

조립식 아이스하버형 어도의 수리모형실험

Hydraulic Model Experiment of Iceharbor-type Precast Fishway.

김재옥* · 박상현 · 조재원 · 조국현 · 황중서** · 조성주***
Jae-ok Kim, Sang-hyun Park, Jae-won Cho
Guk-hyun Jo, Jong-seo Hwang, Seong-ju Joh

요지

본 연구는 아이스하버 형태의 어도를 조립식으로 개발하여 실제 현장에 적용하기에 앞서 유량 변화에 따라 어도내 유속 및 유황변화를 조사하고 어도의 배열을 조정하여 어도의 현장적용성을 검토하기 위하여 실시하였다. 모형 월류수심이 40cm(현장 20cm)일 때 상류부는 어류가 소상하기에 적합한 유속을 나타내었고 하류부의 가장 낮은 월류부(좌측열)에서는 어류 소상에 다소 지장을 주는 유속 변화를 보였다. 그러나 좌측열을 제외한 우측열과 중간열에서는 어류 이동 및 소상에 적절한 유속변화를 나타내고 있는 것으로 보아 본 어도는 유량 증가에 따라 월류 유속이 증가하여도 월류벽이 높은 구간에서는 유속이 증가폭이 크지 않기 때문에 수위변화에 대응력을 가지는 것으로 판단된다. 다양한 배열로 어도를 설치하면 유속이 느린 어도 구간은 어도 유인수로로서의 역할을 할 수 있으므로 어도내의 다양한 유속은 어류 소상에 유리하게 작용할 것으로 평가된다. 어도의 배열은 월류부의 높이가 높은 것을 좌·우측열에 배열하고 낮은 것을 중간열에 배열하면 갈수량에 대한 대응력이 증가하는 것으로 나타났다. 잠공은 하천의 유량 조건이 좋을 때보다 갈수기에 어류가 소상하는 통로의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 어도는 다양한 월류벽의 배열로 하천의 수위변화에 대한 대응력을 가지고 있으며 구조적으로 견고하여 우리나라 하천 상황에 적절한 어도로 판단된다.

핵심용어 : 아이스하버, 조립식 어도, 월류부, 소상, 물고기, 어도, 배열, 잠공

1. 서론

하천의 생물이동통로가 단절되면 하천 생태계의 흐름이 원활하지 못하게 되고 생태계 교란을 야기시키는 결과를 가져올 수 있다(황과 허, 2000). 그러므로 현행 수산자원보호령 12조 2항에서는 하천에 수리구조물을 설치할 때 어도를 설치하여 어류 및 수서생물의 이동통로를 확보하도록 명시하고 있다. 이러한 법령에 의거하여 조성된 어도들의 문제점들을 정리해보면 다음과 같다. 첫째, 어도 설치시 어도의 높이가 기존 보의 높이보다 낮게 설치됨으로 인해 어도 낙차가 커져서 도약력이 좋은 어종만이 이용가능한 상태이며, 둘째, 어도의 기울기가 0.082~0.515의 범위로 하천설계기준인 0.1 이하를 초과하여(박, 2001) 유속이 빨라 물고기가 이용하기 어렵고 어도 하류부가 심하게 세굴되고 이로 인하여 어도의 기능을 제대로 하지 못하고, 셋째, 어도 설계시 하천의 유량이 정확히 고려되지 않아 어도로 물이 흐르지 않거나, 혹은 어도의 측벽으로 물이 넘쳐서 어도의 기능이 상실되고, 넷째, 어도를 시공할 때 콘크리트의 강도가 기준치 이하로 떨어져서 홍수가 지나가면 어도의 격벽부분이 파손되고 돌이 어도내로 굴러드는 문제점들을 보이고 있다. 본 연구에서는 기존에 설치되어 있는 어도의 문제점들을 최소화하고 우리나라 하천환경에 적절한 구조 및 수리환경을 고려하여 아이스하버식 어도를 조립식으로 제작·설치하는 기술을 개발하였다. 본 연구의 목적은 개발된 조립식 아이스하버식 어도의 현장적용에 앞서 경사가 일정한 어도의 모형을 제작하여 어도 기능에 매우 중요한 인자인 유량 변화에 따라 어도내 유속 및 유황변화를 조사하고 어도의 배열을 검토하여 개발된 어도의 현장적용 가능성을 살펴보는 데 있다. 본 연구에서는 어도 생태수리실험이 아니라 어도 자체의 구조나 형상 등을 검토하고자 하였기 때문에 어류의 소상실험은 실시하지 않았다.

