

수리구조물 하류에서 어류의 피난처 해석을 위한 수치모의 (구미보를 중심으로)

Numerical Simulation for Estimating Fish Shelter at the Downstream of Gumi Weir

조형진¹ · 장창래^{2*}

¹한국교통대학교 건설교통대학 토목공학과 석사후연구원

²정회원, 한국교통대학교 건설교통대학 토목공학과 부교수

Cho, Hyoung Jin¹ and Jang, Chang-Lae^{2*}

¹Department of Civil Engineering, College of Construction and Transport Engineering, Korea National University of Transportation, PostMaster

²Member, Department of Civil Engineering, College of Construction and Transport Engineering, Korea National University of Transportation, Associate Professor

ABSTRACT: This study analyzes characteristics of flow using 3 dimensional numerical model, Delft3D, at the downstream of hydraulic structure. And fish shelters are suggested by analyzing them in flood time. A hydraulic structure changes flow conveyance, water depth and velocity affecting the activity of the fish. Flow depth decreases and velocity is fast near the left bank at the downstream of Gumi weir because of the concentration of flow due to it. Therefore, fish shelters are generated near the right bank of it. As a result of vertical velocity distribution which indicates the range of fish activity, maximum value are 0.0043 m/s in 30-year of return period of flood, 0.0052 m/s in 50 year flood, 0.0046 m/s in 80-year of return period of flood, and 0.0039 m/s in 100-year of return period of flood. As the discharge increases, the areas of fish shelters decreases because depth and turbulent energy increase according to increases discharge. The estimated areas of fish shelters near the right bank decrease from 61.5% in 30-year of return period of flood to 39.0% 100-year of return period of flood. Therefore, the constructed hydraulic structures affect fish shelters.

KEYWORDS: Fish shelter, Hydraulic structure, Delft3D, Turbulent energy

요 약: 본 연구에서는 수공구조물 하류에서의 하천흐름 특성을 3차원 수치모형인 Delft3D 모형을 이용하여 분석하고, 하천 흐름 특성을 분석한 결과를 기반으로 홍수시에 어류의 피난처를 예측하였다. 수공구조물은 통수단면적을 변화시키고 유속과 수심을 변화시켜서 어류활동에 영향을 준다. 대상유역인 구미보 직하류에서는 흐름의 중심이 되는 저수로가 좌안으로 집중되면서 우안에서 수심이 낮고, 유속이 느리게 나타나서 어류의 피난처 형성은 우안을 중심으로 발생하였다. 어류의 활동범위를 분석하기 위해 수직방향 유속을 비교한 결과, 30년 빈도와 50년 빈도 경우 우안에서 최대 0.0043 m/s, 0.0052 m/s로 나타났고, 80년 빈도와 100년 빈도는 좌안에서 최대 0.0046 m/s, 0.0039 m/s로 나타났다. 또한 유량이 증가함에 따라 수심이 깊어지고 난류 에너지가 상승하여 어류의 피난처가 감소되었다. 30년 빈도 홍수량과 100년 빈도 홍수량에 대하여 어류의 피난처를 비교하면 우안에 형성되는 어류의 피난처 예상 면적이 61.5%에서 39.0%로 감소하였다.

키워드: 어류 피난처, 수공구조물, Delft3D, 난류에너지

*Corresponding author: cljang@ut.ac.kr

© 2014 Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering

서론

최근 기후변화로 인하여 이례적인 홍수가 발생하고, 국지적으로 가뭄이 발생하고 있다. 이에 홍수를 방지하고 안정적인 수자원 확보를 위하여 치수의 목적으로 댐과 보를 신설하고 증설되고 있다. 하천을 횡단하는 수공구조물은 치수 측면에서는 탁월한 효과를 보이지만, 상류부에 수위를 상승시키고 홍수기에는 방류에 의해 고유속의 흐름을 일부 구간으로 집중시키게 된다. 이로 인하여 하천의 흐름특성에 많은 변화를 야기시키기 마련이다. 흐름의 변화와 상, 하류간의 생태학적 단절을 초래하여 생태학적으로 변화가 발생한다. 댐 방류량의 변화는 하천의 생태계의 30% 정도 변화를 일으키며, 특히 환경변화에 민감한 저생성 무척추동물과 치어들의 분포에 크게 영향을 받는다 (Shen and Dipas, 2010). 따라서 수공구조물에 의해서 저류된 물을 방류하는 계획을 정할 때, 단순히 홍수량을 조절하는 조건만 고려할 것이 아니라 생태계에 최대한 영향을 주지 않는 적절한 방류 계획을 설정하는 것이 중요하다. 이렇듯 하천의 흐름변화가 어류의 서식처에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 유속장 (Tu and Graf, 1992; Nezu et al., 1993)과 하천 바닥의 전단 응력에 대한 초점을 두어야 한다 (Salaheldin et al., 2004; Ge and Sotiropoulos, 2005). Song and Graf (1996)는 실험수로내의 부정류 흐름에 관한 유속의 분포를 연구하기 위하여 도플러 유속계를 설치하여 각 지점별 수심평균 유속을 관측하였다. Nezu et al. (1997)은 매끈한 실험 수로 내에 레이저 도플러 유속계를 설치하여 유속과 수로 바닥에서의 전단응력을 관측하였다. 또한 흐름의 변화 분석을 위해서 Rowinski et al. (2000)은 Saint-Venant 공식

을 통해 마찰속도를 계산하여 흐름 변화를 분석하였다. 또한 최근에 방류수의 의한 어류의 서식처 변화에 대한 많은 연구가 수행되었다. Lauters et al. (1996)은 하천 조사를 통해서 저서무척추 동물의 변화를 조사였고, Saltveit et al. (2001)은 송어의 분포를 조사하여 방류와 송어의 서식 정도를 연구하였다. 또한 현장조사뿐만 아니라 프로그램을 이용하여 서식처 분석도 활발히 진행되고 있다. Valentine et al. (1996)은 송어의 가중가용면적 (WUA; Weight Usable Area)의 변화를 분석하고자 1차원 서식처 분석 모형을 사용하였다. Bovee (1982)은 어류의 서식처 분석을 위하여 증분방법론 (Incremental Methodology)을 이용하였다. 기존의 연구들은 관측과 실내 실험을 통해 어류의 서식처를 예측하고 파악하였지만, 현장에서의 관측이나 실내실험으로는 홍수시에 흐름에 의한 어류의 피난처를 파악하는 데에 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 Delft3D 모형을 이용하여 수공구조물 하류에서 홍수시에 변화되는 흐름특성을 분석하고, 수공구조물 하류에 형성될 어류의 피난처의 규모와 위치를 파악하였다.

