

Effectiveness Evaluation of Plant Operational Parts on Stress Test in Kori unit 1

Jonghyun Youn(86103869@khnp.co.kr), Taeyoung Song(songty@khnp.co.kr),

Byungdo Ko(gobyung@khnp.co.kr)

Korea hydro & Nuclear Power Co.,LTD, Daejeon, 305-343

ABSTRACT

Fukushima nuclear power plant accident occurred due to a big earthquake and a tsunami in Japan on March 11 in 2011. Since then, the aftereffect of the accident has hit nuclear power industry stronger than expected. In our country, a lot of measures have been also taken to strengthen the safety of the nuclear power plant. Old nuclear power plants like kori unit 1 and wolsong unit 1 should be performed a stress test, which evaluates the maintainability of plant safety assuming the most severe accident that has no power supply and ultimate heat sink.

In this paper, we introduced the stress test results performed for kori unit 1 plant related to the plant operational parts such as organization, personnel, working procedure, man-machine interface, education and training, etc.

Keywords: Stress test, Human performance error, Nuclear power plant, Severe accident, Man-machine interface, Effectiveness evaluation, Decision-making errors

1. 서론

2011년 3월 후쿠시마 원전 사고 이후, 국민의 안전을 최우선으로 하는 노후 원전 안전정책 추진으로 월성1호기 및 고리1호기 스트레스 테스트 (Stress Test, 이하 'ST'로 표기)가 수행되고 있다. ST는 설계기준을 초과하는 대형 자연재해에 대한 원전의 대응능력을 평가하여 원자력발전소의 안전성을 엄격하게 재확인하고자 하는 것이 목적으로, 후쿠시마 원전사고 이후 실시한 유럽연합 (EU:European Union)의 ST 및 국제원자력기구 (IAEA: International Atomic Energy Agency), 미국, 일본의 안전 대응조치와 국제 환경단체 등에서 제기한 여러 지적사항을 반영한 원자력안전위원회의 ST 수행지침에 따라 수행되고 있다.

ST 세부 분야는 1) 지진, 2) 해일 및 기타 자연재해, 3) 전력계통 등 안전기능 상실, 4) 중대사고

관리, 5) 비상대응 등 5개로 구분하며, 기기 내구성, 운영 및 한계 성능 등을 다각도로 평가하는 것이다.

한편, 고리1호기 ST 운영분야 인간공학 유효성 평가는 실제 주제어실 운전원을 포함한 고리 1호기 발전소 조직이 설계기준을 초과하는 대형 자연재해시의 대응능력을 확인하는 것으로서, 자체적으로 개발한 세부 시나리오에 따라 고리1호기 시뮬레이터를 이용하여 수행하였다.

본 논문에서 고리1호기 ST 운영분야 인간공학 유효성평가에 대하여 목적, 범위, 수행 일정 및 평가결과를 간략히 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 목적

고리1호기 ST 인간공학 유효성평가의 목적은 설계기준을 초과하는 대형 자연재해(지진 및 해일 등)에 대한 원전의 대응능력을 인간공학 관점에서 중

합적으로 평가하는 것이다. 즉, 발전소 조직내의 인력(주제어실 운전원 포함)들이 설계기준을 초과하는 사고가 발생할 경우, 발전소의 설비 및 절차서 등을 활용하여 적절하게 대처할 수 있는지 확인하고, 취약한 부분에 대한 개선사항을 제시하기 위함이다.

2.2 평가범위

고리1호기 ST 인간공학 유효성평가 범위는 고리1호기 발전소 설비, 절차서, 조직 등 발전소 운영 전반을 대상으로 하며, 한국원자력안전기술원(KINS: Korea Institute of Nuclear Safety) 스트레스테스트 수행지침[1]에 각 분야별 주요 요구사항이 다음과 같이 명시되어 있다.

1) 1분야(지진에 의한 구조물, 계통, 기기 안전성):

상황을 인지할 수 있는 방안 및 소요시간, 대처방안 결정 소요시간, 설비설치 등 대처방안 이행 소요시간을 평가하고, 인적오류·의사결정 오류 발생가능성을 확인하기 위해서는 발전소 조직 및 인원에 의해서 수행되는 조치가 방해받을 수 있는 요소를 고려해야 함. 만일 인적오류 또는 의사결정오류가 발생할 가능성이 있다면, 취약분야로 정의하고 대응능력 확보방안을 보장해야 한다.

