

서문보의 다기능 어도의 구조해석

Structural Analysis of Multi-Functional Fishway in Seomoon Weir

이영재¹ · 이정신² · 장형규^{3*}¹경북대학교 토목공학과 교수, ²경북대학교 지능형 건설자동화연구센터 박사후연구원, ³경북대학교 방재연구소 박사후연구원Young Jae Lee¹, Jung Shin Lee² and Hyung Kyu Jang^{3*}¹Professor, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University²Postdoctoral Research Fellow, Intelligent Construction Automation Center, Kyungpook National University³Postdoctoral Research Fellow, Research Institute for Disaster Prevention, Kyungpook National University

Received 11 November 2020, revised 2 December 2020, accepted 2 December 2020, published online 31 December 2020

ABSTRACT: In this study, the field applicability of the recently constructed multifunctional fishway in Seomunbo, Yeongcheon-si, and Gyeongsangbuk-do were examined. The analysis variables were R/C slab (S1) and R/C+S/C slab (S2), the underground passage standard areas (width × length) were 1.4 m × 0.2 m, 1.4 m × 0.3 m, and 1.4 m × 0.6 m, and the flow velocities were 0.8, 1.2, and 1.6 m/s. As a result of the analysis, the safety of the design of Seomunbo was evaluated. The analysis showed compared to the Seomoon Weir fishway, the maximum stress of S2 decreased by 24 - 32%, the bending moment of the underground passage decreased by 16 - 33%, the maximum stress of the sidewall decreased by 20 - 36%. In addition, the bending moment of the upper slab decreased by 17 - 33%, the maximum stress of the upper slab decreased by 9 - 28%, and the bending moment decreased by 19 - 33%. Complementation was required in the following percentages: 18% and 14% for the maximum stress and bending moment of the underground passage, respectively, 15% and 17% for the maximum sidewall stress and bending moment, respectively, and 11% and 16% for the upper slab maximum stress and bending moment, respectively. The results showed that S2 was superior to that of the Seomoon Weir fishway, and the underground passage size of 1.4 m × 0.3 m was superior to those of 1.4 m × 0.2 m and 1.4 m × 0.6 m, and R/C+S/C slab was superior to that of R/C slab. The findings are expected to be useful for constructing and designing the multifunctional fishway.

KEYWORDS: Multipurpose fishway, SAP2000, Seomoon weir, Structure analysis, Underground passage

요 약: 본 논문은 경북 영천시 서문보에 최근 건설된 다기능 어도의 현장 적용성을 검토하기 위해 해석 변수를 R/C Slab (S1), R/C+S/C Slab (S2) 및 지하이동통로 규격 (가로 × 세로)을 1.4 × 0.2 m, 1.4 × 0.3 m, 1.4 × 0.6 m와 유속 0.8 m/s, 1.2 m/s, 1.6 m/s 으로 구분하여 해석한 결과 서문보 설계식 안전성을 평가하였다. 서문보의 설계식 보다 R/C+S/C Slab타입이 지하이동통로 출구부는 휨모멘트와 최대응력은 각각 16 - 33%, 24 - 32%, 측벽은 각각 17 - 33%, 20 - 36%, 상부슬래브인 경우도 19 - 33%, 9 - 28% 적게 나타났다. 따라서 최대응력과 휨모멘트가 R/C+S/C Slab 타입이 구조 안전성이 확보되는 것으로 나타났다. 따라서 지하통로는 휨모멘트와 최대 응력이 각각 14%, 18%, 측벽은 17%, 15% 상부슬래브는 16%, 11%의 보완이 요구되는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 지하이동통로 규격이 서문보 규격과 동일한 1.4 × 0.3 m 일 때가 1.4 × 0.2 m, 1.4 × 0.6 m보다 안전성이 가장 유리한 것으로 확인되었다. 또한 해석 및 분석 결과를 근거로 서문보 규모의 다기능 어도 적용 시 기본 자료로 활용이 기대된다.

핵심어: 다기능 어도, SAP2000, 서문보, 구조해석, 지하이동통로

*Corresponding author: hjada@hanmail.net, ORCID 0000-0001-7980-4447

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

어도는 보나 댐 건설로 하천에 물고기 및 수생생물의 산란을 위한 이동을 불가능하게 하는 방해물이 있을 때, 그 이동 목적을 달성시킬 수 있도록 만들어진 수로 형식의 이동 통로이다. 어도는 보 건설 시 부속시설로서 생태학적 기능 및 안전성이 별다른 규제 없이 묵인되어 온 점 또한 부정할 수 없는 사실이다. 외국의 경우에는 어도를 설치한 후, 어도 효율성 평가(Stuart and Mallen-Cooper 1999, Stuart and Berghuis 2002, White et al. 2011) 및 개선방안(Bunt 2001, Rodriguez et al. 2006, Santos et al. 2014)과 같은 연구를 통해 어도의 성능을 높이기 위해 노력하였다. 이에 반해 국내의 경우는 외국보다 어도에 대한 관심이 늦게 시작되었다. MOF (2013)는 2010년 한국농어촌공사에서 시행된 어도 전수조사에 의하면 국내 하천에 건설된 어도의 설치 비율이 약 15%로 확인되었으며 이중 66%가 파손, 퇴적 등의 문제로 어도로서의 기능에 문제가 있는 것으로 조사되었다. 국내의 어도 관련 연구는 수리·물리학적 연구(Ahn et al. 2012, Seong et al. 2013), 어도 이용 어류 연구(Yang et al. 2001, Yoon et al. 2011, Kang et al. 2012, Han et al. 2012, Choi et al. 2013 등 상당히 제한적으로 시행되었다. 특히 어도의 효율성과 관련된 연구는 그 사례가 많지 않다. Choi et al. (2013), Lee et al. (2015, 2017)는 농림축산식품부에서는 2010년 농림축산식품 부령으로 내수면어업법이 개정되면서 하천의 흐름을 차단하는 인공구조물 건설 시 어도 설치를 의무화하였으며 이에 따라 어도와 관련된 연구는 계속 증가될 전망이다. Korean Design Standard (2018)은 2015년 이후 전국 하천에 가장 많이 건설되고 있는 아이스하버식 어도블록은 국토부가 지정한 표준어도로 지정되

어 있다. 그러나 Lee et al. (2017)에 따르면 이 형식은 설계시 1/20의 경사로 철근콘크리트 슬래브 위에 단순하게 역 T형 어도 블록만을 가로로 연결한 것이 전부이다. 또한 홍수 때 동반되는 모래, 자갈 등을 차단하는 시설이 없기 때문에 어도 블록 주위를 매몰시켜 보 입구까지 퇴적 시키면서 하천 경관을 흉물화로 악화시켰다. 이로 인해 어도의 기능을 발휘 못하는 심각성이 드러난 채 방치되고 있는 것이 현실이다 (Fig. 1).

