Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 28, No. 2 pp.1-8, May 2009

하이브리드 환경하의 인간기계시스템 제어실 평가에 관한 연구

차 우 창 · 김 남 철

금오공과대학교 산업시스템공학과

A Study of the Evaluation for the Control Room in Human Machine System Under Hybrid Environment

Woo Chang Cha, Nam Cheol Kim

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

ABSTRACT

While the operator's working environment employs the digital devices and technology which are not be fully digitalized due to its technical constraints, it has been changed to the hybrid environment in which digital and analog elements are combined. The hybrid environments need to study its characteristics and the guidelines for the proper design and evaluation purpose. This paper describes the characteristics and evaluation guidelines for hybrid environment through studying the characteristics of digital and analog environment based on the related human factor guidelines and literatures. The result of this paper would be applied for the human machine system such as main control room in nuclear power plant working under hybrid environment. And also, it may be applied for the evaluation of the generic human working environment which digital and analog elements are jointly used.

Keyword: Guideline, Evaluation, Nuclear power plant, Hybrid, Digital

1. 서 론

컴퓨터 기술이 발전하면서 작업장의 작업 환경이 점차 디지털화되어 가고 있고 부분적으로 디지털 인터페이스를 채용하면서 아날로그 형태와 디지털 형태의 인터페이스가 혼재된 복합적 시스템 인터페이스가 늘어가고 있다.

이러한 변화는 원전에도 적용되어서 현재 건설 예정인 신고리 3, 4호기의 APR-1400 모델은 기존 아날로그 환경의 주제어실에서 디지털 제어장치와 화면표시 장치들로 구성된 인터페이스로 대체될 예정이다.

인간의 정신모형이 디지털 보다는 아날로그에 더 부합되고 현재의 디지털 기반의 설계 및 평가 기술은 한계가 있기 때문에 현재 인터페이스 기술의 추세는 디지털과 아날로그 기술들을 통합하는 방향으로 진행되고 있는데 이러한 기술들이 통합된 시스템을 하이브리드 시스템이라고 부르고 이러한 시스템들을 통합하는데 사용되는 기술을 융합(fusion) 기술이라 부르고 있다.

예컨대, 2008년 8월 수명을 다한 우리나라 최초의 원자력 발전소인 고리 1호기는 계속 운전 설계를 위해 비용과 운전원의 정신모형 등을 고려하여 기존 아날로그 환경의 주제어실을 다수의 VDT(Visual Display Terminal)를 이용한 디지털과 아날로그의 중간 형태인 하이브리드 작업 환경을 채택하고 있다.

교신저자: 차우창
주 소: 경북 구미시 양호동 1번지 글로발관 612호, 전화: 054-478-7657, E-mail: chaw@kumoh.ac.kr

그러나 원전 주제어실에 관해 선행된 연구들 중에서 디지털과 아날로그 형태가 혼재된 하이브리드 환경의 원전 주제어실에 관한 연구는 많지 않다. 또한 하이브리드 주제어실을 평가하기 위한 인간공학 지침들 또한 새로운 기기에 대한 특성이 추가되는 형태로 개정만 되었을 뿐 하이브리드 환경 특성에 따른 평가 항목들이 체계화되지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 각종 문헌과 지침을 조사하여 디지털과 아날로그에 대한 장단점 및 특성에 대해 알아보고 이를 바탕으로 디지털과 아날로그가 혼재된 하이브리드에 대한 특성을 알아보며, 하이브리드 환경에 알맞은 인간공학 지침의 요소들과 관련된 지침 항목들을 선별하고자 한다.

2. 연구 방법

하이브리드 환경에 적합한 지침 항목을 추출하기 위하여 그림 1과 같은 수행 체계를 가지고 연구를 수행하였다.

