

수치모의와 수리모형실험에 의한 군산복합화력발전소 냉각수 취수부 수리현상 검토

Estimation of Hydraulic Status on Intake Structure at Gunsan Combined Cycle Power Plant by Numerical and Physical Model Test

박병준*, 송현구**, 허영희***, 강신욱****, 박영진*****

Byongjun Park, Hyunku Song, Younghwoe Hur, Shinwook Kang, Youngjin Park

요 지

군산복합화력발전소의 냉각수 취수부는 부지 여건상 수로의 길이가 짧고, 좌안이 좁아진 후 단차가 있는 형태에 직각으로 흐름방향이 전환되면서 CWP로 유입되는 구조로 설계되었기 때문에 CWP 운영에 불리한 수리현상이 예상되어 수치모의와 수리모형실험을 통한 사전검증이 필요하였다. 이에 FLOW-3D®를 이용한 3차원 수치모의와 축척 1/10의 수리모형실험을 통하여 면밀히 검토한 결과 CWP 진입부의 깊은 수심이 흐름을 감세하여 0.3m/s 이하의 유속분포를 나타내 균등취수에 문제가 없는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 발전소, 취수로, 순환펌프, 수리모형실험, FLOW-3D®

1. 서 론

전라북도 군산시 경암동에 위치한 군산화력발전소는 군산을 비롯한 전주, 익산 등지의 호남지방 전력난을 해소하기 위해 국제개발처(AID) 차관으로 1964년 착공, 1967년 준공한 무연탄과 중유를 원료로 운영하던 발전소다. 제1차 전력수급기본계획(2002.08.17.)에 의거하여 2004년 1월 폐지되었으나, 제3차 전력수급기본계획(2006.12.12.)에 따라 기존의 발전소 부지를 활용하여 액화천연가스를 원료로 하는 700MW급×1기의 복합화력발전소를 신규로 건설하는 사업이 추진되어 현재 설계·시공 중에 있으며, 입지여건이 우수하고, 환경에 미치는 악영향은 최소화 시키며 발전소 건설에 의한 지역경제 활성화가 기대되고 있다.

2. 과업범위 및 검토방법

2단 취수방식의 냉각수 계통 구성에서의 취수로의 역할은 SLP에서 양수된 냉각수의 안정된 흐름을 유지시켜주며, 수위를 일정하게 함으로써 CWP의 양수를 원활하게 해주어 냉각수 계통을

* 비회원 · 한국농어촌공사 농어촌연구원 수리시험연구팀 연구원 · 공학박사·E-mail : jiwaha1@ekr.or.kr
** 비회원 · 한국농어촌공사 농어촌연구원 수리시험연구팀 주임연구원 · 박사수료·E-mail : hksong@ekr.or.kr
*** 비회원 · 현대엔지니어링(주) 인프라환경사업본부 차장 · 공학석사·E-mail : yhhur@hec.co.kr
**** 비회원 · 현대엔지니어링(주) 인프라환경사업본부 부장·공학박사·E-mail : dreamer@hec.co.kr
***** 정회원 · 한국농어촌공사 농어촌연구원 수리시험연구팀 책임연구원·공학박사·E-mail : water87@ekr.or.kr

전반적으로 안정되게 운전하는데 있다. 이러한 순환수 계통을 설계함에 있어 중요한 변수 중 하나는 취수로의 설계유속이다. 이 설계유속에 따라 수로 내의 유황 및 수위가 변하여 CWP의 양정고 및 안정적 운전에 영향을 미치며, 이에 따라 CWP 구조물의 제원(dimension)을 결정하는 요인이 된다. 미국 수력협회기준(Hydraulic Institute Standard, HI)에는 CWP에서 안정적인 양수를 보장하는 취수로 설계유속과 CWP 구조물 제원과의 상관관계에 대한 경험적인 추천 값이 제시되어 있으며, 취수로의 유속이 0.6m/s(2ft/s)일 때 CWP 구조물의 제원이 나타나 있다. 그러나 HIS에서 추천한 취수로 설계유속이 절대적인 값은 아니며, 취수로(Main Stream)의 유속이 0.6m/s를 초과할 경우에는 CWP 구조물의 제원을 조정하거나 기타 보조 구조물(vane, baffle 등)을 설치하는 등, 수리모형실험을 실시하여 CWP에 영향이 없는 취수로 설계유속과 변형된 CWP 구조물의 규격을 결정하도록 권장하고 있다. 본 과업의 목적은 군산복합화력발전소 건설사업의 취수로 설계안에 대한 수치모의 및 수리모형실험을 통해 수리특성을 검토함으로써 냉각수의 균등취수가 보장되는 합리적이고 안정적이며 경제적인 취수로 설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 있으며, 취수로 유입부와 CWP 흡입부가 직각으로 위치하는데 따른 불리한 수리현상 발생유무도 규명되어야 한다.

