APR에서 사용하는 SDS 특성 분석에 관한 연구

A Study on the Analysis of Characteristics for Safety Depressurization System of Advanced Power Reactor

이해철*

Lee, HaeChul

Abstract

The purpose of this study analysis is evaluation of Safety Depressurization System function on PWR plant. The Safety Depressurization System is a system which releases steam from the pressurizer of Reactor Coolant System(RCS) and depressurizes RCS. There is a similar system in Boiling Water Reactor(BWR) type plant but the SDS with In-Containment Refueling Water Storage System(IRWST) is a new system to Pressurized Water Reactor(PWR). The current worldwide trend in a new PWR design is to implement a SDS with IRWST because of the advantages in installing IRWST. There have been also trials to install a SDS with IRWST to newly ordered domestic plant was that the domestic technical level for analysis and design of the system was not sufficient to do work.

Key words : Pressurized Power Reactor(PWR), Safety Depressurization System(SDS), Advanced Power Reactor(APR), In-Containment Refueling Water Storage Tank(IRWST), Boiling Power Reactor(BWR)

요 지

안전감압시스템(SDS)의 주요 기능은 시스템의 압력이 운전 제한치를 초과하는 비정상적인 상황이 일어날 경우에 빠른 시간 내에 안정적으로 발전소의 압력을 감압시켜 발전소를 정상화하는데 그 목적이 있기 때문에 이러한 기능을 만족시키기 위한 안전감압시스템의 설계 인자가 무엇인가를 찾고자 하였다. 시스템의 압력을 조절하는 가압기 상단부분의 안전 감압밸브를 열어 증기를 배출함으로 시스템의 압력을 낮추는데 증기 배출을 위한 배관 설계에 있어서 배관내의 과도 유동 상태를 실제 발전소 여건에 맞도록 전산 프로그램을 개발하여 안전감압시스템의 배관에서의 증기의 과도 유동 해석을 수행하였고 그 결과를 토대로 안전감압시스템의 배관 및 배관 지지대 설계에 활용하고자 하였다.

핵심용어 : 가압경수로형 원자력발전소, 안전감압시스템, 신형 원자력발전소, 재장전수 저장탱크, 비등경수로형 원자력발전소

1. 서 론

지금 고유가 시대와 더불어 환경관리에 모든 선진국들이 심혈을 기울이고 있으며 에너지원 확보가 무엇보다도 큰 과제로 안고 있다. 그러나 현재까지 개발된 새로운 에너지원들은 이렇다 할 수 있는 성과를 거두지 못하고 있다. 이에 현재 가용한 에너지원으로 가장 합당한 에너지원인 원자력 에너지를 활용한 원자력 발전소의 건설이 유일한 방법이라는 결론을 최근 세계의 선진국들이 내고 있다. 국내에서도 이와 같은 세계적인 추이를 인지하고 정부의 방침을 설정하였고, 현재 우리나라의 전력에 있어서 40%이상이 원자력 발전소에서 공급하고 있으며, 조만간 50%에 도달할 것으로 예상된다. 일본 후쿠시마 원전 사고의 경우에서 알 수 있듯이 원자력 발전소는 무엇보다도 방사선 누출 사고와 같은 사고로부터의

안전성 확보가 중요하다. 사고 상황중에서 발전소 시스템의 압력이 증가될 경우에 이를 감압시키기 위해 설계된 시스템이 안전감압시스템이다. 본 연구는 원자력 발전소의 핵증기공급 시스템에서 안전감압 시스템에 대한 내용이다. 안전감압시스템은 발전소가 운전중 예기치 못한 비정상적인 이유로 시스템의 압력이 운전제한치의 110% 이상을 초과할 경우에 발전소를 빠르게 안정시키기 위한 시스템이다. 본 연구의 대상이 되는 발전소는 신형 원자력발전소(APR)로서 감압을 위해 방출되는 계통의 증기를 격납고에 설치되는 재장전수 저장탱크로 직접 분출하게 된다(H.H. Safwat, 1976). 증기분사기 설계에 있어서 고려해야 될 수력적 하중은 신고리 3, 4호기 신설개 개념에 의해 설계된 격납고 저장충수조(In-containment Refueling Water Storage Tank: IRWST) 설계 관련자료(Lubin, 1992)에 의하면 IRWST에 가장 중요하게 작용하는

