

Flow-3D 모형을 이용한 순환수취수펌프장 내 흐름현상 연구

하성원^{1*}, 김태원¹, 최주환², 박영진³
¹(주)지티이, ²(주)대도엔텍, ³서일대학교 토목공학과

Study for Flow Phenomenon in the Circulation Water Pump Chamber using the Flow-3D Model

Sung-Won Ha^{1*}, Tae-Won Kim¹, Joo-Hwan Choi², Young-Jin Park³

¹GTE Co., Ltd.

²Daedo Entec. Co., Ltd.

³Division of Civil Engineering, Seoil University

요약 인도네시아는 전력 공급이 매우 부족한 현실에 처해 있으며, 이에 대한 해결책으로 화력발전소 건설 계획이 증가하고 있다. 화력발전소는 발전에 수반되는 엔진과 장비의 과열을 식히기 위해 냉각수 계통을 필요로 하며, 냉각수 계통 중 순환수 취수펌프장(circulating water pump chamber)은 일반적으로 ANSI (1998) 기준에 따라 설계된다. 본 연구에서는 인도네시아 K-석탄화력발전소의 순환수취수펌프장이 현장 여건상 ANSI (1998)의 확산각 설계기준 20°를 만족시킬 수 없어, 수리적으로 안정된 흐름 및 구조물이 되도록 3차원 수치모형실험을 수행하였다. 수치모형으로 Flow-3D 모형을 이용하였다. Flow-3D 모형의 적용성을 검토하기 위해 Rodi (1997)의 사각형 구조물 주변에 형성되는 흐름 연구 결과와 급회 수치해석 결과를 비교하였다. 수치해석에서 도출된 종방향 유속 분포는 잘 일치함을 보여주고 있다. 순환수취수펌프장 내 설계유속을 만족시키기 위해 유속 저감에 유리한 사각형 형태의 배플을 적용하였다. 순환수취수펌프장으로 유입되는 유속이 1.5 m/s ~ 2.5 m/s로 분포되는 경우, 배플에서 분리흐름의 각도는 약 15° ~ 20°로 발생하였다. 이를 고려하여 분리흐름 각도 이하로 하류에 배플을 배치함으로 Inlet bay 설계유속 0.5 m/s 이하를 만족시켰다.

Abstract Indonesia has a very short supply of electricity. As a solution to this problem, plans for construction of thermal power plants are increasing. Thermal power plant require the cooling water system to cool the overheated engine and equipment that accompany power generation, and the circulation water pump chamber among the cooling water system are generally designed according to the ANSI (1998) standard. In this study, the design criterion 20° for the spreading angle of the ANSI (1998) of the layout of the circulating water pump chamber can not be satisfied on the K-coal thermal power plant site condition in Indonesia. Therefore, 3-D numerical model experiment was carried out to obtain a hydraulically stable flow and stable structure. The Flow-3D model was used as numerical model. In order to examine the applicability of the Flow-3D model, the flow study results around the rectangular structure of Rodi (1997) and the numerical analysis results were compared around the rectangular structures. The longitudinal velocity distribution derived from numerical analysis show good agreement. In order to satisfy the design velocity in the circulating water pump chamber, a rectangular baffle favoring velocity reduction was applied. When the approach velocity into the circulating water pump chamber was occurred 1.5 m/s ~ 2.5 m/s, the angle of the separation flow on the baffle was occurred about 15° ~ 20°. By placing the baffle below the separation flow angle downstream, the design velocity of less than 0.5 m/s was satisfied at inlet bay.

Keywords : Thermal Power Plant, CWP Chamber, Design Velocity, Separation Flow Angle, ANSI, Flow-3D

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원사업의 연구비지원(18TBIP-C125155-02)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Sung-Won Ha(GTE Co., Ltd.)

Tel: +82-2-6969-7616 email: nfrance@naver.com

Received January 11, 2019

Revised January 29, 2019

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

1. 서론

인도네시아의 경우 국가 전력망 확대를 위해 최근 화력발전소 건설 계획이 증가하고 있으며, 이에 국내 업체들의 인도네시아 화력발전소 사업 참여가 활발히 진행되고 있다. 화력발전소의 냉각수 계통은 외해의 해수나 하천의 담수를 취수하여 발전소 내 복수기(condenser)까지 유입시켜 증기와 열 교환을 한 후 다시 외해나 하천으로 배출시키며, 취수 계통, 복수기 및 배수 계통 등으로 구성되어 있다. 발전시스템이 전력을 안정적으로 생성하기 위해서는 순환수취수펌프장으로 안정적임 취수유량이 공급되어야 한다. 만약 안정적임 취수유량이 공급되지 않을 경우 발전효율이 저하되어 전력 공급에 차질이 발생하게 된다. 이때 순환수취수펌프에 악영향을 미칠 수 있는 주요인으로서 와류(vorticity) 현상이 있다[1-3]. 일반적으로 와류현상은 취수관의 충분하지 못한 잠김깊이, 접근유속 초과 등에 의해 발생한다. 따라서 순환수취수펌프장의 경우 안정적인 수위 유지 및 균등한 유속 분포는 매우 중요하다.

