

Workload Evaluation

on Human Engineering Part in Wolsong 1 Stress Test

Byung Do Ko

Central Research Institute, Korea Hydro and Nuclear Power co., (KHNP), Daejeon, 305-343, Korea

ABSTRACT

After Fukushima 1 nuclear power plant accident in Japan, lots of measures have been taken to strengthen the safety of the nuclear power plant. One of them is stress test, which evaluates the maintainability of plant safety assuming the most severe condition that has no power supply and ultimate heat sink. This report describes one of stress test results performed for domestic nuclear power plants in the point of human engineering aspect such as organization, personnel, working procedure, man-machine interface, working tool, environmental condition, education and training, etc.

The stress test for the area of human engineering has been conducted in accordance with the international guideline, which establishes ultimate accident scenarios and evaluates time and measures during the process of scenarios for recognizing the status, deciding countermeasures, installing counter-measuring facilities and its implementability before the plant reaches function failure, fuel damage or containment failure. It also evaluates the existence of relevant equipment and tools and its utilization strategy, relevance of organization and personnel, and work procedure. The evaluation results show that all the plants are appropriately prepared and maintained against ultimate condition.

Keywords: Nuclear Power Plant, Human Error, Workload, Stress Test

1. 배경

후쿠시마 원전과 같은 전력계통과 최종 열제거원이 상실되는 상황과 이에 더하여 중대사고가 발생하는 극한 상황에 대한 월성1호기의 대응능력에 대하여 인적 오류 및 의사결정오류 관점에서 평가를 수행하였다.

본 논문에서는 월성1호기 스트레스 테스트 수행결과에 따른 운영분야의 인허가 후속조치 중 사고 대처 시나리오의 인간공학 업무량 평가에 대한 사항이며, 평가 목적은 지진해일 등 극한사고 조건에서의 사고 대응 조치와 관련하여 조직/인력, 절차, 환경조건 등 인간공학 측면에서의 지연, 장애요소를 확인하고 이에 대한 개선 권고안을 제시하여 대응방안 실현가능성을 확보하는 것이다.

2. 방법

2.1 평가범위

월성1호기 스트레스 테스트 시나리오 중 3개 분야(전력계통 등 안전기능 상실에 대한 대응능력) 및 4개분야(중대사고 관리능력)에서 고려되는 다음 시나리오에 대하여 수행하였다.

- 시나리오 1 (소외전원상실조건)
- 시나리오 2 (소내 정전 조건의 대응능력 및 한계사항 평가)
- 시나리오 3 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내 정전 조건의 대응능력, 한계사항 평가)
- 시나리오 4 (최종 열제거원 상실 조건의 대응능력, 한계사항 평가)
- 시나리오 5 (최종 열제거원과 대체 열제거원 상실 조건의 대응능력 및 한계사항 평가)
- 시나리오 6 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내 정전과 최종 열제거원 상실 조건)

- 시나리오 7 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내 정전과 최종 열제거원 상실 사고를 동반한 지진해일 조건)
- 시나리오 8 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내 정전과 최종 열제거원 상실 사고가 동반되고 원자로건물을 제외한 모든 안전관련 구조물 1층 이하 침수 조건)
- 시나리오 9 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내 정전과 최종 열제거원 상실 사고를 동반한 0.3g 지진)
- 중대사고 시나리오

2.2 시나리오별 업무량평가

2.2.1. 데이터 수집

- (1) 시나리오별 조직/인원 적절성 평가
 - 필요 조직/인원을 파악하고, 주어진 조직/인원 내에서 시나리오 수행이 가능한지 여부 확인
- (2) 객관적 척도에 따른 업무량 평가
 - 운전전문가가 다음 사항을 확인 후 기입하여 업무량이 상대적으로 높은 시나리오를 선별
 - 평가 기준(5점 척도)
 - 조직/인원
 - 주제어실 운전원만으로 사고 대응이 가능한 경우 1점
 - 주제어실 운전원, 현장 운전원으로 사고 대응이 가능한 경우 3점
 - 주제어실 운전원, 현장 운전원, TSC 요원으로 사고 대응을 해야 하는 경우 5점
 - 작업절차
 - 비상운전절차서 수행만으로 대응이 가능한 경우 1점
 - 비상운전절차서와 비상대체설비운영지침서 수행이 필요한 경우 3점
 - 비상운전절차서와 비상대체설비운영지침서 뿐 아니라 중대사고관리지침서 수행이 필요한 경우 5점
 - MMI
 - 주제어실 MMI가 사용 가능한 경우 1점
 - 주제어실 MMI가 사용불가하나, SCA MMI가 사용 가능한 경우 3점
 - 주제어실 MMI와 SCA MMI 모두 사용불가하고, 휴대용 계측기를 사용한 변수 측정만 가능한 경우 5점
 - 환경조건
 - 정상조명이 가용하고, 화재가 발생안한 경우 1점
 - 정상조명이 상실되고, 화재가 발생안한 경우 3점
 - 정상조명이 상실되고, 화재가 발생한 경우 5점

