

오프셋배플형 암거식 어도의 수리특성 및 어류이동효과에 관한 연구

A Study on the Hydraulic Characteristics of Culvert Fishway with Offset Baffles and Fish Passage Effect

박성용* / 김서준** / 최지웅*** / 윤병만****

Park, Seongyong / Kim, Seojun / Choi, Jiwoong / Yoon, Byungman

Abstract

The pale chub (*Zacco platypus*) is a dominant species that migrates locally and inhabits in rivers in Korea. The fish movement at confluences or hydraulic connections is very important especially for the life of small fish as pale chub. If main stream and off-channel habitats are connected with culverts, they would restrict the fish movement due to the high flow velocities and low depths. In foreign countries, design flow conditions of fish friendly culvert, including flood flow capacity and fish-passage flow capacity, were assigned. Installation of culvert fishways is one way to improve the fish-passing capacity of culverts. On the contrary, in Korea, the design flow of culvert contains only the flood flow capacity. The effect of the fish passage with offset baffles was tested with the fixed velocity method in an experimental flume. As a result, An occasion velocity 1.2m/s, proportional success of pale chubs pass is maximum 20% improve than without baffle flume for energy dissipate. Offset baffle fishway(baffle height 5cm) provides that resting areas and/or a continuous channel of low velocity water in culverts. Especially, short baffle areas are domain where the pale chubs pass. And, FLOW-3D, a three dimensional numerical model, was used in order to evaluate detailed hydraulic characteristics and application possibility in a culvert fishway design.

keywords : Pale chub, Proportional success of fish pass, culvert fishway, offset baffle, resting areas

요 지

피라미는 국내 하천에서 서식하며 국지적인 회유를 하는 대표적인 어종이다. 피라미와 같이 작은 몸집의 국지회유성 어종은 서식처간의 이동이 생존을 위해 필수적이다. 그러나 어류 서식처간의 연결부가 배수암거(culvert)로 설치되어 있는 경우에는 평상시 빠른 유속이 발생되어 어류 이동에 많은 장애를 주고 있다. 외국에서는 배수암거의 설계 유량과 유속기준이 홍수기간과 어류가 상류로 올라가는 기간별로 필요한 기능에 따라 제시되어 있어 홍수시에는 홍수소통기능, 평상시에는 어도기능이 발휘되도록 설계하고 있다. 암거식 어도의 설치에 암거의 어도기능을 향상시키

* 명지대학교 토목·환경공학과 박사

Ph.D, Dept. of Civil & Environmental Eng, MyongJi University, San 38-2 Namdong, Yongin, Gyeonggi-Do 449-728, Korea
(e-mail: sypark@dohwa.co.kr)

** 명지대학교 토목·환경공학과 석사과정·교신저자

Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng, MyongJi University, San 38-2 Namdong, Yongin, Gyeonggi-Do 449-728, Korea

(e-mail: seojuny79@hanmail.net)

*** EPS-SOLUTION 부장

Dept water resource manager, 1120 Doosanventuredigm, 126-1 pyengchondong Dongangu, Anyang, Gyeonggi-Do 506-714, Korea

**** 명지대학교 토목·환경공학과 교수

Prof. Dept. of Civil & Environmental Eng, MyongJi University, San 38-2 Namdong, Yongin, Gyeonggi-Do 449-728, Korea

는 방법 중 하나이다. 그러나 국내에서는 배수암거의 설계유량과 유속기준이 홍수소통기능에 대해서만 제시되어 있어 어도기능은 고려하지 못하고 있다. 본 연구에서는 읍셋배플 설치후 수리특성 및 어류이동 효과의 실험을 실험수로 내에서 일정간격의 유속단계별로 읍셋배플 설치전과 비교하며 분석하였다. 실험 결과 유속 1.2m/s 경우에는 높이 5cm의 읍셋배플 설치 후 유속이 저감됨에 따라 피라미가 암거식 어도를 따라서 상류로 거슬러 올라가는 성공률, 즉 소상성공률이 최대 20% 개선됨을 확인하였다. 특히 직각으로 설치된 짧은 배플 구간이 피라미가 이동하는 주 이동경로로 나타났다. 그리고 FLOW-3D 모형을 이용한 3차원 수치해석을 수행하여 어도 설계시 수치모형실험의 활용 가능성을 검토하였다.

핵심용어 : 피라미, 소상성공률, 암거식 어도, 읍셋배플, 휴식공간

1. 서 론

하천내에서 피라미와 같이 작은 몸집의 국지회유성 어종은 생존과 번식을 위해 서식처간의 연결부에 설치된 수공구조물을 통과해서 이동해야 한다. 그러나 실제로 배수암거가 설치되어 있는 구간에는 평상시에도 어류가 이동하는데 장애가 될 정도로 빠른 유속 또는 낮은 수심이 발생하는 경우가 많다.

외국에서는 배수암거의 설계유량 및 유속기준이 홍수기간 또는 어류가 상류로 올라가는 기간별로 필요한 기능에 따라 제시되어 있어 홍수시에는 홍수소통기능, 평상시에는 어도기능이 발휘될 수 있도록 설계하고 있다. 대표적인 설계지침서는 미국의 "Design of road culverts for fish passage"(Bates *et al.*, 2003)와 뉴질랜드의 "Fish passage of culverts"(Boubee *et al.*, 1999) 등이 있다. 지침서 내용에는 어류의 유영특성도 다양한 어종별로 실험적 연구결과에 의해 제시되어 있어 어도기능을 위한 유속과 최소수심 기준이 대상어종의 유영특성과 배수암거의 길이에 따라 다르게 적용하고 있다. 또한 어도기능이 부족한 배수암거에 어도기능 강화를 위한 암거식 어도 설계지침을 제정하여 운영하고 있다.

