

Human Factors Evaluations of Alarm Displays in Main Control Rooms

Pilsung Choe

Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084, P.R. China

ABSTRACT

Objective: This study proposes an alarm display and compares it with the one(alarm tile display) widely used in main control rooms(MCRs) of nuclear power plants. **Background:** Catching up with the rapid development of computer technologies, advanced MCRs has been required. Using modern technologies of computers and visual displays, we have a lot of potential to improve user performance and satisfaction as well as safety in MCRs. **Method:** The alarm bar display has been proposed to reduce some potential problems of the alarm tile display in this study. Human factors evaluations were conducted to compare both types of displays. Two interfaces of bar alarm and tile alarm were simulated on the desktop computer for the user-involved experiment. Eight students participated in the experiment with the within-subject design. **Results:** The alarm bar was slightly better in terms of situation awareness, and preferred to understand alarm dynamics. The alarm tile was slightly or significantly better in other measures. **Conclusion:** Both alarm displays have their own advantages and disadvantages. Therefore, combining benefits of both displays can be used to optimize the design of alarm displays. **Application:** The proposed display is expected to compensate the existing displays for certain purposes.

Keywords: Alarm displays, Nuclear power plant, User interface design, User evaluation

1. Introduction

경보시스템(Alarm system)은 위험 정보들을 지속적으로 알려줌으로써, 발생가능한 문제들을 미리 방지하거나 대처하도록 도와주는 것으로, 여러 산업에서 다양하게 사용된다. 한편, 원자력 발전소 내의 경보시스템은 안전을 위한 필수 요소이며, 컴퓨터 기술의 발전과 함께 주제어실(Main Control Rooms)의 전산 및 경보시스템도 빠르게 발전되어 가고 있다. 잘 디자인된 경보표시는 사용자의 평상시 또는 긴급상황에서의 작업을 효과적으로 처리할 수 있도록 도와준다. 반대로, 경보표시가 제대로 디자인 되지 않을 경우, 긴급상황 등에 있어, 사용자의 부적절한 대응으로 예상치

못한 문제들을 야기시킬 수도 있다. 1979년의 Three Mile Island 원전사고는 작업자가 냉각제상실사고에 대한 경보를 제대로 인식하고 대처하지 못했던 것에 기인하는 것으로 알려져 있다(Bransby, 2001).

전통적인 원자력 발전소의 주제어실은 각종 아날로그 정보 외에, 약 2,000개 정도의 경보가 있다(Cheon et al., 1993). 이러한 정보의 홍수는 작업자의 정신적 작업량(Mental Workload) 증가로 인해 작업자를 혼란시키고 실수가능성을 증대시켜, 중요한 정보를 놓치게 만든다(Mattiasson, 1999). 이러한 점에서, 원자력 발전소 내의 안전 개선을 위하여, 경보시스템은 매우 중요한 역할을 한다(Cheon et al., 1993; Brooks et al., 2004).

전통적인 원자력 발전소에서는 경보의 표시를 위해, 경보

Corresponding Author: Pilsung Choe. Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084, P.R. China.

Mobile: +86-15210196713, E-mail: pchoe@tsinghua.edu.cn

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

©This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. <http://www.esk.or.kr>

의 발생 시간에 따라 순차적으로 보여주는 '발생순차적 경보 리스트(Chronological alarm list)' 표시 방식을 주로 이용하였다(Bransby, 2001). 이는 사고발생 과정을 정확히 보여주지만, 작업자에게 어느 처리과정에 오류가 있으며 위험이 되는지에 대한 정보를 효과적으로 분석하고 보여주지 못한다(Tuszynski et al., 2002; Zwaga and Hoonhout, 1994). 또한, 경보표시 화면 아래로 빠르게 이동하는 경보 내용을 지속적으로 읽고 이해해 나가는 것은 작업자의 정신 및 육체적 작업량과 그로 인한 작업자의 실수가능성을 증대시킨다(Bransby, 2001; Brown, O'Hara, and Higgins, 2000; Bullemer et al., 2011). 한 컴퓨터 화면에 보여질 수 있는 정보량이 제한되기 때문에 정보를 순차적으로 보여주어야 하며(Flach et al., 1995; Allen, 2007), 중요한 경보를 이전 화면에서 간과할 경우, 다음 화면에서 효과적으로 대처하기 위한 시간 확보에 어려움이 있어 연속적인 사고로 이어질 가능성이 크다(Bullemer et al., 2011). 중요한 경보를 놓치지 않기 위해, 작업자는 이전 화면을 계속해서 확인하게 되는데, 이는 이후 발생하는 더 중요한 경보를 놓칠 위험을 안고 있다(Mattiasson, 1999, Zwaga and Hoonhout, 1994). 이러한 점에서, 발생순차적 경보리스트의 문제점들을 극복하고, 많은 양의 경보를 보다 효과적으로 대처할 수 있는 새로운 경보표시 방식이 요구되었고, 주로 경보계층(Alarm hierarchy) 및 시스템 관점에서 연구되었다.