Korea Water Resources Corporation (2004)은 한국의 하천은 건천이라는 사실을 고려하지 않고 단순하게 외국의 어도를 모방하고 전문가의 자문 없이 기술자의 상상에 의하여 시공함으로써 생태계를 교란시키는 심각한 문제이다. Lee (2011, 2013)는 아이스하버식 어도들은 3차원 구조해석이 누락되어 안정성이 확보된 설계의 개선이 요망된다.

Byun (2001), An (2008), Park et al. (2008), Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (2009)에 따르면 최근, 성장 논리에 가려 파괴된 생태계 복원을 위해 어도 분야의 심각성을 지적한 연구들이 늘어나고 있다. 또한 Kim and Kim (1994), Kim (1996), Park (2001)은 어도 건설 후, 물고기들의 모니터링 분야는 어도의 구조가 어떤 어류의 이동 조건에 적절한지를 조사하였다. Lee (2014)와 Kim (2018)은 물고기들의 이동 시기가 계절적으로 갈수기인 산란기에 적절한 규모의 지하이동통로의 안전성을 검증하였다.

Park (2001)은 어도 관련 연구가 하천특성 및 생태계의 특성을 반영하지 못하였다. Ju (2005), Ma (2018), Kan (2020)은 국내, 국외의 어도 설치 사례 조사와 향후 우리나라 대형 댐에서의 어도 설치에 관한 타당성 여부를 연구하였다. Lee et al. (2017)은 기존 어도들의 가장 큰 문제는 국내 하천의 특징인 홍수시 많은 수량으로 단 며칠만 어도 기능이 회복되고 산란기가 계절적으로 갈수기로 물이 없기 때문에 물고기의 이동이 불가능한 것이다. Lee (2014)는 최근 개발된 다기능 어도는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 유일한 대체 어도인 것이다. Lee et al. (2017), Kim (2018)은 다기능 어도는 하천 상류에서 유입되는 자갈, 모래, 나뭇가지, 각종 쓰레기 등이 어도에 퇴적되는 것을 방지하는 유입물 차단 시설, 산란기가 갈수기의 낮은 수심에도 물고기의 이동이 가능한 지하이동통로, 어류들이 상류 이동 시 수압을 완화시키는 수압완화격벽, 수량조절용 인공폭장, 홍수 때



Fig. 1. Poorly constructed ice harbor-style fishway (a) Ice harbor-style fishway in Bulyeong Valley, Ulsin-gun, Gyeong-sangbuk-do, (b) Ice harbor-style fishway in Seongju-gun Daega river.

큰물을 신속하게 배출시키는 상부슬래브, 물고기들이 상, 하류로 이동 시 휴식공간과 대피처 기능을 하는 집어시설, 용수 조절용 수문 등 7가지의 시스템으로 구성된 어도이다. McKinly and Webb (1956)에 따르면 암거식 어도의 배플은 어류가 수로를 이동하는 동안 휴식공간과 지속적인 저유속 조건을 유지하기 위해 설치된다. Baker and Votapka (1990)에 따르면 배플은 하천으로 흘러가는 나뭇가지나 검불, 토사 등을 차단하여 수로 입구나 배플 사이에 퇴적을 유발한다. Boubee et al. (1999)은 뉴질랜드의 어도 지침서는 물고기들의 유영특성을 다양하게 실험적 연구결과를 제시하였다. Bates et al. (2003)은 미국은 홍수시에는 홍수 소통 기능 평상시에는 어도기능이 발휘될 수 있도록 설계하고 있다.

Park et al. (2008)은 옹셋배플형 암거식 어도를 설치 전과 비교에서 유속 1.2 m/s 경우에는 높이 5 cm의 옹셋배플 설치 후 유속의 저감으로 피라미의 소상 성공률이 20% 개선됨을 확인하였다. Watanabe Sigeru (2012)는 한국 하천에 적용 가능한 다기능 어도 같은 형식의 제안은 2011년 11월에 농수산식품부에서 주최한 1차 국가어도 세미나에 특별 초청된 일본의 전문가는 어도는 단순 블록이 아닌 시스템으로 구성되어야 함을 주장하였다.

Lee et al. (2015)에 따르면 국내의 연구는 어도 시설 분야 보다는 주로 물고기들의 종의 개체수에 의한 분포도에 관한 내용들이 활발하게 진행되어 왔다. 그러나 Park et al. (2008), Lee (2014), Guo (2020)는 어도의 시설분야에 관한 연구가 아직 미미한 수준에 머물러 있으며 기존 건설된 대부분의 어도 문제점이 개선된 다기능 어도에 대한 연구는 절음마 수준이다.

Lee (2014), Lee et al. (2017), Kan (2020)은 금년 장마기간 중 이상기후로 인해 1일 500 mm 이상의 계류라성 폭우와 잦은 태풍은 어도시설의 안전성에 위협요인으로 엄습하였다. 이때 급증된 수압은 큰 위협요인으로 변질되었다. 이와 같이 기상 환경이 크게 악화되고 있는 실정이므로 기존 어도의 안정성 검토가 시급한 현안이 되었다.

Lee (2014), Lee et al. (2017), Ma (2018), Kim (2018)은 향후 지구 온난화 영향은 특정 지역에 집중된 계류라성 폭우 등으로 기존 어도의 안전성을 위협하므로 검토의 필요성을 재기했다.

따라서 본 논문에서는 경북 영천시 신령천 서문보에 2015년 경상북도 영천시에서 발주한 설계식(이하“설계식”이라 칭함)과 시공성이 증대되고 있는 다기능 어도의 상부슬래브에 적용된 2가지 재료, 유속, 지하이동통로 규격의 시험변수를 국제적으로 공인된 구조전용 S/W인 SAP2000 해석값의 비교를 통해 안전성을 규명하는데 있다.

1.1 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 2013년도 경상북도 영천시, 구미시 (Gyeongbuk Province 2013), 김천시 등에 설치되어 있는 어도 9개소 중, 준공이래 어도의 기능이 다른 곳에 비해 비교적 안정적인 영천시 신령천 서문보(이하 서문보 어도라 칭함)를 대상으로 안전성을 검토하였다.

해석변수는 다기능어도의 상부슬래브(지하이동통로의 천정부에서 상부의 슬래브까지 높이)와 지하이동통로 출구부(지하이동통로 상류 측 입구), 측벽(하상기초에서 보까지 높이)등 3가지 부재를 대상으로 구조해석을 수행한다.

