

## 주관적 작업부하 평가기법을 이용한 원자력 발전소 주제어반 제어 스위치 사용 인적 수행도 평가

변승남

경희대학교 기계·산업시스템공학부

### An Evaluation of Operator Performance Related to the Switch Types in Main Control Rooms of the Nuclear Power Plants

Seong-Nam Byun

The objective of this study is to evaluate the operator performance relating to hand switches with two or three buttons in the main control rooms of nuclear power plants. Based on the comparative analysis of the nuclear power plants, two different subjective workload-rating scales were used to evaluate the performance of 48 operators: the Overall Workload(OW) and National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA TLX). The survey questions consisting of the eight-items were asked to evaluate the operating experiences for the two different switch types.

The OW scales ratings were applied to measure the workload of the switch-related tasks. The ratings revealed that signal detection tasks caused less workload in the three-buttoned-switch operators than the other switch group. However, in the switch operation tasks, the switch types did not show statistically significant effects on workload level.

The NASA TLX scale ratings were performed based on detailed task scenarios that assumed the accident of small break loss of coolant, what we call, the small LOCA. The NASA TLX was administered to three different task groups: the reactor, the turbine, and the electric operator groups. Based on the NASA TLX, the two-buttoned switch groups showed higher workload than those with the three-buttoned switches. However, a statistically significant difference was found only in the reactor operator groups. When the current switch type was assumed to be changed for the other type, all of the three-buttoned switch groups were predicted to have higher workload than the other switch groups, respectively. The implications of these findings were discussed.

#### 1. 연구배경 및 목적

인간-기계 체계(Human-Machine System)에서 작업자의 정신적 작업부하(Mental Workload)를 평가하는 기법은 일차적 및 이차적 직무 측정(Primary & Secondary Task Measures), 생리적 측정(Physiological Measures), 주관적 평점 측정(Subjective Rating Measures) 등 크게 세 가지로 분류할 수 있다(Wierwille, Eggemeier, 1993). 직무 측정은 직접적인 직무 수행을 통한 작업자의 정신적 능력(Capability)을 평가하는 것으로, 여기에서 이차 과제란 일차 과제에서 이용되지 않은 작업자의

잔여능력을 측정하기 위해 부가적인 과제를 부여하는 것을 의미한다(Ogden, Levine, Eisner, 1979). 생리적 측정은 작업자의 자율 신경계 또는 중추 신경계 활동의 생리적 측정을 통하여 작업부하를 평가하는 방법이다(Ursin, 1979). 생리적 측정치로는 심장 박동률의 변화(Heart Rate Variability), 뇌 전위(Brain Activity), 동공 크기(Pupil Diameter) 등을 이용한다.

주관적 평점 측정은 단일 요인(Uni-dimension) 또는 다 요인(Multi-dimension)의 평가 척도를 이용하여 직무 수행에 대해 작업자가 주관적으로 느끼는 정도를 측정하는 것으로, 면담 및 설문조사(Interview/Questionnaire) 방식을 통한 주관적 작업부하 평가(Subjective Workload Assessment) 기법이다

(Sinclair, 1995). 이 방법은 진단성(Diagnosticity) 및 민감성(Sensitivity) 측면에서 분석 결과에 대한 신뢰성이 높고, 적용이 쉬워 인간-기계 체계의 인적수행도 평가를 위한 목적으로 널리 활용되고 있다(Moray, 1982; Muckler, Seven, 1992; Wickens, 1992).

주관적 작업부하 평가의 대표적인 기법으로는 Overall Workload(OW), Modified Cooper-Harper Scale(MCH), Subjective Workload Assessment Technique(SWAT), National Aeronautic & Space Administration Task Load Index(NASA-TLX) 등이 있다(Hill, Iavecchia, Byers, 1992). 이러한 기법은 절대적 척도(Absolute Rating)를 평가기준으로 적용한 것으로 OW, MCH 등은 단일 요인을 평가하기 위해 구조화된 척도를 사용한다. SWAT와 NASA-TLX는 주관적 작업부하에 여러 요인이 포함되어 있다는 가정하에 다 요인화된 척도를 사용한다. SWAT는 작업부하에 영향을 미치는 요인으로 시간 부하(Time Load), 정신 노력의 부하(Mental Effort Load), 스트레스 부하(Stress Load) 등 세 가지를 고려하며, 가중치(Weight) 결정을 위한 척도 개발 단계 및 점수 산정 단계를 거쳐 작업부하를 평가하게 된다(Reid, Nygren, 1988). NASA-TLX는 정신적 요구(Mental Demand), 신체적 요구(Physical Demand), 시간적 요구(Temporal Demand), 수행도(Performance), 노력(Effort), 좌절 수준(Frustration Level) 등 6개 요인을 작업부하에 영향을 미치는 요인으로 분류하였다(Hart, Staveland, 1988). 작업부하는 이들 요인의 상대비교(Pairwise Comparison)에 의한 가중치와 각 요인에 대한 평가치의 곱에 의해 결정된다.

상대적 척도(Relative Rating)를 평가의 기준으로 적용한 기법으로는 Psychophysical Scaling, Subjective Workload Dominance(SWORD) 등이 있다. Gopher & Braune(1984)에 의해 제시된 Psychophysical Scaling은 작업자가 평가를 위한 기준 작업(Reference Task)을 수행한 후 이를 100점으로 산정하고, 이와 비교하여 분석 대상작업이 어느 정도의 부하를 필요로 하는지 상대적으로 평가하는 기법이다. SWORD는 Saaty의 Analytic Hierarchy Process(AHP)를 응용하여 고안된 것으로, 각 분석 대상에 대한 상대비교를 통하여 작업부하를 평가하는 방식이다(Vidulich, 1989). 이외에도 주관적 작업부하 평가로 최근에 제안된 방법으로 Workload File, Instantaneous Self-Assessment(ISA) 등이 있다(Tattersall, Hockey, 1990); Tsang, Velazquez, 1996).

전술한 주관적 작업부하 평가 기법은 응용 심리학(Applied Psychology) 분야에서 여러 연구를 통하여 결과의 신뢰성(Reliability) 및 유용성(Availability)이 검증되었다(Hill, Byers, Zaklad, Christ, 1989; Wierwille, Eggemeier, 1993). Hill *et al.* (1992)은 SWAT, NASA-TLX, OW, MCH에 대한 신뢰성 평가를 통하여 모델에 대한 적합성을 검증하고, 타당성(Validity)에서는 NASA-TLX가, 이용성에서는 NASA-TLX와 OW 기법이 우수한 것으로 평가하였다. 또한 Itoch *et al.*(1989)과 Tattersall & Hackey(1990)는 주관적 작업부하의 평가치는 생리적 측정치를 통한 작업부하 평가결과와 상관관계가 높다고

밝혔다. Nygren(1991)은 NASA-TLX와 SWAT의 정신 측정학(Psychometric)적 특성 분석을 통하여 인지적 예측 모델로서의 적합성을 증명하고, NASA-TLX는 경험된 작업부하(Experienced Workload)에 대한 종합적 예측 모델로, SWAT는 작업부하에 대한 개인차를 판별하기 위한 인지적 모델로 사용할 것을 제안하였다. 특히 NASA-TLX의 경우, 상대 비교를 통한 가중치의 적용은 결과의 신뢰성을 저하시키는 원인으로 작용하는 것으로 밝혀져 이 과정을 제외한 모델 적용을 제시하였다. SWAT는 Card Sorting Method를 이용하여 가중치를 결정하는데, 방법이 복잡하고 많은 시간이 요구되는 점이 주요 단점이다(Hill, Iavecchia, Byers, Bittner, Zaklad, Christ, 1992). 따라서 이러한 단점을 보완하기 위한 가중치 적용 방안을 기존 모델과의 신뢰성 검증을 통하여 대안으로 제시하였다(Biers, McInerney, 1988).

주관적 작업부하 평가 기법은 피 실험자의 작업수행 후 해당 작업에 대한 정신적 부하를 평가하기 위해 고안되었지만, 직접 수행하지 않고 작업에 대한 상상(Projection)에 의해 평가하는 경우에도 결과의 신뢰성이 높은 것으로 밝혀졌다(Masline, Biers, 1987). 특히 피 실험자를 분석 대상 작업에 익숙한 전문가 집단(Subject Matter Expert: SME)으로 구성하는 경우, 실제 작업 수행에 의한 평가 결과와 상관관계가 높은 것으로 분석되었다(Vidulich, Tsang, 1987; Vidulich, Ward, Schueren, 1991). 따라서 분석하고자 하는 작업의 구현이 환경적 또는 시간적 요인으로 인해 현실적으로 불가능한 경우, 전문가 집단의 작업수행이라는 가정하에 작업부하를 평가하면 평가결과는 실제 작업을 한 경우와 동일할 것으로 판단된다.

