

주급수관 파단에 따른 내환경검증 침수분석용 전산코드 RETRAN의 적용 해석연구

박영찬* · 조천휘* · 홍성인*

(주)액트, *충남대학교 기계공학과

(2006년 8월 14일 접수, 2007년 9월 27일 채택)

A Study on Application Analysis Using RETRAN Computer Code for the Environmental Qualification Flood Analysis Following the Main Feed Water Line Break

Young-Chan Park[†], Cheon-Hwey Cho* and Sung-In Hong*

407, 1688-5 Sinil-dong Daedeok-gu Daejeon 306-230, Korea

*Department of Mechanical, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong, Daejeon 305-764, Korea

(Received 14 August 2006, Accepted 27 September 2007)

요 약

국내 1970년대에 설계 및 건설된 원자력발전소에 대해 침수분석을 수행한 결과 기기냉각수펌프 및 열교환기 건물, 주/보조건물, 중간건물 주증기 헤더 격실, 중간건물 주급수관 지역 및 하부층 등이 침수사고에 매우 취약하며 발전소 안전정지능력을 저해할 정도로 침수 영향이 심각한 것으로 판명되었다. 이들 지역에서의 침수원은 주급수관 파단이다. 현재 원자력발전소 내환경기기검증에서 주급수관 파단 방출량 계산은 수계산(Hand calculation) 방법으로 Henry-Fauske 임계유량 모델 사용하고 있다. 이 방법은 배관파단 위치에서의 차압으로 계산되며, 실제 원자력발전소의 각종 제어로직에 의한 격리신호를 반영하지 못하므로 지나치게 보수적으로 파단 방출유량이 계산된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 원자력발전소 열수력계통 해석 전산코드인 RETRAN을 사용하여 원자력발전소 일/이차측 계통과 제어로직을 모사하고, 주급수관 파단 방출량 분석을 위한 입력가정과 해석방법을 개발하였다. 침수위 분석은 웨스팅하우스형 원자력발전소 격납건물 외부 하부격실에 대해 적용하였다. 전산코드 해석에서 각종 제어계통과 로직을 고려하였으며, 가장 제한적 사고조건을 계산하기 위해 노심출력, 파단형태, 면적, 위치 등의 조합으로 구성된 18개 사고 사례를 분석하였다. 그 결과 가장 제한적 사례 분석에서는 기존 수계산 분석에서보다 파단 방출유량이 크게 줄었고, 하부격실의 침수위도 상당히 낮아졌다.

주요어 : 내환경기기검증, 침수분석, 주급수관 파단, RETRAN, 침수위

Abstract—Flood issue for nuclear power plants designed and built in 1970 is extremely severe for main steam header compartment and main feedwater line region of intermediate building and lower floor. A calculation for flood level at the main feedwater line isolation compartment is now performing by hand calculation. But, this methodology is quite conservative assumption. The goal of this study was to develop method to analyze flowrate using the RETRAN-3D computer code, and the developed method was applied to flood level analysis following main feedwater line break. As a result of analysis, flood level was low remarkably.

[†]To whom correspondence should be addressed.

407, 1688-5 Sinil-dong Daedeok-gu Daejeon 306-230, Korea

Tel: 042-331-3885

E-mail: k2pyc@actbest.com

Key words : Environmental equipment qualification, Flooding analysis, Feedwater line break, RETRAN, Flood level

1. 서 론

내환경기기검증(원자력발전소 주기적안전성 평가 11개 인자 가운데 한 요소로써 발전소 안전관련계통기기들에 대한 검증) 시 발전소 건물 내부 및 외부에서 발생하는 침수사고는 발전소 안전정지 평가를 위해 반드시 고려되어야 할 발전소 재해 중의 하나이다. 침수사고의 원인은 지진 및 기상 조건과 같은 외부사건에 의한 침수사고와 기기파손 등과 같은 내부요인에 의한 침수사고 두 가지로 분류된다. 자연재해 등 외부사건에 의한 홍수사고(external flooding)와 달리 내부 침수사고(internal flooding)는 발전소 내 배관 및 탱크 등과 같은 기기 손상으로 인해 비정상적으로 과도한 양의 유체가 유출되어 구조물, 계통 및 기기를 침수시키는 설계기준 사고를 의미한다. 이러한 침수분석은 침수사고로부터 안전성관련 계통 및 기기를 적절히 보호하고 구조물에 미치는 수두하중을 감소시킴으로써 궁극적으로는 발전소 안전정지에 침수사고가 악영향을 미치지 않도록 설계할 목적으로 수행된다. 침수는 공학적인 안전계통 기기의 기능상실을 초래하므로 발전소의 안정성과 매우 밀접한 관련성 있으므로 침수위를 결정짓는 파단 방출량 분석은 매우 중요하다.

