

## 조립식 아이스하버식 어도의 현장 적용을 위한 수리모형실험

### Hydraulic Model Experiment for Field Application of Iceharbor-type Precast Fishway

김재옥\* · 박상현\*\* · 조재원\* · 황종서\*\*\* · 조국현\* · 조성주\*\*\*\*

Kim, Jae-ok · Park, Sang-hyun · Cho, Jae-won  
Hwang, Jong-seo · Jo, Guk-hyun · Joh, Seong-ju

#### Abstract

This study was conducted to assess the possibility of the field application of the iceharbor-type precast fishway. When overflow depth of weir is 4.0 cm in model fishway, upper part velocities appear appropriate for upstream migration of fish and the lowest overflow wall (right line) in lower part has shown velocity distribution more or less inadequate for upstream migration.

Except that right line, left and middle line revealed that velocities are appropriate for upstream migration of fish. Therefore, we concluded that this fishway owing to be not broad growth width of overflow velocities according to increasing discharges can correspond to variation of water level. Also We consider that various velocities in fishway were effective, because slow velocity line can guide flow for upstream migration. For low flow, the arrangement of different crest level or each overflow part (higher left, middle and lower right, or lower left, middle and higher right) was more effective than uniform crest level. Hole plays an important role as migration pass during drought and flood flow. Therefore, We concluded that this fishway can cope with water depth variation by various overflow wall height change and raise the field applicability with better performance hydraulically and structurally.

*Keywords* : Iceharbor-type, Precast fishway, Overflow, Upstream migration, Fish, fishway, Arrangement, Hole sink

#### I. 서 론

하천에 설치된 보나 댐은 은어, 뱀장어, 참계 등의 소하성 생물과 어류, 갑각류, 양서류와 같이 국지회유하는 수생생물의 이동통로를 차단한다. 하천의 생물이동통로가 단절되면 하천 생태계의 흐름이 원활하지 못하게 되고 생태계 교란을 야기시키는

\* 농업기반공사 농어촌연구원  
\*\* 농업기반공사 의령지사  
\*\*\* 하천생태복원연구소  
\*\*\*\* 신강하이텍(주)  
\*\* Corresponding author. Tel.: +82-55-573-1600  
Fax: +82-55-573-4454  
E-mail address: pshpark@karico.co.kr

결과를 가져올 수 있다(황과 허, 2000). 그러므로 현행 수산자원보호령 12조 2항에서는 하천에 수리 구조물을 설치할 때 어도를 설치하여 어류 및 수서 생물의 이동통로를 확보하도록 명시하고 있다. 이러한 법령에 의거하여 국내에 설치된 보등의 수리 구조물에도 어도가 설치되어 있으나 국내 하천의 유량, 하상, 하상계수, 서식 물고기의 생활사 등 우리나라 하천상황 및 물고기 생태 등이 제대로 고려되지 않은 상태에서 설치된 어도들이 많이 있으며 특히 어도가 많이 설치되어 있는 동해안지역에서 이러한 문제들이 발생하고 있다(농업기반공사, 2003). 이렇게 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,

네째, 어도를 시공할 때 콘크리트의 강도가 기준치 이하로 떨어져서 홍수가 지나가면 어도의 격벽 부분이 파손되고 돌이 어도내로 굴러드는 문제점들을 보이고 있다.

이와 같은 어도들의 문제점들을 줄이기 위해서는 어도 설계기준을 강화하여 하천의 상황을 잘 반영한 어도 설계가 이루어져야 하며 홍수시 피해 방지책, 콘크리트 강도의 기준 강화 및 하류 세굴에 대한 대책 수립이 필요하다.

이에 본 연구에서는 기존에 설치되어 있는 어도의 문제점들을 최소화하고 우리나라 하천환경에 적절한 구조 및 수리환경을 고려하여 아이스하버식 어도를 조립식으로 제작·설치하는 기술을 개발하

였다. 아이스하버식 어도는 계단식 어도의 변형된 형태로서 물이 넘치는 월류부와 물이 흐르지 않는 비월류부로 구성된 어도이다. 기존의 어도들은 직접 현장에서 타설하여 강도가 저하되거나 시공상에 오차가 많았으나 본 연구에서 개발한 아이스하버식 어도는 실내 공장에서 어도를 제작하여 강도를 유지하고, 현장에 운반·설치하는 형식을 취하여 구조적으로도 안정적이다. 따라서 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.

## II. 재료 및 방법

### 1. 어도모형의 개요

어도모형은 농업기반공사 농어촌연구원 내의 옥외수리시험장에 Fig. 1, Fig. 2와 같은 시스템으로 구성하였다. 어도모형의 시스템은 크게 물 공급을 위한 수조와 난류발생을 줄이고 유량을 측정하기 위한 정수조 그리고 어도모형의 3 부분을 연계하였다.

수조에서 어도로의 물 공급은 위치에너지를 이용하였고, 수조에는 여수로를 설치하여 일정 수위 이상의 물은 하류수조로 유하하도록 하여 일정한 수위가 유지되도록 함으로써 유량이 변화되는 것을 방지하였다.

