발전소 취수구조 개선에 관한 연구 (고리 3, 4 호기를 중심으로)

○김진원*, 이대수**, 홍성표***

1. 서론

1.1 연구목적 및 배경

발전소의 냉각용으로 사용되고 있는 해수는 취수조를 거쳐서 순환수 펌프로 유입된다. 고리 3, 4 호기의 경우 4개의 동일한 구조의 취수조에 각각 3대의 순환수 펌프가 존재하고 있으며, 순환수 펌프 1대의 흡입 유량은 157,400 gpm에 이른다.

해수가 순환수 펌프에 도달하는 과정에서 취수조 입구부에 Trash Rack 및 Travelling Screen이 있어 부유물질 및 해양 생물이 순환수 펌프로 유입되는 것을 방지하고 있다. 그러나 태풍시에는 Travelling Screen에서 부유물에 의한 막힘 현상이 종종 발생하여 Travelling Screen에서 순환수 펌프에 이르는 해수의 수위가 급격히 저하됨에 따라 순환수 펌프에서 와류에 의한 진동이 발생하게 되어 가동이 불가능하게 될 수 있다. 고리 3, 4 호기의 경우 태풍에 영향으로 종종 발전소가 정지한 사례(고리 4호기, 91년 8월)가 있고, 유사시 직원들이 동원되어 스크린에 걸려있는 부유물질을 인력으로 제거하고 있는 실정임을 고려하여 기존의 Once-Through Type Travelling Screen을 처리용량이 큰 Center Flow Type Screen으로의 개선을 고려하고 있다. Center Flow Type Screen 설치시에는 기존의 수류상태를 변화시키게 되어 순환수 펌프의 안정적인 운전조건의 확보가 필요하다. 따라서, 취수구조물 개선에 앞서 수치모형 및 수리모형실험을 통하여 최적의 취수조 개선방안을 예측하여야 한다. 이에 본 연구는 수치모형을 통하여 취수조 구조 개선시 수류상태 변화에 대하여 예측하고, 흐름상태 변화에 따른 순환수 펌프의 안정적 운전조건을 제시하고자 한다.

1.2 연구내용 및 범위

고리 3, 4 호기 취수조는 4개로 각각 동일한 구조로 이루어져 있다. 각 취수조에서 해수는 4개의 수로를 거쳐 공동수로를 통과하게 되며 다시 3개의 펌프실로 나누어져 순환수펌프로 흡입되게 된다. 각 취수조에는 순환수 펌프 3대와 터빈냉각수 펌프 또는 wash 펌프 2대로 구성되어 있으며, 순환수 펌프 1대의 용량은 157,400 gpm 이고 터빈냉각수 펌프 1대의 용량은 22,700 gpm이다. 본 연구에서는 펌프의 입구부 유량을 outlet 경계조건으로 정하였고, 현장에서 관측한 유속 및 수위를 inlet 경계조건으로 정하였다. 입구부의 수위 및 유속은 만조와 간조에 의한 해수위 변화 및 펌프 가동조건에 의해서 영향을 받으나 본 연구에서는 1개 취수조의 최저수위에서 모든 펌프가 가동하는 조건에서 수치해석을 실시 하였다.

* 한국전력공사 전력연구원 일반연구원
** 한국전력공사 전력연구원 책임연구원
*** 한국전력공사 서울연수원 과 장

본 연구에서는 고리 3, 4 호기 1개 취수조 구간은 유로길이 25 m, 폭 16.7 m이고, 취수조 입구부의 최저수위가 7 m임을 감안하여 수치해석을 하였다. 유로길이 25 m 중에서 입구부 초기조건을 입력하기 위해서 기존 Once Through Type Screen의 전단 1.5 m 지점에서 유속을 측정하였음으로 수치해석의 대상 구간길이는 17.1 m이다. 본 연구에서는 4개의 취수조가 동일한 형태로 구성됨을 고려하여 1개의 취수조만을 선정하여 기존의 Once Through Type Screen와 향후 설치가능한 Center Flow Type Screen을 선정하여 수치해석을 실시하였고, 각 안에 대한 취수조내의 유속 및 유향의 변화가 순환수 펌프에 미칠 수 있는 영향을 고려하였다.

2. 취수구조 개선안 수립

다음 표는 Center Flow Type Screen을 고리 # 3, 4 호기에 적용시 외국 설계사에서 제안한 설계안과 비교한것이다.

