

농업 기반시설의 어도설치 현황과 개선방안

황 중 서 (농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원)

1. 서론

어도를 가장 먼저 시공한 것은 17세기 프랑스에서 일종의 평면식(平面式) 어도로 경사수로에 감세공(減勢工)으로 돌을 군데군데 박은 간단한 것이었다(中村, 1990). 그러나 본격적으로 어도를 설치하기 시작한 것은 19세기 후반에 유럽이나 북미에서 그들의 중요한 어업자원의 하나인 연어가 감소하면서 이를 보호할 목적으로 시공되고 연구되기 시작하였다. 그 결과 오늘과 같은 도벽식(導壁式)어도, 계단식(階段式) 어도가 개발되었으며, 1910년에는 벨기에의 데닐이 급경사에서도 유속을 줄일 수 있는 데닐(Denil)식 어도를 개발하고, 1920년대에는 갑문식과 엘리베이터(Elevator)식 어도가 개발되었다. 1949년 H.H.T Borland에 의해 높은 댐에 설치할 수 있는 Borland식 어도를 아일랜드의 Leixlip댐에 처음으로 설치하였다. 그후 아일랜드와 스코틀랜드를 중심으로 12개 이상의 같은 형식의 어도가 설치되었으며, 댐 높이 61m까지 어도를 설치하기에 이르렀다(Clay, 1995). 이 Borland식 어도는 1년에 8,000마리 이상의 연어가 이용하여 매우 성공적이었다.

일본에서는 1872년 十和田湖에서 유출하는 폭포에 처음으로 어도를 설치하였으며, 1884년 大日本水産會譜에 魚道란 말이 처음으로 사용되었다(中村, 1990). 1888년에는 隗怒川에 길이 55m의 魚梯를 시공하고 1912년에는 瀨田川에 뱀장어 전용 어도를 만들었으며, 1916년에는 長田에 의해 魚道叢說이 발간되었다. 1932년에는 댐 높이 79m의 小牧댐에 양

정 64m의 Elevator식 어도를 설치하고 그 효과를 조사하였는데 131일간 1,604회 가동하여 총 67,307개체의 어류가 소상하였고 그중 은어는 57,121개체가 조사되었다(Ishii, 1932). 일본인들은 그들이 즐겨 먹는 뱀장어와 은어, 송어를 위한 어도를 중심으로 연구사업을 실시하여 1990년 10월에는 岐埠縣에서 세계에서 처음으로 어도 심포지움이 열렸는데 여기서 발표한 논문만도 77건이었고, 1995년의 2회 국제 심포지움에서는 67건의 어도관련 논문이 발표되었다.

우리나라는 한일합방이후 일본인에 의해 댐이나 보(淤) 등의 용수원 개발이 많이 이루어져 남해안이나 동해안으로 유입하는 하천을 중심으로 은어나 뱀장어를 위한 어도가 있었을 것으로 추측되나 자료가 남아있는 것이 없고, 1938년 낙동강 하구 김해 녹산 배수갑문에 처음으로 어도를 설치(황, 1999b)하였으나 현재는 이용하지 않으며, 현재 남아 있는 것으로는 1990년 어도현황조사 결과 1966년 경에 시공된 강릉 사천천에 시공된 도벽식(導壁式)어도가 가장 오래된 것으로 보이며 1998년 조사에서도 그대로 있었는데 많이 파괴되어 재시공이 불가피한 상태였다(황, 1998b).

우리나라도 경제수준이 높아지고 지방의 특산어에 대한 보호의 필요성이 인식되면서 울진 왕피천 수산보 계단식(階段式)어도(1985), 금강하구둑 유인수로를 가진 계단식어도(1987), 낙동강하구연의 계단식어도(1987) 등이 설치되었다. 이때까지 국내에 어도에 관한 연구자료가 거의 없었기 때문에 우리나라에서 처음으로 시공한 대규모 어도인 금강하구둑 어

도는 일본의 Sanyoo용역단의 자문을 받아 설계하고, 낙동강 하구언의 어도는 네델란드의 NEDECO사의 설계로 시공하였다. 그러나 이들 외국 용역사들은 우리나라의 조석(潮汐), 하천유량, 어류생태 등을 잘 몰라 그들 나라의 어도를 우리나라에 시공하는데 그쳤으므로 시공 후에 많은 문제점이 제기되었다.

그후 하구둑에 설치된 계단식 어도는 내외수위의 변화에 적응하기 어려워 해남지구, 남포지구, 시화지구 방조제에만 설치하고 1990년대부터는 영암호, 금호호, 석문호, 우정호, 홍성호, 보령호, 새만금지구의 가력갑문과 신시갑문 등에 통선겸용갑문식어도를 설치하고 있다. 1998년에는 어도가 없는 영산호 통선문에 적은 비용으로 어도 기능을 추가하여 통선겸용갑문식어도로 활용하고 있다. 이 통선겸용 갑문식 어도는 본인이 고안하여 특허 42218호로 등록된 새로운 공법으로, 기능이 좋은 것이 인정되어 1995년에는 환경부가 제정한 제1회 환경기술상을 수상하였다. 그러나 하구둑 외에 댐에는 어도를 시공한 예가 없으며 다만 시공중인 것으로 양양 양수발전소 하부 댐에 Borland식 어도 1건 뿐이다.

2. 어도의 필요성

하구(河口)에 보(洑)나 하구언을 설치하면 바다와 하천을 왕래하며 서식하던 은어, 뱀장어, 참게 등의 회유성(回遊性)생물의 이동통로가 막히게 되어 하천에서는 이들이 멸종하게 된다. 하천에 댐을 막으면 이들 회유성 어류는 물론 피라미, 납자루 등 하천에서 봄철 수온이 올라가면서 수량이 늘면 상류로 올라가고 가을철 수온이 내려가고 수량이 줄면 월동을 위하여 하류로 내려오는 계절에 따라 국지회유(局地回

遊)하던 어류들의 이동통로가 막히어 댐 상류의 어류상이 매우 단순해지므로 이런 생태계의 영향을 최소화하기 위하여 어도를 설치해야 한다.