현행 침수분석을 위해 이용되는 파단 방출질량 계산은 수계산(hand calculation)으로 Henny-Fauske 모델을 사용하여 임계유량(critical mass flux flow)을 분석하여 지나친 보수성이 포함되어 있다. 또한 실제 원자력발전소의 각종 제어로직에 의한 격리신호를 반영하지 못하므로 지나치게 보수적으로 파단 방출유량이 계산된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 원자력발전소 열수력계통 해석 전산코드인 RETRAN을 사용하여 분석할 수 있는 해석방법을 개발하고, 이 방법을 이용하여 주급수 격리밸브 격실의 침수위를 계산하고 기존 해석방법인 수계산 방법과 그 결과를 비교하여 보았다.

2. 현행 고에너지배관 파단 방출질량 및 침수위 계산

주급수 격리밸브 격실에는 고에너지배관인 주증기관과 주급수관이 통과한다. 침수로 인한 안전기에 영향을 주는 배관은 주급수관 파단사고이다. 수 계산에 의한 주급수관 파단방출질량 계산은 식(1)의 Darcy-Weisbach 방정식을 사용하여 차압계산을 한다.

$$\Delta P = K \frac{\rho V^2}{2g} \tag{1}$$

식(1)에 의해 계산된 차압을 사용하여 식(2)에 의해 파단방출질량을 계산한다.

$$m_L = \rho A_c V = \rho A_c \left(\frac{2\Delta P g_c}{K \rho} \right)^{1/2} \tag{2}$$

대기조건(ambient condition)을 고려한 체적방출유량은 식(3)으로 계산된다.

$$Q = m_L / \rho_\infty A_c \left(\frac{2\Delta P g_c \rho}{K \rho_\infty^2} \right)^{1/2} = A_c \left(\frac{2\Delta P g_c}{K \rho_\infty} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho}{\rho_\infty} \right)^{1/2} \tag{3}$$

웨스팅하우스형 원자력발전소를 대상으로 수계산에 의한 주급수관 파단 방출량 계산가정은 다음과 같다. 주급수관 파단면적은 0.093 m²이고, 주급수관 압력은 8030.3 kPa, 온도는 226.7°C, 파단 면적을 통한 임계유량 계산 모델은 Henry-Fauske 모델을 적용하였다. 파단면적 0.093 m²에 대한 임계유량 8905.4 kg/sec이다.

주급수관 격리밸브 격실의 면적은 아래의 식(4)와 식(5)로부터 계산하면 약 88.25 m²가 된다. 격실 침수면적 계산

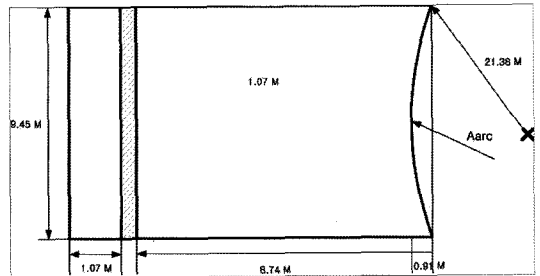


Fig. 1. Simplified model for main feedwater isolation valve sub-compartment.

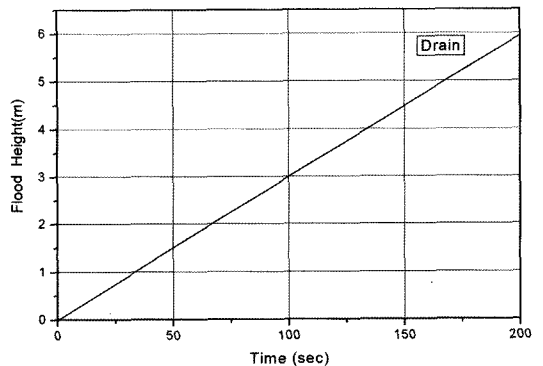


Fig. 2. Flood height in main feedwater isolation valve header compartment.

시 바닥기 등 설비를 고려하여 0.9의 계수를 적용하였다.

$$\text{Gross Area}=(L_1+L_2+L_3)*L_4-A_{\text{arc}} \quad (4)$$

$$\text{Floodable Area}=\text{Gross Section Area}*0.9 \quad (5)$$

격실 배수배관은 2개의 0.102 m와 1개의 0.152 m 드레인(Drain)이 있다. 따라서 전체 배수 드레인 면적은 0.0351 m²이다. 파단면적 0.093 m²의 면적을 통해 방출되는 임계유량 8905.4 kg/sec를 바닥 배수배관만으로 배수할 경우의 바닥배수배관은 침수가 되며 200초까지 방출된다고 가정하면 수위는 약 6.0 m 정도가 된다.

3. 침수분석 전산해석 방법

3-1. 규제요건

현재 국내 초창기에 건설된 원자력발전소의 경우는 Reg. Guide 1.89 Rev1(1984)의 설계요구조건이 반영되지 않은 채 건설 되었다. Reg. Guide 1.89 Rev1. 에서 요구 조건은 기기들이 격납건물 내외부에서 가정된 고에너지 급수관(최대 운전온도 93.3°C와 최대 운전압력 19.3 kgf/cm² 이상) 파단이 일어난 상황에서도 안전관련 기기 모션(Class 1E) 전기 설비들에 대한 내환경검증을 요구하고 있다[10].