표1. Center Flow Type Screen 설계안 적용시 고리 # 3, 4 호기의 취수조의 비교, 검토

구 분	ASCE	HIS	BHRA	JSME	고리 # 3, 4 호기의 경우
펌프입구부와 최저 수위의 거리 (m)	4.11	-	4.11	3.57	5.57
Sump 바닥과 최저 수위의 거리 (m)	5.49	5.08	5.49	4.94	6.25
펌프중심부와 Sump 뒤쪽벽과의 거리 (m)	2.06	2.54	2.06	2.47	1.80
펌프중심부와 스크린과의 거리 (m)	10.97	8.89	25.37	8.50	12.65
Stop Gate와 Sump 뒤쪽벽과의 거리 (m)	-	14.48	-	-	27.92
취수로폭 (m)	5.49	5.40	5.49	5.49	3.4
스크린 접근 유속 (m/s)	0.3	0.3	0.3	0.3	-

고리 # 3, 4 호기 취수조에 Screen변경시의 위의 설계기준을 적용한 결과 대부분 만족하고 있으나 취수로폭의 경우 상대적으로 다른 설계안에 비하여 만족하지 못하므로 설치 가능한 Center Flow Type Screen에 대한 조사가 필요하다. 또한, 해수중 부유물의 종류, 농도에 따라 적정한 mesh size를 결정하여야하고 Screen의 구조 및 기계적인 문제는 현장의 설계조건에 적합한지 검토하여야 한다. 그 밖에 개략적인 Basket의 수, 회전속도, screen 세척수량, 폭, 높이, 길이에 대한 협의가 발전소와 스크린 제작사간에 이루어져야 하나, 스크린사의 기본안에 따른 고리 3, 4 호기 Center Flow Type Screen의 구조 및 형태는 취수로폭을 고려하여 chamber 규격폭 3200mm와 chamber 길이 2500mm을 선택하여 설치할 수 있으며, 스크린의 회전 속도는 9~18 cm/s로 선택할 수 있다.

기존 Once-Through Type Screen은 순환수펌프로 부터 스크린까지의 길이가 12.65 m로 이를 Chamber길이 2500 mm의 스크린으로 변경할 경우 스크린 부터 순환수 펌프까지의 길이가 변경될 수 있다. 울진 3, 4 호기의 경우 Center Flow Type Screen 설치시 Stop Gate로 부터 스크린까지 4 m 거리가 확보됨에 따라 설치가 가능하였음으로 고리 3, 4 호기에서는 Stop Gate로 부터 스크

린까지의 거리가 현재 5 m임을 감안할때 1 m 정도 Stop Gate쪽으로 이동하여 Chamber길이 2500 mm인 Center Flow Type 스크린을 설치하면 스크린으로 부터 순환수 펌프까지의 길이가 11.15 m로 기존 Once-Through Type Screen 부터 순환수펌프까지의 길이가 1.5 m 단축되나, ASCE, HIS, JSME의 설계안을 만족할 수 있게된다.

3. 수치모형의 적용

고리 3, 4 호기의 취수조 입구부 부터 순환수 펌프에 이르는 구간에서는 2차원으로 해석하기 곤란한 지형구조로 3차원 난류 모형을 적용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 3차원 난류분야에서 활용성 및 신뢰도가 높은 FLUENT모형을 이용하였다.

수치모형을 적용하는 목적은 대상구간 (취수조 입구 ~ 순환수 펌프 입구)의 수위, 유속, 유향을 3차원으로 모의하는데 있으며, 이를 위하여 대상구간을 네트워크로 구성하여 취수조 입구부 경계조건으로 취수조 입구부의 유속을 입력하고, 출구부 경계조건으로는 순환수 펌프, 터빈 냉각수 펌프의 유량을 이용하였다. 고리 3, 4 호기는 4개의 동일한 취수조로 구성되어있기 때문에 그 중 1개의 취수조를 대상으로 사각형 3차요소 네트워크 mesh를 구성하였다.

초기조건으로는 3개의 순환수펌프와 2개의 터빈냉각수펌프의 최대유량을 고려하였다. 펌프의 유량과 취수조의 최저수위시를 고려하여 취수조 입구부 유속을 계산하고 이를 inlet 경계조건으로 입력하였고, 펌프의 유량을 펌프 입구부 면적으로 나누어 outlet 유속으로 입력하였다.

따라서, 본 수치모형에는 흐름이 steady flow라는 가정하에 outlet 경계에 3개의 순환수 펌프의 최대유량인 157,400 gpm에 대한 유속 2.15 m/s와 2개의 터빈냉각수펌프의 최대유량인 22,700 gpm에 대한 유속 2.5 m/s를 입력하였고, 최저수위가 7 m로 유지된 상태에서 4개의 취수조 입구부에 각각의 평균유속 0.36 m/s을 입력하였다. 그림 1, 2는 본 대상구간에서 Once Through Type Screen과 Center Flow Type Screen 설치시 대상구간을 사각형 3차요소 격자로 구성한 것이다.