반면에 국내에서는 배수암거의 설계유량과 유속기준이 홍수소통기능에 대해서만 제시되어 있어 평상시 어도기능은 고려하지 못하고 있다. 더구나 암거식 어도는 기타형식으로 명칭만 구분되어 있고 설계기준은 제시되어 있지 않은 실정이다.

본 연구의 목적은 외국에서 많이 설치하고 있는 암거식 어도 중 읍셋배플의 수리특성 및 어류이동효과를 분석하고자 함이다. 원관에 암거식 어도를 설치한 실험적 연구는 외국에서 많이 수행되었으므로, 본 연구에서는 사각형 암거에 5cm 높이의 읍셋배플을 설치하였을 경우 수리특성 및 어류이동효과를 연구하고자 한다.

암거식 어도의 수리특성 및 어류이동효과에 대해서는 고정유속 방법실험에서 읍셋배플 설치전과 후의 유속과 수심 등을 비교하고 피라미의 소상행동을 분석하

였다. 또 FLOW-3D모형을 이용한 3차원 수치실험을 수행하여 어도 설계시 수치모형의 이용가능성을 검토하였다.

2. 읍셋배플형식 암거식 어도의 연구동향 및 적용사례

2.1 연구동향

배플은 어류가 배수암거내를 이동하는 동안 휴식 공간과 지속적인 저유속 조건을 유지하기 위해 설치된다. 배플의 형상설계시 주안점은 유속을 저감시켜 어류가 이동하기 편하도록 느린 유속을 유지시키는 데 있다.(McKinley and Webb, 1956). 배플의 유속저감 효과는 유량에 따라 달라지는데 홍수시 많은 유량이 흐를 때는 평상시 저유량 조건보다 적게 나타난다. 배플은 하천으로 유하되는 나뭇가지나 검불, 유사 등이 유하되는 것을 차단하여 배수암거 앞이나 배플사이에 퇴적을 유발한다. 따라서 배수암거에 어도기능을 위해 배플을 설계할 때에는 설치하는 비용과 더불어 유지관리하는 비용을 고려하여야 할 것이다(Baker and Votapka, 1990).

일반적으로 사용되는 배플의 형식은 Fig. 1과 같이 6가지 형식이며, 1980년대부터 Rajaratnam *et al.*(1988a, 1988b, 1989, 1990, 1991)과 Rajaratnam and Katapodis (1990), Ead *et al.*(2002)이 원관에서의 유량과 수심, 배수암거의 경사, 원관의 직경 그리고 유속과의 관계를 연구하며 지속적으로 개발해 왔다.

국내에서는 암거식 어도의 연구사례가 전무하므로 본 연구에서는 외국에서 수행한 원관에서의 암거식 어도 실험방법을 토대로 사각형 암거에 적용시 수리특성 및 어류이동효과를 파악하고자 한다.

2.2 읍셋배플 형식 설계기준

본 연구에서는 어류이동효과 실험을 위한 암거식 어도 형식으로 McKinley and Webb(1956)가 처음 개발한 읍

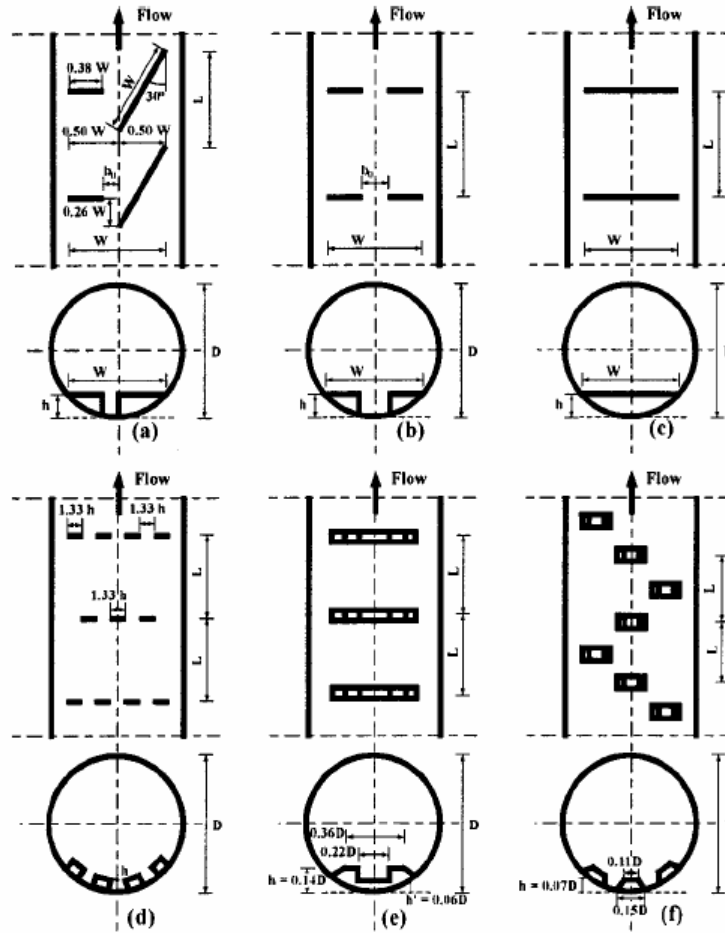


Fig. 1. (a) Offset Baffle; (b) Slotted Weir Baffle; (c) Weir Baffle; (d) Spoiler Baffle; (e) Alberta Fishweir (AFW) and (f) Alberta Fishbaffle (Ead *et al.* 2002).