* 정회원 · 농업기반공사 농어촌연구원 · E-mail : kjokim@karico.co.kr

** 정회원 · 하천생태복원연구소 · E-mail : hwangjs@hanmir.com

*** 정회원 · (주)신강하이텍 · E-mail : sjoh@orgio.net

2. 재료 및 방법

2.1 어도모형의 개요

어도모형의 시스템은 수조, 정수조 그리고 어도모형의 3 부분을 연계하였다. 정수조는 어도로 유입되는 유량을 산정하기 위한 장치로써 상단정수조와 하단정수조로 구성하였다(그림 1). 상단정수조와 하단정수조 사이에는 두께 5mm의 강판으로 윗면 0.8m, 높이 0.4m의 직각삼각웨어를 설치하여 유량을 산정하였다.

2.2 어도 모형의 축척 및 배열

어도모형은 개발된 조립식 아이스하버(Ice-harbor)형으로 기하학적 유사성(幾何學的 相似性)만을 고려하여 축척하였다. 또한 물이 흐르는 월류벽의 높이를 다양하게 변화시켜 수리 현황을 살펴보았다. 본 연구에서는 모형 축소비율을 줄여 1/5의 축척으로 제작하였다. 어도모형의 비월류부의 높이는 160cm이고 월류부의 높이는 120cm, 11.5cm, 11.0cm로 3가지 type으로 하였다. 이는 하천의 유량이 평균갈수량 이하로 낮아지더라도 가장 낮은 월류부로 물이 흐를 수 있는 현상을 재현하고자 하였다. 어도 모형의 배열은 그림 2와 같이 어도를 상류부와 하류부로 나누어 상류부는 10 열로 배열하고 우측열, 좌측열, 중간열의 월류부의 높은 순으로 설치하였다. 하류부는 5 열로 배열하고 우측열, 중간열, 좌측열의 월류부의 높은 순으로 설치하였다.

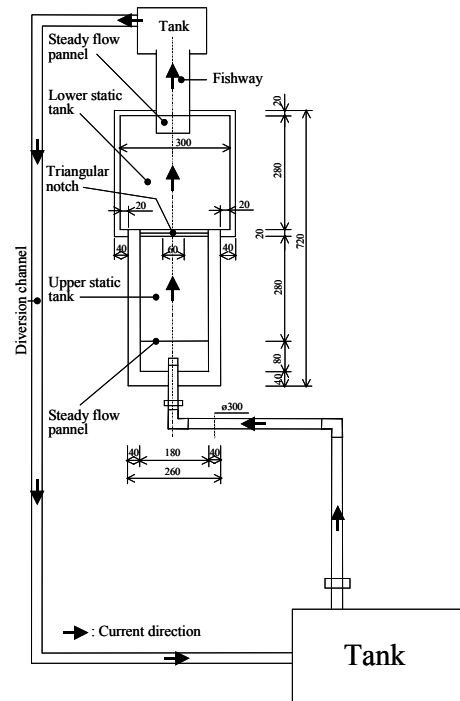


그림. 1 어도 수리모형시설 개요도

2.3 실험장비 및 방법

유량은 상단정수조에서 유입수량을 일정하게 조정된 후, 하단정수조로 흘러 시간당 유입수량을 고려하여 산정하였고 (용적법-Volumetric method), 난류가 적은 정수조에서 수위를 측정하여 수위-유량곡선을 구하였다. 월류수심과 수위측정은 유량을 산정하기 위한 수위는 상단정수조와 하단정수조에서 1mm 눈금자를 부착하여 측정하였으며, 어도블록의 월류수심은 1/20mm의 정도를 갖는 전자식 버니어캘리퍼스를 사용하였다. 유속의 측정은 상류부와 하류부에서 각각 3열씩 월류부에서 측정했는데, 상류부는 어도 유입부로부터 2, 6, 9번째 열에서 하류부는 2,3,4번째 열에서 측정하였다(Fig. 2). 이 실험에서는 편의상 상류부로부터 하류부순으로 측정점을 1th, 2th~6th로 표기하였다. .