당초 수산자원보호령 12조 2항에 “하천의 전유폭(全流幅)을 차단하는 공작물을 설치하고자 하는 자는 해양수산부 장관과 협의하여 하천의 일부를 개방하거나 어도를 설치하여 소하(溯河)어류의 통로를 확보해야 한다. 다만 공작물이 댐인 경우에는 예외로 한다.”라고 되어있던 것이 1996년 12월 31자로 단서조항이 삭제되면서 댐에도 어도의 설치가 의무화되었고 동법 31조에는 12조를 위반한 자에게는 300만원 이하의 벌금에 처한다는 벌칙조항이 있으나 법이 홍보되지 않아 아직까지도 댐에는 어도를 시공하지 않고 있으며 심지어는 국가가 시공하는 보에도 어도를 설치하지 않고 있는 실정이다. 그러나 최근 감사원에서 어도설치를 감사하면서 댐의 어도를 본격적으로 검토하기에 이르렀다.

3. 어도가 필요한 생물

우리나라에는 외래어종인 유럽잉어, 파랑볼우럭 등을 포함하여 170여종의 담수어가 서식하는데 이들 중 은어나 뱀장어, 황어처럼 바다와 하천을 왕래하며 서식하는 회유성 생물과 피라미, 열목어 등 국지회유성 어류 및 배수갑문(排水閘門) 개방시 잘못 나간 붕어, 잉어, 강준치 등 담수생물의 원활한 이동을 위하여 어도가 필요한데 우리나라 하천에 분포하는 생물 중에서 어도가 필요한 대표적인 어종은 다음 표와 같다. 이들 어류 외에 참게, 징거미새우 등 갑각류도 바다와 하천을 회유하는 생물이어서 어도가 필요한 생물이다(황, 1998c).

표 1. 어도 이용 생물의 소하 습성

습성	어종	비고
섬어가 소상하여 산란한 후 치어가 바다로 나감.	붕어, 빙어, 황복, 황어, 연어, 송어, 칠성장어 등	
치어가 소상하여 성장한 후 산란을 위해 강하	은어, 뱀장어, 적정어, 꼭지구, 참게 등	뱀장어 외는 하구에서 산란
수시로 왕래	송어, 가송어, 농어, 전어, 줄공치, 가실망둑 등	
담수호에서 배수갑문을 열 때 잘못 나간 담수어	붕어, 잉어, 강준치, 가시납지리 등	
국지회유	어종피라미, 쉬리, 열목어, 납자루 등	

4. 어도의 종류

Nakamura(中村俊六, 1995)는 어도를 풀(pool) 타입, 수로식(水路式), 조각형어도로 분류하였는데 이들의 특성을 간략히 기술하면 다음과 같다.

4.1 풀타입 어도

풀이 계단식으로 연결된 형태의 어도로서 물고기가

- 주로 격벽(隔壁)을 월류하는 흐름을 뛰어넘어 올라가는 형식을 계단식이라 하고 격벽 전체로 물이 넘는 것을 전면월류형(그림 1.상좌), 노치가 양측에 있는 것을 Iceharbor식(그림 1.상우)이라 하고

- 격벽에 설치된 수직의 틈새(vertical slot)를 통하여 이동하는 형식을 버티칼슬롯식(그림 1.하좌)이라 하며

- 격벽에 뚫어놓은 잠공을 통하여 이동하는 형식을 잠공식(그림 1.하우)이라고 한다.

풀타입 어도는 설치가 비교적 쉽고 공사비도 적게 들지만 유속이 빠르고, 낙차가 있으므로 유영력(遊泳力), 도약력(跳躍力)이 좋은 일부 어종만이 이용할 수 있는 단점이 있다. 풀타입 어도는 격벽 부분에서 유속이 크고 수심이 최소이기 때문에 이 부분이 소상(遡上)하기 가장 어려운 곳이므로 이 부분의 설계가 중요하다. 풀타입 어도는 풀이 있어 소상중인 어류가 수시로 쉴 수 있고, 어도로 보낼 물이 적을 때도 운영이 가능하며, 댐의 높이가 높고 경사가 급한 곳에서도 설치할 수 있는 장점이 있다.

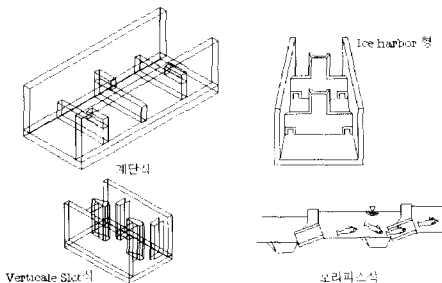


그림 1. 풀타입 어도(after Nakamura 1995)

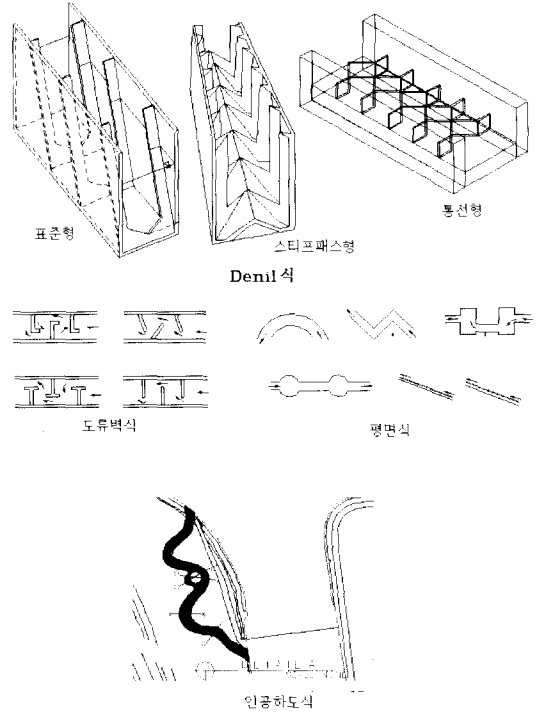


그림 2. 수로식 어도 (after Nakamura 1995, 황, 1997b)

4.2 수로식 어도

어도 수로내의 유속을 줄여 물고기를 소상(遡上)하도록 하는 방법으로 유속을 줄이는 방법에 따라

- 수로에 적당한 조류판(阻流板)을 만들어 유속을 줄이는 것을 데닐식이라 하고 조류판의 형태나 배치에 따라 표준데닐식, 급경사(Steep pass)형, 통선(通船)형이 있는데 우리나라에 설치한 예는 없다.

- 좁은 공간에서 경사를 완만하게 하기위하여 도류벽(導流壁)을 설치한 것을 도벽식이라 하고 삼척오십천에서는 가장 많이 설치된 형식이다.

- 인공적으로 1/100정도의 흐름이 완만한 하도(河道)를 만들어 어도로 활용하는 것을 인공하도식(그림 2.하)이라 하며 우리나라에는 설치한 예가 없다.

