

## 소수력 발전소 건설에 의한 삼천포 화력발전소 방류수로 흐름변화 예측

### Prediction of the Flow Pattern Changes using FLOW-3D Model in the Effluent Region of the Samcheonpo Thermal Power Plant (TPP)

조홍연\* · 정신탉\*\* · 김정대\*\* · 강금석\*\*\*

Hong Yeon Cho\*, Shin Taek Jeong\*\*, Jeong Dae Kim\*\* and Keum Seok Kang\*\*\*

**요 지 :** 삼천포 화력발전소에서는 냉각수로 이용되고 방류되는 해수를 이용한 소수력 발전소가 건설되고 있다. 소수력 발전소는 발전량을 최대화하기 위해서는 규모를 크게 하는 것이 바람직하나, 소수력 발전소가 방류수로의 기능을 저해하지는 않는 범위에서 결정하여야 하기 때문에 적정규모를 결정하기 위해서는 수리학적인 고려가 필요하다. 본 연구에서는 현재 방류수로의 흐름특성 자료를 이용하여 3차원 흐름모형인 FLOW3D 모형을 구축하고, 구축된 모형을 이용하여 소수력 발전소의 규모에 따른 방류수로 상류 지점의 수위 증가 양상을 예측하였으며, 발전소 건설에 따른 흐름변화 양상도 분석하였다. 삼천포 소수력발전소 건설은 상류의 수위증가를 유발하며, 설계 유량 156톤/초, 발전소 가동보 높이 3.8 m 기준에 대한 방류수로 Weir 상류지점의 수위는 4.97 m로 현 상태 4.32 m 보다 65 cm 정도 증가하는 것으로 파악되었다.

**핵심용어 :** 삼천포 화력발전소, 소수력발전소, 냉각수, 방류수로, 방류해역, FLOW3D

**Abstract :** A small hydro-power plant using the seawater used as the cooling (circulated) water and discharged is under construction. The bigger size of the small hydro-power plant, the better in order to maximize the efficiency and the electric power. The optimal size, however, should be determined in the constraints of the channel un-disturbed range. The water level change should be checked in detail based on the hydraulic behaviour. In this study, the FLOW3D model, three-dimensional flow model, is setup using the flow measurement data in the effluent discharge channel and the flow pattern changes due to the small hydro-power plant construction are predicted by the model. The plant construction makes the increasing of the water level, and the water level in the upstream of the channel weir is increased 65cm from 4.32 m to 4.97 m, in the condition of the design discharge 156 m<sup>3</sup>/s and the movable weir height of the hydro-power plant 3.8 m.

**Keywords :** Samcheonpo TPP, small hydro-power plant, circulated water, discharge channel, effluent discharge region, FLOW3D

## 1. 서 론

삼천포 화력발전소(TPP)에서 냉각수로 이용되고 방류되는 해수를 이용하기 위하여 삼천포 화력발전소에서는 소수력 발전소를 건설하고 있다. 건설되는 소수력발전소는 현재 방류수로의 냉각수 배출 기능을 저해하지 않는 범위

서 최대한의 전기를 생산할 수 있는 규모가 바람직하다. 따라서, 발전소 규모에 따른 방류수로의 수위변화 및 흐름변화 양상 예측은 매우 중요한 사안이다. 삼천포 화력발전소 소수력발전소 건설사업에 대한 예비타당성 검토 및 기본설계과정에서 수행된 경제성 분석 등을 통하여 방류해역에 소수력발전시설을 건설하는 제2안 형태가 가장 적절하고, 실

\* 한국해양연구원 연안개발연구본부(Coastal Development Research Department, KORDI, Ansan PO Box 29, Seoul, 425-600, Korea)

\*\* 원광대학교 토목환경도시공학부(Corresponding Author: Shin Taek Jeong, School of Civil, Environmental & Urban Eng., Wonkwang Univ., Iksan 570-749, Korea, stjeong@wonkwang.ac.kr)

\*\*\* 한국전력공사 전력연구원(Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea)

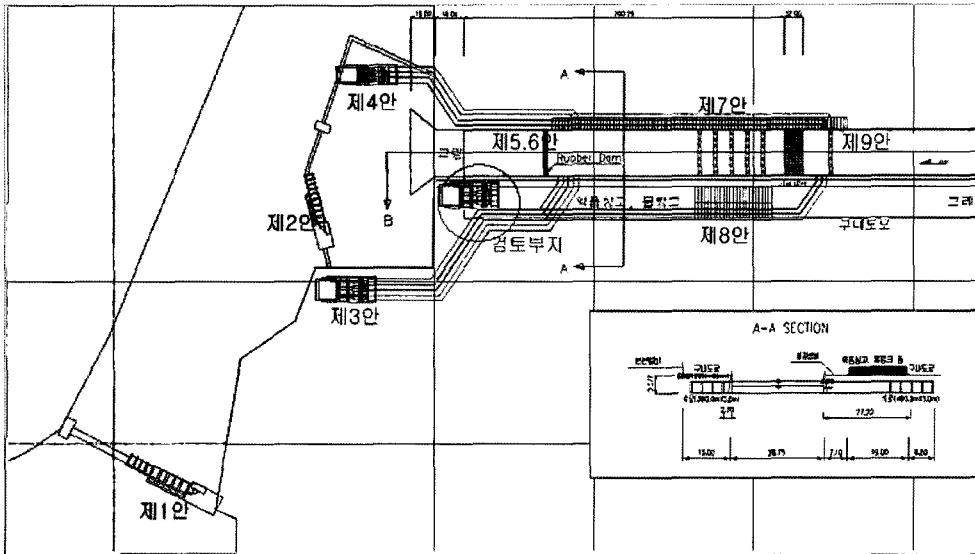


Fig. 1. Plan view of the small-hydro power plant construction site.