수치모형의 특성

Delft3D는 총적하천, 하구, 해안에서 유체동역학, 유사이동과 지형, 수질을 검토하는데 적절한 3차원 모형으로서, 네덜란드의 Deltares사에 의해서 개발된 모형이다. Delft3D는 flow (FLOW), morphology (MOR), waves (WAVE) 모듈을 구성되어 있고, 각각의 모듈은 분석의 목적에 따라 구분하여 사용된다. Delft3D-FLOW 모듈은 Delft3D의 핵심으로 다차원

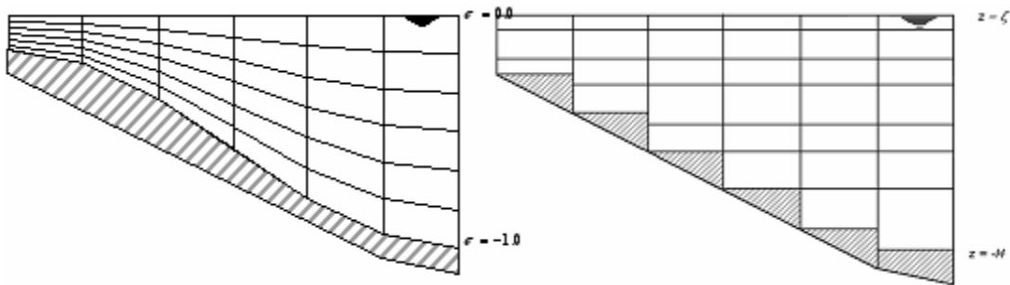


Fig. 1. Example of σ -grid and Z-grid

(2차원 또는 3차원) 유체동역학 모의 프로그램으로써, 곡선 경계밀착 격자나 구면 좌표계에서 조수와 기상학적 힘에 의해서 야기된 비정상 흐름과 이동현상을 계산할 수 있다. 3차원 모의에서 수직 격자는 시그마 좌표계나 Z-layer에 의해서 정의되며 (Clifford et al., 2010), 두 개의 수심방향 좌표계는 Fig. 1과 같다. 시그마 좌표계는 수심방향으로 동일한 수의 층(layer)으로 구분하여 각 지점의 수심에 따라 층의 두께가 다르기에 사용자가 원하는 정확한 수심에서의 흐름특성을 알기는 힘들지만, 하상토 부근에 발생할 수 있는 해석 불가 지역이 없게 된다. 반면 Z-좌표계는 모의 전 구간에서 동일한 층 두께를 가지기 때문에 정확한 수심에서의 흐름특성을 알 수 있다. 하지만 하상토 부근에서 해석이 불가능한 영역이 발생하기 때문에 전체적인 시점에서 다소 흐름특성의 정량적인 값이 차이가 발생할 수 있다. 식 (1)은 시그마 좌표계에서 수심값을 σ 값으로 변형하는 과정을 나타낸다.

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{d + \zeta} = \frac{z - \zeta}{H} \quad (1)$$

여기서 σ 는 물리적 공간에서 수심방향 좌표값, ζ 는 수심, d 는 기준점 수위, H 는 수위를 의미한다.

Delft3D-MOR 모듈은 유사이동 (부유사량이나 총유사량)과 점착성이나 비점착성 유사의 임의 비율에 대한 지형변화를 계산한다. 조류와 파동이 추진력 (driving force)으로 작용하고 많은 이동 공식을 포함하고 있다. 부유사량 계산을 위해서 이 모듈은 Delft3D-FLOW 모듈의 2차원 또는 3차원 이송 확산 solver와 연결되고, 밀도효과를 고려할 수 있다. 모듈의 특징은 Delft3D-FLOW 모듈과 Delft3D-WAVE 모듈과의 동적 피드백이 가능한 것이고, 이를 통해서 국부적인 수심자료와 흐름과 파동이 스스로 조정될 수 있으며, 수일 (집중호우 영향)부터 100년 (system dynamics) 까지 임의의 시간 규모를 모의 할 수 있다. 본 연구에서는 수공구조물 하류부에서의 흐름 특성 변화를 분석하기 위하여 Delft3D-FLOW 모듈을 사용하였다. 다음은 Delft3D 모형의 지배방정식인 연속방정식과 운동량 방정식을 나타내고 있다.

$$\frac{\partial(uH)}{\partial t} + \frac{\partial(uH)}{\partial x} + \frac{\partial(vH)}{\partial y} = Q_H \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(uH)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2H)}{\partial x} + \frac{\partial(uvH)}{\partial y} - fHv \\ = -gH \frac{\partial\eta}{\partial x} - C_B |u|u + \frac{\partial}{\partial x} \left(HA_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(HA_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \tau_x \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(vH)}{\partial t} + \frac{\partial(uvH)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2H)}{\partial y} + fHu \\ = -gH \frac{\partial\eta}{\partial y} - C_B |v|v + \frac{\partial}{\partial x} \left(HA_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(HA_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \tau_y \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 h, η 는 각각 수심과 기준면에서의 수위 (m), u, v 는 x, y방향의 유속 (m/s), f 는 Coriolis parameter, $|u| = \sqrt{u^2 + v^2}$ 는 유속, g 는 중력가속도 (m/s^2), C_B 는 바닥면 마찰계수, A_H 는 수평난류점성계수 (m^2/s), Q_H 는 외부로부터 유체의 유입/유출량 ($kg \cdot m/s$), τ 는 전단응력 (N/m^2)이다.

