

The Application of Ecological Interface Design Methodology for Digitalized MCR in Nuclear Power Plant

Doo Wan Ra, Woo Chang Cha

Department of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Gyeongbuk, 730-701

ABSTRACT

Objective: This study proposes the application of Ecological Interface Design(EID) method that is effective for situation awareness in digitalized environment. **Background:** While cognitive interface design method such as Information Rich Display(IRD) is simply focused on existing information for user, EID method helps users' resource to be solved to higher abstraction task such as diagnostic and problem solving. **Method:** Using EID method based on Work Domain Analysis (WDA), it was analyzed and designed for Steam Generator(SG) Water Level control process in a digitalized Main Control Room of Nuclear Power Plant. Proposed EID example is evaluated through interviews by expert & operator. **Results:** The result of expert & operator showed that EID display might give an aid for operator's decision. **Conclusion:** The results can reduce critical accidental damage that occurred due to cognitive load and so critical human error. **Application:** This study may be impact on situation awareness study for digitalized interface design.

Keywords: Ecological interface design, Interface design, Nuclear power plant, Task analysis

1. Introduction

원자력 발전소는 크고 복잡한 시스템으로 운전원은 수많은 정보를 받아들이고 상황에 맞는 판단과 행동을 취해야만 한다. 이러한 판단과 행동은 시스템이 복잡해질수록 운전원에게 더 많은 직무 부하(workload)를 주게 되며, 인적 오류(human error)로 이어질 수 있다. 1979년 3월 스리마일 섬 원자력 발전소 2호기의 노심 용융사고로 일어난 스리마일 섬 원자력 발전소 사고(Three Mile Island accident), 1986년 4월 소련의 체르노빌 원자력 발전소에서 구조적 결함으로 발생한 체르노빌 원자력 발전소 사고(Chernobyl disaster) 그리고 최근 2011년 3월 후쿠시마 원자력 발전소 사고(Fukushima Daiichi nuclear disaster) 등이 인적 오류로 인한 대표적인 사고라 할 수 있겠다. 이러한 큰 피해

이외에도 국내 원전의 경우 운전원의 실수로 인한 원자력 발전소의 정지와 같은 사고가 연평균 2~3건으로 인적 오류를 줄이는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 인적 오류는 운전원의 인지적 부하에 따른 상황인지 및 판단의 실수로 생각해 볼 수 있으며, 이러한 실수를 막기 위한 노력으로 자동화나 aiding 등의 연구들이 많이 이루어지고 있다. 뿐만 아니라 기존 원자력 발전소의 MMIS는 아날로그 형태였지만 아랍 등에 수출하거나 새로 지어지는 신고리 3, 4호기의 경우 디지털 MMIS 자동화나 aiding 등의 보급이 더욱 중요한 시점이다. 하지만 복잡한 시스템의 경우 모든 시스템을 자동화 하는 것은 문제가 있다. 운전원 측면에서 자동화 시스템이 가지는 문제점으로는 인간 작업자가 모니터링 해야 하는 시스템 상태정보들이 증가하면서 이에 따른 인간의 작업 부하가 증가하며, 자동화 수준이 높아질수록 인간 작업자는 자동화된 기계를 과도하게 신뢰하는 경향을 가

Corresponding Author: Woo Chang Cha, Department of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Gyeongbuk, 730-701.
Mobile: +82-10-7143-8611, E-mail: chaw@kumoh.ac.kr

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>

지게 된다. 마지막으로 기계가 아무리 자동화된다고 해도 기계 지식베이스에 시스템과 외부환경의 모든 정보를 프로그래밍화하기는 거의 불가능하기 때문이다(Cha, 2010). 따라서 인지적인 인터페이스를 설계하여 운전원에게 충분한 보조 화면을 제시하고 인지적 부하를 줄일 필요가 있다.