*교신저자. 정회원. 신성대학교 제철산업과 교수(Tel: +82-41-350-1536, Fax: +82-41-350-1536, E-mail: lhc@shinsung.ac.kr)
Corresponding Author: Member. Professor, Department of Steel Industry, ShinSung University

하중은 안전/방출밸브의 순간 개방에 의한 물/공기 방출하중이라고 지적하고 있듯이 초기 물/공기 방출하중과 chugging 현상에 의한 압력변동 하중으로 나눌 수 있다. 과도 유동을 해석하기 위해 개발한 코드는 방출밸브의 개방시 발생하는 물/공기 방출하중 평가를 위해서 필요한 경계조건인 증기분사기에서의 유속 및 압력변화를 계산하기 위해 해석적으로 접근하여 분석할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 고압 및 고온의 증기가 안전감압시스템을 통과할 때에 배관 및 배관에 미치는 열·수력적 특성을 파악하고 또한 고에너지의 증기가 재장전수 저장탱크에 분출될 때 재장전수 저장탱크에 미치는 열 수력적인 특성을 분석하고자 한다.

2. 코드 개발

개발된 코드는 원자력발전소 설계에 적용된 안전감압시스템의 배관계에 있어서의 동적이며 동시에 수력적 특성을 분석 및 평가하기 위한 FORTRAN 프로그램으로서 가압기의 방출밸브 후단부터 IRWST 수조에 잠겨 있는 증기분사기 전단까지를 모델화하여 계산하도록 하였다. 안전감압시스템의 배관계는 발전소 정상 운전시에는 purge 등을 위하여 비응축성 비활성기체로 채워져 있으며 하류의 증기분사기 전단 부분은 수조속에 잠겨 있다. 이와 같은 초기 조건뿐만 아니라, 방출밸브 개방시에는 고온 및 고압의 물/수증기가 방출되면서 이것과 초기 비응축성 기체와의 움직이는 경계면이 형성되고, 또한 하류쪽으로 전달된 압력으로 인하여 초기 잠긴 부분의 물기둥의 이동도 모사되어야 한다. 그리고 비응축성 기체/물기둥의 경계의 소거(water clearing)와 수증기/비응축성 기체의 경계의 소거(air clearing)를 모사할 수 있어야 하며, Nakamura(1977), Hammitt(1980), Anderson(1984) 등 많은 연구에서 나타내어진다.

원자력 발전소의 안전감압시스템의 특성 분석을 위한 전용 프로그램의 계산에 대한 흐름을 나타내었다.

개발 프로그램의 주요 subroutine의 계산내용은 다음과 같다. 즉,

- MAIN : 계산시작과 입출력제어, 그리고 계산 정지
- SOLVE : 특성선법에 의한 방정식 계산
- VALVE : 가압기 방출밸브 개방 모사
- MDOT : 가압기 방출밸브를 통한 방출 유량계산
- INTERF : 방출유체중 가스/물과 수증기/가스의 경계면의 거동 계산
- USER : 사용자 입력 내용 및 계산 초기화, 주된 계산과 출력 제어
- INITIAL : 계산 초기조건 설정
- START : 매 계산시 주요 계산 제어
- PROPERT : 매 계산시 배관전체의 node에 대한 계산값 및 물성치 계산
- PRINT : 출력제어 등 이다.

1차 계통인 원자로냉각재계에 과도현상이 발생할 때, 안전감압계통에서의 압력 변화는 배관계의 기계적 건전성뿐만 아니라, 방출된 유체가 수조 내에서 기포를 형성하면서, 수조에 미치는 주기적 하중의 영향이 매우 크기 때문에 배관 내에서 유체의 거동 분석은 전체 증기 방출 계통의 특성을 파악하는데 중요한 요소가 된다. 또한 17.23 MPa의 포화압력 고압 상태의 가압기로부터 대기압 상태의 수조로 형성되는 기체 및 유체의 배관 유동은 어느 시점부터 이상 유동의 초킹(choking)을 유발하게 됨으로서 계통의 성능분석에 있어서도 배관 내의 유동현상분석은 필수적이다.