질적인 안으로 채택되었다. 또한, 발전방식도 흐름식과 댐식을 검토한 결과, 댐식, 해양소수력 방식으로 최종 선정하였다(Fig. 1참조; 한국전력공사, 1994, 1996, 2004, 2005).

본 연구에서는 삼천포 소수력발전 실용화 기술사업의 일환으로 관측된 방류수로 및 방류해역의 흐름자료 및 선정된 대안(제2안)에 대하여 댐의 규모(높이, 가동보 설치 규모)에 따른 방류수로의 수위변화를 예측하기 위하여 FLOW3D 흐름 모형을 구축하였다. 또한, 구축된 모형을 이용하여 다양한 설계조건(주로, 발전시설 우안에 설치되는 냉각수 방류량 월류를 위한 가동보의 높이 변화)에 대한 방류수로의 수위 및 유속변화 양상을 예측·분석하였으며, 최적의 소수력 발전소 규모 결정에 필요한 검토자료로 이용하였다. FLOW3D 모형은 댐여수로의 흐름해석을 포함하여 다양한 수리구조물에서의 흐름해석에 널리 활용되고 있는 모형으로, 적절한 모형의 보정 및 검증만 수행된다면 매우 정확하게 흐름장을 재현할 수 있기 때문에 수리실험 대체 수단으로의 가능성이 검토되고 있다(김, 2003; 이·이, 2003, 한국수자원공사, 2004).

## 2. FLOW3D 모형의 구조

직교좌표계(x, y, z)에서 비압축성 유체의 3차원 흐름을 해석하기 위한 FLOW3D 모형의 지배방정식은 1개의 연속방정식(질량보존방정식) Eq. (1)과 3개의 운동방정식 Eq. (2)-(4)로 구성된다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{RSOR}{\rho} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + uA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{RSOR}{\rho V_F} u \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + uA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y - b_y - \frac{RSOR}{\rho V_F} v \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + uA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{RSOR}{\rho V_F} w \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, (u, v, w)는 (x, y, z) 방향의 유속성분, V<sub>F</sub>는 흐름에 노출된 부분체적, (A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A<sub>z</sub>)는 (x, y, z) 방향의 부분면적 성분, ρ는 밀도, ρ<sub>0</sub>는 기준밀도, RSOR는 밀도생성항, p는 압력, (G<sub>x</sub>, G<sub>y</sub>, G<sub>z</sub>)는 (x, y, z) 방향의 물체의 가속도, (f<sub>x</sub>, f<sub>y</sub>, f<sub>z</sub>)는 (x, y, z) 방향의 점성마찰에 의한 가속도 성분, (b<sub>x</sub>, b<sub>y</sub>, b<sub>z</sub>)는 (x, y, z) 방향의 흐름손실 성분이다.

본 모형에서는 물과 공기의 경계인 자유수면을 모형화하기 위하여 지배방정식 Eq. (5)를 만족하는 VOF(volume of fluid) 함수 F를 정의한다. F가 1인 경우는 검사체적에 유

체가 가득한 상태를, 0인 경우는 검사체적에 유체가 전혀 없는 경우를 나타내는 것으로, 자유수면 격자에서는 유체가 검사체적의 일부를 차지하고 있기 때문에 F는 0과 1사이의 값을 가진다.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( \frac{\partial}{\partial x} (FA_x u) + \frac{\partial}{\partial y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (FA_z w) \right) = FDIF + FSOR \quad (5)$$

여기서, FDIF는 난류확산항, FSOR는 질량생성에 관련된 부분체적의 시간변화율이다.

운동방정식, 에너지 수송 방정식, VOF 함수의 수송방정식에 사용되는 확산항은 난류확산과 분자확산으로 구분할 수 있다. FLOW3D 모형에서 난류 확산항을 산정하기 위하여 기본적으로 제공하는 난류모형은  $\kappa \cdot \epsilon$  모형, RNG  $\kappa \cdot \epsilon$  모형, LES(Large Eddy Simulation) 모형이다. 본 연구에서는 난류확산항 산정에 가장 일반적으로 사용되고 있는  $\kappa \cdot \epsilon$  난류모형을 이용하였으며, 확산항을 산정하기 위한 난류운동 에너지( $\kappa$ )와 난류 확산( $\epsilon$ ) 수송방정식은 Eq. (6), (7)과 같다.

$$\frac{\partial \kappa}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial \kappa}{\partial x} + uA_y \frac{\partial \kappa}{\partial y} + wA_z \frac{\partial \kappa}{\partial z} \right) = P + G + Diff - \epsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + uA_y \frac{\partial \epsilon}{\partial y} + wA_z \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) = \frac{CDIS1 \cdot \epsilon}{k} (P + CDIS3 \cdot G) + DDif - CDIS2 \cdot \frac{\epsilon^2}{k} \quad (7)$$

여기서, P는 전단생성항, G는 부력생성항, Diff, DDif는 각각  $\kappa$ -방정식,  $\epsilon$ -방정식의 확산항이며, CDIS1, CDIS2, CDIS3는 난류모형의 상수항이다.

