디지털 기기 기반 직무 수행 시 인적오류위험성에 대한 실험적 평가

오연주 · 장통일* · 이용희

한국원자력연구원 계측제어 · 인간공학연구부
(2013. 12. 24. 접수 / 2014. 2. 5. 채택)

An Experimental Evaluation on Human Error Hazards of Task using Digital Device

Yeon Ju Oh · Tong Il Jang* · Yong Hee Lee

I&C and Human Factors Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute
(Received December 24, 2013 / Accepted February 5, 2014)

Abstract : The application of advanced Main Control Room(MCR) is accompanied with lots of changes and different forms and features through the virtue of new digital technologies. The characteristics of these digital technologies and devices give many opportunities to the interface management, and can be integrated into a compact single workstation in advanced MCR so that workers can operate the plant with minimum physical burden under any operation conditions. However, these devices may introduce new types of human errors and thus a means to evaluate and prevent such errors is needed, especially those related to characteristics of digital devices. This paper reviewed the new type of human error hazards of tasks based on digital devices and surveyed researches on physiological assessment related to human error. An experiment was performed to verify human error hazards by physiological responses such as EEG which was measured to evaluate the cognitive workload of operators. And also, the performances of four tasks which are representative in human error hazard tasks based on digital devices were compared. Response time, β power spectrum rate of each task by EEG, and mental workload by NASA-TLX were evaluated. In the results of the experiment, the rate of the β power was increased in the task 1 and task 4 which are searching and navigating task and memory task of hierarchical information, respectively. In case of the mental workload, in most of evaluation items, task 1 and 4 were highly rated comparatively. In this paper, human error hazards might be identified by highly cognitive workload. Conclusively, it was concluded that the predictive method which is utilized in this paper and an experimental verification can be used to ensure the safety when applying the digital devices in Nuclear Power Plants (NPPs).

Key Words : EEG, human error hazard, physiological measure, cognitive workload

1. 디지털 기기 기반의 원자력발전소 주제어실 현황

최근 원자력발전소(이하 원전) 주제어실 HMI(Human Machine Interface)의 디지털화는 국내의 경우, APRI400 (Advanced Power Reactor 1400)을 처음 도입한 신고리 3,4 호기를 비롯하여 다양한 디지털 기기의 응용을 시도하고 있으며, 세계적으로도 신형 원전에 대한 기술의 발전과 함께 소프트웨어 및 디지털 기기 기반의 주제어실로 설계되고 있는 추세이다. 디지털 기기 기반의 주제어실은 아날로그 기기 기반의 기존 주제어실과는 다른 특징을 보이는데, Fig.1에서 보는 바와 같이 대형정보표시판(LDP : Large Display Panel), 전산화 절차서(CPS : Computer-based Information Display System), 소프트웨어(Soft Controller), 경보시스템(Alarm System)등으로 구성된다.

대형정보표시판(LDP)은 발전소 상태에 대한 개요수준의 정보 제공을 목적으로 설계되었으며, 개요 및 필수 안전정보를 고정영역에 연속 표시함으로써 전반적인 발전소

상태를 파악하도록 한다. 또한 운전원 콘솔의 정보표시 화면을 LDP의 가변영역(VDS : Variable Display Section)에 표시하여 전체 운전원에 대한 상황감시 공유와 협의를 지원한다.

전산화 절차서(CPS)는 운전절차서를 포함하여 수행 정보, 운전 지원정보를 표시함으로써 운전조 내 모든 운전원 간 절차 진행 과정이 공유될 수 있다. CPS는 다수절차서 관리창의 기능을 통하여 여러 절차서 사용을 지원한다.

소프트제어기는 안전등급 기기의 연속제어 및 이산제어를 담당하는 안전등급 소프트웨어와 비안전등급 기기의 연속제어 및 이산제어를 담당하는 비안전등급 소프트웨어로 구분 및 설계되어 있다. 이는 전기적 및 물리적 독립성이 유지되도록 설계된 것이며, 비안전등급 소프트웨어는 평면 정보표시장치(FPD : Flat Pane Display)를 통하여 제어가 제공된다. 안전등급 소프트웨어는 평면정보표시장치와는 별도의 터치스크린 방식의 제어기로 제공되며, 기기 선택은 평면정보표시장치와 터치스크린을

* Corresponding Author : Tong Il Jang, Tel : +82-42-868-8732, E-mail : tijang@kaeri.re.kr

I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute, 1045 Daedeokdaero, Yuseong, Daejeon, Korea

Fig. 1. Advanced Main Control Room of APR 1400

통해 모두 가능하다.

