한국압력기기공학회 논문집
제10권 제1호 2014년 7월 pp. 37-43

원자력발전소에서 리스크를 고려한 작업관리 방법

송태영†

A Study on the Work Management Method Considering Risks in Nuclear Power Plants

Song Tae-Young†

(Received 13 May 2014, Revised 14 June 2014, Accepted 19 June 2014)

ABSTRACT

Nuclear power plants(NPPs) are consisted of power production functions and safety functions preventing leakage of radiation. Operators working in NPPs shall maintain these functions during an operation period through various activities such as improvement & modification, corrective maintenance, preventive maintenance and surveillance test. According to the performance of these work activities, there are configuration changes in NPPs systems. Its changes cause the increase of safety risks(CDF) and plant trip risks. Recently, the importance of risk management is increasing gradually in the operation process of NPPs. Therefore, this paper presents the work management methods using the various risk monitoring systems during power operation and overhaul period. Also this paper suggests the optimum application ways of risk systems for work management.

Key Words : Work Management(작업관리), Risk Monitoring System(RIMS, 리스크 감시시스템), Single Point Vulnerability Monitor(SPV Monitor, 발전정지유발기기 감시모니터), Loss of Voltage Monitor(LOV Monitor, 소외전원상실 예방모니터), Outage Risk Indicator of NPP (ORION, 계획예방정비기간중 리스크 감시시스템), On-Line Maintenance(OLM, 가동중정비), Preventive Maintenance(PM, 예방정비), Maintenance Rule Program(MR, 정비효과감시프로그램), Core Damage Frequency(CDF, 노심손상확률)

1. 서 론

원자력발전소(이하 '원전')는 고 신뢰도 기기들로 구성된 장치산업으로 원전 본연의 목적인 전력생산 기능 뿐만 아니라 방사선 누출을 방지하기 위한 안전기능을 수행하는 기기들로 구성되어 있다. 원전 운영자는 전력생산성 확보와 규제요건 준수를 위해 운영기간동안 이 두 설계기능을 지속적으로 유지하여야 한다. 이 두 기능의 건전성을 유지하기 위해 원전에서는 다양한 설비유지관리 활동들을 수행하고 있다. 이 활동에는 설비개선(Facilities Improvement & Modification), 고장정비(Corrective Maintenance), 예방정비(Preventive Maintenance), 주기적인 시험(Surveillance Test) 등1)이 있다.

이들 설비유지관리 활동들을 수행하면 원전설비들에 형상변경(기기배열 변경)이 발생하고, 이에 수반하여 안전성을 저하시키는 안전 리스크[1] 및 전력생산을 저해하는 발전정지 리스크(Risk)가 증가하게 된다. 90년도 이전에는 동 리스크들을 경험기반하에 정성적으로 평가 및 관리하였으나, 90년 이후에는 미국 원

† 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 중앙연구원
E-mail: songty@khnp.co.kr
TEL: (042)870-5690 FAX : (042)870-5518

1 출력운전중에는 RIMS을 통한 정량적인 CDF 증감 평가로 계획예방정비중에는 ORION을 통한 심층방어평가기법을 활용한 안전기능평가로 수행한 원전 안전성에 미치는 영향

전을 중심으로 확률론적안전성평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA) 정보 등을 활용하여 리스크를 평가 및 감시하는 선진 운영기술들을 개발하여 적용하고 있다. 이들 기술에는 출력운전중 정지리스크를 감시하는 발전정지 리스크감시모니터(SPV Monitor)와 안전 리스크를 감시하는 리스크감시시스템(RIMS)이 있고, 계획예방정비중 소외전원상실을 감시하는 예방모니터(LOV Monitor)와 안전 리스크를 감시하는 정지기간중 리스크감시시스템(ORION) 등이 있다.