FLOW3D 모형의 지배방정식은 유한차분법을 이용하여 이산화되는데, FAVOR(Fractional Area and Volume Obstacle Representation) 기법을 도입한 유한체적법의 접근방식을 사용한다. 이 방법은 모형해석 영역을 계산격자로 구성하고, 각각의 격자에 대해서 주어진 압력을 이용하여 다음 시간단계에서의 속도를 구하고, 이 속도를 이용하여 Poisson 방정식 형태를 가진 압력방정식의 해를 구한 다음 다시 속도를 교정하고, 그 후에 자유수면의 해석이 요구될 때는 VOF 방정식을 풀어나가는 반복적인 방법을 이용한다. FLOW3D 모형에서 사용하는 격자체계 및 격자에서의 변수정의는 Fig. 2와 같으며, 계산격자망(mesh)과 지형(geometry)정보는 독립적으로 입력된다. 이 방법은 FAVOR 기법(Fig. 3참조)을 사용하는 것으로, 육면체로 표현되는 3차원 격자망에 구조물, 벽

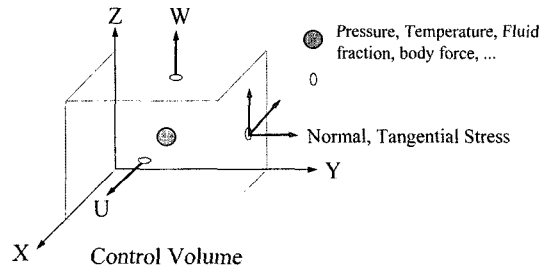


Fig. 2. Grid system of the FLOW3D model.

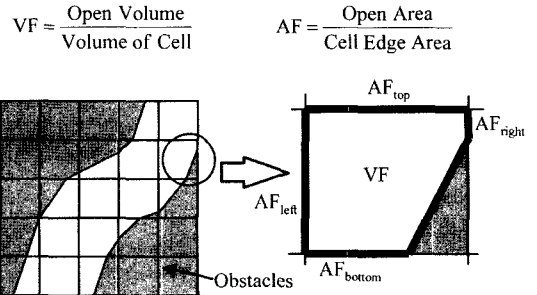


Fig. 3. Conceptual diagram of the FAVOR scheme.

체 등의 지형정보를 포함할 수 있다.

한편, 제트, 비산, 파랑 등과 같은 급변하는 자유수면 운동 기술은 움직이는 격자를 사용하는 Lagrangian 방법보다 고정 Eulerian 방법을 사용하는 VOF 방법이 일반적이다. FLOW3D 모형에서 사용하는 VOF 방법은 정확한 압력 및 운동학적 경계조건을 적용하고 있으며, 유한차분식 경계면에서의 경계처리에 따른 유체스머딩(smearing) 영향에 의한 오차발생을 방지하기 위해 특별한 수치차분법을 사용함으로써 두 유체(물[액체]과 공기)일 경우는 보통 자유수면으로 가정 사이의 운동을 정확하게 기술할 수 있는 수치 해석 방법이다(Fig. 4참조). 지배방정식은 운동방정식의 압력항과 연속방정식의 유속항을 제외하면 모두 양해법으로 차분된다. 연속방정식을 만족하도록 압력항을 계산하기 위해서는 SOR(successive over relaxation) 기법과 SADI(special alternating-direction, line implicit) 기법을 사용할 수 있다. 계산과정은

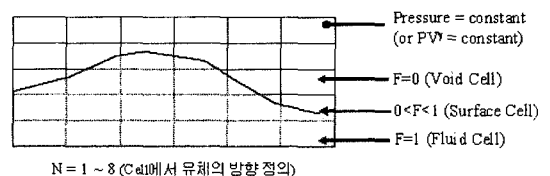


Fig. 4. Conceptual diagram of the VOF method.

(1)운동방정식을 양해법으로 풀어서 각 방향의 유속을 계산, (2) 연속방정식을 만족하도록 운동방정식의 압력과 유속을 반복 계산, (3)자유수면, 난류특성, 에너지 수송방정식을 계산하는 순서로 진행된다. 계산시간 간격은 수치모형의 안정 조건을 만족하도록 자동으로 조정된다.

### 3. 모형의 보정 및 검증

#### 3.1 모형의 계산격자망 및 입력조건

방류수로 및 방류해역을 포함한 모형의 계산격자망은 가변격자로 구성하였으며, 격자생성은 Solid-Edge 모형(기하학적인 정보를 이용하여 3차원 형태의 범용적인 격자생성 모형)을 이용하였다. 삼천포 방류수로를 포함한 계산격자는 Fig. 5에 제시한 바와 같이 가변격자로 구성하였다. 방류해역을 포함한 계산영역의 지형도는 Fig. 6에 제시하였다. 본 연구에서는 방류해역을 모두 계산영역에 포함하지 않고, 정상각형의 형태로 가정된 부분만 포함하여 모형계산시간을 절감효과 및 모형적용의 효율성을 도모하였다.

모형의 입력조건은 상류단 경계는 방류수로의 측면 유입 지점 및 유입유량으로 각 호기별 냉각수 유입지점에 냉각수 방류량 조건을 부여하였으며, 하류단 경계는 방류해역의 조위조건을 부여하였다. 조위는 설계과정에서는 고극조

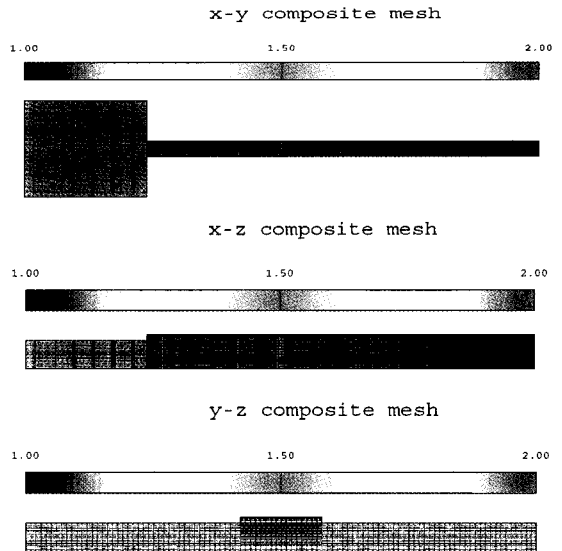


Fig. 5. FLOW-3D computational grid system in the effluent discharge channel (Red = 2 m, Blue = 1 m).

