

신형경수로 1400 원전 소내·외 전력계통의 설계안전성 평가를 위한
검증 프로그램 개발

주은표*, 오성현*, 오성균**, 김건중**, 최장출**, 이병일**, 박철우**
*한국원자력안전기술원, **충남대학교

Development of Verification Program for Safety Analyses
of APR1400 on-site & off-site Power System Design

O.P. Zhu*, S.H. Oh*, S.K. Oh**, K.J. Kim**, J.H. Choi**, B.I. Lee**, C.W. Park**
*Korea Institute of Nuclear Safety(KINS), **Chungnam Nat'l Univ.

Abstract - On-site power system design of APR1400 is different from that of existing and operating plants and APR1400 has no operating experience. So we have to confirm its adequacy of design exclusively by analyses. So an method of analysis is the only way to evaluate safety of design of the power system of APR1400. Therefore the purpose of this paper is a construction of verification program and a verification of utilities' analysis results by using this program in order to confirm the adequacy of APR1400 on-site & off-site power system.

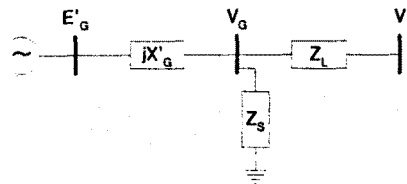
$$\dot{S}_B - A_G \cdot \dot{S}_G + \dot{S}_D = 0 \quad \text{[식 1.1]}$$

{ A_G : 발전기나 콘덴서의 연결을 나타내는 접속행렬
 \dot{S}_C 를 \dot{S}_G 의 일부로써 고려한다.

Newton-Raphson법을 이용하여 반복적인 방법으로 조류계산을 수행할 수 있다[1][2].

2.2 과도안정도 모형

과도안정도 해석을 위해서 발전모선을 [그림 2.1]과 같이 내부 유기기전력 모선까지 모델링 할 수 있다 [3][4].



[그림 2.1] 발전모선과 내부 유기기전력

기계적 입력과 전기적 출력의 차이에 의한 부하각의 변화는 발전기 내부 상수 H, 일정한 원동기의 기계적 입력 P_m , 발전기의 전기적 출력 P_e , 계통의 정격 주파수 f_0 일 때, 동요 방정식[식 2.4], [식 2.5]에 의하여 구하여진다.

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega \quad \text{[식 2.4]}$$

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{\pi \cdot f_0}{H} (P_m - P_e) \quad \text{[식 2.5]}$$

2.3 발전력 상실에 따른 주파수 저하모형

전체 전력 계통을 하나의 등가 발전기와 등가 부하로 표현했을 때, 발전기의 운동 방정식은 계통 정격주파수 f_0 , 변화된 주파수 f , 전체 발전기의 등가 관성상수 H_E , 발전력 상실 후의 발전력 P_G , 부하량 P_L , 조속기 동작에 의한 순동예비력 ΔP_G , 주파수 변화에 의한 부하량 변화 ΔP_L 일 때, [식 3.1]과 같다[5][6].

$$\frac{d}{dt} \left\{ H_E \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\} = \frac{d}{dt} \left\{ H_E \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right\} \quad \text{[식 3.1]}$$

$$= P_G + \Delta P_G - (P_L - \Delta P_L)$$

이 때, 조속기는 조속기 이득 K_G , 조속기 시정수 τ 일 때, [식 3.3]와 같이 모델링 된다.

1. 서 론

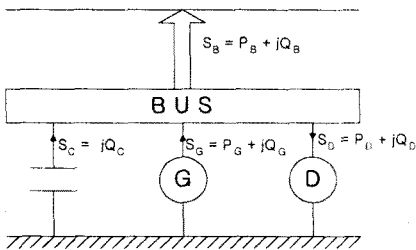
신형경수로 1400 원전 (APR1400 : 일명 차세대 원전) 소내·외 전력계통은 765kV 송전망을 사용하며, 소내 전력계통은 운전 실적이 없음을 물론 표준형 원전에 비하여 상당 부분 전력모선의 구성이 변경되었으므로 이에 대한 안전성 심사가 수행될 필요가 있다. 그러나, 실제적인 기준 대상 발전소가 없으므로, 그 설계 적합성을 운전실적으로 입증할 수는 없고 다만 원전 소내·외 전력계통에 대하여 분석적인 방법으로 전력계통에 대한 설계의 타당성을 확인하여야 한다.

따라서, 본 연구개발의 목적은 차세대 원전 소내·외 전력계통에 대한 검증계산용 프로그램을 개발하고 이를 이용한 검증 계산을 통하여 분석적인 방법으로 소내·외 전력계통 설계의 타당성을 확인하는 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 조류계산 모형

전력계통에서 모선은 발전기, 콘덴서 뱅크(무효전력 보상기), 부하가 연결되는 분기점으로서 [그림 1.1]과 같이 모델링 할 수 있다[1].