3-2. 해석 전산코드

대상격실 침수위를 결정하기 위해 사용되는 배관 파

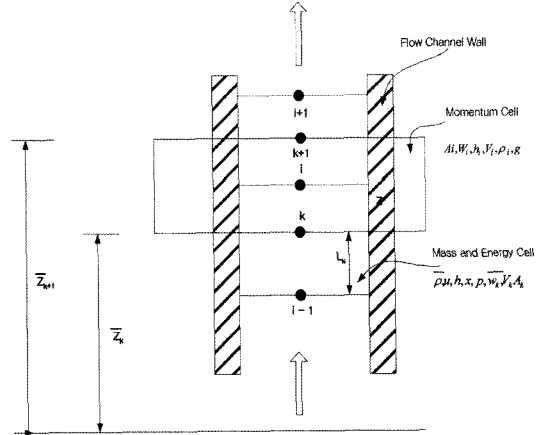


Fig. 3. RETRAN computational mesh for flow channel.

단 방출질량 계산은 RETRAN 전산코드를 사용하였다. RETRAN 전산코드는 미국 전력연구원(Electric Power Research Institute, EPRI)가 개발한 코드로서 경수로의 과도현상을 계산할 목적으로 개발 되었으며, 현재 원자력발전소 열수력계통 안전해석 최적코드로 폭넓게 활용되고 있으며, 국내외적으로 인허가를 받은 코드이다. RETRAN 코드의 열수력해석은 유로채널에서 평균값을 Local Navier-Stokes 방정식을 평균화하고 질량, 운동량 및 에너지의 유체평형 방정식을 사용하여 계산한다. 아

Table 1. RETRAN input assumptions used for analysis.

Parameter	RETRAN Input	Parameter	RETRAN Input
1. Initial Condition		4. Reactor Trip	
Power (%)	102, 75, 25	Low RCS Flow	OFF
RCS Flow	Thermal Design Flow	High Neutron Flux	OFF
RCS Tavg	(+)Uncertainty	High PZR Water Level	OFF
PZR Pressure	Nominal	High PZR Pressure	OFF
PZR Level	Nominal	Low PZR Pressure	OFF
SG Pressure	Nominal	Lo-Lo SG Water Level	ON
SG Level	(+)Uncertainty	Safety Injection	OFF
FW Enthalpy	Max.	OPDT/OTDT	OFF
FW Flow	Max.	5. SG Isolation	
Break Type	DER/Split break	FW Isolation	Max. Delay
2. Reactor Kinetics		Steam Line Isolation	Max. Delay
MTC	Min.	6. Safety System	
ATF	Min.	Safety Injection	
DOP	Min.	Flow rate	Min.
BETA	Max.	Enthalpy	Max.
3. Control Systems		AFW Injection	
Control Rod	OFF	Flow rate (Faulted/Intact)	Max./Min.
PZR Pro. Heater	OFF	Enthalpy	Max.
PZR Backup Heater	OFF	PZR PORV&SV	Min.
Spray	OFF		

래 Fig. 3은 유로채널 메쉬(mesh)에 대해 RETRAN 코드의 수치해석에 대한 개념도이다.

3-3. 해석방법

현재 RETRAN 전산코드를 이용한 주급수관 파단 방출량 분석방법론은 없는 실정이다. 본 연구에서는 주급수관 파단 시 전산코드(RETRAN)를 사용한 최대 파단 방출질량 해석방법을 결정하고 이 해석방법을 적용하여 최대 방출량을 계산하였다. 해석방법은 주급수관 파단 사고 시 질량 및 에너지 방출사고 분석 방법에 대해 기술하는 있는 미국 웨스팅하우스형 안전해석 방법론인 Safety Analysis Standard(SAS)을 참조하였다^{[3][5]}.

개발 해석방법은 원자력발전소를 대상으로 일·이차측 열수력계통, 반응도 모델, 원자로 제어계통 모델, 원자로보호계통, 공학적안전설비계통 모델, 증기발생기 모델, 가압기 모델 등에 대해 사고해석 측면에서 가장 보수적 입력값을 가정하여 사용했으며, 주급수관 파단사고 분석 시 가장 제한적 결과를 얻기 위해 노심출력별, 파단크기 및 형태별 스펙트럼 분석을 수행하였다. Table 1에 RETRAN 코드의 주요 입력조건들 및 해석에 사용된 가정들이 제시되었다.

3-4. 주급수관 파단 해석

Fig. 4는 웨스팅하우스형 가압경수로 원자력발전소 3-루프 주급수 계통을 나타낸 그림이다. Fig. 5는 실제 원자력발전소의 주급수 격리밸브가 있는 격실로 침수가 일어날 수 있는 주급수관 통과 대상격실 구역도를 보여주고 있다.