위(MSL 기준, HHWL, +2.219 m) 조건을 사용하였다. 또한, 현 상태에서의 방류수로 Weir 상류부 수위는 모형의 보정 매개변수를 조정하여 관측자료에 가장 근접하는 수위를 예측할 수 있도록 하였으며, 소수력발전소 건설에 의한 수위

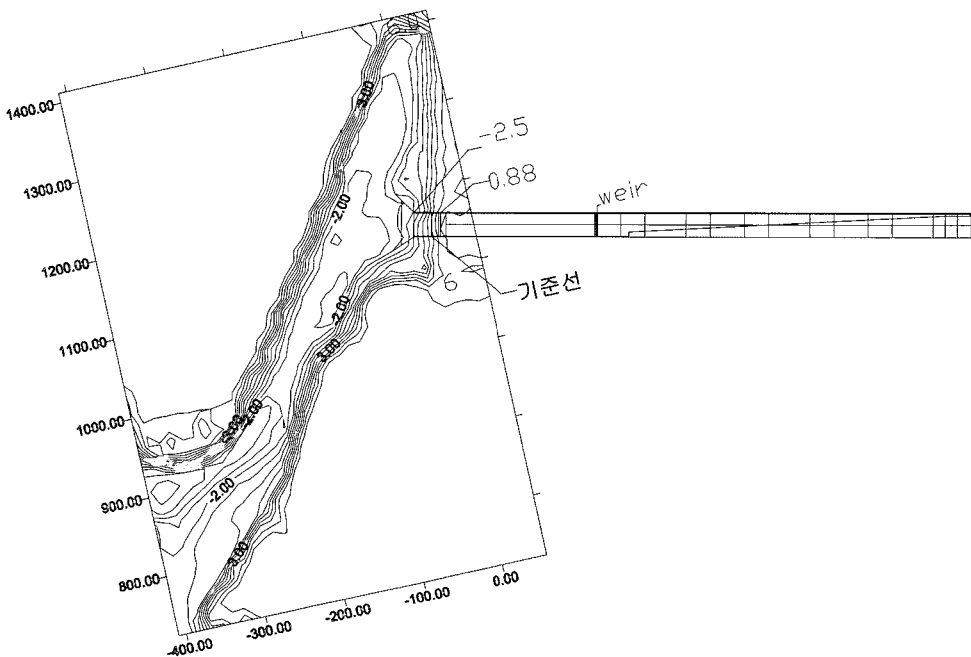


Fig. 6. Geometry of the effluents discharge region in the Samcheonpo TPP.

**Table 1.** Nominal and maximum discharges of the CWP(circulated water pump)

호 기	순환수 방류구수 (펌프수)	제1,2호기 설계시 정격유량 (m <sup>3</sup> /s)	제5,6호기 설계시 정격유량 (m <sup>3</sup> /s)	최대유량 (m <sup>3</sup> /s)
제1,2호기	4(4)	39.03	38.88	46.68
제3,4호기	4(4)	39.03	39.04	44.44
제5,6호기	4(8)	39.03	52.08	65.11
합 계	12(16)	117.09	130.0	156.23
		ALLWL 기준	LLWL 기준	HHWL 기준

상승 영향은 소수력발전소 발전시설 옆에 건설되는 월류 가동보(수문 및 월류용 보)의 높이를 조정하면서 예측·분석하였다. 모형의 상류경계조건에 해당하는 방류량은 Table 1에 제시된 내용을 참고하였으며, 소수력발전소 최적 규모 산정시에는 최대유량 조건을 이용하였다.

주어진 조건하에서 모형을 이용하여 다양한 계산조건하에서 흐름변화를 파악하기 전에 수행하여야 하는 것이 모형의 보정(calibration) 과정이다. 모형의 보정은 방류수로의 수위 및 유속자료를 이용하였으며, 주요 보정매개변수는 방류수로의 흐름이 전형적인 개수로(중력이 Driving force) 흐름이기 때문에 모형에서 마찰항을 표현하는, 마찰항과 관련된 계수로 선정하였다. 전체적인 흐름을 가장 관측자료에 적합하게 조정하는 매개변수를 조정하는 작업은 FLOW3D 모형의 수행시간(running time)이 5~6시간 정도 걸리기 때문에 국지적으로 매개변수를 달리하는 작업은 수행하지 않고, 방류수로를 대표하는 하나의 값으로 결정하였다. 본 연구에서는 방류수로 전체 구간(가변폭 구간 및 고정폭 구간)과 방류해역을 포함하여 3차원 격자모형을 구성하였기 때문에 전체적인 흐름양상을 한번에 볼 수 있는 장점이 있으나, 국지적인 흐름을 상세하게 보기에는 다소 한계가 있다. 왜냐하면, 전체적인 공간규모로 인하여 국지적인 공간규모(격자간격)가 결정되었기 때문에 국지적인 흐름을 상세하게 파악할 수 있는 격자간격(cm 단위의 격자규모; 본 연구의 광역격자는 m 단위)이 되지 못하기 때문이다.

FLOW3D 모형을 댐의 여수로 흐름해석에 이용한 경우에는, 여수로 표면의 마찰에 의한 영향보다는 여수로의 급격한 경사로 인한 폭포형 흐름으로 여수로 경사가 중요한 영향을 차지하나, 본 연구의 경우에는 방류수로의 경사도 중요하지만 가장 중요한 보정 매개변수는 개수로의 마찰계수이다. FLOW3D 모형을 여수로 모형에 적용한 경우와 개수로에 적용한 경우의 보정 매개변수는 당연한 귀결이지만 중요한 차이가 있음을 알 수 있다.

