2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

안전해석에서 터빈정지와 소외전원상실 간의 시간지연에 관한 연구

Study on Time Delay between Loss of Offsite Power and Turbine Trip in Safety Analysis

손용수, 이규천, 손갑헌
한국전력기술주식회사
대전광역시 유성구 덕진동 150

김윤희, 임훈택, 이종찬
한국수력원자력주식회사
서울특별시 강남구 삼성동 167

요 약

안전해석에서 터빈정지와 소외전원상실 간의 시간지연 문제는 영광3,4호기의 건설허가 심사단계에서부터 계속 논의되어 왔다. 이 현안사항을 해결하기 위하여 터빈정지와 소외전원 상실이 동시에 발생하는 것으로 가정한 안전해석에 대한 연구를 영광5,6호기 건설허가 행정조치사항의 일환으로 수행하였다. 시간지연을 가정하지 않은 해석 결과는 안전해석 허용기준을 위배하는 것으로 나타났으며, 이를 해결하기 위하여 11가지 개선방안을 도출하여 적용함으로써 지연 시간이 없는 경우에도 안전해석기준을 만족함을 보였다. 한편, 터빈정지 후 적어도 3초 동안 원자로냉각재펌프에 전원을 공급 할 수 있음을 입증하기 위하여 전력망 안정도 분석과 터빈관성서행시험을 수행하였다. 그 결과 적어도 3초 이상 원자로냉각재펌프에 전원을 공급할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 한국표준원전에서 터빈정지와 소외 전원상실 간의 3초 지연을 가정하여 안전해석을 수행하는 것은 타당함을 알 수 있다.

Abstract

The issue of time delay between turbine trip and loss of offsite power (LOOP) had been discussed since the Construction Permit (CP) of YGN 3&4. In order to resolve this issue in YGN 5&6, a long-term study on the no time delay between turbine trip and LOOP was carried out as one of the administrative action items for the CP of YGN 5&6. Assuming no time delay, the analysis results did not meet acceptance criteria in safety analysis. In order to resolve this problem, eleven (11) improvements in safety analysis were proposed. Applying the 11 improvements the safety analysis results showed that the safety analysis criteria were met even without time delay. Additionally the analysis of the grid stability and turbine coastdown test were carried out to demonstrate that electricity could be supplied to reactor coolant pumps (RCPs) for three seconds after turbine trip. The results showed that RCPs could run for at least 3 seconds after turbine trip. Therefore, it is reasonable that three-second delay between turbine trip and LOOP are assumed in Korean Standard Nuclear Power Plant safety analysis.

1. 서 론

원자력발전소에서 원자로정지신호가 발생하여 제어봉이 낙하되는 기간 동안에 원자로냉각재펌프의 운전 여부는 핵연료 건전성 유지에 매우 중요한 요소이다. 영광3,4호기는 System 80을 참조하고 있으며, System 80은 소외전원상실을 단일고장으로 고려하였으며 이에 대한 인허가를 미국 원자력규제위원회 (US. NRC)로부터 취득하였다. 영광5,6호기를 비롯한 한국표준원전의 안전해석에서는 원자로정지신호 발생과 동시에 터빈 정지신호가 발생하고 3초 후에 소외전원상실이 발생하여, 원자로정지신호 발생 이후 최소한 3초 동안은 원자로냉각재펌프로 전원이 공급되는 것으로 가정하였다. 이러한 가정하에서는 노심 열속이 충분히 낮아질 때까지 냉각재 유량이 유지되기 때문에 핵연료 건전성이 유지되었다.[1] 그러나 영광3,4호기 건설허가심사 단계에서 국내 규제기관은 미국 원자력규제위원회와는 달리 두 가지 다른 견해를 제시하였다. 첫째는 일반설계기준 (General Design Criteria; GDC) 17에 따라 소외전원상실을 단일고장이 아닌 기본가정으로 취급하고 필요 시 추가의 단일 고장을 고려하여야 한다는 것이고, 둘째는 소외전원상실 발생 시점을 터빈정지 3초 후에 발생하는 것이 아니고 터빈정지와 동시에 혹은 보수적인 시점에서 발생한다고 가정하여야 한다는 것이다. 규제기관의 첫 번째 견해에 대해서 설계자는 설계기준사건이 원인이 되어 소외전원상실이 따라서 발생하는 경우는 기본가정으로 취급되어야 하므로 규제기관의 의견을 받아들여 설계에 반영하였다. 그러나, 규제기관의 두 번째 견해에 대해서는 일반설계기준 17에서 지연시간에 대한 언급이 없으며,[2] 소외전원상실을 기본가정으로 하고 추가 단일고장을 적용하면서 시간지연을 고려하지 않을 경우 기존의 방법론으로는 인허가 요건을 만족하지 못하므로 영광3,4호기 전력망 안정도 분석결과를 근거로 소외전원상실은 터빈정지 3초 후에 발생한다고 가정하였고 이를 규제기관은 인정하였다.