경보계층을 고려한 대표적인 경보표시 방식으로, 스플릿 리스트 방식(Split-list design) (Tuszynski et al., 2002) 이 있다. 이는 경보를 일차경보(Primary alarm)와 후속신호(Consequential signal)로 나누고, 일차경보를 경보시스템 화면 상반부에, 후속신호를 하반부에 각각 보여주는 방식이다. 이 방식은 발생순차적 경보리스트 표시 방식에 비해 많은 경보의 원인 정보를 효과적으로 보여줄 수 있다. 유사한 방식으로는, 경보를 중요도에 따라 따라 계층적으로 보여주는 방식이 있다(Fitch, 2002). 이 역시 작업자가 상위계층의 경보 위주로 관리함으로 보다 효율적으로 경보관리를 할 수 있게 해준다. 또 다른 방식으로는, 경보를 실패(Failure)와 비실패(Non-failure)로 나누고 실패의 경보를 다시 시스템 차원 또는 공장 차원으로 분석한 후, 공장 차원의 실패를 긴급한 것으로 분류하여 주는 방식도 있으며(Cheon et al., 1993), 이 외에도 경보를 물리적 또는 기능적 중요도에 따라 계층을 나누어 보여주는 방식(Choi et al., 1996; Chang et al., 1999) 등도 있다. 시스템 중심의 방식은 경보를 시스템 또는 장비의 분류에 따라 구성하고 보여주는 방식으로, 경보와 관련된 시스템의 파악이 용이하여 손상된 시스템을 빠르게 진단하고 복구할 수 있도록 해주고, 상황인식(Situation awareness)을 효과적으로 할 수 있게 해준다(Gordon and Andersson, 2004; Carvalho et al., 2008;

Cheon et al., 1993).

한편, 전통적인 원자력 발전소의 경보표시 방식은, 많은 경우 배열로 이루어진 경보타일 방식을 사용하며, 경보 발생 시 중요도에 따라 다양한 색의 타일이 점멸하는 형태이다. 이는 고정된 타일 포맷 내에서 이루어지고, 경보타일과 발전소 상황을 쉽게 연관시킬 수 있어 관리하기 용이하며, 작업자가 쉽게 배우고 사용할 수 있다(Carvalho et al., 2008). 그러나 이러한 전통적인 표시 방식은 기존의 컴퓨터 기술을 이용하고 있기에, 발전된 디지털 기술을 접목하여 디자인 한다면, 많은 양의 정보를 작업자가 좀더 효과적으로 사용할 수 있게 할 수도 있다(Bullemer et al., 2011; Tuszynski et al., 2002).

본 연구는 타일표시 방식(Alarm tile)의 대안으로 경보계층 및 시스템 관점의 표시 방식 개념을 도입한, 바표시 방식(Alarm bar)을 제안하고 인간공학 실험을 통해 두 방식을 비교, 평가하고자 한다. 데스크탑 컴퓨터상에서 두 방식의 인터페이스를 구현한 후, 이를 인간공학 실험으로 비교, 평가하였다. 본 연구의 결과를 통해, 두 방식의 장단점을 파악하고 향후 점진적으로 경보표시를 개선해 나갈 수 있는 기초를 마련할 것으로 사료된다.

