

Fishways on dam in Korea

댐의 어도설치 현황과 개선방안

Chong-Seo Hwang

(Director, Stream Corridor Restoration Lab., Korea)

황중서

(이천생태복원연구소 소장)

댐의 어도(魚道)설치 현황과 개선방안

황중서
(하천생태복원연구소)

1. 어도의 필요성

하천 하류에 하구언이나 댐을 설치하면 바다와 하천을 왕래하며 서식하던 은어, 뱀장어, 참개 등의 회유성(回遊性)생물의 이동통로가 막히게 되어 댐의 상류 하천에서는 이들이 멸종하게 된다. 하천의 중 상류에 댐을 설치하면 회유성 어류는 물론 피라미, 모래무지 등 하천에서 봄철에는 상류로 올라가고 가을철에는 월동을 위하여 하류로 내려오는 소위 국지회유(局地回遊)하는 어류들의 이동통로가 막히어 댐 상류의 어류상이 매우 단순해지므로 이런 생태계의 영향을 최소화하기 위하여 어도를 설치해야 한다.

어도란 농업기반공사의 어도의 설계지침에 의하면 “어패류의 소상을 곤란 또는 불가능하게 하는 장애가 있는 경우, 소상을 쉽게 하기 위하여 만들어지는 시설의 총칭을 말한다”라고 정의하였다. 그러나 이 정의는 옛날부터 고정된 것이 아니고 항상 변화하여 온 것이다. 옛날에는 주로 낮은 보나 폭포 등이 있어 물고기가 올라가지 못할 때 물고기를 상류로 올려보내기 위하여 어도를 설치하였으므로 어도의 정의도 주로 “물고기가 상류로 올라갈 수 없는 경우에 물고기가 상류로 올라갈 수 있도록 만들어진 수로”라고 정의하였으나 댐에 어도를 설치하게 되면서 수로 식으로는 곤란한 경우가 발생하여 엘리베이터식이나, 볼랜드식 등 조작식 어도를 포함하기 위하여 위에서 말한 바와 같은 “소상을 쉽게 하기 위하여 만들어지는 시설의 총칭이다”라고 바뀐 것이다. 또 초기의 어도의 정의는 물고기의 이동만을 언급하였으나 어류 외에 참개, 징거미새우, 다슬기 등 어류 외의 하천에서 이동하는 생물을 위하여 설치하므로 어패류라고 하여 어도의 정의도 복잡하게 변화하고 있다. 어도에는 소상용 어도 외에 강하용 어도도 있으나 우리나라에서는 아직 시공한 예가 없다.

2. 어도관련 법령

우리나라에서 어도설치를 법으로 규정한 것은 1971년 7월에 수산자원보호령 12조 2항에 “하천의 전유폭을 차단하는 공작물을 설치하고자 하는 자는 해양수산부 장관과 협의하여 하천의 일부를 개방하거나 어도를 설치하여 소하(溯河)어류의 통로를 확보해야 한다”라는 조항이 신설된 이후다. 그러나 이 조항은 댐에는 설치하기가 어렵고 경제성이 없다는 이유로 1976년 7월 “댐에는 예외로 한다”는 조항이 추가되면서 댐에는 어도 설치가 면제되었다. 1996년 12월 31자로 단서조항이 삭제되면서 댐에도 어도의 설치가 의무화되었으나 이 개정으로 한곳도 어도를 설치하지 않

고 2001년부터는 표 1에서 보는 바와 같이 다시 개정되어 현재는 하천법 22조에 해당하는 15m 이하의 낮은 보나 저수지에는 어도가 의무화되었으나 그 이상의 높은 댐에는 산란장 조성 등을 할 경우 어도를 설치하지 않을 수 있다.

표 1. 어도관련 법령 요약

<p>1. 수산업법(법령집 29권 27편 수산)</p> <p>제79조(자원보호에 관한 명령)①수산 동식물의 번식·보호를 위하여 다음 각호에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다<개정 95. 12. 30></p> <p>4. 어도 차단·제한 또는 금지</p> <p>③행정관청은 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)</p> <p>2. 수산자원보호령(법령집 29권 제27편 수산)</p> <p>제12조(어도차단의 금지)</p> <p>②하천의 전유폭을 차단하는 공작물을 설치하고자 하는 자는 해양수산부장관과 협의하여 하천의 일부를 개방하거나 어도를 설치하여 소하어류의 통로를 확보하여야 한다. 다만, 하천법 제22조의 규정에 해당하는 댐으로서 다음 각호의 1에 해당하는 경우의 댐을 설치하고자 하는 자가 어류산란장·번식시설의 설치 또는 치어방류 등 어족자원의 번식 및 보호조치에 관하여 해양수산부장관과 협의한 때에는 그러하지 아니하다. <신설 71·7·21, 96·8·8, 96·12·31, 2000·12·27></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 댐의 특성이나 주변의 지형 및 여건이 어도설치에 부적합한 경우 2. 수산에 관한 국·공립 시험·연구기관으로 하여금 하천에 대한 어류의 서식상태의 조사를 의뢰하여 조사한 결과 소하어류의 서식이 현저히 적은 경우 <p>③시·도지사나 시장·군수 또는 자치구의 구청장은 소하어류의 통로를 확보하기 위하여 필요하다고 인정할 때에는 수역과 기간을 정하여 어업을 제한할 수 있다. <신설 82·11·13, 96·12·31, 98·8·27></p> <p>제31조(벌칙) 다음 각호의 1에 해당하는 자는 300만원이하의 벌금에 처한다. [개정 93·6·19, 96·12·31, 98·8·27, 99·9·30]</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 제11조의3제1항·제12조 또는 제26조의 규정에 위반한 자 [전문개정 91·3·28] <p>부 칙 <2000·12·27 대령17030></p> <p>②(댐의 어도설치에 관한 경과조치) 이 영 시행전에 댐건설및주변지역지원등에관한법률 제8조의 규정에 의하여 실시계획이 고시되었거나 하천법 제27조의 규정에 의한 하천정비시행계획이 고시된 댐의 경우에는 종전의 규정에 의한다.</p> <p>3. 댐설계기준(2001 건설교통부) p.420-430</p> <p>어도설치의 목적</p> <p>유용한 수산자원의 보호와 자연생태계의 보전을 위하여 회유성 어류들의 이동이 가능하도록 하여 물고기가 살기 좋은 하천의 상태를 유지하도록 하는데 있다.</p> <p>댐에 설치되는 어도의 경우 수산자원 보호적인 측면보다는 자연생태계의 보전적인 측면이 강하므로 대표어종에 한정치 말고 가능한 서식하는 물고기들이 사용할 수 있도록 어도 형식을 결정해야 한다.</p> <p>어도의 규모 결정</p> <p>어도의 폭 : 댐에서 방류할 수 있는 유량과 어도를 이용해서 소상하는 어류의 종류 및 크기를 고려해서 결정한다. 최소한 평수기의 유량을 모두 어도로 유하시킬 수 있는 정도를 추천하고 일반적으로 전체 댐 길이의 1-15%의 범위에 들도록 계획한다.</p> <p>어도의 경사 : 일반적으로 10%이하로 시공되고 있으나, 이용어종의 다양성을 고려하여 1/20 이하의 경사까지도 검토해야 한다.</p>

같은 법 31조에는 어도를 설치하지 않을 경우 300만원 이하의 벌금을 물도록 규정되었으나 아직 이 규정으로 처벌받은 일이 없다. 이는 이 법의 시행 규칙이 없어 언제, 누가, 어떤 서류를 작성하여 해양수산부장관과 협의해야 하는지, 위임 전결 규정은 어떤지, 협의는 어떤 절차를 거쳐 해주는지에 관한 규정이 없기 때문이다. 해양수산부에서는 한국수자원공사 수자원연구원에 의뢰하여 이 규정 제정을 위한 연구사업을 진행 중이다. 따라서 이 절차에 관한 규정이 만들어지면 이 규정에 의해 협의를 마쳐야 하천에 보나 댐을 막을 수 있을 것이고 협의를 이행하지 않으면 처벌도 가능할 것이다.

건설교통부의 댐설계기준에는 어도 설치 목적이 “유용한 수산자원의 보호와 자연생태계의 보전을 위하여 회유성어류의 이동이 가능하도록 하여 물고기가 살기 좋은 하천의 상태를 유지하는데 있다” 라고 하였으며 특히 댐에 설치되는 어도의 경우 “수산자원의 보호적인 측면보다 자연생태계의 보전적인 측면이 강하므로 대표어종에 한정치 말고 가능한 서식하는 물고기들이 사용할 수 있도록 어도 형식을 결정해야 한다”라고 하여 댐에 설치하는 어도는 경제성 어종의 보호보다는 생태계 보전 측면에서 시공해야 함을 강조하고 있다.

어도는 수산업법과 수산자원보호령에 규정한 것 외에 법제연구원의 전재경박사는 환경부의 자연환경 보전법의 생태이동통로의 일종으로 볼 수 있다고 하였다. 자연환경보전법 제 2조 제9호에는 “생태통로라 함은 도로·댐·수중보·하구언등으로 인하여 야생동·식물의 서식지가 단절되거나 훼손 또는 파괴되는 것을 방지하고 야생동·식물의 이동을 돕기 위하여 설치하는 인공구조물·식생등의 생태적 공간을 말한다”라고 하여 어도가 생태통로임을 알 수 있다. 자연환경보전기본방침(자연환경보전법 제6조)은 자연환경보전기본원칙(자연환경보전법 제3조)을 실현하기 위하여 “산·하천·습지·농지·도서·해양 등에 있어 생태적 건전성 향상 및 생태통로·소생태계·대체자연의 조성 등을 통한 생물다양성의 보전”방안을 포함하여야 한다(자연환경보전법 제6조제2항제4호)라고 명시되어 있어 지금까지 어도를 수산업법에 따라 자원으로 관리하던 것을 자연환경보전법의 취지에 따라 자연환경보호의 입장에서 관리해야 할 것으로 판단된다.