한편, 영광3,4호기 이후에도 국내 규제기관은 터빈정지와 소외전원상실 간에 지연시간을 가정하지 않을 경우에 대한 안전성 확인을 요구하였으며 결국 영광5,6호기 건설허가 심사단계에서 터빈정지와 소외전원상실이 동시에 발생하는 것으로 가정하는 경우에 대한 한국표준원전의 안전성 확인을 건설허가 행정조치사항의 하나로 선정하여 운영허가 전까지 그 영향을 평가하여 종합보고서를 제출하도록 하였다.

이러한 안전해석에서의 터빈정지와 소외전원상실 간의 시간지연에 대한 장기적인 인허가 현안을 영광5,6호기 사업과정에서 해결하기 위하여 시간지연을 가정하지 않는 경우에 대한 안전성 확인 관련 연구와 터빈정지 후 3초 동안 원자로냉각재펌프에 전력을 공급할 수 있음을 확인하기 위한 전력망 안정도분석 및 터빈관성서행시험을 종합적으로 수행하였다.

2. 안전해석에서 전력계통 가정에 대한 검토

GDC 17의 설계기준은 소내 및 소외전력계통은 안전에 중요한 기기, 계통 및 구조물이 그 기능을 수행할 수 있도록 전력을 공급하여야 하며, 두 전력계통 중 하나만으로 예상운전과도사건 시 허용 핵연료 설계제한치와 압력경계 설계조건을 넘지 않아야 하고 가상사고 시 노심냉각, 격납건물 건전성 및 기타 필수기능이 유지되도록 각 전력계통은 충분한 능력과 용량을 제공하여야 한다는 것이다. 이에 따라 한국표준원전의 전력계통은 두 곳의 소외전원, 두 대의 비상디젤발전기 및 독립된 두개의 전기회로 등으로 구성되어 있어 단일고장, 독립성 및 다중성의 GDC 17 요건을 만족하고 있다.

전력계통에 대한 안전해석의 가정은 다음 세가지로 고려될 수 있다. 첫째, 소내전원이 상실되어 있는 상태, 즉 두 대의 비상디젤 발전기가 고장 난 상태에서는 소외전원만으로 안전관련계통에 전력이 공급되고 있는 상태이다. 그런데 이 경우는 운영기술지침서에서 제한하고 있기 때문에 안정성에 문제가 없다. 둘째로 소내전원은 건전하고 소외 전원이

상실되어 있는 경우로써 이때 발전소는 100% 출력을 유지하지 못하고 소내부하 운전 (3 ~ 5% 출력) 상태 또는 0% 출력 상태를 유지하게 된다. 이런 상태에서 사건이 발생하여 터빈이 정지하면 비상디젤 발전기에 의해 안전등급 기기에는 전기가 공급 되지만 비안전등급기기에는 공급되지 않으므로 원자로냉각재펌프는 터빈 관성력을 고려하지 않으면 가동이 중단된다. 그러나, 이 경우도 출력이 매우 낮은 상태 이므로 안전성에는 문제가 없다. 셋째로 소내전원이 건전하고 정상출력운전 중에 초기 사건이 발생하여 발전소 상태가 악화되어 원자로정지 및 터빈정지가 발생하고, 이로 인해 소외전원상실이 야기되는 경우이다. 소외전원이 상실되기 전까지는 안전계통 뿐만 아니라 원자로냉각재펌프에도 전원이 계속 공급된다.