- 작업도구
 - 사고대응을 위하여 추가 작업도구(이동형 설비 등) 필요 없는 경우 1점
 - 사고대응을 위하여 추가 작업도구(이동형 설비 등) 필요한 경우 5점
- 교육훈련
 - 기존 실습교육과정에 교육훈련 내용 모두 포함되어 있는 경우 1점
 - 기존 실습교육과정에 교육훈련 내용 모두 포함되어 있지는 않은 경우 5점

2.3 객관적 척도에 따른 업무량 평가

조직/인원, 작업절차, MMI, 환경조건, 작업도구, 교육훈련별 점수에 따른 상대적 업무량을 평가한다

시나리오 7 및 9는 다른 시나리오들과 달리 모든 전원(등급 1,2,3,4전원, EPS 전원) 및 모든 최종열제거원(RCW, RSW) 상실이 발생하고, 이에 더하여 지진으로 인한 화재가 고려되는 가장 심각한 3분야 시나리오에 해당된다.

업무량 측면에서도 시나리오 7 및 9는 가장 많은 수행조직(주제어실 운전원, 현장운전원, TSC 요원), 수행절차서/지침서(비상운전절차서, 비상대체설비 운영지침서, 비정상절차서를 필요로 한다. 작업도구 관점에서는 가장 많은 도구들(위성전화, 이동형발전차 및 소방펌프차 등)을 모두 성공적으로 사용하여야만 사고대응에 성공할 수 있으며, 시뮬레이터로 모의할 수 없는 사고이므로 기존 시뮬레이터 등 설비를 사용한 교육훈련이 수행되기 어려운 시나리오이다.

4분야 시나리오인 중대사고 시나리오의 경우 3분야 시나리오들 중 가장 심각한 사고인 시나리오 7 또는 9에서 시작하여 사고대응 실패 후 중대사고로 진입하는 시나리오이다

가장 업무량이 낮게 평가된 시나리오는 시나리오 1(평가값 1.0점)로 확인되었으며 시나리오 4(평가값 1.3점), 시나리오 2(평가값 1.7점)도 타 시나리오에 비하여 낮게 평가되었다.

결론적으로 3분야에서는 시나리오 7(시나리오 9와 동일), 그리고 4분야의 중대사고 시나리오가 가장 업무량이 높은 시나리오로 확인되었다.

2.4 주요 비상대응 업무 및 수행 조직별 업무량 평가

시나리오	주요 비상대응 업무	세부 업무내용
시나리오 7 (중대사고 이전)	사고 초기진단 및 MSSV 수동개방 (SG 중력급수 이전)	● 사고 초기진단 및 비상발령 ● SCA에서 휴대용 계측기로 변수측정 ● 화재순찰, 화재발견 후 진압 ● MSSV 수동개방
	이동형발전차 전원공급 및 소방펌프차 사용 외부 주입 (SG 중력급수 이후)	● TSC 구성 및 운영시작 ● 이동형 발전차 사용 전원공급 ● 소방 펌프차 사용 외부주입 등
중대사고	중대사고 관리 (시나리오 7 실패 시 상황)	● 중대사고관리 진입결정 ● 응급조치 수행 ● TSC 전략수행제어도에 따른 완화조치 수행 등

- 업무내용 분석에 따른 조직/인원 적절성평가
 - 시나리오의 참여 구성원별 업무내용을 직무분석 결과에 따라 파악하고, 조직 및 인원의 적절성 여부를 정성적으로 평가
- 시나리오 상세 직무별 업무량 평가(운전전문가 수행)
 - 시나리오의 상세 직무별로 업무량 평가 담당 운전전문가(1명)가 인지적, 신체적 업무량 수준을 상/중/하로 체크하고 이를 3점 척도로 환산하여 직무별 업무량을 평가
 - 수행 조직별 업무량의 경우후 수행 조직별 해당되는 상세 직무들의 업무량 평균값을 사용하여 산출
- 운전원, 정비원 업무량 평가(피평가자 수행)
 - 유효성 평가 시 운전원, 정비원으로 구성된 피평가자들을 대상으로 설문지를 배부하여 주관적으로 판단하는 업무량 수준을 기입하도록 함
 - 설문 항목은 NASA-TLX 방식에 따라 다음과 같

이 6개 항목으로 구성.