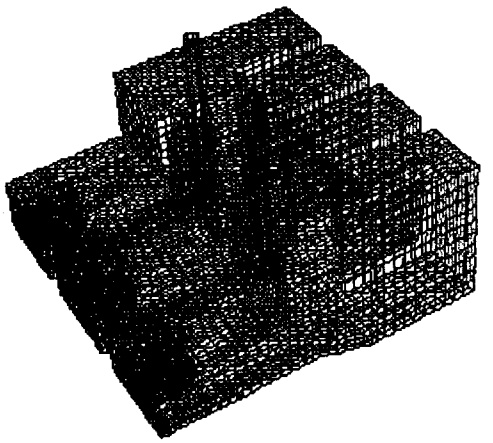


그림 1. Once Through Type Screen 설치시 사각형 3차요소 격자구성

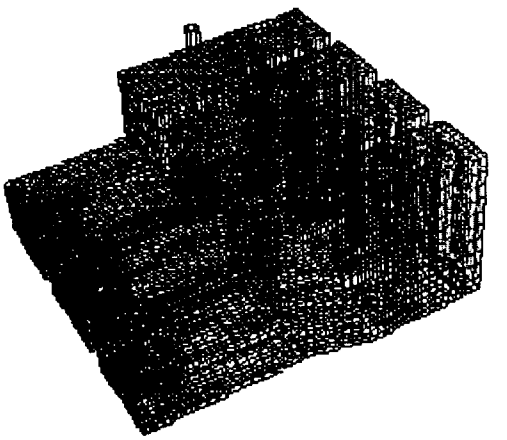


그림 2. Center Flow Type Screen 설치시 사각형 3차요소 격자구성

3.1 취수조내의 유속분포

본 연구에서는 취수조내의 유속분포를 산정하기 위해서 난류 Standard K-epsilon모형을 이용하였고 대상구간내의 흐름이 steady상태라고 가정하였다. 또한, 연속방정식, 운동방정식, 난류방정식으로 부터 연립해서 해석하게 되는 해는 Convergence Residual이 0.001이하에서 만족된다고 보았다. 유속분포는 순환수 펌프 3대와 터빈냉각수 펌프 2대가 취수조 입구부 최저수위인 7 m에서 가동되는 상황에서 해석하였다.

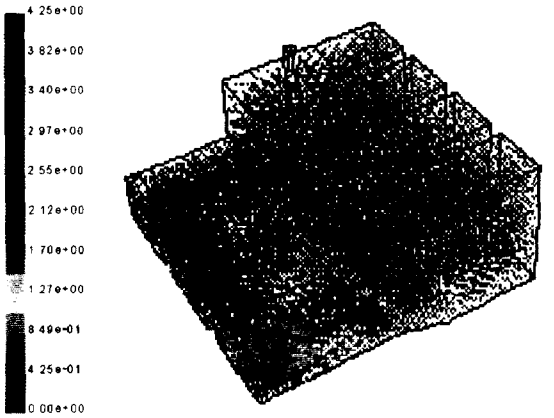


그림 3. Once Through Type Screen 설치시 취수조내 유속 분포도

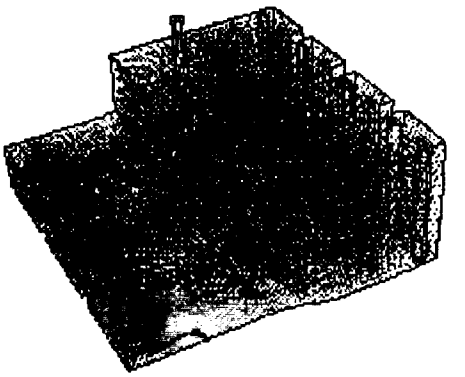


그림 4. Center Flow Type Screen 설치시 취수조내 유속 분포도

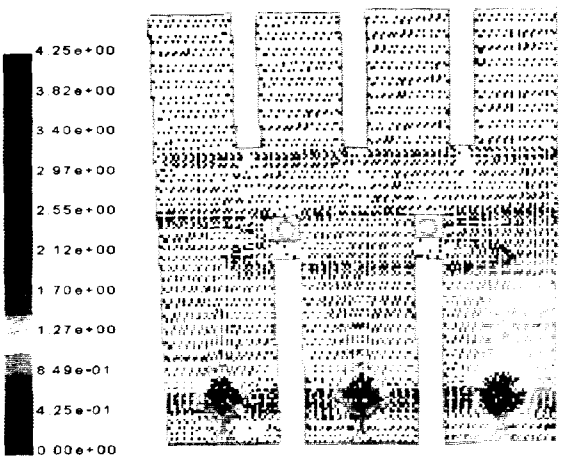


그림 5. Once Through Type Screen설치시 단면 유속분포도(Vector) (펌프실 바닥으로 부터 1.2m 지점)

