

열발전소 배수암거 부정류해석 수치모형의 개발 :
II. 모형의 적용

Development of Numerical Model for Unsteady Flow Analysis in
Discharge Culvert of Thermal Power Plant :
II. Model Application

윤성범* / 이기혁**

Yoon, Sung Bum / Lee, Kee Hyuck

Abstract

The behavior of surge induced in the discharge system of the thermal power plants by the sudden stop of cooling water pump is analyzed using the numerical model developed by Yoon and Lee (1997). Various effects, which are ignored earlier, such as discharge from internal system, air chamber and air inlet of seal well, manholes, open channel and sea are included. These effects on the surge behavior are systematically analyzed. Especially, the surge control effect and air pressure change in the air chamber associated with the area of air inlet are presented for easy application in practice.

Keywords: thermal power plant, surge, numerical model, control effect, practice

요 지

윤성범과 이기혁(1997)의 수치모형을 이용하여 열발전소의 펌프 비상중단시 냉각수 계통에서 발생하는 서어지 거동을 해석하였다. 종래에 무시되었던 기계내부계통으로 부터의 유량, 폐정공기실, 및 공기유출입구, 맨홀, 개수로 및 바다의 영향을 고려하였으며, 이들이 서어지 거동에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 특히 공기유출입구의 면적에 따른 서어지 제어효과와 공기실의 공기압 변화를 제시하여 실무에의 적용이 용이하도록 하였다.

핵심용어: 열발전소, 서어지, 수치모형, 제어효과, 실무적용.

* 한양대학교 공과대학 토목·환경공학과 부교수

** 한국전력기술(주) 토목구조기술처(전: 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정)

1. 서 론

최근 우리나라의 급격한 경제성장으로 전력수요가 급증하고 있으나, 환경문제 등으로 인한 지역주민과의 갈등으로 지속적인 신규부지 확보가 매우 어려운 실정이다. 그러므로 해안으로부터 상당히 떨어진 기존의 발전소 여유부지에 발전시설을 증설하거나, 신규발전소에 대해서도 대용량의 다수호기가 들어설 수 있도록 부지면적이 대형화되는 추세이다. 화력 및 원자력발전소에서는 발전에 사용된 막대한 양의 냉각수를 다시 바다로 되돌려 보내기 위한 배수암거를 필요로 한다. 부지가 매우 넓은 경우 기계계통으로부터 해안까지의 배수암거 길이가 1 km를 초과하는 발전소가 상당수 운영중에 있으며, 앞으로도 이러한 추세는 계속될 전망이다. 배수암거의 길이가 길어지면 냉각수펌프의 비상중단(trip-out)시 강한 서어지(surge)가 발생하여, 역흐름시 부지내에 해수가 범람할 위험성이 높으며, 극도의 안전성을 요구하는 원자력발전소에서는 이에 대한 방지대책을 필수적으로 수립해야 한다.

발전소 배수계통은 폐정(閉井, seal well), 공기실, 관로, 맨홀, 개수로 등 매우 복잡한 구조를 가지고 있으므로, 흐름도 단순 관수로 흐름과는 달리 복잡한 양상을 보인다. 따라서 매우 복잡하고 긴 배수계통을 가지는 화력 및 원자력발전소에서, 정상운전시 조석에 의한 해수위 변화에 대해 기계내부계통에서의 유량을 일정하게 유지시키고, 펌프비상정지시 부지내 해수범람을 방지하기 위한 구조물 설계가 가능케 하기 위해서는 서어지에 대한 정확한 해석이 이루어져야 한다. 현재까지

의 국내외 대부분의 연구들은 기계내부계통 관수로 조건에서의 압력과 거동에 대한 부정류 해석에 주안점을 맞춰왔다. Wood(1970), Chaudhry(1987), Wylie 등(1993)에 공기실(air chamber)을 이용하여 압력파를 완화시킨 예가 제시되어 있으며, 국내에서는 이재수 등(1995)이 이와 유사하게 공기실을 이용하여 압력파를 완화시키는 연구를 수행하였다. 이러한 단주기의 압력파와는 다른 장주기의 부정류 해석을 위해 본 연구에서는 1단계 연구에서 개발된 수치모형을 이용하여 복잡한 구조를 가지는 실제 발전소 배수계통의 부정류 해석을 실시하고 각 구조형식이 서어지 거동에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 개수로와 관수로 및 바다에 연결된 복합적인 부정류 해석은 처음 시도된다. 적용된 수치모형의 특징에 대해서는 1단계연구에서 자세히 소개되었으므로 본 논문에서는 현장적용만을 다룬다.

