

발전소 배수로에 초저낙차 조류식 수차 설치로 인한 순환수계통 영향 분석

Analysis of Impact on the Circulating Water System due to Installation of Low-head Stream Turbine at the Discharge Channel of the Power Plant

김지영*, 강금석**

Ji Young Kim, Keum Seok Kang

요 지

발전소 냉각수 배수로에는 유속 2 m/s 이상의 빠른 흐름의 수로가 존재하여 수력발전을 꾀할 수 있어, 하동화력의 경우 조류발전 수차인 헬리컬 수차를 이용한 수력 개발이 진행 중이다. 하동화력 배수로는 약 630 m의 암거와 약 250 m의 개수로로 이루어져 있는데, 현재 상업용 발전설비 개발을 위해 시험용 수차발전 설비를 개수로로 이어지는 암거 출구부에 설치하여 성능 시험을 추진하고 있다. 이에 본 연구에서는 발전설비의 설치로 인한 수위 증가가 냉각수 순환 계통에 미치는 영향을 파악하기 위하여 배수로 구간의 수위변화 또는 압력변화를 수치해석을 통해 분석하였다.

배수로 암거 출구부에 가로 3.6 m × 세로 1.5 m 헬리컬 수차 1 set를 설치하는 경우 저조시에는 seal well 후단(하류측)의 수위가 seal well의 위어 정부표고를 넘지 않아 수차구조물에 의한 압력변화가 상류로 미치는 영향이 없었다. 그러나 고조시에는 seal well 전·후단이 만관 관수로 흐름이 되어 하류의 압력변화가 상류로 전파되었다. 단, 수차구조물을 설치한 경우 순환수 펌프를 처음 기동할 때 압력파의 전파로 인해 초기 약 10 분간 불안정한 압력변화가 발생하나 수차구조물 설치 전인 현상에서 발생하는 압력변화 범위를 벗어나지는 않고 이내 안정되며, 수차구조물 설치로 인한 수위 증가분만큼의 펌프 양정고 증가로 소요 동력이 증가할 수 있으나 0.2 m 내외의 미약한 증가이므로 정상 운전에는 문제가 없을 것으로 판단되었다. 따라서 수차구조물 설치 시, 저조시에는 순환수계통에 영향을 주지 않으며, 고조시에도 일부 시간 동안 미약한 수두변화만 있을 뿐 순환수 계통의 안전에는 지장을 주지 않을 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 발전소 배수로, 초저낙차 조류식 수차, 냉각수 순환계통, Seal Well(폐정)

1. 서 론

발전소에서 냉각수로 해수를 사용하는 과정에서 대형 취배수 구조물을 이용하는데 냉각수 방류는 암거 혹은 개수로 형태의 수로를 통해 이루어진다. 냉각수 배수로에는 유속 2 m/s 이상의 빠른 흐름이 존재하며, 방류량이 크기 때문에 수력발전을 꾀할 수 있다. 특히 삼천포, 하동, 보령 등 국내 대형 화력발전소에서 냉각수로 사용되고 방류되는 해수는 최대 약 150 cms로 약 3,000 kW 이상의 수력에너지를 보유하고 있어, 삼천포화력발전소 배수로에 해양 소수력발전소가 건설된 데 이어 각 발전소 배수로의 수력에너지 개발이 활발하게 추진 중이다. 하동화력발전소의 경우 낙차가 확보되지 않아 낙차를 이용하는 댐식 수력발전보다 낙차 없이 유속만 이용하는 흐름식 발전

* 정회원 · 한국전력공사 전력연구원 연구원 · E-mail : jkim77@kepri.re.kr
** 비회원 · 한국전력공사 전력연구원 선임연구원 · E-mail : gldstn@kepri.re.kr

방식이 적합하여 최근에 해양 조류발전 개발에 이용되고 있는 헬리컬 수차를 이용한 수력 개발이 진행 중이다. 하동화력 배수로는 약 630 m의 암거와 약 250 m의 개수로로 이루어져 있는데, 현재 상업용 발전설비 개발을 위해 시험용 수차발전 설비를 개수로로 이어지는 암거 출구부에 설치하여 성능 시험을 수행하고자 한다. 발전소 배수로의 수위 증가는 냉각수 순환계통에 직접적으로 영향을 미쳐 기존 화력발전소 운전의 문제를 초래할 수 있으므로, 배수로 수력개발을 위해서는 냉각수 순환계통에의 영향 파악이 중요하다. 이에 본 연구에서는 발전 설비의 설치로 인한 수위 증가가 냉각수 순환계통에 미치는 영향을 파악하기 위해 수치해석을 통하여 배수로 구간의 수위변화 또는 압력변화를 분석하였다.