해석 변수는 서문보 어도가 현장에서 시공된 지하이동통로 규격은 가로×세로 1.4×0.3 m와 상부 슬래브는 철근콘크리트 + 스틸 슬래브 (Reinforced Concrete + Steel Concrete Slab, R/C+S/C Slab, 슬래브 두께: 0.1 m, steel 두께: 0.004 m)이다. 지하어도 구성 재료는 철근콘크리트 슬래브 (Reinforced Concrete Slab, R/C Slab, 슬래브 두께: 0.1 m)와 R/C+S/C Slab, 유속은 피라미의 평균 유영력 1.2 m/s를 기준하였다. Korea Rural Community Corporation (1970)에 따르면 유속 변수로는 내륙지방의 어도를 이용하는 깃대종인 갈겨니 (1.3 m/s), 가시고기 (0.8 m/s), 은어 (1.5 m/s)의 유영력과 유사한 0.8 m/s, 1.2 m/s, 1.6 m/s으로 지하이동통로 규격은 가로×세로를 각각 1.4×0.2 m, 1.4×0.3 m, 1.4×0.6 m로 결정하여 구조해석을 통해 설계식과 비교하여 구조 안전성을 확인한다.

2. 다기능 어도 구조해석

2.1 해석 개요

본 논문에서는 어도 콘크리트 슬래브 구조의 유속저항성능에 영향을 미칠 수 있는 설계인자들의 영향을 검

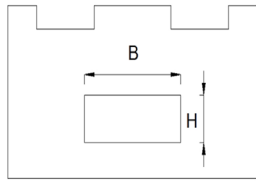


Fig. 2. R/C Slab.

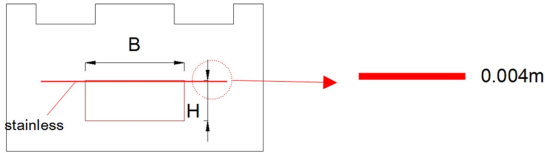


Fig. 3. R/C+S/C Slab.

토하기 위해 서문보 어도에 적용된 다기능 어도의 설계식과 3차원 구조해석을 수행하였다.

Fig. 2와 3은 지하이동통로의 정면도이다. Fig. 4는 서문보에 시공된 다기능 어도의 측면도이다. 상부슬래브의 R/C Slab, R/C+S/C Slab 때 R/C+S/C Slab에 적용된 강재는 STS 316으로서 두께는 0.004 m이며, 상부슬래브의 구성 재료인 R/C나 R/C+S/C Slab에 시공된 콘크리트 두께가 0.33 m일 때의 단면 형상과 다기능 어

도 측면 도면을 나타내었다. 여기서 B는 지하이동통로 규격의 가로이고 H는 세로이다.

2.2 초기하중 및 경계조건

본 논문의 목적은 실제 설계 수압에 대한 구조물설계이고 홍수시 유속 0.8 m/sec, 1.2 m/sec, 1.6 m/sec를 Eq. 1과 같이 수압으로 변환하여 계산하여 적용했다.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \tag{Eq. 1}$$

여기서 P는 동압력 (N/m²), ρ는 밀도 (N/m³), v는 유속 (m/s)이며, 경계조건으로는 고정조건을 적용하였고, 수압을 받는 부분은 접촉조건을 부여했다. 어도 구조해석 변수는 Table 1과 같다.

2.3 해석 모델링

다기능 어도의 모델링 형상은 Fig. 5와 같고 서문보 어도의 설계식 규격은 Table 2와 같고 3차원 구조해석 조건은 Table 3과 같다.

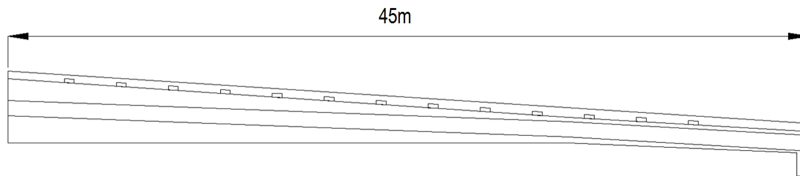


Fig. 4. Side view multi-functional fishway.

Table 1. The structure analysis of factors

Velocity		Analysis
Fishway body	Size of underground passage	Fishway
R/C Slab, S/C Slab, 0.8 m/sec, 1.2 m/sec, 1.6 m/sec	1.4 m × 0.2 m, 1.4 m × 0.3 m, 1.4 m × 0.6 m	Upper slab, Side wall, Maximum stress of exit part, Bending moment

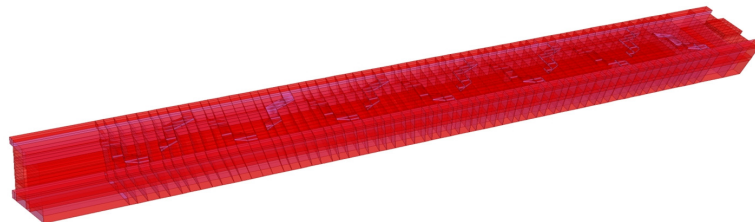


Fig. 5. FEM modeling.

Table 2. Seomoon weir analysis conditions

Fishway	Seomoon fishway
Length	45 m
Width	4.6 m
Width of wall	0.30 m
Size of underground passage (B × H)	1.4 m × 0.3 m
Velocity of flow	1.2 m/sec
Elastic modulus	$E_s = 2.0 \times 10^5$ MPa, $E_c = 2.7 \times 10^4$
Strength design criteria	$f_{ck} = 24$ MPa

Table 3. Analysis conditions

Fishway	R/C Slab	R/C+S/C Slab
Length	45 m	45 m
Width	4.6 m	4.6 m
Width of wall	0.30 m	0.30 m
Size of underground passage (B × H)	1.4 m × 0.2 m 1.4 m × 0.3 m 1.4 m × 0.6 m	1.4 m × 0.2 m 1.4 m × 0.3 m 1.4 m × 0.6 m
Elastic modulus	$E_s = 2.0 \times 10^5$ MPa, $E_c = 2.7 \times 10^4$	$E_s = 2.0 \times 10^5$ MPa, $E_c = 2.7 \times 10^4$
Strength design criteria	$f_{ck} = 24$ MPa	$f_{ck} = 24$ MPa

3. 해석 결과

3.1 어도 안전성 해석 결과 및 분석

본 논문에서는 어도의 안전성 검토를 위해 지하이동통로 규격별, 유속별로 Full-Modeling 하여 R/C Slab 와 R/C+S/C Slab 형태의 상부 슬래브, 측벽, 지하이동통로 출구부의 최대 응력과 휨모멘트를 검토하였다. 해석 결과는 응력과 휨모멘트의 최대값을 대표적으로 Table 4와 5에 나타내었다.

3.1.1 상부 슬래브

다기능어도의 구성 재료 변수는 R/C Slab, R/C+S/C Slab 일 때, 각각 유속별로 분류하여 상부 슬래브의 최대응력과 휨모멘트 값 중 가장 큰 값에 대한 구조해석 결과는 다음과 같이 나타났다.