2. 냉각수 배수계통 현황

본 수치모형의 실제적용 대상으로 서해안에 현재건설 중인 발전소중 하나를 선정하여 배수암거에서 펌프의 비상정지시 발생하는 서어지 현상을 수치해석 하였다.

그림 1은 선정된 화력 발전소 냉각수계통의 개념도로써 접근수로에서부터 폐정 위어까지의 기계내부계통과, 위어로부터 바다에 이르는 기계외부계통을 보여준다. 접근수로의 수위는 EL. 7.364 m로 유지되며, 냉각수펌프(CWP)에 의해 초당 52 m³의 냉각수가 양수되어 복수기를 통과한 후, 폐정 위어의 상부수조에 도달하면 위어를 월류하여 기계외부계통으로 흐른다. 가장 높은 곳에 위치하는 복수기 사이폰의 표고가 EL. 12.5 m,

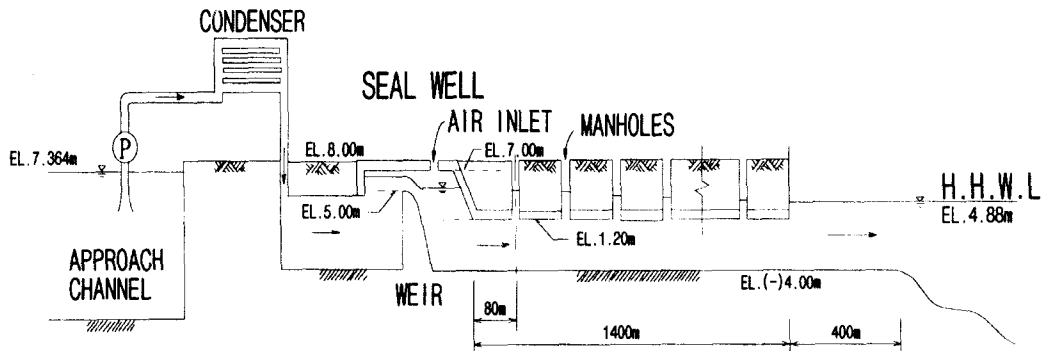


그림 1. 선정된 화력발전소 냉각수계통 종단개념도

위에 정부(crest)의 표고가 El. 5.0 m이므로 수두차는 최대 7.5 m를 유지하며 펌프중단시에도 사이폰이 작동할 수 있도록 되어 있다. 폐정은 위어를 중심으로 상부 및 하부의 2개 수조로 구성되어 있으며 수조의 면적은 평균적으로 상부수조 62 m², 하부수조 104.2 m²이다. 폐정의 천정은 El. 7.0 m상에 두께 1 m의 철근 콘크리트 슬래브구조로 덮여 있고, 공기의 유출입이 가능하도록 공기유출입구(air inlet)를 둔다. 폐정 하류부 배수암거는 길이 1400 m, 폭 4.7 m, 높이 5.2 m의 철근 콘크리트 박스로서, 저면은 El. -4.0 m, 천정은 El. 1.2 m의 지하매설 구조물이다. 특히 80 m마다 단면적 1 m²의 맨홀이 유자보수 및 공기유출입의 목적으로 설치되어 있다. 배수암거의 하류단은 평균해수면시 깊이 4 m, 길이 약 400 m의 개수로를 통해 깊이 10 m의 바다로 연결된다.

3. 수치실험

전술한 냉각수계통에서의 서어지 현상을 해석하기 위해 관로 및 공기실에 대해서는 앞의 논문의 1단계 연구의 식 (19)~(21)에 의한 유한차분 수치모형, 개수로에 대해서는 식 (22)~(23)의 수치모형 그리고 바다에 대해서는 식 (24)~(26)의 수치모형을 이용하였다. 기계외부계통 관로부분의 해석에 필요한 각종 상수 및 변수는 다음과 같다. 배수암거의 마찰계수 K 는 콘크리트의 Manning계수 n 을 0.013으로 가정하고, 수조로의 유입·유출구에 의한 손실계수를 마찰손실에 포함시켜 암거전체에 대한 평균 마찰손실계수로 환산한 다음 1단계 연구의 식 (5)에 의해 구간별로 산정하였다. 공기유출입구에서의 유량계수는 유출입구의 형상을 고려하여 0.80을 사용하였다(Vennard 와 Street, 1982). 냉각수계통중 기계내부계통은 냉각수펌프(CWP)로부터 폐정 중앙부의 위어에 이르는 계통으로 복수기(condenser)를 통하여 열교환이 이루어지는 소계통이다. 이 계통에는 펌프가 존재하며 또한 복수기에서 여러 다발의 작은 관(tube)이 복잡한 관망의 형태를 이루므로 부정류해석이 쉽지 않다.