3. 어도가 필요한 생물

우리나라에는 외래어종인 유럽잉어, 파랑볼우럭 등을 포함하여 170여종의 담수어가 서식하는데 (환경부 1997) 이들 중 은어나 뱀장어, 황어처럼 바다와 하천을 왕래하며 서식하는 회유성 생물과 피라미, 열목어 등 국지회유성 어류 및 하구언에서 배수갑문 개방시 잘못 나간 붕어, 잉어, 강준치 등 담수생물의 원활한 이동을 위하여 어도가 필요하다. 하천에 분포하는 생물중에서 실제로 어도를 이용하는 어류를 채집하여 어도의 이용을 확인한 어종은 표 2와 같다. 어류 외에 참계 등 갑각류도 바다와 하천을 회유하는 생물이어서 어도가 필요하고 다슬기와 수서곤충도 어도를 이용하는 것을 조사하였다.

4. 어도의 종류

Nakamura(中村俊六, 1995)는 어도를 Pool type, 수로식(水路式), Operation type 어도로 분류하였는데 댐에 설치하고 있는 것을 주로하여 이들의 특성을 간략히 기술하면 다음과 같다.

표 2. 어도 이용 생물의 이용 형태

습 성	조사한 어종*	이용이 예상되는 종
성어가 소상하여 산란한 후 치어가 바다로 나감.	웅어, 빙어, 황복, 황어, 큰가시고기	연어, 송어, 칠성장어 등
치어가 소상하여 성장한 후 산란을 위해 강하	은어, 뱀장어, 꺾정어, 꼭저구, 참개	은어는 강 하류에서 산란
수시로 왕래	송어, 가송어, 농어, 전어, 줄공치, 가실망둑, 문절망둑, 아작망둑, 풀망둑, 복섬	
배수갑문을 열 때 잘못 나간 담수어	붕어, 잉어, 강준치, 가시납지리, 치리, 왜몰개, 피라미, 송사리, 누치, 꼬리, 눈불개, 살치, 참몰개, 흰수마자, 뿔경모치, 동자개, 밀자개, 버들붕어	하구호의 대부분의 어종
국지회유 어종	피라미, 붕어, 잉어, 참붕어, 돌마자, 살치, 밀어, 칼납자루, 참마자, 참중고기, 돌고기, 긴몰개, 갈겨니, 눈동자개, 꺾저기, 다슬기, 수서곤충	쉬리, 산천어, 열목어 등 댐 지점에 서식하는 거의 대부분의 어종

* 농어촌진흥공사 “하구에 설치한 어도 이용에 관한 연구”(황종서,1999)와, 농업기반공사 “하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발”(황종서,2003)에서 실제로 어도를 이용한 어류임

4.1. 폴타입 어도

폴이 계단식으로 연결된 형태의 어도로서 물고기가 - 주로 격벽(隔壁)을 월류하는 흐름을 뛰어넘어 올라가는 형식을 계단식이라고 하고 격벽 전체로 물이 넘는 것을 Fish radder, 노치가 양측에 있는 것을 Iceharbor type이라고 하고

- 격벽에 설치된 수직의 틈새를 통하여 이동하는 형식을 Vertical slot식이라고 한다. 우리나라에는 댐 이외의 저낙차 수원공에는 주로 Pool type이 시공되고 있으나 댐에 설치한 폴타입 어도는 없으며 기본 계획이 완료된 것으로 팔당댐에 Vertical slot식 어도를 변형한 것이 있다.

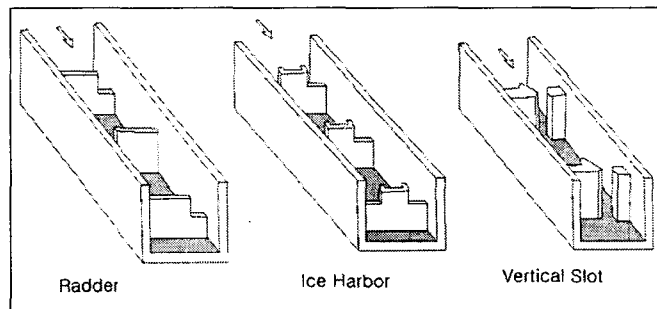


그림 1. 폴타입 어도

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(Larinier)형이 있는데 우리나라에 설치한 예는 없다.

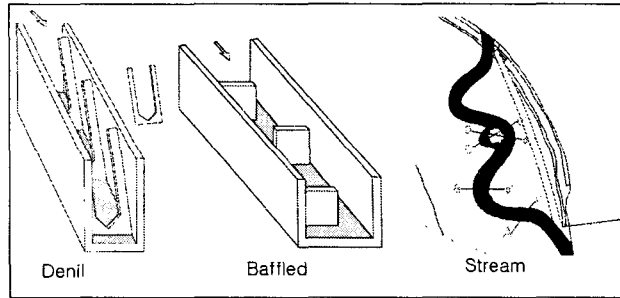


그림 2. 수로식 어도

- 경사가 급한 수로에서 경사를 완만하게 하기 위하여 도류벽(baffle)을 설치한 것을 도벽식이라 한다. 댐에는 설치된 것이 없고 동해로 유입하는 삼척오십천 간성 남천 등에 많이 있었으나 2002년 동해안 홍수후 계단식 등으로 대부분 교체되고 있다.

- 인공적으로 1/100정도의 흐름이 완만한 하도(河道)를 만들어 어도로 활용하는 것을 인공하도식이라 하며 우리나라에는 설치한 예가 없으나 잠실수중보 좌안에 계획중이다. 일본 북해도의 Pirica dam에서는 댐하류에서 상류하천을 직접 연결하는 길이 10km의 인공하도식 어도도 계획중이다.

4.3. 조작형 어도

물고기가 소상하려면 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

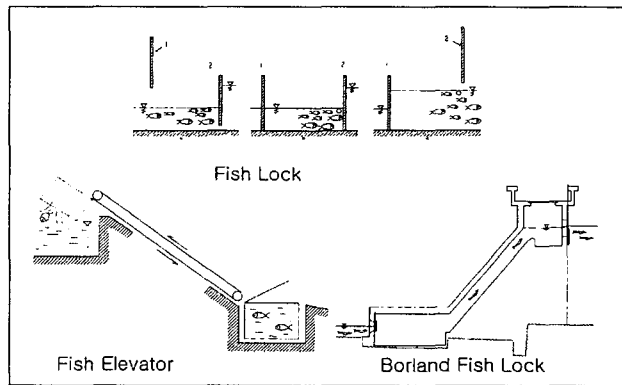


그림 3. 조작식어도

를 제방 사면을 따라 설치한 궤도로 끌어 올려 저수지에 붓는 형식을 Lift식, 수직으로 설치한 엘리베이터로 물고기를 끌어올리는 것을 Elevator식이라 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 갑문식이라 하고, 낙차가 큰 댐에서는 갑문의 높이를 무한정 키울 수 없으므로 댐의 진수지 부근에 하부풀을 만들고 댐위에 상부풀을 만들어 각 풀을

Shaft로 연결하고 갑문을 만들어 갑문식과 마찬가지로 원리로 물고기를 올라가게 하는 방법을

Borland식이라 한다. 이 조작형어도 모두를 Elevator 식으로 칭하기도 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 20m 내외의 댐에 Borland식 어도와 계단식 어도를 많이 채택했으며, 프랑스에서는 계단식 어도를 많이 설치하고 있으나 특히 계단식 어도로 물고기가 잘 올라오지 않을 때 대안으로 Elevator식 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 연어보다는 크기가 작은 Shad같은 어종을 대상으로 하므로 Elevator식 어도도 많이 채택하고 있다.

5. 댐의 어도 현황

우리나라에는 아직 댐에 설치된 어도가 없다. 다만 한국전력의 양양양수발전소 하부댐 볼랜드식 어도가 2004년 4월 완공계획으로 공사중이며, 실시설계가 끝나서 시공할 것으로 한국수자원공사의 탐진댐 엘리베이터식 어도가 있고, 기본계획이 완성된 것으로 한국수력원자력의 팔당댐 변형 Vertical slot식 어도가 있고, 어도의 타당성을 검토중인 것으로 한국수자원공사의 대청댐과 한탄강댐 등이 있다.

댐 외의 대형 수원공으로 하구둑에 어도를 설치하였는데 한국수자원공사의 낙동강 하구둑과 시화방조제에 계단식어도가 설치되었으며, 농업기반공사의 해남방조제, 금강하구둑에 계단식어도가 설치되었고, 영암 방조제, 금호 방조제, 영산강 하구둑, 석문 방조제, 우정 방조제, 보령 방조제, 홍성 방조제에 통선겸용갑문식어도가 설치되었으며 새만금지구의 가력갑문과 신시갑문에 통선겸용갑문식어도를 시공중이다.