- 심리 요구(MD : Mental Demand) : 심리적, 인지적 활동의 요구 정도
- 신체 요구(PD : Physical Demand) : 신체 활동의 요구 정도
- 시간 요구(TD : Temporal Demand) : 시간적 압박감의 요구 정도
- 수행도(PE : Performance) : 목표 달성의 완성도
- 노력 수준(EF : Effort Level) : 목표 달성을 위한 노력의 정도
- 스트레스(FR : Frustration Level) : 불안감, 당혹감, 스트레스의 정도

○ 업무량 설문에 참여한 피평가자는 다음과 같음

- 1차 유효성 평가

.한수원 운전원 : 발전팀 운전원 1개조 10명, 비상기술 지원실장 대역 1명

- 2차 유효성 평가

.한수원 운전원 : 발전팀 운전원 1개조 10명, 비상기술 지원실장 대역 1명

.한수원 정비원 : 전기팀원 1명, 기계팀원 1명, 소방대원 1명

.한전기공 정비원 : 이동형 발전차운전원 1명, 지게차 운전원 1명, 케이블 포설 및 연결조 1명, 연료 공급조 1명, 외부주입유로 설치요원 1명

* 운전원의 경우 1, 2차 유효성 평가 시 각각 다른 운전조가 참여하므로 1, 2차 따로 설문을 수행하고, 정비원의 경우 동일한 팀이 참여하므로 2차 유효성 평가 시에만 설문을 수행.

* 비상기술지원실 내 조직원, 케이블 포설 및 연결조원, 연료공급조원, 외부주입유로설치요원의 경우에는 대표적인 1명을 대상으로 설문을 수행.

3. 결과

3.1 시나리오별 조직/인원 적절성 평가 결과

(1) 시나리오 1 (소외전원상실조건)

본 시나리오는 소외전원상실로 인한 원자로정지 발생 이후 예비디젤발전기(SDG)가 기동되어 등급3 전원이 복구되고 보조급수펌프가 작동하여 증기발생기로 급수를 공급하고, 증기발생기 압력

상승에 따라 주증기 안전밸브(MSSV)가 자동 개폐되어 노심 냉각이 수행되는 시나리오이다.

본 시나리오는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대 근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(2) 시나리오 2 (소내정전 조건의 대응능력 및 한계사항 평가)

본 시나리오에서는 소내정전으로 인한 원자로 정지 발생 이후 급수가 중단되고 증기발생기 자동감압 조건에 따라 주증기 안전밸브가 개방되어 증기발생기가 빠르게 감압된다. 증기발생기가 감압됨에 따라 보충수 격리밸브가 자동 개방되어 살수탱크 보충수가 증기발생기로 중력 급수되어 노심 냉각이 이루어지는 시나리오이다.

본 시나리오는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(3) 시나리오 3 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내정전 조건의 대응능력 및 한계사항 평가)

본 시나리오는 비상전원공급계통상실을 포함한 소내정전으로 인한 원자로정지 발생 이후 급수가 중단되고 증기발생기 자동감압 조건에 따라 주증기 안전밸브가 개방되어 증기발생기가 빠르게 감압된다. 증기발생기가 감압됨에 따라 보충수 격리밸브가 자동 개방되어 살수탱크 보충수가 증기발생기로 중력 급수되어 노심 냉각을 수행하는 시나리오이다.

본 시나리오의 경우 정규 비상조직 발족 전에는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(4) 시나리오 4 (최종열제거원상실 조건의 대응능력 및 한계사항 평가)

본 시나리오는 최종열제거원상실로 인한 원자로정지 발생 이후 자동 개시된 후비기기냉각수계통의 냉각을 받는 급수계통이 증기발생기로 급수를 공급하고, 증기발생기 압력 상승에 따라 주증기 안전밸브가 자동 개폐되어 노심 냉각을 수행하는 시나리오이다.

본 시나리오는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(5) 시나리오 5 (최종열제거원과 대체열제거원상실 조건의 대응능력 및 한계사항 평가)

본 시나리오는 최종열제거원과 대체열제거원상실로 인한 원자로정지 발생 이후 자동 개시된 후비기기냉각수계통의 냉각을 받는 급수계통이 증기발생기로 급수를 공급하고, 주증기안전밸브가 증기발생기 압력 상승에 따라 자동 개폐되어 노심 냉각을 수행하는 시나리오이다.

본 시나리오의 경우 정규 비상조직 발족 전에는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(6) 시나리오 6 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내 정전과 최종 열제거원 상실 조건)

본 시나리오는 비상전원공급계통상실을 포함한 소내정전으로 인한 원자로정지 발생 이후 급수가 중단되고 증기발생기 자동감압 조건에 따라 주증기 안전밸브가 개방되어 증기발생기가 빠르게 감압되고, 이에 따라 보충수 격리밸브가 자동 개방되며 살수탱크 보충수가 증기발생기로 중력 급수되어 노심 냉각을 수행하는 시나리오이다.