최대응력은 허용응력인 9.6 MPa 보다 적은 값을 나타내었고 R/C+S/C Slab가 R/C Slab보다 60%, 휨모멘트의 분석도 R/C+S/C Slab가 R/C Slab보다 10% 적게 나타났다. 이는 RC Slab보다는 R/C+S/C Slab에 0.004 m 강판을 바닥에 배치하였기 때문에 응력 증가에 영향

Table 4. The maximum stress for exit part

R/C+S/C Slab (1.4 m × 0.6 m, 1.6 m/s)	
Maximum stress	3.1 MPa
Allowed stress	9.6 MPa

Table 5. The bending moment for exit part

R/C+S/C Slab (1.4 m × 0.6 m, 1.6 m/s)	
Bending moment	4.5 N·mm

을 미치는 것으로 판단된다. 또한 R/C Slab와 R/C+S/C Slab는 유속이 0.8 m/s, 1.2 m/s, 1.6 m/s 로 증가시 최대 응력도 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 서문보에 시공된 다기능 어도가 안정성 측면에는 신뢰할 수 있는 설계임을 시사하고 있다.

상부 슬래브의 해석결과 서문보에 시공된 다기능 어도의 지하이동통로 규격 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s와 1.4 × 0.3 m, 유속 1.6 m/s 일 때 최대응력과 비교한 결과 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s 일 때 R/C Slab에서는 15%, R/C+S/C Slab에서는 17% 적게 나타났고 지하이동통로 규격 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s와 1.4 × 0.3 m, 유속 1.6 m/s 일 때 휨모멘트를 비교한 결과 1.4 × 0.3 m, 유속

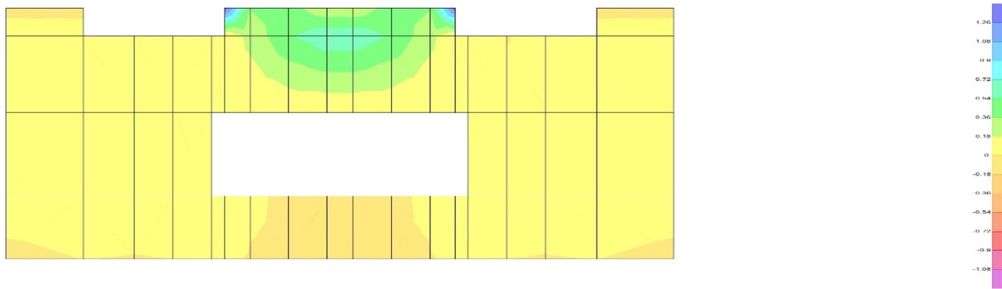


Fig. 6. The maximum stress for exit part (R/C+S/C Slab (1.4 m x 0.6 m, 1.6 m/s)).

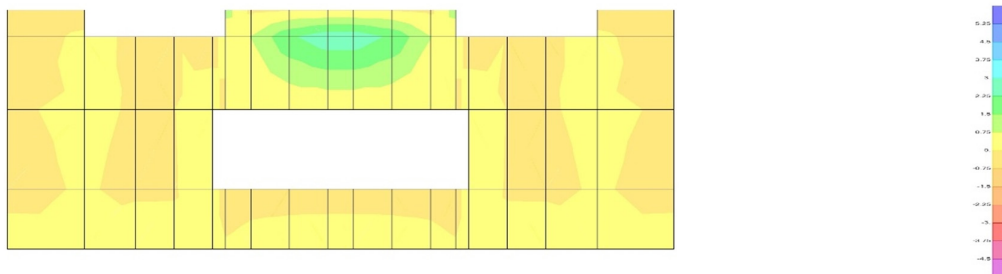


Fig. 7. The bending moment for exit part (R/C+S/C Slab (1.4 m x 0.6 m, 1.6 m/s)).

1.2 m/s 일 때 R/C Slab에서는 20% R/C+S/C Slab에서는 20% 적게 나타났다. 최대응력과 휨모멘트가 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 일 때 보다 1.4 × 0.3 m 일 때 가 서문보 어도가 안정성으로 더 유리한 것으로 판단된다.

3.1.2 측벽

다기능 어도의 구성 재료 변수는 R/C Slab, R/C+S/C Slab 일 때, 유속별로 분류하여 측벽의 최대응력과 휨모멘트 값 중 가장 큰 값에 대하여 비교 분석하였다. 측벽의 최대 응력은 허용응력인 9.6 MPa 보다 적은 값으로 나타났고 R/C+S/C Slab가 R/C Slab 보다 62% 적게 나타났다. 측벽의 휨모멘트는 R/C+S/C Slab가 R/C Slab 보다 6% 정도 적게 나타났다.

측벽의 해석결과 서문보에 시공된 다기능 어도의 지하이동통로 규격 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s와 1.4 × 0.3 m, 유속 1.6 m/s 일 때 최대응력을 비교한 결과 R/C Slab에서는 28%, R/C+S/C Slab에서는 25% 적게 나타났다. 휨모멘트는 지하이동통로 규격 1.4 × 0.6 m, 유속 1.6 m/s 일 때 R/C Slab에서는 49%, R/C+S/C Slab에서는 45% 적게 나타났다. 측벽의 해석 결과에서 나타났듯이 휨모멘트의 경우 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 일 때 보다 1.4 × 0.3 m 일 때가 서문보 어도가 안정성으로 더 유리한 것으로 판단된다.

3.1.3 지하이동통로 출구부

다기능 어도의 핵심은 물고기들이 산란기에도 수량 확보가 가능한 것이므로 서문보어도에도 R/C+S/C slab 타입에 지하어도가 구비되어 있기 때문에 서문보어도 설계식과 해석값을 비교한 결과는 현장 적용성을 검토하는데 주요한 지표가 된다.

서문보에 시공된 다기능 어도의 지하이동통로 규격은 B와 H가 1.4 m와 0.3 m이다. Figs. 6, 7은 R/C Slab, R/C+S/C Slab 일 때, 지하이동통로 출구부 벽면의 최대응력과 휨모멘트를 나타내었다. 지하이동통로 출구부의 최대 응력은 허용 응력인 9.6 MPa 보다 적은 값을 나타내었고 R/C Slab 보다는 R/C+S/C Slab가 52% 정도 유리한 것으로 나타났다. 지하이동통로 출구부의 휨모멘트는 R/C Slab 보다는 R/C+S/C Slab가 평균 12% 정도 유리한 것으로 나타났다.

지하이동통로 출구부의 해석결과 서문보에 시공된 다기능 어도의 지하이동통로 규격 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s와 유속 1.2 m/s, 1.4 × 0.6 m 일 때와 최대응력을 비교한 결과 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s 일 때 R/C Slab에서는 58%, R/C+S/C Slab에서는 58%로 적게 나타났다.