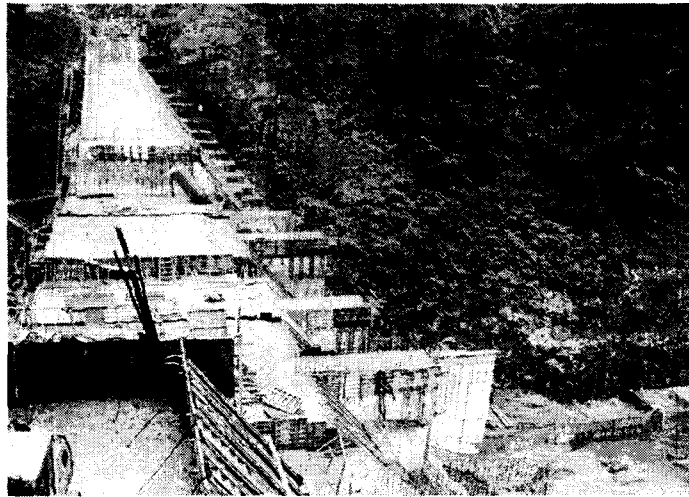


그림 4. 양양양수발전소 하부댐 볼랜드식어도, 붉은 파이프가 어도 Shaft이고 우측 아래 편편한 곳이 하부풀 위치

하구둑의 높이가 각각 13.0m인 부사방조제 계단식어도와, 석문방조제 통선겸용갑문식어도는 댐 높이가 하천법 22조의 댐기준 15m 이하이기 때문에 표에서 제외했다. 낙동강 하구언 어도는 뚝 높이가 15m가 안되어도 우리나라 면적의 약 1/4의 유역을 갖는 중요한 시설이기 때문에 참고로 삼입하였다.

표 3에서 보는 바와 같이 댐 높이가 15m 이상인 댐과 하구둑에 설치된 어도는 낙동강 하구둑 어도를 포함하여 총 16개이다. 이를 형식별로 보면 통선겸용갑문식어도가 8개소로 전체의 50%를 차지하고 다음이 계단식이 5개소이며, 엘리베이터식 1개소, 볼랜드식 1개소, 변형버티칼슬롯식(박상덕 1999) 어도가 1개소이다. 이를 어도 운영형태로 보면 어도를 운영할 때 조작이 필요한 통선겸용갑문식과 볼랜드식, 엘리베이터식 등 Operation type이 10개소로 63%를 차지하고, Pool type 어도가 37%를 차지하여 조작성이 대부분임을 알수 있다. 이렇게 조작성이 많은 것은 댐 높이가 높고, 수위차가 크며, 내외수위의 변화가 큰 댐이나 하구언에 설치된 어도이기 때문이다. 이렇게 조작성이 많은 것은 다른 나라에서도 같은 경향이며, 댐에 설치한 많은 어도를 엘리베이터식 등의 조작성으로 바꾸는 추세와 부합한다.

표 3. 우리나라의 댐의 어도 현황

댐종류	댐 이름	관리자	댐				어 도			공 정
			높이 m	길이 m	수위차 m	관리수위 EL.m	형식	규격 m L×W.	수위변화 m	
댐	양양양수	한전	53.0	250	47.1	121.5	볼랜드식	105.2×2.0	6.5/d	2004.4완공 예정
	탐진	수공	53.0	403	41.0	82.0	엘리베이터	-	27.0/y	실시설계완료
	팔당	한수원	29.0	575	19.0	25.5	변형버티칼슬롯	320.0×3.0	1.5/y	기본계획완료
방조제	낙동강	수공	12.0	2,400	1.27	0.50	계단식2개소	20.5×1.8	2.0/1.4	1987완공
	시화	수공	27.1	12,676	2.95	-1.00	계단식	38.0×5.0	4.0/7.9	완공
	해남	농기공	19.7	1,870	1.34	-0.5	계단식	16.0×6.0	3.5/3.2	완공
	금강	농기공	16.6	1,127	4.63	2.00	계단식	78.0×9.0	5.0/5.5	완공
	영암	농기공	32.3	2,219	0.46	-1.45	통선겸용갑문식	30.0×6.6	4.9/3.6	완공
	금호	농기공	28.1	2,120	0.36	-1.55	"	30.0×6.6	4.8/3.6	완공
	영산강	농기공	20.0	8,630	2.79	1.00	"	30.0×6.6	8.0/3.2	완공
	우정	농기공	20.6	13,810	2.38	-1.50	"	24.0×6.0	2.5/8.0	완공
	홍성	농기공	16.1	1,856	4.48	1.30	"	15.0×4.6	5.8/6.3	완공
	보령	농기공	20.7	1,082	4.81	1.50	"	15.0×4.6	6.5/6.3	완공
	새만금가력	농기공	36.0	33,000	1.6	-1.50	"	30.0×4.0	5.0/6.2	공사중
	새만금신시							65.0×16.0		

방조제에서 수위차는 관리수위와 대조평균간조위 차이임

방조제에서 수위변화는 내수위변화(관리수위-사수위)/외조위변화(대조평균만조위-대조평균간조위)

6. 어도 이용

우리나라에서 댐에 설치한 어도의 이용에 관한 조사 자료는 완공된 댐의 어도가 없기 때문에 없다. 하구둑에 설치한 어도에 관한 자료는 1999년 농어촌진흥공사 농어촌연구원에서 하구에 설치한 어도의 이용에 관한 연구로 금강하구둑과 영암 방조제 통선겸용갑문식어도에서 조사한 자료가 있어 요약하면 다음과 같다.

금강 하구둑 계단식 어도

1998년 4월부터 1999년 11월까지 금강 하구둑 계단식 어도의 상단에서 조사된 어종은 총 30종, 6,857개체였으며, 이들은 눈불개, 강준치, 붕어 등 16종의 금강호 하류에 서식하는 1차담수어와 청멸, 웅어, 빙어, 뱀장어 등 11종의 주연성 담수어 및 뱀망이, 주둥치, 복섬 등 해산어 4종으로 구성되어 있다. 이들중 어도를 통하여 이동해야 하는 소하성어류는 뱀장어, 웅어, 빙어, 줄공치, 송어, 꺾정어, 미동정 뱀어류 등 7종이다

개체수로는 송어(30.2%), 전어(17.7%), 눈불개(15.8%) 순으로 많았다. 조사된 31종의 어류중에 눈불개, 강준치, 붕어 등 16종의 1차 담수어가 조사되고, 개체수도 전체의 32%를 차지하는 것은 배수갑문을 열 때 잘못 나간 담수어들이 어도를 통하여 다시 담수호로 들어가려는 것이다. 소하성 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.

조사 시기별 채집 개체수는 시기별로 큰 차이가 있으나 개체수가 늘어난 날은 여러 종이 골고루 늘어난 것이 아니고 어떤 한 종이 특별히 증가하기 때문이다.

영암호 갑문식어도

1999년 4월부터 11월까지 영암호 통선겸용갑문식어도에서는 줄공치, 웅어 등 25종 116,014개체를 채집하였다. 개체수로는 줄공치가 72,918 (62.8%)개체로 가장 많았고, 빙어 17,055(14.7%)개체, 웅어 19,858(17.1%)개체, 송어 5,435(4.7%)개체의 순이었다. 중량으로는 웅어 51%, 줄공치 35%, 빙어 7%, 송어 4%의 순으로 많이 채집되었다. 월별로는 1998, 1999년 모두 5월에 가장 많았으며, 4월부터 7월까지 주로 채집되고, 12월부터 2월사이는 거의 채집되지 않았다.

어종별로 소상하는 개체수는 <그림 5>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, 빙어와 송어는 7월에 대부분이 소상했는데 빙어는 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 개체수이고, %는 1회 채집 개체수를 총 채집개체수로 나눈 값임).

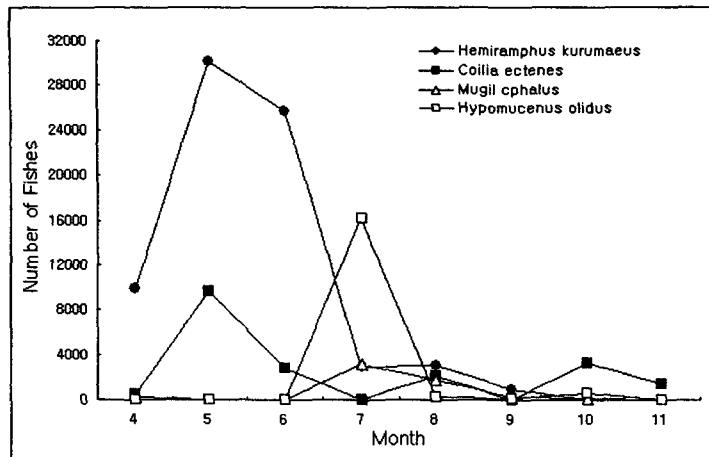


그림 5. 영암호 어도의 월별 어종별 채집 개체수

1일 최대 소상량은 줄공치는 5월 6일 시간당 25,468(80.2kg)개체가 소상하여 1일로 환산하면 611,232(1.9ton)개체이고, 웅어는 5월 10일 시간당 8,279(515kg)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 웅어 62.25g 적용).

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.

