Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 1 pp.21-27, February 2008

국내 원자력발전소 첨단 주제어실 운전원의 팀 효율성 측정 방법에 관한 연구

김사길[1] · 변승남[1] · 이동훈[2]

[1]경희대학교 테크노공과대학 기계·산업시스템공학부 / [2]한국원자력안전기술원 계측제어실

A Measurement of Team Efficiency of Operators in the Advanced Main Control Room of Nuclear Power Plant

Sa Kil Kim[1], Seong Nam Byun[1], Dhong Hoon Lee[2]

[1]Department of Industrial Engineering, College of Advanced Technology, Kyunghee University, Yongin, 444-701
[2]Department of Instrumentation & Control, Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon, 305-338

ABSTRACT

An increased use of teams of actors within complex systems has led to the emergence of various approaches for the assessment of different features associated with team performance. Over the last two decades, the performance of teams in complex systems has received considerable attention from the human factors community, and a number of methods have been developed in order to assess and evaluate team performance. The purpose of this paper is to propose a methodology for measuring team efficiency of operators in the advanced main control room of Korean nuclear power plant. Team efficiency is an index which is estimated of gabs between individual performances and team performance. The index was developed to compare among teams through past all performance measurements.

Keyword: Team efficiency, Team performance, Individual performance

1. 연구배경 및 목적

국내외 원자력산업에서 주제어실 운전원의 수행도(performance)에 관한 연구는 매우 활발히 진행되어 왔다(Uhrig, R. & Guo, Z. 1989; Coblentz, A. & Mollard, R. 1989; Rasmussen, J., Duncan, K., and Lepplat, J. 1987; O'Hara, J. and Hall, R. 1990; Byun, S.N. & Lee, D.H., 2000 etc.). 특히 원전 주제어실 환경이 첨단화 되어가면서 인적 수행도(human performance)와 인간 신뢰도(human reliability)에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 Sebok 등(2000)은 팀 수행도나 팀 신뢰도와 같은 팀 단위의 연구가 부족한 실정임을 지적하고 있다. 또한 첨단 주제어실(advanced control room) 운전특성이 전통적인 운전방식과는 달라 팀 단위의 협업 수준에 따른 운전 수행도의 차이가 크게 달라질 수 있음을 우려하고 있다.

원자력산업에서 팀 연구에 대한 관심은 체르노빌 원전사고와 TMI 원전사고(Gaddy and Wachtel, 1992) 이후에 본격적으로 시작되었다. 영국의 British Energy는 British Airways의 CRM(Crew Resource Management) 교육훈련을 근간으로 운전행위, 작업장 건강, 의사결정, 상황인식, 행위 선택, 피드백, 의사소통 그리고 팀 기술 등을 교육하였다. 이러한 British Energy의 CRM 교육훈련은 주제어실 운전원뿐만 아니라 모든 원전 직원들로 확대 적용되었다

교신저자: 변승남
주 소: 444-701 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지, 전화: 017-339-7081, E-mail: snbyun@khu.ac.kr

(Belton, 2001). 또한 INPO(Institute of Nuclear Power Operations)는 28시간의 훈련 프로그램을 개발하여 주제어실의 팀 수행도를 향상시키는 방안을 제안하였다(INPO, 1993).

CRM은 1979년 미항공우주국(NASA)에서 주관한 'Resource Management on Flightdeck' 워크샵을 통해 최초로 알려지게 되었다(Cooper White & Lauber, 1980). 최초 CRM은 'Cockpit Resource Management'로 조종사들 간의 협업 효율성을 증대시킬 목적으로 시작된 훈련 프로그램이었다. 이후 'Cockpit'의 범위를 'Crew'로 확장하였으며 20여 년 동안 매우 혁신적인 발전을 통해 오늘날 CRM의 개념이 항공, 해군, 공군, 그리고 에너지 산업 등에 널리 활용되었다.