본 시나리오의 경우 정규 비상조직 발족 전에는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장 운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대 근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(7) 시나리오 7 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 사고를 동반한 지진 해일 조건)

본 시나리오는 해일을 동반한 지진이 발생하여 비상전원공급계통상실 및 축전지 전원상실을 포함한 소내 정전과 최종열제거원 상실이 동반되는 시나리오이다.

본 시나리오는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(8) 시나리오 8 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 사고가 동반되고 원자로건물을 제외한 모든 안전관련 구조물 1층 이하 침수 조건)

본 시나리오는 비상전원공급계통 상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 사고가 동반되고 원자로건물을 제외한 모든 안전관련 구조물 1층 이하가 침수된 시나리오이다.

본 시나리오의 경우 정규 비상조직 발족 전에는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되었다. 따라서 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

(9) 시나리오 9 (비상전원공급계통상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 사고를 동반한 0.3g 지진)

본 시나리오는 시나리오 7과 동일하게 적용된다.

(10) 중대사고 시나리오

중대사고 시나리오의 경우, 3분야 시나리오들 중 가장 심각한 시나리오 7 또는 9(지진 및 등급 1,2,3,4 전원, EPS 전원상실, 최종열제거원상실 상황)와 같은 사고를 초기상황으로 고려한다.

본 시나리오의 경우 정규 비상조직 발족 전에는 비상운전절차서 범위 내에서 수행가능하며, 주제어실 운전원 4명 및 현장운전원 3명으로 사고 대응이 가능한 것으로 직무분석 결과 확인되

었으며 발전팀 교대근무조 총 10명 내에서 충분히 사고 대응이 가능하다.

3.2 객관적 척도에 따른 업무량 평가

조직/인원, 작업절차, MMI, 환경조건, 작업도구, 교육훈련)별 점수에 따른 시나리오별 상대적 업무량 평가결과(평균값)를 나타내었다. 중대사고 시나리오의 업무량 평가결과 값이 5.0점으로 가장 높은 것으로 확인되었으며, 3분야 시나리오인 시나리오 1~9 중에서는 시나리오 7 및 9의 업무량 평가결과 값이 4.7점으로 가장 높은 것으로 확인되었다.

시나리오 7 및 9는 다른 시나리오들과 달리 모든 전원(등급 1,2,3,4전원, EPS 전원) 및 모든 최종 열제거원(RCW, RSW) 상실이 발생하고, 이에 더하여 지진으로 인한 화재가 고려되는 가장 심각한 3분야 시나리오에 해당된다

업무량 측면에서도 시나리오 7 및 9는 가장 많은 수행조직, 수행절차서/지침서(비상운전절차서, 비상대체설비 운영지침서, 비정상절차서)를 필요로 한다. MMI 관점에서는 다른 시나리오와 달리 주제어실 및 SCA 지시계/제어기를 사용할 수 없어 휴대용계측기만을 사용하여 안전변수 확인을 해야 한다. 작업도구 관점에서는 가장 많은 도구들(휴대용계측기, 이동형발전차 및 소방펌프차 등)을 모두 성공적으로 사용하여야만 사고대응에 성공할 수 있으며, 시뮬레이터로 모의할 수 없는 사고이므로 기존 시뮬레이터 등 설비를 사용한 교육훈련이 수행되기 어려운 시나리오이다.

4분야 시나리오인 중대사고 시나리오의 경우 3분야 시나리오들 중 가장 심각한 사고인 시나리오 7 또는 9에서 시작하여 사고대응 실패 후 중대사고로 진입하는 시나리오이다.

가장 업무량이 낮게 평가된 시나리오는 시나리오 1(평가값 1.0점)로 확인되었으며 시나리오 4(평가값 1.3점), 시나리오 2(평가값 1.7점)도 타 시나리오에 비하여 낮게 평가되었다. 결론적으로 3분야에서는 시나리오 7(시나리오 9와 동일), 그리고 4분야의 중대사고 시나리오가 가장 업무량이 높은 시나리오로 확인되었다

3.3 주요 비상대응 업무 및 수행 조직 별 업무량 평가

3.3.1 ‘사고 초기진단 및 MSSV 수동개방’ 비상대응 업무에 대한 업무량 평가

(1) 업무내용 분석에 따른 조직/인원 적절성 평가

“사고 초기진단 및 MSSV 수동개방” 비상대응 업무는 정규 비상조직 발족 전에 수행되는 업무로, 사고대응과 동시에 지진에 의해 유발된 화재 진화작업도 함께 수행될 수 있다.

발전팀 인원 총 10명이 사고대응 및 화재 진화에 동시에 투입되는 상황이며, 10명 중 SCA에 3명, 화재진압(초동 소방대)에 3명, MSSV 개방에 2명, 기타 2명이 투입된다.