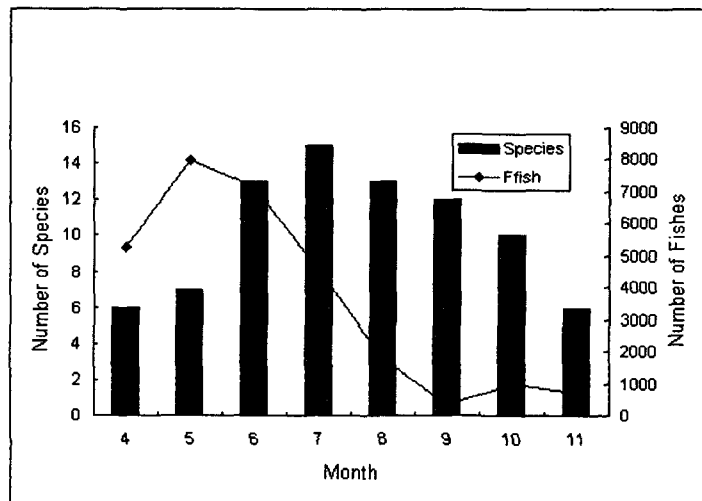


그림 6. 월별 1회당 채집되는 종수 및 개체수

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 참계등 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.

7. 문제점 및 개선방안

우리나라 댐에는 현재 어도를 설치한 곳이 없다. 다만 한전의 양양양수발전소 하부댐(높이 50m)에 Borland식 어도 1개소가 2004년 4월 완공 계획으로 공사중이며, 실시설계가 끝나서 시공할 것으로 한국수자원공사의 탐진댐 엘리베이터식 어도가 있고, 기본계획이 완성된 것으로 한국전력의 팔당댐 표준어도가 있으며, 어도의 타당성을 검토중인 것으로 한국수자원공사의 대청댐과 한탄강댐 등이 있다.

이와 같이 댐에 어도를 설치하지 않은 것은 1996년 말까지는 댐에 어도설치를 의무화하지 않았고 경제력도 없었기 때문이다. 1997년부터 2000년 말까지는 어도 설치가 의무화되었으나 어도를 설치해 본 경험도 없으며, 설계기준이나 지침도 없었기 때문에 설치하지 못했다. 그러나 우리나라에서 처음으로 어도를 설치하고 있는 양양양수발전소 하부댐어도는 기본계획이 1996년 이전에 수립되어 어도 설치가 의무화되지 않았으나 양양군과 수산관련자들의 문제제기로 1997년 어도를 설계하여 착공한 것이다.

2000년 12월에는 수산자원보호령이 다시 개정되어 어도를 설치하지 않을 수 있는 길이 열렸으나 양양댐에도 어도가 설치되었으며, 환경부의 환경영향평가 협의과정에서 어도 설치를 권장하였고, 1999년 가을에 감사원에서 어도 설치를 감사하였으며, 환경단체들의 문제제기로 현재는 어도를 적극적으로 검토하기에 이른 것이다.

1999년 감사원 감사결과 댐에 어도를 설치하지 않는 이유를 관련자들은 법으로 의무화되었는지를 몰라서, 설치비용이 과다해서 경제성이 없어서, 댐이 높아서 물고기가 이용하기 어려워서, 신설 댐의 아래에 어도가 없는 기존 댐이 있어 댐 설치 예정지에 회유성 어류가 회유하지 않기 때문에, 댐의 내수위 변화가 크기 때문에, 어도 유지수량이 없어서, 법으로 의무화하기 전에 댐을 착공해서 공사중에 어도를 추가하기 어려워서, 외국에서도 높은 댐에는 어도를 설치한 예가 없어서 등의 이유를 들어 어도를 설치하지 않고 있다. 그러나 이런 문제들은 좀더 적극적으로 검토하면 모두 해답을 찾을 수 있는 문제들이다.

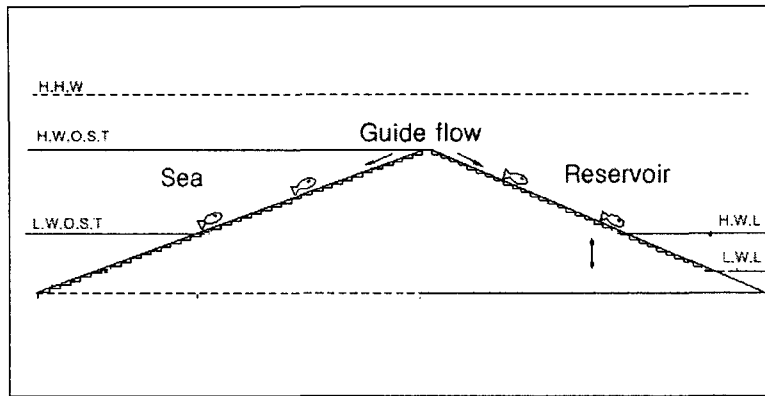


그림 7. 양면유하식 어도 개념도

우리나라 댐에 어도가 설치되지 않은 가장 중요한 이유는 댐 관련자들이 어도는 계단식이라는 관념이 있어 계단식으로 설치할 경우 수로의 길이가 길고, 댐을 관통해야 하며, 댐의 수위가 변화하는데 따른 가동계단식 등 공사비가 많이 들으므로 설치할 수 없다고 생각하는데 있다. 이렇게 어렵게 설치한 계단식어도 유영력이 약한 우리나라 어류들이 잘 이용하지 못할 것이 예상되어 경제적으로나 생태적으로 설치할 필요가 없다고 여겨왔다. 엘리베이터식, 블랜드식 등의 조작식으로 할 경우 공사비가 각각 5억원 내외와 30억원까지의 비교적 저렴하고 물고기의 유영력에 관계없이 모든 어종이 이용 가능하여 현재 검토되는 댐의 어도는 대부분 Operation type의 어도를 검토하고 있다.

대형방조제에는 대부분 어도를 설치하였으나 조석과 어류의 생태를 고려하지 못하여 초기에 설치한 금강하구둑, 해남방조제, 부사방조제, 시화방조제의 계단식어도는 여러 가지 문제가 있어 제대로 운영되지 못하고 있다. 이들 어도의 이용을 조사하여 문제가 있을 경우 갑문식어도 등으로 바꿀 필요가 있다. 바꿀 경우 금강하구둑, 시화 방조제는 통선문(Lock)이 있으므로 이를 이용하여 통선겸용갑문식 어도로 활용하면 적은 비용으로 갑문식어도를 하나 더 설치할 수 있다. 이렇게 바꾼 예로 어도가 없던 영산강하구엔에는 통선문에 2억원 정도의 적은 비용으로 유인수 공급장치를 추가하여 어도로 활용하고 있다. 통선문의 소음이 어류 소상에 문제가 된다고 말하는 사람들이 있는데 농업기반공사의 통선문들은 매년 10회(황중서 등, 1999)정도 이용하므로 1회 운영시간을 30분으로 보면 연간 통선에 필요한 시간은 5시간 정도에 불과하고 나머지 시간은 쓸데 없는 시설이기 때문에 통선문을 어도로 적극 활용할 필요가 있다.

하구엔에 설치하는 어도의 형식에 대하여는 우리나라에서는 갑문식어도가 가장 현실적인 것으로 볼 수 있다. 그 이유는 이용할 어종중 잉어, 황복, 줄공치 등이 유영력과 도약력이 약하여 계단식어도를 잘 이용하지 못하고 있으며, 댐의 어도와 달리 외조위와 내수위가 모두 변화하며, 간척을 위하여 방조제를 막은 경우 내수위가 EL-1.0m 이하이므로 외조위가 높은 시간이 많아 수

로식 어도를 설치할 경우 어도 갑문을 열수 없는 시간이 많고, 수로식어도의 경우 물고기의 이동이 가장 많은 만조 때는 바닷물의 유입을 방지하기 위하여 어도 문을 닫아야 하기 때문이다. 이런 조위 변화에 대응하기 위하여 계단식 어도를 만조위 이상까지 높이고 유인수를 양수하여 보내는 양면유하식어도(그림 7)도 고려하였으나 유인수를 따라 올라 정상까지 올라온 물고기가 호측에 설치된 수로를 따라 내려가야 하므로 주류성이 있는 소상기의 어류가 이용하지 않을 것이 예상되어 시행하지 않았다.

금강하구둑, 해남방조제, 부사방조제, 시화방조제 등 초기의 대형 방조제에는 계단식어도를 설치하였으나 위에서 말한 여러 가지 이유로 기능이 좋지 못하여 영암방조제부터는 당초 계단식으로 설계된 어도를 모두 통선문과 통합하여 통선겸용갑문식어도로 바꾸어 시공하였다.

이들 대형 방조제 외에도 아산방조제, 삽교방조제, 남양방조제 등 중소규모 방조제에도 어도를 설치하여야 한다. 평택에서는 아산호에 어도를 설치해 달라는 민원이 제기되었으나 미루고 있다. 이들 중소규모 방조제는 비록 유입하천의 크기는 크지 않지만 하구를 막았기 때문에 방조제 내외가 담수와 해수로 완전하게 분리되고 통로가 단절되기 때문이다. 이들 방조제에 어도를 설치할 경우 웅어, 줄공치, 뱀장어 등은 충분히 소상할 수 있고, 담수호에 이들이 들어와 산란할 경우 근해의 어류상을 바꿀 수 있다. 실제로 영암호, 금호호의 통선겸용갑문식어도를 이용하여 소상하여 담수호에서 산란 부화한 웅어가 영암호에서 우점종이며 장마철 이후 웅어가 바다로 내려가면 이를 먹기위하여 갈치떼가 몰려드는 것을 볼수 있다. 장마철 이후 초겨울까지는 영암 방조제 밖에서 하루 수백명씩 몰려 갈치낚시가 성행하여 방조제 인근에 낚시점이 20개소 정도 성업중이어 어도를 잘 설치하면 주변의 생태환경은 물론 사람의 생활에도 영향을 주는 것을 볼 수 있다.