정수조는 어도로 유입되는 유량을 산정하기 위한 장치로써 상단정수조와 하단정수조로 구성하였다(Fig. 1). 상단정수조의 외부에는 수조로부터 유하하는 물의 양을 조절하기 위한 밸브(버터플라이형)를 설치하였고 내부에는 직경 5 mm 정도의 다공판

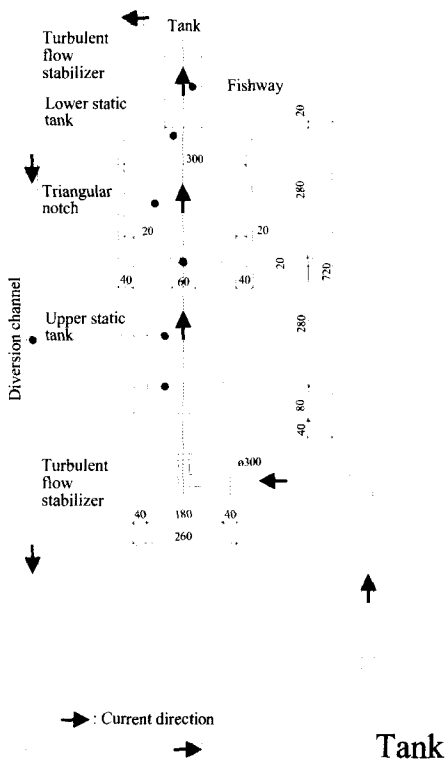


Fig. 1 Scheme of static tank for fishway



Fig. 2 The model of constructed precast fishway

(정류판)을 설치하여 난류의 발생을 방지하였으며, 내벽에는 유량을 측정하기 위한 수위 측정용 자를 설치하였다. 상단정수조와 하단정수조 사이에는 두께 5 mm의 강판으로 윗변 0.8 m, 높이가 0.4 m의 직

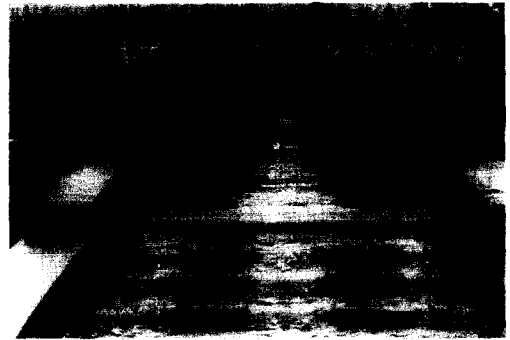


Fig. 3 Triangular notch

각삼각웨어를 설치하여 유량을 산정하였다(Fig. 3).

어도를 유하하여 배수로에 유입된 물은 하천의 하류조건에 근접하도록 수위를 조절하기 위한 가동보를 설치하여 하류 수위를 조절할 수 있도록 하였다.

## 2. 어도 모형의 축척 및 설치

### 가. 모형의 축척

사용된 어도모형은 본 연구에서 개발된 조립식 아이스하버(Ice-harbor)식으로 기하학적 상사성(幾何學的 相似性)만을 고려하여 축척하였다. 또한 물이 넘쳐 흐르는 월류벽의 높이를 다양하게 변화시켜 수리 현황을 살펴보았다.

개수로 실험시 흐름이 난류(亂流)상태일 때 표면장력, 점성력 등에 대한 영향을 최소화 할 수 있는데, 모형이 너무 작으면 흐름이 층류(層流)상태가 되어 표면장력의 영향이 현저히 나타나므로 실험의 정확도가 떨어진다. 어도 모형은 1/10 이상으로 축척할 경우 난류가 발생되므로 실험축척으로서 적당할 것으로 판단되나, 현장의 콘크리트로 제작된 담여수로(余水路)의 조도계수가  $n_{prototype} \approx 0.016$ 인데 축척 1/10의 모형으로 제작할 경우  $n_{model} \approx 0.011$ 이 되어 유리표면의 조도계수  $n \approx 0.01$ 과 거의 같게 된다. 그러나 이러한 조건으로 제작하기가 곤란하고 월류블록간의 높이차가 최소 2.5 cm(모형 0.25 cm), 최대 5 cm(모형 0.5 cm)로 미소하여

측정오차가 상당량 발생할 것으로 판단되어 본 연구에서는 모형 축소비율을 줄여 1/5의 축척으로 제작하였다.

**나. 어도모형의 제원과 배열**

어도모형은 콘크리트 블록과 모르타르를 사용하여 제작하여 어도수로에 결합하는 형식으로 시공하였다. 어도 설치 현황과 어도모형의 제원은 Table 1과 같다.

