

Risk Monster 를 이용한 On-Line Maintenance

김길유, 박창규
한국원자력연구소

요 약

Risk Monster 는 한국원자력연구소에서 개발한 risk monitor로서 발전운영시 및 정비계획시 원전의 기기 운영 상태 (= Configuration) 의 실제 변경이나 계획시 이에 따른 원전의 안전성 (또는 Risk)를 평가 및 감시하는 시스템이다. 안전성은 노심손상 빈도를 가지고 평가하며 이 Risk Monster의 국내 원전에서의 활용, 특히 on-line maintenance시의 활용을 모색하였다. 외국에서 처럼 국내 원전에서도 risk monitor를 이용한 on-line maintenance 를 실시 하여 원전의 경제성 및 안전성을 향상 시켜야 한다.

1. 서론

Risk Monster는 한국원자력연구소에서 개발 중인 risk monitor 의 이름이며 risk monitor는 원전의 기기 운영 상태 (= configuration) 변경에 따른 원전의 안전성 (또는 risk)를 감시하는 시스템이다. 한편 on-line maintenance는 재장전 및 보수 기간의 단축을 위하여 재장전중에 실시하던 안전계통 예방정비를 가동중 (= 출력 운전 중)에 실시하는 것을 말한다.

risk monitor는 7,8년 전부터 영국 Nuclear Electric의 ESSM (Essential Systems Status Monitor)[1]과 미국의 PRISIM[2]을 필두로 개발되기 시작하였으며 5년전에 우리 연구소에서도 Prototype인 PEPSI[3]를 개발한 바 있다. 그러나 risk monitor의 활용 및 필요성이 2년전까지도 그다지 심각하지 않았으나 최근1,2년 사이에 미국에서부터 risk monitor의 필요성이 부각되기 시작하여 많은 곳에서 설치되어 on-line maintenance 등에 활용되고 있다. 예를들면, San Onofre 원전에 NUS의 Safety Monitor[4]가 설치 활용되고 있으며 그밖에 여러 원전에 EPRI의 R&R Workstation[5] 소프트웨어 중의 하나인 EOOS(Equipment Out of Service Monitor)[5], ERIN의 ORAM(저출력용)[6]및 SENTINEL(전출력용) [6] 등이 설치 활용되고 있다. risk monitor가 최근에 인기를 모으고 있는 이유는 다음과 같다.

미국의 지역적 전기 공급의 독점을 폐지하는 법에 의하여 원전의 경쟁력 확보가 필요해지고, 이 경쟁력 제고를 위해서는 on-line maintenance를 많이 실시해야 하는데 NRC의 지적대로 [7] 체계적이고 안전한 on-line maintenance를 하기 위해서는 risk monitor가 필요하기 때문이다. 한편 올해부터 실시되는 Maintenance Rule에서 주요 기기의 Out of Service(OOS)가 원전의 안전과 운영에 미치는 영향을 평가하기를 요구하고 있는데 risk monitor를 이용하면 조금 더 쉬운 평가가 가능한 것도 한 이유가 될 것이다.

2. Risk Monitor의 활용

PSA 응용 지침을 EPRI, NEI 및 INPO가 주축으로 PSA Applications Guide [8] (1995년 8월)로 제시 하였는데 이 지침서의 CDF 증가 허용 기준을 NRC에서 목인을 해주고 있기때문에 미국 원전에서는 이 CDF 증가 허용 기준을 이용하여 on-line maintenance 등을 실시하고 있다. 한편 Risk Monitor도 이 지침서의 CDF 증가 허용 기준을 이용하여 위해도 (또는 risk) 등급을 보여주어 on-line maintenance 등에 활용하고 있기 때문에 이를 간략히 소개하면 다음과 같다.

위해도 증가는 영구적 위해도 증가와 일시적 위해도 증가를 구분하여 각각의 허용 기준을 정하였으며 영구적 위해도 증가는 CDF 증가율을 기준으로 그림 1 처럼, 일시적 위해도 증가는 CDP (Core Damage Probability = CDF * 기간) 증가치를 기준으로 그림 2처럼 허용 범위를 정하고 있다.