본 연구는 세 번째 경우에 대하여 터빈정지 후 원자로냉각재펌프의 전원상실까지의 시간지연에 대한 연구이며 기존의 안전해석의 결과에 크게 영향을 미치는 경우이다. 이 경우는 전력망 안정도 분석결과에 의한 터빈정지 후 소외전원상실 발생 시점과 터빈정지 후 터빈 관성력에 의한 원자로냉각재펌프 전원공급가능 시점이 중요한 관심 사항이다.

3. 소외전원상실이 터빈정지와 동시에 발생할 경우 안전해석 영향 검토[3]

전력망 안정도분석 및 터빈 관성서행시험에 앞서 지연시간을 가정하지 않을 때의 안전성 확인을 위한 연구를 수행하였다. 본 연구는 소외전원상실이 터빈정지와 동시에 발생할 경우에 대하여 기존 방법론을 적용하여 분석하고 그 분석 결과들이 만족하지 못하는 사건 또는 사고들에 적용할 수 있는 개선방안들을 도출, 적용하는 것이다.

본 연구의 업무 수행 흐름은 그림 1과 같다.

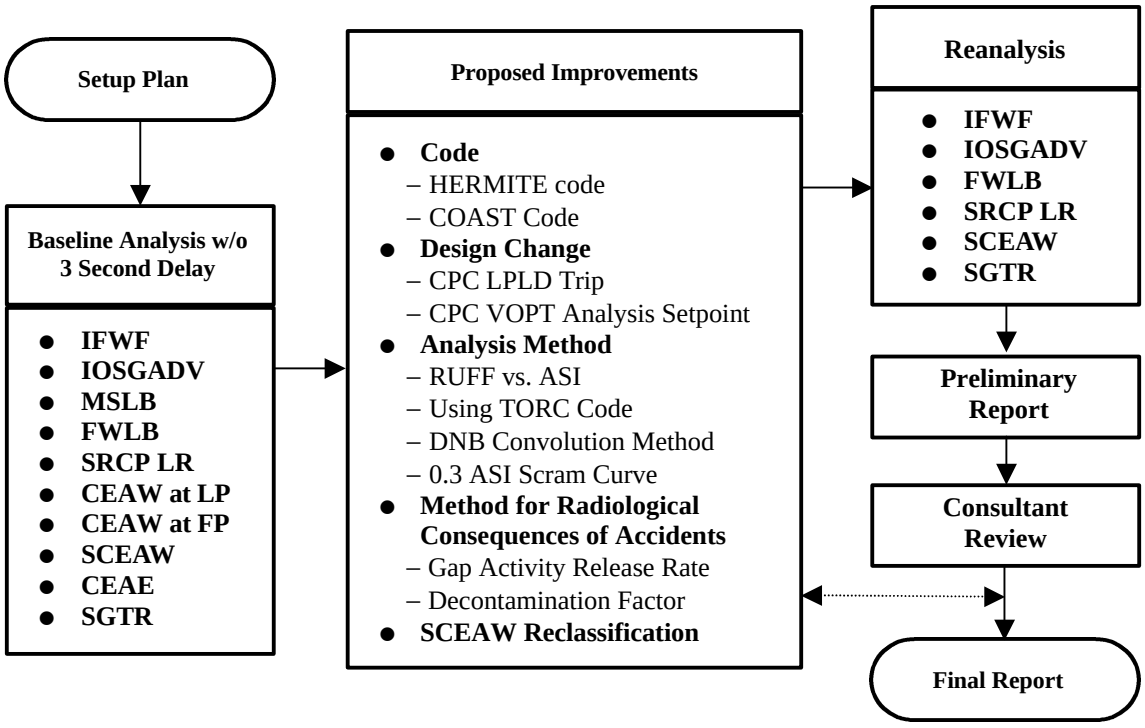

그림 1. 업무 수행 흐름도

3.1 기준해석(Baseline Analysis)

안전성분석보고서 15장의 사건 및 사고들 중 제한사건 및 사고들에 대하여 기존의 해석 방법론을 사용하고 원자로 및 터빈 정지와 소외전원상실이 동시에 발생하는 것으로 가정하여 안전해석을 수행하였다. 본 해석의 목적은 이러한 가정에 따라 각 사건 및 사고들을 해석하였을 때 어떤 문제가 있는지를 파악하고 그 문제를 해결하기 위한 방안들을 모색하기 위한 것이다. 해석결과는 표 1과 같으며 10개의 제한 사건 및 사고들 중 6개의 사건 및 사고가 허용기준을 만족하지 못하였다.