이상의 연구결과는 전술한 기법들의 적용을 통한 정신적 작업부하의 측정이 작업자에 대한 인지적 측면에서의 인적수행도 평가를 위한 척도로 적합함을 보여 준다. 따라서 본 연구에서는 주관적 작업부하 평가를 통하여 원자력 발전소(이하 원전) 주제어반 제어 스위치 사용에 대한 운전원의 정신적 작업부하와 이에 따른 인적 수행도를 평가하고자 한다.

## 2. 제어반 제어 스위치

현재 우리나라 원전의 주제어반에 사용되는 제어 스위치는 형태와 기능적 특성에 따라 2단과 3단 스위치로 분류할 수 있다. <그림 1>은 밸브계통 조작을 위한 2단과 3단 스위치의 대표적인 형태를 보여준다. 이들 두 조작 스위치의 주요 기능적 차이는 3단 스위치의 경우, 비정상 동작 상태표시가 TROUBLE과 DISABLED로 구분되어 있으나 2단 스위치는 INOPERABLE로 통합하여 표시한 데 있다. 비정상 상태로 인한 신호발생 후 인지(Acknowledge) 방법은 3단 스위치의 경우 TROUBLE/DISABLED 부분을 누르도록 되어

있지만, 2단 스위치는 OPEN 또는 CLOSE 중 어떤 부분을 누르더라도 반응하도록 설계되었다. 2단 스위치의 경우 OPEN이나 CLOSE 중 어느 버튼을 누르더라도 인지신호로만 작용하며, 실제 OPEN 또는 CLOSE 명령(Command)이 실행되지는 않는다.

전술한 바와 같은 기능적 차이와 함께 2·3단 스위치의 형태적 특징 또한 다르다. 대표적인 차이로 스위치의 크기를 들 수 있는데, 2단 스위치의 크기는 2"×3"로서 3단 스위치의 2"×4"에 비해 세로길이가 1" 작다. 이러한 2단 스위치의 소형화는 주제어반 크기의 축소, 인지적 성능향상 등 인간-기계 인터페이스 설계 향상에 주안점을 두고 이루어졌다.

는 방안으로 영광 5·6호기 주제어반 제어스위치를 3단으로 설계변경하였다. 이에 따라 원전 인허가 기관에서는 인간공학적 측면에서 제어스위치 변경에 따른 원전 운전의 안전성을 입증할 수 있는 객관적인 평가를 요구하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 인간공학적 평가의 일환으로 주관적 작업부하 평가를 통하여 2·3단 제어 스위치 사용에 따른 운전원의 인적 수행도를 평가하고자 한다.

### 3. 연구방법

#### 3.1 조사 및 평가대상

본 연구에서는 2단 스위치와 3단 스위치를 사용하는 두 운전원 집단을 선정하여 주관적 작업부하 평가를 수행하였다. 2단 스위치 사용 집단으로 울진 3·4호기 주제어실의 운전원(이하 2단 스위치 사용자)을, 3단 스위치 사용 집단으로 영광 3·4호기 운전원(이하 3단 스위치 사용자)을 선정하였다.

본 연구는 각 호기에 배치된 5개 운전조 중 교육 과정에 참여중인 1개조와 대기 근무중인 1개조를 제외한 총 3개 운전조를 대상으로 수행되었다. 또한 각 운전조에서 실제 주제어반의 직무와 연관된 Supervisor Reactor Operator(이하 SRO), Reactor Operator(이하 RO), Turbine Operator(이하 TO), Electric Operator(이하 EO)를 분석 대상에 포함시켰다. 따라서 주관적 작업부하의 평가대상 집단은 울진 3·4호기와 영광 3·4호기 각각 24명, 총 48명으로 구성되었다.

울진 3·4호기와 영광 3·4호기 운전원의 인적 사항은 <표 1>과 같다. 조사 대상자의 평균 나이는 31.1세이며, SRO의 연령이 35.9세로 가장 높았다. RO, TO, EO의 나이는 SRO보다는 낮으나 거의 비슷해 조사 대상자인 운전원들이 가장 활동적인 연령층에 속해 있음을 알 수 있다. 발전소 근무 경력은 영광 3·4호기의 운전원이 울진 3·4호기에 비해 평균 20여 개월 많았으며, 주 제어실 근무 경력 또한 영광 3·4호기의 운전원이 길었다.

그림 1. 2·3단 제어 스위치.

2단 스위치는 3단 스위치를 사용한 영광 3·4호기에 이어 한국 표준형 원전인 울진 3·4호기 주제어반 설계에 사용되었다. 또한 현재 건설중인 영광 5·6호기에서도 예비안전성분석 보고서를 통해 주제어반 내 2단 스위치의 적용을 제시하였고 원전 인허가 기관으로부터 그 기능성을 확인·평가받았다. 그런데 기존의 3단 스위치에 익숙한 영광 발전소 소속 운전원들이 영광 5·6호기의 제어스위치를 2단으로 설계할 경우, 스위치 사용에 따른 혼란이 야기될 수 있다는 이유로 3단 스위치로의 변경을 요구하였다. 또한 영광 발전소 내 시뮬레이터(Simulator)가 3단 스위치로 설치되어 발전소별 교육 훈련의 효율성을 최적화하

표 1. 평가 대상자의 인적 사항

발전소	영광 3·4호기					울진 3·4호기				
	SRO	RO	TO	EO	평균	SRO	RO	TO	EO	평균
나이 (세)	35.2 (1.2)	31.3 (1.6)	30.3 (1.2)	31.3 (1.2)	32.0 (2.3)	36.5 (2.8)	28.5 (1.6)	28.3 (2.0)	27.5 (3.0)	30.2 (4.4)
발전소 근무경력 (개월)	175.5 (22.1)	72.2 (11.8)	57 (3.8)	66.8 (15.8)	92.9 (50.0)	185.5 (20.1)	40.3 (23.4)	31.3 (10.5)	26.3 (12.7)	70.9 (69.7)
주제어실 근무경력 (개월)	113 (43.7)	44.5 (29.1)	22.5 (13.4)	27.5 (19.6)	51.9 (45.7)	60.8 (7.9)	21.2 (8.8)	19 (9.2)	10 (8.3)	27.8 (21.5)

(( ): 표준편차)

주관적 작업부하 평가는 영광 3·4호기의 경우 1999년 4월 6일부터 4월 8일까지 3일간, 울진 3·4호기의 경우 1999년 4월 14일부터 15일까지 2일간, 원전 주 제어실 내에서 운전원과의 직접적인 면담을 통하여 수행되었다.

### 3.2 주관적 작업부하 평가

본 연구에서는 평가의 신뢰성을 높이기 위하여 두 차례에 걸친 현장 운전원과의 면담을 통해 예비 평가지를 작성하였다. 이를 토대로 운전원 훈련 교관, 주 제어반 설계자 등으로 구성된 전문가 집단의 검토를 거쳐 최종적인 평가지를 작성하였다.

본 연구에서 수행한 주관적 작업부하 평가의 주요 내용 및 방법은 다음과 같다.

#### (1) 운전경험 검토

우선 2·3단 스위치 사용에 대한 실태분석을 위하여 과거 및 현재의 스위치 사용 경험을 확인과 조작직무로 나누어 분석하였다. 또한 스위치 인지(Acknowledge) 과정에서 TROUBLE과 DISABLED에 대한 신호 구분의 필요성을 조사하였다.

#### (2) 제어스위치의 사용성 평가

2·3단 제어 스위치에 나타난 정보에 따른 스위치의 사용성을 평가하였다. 스위치의 사용성은 Vidulich & Tang (1987)의 Overall Workload Scale을 평가척도로 이용하였다. 또한 2단 스위치 사용자는 3단 스위치를, 3단 스위치 사용자는 2단 스위치를 사용하는 것으로 각각 가정하고 스위치 변경에 따른 사용성을 평가하였다. 이러한 평가에는 Likert's Summated Rating Method를 사용하였다.