- 평면의 경사가 급한 인공수로를 만들어 물을 흘러보내는 아주 원시적인 방법을 평면식이라 하며 동해안으로 유입하는 영덕오십천에 남아있다.

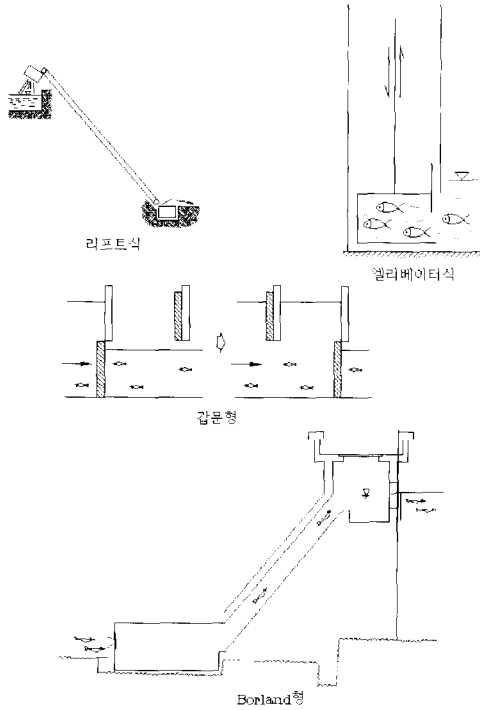


그림 3. 조작형 어도(after Nakamura, 1995)

4.3 조작형 어도

물고기가 소상하려면 항상 인위적인 조작을 해야만 되는 것을 조작형 어도라 하며, 이 형식은 댐의 높이가 높아 수로식으로 충분한 소상효과를 낼 수 없을 때 사용하는 방법이다. 물고기가 든 용기를 제방 사면을 따라 설치한 궤도로 끌어 올려 저수지에 붓는 형식을 리프트(Lift) 식(그림 3.상좌), 수직으로 설치한 엘리베이터로 물고기를 끌어올리는 것을 엘리베이터(Elevator) 식(그림 3.상우)이라 한다. 통선문(通船門)에 배가 드나드는 것과 마찬가지로 원리로 어도 갑실(閘室)을 만들고 내외측 갑문을 만들어 갑문조작으로 물고기가 올라갈 수 있는 어도를 갑문식(그림 3.중)이라 하고, 낙차가 큰 댐에서는 갑문의 높이를 무한정 키울 수 없으므로 댐의 진수지 부근에 하부풀을 만들고 댐위에 상부풀을 만들어 각 풀을 샤프트(Shaft)로 연결하고 갑문을 만들어 갑문식과 마찬가지로 원리로 물고기를 올라가게 하는 방법을

Borland (그림 3.하)식이라 한다.

조작형 어도는 이용할 어종의 유영력(遊泳力), 도약력(跳躍力)에 상관 없이 다양한 어종이 이용 가능하고, 댐에서 방류할 물이 적을 때도 적용 가능하며, 하구(河口)에서는 조차(潮差)에 상관 없이 적용이 가능하다. 댐의 높이가 높고, 저수지의 수위변동이 클 때도 편리하게 적용할 수 있다. 그러나 인위적으로 조작을 해야 물고기가 올라갈 수 있고, 운영비가 많이 드는 단점이 있다.

영국에서는 높이 20m내외의 댐에 볼랜드타입의 갑문식 어도와 계단식 어도를 많이 채택했으며, 프랑스에서는 계단식 어도를 많이 설치하고 있으나 특히 계단식 어도로 물고기가 잘 올라오지 않을 때 대안으로 엘리베이터식 어도를 설치한 예가 있다. 미국의 태평양측에서는 20~30m의 높은 댐에도 대체로 계단식 어도를 설치하고 있으나 이는 대상 어종이 유영력이 좋은 Chinook salmon이나 Steel head이기 때문에 가능하며 대서양측에서는 엘리베이터식 어도도 많이 채택하고 있다.

5. 어도 현황

그림 4.에서 보는 바와 같이 하구에서 첫번째 수원공에 어도가 있는 42개 하천을 조사한 결과 표 2.에서 보는 바와 같이 121개 수원공에 총 193개소의 어도가 설치되었다. 이를 도별로 보면 강원도에 20개 하천 81개 수원공에 122개의 어도가 있어 대부분의 하천에 어도가 설치되었다. 다음은 전남으로 5개 하천에 11수원공에 31개소의 어도가 설치되어 1개의 수원공당 평균 3개소의 어도가 설치되어 전국에서 가장 많았다(황, 1998b). 어도 현황조사는 하구에서 첫 번째 수원공에 어도가 있는 하천을 대상으로 하였기 때문에 소규모의 어도가 많이 시공된 한강의 경안천, 소양강, 만경강의 전주천 등은 조사되지 않아 전국에는 이보다 훨씬 많은 어도가 있을 것으로 판단된다.

1개소의 수원공에 가장 많은 어도를 시공한 것은 탐진강 하류에서 2 번째 보(湫)로 1개의 보에 9개의

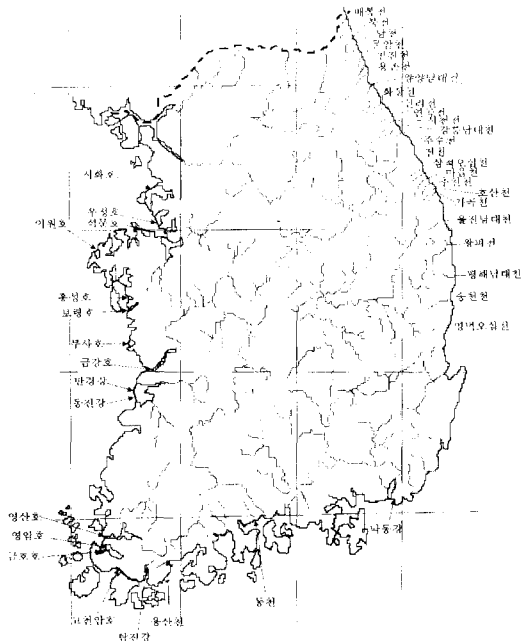


그림 4. 첫 번째 수원공에 어도가 있는 하천(황, 1998b)

어도가 설치되었다. 그러나 9개의 어도중 8개는 아주 원시적인 설계의 수지형 감쇄공을 갖는 수로식이 고 나머지 1개도 사람이 이용하는 계단과 흡사한 수로식이어서 투자에 비하여 효과는 거의 없을 것이다. 다음은 경북으로 5개 수계의 17개 수원공에 28개의 어도를 설치하였다. 이들 3도(道)외에는 농진이 시공 한 하구둑 어도가 대부분이다. 이와 같이 주로 3개 도에만 어도가 설치된 것은 이들 3개도의 하천 환경이 잘 보존되어 은어, 뱀장어, 황어 등 회유성(回遊性) 어류

가 주로 소하(溯河)하기 때문이다.