Delft3D-FLOW는 홍수기에 가동보가 완전개방 상태에서 광정위어와 동일한 형태에서 물이 흐르는 상태로 가정하여 수행하였다. 광정위어에서 유속 및 유량 계산은 다음과 같이 계산된다.

$$u_s = c_e \sqrt{\frac{2}{3}g} \sqrt{h_1 - z_s} \quad (5)$$

$$A_f = W_s \cdot c_w \cdot \frac{2}{3}(h_1 - z_s) \quad (6)$$

$$Q = u_s \cdot A_f \quad (7)$$

$$Q = c_e \cdot c_w \cdot W_s \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}g} \cdot (h_1 - z_s)^{3/2} \quad (8)$$

여기서 Q 는 위어단면의 유량, A_f 는 수역면적, c_e 는 유량계수, c_w 는 가로수축계수, W_s 는 월류 폭, h_1 은 상류수위, h_2 하류수위, z_s 는 월류고, u_s 는 월류고에서의 속도를 나타낸다.

수치모형의 적용 결과

연구대상 유역

연구 대상 유역은 구미시 인근에 위치한 다기능 구미보를 중심으로 상류 1.5 km에서 하류방향으로 3.0 km을 대상으로 하였다 (Fig. 2). 대상유역에 설치되어 있는 다기능보는 인접한 구미시와 대구시에 용수를 공급하며, 저수용량은 55.4 백만 m^3 이다. 대상구간의 하상경사는 완만한 하상으로서 0.001 정도이고, 하폭은 600 m~1000 m 정도이다. 특히 구미보 직하류부에서 감천이 유입되어 하폭이 급확대되는 현상을 이루고 있다. 낙동강은 8개의 다기능 보가 설치되어 있기 때문에 갈수기나 평수기에는 일정한 수위를



Fig. 2. Research site

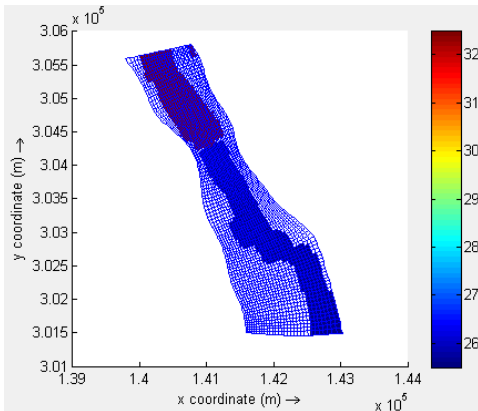


Fig. 3. Inital water level

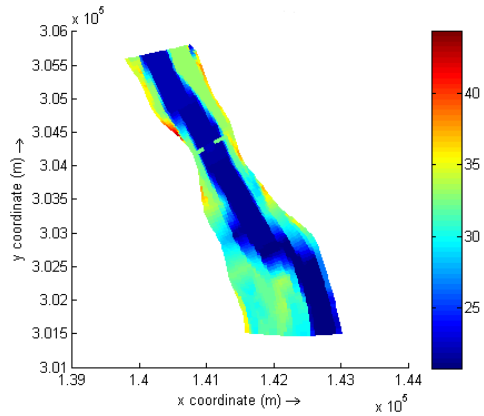


Fig. 4. Bed elevation

유지하고 있다. 낙단보와 구미보 상류사이의 수위는 EL. 32.5 m이고, 구미보 하류에서 칠곡보 사이의 수위는 EL. 25.5 m를 유지하고 있다. 따라서 본 연구에서는 빈도별 홍수에 따라 흐름특성을 분석하기 위하여 초기수위는 구미보를 중심으로 상하류를 구분하여 각각 설정하였다 (Fig. 4).

수치모형의 적용

수치모형을 연구대상 지역에 적용하기 위하여, 하천의 종·횡측의 하상자료가 데이터로 구축되어 있는 수치지도를 이용하여 수심방향 지형자료를 구축하였다. 상류단과 하류단 경계조건을 설정하기 위해서는 관측결과나 1차원 수치모의 결과가 필요하기에 본 연구에서는 기존 국토해양부에서 작성한 『낙동강수계 하천기본계획, 2009』을 근거하여 30년, 50년, 80년, 100년 빈도 홍수량과 홍수위를 사용하여 경계조건을 적용하였다 (Table 1). 상류단 경계조건은 빈도별 확률 홍수량을, 하류단 경계조건은 Hec-Ras (Hydrologic Engineering Center River Analysis System)로 산정된 값을 사용하였다. 본 연구에서는 다기능 보의 운영규칙에 따라 다기능 보의 가동보는 완전히 열린 상태 (full-open)에서 흐름을 분석하였다.

모의구간 내에 격자는 직교형 격자 (Orthogonalised Grid)로 100×30 격자 (총 3,000 격자)로 구성되었고, 격자의 종횡비 (aspect ratio)는 평균 1.24, 최대 3.67로 구성하였다. 수심방향의 layer 구분은 시그마 좌표계를 사용하여 등간격의 3개의 층으로 구분하여 구축하였다. Fig. 5는 격자의 구성과 격자 내 구미보

Table 1. Boundary condition

Flood (years)	30yr return period of flood	50yr return period of flood	80yr return period of flood	100yr return period of flood
Discharge (m ³ /s)	10,100	11,200	12,100	12,500
water elevation (EL.m)	32.17	32.71	33.11	33.28