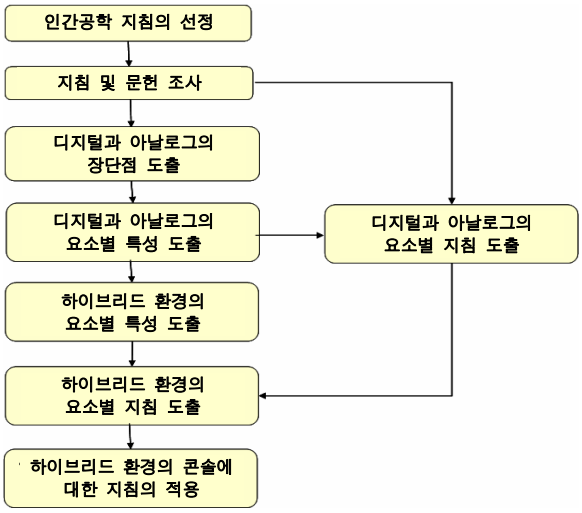

그림 1. 연구 수행 체계

2.1 지침의 선정

사용된 인간공학 지침은 정부기관에서 발행한 4가지 지침과 비정부기관에서 발행한 지침 중 6종의 원전 관련 지침과 6종의 비원전 관련 지침 총 16종의 인간공학 지침을 인간공학적 요소를 통합적으로 사용한 한국원자력안전기술원의 일원화지침 연구(차우창, 2007)를 기반으로 선정하였다. 이 일원화 지침은 화면 설계에서부터 환경적인 부분까지 다양한 항목에서 통합된 지침이다.

하지만 이 일원화 지침은 아날로그나 하이브리드 환경보다는 디지털 환경에 좀 더 중점을 둔 지침이어서 아날로그에 대한 요소를 보충적으로 설명하기 위해 원자력 관련 분야의 NUREG 0700 Rev.2, IEEE-STD-1289, HF-010, 그리고 컴퓨터 워크스테이션 설계 지침에 관한 일반 지침 분야의 MIL-STD-1472F, American National Standard Institute HFES 100, HFDG 2003(FAA), NASA STD-3000, ISO9241, TCO03 등의 지침을 참조하였다(차우창 2005).

2.2 디지털과 아날로그의 장단점 조사

21종의 참고문헌을 분석한 결과 디지털과 아날로그인터페이스의 장단점을 운전성과 유지보수성, 거주성 측면에서 비교 기술하였다[김남철, 2007]. *운전성*이란 운전원이 기기를 조작하고 시스템과의 상호작용을 통해 다시 필요한 조치를 내리는 것과 관련된 요소들을 뜻한다. 그리고 *유지보수성*이란 시스템이 정상적으로 운전하기 위해 행해지는 Hardware 혹은 Software 유지보수 작업과 그에 따른 비용 등과 관련된 요소들을 의미한다. 마지막으로 *거주성*이란 운전원이 운전 및 편의설비 이용을 위해 움직이는 것과 관련된 요소들을 의미한다.

디지털은 아날로그에 비해 운전성, 유지보수성, 거주성 측면에서 많은 장점들을 가지고 있으나 그에 비해 단점 또한 많은 것이 사실이다. 디지털로 정보를 처리하더라도 사람에게 보이기 위해 다시 아날로그 형태로 바꾸는 것은 아날로그 방식의 디스플레이가 디지털에 비해 주정보와 관련된 다른 정보를 많이 알려준다는 장점이 있기 때문이라고 생각된다. 이와 같은 이유로 오늘날의 많은 디지털 기기들이 내부적인 신호는 디지털로 처리하고 디스플레이는 아날로그 형태로 보여진다고 생각할 수 있다.

