

동해안 지역 어도시설 및 관리

박상덕 (강릉대학교 토목공학과 부교수)

1. 서론

우리나라의 동해안 지역은 남북으로 뻗은 태백산맥이 동쪽으로 치우쳐 있어 유역의 폭이 좁고 급한 유역 경사면으로 이루어져 있다. 또한 동해안 지역의 하천은 상류의 급경사면과 깊은 계곡으로부터 유출된 물의 수온이 낮고 청정하여 은어, 송어, 산천어, 열목어, 황어와 같은 냉수성 어류의 서식지이기도 하고, 해양에서 성장하였다가 산란을 위하여 모천으로 회유하는 연어의 산란지이기도 하다. 이 중에서 연어와 은어는 내수면 어업에 따른 경제적 가치 또한 큰 어종이다.

동해안 지역 하천 중하류 유역은 퇴적지형으로서 비교적 완경사인 저평지이다. 이 지역 하천에는 하천 제외지에 산재한 중소규모의 농경지에 필요한 농업용수를 공급하기 위하여 많은 취수보가 설치되어 있다. 이 취수보들은 대체로 보의 높이가 큰 편이다. 이러한 취수용 보와 같은 수공구조물의 건설은 필연적으로 하천의 상하류간 수생생태환경 교란을 초래하게 된다. 즉 회유성 어류의 소상이 거의 불가능해짐에 따라 어류의 산란을 위한 이동환경 파괴로 어류의 개체수가 감소하여 수산자원 격감을 일으킬 수도 있다. 따라서 하천 수생생태 환경의 파괴를 최소화 하기 위하여 하천 횡단 수공구조물 건설시 어도시설을 법으로 규정하고 있다. 그러나 어도의 중요성이 수산자원의 보호라고 하는 경제적인 측면에서 뿐 만아니라 하천 환경 보전이라고 하는 환경측면에서도 크게 인식되지 못하였던 것이 현 실정이다. 따라서 여기서는 우리나라의 대부분 어도가 동해안 지역에 위치하고 있으므로 이 지역 어도시설의 특성과 그 관리실태를 조사분

석하므로써 취약한 상태에 있는 우리나라의 어도에 대한 기본자료를 삼고자 한다.

2. 동해안 지역 하천

2.1 수문학적 특성

한반도의 동해안쪽으로 치우쳐있는 태백산맥의 영향으로 영동지역과 영서지역에는 지형적인 특성과 수문기상학적인 특성에 현격한 차이를 나타나고 있다. 바다로 유입하는 이 지역의 19개 주요 하천을 살펴보면 표1과 같다. 유역면적이나 총유로 연장으로 볼 때 최대하천은 양양 남대천으로서 본류길이는 54km 이고, 삼척오십천, 강릉남대천, 연곡천, 마음천의 순이다. 유역면적이 100 km² 를 넘는 하천이 9개이다. 이 자료들은 1:50,000 지형도에서 구한 것이다.

동해안 지역의 평균면적 강수량은 강릉남대천 1488.7 mm, 양양남대천 1426.4 mm, 삼척오십천 1301.1 mm, 동해안 1365.8 mm 로 우리나라의 평균면적 강수량 1274.4 mm에 비하여 많다. 그 특성을 보면 영동지역 중부가 가장 많고 남부가 가장 적은 분포를 나타내고 있다. 시간적 특성을 보면 하계인 6월부터 9월의 비율이 대략 62%이하를 나타내고 있다. 특히 강릉남대천 유역은 동해안 지역의 다른 유역과 비교하여 동계의 강수 비율은 11.6%로 비교적 높고 하계에는 60.5%로 낮으며, 동계에 눈이 많이 내리는 지역이다. 동해안 지역은 지형적 특성으로 인하여 하계에는 집중호우, 동계에는 대설이 자주 발생하고 있다. 동해안 지역은 태백산맥을 따라 설악산, 오대산, 청옥산등과 같은 대규모 산이 있고 해안을 따른