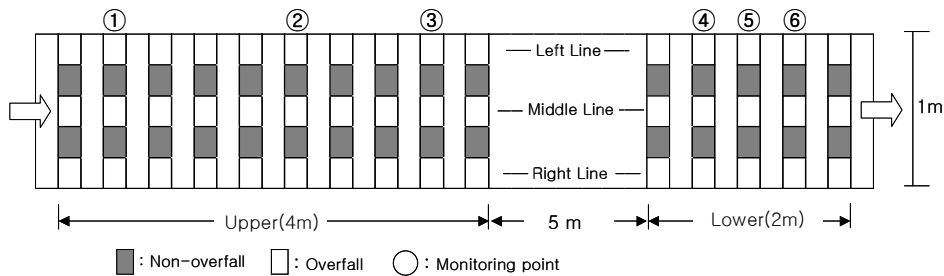


그림. 2 어도 수리모형시설의 배열

표 1. 어도 수리모형시설 제원(unit : m)

Fishway		Part of experiment					
Width	Slope	Location	Arrangement	Height of non-overfall	Height of overfall		
					Right	Middle	Left
1	1/20	Upper	10	0.16	0.12	0.11	0.115
		Lower	5	0.16	0.12	0.115	0.11

3. 결과 및 고찰

3.1 수위와 유량과의 관계

회귀식의 결정계수를 높이기 위하여 실험유량은 최저수심과 최고수심을 각각 1개씩, 그 사이 유량을 5개 추가하여 총 7개를 측정하였다. 수위-유량곡선의 회귀 결정계수(r^2)가 약 0.99로 실험에 적합한 것으로 나타났다(그림 3).

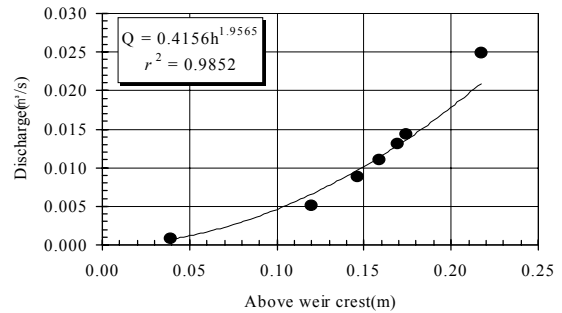


그림. 3 수위-유량곡선

3.2 월류수심

월류수심은 월류부의 높이에 따라 상류부에서는 중간열 좌측열 우측열순으로 높게 나타났고 하류에서는 좌측열 중간열 우측열순으로 높게 나타났으며 모형 월류수심이 1.5cm의 경우에는 우측열에서 월류가 발생하지 않았다(표 2). 어도 시점의 월류 수심별 첫 번째 열과 마지막 열의 수심치는 상류부와 하류부가 모두 1mm 정도의 차이를 보였는데 이것은 읽기 오차와 시공상의 오차를 감안한다면 거의 변화가 없는 것으로 사료된다. 그러나 가장 낮은 월류부를 중간열에 배치했을 때와 좌측열에 배치했을 때의 월류수심은 하류부에서 모두 1~2mm정도 높게 나타나 하천 갈수량에 대응하는 때에는 하류부와 같이 좌측열-중간열-우측열순으로 높게 배열하는 현상에서 약 1cm정도 더 효과적일 것으로 사료된다. 갈수량에 대한 수위대응 실험으로써 가장 높은 월류부로 물이 흐르지 않는 수심을 유지하여 측정한 결과 상류부의 가장 낮은 월류부(중간열)와 하류부의 가장 낮은 월류부(좌측열)에서 각각 평균 80cm와 83cm의 수심을 유지하였다. 물고기의 유영에 필요한 최소 수심은 물고기 체고의 2배정도(中村, 1995)라고 보고 하였으며, 홍충어는 수심 8cm 정도에서 여유롭게 유영하는 것으로 나타났다(久保田, 1998). 따라서 0.53m³/s 정도의 유량에서 나타난 수심은 어류의 소상이 가능한 수심임을 본 실험을 통해 알 수 있었다(Table 2). 본 연구에서 실험한 아이스하버형 어도는 월류부의 높이가 다양하게 존재하여 하천 유량이 감소하는 시기에도 항상 어도내로 물이 흐를 수 있도록 설계되었고, 유량 감소시에는 가장 낮은 월류부로 물이 집중되므로 하천의 적은 유량을 효율적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 월류유속