순환수취수펌프장에 안정적임 흐름을 형성시키기 위한 구조적, 수리적 설계기준들을 국내외의 다양한 기관에서 제시하고 있다. 그 중 Fig. 1은 ANSI [4]에서 제공하는 순환수취수펌프장의 구조적 설계기준으로, 측벽각도를 최대 20°로 제한하고 있다. 측벽각도가 20°보다 커지면, 취수로에서 취수관까지 거리가 단축되어 취수관으로 유입되는 흐름이 불안정해지기 때문에 최대 20°로 제한하고 있다.

Fig. 1과 같이 순환수취수펌프장의 구조적 설계기준과 더불어 순환수취수펌프장 내 수리적(수심 및 유속) 설계기준은 다음과 같다.

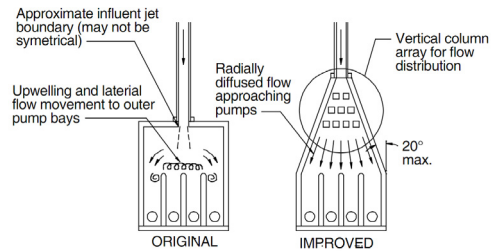


Fig. 1. Diffusion angle of CWP chamber boundary [4]

(1) Intake pump 취수관 벨마우스(bell mouth) 잠김 깊이

① $S = D(1.0 + 2.3F_D)$ [4] [S 는 잠김깊이(m), D 는 벨마우스 직경, F_D 는 Froude number]

② 펌프실 형상에 따른 기준[5]

- 직선형의 펌프실(상류수로가 곧으며 저면이 평탄한 것) : 벨마우스 직경의 1.5배 이상
- 마운드형의 펌프실(상류수로가 곧으며 저면이 솟아오른 것) : 벨마우스 직경의 1.7배 이상

(2) Inlet bay 접근유속

- ① 0.5 m/s 이하[4]
- ② 0.3 m/s 이하, 벨마우스 직경의 8배 위치에서 0.5 m/s 이하[5]
- ③ 벨마우스 직경의 5배 위치에서 0.3 m/s 이하[6]

(3) 스크린(screen) 접근유속

- ① 스크린 제작자가 제공한 한계치 적용(스크린의 제진능력을 고려해서 결정)
- ② 0.2 m/s ~ 0.5 m/s 적용[5]

Table 1. Status of diffusion angle of CWP chamber

Division	Diffusion angle(°)	Remark
Libya Benghazi CCPP	35.6	Daewoo E&C [7]
Libya Tripoli West SPP	90	Hyundai E&C [8]
Indonesia Kalselteng 2 CFSPP	90	Hyundai Eng. [9]
Philippines Pagbilao CFPP	19	Daelim [10]
Uzbekistan Talimarjan TPP	20	Hyundai E&C [11]
UAE Hassyan 1 CCP	32	Posco E&C [12]
UAE Mirfa IWPP	51	Hyundai E&C [13]
Korea Gangneung Anin TPP	30	Kepeco E&C [14]
Korea Onsan Enerbix Power Station	15	Samsung C&T [15]
Korea Pyeongtaek TPP	34	Korea Western Power [16]

최근 10년 내에 건설되었거나, 건설 중인 순환수취수 펌프장에 대한 현황을 검토한 결과, 취수관 잠김깊이 그리고 Inlet bay 및 스크린 접근유속 등은 취수관으로 안정적인 유량을 공급하기 위해 준수하고 있지만, 취수펌프장 규모를 산정함에 있어서 확산각도는 잘 준수하지 않는 실정이다(Table 1 참조). 이와 같은 이유는 순환수 취수펌프장이 설치될 현장 부지 여건과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 파악되었다. 순환수취수펌프장에 대한 확산각도 기준을 만족시킬 수 없는 경우, 다양한 안들에 대한 수치모형 또는 수리모형실험을 통해 잠김깊이와 접근유속을 만족시키고 있다. 최근 컴퓨터 하드웨어 및 유동해석 프로그램의 성능이 향상되어, 수치해석을 이용한 취수펌프장의 수리학적 기능성 및 안정성을 검토하는 사례가 증가하고 있는 추세이다.

Fig. 2는 일반적인 규모의 순환수취수펌프장을 나타낸 것이며, 구조적 설계기준을 만족시킬 수 없어 취수관로와 스크린 사이에 사각형 기둥(column)을 배치하여 수리적 설계기준을 만족시킨 사례이다. 즉 기둥의 규모, 형태, 배치에 따라서 접근유속의 만족여부가 결정되는 것을 의미한다.

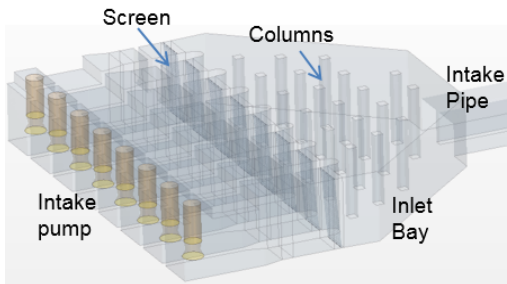


Fig. 2. CWP chamber

이용곤 등[6]은 기존 화력발전소 취수로에 신설화력발전소 취수펌프장 증설시 기존 취수펌프장으로의 유량 공급이 불안정하게 될 수 있기 때문에 수리모형실험 및 2차원 RMA2 모형을 이용하여 취수로 및 취수펌프장 내 흐름을 검토하였으며, 설계기준을 만족시키기 위해 격벽의 위치 변화 및 도류벽 설치를 제안하였다. 이용곤 등[17]은 보령화력발전소 취수로의 유량 증가가 취수펌프장 흐름에 미치는 영향을 검토하기 위해서 수치모형 및 수리모형실험을 수행하였다. 취수로 유량이 증가하는 경우 와류현상이 발생할 가능성이 증가하고, 바닥부근에서 흐름의 유량 배분이 균등하게 이루어지지 못할 경우 역