표 1. 제한사건 및 사고들의 기준해석 결과

사건 명	설계변수	허용기준	해석결과	평가
15.1.2 Increase in FW Flow	DNBR	> 1.3	1.1820	불만족
15.1.4 IOSGADV	DNBR	> 1.3	1.1079	불만족
15.1.5 MSLB	EAB Dose	< 3,000 mSv	2,310 mSv	만족
15.2.8 FWLB	EAB Dose	< 300 mSv	599 mSv	불만족
15.3.3 Single RCP Locked Rotor	EAB Dose	< 300 mSv	1,180 mSv	불만족
15.4.1 CEAW at Low Power	DNBR	> 1.3	3.0375	만족
15.4.2 CEAW at Power	DNBR	> 1.3	1.3164	만족
15.4.3 Single CEAW	ROPM	< 116%	124%	불만족
15.4.8 CEA Ejection	EAB Dose	< 750 mSv	337 mSv	만족
15.6.3 SGTR	EAB Dose	*No fuel fail* GIS< 300 mSv PIS<3,000 mSv	N/A*	불만족
		Fuel fail < 3,000 mSv	4,660 mSv	

* 동 사고로 인해 핵연료 손상이 발생하므로 분석대상에서 제외

3.2 개선방안 개발 및 평가

설계경험 및 기준해석 결과를 기반으로 아래와 같이 허용기준 만족을 위한 5개 분야 11가지 개선방안을 개발하고 평가하였다.

1) 코드 개선
   - 원자로냉각재계통의 압력 변화를 입력으로 사용할 수 있도록 HERMITE 코드 개선
   - 소외전원상실을 고려한 원자로냉각재펌프 회전자고착 사고 시 관성서행 거동을 모사할 수 있도록 COAST 코드 개선

2) 설계변경
   - 유출관 양단파단 사건 및 증기발생기 전열관파열 사고의 소외선량결과를 향상 시키기 위하여 가압기 저압력/저핵비등이탈률 정지 기능을 노심보호연산기에 추가
   - 노심보호연산기 성능 평가 결과를 근거로 노심보호연산기 가변과출력 정지 분석설정치를 121%에서 115%로 변경

3) 해석 방법론 개선

- 단일 원자로냉각재펌프 회전자고착 사고 등의 결과를 개선하기 위해 축방향출력편차 0.2에서 0.3에 해당하는 요구저유량분율을 조정
- 최소 핵비등이탈률 개선을 위하여 단일 제어봉 인출 사고의 핵비등이탈률 계산에 TORC 코드 사용
- 핵비등이탈 통계회선법을 모든 사고에 적용
- 출력 20%이상에서 축방향출력편차 0.3 에 해당하는 원자로정지반응도곡선 사용

4) 방사선학적 영향 평가 방법 개선

- 8 %개정 간극방사능 방출분율 적용
- 기화 분율에 따른 제염계수 적용

5) 사고 등급 변경

- SCEAW 사건을 등급 Ⅲ으로 재분류

3.3 개선방안 적용 재해석 및 결과

기준해석에서 허용기준 불만족으로 나타난 6건의 사건 및 사고에 대하여 타당성이 평가된 개선방안을 표 2와 같이 각 특성에 맞게 조합하여 재해석을 수행하였다. 그 결과 기준해석에서 허용기준 불만족으로 나타났던 6건의 사건과 사고는 표 3에서 보는 바와 같이 허용기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 상기 개선방안들을 한국표준원전에 반영하는 것에는 문제가 없는 것으로 검토되었으나 한국표준원전이 보유하고 있는 설계 및 운전여유도를 소진하여 향후 설계개선이 필요할 경우 반영이 어려울 가능성이 높은 것으로 평가되었다.