첨단 정보계통은 대형정보표시판, 운전원 콘솔, 안전제어반 등에 걸쳐 다양한 정보를 제공하며 고정경보(dedicated alarm), 경보 목록, 프로세스 미믹 정보로 구분된다¹⁾. 사고 발생 시 손실이 큰 원전에서는 주제어실에 새로운 디지털 HMI 기기를 도입함으로써 발생가능한 위험성을 배제하기 위한 꾸준한 노력이 요구된다²⁾.

디지털 기기의 안전성을 확보하고 뛰어난 기능적 측면을 잘 활용하기 위해서는 기존의 정량적 인적오류 평가방법과 더불어 정성적 인적오류 분석이 반드시 수행되어야 하며, 특히 인적오류의 특성을 파악하기 위해서는 생리심리학적 척도를 기반으로 한 접근방법도 요구된다. 따라서 본 연구에서는 디지털 기기를 이용한 직무 수행 시 발생 가능한 인적오류 위험성을 도출한 후, 생리적 현상, 정신적 작업부하 등을 분석함으로써 인적오류의 특성 및 위험성을 확인하고자 하였다.

2. 디지털 기기 기반 직무 수행 시 인간공학적인 현안

원전은 밀착(tight coupled) 및 대형 체계라는 특성을 가지고 있기 때문에 사소한 기기 결함에 의한 인적오류일지라도 치명적인 결과를 야기할 수 있다. 발생확률이 적어 인적오류 가능성 자료의 통계적 유의성 확보가 곤란하며 예외적인 사례별로 대응 방안의 탐색이 어렵다. 또한, 인간-기계-환경의 상호작용 및 HMI 기기 특성에 의한 인적오류 발생가능성에 대한 분석을 수행하더라도 디지털 기기 기술의 빠른 생명 주기 사이클 때문에 인적오류 유발을 야기하는 인간공학적인 현안을 파악하기 어렵다.

국내 적용된 디지털 HMI 기기 기반의 주제어실의 경우, 정상 운전 시 2명의 운전원이 제어가능 하도록 간절화 된 컴퓨터 기반 표시 및 제어를 채택하는 시스템으로 운영되는 제어실은 핵심정보를 제외한 대부분의 정보가 정보표시 및 제어를 통해 계층적 구조의 수직 정보를 제공한다.

따라서 운전원은 기존의 주제어실과 같이 물리적 이동에 의한 제어행위는 없지만, 한 자리에서 정보에 대한 확인 및 제어가 가능하나 다양한 형태의 행위변화가 요구된

다. 또한 기존의 아날로그식 주제어실과의 두드러진 차이점으로 최근 많은 연구에서 인지적 부하를 제시하고 있다. 많은 계층적 정보를 탐색하고 처리하는데 있어, 기존보다 다소 복잡한 정보처리 과정을 거치게 되며 디지털 기기에 의존도가 높아지면서 운전원의 인지부하, 시각피로 및 직무스트레스가 가중된다고 보고되고 있다⁴⁾.

장통일 등의 연구에서는 비상운전절차서를 수행하는데 있어서 절차서의 기술방법에 따른 인지적 측면의 차이를 보기 위하여 수행도를 비롯한 생리적 지표와 주관적 지표를 기반으로 실험을 수행하였다⁵⁾. 정원대 등의 연구에서도 인적오류 분석에서 인지적 요소의 중요성을 강조하였고⁶⁾ 변승남 등의 연구에서도 운전원들의 정신적 작업부하 평가방법을 적용하였다⁷⁾.

Norman, Rassmusen 등의 연구에서도 정신적 작업부하가 클수록 더 많은 자원이 소요되며 만약 정신적 작업부하가 작업자의 한계를 넘어서면 인적오류가 유발되어 인적수행도가 저하된다고 언급하고 있다⁸⁾.

이처럼 새롭게 도입된 원전 주제어실의 디지털 업무환경에서는 기존과는 다른 인지적 부하 및 이로 인한 인적오류의 가능성이 제기되고 있다. 따라서 디지털 기기 사용에 의한 인적오류 발생가능성을 최소화하기 위해서는 설계단계에서부터 인간공학적인 기준이 고려되어야 하며 정량적인 분석과 함께 운전원들의 심리, 생리학적 관점에서의 평가와 관리도 병행되어야 한다. Table 1은 생리학적 지표를 기반으로 인적오류를 분석한 연구현황으로 원자력분야에서 인적오류 및 인적오류 가능성과 관련된 연구는 극히 일부이다^{9)~12)}.