류현상이 발생되므로, 이를 방지할 수 있도록 도류벽 설치를 통해 안정된 유속분포가 형성될 수 있다는 것을 발견하였다. 박병준 등[18]은 군산복합화력발전소 냉각수 취수부가 부지 여건상 설계기준을 만족시킬 수 없어 수리모형실험과 Flow-3D 모형을 이용하여 다양한 안들에 대한 검토를 통해 취수펌프장 진입부에서 0.3 m/s 이하의 유속 분포 및 균등취수에 문제가 없도록 검토하였다.

국내 업체들이 국내외 발전소 사업에 참여하여 건설함에 있어서 대부분 순환수취수펌프장 측벽의 확산각도를 만족시키지 못하는 것으로 조사되었으며(Table 1 참조), 이와 같은 경우 대부분 수치모형 또는 수리모형실험을 이용하여 순환수취수펌프장 내부 설계기준을 만족시킨 것으로 파악되었다. 이에 본 연구에서는 인도네시아 K-석탄화력발전소 순환수취수펌프장 구조물이 현장 여건상 ANSI [4] 설계기준을 준수할 수 없어 수치해석 방법을 통해 안정적인 흐름조건을 만족시킬 수 있는 다양한 안들에 대하여 검토하였으며, 설계기준을 만족시킬 수 있는 취수펌프장 내부 구조를 계획하여 설계 자료로 활용하였다.

2. 수치해석 방법

2.1 Flow-3D 모형

Flow-3D는 미국 Flow Science, Inc.에서 개발한 3차원 범용 전산유체역학 프로그램이다. 이 모형에서 사용하는 지배방정식은 Eq. (1) 및 Eq. (2)와 같이 질량의 sink/source가 없는 비압축성 유체의 흐름을 해석하기 위한 직교좌표계(x, y, z)에서의 RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식이다[19].

$$\frac{\partial(AU_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} AU_i \frac{\partial U_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + F_i \tag{2}$$

Where, A fractional area open to flow in the subscript directions, U_i velocities in the x_i directions, V_f volume fraction of fluid in each cell, t time, ρ fluid density, P hydrostatic pressure, F_i gravitational acceleration

수치기법은 유한차분법(Finite Difference Method)에

FAVOR 기법을 도입한 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하고 있다. 자유표면 해석을 위해 VOF (Volume of Fluid) 방법을 사용하고 있으며, 계산영역 내 복잡한 경계를 잘 표현하기 위하여 FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서 난류모형은 RNG (ReNormalized Group) k-ε 모형을 사용하였다.

2.2 모형의 구성 및 입력조건

본 연구의 대상은 인도네시아 Kalimantan 섬에 설치될 K-석탄화력발전소이며, 200 MW 전력 생산을 위해 2020년 완공을 목표로 하고 있다. Fig. 3은 Cooling tower basin과 CWP chamber에 대한 종·평면도이며, Fig. 4는 3차원 Solid 구성도이다. 이때 Fig. 4에 Cooling tower basin에서 CWP chamber로 향하는 흐름 방향을 표시하였다. 본 연구 대상의 CWP chamber의 형상은 ANSI [4]의 구조적 설계기준을 준수하지 않았다. 이와 같은 경우 4개의 취수관으로 유입되는 흐름에 많은 와류 현상이 발생될 것이며, 접근유속을 초과하여 수리적 설계 기준을 만족시키지 못할 것이다. 수계산(hand calculation)

의 경우 순환수취수펌프장 내 안정적인 흐름조건을 만족시킬 수 있는 설계안 도출이 불가능하기 때문에 Table 2와 같이 다양한 설계안들에 대한 3차원 수치해석 방법을 통해 안정적인 흐름조건을 만족할 수 있는 설계안을 도출하였다. Flow-3D 모형에서 중요한 매개변수 중 하나는 조고(roughness height)이다. CWP chamber가 콘크리트로 시공되기 때문에 콘크리트 조도계수(roughness coefficient) 0.013에 해당하는 조고 0.0014 m를 적용하였다. 안정적인 흐름조건에 대한 기준은 ANSI [4] 기준을 적용하였다.

3. 수치해석 결과 및 분석

3.1 모형의 검증

취수펌프장에 대한 확산각도를 만족시키지 못할 경우, 취수펌프장으로 유입되는 유속의 불균등은 안정적인 발전효율을 기대할 수 없다. 이에 설계기준을 만족시키기 위해 기둥을 설치함에 있어 기둥의 형태는 유속 저감 측면에서 원형 기둥보다는 사각 기둥 형태가 흐름을 분