다양한 리스크감시 도구들을 통해 리스크를 평가하는 목적은 예측할 수 없는 미래상황을 가능한 범위에서 구체화하고, 이 구체화한 상황에 대해 바람직한 대응방안을 수립함으로써 미래의 손실 가능성을 최소화하고 조치할 리스크의 우선순위를 결정하고자 하는 것이다.[2)]

본 논문에서는 국내 원전에서의 작업관리 프로세스와 안전 리스크 및 발전정지 리스크를 감시하는 시스템들을 고찰해 보고, 이들 시스템들을 활용하여 원전 출력운전중 작업관리(Work Management) 방법과 계획예방정비 기간(Overhaul, OH)중 작업관리 방법을 고찰하여 리스크감시 도구들의 최적 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 국내 원전 작업관리 프로세스

2.1 작업관리 프로세스 개요

Fig. 1과 같이 한수원 표준설비관리모델(Standard Equipment Management Model, SEMM)은 작업관리를 중심으로 형상관리, 설비신뢰도관리, 자재관리, 리스크관리모듈 등이 연계되어[3)] 원전설비 유지관리를

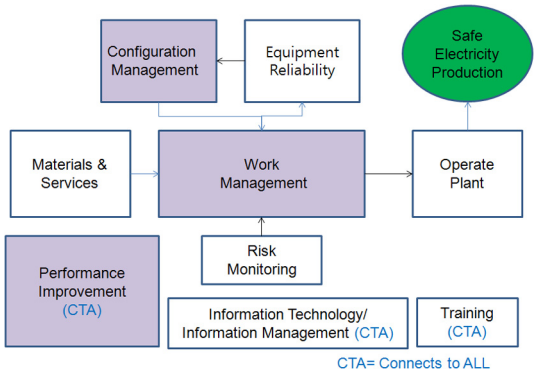

Fig. 1 SEMM block diagram

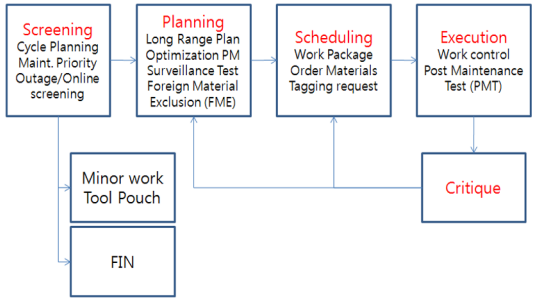

Fig. 2 Detailed Process of Work Management

통해 최종적으로 안전하고 효율적인 전력을 생산하고 있다.

Fig. 1의 작업관리(Work Management, WM) 모듈을 상세단계로 구분하면 Fig. 2와 같다. 발전소 안전성과 신뢰성을 고려하여 작업대상을 선정하고 작업범위를 결정한 후 작업계획을 수립한다. 이후 주간단위로 예방정비를 비롯한 여러 작업들의 특성과 발전소 운영환경을 고려하여 작업일정을 수립하여 작업을 수행하고 작업후 결과를 기록 관리하는 절차로 진행된다.

2.2 단계별 작업관리 프로세스

작업대상 선정(Work Screening)단계에서는 예방정비(PM) 프로그램에 따른 작업 및 정주기 시험을 나타내는 Cycle Planning, 작업우선순위 결정, 계획예방정비 항목과 경상예방정비(가동중정비 작업) 항목을 구분하여 작업대상을 선정한다. 이때 작업대상중 작업계획이 필요하지 않은 단순정비 항목은 별도 절차에 따라 수행한다. 또한 작업일정을 준수하기 위하여 긴급고장 정비가 요구되는 대상은 긴급작업팀(Fix-it-Now, FIN)을 통해 수행한다.

작업계획 수립(Work Planning)단계에서는 작업오더(작업 수행을 위해 작업내용, 소요자재 및 소요인력, 작업기간 등의 내용이 포함된 작업지시서)를 설계하고 소요자재의 재고를 확인 및 Fig.1과 같이 해당 작업으로 인한 리스크 평가를 수행후 작업오더(Work Order)를 발행한다.

작업일정 수립(Work Scheduling)단계에서는 작업계획 단계에서 정한 다수의 작업착수 일정, 고장정비 및 정주기시험 일정, 발전소 운전환경 등을 고려하여 주간 작업일정을 정한다. 일정을 정할 때 동시에 여러 작업 병행수행으로 인한 리스크를 평가한

다. 이때 리스크 수준이 원전 안전성을 저하시키거나 발전정지 가능성이 높아 리스크를 수용할 수 없으면 리스크 수준을 낮추기 위해 작업을 분산하여 작업일정을 재조정한다.