본 연구의 실제적용 대상으로 선정된 화력 발전소(그림 1 참조)를 예로 들면 정상운전시에는 이 계통에 2개 호기의 냉각수 유량 52 m³/s가 정상상태로 흐르나, 갑자기 펌프가 중단되는 비상시에는 수격작용에 의한 주기 2초 이내의 단주기 압력파와 장시간 규모를 가지는 부정류가 동시에 발생한다. 이 장시간 규모의 부정류는 펌프가 동력을 상실하면서 정상상태의 유량 52 m³/s가

펌프흡입구 수두 El. 7.364 m와 내부계통의 말단부인 폐정 위어 상류부 수두 El.7.0 m의 차이에 의한 새로운 정상상태의 유량 약 14 m³/s로 진행되어 가는 시간에 대한 지수함수적으로 유량이 감소하는 과정을 의미한다.

본 연구는 압력과 해석보다는 약 100초 이상의 시간 규모를 갖는 장주기 서어지 해석에 주목적이 있으므로, 장주기 거동에 영향을 미치지 않는 압력파를 제거한 장시간 규모의 부정류해석만 수행한다. 이 장시간 규모 부정류해석은 내부계통의 관망이 매우 복잡하므로, 1단계 연구의 식 (4)를 직접 적용하기 위해서는 관망을 단일관로로 환산하여 A/l 과 K 를 구하는 작업이 요구된다. 이를 위해 단주기 압력파와 장시간 규모의 부정류를 동시에 해석할 수 있는 상용용 코드 LIQT (Stoner Associates, 1989)를 이용하여, 내부계통의 상하류수위차 $\Delta H=0.364$ m에 대한 초기유량 52 m³/s의 유량 변화 과정을 해석하고, 이로부터 이동평균을 취해 압력과 성분을 제거하여 장시간 규모의 부정류 성분을 분리하였다. 또한 1단계 연구의 식 (4)에 A/l 과 K 를 가정하여 구한 장시간 규모 부정류 해석결과와 비교하여 전시간 구간에 걸쳐 부정류 거동이 거의 일치할 때까지 시행착오과정을 수행함으로써, 단일관로로 환산된 A/l 과 K 를 구했으며, 그 결과는 다음과 같다.

$$K = \left(\frac{3.985}{Q} + 1.536 \right) \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$\frac{A}{l} = \frac{1}{4.5} \quad (2)$$

여기서 마찰계수 K 값은 관내 유량이 감소할수록 증가하는 기존의 실험결과와 같은 경향을 보인다. 식 (1)과 (2)를 1단계 연구의 식 (4)에 대입하여 구한 장시간 규모 부정류 해석결과와 상용코드 LIQT에 의한 해석결과를 비교하면 그림 2와 같이 전해석시간구간에 대해

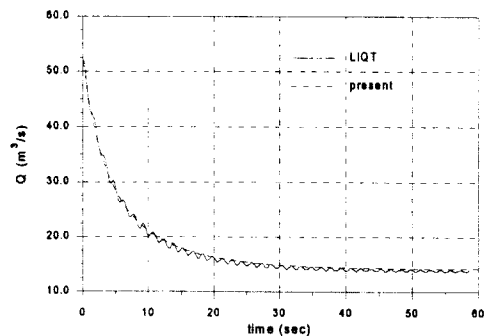


그림 2. 기계내부계통으로 부터의 유량변화

매우 흡사하게 나타나며, 이를 이용하면 기계내부계통과 외부계통을 연관시켜, 기계외부계통에서의 서어지 해석의 정확도를 높일 수 있다. 기계내부계통으로 부터의 유량은 기계외부계통의 서어지 거동에 영향을 주며 또한 영향을 받는 상호의존적이므로, 내부계통과 외부계통을 분리하여 해석할 수 없다. 상용코드를 이용한 전계통의 일괄해석은 두 계통간에 위어나 공기조절실 등이 존재하는 경우 이를 고려하기 위해 코드의 수정이 불가피하나, 상용코드가 수정이 불가능한 실행파일(execution file)이므로, 본 연구에의 상용코드 이용은 내부계통의 단일관로환산치 A/l 과 K 값 추정작업의 기준치제공에 국한되었다.