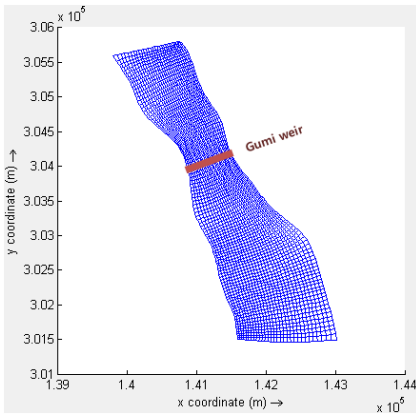
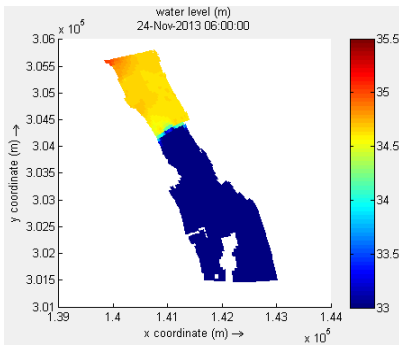
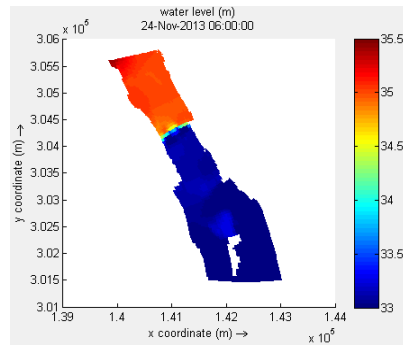


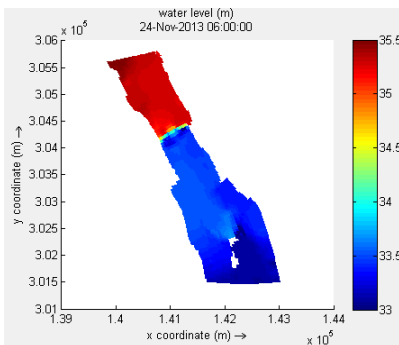
Fig. 5. Computational grids



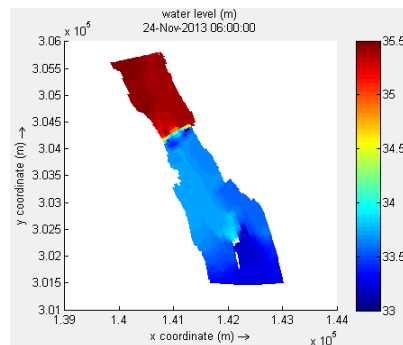
(a) 30-year flood



(b) 50-year flood



(c) 80-year flood



(d) 100-year flood

Fig. 6. Water elevation after 54 hours

의 위치를 나타내고 있다. Fig. 6은 하상고를 3차원으로 나타낸 것이다.

조도계수는 하도내에서 물의 흐름에 저항하는 정도를 나타내는 인자이며, 본 연구에서는 국토해양부 (2009)에서 선정한 0.024~0.026를 설정하였다. 또한 연구대상 구간은 홍수터와 저수로의 구분이 뚜렷한 편이기에 홍수터와 저수로의 조도계수를 구분하여 사용하는 것이 원칙이지만, 4대강 사업이후 다기능보 사이의 많은 양의 물이 저류되면서 홍수터와 저수로에 모두 물이 가득 차있기에 동일한 조도계수를 사용하였다. 난류확산 모형은 k-ε equation을 사용하였다. k-ε equation은 점성항을 고려한 난류해석 모형으로서, 수공구조물에 의해 같은 단면에서도 큰 유속 차이를 보이기 때문에 강한 난류가 발생하게 된다. 이에 점성항을 고려한 k-ε equation모형이 적합하다고 판단된다. 난류확산계수인 와점성계수는 난류의 구조에 따라 변화하는 복잡한 성질을 가지는 계수이다. 일반적으로 구조물에 의한 흐름의 경우 50~240 N·s/m² 적용을 하므로 본 연구에서는 가동보 직하류에서 고유속이 발생하는 것으로 고려하여 240 N·s/m²

을 사용하였다.

수치모의 결과

본 연구에서는 홍수량의 변화에 의한 수공구조물 하류에서 흐름의 변화에 의한 어류의 피난처 형성을 파악하기 위하여 수리학적 특성 변화를 분석하였다. 흐름 특성을 파악하기 위하여 수심, 수위, 유속장을 분석하였다.

Fig. 6은 각 홍수량에 대한 수위의 변화를 보여주고 있다. 홍수량이 증가할수록 수위가 상승하고 수면적이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한 수공구조물의 설치로 인해 상·하류의 수위 차가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 각 빈도별 홍수에 따른 상하류 수위차는 각각 30년 빈도 때 1.48 m, 50년 빈도 때 1.60 m, 80년 빈도 때 1.85 m, 100년 빈도 때 2.01 m 차이가 발생하였고, 평균적으로 수공구조물을 기준으로 상하류에 1.75 m 정도 차이가 발생하였다.

Fig. 7은 각 빈도별 홍수량에 대한 수심의 결과를 보여주고 있다. 저수로와 홍수터를 구분되고, 평균적으로 저수로와 홍수터 간의 6 m 이상 차이를 보이고 있다. 특히 수심의 결과는 어류의 피난처 형성에 큰 영향을 미치는 인자이다. 수심이 낮은 홍수터에 형성되는 여울과 웅덩이는 어류의 피난처에 중요한 역할을 한다.

Fig. 8은 빈도별 홍수에 대한 유속장의 결과이다. 유속장은 유속뿐만 아니라 흐름의 방향을 알 수 있기 때문에 흐름의 특성을 파악하는데 중요하다. 구미보의 가동보가 설치되어 있는 하도의 중앙부에 흐름이 집중되는 것을 볼 수 있다. 또한 가동보를 통해 통과하는 물이 통수단면의 급확대로 인하여 양쪽의 고정보쪽으로 흐름 방향을 꺾어서 흐르고 있으므로, 하류에서 와류가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이 현상은 유량이 적은 경우에 더 뚜렷하게 나타나는데, 이는 가동보를 통과하는 유량이 고정보를 통과하는 유량보다 많고 가동보를 통과하는 유량이 흐름에 지배적