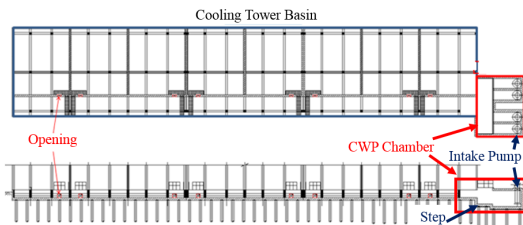


Fig. 3. The geometry of Cooling tower basin and CWP chamber

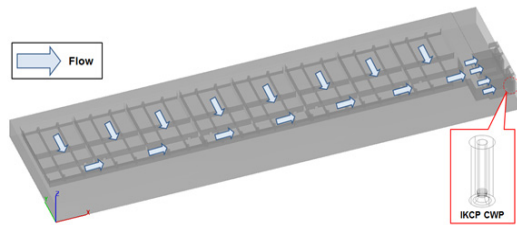


Fig. 4. 3D model construction

Table 2. Numerical analysis cases and input data

Case	Upstream B.C. (Discharge, m ³ /s)	Downstream B.C. (Water level, EL. m)	Remark
1-1	7.81	L.W.L (-)0.5	• Front of CWP chamber : Step
1-2		H.W.L (+)0.3	
2-1		L.W.L (-)0.5	• Front of CWP chamber : Step → Slope 0.2814
2-2		H.W.L (+)0.3	
3-1		L.W.L (-)0.5	• Expand width of Common channel : 5.05 m → 5.50 m • Expand width of CWP chamber : 14.6 m → 16.0 m • Front of CWP chamber : Step → Slope 0.2972
4-1		L.W.L (-)0.5	• Case 3 + Baffle installation 2 EA
5-1		L.W.L (-)0.5	• Case 4 + Expand width of Baffle (0.55 m → 1.65 m)
6-1		L.W.L (-)0.5	• Expand width of Common channel : 5.05 m → 5.50 m • Expand width of CWP chamber : 14.6 m → 16.0 m • Front of CWP chamber : Step → Slope 0.3378
6-2		H.W.L (+)0.3	• Baffle installation 2 EA • Expand width of Baffle (0.55 m → 1.65 m)

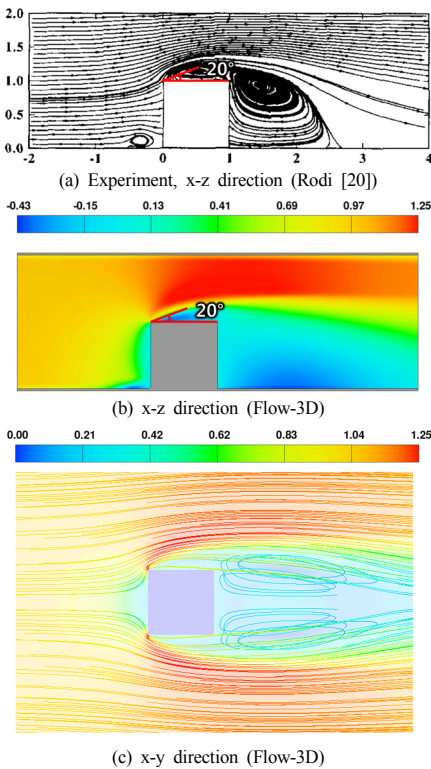


Fig. 5. Examine section for the design velocity (unit : m/s)

리시켜 유리한 면이 있다. 사각 기둥 설치시 Flow-3D 모형의 적용성 및 검토를 위해 취수펌프장 내의 유속과 유사하고 수리실험 결과와 다양한 난류모형에 대하여 비교 분석한 논문인 Rodi [20] 자료를 이용하였다. Fig. 5는

Rodi [20]가 수행한 수치해석 및 수리실험과 동일한 경계범위 및 사각구조물에 대하여 Flow-3D 모형으로 검토한 유속분포도이다. Fig. 6은 수심별 흐름방향 유속에 대하여 다양한 난류모형을 적용한 수치해석 결과와 수리실험 결과를 비교한 것이며, 본 Flow-3D 모형에 의한 결과는 적색으로 표시하였다. Fig. 6(a) $x=0.5$ m에서 수리실험 및 기존 수치해석 결과들과 매우 잘 일치하는 반면에 Fig. 6(c) $x=4.0$ m에서는 기존 수치해석 결과들과는 잘 일치하지만, 수리실험 자료와는 최대 0.5 m/s의 유속 차이를 보여주고 있다. 이와 같은 이유는 사각 기둥에서 분리흐름(separation flow)에 의한 와류현상 발생과 관련이 있으며, 수치해석 결과들의 재부착점(reattachment point)이 수리실험 결과와 비교하여 길다는 증거이다. Rodi [20]와 Fig. 5에서 사각 기둥으로 인해 분리흐름이 발생된 후 유선이 평행하게 될 때까지의 각도를 분석한 결과 약 20° 정도로 검토되었다(Fig. 5 참조). 전반적으로 급회 수치해석 결과가 기존 수치해석 및 수리모형실험 결과와 유사한 결과를 보여주고 있어, 본 연구에 Flow-3D 모형을 적용하는 것은 적절한 것으로 판단한다.