#### (3) 직무 시나리오에 의한 작업 부하 평가

원전 적용사례에서 인간공학 분석 대상으로 널리 활용하고 있는 Small Break Loss of Coolant Accident(Small Break LOCA) 발생을 가정하고, 직무수행에 따른 운전원의 주관적 작업부하를 평가하였다. 또한 제어 스위치의 변경 - 즉 2단 스위치 사용자는 3단을, 3단 스위치 사용자는 2단 스위치를 사용할 경우 - 을 가정한 경우에 대한 작업부하를 평가하였다. 본 연구에서는 평가방식으로 운전원이 수행하여야 할 일부 사고조치 사항들을 직무 시나리오(Task Scenario)로 제시한 후, 이를 NASA-TLX를 이용하여 작업부하를 평가하였다.

NASA-TLX는 수행 직무에 요구되는 작업자의 작업부하를 정신적 요구(Mental Demand), 신체적 요구(Physical Demand), 시간적 요구(Temporal Demand), 수행도(Performance), 노력(Effort), 좌절 및 스트레스 수준(Frustration & Stress Level) 등 6개 요인으로 분류하고 있다. 본 연구에서는 NASA-TLX 적용을 본 연구의 목적에 적합하도록 일부 수정하였다. 우선

6개 평가요인 중 노력에 관한 작업부하 평가를 운전원간 요구되는 대화 수준(Communication)으로 대체하였다. 또한 상대 비교를 통한 가중치의 반영은 평가 대상자간의 가변성(Variability)을 증가시켜 결과의 신뢰성을 저하시키는 요인으로 작용하므로(Nygren, 1991) 이러한 과정은 제외하였다.

## 4. 운전경험 검토

2·3단 스위치에 나타난 정보의 확인 및 조작과 관련된 운전원의 경험사항을 혼란 경험률과 실수 경험률로 나누어 분석하였다<표 2>.

### 4.1 확 인

정보의 확인과 관련된 2단 스위치 사용자의 혼란 경험률은 SRO, RO 및 EO의 경우, 33.3%, TO는 16.7%인 것으로 각각 나타났다. 이에 비해 3단 스위치 사용자의 경우 EO가 50%로 가장 높았고, SRO 및 RO의 경우 16.7%가 혼란을 경험한 것으로 나타나 EO를 제외한 모든 운전원이 3단에 비해 2단 스위치의 혼란률이 높았다. 이는 3단 스위치의 경우 비정상 상태에서 정보가 TROUBLE과 DISABLED로 구분되어 표시되지만, 2단 스위치는 INOPERABLE로 통합되어 정보를 구분하는 데 혼란을 느끼는 것으로 판단된다.

정보를 확인하는 과정에서 잘못 판단하거나 실수를 범한 경험률은 2단 스위치의 경우 RO와 EO가 각 33.3%, TO는 16.7%였다. 이에 비해 3단 스위치는 EO의 경우 50%가 실수를 경험하였으나 SRO, RO와 TO는 실수 경험이 전혀 없었다.

표 2. 혼란 및 실수 경험률

(단위: %)

경험률	혼란 경험률				실수 경험률			
	확인		조작		확인		조작	
스위치	2단	3단	2단	3단	2단	3단	2단	3단
SRO	33.3	16.7	33.3	33.3	0	0	0	0
RO	33.3	16.7	16.7	0	33.3	0	33.3	0
TO	16.7	0	16.7	0	16.7	0	0	0
EO	33.3	50	33.3	16.7	33.3	50	16.7	66.7
평균	29.2	12.5	25	12.5	20.9	12.5	12.5	16.7

### 4.2 조 작

<표 2>에 나타난 바와 같이 조작과 관련된 2단 스위치 사용자의 혼란 경험률은 SRO와 EO의 경우, 각각 33.3%, RO와 TO의 경우에는 각각 16.7%인 것으로 각각 조사되었다. 3단 스위치 사용자의 혼란률은 SRO의 경우, 33.3%로 2

단 스위치와 동일하지만 EO는 16.7%로 2단 스위치 사용자에게 비해 낮았다. 특히 RO와 TO는 혼란 경험이 전혀 없었던 것으로 나타나, 전반적으로 2단 스위치 사용에 대한 혼란 경험이 많은 것을 알 수 있다. 이러한 결과의 원인으로 2단 스위치 사용자와의 면담 결과, INOPERABLE의 경우 OPEN과 한 부분으로 설계되어 INOPERABLE을 조작할 경우 OPEN 명령이 동시에 수행될 것 같은 불안감 때문인 것으로 밝혀졌다.

조작에 대한 실수 경험률은 2단 스위치의 경우 RO가 33.3%로 가장 높았으며, EO 16.7%, SRO와 TO는 경험이 없는 것으로 각각 나타났다. 3단 스위치의 경우, SRO, RO, TO는 실수의 경험이 전혀 없었지만, EO의 66.7%가 조작에 따른 실수를 경험한 것으로 나타났다.

4.3 신호구분의 필요성

TROUBLE과 DISABLED 부분의 신호구분 필요성에 대한 운전원의 의견을 조사하였다. 조사 결과 3단 스위치 사용자의 대부분(95.8%; 23명)이 신호는 반드시 구분되어야 한다고 응답하였다. 모든 SRO, RO, TO가 구분이 필요하다고 응답하였으며, EO의 경우에도 83.3%에 달하였다. 이러한 결과는 3단 스위치 사용자의 대부분이 2단 스위치로의 변경에 대해 부정적임을 보여 준다.

2단 스위치 사용자의 경우, 조사 대상자의 58.3%(14명)가 신호구분이 필요하다고 응답하였다. 신호를 TROUBLE과 DISABLED로 구분할 경우에 대해서는 20.9%(5명)가 주 제어 반의 운전이 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 응답하였다. 이는 2단 스위치 사용자가 3단 스위치 사용자에게 비해 스위치 변경에 대한 부정적인 의견이 상대적으로 적음을 나타낸다.

운전원과의 면담결과, 2단 스위치 사용자의 대부분(79.1%)이 3단 스위치를 사용한 경험이 있는 것으로 밝혀졌으며 3단 스위치 사용자에게 비해 2단 스위치 사용자가 신호 구분의 필요성을 적게 나타낸 것은 2단 스위치에 대해 어느 정도 만족하고 있음을 의미한다. 반면에 3단 스위치의 경우 조사 대상자의 8.3%(2명)만이 2단 스위치의 사용 경험이 있었다. 따라서 2단 스위치 사용자의 스위치 변경에 대한 거부감이 3단 스위치 사용자에게 비해 적은 것은, 3단 스위치의 선행적 경험이 2단 스위치 사용자에게 영향을 주었기 때문이라고 추측된다.

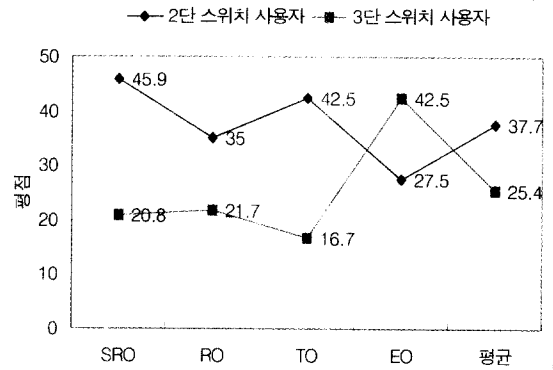
5. 제어스위치의 사용성 평가

Overall Workload Scale을 이용하여 2·3단 스위치의 사용성에 대해 평가하였다<그림 2>. 본 연구에서는 확인과 조작에 대해 스위치 사용의 용이성(즉, 쉽다 또는 어렵다)을 0

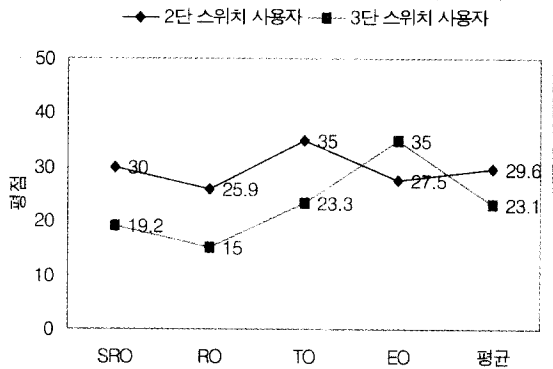
에서 100까지의 점수로 정량화하였다. 본 평가에서는 값이 클수록 스위치의 사용이 어렵다는 것을 나타낸다.