2.3 디지털과 아날로그의 특성조사

디지털과 아날로그의 장단점과 더불어 각종 문헌 및 지침을 통해 아날로그, 디지털의 특성을 비교해 보았다.[23] 이 특성들을 좀 더 쉽게 비교하기 위해 특성요소들을 HCI 구성 요소에 주변 환경적 요소를 더한 인적 요소, 기계적 요소, 상호작용 요소, 환경적 요소로 나누었다. *인적 요소*란 HCI의 구성 요소 중 사람에 해당하는 것으로 주로 작업 자세나 작업에 따른 질환, 정신모형 등과 같은 부분이 해당되며 본 연구에서는 사람의 작업 자세에 따라 사용되는 책상, 의자 등도 이 항목에서 언급하도록 하였다. *기계적 요소*는 하드웨어적인 부분을 이야기 하는 것으로 크게 Control과 Display 부분으로 나눌 수 있다. *상호작용 요소*란 인간과

기계를 이어주는 역할을 하는 요소를 의미하는 것으로 기계적 요소와 마찬가지로 크게 Control과 Display에 대한 부분으로 나눌 수 있다. 대표적인 항목으로 Feedback과 Error Management 같은 부분을 언급할 수 있었으며 Feedback은 Visual한 부분, Auditory한 부분, Tactile한 부분으로 나눌 수 있었다. 마지막으로 *환경적 요소*는 인간과 기계를 감싸고 있는 주위 환경을 이야기하는 것으로 조명, 소음, 진동, 자기장 및 전기장, 온도 및 습도, 환기에 대한 부분이 해당된다.

인적 요소, 기계적 요소, 상호작용 요소, 환경적 요소에 포함될 수 있는 디지털과 아날로그의 대표적인 특성들에 관해 나열해 보면 아날로그에서 디지털로 환경이 바뀌면서 나타나는 특징은 VDT 기반으로 업무가 바뀌면서 화면 설계 및 상호작용에 대한 비중이 커졌다는 점을 발견할 수 있다. 이는 물리적으로 제한된 화면에서 감시와 제어를 위한 직무수행이 다른 요소들에도 영향을 끼친 것으로 생각해 볼 수 있다. 환경적 요소 부분에서는 직무에 따른 조명 수준을 제외하고는 디지털과 아날로그가 공통된 이야기를 하고 있었다. 따라서 본 연구에서는 환경적 요소에서 조명 수준을 제외한 다른 부분에 대해서는 지침에서만 언급하였다.

2.4 하이브리드 환경 요소 추출

앞서서 정의한 디지털과 아날로그, 하이브리드의 개념을 통해 특성 및 지침을 분리할 원칙을 정했다.

첫째, 본 연구에서 정의한 하이브리드의 모델이 개선 예정인 고리 1호기이므로 VDT를 이용한 감시와 하드와이어 기기를 이용한 제어를 하이브리드의 기본 형태로 정의하였다. 즉, 디지털에서 VDT를 이용한 특성과 아날로그에서 하드와이어 기기를 통한 제어의 특성을 모두 하이브리드의 특성으로 간주하였다.

둘째, 디지털과 아날로그에 공통적으로 나타나는 특성은 하이브리드에서도 언급하였다. 예를 들어, 환경적 요소에서는 직무별 조명 수준에 대한 항목을 제외하고는 소음, 진동, 온도 등에서 아날로그와 디지털 모두 같은 내용을 언급하고 있다. 이들은 디지털과 아날로그에 상관없이 해당되는 부분이므로 하이브리드 환경에서도 언급하도록 하였다.

3. 연구결과

3.1 하이브리드 환경의 특성

앞서 이야기한 원칙과 더불어 디지털과 아날로그의 특성을 바탕으로 VDT를 이용한 감시업무와 하드와이어 기기를 통해 제어하는 하이브리드 환경의 특성에 대해 알아보았다.

인적 요소의 대표적인 특성으로는 새롭게 VDT를 도입한 작업이 생기면서 그에 따른 문제점과 화면 설계 및 콘솔의 설계와 배치에 따라 디지털과 아날로그의 장점만을 가지거나 반대로 단점만을 가질 수 있다는 것을 알 수 있었다.