폐정위어의 유량계수는 당진화력발전소의 위어가 곡면형이므로 본 연구에서는 0.971을 사용하였다. 먼 바다에서의 수위는 냉각수 계통에 대한 최고위험조건인 최고해수면(HHWL) E1. 4.878 m에 대해 검토한다. 따라서 개수로의 평균수심은 8.878 m이다. 초기조건으로는 1, 2호기 정상운전시의 유량 52 m³/s가 전체 구간에 일정하게 흐르도록 하였으며, 이에 따른 각 구간의 마찰손실수두를 주어진 구간의 마찰계수 K 값과 거리 l 을 이용하여 구한 다음, 본 연구의 검토해수면인 최고해수위(HHWL) E1. 4.878 m에 순차적으로 더하여 각 맨홀과 폐정 상하수조의 수위를 정하였다. 계산시간 간격 Δt 는 0.1 sec로 개수로의 경우 Cr(Courant No.)이 약 0.1에 해당한다. 안정조건보다 필요이상의 작은 Cr 값을 사용한 이유는 폐정 천정부의 공기유출입구에 수면이 접촉 또는 분리되는 경우 짧은 시간사이에 단면적이 급격히 변하여, Δt 가 커질 경우 연속방정식이 정확성이 낮아지기 때문이다. 수치해석은 하류부 개수로 수위 경계조건, 맨홀, 기계내부계통, 폐정 공기실 등의 배수계통이 펌프비상중단시 발생하는 서어지 거동에 미치는 영향을 각각 파악하기 위해 표 1에 제시된 바와 같이 5가지 경우에 대해 수행되었다.

표 1. 각 수치실험에 고려된 사항 (○:고려, ×:불고려)

수치 실험	개수로수위경계	맨홀	기계내부 계 통	바다	공기실
1	고정/변동	×	×	×	×
2	변동	○	×	×	×
3	변동	○	○	×	×
4	변동	○	○	○	×
5	변동	○	○	○	○

기존의 서어지 거동해석법은 맨홀, 기계내부계통 및 공기실의 영향이 무시된 단순화된 배수계통(단일관로로 연결된 2개의 수조)에 대해 개수로에서의 수위를 고정시키고 해석해인 1단계 연구의 식(27)과 (28)을 이용하여 왔다. 그러나 이 방법은 1단계 연구에서 지적된 바와 같이 배수암거 하류단에 고정수위를 적용하면 하류단에서의 방사감쇠(radiation damping)을 방해하여 서어지 발생시 역흐름이 증대되는 단점이 있다.

실험은 이러한 문제점을 분석하고 배수암거 하류단에 변동수위 경계조건을 적용하여 문제점을 해결하고자 하는 목적으로 시도된다. 실험 2는 배수암거 중간에 80 m마다 설치되는 맨홀의 영향을 파악하기 위한 것이다. 실험 3은 펌프비상중단시에도 기계내부계통으로부터 관성에 의해 폐정으로 공급되는 유량의 영향을 분석하기 위한 것이며, 실험 4는 실제와 같이 길이 400 m의 개수로 하류단이 바다에 접해있는 경우 바다의 영향을 알아보기 위해 실시된다. 마지막으로 실험 5는 공기실과 공기유출입구가 서어지 제어에 미치는 영향을 분석하기 위해 기존 발전소에서 주로 사용되어 오던 아주 좁은 유출입구면적에 대해 수치해석이 실시된다.

3.1 하류부 수위조건의 영향 (실험1)

기존의 서어지 거동해석에서 주로 이용되던 하류부 고정 수위의 영향을 판단하기 위해 기계외부계통을 단순화한 단일관로에 연결된 2개의 수조 (폐정위어 하부수조 - 배수암거 - 개수로)에 대해 수치해석하였다. 수조 및 관로의 제원은 선정된 발전소에서와 같이 수조면적 $A_1=104.2 \text{ m}^2$, 관로길이 $l=1400 \text{ m}$, 관로 단면적 $A=24.4 \text{ m}^2$ 이며, 하류부 개수로는 수심 8.88 m, 폭 4.7 m를 가지며 길이는 무한한 것으로 설정하였다.

초기조건으로는 발전소 정상가동시의 유량 52 m³/s가 정상상태로 흐르고 있을 때 관로와 개수로 접합부 수위 E1. 4.878 m로 부터 상류쪽으로 관내찰에 의한 수두손실을 계산하여 폐정수조의 수위를 E1. 6.291 m로 하였다. 공기실은 고려하지 않으므로 수조의 천정은 열려 있어 수조수면이 항상 대기압하에 있다고 가정하였으며, 기계내부계통으로부터의 유량공급은 펌프정지와 동시에 중단된다고 가정하였다.