Table 1. Researches on physiological assessment related to human error study

Author	Title	Contents
Lim, H. K.	Variation of relative power characteristics in EEG while inducing human errors	<ul style="list-style-type: none"> The characteristic investigation of human error in oddball task Variation of relative power frequency
Lim, H. K.	Influence of time stress on EEG characteristics related with human errors	<ul style="list-style-type: none"> The characteristic investigation of human error in arithmetic task according to time pressure Frequency power spectrum analysis
Gerwin Schalk	EEG-based communication :presence of an error potential	<ul style="list-style-type: none"> Mu and beta frequency analysis The identification of error potential
Gethin Hughes	Dissociable correlates of response conflict and error awareness in error related brain activity	<ul style="list-style-type: none"> The comparison between Error Related Negativity and Error Positivity from flanker task
John R. Fedota	Neuro-ergonomics and human error	<ul style="list-style-type: none"> The EEG signal analysis in human error(slip) The research on ERN
Human Brain Map Journal		<ul style="list-style-type: none"> Alpha and mu frequency activity is increased over 25% before error

Table 2. Types of human error hazard according to Task based on CPS

Task	Human error hazard
task relations between before and after steps	task objects cognition failure caused by failure of relation identification
location and content of Caution/Warning	possibility of inappropriate performing
structure of judgement sentence or path selection	possibility of wrong path selection
structure of task description(number of hierarchical and logical steps)	ommission of task performing , confusion of hierarchical and logical structure
performing response not obtained and return	ommission of performing the response not obtained and loss of step location when returning
writing of multi pages	confusion of task structure , ommission of performing
necessity of monitoring window/monitoring objects	failure of state monitoring

한편, 한국원자력연구원의 선행 연구에서는 전산화 절차서 및 소프트웨어기의 직무분석 후 운전실패 사건에 대한 원인 및 유발상황을 분석하였다¹³⁾. 인간공학 검증에 위한 실험 관찰, 전산화절차서의 구조 검토, 운전 전문가 및 실험 참여 운전원의 평가 결과 등을 기반으로 인적오류 발생 가능성을 조사하였으며, 그 결과 Table 2와 같이 전산화 절차서의 구조적 특성에 따라 발생한 인적오류 유형을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 디지털 기기를 이용한 직무 수행 시 발생 가능한 인적오류 위험성을 사전에 검토하고 실험적 접근 방법을 통해 인적오류 위험성을 확인하고자 하였다.

3. 인적오류 위험성 분석

본 장에서는 2장에서 분류한 디지털 기기 기반의 직무 수행 시 발생가능한 인적오류위험성 유형들을 대상으로 인간공학적 실험접근 방법에 의하여 이들의 특성을 확인하고자 하였다.

3.1. 실험직무 설계

본 연구에서는 원자력 산업에서 적용 가능한 디지털 기기를 이용하여 주제어실 내 주요 인간공학 현안을 제시한 선행연구를 기반으로 실험 가능한 실험직무로 재설계하였다. 디지털 기기 기반 주제어실 관련 주요 인간공학 현안으로는 네비게이션 등과 같은 컴퓨터 기반 정보표시장치의 interface management tasks가 있으며, 전산화 절차서의 keyhole effect, 소프트웨어기에서 발생 가능한 description error, disordering the components of an action sequence, capture error, loss of activation error 등이 있다.

컴퓨터기반 주제어실 직무 중 계층적 구조형태로 나타나는 정보는 스크롤을 통해 탐색, 확인해야 하고 정보의 제공 속도 역시 인간의 정보처리 속도보다 빨라 운전원이 처리할 수 있는 양보다 훨씬 많은 정보가 제공될 수 있다.

Table 3. Human factors issues on computer based MCR

Factor	HF issues	Hazard factors
Information Display based on Computer	Information overload	<ul style="list-style-type: none"> • Overlapping windows • Too much information • Faster information than visual process of human
	Interface management tasks	<ul style="list-style-type: none"> • 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 paralle process
	CPS failure in complex situation	• The conversion problem of the paper procedures
Soft Controller	Unintentional activation	• Unintended activity
	Description errors	• Error by ambiguous information
	Mode errors	• Mode error
	Disordering the components of an action sequence	• Skip 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

전산화 절차서의 경우에는 운전원간 의사소통이 단절될 수 있고, 비상상황 시 운전원 수행도에 문제를 발생시킬 가능성이 있으며, VDU의 제한된 공간으로 keyhole effect가 발생할 수 있다.