한편, 국지적으로 3차원 흐름양상을 상세하게 파악하기 위해서는 모든 계산영역을 포함하는 격자체계를 이용하는

과정은 비효율적인 작업으로 판단된다. 적절한(합당한) 경계조건을 부여하여 국지적으로 상세격자를 구성하여 모형을 수행하는 것이 효율적인 작업으로 판단된다. 특히, 가변폭 구간의 측면 유입흐름 등은 측면 유입구를 본 연구단계에서 구성한 격자간격으로는 대략적으로만 표현할 수 있기 때문에 정확한 흐름양상 재현이 실질적으로 불가능한 실정이다.

### 3.2 수위 및 유속 검증

모형의 보정은 수위자료를 이용하여 수행하였다. 보정 매개변수는 바다 마찰에 의한 영향을 표현하는 계수를 이용하였으며, 관측결과에 가정 근접하는 결과를 도출하는 매개변수를 선정하여 모형을 구축하였다(Surface Roughness 매개변수=1.2). 수위검증은 중단 수위변화를 이용할 수도 있으나, 본 연구에서는 Weir 직상류부 +1.0 m 지점을 방류수로에 미치는 영향을 파악하는 기준지점으로 결정하여 측정을 수행하였기 때문에, 이 지점의 수위를 기준으로 모형의 보정을 수행하였다. 또한, 주요 지점의 유속은 관측결과와 비교한 결과 큰 오차는 발생하지 않는 것으로 파악되었으며, 소수력 발전소 건설에 의한 연직방향의 유속변화 양상을 주요 지점 및 조건에 따라 정량적으로 파악하는 방법으로 검증을 수행하였다(Fig. 7참조). 전반적으로 합리적인 계산결과가 도출되고 있는 것으로 파악되었다.

## 4. 소수력발전소 규모에 따른 흐름변화 예측

### 4.1 수위변화 예측

FLOW3D 모형을 이용한 소수력발전소 가동보 높이에 따른 방류수로의 수위변화에 대한 전반적인 경향은 Fig. 8에 제시하였으며, 가동보의 높이에 따라 정상상태에 도달한 경우 방류수로를 따라 계산된 자유수면 높이는 Table 2에 정리하여 제시하였다. 표에 제시된 거리는 교각을 기점(0.0)으로 상류방향으로 (+), 하류방향으로 (-)로 표시하였으며, 가동보의 높이 2.4~4.0m까지 단계적으로 변화를 주었으며,

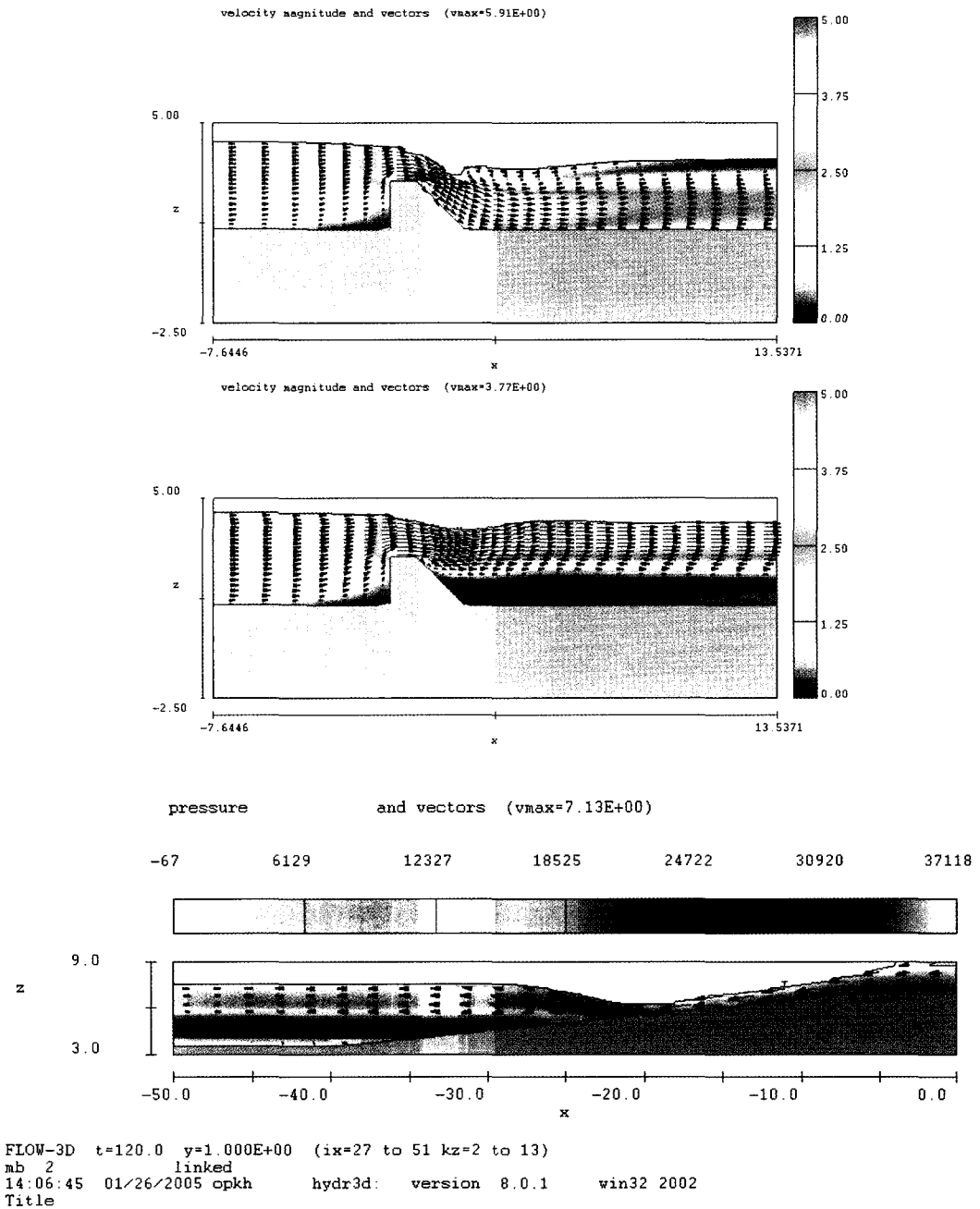


Fig. 7. Computed vertical velocity profiles in the weir and bridge areas.