2. Method

2.1 Alarm display interfaces

비교 실험을 위하여 두 가지 경보표시 방식의 인터페이스(타일 방식과 바 방식)를 Visual Basic2010 프로그램으로 데스크탑 컴퓨터상에 구현하였다. 두 표시 방식에 포함된 정보는 동일하게 설계되었으며(Figure 1, Figure 2), 시나리오 구성을 위한 정보는 PCTran 시뮬레이션 자료를 이용하였다. 인터페이스 설계를 위해 원자력 발전소 내 6개의 주요 시스템(Reactor, Reactor Coolant System(RCS), Steam Generator(SG), Pressurizer, Auxiliary Safety System, and Containment)을 선택하였고, 주요 운용과 관련된, 65개의 시스템 상태를 표시하였다(예: Main pump failure of RCS 등). 또한, 원자력 발전소의 전형적 응급 상황인 냉각제 상실사고(LOCA)와 발생기세관과열(SGTR)의 두 가지 시나리오가 적용되었다. 한편, 시스템 관련 상태 외에도 공장 전반에 대한 경보(예: Reactor trip, turbine trip 등)도 표시된다. 경보계층은 Cheon(1993)의 3단계 모델에 따라 구성하였다. 즉, 첫 번째 단계는 공장단위 정보, 두 번째 단계는 시스템간 정보, 세 번째 단계는 시스템 내의 정보이다. 경보타일 표시 인터페이스(Figure 1)에서는, 경보가 단계에 따라 그룹되어져 표시된다. 1단계 경보는 좌측 상단에 별



Figure 1. Alarm tile display example

도로 그룹되어져 있다. 2단계와 3단계 경보는 시스템 분류에 따라 그룹되어지며, 2단계 경보는 각 그룹 좌측 상단에 2단계로 표시된다. 기본상태에서는 모든 경보타일은 회색으로 채워져 있으며, 경보 발생 시 경보의 단계에 따라 빨간색, 분홍색, 노란색의 타일로 수초간 점멸한 후 그 색깔의 상태를 유지한다. 경보가 표시된 후, 발생시간 정보가 해당 타일 아래에 표시되며, 3단계 경보 발생 시, 관련 변수값이 정상수치와 함께 경보타일 아래에 표시된다.

경보바 표시 인터페이스(Figure 2)의 경우, 1단계와 2단계의 경보표시는 타일 표시 방식과 유사하다. 1단계 경보는 좌측 상단에 독립적으로 구성되었다. 2단계와 3단계 경보는 각 시스템 영역 내에서 계층적으로 표시된다. 경보 발생 시 1단계 또는 2단계 경보타일이 빨간색 또는 분홍색으로 수초간 점멸한 후 동일한 색을 유지하며, 시간 정보가 타일 아래에 표시된다. 3단계 경보의 경우, 경보타일과 달리 이상 변수 정보(parameter-level abnormalities)를 보여주는 경보바를 표시하도록 하였다. Figure 2에서 보여지는 대로 3단계 경보에 나타난 증상의 수직선은 정상 기준을 나타낸다. 기준선 좌측에 나타나는 바는 정상보다 낮은 수치를, 우측에 나타나는 바는 정상보다 높은 수치를 각각 보여주며, 그 길이는 정상에서 벗어나는 정도를 나타낸다. 즉 길이가 길어지면 정상치에서 많이 벗어남을 의미하며, 길이에 따라 긴급한 점검이 필요함을 쉽게 파악할 수 있다. 한편, 길이에 따른 비정상치의 정도에 따라 3가지 색으로 구분하였으며, 이를 통해 긴급의 정도를 쉽게 구분할 수 있다. 경보바 표시 인터페이스는 경보타일 표시 인터페이스에 비해, 시스템 문제의 동적

인 변화를 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 작업자의 정신적, 육체적 작업량을 최소화하고, 안전사고의 가능성을 줄일 수 있을 것으로 판단하였다.

경보타일, 경보바 모두 우측 상단에 실험 시간, 관련 시스템, 경보계층 정보 기록을 위한 버튼을 포함하고 있다.

2.2 Participants

본 실험은 청화대학교 산업공학과 사용 평가성 실험실에서 이루어졌으며, 피실험자는 청화대학교에 재학중인 22세에서 26세 사이의 대학원생 8명으로 구성되었다. 피실험자 전원이 기존의 원자력 발전소 관련 과제를 통해 주제어실에서의 작업 및 사용자 인터페이스에 익숙한 학생들로 구성하였으며, 또한 전원 인간공학 전공자로 사용자 인터페이스(User interface) 평가에도 익숙하였다.