인지적 인터페이스란 인지공학적 원리를 이용해 설계된 인터페이스로 운전원의 인지모형에 기초하여 인터페이스를 최적화 시키는 설계방법이다. 이러한 인지적 인터페이스 설계방법은 크게 두 가지로 IRD(Information Rich Display)와 EID(Ecological Interface Design) 방법이 있으며, 기존 연구나 설계에서는 IRD 방법이 많이 사용되어 왔다. IRD는 디스플레이에 표현되는 정보를 사용자에게 가능한 한 많이 표현하는 설계 원리로 많은 정보를 쉽게 구별할 수 있는 원리들로 되어 있다. 하지만 본 연구에서는 원자력 발전소 주 제어실의 보조 화면을 설계하는 방법론으로 EID를 사용하고자 한다.

EID는 생태학적 인터페이스 설계라는 이름으로 최근 화력이나 원자력 발전소와 같은 대형 시스템에서 연구되고 있는 화면 설계방법론으로 진단 및 문제해결 과제를 수행할 때 운전원들의 추상화 수준(level of abstraction)을 유연하게 이동시키며 문제를 해결할 수 있도록 도와주는 인터페이스 설계이다.

EID는 이미 많은 연구를 통하여 그 효과가 입증되어 왔다. Ham, Yoon(2001a, 2001b)의 연구에서 AH에 표현되는 함축된 시스템의 정보가 운전원에게 시각적으로 제시될 경우에 운전원이 시스템의 상태 진단과 제어를 효과적으로 수행하는 것을 실험적으로 증명하였으며 Hajdukiewicz와 Vicente(2002)는 실험을 통하여 운전원이 시스템의 예상치 못한 변화를 감지하고 처리하는 것을 지원하는 디자인이 필요하고, 가능하다는 것을 입증하여 EID가 이런 디자인을 위한 원리제공을 한다고 밝혔다. Burns 등(2007)은 원자력 발전소의 시뮬레이터에서 EID를 사용한 정보표시가 기존의 정보표시에 비해 상황인지도가 좋은지에 대한 실험을 하여 이를 증명하여 EID의 효과를 입증하였다. 디지털화 되는 원자력 발전소의 MMIS는 상황에 대한 인지가 더욱 중요시 되는 만큼 EID를 이용하여 설계될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 EID 방법론을 사용하여 원자력 발전소 주 제어실 보조 화면을 설계하여 예시안을 제시하며, 원자력 발전소에서 사용될 수 있는 인자를 표준화하여 각 인자에 적합한 화면표시 방법을 템플릿으로 구성할 것이다.

2. Method

2.1 EID

대부분의 디자인 설계는 작업자의 지식을 바탕으로 문제를 해결하도록 도와주는 정보에 초점을 맞추고 있다. 이러한 디자인 접근방법에 있어 중요한 특성중의 하나는 디자인하는 디스플레이에 작업영역(work domain)이 가지고 있는 본질적인 기능적 구조를 묘사하는 것이다. 이런 측면에서 EID는 효과적인 디스플레이를 디자인하기 위한 유용한 방법으로 사용되고 있다.

2.1.1 Background of EID

EID의 인터페이스 디자인에 적용하고 있는 생태학적 접근 방법은 Gibson에 주장된 ecological psychology 즉, 조직과 조직을 둘러싸고 있는 환경간의 상호작용을 강조하고 있는 개념에서부터 유래되었다(Gibson, 1979). 생태심리학적 시각에서 보면 인간과 작업환경은 상호적으로 연결되어 있기 때문에 서로 개별적으로 분리해서 연구하는 것은 불가능하다. 그러므로 생태학적 접근방법은 역동적인 시스템에서 인간의 행동에 대한 다양성을 설명할 수 있는 환경적 제한 요소의 분석에 초점을 맞추고 있다. 이러한 생태학적 접근방법을 기초로 Vicente와 Rasmussen은 EID라는 새로운 디자인 Framework를 개발하게 되었다(Vicente and Rasmussen, 1992).

2.1.2 Selection of work domain

EID Framework를 이용하여 분석하고자 하는 work domain은 인터뷰를 통하여 인지적 부하가 가장 큰 원자력 발전소 2차 계통 중 증기발생기(Steam Generator, SG) 수위 조절을 제어하는 시스템을 선정하였다(Figure 1).