(2) 시나리오 상세 직무별 업무량 평가

발전팀장의 의사결정이 요구되는 상세 직무에 대하여 인지적 업무량이 높은 것으로 평가되었으며, 화재 진압을 위한 직무의 경우 신체적 업무량이 높은 것으로 평가되었다. SCA운전조의 경우 핵심 조치는 SCA에서 안전변수 확인 후 진단 및 지시, 화재진압조의 경우 화재 초동 진압, MSSV 개방조의 경우 EO를 중심으로 MSSV에 질소병을 연결하여 수동개방 수행이다.

인지적 업무량의 경우 사고진단을 수행하는 발전팀장이 포함된 SCA운전조가 가장 높게 평가되었고, 신체적 업무량의 경우 화재 진압조가 가장 높은 것으로 평가되었다.

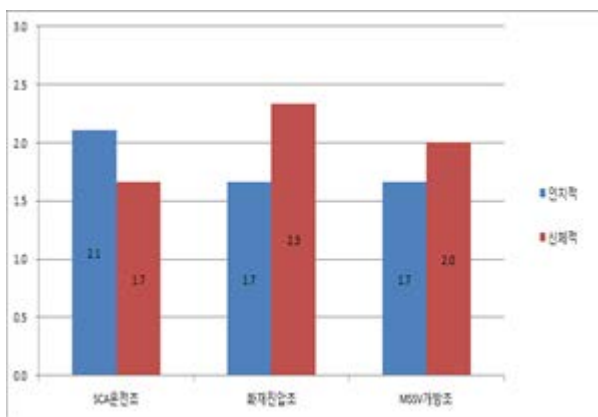


그림 1. ‘사고 초기진단 및 SG 중력급수’ 비상대응 업무에 대한 수행 조직 별 업무량 (인지적, 신체적) 평가 결과

(3) 운전원, 정비원 업무량 평가

평가 결과, 심리적 요구(MD)는 다소 높은 수준으로 조직별로 큰 차이점은 나타나지 않았으나, MSSV 개방조에서 가장 높은 값을 나타내었다.

신체적 요구(PD) 경우에는 조직별로 큰 차이점을 나타내었는데, MSSV 개방조 및 화재진압조의 업무량이 큰 것으로 나타났고 SCA운전조의 경우 다른 조직에 비하여 상대적으로 신체적인 업무량은 크지 않은 것으로 나타났다. MSSV 개방조 및 화재진압조는 화재방호복을 포함한 각종 장구를 착용상태에서 작업을 수행해야 하기 때문에 신체적 업무량이 상대적으로 높은 것으로 확인되었다.

시간압박(TD)에 의한 업무량은 신체적 요구와는 반대로 SCA운전조가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 목표의 달성도(PE) 평가 결과는 중간 정도 수준으로 나타났고, 목표달성을 위하여 요구되는 노력의 정도(EF) 및 불안감, 당혹감, 스트레스 정도(FR)는 높은 수준이나 조직 별 차이점은 크게 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

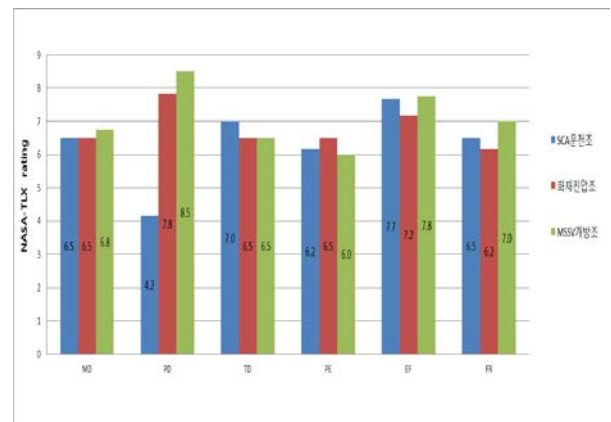


그림 2. ‘사고 초기진단 및 SG 중력급수’ 비상대응 업무에 대한 수행 조직별, 요인별 NASA-TLX 업무량 평가 결과

그림 3은 1차 및 2차 유효성 평가 결과를 비교하기 위하여 수행 조직 별 설문 응답결과(NASA-TLX 6개 항목 결과를 평균함)를 나타내었다. 1차유효성 평가 시 보다 2차 유효성 평가 시 업무량이 다소 낮게 응답되었는데, 이는 2차 유효성평가 시에는 적합성 및 1차 유효성 평가 시 도출된 개선권고안을 반영하여 보완된 절차서가 활용된 점 등이 영향을 미친 것으로 확인되었다.