표 1. 동해안 지역 주요 하천의 특성

구분 하천명	유역면적 (k ²)	본류하천 연장(km)	총유로 연장(km)	하천밀도	유역폭 (km)	형상계수	하천차수
양양남대천	474.8	54.0	353.5	0.745	8.79	0.163	5
삼척오십천	394.7	56.8	307.0	0.778	6.95	0.122	5
강릉남대천	256.1	31.2	275.0	1.074	8.21	0.263	5
연곡천	163.8	27.0	101.5	0.620	6.07	0.225	4
마음천	149.3	29.5	117.0	0.784	5.06	0.172	4
북천	139.6	24.5	112.0	0.802	5.70	0.233	4
가곡천	124.2	38.5	197.5	1.590	3.23	0.084	5
전천	121.5	18.0	92.0	0.757	6.75	0.375	4
주수천	101.0	18.5	80.0	0.792	5.46	0.295	4
호산천	63.7	19.0	54.0	0.848	3.35	0.176	4
사천천	51.0	17.0	34.0	0.667	3.00	0.176	3
남천	48.1	16.0	36.0	0.748	3.00	0.188	3
배봉천	47.4	11.0	43.0	0.907	4.31	0.392	3
신리천	42.0	15.5	28.5	0.679	2.71	0.175	3
추천	41.2	12.0	22.0	0.534	3.43	0.286	3
문암천	40.5	14.5	32.0	0.790	2.61	0.193	3
용촌천	35.1	14.0	35.0	0.997	2.51	0.179	4
천진천	34.8	13.0	35.0	1.006	2.68	0.206	3
화상천	31.4	10.1	17.6	0.561	3.11	0.308	3

평탄지역과 바다가 연하여 있어서 동해안 지역의 폭이 작음에도 불구하고 기상특성의 국지적, 시간적 변화가 매우 심하다.

동해안 지역의 강수원인은 해안지역, 태백산맥 산간지역, 울진·태백지역이 서로 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 해안지역보다는 산맥의 정상에 있는 대관령 지점이 지형성 강수가 강하고, 영동지역이 울진·태백지역에 비하여 지형성 강수 많다고 할 수 있다. 이는 지형성 강수의 원인이 되는 바다로부터 유입하는 북동기류의 영향이 울진·태백에는 약화된 것을 의미하며, 대관령에 지형성 강수가 해안지역보다 강한 것은 태백산맥에 가로막힌 북동기류가 강제 상승하는데 따른 것이라고 할 수 있다.

동해안 지역의 유출계수는 우리나라의 다른 지역보다 클 것으로 판단되나 이 지역의 유출계수는 양양남대천 하류부 양양교 지점에서 조사된 것이 유일하며 0.665로 나타나 있다.

2.2 어류생태 특성

하천의 어류를 분류하는 방법은 계통분류법과 생태학적 분류법으로 크게 나눌 수 있다. 계통분류법은 전통적인 생물분류법으로 진화상의 친인척 관계를 바탕으로 속, 과, 목등으로 표시한다. 생태학적 분류법은 어류의 생활방식에 착안한 것으로서 유영어와 저생어, 육식어·조식어·잡식어등과 같이 분류하는 것이다.

회유어는 생태학적 분류방법으로서 그림 1과 같이 회유의 방향 또는 목적에 따라 구분한다. Myers (1949)에 의하면 회유방향에 따라서는 강하성 회유어, 소하성 회유어, 양측성 회유어로 분류한다. 여기서 회유방향은 바

다와 하천을 정기적으로 오가는 것을 의미한다. 강하성 회유어는 일생의 대부분을 하천에서 보내고 산란을 위하여 하천을 따라 내려가 바다로 들어가는 어류이다. 소하성 회유어는 이와는 반대로 산란을 위하여 바다에서 강을 따라 소상하는 어류이며, 양측성 회유어는 산란과는 무관하게 성어가 이전에 하천과 바다 사이를 왕복하는 어류이다. 後藤 (1987) 은 소하성 회유어를 I, II, III의 세 가지 형으로 세분하였다. I형은 회유성 어류가 산란기에 하천으로 올라와 산란하여 부화한 치어가 바로 하천에서 바다로 내려가는 어류이고, II형은 성어가 산란기에 하천으로 올라와 산란하여 부화한 치어가 일정 기간 담수역에서 지낸 후 바다로 들어가는 어류이며, III형은 산란기 이전의 미성숙한 회유성 어류가 하천으로 소상하여 성장한 후 산란하여 부화한 치어가 일정기간 담수에서 생활한 후에 바다로 들어가는 어류이다. McDowall (1990) 은 양측성 회유어를 담수양측성 회유어와 해수양측성 회유어로 세분하고 있다. 산란장이 담수역에 있는 것