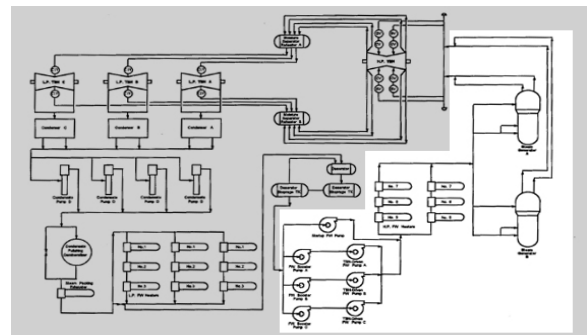


Figure 1. Main feedwater system

2.2 WDA

EID는 분석 전 작업영역에 대한 경계 (boundary)와 범위 (scale)를 설정하고, Rasmussen에 의해 제안된 AH (Abstraction Hierarchy)를 사용하여 분석한다. 상위 계층은 시스템의 목적을 표현하며, 하위 계층은 시스템의 목적달성을 위해 세분화된 여러 기능을 의미한다. Figure 2와 같이 각 단계의 관계는 Means-end 관계로 되어 있어 시스템의 목표달성을 위한 체계적인 정보구조를 취하게 된다.

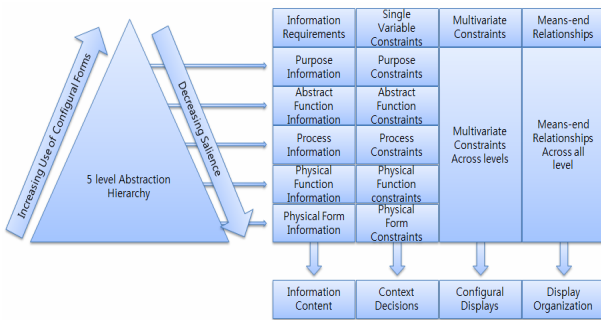


Figure 2. EID process(Burns 2004)

상위 계층인 FP(Functional Purpose) 단계에서는 목적을 정의하며, AF(Abstract Function) 단계는 작업영역의 인과 관계 묘사와 목적 수행에 필요 에너지의 양이나 흐름, 균형과 관련된 일반적인 원리나 법칙을 나타낸다. GF (Generalized Function) 단계는 AF 단계의 내용에 대한 구체적인 서술로 시스템의 프로세스를 설명하며, 마지막으로 PF(Physical Function) 단계는 '구성 요소(component)가 무엇인지?', '요소의 능력(capability)은 어느 정도인지?', '어려 프로세스를 어떻게 관련시키는지?' 등에 대한 내용을 묘사하며, 마지막으로 PF(Physical Form) 단계에서 장비의 물리적 외형과 위치 등을 묘사한다. Abstract Hierarchy를 통한 작업영역분석 결과를 토대로 각 단계에서 정보 요구사항 (information requirements)들을 도출하고 화면 설계를 하게 된다.

2.3 Task analysis

실제 원전의 작업영역을 분석하는 경우 WDA 방법론만으로는 필요한 정보 요구사항을 선택하는데 많은 어려움이 있다. 원전과 같이 규모가 큰 시스템의 경우 모든 시스템의 정보를 알고 있는 전문가가 거의 없으며, 대부분 한 분야에 대한 정보만을 가지는 경우가 많기 때문이다. 이러한 이유로

WDA를 통해 나온 인지들을 절차서 등의 직무분석 자료와 비교하여 선택된 인지들을 비교 분석할 필요가 있다.

2.4 Interview

연구 진행과정의 중간 결과물인 목적 선정, WDA의 결과, 정보 요구사항 도출 등의 정확성을 높이기 위해 운전원 및 원전 전문가를 통해 평가 받았다. 각 항목의 평가가 제대로 이루어지지 않고 넘어가는 경우 연구의 내용이 반복되거나 잘못된 방향으로 나아갈 수 있다.

2.5 AHP & Rating Scale

EID 결과물의 평가를 위해 AHP를 통하여 원전 화면 디스플레이의 주요 요소들의 가중치를 계산한 연구를 인용하였다(Jang, 2003). 이 연구를 토대로 5가지의 항목(Display Elements, Display Format, Windows, Information Coding, Interaction)을 선정하고 각 항목에 해당하는 설문을 7점 척도로 작성하였다. 평가 항목은 NUREG-0700을 참고하였다.