소프트웨어기의 경우, 운전원 고유의 schema와 일치하지 않는 동작이 발생되거나, 유사한 정보에 의한 운전원의 slip이 발생할 수 있다. 또한 자주 수행하지 않는 운전을 수행해야 할 경우, 자주 수행하는 유사한 운전이 존재할 경우 이를 대신 수행하거나, 운전원 메모리의 한계(decay, interference)로 업무를 수행하지 않는 망각행위가 발생 가능하다. Table 3은 디지털 기기별로 위험요소를 정리한 것이다.

앞서 살펴본 바와 같이, 디지털 기기 기반 주제어실 직무에 대한 인적오류위험성 요인 중 주요 오류 가능성으로 아래와 같은 네 개의 항목들을 도출하였다.

- 탐색 및 관찰 실패,
- 직무 누락,
- 정보혼동,
- 계층적 정보 기억 실패

선정된 네 개의 대표 오류를 기반으로 인간공학적 실험 평가 및 분석을 위해 Fig. 2와 같이 실험직무를 재설계하였다. Task 1은 탐색 및 관찰 실패에 대한 실험 직무로, 주어

Process)기법에서 적용되었던 일관성 지수를 사용한다. 일관성 지수값이 0.1보다 작을 때 일관성이 있다고 판단하여 일관성이 검증된 데이터만을 정신적 작업부하 분석에 사용한다.

3.5. 실험방법

피실험자는 20대 중반의 건강한 남성 20인을 대상으로 수행하였다. 피실험자가 실험에 앞서 몇 가지 제한된 실험환경에 적합하도록 수면시간, 카페인 섭취, 음주 및 흡연 등을 제어하였다. 피실험자에게 충분한 수면시간을 권장하고 카페인, 음주 및 흡연을 자제하도록 권고하였다. 피실험자들의 움직임을 최소화하도록 사전에 훈련하였으며 실험환경을 충분히 제어하였다.

피실험자들은 주어진 직무를 제한된 시간 내에 완료하도록 하였으며 Fig. 2에서 제시된 것과 같은 4개의 직무에 대하여 각 직무별로 20문항을 수행하고 직무난이도에 따라 15초에서 40초의 직무수행 시간이 주어졌다. 또한 각 직무 종료 후 충분한 휴식시간을 제공하여 안정상태를 유지하도록 하였다. 피실험자 20명에 대하여 4가지 직무를 랜덤하게 제시하고 수행시간을 제한시켜 직무를 수행하도록 하였다.

유선으로 측정하는 (주)Laxtha의 PolyG-I 장비로, 뇌파 8채널을 측정하였다.

실험에는 직무제시 및 피실험자의 반응시간 및 수행도 결과 저장을 위한 1대의 컴퓨터와 생체실험 결과 저장을 위한 1대의 컴퓨터를 사용하였으며, 시간 동기화를 위하여 프로그램을 개별 제작하여 활용하였다.

4. 연구결과

4.1. 수행도 분석 결과

수행도 측면에서 디지털 기기 기반의 직무 수행 시 직무별 수행에 대한 오류 유무, 반응시간 등을 비교하였다. 단, 직무별 직무 수행시간의 차이가 발생하므로 시간은

Fig. 4. Experiment Situation for EEG measurement

Fig. 5. Reaction time and correct answer rate of each task

비율로 변환하여 분석하였다.

분석결과, Fig. 5에서 보는 바와 같이 Task 3이 평균 반응시간이 가장 빨랐고 Task 3, 2, 1, 4 순으로 나타났으며, 이는 통계적으로 유의하였다($p < 0.1$). 반응시간 간 차이는 각 직무별 정답 및 오답율과 비교하여 살펴볼 수 있다. 분석결과, 직무별 반응시간이 길수록 정답율이 낮은 경향을 보이고 오답율이 높은 경향을 보이고 있으나, 통계적으로 유의하지는 않았다.