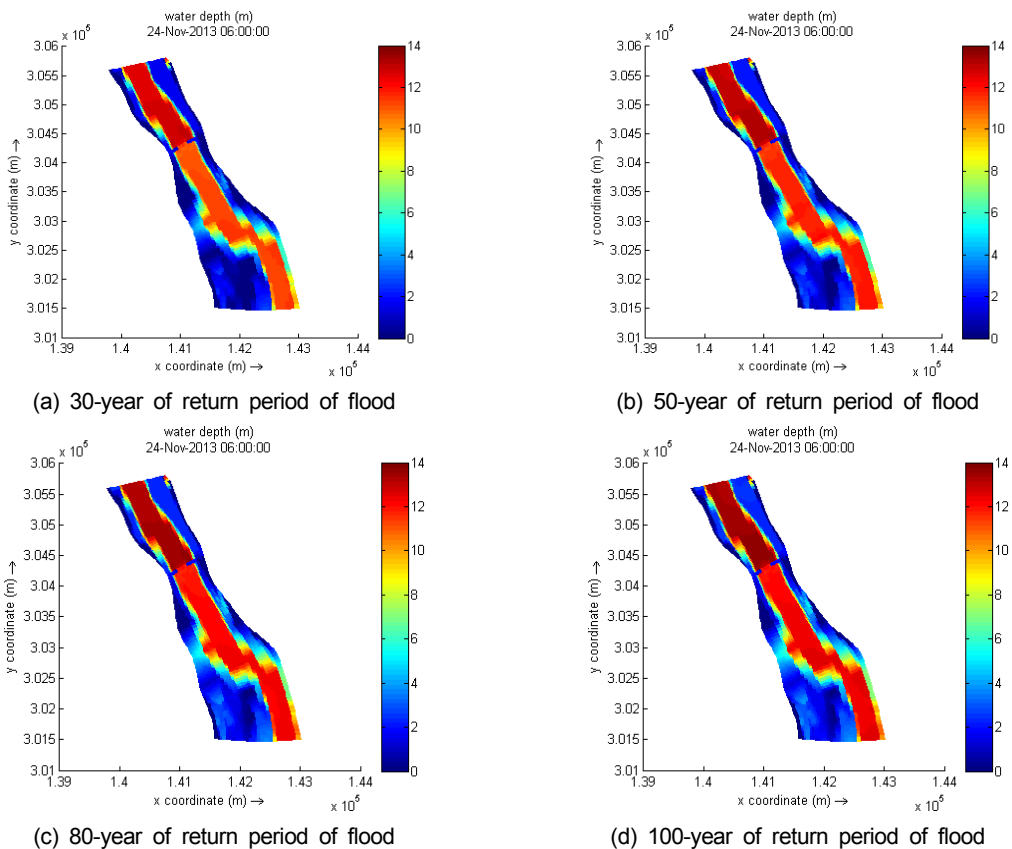


Fig. 7. Water depth after 54 hours

인 영향을 미치지 때문이다. 유량이 점차 많아지면 가동보를 통과하는 유속은 감소하는 형태로 나타났다. 30년 빈도 홍수일 때 가동보를 통과하는 최고 유속은 6.28 m/s이었고, 50년 빈도 홍수일 때 6.54 m/s, 80년 빈도 홍수일 때 6.58 m/s였다. 반면 유량 가장 많은 100 빈도 홍수일 때 최고 유속은 6.05 m/s를 나타냈다. 이는 수심의 상승하면서 통수단면적이 늘어나면서 유속이 감소하는 것이다.

Fig. 9는 구미보에서 하류 방향으로 50 m 떨어진 단면에서의 수직방향 유속분포이다. 본 연구에서는 σ -좌표계를 사용하여 수직방향으로 3개의 층으로 등분포하여 해석하였다. 수직방향 유속은 수평방향 유

속이 낮았던 30년 빈도 (최고 0.0043 m/s)와 50년 빈도 (최고 0.0052 m/s) 우안에서 유속이 빠른 것으로 나타났고, 수평방향 유속이 높았던 80년 빈도 (최고 0.0046 m/s)와 100년 빈도 (0.0039 m/s) 좌안에서 유속이 빠른 것으로 나타났다.

수공구조물로 인한 하천 흐름 특성의 변화는 생태계의 변화를 야기시킨다. 흐름의 특성 중 유속과 유속장의 방향은 어류의 서식처 형성에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 치어의 생장은 유속이 0.228 m/s 이하에서 활발히 이루어진다 (Shen and Dipas, 2010). Fig. 10는 빈도별 홍수시에 치어의 생장이 활발한 유속인 0.228 m/s를 기준으로 나눈 것이고, 붉은 색 지