각각에 대한 방류수로 구간에서의 계산 수위를 보여주고 있다. I 구간에서 가동보 높이 2.8 m까지는 Weir 상류부의 수위의 변화가 거의 없는 것으로 보이며, II 구간은 현 상태보다 Weir 직상류부에서 최대 13.7 cm 정도의 수위 상승이

나타났다. 또한 III 구간에서는 현 상태보다 Weir 직상류부에서 최대 30 cm 정도의 수위 상승이 나타났다. 마지막 IV 구간에서는 구간 I, II 그리고 III 구간보다는 수위차이가 다소 크게 나타남을 알 수 있다.

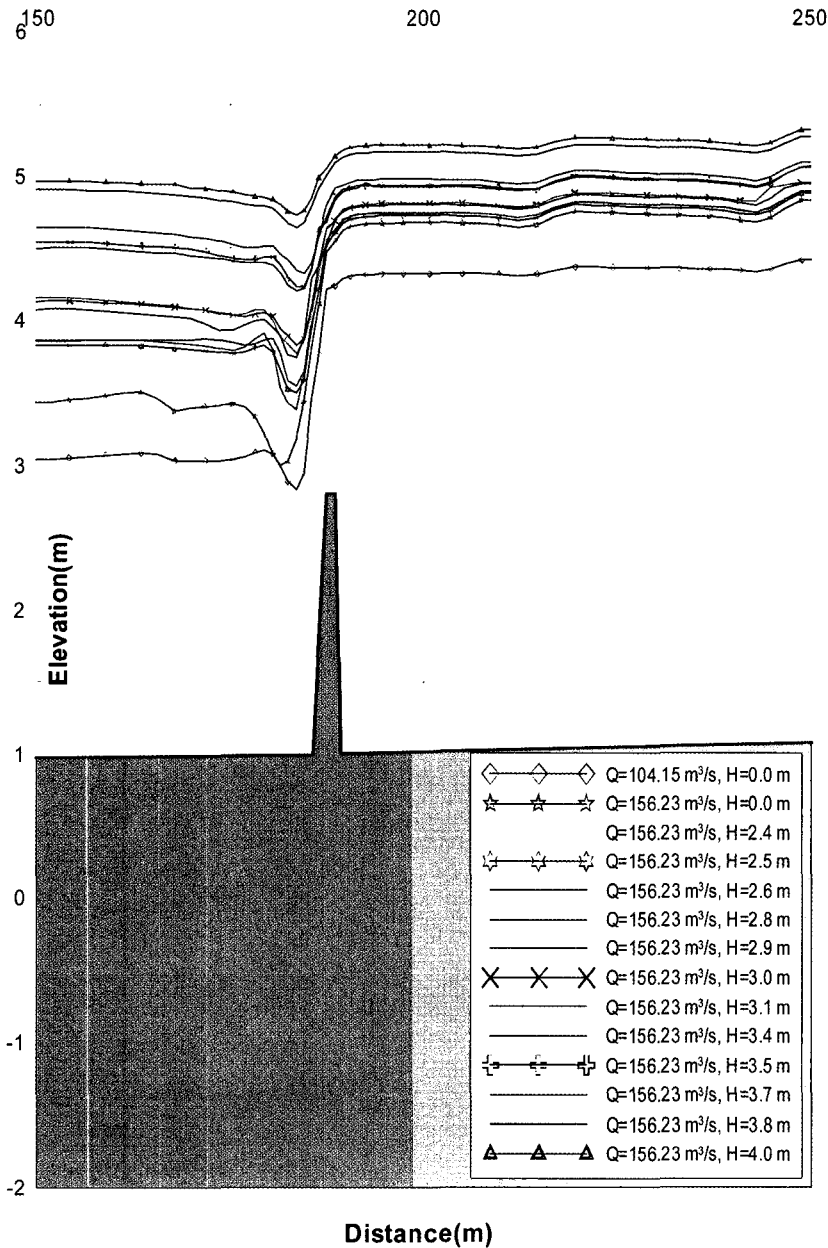


Fig. 8. Predicted water surface elevations in the channel - weir region.

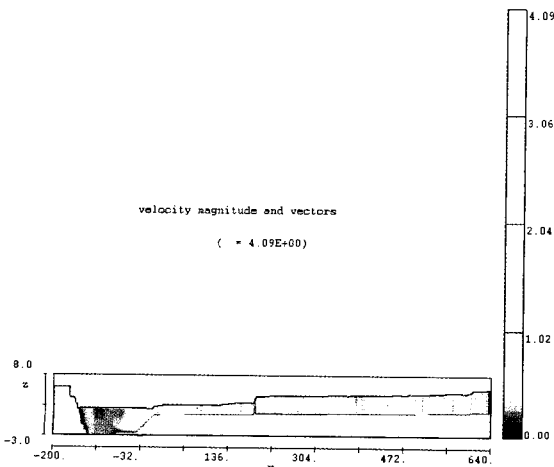
4.2 방류수로의 유속분포 예측

현재 상태, 평상시 유량( $104 \text{ m}^3/\text{s}$ )일 때의 유속분포 및 현재 상태(소수력발전시설 건설 전 단계) 최대유량( $156.23 \text{ m}^3/\text{s}$ )일 때의 유속분포, 그리고 계획안 가동보 높이 +2.8 m, 정지상태 최대유량( $156.23 \text{ m}^3/\text{s}$ )일 때의 x-z 연직방향 유속분포를 제시하였다. 유속분포도에서 유속의 단위는  $\text{m/s}$ 이며, 거리(방류수로 하류 교각 기점=0.0)의 단위는