셀배플형식을 선정하였다. 읍셋배플은 캐나다와 미국 서부지역에 넓게 적용되고 있고, 캐나다의 온타리오 (Ontario)주에서는 암거식 어도 중 가장 효과가 탁월한 형식이라고 추천하고 있다. 읍셋배플의 평면배치는 Fig. 2와 같이 배수암거의 벽체와 수직으로 설치되는 짧은 배플과 흐름의 반대방향과 30°의 예각을 이루는 긴 배플이 교차되며 구성된다. Bates(1992)는 배수암거의 경사가 2.5~5.0% 이내일 때 읍셋배플을 설치하는 것이 효과적이라고 하였다. Fig. 2의 설치기준을 보면 사각형 배수암거의 경우 암거 폭(B)과 높이(H)에 의해 읍셋배플의 배치가 결정됨을 알 수 있다. 배플의 최소높이는 30cm로 제시되어 있으며 체형이 큰 외국의 회유성어종을 기준으로 제시된 것이다. 따라서 국내 어종을 대상으로 할 경우에는 체형에 따라 최소높이의 기준이 낮아질 수도 있을 것으로 예상된다.

2.3 읍셋배플 형식 설치사례

Central Coast California의 101번 고속도로 아래 설

치된 사각형 배수암거(B4.6 × H2.4 × L50.0 m)는 배수 유역이 36.21km²이고, 배수암거 상류부 하천연장은 6.4km이다. 사각형 배수암거는 평상시 유속이 빠르고 갈수시 수심이 낮기 때문에 무지개송어(steelhead)가 소상하기 어려운 상황이었다. 게다가 암거의 유출부에는 1.2m의 낙차가 발생되고 있었고, 하상에는 큰 자연석이 존치되어 있었다. 따라서 Fig. 3과 같이 사각형 배수암거 내부와 유출부 에이프런(apron)부에 콘크리트로 읍셋배플을 설치하여 평상시 유량에서 유속을 저감시키고 갈수량에서 수심을 증가시키도록 하였다. 갈수량 유하시에는 읍셋배플이 설치된 단면으로만 유량이 흐를 수 있도록 유입부와 내부에 분리벽을 두었다. 또 유출부에 있던 큰 자연석을 제거하고 약 0.3m 단차로 3단계의 웅덩이를 조성하였다.

이로 인해 평상시 유량조건에서 무지개송어가 사각형 배수암거를 통해 상류로 이동할 수 있게 됨으로써 상류부 하천 6.4km 구간이 산란 및 생육 서식처로 제공되었다.

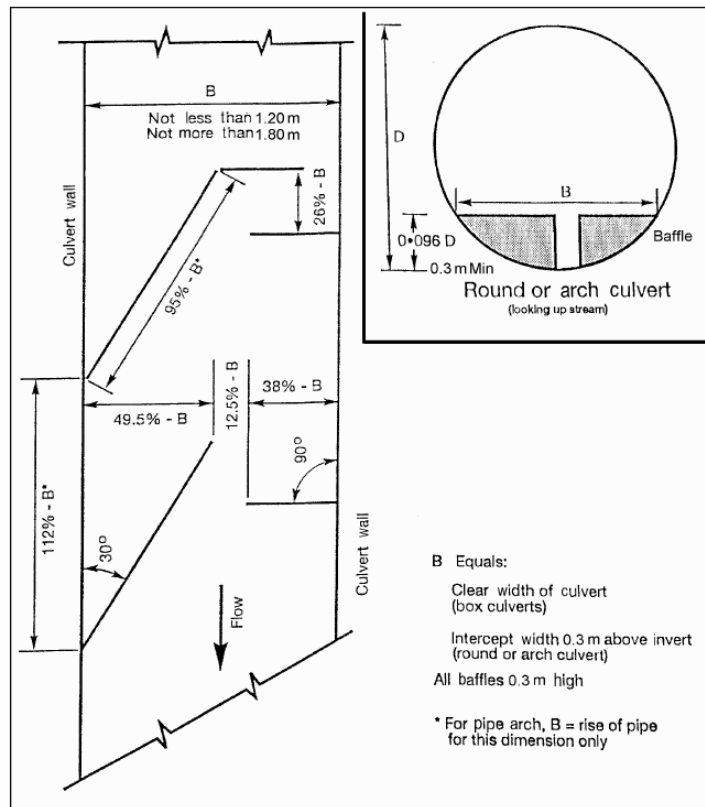


Fig. 2. Dimensions and Angles Shown Give the Best Performance (Baker and Votapka, 1990)



without baffles



with offset baffles

Fig. 3. Prefumo Creek at Highway 101 Retrofit (<http://www.stream.fs.fed.us/fishxing/case/Prefumo/>)



offset baffle made of steel



offset baffle made of wood

Fig. 4. Offset Baffle Made of Steel and Wood (<http://www.stream.fs.fed.us/fishxing/retrofit.html>)

오프셋배플의 재질은 Fig. 4와 같이 콘크리트뿐 아니라 목재나 금속으로도 설치 가능하며 현장 여건에 따라 경제적이면서 효과적인 재질을 선택할 수 있다.