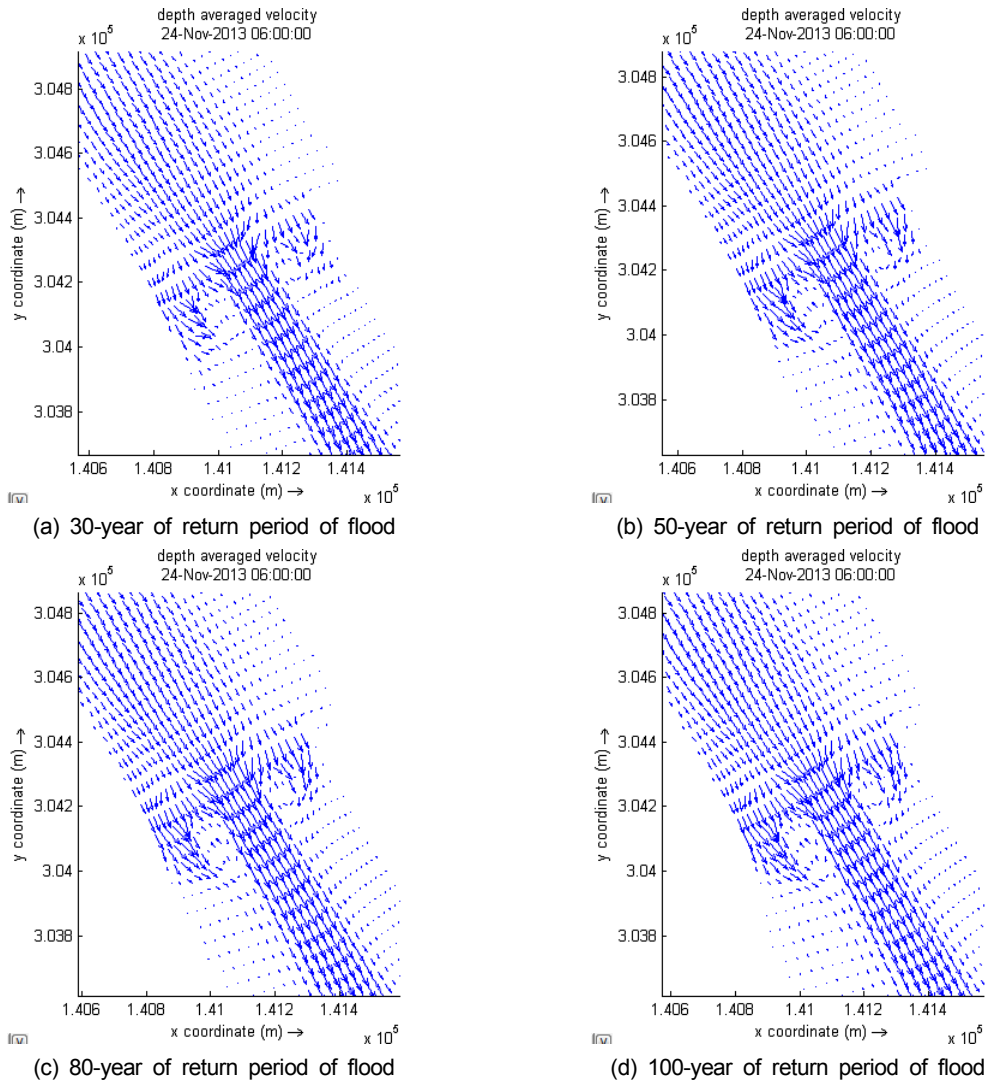


Fig. 8. Velocity vector after 54 hours

역이 0.228 m/s보다 작은 유속을 보이는 곳으로 치어의 피난처가 될 수 있는 지역이다. Table 2는 구미보 하류에서 유속이 0.228 m/s이하인 치어의 피난처 형성이 예상되는 면적을 백분위로 나타낸다. 이 결과에서 볼 수 있듯이, 치어의 서식처는 좌안보다 우안쪽에 많이 분포하는 것을 볼 수 있었다. 이는 감천의 합류 후 저수로의 경로가 좌안에 가깝게 흐르면서 우안보다 좌안쪽으로 흐름이 집중되어 유속이 빠르게 나타나기 때문이다. 우안의 경우는 홍수량이 증가하면서 치어의 피난이 가능한 면적이 줄어들지만, 좌안의 경우는 홍수량에 변화에 큰 변화를 보이지 않고

기의 일정하게 치어의 피난처를 형성하고 있다. 또한 대상구간에 하류에 하상고가 높은 하중도가 존재하는데 이 근처에서 유속이 느려져서 치어의 피난처를 형성할 것으로 예상된다.

Fig. 10은 유속에 정량적 값을 이용하여 치어의 서식처 형성을 분석하였지만, 유속의 방향성 즉 와류의 특성도 어류 피난처 형성에 많은 영향을 미친다. 와류는 시간에 따라 큰 차이를 보이기 때문에 정량적인 값을 규명하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 와류의 정량적 특성을 표현하기 위하여 난류에너지에 관하여 분석하였다. Fig. 11은 빈도 홍수별 난류에너지