휨모멘트는 지하이동통로 규격 1.4 × 0.3 m, 유속 1.2 m/s 일 때 보다 유속 1.6 m/s, 1.4 × 0.6 m 일 때 R/C Slab에서는 50%, R/C+S/C Slab에서는 49% 적게 나타났다.

제시한 변수들은 어도의 유영력이 0.8 - 1.6 m/s이내 이므로 연어, 칠성장어 등의 유영력이 보통 0.8 - 2.0 m/s 이기 때문에 다기능 어도가 일부 국지성 물고기들 이나 회귀성 물고기들의 소상에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 이는 (Watanabe Sigeru 2012)와 유사한 경향을 보이고 있다.

3.2 R/C Slab 형태와 R/C+S/C Slab 형태의 응력분석

Fig. 8은 해석변수 상부 슬래브에 대한 유속과 지하이동통로 규격과 재료별 각각의 최대 응력값을 나타낸 것이다. 지하이동통로 규격별로 비슷한 경향을 보였으며 유속이 1.6 m/s일 때 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 보다 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C Slab의 최대응력이 41.2%, 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C+S/C Slab의 최대응력이 39.2% 적게 나타났다. 분석결과 R/C

Slab, R/C+S/C Slab 1.4 × 0.2 m, 1.4 × 0.3 m일 때가 서문보 어도의 지하이동통로 규격인 1.4 × 0.6 m보다 최대 응력이 유리하므로 서문보 어도의 상부 슬래브에 보완이 요구되는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 해석변수 측벽에 대한 유속과 지하이동통로 규격과 재료별 각각의 최대 응력값을 나타낸 것이다. R/C Slab와 R/C+S/C Slab는 유속별로 비슷한 경향을 보였으며 유속이 1.6 m/s일 때 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 보다 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C Slab의 최대응력이 46.9%, 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C+S/C Slab의 최대응력이 49.2% 적게 나타났다. 측벽 분석결과 R/C Slab, R/C+S/C Slab 1.4 × 0.2 m, 1.4 × 0.3 m일 때가 서문보 어도의 지하이동통로 규격인 1.4 × 0.6 m보다 최대 응력이 유리하므로 서문보 어도의 측벽에 보완이 요구되는 것으로 판단된다.

지하이동통로 출구의 규격이 가로가 1.4 m이고 세로 0.2 m, 0.3 m, 0.6 m인데 이는 일반 교량과 같은 내하력

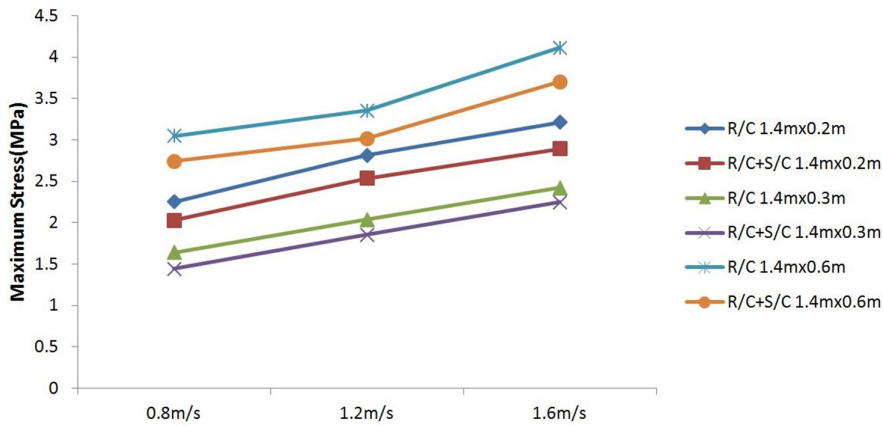


Fig. 8. Comparison of maximum stress analysis between R/C Slab and R/C+S/C Slab by velocity.

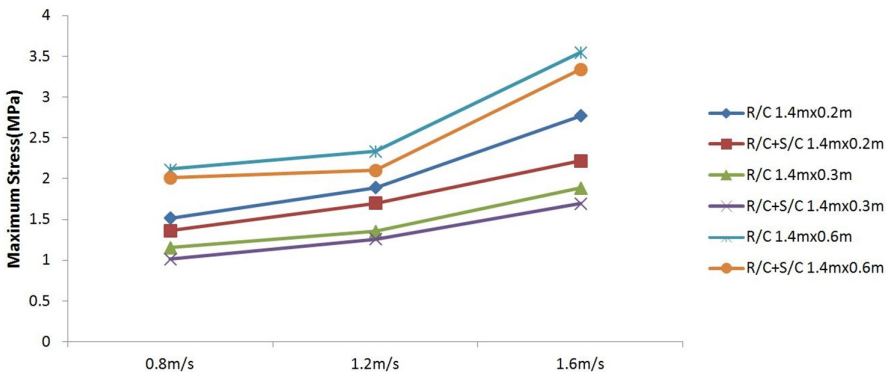


Fig. 9. Comparison of maximum stress analysis between R/C Side wall and R/C+S/C Side wall by velocity.

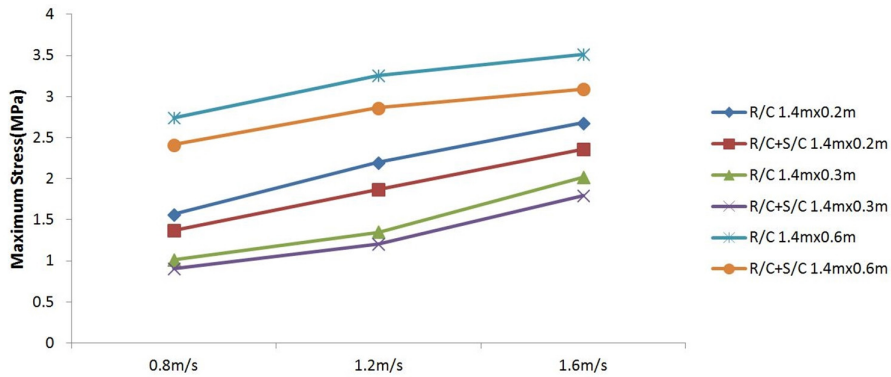


Fig. 10. Comparison of maximum stress analysis between R/C exit part and R/C+S/C exit part by velocity.