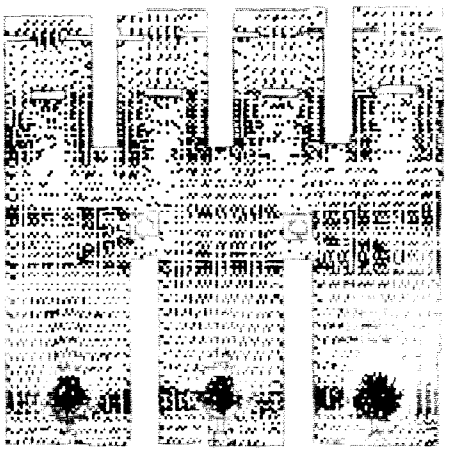
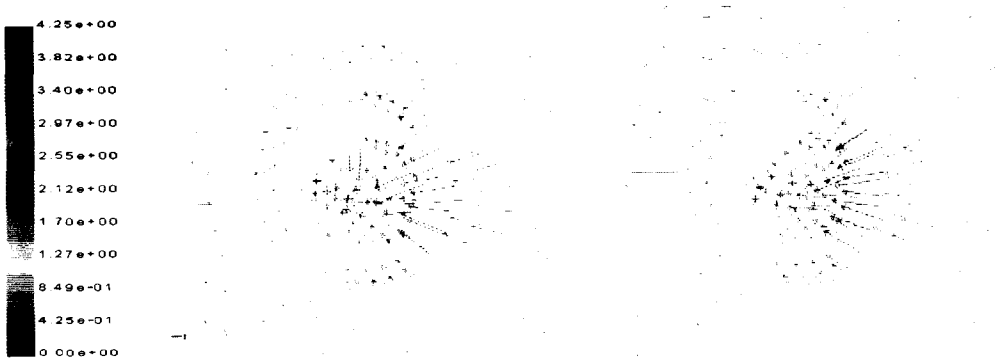


그림 6. Center Flow Type Screen설치시 단면 유속분포도(Vector) (펌프실 바닥으로 부터 1.2m 지점)

3.2 순환수 펌프의 안정조건 분석

순환수펌프는 와류, 공기 유입, 펌프 유입각도, 펌프내 유속분포, 펌프 Bell의 직상부 수위에 따라서 펌프의 진동 및 Impeller의 손상을 초래할 수 있으므로 취수조내의 수리학적 조건이 설계기준의 범위내에 속해야 한다. 본 연구에서는 스크린 개선시 펌프로 접근하는 수류상태를 기존의 수류상태와 비교, 분석하여 순환수 펌프의 안정조건을 분석하였다.

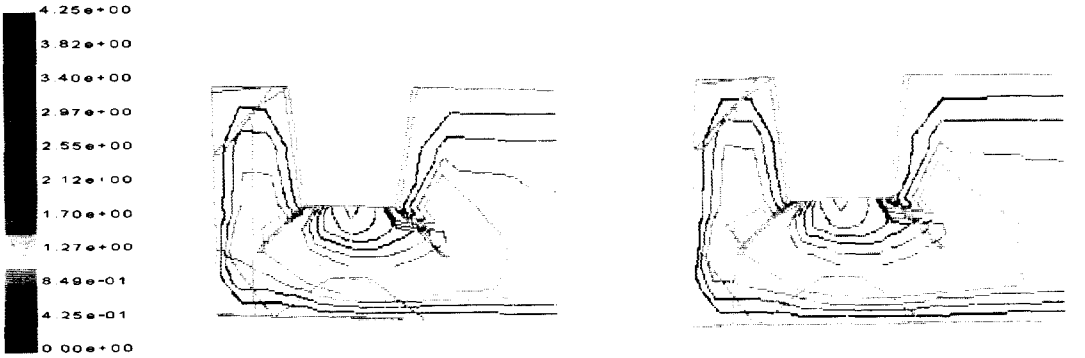
그 결과 스크린 후단부에서 공동수로에 이르는 구간은 스크린 개선시 기존에 비하여 수류상태가 변화되는 것으로 나타났으나 공동수로를 거치면서 기존의 수류상태와 비교하여 큰 변화가 나타나지는 않았다. 그림 7~10는 Once Through Type Screen과 Center Flow Type Screen 설치시의 펌프 주위에서의 유속 분포를 나타낸 것이다. Once Through Type Screen 설치시 펌프에 집중되었던 유속 및 유향이 Center Flow Type Screen 설치시에는 그 집중정도가 약간 완화되었을 뿐 펌프주위에서의 기본적인 흐름형태는 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 스크린 교체시에도 펌프에 미치는 영향은 크게 변화되지 않아 스크린 교체가 가능할 것으로 판단되었다.