4.2. 생리적 척도 분석 결과

디지털 기기 기반의 직무 수행 시 사용자의 인적오류 위험성을 확인하기 위해 생리신호의 변화를 분석하였다. 피실험자가 직무 시작을 위한 trigger 신호 발생 직후부터 모든 반응을 종료하고 다음 직무로 넘어가기 위한 trigger 신호 발생까지의 시간간격에 대한 뇌파 분석을 수행하였다. 이를 위해 뇌파는 스펙트럼 분석 후 주파수 대역에 따라 $\alpha/(\alpha+\beta+\theta+\delta)$, $\beta/(\alpha+\beta+\theta+\delta)$ 밴드파워를 구하였고, 뇌파 맵핑 프로그램을 이용하여 직무 수행시간에 따른 맵핑 데이터를 확인하였다. 데이터는 총 직무 수행 시간동안 β 파 상대 주파수 스펙트럼 분석을 실시하였고 직무별 맵핑 데이터를 통해 뇌 활성도를 확인하였다.

Table 4와 Fig. 6은 피실험자 20명의 직무별 수행도에 따른 β 파 상대 스펙트럼 비율을 나타낸 것이다. 이 결과는 통계적으로 유의하지는 않았지만, 다음과 같은 경향을 나타냈다.

정답, 오답, 무응답 중 Task 1과 Task 2가 오답에서 가장 높은 값이 나타났으며 Task 3과 Task 4에서는 무응답에서

Table 4. Mean β frequency spectrum rate by task

Task	Correct Answer	Incorrect Answer	No Answer
T1	0.282	<u>0.588</u>	0.326
T2	0.259	<u>0.386</u>	<u>0.334</u>
T3	0.236	0.228	<u>0.321</u>
T4	0.228	<u>0.424</u>	<u>0.429</u>

Fig. 6. Mean β frequency spectrum according to task performance (performance success : correct answer, performance failure : incorrect and no answer)

가장 높은 값을 나타냈다. 정답에서는 β 파의 스펙트럼비율이 가장 낮게 나타났다. 수행도 실패 즉, 오답과 무응답에서 β 파 스펙트럼 비율이 오답에서는 Task 1과 Task 4순으로 높게 나타났으며 무응답에서는 Task 4, Task 3순으로 높게 나타났다. 이는 앞서 분석한 수행도 결과와 관련하여 반응시간이 긴 직무에서 수행도가 감소하며, 이는 뇌파분석 결과와도 일부 동일하다. 오답과 무응답은 수행도 실패로 구분할 수 있기 때문에 그림에서는 정답과 오답(오답과 무응답 시 밴드파워 스펙트럼 비율 합의 평균)으로 재분석한 결과이다.

수행도에 따른 뇌파 활성도를 분석한 결과는 Fig. 7과 같다. 직무를 수행하는 전체 시간을 다섯 구간으로 나누어 구간 내 β 밴드파워의 평균값을 계산하여 표시함으로써, 직무 수행결과별 뇌 활성도의 변화를 파악할 수 있었다. 성공적인 수행결과와 경우, 전체 직무 수행 시간 중 초기 뇌파 활성도가 높은 반면, 수행도가 실패인 경우는, 오답과 무응답 모두 직무 수행 시간이 뒤로 갈수록 뇌파 활성도가 높아진다는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 직무를 처리해야 하는 시간적 부담과 함께 인지적 처리가 원활하지 못한 결과로 해석할 수 있다.

Fig. 7. brain activity according to task performance time by performance result

Fig. 8. NASA-TLX result by task

4.3. 정신적 작업부하 분석 결과

피실험자의 직무수행에 따른 작업부하를 비교하기 위하여 시행된 NASA-TLX 분석 결과는 Fig. 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 6개의 평가항목 결과는 전반적으로 Task 1과 Task 4에서 높게 나타났다. 그 중에서 정신적 부하, 수행도, 노력수준, 좌절수준이 유의한 차이를 보였고 시간적 노력과 육체적 요구는 직무 간 유사한 결과를 나타냈다.