어도모형의 비월류부의 높이는 16.0 cm이고 월류부의 높이는 12.0 cm, 11.5 cm, 11.0 cm 로 3 가지 type으로 하였다. 이는 하천의 유량이 평균갈수량 이하로 낮아지더라도 가장 낮은 월류부로 물이 흐를 수 있는 현상을 재현하고자 하였다. 어도모형의 배열은 Fig. 4와 같이 어도를 상류부와 하류부로 나누어 상류부는 10 열로 배열하고 우측열, 좌측열, 중간열의 월류부의 높은 순으로 설치하였다. 하류부는 5 열로 배열하고 우측열, 좌측열의 월류부의 높은 순으로 설치하였으며 어도가 설치되지 않은 상류부와 하류부 사이에는 가축을 방지하기 위하여 간이 월류부를 설치하였다.

**3. 실험장비 및 방법**

**가. 유 량**

유량은 상단정수조에서 유입수량을 일정하게 조정 한 후, 하단정수조로 흘러 시간당 유입수량을 고

려하여 산정하였고 (용적법-Volumetric method). 난류가 적은 정수조에서 수위를 측정하여 수위-유량곡선을 구하였다.

또한, 수위-유량곡선식을 이용하여 실험하고자 하는 모형 월류수심(1.5 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm)의 유량을 추정하였다.

**나. 월류수심과 수위측정**

유량을 산정하기 위한 수위는 상단정수조와 하단정수조에서 1 mm 눈금자를 부착하여 측정하였으며, 어도블록의 월류수심은 1/20 mm의 정도를 갖는 전자식 버니어캘리퍼스를 사용하였다.

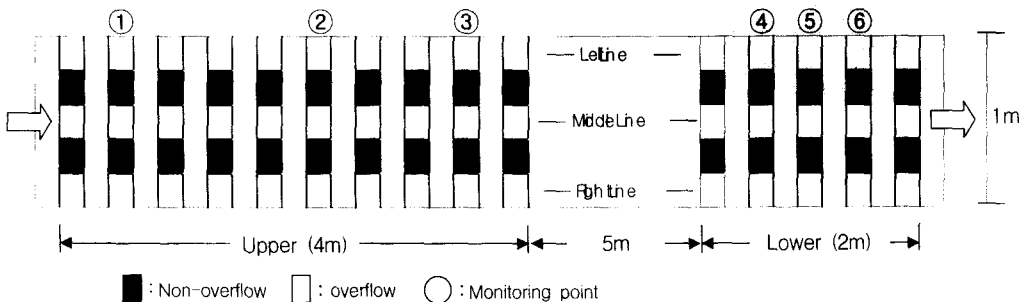
**Table 1 The specification of precast fishway**

(Unit : m)

| Fishway |       | Part of experiment |              |                             |                         |        |       |
|---------|-------|--------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|--------|-------|
| Width   | Slope | Loca-tion          | Arrange-ment | Height of non-overflow wall | Height of overflow wall |        |       |
|         |       |                    |              |                             | 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  |

**다. 유 속**

유속의 측정은 상류부와 하류부에서 각각 3열씩 월류부에서 측정했는데, 상류부는 어도 유입부로부터 2, 6, 9번째 열에서 하류부는 2, 3, 4번째 열에서 측정하였다(Fig. 4). 이 실험에서는 편의상 상류부로부터 하류부순으로 측정점을 1th, 2th...6th



**Fig. 4 Arrangement and division of precast fishway**

로 표기하였다.

유속은 어도블록의 월류유속과 잠공유속을 구하였고 월류부의 유속은 마그네틱 유속계(미국 MARSH-McBIRNEY, INC, FLO-MATE), 영국 닉슨사의 프로펠러식 유속계를 사용하였으며 잠공유속은 일본 Kenek사의 LR-401 프로펠러식 휴대용 유속계를 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수위와 유량과의 관계

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

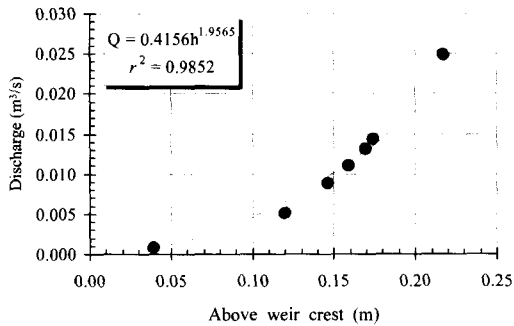
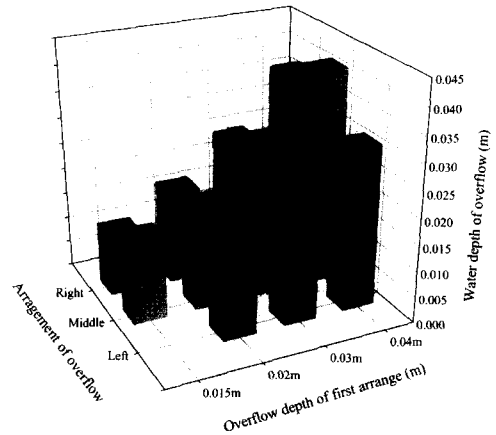