그러나 막대한 예산을 들여서 잘 시공한 방조제의 어도들도 대부분 제대로 관리를 하지 않고 있다. 내부개답 공사중에는 방조제가 완공되고 어도가 있어도 어도를 전혀 가동하지 않는 곳이 대부분이며, 하구둑의 책임자가 어도에 과한 관심이 없으면 비용을 아낀다는 이유로 관리를 하지 않는 곳이 있고, 관리인들이 귀찮아서 운영하지 않는 예도 볼수 있다. 따라서 설치도 중요하지만 관리를 철저히 하여 어류들이 이용할 수 있게 해야한다. 어도가 운영되어 어류가 잘 이용할 수 있다해도 어도 상하류의 어류의 소상로에서 물고기를 잡는다면 어도의 효과가 반감하므로 어도 주변을 어로금지구역으로 지정해야 할 것이다.

참고문헌

1. 농어촌진흥공사. 1885. 한국의 간척. 농어촌진흥공사.
2. 농어촌진흥공사. 1997. 어도의 설계지침, 농어촌진흥공사 농어촌연구원. 188p.
3. 박상덕, 1999. 어도시설 표준모형 개발에 관한 연구. 해양수산부 연구보고서.
4. 전재경, 2001. 생태통로 복원을 위한 법적과제 -어도를 중심으로-, 연안한국2000. 428~432
5. 환경부, 1997. 제2차 자연환경 전국기초조사 지침. 환경부
6. 황종서의 5인. 1997. 양양양수발전소 1-4호기 설계기술용역 하부댐 어도설치 연구용역 보고서. 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 삼안기술공사. 173p.

7. 황중서, 1998. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발- 3장 어류, 양서류, 파충류, 포유류 특성-. 환경부 G7연구과제 보고서 3차년도, 43~91.
8. 황중서, 이승호, 허협. 1999. 하구에 설치한 어도 이용에 관한 연구. 농어촌진흥 공사 농어촌 연구원 연구과제 보고서. 185p.
9. 황중서, 2000. 농업기반시설의 어도 설치현황과 개선방안. 한국수자원학회지 33(2) 41~52
10. 황중서, 2000. 영암호 갑문식어도를 통한 어류의 회유. 한국수자원학회논문집 33(5) 561~568
11. 황중서, 2001. 우리나라 어도의 현황 및 개선방안. 연안한국 2000. 397~410
12. 황중서, 2003. 하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발(2차년도 보고서). 농업기반공사 농어촌연구원. 97~118
13. 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. 295~300
14. 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, Ocober 24-26, 1995. p.219~224.

Fishways on dams in Korea

Chong Seo HWANG

(Stream Corridor Restoration Laboratory, Korea)

1. Needs for Fishways

The diadromous fishes, such as sweet fish (*Plecoglossus altivelis*), eel (*Anguilla japonica*), Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*), etc., live in both rivers and seas depending on their life cycles. After installing dams or sea dikes at lower parts of a river, the diadromous fishes are unable to swim upstream beyond the structures; hence, they are exterminated in the upper part of the river. Likewise, the dams at the middle and the upper parts of a river alters the fish fauna because the construction disables the traveling of not only diadromous fishes but also potadromous fishes that travels back to the lower part of the river to cope with cold weather. Therefore, the fishways should be installed in order to minimize the detrimental effect of the dams and sea dikes to the river ecology.

According to the design guide for fishways published by Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation (KARICO), *the fishway is a structure that facilitates the upstream migration at impediments that disable or complicate upstream migration of fishes and shellfishes* [1]. However, the definition has undergone several revisions since the introduction of fishways in Korea. Long ago, the fishway was defined as a *waterway* that enables the upstream migration of the fishes that cannot swim to the upper part of the river because waterways were usually constructed when weirs and cascades at the river blocked the upstream migration of fishes. Later, many dams are constructed at rivers and the conventional channel type fishways are no longer appropriate for the larger structure; thus, new types of operation type fishways, such as Elevator type, and Borland fishlock, are introduce. In order to include such operation type fishways, the definition of the fishway is broaden from the *waterway* to the *structure*. In addition, the early definition of the fishway only considered the migration of fishes, but current definition incorporates the migration of other river animals, such as *Eriocheir sinensis* (crab), *Semisucospira bensoni* (Mollusca).

2. Laws and ordinances related to fishways

In Korea, the installation of fishways was first legally specified at the Para. 2 of Art. 12 of the aquatic product protection law in July 1971, which reads ‘Those who construct artificial structures blocking the river flow should consult the Ministry of Maritime Affairs & Fisheries and either open part of the blockage or install a fishway in order to enable the migration of fishes.’ Since the construction of the fishways at dams is very difficult and often not profitable, the law was amended to exempt the fishway for dams in July 1976. Although the installation of fishways was obliged again in Dec. 1996 by removing the clause specifying the exemption of the fishways at dams, no fishways were constructed in Korea. In 2001, the law was amended to specify that the fishway should be installed at weirs and reservoirs whose height is shorter than 15m, but the taller dams are not obliged to install the fishways when the spawning pools are constructed at upper part of the river.

At article 31 of the law, the fine for not installing fishways is set to be ₩3,000,000 (\$2,700). However, the article has not been enforced yet because the regulation for enforcing the law is not detailed. Currently, the Ministry of Maritime Affairs & Fisheries ordered Korea Water Resources Cooperation (KOWACO) to research how to detail the regulation; thus, after specifying the regulation, Ministry of Maritime Affairs & Fisheries will be able to enforce the law to those who construct structures that blocks river stream.

The guide of designing the fishways published by Ministry of Construction & Transportation reads ‘the objective of installing the fishway is to keep the river condition suitable for the fishes in order to preserve the aquatic resources and natural ecosystem.’ Specifically, it states that main reason for the construction of the fishways at dams is not to preserve the aquatic resources but to preserve the natural ecology; thus, it specifies that the fishways at dams should be designed to enable the migration of every possible migratory fish including not-profitable ones. In this clause, it is clearly expressed that the installation of fishways at dams is based on not only economic reasons but also ecologic ones.

Dr. Jaekyung Chun at Korea Legislation Research Institute suggested that the fishway might be regarded as an eco-corridor that is specified at Natural Ecology

Protection Law of Ministry of Environment [9]. The Para. 9 of Art. 2 of Natural Ecology Protection Law reads that 'Eco-corridor is artificial structures that preserves inhabitation and migration of wild life after introducing roads, dams, weirs, sea dikes, and so on.' In Item 4 of Para. 2 of Art. 6 of Natural Ecology Protection Law, it is stated that the biological diversity should be preserved by realizing alternative natural spaces, and eco-corridor; and by improving the ecological health at mountains, rivers, islands, wet lands, and oceans. As a result, the design of fishways should consider more on the ecological impacts than the economic interests from now on.

3. Animals utilizing fishways

Among 170 freshwater fishes living in Korea [4], three different kinds of fishes requires the fishways: The diadromous animals such as *Plecoglossus altivelis* , *Anguilla japonica* , *Tribolodon hakonensis* ; Potadromous fishes such as *Zacco platypus* , *Brachymystax lenok* ; and those that are swept out to the sea upon opening the gates at dams or sea dikes such as *Carassius auratus* , *Cyprinus carpio* , *Erythroculter erythropterus* . The fishes that are collected at fishways are summarized in Table I. We also verified that crustaceans such as *Eriocheir sinensis* (crab) etc, which travels between the sea and the river also use the fishways.

Table 1. The list of animals collected at fishways [2][3]

Habitats	Collected fishes at fishways	Expected beneficiary fishes
Anadromous fishes	<i>Coilia ectenes</i> , <i>Hypomesus olidus</i> , <i>Fugu ocellatus</i> , <i>Tribolodon hakonensis</i> , <i>Gasterosteus aculeatus</i>	<i>Oncorhynchus keta</i> , <i>O. masou</i> , <i>Lampetra japonica</i> , etc.
Catadromous fishes	<i>Anguilla japonica</i> , <i>Trachdermus fasciatus</i> , <i>Chaenogobius urotania</i> , <i>Eriocheir sinensis</i> (crab)	
Amphidromous fishes	<i>Plecoglossus altivels</i> , <i>Mugil cephalus</i> , <i>M. haematocheila</i> , <i>Konosirus pungtatus</i> , <i>Hemiramphus kurumeus</i> , <i>Acanthogobius ommaturus</i> , <i>A. flavimanus</i> , <i>A. hasta</i> , <i>Fugu niphobles</i> , <i>Triaenopogon barbatus</i>	
The fishes that are swept out to the sea upon opening the gates.	<i>Carassius auratus</i> , <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Erythroculter erythropterus</i> , <i>Acanthorhodeus gracilis</i> , <i>Hemiculter eigenmanni</i> , <i>H. leucisculus</i> , <i>Aphycypris chinensis</i> , <i>Zacco platypus</i> , <i>Oryzias latipes</i> , <i>Hemibarbus labeo</i> , <i>Opsariichthys bidens</i> , <i>Squaliobarbus curriculus</i> , <i>Squalidus chankaensis</i> , <i>Gobiobotia naktongensis</i> , <i>Microphysogobio tungtingensis</i> , <i>Pseudobagrus fulvidraco</i> , <i>Leocassis nitidus</i> , <i>Macropodus chinensis</i>	Most of the fishes at the lake
Potadromous fishes	<i>Zacco platypus</i> , <i>Z. temmincki</i> , <i>Carassius auratus</i> , <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Pseudorabora parva</i> , <i>Microphysogobio yaluensis</i> , <i>Hemiculter leucisculus</i> , <i>Rhinogobius giurinus</i> , <i>Acheilognathus koreensis</i> , <i>Hemibarbus longirostris</i> , <i>Sarcocheilichthys variegates wkiyae</i> , <i>Pungtungia herzi</i> , <i>Squalidus gracilis majimae</i> , <i>Pseudobagrus</i> sp. <i>Coreoperca kawamebari</i> , <i>Semisucospira bensoni</i> (Mollusca), Aquatic insect	Most of the fishes living near dams such as <i>Coreoleuciscus splendidus</i> , <i>Oncorhynchus masou</i> , <i>Brachymystax lenok</i> , and so on.