오늘날 항공산업에서 CRM은 인적오류를 관리하는 도구로서 활용되고 있다. 그러나 CRM 교육훈련을 통해 완벽하게 인적오류를 관리할 수는 없다. 다만 가능한 오류를 피하고 초기에 발견하여 대응하며, 또한 인적오류로 인한 피해를 최소화하는데 초점을 맞추고 있다(R. L. Helmreich, *et al.*, 1999).

CRM교육은 팀워크를 개선하여 팀 수행도를 향상시키고 궁극적으로는 인적오류로 인한 피해를 저감시키는데 그 목적이 있다. 따라서 CRM 교육훈련을 통해 개선시키고자 하는 팀 요소의 예는 다음과 같다(Gregorich and Wilhelm, 1993; Hartel, Smith, and Prince, 1991; Prince and Salas, 1993; Prince, Chidester, Bowers, and Cannon-Bowers, 1992; Prince, Oser, Salas, and Shrestha, 1992).

- Communication: 아이디어나 정보의 교환 혹은 지시 등의 메시지를 혼란 없이 다른 팀원에게 전달
- Assertiveness: 의사결정 의지나 행동, 결정에 대한 대응, 질문에 대응하거나 대처하는 적극성
- Adaptability/Flexibility: 변화된 상황에 대처하는 대안선택 과정, 적절한 행동의 변화, 그리고 어떠한 압력 하에서 건설적인 행위를 유지하는 등의 융통성
- Situational Awareness: 일정 시공간에서 팀원들의 이해와 예측을 공유할 수 있는 인지 요소
- Team Workload: 팀원들이 필요한 정보를 공유하여 직무를 수행하고 때로는 그 직무를 수행하기 위해 필요한 직무부하를 공유하여 팀의 목표를 달성. 주로 정신적(mental) 직무부하를 의미
- Decision Making: 행위 과정을 선택, 그 의사결정을 수행, 그리고 결과물을 평가하는 과정
- Leadership: 주어진 상황에서 다른 팀원의 생각이나 행동에 영향을 미칠 수 있는 리더의 아이디어나 행위
- Personal Limitation: 피로, 시간적 압박, 예상치 못한 상황이나 난제 등과 관련된 요소

또한 각 팀 요소들에 대한 측정 방법을 연구하여 CRM 교육의 효과 측정 도구로 활용하고 있다(Baker, 2004; Watts and Monk, 2000; Klinger and Hahn, 2004; Welie and Van Der Veer, 2003; J. Annett, 2004; Klein, 2000; Driskell and Mullen, 2004; Macmillan, Paley, and Entin, 2004; Baker, Salas, and Bowers, 1998; Bowers and Jentsch, 2004; Swezey, Ownes, Burgondy, and Salas, 2000, *et al.*).

본 연구는 CRM에 기반한 팀 요소를 활용하여 팀 효율성(team efficiency)을 측정하고자 하였다. 팀 효율성이란 개인적 수행도(individual performance)와 팀 수행도(team performance)의 차이로 팀 수행도가 개인적 수행도보다 높을 경우, 팀 효율성이 높다. 팀 효율성을 측정할 수 있는 팀 요소는 상황인식(situational awareness)과 직무부하(workload)이다. 이 두 요소는 개인적 수행도와 팀 수행도 측면에서 차이를 보일 수 있기 때문이다.

팀 수행도와 팀 효율성은 밀접한 관련을 맺고 있다. 팀 효율성이 높아지면, 팀 수행도는 향상될 수 있다. 팀 수행도가 향상된다고 하여 팀 효율성이 반드시 높아지는 것은 아니다. 팀 수행도 평가는 CRM 교육의 효과(effectiveness)를 검증하거나 팀 간의 수행도 차이를 분석하고자 할 경우에 유용하다. 그러나 팀 수행도 평가 결과는 팀 간의 상대적 개념이다. 팀 효율성은 개인이 직무를 수행하였을 경우보다 팀이 직무를 수행하여 어느 정도의 효율이 나타나는 가를 측정하는 절대적 기준을 제공한다는 장점이 있다. 본 연구의 목적은 팀 수행도(team performance) 및 팀 효율성(team efficiency)을 측정하는 방법론을 제안하는 데 있다.