2.3 Experimental design

본 실험은 타일표시 방식과 바표시 방식을 비교하기 위한 것으로, 경보표시 방식을 요인으로 하는 일원 배치법(Single factor design) 실험 계획이 적용되었다. 한편, 두 방식을 모두 경험한 후 객관적으로 비교할 수 있도록, 피실험자 내 실험 설계(Within-subject design) 방식을 적용하였다. 따라서, 각 실험자는 실험 중에 두 표시 방식을 모두 경험하였으며, 실험 순서에 따른 오차를 최소화 하기 위하여, 피실험자 절반은 타일표시 방식을, 나머지 절반은 바표시 방식을 먼저



Figure 2. Alarm bar display example

시행하도록 하였다.

2.4 Measurement

본 연구의 측정 변수로서, 경보발견 정확도, 경보 발생 시스템 판단 정확도, 경보계층 판단 정확도 등의 객관적 변수와 상황인식도, 주관적 작업량 등의 주관적 변수를 사용하였다.

경보발견 정확도는, 피실험자가 경보를 발견하였을 때 두 인터페이스(Figure 1, Figure 2) 오른쪽 상단의 확인 버튼을 누름으로서 측정되었으며, 전체 경보수에 대한 정확히 발견한 경보수의 비율을 사용하였다. 경보 발생 시스템 판단 정확도와 경보계층 판단의 정확도는, 발견 버튼을 누른 후, 피실험자에게 발견된 경보를 발생시킨 시스템과 경보의 계층을 선택하도록 하고 피실험자가 판단 오류 수를 기록함으로써 측정하였다. 오류의 원인과 이유에 대하여 각 시나리오 시행 이후 인터뷰를 통해 별도로 기록하였다.

상황인식(Situation awareness)은 일정한 시간과 공간 내의 환경에서 주어진 요소들을 인식(Perception)하고, 의미를 이해(Comprehension)한 후, 미래를 예측(Projection)하는 것을 의미하며(Endsley, 1988), 그에 따라 상황인식은 인식, 이해, 예측의 세 가지 단계로 구분되어진다. 인식의 단계는 가장 기본적 단계로서, 주어진 환경 내 다른 요소 및 중요한 정보를 인식하는 단계이다. 이해의 단계는 단순한 인식이 아니라, 작업자들이 어떻게 주어진 정보를 통합, 해석, 저장, 보유하는가에 대한 것을 포함한다. 예측의 단계는 최

상위 단계로서 미래의 상황 등을 예측하는 단계이다. 이는 원자력 발전소 내 작업들이 주어진 정보를 이용해 현재의 상황을 파악하고 미래에 대한 의사결정을 하는데 있어서 중요한 단계로, 일반적으로 숙련된 작업자가 초보작업자 보다 예측 능력이 뛰어나다. 상황인식을 측정하는 방법에는 객관적 방법과 주관적 방법이 있다. 객관적 측정 방법은 생리학적 측정(ex. 심장박동수, 눈깜빡임 등) 및 업무 수행도 측정 등을 포함하며, 주관적 측정 방법은 자기 평가, 실험자 평가, 설문 평가 등을 포함한다. 본 연구에는 세 가지 단계별 상황 인식에 대한 설문지 조사법을 이용하였다. 설문 평가는 각 실험 시나리오 시행 이후 실시되었다. 설문은 총 16개의 문항으로 이루어지며, 답에 대한 정확도를 상황인식도로서 사용하였다.

주관적 작업량은 NASA-TLX가 이용되었으며, 각 표시 방식의 시행 이후, 6가지 항목에 대하여 1과 10사이의 점수로서 평가하도록 하였고, 합산된 점수를 주관적 작업량으로 사용하였다(Hart and Staveland, 1988). 6가지 항목은 정신적 요구 수준(Mental demand), 육체적 요구 수준(Physical demand), 시간 요구 수준(Temporal demand), 수행 만족 수준(Performance), 노력 수준(effort), 좌절 수준(Frustration level)을 포함한다.

두 표시 방식에 대한 평가 실험이 끝난 후, 표시 방식의 선호도와 더불어, 경보 관련 시스템 파악, 경보계층 판단, 장시간 화면 감시, 변수 변화 판단 등의 선호도 평가를 위한 추가 설문을 실시하였다.