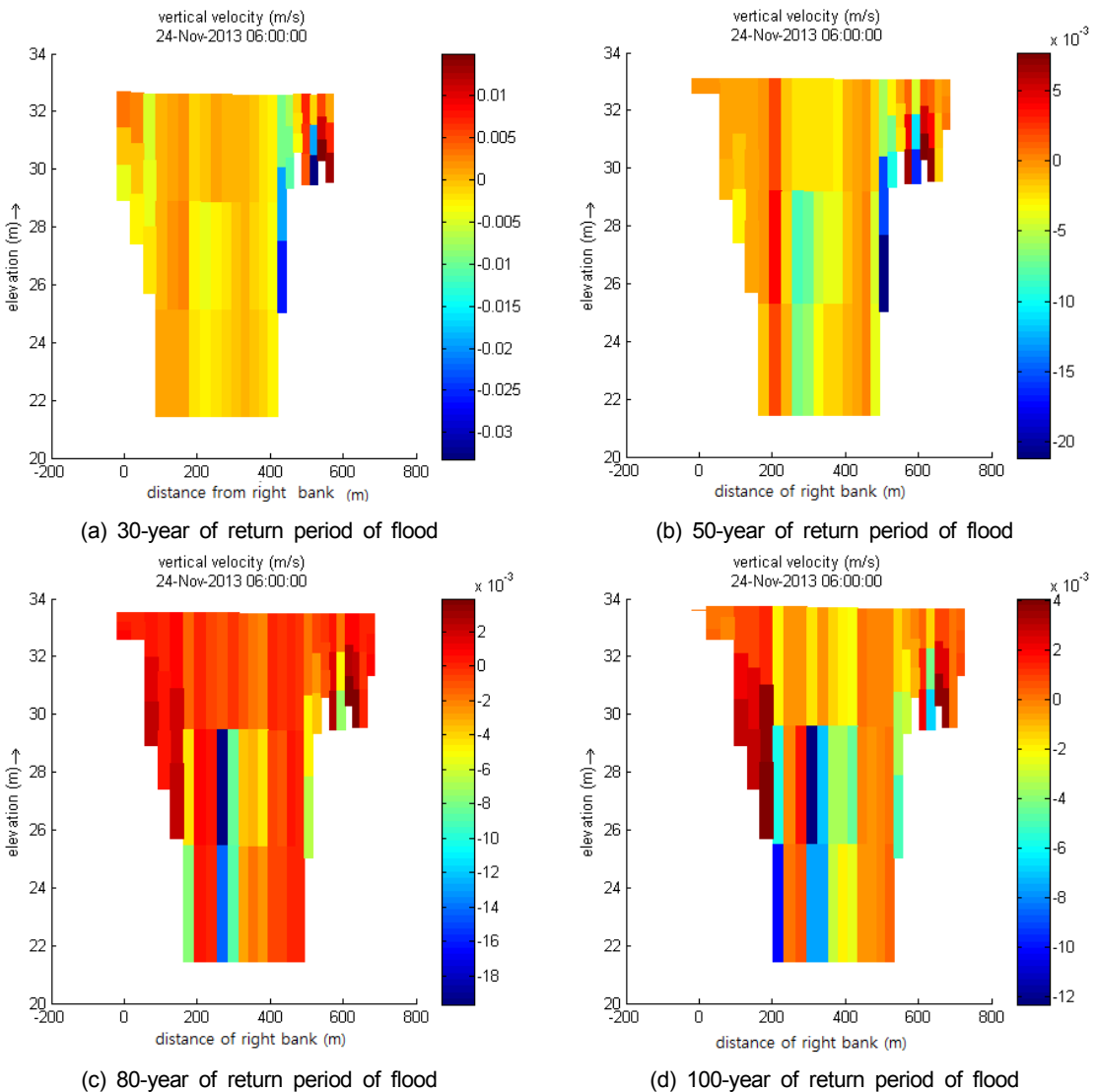


Fig. 9. Vertical velocity in Gumi weir downstream after 54 hours

를 나타낸 것으로 구미보 직하류 100 m구간의 단면들의 난류에너지의 평균값을 나타내고 있다. 식 (9)은 하천의 하상 바닥에서 난류운동에너지를 구하는 식이다. Fig. 11에서 나타나듯이 우안의 수심이 낮고, 유속이 느리기 때문에 난류에너지도 작게 나타난다. 이는 치어의 피난처를 형성하는 것을 의미한다.

$$k = \frac{1}{\sqrt{c_\mu}} \left[(u_*^b)^2 \left(1 - \frac{z+d}{H} \right) + u_{*s}^2 \frac{z+d}{H} \right] \quad (9)$$

여기서 c_μ 는 상수로서 일반적으로 0.09, u_{*s}^2 는 자유수면에서의 마찰속도를 의미한다.

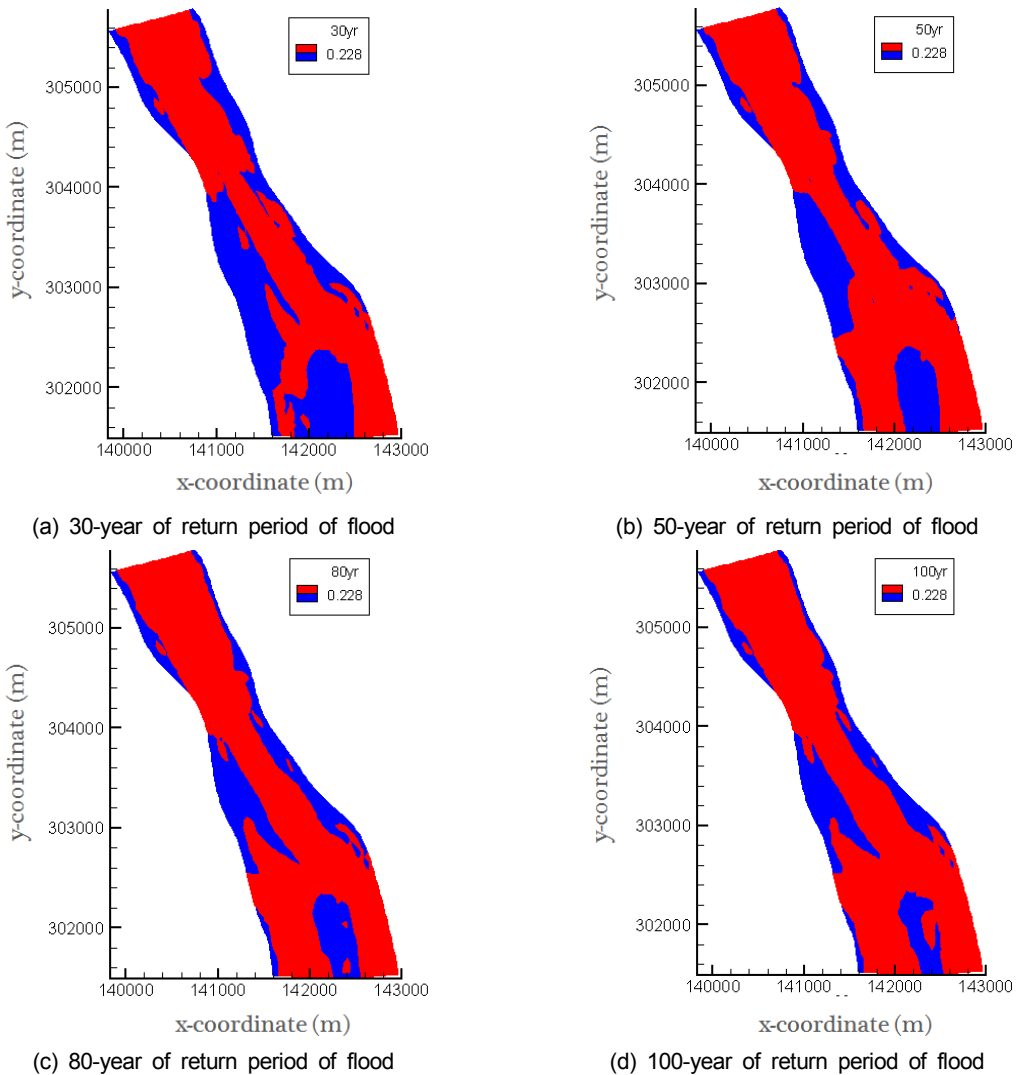


Fig. 10. Dividing areas of juvenile habitat

Table 2. Percentage areas of juvenile shelter

Flood	30yr flood	50yr flood	80yr flood	100yr flood
Left bank (%)	36.4	35.9	37.2	36.8
Right bank (%)	61.5	48.1	41.6	39.0