2. 개인적 수행도 평가

본 연구는 팀 효율성 측정과 관련된 상황인식과 정신적 직무부하에 관한 개인적 수행도 평가 방법을 한국원자력안전기술원의 "차세대 원전 설계에 대한 사전 안전성 검토" 보고서(KINS/HR-404)를 참고하여 소개하고자 한다(Byun and Lee *et al.*, 2001). 상기 보고서에서는 원자력산업에 알맞은 상황인식과 직무부하에 대한 기본 개념과 기존 연구들과의 관계를 효과적으로 기술하고 있으나 팀 수행도에 관한 언급은 없다.

2.1 개인 상황인식

상황인식이란 "유동적(dynamic)이고 복잡한 시스템 하에서 작업자가 연속적 의사결정을 요구하는 직무 상황을 이해하고, 이를 바탕으로 앞으로 일어날 상황을 예측하는 것"으로 정의된다(Endsley, 1988). 따라서 원전 MCR 운전원의 상황인식은 "각종 표시 및 제어설비에서 발생하는 다양한 상황정보를 감지하고, 미리 설정된 운전목표와 비교하여 제시된 상황정보의 의미를 정확히 이해한 다음, 최종적으로 발전소 상태가 향후 어떻게 변할 것인가를 예측하는 것"으로 정의할 수 있다.

상황인식은 인적 수행도와 관련성이 높아 우수한 상황인식은 높은 인적 수행도로 이어진다(Endsley, 1995a). 그러나 상황인식의 수준이 낮다고 반드시 인적 수행도가 나쁜 것은 아니다. 예를 들어 자신의 상황인식 기능이 좋지 않음을 인정하고 의사결정 및 직무행위에 신중을 기한다면, 상황인식은 인적 수행도에 크게 영향을 미치지 못한다(Endsley, 1990; Venturino *et al.*, 1989).

상황인식은 특히 제어직무를 수행하는 작업자의 행위를 설명하는 기준 중 하나로 의료분야를 비롯하여 항공기조종, 항공관제(air control), 항공기 유지 및 보수(maintenance) 등과 같은 항공산업관련분야, 화학공장 및 정유공장과 같은 대형제어시스템운전 분야에서 중요한 개념으로 널리 이용되고 있다(Adams *et al.*, 1995; Endsley and Robertson, 2000; Endsley and Rodgers, 1997; Gaba *et al.*, 1995; Hallbert, 1997; Itoch and Inagaki, 1996; Kaber and Endsley, 1998; Sandom, 1999). 원자력 인간공학분야에서도 상황인식은 제어 시스템의 안전성 평가에 중요한 기준으로 인식되고 있다(Sebok, 2000).

현재까지 개발된 상황인식 측정기법들은 다양하지만 생리적 기법(physiological technique), 성능측정(performance-based measure), 주관적 평가기법(subjective rating technique), 설문지(questionnaire) 등 네 가지 유형으로 분류할 수 있다(Endsley, 1995b; U.S. NRC, 1997).