표 2. 개선방안 적용 일람표

개선 방안	IFWF	IOSGADV	FLB	SRCPLR	SCEAW	SGTR
HERMITE Code 개선				O		O
COAST Code 개선				O		
CPC LPLD Trip 추가						O
CPC VOPT 설정치 변경	O					
RUFF vs. ASI 적용				O		O
TORC Code 사용					O	
DNB Convolution Method 적용			O			
0.3 ASI Scram Curve 사용	O	O	O		O	O
개정 간극방사능 방출분율 적용			O	O		
기화분율에 따른 제염계수 적용			O	O	O	O
사고 등급 변경					O	
기타*		O*				

* 초기조건에 무관하게 원자로정지 시점인 1800초에서 MDNBR을 1.3으로 가정하였던 것을 다른사고와 동일하게 출력운전제한조건(POL) 조건에서 사고가 발생한다고 가정

표 3. 개선방안 적용 재해석 결과

사건 명	설계변수	허용기준	해석결과	평가
15.1.2 Increase in FW Flow	DNBR	> 1.3	1.3508	만족
15.1.4 IOSGADV	DNBR	> 1.3	1.3321	만족
15.2.8 FWLB	EAB Dose	< 300 mSv	90.5 mSv	만족
15.3.3 Single RCP Locked Rotor	EAB Dose	< 300 mSv	47.9 mSv	만족
15.4.3 Single CEAW	EAB Dose	< 300 mSv	15.2 mSv	만족
15.6.3 SGTR	EAB Dose	GIS< 300 mSv PIS<3,000 mSv	GIS: 20.9 mSv PIS: 95.8 mSv	만족

4. 터빈정지와 소외전원상실 간 3초 지연 타당성 검토

한국표준원전의 안전해석에서는 터빈정지 3초 후에 발전기 회로차단기가 개방되도록 설계되어 있기 때문에 터빈정지 후 원자로냉각재 펌프에 전원이 공급될 수 있는 시간은 3초로 가정된다. 이러한 3초 가정의 타당성을 입증하기 위하여 영광5,6호기 전력망 안정도를 분석하고 평가하였고 또한, 터빈정지에 의해 소외전원이 즉시 상실되는 경우라도, 터빈정지 후 터빈 관성력에 의해 적어도 3초 동안 원자로냉각재펌프에 전원을 공급할 수 있느냐 하는 것을 조사하기 위하여 영광5호기 출력상승시험 기간동안 터빈 관성 서행시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

4.1 전력망 안정도분석[4]

영광5,6호기의 발전전력이 동시에 상실되었을 때, 가장 보수적인 계통 운전 상황에서 원전의 안정정지에 필요한 제한 주파수 이상의 소외전력을 최소한 3초 이상 안정적으로 공급 받을 수 있는가를 평가하였다. 2002년 전력계통을 기준으로 하여 영광5,6호기가 동시에 탈락되었을 때와 총 발전력의 10%가 탈락되었을 때 소외전력확보 유무를 판별하기 위하여 계통 주파수 변동 분석을 수행하였다.

1) 주파수 변동 분석

사건 발생 후 원자로 및 터빈이 정지되어 원전의 발전이 정지 되었을 때 최소 3초 이상의 안정적인 소외전원이 원자로냉각재펌프에 공급될 수 있는 가를 평가하기 위하여 표 4와 같이 8가지 경우에 대하여 주파수 변동 민감도 분석이 수행되었다. 현실적으로 발생할 수 있는 가장 보수적인 경우는 경우 Ⅷ 이다.
일반적으로 원자력 발전소의 저주파 계전기의 동작 주파수는 57.3Hz이나 각 발전소마다 그 값이 약간씩 다르므로 저주파 계전기의 동작 주파수가 가장 높은 값을 분석에 사용하여야 한다. 본 분석에서는 보수적으로 57.7Hz를 사용하였다.