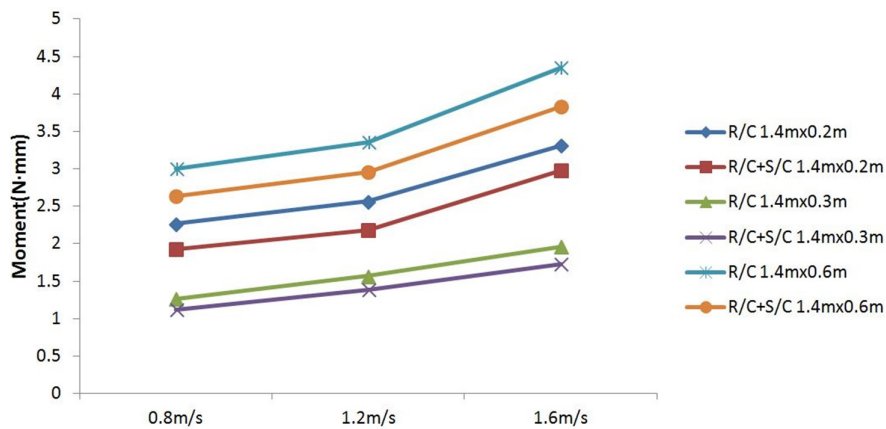


Fig. 11. Comparison of bending moment analysis between R/C Slab and R/C+S/C Slab by velocity (Slab).

이 큰 현장구조물보다는 현저하게 형상이 작은 조건이므로 구조해석의 특성상 이상화 해석에 의한 요인 범주이므로 응력차이가 미미한 것으로 추측될 수 있다. 그러나 국가 하천이나 댐 같은 경우에 어도 설계 시에는 보다 적극적인 현장 조건대로의 각종 수리 모형시험과 병행해서 수리 및 구조전용 S/W에 의한 검토가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 10은 해석변수 지하이동통로 출구부에 대한 유속과 지하이동통로 규격과 재료별 각각의 최대 응력값을 나타낸 것이다. 유속이 1.6 m/s일 때 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 보다 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C Slab의 최대응력이 42.7%, 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C+S/C Slab의 최대응력이 42% 적게 나타났다. 분석결과 지하이동통로 규격 1.4 × 0.6 m보다 서문보 어도의 지하이동통로 규격인 1.4 × 0.3 m가 최대 응력이 유리하므로 서문보 어도의 지하이동통로 출구부 안전성이 유리한 것으로 판단된다.

Fig. 11은 해석변수 상부 슬래브에 대한 유속과 지하이동통로 규격과 재료별 각각의 휨모멘트 값을 나타낸 것이다. 지하이동통로 규격별로 비슷한 경향을 보였으며 유속이 1.6 m/s일 때 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 보다 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C Slab의 휨모멘트가 54.9%, 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C+S/C Slab의 휨모멘트가 54.6% 적게 나타났다. 분석 결과 R/C Slab, R/C+S/C Slab 1.4 × 0.2 m, 1.4 × 0.3 m 일 때 가 서문보 어도의 지하이동통로 규격인 1.4 × 0.6 m 보다 휨모멘트가 유리하므로 서문보 어도의 상부 슬래브에 보완이 요구되는 것으로 판단된다.

Fig. 12는 해석변수 측벽에 대한 유속과 지하이동통로 규격과 재료별 각각의 휨모멘트 값을 나타낸 것이다. 유속이 1.6 m/s일 때 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m 보다 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C Slab의 휨모멘트가 34.1% 적게, R/C+S/C Slab의 휨모멘트가 30.4% 적게 나타났다. 측벽 분석결과 R/C Slab, R/C+S/C Slab 1.4 × 0.6 m

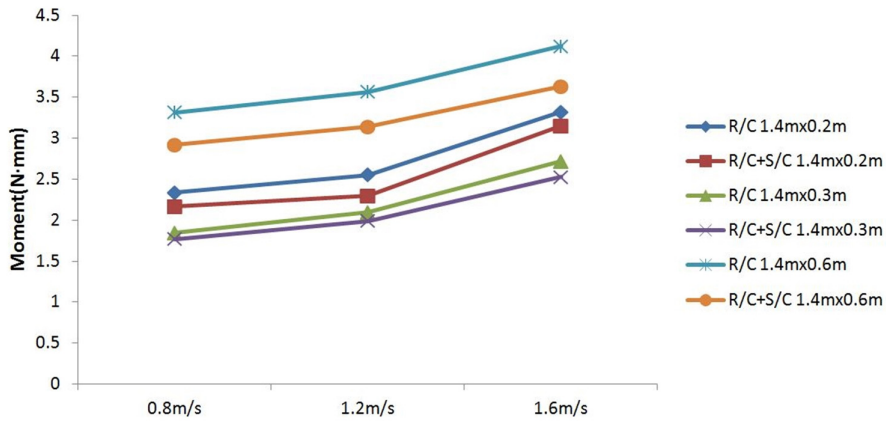


Fig. 12. Comparison of bending moment analysis between R/C Side wall and R/C+S/C Side wall by velocity (Side wall).

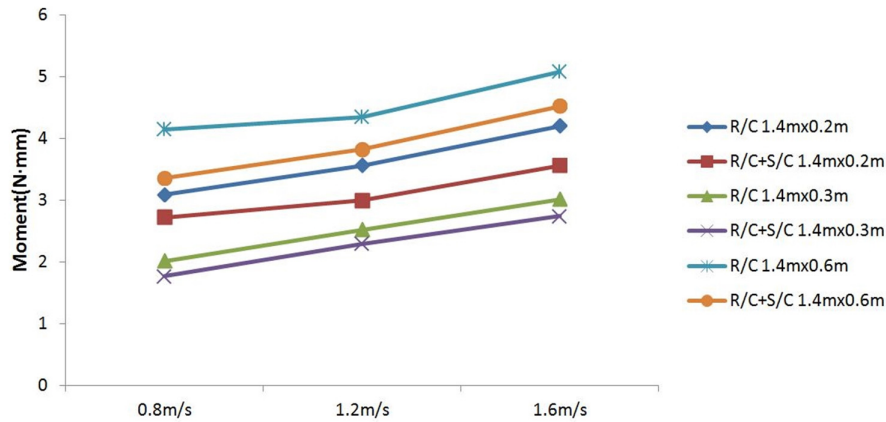


Fig. 13. Comparison of bending moment analysis between R/C exit part and R/C+S/C exit part by velocity (Exit part).

일 때 서문보 어도의 지하이동통로 규격인 1.4 × 0.3 m 보다 휨모멘트가 크므로 서문보 어도의 측벽에 보완이 요구되는 것으로 판단된다.

Fig. 13은 해석변수 지하이동통로 출구부에 대한 유속과 지하이동통로 규격과 재료별 각각의 휨모멘트 값을 나타낸 것이다. 지하이동통로 규격별로 비슷한 경향을 보였으며 유속이 1.6 m/s일 때 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.6 m보다 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C Slab의 휨모멘트가 40.7%, 지하이동통로 규격이 1.4 × 0.3 m일 경우 R/C+S/C Slab의 휨모멘트가 39.4% 적게 나타났다. 분석결과와 지하이동통로 규격 1.4 × 0.6 m 보다 서문보 어도의 지하이동통로 규격인 1.4 m × 0.3 m의 휨모멘트가 유리하므로 서문보 어도의 지하이동통로 출구부 안전성이 유리한 것으로 판단된다.