본 연구는 국내 원자력산업에서 주로 활용하고 있는 주관적 평가기법 중 SART(Situational Awareness Rating Technique)을 활용하였다. 주관적 평가기법으로는 자기평정(self-rating), SART, 관찰자평정(observer rating)이 있다. 자기평정은 작업자에게 스스로 주관적인 판단에 의해 상황인식을 평가하게 하는 방법으로 일반적으로 10점 평점 방식이 널리 사용된다. 자기평정의 문제점은 작업자가 시스템의 상태에 대해 얼마나 정확히 이해하고 있는지를 평가하기보다는 상황에 대한 감지정도를 평가하는 수준에 그친다는 데 있다. SART(Taylor, 1990)는 미 공군 항공관제 시스템에 대한 평가에 널리 활용되는 방식으로 시스템 설계에 대한 주의요구정도(demand for resources), 주의배분정도(supply of resources) 및 상황에 대한 이해도(understanding) 등 세 가지 분야에 대해 총 10개 항목으로 구성된 평가방식이다. 그러나 SART의 측정 결과만으로는 상황인식 정도가 작업부하 때문인지, 환경 요소에 대한 이해 때문인지 명확히 구분되지 않아 진단성의 부족이 단점으로 지적된다. 관찰자 평정은 독립적이고 관련 지식이 있는 관찰자가 피 실험자의 상황인식을 측정하는 방법이다. 관찰자는 객관적이고 전문적인 평가를 위해 시뮬레이션(simulation) 과정에서 실제 발생한 사건상황에 대해 잘 알아야 한다. 따라서 시스템과 관련분야에 대해 잘 아는 사람만이 관찰자로 참여할 수 있다는 제약이 있다. 관찰자 평정의 변형 방법으로는 관찰자를 직접 실험에 참여시켜 직무 수행 중 대화를 유도하는 방식이 있다. 그러나 이 방식은 관찰자와 피 실험자와의 대화가 직무를 방해하지 않도록 고도로 절제된 대화법을 사용해야 한다는 단점이 있다.

2.2 개인 정신적 직무부하

원전 MCR 운전원의 정신적 작업부하는 새로운 인간-기계 시스템(human-machine system)을 설계하거나 또는 기존의 시스템을 개선하는 데 있어 고려해야 할 중요한 요소이다. 지나치게 높은 정신적 작업부하는 인적 실수와 사고를 유발할 수 있으며 너무 낮은 정신적 작업부하 또한 운전원을 방심시켜 인적 실수의 원인이 된다(Braby *et al.*, 1993). 정신적 작업부하란 운전원의 한정된 처리능력(limited processing capacity) 중 특정한 작업 수행에 사용된 자원의 양을 말한다. 따라서 정신적 작업부하가 클수록 더 많은 자원이 소요되며 만약 정신적 작업부하가 작업자의 한계를 넘어서면 인적 실수가 유발되어 수행도가 저하된다(Norman and Bobrow, 1975).

정신적 작업부하의 측정목적은 직무 수행에 사용된 자원의 양을 측정하는 데 있다. 정신적 작업부하 측정은 응용분야가 매우 다양하며 직무의 특정 부분에 존재하는 병목(bottleneck)을 찾는 데 유용하다. 또한 두 개 이상의 서로 다른 장비의 사용에 따른 부하의 차이를 측정하는 데도 사용할 수 있으며, 여러 작업자의 처리능력을 비교하여 능력이 우수한 작업자를 선발하는 데도 이용 가능하다(Wickens, 1992).

인간-기계 체계에서 작업자의 정신적 작업부하를 측정하는 방법은 다양하다. Williges and Wierwille(1979)은 28가지의 정신적 작업부하 측정 방법을 고찰하였다. 수많은 측정 방법에도 불구하고 일반적으로 정신적 작업부하 측정 방법은 세 종류로 분류된다. 측정 방법은 작업자의 부하 평가에 따른 주관적 평가법(subjective ratings), 작업 수행

에 따른 작업자의 생리적 변화를 측정하는 생리적 측정법(physiological measures), 그리고 작업자의 수행도를 평가하는 수행도 평가법(performance-based measures)이다. 여기에서 수행도 평가법은 일차 과제법(primary task measures)과 이차 과제법(secondary task methods)으로 세분화할 수 있다(O'Donnell and Eggemeier, 1986; Wickens, 1992; Wickens *et al.*, 1998).

본 연구는 주관적 평가법 중 NASA TLX를 활용하여 개인의 정신적 직무부하를 측정하였다. 주관적 평가법은 단일 요인(uni-dimensional) 또는 다 요인(multi-dimensional)의 평가척도를 설문조사와 면담(questionnaire and interview)을 이용하여 작업자가 느끼는 부하 수준을 측정한다(Wierwille and Casali, 1983; Meshkati *et al.*, 1990). 주관적 평가법은 분석 결과에 대한 신뢰성이 높고 적용이 쉬워 널리 사용되고 있다.