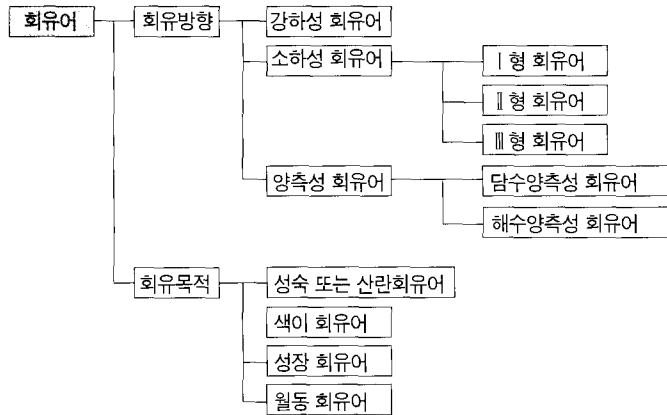


그림 1. 회유성 어류의 생태학적 분류

표 2. 하천별 회유성 어류현황

하천명	주 서식어종	회유성 어종
양양남대천	은어, 메기, 두꺼비, 꺾지, 연어, 황어, 피라미 송어, 송어, 산천어, 기름종개	은어, 연어, 황어, 송어 송어
삼척오십천	연어, 은어, 뱀장어, 황어, 메기, 기름종개	은어, 연어, 황어
강릉남대천	은어, 잉어, 붕어, 뱀장어, 버들개, 피라미	은어, 뱀장어
연곡천	은어, 연어, 뱀장어	은어, 연어, 뱀장어
신리천	버들치, 기름종개	
사천천	은어, 기름종개	은어
주수천	은어, 연어, 붕어	은어, 연어
화상천	버들치, 기름종개	
후천	은어, 메기, 두꺼비, 꺾지, 연어, 황어, 피라미, 송어, 송어, 산천어	은어, 연어, 황어 송어, 송어
오색천	은어, 메기, 두꺼비, 꺾지, 연어, 황어, 피라미, 송어, 송어, 산천어	은어, 연어, 황어 송어, 송어
북천	은어, 연어, 기름종개	은어, 연어
남천	은어, 기름종개	은어
천진천	은어, 기름종개	은어
문암천	은어, 기름종개	은어
배봉천	은어, 연어	은어, 연어
용춘천	은어, 기름종개	은어
전천	은어, 기름종개, 버들개	은어
마음천	은어, 뱀장어, 메기 두꺼비	은어
가곡천	연어, 은어, 뱀장어, 황어, 메기, 두꺼비	은어, 연어, 황어, 뱀장어
추천	은어, 메기, 두꺼비	은어
호산천	은어, 메기, 두꺼비	은어

을 담수양측성이라고하고 해수양측성 회유어는 해수역
이나 기수역에 산란장이 있는 것을 가리킨다.

회유어는 회유의 목적에 따라 성숙 또는 산란 회유

어, 색이 회유어, 성장 회유어 및 월동 회유어 등으로 구분할 수 있다. 성숙 또는 산란회유어는 회유성 어류가 성어가 되어 산란을 위해 산란장으로 이동하는 어류이고, 색이 회유어는 먹이를 찾아 이동하는 어류이다. 성장 회유어는 산란장에서 부화된 치어가 성장하기에 적합한 곳으로 이동하는 어류이며, 월동 회유어는 동절기를 보내기 위해 수심이 깊은 곳이나 수온이 적당한 곳으로 이동하는 어류를 말한다. 이들 중에서 동해안 지역 어도와 관련하여 가장 중요한 회유는 산란 회유어이다. 산란회유하는 대표적인 어류로는 은어, 연어, 뱀장어, 황어 및 송어, 연어등이다. 동해안 지역 주요 하천의 주 서식어종과 회유어종은 표2와 같다. 여기서 송어는 시마연어라고도 하며 주요 회유어종에 대한 생태특성은 표3과 같다.

3. 어도시설

3.1 어도설치의 법적 근거

어도설치의 법적 근거는 수산자원보호령 (1993. 6. 19. 대통령령 제 13911호) 제 12조의 어도차단금지에 관한 규정에 의한 것이다. 이 규정은 다음과 같이 세 개의 항으로 되어 있다.

① 하천에서 어도를 차단하는 어구를 사용하는 경우에는 그 위치에 있어서 수류전류폭을 평균수심이상의 장소를 선택하여 유폭의 5분의 1 이상을 어도로서 개방하여야 한다.