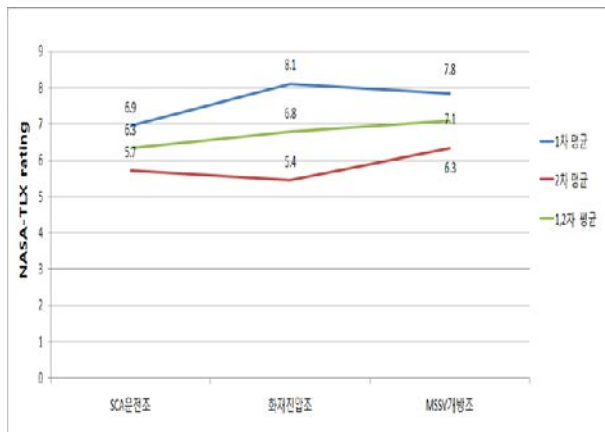


그림 3. '사고 초기진단 및 SG 중력급수' 비상대응 업무에 대한 수행 조직별 NASA-TLX 업무량 평가 결과

3.3.2 '이동형발전차/소방펌프차' 비상대응 업무에 대한 업무량 평가

(1) 업무내용 분석에 따른 조직/인원 적절성 평가

“이동형발전차/소방펌프차” 비상대응 업무와 관련하여 세부 조직 구성원별 시간진행에 따른 사고대응조치 및 연관관계를 그림4에 나타내었다.

케이블 포설 및 결선, 연료이송라인 설치의 경우 다수의 인원이 투입되나 난이도는 매우 낮은 작업으로서, 각각 1명(총 2명)의 주관 가능한 인력만 있으면 나머지 인력은 별도의 훈련없이도 작업에 투입될 수 있는 업무이다. 소방펌프차의 경우, 필수인력인 소내소방대원은 24시간 교대근무에 포함되므로 비상시 즉시 출동이 가능하다.

소방호스 연결의 경우 주관 가능한 인력 1명만 있으면 나머지 인력은 별도의 훈련 없이도 작업에 투입될 수 있는 업무이다. 주관 가능한 인력으로는 비상운영지원실 내 기계반원 1명이 수행할 수 있으므로 핵심인원은 확보 가능하다.

결론적으로, 시나리오 7의 “이동형발전차/소방펌프차” 비상대응 업무와 관련하여 핵심 인력 및 나머지 지원 인원은 정규 비상조직 내에서 충분히 확보 가능한 것으로 평가되었다.

(2) 시나리오 상세 직무별 업무량 평가

인지적 업무량이 높은 상세 직무는 다음과 같이 평가되었다.

- 이동형 발전차 사용 결정 및 이동
- 이동형 발전차량 모션 전원공급 시작

- 소방펌프차 호출 결정 및 지원 요청
- 2차측 비상냉각수 외부주입 시작
- 신체적 업무량이 높은 직무는 다음과 같다.
- 케이블 포설 및 결선, 연료이송라인 설치
- 소방호스 연결

이동형발전차 및 소방펌프차의 호출 및 투입 의사결정과 관련한 상세 직무에 대하여 인지적 업무량이 높은 것으로 평가되었으며, 이동형발전차 및 소방펌프차 연결 작업의 경우 신체적 업무량이 높은 것으로 평가되었다.

인지적 업무량의 경우 주요 사고상황을 판단하고 의사결정 및 업무지시를 수행하는 SCA 운전조, 의사 결정조(비상기술지원실장 대역)가 높게 평가되었고, 신체적 업무량의 경우 케이블 포설/결선, 소방호스 연결 등 다수의 인원이 투입되는 이동형 발전차조와 비상냉각수 외부 주입조가 높은 것으로 평가되었다.

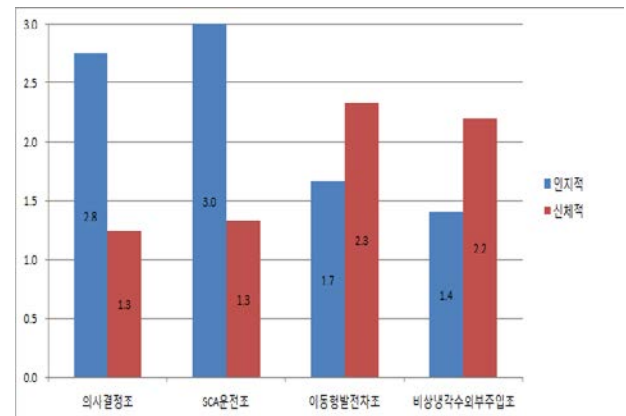


그림 4. '이동형발전차/소방펌프차' 비상대응 업무에 대한 수행조직별 업무량 (인지적, 신체적) 평가 결과

(3) 운전원, 정비원 업무량 평가

평가 결과, 심리적 요구(MD)는 SCA 운전조, 의사 결정조에서 높은 값을 나타냈다.