그림 3과 4에 보인 바와 같이 하류단 고정수위조건에 비해 변동수위조건 사용할 때 개수로에서의 방사감쇠에 의해 역흐름에 의한 상류부 수조수위 상승이 크게 감소되었다. 전반적인 서어지 거동은 1번째 역흐름에 의한 수위상승이 최대에 이르며 관내찰에 의한 에너지 소

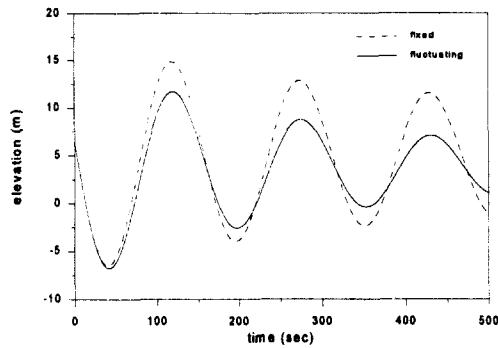


그림 3. 단순화된 배수계통에서 하류단 경계 조건에 따른 폐정수조에서의 수위변화 비교

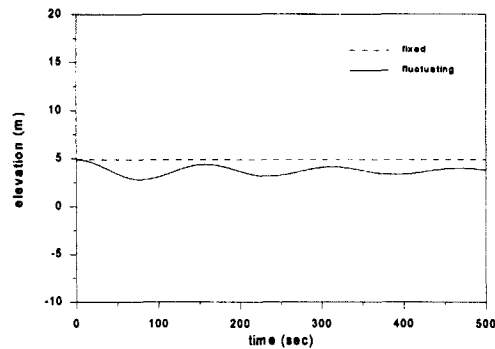


그림 4. 하류단 개수로 집합부의 수위변화 비교

모로 계속하여 진폭이 감소하는 전형적인 감쇠진동의 경향을 보인다. 발전소 배수암거 서어지 거동해석시 종래의 분석방법을 따라 배수계통을 실험 1에 보인 바와 같이 너무 단순화시켜면 역흐름시 매우 큰 수위상승이 계산되므로 기계내부계통과 공기실 등을 동시에 고려하는 해석이 필요하며, 하류단 개수로에 변동수위조건이 고려되어야 함을 알 수 있다.

3.2 맨홀의 영향 (실험 2)

실제 발전소에서는 유지보수와 조석승강에 따른 암거내 공기간흡을 방지할 목적으로 배수암거 중간에 80 m 간격으로 단면적 1 m^2 의 맨홀을 설치한다. 맨홀은 공기유출입이 자유로워 맨홀내 수표면이 항상 대기압에 있다고 가정하므로 배수암거내 흐름은 부분 개수로 흐름으로 변하여 중력파가 발생하게 된다. 이때 중력파의 전파속도는 전구간 개수로에서의 전파속도와는 다르다. 수치실험조건은 실험 1에서의 조건과 동일하며 배수암

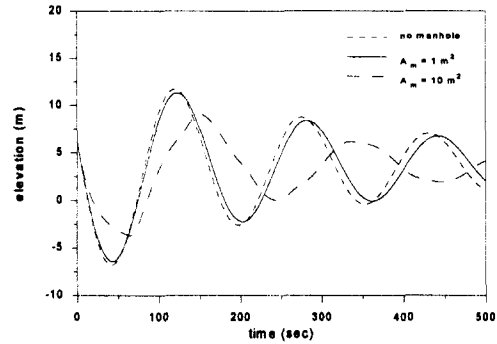


그림 5. 맨홀 단면적 A_m 의 변화에 따른 서어지 거동의 변화 비교 (폐정수조의 수위변화)

거상에 80 m 간격으로 단면적 1 m^2 의 맨홀이 설치된 점만이 다르다. 또한 맨홀 단면적의 효과를 파악하기 위해 맨홀 단면적 A_m 이 실제보다 10배 큰 경우에 대해서도 수치해석 하였다. 하류단 수위조건은 실험 1에서 변동수위를 사용하는 것이 물리적으로 타당한 것으로 밝혀졌으므로 이후의 모든 실험은 변동수위조건만을 사용한다. 그림 5에 보인 바와 같이 맨홀이 추가되면 맨홀의 저류효과에 의해 서어지의 진폭감소와 위상지체 현상이 발생한다. 맨홀 단면적이 1 m^2 인 경우에는 저류효과가 미미하나 맨홀단면적이 10 m^2 인 경우에는 맨홀이 없는 경우에 비해 상당한 진폭감소와 위상지체가 발생하였다.

3.3 기계내부계통의 영향 (실험 3)

3번째 실험으로 펌프중단시 흐름의 관성에 의해 기계내부계통으로부터 폐정으로 공급되는 유량이 서어지 거동에 미치는 영향을 검토하였다. 기계외부계통의 제원은 실험 2의 경우와 동일하며 상류측 수조에 기계내부계통을 접합시켰다. 기계내부계통은 매우 복잡하며 전술한 바와 같이 식(1)과 (2)를 이용하여 단일관로로 환산하여 적용하였다. 하류단 수위조건은 실험 2에서와 같이 변동수위조건만을 적용하여 계산하였다.

