

## 중대사고 관리를 위한 울진 3~4 원전 기기의 생존성 평가 (Assessment of Existing Ul-Jin 3~4 Plants Instrumentation for Severe Accident Management)

Kil Mo Koo,<sup>a</sup> Sang Baik Kim,<sup>a</sup> Hee Dong Kim,<sup>a</sup> Hee Young Kang,<sup>a</sup>  
*a Thermal-Hydraulic Safety Research Team, KAERI, DukJin Dong, YuSeong, DaeJeon,  
305-353, Korea*

### 1. 서언

TMI-2 사고 이후 중대사고 관리에 관련한 다양한 이슈를 접하게 되었으며, SECY 88-147 에서 “중대사고 이슈의 종결 통합 계획” 과 함께 중대사고 연구의 종료 단계로서 사고관리 대처 능력의 개선과 입증에 위한 유용한 정보 및 방법론 등의 도구 개발에 역점을 두었다[1]. 이 방법론의 개발로서 중대사고 상황을 진단하기 위해서는 발전소 응답 시스템으로부터 발전소 상태를 결정하고 관리자의 행동 조치가 함께 수반된다. 중대사고가 발생하는 동안에 발전소 기기들의 해석은 사고관리를 위해서 매우 중요하다. SECY 89-012 “ 사고관리 규제 및 연구 프로그램에 대한 관리자 계획” 에서 원자력 규제위원회는 사용자에 대한 사고 관리계획의 중요 요소로서 기기의 생존성 평가가 요구되었다.

원전의 중대사고 관리 계획 수립을 위하여 중대사고 환경 조건에서 발전소 기기의 정확도는 매우 중요하다. 이러한 시점에서, 중대사고가 일어나고 있는 동안 계측정보의 일관성 유지를 위해서 원전 기기의 생존성 평가가 요구되었다. 이 생존성 평가 방법은 계측기기의 예상된 환경조건과 계측의 인자 예상범위 내에서 계통 기기의 내구성 유지 가능성의 성능인 EQ 결과와 비교 평가한다. 이 평가 대상은 국내 울진 원전 3~4 호기의 중요 계측 시스템에 적용하여 그 비교 평가 데이터를 정리 하였다. 그 예상된 사고 환경 조건들은 중대사고 시나리오에 따른 컴퓨터 모의 분석을 기본으로 한다. 모의 분석용 코드는 MAAP 4 를 사용한다. 시나리오의 중요 사고 환경 단계(AES)는 편의상 5 단계로 구분하여 설정하였다. 계측기기의 평가 판정은 사고 환경 5 단계에 따라서 예상된 파라미터와 계기에 영향을 미치는 온도, 습도, 압력의 환경 조건의 파라미터와 EQ 를 설정 비교 평가하여 시간 단계별 생존 여부를 결정하였다.

### 2. 방법론 개요

이 방법론의 개발과 적용을 위해서는 중대사고 유용한 정보 필요와 생존성 및 필요한 단계에 설정 범위를 만족하는 발전소 기기의 성능을 입증하는데 있다. 이 방법론의 개발은 3 단계 개발 절차를 따른다.

#### 2.1 중대사고 필요정보의 입증 (1 단계)

중대사고 관리를 위한 장비 생존성 입증의 첫 단계는 필요한 정보를 설정한다. 중대사고 관리

지침을 운영하는데 있어서 필요한 정보의 설정이 중요하다. 필요한 정보 셋트는 중대사고 관리를 위한 운영자와 기술제공센터(TSC)의 종사자에게 입증되어야 한다.

#### 2.1.1. 긴급 운영 절차서(EOP)

긴급 운영 절차서의 지침은 사고 완화 및 중대사고 방지 및 격납건물 건전성 유지 기능을 위해서 개발되었다. 이들 지침들은 발전소의 사양을 기준하여 긴급 운영 절차서를 개발한다. TBR 로부터 CHLAs 와 같은 중대사고 관리조치들은 사고 완화를 위한 EOPs 를 입증시켜야 한다. 운영자의 조치는 중대사고 전, 중 사고 단계에 지속적으로 적용된다.

#### 2.1.2. 중대사고 전략

중대사고가 발생하는 동안 제어 룸 운영자와 기술 유지 센터(TCS) 종사자들은 발전소의 사양을 기준한 SAMG 을 통하여 제공된 전략을 적용받게 된다. 그 필요한 정보는 효과적 평가와 각각 상황에 따른 전략에 적용된다. 울진 원전 3&4 발전소의 경우는 TBR 에서 입증된 CHLAs 가 필요할 것이다.