기계적 요소의 경우 새롭게 등장한 Control과 Display가 두드러진 특징으로 나타났으며, 상호작용 요소의 경우 VDT를 이용한 작업에서 원하는 정보를 찾기 위한 Navigation이나 Soft control을 제어하기 위한 Direct manipulation같은 항목이 주요 특징으로 나타났다. 마지막으로 환경적 요소에서는 VDT를 주 업무로 이용하는 부분과 그렇지 않은 부분에 대한 조명 수준에 차이가 있음을 알 수 있었고 그 외에 소음이나 진동, 온도/습도 및 환기, 정전기 및 자기장에 대한 부분은 디지털과 아날로그, 하이브리드 모두가 같은 내용을 이야기를 하고 있음을 알 수 있었다. 추출된 특성들에 대한 결과의 신뢰성을 높이기 위해 지침을 종합적으로 분석하여 작성된 내용을 전문가의 검증을 수행하였다. [10] [11]

3.1.1 요소별 하이브리드 환경의 특성(VDT 감시 + MCB 제어)

<u>인적 요소</u>

- VDT를 이용한 장시간 작업의 경우 디지털 피로 및 VDT 증후군과 같은 질환에 노출될 수 있음
- 정보표시화면설계 및 아날로그 스타일의 Main Control Board(이하 MCB) 내의 Control들의 배치 등에 따라 육체적, 인지적 부담이 결정됨
- 조작을 위한 MCB의 사용이 빈번해질 경우 육체적, 정신적 부담이 함께 증가할 수도 있음
- 자동화 수준을 높이면 정상 상황에는 운전원의 직무부담이 감소하나, 비정상 상황에서는 시스템에 대한 지식을 제대로 이용하지 못하는 현상을 초래함

<u>기계적 요소</u>

- 새로운 Control & Display Unit의 등장에 따른 특성 발생
- 유지보수의 비용 및 용이함이 디지털과 아날로그의 중간 정도임

<u>상호작용 요소</u>

- 화면 내의 작업을 위한 Soft control의 특성 및 Soft control들을 제어하기 위한 Direct manipulation과 같은 특성을 파악해야 함
- MCB에서 조작되는 Legend button의 특성을 파악이 필요함
- MCB 내의 control이 display와의 연관성을 나타내기 위한

배치 등의 고려
- VDT 환경에서의 에러 수정 및 복구기능 제공
- 정보표시 화면의 물리적 크기의 제한으로 인해 원하는 정보를 찾아가기 위한 Navigation의 역할이 커짐
- Navigation 문제의 경우 정보를 시스템과 직무 중 어느 것을 중심으로 설계하는지가 관건임

환경적 요소
- VDT를 이용한 작업이 이루어지는 곳과 그렇지 않은 곳에 요구되는 조명 수준의 차이가 있음
- 소음, 진동, 온도/습도 및 환기, 정전기 및 자기장의 경우 디지털과 아날로그, 하이브리드 모두 같은 내용을 이야기하고 있음

3.2 하이브리드 환경의 지침

위에서 언급된 하이브리드에 대한 특성을 바탕으로 하이브리드에 관련된 인간공학 지침에 대해 알아보았다. 인적 요소에서는 전용 콘솔과 공용 콘솔에 따른 운전원의 작업자세나 운전원 편의와 같은 항목이 포함되었고 기계적 요소 부분에서는 전용 콘솔에서 사용될 VDT의 화면을 제어하기 위한 컴퓨터 기반의 제어 기기들과 VDT로 사용될 Flat Panel Display(FPD) 중에서 현재 채택 예정인 LCD, 공용 콘솔에서 주로 사용될 Legend button, 그리고 유지보수에 대한 항목이 언급되었다.