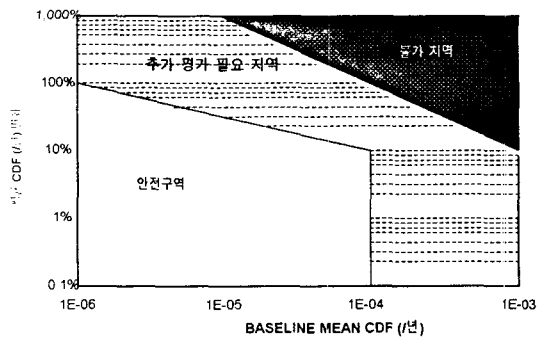


그림 1. 영구적 CDF 증가 허용 기준

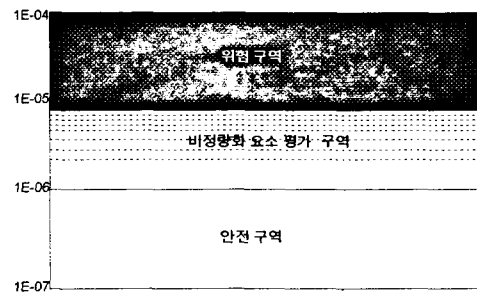


그림 2. 일시적 CDP 증가 허용 기준

2.1 On-Line Maintenance

on-line maintenance는 연차보수 중에 하던 안전계통 예방 정비를 가동중 (= 출력 운전 중)에 실시하는 것으로 on-line maintenance를 실시하면 그림 3에서와 같이 가동중의 Risk가 증가하는

대신 연차 보수 중의 Risk가 줄어들고 연차 보수기간을 줄일 수가 있다. 그림 3에서 순간 CDF 최대 허용 치는 10^{-3} 으로 잡는다.[8]

CDF_{sd} 와 CDF_{full} 을 각각 on-line maintenance 전의 연차 보수기간 및 전출력시의 노심손상빈도라고 하고 CDF_{sd}' 과 CDF_{full}' 을 각각 on-line maintenance 후의 연차 보수기간 및 전출력시의 노심손상빈도라고 하면,

$$\text{on-line maintenance 후의 CDF} = CDF' \quad (= CDF_{sd}' + CDF_{full}')$$

$$\text{on-line maintenance 전의 CDF} = CDF_{\text{before}} \quad (= CDF_{sd} + CDF_{full})$$

이고, CDF 증가율 ($= 100 * (CDF' - CDF_{\text{before}}) / CDF_{\text{before}}$) 이 그림 1의 영구적 위해도 증가 허용치를 초과하지 않는다면 그 기기를 정기적 on-line maintenance로 하여도 무방할 것이다. 그러나, 대부분의 원전에서는 이 방법까지는 고려 안하고 on-line maintenance 동안의 순간 CDF 상승이 10^{-3} 을 초과하지 않고 또 누적된 CDP가 10^{-6} 을 초과하지 않는다면, Tech. Spec.을 위반하지 않는 범위에서 자발적인 LCO에 들어 가는 on-line maintenance 를 실시하고 있다. 따라서 risk monitor는 on-line maintenance중에 그림 3 처럼 출력운전 중의 CDF변화를 점검하여 순간 CDF가 최대 허용치 10^{-3} 을 넘지 않도록 감시 하고 누적 CDP가 10^{-6} 을 초과하지 않도록 하는 역할을 한다.