작업수행(Work Execution)단계에서는 작업의 효율적 관리, 이물질 유입관리 및 작업후 시험 등을 수행한다. 또한 주요작업 착수전에 수행하는 작업전회의(Pre-Job Briefing, PJB)[2]에서 리스크평가 자료를 바탕으로 발전소 안전 및 출력운전에 미치는 영향을 검토 및 토의한다. 작업평가(Work Critique) 단계에서는 작업결과에 대한 평가와 작업일정 및 작업범위의 준수, 그리고 향후 개선 사항들을 도출하여 작업관리 프로세스에 피드백 한다.

3. 리스크를 고려한 작업관리

3.1 출력운전중 작업관리

3.1.1 미국 원전의 작업중 리스크관리

미국에서는 1979년 TMI-2 사고이후 신규 원전건설이 거의 중단되었다. 이후 원전 운영사(Exelon 등)들과 관련 연구기관(EPRI 등)들은 가동원전의 운영효율을 향상시키기 위해 다양한 노력을 하였다. 그 결과 90년 이전에는 평균 이용률이 70% 이하였으나 90년 이후 지금까지 90% 수준을 유지하고 있다. 이런 높은 성과를 유지하고 있는 요인중 하나는 가동중정비(On-Line Maintenance, OLM) 활성화와 정비효과감시프로그램(Maintenance Rule, MR) 도입을 통한 설비유지관리 강화 활동에 기인한다고 보고[4]되었다.

이전에는 안전주입펌프(Safety Injection Pump)와 같은 안전기능 관련기기와 복수펌프(Condensate Pump)와 같은 발전정지를 유발시키는 주요기기들의 정비를 계획예방정비(Overhaul, OH)기간중에 수행함으로써 OH 기간이 길어지고 다량의 정비물량을 OH 기간중에 수행함으로써 정비품질이 떨어짐으로 인해 잦은 발전정지를 유발하였다. 원전운영자와 규제기관은 이런 문제점을 해결하고자 점진적인 OLM 수행범위를 확대하였다.

2 발전소 안전 및 출력 운전에 영향을 미치는 운전, 시험 및 정비 작업시 작업수행자 전원이 참여하여 작업 수행의 목적과 주요항목, 역할과 책임, 인적오류 발생 요소 및 방지수단 등을 설명, 토의함으로써 성공적으로 작업이 완수될 수 있도록 하는 인적오류 예방기법

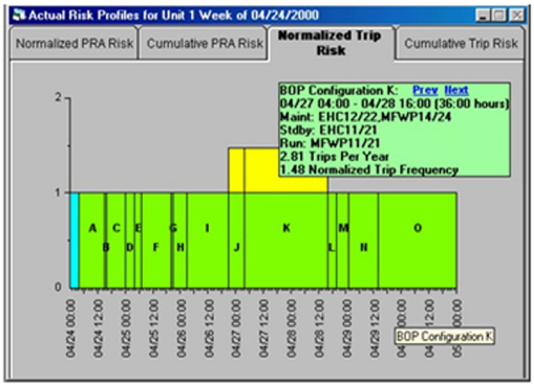

Fig. 3 SPV Monitor for Work Management in STP

OLM 확대적용으로 인해 발전소 리스크 영향이 증가하였다. 이의 해결책으로 미국 원전에서는 안전기능 수행기기들의 정비로 인해 운전불능(Inoperable or Out of Service)상태로 발전소 형상 변경됨에 따른 리스크 증가량을 정량적으로 평가하기 위해 EOOS (Equipment Out of Service Monitor) 등을 비롯하여 다양한 리스크평가 시스템을 개발하여 활용하고 있다. 또한 발전정지를 유발하는 기기정비로 인해 발전정지 가능성이 증가하였다. 이 가능성을 시스템적이고 정량적으로 평가하기 위해 EPRI 에서 Trip Monitor 방법론[5]을 제시하였다. 미국 원전사들은 이 방법론을 기반으로 다양한 Trip Monitor을 개발하여 적용하고 있다. Fig. 3과 같이 South Texas Project (STP) 원전은 BOP 계통에 대한 예방정비의 최적화를 통한 원전 안전성 유지를 위해서 SPV Monitor를 개발하여 작업관리에 활용중이다.

3.1.2 국내 원전 리스크감시시스템

국내 원전에서는 미국 원전과 같이 전면적인 OLM을 적용하지는 않지만, 미국 원전을 벤치마킹하여 출력운전중 다양한 작업수행으로 인한 리스크관리를 위해 가동원전들에 대한 리스크감시시스템을 개발하였고, 신규원전에는 개발중에 있다.