2.5 Experiment process

본 실험에 앞서, 각 피실험자는 나이, 전공, 원자력 발전소에 대한 지식 정도, 컴퓨터 사용 능력 수준 등 개인 정보를 묻는 설문지를 작성하였으며, 실험 요구 사항, 실험 인터페이스의 사용법 등을 숙지하기 위하여 약 15분간의 예비 교육 및 준비 사용 시간을 가졌다. 실험 중, 피실험자는 주어진 경보표시 화면을 주목하도록 하였다. 각 표시 화면은 경보가 나타났을 때, 경보 이름, 경보가 속한 시스템, 경보계층, 경보 발생 시간 등의 정보를 포함하였다. 경보 발견 시, 피실험자에게 인터페이스 화면 오른쪽에 있는 버튼을 누르도록 하였으며, 컴퓨터는 시간 정보를 기록하였다. 또한, 피실험자에게 발생한 경보가 어느 시스템에 관련된 것인지와 어느 경보계층에 포함되는지를 선택하도록 하였으며, 컴퓨터는 피실험자 오류 정보를 기록하였다. 시행 이후 오류에 대한 인터뷰를 별도로 실시하였다. 실험을 위해, 피실험자는 한 경보표시 방식에 두 가지 상이한 시나리오(Scenario)를 시행하였으며, 각 시나리오에 대한 시행이 끝난 후, 상황인식(Situation awareness) 정도를 평가하기 위하여 설문조사를 실시하였다. 또한 한 가지 표시 방식의 인터페이스를 이용하여 두 시나리오를 시행한 후, NASA-TLX를 사용하여, 피실험자의 주관적 작업량(Subjective workload)을 측정하였다. 두 가지 표시 방식에 대한 두 가지 시나리오를 모두 시행한 후, 표시 방식에 대한 선호도 평가가 이루어졌다.

3. Results

두 표시 방식의 객관적 비교 평가를 위하여 실험을 통해 얻어진 데이터의 통계분석을 실시하였다. 샘플수가 적고 모집단의 정규분포를 가정할 수 없어, 비모수 검정(Nonparametric test)의 하나인 Wilcoxon Signed-Rank Test를 실시하였다.

3.1 Correctness of detecting alarms

경보발견 정확도 측면에서, 타일표시 방식이 바표시 방식보다 유의수준 $\alpha=0.05$ ($p=0.007$)에서 더 나은 것으로 분석되었다(Table 1).

3.2 Correctness of judging the system

경보발생 시스템 판단 정확도 측면에서, 타일표시 방식이 바표시 방식보다 사용자들의 오류가 적은 것으로 나타났

나, 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 통계적으로 유의하지 않은($p=0.072$) 것으로 분석되었다(Table 2). 그러나, 유의수준 $\alpha=0.1$ 에서는 유의하므로, 향후 추가 검증이 필요하다.

Table 1. Statistics for correctness of detecting alarm

Display	N	Mean	SD	z	p
Bar	16	0.859	0.133	-2.687	0.007
Tile	16	0.927	0.091		

Table 2. Statistics for false rate of judging the system

Display	N	Mean	SD	z	p
Bar	16	0.0200	0.0348	-1.802	0.072
Tile	16	0.0052	0.0142		

3.3 Correctness of judging the alarm hierarchy

경보계층 판단 정확도 측면에서, 타일표시 방식이 평균적으로 근소한 차이로 나왔으나, 두 표시 방식 차이의 통계적 유의성은 없었다(Table 3).

Table 3. Statistics for false rate of judging alarm hierarchy

Display	N	Mean	SD	z	p
Bar	16	0.0156	0.0258	-0.282	0.778
Tile	16	0.0148	0.0306		

3.4 Level of situation awareness

상황인식도 측면에서는, 바표시 방식이 평균적으로 타일표시 방식보다 나은 것으로 나타났다(Table 4). 그러나 그 수준은 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.312$).

Table 4. Statistics for situation awareness level

Display	N	Mean	SD	z	p
Bar	16	8.060	1.03	-1.012	0.312
Tile	16	6.437	3.01		

3.5 Subjective workload

주관적 작업량 측면에서, 타일표시 방식이 바표시 방식보

다 유의수준 $\alpha=0.05$ ($p=0.035$)에서 더 나은 것으로 분석되었다(Table 5).

