

A Study on Experiment Design for Response Measurement of Operator in NPPs with E-prime

Yeon Ju Oh, Kwang Hyeon Shin, Yong Hee Lee

I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 305-353

ABSTRACT

Objective: 본 논문의 목적은 자유도가 높은 디지털 직무 기반의 수행도 평가와 실험 직무를 설계한다. **Background:** APR 1400 도입에 따라 원전 종사자들의 디지털 기기 기반 직무 수행도 및 인적 오류에 대한 연구가 활발해지고 있다. 직무 수행 특성 및 인적오류 위험성이 기존 아날로그 직무와 상이하여 디지털 기기 직무를 대표 할 수 있는 실험설계가 필요하다. 원전 디지털 기기 기반의 직무 수행 중 나타나는 종사자 특성을 파악하기 위한 인간공학적 실험은 다양한 수행도 관찰이 요구된다. **Method:** 시, 청각 자극의 직무설계 및 반응의 직무설계가 가능한 e-prime 소프트웨어를 활용하여 디지털 기기 기반의 직무를 수행하는 원전종사자들의 반응특성을 평가하기 위한 실험직무를 설계한다. **Application:** 본 실험 설계는 신규 디지털 기기 도입에 따른 안전성 및 신뢰성 확보를 위한 종사자 반응 특성 실험체계에 효율적이며 복잡한 직무기반의 실험 측정 체계에 활용 가능 할 것이다.

Keywords: E-Prime, Response Measurement, Task Design, Digital Device, NPPs

1. Introduction

1.1 Instruction of Digital Device in MCR

일본, 캐나다, 프랑스, 중국 등의 국가에서 원전 MCR의 디지털화가 빠르게 이루어지고 있으며, 우리나라 또한 APR1400 원자로를 운전할 디지털 기반의 주제어실(Main Control Room, MCR)이 신고리 3,4호기에 최초 구축되어 완료 단계에 와있다.

디지털 기반의 주제어실은 작업의 편의성을 포함하여 효율성 향상 및 보편적인 작업 방법과는 다른 방법을 이용함으로써 기존의 문제점을 극복하거나 복잡한 문제를 풀어갈 수 있는 대안으로 기대 할 수 있다. 그러나 원자력 발전소는 불확실성에 의해 의도하지 않은 문제를 발생시킬 수 있는 위험 수준이 경제적으로나 사회적으로 현저히 크기 때문에, 안전성 확보를 위해 디지털 기기를 도입하는데 있어서 인적오류 분석이 중요한 현안이 되고 있다.

1.2 Characteristic of Digital Device Task in MCR

디지털 기반 원전 주제어실 MMIS(Man-Machine Interface

System)는 대형 정보 표시판(Large Display Panel, LDP), 전산화 절차서(Computerized Procedure System, CPS), 컴퓨터 기반 정보 계통, 소프트 제어기(soft controller) 등의 디지털 시스템으로 구성되며, 기존 종이 절차서 기반의 직무지시와 단순한 아날로그 패널의 조작 반응에서 컴퓨터 기반의 HSI로 변화하면서 주제어실 상황이 전반적으로 복잡성 요소가 증가하였다. 이러한 변화는 새로운 기술로 인하여 탐과 개인의 수행능력에 다음과 같은 새로운 인적오류 가능인자가 발생한다(2012, Lee[a]).

- .운전선택오류
- .운전모드혼동
- .운전수행피드백부재
- .운전지연(Navigation)
- .시스템고장탐지

1.3 Human Error Analysis in NPP

원전에서 안전성 확보를 위한 인적오류 분석기법은 인적 오류 가능인자에 대한 인간 신뢰도 분석(human reliability analysis, HRA) 또는 인간공학적 설계업무(human factors engineering program plans, HFEPP)를 통해 공식적으로 이루어지고 있다. HRA 기법은 확률론적 안전성 평가의 일부분으

로, 안전성에 미치는 인적오류 항목을 도출하고, 대응방안을 모색한다. 원전설계에 적용되는 HRA 기법은 THERP, SLIM/MAUD, HCR/TCR, ASEP, ATHEANA, CREAM, CES 등이 있다(2003, Lee[b]).



Figure 1. APR 1400 Main Control Room MMI

최근에는 HRA를 보완하기 위하여 운전원의 인지모형(cognitive model)을 도입하여 인적오류에 대한 기초연구를 보강하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 인지모형은 운전원의 행위의 이면에 존재하는 내부 인지과정에 대한 분석을 통하여 오류성향 등을 직접적으로 분석하는 것이다.