신체적 요구(PD)의 경우 비상냉각수 외부주입조와 이동형 발전차조에서 높은 값을 나타내기는 하였으나 조직별로 큰 차이점은 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

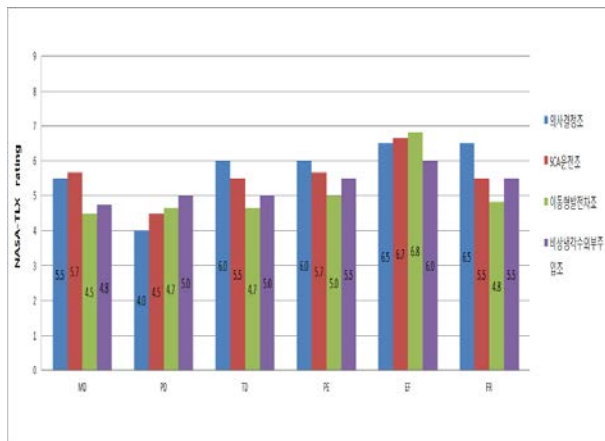


그림 5. '이동형발전차/소방펌프차' 비상대응 업무에 대한 조직별, 요인별 NASA-TLX 업무량 평가 결과

상기 조건에서의 시나리오 이행 가능성은 유효성 평가를 통하여 확인된 바가 있으므로, 본 업무량 수준은 비상대응 업무를 수행하기에 적절한 수준으로 볼 수 있다. 그림 6에는 1차 및 2차 유효성 평가 결과를 비교하기 위하여 수행 조직 별 설문 응답결과(NASA-TLX 6개 항목 결과를 평균함)를 나타내었다.

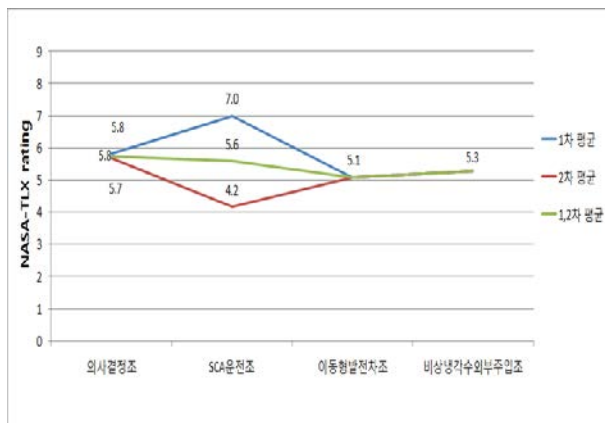


그림 6. '이동형발전차/소방펌프차' 비상대응 업무에 대한 수행조직별 NASA-TLX 업무량 평가 결과

3.3.3 '중대사고 관리' 비상대응 업무에 대한 업무량 평가

(1) 업무내용 분석에 따른 조직/인원 적절성 평가

비상 발령에 따라 정규 비상조직은 발족되어 있으며 사고발생 후 4시간 시점에 중대사고관리

진입시점에 도달하여 비상기술 지원실에서는 중대사고관리지침서에 따른 사고대응조치에 착수한다.

이동형발전차, 소방펌프차를 사용한 비상대응 업무와 관련하여 투입되는 인원인 이동형발전차 운전원, 지게차운전원, 케이블 포설/결선조원, 연료공급조원, 외부주입요원 확보 가능성의 경우 "이동형발전차/소방펌프차" 비상대응 업무 분석 결과를 적용한 결과 핵심 인원 및 지원 인원의 확보는 충분히 가능한 것으로 확인되었다.

(2) 시나리오 상세 직무별 업무량 평가

"중대사고 관리" 비상대응 업무에 대하여 상세 직무별 인지적, 신체적 업무량을 평가하였다. 신체적 업무량이 높은 상세 직무는 없는 것으로 평가되었다. 중대사고관리 진입 결정 시에는 지진 및 완전정전상황에서 부족한 발전소 변수를 통해 중대노심손상이 발생한 것으로 판단하여 중대사고관리로 진입(발전소 정상 복구 포기)하는 의사 결정을 수행해야 하므로 심리적 업무부담이 많은 것으로 평가되었다.

(3) 운전원, 정비원 업무량 평가

평가 결과, 심리적 요구(MD), 시간압박(TD), 목표의 달성도(PE), 불안감, 당혹감, 목표달성을 위하여 요구되는 노력의 정도(EF), 스트레스 정도(FR)는 의사 결정조와 SCA 운전조건 유사한 것으로 나타났으나, 신체적 요구(PD)는 SCA 운전조건이 다소 높게 나타난 것으로 평가되었다.

