

유량증가에 따른 T형 취수펌프장내의 흐름변화

Variation of Flow conditions in T-type Cooling-Water-Pump Chambers with Increasing Inflows in Intake Canal

이용곤*, 정상화**, 윤병모***, 김창완****

Yong-Kon Yi, Sang Hwa Cheong, Byeong Mo Yoon, Chang Wan Kim

요지

본 연구는 유량증가에 따른 T형 취수펌프장내의 흐름상황변화를 수리 및 수치모형실험을 통하여 규명하였다. 수리모형은 1:20의 축척으로 제작되었고 수치모형은 RMA-2를 사용하였다. 수리모형실험은 취수펌프장내의 3차원 흐름현상을 살펴보기에 적절한 것으로 나타났다. 2차원 수치모형은 3차원 흐름현상을 모의하기에는 어려운 점이 있겠지만 경제적으로 여러 가지 상황에 대한 모형실험을 할 수 있는 장점을 이용하기 위하여 취수펌프장내 5D지점에서의 최대유속과 와도, 펌프장내 최대유속, 냉각수취수로내의 최대유속을 2개의 취수로 공급유량에 대하여 비교하였다.

핵심용어 : 냉각수취수, RMA-2, 수리모형실험, 와도

1. 서론

화력발전소의 냉각수계통은 외해의 해수를 취수하여 발전소내의 복수기까지 유입시켜 증기와 열교환을 한후 다시 외해로 배출한다. 취수방식에 따라 1단 또는 2단 취수방식으로 나눌 수 있다. 본 연구의 화력발전소는 외해의 해수를 인공적으로 건설한 취수로로 양수한 후 취수하는 2단 취수방식을 이용한다.

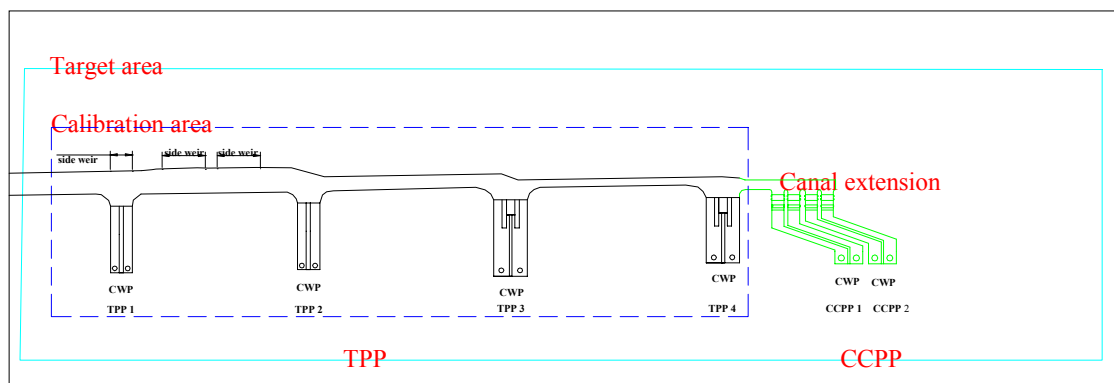


그림 1. 모형실험범위

* 정회원 · 한국수자원공사 선임연구원 · E-mail : yongkon@kowaco.or.kr
 ** 비회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · E-mail : kikumorah@kict.re.kr
 *** 비회원 · 한국건설기술연구원 선임기술원 · E-mail : bmyoon@kict.re.kr
 **** 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · E-mail : cwkim@kict.re.kr

본 연구의 대상인 I 화력발전소(Thermal Power Plant)는 발전용량 증설을 위하여 추가로 복합 화력발전소를 신설할 계획이다. 기존 및 신설된 복합화력발전소(Combined Cycle Power Plant)의 배치도는 그림 1과 같다. 신설될 화력발전소에 필요한 냉각수는 기존 취수로를 활용하여 공급될 계획이므로 기존 취수로는 냉각수 유입량이 증가하게 될 계획이다. 기존 냉각수 취수로는 기존 화력발전소 냉각수 취수계통에 적절하게 설계되었으므로 냉각수 공급량이 증가하게 되면 기존 화력발전소 냉각수 취수계통에 영향을 줄 수 있다. T형 취수펌프장은 그림 1에서 보이는 바와 같이 냉각수 취수로에 직각방향으로 설치된 취수펌프장을 말한다. 본 연구의 목적은 유량증가에 따른 T형 취수펌프장내의 흐름변화를 파악하기 위하여 수리 및 수치모형실험이 수행되었다.