서문보 어도를 구조 해석한 결과와 지하이동통로 규격 1.4 × 0.3 m, R/C+S/C Slab를 기준으로 상부 슬래브의

최대응력과 휨모멘트는 각각 39.2%, 54.6%, 측벽은 49.2%, 30.4% 적게, 지하이동통로 출구부는 42%, 39.4% 적게 나타났기 때문에 서문보 어도의 보완이 요구되는 것으로 판단된다.

3.3 해석 결과와 설계식과의 비교

3.3.1 서문보 다기능 어도의 안정성 평가

서문보 어도에 적용한 설계식은 어도가 보의 작은 부속시설이므로 그동안 전문적인 S/W에 의한 구조해석 검토가 되지 않은 상태로 관행과 경험적으로 손 또는 Excel으로 계산하여 온 것이 현실이다. 국내 하천에서 식하며 국지적인 회유를 하는 대표적인 어종인 피라미의 유영력이 1.2 m/s이므로 이것을 지하이동통로 유속의 지표로 선정하여 해석한 결과를 설계식과 비교 분석하여 Table 6과 같이 나타냈다.

Table 6. Analysis comparison of stress and Bending moment

Velocity of flow (m/s)	Size of Underground passage (B × H, m)	Division	C			S1			S2		
			Upper slab	Side wall	Exit part	Upper slab	Side wall	Exit part	Upper slab	Side wall	Exit part
0.8	1.4 × 0.2	Bending moment (N mm)	2.5	2.6	3.3	2.3	2.3	3.1	1.9	2.2	2.7
		Maximum stress (MPa)	2.6	1.9	1.8	2.3	1.5	1.6	2.0	1.4	1.4
	1.4 × 0.3	Bending moment (N mm)	1.5	2.1	2.2	1.3	1.8	2.0	1.113	1.8	1.8
		Maximum stress (MPa)	1.8	1.3	1.3	1.6	1.2	1.0	1.4	1.0	0.9
	1.4 × 0.6	Bending moment (N mm)	3.7	4.1	5.1	3.0	3.3	4.2	2.6	2.9	3.4
		Maximum stress (MPa)	3.6	2.6	3.3	3.1	2.1	2.8	2.7	2.0	2.4
1.2	1.4 × 0.2	Bending moment (N mm)	2.9	3.1	4.1	2.6	2.6	3.6	2.2	2.3	3.0
		Maximum stress (MPa)	3.3	2.4	2.8	2.8	1.9	2.2	2.5	1.7	1.9
	1.4 × 0.3	Bending moment (N mm)	2.0	2.6	3.1	1.6	2.1	2.5	1.4	2.0	2.3
		Maximum stress (MPa)	2.5	1.6	1.8	2.0	1.4	1.4	1.9	1.3	1.2
	1.4 × 0.6	Bending moment (N mm)	4.4	4.7	5.7	3.4	3.6	4.4	3.0	3.2	3.8
		Maximum stress (MPa)	4.3	2.8	4.2	3.4	2.3	3.3	3.0	2.1	2.9
1.6	1.4 × 0.2	Bending moment (N mm)	3.7	4.0	4.8	3.3	3.3	4.2	3.0	3.2	3.6
		Maximum stress (MPa)	3.7	3.5	3.3	3.2	2.8	2.7	2.9	2.2	2.4
	1.4 × 0.3	Bending moment (N mm)	2.5	3.3	3.5	2.0	2.7	3.0	1.7	2.5	2.7
		Maximum stress (MPa)	2.5	2.2	2.4	2.4	1.9	2.0	2.3	1.7	1.8
	1.4 × 0.6	Bending moment (N mm)	5.7	5.4	6.2	4.4	4.1	5.1	3.8	3.6	4.5
		Maximum stress (MPa)	5.2	4.2	4.5	4.1	3.6	3.5	3.7	3.3	3.1

※ C : Seomoon Fishway by Existing Design Method (R/C+S/C Slab)
 S1 : Analysis by SAP2000 (R/C Slab)
 S2 : Analysis by SAP2000 (R/C+S/C Slab)

본 논문에서는 다기능 어도의 안정성 검토를 위해 재료별로 R/C Slab와 R/C+S/C Slab로 구분하였다.

여기서 서문보 어도 건설에 적용된 어도의 상판은 철근콘크리트 슬래브와 슬래브 밑에 강재 (R/C+S/C Slab)이다 (이하 C라 칭함).

상부슬래브 C를 기준으로 S1과 S2를 분석한 결과

S1의 휨모멘트와 최대응력은 각각 9 - 24%, 2 - 21%, S2도 각각 19 - 33%, 9 - 28% 적게 나타났다.

측벽 C를 기준으로 S1과 S2를 분석한 결과 S1은 휨모멘트와 최대응력이 각각 11 - 24%, 9 - 21%, S2도 각각 17 - 33%, 20 - 36% 적게 나타났다.

지하이동통로 출구부 C를 기준으로 S1과 S2를 분석

한 결과 S1의 휨모멘트와 최대응력은 각각 5 - 24%, 13 - 23%, S2도 각각 16 - 33%, 24 - 32% 적게 나타났다. S2 일 때가 구조 안전성이 확보되는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 다기능 어도 현장 적용성 평가를 구명하기 위해 서문보 설계식과 해석값으로 비교 검토하여 수행된 결론을 각 부재별로 기술하면 다음과 같다.