3. 오프셋배플 설치후 수리특성 및 어류이동효과 검토

3.1 실험방법

오프셋배플 설치 전과 후의 수리특성 및 어류이동효과 실험은 Fig. 5와 같이 측면이 유리로 된 실험수로(폭 0.8 m, 높이 0.77 m, 길이 20 m)에서 수행하였다. 국내 한국수자원학회(2005)의 하천설계기준에 제시된 배수문의 최소 직경이 0.6m이므로 실험수로는 실제 하천에 설치되는 수로의 최소규모 이상이다. 실험수로에는 펌프 시설, 유량조절용 웨어, 정수판, 수로경사조절장치 등이 설치되어 있어 0.1 m/s 유속단계별 조절이 가능하며, 수로바닥에는 거리측정을 위한 격자망과 1m마다 거리를 표기하였다. 또 실험수로에서 피라미가 이동하는 모

습을 분석하기 위해 영상촬영장비(DVR SET)와 캠코더를 사용하였다.

3.2 오프셋배플 설치전과 후의 수리특성 비교

3.2.1 평균유속과 지점유속의 비교

오프셋배플 설치 전 후의 유속비교는 Table 1과 같은 조건에서 수행하였다. 오프셋배플 설치 전의 평균유속과 설치 후의 공간적 유속변화를 비교하기 위해 6개 지점의 유속을 측정하였다. 오프셋배플 설치 후 6개 지점에 대해 유속을 측정된 결과 ①과 ⑤지점 유속은 평균유속의 21~50% 정도로 측정되었으며 ③지점 유속이 가장 빠른 것으로 나타났다.

3.2.2 평균유속의 비교

실험수로 5 m지점에 대해 오프셋배플 설치 후의 평균 유속을 설치 전과 비교한 결과, 설치 전에는 1단계부터 7단계까지는 상류흐름이고 나머지 단계에서는 사류흐



Fig. 5. With/Without Offset Baffles in Flume

Table 1. Local Velocity of Culvert Fishway (Offset Baffles Type)

Level	Discharge (m ³ /s)	slope (%)	without baffles mean velocity (m/s)	Offset Baffles Type					
				① point velocity (m/s)	② point velocity (m/s)	③ point velocity (m/s)	④ point velocity (m/s)	⑤ point velocity (m/s)	⑥ point velocity (m/s)
1	0.008	0.1	0.28	0.08	-	0.33	-	0.08	0.08
2	0.019	0.1	0.39	0.14	0.39	0.52	0.36	0.16	0.24
3	0.030	0.1	0.48	0.22	0.46	0.58	0.47	0.24	0.23
4	0.044	0.1	0.58	0.33	0.50	0.65	0.50	0.27	0.41
5	0.065	0.1	0.71	0.37	0.57	0.74	0.60	0.30	0.40
6	0.082	0.1	0.83	0.41	0.60	0.82	0.67	0.28	0.64
7	0.103	0.1	0.90	0.49	0.66	0.83	0.79	0.34	0.77
8	0.050	0.37	1.02	0.34	0.59	0.86	0.61	0.26	0.61
9	0.057	0.50	1.10	0.32	0.56	0.80	0.61	0.23	0.59
10	0.062	0.52	1.17	0.41	0.62	0.75	0.64	0.34	0.65

름이 발생되었으며 설치전보다 유속이 저감되는 효과가 나타났다. 평균유속을 비교한 결과 설치전보다 유속이 저감되는 효과가 나타났다. 유속저감율을 실험유량 단계별로 비교한 결과 Table 2와 같이 상류흐름에서는 설치전 유속의 16~36% 정도가 감소되었으나, 배플 설치 후 사류흐름에서 상류흐름으로 변화된 경우에는 설치전 유속의 70%까지 감소되었다.

3.2.3 수심의 비교

웁셋배플 설치전 후의 수심을 비교한 결과 설치후의 수심이 상승되었다. Table 3과 같이 상류흐름에서는 설치전 수심의 18~58% 정도가 증가되었으나, 배플 설치 후 사류흐름에서 상류흐름으로 변화된 경우에는 설치전 수심의 77~150%까지 증가되었다. 배플설치로 인한 수심상승효과는 사류흐름에서 상류흐름으로 바뀔 때 더 커지는 것으로 판단된다. 따라서 수심이 체고이상으로

충분히 확보됨으로 인해 어떤 측면에서 어류이동에 효과적이다.

3.2.4 Manning의 조도계수 비교

암거식 어도 설계시 배플설치로 인해 Manning의 조도계수도 변화될 것으로 판단된다. Manning의 조도계수는 1차원 부등류 해석모형인 HEC-RAS 모형을 이용하여 유속단계별로 실험치에 근접하는 수심이 발생되도록 시산하여 산정하고 배플설치전 후의 차이를 비교하였다. 비교결과 Table 4와 같이 5cm 웁셋배플 설치 후에는 Manning의 조도계수가 0.006~0.007 정도 상승되는 것으로 나타났다. 실제 조도계수의 변화는 유량과 배플높이, 경계조건에 따라 달라지는 수치이며, 향후 여러 형태의 배플설치시 조도계수 상승효과가 발생되어 수심이 상승될 수 있음을 설계시 고려하여야 할 것이다.