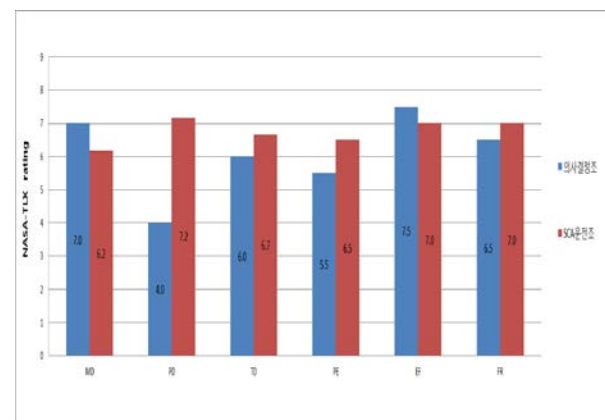


그림 7. '중대사고' 비상대응 업무에 대한 조직별, 요인별 NASA-TLX 업무량 평가 결과

그림 8에는 1차 및 2차 유효성 평가 결과를 비교하기 위하여 수행 조직 별 설문 응답결과(NASA-TLX 6개 항목 결과를 평균함)를 나타내었다.

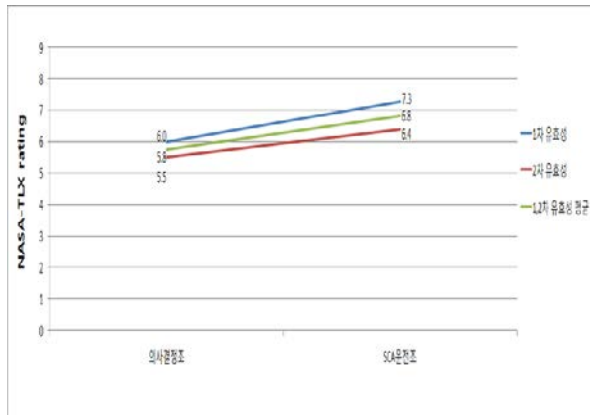


그림 8. ‘중대사고’ 비상대응 업무에 대한 조직별 NASA-TLX 업무량 평가 결과

4. 결론

발전소 안전기능이 상실되는 각 사고 시나리오에 대하여, 단계별 주요 비상대응 업무 및 각 업무에 참여하는 수행조직에 대한 업무량 평가를 수행하였다. 평가 범위는 월성1호기 스트레스 테스트 시나리오 중 3분야(전력계통 등 안전기능 상실에 대한 대응능력) 및 4분야(중대사고 관리능력) 시나리오에 대하여 수행되었다.

시나리오 별로 현재 조직/인원 내에서 사고 대응이 가능한지 여부를 평가한 결과, 모든 시나리오에 대하여 정규 비상조직 발족 전에는 초기 비상조직 구성원, 정규 비상조직 발족 후에는 정규 비상조직 구성원 내에서 사고 대응이 가능한 것으로 확인되었다.

또한, 시나리오별 업무량에 대한 상대적인 비교평가를 수행한 결과 중대사고 시나리오 및 시나리오 7(시나리오 9)의 업무량이 가장 높은 것으로 확인되었다. 제3절에서는 업무량이 가장 높게 나타난 본 시나리오들의 사고대응조치에 대하여 세부 업무량 평가를 수행하였다. 관련한 주요 비상대응 업무는 사고 초기진단 및 MSSV 수동 개방, 이동형발전차 전원공급 및 소방펌프차 사

용 외부주입, 중대사고 관리로 정의하였으며 이는 1,2차 유효성 평가 시 고려된 기준과 같다.

‘사고 초기진단 및 MSSV 수동개방조치’와 관련한 평가에서는 사고 진행 시간대별 운전원의 업무 수행 내용을 분석한 결과, 모든 시간대별로 가용한 여유인원이 확보됨을 확인하였다. 따라서 현 조직 및 인원(초기 비상조직)으로 시나리오에서 고려되는 사고대응 수행에 여유가 있는 것으로 확인되었다.

‘이동형발전차 사용 전원공급 및 소방펌프차 사용 외부주입’과 관련한 평가에서도 정규 비상조직 내에서 필요한 인원을 충분히 확보할 수 있는 것으로 확인되었으며, 좀 더 원활한 대응을 위하여 이동형발전차 운전원, 지게차 운전원의 비상 호출 시 적정시간 내 소집(휴일, 야간 및 지진상황 포함) 방안이 필요한 것으로 확인되었다.

‘중대사고 관리’에 대한 평가 결과에서도 정규 비상조직 내에서 필요한 인원을 충분히 확보할 수 있는 것으로 확인되었다. 중대사고의 경우 사고 장기화에 따른 SCA 운전조 등 비상운전조의 신체적 업무량이 증가할 것으로 평가되었으나, 월성본부 방사선비상계획서 및 방사선비상수행 절차서에서 사고 장기화 시 교대근무계획을 수립 및 이행하도록 명시하고 있어 해결 가능성을 확인하였다.