3.2 순환수취수펌프장 내 흐름현상

순환수취수펌프장 내 설계기준인 접근유속을 만족시키기 위해 검토한 단면은 Fig. 7과 같으며, Inlet bay의 시점을 나타낸다. 취수펌프의 동일한 취수량 조건에서 조위가 낮은 경우 수심이 얕아져 유속이 증가하기 때문에 반드시 낮은 조위 조건에서 접근유속을 검토해야 한

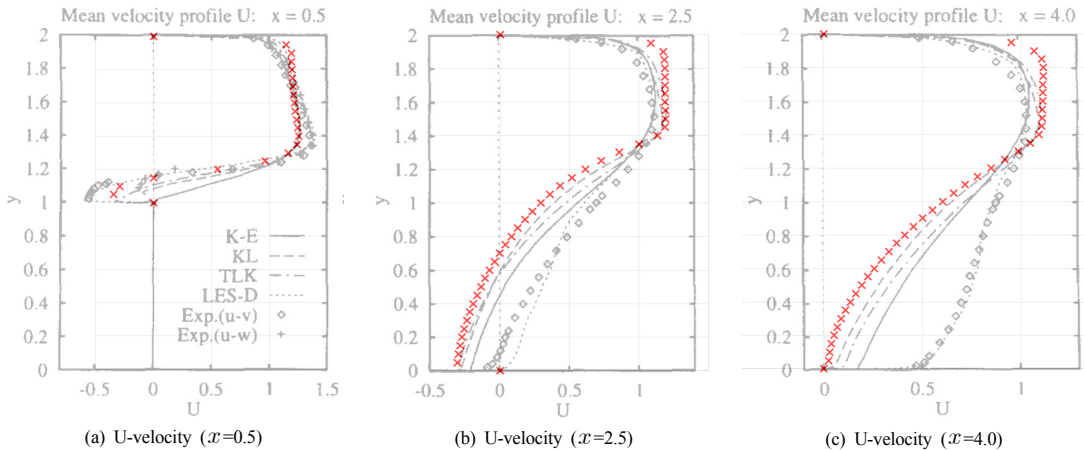


Fig. 6. Examine section for the design velocity (unit : m/s)

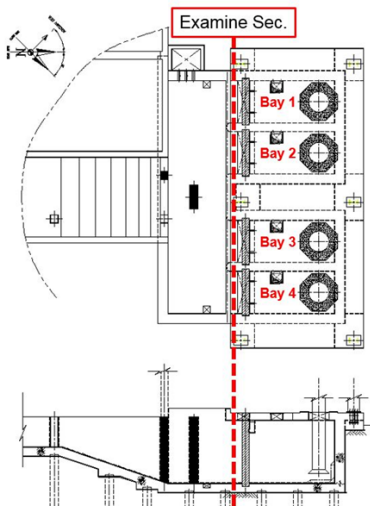


Fig. 7. Examine section for the design velocity (Case 6)

다. 저조위(low water level) 조건에서 유속 분포를 검토한 결과는 Fig. 8과 같다. 이때 종단면도는 Bay 2 (Fig. 7 참조)의 중앙 단면에 대한 유속분포도를 나타낸다. 그리고 접근유속 0.5 m/s 이하 ANSI [4] 설계기준 만족 여부를 검토하기 위해서 순환수취수펌프장 Bay에서 단면 평균유속 및 취수관 잠김깊이를 분석한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 Case 1-2, 2-2 및 6-2는 고조위(high water level)에 대한 검토 결과를 나타내며, 동일한 구조적 형태인 Case 1-1, 2-1 및 6-1의 저조위에 대한 검토 결과와 비교하여 낮은 유속, 충분한 잠김깊이를 확보하고 있다. 이때 고조위 조건이 저조위보다 0.8 m 깊은 수심을 확보하였음에도 불구하고, 일부 Bay에서 빠른 접근

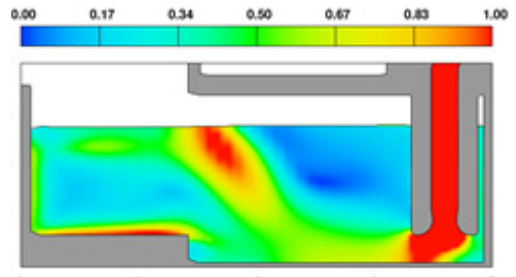
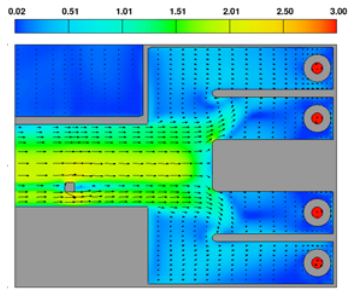
근유속이 분포하는 이유는 와류 영역이 넓게 분포하여 절대값으로 처리된 음의 유속이 발생하는 면적이 증가하였기 때문이다.

Fig. 8(a)는 CWP chamber 전면부가 계단(step)으로 구성된 검토안인 Case 1에 대한 유속분포도를 나타내며, 약 1.5 m/s의 고유속이 Bay 2, 3으로 편중되고, 설계기준 0.5 m/s를 초과하였다. Case 2는 CWP chamber 전면부 계단 부분을 0.2814 경사를 변경한 후 유동현상을 분석한 것이며, 설계기준 유속을 만족시키기 못하였다. Case 3은 CWP chamber와 Common channel의 폭을 확장하고 경사를 변경한 후 유동현상을 분석한 것이며, 여전히 설계기준 유속을 만족하지 못하였다. Fig. 1과 같이 측벽각도 20°를 적용할 수 없는 현장 여건상 CWP chamber 내 종방향 길이가 짧아서 접근유속을 만족시킬 수 없기 때문에 Case 4의 경우 Case 3 조건에서 배플(baffle)을 설치하였으며, CWP chamber 유입부에 2 EA, 직하류에 1 EA를 배치하였다. 이때 설치된 거리에 대한 각도는 32°이다. Case 3과 비교하여 유속은 저감되었지만, Bay 2에서 0.56 m/s의 접근유속이 발생하여 설계기준을 만족하지 못하였다. 이와 같은 이유는 첫 번째 배플에서 분리된 흐름의 각도를 검토한 결과 약 15° ~ 20°로 두 번째 배플이 32°의 각도로 설치되어 있어 유속 저감 효과가 미미한 것으로 판단한다. 이에 Case 5의 경우 Case 4 조건에서 배플의 폭을 0.55 m에서 1.65 m로 확대하여 첫 번째 배플과 두 번째 배플 사이의 각도를 15°로 축소시킴으로써 첫 번째 배플에서 유속 저감 및 분리된 흐름이 두 번째 배플에 부딪히게 하여 추가적으로 유속을 저감시키는 효과를 유도할 수 있다. 유속 분포를 검