2) 분석 결과

그림 2는 전력계통이 경부하 (26,817 MW) 상태에 있을 때 영광5,6호기 (2,000 MW)가 동시에 상실되는 것으로 가정될 때 표 4의 다양한 경우에 대한 주파수 변화 모의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 57.7Hz에 그려진 수평선은 보수적으로 선정된 발전기의 저주파 계전기의 동작점을 표시한 것이다. 그림 2에 보는 바와 같이 전력 계통이 경부하로 운전 하던 중 영광5,6호기 발전력이 동시에 상실

(발전력의 7.46% 탈락)될 경우에 보수적인 정수 사용, 순동 예비율과 부하 댐핑 미고려, 그리고 부하 차단 계전기 미고려 등의 가장 보수적인 운전조건에서 도 주파수 응답 특성의 접선 성분이 발전기 저주파수 계전기의 동작 점까지 저하하는데 걸리는 시간은 4.12 초로 안전해석에 고려되는 터빈정지와 소외전원상실 간의 지연시간 3초 보다 큰 것으로 나타났다.
그림 3은 발전력 상실량을 보다 보수적으로 선정한 10% 발전 전력 탈락에 대한 주파수 변화 특성을 다양한 경우에 대하여 모의한 것이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 10%의 발전력이 상실된 경우에도 가장 보수적인 운전 조건하에서 주파수 응답 특성의 접선 성분이 발전기 저주파수 계전기의 동작점까지 저하하는데 걸리는 시간이 3.07초로 안전해석 요구 지연시간 3초보다 더 큼을 알 수 있다.

표 4. 안정적인 소외전력 공급여부의 판단에 사용된 계통의 운전 상황

Case	부하차단 UFR의 동작 고려 유무	순동예비율 2% 고려 유무	부하 댐핑 고려 유무
I	O	O	O
II	O	X	O
III	O	O	X
IV	O	X	X
V	X	O	O
VI	X	X	O
VII	X	O	X
VIII	X	X	X

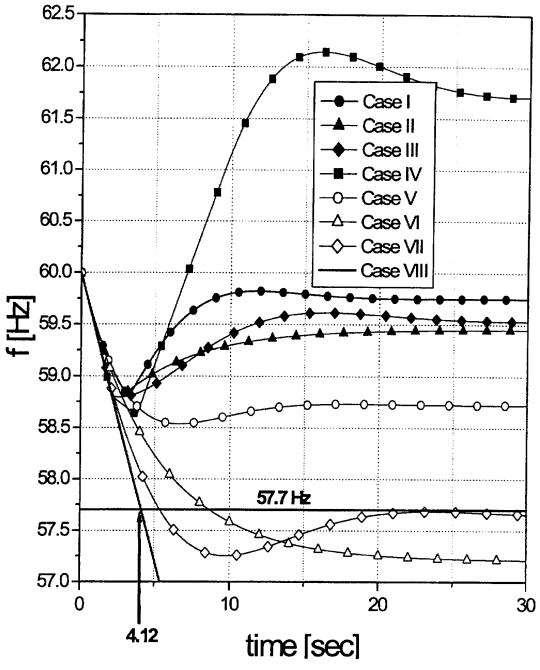

그림 2. 영광5,6호기 발전력이 동시 상실 될 경우 주파수 변화 모의 결과

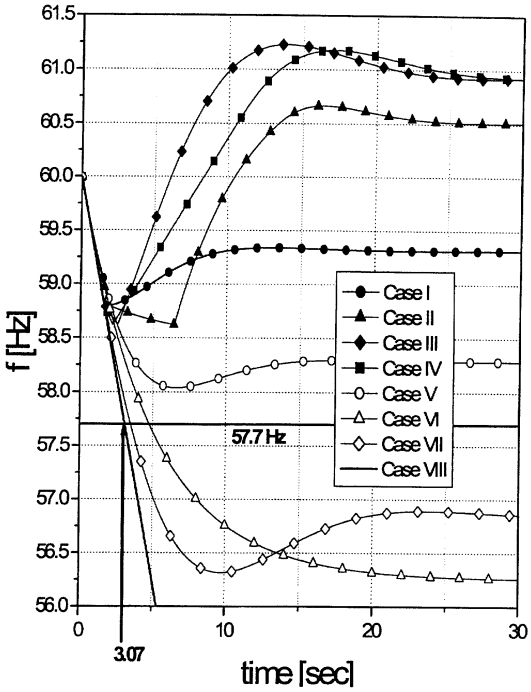

그림 3. 10% 발전력이 상실될 경우 주파수 변화 모의 결과

4.2 터빈관성 서행시험 및 전산모사[5]