2.1 적용기준

본 과업은 크게 수치모의와 수리모형실험으로 수행하였다. 검토방법 및 그 결과에 대한 판단기준은 미국의 HI, 일본 터보기계협회기준의 “ポンプの吸込水槽の模型試験法(TSJ S 002:2005)”, 군산복합화력 순환수계통 기본설계서(0-06A10-B-466-001)를 근거로 하였으며, 주요 관심대상 유체 영역(Fluid Region)은 SLP로부터 취수로까지 배관된 관로의 말단부를 시작으로 하여 점축소 단면과 직각노선을 가진 취수로에 이어 CWP 흡입부까지로 한정한다.

2.2 검토방법

수치모의는 정성적이고 정량적인 결과를 고해상도로 취득할 수 있을 뿐만 아니라 모형의 변경과 수정이 용이하다. 본 과업에서는 취수로에서의 유속분포와 흐름형상 등을 가시화하고, CWP 구조물로의 균등취수 여부를 확인하기 위하여, 각각의 통과유량을 검토하였다. 한편 자연현상은 복잡하기 때문에 기술경험이 상당수 축적되었다 하더라도 예상치 못한 현상을 만나게 되는 경우가 적지 않고, 설계한 구조물이 시공 후 의도한대로 제 기능을 할 수 있는지에 대한 여부는 실제로 확인하기 이전에는 누구도 장담할 수 없다. 비용과 시간을 소요하여 이미 시공이 완료된 후에는 되돌릴 수 없는 결과를 초래하므로 신중하게 검토할 필요가 있기 때문에 수리모형실험이 수행된다. 수리모형실험은 일정한 기준을 만족하면 현상을 정확하게 재현하고, 복잡한 계산과정 없이 정성적인 결과를 가시화 할 수 있다. 본 과업에서는 상·하류부의 난류특성 및 흐름에 대한 와류현상, 수면형상, 수위변동 등을 관측하고, 유량 및 유속 등을 검토하였다.

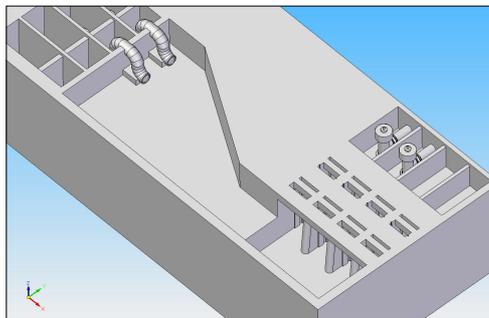
2.2 실험안 구성

수치모의와 수리모형실험에서 모두 동일하게, SLP 및 CWP 가동조건, 취수로 바닥형태, 취수로 운영수위를 달리하여 검토안을 구성하였다. 즉, 표 1과 같이 SLP 및 CWP가 1, 2호기만 설치되어 가동되는 경우와 1, 2, 3, 4호기 모두 가동되는 경우, 취수로의 바닥형태가 계단형인 경우와 경사형인 경우, 취수로의 운영수위가 EL.(+)5.30m인 경우와 EL.(+)5.80m인 경우로 나누어 총 8개

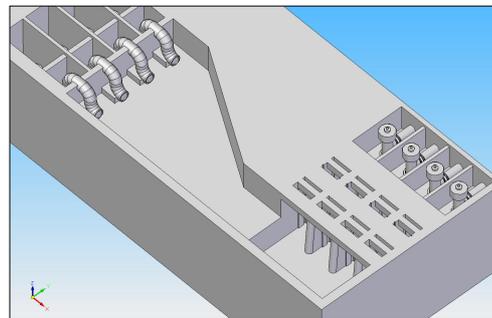
의 검토안을 구성하였다.

표 1. 취수로 수리현상 검토안

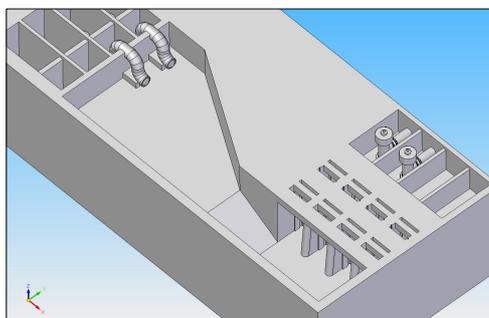
가동펌프	취수로 바닥형태	취수로 운영수위	검토코드명	비 고
1·2호기	계 단 형	EL.(+)5.30m	ST-2P-30-NONE	
1·2호기	계 단 형	EL.(+)5.80m	ST-2P-80-NONE	
1·2호기	경 사 형	EL.(+)5.30m	SL-2P-30-NONE	
1·2호기	경 사 형	EL.(+)5.80m	SL-2P-80-NONE	
1·2·3·4호기	계 단 형	EL.(+)5.30m	ST-4P-30-NONE	
1·2·3·4호기	계 단 형	EL.(+)5.80m	ST-4P-80-NONE	
1·2·3·4호기	경 사 형	EL.(+)5.30m	SL-4P-30-NONE	
1·2·3·4호기	경 사 형	EL.(+)5.80m	SL-4P-80-NONE	