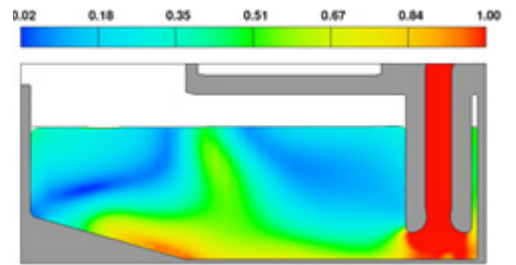
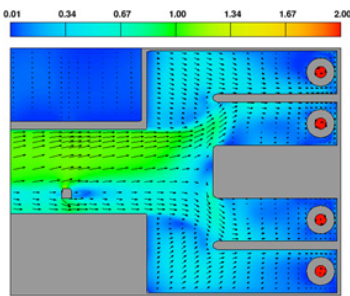
Table 3. Approach velocity for each bay (unit : m/s)

Case	Approach velocity for each Bay (Unit : m/s)					Min. water level around CWP ¹⁾ (Unit : EL. m)			
	Bay 1 (left)	Bay 2	Bay 3	Bay 4 (right)	Remark	Bay 1 (left)	Bay 2	Bay 3	Bay 4 (right)
1-1	0.25	0.68	0.66	0.28	N.G	(-)0.47	(-)0.42	(-)0.41	(-)0.47
1-2	0.24	0.45	0.37	0.25	O.K	(+)0.29	(+)0.33	(+)0.32	(+)0.29
2-1	0.28	0.58	0.57	0.29	N.G	(-)0.50	(-)0.48	(-)0.45	(-)0.49
2-2	0.29	0.34	0.29	0.23	O.K	(+)0.30	(+)0.34	(+)0.32	(+)0.31
3-1	0.30	0.67	0.47	0.28	N.G	(-)0.56	(-)0.54	(-)0.52	(-)0.55
4-1	0.28	0.56	0.46	0.29	N.G	(-)0.55	(-)0.54	(-)0.52	(-)0.55
5-1	0.25	0.33	0.42	0.29	O.K	(-)0.55	(-)0.55	(-)0.52	(-)0.56
6-1	0.25	0.48	0.28	0.26	O.K	(-)0.56	(-)0.52	(-)0.54	(-)0.55
6-2	0.23	0.24	0.34	0.23	O.K	(+)0.33	(+)0.34	(+)0.35	(+)0.33

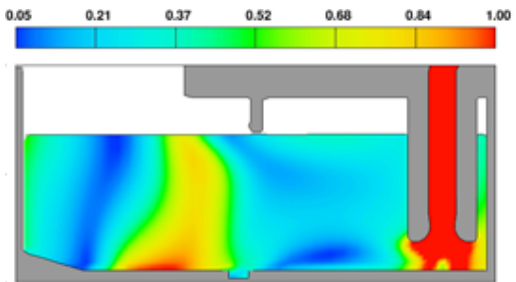
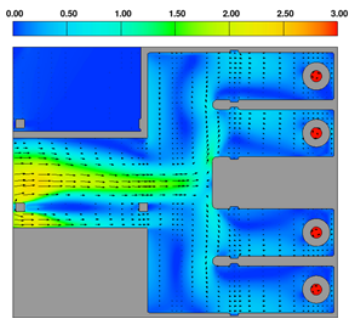
1) 취수관 잠김깊이는 취수펌프 제작사에서 제공하는 설계기준을 따랐으며, 수위 EL.(-)0.871 m 이상을 확보해야 한다.



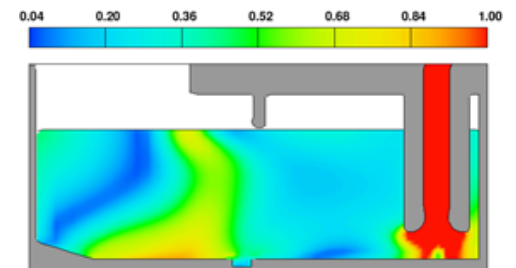
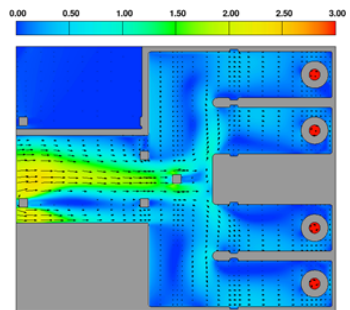
(a) Case 1-1