3. Results

적용할 시스템은 전문가 및 운전원과 충분한 인터뷰를 통하여 범위를 정확하게 선정해야 한다. EID는 대규모의 시스템 분석에 적합하지만 규모가 많이 커지는 경우에는 서브 시스템으로 나누어 분석할 필요가 있다.

본 연구는 원자력 발전소의 복잡한 직무 중 특히 인지적 부하가 가장 많이 걸리는 증기발생기 수위 제어 절차를 연구 범위로 선정하여 수행하였다.

3.1 Define the system

전체 시스템에서 증기발생기는 다른 시스템들과 서로 상호작용 하지만 본 연구에서는 연구의 범위 상 다른 시스템을 배제하였다.

증기발생기는 1차 계통의 원자로 및 가압기 등의 시스템에 영향을 받지만 원자로의 출력과 냉각재 평균 온도만을 대상으로 선정하였다. 2차 계통은 Figure 1의 흰색으로 표시된 부분에 해당하는 FW Booster Pump에서 Steam Flow Transmitters까지를 분석 대상으로 선정하였다.

3.2 Abstraction hierarchy

작업영역분석을 위해 먼저 대상 시스템의 목적(FP)을 선정한다. 목적은 계층구조의 최상위 계층으로 하위 계층의 구성에 큰 영향을 준다. 충분한 자료를 통해 시스템을 숙지하고 목적을 선정하며, 전문가인터뷰를 통해 의견을 조율한다.

본 연구에서 증기발생기의 수위 조절을 하는 인터페이스의 설계이므로 목적(FP)을 '사고방지'와 '수위유지'로 선택하였다.

목적이 정해지고 나면 목적에 해당하는 물리적 기능(PF)이나 물리적 형태(PF)를 먼저 나열하는 것이 연구를 진행하는데 좀 더 수월하다. 목적과 관련된 하드웨어를 나열함으로써 관련 항목들을 시스템 단위로 구분하기 쉽다. 증기발생기의 물리적 기능으로는 펌프, 가열기, 배송관, 밸브, u-tube, 수위계측기 등으로 펌프, 배송관, 밸브의 경우 여러 시스템에 공통적으로 포함된다. 물리적 형태(PF)는 각 부품의 형태로써 색이나 모양 등이다. 이것은 인터페이스로 구현하는 경우 각각의 모양을 좀 더 직관적으로 구현하는데 필요한 정보로서 밸브나 펌프 배송관 등은 각각 크기, 굵기, 마력 등이 다르기 때문에 특징에 따라 표현하는 방법이 달라져야 한다. 하지만 기존에 사용하던 표현 방법이 있다면, 모드 에러를 고려하여 기존의 방법을 따르는 것이 좋다.

물리적 기능에서 나온 항목들을 바탕으로 일반적 기능(GF)을 나열하면, (1) 펌프의 가동, (2) 가열기에 의한 열 증가, (3) 경수 흐름, (4) 밸브 개폐, (5) u-tube에 의한 열 증가, (6) 액체-기체 변환, (7) 증기 흐름 등이다.

각 시스템 구성 요소들은 전 계층에 걸쳐 Means-Ends 관계로 연결되어 있으며, 이 관계는 Abstraction Hierarchy 상에 잘 나타난다.

Abstraction Hierarchy의 모든 부분을 다 연결하고 나면 자문을 통해 추가할 내용이나 용어에 대한 선택 등을 의논하여, Figure 3과 같은 계층 형태를 만들어 낸다.