3-4-1. 파단위치 분석

○ 체크밸브 후단 파단(증기발생기와 체크밸브 사이 배관)

증기발생기와 체크밸브 사이의 주급수관에 양단 파단이 발생하는 경우 주증기관 저압력에 의해 안전주입 및 주증기 격리 신호가 발생한다. 안전주입 또는 증기발생기 저수위 신호에 의해 원자로가 정지된다^[6]. 안전주입 신호에 의해 주급수 격리밸브가 닫혀 주급수 펌프 측으로부터의 냉각재 방출은 중단되며, 주증기 격리 신호에 의해 파단 증기발생기는 전전한 증기발생기로부터 격리되어 파단 증기발생기에 존재하는 냉각수만 격실로 방출된다.

○ 체크밸브 전단 파단(주급수 격리밸브와 주급수 제어밸브 사이 배관)

체크밸브와 주급수 격리밸브 사이의 주급수관에 양단 파단이 발생하는 경우에는 체크밸브가 파단 증기발생기로부터 격실로 냉각재 방출을 방지하므로 증기발생기 압력은 급격히 감소되지 않는다. 주급수 펌프에 의해 공

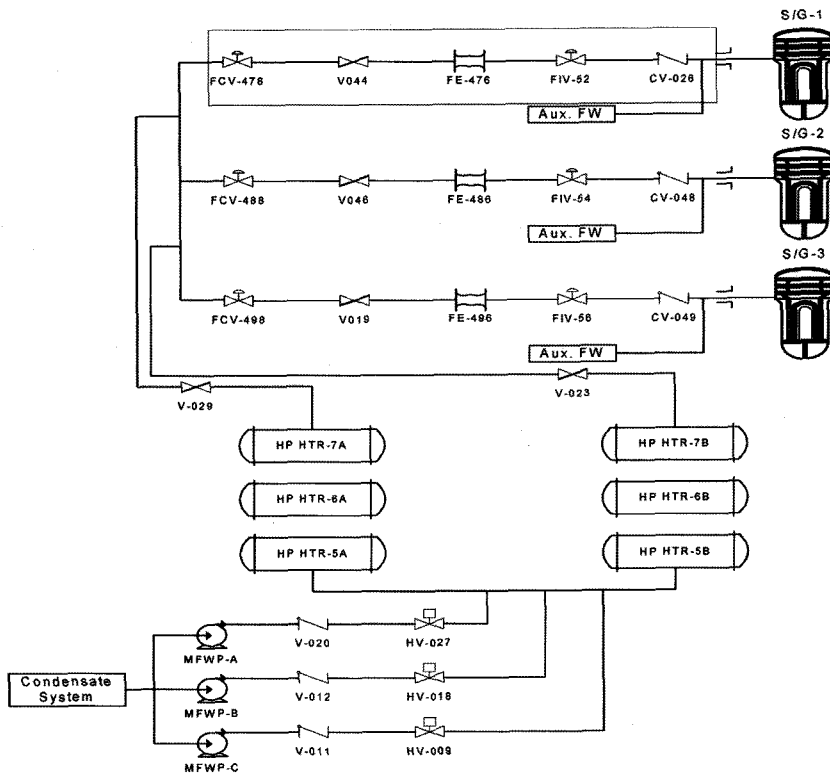


Fig. 4. Feedwater line system for 3-loops nuclear power plant.

급수 제어밸브 사이 배관 파단의 경우는 과도상태 시 발전소 거동에 따라 방출 종료 시점이 결정된다. 파단부를 통한 냉각재 방출 종료 시점은 주급수 제어밸브 및 급수 우회밸브의 격리에 의해 이루어진다. 이들 밸브는 원자로 정지 및 저 RCS 평균온도 동시 신호에 의해 격리된다. 따라서 원자로 정지, 터빈 정지 및 주급수 밸브 닫힘 시간을 적절히 모사하였다.

3-4-5. 주급수 파단위치에 따른 사고경향 및 제어계통 모델링

Table 2는 주급수 파단위치에 따른 사고경향 분석과 제어계통 모델링에 대해 정리한 표이다.

3-4-6. 침수위 계산

RETRAN 코드로부터 각 사고조건별로 계산한 파단 방출질량은 대상격실에서의 침수위를 결정하는데 사용된다. 한 침수구역내로 유입된 물은 여러 가지 배수통로를 통하여 또다른 구역으로 확산 될 것이다. 배수통

로에는 제단, 개방형해치, 바닥 관통부, 벽에 설치된 공기조화계통개구부, 바닥배수배관, 비상배수통로, 문, 그리고 문과 바닥사이의 틈새 등이 있다. 이러한 통로들이 얼마만큼 효율적으로 물을 배수하느냐는 배수통로의 형태와 침수위에 따른 배수량의 변화율에 달려있다. 이러한 정보들은 시간에 따른 유입량의 변화와 침수구역의 침수가능 체적에 따라 결정되며, 식(6)을 이용하여 침수위를 계산하였다.

$$H=(Q_o-Q_i)\frac{\Delta t}{A} \tag{6}$$

여기서, A는 식(5)로부터 계산된다.

4. 주급수관 파단사고 분석

해석 방법을 사용하여 가압형 경수로에 대해 주급수

Table 2. Accident trend and control logic modeling following the main feedwater line break.