Table 2. Comparison of Velocities with/without Baffles

Level	discharge (m ³ /s)	slope (%)	mean velocity (m/s)		mean-velocity difference (②-①)(m/s)	percentage of mean velocity difference (②-①)/① (%)
			without baffles ①	with baffles ②		
1	0.008	0.1	0.28	0.18	-0.10	-36
2	0.019	0.1	0.39	0.29	-0.10	-26
3	0.030	0.1	0.48	0.40	-0.08	-17
4	0.044	0.1	0.58	0.48	-0.10	-17
5	0.065	0.1	0.71	0.59	-0.12	-17
6	0.082	0.1	0.83	0.69	-0.14	-17
7	0.103	0.1	0.90	0.76	-0.14	-16
8	0.050	0.37	1.02	0.57	-0.45	-44
9	0.057	0.50	1.10	0.62	-0.48	-44
10	0.062	0.52	1.17	0.34	-0.83	-70

Table 3. Comparison of Depths with/without Baffles

Level	discharge (m ³ /s)	slope (%)	critical depth (m)	mean depth (m)		Froude number		depth increase (②-①) (m)	percentage of flow depth difference (②-①)/① (%)
				without baffles ①	with baffles ②	without baffles	with baffles		
1	0.008	0.1	0.022	0.038	0.060	0.458	0.235	0.022	58
2	0.019	0.1	0.039	0.057	0.078	0.522	0.332	0.021	37
3	0.030	0.1	0.052	0.071	0.085	0.575	0.438	0.014	20
4	0.044	0.1	0.068	0.087	0.105	0.628	0.473	0.018	21
5	0.065	0.1	0.088	0.108	0.130	0.690	0.523	0.022	20
6	0.082	0.1	0.102	0.124	0.150	0.753	0.569	0.026	21
7	0.103	0.1	0.119	0.144	0.170	0.758	0.589	0.026	18
8	0.050	0.37	0.074	0.078	0.140	1.167	0.487	0.062	79
9	0.057	0.50	0.080	0.065	0.115	1.378	0.584	0.050	77
10	0.062	0.52	0.085	0.060	0.150	1.526	0.280	0.090	150

Table 4. Comparison of Manning's Roughness Coefficients

Level	discharge (m ³ /s)	slope (%)	Manning's n		
			without baffles	with baffles	difference
3	0.030	0.1	0.011	0.018	0.007
4	0.044	0.1	0.011	0.018	0.007
5	0.065	0.1	0.011	0.018	0.007
6	0.082	0.1	0.010	0.016	0.006
7	0.103	0.1	0.010	0.016	0.006

3.3 읍셋배플의 어류이동효과

암거식 어도 설치후의 어류이동효과는 Table 5와 같이 3가지 유속조건에서 실험하였다. 어류이동효과를 확인하기 위한 실험어종은 피라미 40마리를 20마리씩 2회 소상시켜 비교하였다. 실험결과 사류흐름이 발생되었던 유속과 수심조건에서 전혀 소상하지 못하던 피라미가 배플설치후 유속저감과 수심상승효과로 인해 소상할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 1단계와 5단계에서는 배플사이에서 휴식하는 행동을 보이며 오히려 10분이내의 소상성공율이 저하되었는데 이 원인은 피라미가 정체되거나 느린 유속의 흐름보다는 어느 정도 유속의 흐름이 있는 곳으로 이동하려는 습성, 즉 흐름에 대한 지향성의 유영특성이 원인으로 사료된다.

피라미는 사류흐름이면서 한계유영속도 이상인 평균 유속 1.2m/s에서 소상율이 0%였으나 5cm 읍셋배플 설

치후에는 소상율이 20% 로 개선됨을 확인하였다. 또 피라미의 주 이동경로를 영상분석한 결과 읍셋배플 설치전에는 수로바닥 전체범위를 좌우로 이동하였으나 설치후에는 직각으로 설치된 짧은 배플지점으로만 이동경로가 제한됨을 확인하였으며, 이동 중에 배플사이의 공간에서 휴식을 취하는 모습도 확인하였다. 특히 배플사이에서 이동을 할 때 Fig. 6과 같이 피라미의 꼬리부분이 위로 밀려올라가는 모습을 보였는데 배플사이에 상승류가 발생하는 것으로 판단된다. 상세한 공간적 유향과 유속분포는 3차원 수치모의를 통하여 분석하였다.

4. 3차원 수치모의를 통한 어도설계 가능성 검토

4.1 3차원 수치모의 개요

본 절에서는 3차원 수치모의를 통하여 암거식 어도의 세부적인 수리특성을 가시화하고 향후 암거식 어도

Table 5. Comparison of Culvert Fishway with/without Baffles

Level	discharge (m ³ /s)	mean depth (m)		velocity (m/s)		Proportional success of fish pass (%)	
		without baffles	with baffles	without baffles	with baffles	without baffles	with baffles
1	0.008	0.04	0.06	0.28	0.18	92	10
5	0.065	0.11	0.13	0.71	0.59	61	20
10	0.062	0.06	0.15	1.17	0.34	-	20

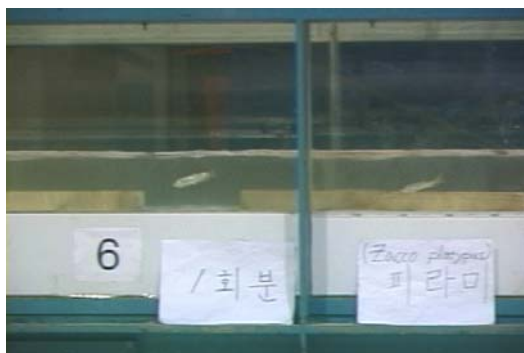


Fig. 6. Comparison of Swimming Performance(V=0.7m/s)

설계시 사용할 수 있는 가능성을 검토하고자 한다. 3차원 수치모의는 Fig. 7과 같이 FLOW-3D모형을 사용하였으며, 수리실험 경계조건은 Table 6과 같이 수행하였다.