본 해석방법의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\text{질량보존방정식: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

$$\text{운동량보존방정식: } \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{f|v|}{D} \frac{v}{2}$$

에너지보존방정식:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{f v^2 |v|}{D} \frac{1}{2} - \frac{4h_c(T - T_{wall})}{\rho D}$$

계산 알고리즘은 특성방정식 및 초기/경계조건 등을 일정한 시간간격격자를 사용하여 물, 공기, 그리고 증기에 대해서 시간에 대한 explicit기법을 사용한 유한차분법을 적용하여 정리하면 다음과 같은 차분식으로 표시된다.

$$(p_P - p_R) + \rho_R a_R (v_P - v_R) =$$

$$\frac{f_R \rho_R}{D} v_R |v_R| \{ (k-1) v_R - a_R \} \Delta t - \frac{4h_c \left(\frac{p_R}{\rho_R R} - T_{wall} \right)}{D} (k-1) \Delta t$$

$$(p_P - p_S) + \rho_S a_S (v_P - v_S) =$$

$$\frac{f_S \rho_S}{D} v_S |v_S| \{ (k-1) v_S - a_S \} \Delta t - \frac{4h_c \left(\frac{p_S}{\rho_S R} - T_{wall} \right)}{D} (k-1) \Delta t$$

$$(\rho_P - \rho_Q) - \frac{1}{a_Q^2} (\rho_P - \rho_Q) =$$

$$-\frac{1}{2D} \left(f(k-1) \frac{\rho_Q}{a_Q^2} v_Q^2 |v_Q| \Delta t - \frac{4h_c}{a_Q^2 D} \left(\frac{p_Q}{\rho_Q R} - T_{wall} \right) (k-1) \Delta t \right)$$

여기서 아래첨자 R , S , 그리고 Q 는 특선곡선이 격자점 사이에 존재할 경우는 두 격자점값에서 선형보간법에 의해 값을 구해 계산을 수행한다. 상태방정식은 stream table(Crane, 1982)을 사용하였다.

프로그램의 주요 입력변수 내용(subroutine USER)은 다음과 같다. 즉,

TIME : 계산 시간 (sec.)
 DT : time increase for a time step (sec.)
 DX : axial distance for a node or cell (m)
 NL : node number for total tube length
 TIMEL : 계산 종료 시각 (sec.)
 PO : 가압기 초기 압력 (Pa)
 TO : 가압기 초기 온도 (K)
 RHOO : 가압기 내 유체 초기 밀도 (kg/m^3)
 RHOA : 배관내 비응축성 개스 초기 밀도 (kg/m^3)
 RHOW : 배관내 물기둥 초기 밀도 (kg/m^3)
 PATM : 대기 압력 (Pa)
 ZETA : 배관 출구에 연결되는 증기분사기의 전체 압력 강하 계수
 FR,FS,FQ : 배관 마찰계수
 VOT : 밸브 개방 시간 (sec.)
 DTRT : 밸브 목 지름 (m)
 DO : 배관 내경 (m)
 HTC : 배관과 유체사이의 열전달계수 ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
 TWALL : 배관벽의 온도 ($^{\circ}\text{C}$) 등 이다.

3. 결과 및 토의

안전감압시스템의 배관에서의 유동해석은 전산 코드를 개발하여 현재 가동중인 가압경수로 영광 3,4호기 배관계(Ju K, 1993)를 참고하여 Table 1을 작성하고 각각의 경우에 대해 해석을 하였다.

가압기에서 안전감압시스템을 통해 17.24 MPa의 포화증기가 채워져 있으며, 방출밸브 대 방출배관 면적비를 1:10, 방출배관의 내경은 36.67 cm의 경우와 20.32 cm 경우에 대해 분석하였고 밸브 개방 시간을 5밀리초 그리고 물에 잠김 깊이는 0.5 m이며 밸브 후단과 물이 잠긴 부분까지의 배관 내에는 공기가 차 있는 경우를 선정하였다.

마찰계수는 0.0215로 전 배관에 일정하다고 가정하였으며 배관 전체 길이는 26.1 m 경우와 43.5 m인 경우에 대해 분석하였다. 그리고 저장 탱크의 수조압력을 0.1 MPa로 유지하도록 하였다.