냉각수취수펌프 sump의 크기와 형상에 대한 설계지침은 1) British Hydrodynamics Research Association, 2) Hydraulic Institute Standards, 3) US Army Corps of Engineers와 같은 외국 연구기관에 의하여 제시된 바 있다. 위의 연구기관에 의하여 제시된 설계지침들의 문제점들은 다음과 같다. 1) CWP sump에 대한 크기와 형상에 대해서만 적용가능하다. 2) CWP로 접근하는 흐름은 CWP에 악영향을 미칠 수 있는 와(eddy)나 와류(vortex)를 포함하고 있지 않다고 가정한다. 하지만 어느 설계지침도 그러한 흐름이 없다고 보장하지는 못한다.

Tullis(1979)에 의하면 펌프에 문제를 발생시킬 수 있거나 효율을 떨어뜨릴 수 있는 흐름조건은 흐름조건은 밝혀져 있지만 그에 대한 해결책은 없는 것으로 알려져 있다. 본 연구와 관련이 있는 흐름조건은 발생하는 와류(surface vorticity)와 바닥이나 벽으로부터 발생하는 와류(subsurface vorticity) 등이다. Sweeny 등(1982)에 의하면 펌프에 좋지 못한 영향을 미칠 수 있는 와류(vortex)를 분류하였고 펌프에 악영향을 미칠 수 있는 와류는 공기방울 및 공기기둥을 포함한 와류라고 지적하였다.

2. 모형실험

2.1 수리모형실험

수리모형의 축척은 실험실의 유량공급능력, 실험모형 제작공간, 원형의 재현성 등을 종합적으로 검토하여 결정된다. 화력발전소의 취수로는 콘크리트로 건설되어있고 단면은 직사각형이고, 흐름은 자유수면을 갖는 개수로 흐름이다. 수리모형실험은 화력발전소의 취수로 및 취수펌프장을 Froude 상사법칙을 적용하여 1:20의 비왜곡 모형을 아크릴로 제작하여 수행되었다. 냉각수취수펌프는 그림 2에서 보이는 바와 같이 사이편의 원리를 이용하여 모형을 제작하였다.



그림 2. 사이편

표 1. 원형 및 모형에서의 취수펌프용량

	I 화력발전소 (m ³ /h)				I 복합화력발전소 (m ³ /h)	
	CWP 1	CWP 2	CWP 3	CWP 4	CWP 1	CWP 2
원형	27,000	27,000	39,000	39,000	42,800	42,800
모형	15.1	15.1	21.8	21.8	23.9	23.9

2.2 수치모형실험

2차원 흐름특성 예측을 위하여 본 과업에서 선정한 수치모형은 2차원 수심적분 자유수면 유한 요소 프로그램 RMA-2 모형이다. 이 모형은 정류와 부정류에 대해서 대상수역의 수위와 유속을 제공한다. RMA-2의 지배방정식은 3차원 Navier-Stokes방정식을 수심 적분한 2차원 천수방정식(2-Dimensional Shallow Water Equation)이다. 2차원 천수방정식은 연속방정식과 x와 y방향의 운동량 방정식으로 구성된다.

수치모형실험의 목적은 복합화력발전소의 증설로 인한 영향으로 인하여 기존 화력발전소의 냉각수 취수계통에 문제를 발생시킬 가능성이 있을 때 이를 개선하기 위한 방안을 도출하기 위하여 수행되었다. 수치모형실험의 경계조건은 취수로 유입부에서 수위경계조건을 부여했고, 냉각수 펌프가 위치한 지점에서는 유량경계조건을 적용하였다. 취수로 하상의 Manning 조도계수는 0.013, 취수로의 연직측벽 부분에는 RMA-2 모형의 지침서 (RAM-2 WES Version 4.3)에서 제시한 대로 조도를 과다하게 설정하여 벽면의 마찰을 최대한 고려하였다. 와점성계수(eddy viscosity)는 $120 \text{ N} \cdot \text{sec}/\text{m}^2$ 을 적용하였다.