그림 6은 기계내부계통으로 부터의 유량을 무시한 경우와 이를 고려한 경우의 폐정수조의 수위변화를 보여 준다. 기계내부계통으로 부터의 유량을 고려하면 펌프 중단 후에도 유량이 어느정도 유지되어 서어지의 진폭이 57 %나 감소하였다. 그림 7은 기계내부계통에서 펌프중단 후에도 폐정으로 공급되는 유량의 시간변화를 보여준다. 초기 정상유량인 $52 \text{ m}^3/\text{s}$ 로부터 지수함수적으로 유량이 감소되어 약 $26 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 유지되어지다가,

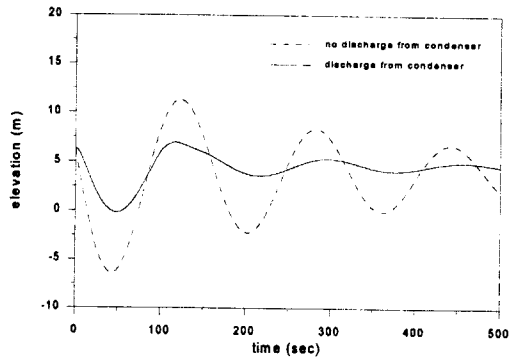


그림 6. 기계 내부계통으로 부터의 유량에 따른 폐정수조의 수위변화

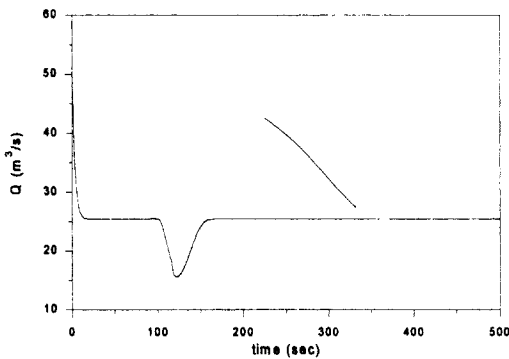


그림 7. 기계내부계통으로 부터의 유량

폐정하부수조의 수위가 최초 역흐름에 의해 위어 정부보다 상승하면 이의 영향으로 100초 근방에서 급격히 감소한다. 다시 폐정수조의 수위가 내려가면 기계내부계통으로 부터의 유량이 회복되어 26 m³/s로 유지된다. 2번째의 역흐름은 기계내부계통에 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

3.4 바다의 영향 (실험 4)

다음 실험으로는 실험 3의 경우와 동일하나 개수로의 길이를 400 m로 단축하고 개수로 끝에 수심 14.878 m의 바다를 연결시켰다. 바다에 대한 초기조건으로는 정상유량인 52 m³/s가 바다의 첫번째 격자로 계속 유입되어 정상상태에 이르도록 하였다. 그림 8에 보인 바와 같이 개수로의 길이가 무한히 긴 실험 3의 경우 배수암거 하류단에서 발생된 파는 개수로를 따라 전파되어 상류쪽으로 반사되지 않으므로, 상류수조에서의 역흐름에 의한 첫 번째 수위상승으로 부터 계속적으로 진

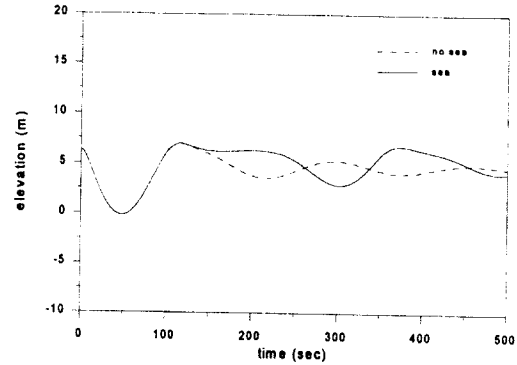


그림 8. 바다에 의한 반사파의 영향을 고려한 폐정수조의 수위변화

폭이 감소하는 전형적인 중복파의 감쇠진동 현상을 보였다. 그러나 길이가 유한한 개수로가 바다에 연결된 실험 4의 경우, 중력파는 바다접합부에서 일부는 외해로 계속 전파되며, 일부는 반사되어 상류쪽으로 전파되므로 실험 3의 경우와는 달리 최초 역흐름에 의한 수위상승 직후 바다 경계로부터의 반사파가 도달하여 그 영향이 강하게 나타났다. 이 반사파는 최초 수위상승에는 기여하지 못하였으나 2번째 수위상승시에는 중복되어 바다가 없는 경우에 비해 더 큰 수위상승을 유발한 것으로 보인다.