먼저 안전기능을 수행하는 기기들의 형상변경으로 인한 리스크를 감시하기 위해 2002년부터 RIMS (Risk Monitoring System)를 개발하였다. Fig. 4와 같이 RIMS는 확률론적안전성평가(PSA) 분석 방법론을 기반으로 출력운전 중 안전기능을 수행하는 기기의 시험, 점검, 정비 등 운전조건 변경에 따른 리스크 변화를 정량적으로 평가, 감시 및 관리하여 정비로

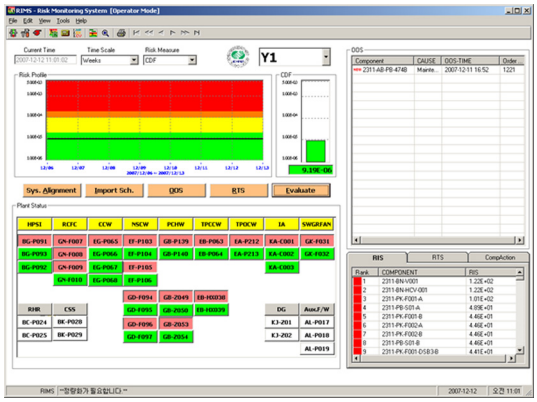

Fig. 4 Main Screen of RIMS in NPPs

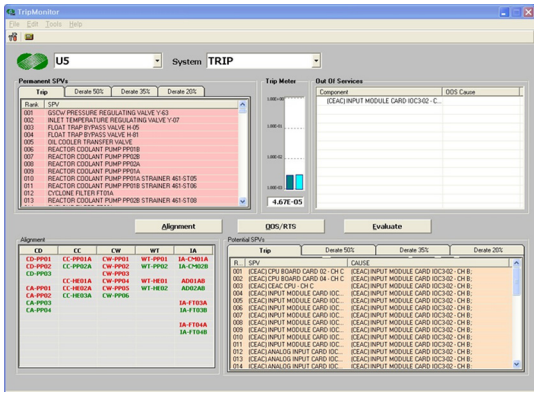

Fig. 5 Main Screen of SPV Monitor in NPPs

인한 리스크증가를 최소화하기 위해 개발된 전산시스템이다.

2009년부터는 발전소 불시정지를 최소화하는 방안으로 발전정지유발기기 감시프로그램(SPV Monitor)을 개발하였다. Fig. 5와 같이 SPV 모니터는 발전소 정상 출력운전중 수행되는 정비작업으로 초래될 수 있는 발전소 불시정지나 출력감발 리스크를 평가하는 전산시스템으로서, 작업오더와 연계되어 잠재적 SPV 및 작업일정간 중첩으로 인한 발전소 정지 리스크를 평가할 수 있다.

3.1.3 국내 원전의 작업중 리스크관리

Fig. 2의 작업관리프로세스에 따라 작업항목이 선정되면 정비관리 절차서에 따라 작업오더를 생성 및 발행한다(6). 생성 또는 발행된 작업오더는 Fig. 6과 같이 발전정지관련 오더데이터는 SPV 모니터에, 안전기능관련 오더데이터는 RIMS에 자동으로 입력된다.

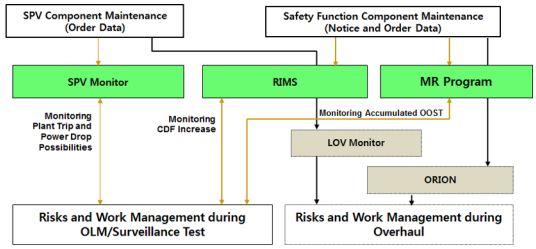

Fig. 6 Risk Monitoring Systems for WM in NPPs

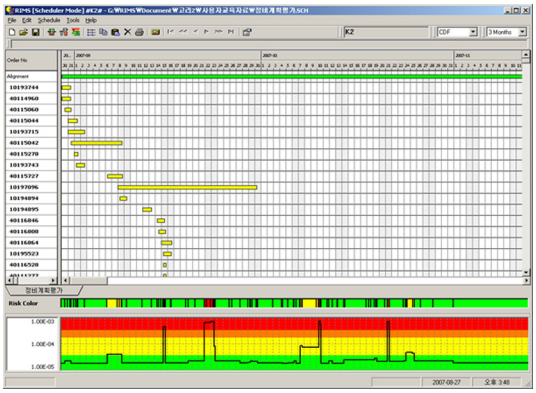

Fig. 7 Risk Profile with Multi-Works in RIMS

이후 절차서에 따라 오더 생성자는 작업계획 단계에서 작업일정 수립 담당자는 작업일정 수립단계에서 리스크 증가 수준을 평가한다.