2.3 모형의 검증

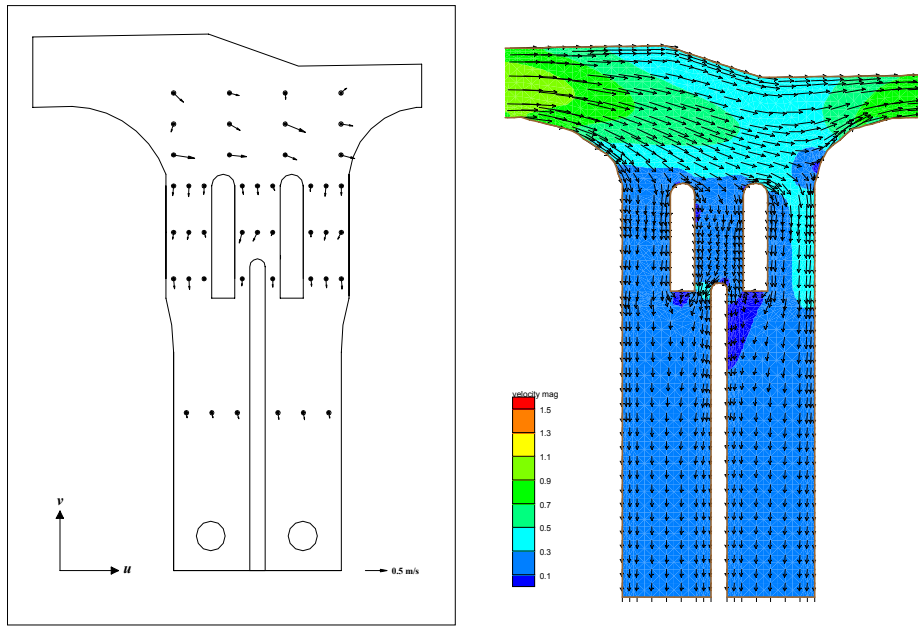
수리 및 수치모형실험을 검증하기 위하여 I 화력발전소가 가동될 때에 취수로 내에서 수위 및 유속을 측정하였다. 2003년 4월 16일 현장조사시에 I 화력발전소(TPP) 2호기만 가동 중이었다. 유속은 RD Instrument의 ADCP 600 kHz를 이용하여 4개 횡단면에서 측정되었다. 수위는 2 지점에서 측정되었다. 수리모형에서 화력발전소 냉각수취수펌프 2호기 가동 조건을 재현하여 유속을 측정하였다. 수리모형에서 원형에 대응하는 지점에서 유속을 수심의 0.2와 0.8 지점에서 측정하여 평균하였다. 단면평균유속의 최대 오차는 0.05 m/s로 나타났다. 수치모형실험에서는 최대오차는 0.06 m/s로 나타났다. 수위는 거의 동일한 것으로 나타났다. 따라서 수리 및 수치모형이 원형을 재현하고 있음을 알 수 있다.

3. 결과 및 분석

3.1 현황모형실험

현황모형실험은 I 화력발전소(TPP) 1~4호기가 모두 가동되는 경우에 대한 실험이다. 이 실험은 I 복합화력발전소(CCPP) 1~2호기 증설에 따른 흐름의 변화와 비교하여 CCPP 증설의 영향을 파악하기 위하여 실시되었다. CWP 취수량은 Table 1에 보인 바와 같다. 수리모형실험시 유속과 수위과 측정되었고 식용염료를 흐름에 유입시켜 전반적인 유황을 촬영하였다. 유속은 2차원 전자기 유속계를 이용하여 측정되었다. 현황모형실험에 대한 수리 및 수치모형실험결과로 얻어진 기존 화력발전소 3호기 취수펌프장내의 유속 vector도는 그림 3과 같다.

냉각수취수로에서 x방향(취수로와 평행한 방향)의 유속이 크게 나타나고 CWP chamber 내에서는 y방향(냉각수취수 펌프장과 평행한 방향) 유속이 상대적으로 크게 측정되었다. 측정된 유속과 식용염료를 이용하여 관측된 유황으로 분석하여 볼 때 CWP chamber내의 흐름의 방향은 모두 CWP 쪽을 향하고 역류하는 현상 및 와류는 볼 수 없었다.



(a) 수리모형실험결과

(b) 수치모형실험결과

그림 3. 현황모형실험의 유속 vector도 (기존 화력발전소 3호기)