수계별 어도 수는 양양 남대천에 27개의 어도가 설치되어 가장 많았으며, 다음은 강진 탐진강(22), 영덕 오십천(17), 강릉 연곡천(13)의 순이었으며 5개 이상의 어도를 설치한 하천은 14개 하천이었다.

6. 어도 이용

6.1 금강 하구둑 계단식 어도

'98년 4월부터 '99년 11월까지 금강 하구둑 계단식 어도의 상단에서 조사된 어종은 총 30종, 6,857 개체였으며, 이들은 배수갑문을 열 때 떠내려간 눈불개, 강준치, 붕어 등 16종의 금강호 하류에 서식하는 1차담수어와 청멸, 웅어, 빙어, 뱀장어 등 11종의 주연성 담수어와 뱀망이, 주둥치, 복섬 등 해산어 4종으로 구성되어 있다.

이들중 어도를 통하여 이동해야 하는 소하성어류는 뱀장어, 전어, 웅어, 빙어, 줄공치, 숭어, 꺾정어, 풀망둑, 두줄망둑, 미동정 뱀어류 등 10종이다(황 등, 1999b).

표 2. 도별 형식별 어도분포(황, 1998b)

형식	경기	충남	전북	전남	경남	경북	강원	계			
									폭	길이	높이
계단식	1	2	1	10	2	18	53	87	3.9	26.8	1.9
도벽식					66	66	1.6	12.1	1.5		
돌로된보					2	2	-	-	-		
평면수로				2	2	7.5	10.8	2			
돌바문수로				6		6	-	-	-		
수지형수로				13				13	2.9	13.3	1.8
계단수로				2	2	4.8	5.6	1.9			
암거식					4		4	-	-	-	
갑문식	1	3	2	4	10	6.1	26.8	-			
볼랜드식							1	1	4	105	50
수계수	2	5	3	5	2	5	20	42			
수원공수	2	5	3	11	2	17	81	121			
어도수	2	5	3	31	2	28	122	193	3.2	20.2	2.5
평균제원(m)폭	5.5	3.8	9.7	4.8	1.8	5.2	2.2	3.2			
길이	31	20	56.7	13.1	20.5	38.1	16.6	20.2			
높이	3.9	2.4	4.3	1.7	1.5	2.1	1.6	2.5			

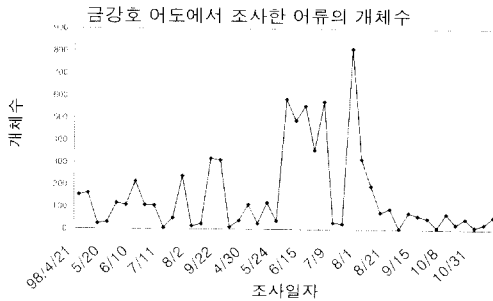


그림 5. 금강호 어도에서 조사한 어류의 시기별 개체수(황 등, 1999b)

개체수로는 송어(30.2%), 전어(17.7%), 눈불개(15.8%) 순으로 많았다. 조사된 31종의 어류중에 눈불개, 강준치, 붕어 등 16종의 1차담수어가 조사되고, 개체수도 전체의 32%를 차지하는 것은 배수갑문을 열 때 잘못 나간 담수어들이 어도를 통하여 다시 담수호로 들어가려는 것이다. 소화성 어류로는 송어, 전어, 웅어의 순으로 많았으며, 이들은 4,245개체로 전 조사 개체수의 61.9%이다. 나머지는 주둥치 등 잘못 올라온 해산어가 398개체로 5.8%정도를 차지하였다.

이와 같이 계단식 어도에서 조사되는 어종이 담수호에 서식하는 1차담수어가 많이 조사되는 것은 Masahiro Sumiya 등(1995)의 결과와 같은 경향이다. Masahiro Sumiya 등(1995)은 1995년 Nagara River(長良川) 하구연 어도에서 어도 출구에 정치망을 설치하여 어도를 통하여 올라온 어류를 채집한 바, 황어 등 19종의 어류와 참게등 총 20종 868개체를 채집하였다. 이중 붕어류, 메기, 황어, 큰입우럭, 누치, 잉어, 파랑불우럭, 가물치 등의 담수어 719개체가 조사되어 83%가 호의 하류에 살다가 바다쪽으로 나간 담수어이다. 채집된 어류 중 소화성 어류는 은어, 뱀장어, 송어, 농어 등이며, 이중 농어가 68개체로 가장 많았으며 일본인이 중요하게 생각하는 은어는 2개체, 뱀장어는 3개체에 불과하였다.

조사 시기별 채집 개체수는 그림 5.에서 보는 바와 같이 시기별로 큰 차이가 있으나 개체수가 늘어난 날은 여러 종이 골고루 늘어난 것이 아니고 어떤 한 종이 특별히 증가하기 때문이다.

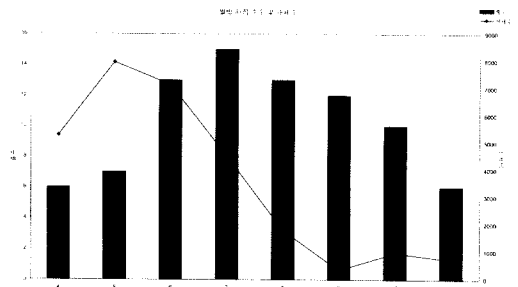


그림 6. 월별 1회당 채집되는 증수 및 개체수(황 등, 1999b)

6.2. 영암호 갑문식어도

6.2.1 출현종과 종별 개체수 변화

채집한 어류중 동정된 어류는 줄공치, 웅어 등 25종 116,014개체였다. 개체수로는 줄공치가 72,918(62.8%)개체로 가장 많았고, 붕어 17,055(14.7%)개체, 웅어 19,858(17.1%)개체, 송어 5,435(4.7%)개체의 순이었다. 월별로는 '98, '99년 모두 5월에 가장 많았으며, 4월부터 7월까지 주로 채집되고, 12월부터 2월사이는 거의 채집되지 않았다.