이때 Fig. 7과 같이 동일 작업시간대에 여러 정비작업 또는 시험일정이 중복되어 RIMS를 통한 안전리스크 평가결과, 리스크가 Orange 또는 Red 영역으로 증가하여 원전운영상 수용할 수 있는 수준이상으로 리스크가 증가할 경우에는 작업일정을 조정하여 Green 또는 Yellow 영역으로 리스크를 저감시켜야 한다. 만약 발전소 운영여건상 작업일정을 변경하기 어려워 Orange 영역이상에서 작업을 할 경우에는 대기기기의 건전성 확인 및 사고발생시 신속한 복구계획 등의 리스크 완화 대책(Contingency Plan)을 수립하여야 할 것이다.

유사한 방법으로 SPV 모니터를 활용하여 정비작업과 시험수행으로 인한 발전정지 가능성을 정량적으로 평가하여 수용할 수 있는 수준이하로 될 때까지 작업일정을 조정한다. 그리고 동 모니터에서는 해당기기 이용불능으로 인한 발전정지 및 출력감발 논리도(Trip Logic Diagram)를 실시간으로 확인 및 감시할 수 있다. 그래서 기기작업으로 인해서 발전

소 및 계통에 미치는 영향을 시스템기반으로 평가하고 감시하면서 작업관리를 할 수 있다.

이와 같은 리스크평가는 발전소 운영과정에서 체계적인 의사결정을 지원하기 위해 언제든지 수행할 수 있다. 필수 단계는 정비수행팀에서 작업계획 수립시 해당 작업수행으로 인한 리스크 증가수준을 확인하고, 정비기술팀에서 주간단위로 수행되는 모든 작업을 통합하여 리스크를 평가하여 작업일정을 조정 및 확정하고, 발전팀에서는 실제 실시간 수행되는 작업과 시험으로 인한 발전소 리스크 수준을 평가한다. 이때 리스크 수준이 예상과 달리 증가할 경우에는 작업을 중지시키고 원인을 파악해야 한다.

3.2 계획예방정비중 작업관리

3.2.1 계획예방정비중 리스크관리 배경

원자력발전 초기단계에는 고온정지(Hot Shutdown) 상태를 포함하는 정지상태가 안전한 상태로 간주되었으며, 정지/저출력(Shutdown or Low Power) 운전기간에는 출력운전기간에 비하여 저온, 저압으로 유지되고 발생하는 붕괴열도 적으므로 노심에 미치는 리스크가 중요하게 고려되지 않았다. 그러나 1987년에 Diablo Canyon 2호기에서 발생된 정지냉각기능 상실 사고 등 80년대 이후 정지/저출력 기간 중 정지냉각기능이 상실되는 사고가 다수 발생하여, 정지/저출력 운전기간의 안전성 확보가 주요관심사로 부각되었다.

이에 미국 원자력규제위원회(NRC)는 원전 운영사에게 정지/저출력 운전기간에 발생할 수 있는 사고의 예방 및 진압대책을 수립할 것으로 요구하였고, 미국 원전산업체는 이와 같은 정지 리스크 관리를 위해서 지침서를 개발[7]하여 ORAM(Outage Risk Assessment and Management)등 다양한 시스템을 개발하여 활용하고 있다.

국내 원전에서는 2012년에 계획예방정비(OH) 기간 중 리스크감시시스템(Outage Risk Indicator of NPP, ORION)을 개발하여 2013년부터 적용하고 있다. ORION은 정지/저출력 운전 중 발전소 주요 기기들의 시험/정비에 따른 리스크 변화를 평가하여 최적의 배열 형상관리(Configuration Risk Management)를 수행하기 위한 심층방어평가 기반의 실시간으로 원전 안전성 평가/관리하는 전산시스템이다.

또한 OH 기간에 전력설비 정비작업중 소외전원상실 발생이 증가 추세에 있고, 이로 인해 안전등급 전원공급 차단으로 인해 안전기능 상실을 유발하였다. 이의 예방책으로 소외전원상실 예방시스템(LOV Monitor)을 개발하여 시범 적용중에 있다.