5.1 확인

신호 확인에 대한 2·3단 스위치의 사용성은 <그림 2, (a)>와 같다. <그림 2, (a)>에 의하면 SRO, RO, TO의 경우, 3단 스위치에 비해 2단 스위치의 사용이 어려운 것으로 나타났으며, EO는 3단 스위치의 사용을 어렵게 느끼는 것으로 밝혀졌다. 또한 2단 스위치 사용성의 전체 평균이 37.7점으로 3단 스위치의 25.4점에 비해 12.3점 높아 전체적으로 2단 스위치의 사용이 3단 스위치에 비해 어려운 것으로 평가되었다. 이러한 차이는 Newman-Keuls 검정결과 2단 및 3단 스위치 사용성의 차이가 통계적으로 유의( $p < 0.01$ )하게 나타나 신호 확인의 경우, 3단 스위치의 사용성이 2단 스위치에 비해 우수하였다.



(a) 확인



(b) 조작

그림 2. 스위치의 사용성 평가.

5.2 조작

스위치 조작에 대한 사용성 평가 결과는 신호 확인에 대

한 사용성의 경우와 유사하게 나타났다<그림 2, (b)>. 즉, SRO, RO, TO는 2단 스위치의 사용이, EO는 3단 스위치의 사용이 더 어려운 것으로 각각 평가되었다. 스위치별 평균은 2단 스위치가 29.6점, 3단 스위치가 23.1점으로 2단 스위치가 6.5점 높았으나 이 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

### 5.3 스위치 변경

Likert's Summated Rating Method를 이용하여 향후 원전 주제어반 설계에서 2단 스위치를 3단 스위치로, 3단 스위치는 2단 스위치로 변경하였을 때 이에 대한 스위치의 사용성을 조사하였다. 여기에서는 평가값이 커질수록 스위치의 사용이 어려워지는 것을 나타낸다.

신호 확인직무에서 스위치를 변경할 경우, 3단 스위치 사용자(3.8점)가 2단 스위치 사용자(2.9점)에 비해 운전 직무 수행이 더욱 어려워질 것으로 예측되었다<그림 3, (a)>. 이 차이는 Newman-Keuls 검정결과 유의한 것( $p < 0.01$ )으로 나타나 3단 스위치 운전원은 2단 스위치 운전원에 비해 스위치 변경에 부정적임을 알 수 있다.

나타났다<그림 3, (b)>. 스위치 변경시, 3단 스위치 사용자(3.5점)의 어려움이 2단 스위치 사용자(2.9점)에 비해 큰 것으로 밝혀졌다. 이 차이 또한 통계적으로 유의해( $p < 0.01$ ) 스위치 조작 직무에서도 3단 사용자의 스위치 변경에 대한 거부감이 2단 스위치 사용자에게 비해 크다는 것을 알 수 있다.

전술한 바와 같이, 2단 스위치 사용자의 대부분(79.1%)이 3단 스위치를 사용한 경험이 있었으며 3단 스위치 사용자의 경우 조사 대상자의 8.3%(2명)만이 2단 스위치의 사용 경험이 있었다. 따라서 2·3단 스위치의 변경에 대한 사용자 집단간의 평가 차이는 2단 스위치의 이용성 외에도 각 집단의 스위치별 사용 경험의 차이에 의해서도 발생할 수 있으며 이를 고려한 신중한 결과 해석이 필요하다고 하겠다.

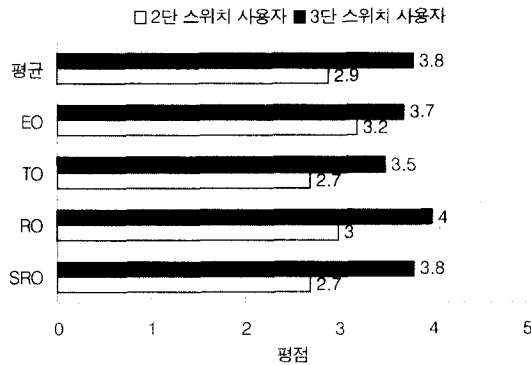
## 6. 직무 시나리오에 의한 작업부하 평가

본 절에서는 Small Break LOCA 사건 조치 중 2·3단 스위치 사용과 관련된 직무에 대한 운전원의 정신적 작업부하를 평가하였다. 이와 함께 스위치의 변경, 즉 2단 스위치 사용자는 3단 스위치를, 3단 스위치 사용자는 2단 스위치를 사용할 경우에 대한 작업부하를 평가하였다.

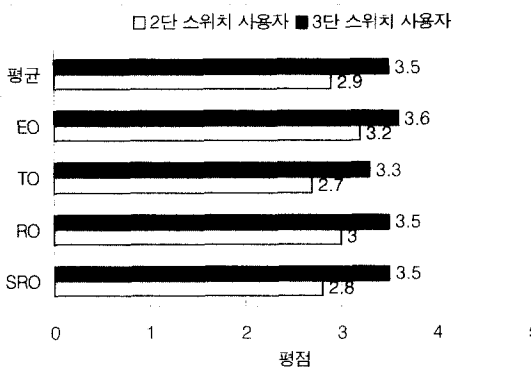
직무 시나리오는 2단 및 3단 스위치의 사용과 관련된 사고 조치들로, 영광 3·4호기 및 울진 3·4호기의 비상운전 절차서에 기술된 상황을 일부 사용하였다(한국전력공사(1997, 1998)). 여기에서 직무는 평가 대상인 2단 스위치 사용자와 3단 스위치 사용자에게 대해 동일한 사고조치를 수행하도록 제시하였다. RO에게는 RCP 운전 및 LOCA 부위 격리를<표 3, (a)>, TO에게는 LOCA 부위가 격리되지 않았을 때 수행해야 할 조치를 직무 시나리오로 제시하였다<표 3, (b)>. 또한 EO의 경우, 격납 건물 격리 및 압력 제어와 관련된 조치를 직무 시나리오로 결정하였다<표 3, (c)>. SRO는 실제 사고 발생시 2·3단 스위치 사용과는 관련이 없다고 판단되어 본 평가에서 제외하였다.

### 6.1 직무 시나리오에 대한 작업부하

직무 시나리오에 대한 운전원의 작업부하는 그림 4와 같다. 운전원별 작업부하를 살펴보면 RO는 모든 평가요인에서 2단 스위치 사용에 대한 작업부하가 3단 스위치에 비해 높은 것으로 평가되었다<그림 4, (a)>. 2단 스위치 사용하는 RO의 경우 대화요구에 따른 작업부하가 가장 높았으며, 다음으로 스트레스 및 시간적 요구, 신체적 요구 등의 순이었다. 3단 스위치 사용자의 경우에서도 대화요구에 따른 작업부하가 가장 높았으며 스트레스, 정신적 및 신체적 요구 등의 순으로 작업부하를 느끼는 것으로 나타났다.



(a) 확인



(b) 조작

그림 3. 스위치 변경을 가정한 경우에 대한 사용성 평가. 스위치 조작직무에서도 신호 확인에서와 같은 결과가

표 3. 주관적 작업부하 평가를 위한 직무 시나리오

(a) 직무 시나리오 : RO (RCP 운전 및 LOCA 부위 격리)