이현철의 연구(2000)에서는 SAGAT, SACRI등 작업부하 척도나 심전도 및 뇌파등과 같은 생체신호를 통하여 객관적인 자료를 통하여 인적오류에 대한 객관적인 타당성을 연구하였고, 최근에는 다양한 이론을 생체신호에 적용하여 인적오류에 대한 인지모형을 파악하려는 시도와 노력이 이루어지고 있다. 특히 Brain Computer Interface(BCI)분야 및 심리학분야에서 뇌파 및 심전도 등의 생체신호를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 생체신호 분석은 인간의 심리상태 및 정보처리, 의사결정과정 등을 반영하기 위하여 뇌파 활성화 및 Event Related De-synchronization (ERD)/Event Related Synchronization (ERS) 연구가 진행 중이다. 이러한 생체신호 분석은 정량적이며 객관적인 데이터를 통하여 기존에 실시하고 있는 정성적인 사후분석이 아니라 사전에 예방할 수 있는 방법을 연구한다는 점에서 의미가 크다고 할 수 있다.

2. Method

2.1 The Ergonomics Issue On Digital Device based MCR

디지털 기반 주제어실 직무는 기존 아날로그 타입의 작

업환경과 비교하여 입력, 출력장치의 물리적 변화로 인하여 직무특성과 인지특성이 달리 요구된다. 따라서 대상에 대한 정보가 표상적으로 나타나는 아날로그 직무에 반해 기호나 숫자와 같은 상징부호를 나타내기 때문에 직접적인 해석보다는 사실, 관찰, 법칙에 의하여 해석하고 접근하는 방식의 특징을 가진다. Oh(2012)의 연구에서는 디지털 기반의 MCR에서 발생하는 인간공학적 현안과 위험요소(Hazard Factors)를 다음과 같이 정의하고 있다. 계층적 구조 형태로 보여주는 정보는 스크린을 통해 탐색, 확인해야 하고 정보의 제공속도 역시 인간의 눈이나 뇌의 처리속도 보다 빨라 운전원이 처리 할 수 있는 양보다 훨씬 많은 정보가 제공될 수 있다. 전산화 절차서 사용에 따라 운전원간 의사소통이 단절될 수 있고 비상상황시 운전원 수행도에 문제를 발생시킬 가능성이 있고 VDU의 제한된 공간으로 keyhole effect가 발생할 수 있다.

소프트 제어기의 경우 운전원 행위 부분이 아닌 schema가 동작 될 경우 의도치 않은 동작이 발생되거나 사용하는 정보가 모호하여 운전원의 slip이 발생 할 수 있다. 또한 자주 수행하지 않은 운전을 수행할 때 자주 수행하는 유사한 운전이 존재할 경우 이를 대신 수행하거나 운전원 메모리의 한계(decay, interference)로 업무를 수행하지 않는 망각행위가 발생 가능하다(Table 1).

Table1. The ergonomics issue on computer based MCR(2012, Oh)

Factor	Erg. issue	Hazard Factors
Information Display based on Computer	Information overload	.Overlapping windows .Too much information .Faster information than visual process of human
	Interface management tasks	.Navigation task before the primary task .Overworking, Losing the information because of secondary task
Computerized Procedure	Team performance	. Communication dis-connection between operators
	Situation awareness	.The depending on the computerized procedure
	Level of automation	.Automation level
	Keyhole effect	. The limitation of parallel process
	CPS failure in complex situation	.The conversion problem of the paper procedures
Soft Controller	Unintentional activation	. Unintended activity
	Description errors	. Slip by ambiguous information
	Mode errors	. Mode error
	Disordering the components of an action sequence	. Skipp by the continuous task, repetition, reverse procedure
	Capture error	. Confusion with the task frequency
	Loss of activation errors	. Task Fail because of the limited memory of operator

2.2 Development of Requirements of the Experimental Design

디지털 기기 직무 기반 주제어실에서 발생하는 위험요소(Hazzrd Fator)는 심리상태 및 정보처리, 의사결정 과정에서 발생하며 이를 평가 및 해석하기 위해서는 생체신호를 통한 정량적/객관적 연구방법이 요구된다. 또한 현재 MCR 소프트웨어의 특성(자극:시각, 청각), 반응:키보드, 마우스, 터치입력)을 반영하여야 한다. 생체신호(EEG, ECG)는 분석지표에 따라 측정제약사항(측정시간, 장소, 움직임, 잡음발생)이 각각 상이하다. 하지만 단일 지표분석으로는 복잡한 인지과정을 모두 설명할 수 없기 때문에 복합지표를 사용해서 결과를 관측해야 한다.