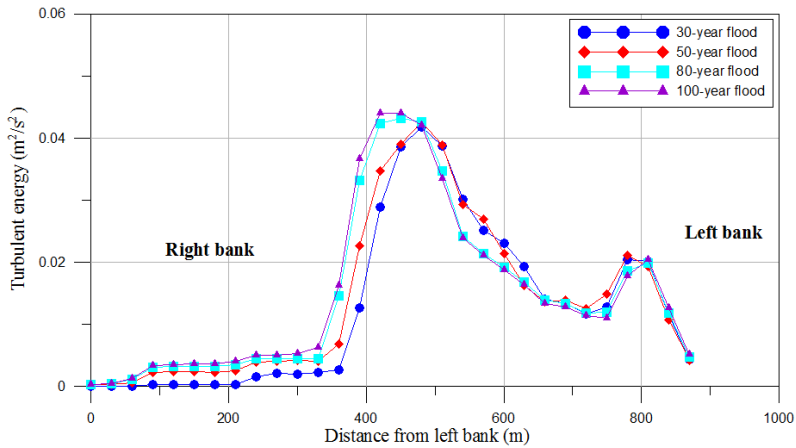


Fig. 11. Turbulent energy in longitudinal direction

결론

본 연구에서는 수공구조물의 설치로 인한 하천흐름 특성의 변화를 파악하여 어류 서식처의 위치 변화와 규모 변화에 관한 연구를 수행하기 위하여 3차원 수리학적 모형인 Delft3D를 적용하여 흐름특성을 분석하였다. 연구 대상 구간은 구미보를 중심으로 상류 방향 1.5 km, 하류 3 km 구간에 대해 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 수공구조물이 흐름특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수심, 수위, 유속에 관한 분석을 하였다. 하천을 횡단하여 설치되어 있는 수공구조물은 상류와 하류간의 최대 1.75 m의 높은 수위차를 발생시키고, 가동보를 통해 방류되면서 흐름이 집중되는 현상이 발생하였다.
- 2) 생태학적 변화를 야기시키는 흐름 특성으로는 유속과 난류에너지이고, 이 2개의 변수를 이용하여 생태학적 변화를 분석하였다. 치어의 피난처를 형성하는 데는 너무 빠른 유속이 유지되서는 안 된다 (0.228 m/s). 가동보로 집중된 흐름 때문에 저수로부는 고유속이 나타나서 치어의 활동이 어렵고 좌·우안의 홍수터를 중심으로 활동할 것으로 예상된다. 또한 구미보 하류에 위치한 하중도 부근에 느린 유속이 형성되어 치어의 피난처가 형성된다.
- 3) 난류에너지는 마찰속도와 수심에 관한 변수로써, 수심이 깊고 유속이 빠른 저수로부에서 높은 값으

로 나타났고, 수심이 낮고 유속이 느린 홍수터 부근에서 작은 값이 나타났다. 이는 치어의 피난처 형성에 난류에너지가 작은 홍수터에서 더 활발하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 수공구조물 하류에서 흐름 특성을 고려하여 홍수시에 어류의 서식처 변화를 모의하였으나, 향후에 생태학적 지형학적 변화를 고려한 다각적인 분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bovee, K. D. (1982). "A guided to stream habitat analysis using the in stream flow incremental methodology." Instream Flow Information paper No. 12, FWS/OBSERVATION 82/86, U.S Fish and Wildlife Service, Washington D. C.
- Clifford, N. J., Wright, N. G., Harvey, G., Gurnell, A. M., Harmor, O. P. and Soar, P. J. (2010). Numerical Modeling of River Flow for Ecohydraulic Applications : Some Experiences with velocity Characterization in Field and Simulated Data. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol. 136, No. 12, pp. 1033-1041.

- Ge, L. and Sotiropoulos, F. (2005). "3D unsteady RANS modeling of complex hydraulic engineering flows. I: Numerical model." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol. 131, No. 9, pp. 800-808.
- Lauters, F., Lavandier, P., Lim, P., Sabation, C. and Belaud, A. (1996). "Influence of hydropeaking on invertebrates and their relationship with fish feeding habitats in Pyrenean River." *Regul. Rivers: Res. manage.*, Vol. 12, pp. 563-573.
- Nezu, I., Nakagawa, H., Ishida, Y. and Kadota, A. (1993). "Bed shear stress in unsteady open-channel flows." *Proc., 1993 Hydraulic Conf.*, ASCE, New York, 1458-1463.
- Nezu, I., Kadota, A. and Nakagawa, H. (1997). "Turbulent structure in unsteady depth-varying open-channel flows." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol. 123, No. 9, pp. 752-763.
- Rowinski, P. M., Czernuszenko, W. and Pretre, J. M. (2000). "Time-dependent shear velocities in channel routing." *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 45, No. 6, pp. 881-895.
- Salaheldin, T. M., Imran, J. and Chaudhry, M. H. (2004). "Numerical modeling of three-dimensional flow field around circular piers." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol. 130, No. 2, pp. 91-100.
- Saltveit, S. J., Halleraker, J. H., Arnekleiv, J. V. and Harby, A. (2001). "Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon and brown trout during rapid flow decreases caused by hydropeaking." *Regul. Rivers: Res. manage.*, Vol. 17, pp. 609-652.
- Shen, Y. and Dipas, P. (2010). "Modeling unsteady flow characteristics of hydropeaking operations and their implications on fish habitat." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 136, No. 12, pp. 1053-1066.
- Song, T. and Graf, W. H. (1992). "Velocity and turbulence distribution in unsteady open-channel flows." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol. 122, No. 3, pp. 141-154.
- Tu, H. and Graf, W. H. (1992). "Velocity distribution in unsteady open channel flow over gravel beds." *J. Hydrosci. Hydr. Eng.*, Vol. 10, No. 1, pp. 11-25.
- Valentin, S., Lauters, F., Sabaton, C., Breil, P. and Souchon, Y. (1996). "Modeling temporal variations of physical habitat for brown trout (*salmo trutta*) in hydropeaking conditions." *Regul. Rivers: Res. manage.*, Vol. 12, pp. 317-330.