주관적 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(Wierwille and Casali, 1983; Hill *et al.*, 1992). 이러한 기법들은 절대적 척도(absolute rating)를 평가 기준으로 적용한 것으로 OW, MCH 등은 단일 요인을 평가하기 위한 구조화된 척도를, SWAT와 NASA TLX는 주관적 작업부하에 여러 요인이 포함되어 있다는 가정 하에 다 요인화된 척도를 사용한다. SWAT는 작업부하에 영향을 미치는 요인으로 시간부하(time load), 정신 노력의 부하(mental effort load), 스트레스 부하(stress load) 등 세 가지를 고려한다. 가중치(weight) 결정을 위한 척도 개발 단계 및 점수 산정 단계를 거쳐 작업부하를 평가한다(Reid and Nygren, 1988). NASA TLX는 정신적 부하(mental demand), 신체적 부하(physical demand), 시간적 요구(temporal demand), 수행도(performance), 노력(effort), 좌절 수준(frustration level) 등 6개 요인을 정신적 작업부하에 영향을 미치는 요인으로 분류하였다(Hart and Staveland, 1988). 정신적 작업부하는 이들 요인의 상대 비교(pairwise comparison)에 의한 가중치와 각 요인에 대한 평가 치의 곱에 의해 결정된다. 그러나 상대비교를 통한 가중치 부여가 정신적 작업부하의 신뢰성을 저하시킬 수 있다는 우려가 제기되기도 하였다.

주관적 정신적 작업부하 평가기법은 응용 심리학(applied psychology) 분야에서 여러 연구를 통해 결과의 신뢰성(reliability) 및 이용성(availability)이 검증되었다(Borg, 1978; Byers *et al.*, 1988; Hill *et al.*, 1989; Wierwille and 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 OW기법이 우수한 것으로 평가하였다. 또한 Itoch *et al.*(1989)과 Tattersall & Hackey (1990)은 주관적으로 평가한 정신적 작업부하와 생리적 측정을 통한 정신적 작업부하의 상관관계가 높아 주관적 평가법의 신뢰성을 증명하였다.

3. 팀 수행도 평가

복잡한 시스템의 팀 운영이 증가함에 따라 팀 수행도(team performance)의 측정 및 평가에 대한 관심이 집중되고 있다. 1980년에 팀 운영이 5% 증가하였고 1990년대 중반에 들어 50% 증가하는 놀라운 팀 운영의 증가율을 보이고 있다(Salas, 2004).

수많은 팀 수행도에 관한 연구가 인간공학자에 의해 진행되고 있으며, 다음 5가지 범주로 그 연구를 구분할 수 있다.

- Team cognitive task analysis methods(Klein, 2000, *et al.*)
- Team task analysis methods(Burke, 2005; Salas, 2004; Welie and Van Der Veer, 2003; Annett, 2004, *et al.*)
- Team communication assessment methods(Watts and Monk, 2000; Driskell and Mullen, 2004; Wasserman Faust, 1994, *et al.*)
- Team behavioral assessment methods(Baker, 2005; Burke, 2005; Swezey, Ownes, Burgondy and Salas, 2000; Macmillan, Paley, Entin and Entin, 2005, *et al.*)
- Team mental work load assessment methods(Hart and STaveland, 1988; Bowers and Jentsch, 2004, *et al.*)

본 연구는 팀 효율성 측정과 관련된 상황인식과 정신적 직무부하에 관한 팀 수행도 평가 방법으로 Salmon *et al.* (2005)가 제안한 CDA(Co-ordination Demands Analysis)을 팀 효율성을 측정할 수 있도록 수정하여 활용하였다. CDA는 팀워크나 협업행위 등에 관한 팀원들의 협조관계를 평가자가 관찰하는 기법이다. 최근에 CDA는 EAST(Event Analysis of Systemic Teamwork, Baber and Stanton, 2004)의 일환으로 소방서, 해군, 항공, 에너지, 교통산업 등에서 널리 활용되고 있다(Salmon, Stanton, Walker, McMaster and Green, 2005; Walker, Gibson, Stanton, Baber, Salmon and Green, 2004).