2) 2분야(해일 및 기타 자연재해에 의한 구조물, 계통, 기기 안전성):

침수 경고 및 결과 완화를 위한 주요 운전절차(비상운전절차서, 이동형 설비, 침수감시, 경보시스템 등) 및 관련 감시(점검) 프로그램을 제시해야 한다.

3) 3분야(전력계통 등 안전기능 상실에 대한 대응능력):

소외전원상실 등 전력상실과 최종열제거원 상실 시를 대비한 설계사항이 있으면 운전조건, 성능 등을 포함하여 관련 절차/지침 등을 평가해야 하며, 각 사고 시나리오 별로 인력 및 장비의 접근성 등을 평가할 수 있을 정도 수준으로 검토해야 한다.

사고시나리오는 ‘자동작동조건 → 수동작동조건 → 이동형 설비 활용조건 → 소외자원 활용조건’을 확인할 수 있도록 평가되어야 한다.

4) 4분야(중대사고 관리능력):

기술, 조직, 운영(능력 습득, 유지를 위한 교육 훈련 포함) 측면에서의 중대사고 관리 프로그램을 평가해야 한다.

5) 5분야(방재 및 비상대응능력):

비상대응에 필요한 내/외부 인력의 방호조치 능력을 평가하고, 필요시 대처방안을 마련하며, 방호조치에 필요한 장비들은 자연재해에 견딜 수 있는지 여부도 평가해야 함. 비상발령경보에 대하여 경보가 발생하지 않는다고 가정할 때, 비상발령기준이 적절하게 설정되어 있는지, 비상발령조건에 해당되는지 여부를 확인할 수 있는지, 비상발령조건 해당여부 확인 후 비상발령권자와의 의사소통이 가능한지 등을 평가해야 하며, 사용후 연료저장소의 냉각기능이 상실되었을 경우, 비상발령필요성 등을 포함하여 비상발령기준의 적절성을 평가해야 한다.

2.3 서류 적합성평가 검토

고리1호기 ST 인간공학 평가를 위해 서류적합성 평가를 수행하여 아래와 같이 ST 보고서[2]를 작성하였다.

2.3.1 고리1호기 ST 보고서

고리1호기 ST보고서는 아래와 같이 5개 분야로 구분하였으며, 기기 내구성, 운영 및 인적요소, 한계성능 등을 다각도로 평가하였다.

1) 1분야(지진에 의한 구조물, 계통, 기기 안전성)에서는 설계기준지진의 적정성, 내진설비 점검, 재현주기 10,000년 빈도 규모의 지진 발생시 안전기능 유지여부 및 발전소 대응능력 등을 평가하였다.

2) 2분야(해일 및 기타 자연재해에 의한 구조물, 계통, 기기 안전성)에서는 설계기준침수의 적정성, 침수방지설비 점검, 안전기능 유지가 가능한 최대 침수수위 평가, 강풍(토네이도), 수온상승 등에 의한 영향을 평가하였다.

3) 3분야(전력계통 등 안전기능 상실)에서는 소외 전력상실, 소내정전조건, 최종열제거원상실 조건에서의 사고 시나리오 및 예비전력공급원 지속시간 등 발전소 대응능력을 평가하였다.

4) 4분야(중대사고 관리능력)에서는 노심 냉각기능, 격납건물 건전성, 연료저장소 냉각기능의 확보방안 등 중대사고 관리방안에 대해 평가하였다.

5) 5분야(방재 및 비상대응능력)에서는 장기 정전사고시 통신체계 건전성, 중대사고 발생시 환경방사선 감시 및 선량평가 능력, 비상조직 및 지휘 통제체계의 적절성 등을 평가하였다.

2.4 평가 고려사항

1) 평가 시나리오 선정:

고리1호기 ST 인간공학 평가에 사용된 시나리오는 고리1호기 ST 보고서에 나타나 있는 가정사항과 9개의 시나리오를 기반으로, 보다 구체적인 사고 시나리오를 동일하게 9개를 개발하였으며, 개발된 9개의 시나리오를 검토한 결과, 4개의 시나리오만 사용하더라도 9개의 시나리오에서 필요로 하는 조치내용을 모두 포함할 수 있는 것으로 검토되었다. 따라서 실제 평가에는 4개 시나리오만 사용하였다.