어종별로 소상하는 개체수는 그림 7.에서 보는 바와 같이 줄공치는 5월과 6월에 대부분이 소상하고, 피크는 5월 6일(25,468개체, 35%)이었으며, 웅어는 5월에 대부분이 소상하였는데 피크는 5월 10일(8,279개체, 54%)이었고, 붕어와 송어는 7월에 대부분이 소상했는데 붕어는 7월 20일(10,743개체, 66%)에 가장 많았고, 송어는 7월 15일(2,324개체, 47%)에 가장 많은 개체가 소상하여 어종별로 회유시기가 일정하였다(팔호안의 숫자는 시간당 개체수

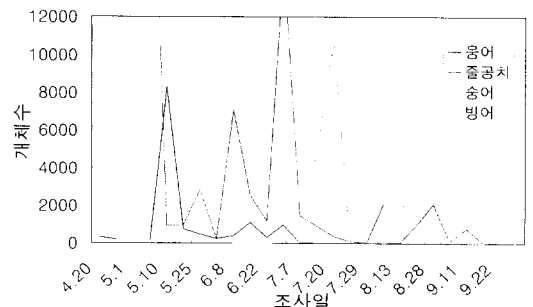


그림 7. 중요 종의 시기별 출현 상황(황 등, 1999b)

이고, %는 1회 채집 개체수를 총 채집개체수로 나눈 값임).

4월부터 11월까지 1회(1시간)당 평균 3,742개체를 채집하여 1일로 환산하면 44,900개체가 어도로 진입하는 것으로 추정된다. 그러나 어류의 소상에 있어서 대조기와 소조기, 일주기(日週期) 등에 따른 변화가 예상되는데 이는 고려되지 않은 것이다.

이러한 결과는 Masahiro Sumiya등(1995)이 Nagara River(長良川) 하구언 어도에서 어도 출구에 정치망을 설치하여 어도를 통하여 올라온 어류를 채집하여 황어 등 19종의 어류와 참깨등 총 20종 868개체를 채집한 것보다 6종이 많은 것이고 특히 Masahiro Sumiya등이 채집한 것은 주로 배수갑문을 열 때 잘못 나간 붕어 등의 1차담수어였는데 영암호 어도에서 채집된 종은 주로 소하성 어류이고 개체수도 거의 전부가 소하성 어류라는 것이 다른 점이다. 이러한 차이는 Masahiro Sumiya등은 계단식어도에서 채집한 것이라 유영력이 좋은 어종만 올라올 수 있었던 반면에 영암호의 어도는 갑문식이라 어류의 유영력에 관계없이 이용할 수 있었기 때문으로 판단된다.

6.2.2 출현종의 생체량 변화

개체수로는 줄공치가 62.8%, 용어 17.1%, 빙어 14.7%, 송어 4.7%를 차지하였지만 중량으로는 용

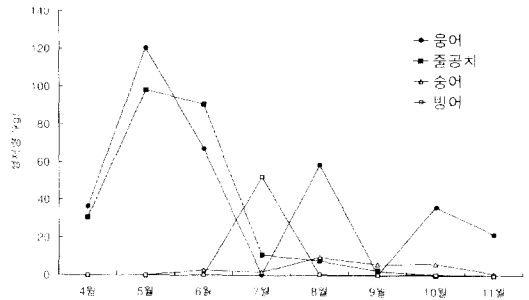


그림 8. 우점종의 생체량의 월변화(황 등, 1999b)

어 51%, 줄공치 35%, 빙어 7%, 송어 4%의 순으로 많이 채집되었다. 어종별로 가장 많이 채집한 달의 1회 채집되는 중량으로 환산하면 용어는 5월에 평균 138kg, 줄공치는 5월에 평균 26kg으로 용어가 가장 많이 채집되었다.(기간중 평균체중 줄공치 3.4 g, 용어 55.9 g 적용).

1일 최대 소상량은 줄공치는 5월 6일 시간당 25,468(80.2kg)개체가 소상하여 1일로 환산하면 611,232(1.9ton)개체이고, 용어는 5월 10일 시간당 8,279(515 kg)개체가 소상하여 1일로 환산하면 198,696(12.4ton)개체까지 소상이 가능한 것으로 계산된다(체중은 당일 습중량의 실측 평균치로 5월 6일의 줄공치 3.15g, 5월 10일의 용어 62.25g 적용).

표 3. 탐진강, 오십천 및 양양남대천의 어도에서 채집한 소하성 어류

하천	구분	하구	1번째보위	2번째보위	3번째보위	4번째보위	계
	종수	8	4	4	4	4	8
	개체수	139	59	44	23	14	278
	종명	은어, 객정어, 뱀장어 등	은어, 뱀장어, 꼭져구, 객정어	좌동	좌동	좌동	꼭져구, 송어, 모치, 망둑, 전어 등 8종
	종수	5	4	4	4	4	5
	개체수	87	39	45	41	28	240
	종명	은어, 황어, 뱀장어 등	은어, 황어, 뱀장어, 꼭져구	좌동	좌동	좌동	은어, 황어, 뱀장어, 큰가시고기, 꼭져구
	종수	9	5	3	2	1	9
	개체수	145	57	12	11	8	233
	종명	연어, 은어, 황어, 뱀장어, 꼭져구 등	은어, 황어, 뱀장어, 꼭져구, 한독중개	은어, 황어, 꼭져구	은어, 꼭져구	은어	칠성장어, 큰가시고기, 송어, 한독중개 등

6.3 중소규모 하천의 보(湫)에 설치한 어도

중소규모의 하천에 설치된 높이 1~2m의 보의 소규모 어도의 어류 이용을 조사하기 위하여 어도가 비교적 잘된 하천 중에서 남해안으로 유입하는 강진 담진강, 동해안의 남부로 유입되는 영덕 오십천과 동해안 북부로 유입되는 양양 남대천을 선정하여 어류의 이용을 조사하였다(황,1998b, 황 등 1999b). 표 3. 과 그림 9.에서 보는 바와 같이 3개 하천의 하구에서 첫 번째 어도 아래의 소하성 어류는 남대천이 가장 많은 9종이었으며 담진강은 8종, 오십천은 5종이었다. 그러나 첫 번째 보의 어도를 통과하여 올라온 어종은 3개 하천 모두 4-5종이고, 담진강이나 영덕오십천은 4종 모두 상류까지 소상한 반면 양양 남대천은 2번째 보의 어도를 통과하지 못하여 은어 1종만 상류까지 소상하였다. 양양남대천은 하구에서 2번째 보인 북평보의 도벽식어도의 구조가 그림 10.의 개수 전에서 보는 바와 같이 불량하여 어류가 이용할 수 없었는데 1999년 5월에 그림 10.의 개수 후와 같이