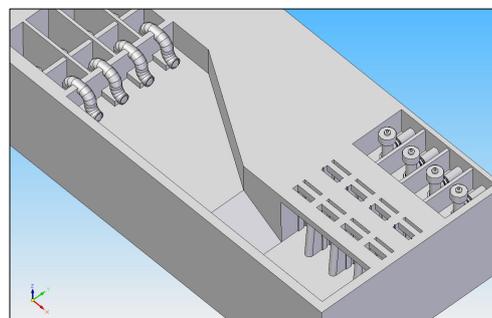
(a) 1·2호기 가동조건 - 계단형 수로



(b) 1·2·3·4호기 가동조건 - 계단형 수로



(c) 1·2호기 가동조건 - 경사형 수로



(d) 1·2·3·4호기 가동조건 - 경사형 수로

그림 1. 각 모의안별 모형형상

3. 검토결과

3.1 수치모의

SLP 및 CWP 1·2호기만 운영할 경우 SLP로부터 토출되는 관로가 취수로의 좌안에 편중되고, 취수로 폭이 좌안으로부터 좁아지는 관계로 평면상 시계방향의 회전류가 발생한다. SLP 및 CWP 1·2·3·4호기를 모두 운영할 경우 SLP로부터 균일하게 토출되므로 회전류는 다소 소강되나, 취수로 폭이 좌안으로부터 좁아지는 관계로 좌안에 심한 난류가 발생한다. 그러나 전자와 후

자 모두 CWP에서의 균등취수에는 영향을 미치지 않는다. 운영수위 EL.(+)5.30m인 경우에 비하여 EL.(+)5.80m인 경우가 수류의 요동이 감소하는 편이며, 펌프를 1·2호기만 가동하는 경우가 펌프를 1·2·3·4호기를 모두 가동하는 경우보다, 계단형 취수로의 경우가 경사형 취수로의 경우보다 두드러지게 나타난다. 이러한 현상은 SLP를 통해 취수로에 공급되고 CWP를 통해 빠져나가는 유량이 동일하지만 수위가 높아질수록 취수로의 통수단면이 확대되어 유속이 감소함에 따른 것으로 판단된다. 그러나 운영수위 EL.(+)5.30m, EL.(+)5.80m 두 경우 모두 CWP에서의 균등취수에는 영향을 미치지 않는다. 경사형 취수로의 경우가 계단형 취수로의 경우보다 흐름에 유리한 종단면이 되어 수류안정에 기여는 하나 이미 잠류가 되어 있는 상황에서 그 효과는 미흡하기 때문에 두 경우 모두 CWP에서의 균등취수에는 영향을 미치지 않는다.

3.2 수리모형실험

SLP 및 CWP를 1, 2호기만 가동하는 경우 취수로의 좌안이 우안 쪽으로 좁아지는 이유로 흐름은 시계방향으로 회전하지만, 오히려 좁아진 단면 폭과 만나는 CWP 진입부의 깊은 수심이 감세를 시켜주어 CWP 유입부에서의 유속은 대부분 0.3m/s 이하의 분포를 나타낸다. SLP 및 CWP를 1, 2, 3, 4호기 모두 가동할 경우에는 취수로 단면 축소부와 SLP 1, 2호기 토출부가 만나는 지점에서 수면요동이 발생하나 0.2m를 초과하지 않으며, CWP 유입부에서의 유속은 대부분 0.3m/s 이하의 분포를 나타낸다. 따라서 펌프 가동대수가 CWP 유입부 통과유속에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다. 운영수위 EL.(+)5.80m인 경우가 EL.(+)5.30m인 경우보다 수면요동 폭은 작으나 그 차이는 0.1m 이하로 미미하다. 운영수위 EL.(+)5.30m인 경우, 운영수위 EL.(+)5.80m인 경우 모두 CWP 유입부 발생유속은 유사하며, 대부분 0.3m/s 이하의 분포를 나타낸다. 따라서 취수로 운영수위 EL.(+)5.30m 이상일 경우 CWP의 균등취수에는 아무런 문제가 없는 것으로 판단된다. 취수로 바닥형태가 경사형인 경우가 계단형인 경우에 비하여 상층부의 수면요동은 상대적으로 양호하나 그 차이는 미미하다. 취수로 바닥형태가 경사형인 경우는 취수로와 CWP 유입부 사이에 사수역이 발생하지 않으나 취수로 바닥형태가 계단형인 경우는 사수역이 발생하나 균등취수에는 문제가 없다. 취수로 바닥형태가 경사형인 경우가 계단형인 경우에 비하여 CWP 유입부 발생유속이 국소적으로 다소 높게 발생하나 CWP의 균등취수에는 문제가 없다. 따라서 취수로 바닥형태와 연관은 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