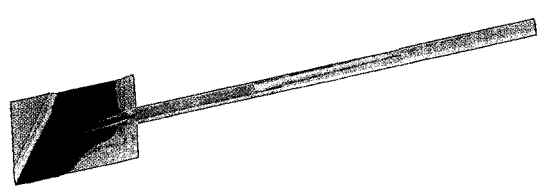
m이다. 유속분포는 3차원으로 계산되었으나, 폭 방향의 변화는 미미하므로 개수로 중앙부(가변폭 구간은 수로의 폭 방향 중간 지점)에서 +13 m( $y=+13$ ; 폭 방향 중앙) 지점의 유속을 도시하였다. 또한 현재 상태 평상시 유량 조건, 최대 유량조건에서 모의된 방류수로 및 방류해역 모두 포함 한 영역의 3차원 흐름양상을 Fig. 9~12에, 소수력발전시설 이 건설된 경우 최대유량조건에서의 3차원 흐름양상을

**Table 2.** Predicted water surface elevation of the effluent discharge channel(m)

유량	정상시 유량조건 (104 m <sup>3</sup> /s)	최대유량 (설계유량, 156.23m <sup>3</sup> /s) 조건												
		I 구간				II 구간				III 구간		IV 구간		
거리(m)	0.0	가동보 높이(소수력발전소 높이, m)												
		0.0	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	3.1	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0
경계														
-149.0	2.14	2.13	2.12	2.11	2.16	2.13	2.24	2.15	2.14	2.34	2.12	2.11	2.19	2.15
-99.0	2.12	2.11	2.08	2.24	1.98	2.07	1.75	2.06	2.11	1.77	2.09	2.05	2.16	1.93
-49.0	2.11	2.10	3.48	3.50	3.53	3.62	3.95	4.00	4.02	4.41	4.45	4.51	4.85	4.92
0.5	2.51	2.87	3.58	3.61	3.66	3.72	4.00	4.02	4.00	4.43	4.47	4.60	4.85	4.93
51.0	2.66	3.05	3.68	3.72	3.74	3.76	4.04	4.10	4.13	4.47	4.52	4.62	4.88	4.96
101.0	2.70	3.09	3.68	3.72	3.74	3.77	4.03	4.09	4.13	4.48	4.51	4.62	4.88	4.96
149.7	3.03	3.42	3.78	3.82	3.85	3.86	4.07	4.12	4.15	4.49	4.54	4.64	4.90	4.96
161.2	3.08	3.49	3.78	3.82	3.86	3.86	4.05	4.11	4.13	4.48	4.52	4.62	4.89	4.95
169.9	3.03	3.39	3.76	3.79	3.86	3.83	4.01	4.08	4.08	4.45	4.49	4.58	4.86	4.92
180.5	3.08	3.07	3.74	3.78	3.87	3.79	3.94	4.02	3.99	4.37	4.43	4.51	4.77	4.83
190.5	4.30	4.65	4.68	4.70	4.71	4.72	4.77	4.78	4.78	4.90	4.91	4.96	5.15	5.19
200.9	4.32	4.67	4.71	4.72	4.74	4.75	4.80	4.81	4.81	4.92	4.93	4.97	5.17	5.21
209.7	4.32	4.65	4.69	4.70	4.72	4.73	4.78	4.79	4.79	4.91	4.92	4.95	5.15	5.19
219.6	4.37	4.75	4.78	4.80	4.81	4.82	4.83	4.88	4.88	4.99	5.00	5.03	5.22	5.26
231.0	4.36	4.73	4.76	4.78	4.79	4.80	4.85	4.86	4.86	4.97	4.97	5.01	5.20	5.25
241.0	4.34	4.69	4.73	4.74	4.75	4.76	4.81	4.82	4.82	4.93	4.94	4.98	5.17	5.21
250.8	4.42	4.83	4.86	4.88	4.89	4.90	4.94	4.95	4.95	5.05	5.06	5.10	5.27	5.32
300.0	4.48	4.93	4.96	4.97	4.98	4.99	5.03	5.03	5.03	5.13	5.13	5.17	5.34	5.38
349.3	4.53	4.98	5.01	5.01	5.03	5.03	5.07	5.08	5.08	5.17	5.18	5.21	5.37	5.41
399.5	4.61	5.12	5.13	5.14	5.15	5.16	5.19	5.20	5.20	5.28	5.29	5.36	5.47	5.50
450.5	4.66	5.19	5.21	5.22	5.23	5.24	5.27	5.27	5.28	5.39	5.39	5.39	5.53	5.56
500.2	4.73	5.31	5.32	5.33	5.34	5.36	5.38	5.39	5.39	5.46	5.47	5.49	5.62	5.66
550.4	4.83	5.49	5.51	5.51	5.52	5.53	5.55	5.56	5.56	5.64	5.65	5.70	5.79	5.81
600.1	5.16	6.02	6.03	6.03	6.04	6.04	6.06	6.07	6.07	6.13	6.13	6.14	6.22	6.23
630.7	5.61	6.61	6.62	6.63	6.63	6.63	6.65	6.65	6.66	6.70	6.70	6.71	6.78	6.79



**Fig. 9.** Velocity profile pattern (Discharge = 104.15 m<sup>3</sup>/s, 단위: m/s).



**Fig. 10.** Three-dimensional flow pattern plot (Q = 104.15 m<sup>3</sup>/s).

Fig. 13~14에 제시하였다. 그림에 제시된 빨간색은 빠른 유속(+4.0 m/s), 파란색은 느린 유속(0.0 m/s, 정지상태), 초록색은 중간유속(+2.0 m/s)을 나타내고 있다.