- 1) 지하이동통로 출구부 C를 기준으로 S1과 S2를 분석한 결과 S1의 휨모멘트와 최대응력은 각각 5 - 24%, 13 - 23%, S2도 16 - 33%, 24 - 32% 적게 나타났다기 때문에 휨모멘트와 최대응력이 14%, 18%의 보완이 요구된다.
- 2) 측벽 C는 S1과 S2를 분석한 결과 S1은 휨모멘트와 최대응력이 각각 11 - 24%, 9 - 21%, S2도 17 - 33%, 20 - 36% 적기 때문에 17%, 15%의 보완이 요구된다.
- 3) 상부슬래브 C는 S1과 S2를 분석한 결과 S1의 휨모멘트와 최대응력은 각각 9 - 24%, 2 - 21%, S2도 19 - 33%, 9 - 28% 적기 때문에 16%, 11% 보완이 요구되는 것으로 나타났다.
- 4) 지하이동통로 출구부를 구조해석한 결과 서문보에 적용한 어도 규격이 국내의 소하천에 가장 유리한 것으로 시사된다.
- 5) 국내의 소하천의 어도는 여름철에 빈번하게 발생하는 폭우에 대비해 R/C Slab 보다 R/C+S/C Slab가 안전성이 유리하므로 국내 하천에는 지하이동통로가 구비된 다기능 어도 설계 단계 시 기초자료로서의 활용이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2018학년도 경북대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Ahn, S.S., Lee, S.I., and Lee, Z.S. 2012. Analysis of hydraulic characteristics in ice-harbor fishway. KENSS 21: 1395-1406.
- An, M.W. 2008. Development of an environment friendly fish raceway for eco-restoration of streams. Ph.D. Program in Rural Engineering Graduate School of Konkuk University. (in Korean)
- 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: 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.
- Boubee, J., Jowett, I., Nichols, S., and Williams, E. 1999. Fish passage at culverts. areport for the department of conservation. National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington.
- Bunt, C.M. 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction. Fisheries Management and Ecology 8: 95-105.
- Byun, W.G. 2001. Development and application of environment friendly hybrid fishway for river ecosystem. Dept. of Civil and Environmental System Engineering graduate School of Konkuk University. (in Korean)
- Choi, J.W., Park, C.S., Lim, B.J., Park, J.H., and An, K.G. 2013. Fish passage evaluations in the fishway constructed on Seungchon weir. KENSS 22: 215-223, Chungnam National University. (in Korean)
- Guo, Y.B. 2020. Safety evaluation of inlet blocking facility for multifunctional fish catch to combat avian influenza. Kyungpook National University. (in Korean)
- Gyeongbuk Province. 2013. The project of flood district improvement in Cheoksan river. Construction & Disaster Division. (in Korean)
- Han, J.H., Ko, D.G., Lim, B.J., Park, J.H., and An, K.G. 2012. Summer patterns and diel variations of fish movements using fish trap sampling technique in the Juksan weir. EIA. 21: 879-891.
- Ju, H.K. 2005. A study on the feasibility of fish way of large dam. Graduate School, Yeungnam University. (in Korean)
- Kan, G. 2020. A study on the Eodo Facilities for the Elimination of Avian Influenza (AI) Dam. Kyungpook National University. (in Korean)
- Kang, E.J., Yang, H., Lee, H.H., Kim, K.S., and Kim, C.H. 2012. Characteristics of fish fauna collected from near estuaries bank and fishway on the bank of Nakdong river. Korean Journal of Ichthyology 24: 201-219.
- Kim, D.M. 2018. An study on multipurpose fishway for the protection of avian influenza. Kyungpook National University. (in Korean)
- Kim, J.H. 1996. Hydraulic characteristics by the shape of the partition of stairs type fishway. Korea Water Resources Association Symposium 29(6): 25-235. (in Korean)
- Kim, J.H. and Kim, C. 1994. Research of hydraulic pro-

- properties for fishway of stairs type. *Journal of Korea Water and Wastewater Works Association* 27(2): 63-72. (in Korean)
- Korea Rural Community Corporation. 1970. Fishway design guidelines. 22. (in Korean)
- Korea Water Resources Corporation. 2004. Korea Environment Institute. (in Korean)
- Korean Design Standard. 2018. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. KDS 51 40 10 : 2018. (in Korean)
- Lee, J.W., Yoon, J.D., Kim, J.H., Park, S.H., Baek, S.H., Yoon, J.H., and Jang, M.H. 2015. Efficiency analysis of the ice harbor type fishway installed at the Gongju weir on the Geum river using traps. *Kongju National University*. (in Korean)
- Lee, Y.J. 2011. Proposal of new fishway type for domestic. *Korean Society of Civil Engineers* 59(2): 99-110. (in Korean)
- Lee, Y.J. 2013. Proposal of proper fishway type on domestic environment. *Korean Society of Limnology* 27-30. (in Korean)
- Lee, Y.J. 2014. Stability analysis of multi-functional fishway with underground passage. *Journal of the Korea Institute for Structure Maintenance and Inspection* 19(6): 50-59. (in Korean)
- Lee, Y.J., LEE, J.S., Kim, M.G., Park, S.S., and Jang, H.K. 2017. Structural analysis of multipurpose fishway in Chuksan river. *Journal of the Korean Society of Agriculture Engineers* 59(1): 97-107. (in Korean)
- Ma, G.D. 2018. An study of fishway for the protection of avian influenza with domestic dam. *Kyungpook National University*. (in Korean)
- McKinly, W.R. and Webb, R.D. 1956. A proposed correction of migratory fish problems at box culverts. *Fisheries Research Papers* 1(4): 33-45.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2009. Ecology of eels *Anguilla japonica* and design of eel ladder in the estuaries.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). 2013. Study on comprehensive management system of national fishway. Sejong.
- Park, S.D. 2001. Assessment of migratory fish jumping up by eco-hydraulic experiments (I), The ladder-Type of Fishway *Korea Water Resources Association Symposium* 34(4): 365-379. (in Korean)
- Park, S.Y., Kim, S.J., Choi, J.W., and Yoon, B.M. 2008. A study on hydraulic characteristics of culvert fishway with offset baffles and fish passage effect. *Korea Water Resources Association* 41(1): 75-85. (in Korean)
- Rodriguez, T.T., Agudo, J.P., Mosquera, L.P., and Gonzalez, E.P. 2006. Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capabilities. *Ecological Engineering* 27: 37-48.
- Santos, J.M., Branco, P., Katopodis, C., Ferreira, T., and Pinheiro, A. 2014. Retrofitting pool-and-weir fishways to improve passage performance of benthic fishes: Effect of boulder density and fishway discharge. *Ecological Engineering* 73: 355-344.
- Seong, J.U., Park, J.H., Kim, J.O., and Park, J.C. 2013. Original article: Classification and assessment of fishway in the tributary Nakdong river. *Korean Journal of Ecology and Environment* 46: 185-191.
- Stuart, I.G. and Berghuis, A.P. 2002. Upstream passage of fish through a vertical-slot fishway in an Australian subtropical river. *Fisheries Management and Ecology* 9: 111-122.
- Stuart, I.G. and Mallen-Cooper, M. 1999. An assessment of the effectiveness of a vertical-slot fishway for non-salmonid fish at a tidal barrier on a large tropical/subtropical river. *River Research and Applications* 15: 575-590.
- Watanabe Sigeru 2012, Japanese fishway management status including resident participation. *The First Symposium of National Fishway Management, Korea Rural Community Cooperation*.
- White, L.J., Harris, J.H., and Kellar, R.J. 2011. Movement of three non-salmonid fish species through a low-gradient vertical-slot fishway. *River Research and Applications* 27: 499-510.
- Yang, H.J., Kim, K.H., and Kim, J.D. 2001. The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong river mouth dam. *Korean Journal of Ecology and Environment* 34: 251-258.
- Yoon, J.D., Kim, J.H., Joo, G.J., Seo, J.W., Pak, H., and Jang, M.H. 2011. Freshwater fish utilization of fishway installed in the Jangheung dam. *Korean Journal of Ecology and Environment* 44: 264-271.