본 시험을 위하여 특별히 영광5호기 시험공정을 조정하고 관련 시험절차를 별도로 수립하여 출력운전 중 사고로 인하여 원자로 정지, 터빈 정지 그리고 소외전원상실이 동시에 발생한 경우 터빈의 관성력에 의한 소내부하 전원 공급 가능시간을 평가하였다. 터빈 관성서행시험은 출력상승시험 (Power Ascension Test, PAT)기간 중에 계통이 병입된 저출력 (원자로 출력 15%)에서 수행되었다. 본 시험에서 측정된 자료를 사용하여 동 상황을 모사할 수 있는 전산모델에 대한 확인 및 검증 작업이 수행되었다. 검증된 전산 모델을 사용하여 전출력 운전 중 동 상황 발생시 원자로냉각재펌프로 공급될 수 있는 전원 공급 시간을 예측하였다. 본 시험을 위하여 특별히 설치된 TDAS, 터빈 제어계통인 Mark-V 및 발전소감시계통(PMS) 의 SOE(Sequence of Events)로 세가지 다른 방법으로 측정된 자료를 수집하여 평가하였다.

1) 터빈관성 서행시험 (Turbine Coastdown Test)

본 시험은 핵연료 장전 후 출력상승시험(Power Ascension Test, PAT)에 계획된 원자로출력 15%에서의 소외전원상실시험에 포함되어 실시되었으며 그 시험결과를 토대로 전산 프로그램을 검증하여 전출력 운전에 대한 모사의 정확성을 향상시키는 것이 그 목적이다. 시험의 목적을 달성하기 위하여 임시로 추가된 설비와 기존설계의 변경 사항은 다음과 같다.

- 원자로 정지 신호를 받아 Switchyard Primary Circuit Break를 자동으로 개방시키는 논리회로 추가
- 터빈 정지 3초 후 발전기 회로차단기가 개방되는 것을 막기 위한 논리회로 변경
- 발전기 주파수가 58.5Hz (터빈 속도 97.5%)에 도달하면 즉시 발전기회로 차단기가 개방되도록 논리회로 변경

세가지 다른 방법으로 측정된 원자로냉각재 펌프로의 전원공급유지 시간은 표 5와 같으며 각 측정 자료의 차이는 약 0.5초로 약 6%의 오차범위 내에 있다. 따라서 본 시험에서는 가장 짧은 시간에 해당되는 PMS SOE 자료에 근거하여 터빈정지 및 소외전원상실 후 약 7.2초 동안 원자로냉각재펌프로 전원이 공급될 수 있는 것으로 평가되었다.

표 5. 각 측정 자료별 원자로냉각재펌프 전원공급 유지시간

측정 자료	TDAS	Mark- V	PMS SOE
RCP 전원공급 유지 시간 (초)	7.26	7.688	7.213

시험동안 발전기 전력은 75 ~ 78 MW 정도 였으며 소내부하량은 약 38 MW 이었다. 전산모사는 발전소 주파수가 아닌 터빈 속도를 예측하므로 시험 시 측정된 터빈속도가 97.5%로 감소하는 시간과 비교하여야 한다. 만약 전산모사 결과와 비교하기 위하여 터빈속도가 97.5%로 감소하는 시간을 계산하려면 원자로냉각재펌프 공급유지시간에서 발전기 회로차단기가 동작하는 시간 (1.22초)을 빼면 된다. 터빈 속도가 97.5%에 도달하는 전산모사결과는 6.05초 이었으며

이는 TDAS 시험 결과인 6.04초와 잘 일치한다.