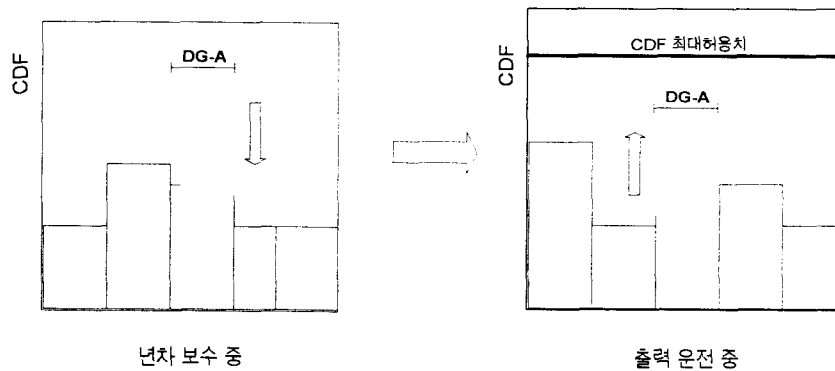


그림 3 . On- Line Maintenance로 인한 CDF변화

2.2 JCO(Justification for Continued Operation) 에 활용

현 원전 상태에 따라 OOS된 기기를 AOT 안에 정상가동 시키지 못했습에도 원전을 계속 가동 했을때의 사유를 규제기관에 보고하는 것이 JCO라고 할 수 있는데 그림2의 일시적 CDP 증가 허용 기준을 JCO에 활용하는 예가 참고문헌 [8]에 잘나와 있으며 이 JCO 예에서 risk monitor를 활용하면 쉽게 CDF 변화를 구할 수 있다.

3. Risk Monster

KAERI에서 개발 중인 risk monitor로서 PEPSI를 만들었던 기술을 바탕으로 EOOS 기능을 모델로 Visual Basic을 이용하여 초판을 개발하였으며 (빠른 속도가 필요한 부분은 Visual C++로 짜서 함수로서 불러 사용하고 있다.) ORAM, Safety Monitor등 타 risk monitor의 장점 기능을 참고하여 보완할 예정이다.

3.1 기능

KAERI가 EPRI가 주관하는 Risk & Reliability (= R & R) Workstation Project에 참여하여[9] 공동으로 R&R Workstation 소프트웨어를 개발하고 있는 관계로 Risk Monster는 R&R Workstation 소프트웨어 중의 하나인 EOOS와 기능이 유사하게 개발되었으나 위해도 계산 방법에 McFarm 알고리즘 [10] 선택 기능, 그리고 시간별 Instant CDP 및 누적 CDP 그래프 보이기 기능을 추가하였으며, 원전 위해도 등급 보이기에서 그림 1의 영구적 위해도 증가 허용 기준과 그림 2의 일시적 위해도 증가 허용 기준을 사용할 수 있도록 하였다. 다음은 Risk Monster의 주요기능을 요약한 것이다.

- 그림 4 처럼 보수계획용, 발전운영용, 안전관리용으로 구분 사용하며
- Fault Tree 및 P&ID, Cutset Editor, 신뢰도 DB Editor와 연계
- 위해도 계산 방법이 1)구해 놓은 최소단절군 활용, 2) PSA모델 부터 재계산, 3) 차등 Truncation Limit 방법 4) McFarm 알고리즘 이용
- 시간별 순간 CDF 그래프 (= Risk Profile)
- 원전 위해도 등급은 임의로 10등급하여 정한 PSI 를 사용할 수도 있고 PSA Applications Guide에서 정한 그림 1의 영구적 위해도 증가 허용 기준과 그림 2의 일시적 위해도 증가 허용 기준을 사용할 수도 있다.
- 시간별 Instant CDP 및 누적 CDP 그래프
- 정비 우선순위

그림4에서 발전운영용을 선택하면 그림5의 발전운영용 화면이 나오고 보수계획용을 선택하면 그림 6이 나온다.