Table 5. Statistics for subjective workload

Display	N	Mean	SD	z	p
Bar	16	36.63	10.89	-2.113	0.035
Tile	16	32.50	9.90		

3.6 Preferences

이상의 정량적 평가 외에 비교 평가를 위해, 실험 후 두 가지 표시 방식에 대한 비교 설문이 실시되었다. Table 6에 나타난 바와 같이, 경보계층이나, 변수 변화를 판단하는데 있어서, 바표시 방식을 훨씬 더 선호하였다. 장시간 검사에 있어서는 타일표시 방식을 훨씬 선호하였다.

Table 6. The result of comparison of ANS response between baseline and happiness condition(N=217)

	Bar	Tile	Equal
Which display do you prefer?	2	3	3
Which display is time-wise better?	3	4	1
Which display is better for judging the system	2	2	4
Which display is better for judging the alarm hierarchy?	4	1	3
Which display is better for long time monitoring?	1	5	2
Which display is better for judging the parameter dynamics?	7	0	1

4. Discussion and Conclusions

상황인식도를 제외한 대부분의 평가항목에서 타일표시 방식이 바표시 방식보다 나은 것으로 나타났다. 이는 바표시 방식이 주는 여러 가지 동적인 많은 양의 정보보다, 타일표시 방식의 단순성이 사용자로 하여금 제공된 정보의 선별과 인식에 대한 집중도를 높여, 사용자의 정신적 작업량을 최소화하였기 때문으로 사료된다. 이는 여러 인간공학 또는 사용자 인터페이스 문헌에서 설명하는, 인간공학 디자인의 첫 번째 원칙인 '단순성(Simplicity)'(Lehto and Bucks, 2008; Stone, 2005)에도 부합되는 결론으로 판단된다. 그러나, 경

보발견 정확도와 주관적 작업량을 제외한 나머지 항목은 통계적으로 유의한 수준($\alpha=0.05$)이 아니므로, 이에 대한 추가 검증이 필요하다.

한편, 상황인식도 측면에서는 바표시 방식이 유의하지는 않으나, 조금 나은 것으로 분석되었다. 이는 바 형태의 동적인 정보가 피실험자에게 경보 정보를 좀더 적극적으로 주목하게 한 것으로 판단된다. 즉, 바표시 방식이 수동적인 정보 인식 뿐만 아니라, 상황인식을 위한 능동적 정보이해와 판단에 도움을 주는 것으로 풀이된다. 이 결과는, 선호도 평가 결과에서도 동일하게 나타났다. 대부분의 피실험자들은, 경보계층과 변수(Parameter)의 변화를 판단하는데 있어, 바표시 방식을 훨씬 더 선호하였다. 비록 샘플수가 적고 유의하지 않은 결과이나, 본 연구가 안전이 가장 중요시 되는 원자력 발전소와 연관되어 있으며, 상황인식은 안전에 있어 가장 중요한 요소 중 하나이므로, 이에 대한 적극적인 추가 연구가 필요하다.

한편, 관련 분야의 경험과 지식을 가졌다고는 하나, 피실험자 모두가 학생이었다는 점도, 실험 결과에 영향을 끼쳤을 것으로 추측된다. 실험에 적합한 피실험자의 확보가 어려워 그 수가 적었다는 점도, 분석 결과의 유의성을 확보하기에 부족하였을 것으로 판단된다. 이러한 문제점에도 불구하고, 본 연구는 다음의 몇 가지 점에서 매우 중요할 것으로 사료된다. 우선, 본 연구를 통하여, 기존의 타일표시 방식에 대한 잠재적 문제점과 경보표시에 관한 다양한 대체 방법들을 고찰하였다. 또한, 작업자의 상황인식을 개선할 수 있는 바표시 방식을 제안하고 구현하였으며, 이를 인간공학 실험을 통해 비교 평가하였다. 바표시 방식이 바의 길이 및 색깔을 이용하여 긴급도에 관한 정보를 연속적으로 제시해줌에 따라 경보의 전후 상황을 작업자에게 잘 이해시켜 준다는 점에서, 작업자의 의사결정에 적절한 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 위험에 대한 빠른 상황인식이 원자력 발전소에서 가장 중요한 요소 중 하나라는 점을 고려할 때, 본 연구에서 제시된 바 방식의 경보표시 뿐 아니라, 여러 표시 방식에 관한 연구를 신중하고 종합적으로 검토하고 평가하여, 향후 지속적인 개선 및 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Allen, G., Applied Spatial Cognition, Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- Brown, W., O'Hara, J. and Higgins, J., Advanced alarm systems: guidance development and technical basis, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2000, <http://pdadupws.nrc.gov/docs/ML0037/ML003770903.pdf> (retrieved November 26, 2012).
- Bullemer, P.T., Tolsma, M., Reising, D.V.C. and Laberge, J.C., Towards