### 5. 결론 및 제언

소수력발전소 건설에 의한 방류수로의 수위변화를 파악



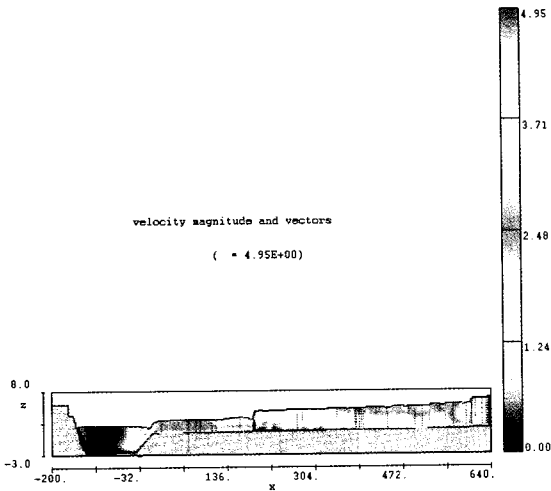


Fig. 11. Velocity profile pattern (Discharge = 156.23 m<sup>3</sup>/s, 단위: m/s).

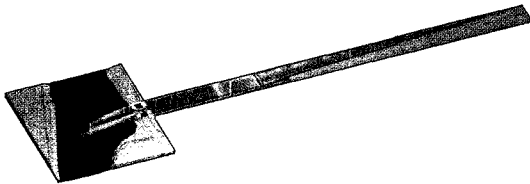


Fig. 12. Three-dimensional flow pattern plot (Q = 156.23 m<sup>3</sup>/s).

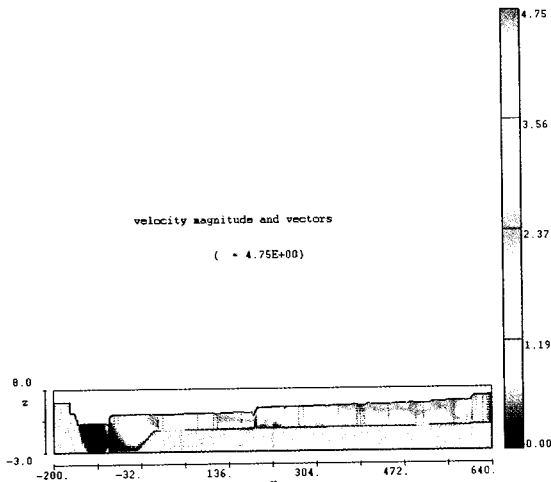


Fig. 13. Velocity profile pattern (Discharge = 156.23 m<sup>3</sup>/s, Weir = +2.8 m, 단위: m/s).

하기 위하여 FLOW3D 모형을 이용하였으며, 모형의 보정 및 검증은 소수력발전소 건설 이전의 관측 자료를 이용하여 수행하였다. 소수력 발전소 건설로 인하여 방류수로는

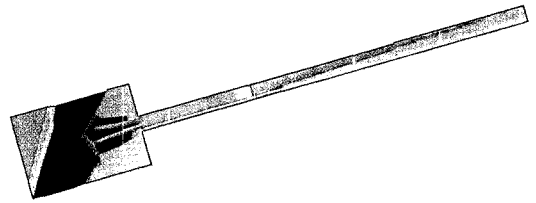


Fig. 14. Three-dimensional flow pattern plot (Q = 156.23 m<sup>3</sup>/s, Weir = +2.8 m).

수위가 상승하며, 수위상승에 의한 영향은 방류수로 Weir 상류지점까지 전파되는 것으로 파악되었다.

한편, FLOW3D 모형을 이용하여 소수력 발전소의 가동보 높이에 따른 방류수로 주요 지점의 수위변화를 검토하여 최적의 소수력 발전소 규모 결정을 위한 자료로 제공하였다. 삼천포 소수력발전소 건설은 상류의 수위증가를 유발하며, 설계유량 156톤/초, 발전소 가동보 높이 +3.8 m 기준에 대한 방류수로 Weir 상류지점의 수위는 4.97 m로 현 상태 4.32 m보다 65 cm 정도 증가하는 것으로 파악되었다. 그러나, 설계 유량은 거의 발생하지 않는 유량이기 때문에 본 모형의 예측성과는 삼천포 화력발전소 소수력발전소가 완공(2006년 11월 23일 준공식)되어 가동되는 상황에서 관측한 자료를 이용하여 검토할 필요가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업(과제명 : 발전소 온배수를 이용한 1,500kW급 수력발전 상용화기술 개발, PN-575-00)의 지원을 받아 추진되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

김남일 (2003). Investigation of Scale Effects of Hydraulic Model for Dam Spillway Using 3-D CFD Model. 박사학위논문, 서울대학교.  
 이길성, 이종현 (2003). CFD 모형을 이용한 여수로 수리모형의 축척효과 조사, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 2700-2703.  
 한국수자원공사, 대우건설 (2004). 화북 다목적댐 건설공사 여수로 수치지석 보고서.  
 한국전력공사, 전력연구원 (2004). 화력발전소의 해수방류수를 이용한 수력발전시스템 타당성 조사 연구(최종보고서), 산업자원부.

한국전력공사 (1994). 삼천포화력 5,6호기 설계기술 용역, 배수구 구조물 기본설계보고서(최종분), 89700-C411-001 (9-287-C3411-001).

한국전력공사 (1996). 삼천포화력 5,6호기 설계기술 용역, 순환수계통 설계서 (최종분), 87900-C466-001 (0-280-C3316-001).

한국남동발전(주) (2005). 삼천포 소수력발전소 기본설계보고서.

---

Received November 1, 2006

Accepted November 30, 2006