Fig. 5 Rating curve

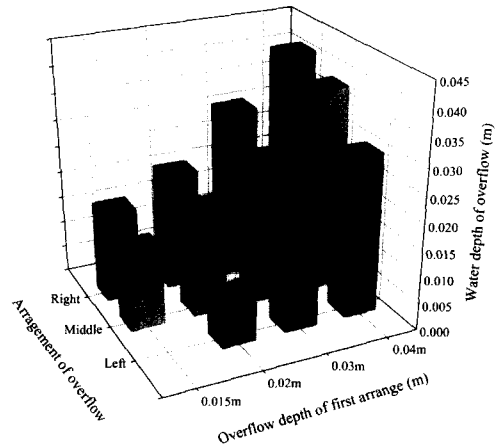
#### 2. 월류수심

월류수심은 월류부의 높이에 따라 상류부에서는 중간열, 좌측열, 우측열순으로 높게 나타났고 하류에서는 좌측열, 중간열, 우측열순으로 높게 나타났으며 모형 월류수심이 1.5 cm의 경우에는 우측열에서 월류가 발생하지 않았다(Fig. 6).

어도 시점의 월류 수심별 첫 번째 열과 마지막



(a) Upper part



(b) Lower part

Fig. 6 Overflow depth at every line in fishway

열의 수심차는 상류부와 하류부가 모두 1 mm 정도의 차이를 보였는데 이것은 입기 오차와 시공상의 오차를 감안한다면 거의 변화가 없는 것으로 사료된다. 그러나 가장 낮은 월류부를 중간열에 배치했을 때와 좌측열에 배치했을 때의 월류수심은 하류부에서 모두 1~2 mm 정도 높게 나타나 하천 갈수량에 대응하는 데에는 하류부와 같이 좌측열-중간열-우측열순으로 높게 배열하는 현장에서 약 1 cm 정도 더 효과적일 것으로 사료된다.

갈수량에 대한 수위대응 실험으로써 가장 높은

월류부로 물이 흐르지 않는 수심을 유지하여 측정 한 결과 상류부의 가장 낮은 월류부(중간열)와 하류부의 가장 낮은 월류부(좌측열)에서 각각 평균 8.0 cm와 8.3 cm의 수심을 유지하였다. 물고기의 유영에 필요한 최소 수심은 물고기 체고의 2배 정도(中村, 1995)라고 보고하였으며, 홍송어는 수심 8cm 정도에서 여유롭게 유영하는 것으로 나타났다(久保田, 1998). 따라서 0.53 m<sup>3</sup>/s 정도의 유량에서 나타난 수심은 어류의 소상이 가능한 수심임을 본 실험을 통해 알 수 있었다(Table 2).

또한 수심이 너무 얇은 곳을 물고기가 유영할 때 새들이 포식할 수 있기 때문에 월류수심은 15 cm 이상으로 어도를 설계하는 것이 바람직하다(高山, 2001). 본 실험에서는 평수기로 정의한 유량 0.7

7~0.97 m<sup>3</sup>/s에서는 월류 수심이 10~15 cm의 분포를 보여 새들에 의한 포식 위험도 낮을 것으로 보인다.

본 연구에서 실험한 아이스하버식 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. 월류유속

첫 번째 열의 어도 중 가장 낮은 월류부(중간블록)에서 측정된 월류수심을 기준으로 4단계(1.5,

Table 2 Overflow depth (m) in left, right and middle of fishway

|                                    |                       |      | R              | M     | L     | R              | M     | L     | R              | M     | L     | R              | M     | L     |
|------------------------------------|-----------------------|------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| Overflow depth of first arnage (m) |                       |      | 0.015 (0.075)  |       |       | 0.02 (0.10)    |       |       | 0.03 (0.15)    |       |       | 0.04 (0.20)    |       |       |
| Discharge (m <sup>3</sup> /s)      |                       |      | 0.0042 (0.530) |       |       | 0.0061 (0.768) |       |       | 0.0078 (0.974) |       |       | 0.0130 (1.622) |       |       |
| Model<br>(m/s)                     | U<br>p<br>p<br>e<br>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<br>o<br>w<br>e<br>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 |
| Field<br>(m/s)                     | U<br>p<br>p<br>e<br>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<br>o<br>w<br>e<br>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