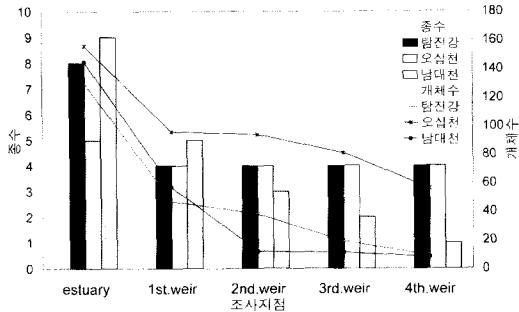


그림 9. 3개 하천의 소하성 어류 비교(황,1999b)

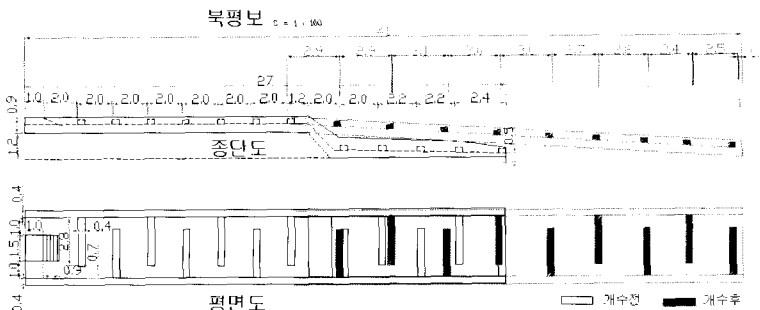


그림 10. 북평보 도벽식어도 개선(황,1999a)

연장하여 앞으로는 개선될 전망이다.

3개하천 모두 상류로 갈수록 개체수가 감소하였으며 영덕 오십천은 그림 9.의 꺾은선 그래프에서 보는 바와 같이 담진강과 남대천에 비하여 감소폭이 월등히 적었는데 이는 영덕 오십천의 어도의 구조가 비교적 좋았기 때문이다.

7. 문제점 및 개선방안

7.1 댐의 어도

우리나라에는 총 18,000여개의 저수지가 있는데 현재 하구둑을 제외한 저수지에 시공된 어도는 1개소도 없고 시공중인 것도 한편의 양양 양수발전소 하부댐(높이 50m)에 Borland식 어도 1개소가 있을 뿐이다. 이와 같이 댐에 어도를 설치하지 않은 것은 1996년 말까지는 댐에 어도설치를 의무화하지 않았기 때문이고 따라서 어도를 설치해 본 경험도 없으며, 설계기준이나 지침도 없었기 때문이다. 그러나 1996년 이후 법으로 댐에도 어도를 설치하도록 의무화하였으나 설치해 본 경험이 없으므로 국가기관에서 시공중인 댐에도 어도를 설치하지 않고 있다.

댐에 어도를 설치하지 않는 이유를 관련자들은 ① 법으로 의무화되었는지를 몰라서, ②설치 비용이 과다해서 경제성이 없어서, ③댐이 높아서 물고기가 이용하기 어려워서, ④신설 댐의 아래에 어도가 없는 기존 댐이 있어 댐 설치 예정지에 회유성 어류가 회유하지 않기 때문에, ⑤댐의 내수위 변화가 크기 때문에, ⑥어도 유지수량이 없어서, ⑦법으로 의무화하기 전에 댐을 착공해서 공사중에 어도를 추가하기 어

려워서, ⑧외국에서도 높은 댐에는 어도를 설치한 예가 없어서 등의 이유를 들어 어도를 설치하지 않고 있다. 이들 문제점을 하나 하나 살펴보면

① 관련법령과 어도설치의 의무화 문제에 대하여 우리나라에는 표 4.와 같

표 4. 어도관련 법령

1. 수산업법(법령집 29권 27편 수산)

제79조(자원보호에 관한 명령) ① 수산 동식물의 번식·보호를 위하여 다음 각호에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다(개정 95. 12. 30)

4. 어도 차단물의 제한 또는 금지

③ 행정관청은 제1항 제3호 내지 제6호의 규정에 위반한 자에 대하여 원상회복을 위하여 필요한 조치를 취할 수 있다. 다만, 원상회복이 어렵다고 판단되는 경우를 제외한다.(개정 95. 12. 30)

2. 수산자원보호령(법령집 29권 제27편 수산)

제12조(어도차단의 금지)

② 하천의 전유폭을 차단하는 공작물을 설치하고자 하는 자는 해양수산부 장관과 협의하여 하천의 일부를 개방하거나 어도를 설치하여 소하어류의 통로를 확보하여야 한다.<신설 71. 7. 21. 96. 8. 8. 96.12.31>

제31조(벌칙) 다음 각호의 1에 해당하는 자는 300만원 이하의 벌금에 처한다.

2. 제 11조, 제 12조, 제 21조 또는 제 26조의 규정에 위반한자.(전문개정 91. 3. 28) 부칙(96. 12. 31 대령 15242)

② (댐의 어도설치 등에 관한 적용례) 제 12조 제2항 단서의 개정규정은 이영 시행후 최초로 설치되는 댐부터 이를 적용한다.

3. 댐시설기준(1993. 9. 3 건설교통부) p.291-295

4.1 어도설치의 목적

어도(Fish way)는 댐건설에 의해서 소하성(瀾洩性)어류들의 이동이 차단되는 경우 이러한 어류들의 소하(瀾河)를 가능하도록 할 목적으로 설치

4.3.2 어도의 규모 결정

어도의 폭 : 수원공에서 방류할 수 있는 유량과 어도를 이용해서 소상하는 어류의 종류 및 크기를 고려해서 결정한다. 최소한 평균기의 유량을 유하시킬 수 있는 정도로 일반적으로 전체 제방길이의 1-15%의 범위를 추천.

어도의 구배 : 10%이하가 적당하며 일반적으로 1/10 - 1/20의 구배를 추천.

어도의 위치 : 어류는 하천의 가장자리를 따라서 이동하므로 하천의 양안에 설치하는 것이 바람직.