[그림 1.1] 조류계산을 위한 모선 모델링

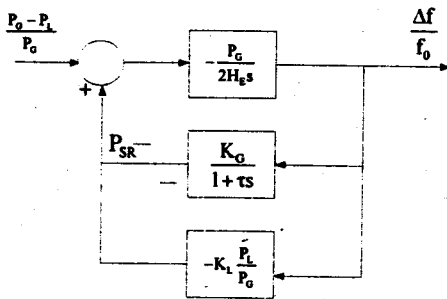
이 때, 전체 모선의 수급방정식은 [식 1.1]과 같다.

$$\frac{\Delta P_G}{P_G} = \frac{K_G}{1 + \tau s} \frac{\Delta f}{f} \quad (\text{식 3.3})$$

또, 주파수 변화에 의한 부하량 변화는 부하계수가 K_L 일 때 (식 3.4)이다.

$$\frac{\Delta P_L}{P_L} = K_L \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \quad (\text{식 3.4})$$

운동방정식 모형(식 3.1)을 블록도로 표현하면 (그림 3.1)과 같다(5)(6).



(그림 3.1) 발전력 상실에 따른 주파수 모형의 블록도

3. 사례연구

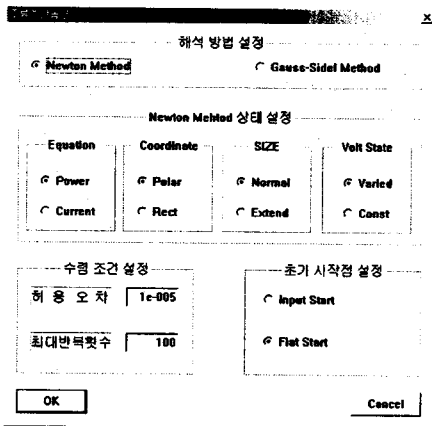
3.1 신형경수로 원전 소내 조류계산

개발된 검증프로그램을 이용하여 신형경수로 원전 소내 전력계통에 대해 조류계산을 수행하였다.

(표 4.1) 입력데이터 요약

전체 모선수	71개
부하 모선수	42개
발전 모선수	1개
슬랙 모선	스위치 야드

(그림 4.1)은 조류계산 수행을 위한 프로그램의 옵션 설정 화면이다. 여기서는 Newton - Raphson법을 이용하여 Flat Start 방식(전압크기 1, 위상각 0)으로 조류계산을 수행하였다.



(그림 4.1) 조류계산 실행 옵션 화면

조류계산을 수행한 결과화면이 (그림 4.2)이다.

(그림 4.2) 소내 조류계산 실행 결과 화면

신형경수로원전 소내 전력계통 조류계산 결과를 요약하면 (표 4.2)와 같다.

(표 4.2) 결과데이터 요약

비고	유효전력	무효전력
부하량	59.1MW +	29.9 MVAR
발전량	1492.6MW +	600.0 MVAR
슬랙모선	-1432.9MW -	282.9 MVAR

3.2 신형경수로 원전 소외 조류계산

신형경수로 원전이 전력계통에 병입된 2010년 계통데이터를 바탕으로 전력조류계산을 수행하였다.

(표 5.1)입력 데이터 요약

모선수	1,057 개
발전기	209 개
부하모선	833 개
선로	2,193 개
변압기	410 개

(그림 5.1) 소외 조류계산 수행 결과화면

(표 5.2) 전력조류계산 결과 요약

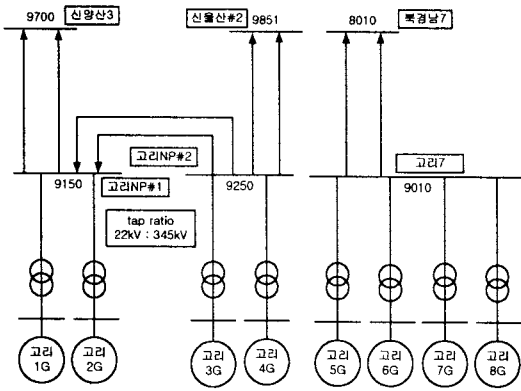
종 류	MW	MVAR
발전량	60895.4	17745.6
정전력부하량	60042.1	27831.3
무효전력 보상기	0	12126.2
선로 정전용량	0	19728.5

3.3 과도안정도

신형경수로 1400이 계통에 병입되어 운전되고 있는 2010년 전력계통에 대해서 (표 6.1)과 같은 조건으로 과도안정도를 수행하였다.