#### 2.1.3 노심 및 격납 용기 상태 평가

중대사고 노심 및 격납 용기내부의 다양한 상태를 관리 지침 기술 보고서에 요약 정리하였다. 발전소 상태의 해석은 이들 행동 조치가 요구될 시점에서 행동 조치를 선택하여 중대사고 관리 지침으로 사용될 수 있다. 원전 노심 및 격납 용기 평가는 수목도의 중대사고 현상들과 TBR 검토를 통하여 제시한다. 정보의 유형을 설정하는 이들 수목 도는 발전소 상태를 결정하고, SAMG 에서도 사용된 여러 정보의 유형을 설정하는데 사용된다.

### 2.2 중대사고 환경 설정 (2 단계)

필요한 정보와 파라미터 설정을 위해서는 각 예상 파라미터의 양적 정보 및 환경 조건을 계산한다. 확률론적 위험도 평가(PRA)는 안전 주입탱크 동작과 고압력 안전 주입 및 재순환 동작과 격납용기 분무 동작 조건에서 노심 손상이 소형 LOCA, 고압력 안전 주입 불동작에서 증기 발생기 관 파손(SGTR), 보조 충전수 불동작과 저압력 안전주입 동작과 격납용기 주입 재순환 동작에서 충전수 손실(LOFW), AFW 에서 전원 공급원 차단(Station Blackout), 재순환 손실에 의한 대형 LOCA 과 같은 발전소 손상 상태 또는 등급 분류로서 구분 할 수 있다. 이 시나리오는 컴퓨터 코드 MAAP4 를 이용하여 사건 분석과 처리 조건 설정 및 환경 조건을 재현할 수 있다. 대부분 사용자들은 그들의 발전소 시험(IPE)의 일부로서 MAAP 를

사용하여 이들 사고 등급을 분류하고, 이들 분석은 환경 조건 및 파라미터 범위 설정하는데 이용된다. 예상 범위 파라미터 값을 얻기 위해서 여러 대표 사고가 선택되고 분석이 되어야한다. 사고 분석은 발전소 IPE 로부터 주요 사고 분류 및 발전소 손상 상태의 기본 정보를 선택한다. 여기에서 사용된 일반적인 사고 범주는 다음과 같다.

- 노심 손상 빈도 - IPE 결과 중대사고 분류는 지배적인 예상조건으로 나타낸다. 이들 사고 분류로부터 발전소 노심 손상 상태는 선택된다.
- RCS 및 격납건물 조건 : (고 및 저 RCS 압력, 격납 건물 냉각 및 비 냉각 등) 이들 조건의 범위는 다양한 가능성 조건을 나타내어야 한다. 표-1에서는 PDS 기준 대표 사고경위 5 가지를 정리하였다. 이들 각각 사고 시나리오에 대해서 시간 상황에 따라서 5 시각 단계(time phases)로 구분한다. 이 단계를 이용하여 사고환경단계(AES) 설정하였다.

- 1) Phase 1 AES : 사고시작-노심 노출은 DBA EQ 의해 제한됨
- 2) Phase 2 AES : 노심 노출-노심 용융 시작은 DBA EQ 의해 제한됨 이때 최대 노심온도는 TCRHOT 의 2499 K 시점
- 3) Phase 3 AES : 노심 용융 시작-원자로 용기 재배치 (급격한 노심 손상 및 용융)
- 4) Phase 4 AES : 원자로 용기 재배치-원자로 용기 고장(노심용융물 격납건물 유입)
- 5) Phase 5 AES : 원자로 용기 고장-격납용기 고장

**2.3 필요정보에 따른 기기 평가 및 대체 방법 설정 (3 단계)**

각 사고환경단계(AES)의 환경 조건과 예상된 파라미터 범위, 등 관련 파라미터의 필요한 정보를 설정하기 위한 3 단계에서는 대체기기의 처리범위 및 설정이 추가로 수행되어야한다. 다음은 MAAP4 분석에 따른 울진 3,4 호기사고 경위 선정에 위한 PDS 기준 대표사고경위 5 가지는 다음 표와 같다. 표-2 는 SL-12 시나리오의 중대사고 환경(온도)조건의 5 단계를 표본으로 나타내었고 이데이터와 표-3 의 PWR 기기 중요 EQ 데이터를 비교 평가하는 절차로 진행된다.