본 연구에서 수정 · 제안하고 있는 Modified-CDA의 수행 절차 및 방법은 다음과 같다.

Step 1: 직무 정의

분석 직무나 시나리오를 정의하는 단계로 분석 목적에 맞도록 직무를 정의한다.

Step 2: 팀워크 요소의 결정

분석 직무에 있어 분석하고자 하는 팀 요소를 결정하는 단계로 본 연구에서는 상황인식과 정신적 작업부하로 결정하였다. CDA 분석에 일반적으로 활용되는 팀워크 요소는 Burke(2005)의 연구에서 분류한 7가지로 Communication, Situation awareness, Decision making, Mission analysis, Leadership, Adaptability, 그리고 Assertiveness이다.

Step 3: 데이터 수집

분석하고자 하는 직무를 수행 절차에 맞추어 구성하고 각 절차마다 수행자의 역할과 활동 등에 관한 자료를 수집하는 단계이다.

Step 4: 직무분석

대상 직무를 수집된 데이터를 바탕으로 계층적 직무분석(HTA)하는 단계이다.

Step 5: CDA sheet 작성

직무분석 자료를 바탕으로 직무 절차에 맞추어 Modified-CDA sheet을 작성하는 단계로 sheet 예는 그림 1과 같다.

Step	Task	Individual work	Team work	SA	WL	Total Co-ordination
1	Task 1		1	5*	1	3.0
2	Task 2		1	3	2	2.5
	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
Total						

*: Likert Scale

그림 1. Sample of Modified-CDA Rating Sheet

Step 6: 개인 직무와 팀 직무의 구분

팀 직무의 수행도만을 분석하기 위해 순수하게 개인 직무에 해당하는 부분과 팀 직무에 해당되는 부분을 구분하는 과정이다. Modified-CDA sheet에 이를 구분하여 체크할 수 있다.

Step 7: 팀 수행도 평가

팀 직무에 해당되는 직무활동을 상황인식과 정신적 작업부하 측면에서 평가하는 단계이다. 평가는 Likert 5점 척도를 활용하여 1점에서 5점까지의 점수를 부여한다. 상황인식의 경우, 5점에 가까운 점수일수록 팀의 상황인식이 높아 팀 워크 수행이 원활하다는 평가이다. 정신적 작업부하의 경우, 5점에 가까울수록 팀의 정신적 작업부하가 높아 팀 워크 수행이 어렵다는 평가이다.

Step 8: 팀 수행도 분석

Modified-CDA sheet을 계산하여 팀 수행도 점수를 계산하는 단계이다. 본 연구는 상황인식과 정신적 직무부하에 대한 평균값을 도출하여 해당 시나리오에 대한 팀 상황인식과 팀 정신적 작업부하 점수로 활용하였다. 일반적으로 CDA를 통해 평가된 7가지 팀 워크 요소(Burke, 2005)의 평균 평가치를 팀 수행도 점수로 활용한다.

4. 팀 효율성 평가

팀 효율성의 평가는 개인 수행도와 팀 수행도의 차이를 통해 수행된다. 왜냐하면, 팀 효율성이란 '1+1>2'는 전제하에서 존재하기 때문이다(CAA, 2006). 즉, 개인이 발휘하는 수행도를 '1'로 정의하면, 두 명(혹은 둘 이상)이 팀을 이루어 발휘하는 수행도는 '1+1'이고 개별적으로 발휘하는 수행도는 두 명의 수행도(1×2=2)이다. 따라서 본 연구에서는 팀 효율성 지수(TEI; Team Efficiency Index)를 개인 수행도와 팀 수행도의 차이로 개념적 정의하였다. TEI는 다음 식(1)에 의해 계산된다.

$$TEI = \left(TSA - \frac{\sum_1^n SA_i}{N}\right) - \left(TWL - \frac{\sum_1^n WL_i}{N}\right) \quad (1)$$