4.2 수리조건 검증

오프셋배플 설치전과 설치후에 실험수로 5m 지점에 대한 평균유속 및 수심을 비교하여 실제 수리특성과 일치하는지 검증하였다. 동일한 유량과 수로조건에서 3차원 수치모의 결과와 수리실험결과가 일치하는지 검증한 결과 Table 7과 같이 대부분 일치하는 것으로 나타났다. 수리실험 사진과 수치모의 평면도는 Fig. 8과 같다.

4.3 수로평면 및 단면상 수리특성 분석

오프셋배플 설치전과 후에 실험어종이 이동했던 경로의 유속 및 유향변화를 확인하기 위해 Fig. 9와 같이

배플사이의 다섯 지점을 선정하여 수리특성을 분석하였다. 이동경로의 영역을 분석한 결과 오프셋배플 설치 전에는 수로바닥부 영역이 전반적으로 낮은 유속을 유지하였으나, 설치 후에는 공간별로 유속차이가 발생되면서 직각으로 설치된 짧은 배플사이가 가장 저유속부로 나타났다.

배플사이 5개 지점별 유속분포는 Fig. 9~13과 같으며 짧은 배플지점의 수리특성상 어류가 이동하기 유리한 저유속영역임을 확인하였다. 또 수로단면에서 발생하는 상승흐름은 어류이동시 꼬리부분을 상승시키는 원인으로 판단된다.

유량변화에 따른 오프셋배플 설치 후의 수리특성을 분석하기 위해 고정유속 방법 2차실험의 실험조건에서 유량을 3개 단계로 구분하여 3차원 수치모의를 수행하였다. 이동경로의 영역에 대하여 수리특성을 분석한 결과

Table 6. Boundary Condition of FLOW-3D

category		without offset baffles
boundary condition	upstream	• discharge 0.065m ³ /s (depth 0.113m, velocity 0.719m/s)
	downstream	• critical depth = 0.0877m
roughness height		• 0.001m (Mannig's roughness coefficient ≃ 0.01)

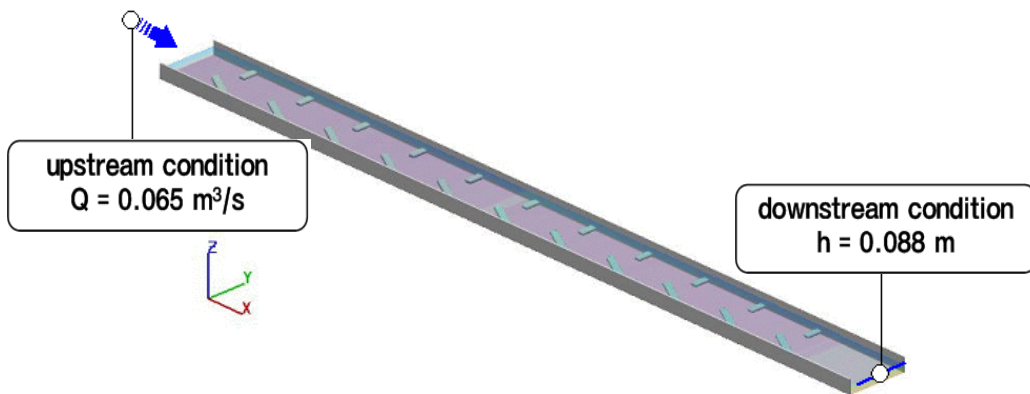


Fig. 7. Boundary Conditions for FLOW-3D Simulation

Table 7. Verification of FLOW-3D

category	discharge (m ³ /s)	slope (%)	mean velocity(m/s)		mean velocity difference (m/s)	flow depth(m)		flow depth difference (m)	note
			without baffles	with baffles		without baffles	with baffles		
flume experiment	0.065	0.1	0.71	0.59	0.12	0.108	0.130	0.022	5m section
numerical modeling			0.71	0.58		0.13	0.108		

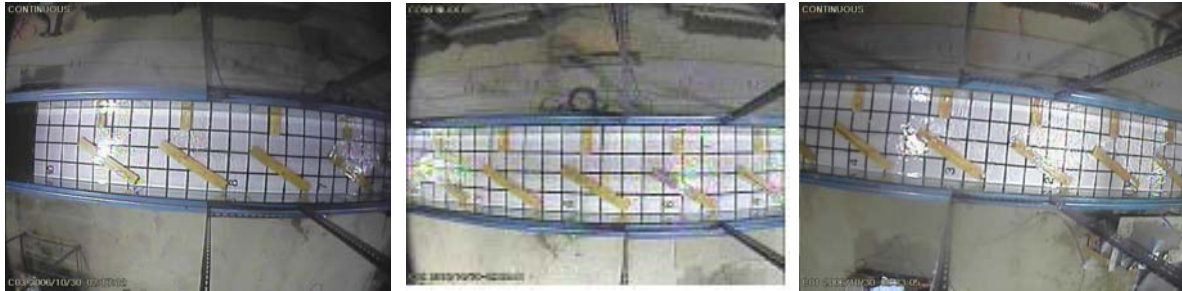
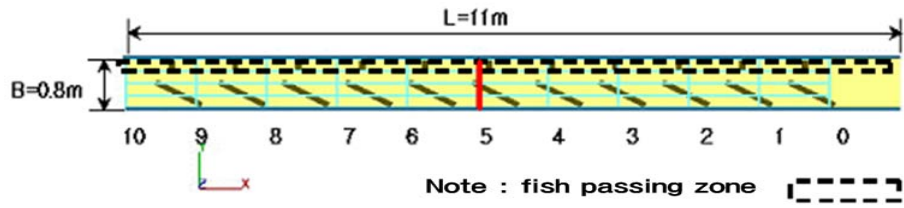