② 하천의 전유폭을 차단하는 공작물을 설치하고자 하는 자는 수산청장과 협의하여 하천의 일부를 개방하거나 어도를 설치하여 소하어류의 통로를 확보하여야 한다. 다만 공작물이 댐인 경우에는 예외로 한다.

표 3. 회유성 어류 생태특성

구분 어종	성어의 크기 (mm)	성 장 지	산 란 지	산란기(월)
은어	200 - 400	하천	모래나 자갈이 깔린 하구	9 - 10
연어	600 - 800	해양	30 cm 이하의 자갈이 깔린 하천	9 - 11
뱀장어	150	하천, 호수	해양	4 - 8
황어	200 - 400	해양	수심이 20-70cm 정도의 모래나 자갈이 깔린 하천	4 - 5
송어	400 - 600	해양	자갈이 깔린 하천의 여울	9 - 10

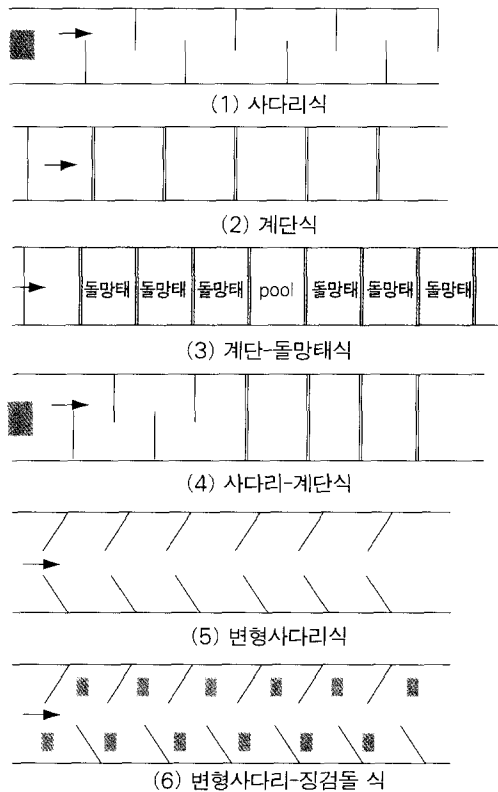


그림 2. 동해안 지역에 설치된 주요 어도형태

③ 도지사는 소하어류의 통로를 확보하기 위하여 필요하다고 인정할 때에는 수역과 기간을 정하여 어업을 제한할 수 있다.

3.2 어도형식 및 규모

동해안 지역에 설치된 어도의 형태를 개략적으로 나타내면 그림 2와 같이 사다리식, 계단식, 계단-돌망태식, 사다리-계단식, 변형사다리식, 사다리-징검돌식

로 구분할 수 있다. 이 외에도 각 어도형식에서 어도의 입구부와 출구부 모양을 약간씩 달리하는 것이 있다.

사다리식은 수로식 어도로서 수로폭의 일부를 막는 격벽을 설치하여 흐름의 방향을 조절하므로써 수로내에 적절한 수심과 유속을 만들어 어류의 소상을 가능하게 하는 어도 형식이다. 계단식 어도는 수로내에 전폭을 가로지르는 웨어와 웅덩이(pool)를 반복적으로 설치하므로써 어류가 도약에 의하여 상류로 소상할 수 있게 한 형태이다. 사다리식 어도에서는 어류가 소상에 적합한 어도내의 흐름조건을 찾아 상류로 이동하게 된다.

계단-돌망태식 어도는 계단식에서 pool의 일부를 돌망태로 채워서 자연수로와 유사하게 하고 이를 따라 소상한 어류가 그림 2-(3)과 같이 어도의 중간 중간에 설치된 pool에서 휴식을 취한 후 상류로 소상할 수 있게 되어 있다. 사다리-계단식은 어도 상류부는 사다리식이고 하류부는 계단식으로 되어 있는 형식이다. 변형사다리식은 사다리에 해당하는 격벽을 상류로 일정한 각도로 기울이고 어도중앙에는 일반 수로와 같이 되어 있다. 이 어도에서 어류는 각 사다리 사이의 흐름이 약한 곳에서 일시적으로 머물며 상류로 이동하는 형태이다. 변형사다리식은 그림 2-(6)에서도 볼 수 있는 바와 같이 사다리 사이에 사각형 장애물을 설치한 형식이다.