본 연구에서는 이러한 설계요건을 최대한 충족시키기 위하여 심리학 분야에서 자주 사용되는 E-Prime. 2.0 소프트웨어를 사용하여 직무를 설계하였다.

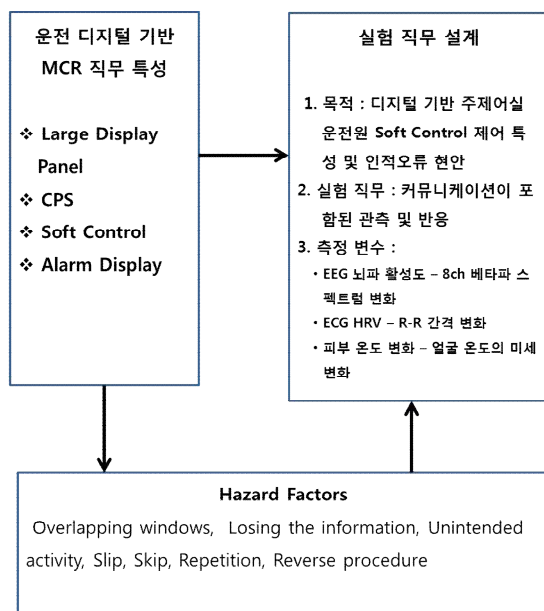


Figure 2. Experimental Design Process

2.3 Introduction of E-prime 2.0

E-prime 2.0 소프트웨어는 Psychology Software Tool이며 Object-Oriented Programming Language 특성을 가지고 있다 (Fig 2). 또한 기존의 생체신호 분석 소프트웨어와는 다르게 다양한 Objects를 사용할 수 있다. E-prime의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 정확한 자극의 제시
- 정확한 반응시간의 측정
- 다른 device들과의 호환성
- 실험설계에 기반한 프로그램
- 사용의 편리함

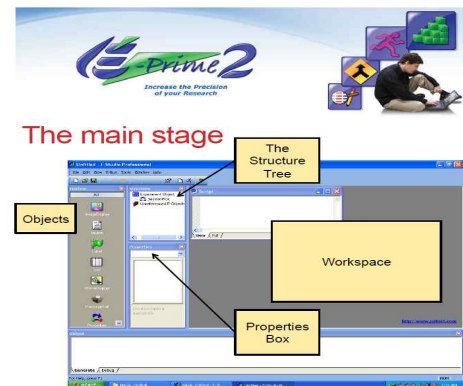


Figure 3. Construct of E-prime 2.0

시각은 사진, 텍스트 문서와 단어, flash 영상 등을 제시할 수 있으며 음성은 음악, 경적 등 음성 파일을 제시할 수 있다. 또한 각 제시자극에 대한 반응의 기록과 피드백을 지정할 수 있어서 심리학에서 주로 사용하는 단순 자극이 아닌 완전 MCR 주제어실 업무 특성을 표현할 수 있는 계층적 정보형태를 재현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 기존의 생체신호 분석 소프트웨어와는 다르게 다양한 Objects를 사용할 수 있어서 완전 대상 직무와 같이 직무설계의 Customize가 가능하다. 또한 Serial Port를 통한 신호연동을 통하여 동시에 여러 개의 생체신호 장비의 신호수집이 가능하다.

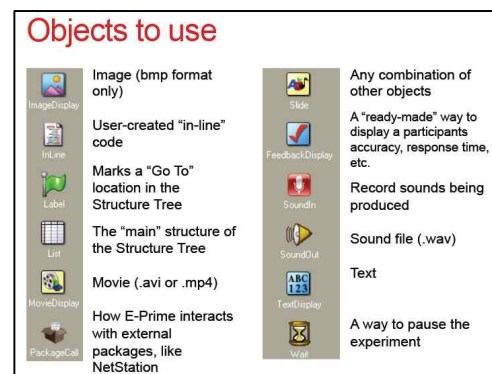


Figure 4. E-prime 2.0 Object

3. Results

본 연구에서는 E-prime 2.0을 이용하여 MCR 디지털 기기 기반 직무를 설계하였다. 직무 특성 반영은 앞서 도출한 설계 요건을 바탕으로 하였으며 측정 대상 생체신호는 EEG 및 ECG를 기반으로 하였다. 설계 직무 내용은 SHIN(2011)

의 연구에서 적용하였던 디지털 기기 기반 직무를 적용하였으며 E-prime를 적용하여 자극 제시 및 반응 특성을 원전 MCR 직무의 특성 재현에 중점을 두었다.

첫 번째로 자극 제시 특성은 MCR 직무 상황에서 발생하는 화면에 의한 시각 자극, 경보 등의 청각 자극을 적용하였다.