표-1 PDS 기준 대표사고 경위 5 종류

AES	1) SLOCAPDS S12	2) SGRTPDS S37	3) LOFWPDS S115	4) SLOCAPDS S59	5) LLOCAPDS S09
Phase 1	86535.45 (초)	9802.79 (초)	3209.20 (초)	3730.46 (초)	9.10 (초)
Phase 2	91365.1 (초)	15449.3 (초)	5802.8 (초)	5643.96 (초)	N/A
Phase 3	98586.8 (초)	20187.83 (초)	10211.32 (초)	N/A	N/A
Phase 4	N/A	21633.52 (초)	11343.25 (초)	N/A	N/A
Phase 5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

표-2 SL-12 시나리오의 중대사고 환경(온도)조건

사고	환경 위치	MAAP	온도(°F)				
			PH 1 시점	PH 2 시점	PH 3 시점	PH 4 시점	PH 5 시점
1 SL-12	CONT TEMPERATURE(F)	TORBI(1)	3.87988e+023	92239e+023	91103e+02	N/A	N/A
		TORBI(2)	3.79110e+023	84927e+023	82413e+02	N/A	N/A
		TORBI(3)	3.74414e+023	79405e+023	79467e+02	N/A	N/A
		TORBI(4)	3.71376e+023	76197e+023	74376e+02	N/A	N/A
		TORBI(5)	3.74139e+023	78862e+023	79340e+02	N/A	N/A

표-3 PWR 기기 중요 EQ 데이터

파라미터	기기 번호	EQ 온도	EQ 압력	EQ 습도 (%)	EQ RADRG	1.97
TEMP. COLD LEG	TE-413B, 423B, 433B, 443B	303	66	100%	3.3E7	Y
TEMP. CORE EXIT T/C	RT-1 THRU RT-65	450	73.5	100%	2.2E8	Y
TEMP. HOT LEG	TE-413A, 423A, 433A, 443A	303	66	100%	3.3E7	Y
PRESSURIZER LEVEL(%)	LT-459, 480, 461	303	66	100%	3.3E7	Y
S/G PRESSURE	PT-514/5/6, 52X, 53X, 54X	342	5	100%	4E2	Y

**3. 결론**

이들 분석 비교 평가 결과로부터 일부 중요 계측기기는 초기의 적절성 및 생존성 분석에 불만족하였다. 이들 기기는 사고 환경 영향에 따라서 한계범위의 초과상태로 표시되는 비정규 지시값 또는 지시치 상한값으로 벌어지는 고장 및 강등 상태로 예상된다. 이들 기기의 경우 선택된 일부 기기에 대해서 대체 방법이나 만족할 수 있는 정보 필요 결정을 위한 평가 방법이 더 진행이 되어야한다. 그리고 대체 방법으로 개발한 기술은 본 기술 개발의 2 단계로서 중대사고 조건에서 기기 성능 평가 방법을 개발하고자 하였다. 이 기술개발의 목적은 사고 환경 영향에 따라 강등된 기기로부터 정보 수집하여 기기의 상태를 진단하는 방법과 그 상태를 개선하고자 새로운 성능 개선 기술을 적용하였다. 이 대체 방법의 평가와 그 결과의 징후군의 특징 분석을 통하여 일부의 계측기의 비정상동작의 원인을 분석하고 그 분석한 결과를 이용하여 일부 정보를 보상하는 단계까지 연구되었다. 보다 상세한 연구 결과들은 본 연구과제서 병행으로 연구를 수행한 “중대사고 조건에서 계측기기 성능 평가 및 개선” 주제의 보고서와 논문에서 정리하였다

**참고문헌**

- [1] Severe Accident Management Guidance Technical Basis Report, Vols. 1 and 2, EPRI TR-101869, December 1992
- [2] Instrument Performance Under Severe Accident Conditions: Ways to Acquire Information From Instruments Affected, EPRI TR-102371, 1992.
- [3] Instrumentation Availability for a Pressurized Water Reactor with a Large, Dry Containment During Severe Accidents, NUREG/CR-5691 (EGG-2638), March 1991.
- [4] Summary of a Workshop on Severe Accident Management for BWRs, NUREG/CR-5780, November 1991.