하천별 어도설치 보와 형태별 어도현황은 1996년 현재 표4와 같이 총 19개의 하천에서 83개소의 보에 130개의 어도가 설치되어 있다. 어도 형식별로 보면 계단식이 46개, 사다리식이 71개로 대부분을 차지하고 있다. 하천별 설치 어도의 평균길이는 표5와 같이 복천을 제외하면 계단-돌망태식이 40m 이상으로 가장 길고 그 다음이 계단식, 사다리식의 순이라고 할 수 있다. 어도의 평균 내경은 계단-돌망태식이 3m 이상이고 계단식은 마읍천을 제외하면 1.8m~4.5m로 서 넓은 편이고 사다리식은 연곡천을 제외하면 0.8m~2.9m로 되어 있다. 계단-돌망태식의 어도길이가 특히 긴 것은 어도경사를 완만하게 하기 위한 결과이

표 4. 하천별 어도시설치 보와 어도현황

하천명	어도시설치 보의 수	어도의 수				계
		계단식	사다리식	계단-돌망태식	기 타	
양양남대천	21	19	10		2	31
삼척오십천	5		7	1		8
강릉남대천	4	5				5
연곡천	6	6	4		2	12
신리천	7	7				7
사천천	2	1	1			2
주수천	1		2			2
화상천	2	2				2
북천	7	3	7	1	5	16
남천	5		12			12
천진천	2		2			2
문암천	2		2			2
배봉천	1	1				1
용촌천	1		1			1
전천	3		5			5
마음천	4	2	3	1		6
가곡천	6		9	1		10
추천	1		1			1
호산천	3		5			5
계	83	46	71	4	9	130

표 5. 하천 및 어도형태에 따른 어도의 규모

하천명	어도의 평균길이 (m)				어도의 평균내경 (m)			
	계단식	사다리식	계단- 돌망태식	기타	계단식	사다리식	계단- 돌망태식	기타
양양남대천	17.9	10.9		14.7	2.5	2.9		3.4
삼척오십천		6.2	42.0			1.2	4.2	
강릉남대천	27.0				4.45			1.6
연곡천	23.8	8.2		14.5	3.1	0.65		
신리천	22.0				2.4			
사천천	19.0	10.0			1.8	0.8		
주수천		7.3				0.9		
화상천	9.0				3.8			
북천	15.0	8.0	12.0	10.0	1.9	2.1	3.0	1.5
남천		7.8				1.6		
천진천		6.0				1.0		
문암천		6.0				1.0		
배봉천	26.0				3.0			
용촌천		9.0				2.0		
전천		8.6				1.3		
마음천	12.0	14.0	47.3		0.85	1.2	4.0	
가곡천		22.9	43.3				2.9	4.1
추천		6.0					1.5	
호산천		6.4					1.3	

다. 사다리식보다 계단식 어도의 길이가 긴 것도 계단식 어도의 웨어 낙차를 가급적 작게 하기 위하여 어도 경사를 완만하게 한 때문이다. 이와 같이 어도규모는 어도의 종류, 하천의 유량, 보의 높이에 따라 크게 다르게 된다.

3.4 어도기능저하 원인

현장조사 결과 어도 기능저하 혹은 기능상실 원인은 그림3과 같이 구조적인 것과 관리상의 문제로 대별할 수 있다. 구조적인 원인은 애당초 어도설계의 잘못이나 어도설계와 일치하게 시공하지 못하여 발생한 것으로서 어류의 소상에 적합지 않은 어도내 흐름조건을 초래한다. 어도내 경사가 급하여 유속이 너무 크거나 웨어의 낙차를 너무 크게 설계한 것이 많았다. 이는 어도를 흐르는 유량이 적을수록 회유성 어류소상에 취약한 상태가 된다. 구조적으로 어도내 유량이 적은 경우는 어도 출구부 형태가 어도로의 유량을 적절히 유입시킬 수 없는 경우이고, 어도의 위치 불량은 하천에서 저수로 흐름조건에 적합지 않은 곳에 어도가 설치되어 있어서 홍수시 하상 변동으로 어도로의 유량이 흐르지 않게 된 경우이다.