3.5 폐정 공기실의 영향 (실험 5)

폐정공기실은 폐정내 수위변동에 따라 공기가 압축·팽창하고 공기유출입구를 통하여 에너지 손실을 가져오므로, 공기실 없이 천정이 개방되어 있는 실험 1~4의 경우에 비해 서어지의 진동폭이 작아진다. 폐정공기실이 서어지 거동에 미치는 영향을 검토하기 위해 실험 4에서 검토된 배수계통에 대해 실제와 같이 폐정천정부를 설치하고 기존 발전소에서와 같은 면적 0.0432 m²의 좁은 공기 유출입구를 두었다.

그림 9는 폐정의 하부수조에서의 서어지에 의한 수위변동을 실험 4의 경우와 비교하여 나타낸 것으로, 공기 유출입구의 면적이 매우 작아 서어지 제어효과가 확실하게 나타난다. 하부수조의 수위는 펌프중단후 90 sec 근방에서 최고로 하강하여 El. 3.5 m에 이르며, 최고 상승수위는 정상운전시 보다 약간 낮은 El. 6.2 m 정도로서 천정고 El. 7.0 m보다 항상 아래에 있으므로, 범람의 위험이 없다. 또한 공기유출입시 에너지 감쇠효과가 우수하여 서어지의 진동폭이 작고 펌프중단후 500 sec정도 경과하면 서어지 운동은 거의 소멸한다.

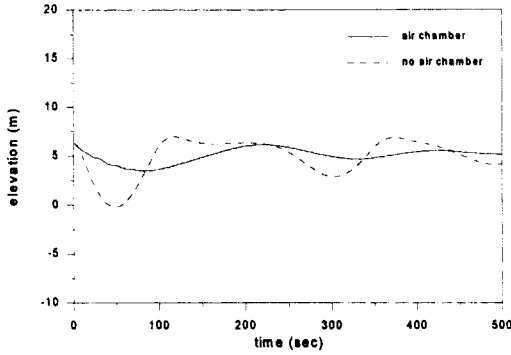


그림 9. 공기실의 영향을 고려한 폐정수조의 수위변화 ($A_a=0.0432m^2$)

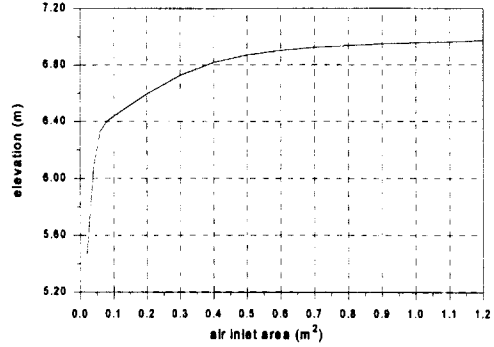


그림 11. 공기유출입구 면적에 따른 하부수조에서의 최고수위

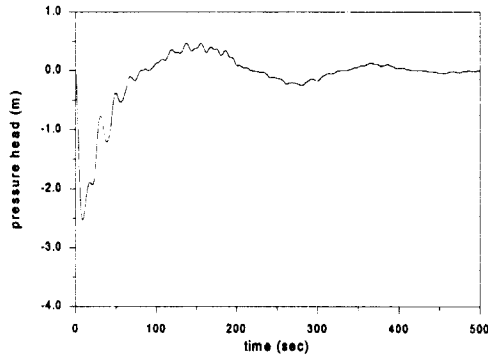


그림 10. 폐정 공기실의 공기압력 수두변화 ($A_a=0.0432m^2$)

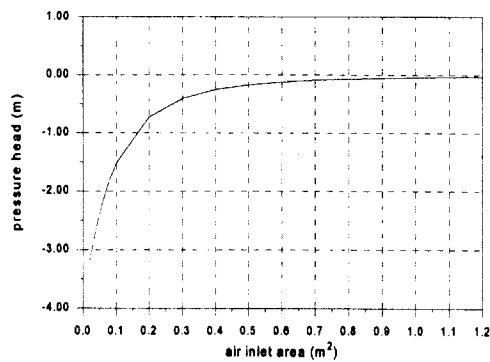


그림 12. 공기유출입구 면적에 따른 공기실내의 최대 부압수두

공기조절실에서의 공기 압력수두는 그림 10에서와 같이 서어지 중단 후 급강하여 최대 부압력수두가 (-)2.5 m에 달하므로 폐정의 콘크리트 구조물 설계시 이를 반영할 필요가 있다. 최대 정압력 수두는 (+)0.5 m 정도이다.