2.0, 3.0, 4.0 cm)로 수심을 변화시켜 그에 대응하는 유량과 유속을 측정하였다. 유속은 Fig. 7과 같

이 월류부 높이에 따른 월류수심 분포와 같이 상류부는 중간열, 좌측열, 우측열 순으로 높게 나타났

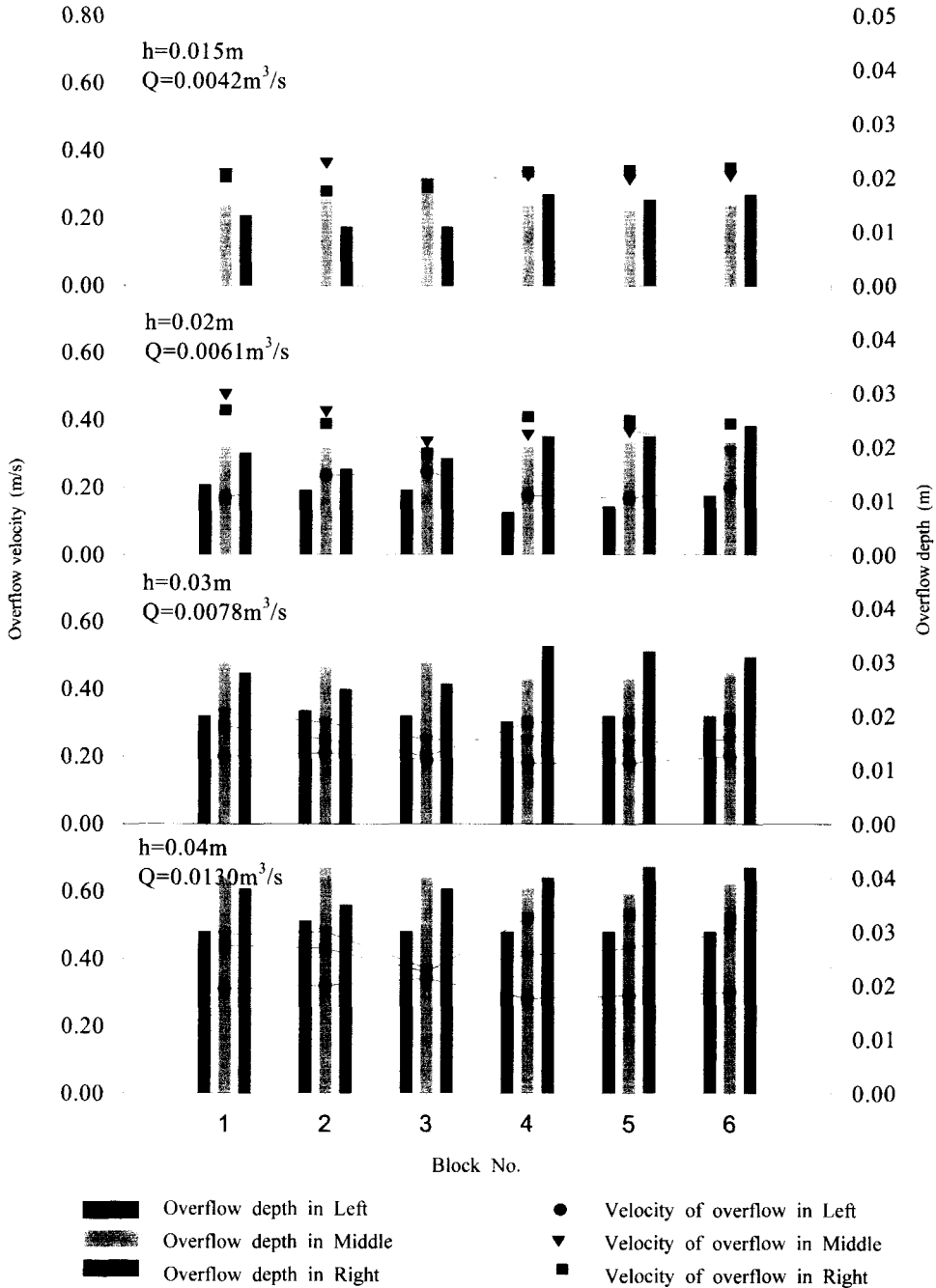


Fig. 7 Overflow velocity(m/s) and overflow depth (m) according to discharge (m³/s)

고, 하류부는 좌측열, 중간열, 우측열 순으로 높게 나타났다.

본 실험에서 모형 월류수심 2.0 cm, 3.0 cm 일 때는 하천유량을 평수위로 하고 4.0 cm일 때를 홍수위로 정의하였다. 실험 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 모형월류수심 3.0 cm까지는 월류부의 높이에 상관없이 현장유속이 1.0 m/s 이하의 유속분포(0.41~0.89 m/s)를 보였다. 어류의 돌진 속도는 체장의 10배(10BL, cm/s)전후이며 은어와 같은 경우 12~18BL을 초과한다고 보고하였다(中村, 1995). 국내 하천에서 채집되는 어류의 체장이 5 cm에서 큰 것이 20 cm 내외인 점을 감안하면 본 어도의 유속 분포는 물고기 소상에 큰 지장이 없음을 알 수 있었다.

홍수위를 재현한 모형 월류수심 4.0 cm에서 상류부는 어류 소상에 지장이 없는 유속분포(0.72~0.94 m/s)를 보인 반면 하류부에서는 월류부의 높이가 가장 낮은 좌측열에서 평균 1.17 m/s 유속을 보였다. 그러나 우측열과 중간열의 평균유속이 각각 0.65~0.98 m/s로 역시 1 m/s 이하의 유속범위를 보여 어류가 소상할 수 있는 유속을 보였다.