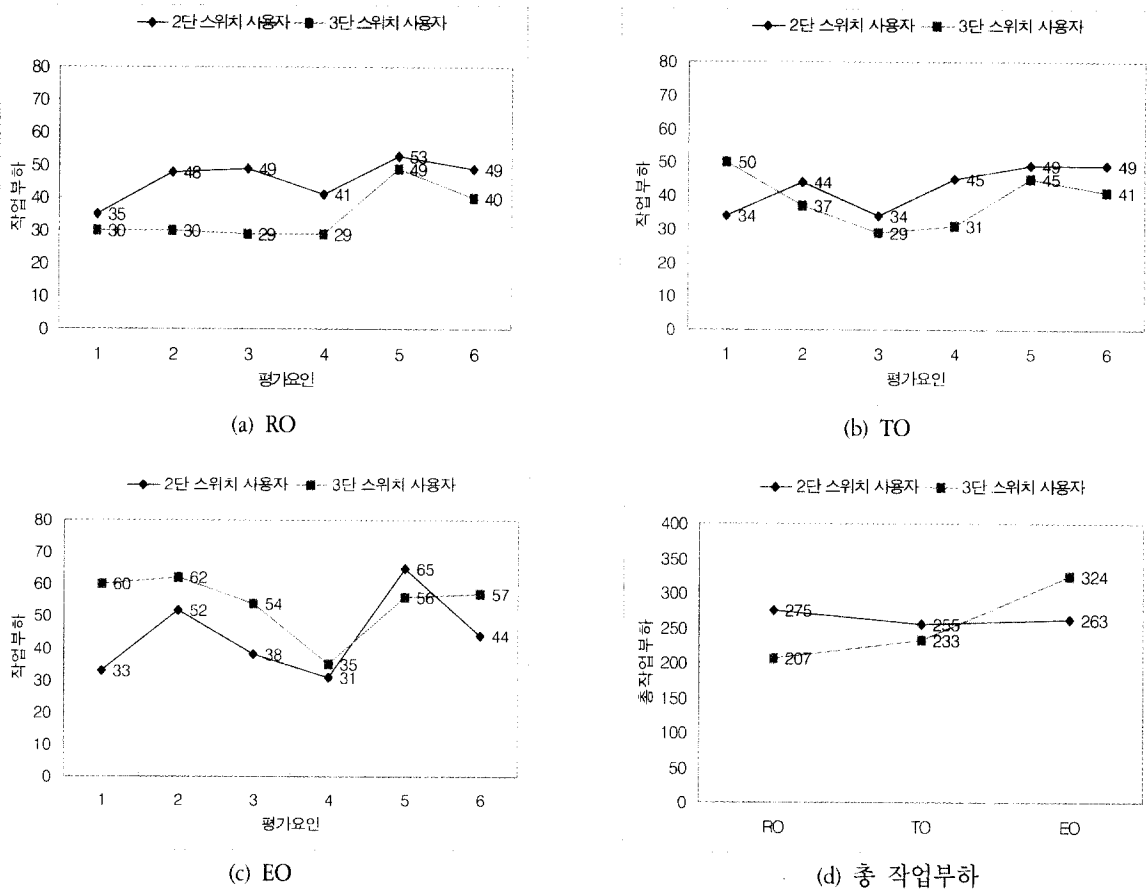
2단 스위치 사용 운전원	3단 스위치 사용 운전원
<p>(예상 반응에 대한 조치 및 불만족시 조치사항)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>CP가 계통-01 “원자로 냉각재 펌프 운전 조건이 만족되는지 확인한다. 만약 운전 조건이 만족되지 않은 RCP가 있다면 이를 정지한다.”</li> <li>다음을 수행하여 LOCA 부위 격리를 시도한다.                     <ol style="list-style-type: none"> <li>유출관 격리를 확인한다. 만약 격리되지 않았다면 수동으로 격리한다.</li> <li>1차측 시료 채취관 격리를 확인한다. 만약 격리되지 않았다면 수동으로 격리한다.</li> <li>다음을 점검하여 CCW 계통으로의 누설이 없음을 확인한다.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· CCW 방사능 지시치 비 정상적 증가 및 방사능 경보 없음을 확인한다.</li> <li>· CCW 완충탱크 비 정상적 수위 증가없음을 확인한다.</li> </ul>                             만약 CCW 계통으로의 누설이 확인되면 누설기기 격리를 시도한다.                         </li> <li>RCGVS 배기관(원자로 및 가압기) 격리를 확인한다. 만약 격리되지 않았다면 수동으로 격리한다.</li> <li>SDS 배관 격리를 확인한다. 만약 격리되지 않았다면 수동으로 격리한다.</li> </ol> </li> </ol>	<p>(예상 반응에 대한 조치 및 불만족시 조치사항)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>RCP가 운전중이면 RCP 운전 제한치를 모두 확인한다. 만약 운전중인 RCP가 운전 제한치를 벗어나면 해당 RCP를 정지한다.</li> <li>다음은 모두 확인하여 LOCA 파열 부위를 확인한다.                     <ol style="list-style-type: none"> <li>CVCS 유출 격리밸브가 차단되었는지 확인한다.</li> <li>모든 RCS 시료채취 격리밸브가 차단되었는지 확인한다.</li> <li>모든 RCGVS 배기 격리밸브가 차단되었는지 확인한다.</li> <li>모든 SDS 격리밸브가 차단되었는지 확인한다.</li> <li>다음은 확인하여 CCW로의 냉각재 유출이 없음을 확인한다.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· CCW 고 방사선 경보 또는 증가없음.</li> <li>· CCW 완충탱크 수위 증가없음.</li> </ul>                             만약 CCW로의 냉각재 누설이 확인되면 다음을 수행하여 누설을 차단한다.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 운전중인 모든 RCP 정지.</li> <li>· RCP로의 밀봉 유출 격리밸브 차단.</li> <li>· RCP 밀봉 유출 격리밸브 차단.</li> <li>· 밀봉수 냉각기의 격리밸브 차단.</li> </ul> </li> </ol> </li> </ol>

(b) 직무 시나리오 : TO (LOCA 부위 비격리시 조치사항)

2단 스위치 사용 운전원	3단 스위치 사용 운전원
<p>(예상 반응에 대한 조치 및 불만족시 조치사항)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>LOCA 부위가 격리되지 않으면, 다음 중 필요한 조치를 수행하여 SCS 진입 조건까지 55.5℃/hr의 냉각률로 신속히 냉각한다.                     <ol style="list-style-type: none"> <li>터빈 우회 복수기 밸브를 이용</li> <li>터빈 우회 대기 밸브를 이용</li> <li>주중기 대기 방출밸브를 이용</li> </ol> </li> <li>MSIS가 발생되지 않았다면, 냉각 진행동안 S/G 저압력에 의한 MSIS 자동동작 설정치를 감소 또는 우회시킨다.</li> <li>냉각하는 동안 주급수 또는 보조 급수를 이용하여 S/G 수위를 23.5~90%(WR)로 유지한다.</li> </ol>	<p>(예상 반응에 대한 조치 및 불만족시 조치사항)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>SBCS를 이용하여 정지 냉각 진입 조건까지 RCS 냉각을 시작한다.                     <ol style="list-style-type: none"> <li>복수기가 사용 가능하면, 복수기측 SBCS 밸브 사용.</li> <li>복수기가 사용 불능이면, 대기측 SBCS 밸브 사용. 만약 SBCS가 운전 불능이면, ADV를 사용하여 정지 냉각 진입조건까지 RCS 냉각을 시작한다.</li> </ol> </li> <li>MSIS가 발생하지 않으면, RCS 냉각 및 감압 중에 동작 설정치를 S/G 압력 미만으로 낮추어 우회한다.</li> </ol>

(c) 직무 시나리오 : EO (격납건물 격리 및 압력제어 조치사항)

2단 스위치 사용 운전원	3단 스위치 사용 운전원
<p>(예상 반응에 대한 조치 및 불만족시 조치사항)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>가압기 압력이 123.9 kg/cm<sup>2</sup>A 이하 또는 격납건물 압력이 133.1 cmH<sub>2</sub>O 이상이면, 다음 사항을 확인한다.                     <ol style="list-style-type: none"> <li>CIAS가 자동 발생하고 격납건물 격리 밸브가 닫힘. 만약 닫히지 않았다면 CIAS 수동작동 및 해당 격납용기 격리 밸브를 모두 차단한다.</li> <li>운전 가능한 모든 격납건물 팬 냉각기를 저속 운전 모드로 운전한다. 만약 불가능할 경우 수동으로 저속 운전 모드로 운전한다.</li> <li>운전 가능한 CEDM 냉각팬 및 원자로 캐비티 냉각팬이 운전한다. 만약 불가능할 경우 수동으로 운전 가능한 모든 CEDM 냉각팬 및 원자로 캐비티 냉각팬을 운전한다.</li> </ol> </li> <li>격납 건물 압력이 105.5cmH<sub>2</sub>O 미만이면, 격납 건물 팬 냉각기를 저속 운전 모드에서 고속 운전 모드로 전환한다.</li> </ol>	<p>(예상 반응에 대한 조치 및 불만족시 조치사항)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>격납용기 압력이 133.1 cmH<sub>2</sub>O 이상이거나 격납용기 고 방사선 경보가 발생되었으면, 다음을 모두 확인한다.                     <ol style="list-style-type: none"> <li>CIAS 동작을 확인한다. 만약 동작되지 않으면, 다음 중 1개를 수행한다.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· CIAS 수동작동</li> <li>· 해당 격납 용기 격리 밸브 모두 차단.</li> </ul> </li> <li>운전 가능한 모든 RCFC가 비상모드로 운전중임을 확인한다.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· RCFC의 저속 운전</li> <li>· RCFC로의 CCW 공급밸브 개방 유지</li> </ul>                             만약 운전되고 있지 않다면 운전 가능한 모든 RCFC를 비상모드로 기동.                         </li> <li>운전 가능한 CEDM 냉각팬 운전중임을 확인한다. 만약 운전되고 있지 않다면 운전 가능한 CEDM 냉각팬을 기동한다.</li> <li>운전 가능한 원자로 캐비티 냉각팬 운전중. 만약 운전되고 있지 않다면 운전 가능한 원자로 캐비티 냉각팬을 기동시킨다.</li> </ol> </li> </ol>



(1: 정신적 요구, 2: 신체적 요구, 3: 시간적 요구, 4: 자신감, 5: 대화요구, 6: 스트레스 수준)

그림 4. 직무 시나리오에 대한 작업부하.