4. The types of fishways

Nakamura classifies fishways into three categories: pool type, channel type, and operation type [5]. Brief summary on each type of fishways are provided as follows:

4.1 Pool Type Fishway

Pool type fishway consists of a number of pools connected similarly as the ladders. Three different types of fishways belong to this category. Firstly, fishes swim through stream between partitions in ladder types. Secondly, there are notches at each side of

the partition in iceharbor type. Finally, in vertical slot type, fishes migrate through a vertical gap in the partition. In Korea, most of the fishways at weirs belong to pool type; however, there has not been a pool type fishway at dams, and a vertical slot type fishway is planned to be installed at Paldang dam.

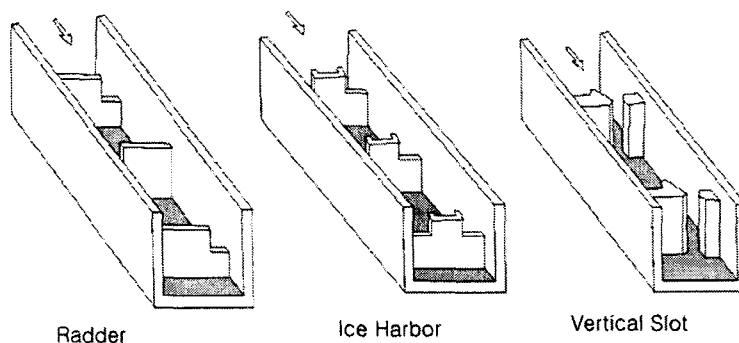


Fig. 1. Pool type fishways

4.2 Channel Type Fishway

In order to facilitate the upstream migration, the water speed through a channel is reduced in channel type fishways. Depending on the mechanism of reducing the water speed, there are three types in channel type fishway. In Denil type, several current planks are installed through the channel, which has not been built in Korea. When the channel is very steep, a number of baffles are employed to reduce the inclination, which is called a baffle type fishway. Many of baffle type were used in rivers at eastern part of Korea, such as Oshibchun in Samchuk, and Namchun in Kansung, but they are all replaced with ladder type fishways after a severe flood in the rivers in 2002. An artificial river having much lower water speed can be employed as a fishway, which is called a artificial stream type fishway. In Korea, such a fishway is planned to be constructed at Chamshil weir, and a 10km long artificial river, which connects lower part of the river to the upper river directly, is also planned at Pirica dam in Japan.

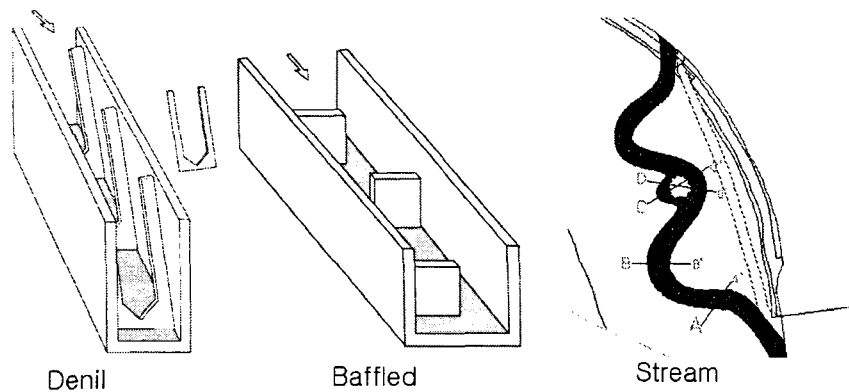


Fig. 2. Channel type fishways

4.3 Operation type fishway

When a structure, for example a dam, is so tall that the channel type fishway is unable to provide enough upstream migration, the operation type fishway should be employed. In lift type fishways, a container having fishes are lifted using a rail installed along the side of the dam, and the fishes are poured into the reservoir; similarly, an elevator can be used instead of lift in elevator type fishway. Like navigation lock for ships, a lock chamber with gates, called fish-lock, are built for fishes where the gates at each end of the lock chamber are open and closed alternately to adjust the water level for fishes to migrate upstream successfully. As the height of a structure increases, the size of the gate cannot be increased indefinitely; thus, a lower pool and an upper pool are connected with a shaft in Borland type fishway where two gates at each end of the shaft controls the water level at the shaft similarly to the fishlock. All of these operation type fishways are sometimes called the elevator type one.

The operation type fishway provides four key advantages: it provides the migration path for every fish regardless of swimming and jumping abilities; it can be used even when the water flow from the dam is very small; it can be operated at both tides at the sea dikes; and it can be built at a very tall structures, such as dams. However, its operation requires high cost because of the artificial movement of the gates.

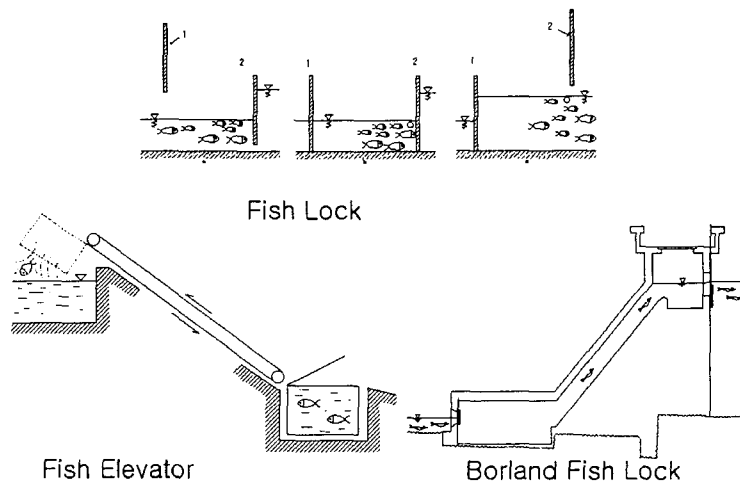


Fig. 3. Operation type fishways

For dams with approximately 20m height, Boland type fishways and ladder type fishways are used in England, respectively. In France, elevator type fishways are built instead of ladder type when the ladder type fails to provide migration path there. In western coast of USA, most of the fishways at dams are ladder type because the target fishes, Chinook salmon and Steel head, have strong ability of swimming. However, elevator type fishways are widely built at eastern coast because those fishes migrating through the fishways are usually small ones such as Shad [16].

5. The present condition of fishways at dams and sea dikes in Korea

In Korea, fishways have not been installed at dams. In Yangyang dam, a Borland type fishway is under construction, which is scheduled to be finished in Apr. 2004. A elevator type fishway is designed to be constructed at Tamjin dam operated by KOWACO, and a vertical slot type fishway is planned to be located at Paldang dam designed by KHNP. In addition, KOWACO is researching on the installation of the fishways at Daechong dam, and Hantangang dam.

Besides dams, many fishways have been installed at the following sea dikes: ladder type fishways at Nakdonggang and Shihwa by KOWACO; ladder type fishways at

Kumgang and Haenam by KARICO; navigation lock type fishways at Yungam, Kumho, Yungsangang, Seokmum, Wujung, Boryung, and Hongseong by KARICO. In addition, two navigation lock type fishways are under construction at Karyuk lock, and Shinshi lock in Saemankum.

Table 2. The present condition of fishways at dams in Korea

Type	Name	Operator	Dam				Fishway			Construction progress
			Height m	Length m	Water level difference m	Management Water Level EL. m	Type	Dimension L.×W., m	Water level change m	
Dam	YanYang	KEPCO	53.0	250	47.1	121.5	Borland	105.2×2.0	6.5/d	To be completed in Mar. 2004
	Tamjin	KOWACO	53.0	403	41.0	82.0	Elevator	-	27.0/y	Design
	Paldang	KHNP	29.0	575	19.0	25.5	Vertical slot	320.0×3.0	1.5/y	Planning
Sea dike	Nakdong	KOWACO	12.0	2,400	1.27	0.50	Ladder	20.5×1.8	2.0/1.4	completed
	Shihwa	KOWACO	27.1	12,676	2.95	-1.00	Ladder	38.0×5.0	4.0/7.9	completed
	Haenam	KARICO	19.7	1,870	1.34	-0.5	Ladder	16.0×6.0	3.5/3.2	completed
	Kumgang	KARICO	16.6	1,127	4.63	2.00	Ladder	78.0×9.0	5.0/5.5	completed
	Yungam	KARICO	32.3	2,219	0.46	-1.45	Lock	30.0×6.6	4.9/3.6	completed
	Kumho	KARICO	28.1	2,120	0.36	-1.55	Lock	30.0×6.6	4.8/3.6	completed
	Yungsan	KARICO	20.0	8,630	2.79	1.00	Lock	30.0×6.6	8.0/3.2	completed
	Wujung	KARICO	20.6	13,810	2.38	-1.50	Lock	24.0×6.0	2.5/8.0	completed
	Hongsung	KARICO	16.1	1,856	4.48	1.30	Lock	15.0×4.6	5.8/6.3	completed
	Boryung	KARICO	20.7	1,082	4.81	1.50	Lock	15.0×4.6	6.5/6.3	completed
	Karyuk, Saemankum	KARICO	36.0	33,000	1.6	-1.50	Lock	30.0×4.0	5.0/6.2	Under construction
	sinsi, Saemankum							65.0×16.0		

Water level differences in the tide embankment is the difference between the management water level and the L.W.O.S.T. Water level change in the tide embankment is the ratio of (management water level-dead water level) to (H.W.O.S.T-L.W.O.S.T)

In table 2, we listed the major fishways at dams and sea dikes in Korea. According to Art. 22 of River law, the height of a dam should be above 15m; thus we excluded ladder fishway at Busa sea dike, and navigation lock type fishway at Seokmoon because their height is only 13m. However, the fishway at Nakdong barrage is included in the list even if the height is less than 15m because the Nakdong valley covers about 25% of South Korea.