3.2.2 ORION 활용 리스크관리

ORION은 OH 각 단계별로 노심의 잔열제거원(Decay Heat Removal, DHR)확보 등의 필수안전기능(Critical Safety Function)을 유지하도록 작업관리를 지원하는 시스템이다.

OH 기간중에는 약 3000~5000개의 작업오더가 발행되며, 이중 약 15%인 500~600개가 안전기능 유지와 관련된 오더들이다. Fig. 8과 같이 고리3호기 00차 OH 작업계획 수립시 ORION을 이용하여 리스크를 평가한 결과, 여러 안전기능들에서 수용범위를 벗어나는 Orange 영역 이상의 리스크를 보이고 있다. Fig. 9는 작업오더 일정을 재조정하여 재평가한 리스크 수준으로 안전기능을 상실하지 않도록 잘 설계된 작업일정으로 볼 수 있다.

그러나 30~60일 이상이 소요되는 OH 기간중에 작업간의 간섭이 생기거나 예상치 않은 문제가 발생하여 작업일정이 증감될 경우에는 작업일정 변경을 고려하여 일일 리스크 평가를 재수행하여야 할 것이다.

리스크 평가는 절차서에 따라 3회 수행한다. OH 6개월전 작업일정 수립시, OH중 일일 리스크 평가시에 수행하고, OH후 리스크 관리상태를 평가하여 차기 OH 계획에 반영하여 OH 최적화에 기여한다.

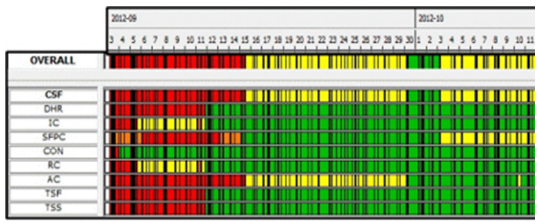

Fig. 8 Risk Profile before Work Management in Kori #3

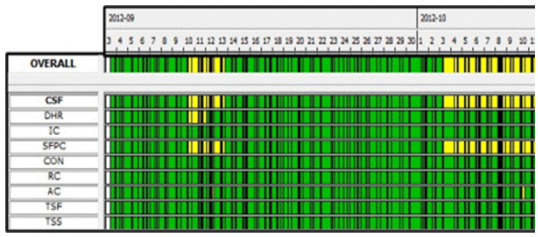

Fig. 9 Risk Profile after Work Management in Kori #3

3.2.3 LOV 예방시스템 활용 리스크관리

국내외적으로 OH 기간중에 소외전원상실(Loss of Voltage, LOV) 발생이 증가추세에 있다. 국내 원전(총 23호기 운영중)에서는 최근 3년간에 총 7번의 LOV가 발생했는데, 이중 공정관리 미흡이나 정비원의 기기 오조작 등 인적실수로 인해 6번이 발생[8]하였다.

이의 해결방안으로 정비절차서를 보강하거나 전력설비에 물리적 방벽을 설치하거나 작업공정관리를 강화하는 등 노력을 가하고 있고, 또한 2013년에 시스템적으로 논리적으로 LOV를 예방하고자 모든 LOV 발생 가능 조합을 고려한 논리모델인 LOV 예방모니터를 개발하여 시범 적용중에 있다.

Fig. 10은 적용사례를 보여준다. Blue 전력선은 작업중인 상태이며, 이때 정비팀에서 Red 점선에 해당하는 차단기 작업오더를 발행하여 작업하고자 할 때 발전팀에서는 기존 예방정비 작업과 시험현황을 파악하여 소외전원상실 리스크를 종합적으로 평가후 작업허가를 내줌으로써 소외전원상실 가능성을 원천적으로 제거할 수 있다.