TO의 경우 정신적 요구에 대한 작업부하는 3단 스위치가 높았지만 그 외 평가요인에서는 2단 스위치 사용에 따른 작업부하가 높았다<그림 4, (b)>. 또한 EO의 경우 대화요구를 제외한 모든 요인에서 3단 스위치 사용자의 작업부하가 높아, RO 및 TO의 평가결과와는 다른 경향을 보이고 있었다<그림 4, (c)>.

총 작업부하를 살펴보면 RO는 2단 스위치 사용자가 275점, 3단 스위치 사용자는 207점으로, 2단 스위치 사용에 따른 작업부하가 3단 스위치에 비해 높게 나타났다. 또한 TO의 경우 2단이 255점, 3단은 233점으로 RO와 마찬가지로 2단 스위치 사용자의 총 작업부하가 높았다. 그러나 EO의 경우, 3단 스위치의 총 작업부하가 2단 스위치보다 61점 높게 나타났다. 이러한 차이는 Newman-keuls 검정결과 RO의 경우 통계적으로 유의( $p < 0.05$ )하였으나 TO와 EO는 차이가 없었다.

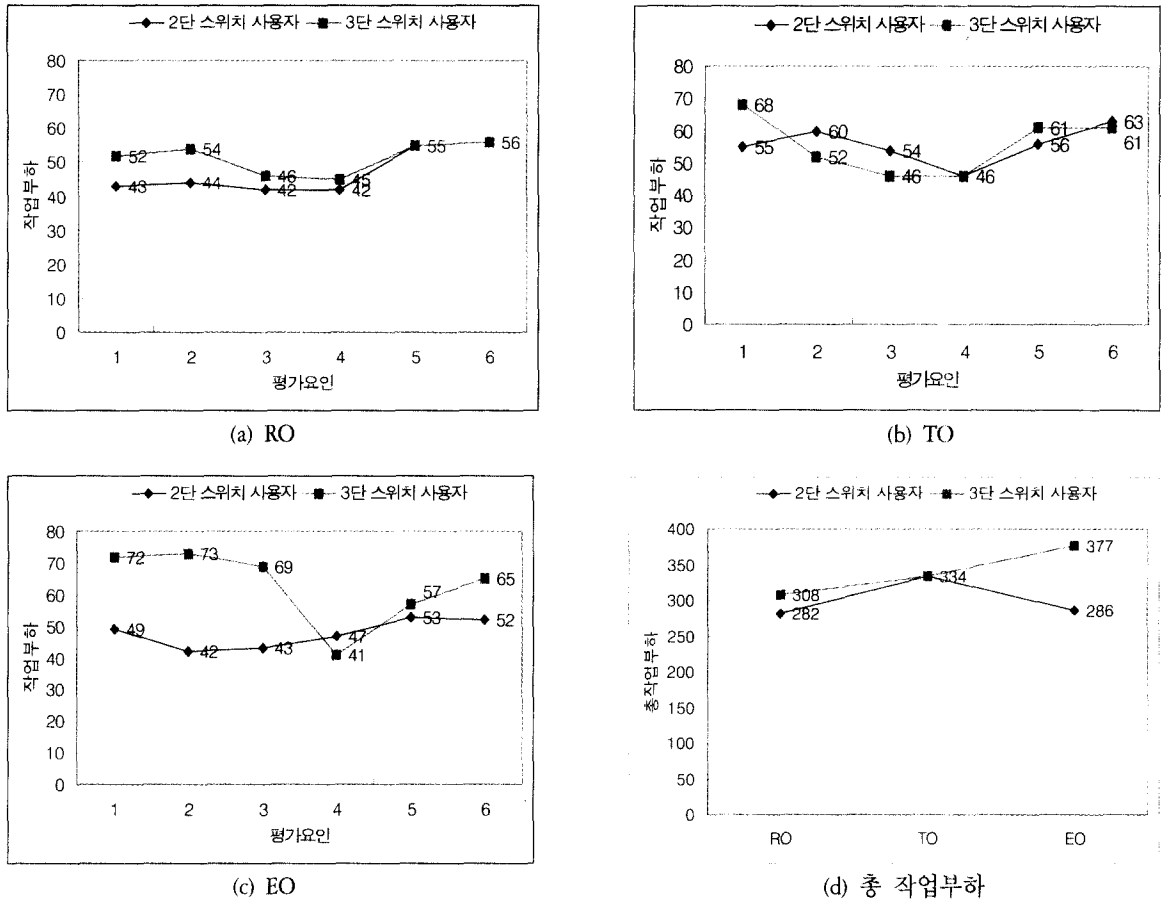
### 6.2 스위치 변경에 대한 작업부하

직무 시나리오 대해 스위치의 변경을 가정하고 작업부

하를 평가하였다<그림 5>. 평가결과 RO와 EO의 경우 3단 스위치 사용자가 2단 스위치를 사용할 경우 2단 스위치 사용자가 3단 스위치를 사용하는 경우 비해 작업부하가 높았다. RO는 대화요구 및 스트레스 수준에서 두 집단간 차이는 없었지만 그 외 평가요인에서 <그림 5, (a)>, EO의 경우 자신감을 제외한 모든 평가요인에서 3단 스위치 사용자가 2단 스위치를 사용하는 경우 작업부하가 높았다 <그림 5, (c)>. 그러나 TO의 경우 신체적 및 시간적 요구와 스트레스 수준에서는 2단 스위치 사용자가, 정신적 및 대화요구에서는 3단 스위치 사용자의 작업부하가 높았다<그림 5, (b)>.

총 작업부하 측면에서는 RO의 경우, 3단 스위치 사용자는 308점, 2단 스위치 사용자는 282점으로 변경전과는 달리 3단 스위치 사용자가 2단 스위치를 사용할 경우 작업부하가 높은 것으로 나타났다<그림 5, (d)>. EO의 경우에도 3단 스위치 사용자의 작업부하가 높아졌는데, 그 차이는 91점이었다. 그러나 TO의 총 작업부하는 334점으로 두 집단간 차이가 없었다. 두 집단간 총 작업부하의 차는 Newman-Keuls 검정결과 RO와 TO에서는 차이가 없었지만





(1: 정신적 요구, 2: 신체적 요구, 3: 시간적 요구, 4: 자신감, 5: 대화요구, 6: 스트레스 수준)  
 (2단 스위치 사용자: 2단 스위치 사용자가 3단 스위치를 사용한 경우의 작업부하  
 3단 스위치 사용자: 3단 스위치 사용자가 2단 스위치를 사용한 경우의 작업부하)

그림 5. 스위치 변경을 가정할 경우에 대한 작업부하.

EO간에는 유의한 것( $p < 0.05$ )으로 분석되었다.