Fig. 1에서 Fig. 3까지는 배관의 길이에서 1/3지점, 2/3지점 그리고 배관의 끝 지점에서의 압력을 시간에 따라 변화하는 추이를 해석하여 얻은 결과다. 초기 안전감압시스템의 밸브가 열리는 시점인 17.24 MPa에서 밸브가 닫히는 시점인 15.17 MPa까지 0.69 MPa씩 변화를 주어가면서 각각의 경우에 대한 분석을 수행하였다. Fig. 1에서 0.08초 지점에서 증가되던 압력의 변화가 잠깐 감소되는 현상을 볼 수 있다. 이는 압력파가 배관의 하단으로 전달되던 중에 물과 공기면에

Table 1. Case Map for Analysis of Pressure Variation at inside of Discharging Pipe

Group	Case	Initial Pressure at Pipe Inlet	Factor2 : iameter (DO)	Factor3 : Pipe Length (DX * NL)
Group A	Case1	17.24MPa	0.3667 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
	Case2	16.55MPa	0.3667 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
	Case3	15.86MPa	0.3667 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
	Case4	15.17MPa	0.3667 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
Group B	Case5	17.24MPa	0.2032 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
	Case6	16.55MPa	0.2032 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
	Case7	15.86MPa	0.2032 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
	Case8	15.17MPa	0.2032 m	0.3 M * 87 = 26.1 m
Group C	Case9	17.24MPa	0.2032 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
	Case 10	16.55MPa	0.2032 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
	Case 11	15.86MPa	0.2032 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
	Case 12	15.17MPa	0.2032 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
Group D	Case 13	17.24MPa	0.3667 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
	Case 14	16.55MPa	0.3667 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
	Case 15	15.86MPa	0.3667 m	0.5 M * 87 = 43.5 m
	Case 16	15.17MPa	0.3667 m	0.5 M * 87 = 43.5 m

Fig. 1. Pressure Variation at 1/3 of Pipe Length ($f=0.0215$, $L=26.1$ m, $D=0.3667$ m, Initial Pressure 17.24 MPa ~ 15.17 MPa)

Fig. 2. Pressure Variation at 2/3 of Pipe Length ($f=0.0215$, $L=26.1$ m, $D=0.3667$ m, Initial Pressure 17.24 MPa ~ 15.17 MPa)

Fig. 3. Pressure Variation at end of Pipe ($f=0.0215$, $L=26.1$ m, $D=0.3667$ m, Initial Pressure 17.24 MPa ~ 15.17 MPa)

Fig. 4. Velocity Variation at 1/3 of Pipe Length ($f=0.0215$, $L=26.1$ m, $D=0.3667$ m, Initial Pressure 17.24 MPa ~ 15.17 MPa)

Fig. 5. Velocity Variation at 2/3 of Pipe Length ($f=0.0215$, $L=26.1$ m, $D=0.3667$ m, Initial Pressure 17.24 MPa ~ 15.17 MPa)

Fig. 6. Velocity Variation at end of Pipe Length ($f=0.0215$, $L=26.1$ m, $D=0.3667$ m, Initial Pressure 17.24 MPa ~ 15.17 MPa)

서의 압력 반송이 압력 증가 변화에 영향을 주고 있는 현상을 설명해 주고 있다. 이같이 압력 반송의 영향은 Fig. 2에서 보여 주는 것처럼 2/3지점에서는 1/3지점에서 보다 다소 일찍 영향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3의 배관 하단에서의 압력 변화는 시간이 대략 0.23초가 경과한 후 급격한 압력 하강의 현상을 보여 주고 있다. 이 시점은 배관 하단에 차 있었던 물이 완전히 배관을 빠져 나간 시점에서 압력의 변화를 보여 주고 있는 것이다. 이 시점이 Water Clearing되는 시점임을 알 수 있다.

Fig. 4에서 Fig. 6까지는 같은 조건에서 유량 속도의 변화를 보여 주고 있다. Fig. 4에서 보여 주듯이 초기에 유량의 속도가 갑작스럽게 증가하다가 0.025초 시점부터 서서히 속도가 감소되는 현상을 보인다. 이어 Fig. 1에서 Fig. 3까지는 앞의 압력 변화에서와 같이 반압으로 인한 영향으로 0.08초에서 속도가 큰 폭으로 감소함을 알 수 있다. 0.226초 이후에는 유량의 속도가 다시 큰 폭으로 증가하고 있음을 보여 주고 0.32초 이후부터는 유량의 속도가 안정적으로 유지되고 있음을 나타낸다. 이는 배관 하단에서 반압의 영향을 주고 있었던 물이 빠져나가면서 일정한 압력과 속도가 유지되고 있음을 나타내고 있다.