(b) Case 2-1



(c) Case 3-1



(d) Case 4-1

Fig. 8. Velocity development around column (unit : m/s)

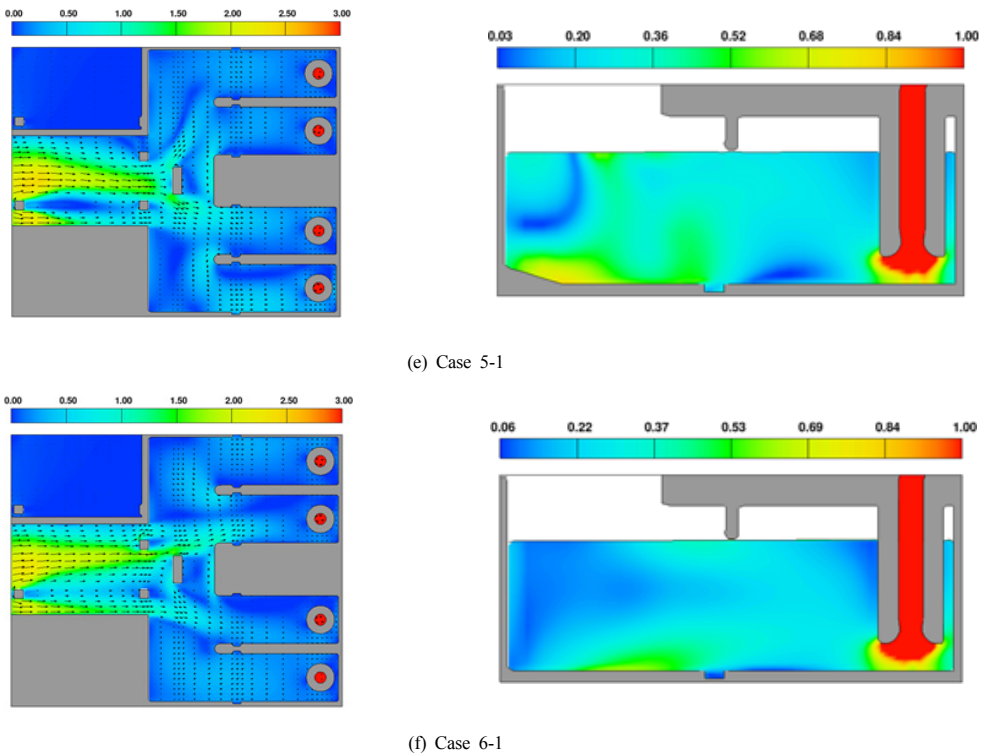


Fig. 8. Velocity development around column (unit : m/s) (Continued)

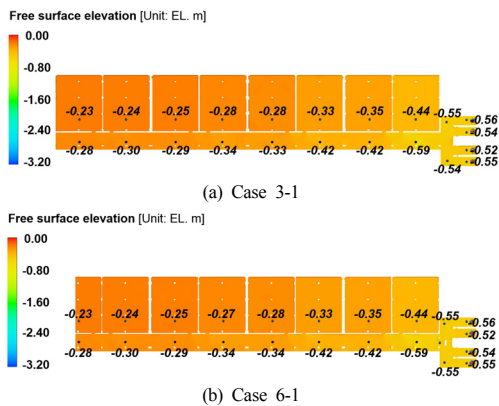


Fig. 9. Water level in Cooling tower basin and CWP chamber

또한 결과, 접근유속이 모두 0.5 m/s 이하로 설계기준을 만족하였다. 설계유속을 만족시킨 Case 5의 조건에서 순환수취수펌프장 유입부 경사를 조정하여 유수단면적을 확장하였을 경우에 대하여 흐름검토를 수행한 Case 6의 유속은 Case 5와 비교하여 유사한 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 유속을 저감시킴에 있어 주요한 설계 인자가 배플의 규모 및 배치에 있기 때문인 것으로 판단한다. 따라서 CWP chamber에서 설계유속을 만족시키기 위해 배플을 설치하는 경우, 배플에서 발생하는 흐름 분리 각도를 고려해야 유속 저감 측면에서 효과적일 것이다.

다만 배플 설치 간격이 너무 조밀한 경우, 단면 축소가 심해지면서 상류측으로 배수(backwater) 영향을 주기 시작하는 흐름 질식(choke)을 유발하기 때문에 주의를 요한다. 본 연구에서는 Fig. 9와 같이 배플을 적정 간격으로 배치하여 배수 영향이 최소화되도록 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 Kalimantan 섬에 설치될 K-석탄화력 발전소 내 순환수취수펌프장에 대하여 안정적인 취수량 공급여부를 평가하기 위해서 3차원 수치모형인 Flow-3D를 이용하였다.