유속은 월류부 높이에 따른 월류수심 분포와 같이 상류부는 중간열 좌측열 우측열 순으로 높게 나타났고, 하류부는 좌측열-중간열-우측열 순으로 높게 나타났다(표 3). 본 실험에서 모형 월류수심이 20cm, 30cm일 때는 하천유량을 평수위로 하고 40cm일 때를 홍수위로 정의하였다. 실험 결과 Table 3과 같이 모형월류수심 30cm까지는 월류부의 높이에 상관없이 현장유속이 1.0m/s 이하의 유속분포(0.41~0.80m/s)를 보였다. 국내 하천에서 채집되는 어류의 체장이 5cm에서 큰 것이 20cm 내외인 점을 감안하면 본 어도의 유속 분포는 물고기도 소상에 큰 지장이 없음을 알 수 있었다. 홍수위를 재현한 모형 월류수심 40cm에서 상류부는 어류 소상에 지장이 없는 유속분포(0.72~0.94m/sec)를 보인 반면 하류부에서는 월류부의 높이가 가장 낮은 좌측열에서 평균 1.17m/s 유속을 보였다. 그러나 우측열과 중간열의 평균유속이 각각 0.65~0.98m/sec로 역시 1m/s 이하의 유속범위를 보여 어류가 소상할 수 있는 유속을 보였다. 이와 신(1987)등은 은어의 유영에 적당한 유속을 0.5~1.2m/s로 정의하였고 최고유속은 1.

2~22m/s 까지도 가능하다고 보고하였다 또한 피라미, 황어가 용이하게 소상할 수 있는 유속은 0.8~1.0m/s(한국수자원공사, 2002) 라고 하였다. 따라서 본 조립식 아이스하버식 어도는 월류수심이 20cm 까지도 물고기 소상에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다(Fig. 7). 어도의 배열은 좌측열>중간열>우측열순의 유속분포를 보이도록 하면 유속이 빠른 좌측열은 유영력이 뛰어난 어류가 이용하고 유속이 느린 곳은 어도 유인수로의 역할을 할 것으로 사료된다. 물고기 특성에 따라 선호하는 유속이 다르므로 어도 내 다양한 유속 분포는 어도를 통해 여러 종류의 물고기 소상을 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2 어도의 월류수심(m)

			R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L
Overflow level of first armage(m)			0.015(0.075)			0.02(0.10)			0.03(0.15)			0.04(0.20)		
Discharge(m ³ /s)			0.0042(0.530)			0.0061(0.768)			0.0078(0.974)			0.0130(1.622)		
M o d e l (m/s)	U p p e r	1th		0.015	0.013	0.013	0.020	0.019	0.020	0.030	0.028	0.030	0.040	0.038
		2th		0.016	0.011	0.012	0.020	0.016	0.021	0.029	0.025	0.032	0.042	0.035
		3th		0.017	0.011	0.012	0.020	0.018	0.020	0.030	0.026	0.030	0.040	0.038
		Avg.		0.016	0.012	0.012	0.020	0.018	0.020	0.030	0.026	0.031	0.041	0.037
	L o w e r	4th		0.015	0.017	0.008	0.020	0.022	0.019	0.027	0.033	0.030	0.038	0.040
		5th		0.014	0.016	0.009	0.021	0.022	0.020	0.027	0.032	0.030	0.037	0.042
6th			0.015	0.017	0.011	0.021	0.024	0.020	0.028	0.031	0.030	0.039	0.042	
	Avg.		0.015	0.017	0.009	0.020	0.022	0.020	0.027	0.032	0.030	0.038	0.041	
F i e l d (m/s)	U p p e r	1th		0.075	0.065	0.064	0.101	0.096	0.100	0.150	0.140	0.150	0.200	0.190
		2th		0.080	0.055	0.062	0.098	0.080	0.105	0.145	0.125	0.160	0.210	0.175
		3th		0.085	0.055	0.062	0.101	0.088	0.100	0.150	0.130	0.150	0.200	0.190
		Avg.		0.080	0.058	0.062	0.100	0.088	0.102	0.148	0.132	0.153	0.203	0.185
	L o w e r	4th		0.075	0.085	0.039	0.099	0.109	0.095	0.135	0.165	0.150	0.190	0.200
		5th		0.070	0.080	0.046	0.103	0.109	0.100	0.135	0.160	0.150	0.185	0.210
6th			0.075	0.085	0.056	0.105	0.118	0.100	0.140	0.155	0.150	0.195	0.210	
	Avg.		0.073	0.083	0.047	0.102	0.112	0.098	0.137	0.160	0.150	0.190	0.207	

R : Right, M : Middle, L : Left () : Prototype

표 3 어도의 월류유속(m/s).