두 번째로 반응 특성으로는 기존 키보드 입력 이외에 마우스 입력, 터치 입력 등을 적용하였다.

마지막으로 주어진 직무 수행 결과에 따른 피드백을 통해서 인적오류 발생으로 인한 직무 실패에 따른 작업자의 인지 변화를 분석 할 수 있도록 적용하였다.

다음 그림은 설계 직무 중 일부분을 나타낸 것으로 4가지 직무를 정의하여 원전 디지털 기기 직무 수행에 따른 작업자 반응 특성 연구에 적용 가능하도록 하였다(Fig 5).

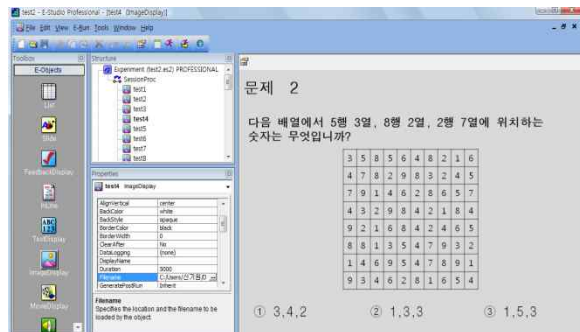


Figure 5. Experimental Task Design

직무 설계 결과는 생체 신호(EEG, ECG)기반의 직무 수행도 분석 및 운전원의 인적오류 인지 모형 분석에 적용될 예정이다. 또한 앞으로 분석 지표 추가 및 대상 직무 환경 특성을 반영하여 실험 직무 변경이 용이함에 있어서 복잡한 원전 디지털 직무 환경 평가에 적용이 가능 할 것으로 판단 된다.

4. Conclusion

원자력 분야는 안전성 확보를 위한 인적오류에 대한 분석 기법이나 다양한 노력은 각기 나름대로의 장점이 있으며, 기초 연구나 관리적 방안으로서 반드시 필요한 것들이다. 본 연구에서는 생체 신호 분석을 기반으로 하는 주제어 실 디지털 기기 기반의 인적오류를 대상으로 하였다. 본 연구에서 제시하는 직무 설계는 생체 신호 측정의 한계성과 대상 직무의 재현성 사이에서 설계하는 어려움이 발생하였다. 생체 신호 측정의 한계성을 고려하면 원전 디지털 기반 직무의 복잡성을 표현하기가 어려워지고, 직무의 재현성을

고려하면 생체신호 획득의 어려움이 발생하였다. 하지만 E-prime의 가장 큰 장점인 Object의 다양성과 Device 적용의 자유도는 기존의 생체 신호 연구와 비교하여 높은 신뢰도를 가지는 연구 결과를 도출 할 수 있을 것이라 판단된다.

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MEST) (No. 2012M2A8A-4004256).

References

- Lee Y.H, et al., *Development of An Extremely Low Frequency Human Error Assessment Technology for Digital Devices and Its Applications to the Nuclear Fields*, KAERI, RR-3575, 2012[a]
- Lee Y.H, et al., A Modification of Human Error Analysis Technique for Designing Man-Machine Interface in Nuclear Power Plants, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.22, No.1, pp.31-42, February 2003[b]
- Lee D.H, Lee H.C., A Review on Measurement and Applications of Situation Awareness for an Evaluation of Korea Next Generation Reactor Operator Performance, *IE Interfaces*, Vol.13, No.4, pp.751-758, 2000.
- Oh Y.J, Lee Y.H, Human Error Identification based on EEG Analysis for the Introduction of Digital Devices in Nuclear Power Plants, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.32, No.1, pp.27-36, 2013
- Lee S. J, Kim J. W, Human Error Mode Identification for NPP Main Control Room Operations Using Soft Controls, *Journal of Nuclear Science and Technology*, Vol. 48, No. 6, pp. 902-910, 2011
- Lee, Y. H, et al., Development of An Extremely-Low-Frequency Human Error Assessment Technology for Digital Devices and Its Applications to the Nuclear Fields, *KAERI, TR-4575*, 2011[c]

Author listings

YeonJu Oh: ohyj@kaeri.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Dong-Eui University

Position title: Researcher, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Human Error, Biomechanics, Cognitive System Engineering

KwangHyeon Shin: shin9330@kaeri.re.kr

Highest degree: Ms, Department of Industrial Engineering, Dong-Eui

University

Position title: Researcher, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Human Error, Biomechanics, Cognitive System Engineering

Yong Hee Lee: yhlee@kaeri.re.kr

Highest degree: Ms, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

Position title: Section Head, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Human-Machine Interface, Human Error, Cognitive System Engineering