Fig. 7에서 Fig. 11까지의 데이터는 초기 압력이 17.24 MPa

Fig. 7. Pressure Variation at end of Pipe vs Time (Pressure = 17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

경우에 배관의 하단 끝에서 압력, 유량 속도, 음속도, 밀도, 온도 및 증기 유량의 변화를 보여 주고 있다. Fig. 3에서와 마찬가지로 Fig. 7의 대략 0.23초 시점에서 배관내의 차 있었던 물이 수조로 빠져나가고, 공기가 이를 통과하고 있는 현상을 보임을 알 수 있다.

Fig. 8에서는 유량의 속도가 비슷한 시간에서 속도가 큰

Fig. 8. Velocity Variation at end of Pipe vs Time (Pressure =17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 11. Temperature Variation at end of Pipe vs Time (Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 9. Sound Velocity Variation at end of Pipe vs Time (Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 12. Flow Rate Variation at end of Pipe vs Time (Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 10. Density Variation at end of Pipe vs Time (Pressure =17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 13. Pressure Variation at each Point of Pipe (Initial Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

폭으로 증가하고 있음을 알 수 있으며 Fig. 9, Fig. 10 그리고 Fig. 11에서의 음속도, 밀도 그리고 온도의 변화도 같은 시점에서 크게 변화를 했음을 알 수 있다. Fig. 12에서 보여주는 유량의 변화도 지속적으로 증가하다가 같은 시점에서 물이 완전히 빠져나가면서 더 이상의 유량은 존재하지 않고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 13과 Fig. 14는 초기 배관 입구 압력이 17.24 MPa

조건에서 배관의 입구, 1/3지점, 2/3지점 그리고 끝부분에서 압력과 속도의 변화를 보여 주고 있다. 각 구간별로 압력과 가 전달되는 시간이 있음을 보여주고 있으며 배관의 유동 조건에 따라 압력 및 속도의 변화를 나타내고 있다.

Fig. 15에서 Fig. 18까지의 데이터는 초기 배관의 압력이 17.24 MPa조건에서 전체 배관 길이에서 시간별 변화되는 압력, 속도, 음속도, 밀도의 변화를 보여 주는 자료이다. Fig.

Fig. 14. Velocity Variation at each Point of Pipe (Initial Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 17. Sound Velocity Variation at each Point of Pipe vs Time (Initial Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 15. Pressure Variation at each Point of Pipe vs Time (Initial Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 18. Density Variation at each Point of Pipe vs Time (Initial Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 16. Velocity Variation at each Point of Pipe vs Time (Initial Pressure=17.24 MPa, $f=0.0215$, $L=26.1$ m)

Fig. 19. Flow Rate Variation at Case 1 vs Case 5 ($f=0.0215$, $L=26.1$ m)

15에서 초기 0.01초의 경우에는 압력이 5 mm까지만 전달되었음을 알 수 있고, 0.06초 시점에는 이미 압력파가 배관 하단부까지 전달되고 배관에 차있던 물의 반압으로 압력이 역으로 증가되고 있음을 알 수 있다. 그리고 0.21초가 지난 후에 0.26초에서는 물이 배관을 빠져 나감으로서 급격히 압력이 줄어 들고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 19는 관의 길이가 26.1 m이고, 관의 직경이 각

0.2032 m와 0.3667 m일 경우에 유량에 대한 데이터로 배관의 직경이 증가함에 따라 유량의 변화폭은 크게 나타났으며 물이 배관을 빠져나가는 water clearing 시점은 배관의 직경이 작은 상황에 비하여 늦음을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 배관의 길이가 26.1 m에서 43.5 m로 변경된 Fig. 20의 경우에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 배관의 길이가

Fig. 20. Flow Rate Variation at Case 9 vs Case 13 ($f=0.0215$, $L=43.5$ m)

Fig. 23. Pressure Variation of 2/3 Pipe Length at Each Case ($f=0.0215$)

Fig. 21. Pressure Variation of Inlet of Pipe at Each Case ($f=0.0215$)

Fig. 24. Pressure Variation of end of Pipe at Each Case ($f=0.0215$)

Fig. 22. Pressure Variation of 1/3 Pipe Length at Each Case ($f=0.0215$)

길어진 경우에는 중간에 반압으로 영향이 한차례 더 발생하였음을 알 수 있는 유량의 구배가 있었다.