이와 신(1987) 등은 은어의 유영에 적당한 유속을 0.5~1.2 m/s로 정의하였고 최고유속은 1.2~2.2 m/s 까지도 가능하다고 보고하였다. 또한 피라미, 황어가 용이하게 소상할 수 있는 유속은 0.8~1.0 m/s(한국수자원공사, 2002)라고 하였다. 따라서 본 조립식 아이스하버식 어도는 월류수심이 20 cm 까지도 물고기 소상에 큰 영향을 미치지 않을

Table 3 Overflow velocity (m/s) in left, right and middle of fishway

|                                     |                       |      | R              | M    | L    | R              | M    | L    | R              | M    | L    | R              | M    | L    |
|-------------------------------------|-----------------------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Overflow depth of first arrnage (m) |                       |      | 0.015 (0.075)  |      |      | 0.02 (0.10)    |      |      | 0.03 (0.15)    |      |      | 0.04 (0.20)    |      |      |
| Discharge (m <sup>3</sup> /s)       |                       |      | 0.0042 (0.530) |      |      | 0.0061 (0.768) |      |      | 0.0078 (0.974) |      |      | 0.0130 (1.622) |      |      |
| Model<br>(m/s)                      | U<br>p<br>p<br>e<br>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<br>o<br>w<br>e<br>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 |
| Field<br>(m/s)                      | U<br>p<br>p<br>e<br>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<br>o<br>w<br>e<br>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



것으로 사료된다(Fig. 7).

어도의 배열은 좌측열>중간열>우측열순의 유속 분포를 보이도록 하면 유속이 빠른 좌측열은 유영력이 뛰어난 어류가 이용하고 유속이 느린 곳은 어도 유인수로의 역할을 할 것으로 사료된다. 물고기 특성에 따라 선호하는 유속이 다르므로 어도내 다양한 유속 분포는 어도를 통해 여러 종류의 물고기 소상을 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 잠공유속

조립식 아이스하버식 어도의 율류부 밑부분에는 잠공이 설치되어 있다. 잠공은 청소 등 유지관리와 저서성 어류 및 수서생물의 이동통로를 제공하기 위해 말굽형으로 제작하였다. 잠공부의 유속은 다

단으로 배열된 어도블록간의 도수현상과 난류로 인해 복잡한 양상을 나타냈다(Fig. 8, Table 4)

잠공에서의 유속분포는 측점에 따른 개별 유속을 해석하기보다는 그 변화폭을 살펴보았다(Fig. 9). 잠공유속은 모형 율류수심이 각각 1.5 cm, 4.0 cm일 때와 2.0 cm, 3.0 cm일 때 각각 1.0~1.7 m/s, 0.55~1.1 m/s의 유속분포를 보였다(Fig. 9). 모형 율류수심이 1.5 cm, 4.0 cm일 때는 0.60~1.05 m/s 정도로 어류가 소상하기에 적합한 유속 분포를 보였고, 2.0 cm, 3.0 cm일 때는 1.03~1.71 m/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.

Table 4 Velocity (m/s) at the bottom holes on fishway

|                                    |           |      | R              | M     | L    | R              | M    | L    | R              | M    | L    | R              | M    | L    |
|------------------------------------|-----------|------|----------------|-------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| Overflow depth of first armage (m) |           |      | 0.015 (0.075)  |       |      | 0.02 (0.10)    |      |      | 0.03 (0.15)    |      |      | 0.04 (0.20)    |      |      |
| Discharge (m <sup>3</sup> /s)      |           |      | 0.0042 (0.530) |       |      | 0.0061 (0.768) |      |      | 0.0078 (0.974) |      |      | 0.0130 (1.622) |      |      |
| Model (m/s)                        | U p p e r | 1th  | 0.46           | 0.32  | 0.31 | 0.65           | 0.68 | 0.47 | 0.54           | 0.76 | 0.62 | 0.45           | 0.31 | 0.34 |
|                                    |           | 2th  | 0.41           | 0.32  | 0.41 | 0.66           | 0.47 | 0.51 | 0.51           | 0.53 | 0.52 | 0.40           | 0.31 | 0.27 |
|                                    |           | 3th  | 0.47           | 0.34  | 0.40 | 0.60           | 0.65 | 0.61 | 0.49           | 0.59 | 0.65 | 0.37           | 0.44 | 0.47 |
|                                    |           | Avg. | 0.45           | 0.32  | 0.37 | 0.64           | 0.60 | 0.53 | 0.51           | 0.63 | 0.60 | 0.41           | 0.35 | 0.36 |
|                                    | L o w e r | 4th  | 0.42           | 0.35  | 0.38 | 0.66           | 0.52 | 0.52 | 0.49           | 0.53 | 0.46 | 0.44           | 0.38 | 0.30 |
|                                    |           | 5th  | 0.41           | 0.300 | 0.32 | 0.63           | 0.64 | 0.57 | 0.60           | 0.55 | 0.49 | 0.29           | 0.42 | 0.38 |
|                                    |           | 6th  | 0.45           | 0.30  | 0.29 | 0.68           | 0.75 | 0.51 | 0.53           | 0.68 | 0.49 | 0.43           | 0.31 | 0.29 |
|                                    |           | Avg. | 0.43           | 0.32  | 0.33 | 0.66           | 0.64 | 0.53 | 0.54           | 0.59 | 0.48 | 0.39           | 0.37 | 0.32 |
| Field (m/s)                        | U p p e r | 1th  | 1.01           | 0.71  | 0.68 | 1.45           | 1.51 | 1.04 | 1.20           | 1.71 | 1.39 | 1.01           | 0.70 | 0.77 |
|                                    |           | 2th  | 0.92           | 0.71  | 0.92 | 1.48           | 1.04 | 1.13 | 1.14           | 1.18 | 1.16 | 0.90           | 0.69 | 0.60 |
|                                    |           | 3th  | 1.05           | 0.75  | 0.89 | 1.35           | 1.44 | 1.37 | 1.09           | 1.32 | 1.46 | 0.82           | 0.98 | 1.04 |
|                                    |           | Avg. | 1.00           | 0.72  | 0.83 | 1.43           | 1.33 | 1.18 | 1.15           | 1.40 | 1.34 | 0.91           | 0.79 | 0.80 |
|                                    | L o w e r | 4th  | 0.93           | 0.78  | 0.84 | 1.48           | 1.15 | 1.17 | 1.08           | 1.19 | 1.03 | 0.99           | 0.86 | 0.68 |
|                                    |           | 5th  | 0.93           | 0.67  | 0.71 | 1.42           | 1.43 | 1.27 | 1.34           | 1.23 | 1.10 | 0.66           | 0.95 | 0.85 |
|                                    |           | 6th  | 1.01           | 0.66  | 0.64 | 1.51           | 1.67 | 1.13 | 1.19           | 1.53 | 1.08 | 0.95           | 0.70 | 0.65 |
|                                    |           | Avg. | 0.96           | 0.71  | 0.73 | 1.47           | 1.42 | 1.19 | 1.21           | 1.31 | 1.07 | 0.87           | 0.84 | 0.73 |