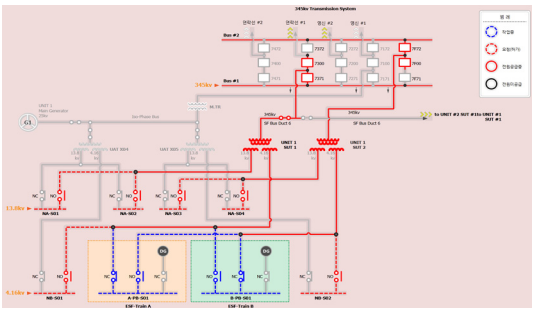

Fig. 10 Main Screen of LOV Monitor in Hanbit #1

3.3 리스크감시도구 활용 최적 작업관리방안 고찰

3.3.1 정비정책적 측면

첫째, 가동중정비(OLM) 확대방안에 대한 것이다. 미국 원전에서 운영 효율화를 위해 비안전등급기기 뿐만 아니라 안전등급기기에 대해서도 전면적으로 OLM를 수행하게 되었고, 이에 따라 규제자의 요구 및 운영사의 필요에 따라 위에서 논한 RIMS 및 SPV 모니터를 개발 및 활용하게 되었다. 그런데 국내 원전에서는 규제적인 측면을 비롯한 여러 환경이 조성되지 않아 OLM을 확대시행하지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 리스크감시 도구들을 선행적으로 개발하였으나, 이들의 원전운영에 대한 기여도가 미미하여 인식도 및 활용도가 낮은 수준에 있다.

2011년에 규제기관에서도 규제합리화 연구 일환으로 OLM 규제기술을 개발하여 고시화하는 방안을 제시하였고, 운영사도 관련기술을 개발하여 적용중에 있으므로 OLM 확대방안에 대해 정책적인 측면에서 로드맵을 제시하여야 할 것이다. 이렇게 함으로써 OH 기간중에 집중화 되어있는 정비물량을 분산시켜 정비자원을 효율적으로 사용하여 정비품질을 향상시킬 수 있을 것이다. 둘째, 현 주간단위 작업관리 개선이 필요하다. 현재 국내 원전은 발전소 운전상태에서 경상예방정비를 시행하고 있다. 여기에는 주기적인 부품교체 등을 수행하는 주기예방정비(Periodic Preventive Maintenance)와 진동측정 등을 수행하는 예측정비(Predictive Maintenance)로 구성[9]되어 있다. 주요기기들은 OH 기간중에 수행함으로써 동 예방정비기간에는 단순한 수준의 정비만 수행하는 관계로 주간단위로 작업계획과 일정을 수립하고 있다. 그러나 OLM 확대 수행시에는 경상예방정비 물량이 대폭 증가하여 주간단위 작업계획으로는 수용할 수 없을 것이다. 따라서 미국 원전과 같은 4~13주 단위의 작업관리기술 개발이 필요하다.

작업관리기술 개발을 위해서는 먼저 가동중정비 대상범위를 결정하여야 한다. 국내 원전 운영 및 규제환경을 고려한다면 단계적으로 가동중정비 물량을 증가시키는 것이 적합한 방법이라고 생각된다. 일차적으로는 비안전등급기기를, 다음으로는 안전등급중 안전 리스크가 낮은 기기를, 최종적으로는 모든 기기를 대상으로 가동중정비를 확대 적용하는 방안이다. 가동중정비 대상 결정에는 기술지침서 운전제한조건(LCO, Limiting Conditions for Operation) 진입결정 및 허용정지시간(AOT, Allowed Outage Time) 연장관련 규제기관과 유기적인 협조가 요구된다. 가동중정비 작업물량 증가에 따라 소요자재, 정비인력, 운전에 미치는 영향 등을 고려하여 체계적인 작업계획이 수립되어야 할 것이다. 실제 현장에 적용가능한 작업계획 수립은 가동중정비 추진전략에 따라 구체화 될 수 있으므로 가동중정비 적용시점에서 논의되어야 할 문제이다.

3.3.2 작업관리 측면

첫째, 기능위치기반의 작업오더 발행이 요구된다. 작업오더 계열간 중복되지 않도록 발행하여야 한다.

현재 예방정비 오더발행 관행이 계통내 기기들의 상위수준에서 발행하는 관계로 리스크감시 도구들과 연계성이 약하다. 리스크감시 도구들은 기능위치기반으로 오더데이터를 입력 받을 수 있도록 개발되어 있으므로 1개의 기능위치에 1개의 오더를 발행하여야 한다. 또한 동일 기능을 수행하는 기기들은 기능적설비그룹(Functional Equipment Group, FEG) 개념을 적용하여 동일 시간대에 작업이 수행될 수 있도록 작업설계가 필요하다. 이 작업전략을 고려하지 않으면, 동일 계통내 여러번 작업을 위해 반복적인 기능상실을 유발함으로써 안전리스크가 증가되어 정비효과감시(MR) 프로그램에서 관리하는 누적 이용불능도(Accumulated OOST) 기준을 초과할 수 있다.