- improving operator alarm flood responses-alternative alarm presentation techniques, *Abnormal Situation Management Consortium*, 2011, http://www.asmc Consortium.net/Documents/Towards%20Improving%20Alarm%20Flood%20Response_BullemerTolsmaReisingLabege_2011ISA_final.pdf (retrieved November 25, 2012).
- Carvalho, P.V.R., Santos, I.L.D., Gomes, J.O., Borges, M.R.S. and Guerlain, S., Human factors approach for evaluation and redesign of human-system interfaces of a nuclear power plant simulator, *Displays*, 29(3), 273-284, 2008.
- Chang, S.H., Choi, S.S., Park, J.K., Heo, G. and Kim, H.G., Development of an advanced human-machine interface for next generation nuclear power plants, *Reliability Engineering and System Safety*, 64, 109-126, 1999.
- Cheon, S.W., Chang, S.H. and Chung, H.Y., Development strategies of an expert system for multiple alarm processing and diagnosis in nuclear power plants, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 40(1), 21-30, 1993.
- Choi, S.S., Park, J.K., Hong, J.H., Kim, H.G., Chang, S.H. and Kang, K.S., Development strategies of an intelligent human-machine interface for next generation nuclear power plants, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 43, 2096-2114, 1996.
- Endsley, M.R., "Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement", *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, (pp. 97-101), Santa Monica. CA. 1988.
- Fitch, K.R., Tcl/Tk-based Alarm Presentation System, Tcl/Tk,, http://www.tcl.tk/community/tcl2002/archive/Tcl2002papers/fitch-aps/aps_paper.pdf, (retrieved November 1, 2012).
- Flach, J., Hancock, P., Caird, J. and Vicente, K.J., *Global Perspectives on the Ecology of Human-Machine Systems*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, 1995.
- Gordon, P. and Anderson, T., "Alarm presentation system (APS) at Ringhals nuclear power plant unit 2", *American Nuclear Society 4th International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human Machine Interface Technology*, (pp. 311-321), Columbus. OH. 2004.
- Hart, S.G. and Staveland, L.E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. In P. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*, North Holland Press, 139-183, 1988.
- Lehto, M.R. and Buck, J.R., *Introduction to Human Factors and Ergonomics for Engineers*, Lawrence Erlbaum Associates, 2008.
- Mattiasson, C., The alarm system from the operator's perspective. *International Conference on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres*, (pp. 217-221), 1999.
- Stone, D., Jarrett, C., Woodroffe, M. and Minocha, S. *User Interface Design and Evaluation*, Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- Tuszynski, J., Larsson, J.E., Nihlwing, C., Öhman, B. and Calzada, A., "A pilot project on alarm reduction and presentation based on multilevel flow models", *Proceedings of the Enlarged Halden Programme Group Meeting*, Storefjell, Gol. Norway. 2002.
- Zwaga, H.J.G. and Hoonhout, H.C.M., Supervisory control behaviour and the implementation of alarms in process control. In N.A. Stanton (Ed), *Human Factors in Alarm Design*, (pp. 119-134), Taylor & Francis, 1994.

Author listings

Pilsung Choe: pchoe@tsinghua.edu.cn, pschoe@gmail.com

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Purdue University, USA

Position title: Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, P.R. China

Areas of interest: User-Centered Design, Cognitive Ergonomics, Information Processing and Decision Making, HCI, UX Design

Date Received : 2013-01-21

Date Revised : 2013-01-28

Date Accepted : 2013-01-30