TEI : Team Efficiency Index
TSA : Team Situational Awareness
TWL : Team Mental Work Load
SA_i : i번째 팀원의 Situational Awareness
WL_i : i번째 팀원의 Mental Work Load

식(1)에서 TEI 값이 0보다 크면 팀 효율성이 존재하여 팀을 통한 직무 수행이 개인별 직무 수행보다 효과적이다. TEI 값이 0보다 작으면 팀 효율성이 없어 팀 운영에 대한 변화가 필요하다. 또한 CRM(Crew Resource Management) 교육을 통해 TEI 값이 교육전보다 어느 정도 향상되었는지에 대한 교육 효과를 객관적 수치를 통해 평가할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구는 팀 효율성을 측정하기 위해 TEI(팀 효율성 지수)를 제안하고 있다. TEI는 팀 수행도와 개인 수행도의 차이를 지수화 한 개념이다. 본 연구에서는 개인 수행도와 팀 수행도 모두를 측정할 수 있는 팀 워크 요소로 상황인식과 정신적 직무부하를 선택하였다. 이 두 가지 요소가 팀 효율성의 전체를 반영할 수는 없다. 그러나 상황인식과 정신적 작업부하는 오늘날 원전 주제어실의 인적 수행도 문제에 대한 접근에 가장 중요한 두 가지 요소이다. 또한 인적 수행도에 영향을 미치는 대표적인 요인으로써 그 신뢰성을 인정받고 있다는 측면에서 팀 효율성을 대표할 수 있는 주요 요인으로 판단된다.

본 연구는 지난 20여 년 간 팀 수행도에 대한 여러 연구에 있어 팀 효율성이라는 차별적이고 보다 절대적인 개념을 제안하고 있다는 점에서 향후 연구에 활용될 것을 기대하고 있다. 특히 국내 원전의 첨단 주제어실은 새롭게 시도되는 팀 운영의 특성에 맞도록 팀 효율성을 최적화 할 수 있는 주제어실 설계에 본 연구의 결과가 활용될 수 있기를 기대한다. 그러나 본 연구에서 제안한 팀 효율성 측정 방법론은 타당성 검증을 위한 실증 연구가 필요하다.

참고 문헌

Annet, J.(2004), Hierarchical task analysis, in N.A. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas and H. Hendrick(eds), *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, Boca Raton, FL: CRC Press.

Baker, D.(2005), Behavioural Observation Scales(BOS), in N. A. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas and H. Hendrick(eds), *Handbook of Human Factors Methods*, London: Taylor and Francis.

Baker, D. P. & Salas, E.(1992), Principles for measuring teamwork skills, *Human factors*, v.34, pp.469-475.

Byun, S. N. & Lee, D. H.(2000), Preliminary safety review on the design of Korea Next Generation Reactor: A human factors evaluation of advanced control facilities in Korea Next Generation Reactor, *KINS/HR-404*, 2000.

Burke, S. C.(2005), Team task analysis, in N. A. Stanton *et al*.(eds), *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, Boca Raton, FL: CRC Press.

CAA(2006), Crew Resource Management(CRM) Training: Guidance for flight crew, CRM instructors and CRM instructor-Examiners, Safety Regulation Group, UK Civil Aviation Authority.

Cacciabue, P. C.(2004), Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training, Reliability Engineering and System Safety, v.83, pp.229-240.

Coblentz, A. & Mollard, R.(1989), Human efficiency variability in monotonous conditions effects on safety, Human decision making and manual control, pp.76-86.

Embrey, D. E.(1986), 'SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach', Paper presented at the International Meeting on Advances in Nuclear Power Systems, Knoxville, Tennessee.

Endsley, M. R.(1995b), Measurement of situational awareness in dynamic systems, *Human Factors*, 37, pp.65-84.

Guo, Z. & Uhrig, R. E.(1992), Nuclear power plant performance study by using neural networks, *IEEE transaction on nuclear science*, v.39, no.4, pp.915-918.