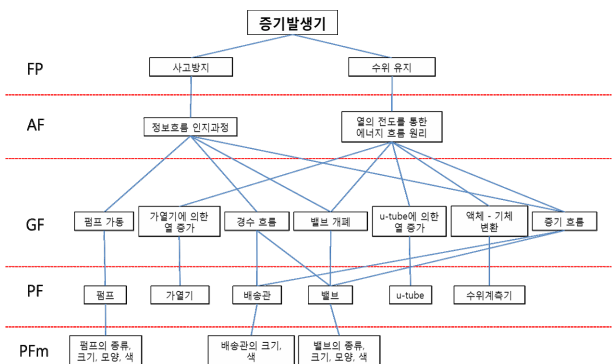


Figure 3. Abstraction hierarchy of SG

3.3 Information requirement

작업영역분석 결과를 바탕으로 항목을 시스템, 서브 시스템 그리고 구성(components)으로 구분을 한다. 이 과정을 Part-Whole Decomposition이라 하는데 이 과정은 시스템이 복잡한 경우 분석을 쉽게 할 수 있도록 도와준다. 그 결과는 아래 Figure 4와 같다. 각 결과물은 전문가인터뷰를 통해 검증을 받고 진행을 한다. Part-Whole Decomposition 내용을 바탕으로 정보 요구사항을 선택한 내용이 Figure 5이다. 도출한 필요 요구사항은 유량, 온도, 압력, 수위 등이다.

	System	Subsystem	Components
FP	수위유지 사고방지		
AF	열의 전도를 통한 에너지 흐름 원리 정보흐름 인지과정		
GF		펌프가동 가열기 열 증가 경수 흐름 밸브 개폐	u-tube 열 증가 액체-기체 변환 증기 흐름
PF			펌프 u-tube 밸브 가열기 배송관 수위 계측기

Figure 4. Part-Whole decomposition of SG

	System	Subsystem	Components
FP	수위유지 사고방지		
AF	열의 전도를 통한 에너지 흐름 원리 정보흐름 인지과정		
GF		압력, 원심력, 정보 온도 온도, 압력 흐름(경수), 정보 흐름(증기), 정보 흐름(경수, 증기)정보	
PF			압력, 원심력 흐름(증기, 경수) 흐름(경수, 증기) 온도 수위

Figure 5. Information requirement of SG

3.4 Task analysis

시스템이 크고 복잡할수록 분석의 정확성을 높이는 것이 매우 어려워진다. 이러한 경우 작업영역분석만으로 필요한 정보 요구사항(Information Requirement)을 선택하는 것

보다는 직무분석을 통하여 보충되는 것이 연구를 진행하는데 많은 도움이 된다. 원자력 발전소의 경우 절차서와 같은 직무분석 자료가 매우 잘 되어 있기 때문에 절차서를 바탕으로 필요한 요구사항을 선택한다. 그 항목으로는 유량, 압력, 온도 그리고 수위 등으로 이것은 작업영역분석 결과에서 나온 항목과 유사한 것을 확인 할 수 있었다.

3.5 Information display

각각의 요구사항들은 그 변수에 맞는 도형이나 그래프로 표시를 해나간다. 하지만 기존 형태에 큰 문제가 없는 경우 그 도형을 그대로 사용할 필요가 있다. Figure 6과 같이 밸브나 펌프와 같은 형태는 새로운 인터페이스로 구현하는 것보다 기존의 형태를 그대로 사용하며, 압력이나 온도와 같은 변수의 경우는 바 그래프의 형태로 표현하는 것이 효과적이다(Vicente and Rasmussen, 1992). 하지만 원자력 발전소의 경우 현재 상태를 파악하는 것도 중요하지만 경우에 따라서는 수치 정보가 필요한 경우가 있다. 이러한 경우 해당 수치를 표현할 필요가 있다.