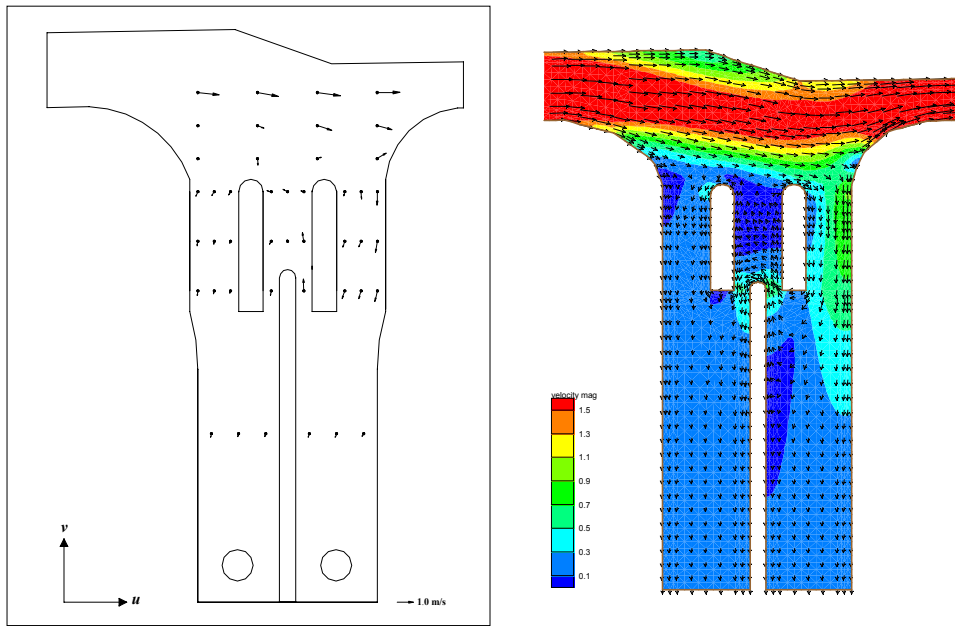
3.2 설계안모형실험

설계안모형실험은 I 화력발전소 1~4호기가 모두 가동되고 또한 I 복합화력발전소의 1~2호기가 가동되는 경우에 대한 실험이다. 설계안모형실험에 대한 수리 및 수치모형실험결과로 얻어진 기존 화력발전소 3호기 취수펌프장내의 유속 vector도는 그림 4와 같다.

그림 3과 4를 비교해보면 취수로내의 유량이 증가함에 따라서 취수로내의 주흐름방향 유속과 운동량이 증가한 것을 알 수 있다. 그 결과 기존 화력발전소 3호기의 좌측 취수펌프장 유입부로는 유량공급이 원활하지 못하고 이에 반하여 우측 취수펌프장 유입부로는 유량이 과다하게 유입되고 잉여 유량은 중앙에 있는 유입부로 유출되는 역류현상이 나타나는 것을 알 수 있다. 그 결과 우측 취수펌프장내의 유속분포의 균질성이 떨어진 것을 알 수 있다.

3.3 분석

현황 및 설계안 수치모형실험의 결과를 분석한 결과 2차원 수치모형으로는 냉각수취수펌프에 좋지 못한 영향을 미칠 수 있는 와류현상을 파악하기 어려운 점이 있음을 알았다. 따라서 와류현상을 대신할 수 있는 수리학적 인자를 파악하여 2차원 수치모형실험결과를 적용할 필요가 있다. 2차원 수치모형실험에 대한 결과를 정리하여 표 2에 나타내었다. 표 2에서 D는 냉각수취수펌프의 유입구 직경을 나타내고, 와도(vorticity)는 연직방향 와도를 나타낸다. 와도는 물체의 회전량을 나타내는 물리량으로 증가할수록 빠르게 회전하는 것을 의미한다. 유속이 균일한 경우 와도는 없으므로 취수펌프장내의 와류현상을 대신할 수 있을 것으로 판단된다. 공급유량이 증가함에 따라 취수펌프장내 5D에서의 유속과 와도, 최대유속, 그리고 취수로내의 최대유속을 비교하였다. 가장 큰 영향을 받는 냉각수취수펌프장은 4호기로 나타났다. 4호기의 경우, 5D에서의 유속이 0.17 m/s에서 0.29 m/s 증가하였고, 와도는 0.014 sec⁻¹에서 0.073 sec⁻¹로 증가하였고, 취수로내의 유속은 4호기 앞에서 0.31 m/s에서 4.26 m/s로 증가하였다.



(a) 수리모형실험결과

(b) 수치모형실험결과

그림 4. 설계안모형실험의 유속 vector도 (기존 화력발전소 3호기)

Table 2. 1 화력발전소에 대한 현황 및 설계안 수치모형실험 결과비교

plant No.	현황모형실험					설계안모형실험				
	location of 5D* from pump			intake canal	velocity in each chamber (m/s)	location of 5D* from pump			intake canal	velocity in each chamber (m/s)
	velocity (m/s)	vorticity (sec-1)	ratio of vorticity (%)	velocity (m/s)		vorticity (sec-1)	ratio of vorticity (%)	velocity (m/s)		
1	0.19	0.003	-	1.10	0.33 0.34	0.19	0.003	100	1.90	0.23 0.42
2	0.19	0.003	-	0.77	0.34 0.31	0.19	0.003	100	1.50	0.33 0.34
3	0.18	0.017	-	1.04	0.34 0.28 0.47	0.20	0.042	248	2.45	0.35 0.65 0.92
4	0.17	0.014	-	0.81	0.31 0.21 0.36	0.29	0.073	526	4.26	0.53 1.83 1.64

감사의 글

본 연구는 한국전력기술주식회사의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

Sweeney, C.E., Elder, R.A., and Hay, D., 1982, "Pump sump design experience summary," J. Hydraulic Div., 108(HY3).

US Army Corps of Engineers, 1997, User Guide To RMA2 v. 4.3