(펌프실 바닥으로 부터 1.2m 지점 단면)

그림 7. Once Through Type Screen설치시 중앙부 순환수 펌프내의 유속분포

그림 8. Center Flow Type Screen설치시 중앙부 순환수 펌프내의 유속분포



(좌측 또는 우측 펌프실벽으로 부터 8.34m 지점 측면)

그림 9. Once Through Type Screen설치시 중앙부 순환수 펌프내의 유속분포

그림 10. Center Flow Type Screen설치시 중앙부 순환수 펌프내의 유속분포

3.3 스크린 교체시 유속변화 분석

해수가 취수조 입구를 통과하면서 순환수 펌프에 이르는 과정에서 유속 및 유향 변화가 나타난다. Once Through Type Screen의 경우, 취수로에서 일정하던 유속이 공동수로를 거치면서 증가하게 되고 펌프실내에서는 더욱 증가하게되어 펌프입구부에서는 최대유속을 가지게 된다. Center Flow Type Screen의 경우는 취수로를 통과하면서 부터 스크린에 의하여 유향 및 유속이 변화하게 되지만 공동수로를 거치면서 펌프실에 이르는 구간에서는 Once Through Type Screen의 유속변화와 비슷한 형태를 나타내게 된다.

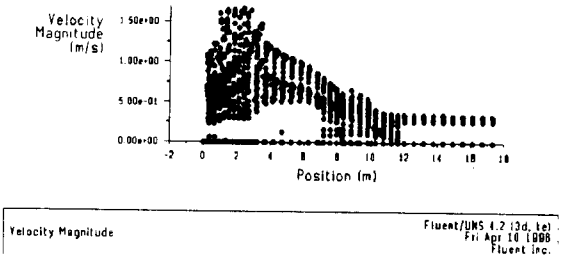


그림 11. Once Through Type Screen설치시 취수로 구간별 유속분포

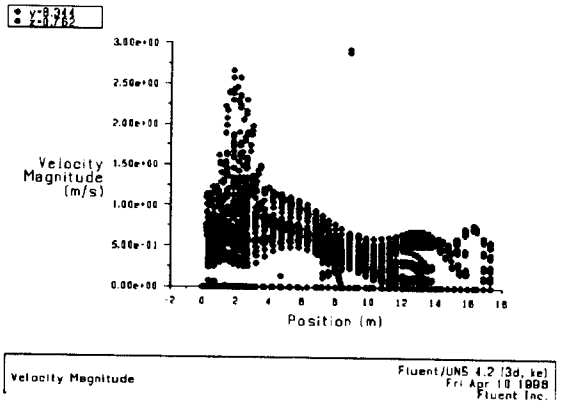


그림 12. Center Flow Type Screen설치시 취수로 구간별 유속분포

4. 결론 및 향후연구 방향

본 연구에서는 수치모형으로 스크린 개선시 취수조 내에서의 나타나는 수류상태 변화에 대해서 분석하였다. 또한 스크린 개선시 설계기준을 검토하여 설치가능한 스크린을 임의로 선정하였고 기존 스크린과 개선이후의 순환수펌프에 미치는 영향을 비교, 분석하였다. 그 결과 순환수펌프 지역에서 약간의 유속 및 유향의 변화가 있었을뿐 거의 동일한 분포를 보였다.

향후에는 스크린 변화에 적절히 대처하여 순환수펌프에 미치는 영향을 더욱 줄일수 있는 수류개선설비의 제안이 필요하며, 이에 대한 수치모형, 수리모형실험이 이루어져 상호 검증이 이루어져야 할 것이다.

5. 참고문헌

User's Guide for Fluent/Uns and Rampant, April 1996.

Saffmann, P. G., Problems and Progress in the Theory of Turbulence, Presentation at the Sysposium on Turbulence, Technical University of Berlin, August 1977.