관리상의 문제는 어도, 보, 하천의 관리를 적절히 하지 않아서 발생한 것으로서 어도 유실 및 파손, 하상저하, 보의 방사구 개방 등이 가장 빈도가 많은 것으로 조사되었다. 어도 입구부와 어도하단 하상의 웅덩이 사이에 어도하류부 하상저하에 따라 낙차가 너무 크게 된 경우 어도 내로의 어류 소상이 곤란하다. 이는 유량이 적은 갈수기에 더욱 두드러진다. 어도유실 및 파손은 어도내 격벽이나 측벽의 파손, 어도 일부 구간의 유

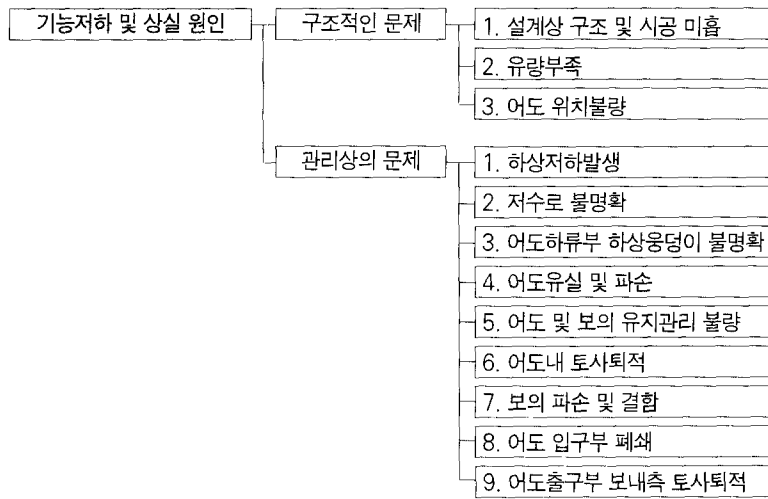


그림 3. 어도기능 저하 및 상실 원인

실, 하상저하에 따른 어도과피등이다. 도약을 필요로 하는 어도 입구부 구조를 갖는 어도에서 어도 하류부 하상 웅덩이의 불명확으로 어류소상이 불가능한 경우가 7개소로 조사되었다. 이외에도 어도내의 토사나 유목퇴적, 보의 파손 및 결함, 어도 입구부 폐쇄, 어도 출구부 보 내측의 토사퇴적등이 조사되었다.

4. 결 론

우리나라의 하천에는 농업용수를 취수하기 위한 보

가 매우 많음에도 불구하고 하천 생태환경 보전을 위한 어도 시설은 매우 적은 편이나 동해안 지역에는 약 130여개의 어도가 설치되어 있어 이 지역에 서식하고 있는 회유성 어류의 생태환경 보호를 위해 다행한 일이다. 그러나 기존에 설치된 어도의 상당수가 하천특성과 하천생태 특성을 충분히 반영하지 못하고 있고, 기존의 보를 관리하는 수리권자가 어도의 필요성이나 특성을 잘 이해하지 못하고 보를 관리하고 있어 어도의 기능이 충분히 발휘되

지 못하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 동해안 지역 하천의 특성에 적합한 어도의 설계와 관리방법 및 체계에 관한 연구가 필요하다.

본 기사는 필자가 농림수산부의 지원으로 1995년 11월부터 1998년 11월 까지 수행하고 있는 '어도시설 표준모형 개발에 관한 연구'의 제 1차년도 연구성과를 발췌 정리한 것으로서 관계당국에 감사드리며, 공동연구원인 강릉대학교 산업공학과 이창수 교수님과 해양생명공학부 박기영 교수님께 감사드립니다. ●●

〈참 고 문 헌〉

박상덕 (1996). "수리실험에 의한 어도의 기능분석." 대한토목학회 학술발표회 논문집 (II), pp.51~54.

박상덕, 심재현 (1997). "동해안지역 가용수자원의 시공간적 특성에 관한 연구." 한국수자원학회 논문집, 30권 제 2호, pp.165~75.

Clay, C. H. (1995). "Design of Fishways and Other Fish Facilities." 2nd Ed., Lewis Pub.

Myers, G. S. (1949). "Usage of anadromous, catadromous and allied terms." Copeia, pp.89~97.

Rajaratnam, N., C. Katopodis, and A. Mainall (1988). "Plunging and Flows in Pool and Weir Fishways." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8, pp.939~945.

Rajaatnam, N., G. V. der Vinne, and C. Katopodis (1986). "Hydraulics of Vertical Slot Fishways." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 10, pp.909~927.

中村俊六 (1995). 魚道のはなし-魚道設計のためのカトライツ, 山海堂.

玉井信行, 水野信彦, 中村俊六 (1995). 河川生態環境工学 - 河川生態と 河川計劃 -, 東京大學出版會.