해석조건 및 입력	파단위치	
	체크밸브와 S/G 사이	MFIV와 MFCV 사이
초기출력	◦ 102, 75, 25% (주급수 펌프 기동조건에 따라 분류)	◦ 좌동
파단크기	◦ 파단 크기별 스펙트럼 분석	◦ 좌동
방출량	◦ S/G 측 : S/G inventory 및 MSIV 닫히기 전까지 계속 방출 ◦ 펌프 측 : 주급수 조절밸브 닫힘 신호가 발생될 때 까지 계속방출	◦ S/G 측 : 체크밸브에 의해 역방향 흐름 없음 ◦ 펌프 측 : 좌동
방출종료	◦ S/G 측 : AFW 격리 ◦ 펌프 측 : SI에 의한 MSIV 격리	◦ S/G 측 : 체크밸브에 의해 역방향 흐름 없음 ◦ 펌프 측 : - 원자로 정지 및 RCS low 평균온도에 의한 MFCV 격리 - S/G 수, FW Flow, Steam Flow mismatch에 의한 MFCV 격리
증기덤프제어 계통모델링	◦ 불필요 (Steam line Lo-Pressure 에 의해 SI 신호발생)	◦ 필요(Steam dump 계통 작동)
보조급수계통 모델링	◦ 필요	◦ 좌동
증기덤프제어계통외 제어계통 모델링	◦ 불필요	◦ 필요 (S/G 수, FW Flow, Steam Flow mismatch에 의한 주급수 조절밸브 닫힘)

* notes

- S/G : 증기발생기(Steam generator)
- MFWP : 주급수펌프(Main feedwater pump)
- MFIV : 주급수격리밸브(Main feedwater isolation valve)
- MFCV : 주급수제어밸브(Main feedwater control valve)
- SDCS : 증기덤프제어계통(Steam dump control system)
- AFW : 보조급수(Auxiliary feedwater)
- RCS : 냉각재계통(Reactor coolant system)
- N/A : Not application

격리밸브 격실에서 파단사고 분석에 적용하였다. 사고 분석방법은 RETRAN 코드로 격납건물 내부의 일·이차측 열수력 계통과 원자로, 증기발생기, 가압기, RCS 펌프를 모델링 하였으며, 주급수 계통은 증기발생기 주급수 입구노즐에서부터 주급수 펌프 토출부까지 모델링 하였다.

가장 제한적 사고 케이스를 결정하기 위해 사고조건 별로 18가지 사고 케이스를 만들어 분석하였다. 파단형태는 대형양단파단(Guillotin break)와 Split break이다. 노심출력은 정상출력(100%)의 102%, 75%, 25%로 나누

었다. 이 값들은 웨스팅하우스형 원자력발전소에 대해 전형적으로 나누는 출력별 케이스들이다. 파단위치는 체크밸브 전후에서의 파단을 가정하였다. 이것은 증기발생기로부터 유체흐름 고려여부에 따라 일·이차측 공학적인 전신호의 작동시간과 배관으로부터 방출되는 질량이 달라질 수 있기 때문이다. 또한 파단면적의 크기에 따라 3가지로 분류하였다. 파단 면적이 가장 큰 0.1038 m²는 주급수관의 최대단면적이고, 파단 면적이 0.093 m²는 배관 break exclusion이 설계되었다고 가정했을 때의 최대 단면적이다. 마지막으로 파단 면적이 0.0093 m²는 원자

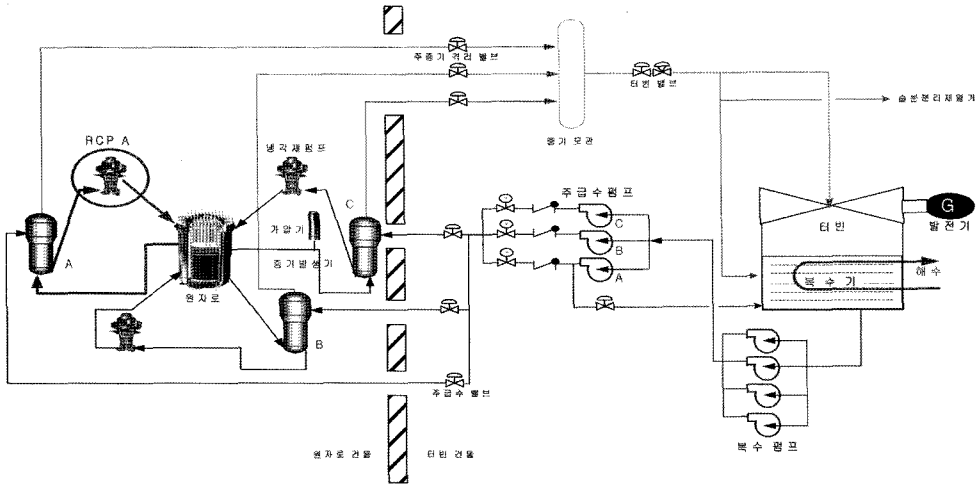


Fig. 7. Schematic diagram of secondary side main feedwater and steam line.

