. 표 1을 통해 확연히 알 수 있는 사실은 대상 구간 내 우점종이 바뀌었다는 것이다. 어도 설치 전에는 피라미였으나 어도설치 후의

학술/기술기사

표 1. 어도 설치 전후의 어류상 조사

Scientific name	Common name	어도 설치 후 (본 연구)		어도 설치 전 (가평군, 2004)	
		개체수	%	개체수	%
<i>Cypriniformes</i>	잉어목				
<i>Acheilognathinae</i>	납자루아과				
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	줄납자루	8	2.3	-	-
<i>Gobioninae</i>	모래무지아과				
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	145	41.8	17	10.2
<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>	가는데골고기	17	4.9	11	6.6
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	쉬리	11	3.2	8	4.8
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	참중고기	1	0.3	-	-
<i>Hemibarbus labeo</i>	누치	1	0.3	-	-
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자	3	0.9	3	1.8
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	4	1.2	3	1.8
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자	34	9.8	36	21.6
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	배가사리	8	2.3	8	4.8
<i>Danioninae</i>	피라미아과				
<i>Zacco temmincki</i>	갈겨니	35	10.1	7	4.2
<i>Zacco platypus</i>	피라미	73	21.0	68	40.7
<i>Cobitidae</i>	미꾸리과				
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	새코미꾸리	2	0.6	-	-
<i>Iksookimia koreensis</i>	참중개	4	1.2	5	3.0
<i>Perciformes</i>	농어목				
<i>Centropomidae</i>	꺀지과				
<i>Coreoperca herzi</i>	꺀지	1	0.3	1	0.6
Total		347	100.0	167	100.0

우점종은 돌고기였다. 결과적으로 마장보에 시설된 어도를 통해 어류의 이동이 효율적으로 이루어졌음을 현장조사를 통해 추정할 수 있었다.

5. 결론

하천횡단구조물의 어느 위치에 어도를 설치할 것인가 라는 문제는 어도 설계시 가장 어려운 문제 중 하나이다. 본 연구에서는 기존 연구 및 현장조사를

바탕으로 중소규모 하천횡단구조물에 어도 설치를 계획할 경우 고려해야 할 네 가지 기준을 제시하였다. 먼저 상류와 가까운 하안쪽에 어도를 설치하는 것이 어류가 어도 입구를 찾기에 용이하다. 두 번째로 갈수기에 어도 내 유량을 확보하기 위해서는 최심선의 인근 위치에 어도를 설치해야 한다. 세 번째로 소상효율을 높이기 위해서는 유심선과 가까운 곳에 어도를 설치해야 한다. 네 번째로 홍수에 의해 어도의 입·출입구가 퇴적되거나 세굴되어 그 기능을 발휘하지 못하는 사례가 많으므로 세굴이나 퇴적이 상대적으로 활발하지 않은 곳에 설치해야 한다.

제시된 네 가지 기준을 바탕으로 최적의 어도 위치를 찾아내기 위해서는 수리해석이 필요한데, 본 연구에서는 이를 위해 평면 2차원 흐름 및 하상변동 모형을 사용하였다. 대상하천으로는 어도가 기 설치된 가평천을 선정하여 어도 설치 위치의 타당성을 수리해석을 통해 분석해 보았다. 분석결과 가평천 내 마장보의 경우 좌측에 시설된 어도가 우측 것에 비해 어류 소상 효율이 높을 것으로 평가되었으며, 당무개보의 경우 좌우측에 설치된 어도 모두 기능을 잘 유지할 것으로 판단되었다. 가평천 대상구간 내 어류상을 분석해 보면 어도 설치 전에는 우점종이 피라미였으나 어도설치 후의 우점종은 돌고기이었다. 이를 통해 가평천 마장보에 시설된 어도가 어류 이동에 효율적임을 추정할 수 있었다.

어도 위치 선정의 문제에서 가장 자유로울 수 있는 최적의 방안은 하나의 횡단구조물에 어도를 2개 이상 설치하는 것이다. 여러 개의 어도가 시설되어 있다면 설령 한 두 개의 어도가 기능을 제대로 발휘하지 못하더라도 나머지 어도들을 통해 어류 소상이 가능하기 때문이다. 그러나 초기 투자비나 효율성 제고 등의 문제로 하나의 횡단구조물에 하나의 어도를 설치해야 한다면 본 연구의 결과가 좋은 참고자료가 될 수 있을 것이다. ☺

참고문헌

1. 가평군 (2004). 하천생태계(취입보내 어도시설 설치) 조사, 가평군.
2. 경기개발연구원 (2008). 경기도 하천의 어도설치 및 관리방안에 관한 연구, 경기도.
3. 국토해양부 (2004). 하천에서의 수산자원 보호를 위한 어도 시설 표준설계·시공 등 표준모형개발 및 운영·관리제도 연구, 국토해양부.
4. 김익수 (2002). 한국의 민물고기, 교학사.
5. 한국환경정책평가연구원 (2004). 하천댐의 어도현황과 향후 설치 및 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원.
6. 中村俊六 (1991). 魚道のはなし. 山海堂.
7. Clay, C.H. (1995). *Design of fishways and other fish facilities*, Lewis Publishers, Florida.
8. Cowx, I.G., and Welcomme, R.L. (1998). *Rehabilitation of rivers for fish*, Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO), Fishing News Books, Australia.