According to Fig. 3, the number of fishways at dams and sea dikes are 16 including the two at Nakdonggang. Half of the fishways are navigation lock type fishways and the remaining fishways consist of five ladder-types, an elevator type, a Borland type, and a vertical slot type [6]. Classifying according to the management method, 63% of the fishways are operation type such as elevator type, Boland type and navigation lock type, and the remaining 37% are pool type. The reason that the majority of the fishways are operation type is that most of the fishways are built at high dams and sea dikes saving huge difference and change in water levels. In other countries, the fishways at dams are also mostly operation types, and many of the old fishways are replaced with operation types.

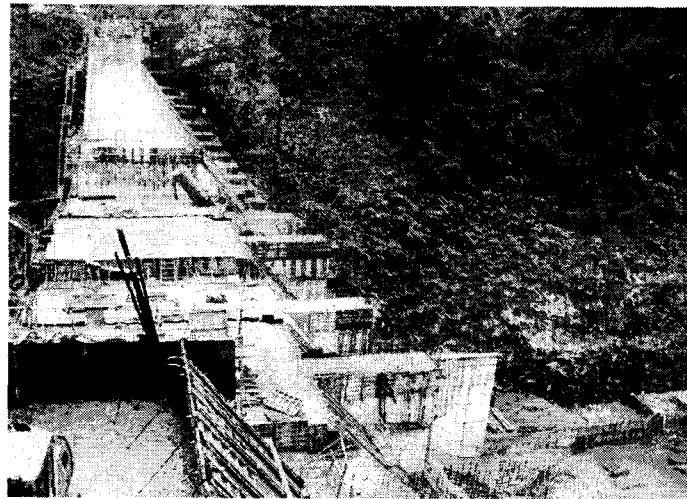


Fig. 4. Borland fish lock at Yangyang dam under construction

6. The use of fishways

The research on the use of fishways is limited to those at sea dikes because there has been no fishways at dams in Korea. The use of fishways at Kungang and Yungam dikes is researched by KARICO in 1999 and the following is the summary of the research [2].

6.1. Ladder type fishway at Kumgang

From Apr. 1998 to Nov. 1999, 6,857 fishes are caught at the top of the ladder type fishway at Kumgang, which are classified into 16 species of primary fresh-water fishes such as *Squaliobarbus curriculus*, *Erythroculter erythropterus*, *Carassius auratus*; 11 species of peripheral fishes such as *Coilia ectenes*, *Hypomesus olidus*, *Anguilla japonica*; and 4 species of sea-water fishes such as *Harengula zunasi*, *Leiognathus nuchalis*, *Fugu niphobles*. Among 30 species, there are 8 diadromous fishes such as *Anguilla japonica*, *Coilia ectenes*, *Hypomesus olidus*, *Hemiramphus kurumeus*, *Mugil cephalus*, *Trachdermus fasciatus*, *Acanthogobius hasta*, unidentified ice-fish, which requires fishways to migrate to upstream.

The most frequently caught fishes were *Mugil cephalus* (30.2%), *Konosirus pungtatus* (17.7%), *Squaliobarbus curriculus* (15.8%) which account about two thirds of the samples. Among 31 species, 16 fresh-water species that account for 32% of the samples are caught at the fishway because they were returning to the fresh-water after going out to the sea through the lock gate by mistake. About 61.9% of the samples were diadromous fishes and most of them were *Mugil cephalus*, *Konosirus pungtatus*, and *Coilia ectenes*. The remaining ones are sea-water fishes such as *Leiognathus nuchalis* that travels to the fresh-water by mistake. The number of samples varies with experiments, which is incurred by the increase of a particular species at the sampling instance.

6.2. Navigation lock type fishway at Yungam

From Apr. 1999 to Nov. 1999, we sampled 116,014 fishes with 25 species. The majority of the fishes were *Hemiramphus kurumeus*, which accounts 62.8% of the samples. Also, *Hypomesus olidus*, *Coilia ectenes*, *Mugil cephalus* were the other three of most frequently sampled species, which account for 14.7%, 17.1%, and 4.7% of the samples, respectively. Sorting the species in the order of weight, *Coilia ectenes*, *Hemiramphus kurumeus*, *Hypomesus olidus*, and *Mugil cephalus* were responsible for 51%, 35%, 7% and 4% of the total weight of the samples. Most of the fishes were caught from Apr. to July.

In Fig. 5, the numbers of migrating fishes were illustrated. Most of the *Hemiramphus kurumeus* migrates from May to June, which is peaked at May 6 (25,469

fishes, 35%), and most of the *Coilia ectenes* travels in May with the peak at May 10 (8,279, 54%). Similarly, most of the *Hypomesus olidus* and *Mugil cephalus* migrates in July with different peak at July 20 (10,743 fishes, 66%), and July 15 (2,324 fishes, 47%), respectively. The number in the parenthesis means the number of migrating fishes per hour, and % means the number of fishes at a particular experiment divided by the total number of samples.

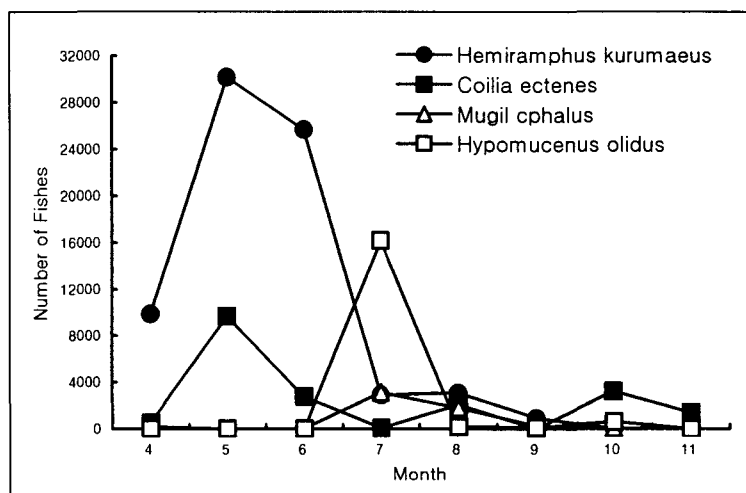


Fig. 5. Number of fishes caught at Youngam fishlock

The maximum numbers of daily migrating samples were 611,232 (1.9 ton), and 198,696 (12.4 ton) for *Hemiramphus kurumaeus* and *Coilia ectenes*, respectively, where the weights are measured at the sampling data, which are 3.15g and 62.25g for *Hemiramphus kurumaeus* and *Coilia ectenes*, respectively.

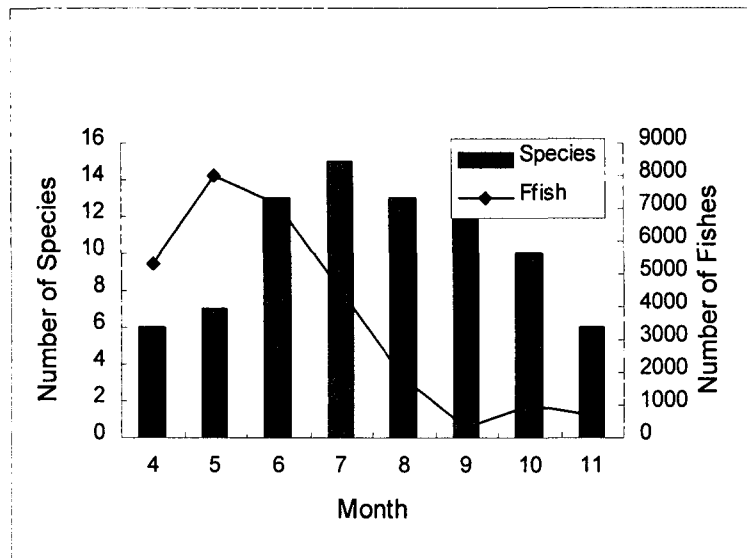


Fig. 6. Collected fish species and fishes at Youngam fish lock.

From Apr. to Nov., 3,742 fishes were sampled per one-hour experiment in the average; thus, 44,900 fishes are predicted to use the fishway daily. However, the number of migrating fishes differs in the tides, and the hour, which is not considered in the experiments.

In 1995, Masahiro Sumiya, et al, researched on the use of fishways at Nagara river, Japan, which samples about 20 species of 828 fishes, and most of them were primary fresh-water fishes that return to the fresh-water after going out to the sea through the lock gate by mistake because the fishway at Nagara river is a ladder type in which only fishes having good ability to swim can migrate.

However, most of the fishes caught at Yungam fishway were diadromy, which clearly indicates that the fishway at Yungam can be used regardless of the ability to swim.