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

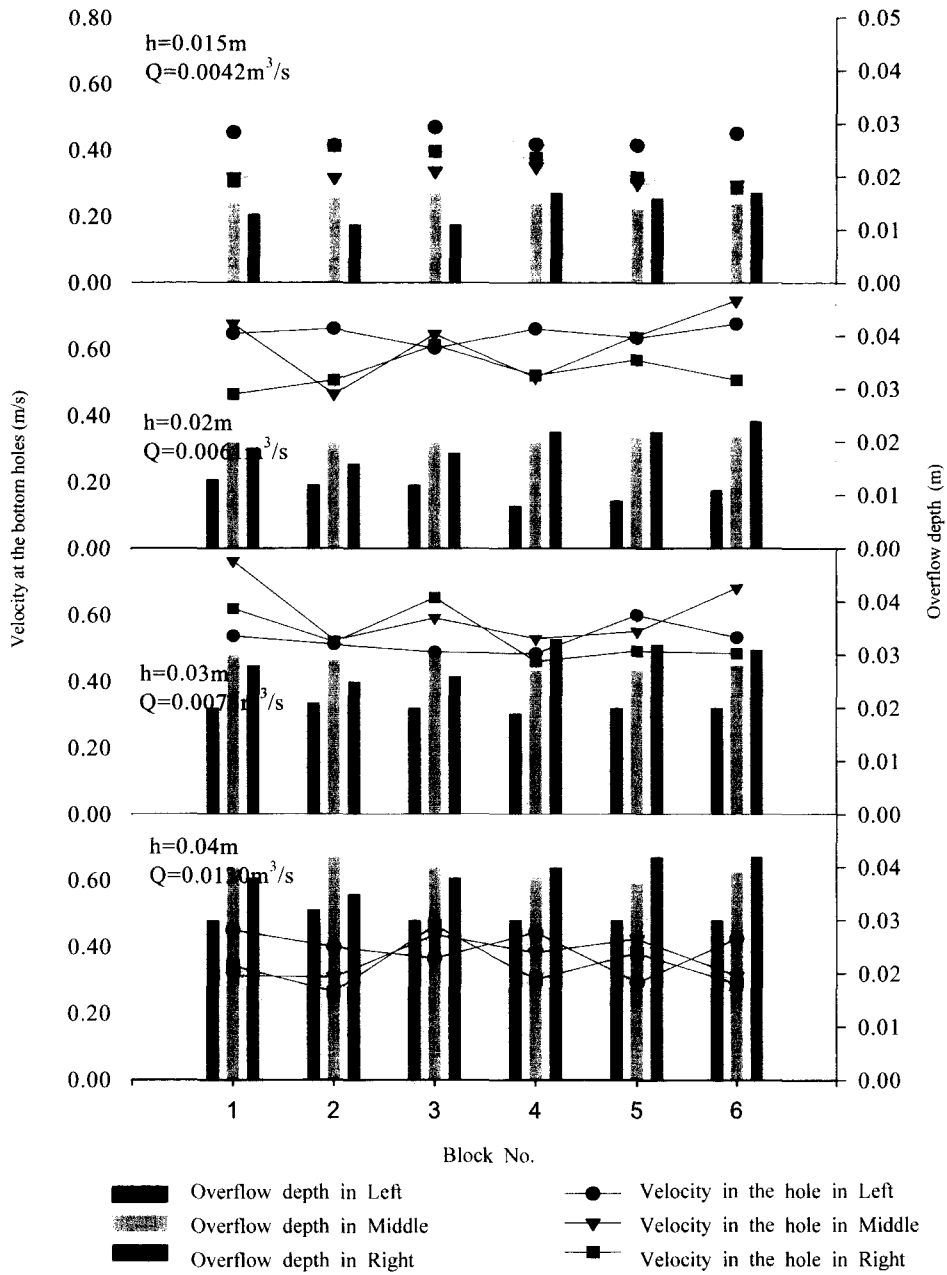


Fig. 8 Velocity (m/s) at the bottom holes and overflow depth (m) according to discharge (m<sup>3</sup>/s)

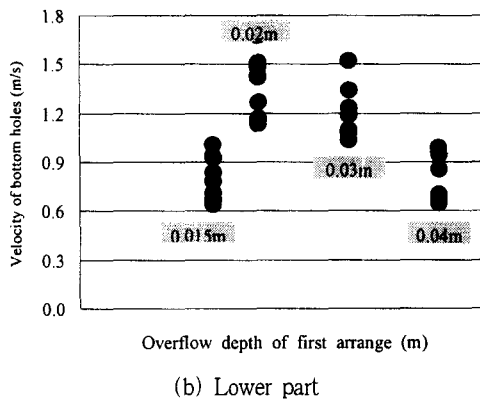
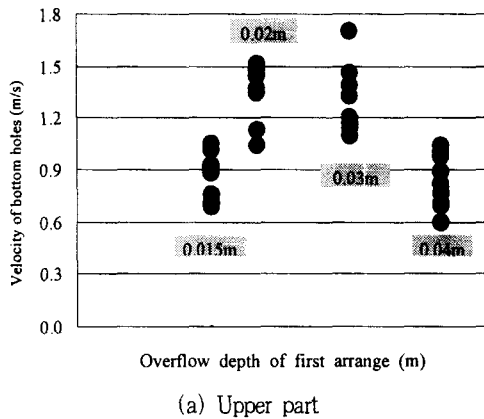


Fig. 9 Velocity (m/s) at the bottom holes (numbers in box is waterdepth of first arrange)

#### IV. 요 지

본 연구는 조립식 아이스하버식 어도의 현장적용에 앞서 유량 변화에 따라 어도내 유속 및 유황변화를 조사하고 어도의 배열을 검토하여 개발된 어도의 현장적용 가능성을 살펴보기 위해 이루어졌다.

모형 월류수심이 4.0 cm(현장 20 cm)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 수심변화에 대응력을 가지는 것으로 판단된다. 또한 유속이 느린 구간은 어도 유인수로서의 역할을 할 수 있으므로 어도 내의 다양한 유속은 어류 소상에 유리하게 작용할 것으로 사료된다.

어도의 배열은 월류부의 높이가 좌측열-중간열-우측열 혹은 우측열-중간열-좌측열순으로 높게 배열하면 갈수량에 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.

#### 사 사

본 연구는 한국환경기술진흥원 주관의 차세대 핵심환경기술개발 사업 연구비에 의해 수행되었으며 이에 사의를 표합니다. 수리실험에 많은 협조를 주신 농업기반공사 농어촌연구원 수리시험장 직원여러분들께 깊이 감사드립니다.

#### References

1. Park, S. D. 2001. Assessment of ascending capacity of migratory fish in fishways by eco-hydraulic experiments(I) -Baffled fishway-, *Korea Water Resources Association* 34(4) : 365~379. (in Korean)