			R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L
Overflow level of first armage(m)			0.015(0.075)			0.02(0.10)			0.03(0.15)			0.04(0.20)		
Discharge(m ³ /s)			0.0042(0.530)			0.0061(0.768)			0.0078(0.974)			0.0130(1.622)		
M o d e l (m/s)	U p p e r	1th		0.34	0.32	0.17	0.48	0.43	0.20	0.33	0.29	0.31	0.47	0.44
		2th		0.37	0.28	0.24	0.43	0.39	0.21	0.30	0.25	0.32	0.48	0.43
		3th		0.31	0.29	0.25	0.34	0.30	0.19	0.25	0.20	0.34	0.37	0.36
		Avg.		0.34	0.30	0.22	0.37	0.37	0.20	0.27	0.25	0.32	0.42	0.41
	L o w e r	4th		0.33	0.34	0.18	0.36	0.41	0.18	0.25	0.30	0.28	0.41	0.52
		5th		0.32	0.34	0.17	0.37	0.40	0.18	0.24	0.30	0.29	0.43	0.53
6th			0.33	0.35	0.20	0.31	0.39	0.20	0.25	0.31	0.30	0.48	0.52	
	Avg.		0.33	0.34	0.18	0.35	0.40	0.19	0.25	0.30	0.29	0.44	0.52	
F i e l d (m/s)	U p p e r	1th		0.75	0.72	0.38	1.07	0.96	0.45	0.74	0.65	0.69	1.05	0.98
		2th		0.82	0.63	0.53	0.96	0.87	0.47	0.67	0.56	0.72	1.07	0.96
		3th		0.69	0.65	0.55	0.76	0.67	0.42	0.56	0.45	0.76	0.83	0.80
		Avg.		0.75	0.67	0.49	0.83	0.83	0.45	0.60	0.55	0.72	0.94	0.92
	L o w e r	4th		0.74	0.75	0.39	0.80	0.92	0.40	0.56	0.67	0.63	0.92	1.16
		5th		0.72	0.77	0.38	0.83	0.89	0.40	0.54	0.67	0.65	0.96	1.19
6th			0.74	0.78	0.45	0.69	0.87	0.45	0.56	0.69	0.67	1.07	1.16	
	Avg.		0.73	0.77	0.41	0.78	0.89	0.42	0.55	0.68	0.65	0.98	1.17	

R : Right, M : Middle, L : Left () : Prototype

3.4 잠공유속

조립식 아이스하버형 어도의 잠공은 청소 등 유지관리와 저서성 어류 및 수서생물의 이동통로를 제공하기 위해 말굽형으로 제작하였다. 잠공부의 유속은 다단으로 배열된 어도블록간의 도수현상과 난류로 인해 복잡한 양상을 나타냈다. 잠공에서의 유속분포는 측점에 따른 개별 유속을 해석하기보다는 그 변화폭을 살펴보았다(그림 4). 잠공유속은 모형 월류수심이 각각 1.5cm, 4.0cm일 때와 2.0cm, 3.0cm일 때 각각 1.0~1.7m/s, 0.55~1.1m/s의 유속분포를 보였다. 모형 월류수심이 1.5cm, 4.0cm일 때는 0.60~

1.0m/s 정도로 어류가 소상하기에 적합한 유속분포를 보였고, 20cm, 30cm일 때는 1.03~1.71m/s 정도로 어류가 소상하기에는 약간 빠른 유속을 보였다. 따라서 잠공은 하천의 유량 조건이 좋을 때보다 갈수기나 홍수기에 어류가 소상하는 통로의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