7. The challenges and the solutions

In Korea, fishways have not been constructed at dams. In Yangyang dam, a Borland type fishway is under construction by Korean Electric Power Corporation (KEPC),

which is scheduled to be finished in Apr. 2004. An elevator type fishway is designed to be constructed at Tamjin dam operated by KOWACO, and a vertical slot type fishway is planned to be located at Paldang dam designed by KHNP. In addition, KOWACO is researching on the installation of the fishways at Daechong dam, and Hatangang dam.

The reason that the fishways have not been installed at dams is the lack of law that obligates the construction. From 1997 to 2000, the law was revised to oblige the fishways at dams, not many dams were constructed during that period because there are not any standard procedure for design and construction of fishways. Only fishway at Yangyang dam were being built at that period not because of the law but because of the complaints from the government and fishers at Yangyang.

After the amendment of aquatic product protection law, there has been ways not to install the fishways. However, the construction of fishways are being positively considered nowadays due to the following causes: the ministry of environment recommended the consultation of fishways during evaluating the effect to the ecology; the Board of Audit and Inspection of Korea (BAIK) inspected the construction of fishways in 1999; and many environmental NGO are complaining on the lack of fishways in major constructions.

During the inspection from BAIK, the reasons for not installing the fishways were as follows: the lack of knowledge on the law which obligates the construction of fishways; low profitability of the construction due to the excessive cost of building the fishways; the presence of another dam at the lower river which prevents the migration of the fishes; the huge difference in the water level inside dam; the lack of water for operating the fishway; the difficulty of adding fishway because the construction started before the law obliges the installation of fishways; and the absence of foreign examples of building the fishways at dams. However, most of the excuses are not plausible because the solutions are available after careful analysis of the problems.

One of the main reasons for the absence of fishways at dams is the misconception that the fishway should be built in ladder type that requires long waterway, penetrates the dam, and is vulnerable to the difference in the water level inside the dam. Although these constraint may requires huge amount of construction cost, it was predicted that the Korean fishes could not use it due to the lack of swimming ability; as a result, the installation of fishways is regarded as unnecessary in both economical and ecological

senses. However, the use of operation types, such as elevator type and Borland type, reduces the cost significantly to around 0.5 billion Won (\$0.4 million) and 3 billion won (\$2.5 million), respectively, and the fishes with least swimming ability can use such a fishways; thus, most of the fishways being built currently are operation types.

Fishways are built at the most of the major barrages, but the early ladder type ones at Kumgang, Haenam, Busa, and Shihwa are not operating properly because the design does not consider the tides and the ecology of the fishes. If the problem in operation is too severe after careful analysis, it is recommended that the ladder type one should be replaced with navigation lock type fishway. Upon the replacement, the existing navigation locks at Kumgang and Shihwa can be used as a navigation lock type fishway by installing a few equipments, which requires extremely small budget. For example, the cost of installing guide water pipe to the navigation lock in Yungsan sea dike was 0.2 billion won (\$160K). Some one complains that the noise of ships using navigation lock disturbs the migration of fishes through the fishway, which in fact does not significantly affects the migration because annual use of the navigation lock by ships was only ten time in 1999. Assuming that a ship travels the lock for 30 minutes per each use, annually, only 5 hours are used and the lock is not utilized at all for the most of the times; thus, the use of the navigation lock for fishways should be positively considered.

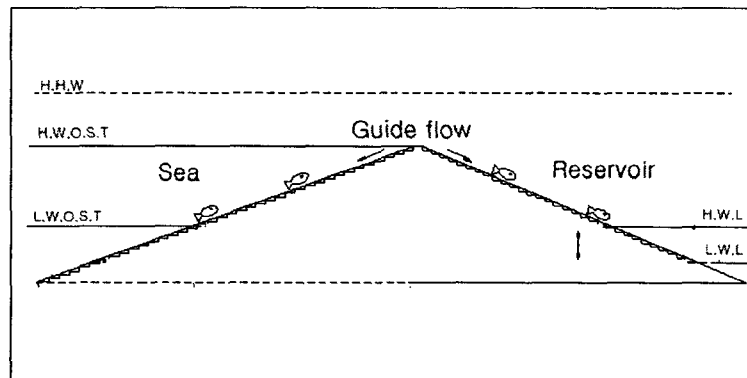


Fig. 7. A fishway containing guide flows at both the up stream and down stream

For the fishways at sea dikes in Korea, the navigation lock type is the most realistic one because of the following reasons: the migrating fishes such as *Coilia ectenes*, *Fugu ocellatus*, and *Hemiramphus kurumeus* cannot use the ladder type fishways due to the lack of the ability to swim and jump; the difference of the water level both inside and outside the dikes; the water level inside the dike is lower than that outside dike, so the lock cannot be opened for the most time when the waterway type is installed; and the lock of waterway type fishway should be closed to prevent inflow of sea water during high tide when most of the fishes migrates. In addition, the fishway containing guide flows at both the up stream and down stream in Fig. 7, which has ladders upto the highest water level and emits fresh-water at the top, is also considered, but it was not installed because the downward waterways toward the lake prevents the migration of the fishes which have instinct to swim upward. In fact, due to the failure of the ladder type fishways at Kumgang, Heanam, Busa, and Shihwa, the fishway at Yungam was built with navigation lock type, which had been originally designed with ladder type one.

Besides large sea dikes, smaller ones such as Asan, Sapkyo and Namyang should have fishways in the future. For example, there was complaint from Pyungtak to build a fishway at Asan, but the local government is delaying the decision. These smaller sea dikes does not have large incoming rivers but they completely separate the freshwater from the sea water, thus block any migration from sea to the lake. If the fishways are built at these smaller barrages, *Coilia ectenes*, *Hemiramphus kurumeus*, *Anguilla japonica* would be able to migrate toward the lake, and changes the ecology at the neighboring sea. For example, *Coilia ectenes* became the major species at Yungam, and Kumho lake after building navigation lock type fishways, and we can observe many hair tail (*Trichiurus lepturus*) which eats *Coilia ectenes* that come back to the sea after rainy season. As a result, the hair tail fishing becomes very popular at Yungam barrage and about 20 fishing shops opens after the introduction of the fishway, which indicates that the fishway also affects the human lives.

However, the poor managements of the expensive fishways are very common mistakes in Korea. For example, not many fishways are operational at barrages under construction in order to save money or due to the lack of interest in fishways. In addition, the fishing around the fishways should not be allowed because the effect of fishways is diminished significantly even if the fishway is operating correctly.

References

- [1] Rural Development Corporation, *Guide of Design of Fishways on weir. Rural Development Corporation*, Rural Development Corporation Rural Research Institute, 1997.
- [2] Chong Seo Hwang, Seung Ho Lee, Hyub Hur, *A Study on the Migration through Fishways in Korean Estuaries*. Rural Development Corporation Rural Research Institute. 1999.
- [3] Chong Seo Hwang, *Development of Ecological Corridor specially a Fishway in the Channel, 2nd yr. Report*, Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation Rural Research Institute, pp. 97~118, 2003.
- [4] Ministry of Environment, *The second guide for national natural ecology census*, Ministry of Environment, 1997.
- [5] Shunroku Nakamura . "Historical Review of Fishway Research," *Proceedings of the international symposium on fishways '90 Gifu Japan*, pp. 295~300, 1990.
- [6] Sang Deok Park, *A Study on the Standard Type of Fishways*, Ministry of Maritime Affairs & Fisheries, 1999.
- [7] Rural Development Corporation, *Tideland Reclamation in Korea*, Rural Development Corporation, 1985.
- [8] Masahiro SUMIYA, Kouji SASAKI, Minoru WATANABE, " Design of Nagaragawa Estuary Barrage Fishways and States for fish to Travel up the Fishways -Specially, the Fish Ladder with Guide Flow," *Proceedings of the International Symposium on Fishways '95 in Gifu Japan*, pp. 219~224, Oct. 24-26, 1995.
- [9] Jae Kyung Chun, *The legal issues relating to the reconstruction of ecological corridors - fishways*, Coastal Korea, pp. 428~432, 2001
- [10] Chong Seo Hwang, et. al., *Report on the construction of fishways at lower dam of Yangyang Pumping hydropower station*, Rural Development Corporation Rural Research Institute, Saman Engineering Consultants Co. Ltd., 1997.
- [11] Chong Seo Hwang, "Development of close to nature river improvement techniques adapted to the Korean stream.- Chapter 3. Fishes, amphibians, reptiles and mammals", *3^d annual report on the G7 research project sponsored by Ministry of Environment*, pp. 43~91, 1998.

- [12] Chong Seo Hwang, "Fishway Status of Agricultural Weir and Improvement Scheme in Korea," *Journal of Korea water resources association*, vol. 33, No. 2, pp. 41 ~ 52, 2000.
- [13] Chong Seo Hwang, "The fish migration through the fishlock at Youngam lake," *Journal of Korea water resources association*, Vol.33, No.5, pp. 561 ~ 568, 2000.
- [14] Chong Seo Hwang, "Fishway Status and Improvement Scheme in Korea," *Coastal Korea 2000*, pp. 397 ~ 410, 2001.
- [15] Chong Seo Hwang, *Development of Ecological Corridor specially a Fishway in the Channel, 2nd yr. Report*, Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation Rural Research Institute, pp. 97 ~ 118, 2003.
- [16] Hara, *Elevator type Fishways in Europe and America. Proceedings of a Symposium on Fish Facilities at Dam. Water Resources Environment Technology Center Japan*, pp. 19 ~ 48, Oct. 1992.