2) 주제어실, 기술지원실, 현장 조작 및 확인 기기:

고리1호기는 가동중인 발전소이므로 실제 주제어실에서 수행하는 것이 불가능하였다. 따라서 교육훈련센터에 설치되어 있는 고리1호기용 시뮬레이터실을 주제어실로 가정하였으며, 해당 시뮬레이터를 주제어반으로 가정하여 사용하였다. 이와 더불어 기술지원실도 주제어실과 동일하게 고리1호기 시뮬레이터실내의 회의실을 기술지원실로 가정하였다.

3) 발전소 조직 및 인원:

시나리오 9(AAC DG를 포함한 소내정전과 최종열 제거원상실을 동반한 0.3 지진)은 지진으로 인한 화재 발생을 가정하였다. 화재 발생은 지진과 동시에 화재순찰조(4명)가 시나리오 9번을 수행하는 동안에 별도의 화재순찰조를 편성하여 운영하였다.

4) 발전소설비(이동형발전차 및 이동형해수펌프): 고리1호기 ST 인간공학 평가에서는 시나리오 9(AAC DG를 포함한 소내정전과 최종열 제거원상실을 동반한 0.3 지진)에서 이동형 발전차를

이동 및 시연하였다.

5) 절차서:

고리1호기 ST 인간공학 평가에서는 실제 고리1호기에서 사용 중인 운전절차서를 활용하여 평가를 수행하였다. 그러나 시나리오상 설계사고 기준을 넘어서는 사고가 발생된 것으로 가정하고 있으므로, 기존 절차서를 활용할 수 없는 경우에는 사전검사를 통해 절차서간의 연계사항 및 최소한 시나리오 운영이 가능하도록 절차서 내용을 부분적으로 변경하여 평가를 수행하였다.

6) 시뮬레이터:

고리1호기 ST 인간공학 평가에 사용된 고리1호기 시뮬레이터는 최근에 고리1호기 주제어반 전면개선에 따라 변경된 최신의 시뮬레이터를 활용하였다.

2.5 평가 대상

고리1호기 ST 인간공학 평가를 위한 평가 대상은 아래와 같다.

1) 인간-시스템 연계 설비(HIS: Human-System Interface)의 적절성

2) 발전소 통신설비의 적절성

3) 발전소 조명설비의 적절성

4) 발전소 절차서의 적절성

5) 발전소 지원장비의 적절성

6) 사고시나리오 가정사항(수행시간)의 적절성

2.6 평가 일정

고리1호기 ST 인간공학 유효성평가는 스트레스 테스트 수행지침[1]을 근거로 한 사고시나리오 개발, 사전검사 수행, 고리1호기에서 실질적인 운전조가 참여한 유효성평가로 구분되며, 구체적으로 아래와 같은 평가일정에 따라 수행하였다.

먼저, 고리1호기 ST 인간공학 평가를 위한 사고시나리오는 2개월에 걸쳐서 모두 9개의 시나리오를 개발하였고, 사전검사는 1주일간 2번에 걸쳐 수행하였다. 그리고 사전검사서에서 도출된 미비점을 보완하여 운전3개조를 투입하여 각 1주일간 인간공학 평가를 수행하였다.

수행 내용	기간	수행 장소
시나리오 개발	2014.01.01 ~ 02.28	한국전력기술(주), 고리1발전소
사전검사	2014.02.10 ~ 02.14 2014.04.29 ~ 05.02	고리훈련센터
1조 평가	2014.05.26 ~ 05.30	고리훈련센터, 고리1발전소
2조 평가	2014.07.07 ~ 07.11	고리훈련센터, 고리1발전소
3조 평가	2014.07.28 ~ 08.01	고리훈련센터, 고리1발전소

2.7 평가 절차

2.7.1 사전검사

고리1호기 ST 인간공학 평가를 수행하기 전에 2 번에 걸쳐서 사전검사를 수행하였다. 1차 사전검사는 실제로 고리1호기 ST 관련 인간공학 평가 수행 중에 발생할 수 있는 시뮬레이터 문제, 부적절한 수행절차 등과 같은 다양한 문제점을 사전에 파악하였고, 2차 사전검사에서는 1차 사전검사서 문제점으로 도출된 항목들을 보완하였다.