군산복합화력발전소 취수로 설계안을 모형으로 재현하면 SLP 토출부의 바닥고와 CWP 흡입부의 바닥고 간의 표고차가 충분히 크고, CWP 유입부가 각각 교각으로 분리되어 1, 2, 3, 4호기가 서로 간섭하지 않는 만관형태의 충분한 통수단면을 취한다. 따라서 우려와는 달리 군산복합화력발전소의 SLP가 취수로에 공급하는 유량과 CWP가 취수로에서 양수하는 유량에 비하여 수로에 먼저 채워져 있는 냉각수의 체적이 충분히 크기 때문에 수로바닥의 형태와는 관계없이 취수로에 유입된 수류는 충분히 감세가 되어 CWP 운영에 문제가 없는 것으로 확인되었다. 또한, 모든 검토안에 대하여 CWP 흡입부에서 공기흡입와(空氣吸入渦) 및 수중와(水中渦)는 발생하지 않았다. 본 과업에서 수치모의와 수리모형실험간 정량적인 값에 대한 차이가 5% 이내로 발생하고, 수치모의 결과가 수리모형실험에 비하여 취수로의 수면요동을 자세하게 보여주지는 못했는데, 이는 수치모의에 사용된 격자의 해상도를 높여줌으로써 해결할 수 있는 문제이나 검토안의 개수, 과업기간 등을

고려한 여건에 따라 작업의 효율성에 맞춰 격자를 구성하여 운영하다보면 통상 접할 수 있는 범위이며, 정성적인 경향은 완벽하게 일치하는 것으로 나타나 현상을 잘 재현한 것으로 판단된다. 또한 본 과업에서 얻어낸 유속 자료는 스크린을 고려하지 않은 경우의 값이므로, 실제 취수로에서는 보다 안정된 값을 보여줄 것으로 판단된다.

한편, 취수로의 수류 감세를 위한 보조구조물을 설치할 경우 정온도 확보에는 기여할 수 있음이 확인되었으나, 국내 양배수장에서 펌프의 토출부에 흐름을 막는 구조물이 근접할 경우 펌프에 부하(load)를 주는 사례가 발생하여 충분한 이격거리를 확보하는 것으로 설계하고 있는 실정이므로 보조구조물의 설치를 고려할 경우 주의가 요망된다.

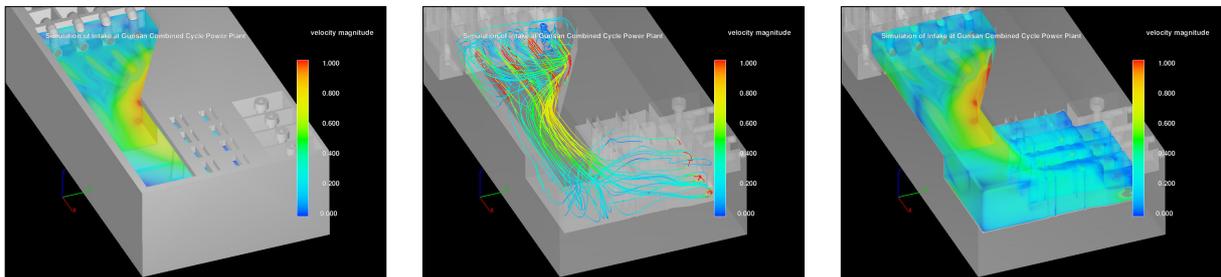


그림 2. 수치모의 결과의 도시



그림 3. 수리모형실험 광경

참 고 문 헌

1. (社)電力土木技術協會出版委員會, “火力·原子力發電所土木構造物の設計” (1995).
2. (社)ターボ機械協會, “ポンプの吸込水槽の模型試験法”, TSJ S 002:2005, 터보機械協會基準 (2005).
3. 須賀堯三, “水理模型實驗”, 山海堂 (1990).
4. 한국전력공사 전력연구원, “냉각수 취수구조물 개선기술 연구” (1999).
5. ASCE Task Committee on Hydraulic Modeling, “Hydraulic Modeling : Concepts and Practice” (2000).
6. Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior, “Hydraulic Laboratory Techniques”, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado (1980).
7. Flow Science Inc., “FLOW-3D User’s Manual Version 9.2” (2007).
8. Hydraulic Institute;ANSI/HI, “9.8.5 Model Tests of Intake Structure” (1998).