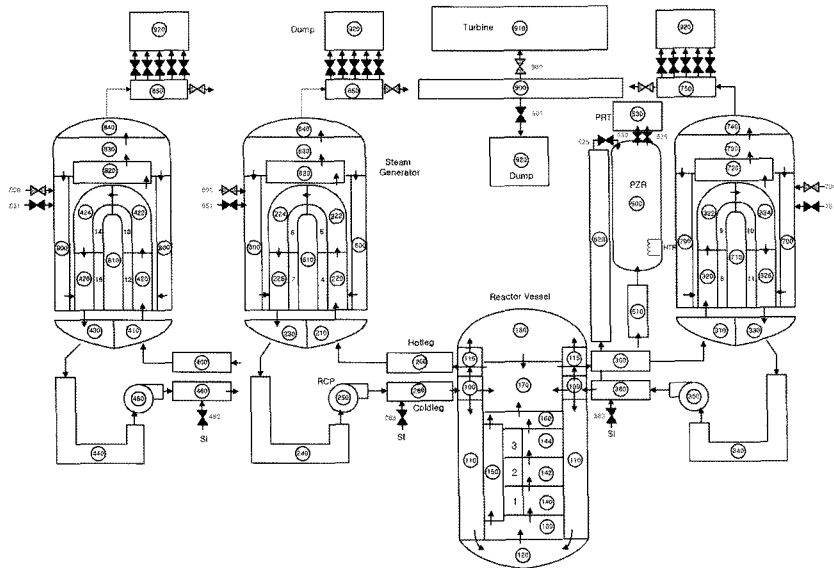


Fig. 8. RETRAN code nodalization for primary and secondary side.

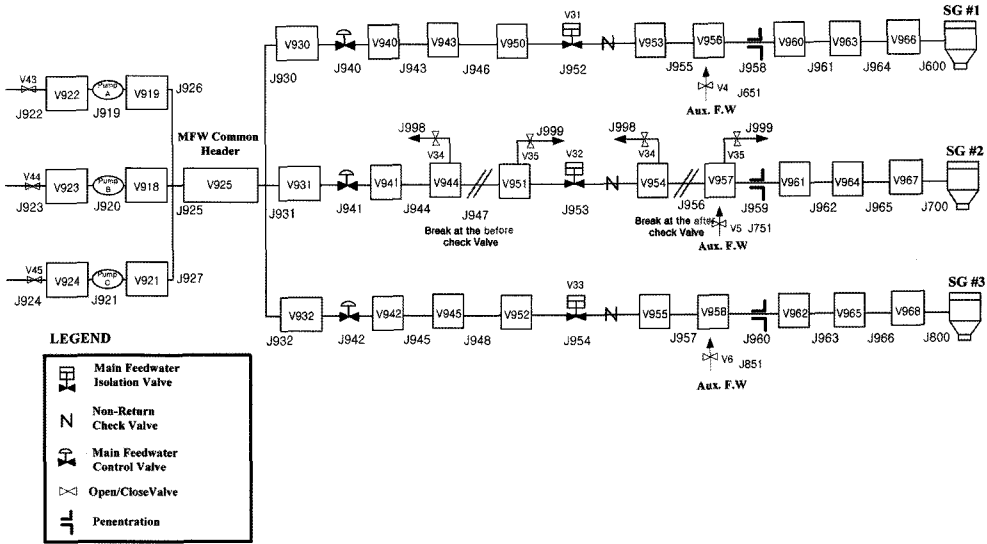


Fig. 9. RETRAN code nodalization for main feedwater line break.

로 정지신호가 발생되지 않는 최대단면적이다. 이 값은 split break 국한되면 민감도 분석을 통해 결정하였다. Fig. 7은 원자력발전소 주급수관과 증기관 계통을 도시한 그림이다.

4-1. RETRAN 코드 계통 모델링 및 스펙트럼 분석

4-1-1. RETRAN 일·이차 계통 분할도

Fig. 8에서는 주급수관 파단 방출량 분석을 수행하기 위한 RETRAN 분할도이다. Fig. 9에서 보듯이 주급수관 파단측 루프는 증기발생기 #2(S/G 2) 측이다. 일·이차측 RETRAN 전산입력은 볼륨 143개와 정선(볼륨과

볼륨 연결) 106개 그리고 제어로직 205개로 연결 하였으며, 밸브와 펌프들을 각각 모델링 하였다.

4-1-2. 침수분석 파단 방출량 스펙트럼 분석

최대 파단 방출량을 계산하기 위해 노심 출력별, 파단 크기별, 파단 위치별(체크밸브 전·후단)로 스펙트럼 분석을 수행하였다.

4-2. 해석결과

Fig. 10은 체크밸브 전·후단에서의 노심출력별로 양단파단 시 방출되는 방출량을 비교한 그래프이다. Fig. 11은 체크밸브 전단에서의 노심출력별로 Split 파단 시

Table 3. Spectrum table to calculate break mass flow.