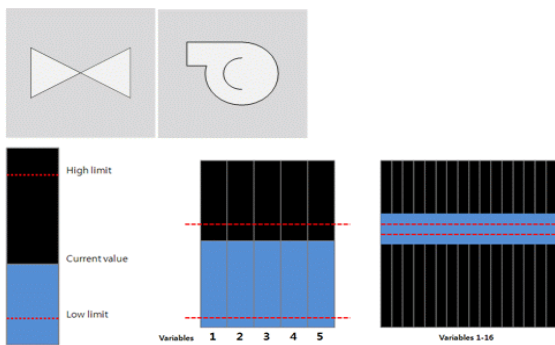


Figure 6. EID information display

3.6 EID display

기존에 증기발생기 수위를 조절하기 위해 사용하는 화면은 Figure 7과 같다. 한 화면에 최대한 많은 정보가 표현되어 있는 것을 확인할 수가 있다. Figure 8은 Information Display에서 나온 그래프들을 Abstraction Hierarchy의 배열에 맞춰 화면에 나열한 모습이다(KHNP, 2012). 이때 증기발생기나 원자로와 같은 기존에 사용하는 이미지들은 모드 에러(mode error)를 줄이기 위해 동일한 형태를 사용하였다. 일반적인 정보의 흐름은 좌측에서 우측으로 가는 것이 일반적이지만 원자력 발전소의 기존 디스플레이가 증기발생기의 경우 우측에서 좌측으로 향하고 있기 때문에 본 예시

안의 정보 흐름도 우측에서 좌측으로 향하도록 하였다.

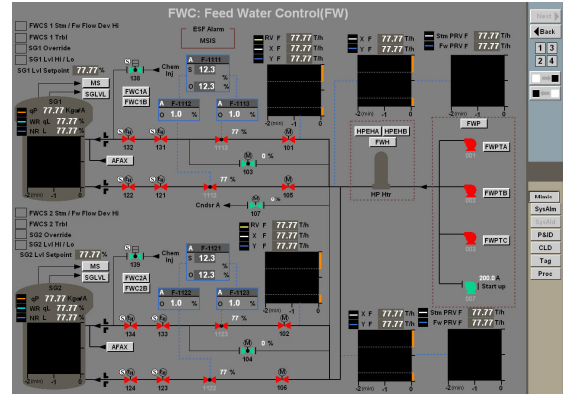


Figure 7. Conventional display SG

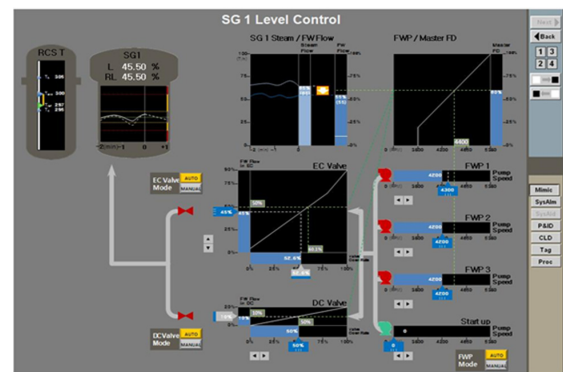


Figure 8. EID example SG

3.7 Display evaluation

EID를 이용한 예시안(Figure 8)은 원전 전문가의 인터뷰를 통하여 평가를 받았다. 실제 원자력 발전소를 제어하기 위해서는 수많은 정보를 받아들이고 통합하여 판단을 하게 되는데 EID 화면의 경우 IRD와 달리 많은 정보를 운전원에게 제공하지 못한다. 때문에 EID를 주 display로 사용하는 것은 문제가 있지만 보조 display로 사용하는 경우 운전원 판단에 도움을 줄 수 있을 것으로 평가 받았다.

3.8 AHP & Rating scale

본 연구 진행과정에서 대부분의 평가는 인터뷰를 통해 이루어졌다. 때문에 인터뷰 내용은 상황이나 대상에 따라 달라지거나 평가도 주관적으로 나올 수 밖에 없기 때문에 인터뷰

항목을 표준화할 필요가 있다. 이 연구를 위해 AHP를 이용하여 원전제어실 정보표시 평가 항목의 가중치를 연구한 자료를 바탕으로 구현한 디스플레이의 평가 항목을 선정하였으며, 항목의 평가 내용은 NUREG-0700 평가기준을 중심으로 작성하였다. 예를 들어 Display Elements 항목의 Graphs의 경우 설문 항목은 다음과 같다.

- (1) 그래프 정보표시의 일관성 정도
- (2) 그래프는 데이터를 해석할 만큼 충분한 정보를 제공 하는가?