### 6.3 스위치 변경 전·후 작업부하의 변화

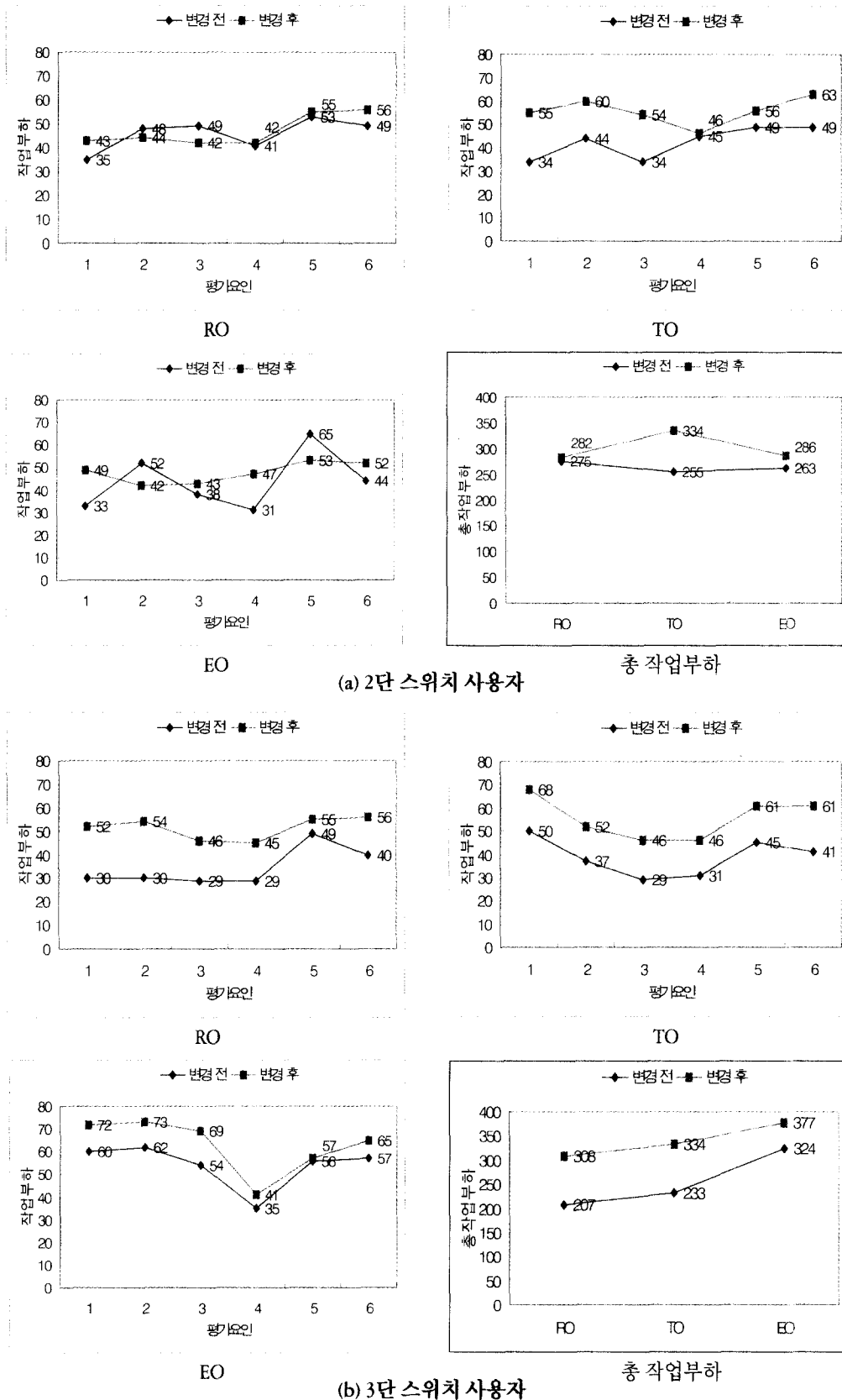
스위치 변경 전·후에 대한 작업부하의 변화를 분석하였다<그림 6>. 2단 스위치 사용자의 경우 TO는 모든 평가요인에서 스위치 변경 후의 작업부하가 증가하였지만, RO 및 EO의 경우 평가요인에 따라 감소하거나 증가하는 경향을 보이고 있었다<그림 6, (a)>. 그러나 운전원의 총 작업부하는 변경 전에 비해 증가하였으며 이중 TO는 75점의 작업부하 증가량을 기록하였다.

3단 스위치 사용자의 작업부하는 스위치를 변경할 경우 모든 평가요인에서 증가하는 경향을 보였다<그림 6, (b)>. 총 작업부하의 경우 RO와 TO는 변경 전에 비해 101점이, EO는 53점이 증가하여 2단 스위치 사용자에게 비해 스위치 변경 후의 작업부하가 크게 증가하였다.

Newman-Keuls 검정을 이용하여 운전원 및 평가요인별

작업부하 변화의 유의성을 분석하였다<표 4>. 2단 스위치 사용자의 경우 스위치 변경에 따른 총 작업부하의 증가량은 3단 스위치 운전원에 비해 비교적 적고, 이 증가세는 검정 결과 유의하지 않았다<표 4, (a)>. 평가요인별로는 RO가 시간적 요구( $p < 0.05$ )에서, TO는 대화 요구( $p < 0.05$ )에서 스위치 변경에 따른 작업부하의 유의한 증가가 있었다. 그 외 평가요인에 대한 스위치 변경의 효과는 없는 것으로 분석되었다.

3단 스위치 사용자의 경우 RO는 정신적 요구( $p < 0.01$ ), 신체적 요구( $p < 0.01$ ), 시간적 요구( $p < 0.05$ )에서 변경 전에 비해 작업부하가 크게 증가하였다. TO는 정신적 요구( $p < 0.05$ ), 시간적 요구( $p < 0.05$ ), 대화 요구( $p < 0.01$ ), 스트레스 수준( $p < 0.05$ ) 등의 4개 요인에서, EO의 경우 정신적 요구( $p < 0.05$ ), 시간적 요구( $p < 0.05$ ), 스트레스 수준( $p < 0.05$ ) 등 3개 요인에서 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 스위치 변경에 따른 총 작업부하의 증가는 모든 운전원에 대해 유의하였다( $p < 0.05$ ). 이상의 결과는 3단 스위치 운전원의



(1: 정신적 요구, 2: 신체적 요구, 3: 시간적 요구, 4: 자신감, 5: 대화요구, 6: 스트레스 수준)

그림 6. 스위치 변경 전·후 작업부하의 변화.

표 4. 스위치 변경 전·후 작업부하의 변화에 대한 Newman-Keuls 검정결과

## (a) 2단 스위치

평가요인		정신적 요구	신체적 요구	시간적 요구	자신감	대화요구	스트레스 수준	총 작업부하
2단 스위치	RO	-	-	$p < 0.05$	-	-	-	-
	TO	-	-	-	-	-	-	-
	EO	-	-	-	-	$p < 0.05$	-	-

(:: 유의하지 않음)

## (b) 3단 스위치

평가요인		정신적 요구	신체적 요구	시간적 요구	자신감	대화요구	스트레스 수준	총 작업부하
3단 스위치	RO	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.05$	-	-	-	$p < 0.01$
	TO	$p < 0.05$	-	$p < 0.05$	-	$p < 0.01$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
	EO	$p < 0.05$	-	$p < 0.05$	-	-	$p < 0.05$	$p < 0.05$

(:: 유의하지 않음)

경우 스위치의 변경이 직무수행에 상당한 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

스위치 변경에 따른 정신적 작업부하의 변화에 대한 상기의 결과를 종합하면, 기존의 스위치를 사용할 경우 2단 스위치를 사용하는 운전원이, 스위치 변경을 가정할 경우 3단 스위치를 사용하는 운전원의 작업부하가 높은 것으로 평가되었다. 또한 스위치 변경 전·후에 대한 작업부하의 차는 3단 스위치 사용 운전원에서 더욱 커 스위치 변경이 직무 수행에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 판단된다. 주요 원인으로는 우선 스위치 변경에 대한 3단 스위치 사용자의 거부 반응이 2단 스위치 사용자에 비해 크다는 것을 들 수 있다. 전술한 '운전 경험 검토'에서와 같이 신호구분의 필요성이 2단 스위치 운전원은 58.3%(14명)인데 비해 3단 스위치 운전원은 95.5%(23명)에 달하였다. 또한 '제어 스위치의 사용성 평가'에서 분석한 바와 같이 스위치 변경의 경우 3단 스위치 사용자가 2단 스위치 사용자에 비해 직무수행이 더욱 어려워질 것이라는 결과 역시 이러한 경향을 대변한다. 이러한 거부감은 2단 스위치 사용에 따른 불편함 외에도 운전원의 2·3단 스위치 사용 경험 유무에 의해 발생했으리라고 추측된다. 왜냐하면 2단 스위치 사용자의 3단 스위치의 사용 경험률은 79.1%에 달하는 반면, 3단 스위치 사용자는 전체의 8.3%만이 2단 스위치를 사용한 경험이 있기 때문이다. 이러한 경험의 차이가 운전원의 스위치 변경에 따른 작업부하의 변화에 영향을 미쳤으리라고 판단된다.

## 7. 결론

본 연구에서는 주관적 작업부하 평가를 이용하여 2·3단 스위치 사용과 관련된 인적수행도를 비교·평가하였다.

2·3단 스위치 사용과 관련된 운전 경험을 조사한 결과, 확인 및 조작시 스위치 사용에 대한 혼란 경험률은 올진 3·4호기의 2단 스위치 사용자가 영광 3·4호기 운전자에 비해 높은 것으로 나타났다. 운전원의 실수 경험률은 2단 스위치 사용자와 3단 스위치 사용자간에 차이가 없는 것으로 밝혀졌다.