이 수산업법, 수산자원보호령과 댐시설기준에 어도 설치 관련 규정이 있는데도 아직까지 댐에 어도를 설치하지 않고 있는 것은 법의 위반이며 설사 법이 개정된 것을 몰랐다고 해도 법은 국민에게 일일이 알려줄 필요가 없고 공고로서 그 효력을 발생하므로 해양부장관과 협의하여 어도를 설치하지 않으면 법을 위반하게 되는 것이다. 만약 어도를 설치하는데 어느 기관이 임의로 설치해도 위법이고 현행법으로는 어도 계획을 작성하여 해양수산부와 협의하여 어도를 설치해야 하는데 아직까지 해양수산부에 어도 설치를 협의한 것이 없는 실정이다. 앞으로는 필히 어도계획을 작성하여 해양수산부장관과 협의하여 어도를 설치해야 할 것이다.

② 설치비용이 과다하고 어도의 경제성이 없어서 설치하지 않고 있다는 의견에 대하여.

어도의 설치 는 생태계 보호를 위하여 설치하는 것

이지 어떤 경제성 있는 특정한 어류의 보호를 위하여 시공하는 것이 아니므로 경제성을 따질 수는 없다. 다만 댐 공사비에 비하여 어도 설치비가 대단히 많은 부분을 차지하여 설치하지 못하겠다는 것은 설계자가 어도는 바로 계단식이라는 개념이 있어 조건이 나쁜데도 굳이 계단식으로 설계하다보니까 설치비가 과다하게 되는 것이고 그 댐의 구조, 어류상, 내수위의 변화, 하천유지수의 방류 등을 고려하여 Borland 식, Elevator식, Lift식, 갑문식 등을 고려하면 계단식어도보다 아주 적은 비용으로 그 댐의 특성에 맞는 경제적인 방법을 도출할 수 있을 것이다

③ 댐이 높아서 물고기가 이용하기 어려워서 어도를 설치할 수 없다는데 대하여.

어도를 계단식으로만 계획하기 때문에 댐의 수위차가 50m만 되어도 한 계단의 낙차를 20cm로 보면 250계단이 필요하고 풀의 길이를 3m로 보면 길이는

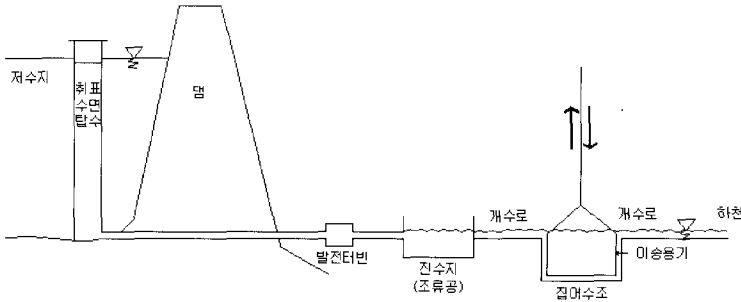


그림 11. 발전용수를 어도용수로 활용

750m가 된다. 어류가 250계단으로 된 750m의 수로를 쉬지 않고 올라가는 것은 연어, 송어 등 체장 1m내외의 유영력이 좋은 어류 외에는 불가능하다. 그러나 댐 높이가 아무리 높아도 Borland식, Elevator식, Lift식 등은 어류의 유영력에 관계없이 올라갈 수 있기 때문에 댐 높이에 관계없이 어도를 설치할 수 있다.

④ 신설 댐의 하류에 어도가 없는 기존 댐이 있어 댐 설치 예정지에 소하성 어류가 회유하지 않기 때문에 어도를 설치할 필요가 없다는데 대하여.

시공되는 댐의 하류에 어도가 없는 댐이 있어도 그 지역에는 국지회유하는 어종을 위하여 어도를 설치해야 하며, 또 하류의 어도가 없는 댐에 어도를 새로 설치할 수 있고, 댐이 낡거나 해서 다시 시공하면 어도를 설치해야 하기 때문에 하류의 댐에 어도가 있는 지는 고려사항이 못된다.

⑤ 댐의 내수위 변화가 크기 때문에 어도를 설치할 수 없다는데 대하여.

내수위의 변화가 너무 크지 않을 때는 일본의 二風谷댐(연간 6m)처럼 가동계단식 어도를 설치하면 되고 그 이상 수십m에 이르면 계단식으로는 어렵고 Borland

식, Elevator식, Lift식 등으로 하면 크게 문제가 되지 않는다. 양양 양수발전소 하부댐은 댐 높이가 50m, 내수위변화 폭이 매일 8.5m가 되는데도 Borland식 어도를 시공 중이다. 이런 곳은 계단식으로는 불가능하다.

⑥ 어도 유지수량이 없어서 어도를 설치할 수 없다는데 대

하여, 계단식을 포함한 수로식 어도는 모두 어도 출구(상류)를 통하여 계속 같은 량의 물을 흘려 보내야 어류가 소상하지만 Borland식, Elevator식, Lift식 등 조작형 어도는 발전용수, 하천유지수 등을 어도용수로 쓸 수 있어 물이 부족한 곳에서도 어도를 설치할 수 있다.

⑦ 법으로 의무화하기 전에 댐을 착공해서 공사중에 어도를 추가하기 어려워 어도를 설치하지 않는다는데 대하여. 법으로 의무화되지 않아서 할 수 없다면 별문제이지만 댐이 공사중이거나 공사가 끝났다고 해서 어도를 설치할 수 없는 것은 아니다. 공사가 완전히 끝났어도 Elevator식, Lift식 등은 댐에 크게 영향을 주지 않고 추가로 설치할 수 있다.

⑧ 외국에서도 높은 댐에는 어도를 설치한 예가 없어서 어도를 설치할 수 없다는데 대하여. 외국은 그

표 5. 상황별 어도 선택 기준표(常住直人, 1995)

	폴 타입 수로 식오퍼레이션식				데널식	粗石付斜路式	
	계단식(전면)	아이스하바식	버티칼슬롯식	잠공식			
어도방류량(적은 경우)	○	○	○	○	○	×	◎
어도방류량의 파악	○	○	○	○	○	△	○
보 상류의 수위변동	×	×	○	○	△	△	◎
고낙차	△	△	×	×	○	×	◎
어도내 유속분포의 다양성	△	△	△	△	○	○	◎
유지관리비	△	△	△	△	×	○	×
경관 및 친수성	×	×	×	×	×	◎	×
조류피해방지	×	×	○	◎	○	×	◎
토구 집어효과	△	△	△	△	△	○	×
휴식 Pool의 필요성	무	무	무	무	유	유	무