2. Park, S. D. 2001. Assessment of Ascending capacity of migratory fish in fishways by eco-hydraulic experiments(II) -Pool and weir type fishway-, *Korea Water Resources Association*. 34(4) : 381~390. (in Korean)

3. Hwang, C. S. and H. Hur. 2000. Fish migration through fishways on Namdae-cheon in Yangyang and Osib-cheon in Yungdeok, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(5) : 70~77. (in Korean)
4. Park, S. H. 2003. Development of ecological corridor specially a fishway in the channel, 159~178. Uiwang. Kyeonggi.: Ministry of Environmental, Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. (in Korean)
5. Kim, D. S. 2002. Conservation of fish in Dam reservoirs, 457. WRRRI-WR-02-5. Daejeon Chungnam. Korea Water Resources Corporation. (in Korean)
6. Nakamura, J. 1995. *Guidebook of fishway*. Hesandang. (in Japan)
7. Nakamura, J. 1987. Experiment of current condition in pool and weir type fishway. *Journal of Agricultural Civil Engineering* 55(10) : 933~938. (in Japan)
8. Koyama, N. 1986. *Velocity, Diagnosis and design of fishway*. Nagano. (in Japan)
9. Takayama, M. and M. Yamamoto. 2001. Upstream migration behavior of Japanese Dace, *Tribolodon hakonensis* at pool and weir fishway. *Suisanzoshok* 49(1): 1~7. (in Japan)