Helmreich, R. L., *et al*.(1999), The evolution of crew resource management training in commercial aviation, *The international journal of aviation psychology*, v.9, no.1, pp.19-32.

Hollnagel, E.(2003), Handbook of Cognitive Task Design, USA: Lawrence Erlbaum Associates.

Kirwan, B. & Ainsworth, L. K.(1992), A guide to task analysis, London: Taylor and Francis.

Lauber, J. K.(1994), CRM-Past, present and future, Managing safety: balancing technology, costs and operations, pp.205-212.

MacMillan, J., Paley, M. J., Entin, E. B. and Entin, E. E.(2005), Questionnaires for distributed assessment of team mutual awareness, in N.A. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas and H. Hendrick (eds), *Handbook of Human Factors Methods*, London: Taylor and Francis.

O'Hara, J. M. & Hall, R. E.(1990), Advanced control rooms and crew performance issues: implications for human reliability, Brookhaven National Laboratory, New York 11973, pp.1405-1409.

Prince, C. & Salas, E.(1993), Training and research for teamwork in the military aircrew, Cockpit Resource Management, San Diego, CA: Academic press, pp.337-366.

Prince, C., Chidester, T. R., Cannon-Bowers, J. A. and Bowers, C.(1992), Aircrew coordination achieving teamwork in the cockpit, Teams: their training and performance, Norwood, NJ: ABLEX, pp.329-353.

Rasmussen, J.(1986), Information processing and human-machine interaction, Amsterdam: North Holland.

Roth, E. M., *et al*.(1994), An empirical investigation of operator performance in cognitively demanding simulated emergencies, *NUREG/CR-6208*. Washington, DC: US NRC.

Salas, E. & Kendall, D. L.(2004), Measuring team performance: a review of current methods and consideration of future research, v.5, pp.307-326.

Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. and Green, D., Situation awareness measurement: A review of applicability for C4i environments', *Journal of Applied Ergonomics*.

Sebok, A.(2000), Team performance in process control: influences of interface design and staffing levels, *Ergonomics*, v.43, no.8, pp.1210-1236.

Swezey, R. W., Owens, J. M., Bergondy, M. L. and Salas, E.(2000), Task and training requirements analysis methodology(TTRAM): An analytic methodology for identifying potential training uses of simulator networks in teamwork-intensive task environments, in J. Annett and N. Stanton(eds), *Task Analysis*, London: Taylor and Francis.

Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Baber, C., Jenkins, D. P.(2005), Human factors methods: a practical guide for engineering

and design, Ashgate Publishing Limited.

Stubler, W. F. & O'Hara, J. M.(1996), Group-view display: Functional characteristics and review criteria, *Technical Report E2090-T4-4-12/94*, Brookhaven National Laboratory.

Swain, A. D. & Guttmann, H. E.(1983), A handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications, *NUREG/CR-1278*, US NRC.

Walker, G. H., Gibson, H., Stanton, N. A., Baber, C., Salmon, P. and Green, D.(2005), Event analysis of systemic teamwork(EAST): A novel integration of ergonomics methods to analyse C4i activity.

Van Welie, M. and van der Veer, G. C.(2003), Groupware task analysis, in E. Hollnagel(eds), *Handbook of cognitive task design*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 김 사 길 ❖ sakilkim@khu.ac.kr
경희대학교 산업공학과 박사수료
현 재: 경희대학교 산업공학과 인간공학전공 박사과정
관심분야: 원자력인간공학, 철도안전, 산업안전, 제품안전

❖ 변 승 남 ❖ snbyun@khu.ac.kr
미국 미시간대학교 공학박사
현 재: 경희대학교 기계산업시스템공학부 교수
관심분야: 인간공학, 안전공학

❖ 이 동 훈 ❖ dhlee@kins.re.kr
경희대학교 산업공학과 공학박사
현 재: 한국원자력안전기술원연구소 계측제어실 선임연구원
관심분야: 원자력인간공학, 산업안전, 제품안전

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 12월 14일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 01월 30일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 01월 30일