2. 수치모형 및 입력자료

2.1 수치모형

x, y, z 방향의 유속을 모두 고려하여 수치모의를 수행하는 완전한 3차원 난류모형인 Flow-3D는 복잡한 3차원 형상의 표현을 위하여 FAVOR(Fractional Area/Volume Obstacle Representation Method) 기법을 사용하며, 이 기법은 모든 방정식에 면적과 체적에 관련된 함수인 Porosity Function이 포함되어 있고 계산격자 내에 존재하는 고체와 유체를 이러한 함수 값을 통해 구분하기 때문에 자유표면을 계산해야 하는 개수로의 유동해석에서는 계산격자의 수를 줄여 전체적인 계산시간을 절감시킬 수 있다. 따라서 복잡한 지형 내에서의 상세한 수면변화 해석을 수행하기 위해서는 이와 같은 Flow-3D 모형을 이용할 필요가 있다.

2.2 입력자료 구축 및 해석조건

Flow-3D에서는 3차원 CAD로 생성한 지형정보를 반영하므로, 그림 1과 같이 대상 영역을 3차원 CAD로 재현하였다. 해석영역은 배수로 암거 전구간과 개수로 일부구간이 포함되도록 그림 2와 같이 격자를 형성하였으며, 격자 정보는 다음과 같다.

- 격자수 : $207 \times 234 \times 35 = 1,695,330$ 개
- 격자간격 : 표 1

구 분	x 방향	y 방향	z 방향
최 소	0.59	0.30	0.24
최 대	4.22	4.15	1.04

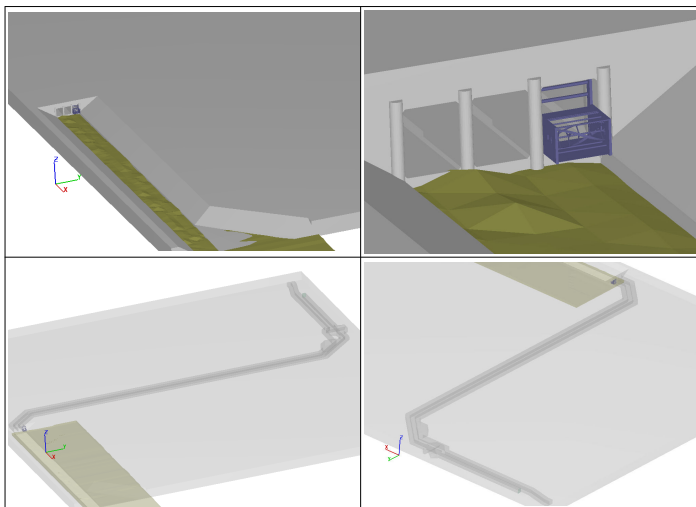


그림 1. 하동화력 배수로 지형 재현

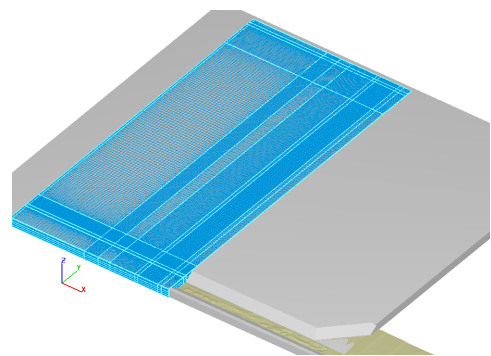


그림 2. 해석영역 격자 구성도

해석 조건은 고극조위 및 평균해수위시 최대 방류 조건으로 검토 하였으며, 계산 시간을 줄이기 위하여 총 3열의 배수로 중 1~2호기 배수로 1열만 고려하였다. 수차구조물은 그림 1에서 보듯이 암거 출구부에 그림 3과 같은 가로 3.6 m × 세로 1.5 m의 헬리컬 수차 1 set를 설치한다. 실제의 수차구조물 형상을 해석에 그대로 반영할 경우 전체 해석영역에 비해 수차구조물이 상대적으로 매우 작고 정교하여 계산이 사실상 불가능하기 때문에 수차구조물 영역을 다공매질 (porous medium) 형태로 반영하였다. 그림 3과 같이 직사각형 형태의 porous 영역을 생성하였으며, 3차원 CAD에서 체적을 산정하여 82.8%의 공극률을 반영하였다.