Fig. 8. FLOW-3D Model and Flume

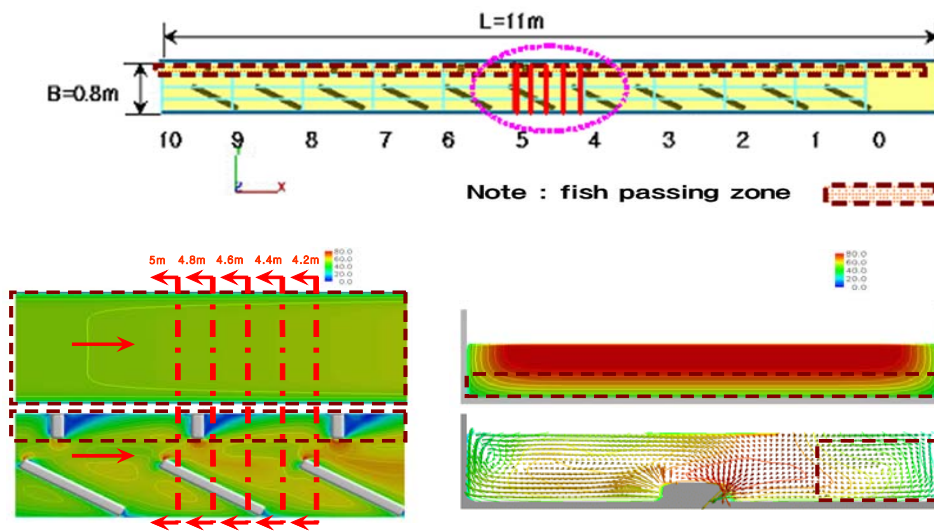


Fig. 9. Velocity Analysis of FLOW-3D (Cross Section of 5m Point)

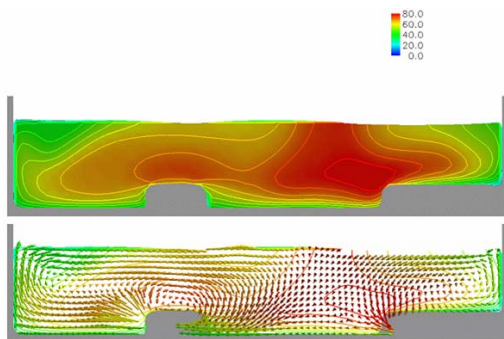


Fig. 10. Velocity Analysis of FLOW-3D
(Cross Section of 4.8m Point)

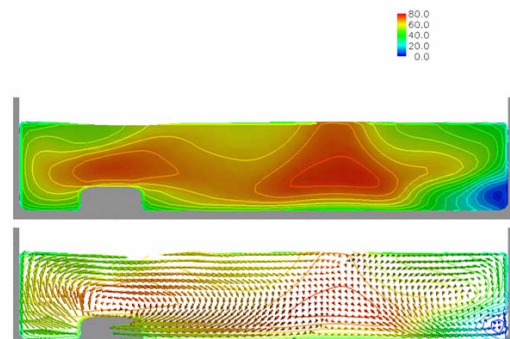


Fig. 11. Velocity Analysis of FLOW-3D
(Cross Section of 4.6m Point)

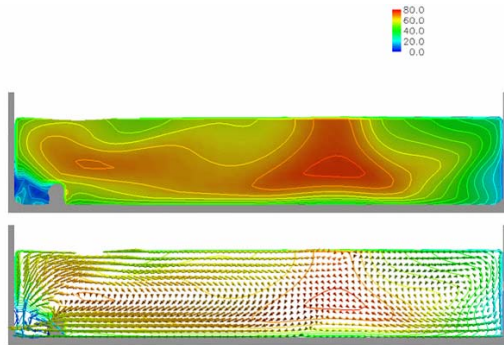


Fig. 12. Velocity Analysis of FLOW-3D
(Cross Section of 4.4m Point)

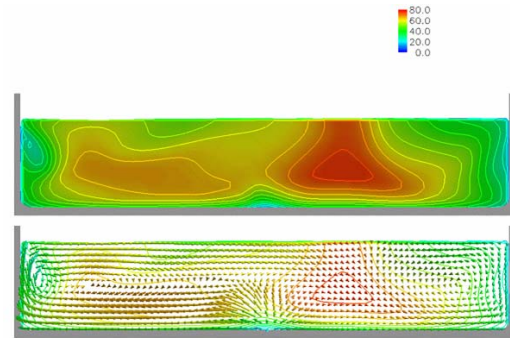


Fig. 13. Velocity Analysis of FLOW-3D
(Cross Section of 4.2m Point)