4. 최적 공기유출입구 면적 도출

폐정 구조물의 공기유출입구 면적은 정상운전시에는 조석에 의한 하류부 수위변동이 기계내부계통의 유량에 영향을 주지 않도록 공기실의 압력이 대기압을 유지해야 하므로 충분히 커야하며, 펌프 비상정지시에는 서어지를 제어하여 부지로의 해수범람이 없도록 작게 결정하여야 한다. 그러나 서어지 제어효과가 클수록 공기실 내부의 압력변화는 증가하고, 공기압력변화가 콘크리트 구조물에 해로운 영향을 줄 수도 있으므로 공기유출입구 면적이 너무 작아지지 않도록 해야한다. 본 연구에서는 공기유출입구 면적을 0.02 m²로부터 1.2 m²까지 단계적으로 변화

시켜, 폐정 하부수조에서 최초 반사파에 의한 최고 수위상승치와 공기실내의 최대 부압력수두를 구하고 이를 그림 11 및 12에 제시하였다.

그림 11은 공기유출입구 단면적 변화에 따른 폐정 하부수조에서의 서어지에 의한 최고수위상승을 나타낸 것으로, A_a 가 작을수록 서어지 제어효과가 확실히 나타나며 특히 A_a 가 0.05 m² 이하의 경우에는 정상운전시의 수위 E1. 6.291 m보다 서어지에 의한 수면상승고가 낮게 나타났다. 그림 12는 A_a 의 변화에 따른 공기실내의 최대 부압력 수두변화를 나타낸다. A_a 가 작을수록 공기실내의 부압력수두는 증가하여 A_a 가 0.02 m²일 경우 (-)3.2 m 정도이다. A_a 가 0.3 m²이상에 대해서는 공기실내의 최대 부압력수두가 (-)0.5 m 이하로서 콘크리트 구조물에 별다른 영향을 주지 않으며, 정상운전시 조석과 같이 매우 긴 주기(12 hr 이상)를 가지는 해수면 변동에 대해서는 실질적으로 대기압이 유지되어 기계내부유량에 영향을 주지 않는다.

6. 결 론

서해안에 건설 중인 화력발전소중 하나를 선정하고, 1단계 연구에 의해 개발된 수치모형을 이용하여 펌프 비상중단시 냉각수 배수계통에서 발생하는 서어지 거동을 수치해석 하였다. 실제 발전소는 기계내부계통, 폐정 공기실, 배수암거, 맨홀, 개수로 및 바다가 복잡하게 연결되어 있어 종래에 이용되던 폐정수조-배수암거-바다의 단순화된 배수계통에 대한 해석적인 방법으로는 정확한 예측이 곤란함을 알 수 있었다. 이에 대한 개선책으로 단순화된 배수계통에 순차적으로 개수로, 맨홀, 기계내부계통, 바다, 폐정공기실을 추가하여 해석하므로써 각각의 배수계통이 서어지 거동에 미치는 영향을 분석 하였다. 분석결과를 종합해 보면 다음과 같다.

(1) 배수암거와 폭과 깊이가 비슷하고 무한히 긴 개수로가 연결되었을 경우 방사감쇠에 의해 서어지 감쇠가 증가되었으며, 맨홀에 의해서도 감쇠효과가 발생하였으나 실제 발전소의 맨홀 단면적이 작아 그 효과는 미약하였다.

(2) 기계내부계통으로 부터의 유량은 펌프중단 직후에도 상당한 양의 유량이 공급되어 폐정수조의 최초 수위하강을 둔화시키므로 서어지 감쇠효과가 상당하였다.

(3) 개수로에 바다가 연결된 경우 경계에서 파가 일부 반사되어 개수로 효과가 감소하였으며, 공기유출입구 면적이 좁아질수록 공기실의 완충작용이 증대되어 서어지 감쇠효과가 우수함을 알 수 있었다.

(4) 공기유출입구의 면적에 따른 서어지 제어효과와 공기실의 공기압 변화를 그림으로 제시하여 실무에의 적용이 용이하도록 하였다.

감사의 글

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 윤성범, 이기혁 (1997). "열발전소 배수암거 부정류해석 수치모형의 개발(I) - 모형의 정립." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제30권 제6호, pp. 759-766.
- 이재수, 윤용남, 김중훈 (1995). "공기실을 사용한 압력수두의 완화효과에 대한 분석." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제28권 제5호, pp. 141-150.
- Chaudhry, M.H. (1987). *Applied hydraulic transient*. Van Nostrand Reinhold, N.Y.
- Stoner Associates (1989). *LIQT user guide*. Stoner Associates, INC, U.S.A.
- Vennard, J.K. and Street, R.L. (1982). *Elementary fluid mechanics*, 6th ed., John Wiley & Sons, New York, pp. 532-537.
- Wood, D.J. (1970). "Pressure surge attenuation utilizing an air chamber." *J. Hyd. Eng.*, ASCE, Vol. 96, No. HY5, pp. 1143-1156.
- Wylie, E.B. and Streeter, V.C. (1993). *Fluid transient in systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- (최종본 접수일 : 1997년 12월 2일)