Fig. 21에서 Fig. 24까지의 데이터는 배관의 각 지점에서 초기 압력의 조건이 17.24 MPa 경우에 배관의 직경과 길이가 다를 경우에 대해 해석한 자료를 보여주고 있다. Fig. 21에서 배관의 길이가 26.1 m인 Case 1과 Case 5의 경우는 관의 직경이 작은 Case 5에서 초기 압력의 증폭이 가장 크

게 나타나고 있음을 알 수 있었고 상대적으로 배관의 길이가 길고 배관의 직경이 큰 경우에는 압력의 변화가 다른 3개의 경우에 비해 상당히 안정적으로 변화를 하고 있음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 24의 배관 끝부분에서 나타나는 현상처럼 관의 직경이 작고 관의 길이가 가장 작은 Case 5의 경우가 가장 빠른 속도로 물이 빠져 나갔음을 알 수 있었고, 관의 길이가 상대적으로 길고 관의 직경도 큰 Case 13에서 물이 가장 느리게 빠져 나가는 현상을 볼 수 있었다.

5. 결 론

- 1) 밸브가 열린 후 약 배관의 2/3지점까지는 배관의 압력이 초기 배관 압력인 17.24 MPa 최대 15%이상인 19.9 MPa까지 높았음을 알 수 있었다. 이는 배관 하단 부분부터의 반압이 있을 후, 이로 인해 압력이 급격히 상승하였음을 알 수 있었다. 이는 배관 설계시 배관 하단 부분부터의 반압으로 인해 추가적인 압력 상승이 배관의 상부에 미칠 수 있음을 보여 주는 현상으로, 배관의 설계시 실제 배출 압력보다 설계치를 높게 설계해야 함을 알 수 있었다. 이와 더불어, 배관 지지대의 설계를 위한 기초 입력 자료로서 실제 운전 압력보다 충분한

Margin을 갖은 설계를 해야 함을 알 수 있었다.

- 2) 배관길이에 따른 압력의 변화를 고찰한 결과를 보면, 초기의 압력파가 대략 0.075초 이후부터 배관 하단부분의 물로 인한 반압의 영향이 있었고, 대략 0.1 MPa 정도 감압되었음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 배관의 상단부가 배관의 하단부보다 물에 의한 반압의 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다. 이는 추후 배관 설계 시에 물 때문에 발생하는 반압의 크기 정도를 정확히 파악할 필요성이 있고 이에 따른 해당 부분에 지지대의 설계에 참고가 되겠다. 이와 같은 정보는 유량의 속도결과로부터 다시 확인할 수 있었다.
- 3) 배관길이에 따른 압력과 유량의 속도 변화에서 보여주는 것처럼 압력파가 배관 입구에서 하단으로 전달된 후, 대략 0.23초 이후 시점에서 배관속의 물이 배관으로부터 빠져 나갔음을 알 수 있고, 이는 배관의 길이와 직경의 차이에 따라 각각 시간과 압력의 변화 현상이 다름을 알 수 있었다. 따라서 배관의 직경 및 길이에 따른 배관 설계 및 배관 지지대의 설계가 달리 수행되어야 함을 알 수 있었다.
- 4) 배관의 직경과 길이가 다를 경우의 해석 결과를 비교해 본 결과, 배관의 단면적이 3.25배 정도 증가된 경우(직경이 0.3667 m인 경우) 압력의 최대값은 직경이 0.2062 m인 경우에 비해 2.8배정도 낮아졌음을 알 수 있었다.

실제 APR에서는 배관의 크기를 0.2032 m로서 보다 상세 배관 설계시 배관 직경에 따른 배관내에서의 압력 변화에 대한 자료를 바탕으로 현재 설계값에 대한 타당성 검토가 필요하겠다.

References

- H.H. Safwat, Analysis of the Safety Relief Valve Discharge Transients of a Boiling Water Reactor, 2nd International Conference on Pressure Surges, 1976, pp. E1/1-E1/17.
- From B.T. Lubin to R.S. Turk, System 80+ : Evaluation of SRS and IRWST Designs; Summary of Design Review Meeting, FSP-92-011, Jan. 30, 1992.
- S. Nakamura, Computational Methods in Engineering and Science, John Wiley & Sons, 1977.
- D.A. Anderson et al., Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, McGraw Hill, 1984.
- F.G. Hammit, Cavitation and Multiphase Flow Phenomena, McGraw-Hill, 1980.
- Crane, Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe, CRANE Co., 1982
- Ju K. S-common-93-060: Young Kwang 5&6 SDS desing support reference, 1993.

-
- © Received April 1, 2013
© Revised April 19, 2013
© Accepted June 14, 2013