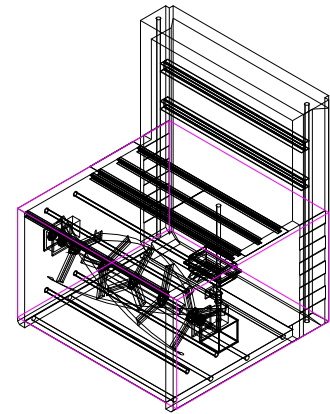


그림 3. 수차구조물부 porous medium 영역

○ 해석 조건

- Case 1 : 평균해수위(EL. -0.355), 최대 방류(52 m³/s)
- Case 2 : 고극조위(EL. + 2.358), 최대 방류(52 m³/s)

3. 해석 및 검토 결과

3.1 Case 1 - 평균해수위

대부분의 화력 및 원자력발전소에서는 발전효율을 높이기 위해 복수기(condenser)에 일정한 유량의 냉각수를 지속적으로 공급해 주어야 하므로, 조위차가 큰 남서해안의 경우, 배수암거 하류단의 해수위 변동이 내부계통의 냉각수 유량에 영향을 미치지 않도록 배수계통 내에 seal well(閉井)이라는 완충구조물을 둔다. seal well은 중앙부의 위어를 중심으로 상·하부에 각각 수조를 설치하여 하류 수위변동이 상류에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 한 구조물이다. 따라서 하류 수위증가에 따른 계통에의 영향검토를 위해서는 seal well 상·하단의 수위 및 압력변화를 살펴보아야 한다. 앞서 설명한 바와 같이 1~2호기 배수로에서 우선 최대 방류량 및 평균해수위 조건에 대해 살펴보았는데 최대 방류가 되어도 seal well 이후 하류구간에서 만관이 되지 않는었다. 그림 5는 seal well 이후부터 배수암거 끝단까지의 구간 평균수위의 시간별 변화를 나타낸 것이다. 수차구조물이 설치될 경우 설치 전인 현상태에 비해 수위가 약 8cm 증가하였다. 그러나 seal well 위어에서의 월류고보다 낮아 완전월류가 됨으로써 seal well 상류구간에 영향을 미치지 않는었다. 그림 6~8과 같이 seal well의 위어 통과지점에서의 유속과 압력은 수차구조물 설치 전후의 차이가 없었다.

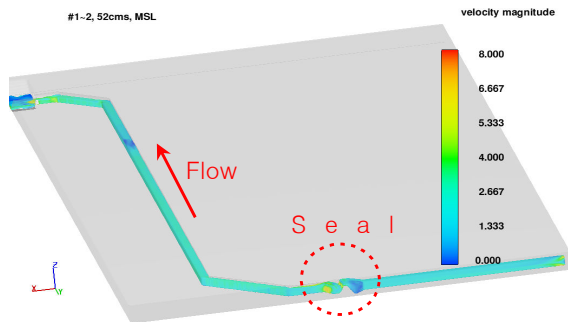


그림 4. 배수로 3차원 유속분포도 (평균해수위, 수차 설치시)

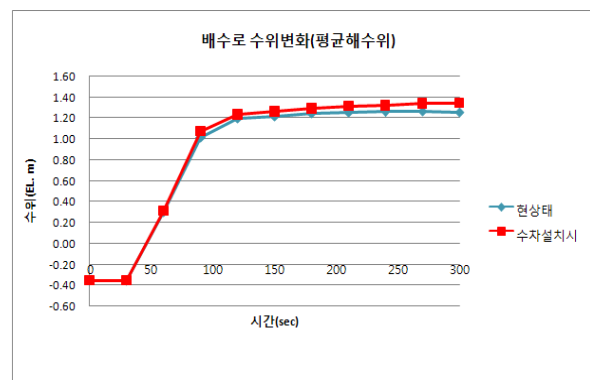


그림 5. Seal Well 하류구간 수위변화 (평균해수위시)

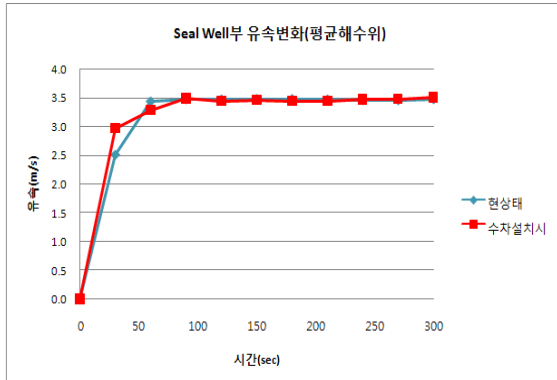


그림 6. Seal Well부 유속변화(평균해수위시)