TROUBLE 및 DISABLED 신호 구분은 3단 스위치 사용자의 95.8%가 반드시 필요하다고 응답하였다. 또한 이들은 향후 원전 설계시 2단 스위치로 변경할 경우, 주제어반 운전 전에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 응답하였다. 2단 스위치 사용자의 경우, 신호의 구분이 필요하다고 응답한 운전원이 58.9%에 그쳐 3단 스위치 사용자에 비해 변경의 필요성을 적게 느끼고 있는 것으로 나타났으며 3단 스위치로의 설계 변경시 주제어반 운전 전에 영향을 미칠 수 있다고 답한 운전원이 20.9%에 불과하여 스위치 변경에 대한 부정적인 견해가 3단 스위치 사용자에 비해 낮았다.

2·3단 스위치의 사용성을 평가한 결과, 신호 확인 직무에서는 3단 스위치가 2단 스위치에 비해 우수한 것으로 판명되었다. 그러나 스위치 조작 직무에서는 두 스위치의 사용성이 동일한 것으로 나타났다. 또한 신호 확인 및 조작 직무에서 스위치를 변경할 경우, 3단 스위치 사용자는 2단 스위치 사용자에 비해 직무수행이 더 어려워질 것이라고 평가하여 스위치 변경에 대한 부정적 견해를 보였다.

NASA-TLX를 이용하여 2·3단 스위치 사용과 관련된 직무 시나리오에 대한 운전원의 정신적 작업부하를 평가하였다. 평가 결과 2단 스위치를 사용하는 RO는 3단 스위치를 사용하는 RO에 비해 더 큰 작업부하를 받았다. 그러나 TO와 EO의 경우에는 두 집단간 차이가 없었다.

스위치의 변경에 따른 작업부하를 평가한 결과, 3단 스위치를 사용하는 EO의 작업부하가 2단 스위치를 사용하는

EO에 비해 큰 것으로 분석되었다. TO와 RO의 작업부하는 영광 3·4호기가 울진 3·4호기에 비해 높았으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다.

스위치 변경 전과 변경 후의 총 작업부하의 변화를 평가한 결과 스위치 변경에 따라 3단 스위치를 사용하는 운전원의 총 작업부하가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 3단 스위치 사용자의 경우 스위치 변경이 운전원의 직무 수행에 상당한 수준의 부정적인 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 반면 2단 스위치 사용자는 변경 후 총 작업부하가 증가하였으나 통계적으로 유의한 수준까지는 이르지 못하였다. 스위치 변경에 따른 작업부하의 증가가 영광 3·4호기에 비해 울진 3·4호기가 적은 이유로 2단 스위치 사용에 따른 불편함 외에도 전술한 바와 같은 운전원의 2·3단 스위치 사용 경험 유무를 들 수 있다. 이러한 경험의 차이가 운전원의 스위치 변경에 따른 작업부하의 증가에 영향을 미쳤으리라고 판단된다.

이상의 결과를 종합하면 운전원의 정신적 작업부하를 고려할 경우 3단 스위치의 사용이 인적 수행도가 우수하다고 판단된다. 그러나 기존 스위치 사용에 대해 스위치를 변경할 경우 운전원의 작업부하가 증가하고, 이러한 작업부하의 증가는 2단 스위치 사용자에 비해 3단 스위치 사용자에서 크게 나타나 본 연구결과에 대한 신중한 접근이 필요하다. 따라서 스위치 변경에 대한 운전원의 거부감과 이에 따른 작업부하의 증가가 원전의 안전성을 저하시킬 수 있으므로 가능하다면 현재 사용중인 스위치의 형태를 계속 사용토록 하는 것이 바람직하다. 나아가 추후에 건설되는 원전에서는 현재 2단 스위치 사용자는 2단 스위치를 선택한 원전에서만 근무하도록 하고, 3단 사용자 역시 3단 스위치를 사용하는 원전에서만 근무하는 스위치 형태별 운전원 관리체계가 바람직할 것으로 판단된다. 또한 스위치 선택보다는 스위치의 형태와 기능적 특성을 고려한 제어반 기기 및 계기배치에 대한 설계개선 노력이 인적 수행도를 제고하는 데 더 효과적이라고 사료된다.

본 연구의 경우 비록 운전원의 주관적 평가를 통하여 수행되었지만 향후 원전 설계시 활용도가 클 것으로 기대된다. 따라서 본 연구를 기초로 한 보다 광범위하고 분석적인 연구를 통하여 원전 주 제어반에 대한 설계 방안이 수립되어야 하며, 이는 원전의 안전성 향상에 필수적이라 하겠다.

## 참고문헌

- 한국전력공사(1997), 울진 3·4호기 비상운전절차서, Revision No.0.  
 한국전력공사(1998), 영광 3·4호기 비상운전절차서, Revision No.1.  
 Biers, D. W., and McInerney, P. (1988), An alternative to measuring subjective workload: Use of SWAT without the card sort, *Proceeding of the 32<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, CA: Human Factors Society.  
 Gopher, D., and Braune, R. (1984), On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures?, *Human Factors*, 26, 519-532.  
 Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988), Development of NASA-TLX (Task load index): results of empirical and theoretical research, In P. A. Hancock, and N. Meshkati (Eds), *Human Mental Workload* (pp. 139-183), Amsterdam: Elsevier.  
 Hill, S. G., Byers, J. C., Zaklad, A. L., and Christ, R. E. (1989), Subjective workload assessment during 48 continuous hours of LOS-F-H operations, *Proceeding of the 33<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, CA: Human Factors Society.  
 Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner, A. C., Zaklad, A. L., and Christ, R. E. (1992), Comparison of four subjective workload rating scale, *Human Factors*, 34, 429-439.  
 Itoch, Y., Hayashi, Y., Tsukui, I. and Saito, S. (1989), Heart rate variability and subjective mental workload in flight task, In M. J. Smith and G. Salvendy (eds), *Work with computers*, Elsevier: Amsterdam.  
 Masline, P. J., and Biers, D. W. (1987), An examination of projective versus post-task subjective workload ratings for three psychometric scaling technique, *Proceeding of the 31<sup>st</sup> Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, CA: Human Factors Society.  
 Moray, N. (1982), Subjective mental workload, *Human Factors*, 24, 25-40.  
 Muckler, F. A., and Seven, S. A. (1992), Selecting performance measures: "Objective" versus "subjective" measurement, *Human Factors*, 34, 441-455.  
 Nygren, T. E. (1991), Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: Implication for their use in the assessment of perceived mental workload, *Human Factors*, 33, 17-33.  
 Ogden, G. D., Levine, J. M., and Eisner, E. J. (1979), Measurement of workload by secondary tasks, *Human Factors*, 21, 529-548.  
 Reid, G. B. and Nygren, T. E. (1988), The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload, In P. A. Hancock, and N. Meshkati (Eds), *Human Mental Workload* (pp. 185-218), Amsterdam: Elsevier.  
 Sinclair, M. A. (1995), Subjective assessment, In J. R. Wilson. and N. Corlett (eds.), *Evaluation of human work: A practical ergonomics methodology* (pp. 69-100), Taylor & Francis: London, 1995.  
 Tattersall, A. J. and Foord, P. S. (1996), An experimental evaluation of instantaneous self-assessment as a measure of workload, *Ergonomics*, 39, 740-748.  
 Tattersall, A. J. and Hockey, G. R. J. (1990), The assessment of workload in a complex monitoring and fault diagnosis task, In D. Brogan (ed.), *Visual Search*, Taylor & Francis: London.  
 Tsang, P. S. and Velazquez, V. L. (1996), Diagnosticity and multi-dimensional subjective workload ratings, *Ergonomics*, 39, 358-381.  
 Ursin, H. and Ursin, R. (1979), Physiological indicators of mental workload, In N. Moray (ed.), *Mental workload: Its theory and measurement* (pp. 349-366), New York: Plenum Press.  
 Vidulich, M. A. (1989), The use of judgement in subjective workload assessment: The subjective workload dominance technique, *Proceeding of the 33<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, CA: Human Factors Society.  
 Vidulich, M. A. and Tsang, P. S. (1987), Absolute magnitude estimation and relative judgement approaches to subjective workload assessment, *Proceeding of the 31<sup>st</sup> Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, CA: Human Factors Society.  
 Vidulich, M. A., Ward G. F. and Schueren, J. (1991), Using the subjective workload dominance (SWORD) technique for projective workload assessment, *Human Factors*, 33, 677-691.  
 Wickens, C. D. (1992), *Engineering psychology and human performance*, New York: HarperCollins.  
 Wierwille, W. W. and Eggemeier, F. T. (1993), Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment, *Human Factors*, 35, 263-281.