CWP chamber 규모가 현장 여건상 ANSI 기준에 부합하지 않는 직사각형 형태를 가지고 있어, CWP chamber 내 3차원 유동현상 분석을 통해 접근유속 및 수위 검토를 수행하였다. ANSI 규격을 준수하지 않을 경우 CWP chamber 종방향 길이가 단축되어 취수펌프로 유입되는 흐름의 접근유속을 만족시킬 수 없는 현상이 발생하였다. 접근유속을 만족시키기 위해 CWP chamber 상류 Common channel의 폭 확대, 바닥 및 경사를 조정하는 설계안에 대하여 검토하였으나, CWP chamber 내에서 흐름이 충분히 확대될 수 있는 접근수로의 길이가 너무 짧아 한계가 있는 것으로 나타났다. 이에 대한 대안으로 Common channel에서 유출되는 흐름의 유속을 저감시키기 위해 배플과 같은 감세 시설을 설치하였으며, 감세 시설이 유속 저감에 효과적인 것으로 나타났다. 이때 CWP chamber와 연결된 상류 Common channel 접근부에서 1.5 m/s ~ 2.5 m/s의 유속이 발생할 경우 배플에서 분리되는 흐름의 각도는 약 15° ~ 20°이며, 이를 고려하여 분리흐름 각도 이하로 하류에 배플을 배치할 경우 유속 저감에 효과가 있을 것으로 예상된다.

향후 순환수취수펌프장 규모에 대한 다양한 유량조건에 따른 배플 크기와 배치 간격에 대한 수리모형 및 수치해석을 통해 설계유속을 만족시킬 수 있는 가이드라인이 필요할 것으로 판단한다.

References

- [1] J. P. Tullis, "Modeling in Design of Pumping Pits", *Journal of the Hydraulic Division*, Vol. 105 (HY9), pp. 1053-1063, 1979.
- [2] C. E. Sweeney, R. A. Elder, D. Hay, "Pump Sump Design Experience: Summary", *Journal of the Hydraulic Division*, Vol. 108 (HY3), pp. 361-377, 1982.
- [3] G. E. Hecker, "Scale Effects in Modeling Vortices", *Symposium on Scale Effects in Modeling Hydraulic Structures*, International Association for Hydraulic Research, 1984.
- [4] ANSI, Pump Intake Design, New Jersey, USA, 1998. Available From: <https://webstore.ansi.org/standards/hi/ansih1998>
- [5] KEPRI, Design of Structure of the Thermal and Nuclear Power Plant, 1997.
- [6] Y. K. Yi, S. h. Cheong, C. W. Kim, "Hydraulic and Numerical Model Experiments of Flows in Circulation Water Pump Chambers", *Journal of KWRA*, Vol. 38, No. 8, pp. 631-643, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2005.38.8.631>
- [7] Daewoo E&C, Benghazi North Combined Cycle Power Plant, Libya - Hydraulic Calculation for C.W System, 2004.
- [8] Hyundai E&C, Tripoli West 4×350 MW Power Plant Project - Calculation for Circ. Water Intake Structure, 2014.
- [9] Hyundai E&C, Kalselteng 2 CFSP (2×100 MW), 2018.
- [10] Daelim, Pagbilao 420 MW Unit 3 Coal-Fired Power Project - Hydraulic Analysis for Intake and Discharge System, 2015.
- [11] Hyundai E&C, Talimarjan Thermal Power Plant Expansion Project, 2014.
- [12] Posco E&C, Hassyan 1 Clean Coal Project, 2015.
- [13] Hyundai E&C, Mirfa Independent Water and Power Project - Hydraulic Calculation for Cooling Water System, 2015.
- [14] Kepco E&C Gangneung Anin Thermal Power Plant Units 1 & 2 (1,040 MW×2), 2016.
- [15] Samsung C&T, S-Oil Distillation Recovered Heat Generation Project, 2015.
- [16] Korea Western Power, The 2nd PyeongTaek Combined Cycle Power Plant 950 MW×1, 2013.
- [17] Y. K. Yi, S. h. Cheong, C. W. Kim, J. G. Kim. "Hydraulic and Numerical Model Experiments of Circulation Water Intake for Boryeong Thermal Power Plant No. 7 and No. 8", *Journal of KSCE*, Vol. 26, No. 5B, pp. 459-467, 2006.
- [18] B. J. Park, H. K. Song, Y. H. Hur, S. W. Kang, Y. G. Park, "Estimation of Hydraulic Status on Intake Structure at Gunsan Combined Cycle Power Plant by Numerical and Physical Model Test", *Proceedings of KWRA*, pp. 1884-1888, 2009.
- [19] Flow Science. Flow-3D User's Manual. Los Alamos, NM, USA, 2016.
- [20] W. Rodi, "Comparison of LES and RANS calculations of the flow around bluff bodies", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 69, No. 71, pp. 55-75, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(97\)00147-5](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(97)00147-5)

하 성 원(Sung-Won Ha)

[정회원]



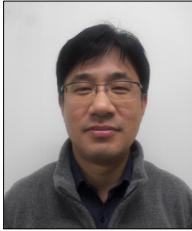
- 2012년 2월 : 동의대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 2013년 5월 : 웹솔루스 수자원부
- 2013년 6월 ~ 현재 : (주)지티이 수자원부 차장

<관심분야>

수치해석, 수자원시스템

김 태 원(Tae-Won Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학박사)
- 2005년 1월 ~ 2013년 2월 : 웹솔루스 수자원부
- 2013년 3월 ~ 현재 : (주)지티이 대표이사

<관심분야>

수치해석, 수자원시스템

최 주 환(Joo-Hwan Choi)

[정회원]



- 2006년 2월 : 건국대학교 토목공학과 (공학사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : (주)대도엔텍 부장

<관심분야>

수치해석, 수자원시스템

박 영 진(Young-Jin Park)

[정회원]



- 1991년 2월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

수치해석, 수자원시스템