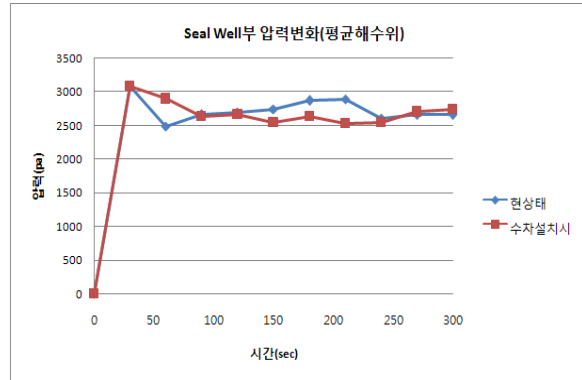
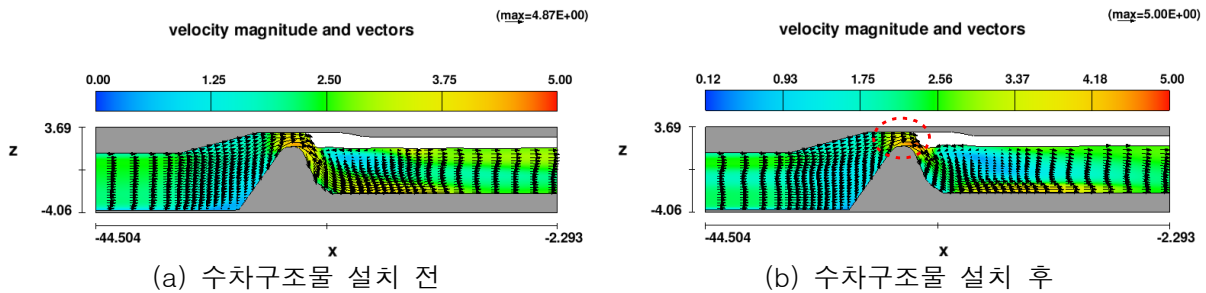


그림 7. Seal Well부 압력변화(평균해수위시)



(a) 수차구조물 설치 전

(b) 수차구조물 설치 후

그림 8. Seal Well부 종단면 유속분포도(평균해수위시)

3.2 Case 2 - 고극조위

고극조위시에는 해수위와 배수로 천장 높이의 차가 0.5 m 이내이기 때문에 방류시 배수암거 대부분의 구간에서 만관이 되었다. 따라서 배수암거 흐름이 만관 관수로 흐름이 되어 seal well 상류 및 내부계통에 영향을 미치게 된다. 해석 결과 그림 9~10에서 보듯이 배수암거 구간에서 수차 설치 전·후의 유속 차이는 없으나 압력분포에는 차이가 있었다. 그림 10은 seal well보다 상류구간에서의 압력변화 양상을 나타내는데, 수차구조물에서의 통수능 저하로 인해 압력파가 통수 개시 초기에 상부로 전달됨을 알 수 있다. 통수 개시 후 약 30초 경과 후에는 최상류부에서의 흐름이 암거 끝단에 도달하여 그 이후에는 수위와 유속이 일정한 상태로 흐름양상에 변화는 없으나, 수차구조물에 의한 압력파가 약 100초 경과 후부터 상류부에 전파되어 압력변화가 크게 나타났다. seal well부 도달 전인 상류구간에서의 수차 설치 전 압력변화 양상을 살펴보면 통수 개시 후 약 30초 경과 시점에서 약 70,000 pa(N/m², 수두환산시 7.18 m)의 높은 압력이 발생한 후 약 20,000 pa까지 감소했다가 점차 증가하여 약 300초 경과 후부터는 44,000 pa(수두환산시 4.48 m) 정도로 일정한 양상을 나타내었다. 그러나 수차 설치 후의 양상을 보면, 통수 개시 약 30초 경과 시점에서는 수차 설치 전과 마찬가지로 약 73,000pa의 압력이 발생하였으나 이후에는 수차설치 전과는 달리 약 10여분간 압력 변화 폭이 크게 나타나다가 점차 안정되어 가는 양상을 나타내었다.

이를 통해 수차 구조물 설치로 인한 고조위시 계통에의 영향을 다음과 같이 정리할 수 있겠다.

- 수차 구조물 설치 후에도 상류 구간에서 최대 압력부하의 증가가 거의 없다.
- 수차 구조물이 설치된 경우에는 통수 초기에 압력부하의 변화가 크나, 변화폭이 점차 작아지면서 안정해진다. 또한 압력부하 변화폭이 수차 설치 전의 최대·최소 범위를 넘지 않는다.
- 통수 개시 후 약 10분 경과 후에는 압력변화가 안정되나, 수차구조물 설치로 인한 수위 증가분에 해당하는 압력부하 증가분은 유지된다(약 0.1~0.2m 수두).