들이 즐겨먹는 연어, 송어, 은어 등의 자원보호를 위하여 어도를 설치했기 때문이며 댐이 높아져 설치할 수 없는 것은 아니고 경제성 논리로 설치하지 않은 것이다. 따라서 연어, 송어, 은어 자원이 많은 하천에서는 아무리 높은 댐이라고 해도 어도를 설치하였다. 예를 들면 은어자원이 풍부한 小牧(Komaki)댐에는 양정 63.6m의 Elevator식 어도를 설치하였으며, 송어자원이 중요한 二風谷댐에는 40억엔의 비용을 들여 가동계단식어도를 설치하였다. 왕연어자원이 풍부한 미국의 Columbia 강에는 연어 자원 보호를 위하여 13개소의 어도를 설치하고 수위차 30m가 넘는 John Day등 4개 댐에도 계단식어도를 설치하였다. 대서양 연어자원이 중요한 영국의 Orrin댐에는 댐 수위차가 61m 내수위의 변화가 20m에 이르는데도 Borland식 어도를 설치하였다. 따라서 선진 외국의 어도 형식도 이들 유용어종의 생태에 맞는 형식이 발전하였으며, 최근에는 이들 선진국에서도 유용어종의 보호보다는 생태계보호 차원에서 어도를 설치하고 있다. 우리나라에는 처음부터 유용 어족자원의 보호를 위하여 어도를 설치하기보다는 생태계 보호를 위하여 어도를 설치한 것이므로 어도를 통하여 소상하여 서식할 하천이 있는 한 댐 높이에 관계없이 어도를 설치하는 것이 타당하다. 표 5.는 댐높이, 댐의

수위변동 등을 고려한 어도 형식의 선정 기준의 예이다.

7.2 보의 어도

1976년부터 수산자원보호령으로 어도 설치가 의무화 되었는데도 현재 대부분의 보에 어도가 시공되지 않았으며, 시공된 어도도 대부분은 하류가 세굴되고, 기초를 제대로 하지 않아 파손이 심하며, 계단식의 경우 풀의 깊이가 얇아 어류가 충분히 도약할 수 없으며 어도의 유량조절장치가 없는 등 많은 문제점(황, 1991)이 있었는데 황(1998b)의 조사에서도 개선된 것이 거의 없었다. 이는 어도 설계기준이나 관리지침이 없기 때문으로 조속히 어도의 설계기준이나 관리지침을 만들어 보급하여 기준이 없어 제멋대로 설계하고 시공하여 발생하는 문제점을 보완해야 할 것이다.

막대한 예산을 들여서 잘 시공한 어도들도 대부분 제대로 관리를 하지 않으므로 관리를 철저히 하여 어류들이 이용할 수 있게 해야하며 어도가 운영되어 어류가 잘 이용할 수 있다 해도 어도 상하류의 어류의 소상로에서 물고기를 잡는다면 어도의 효과가 반감하므로 어도주변을 어로금지구역으로 지정해야 할 것이다. ●

(참고 문헌)

- 김진홍, 1995. 어도구조물 설계에 관한 연구 : 탐진강을 대상으로. 농공기술 47, pp. 106 - 120.
- 김진홍, 김철. 1994. 어족의 소상을 위한 계단식어도 수리특성에 관한 연구. 한국수문학회지 27(2) pp. 63-72.
- 농어촌진흥공사. 1997. 어도의 설계지침. 농어촌진흥공사 농어촌연구원, p. 188.
- 류용석, 1998. 탐진강 하천 특성을 고려한 효율적 어도설계에 관한 연구. 광주대 경상대학원 토목학과 석사논문. p. 74.
- Masahiro SUMIYA, Kouji SASAKI, Minoru WATANABE, 1995. Design of Nagaragawa Estuary Barrage Fishways and States for fish to Travel up the Fishways -Specially, the Fish Ladder with Guide Flow-. Proceedigs of the International Symposium on Fishways '95 in Gifu Japan, October 24-26, 1995. pp. 219-224.
- 박상덕, 1998. 동해안지역 어도시설 및 관리. 수자원학회지 31(4) pp. 28-33.
- 常住直人, 1995. 魚道の計劃, 設計, 維持管理. 農林水産省 農業工學研究所 水工部 水源施設水理研究室.
- 石井穎一郎, 1932. 小牧發電工事報告(魚道). 토목학회지 18(4) pp. 54-57.
- Erik Pasche, 1995. The cultural and environmental importance of fish in central europe. Proceedings of the international symposium on Fishways '95

- in Gifu Japan, October 24 - 26, 1995. pp. 25-32.
- 中村俊六. 1990. 魚道研究の歴史的概観 Proceedings of the international symposium on fishways. '90 Gifu Japan. pp. 295-300.
- 中村俊六. 1995. 魚道のはなし(魚道設計のためのガイドライン) 山海堂.
- 條邊三郎. 1989. 魚道の設置數, 形式, 句配について—わか國における頭水工の魚道の現状(1)—農土誌, 57(12): pp. 67-72.
- Charls H. Clay. 1995, Design of Fishways and Other Fish Fasilities. p. 248. Lewis Publishers.
- 황종서. 1986. 금강 하구둑에 시공중인 어도와 어류생태. 자연보존 54: pp. 32-40.
- 황종서, 김미옥. 1991. 담수호의 어도 이용에 관한 연구. 농어촌진흥공사 농어촌연구원 연구보고서.
- 황종서외 5인. 1997a. 양양양수발전소 1-4호기 설계기술용역 하부담 어도설치 연구용역 보고서. p. 173. 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 삼안기술공사.
- 황종서. 1997b. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 - 3.2 서식처 및 어도-. 환경부 G7연구과제 보고서 2차년도, pp. 37~75.
- 황종서. 1998a. 농어촌지역 소하천의환경정비기법 개발. 3장 소하천의 생태보전 시설 정비기법. 연구보고서 pp. 45~120.
- 황종서. 1998b. 하구에 설치한 어도 이용에 관한 연구. 농어촌진흥공사 농어촌연구 연구보고서, pp. 166.
- 황종서. 1998c. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발- 3장 어류, 양서류, 파충류, 포유류 특성-. 환경부 G7연구과제 보고서 3차년도, pp. 43~91.
- 황종서, 허협. 1999a. 양양남대천과 영덕 오십천의 어도의 현황과 어류의 이용. 농공학회 학술발표회 논문집, pp. 721~726.
- 황종서, 이승호, 허협. 1999b. 하구에 설치한 어도 이용에 관한 연구. 농어촌진흥 공사 농어촌연구원 연구과제 보고서. p. 185.