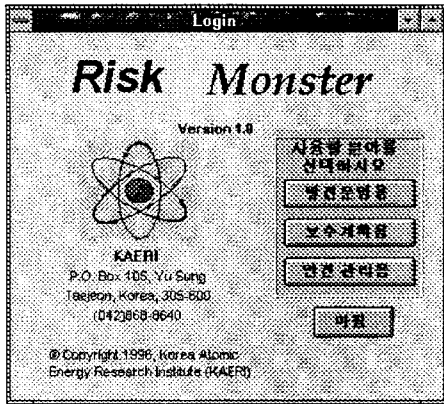


그림 4 초기화면



그림 5 발전운영용 화면

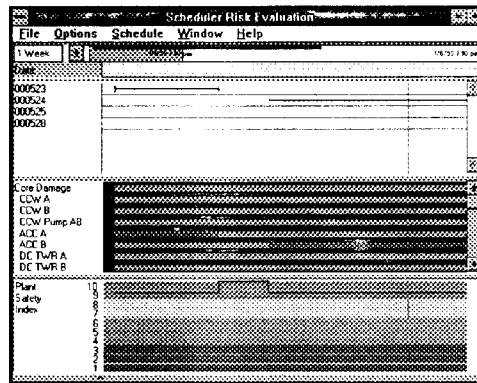


그림 6 보수계획용 화면

3.2 Risk Monster 국내 활용 계획

외국에서는 많은 원전에서 risk monitor를 설치, 활용하고 있는데 [4],[5],[6],[11], 국내에는 아직 설치된 곳이 없다.

risk monitor 를 설치 활용할 대상 원전은 PSA 모델을 보유한 원전이어야 하며 곧 가동되거나 가동 중이어서 설치 후 곧 risk monitor가 사용될 수 있어야 한다. 따라서 한국원자력연구소에서 PSA를 수행한 바 있는 영광 3.4호기가 이 조건을 만족시키므로 Risk Monster를 이용한 영광 3.4호기 risk monitor 를 97년 부터 개발할 계획이다. 개발시 다음분야에 인력과 시간이 많이 소요될 것이다.

- PSA 모델을 risk monitor용으로 변환
- 필요한 원전 보수 이력 데이터 베이스 확보
- 구축된 RiskMonitor 활용 방법 기술 전수

4. 결론

국내에서도 Risk Monster라는 risk monitor 용 소프트웨어가 개발되었으므로 이를 이용하여 실제 원전에 risk monitor를 설치하고 on-line maintenance를 실시하여 원전의 경제성과 안전성을 제고 해야 한다. 이는 세계적인 추세인 신뢰도 기반 규제 및 정비의 좋은 예라 하겠다.

5. 참고문헌

- [1] B.E.Horne, "Introduction of Probabilistic Evaluations Into the Operation of CEGB NPP Using ESSM Facility", ANS/END, Inter. Topic Meeting on PSA and Risk Management, Zurich, Switzerland, Sept. 1987
- [2] J.Q. Kirman, et al, "PRISIM at Arkansas Nuclear One-Unit, Daily in Plant Use of PRA Information, " Reliability Engineering and System Safety, Vol. 22, 1988
- [3] S.C. Chang, et al., "Development of Dynamic PSA Tool (PEPSI) for the Risk Management of NPP", IAEA TCM on Numerical Safety Indicator, Vienna, Austria, Nov. 1990.
- [4] T.G., Hook, "Use of Safety Monitor in Operations Decision-making and the Maintenance Rule at San Onofre Nuclear Generating Station, Proceeding of PSA '95, Nov. 26-30, 1995, Seoul, Korea
- [5] B. Putney, et al., "Application of the EOOS On-Line Monitor", Proceeding of PSA '95, pp882-885, Nov. 26-30, 1995, Seoul, Korea
- [6] W.J. Dagan, S. P. Kalra, "Outage Risk Assessment and Management(ORAM) - A Computerized Tool to Help Manage Plant and Equipment Outages", Proceeding of PSA '95, Nov. 26-30, 1995, Korea
- [7] NRC Letter from W. Russell, Director, Office of Nuclear Reactor Regulation to J. Colvin, Executive Vice-president, Technical/Regulatory Division, Nuclear Energy Institute, Washington, DC (1994)
- [8] "PSA Applications Guide", EPRI-TR-105396, Aug. 1995
- [9] Kilyoo Kim, et al., "Localization of Risk and Reliability Workstation", Proceeding of PSA '95, pp890-892, Nov. 26-30, 1995, Seoul, Korea
- [10] Kilyoo Kim, et al., "A Missing Cutsets Finding Algorithm for Risk Monitor(McFarm)", to be presented at PSA '96, Set. 29 - Oct 3, 1996, Park City, Utah, USA
- [11] J. Stamm, et al., "Application of Safety Monitor at Wolf Creek and Callaway to Assess Shutdown Risk and On-line Maintenance", Proceeding of PSA '95, pp879-881, Nov. 26-30, 1995, Seoul, Korea