따라서 수차 설치 후에는 수차 설치 전에 비해 수차구조물에 의한 수위 증가분만큼의 냉각수 순환펌프의 운전 손실이 발생하며, 초기 약 10여분간 압력변화가 크나 수차 설치 전의 압력변화 범위를 벗어나지 않으므로 계통에 문제를 초래하지는 않을 것으로 보인다.

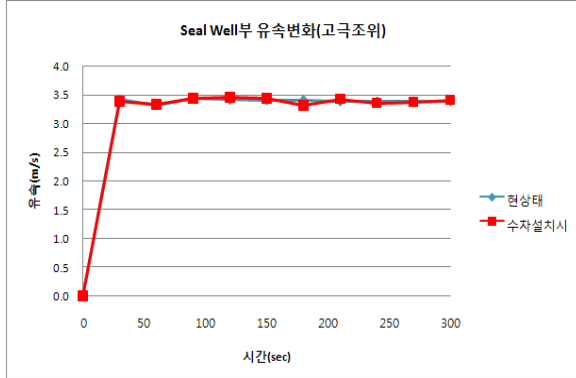


그림 9. Seal Well부 유속변화(고극조위시)

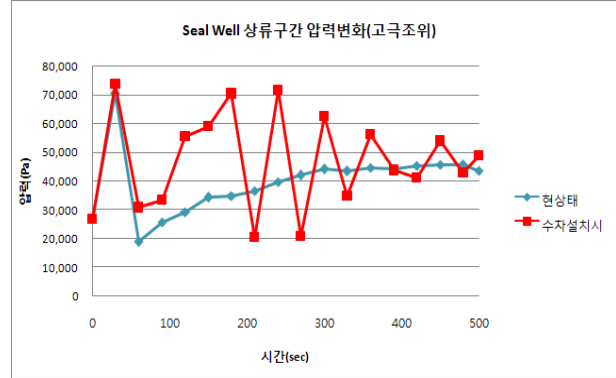
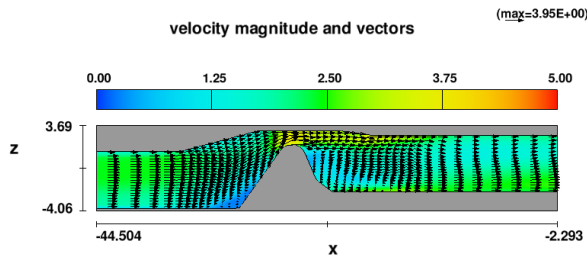
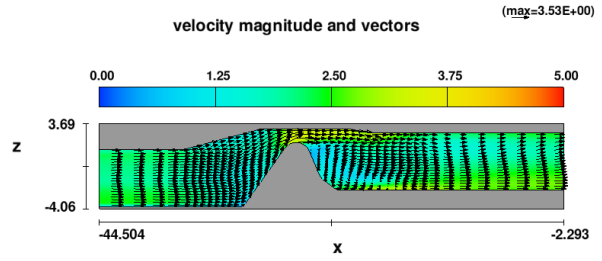


그림 10. Seal Well 상류구간 압력변화(고극조위시)



(a) 수차구조물 설치 전



(b) 수차구조물 설치 후

그림 11. Seal Well부 종단면 유속분포도(고극조위시)

4. 결론

이상에서 하동화력 배수암거 출구부에 조류식발전 수차구조물을 설치하는 경우 수위 증가가 seal well 상류 및 내부계통에 미치는 영향을 살펴보았다. 전산해석에 소요되는 시간이 커서 다양한 조위 조건에 대한 검토가 부족하여 수차구조물 설치시 seal well 후단에서 만관이 되는 시점을 찾아내지는 못하였으나 수차구조물 설치시 저조시에는 seal well 위에서 상부로의 영향이 차단되며, 가장 위험한 시기인 고극조위시 최대 방류가 일어나는 경우에도 냉각수 순환계통의 정상운전에는 문제가 없음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업(과제명 : 발전소 해수방수로 조류식발전시스템 개발)의 지원을 받아 추진되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 산업자원부(2006, 2007). 발전소 해수방수로 조류식발전시스템 개발(중간보고서).
2. 한국전력공사 전력연구원(2006). 하동화력 조류식발전 시험설비 설계보고서.
3. 이기혁(1996). 열발전소 배수암거에서의 surge 거동 수치해석, 석사학위논문, 한양대학교.