각각의 설문 내용은 7점 척도로 평가되며, 결과 값은 가중치를 곱하여 합산 후 평가하고자 한다. 연구 범위상 항목을 구성만 하였으며, 실제 평가는 추후 연구를 통하여 사용하고 자 한다.

4. Conclusion

복잡한 시스템의 인적 오류는 큰 손실을 일으키며, 이를 줄이는 방법은 많이 연구되고 있지만 매해마다 계속되는 사고가 일어나고 있다. 이러한 인적 오류를 줄이기 위해 본 연구에서는 원자력 발전소의 2차 계통 중 증기발생기의 수위 제어 시스템의 화면(Figure 7)을 EID를 통하여 설계하고자 하였다. 결과 EID 화면으로 제시된 예시안(Figure 8)은 주 화면으로 사용하기에는 정보가 많이 부족하며, 보조 화면으로 사용하는 경우에는 운전원의 판단에 도움을 줄 수 있을 것으로 평가 받았다. 하지만 본 연구에서 연구의 범위를 증기발생기의 수위 제어로 정하여 진행을 하였기 때문에 충분한 정보 요구사항을 선택하지 못한 것으로 보여진다. 연구의 범위를 전체 시스템으로 정하여 필요한 정보 요구사항을 선택한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

연구 과정에서 Rasmussen에 의해 제안된 EID 방법론은 원자력 발전소에 대한 기본 지식이 부족한 경우에는 WDA만을 이용하여 분석을 하는데 많은 어려움이 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 부족한 부분을 효과적으로 채우기 위하여 인터뷰나 직무분석 등을 병행해야 하는 것을 알 수 있었다. 또한 인터뷰의 항목을 체계적으로 구성하면 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 보여진다.

차후 연구를 통하여 원자력 발전소 전체 시스템의 정보 요구사항들을 정리하고 각 항목에 따른 그래프 표시 형태를 표준화하여 템플릿으로 구성하고자 한다. 또한 rating scale을 통한 평가 방안에 대해 추가 개선 및 활용방안에 대해 좀 더 연구하고자 한다.

Acknowledgements

This paper was supported by Research Fund, Kumoh National Institute of Technology.

References

- Burns, C.M., Skraaning, Jr., G., Jamieson, G.A., Lau, N., Kwok, J., Welch, R. et al., "Evaluation of ecological interface design for Nuclear process control: Situation Awareness Effects.", *Human Factors*, 50(4), 663-679, 2008.
- Cha, Woo Chang., *Cognitive Engineering Design and Analysis of Human Machine System*, hanteemedia, p. 153-154, 2010.
- Gibson, J.J., *The Ecological Approach to Visual Perception*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1979.
- Hajdukiewicz, J.R. and Vicente, K.J., "Designing for Adaptation to Novelty and Change: Functional Information, Emergent Feature Graphics, and Higher-Level Control.", *Human Factors*, 44(4), 592-610, 2002.
- Ham, D., "The effects of presenting functionally abstracted information in fault diagnosis tasks.", *Reliability Engineering & System Safety*, 73(2), 103-119, 2001.
- Ham, D. and Yoon, W.C., "Design of Information Content and Layout for Process Control Based on Goal-Means Domain Analysis.", *Cognition, Technology & Work*, 3(4), 205-223, 2001.
- Jang, Sung-Pil., "The Selection of Human Factors Evaluation Criteria for Information Display on VDT", MS Thesis of Kumoh National Institute of Technology, p. 37, 2003.
- KHNP, *Development of Cognitive Engineering Display and Optimized Pattern Recognition Technique for Fault Detection*, A10NT01, KHNP technical report, 2012. 8.
- Vicente, K. & Rasmussen, J. "Ecological interface design: Theoretical foundation", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 22, 1-18, 1992.

Author listings

Doo Wan Ra: greenpea78@kumoh.ac.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, KIT

Position title: PhD candidate, Department of Industrial Engineering, KIT

Areas of interest: Cognitive Systems Engineering

Woo Chang Cha: chaw@kumoh.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, OSU

Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, KIT

Areas of interest: Cognitive Systems Engineering, HPP modeling

Date Received : 2012-12-12

Date Revised : 2013-01-28

Date Accepted : 2013-01-29