Break type/Core power (%)	Cases/Break area (m ²)				
	Break at the Check Valve Upstream		Break at the Check Valve Downstream		
Guillotine break	102	FC01	0.1038	FC10	0.1038
	75	FC02	0.1038	FC11	0.1038
	25	FC03	0.1038	FC12	0.1038
	102	FC04	0.0930	FC13	0.0930
Split break		FC05	0.0093	FC14	0.0093
	75	FC06	0.0930	FC15	0.0930
		FC07	0.0093	FC16	0.0093
	25	FC08	0.0930	FC17	0.0930
		FC09	0.0093	FC18	0.0093

* Note FC : Feedwater break case

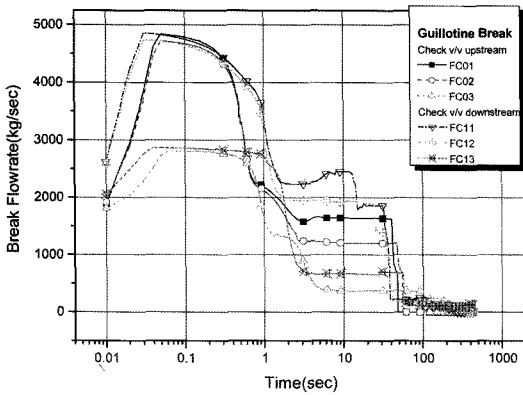


Fig. 10. Guillotine break at the upstream and downstream of check valve.

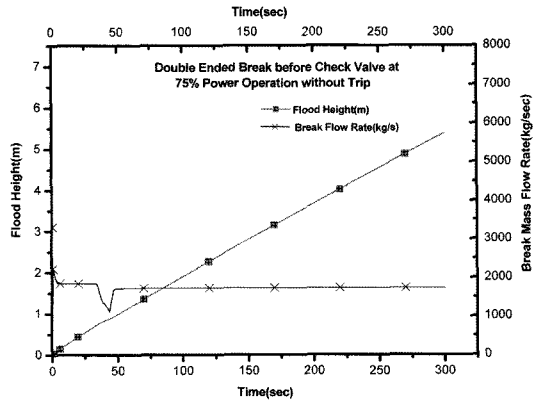


Fig. 13. Maximum flood level when MFIV is not close) Before check valve).

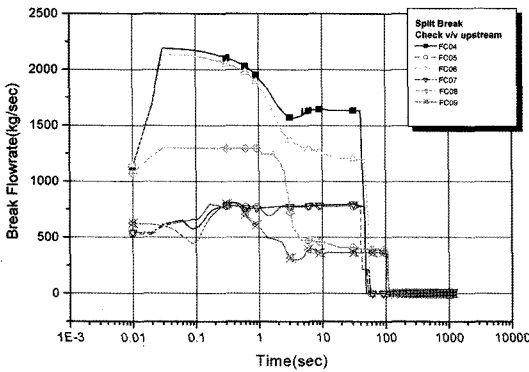


Fig. 11. Split break at the upstream of check valve.

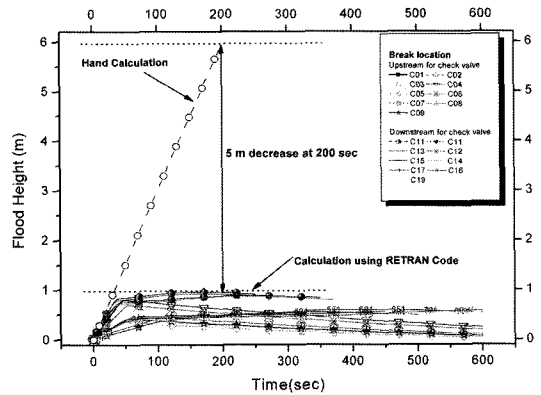


Fig. 14. Maximum flood level for each case.

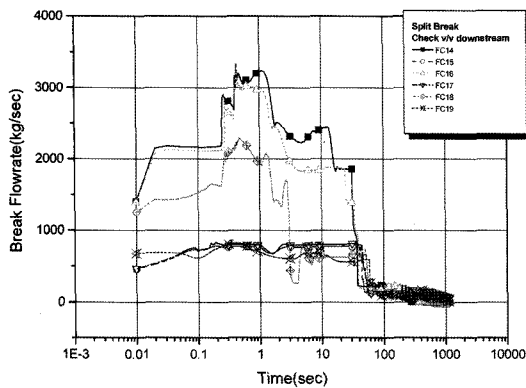


Fig. 12. Split break at the downstream of check valve.

Fig. 13은 노심출력 75%이고, 파단위치가 체크밸브 전 단에서 주급수 격리밸브가 차단되지 않았을 때의 최대 침수위를 나타낸 그래프이다. Fig. 14는 증기덤포계통 및 주급수조절밸브에 대한 제어계통 모사 시 출력별, 파단 위치 및 면적별 격실 최대 침수위를 나타낸 그래프이다.

4.3. 침수위 분석결과와 평가

현행 수계산에 의해 주급수관 파단에 따른 방출질량 계산은 초기 입력, 온도조건에서 임계유량으로 계산하여 보수성이 상당히 컸다. 본 연구에서 제안한 해석방법에 따라 RETRAN 전산코드를 사용하여 파단 방출질량을 계산한 결과 다음과 같은 분석결과를 얻었을 수 있었다.