(표 6.1)과도안정도 해석조건

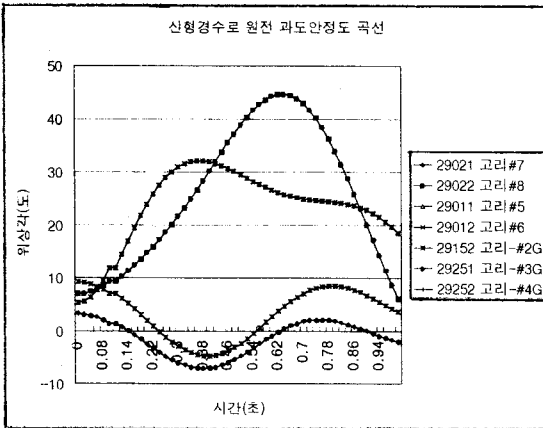
고장모선	9010
고장지속시간	0.1 초
제거 선로	9010-8010(1)



(그림 6.1) 신형경수로 원전 병입 계통도

고장모션번호: 9010
 제거 선로갯수: 1
 제거 선로 번호: 171기 (공백으로 구분)
 고장지속시간: 0.1 초
 과도안정도해석시간: 1 초
 해석스텝간격: 0.02 초

(그림 6.2) 과도안정도 해석조건 입력



(그림 6.3) 과도안정도 해석 결과

3.4 발전력 상실사건

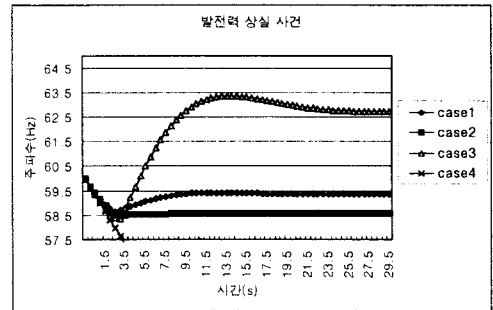
발전력 상실 사건 분석은 전력계통의 정상 상태 운전 중 전체 발전력의 10% 상실에 따른 계통의 주파수 변화를 [표 7.1]과 같은 CASE로 모의하여 보았다.

[표 7.1] 발전력상실 사건 사례

Case	해석 조건
Case 1	계전기 고려, 예비율 고려, 부하 댐핑 고려
Case 2	계전기 고려, 예비율 무시, 부하 댐핑 고려
Case 3	계전기 고려, 예비율 고려, 부하 댐핑 무시
Case 4	계전기 무시, 예비율 무시, 부하 댐핑 무시

조속기이득(KG): 2.4
 무하감쇠비(KL): 1.8
 시정수(tau): 3
 등가관성정수(H): 4.54
 무하탈락율(P): 10
 해석시간: 30
 해석스텝간격: 0.5
 무하탈락(LeadShedding): ON

(그림 7.1) 발전력 상실 모형 입력 대화상자



(그림 7.2) 발전력 상실사건 모의 결과

4. 결 론

신형경수로 원전 소내·외 전력계통에 대한 조류계산, 과도안정도, 발전력 상실 사건 분석과 같은 계통 해석 결과 소내 조류에서 일부 모션에서 0.9pu이하의 저전압 현상이 발생하였고, 소외 조류계산 결과는 0.9pu - 1.1pu 사이의 적정성을 유지하였다. 소외계통에 대한 과도안정도 해석 결과 위의 해석 조건에 대해선 동기의 부하각이 과도적으로 안정한 모습을 나타내었다. 발전력 상실 사건 분석 결과 가장 보수적 가정인 case4의 경우에 대해서 소외 계통이 3초 이상 유지되는 모습을 나타내었다.

※감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원의 지원에 의해 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 최장흠, "이차 근사화 특성을 이용한 조류계산 수렴도 개선", 충남대학교 석사학위논문, 1999
- [2] Hadi Saadat "Power System Analysis" WCB McGraw-Hill, pp. 501-514, 1999
- [3] 이병일, 오성균, 김건중, 주윤표, "대용량 원전 전력계통 안전성 평가를 위한 과도안정도 해석 프로그램 개발", 대한전기학회 전력기술부문회 춘계학술대회 논문집, pp 10-13, 2001.5
- [4] 주윤표, "송전망계통 과도 안정도의 규제용 프로그램 개발", 충남대학교 박사학위논문, 2001.2
- [5] 한국전력공사, "보호계전기 동작 상태 분석 보고서", 중앙급전사령실, 1990
- [6] 한국전력공사, "고리원자력의 계통투입에 따른 문제점 검토", 한양대학교 산업과학연구소, 1975.