웁셋배플 설치 전에 수로바닥부가 전반적으로 일정한 저유속부로 나타났으나, 설치 후에는 단면내에서도 다양한 유속분포가 나타났다. 특히 주 이동경로인 직각으로 설치된 짧은 배플사이에서는 상승흐름이 발생되면서 수로내에서 유속이 가장 낮은 영역으로 나타났다. 웁셋배플 설치전과 후에 피라미가 이동하는 모습을 비교분석한 결과 피라미의 경우 고유의 유연능력인 한계유영속도 0.7m/s 이하의 유속이면서 상승흐름 없이 직선으로 흐르는 유향이 이동하기 편한 흐름으로 판단된다. 다만 이미 하천에 설치되어 있는 배수암거내 평상시 흐름이 사류흐름으로 유속이 0.7m/s 이상이고 배수암거의 길이가 길어 어류이동이 불가능하다면 웁셋배플을 설치함으로써 유속을 저감시키고 휴식공간을 제공하여 피라미가 이동하기 편한 흐름으로 개선 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후과제

실험결과 피라미의 경우 한계유영속도보다 빠른 1.2m/s 유속조건에 외국의 기준 30cm보다 낮은 5cm 높이의 웁셋배플을 설치하여도 조도계수의 상승효과로 유속이 0.34 m/s로 저하되고 수심이 상승되면서 소상성공율이 20% 개선됨을 확인하였다. 따라서 배플의 최소 기준은 물고기의 체고이상만을 고려해도 가능할 것으로 판단된다. 또 피라미의 이동경로를 분석한 결과 웁셋배플 설치전에는 저유속이 발생하는 수로바닥부로 이동하였으나 설치후에는 직각으로 설치된 짧은 배플구간으로만 이동하거나 휴식을 취하는 모습을 보임에 따라 피라미는 이동시 한계유영속도보다 유속이 느리면서 직선흐름이 발생하는 영역을 선호하는 것으로 사료된다. 그러나 대략 0.3m/s 이하의 유속에서는 오히려 소상성공율이 떨어지는 현상이 나타나 너무 느린 유속에서는 소상의지가 낮아지는 것으로 판단된다.

웁셋배플 설치시 피라미 성어의 한계유영속도인 유

속 0.7m/s 조건에 대해 FLOW-3D모형을 이용한 3차원 수치해석을 수행하여 수리실험의 수리특성과 비교한 결과 대체적으로 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 어도 설계시 FLOW-3D모형의 이용가능성을 확인할 수 있었다. 웁셋배플 사이를 5구간으로 구분하여 유속의 공간적 분포와 유향을 분석한 결과 피라미의 이동경로인 직각으로 설치된 짧은배플 사이에는 유속저감 현상과 함께 횡단면에서 상승흐름이 발생됨을 확인하였다. 수리실험에서 유연하는 피라미가 꼬리부분이 올라간 이유는 상승흐름에 의한 것으로 판단된다.

향후 암거식 어도 설치시 수심이 상승되면 홍수시 배수암거의 홍수소통기능에 지장을 줄 수 있으므로 홍수시 유량조건에서 배플높이를 어느 정도로 제한하여야 하는지 등에 관한 수리특성의 연구가 수행되어야 할 것이다. 또 수리실험이나 3차원 수치모형을 활용하여 다양한 암거식 어도의 형식을 개발하는 연구도 효과적인 어도설치를 위해 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 한국수자원학회(2005), 하천설계기준
 Baker, C.O., and Votapka, F.E. (1990). "Fish Passage Through Culverts." San Dimas, CA: USDA, Forest Service Technology and Development Center. FHWA-FL-90-006: pp. 1-67
 Bates, K., Barnard, B., Heiner, B., Klavas, J., and Powers, P. (2003). "Design of Road Culverts for Fish Passage." Washington Department of Fish and Wildlife. Olympia.
 Bates, K. (1992). "Fishway Design Guidelines for Pacific Salmon." Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia.
 Boubee, J., Jowett, I., Nichols, S. and Williams, E. (1999). "Fish passage at culverts. A report for the

- Department of Conservation." *National Institute of Water and Atmospheric Research*, Wellington.
- Ead, S.A., Rajaratnam, N., Katopodis, C. (2002). "Generalized Study of Hydraulics of Culvert Fishways". *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 128, No. 11, pp. 1018-1022.
- McKinley, W.R. and Webb, R.D. (1956). "A proposed correction of migratory fish problems at box culverts." *Fish. Res. Papers*, Vol. 1, No. 4, pp. 33-45
- Rajaratnam, N., and Katopodis, C. (1990). "Hydraulics of culvert fishways III: Weir baffle culvert fishways." *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 17, pp. 558-568.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Lodewyk, S. (1988a). "Hydraulics of offset baffle culvert fishways." *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 15, pp. 1043-1051.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Mainali, A. (1988b). "Plunging and streaming flows in pool and weir fishways." *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 114, No. 8, pp. 939-944.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and McQuitty, N. (1989). "Hydraulics of culvert fishways II: Slotted-weir culvert fishways." *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 16, pp. 375-383.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Fairbairn, M. A. (1990). "Hydraulics of culvert fishways V: Alberta fish weirs and baffles." *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 17, pp. 1015-1021.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Lodewyk, S. (1991). "Hydraulics of culvert fishways IV: Spoiler baffle culvert fishways." *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 18, pp. 76-82.
- <http://www.stream.fs.fed.us/fishxing/case/Prefumo/>
<http://www.stream.fs.fed.us/fishxing/retrofit.html>
- (논문번호:07-74/접수:2007.08.14/심사완료:2007.12.26)