주급수관 격리밸브가 있는 격실의 면적은 85.79 m²(보수적인 값임, 총면적의 70%)이며, 바닥배수배관은 2개의 0.152 m² 배수배관과 격실 직하부로 연결된 0.152 m² 개방구가 있으며, 바닥배수배관의 총 면적은 0.035 m²이다. 침수위 분석 계산결과로 체크밸브 전단에서 주급수

방출되는 방출량을 비교한 그래프이다. Fig. 12는 체크 밸브 후단에서의 노심출력별로 Split 파단 시 방출되는 방출량을 비교한 그래프이다.

관 파단의 경우에는 파단 부위를 통해 다량의 주급수가 방출되므로 침수위가 상당히 높다. 출력 75%, 체크밸브 전단에서의 0.01 m²의 Split에 의한 주급수관 격리밸브 격실의 침수위는 5.18 m이다. 이러한 침수위는 주급수관 격실에 위치한 안전관련 주증기 격리 밸브, 주급수 격리밸브, 주급수 대기방출밸브 등을 침수시킨다. 체크밸브 후단에서 주급수관 파단의 경우 원자로의 정지 여부에 관계없이 침수위는 대략 0.914 m 이하로 유지된다. 이 지역에서의 설계상태 검토결과 체크밸브 후단 배관 파단에 의한 침수영향을 없을 것으로 판단된다. 주급수관 파단시 원자로가 정지 되는 경우 파단으로부터 방출되는 방출량을 미미한 것으로 분석된다.

RETRAN 전산코드를 사용한 주급수관 파단 방출질량을 계산하여 대상 웨스팅하우스형 기압경수로 3-loop에 적용한 결과 체크밸브 후단, 양단파단이 가장 제한적인 결과로 분석되었다. 이는 주급수파단에 따른 격실 가압 분석논문¹⁰⁾에서 제시한 결과와 일치하는 결과이다. 침수위가 가장 높은 사고 사례는 0.97 m로 침수로 인한 안전관련기기 침수에 영향을 주지는 않는 것으로 평가되었다.

5. 결 론

원자력발전소 주급수 격리밸브 격실에서 주급수관 파단 방출량 분석은 현재까지 수계산으로 분석하고 있다. 그리고 이 분석방법은 파단배관 위치에서의 일정 차압에 따른 임계방출 모델로 계산하고 있고, 실제 원자력발전소 일차측 트립신호를 반영하지 못하고 있다. 이로 인해 이 분석방법은 지나친 보수적으로 파단 방출량을 해석되며, 이것으로 인해 침수위는 실제 발생할 수 있는 것 보다 지나치게 침수위를 높게 예측되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 RETRAN 전산코드로 파단 방출질량을 계산할 수 있는 방법을 개발하였고, 이 전산코드에 의한 파단 방출량을 계산하여 침수위를 웨스팅하우스 3-루프 원자력발전소에 적용 해 본 결과 침수위를 최대값 대비 약 4 m(80%) 정도 크게 낮출 수 있었다.

사용기호

P : 파단부압력차, kgf/m²

K : 손실계수
 ρ : 관내 유체 밀도, kgf/m³
 g_c : 중력변환인자, 9.81 kg · m/kgf · sec²
 V : 파단부 유속, m/sec
 A_c : 파단 면적, m²
 m_t : 파단부의 질량누설률, kg/sec
 Q : 대기조건시 부피누설률, m³/sec
 ρ_w : 대기조건시 유체밀도, kg/m³
 H : 침수위, m
 Q_i : 유입량, m³/sec
 Q_o : 배수량, m³/sec
 Δt : 유입시간, sec
 A : 침수가능 면적, m²

참고문헌

1. US NRC. NUREG-0588 Rev.1 Interim Staff Position on Environmental Qualification of Safety-Related Electrical Equipment, 1981.
2. 경수로형 원전 안전심사지침 개정 2, 6.2.1.4 장 격납 건물 기능 설계, 1999.
3. Westinghouse. Safety Analysis Standard 12.0 Rev. 3 Steamline Rupture Core Response, 1983.
4. Westinghouse. Safety Analysis Standard 12.2 Rev. 8 Mass and Energy Releases to Containment Following a Steamline Rupture, 2000.
5. Westinghouse. Safety Analyses Standard 16.0 Rev.5. FEEDLINE RUPTURE, 1999.
6. 한국전력. 영광 1, 2호기 운전주의, 제한 및 설정치, 1993.
7. Korea Electric Power Corporation. KORI Unit 3,4 Final Safety Analysis Report, 1998.
8. Korea Electric Power Corporation. KORI Unit 3,4 FSAR Chapter 16(Technical Specification), 1998.
9. Korea Electric Power Corporation. KORI Unit 3,4 P&ID, 1998.
10. Song, D.-S.; Park, Y.-C.; Lee, H. Subcompartment pressurization analysis following feedwater line break accident using realistic evaluation model. Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY. Sci., 2005, 42(3), 320.