둘째, 정교한 작업일정 수립이 필요하다. 현재 작업일정 수립시 예상 작업착수와 완료시점을 보수적으로 설정하고 있다. 위에서 논한 모든 리스크 감시 도구들은 진행되는 시간대 기반의 리스크를 평가하고 있다. 따라서 선행 OH 작업수행 데이터를 기반으로 실제 작업시간에 근접할 수 있도록 정교하게 설정하여야 할 것이다. 또한 모든 작업조건이 완료된 상태에서 작업착수(기기 이용불능상태)를 하고 작업완료후에는 바로 작업내용을 시스템에 입력함으로써 기기 이용가능상태로 복귀하여 이용불능시간(OOST)을 최소화하도록 하여야 할 것이다.

셋째, 작업결과 상세한 기록관리가 요구된다. 이전에는 원전 운영체계가 풍부한 경험과 지식기반으로 운영되었으나, 최근에는 유경력자의 은퇴증가로 인해 평균 경험수준이 대폭 감소하고 있다. 따라서 이제는 프로세스와 데이터 기반으로 운영체계 변화가 요구된다. 이를 위해서는 기기신뢰도를 확인하고 평가할 수 있는 상세한 원천 데이터가 필요하다. 이들에는 고장범위, 고장원인, 작업내용, 작업시간 등이 포함된다. 현재 이들 데이터 기록수준이 미흡한 실정이다.

넷째, 작업관리 문화 개선이다. 위에서 언급한 작업오더 발행, 작업일정 수립 및 작업결과 기록관리는 궁극적으로 원전 종사자의 의식의 전환이 선행되어야 한다. 우리는 이를 원전안전문화 증진이라고 한다. 작업관리가 체계적으로 수행되면 기기신뢰도가 높아질 것이고, 또한 원전 안전성이 향상될 것이다.

4. 결 론

미국원전에서는 104호기의 원전을 안전하고 효율적으로 운영하기 위해 INPO, EPRI, NEI 등을 비롯한 원전 유관기관에서 많은 연구활동을 수행하였다. 그 결과 효율적인 작업관리를 위해 다양한 리스크감시 시스템들을 개발하여 활용하고 있다.

국내 원전에서도 경상예방정비 기간에는 안전 리스크를 평가·감시하기 위한 RIMS 및 발전정지 리스크를 평가·감시하기 위한 SPV 모니터를 개발하였고, 계획예방정비중에는 안전리스크를 감시하기 위한 ORION 및 소외전원상실을 예방하기 위한 LOV 모니터를 개발하여 활용중에 있다.

이 리스크감시 도구들을 체계적으로 활용하여 작업관리가 수행될 경우 예상치 못한 상황들을 미연에 예측하고 방지하여 원전 안전성과 기기신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

이런 역할을 수행하는 리스크감시 도구들이 충분한 기능을 수행하기 위해서는 정비 정책적으로는 가동중정비의 확대시행이 요구되고, 작업 관행상으로는 작업계획 수립, 작업일정 설정 및 작업후 기록관리 등이 정교하게 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Song Tae-Young, 2013, “A Study on the Functional Importance Determination(FID) Methodology for Components in Nuclear Power Plants”, Transactions of the KPVP, Vol. 9, No. 1.
2. Jin Hyun Kim, Dal Jae Park, 2013, “A Study on the Review of Risk Concepts”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 28, No. 6 pp. 90~96.
3. Hee-Seung Chang, Tae-Young Ju, Tae-Young Song, 2012, “Development of an Equipment Management Model to Improve Effectiveness of Processes”, ICAPP ‘12.
4. EPRI, 2009, EPRI White Paper “On-Line Maintenance at NPPs; History, Implementation, and Benefits”.
5. EPRI, 2004, EPRI TR-1009662(Trip Monitor Implementation Guide).
6. 한국수력원자력(주), 2013, “정비관리”, 표준정비-9680A, Rev 01.
7. NEI, 1991, NUMARC 91-06 “NUMARC Guidelines for Industry Actions to Assess Shutdown Management”
8. KINS, 원자력안전정보공개센터, 2009~2011 사고고장현황.