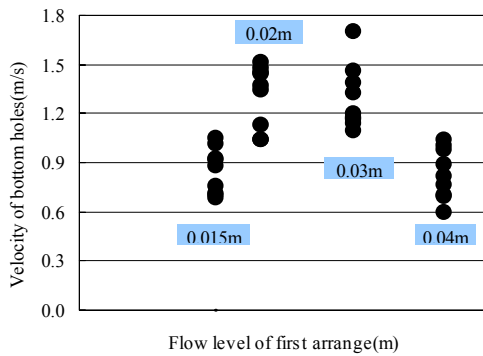


그림 4 잠공 유속(상류부)

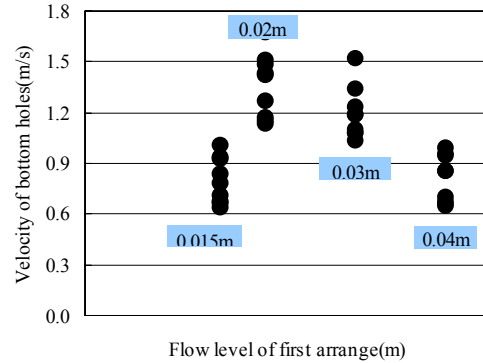


그림 4 계속(하류부)

4. 결론

본 연구는 조립식 아이스하버형 어도의 현장작용에 앞서 유량 변화에 따라 어도내 유속 및 유황변화를 조사하고 어도의 배열을 검토하여 개발된 어도의 현장작용 가능성을 살펴보기 위해 이루어졌다. 모형 월류수심이 40cm(현장 20cm)일 때 상류부는 어류가 소상하기에 적합한 유속을 나타내었고 하류부의 가장 낮은 월류부(좌측열)에서는 어류 소상에 다소 지장을 주는 유속 변화를 보였다. 그러나 좌측열을 제외한 우측열과 중간열에서는 어류 이동 및 소상에 적절한 유속변화를 나타내고 있는 것으로 보아 본 어도는 유량 증가에 따라 월류 유속이 증가하여도 월류벽이 높은 구간에서는 유속이 증가폭이 크지 않기 때문에 수위변화에 대응력을 가지는 것으로 판단된다. 또한 유속이 느린 구간은 어도 유인수로로서의 역할을 할 수 있으므로 어도내의 다양한 유속은 어류 소상에 유리하게 작용할 것으로 사료된다. 어도의 배열은 월류부의 높이가 높은 것을 좌·우측열에 배열하고 낮은 것을 중간열에 배열하면 길수량에 대한 대응력이 증가하는 것으로 나타났다. 잠공은 하천의 유량 조건이 좋을 때보다 갈수기나 홍수기에 어류가 소상하는 통로의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 어도는 다양한 월류벽의 배열로 하천의 수위변화에 대한 대응력을 가지고 있으며 구조적으로 현장 타설보다 견고하여 하천 적용가능성이 높을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박상덕(2001). 어도 생태수리실험에 의한 화유성 어류의 소상능력 평가 (I)-사다리식 어도-, 한국수자원학회 논문집 34 : 365~379.
2. 박상덕(2001). 어도 생태수리실험에 의한 화유성 어류의 소상능력평가(II) - 계단식 어도-, 한국수자원학회 논문집 34 : 381~390.
3. 황중서, 허협(2000). 양양 남대천과 영덕 오십천의 어도 및 어류의 소상, 한국농공학회지 42:70~77.
4. 농업기반공사 농어촌연구원(2003). 하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발 보고서, p10.
5. 한국수자원공사(2002). 댐 저수지 어류 보전 방안 보고서, p457.
6. 中村俊六(1995). 魚のすみよい川づくり-魚道のはなし 魚道設計のためのガイドライン, p169.
7. 中村俊六, 高嶋信博, 木村 博(1987). 階段式魚道内の流況に關する實驗について, 農業土木學會 誌, 55(10) 933~938.
8. 小山長雄(1986). 流速 魚道の診斷と設計, 長野, p 88~92.
9. 高山光弘, 山本雅道(2001). 階段式魚道におけるウグイ, *Tribolodon hakonensis* の遡上行動, 水産増殖, 49(1), 1~7.
10. 久保田哲也(1998). 砂防施設の魚道における溪流魚の行動と魚道の實態, 水工學論文集, 42:487~492.
11. 和田吉弘(1992). 魚道の設計シンポジウム, p85~105.