2.7.2 피 평가자 교육

고리1호기 ST 인간공학 평가에 참여하는 인원 중에 평가자들을 제외한 참여자(주제어실 운전원, 현장운전원, 발전소 지원인력)들은 고리1호기 ST 관련 지식이 부족하고, 이와 관련된 교육을 받은 바가 없으므로, 평가의 신뢰도에 상당한 부정적 영향이 미칠 가능성이 상존하였다. 따라서 최소한 1일에 걸쳐 본 평가와 관련된 고리1호기 ST 보고서에서 다루고 있는 사고 개요와 관련된 별도 교육을 실시하였다. 교육은 ST 관련 내용을 교안으로 작성하여 발표 후 질의 형식으로 진행하였으며, 교육내용은 다음과 같다.

- 1) 고리1호기 대형자연재해 관련 교육자료
- 2) 중대사고 관련 교육자료
- 3) 안전기능상실 관련 교육자료
- 4) 방재 및 비상대응능력 관련 교육자료

2.7.3 1,2,3조 평가

고리1호기 ST 인간공학 평가는 ‘평가 대상 및 현안’에 명기된 항목을 포함하여 운전원 인적수행도(상황인식, 직무부하 등)를 측정 및 분석하여, 발전소 설비, 절차, 운영 능력이 적절한지를 평가하고, 최종적으로는 설계기준 초과 사고시

발전소의 안전 기능을 달성 여부를 확인하였다.

2.7.4 평가후토의(Debriefing)

각 조별 평가 수행 후 모든 평가참여자가 모여 평가현안에 대하여 평가후토의(Debriefing)을 수행하였으며, 평가후토의(Debriefing)을 수행할 때 평가에 참여한 모든 사람들이 작성한 여러 사항, 의문사항, 운전원 설문지 등을 참고하여 평가 현안에 대한 토론을 수행한 후, 절차서 및 MMI 설계에 대한 문제점 등과 관련된 내용을 평가총괄자가 최종 정리 하였다.

2.8 평가 결과

위의 사전검사, 각 조별 피 평가자 교육 및 평가, Debriefing 등을 통하여 아래와 같이 약 60 개 항목에 대하여 개선 필요사항이 도출되었으며, 이를 개선하기 위한 방안을 검토 중에 있다.

- 1) 주제어실 인간시스템연계 설비 개선 등 1건
- 2) 위성전화 설치 등 발전소 통신 설비 2건
- 3) 이동통로 조명 설치 등 발전소 설비 16건
- 4) 발전소 인력 및 조직 확보 등 2건
- 5) 경보절차서 개정 등 절차서항목 26건
- 6) 후쿠시마대책 교육 등 교육훈련 11건
- 7) 시나리오 가정사항 보완 등 1건

3. 결론

후쿠시마 원자력발전소 사고 이후 원자력발전소에 대한 안전 문제가 크게 부각되었다. 이에 따라 고리 1 호기 원자력발전소도 전력계통과 최종열제거원 등이 상실되는 극한의 사고 상황하에서 사고 대응능력이 확보되는지를 확인하기 위하여 설비, 절차 및 운영 측면에서 인간공학 유효성 평가를 수행하였다. 유효성평가 결과 한국원자력안전기술원의 수행지침[1]에서 요구하는 사항의 대부분이 만족되었으며, 사고대응능력 향상을 위하여 일부 추가 개선사항이 도출되었으며 향후 개선할 예정이다. 이와 같은 노력을 통하여 고리 1 호기 원자력발전소는 설계기준을 초과하는 극한의 자연재해에 대한 대응능력이 크게 향상될 것으로 기대된다.

References

- [1] KINS, Guidance for Stress Test, 2013
- [2] KHNP, Stress Test Report for Kori unit 1, 2013
- [3] USNRC, Guidance for Performing the Integrated Assessment for External Flooding, JLD-ISG-2012-02, Revision 0, 2012
- [4] USNRC, Demonstrating the Feasibility and Reliability of Operator Manual Actions in Response to Fire, NUREG-1852, 2007