Task 1은 탐색 및 관찰 직무, Task 4는 정보 기억 직무로 4.1의 수행도 분석 결과와 비교한 결과 오답율이 높은 직무에서 정신적 부하가 높게 나타났으며 시간적 압박에 대한 노력수준도 높고 실패 시 좌절감에 따른 스트레스도 높게 나타남을 알 수 있었다. 유사한 디지털 기기 기반의 직무일지라도 직무 특성에 따라 사용자의 수행도 및 심리적 영향관계는 상이한 결과를 야기할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 디지털 기기 기반의 직무 수행 시 발생 가능한 인적오류 현안을 대표 실험직무로 선정하여 수행도, 생리적 척도, 작업부하로 위험성을 평가하였다. 본 연구는 기존의 사고, 사례 기반의 사후적 접근이 아닌 인적오류 발생 메커니즘에 대한 실험적 분석, 사전적 접근 방법으로 수행도와 정량적 실험 데이터, 주관적 평가 데이터의 복합적인 분석으로 디지털 기기의 인적오류 위험성을 확인할 수 있었다. 연구결과, 직무 특성에 따라 상당한 차이가 나타났으며 운전원들의 인지적 부하가 인적오류를 야기하는 상관관계가 있음을 확인하였다. 원전 종사자의 대표적인 데이터가 아니라 하더라도 디지털 기기 기반의 주제어실 설계 시 운전원들의 인지적 부하를 고려한 설계가 요구되며 아날로그식 주제어실에 익숙했던 정보처리를 디지털화하기 위한 교육 및 훈련의 필요성도 요구된다.

원전 주제어실 운전원의 정신적 작업부하는 새로운 인간 기계 시스템을 설계하거나 또는 기존의 시스템을 개선하는데 있어서 고려해야 할 중요한 요소임을 강조하며 현

장에서 운전원들의 복합적인 인지 부하를 평가함으로써 인적수행도의 실험적 평가도 가능함을 확인할 수 있었다.

감사의 글: 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(원자력 인적오류 대처기술 개발, No. 2012M2A8A 4004256).

References

- 1) Lee, S.J., and 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.
- 2) Lee, Y.H., Jang T.I. and Oh, Y.J., "Development of an Extremely Low Frequency Human Error Assessment Technology for Digital Devices and Its Applications to the Nuclear Fields", KAERI/ TR-4575, 2011.
- 3) Oh, Y.J. and Lee, Y.H., "A Study on EEG Signal and Human Error Potential While using a Digital Device in NPPs", *Proc. KNS fall conference*, 2011.
- 4) Oh, Y.J. and Lee, Y.H., "A Study on the Operator's Erroneous Responses to the New Human Interface of a Digital Device to be introduced to Nuclear Power Plants", *Proc. HCI conference, USA*, 2011.
- 5) Jang, T.I., Lee, Y.H., Oh, Y.J., and Lee Y.Ha., "A study on the Difference of Response Characteristics According to Description and Expression Method of Procedures", *The Journal of Korean society of safety*, Vol.28, No.1, pp.117-127, 2013.
- 6) Jung, W.D. and Kim, J.W., "A Framework for the Support of Predictive Cognitive Error Analysis of Emergency Tasks in Nuclear Power Plants", *The Journal of Korean society of safety*, Vol.16, No.3, pp.117-124, 2001.
- 7) Byun, S.N. and Choi, S.N., "An Evaluation of Operator Mental Workload of Advanced Control Facilities in Korea Next Generation Reactor", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.28, No.2, PP. 178-186, 2002.
- 8) Norman, D.A. and Bobrow, D.G., "On Data Limited and Resource Limited Processes", *Cognitive Psychology*, Vol.7, Issue.1, pp.44-64, 1975.
- 9) Lim, H.K., "Variation of Relative Power Characteristics in EEG while Inducing Human Errors", *The Journal of Korean society of safety*, Vol.23, No.3, pp.65-70, 2008.
- 10) Lim, H.K., "Influence of Work Difficulty Variation on EEG Characteristics Related with Human Errors", *The Journal of Korean society of safety*, Vol.25, No.3, pp.123-130, 2010.
- 11) Gerwin, S. and Jonathan, R.W., "EEG-based Communication: Presence of An Error Potential", *Ckubucak Beyriogtsuikigtm*, Vol.111, Issue12, pp.2138-2144, 2000.
- 12) Gethin, H. and Nick Y., "Dissociable Correlates of Response Conflict and Error Qwareness in Error Related Brain Activity", *Neurophychologia*, Vol.49, Issue3, pp.405-415, 2011.
- 13) Kim, J.W, Lee, S.J, and Jang, S.C., "Analysis of Human Error Potentials and Design-related Influencing Factors for Computer-based Procedure and Soft Controllers to Develop Human Reliability Analysis Method for Advanced Control Rooms", KAERI/TR-4207, 2012.