2) 전출력에 대한 전산모사

시험에서 측정된 자료에 의해 검증된 전산모델을 사용하여 발전기의 출력 3.5% 및 7% 에 해당하는 소내부하들에 대하여 100% 출력을 포함한 6가지 발전기 운전출력 상태에서 터빈속도가 97.5%에 도달 가능한 시간을 모사하였다. 그 결과 표 6과 같으며 어떠한 경우에도 터빈속도가 97.5%에 도달하는데 3초 이상 즉, 원자로냉각재펌프로 전원이 3초 이상 공급될 수 있는 것으로 평가되었다.

표 6. 출력별 전산모사 결과

발전기 출력 (1,096MW 기준)	97.5% Speed (sec.)	
	3.5% 소내부하 (38MW)	7% 소내부하 (76MW)
7.1%*	6.05	3.55
15%	7.23	4.25
30%	9.51	5.65
50%	12.60	7.55
80%	17.15	10.45
100%	20 이상	11.85

* 원자로 출력 15%에 해당

5. 결론

소외전원상실 지연시간과 관련한 안전해석에 대해 제기된 문제점 해결을 위하여 두 가지 관점에서 접근하였다. 첫째는 영광5,6호기 건설허가 행정조치 사항의 하나로 수행된 터빈정지와 소외전원상실사고가 동시에 발생할 때의 그 영향 및 대책에 관한 연구이며, 둘째는 터빈 정지와 소외전원상실 간의 지연시간으로 가정한 3초의 타당성을 입증하기 위한 연구이다.

터빈 정지와 소외전원상실 간의 지연시간과 터빈 관성력을 고려하지 않더라도 도출된 개선방안을 조합하여 한국표준원전에 적용할 경우 안전해석의 허용기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 개선방안을 적용하면 한국표준원전 고유의 설계 및 운전 여유도를 거의 소진하게 되므로 발전소 운영측면에서 바람직하지 않다. 그리고 터빈 정지와 소외전원상실이 동시에 발생하더라도, 즉 지연시간이 없더라도 터빈 관성력에 의해 생산된 전기로 3초 이상은 충분히 원자로냉각재펌프에 전력을 공급할 수 있음을 입증하였다. 한편 전력망 안정도 분석 결과에 의하면 가장 보수적인 가정을 하더라도 터빈정지 후 소외전원이 상실되기 까지는 최소한 3초 이상이 걸리는 것으로 나타났다.

결론적으로 소외전원상실관련 3초 지연시간의 타당성이 입증되었으며, 3초 지연을 고려하지 않을 경우에도 개선방안을 적용하여 안전해석기준을 만족함을 보였으므로 안전해석에 있어서 3초 지연 가정에 대해 제기된 문제는 해결된 것으로 판단된다.

후 기

본 연구들은 한국수력원자력㈜ 영광5,6호기 사업실 지원하에 수행되었으며, 본 연구에 참여하신 한국수력원자력㈜ 본사 영광5,6사업실, 설계처, 영광 건설소 및 제3발전소 관계자분들과, 두산중㈜, 한전연료㈜, 한국전력기술㈜, 등의 계약사 관계자분들, 그리고 자문위원들의 협조와 지원에 감사드립니다. 특히 한국표준원전의 장기적인 현안사항이었던 본 과제를 영광5,6호기 사업수행과정에서 해결해야 함에 따라 많은 어려움과 정책적 판단이 필요하였음에도 불구하고 본 과제의 성공적인 수행을 위하여 계획단계부터 적극적으로 지원해 주시고 격려해 주신 한수원㈜ 영광5,6호기 전 사업관리역 민계홍님 (현 영광건설소장)과 현 사업관리역 이심교 부처장님께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 소외전원상실에 대한 사고해석측면애서의 고찰, 송진호, 이상근,'95 한국원자력학회 추계학술발표회 논문집
2. 소외전원상실의 안전해석 적용 검토, 이규천,최철진,서종태, 전력기술 1999 No. 2
3. 소외전원상실 관련 안전해석 종합보고서, LOOP/TR/00-001, Rev.01, 2001.9
4. 발전력 상실에 따른 원전 소외전력계통의 전력공급안정도 분석, 2001.4
5. 영광5호기 Turbine Coastdown Test 최종결과보고서, 2002.4