상호작용 요소에서는 화면의 요소들을 조작할 Direct manipulation과 같은 항목과 Legend button의 조작에 따른 상호작용과 MCB에서의 Control과 Tag에 대한 배치를 중점적으로 언급하였다. 마지막으로 환경적인 부분에서는 직무별 조명 수준을 제외하고는 디지털과 아날로그, 하이브리드 모두가 같은 내용이기에 하이브리드 환경에 적합하다고 여겨지는 직무를 가려내고 그에 따른 조명 수준을 언급하는 것에 중점을 두었다. 여기서 언급된 업무에 따른 조명 수준 중에서 NUREG 0700 Rev.2와 다른 인간공학 가이드라인에서 작지만 내용상 충돌을 일으키는 부분이 있어서 그런 경우에는 NUREG 0700 Rev.2에 대한 내용만 남기고 나머지는 삭제하였다. 요소별로 언급된 대표적인 지침 항목들은 아래와 같다.

3.2.1 요소별 하이브리드 환경의 지침(VDT 감시 + MCB 제어)

인적 요소
- Sit down console의 경우 콘솔의 높이는 의자 위에서 약 27인치보다 낮아야 한다.[11]
- Sit down console에서 의자 높이를 18인치까지 조절할 수 있다면, 바닥에서부터 콘솔의 최대 높이는 45인치가 되어야 한다.[11]
- Sit down console에서 control은 콘솔의 앞부분 가장자리에서 3인치 정도 떨어져 있어야 한다.[11]
- Sit down console에서 정밀성이 요구되거나 자주 사용되는 control들은 의자로부터 8~29인치 정도의 높이에 있어야 한다.[11]
- Sit down console에서 모든 display는 수평 line of sight에서 위로 45~75도 내에 있어야 한다(5th percentile female 기준).[11]
- Sit down console에서 자주 혹은 계속 모니터링하거나 중요한 정보를 표시하는 Display는 운전원의 수직 line of sight를 중심으로 왼쪽 35도에서 오른쪽 35도까지에 위치해야 하며, 수평 line of sight를 기준으로 위로는 20도, 아래로는 40도를 넘어선 안 된다.[11]
- Sit down console에서 자주 혹은 지속적으로 보지 않거나 중요치 않은 정보를 표시하는 Display의 경우에는 운전원의 수직 line of sight를 기준으로 왼쪽에서 오른쪽까지 95도를 넘어선 안 된다.[11]
- Sit down console에서 자세히 봐야 하거나 자주 봐야 하는 Display는 의자에서 36~89cm 내에 있어야 하며, 중심에서 53cm 이상 벗어나선 안 된다.[11]
- Sit down console과 같이 앉아서 작업하는 콘솔에서 수평선 위로 봐야 한다면, 중요한 시각적 경보창은 의자에서 57cm 이하에 있어야 한다.[11]
- Sit down console에서 앉은 사람이 다리와 발을 편하게 둘 수 있는 충분한 공간이 있어야 한다.[11]
- Sit down console에서 시야거리는 33~80cm가 되어야 하며, 46~61cm가 좋다.[11]
- Stand up console에서 사용자가 콘솔위로 보는 일이 있는 경우, 콘솔의 높이는 58인치를 넘어선 안 된다.[11]
- Stand up console에서 control은 콘솔의 앞 가장자리에서 최소 3인치 떨어져야 하며, 25인치 이상 떨어져선 안 된다.[11]
- Stand up console에서 모든 display는 수평 line of sight에서 위로 45~75도 내에 있어야 한다.(5th percentile female 기준).[11]
- Stand up console에서 자주 혹은 계속 모니터링하거나 중요한 정보를 표시하는 Display는 운전원의 수직 line of sight를 중심으로 왼쪽 35도에서 오른쪽 35도까지에 위치해야 하며, 수평 line of sight를 기준으로 위로는 35도, 아래로는 25도를 넘어선 안 된다.[11]
- Stand up console에서 자주 혹은 지속적으로 보지 않거나 중요치 않은 정보를 표시하는 Display의 경우에는 운전원의 수직 line of sight를 기준으로 왼쪽에서 오른쪽까

지 95도를 넘어선 안 된다.[11]
- Stand up console에서 CRT를 포함한 주요 제어 기기와 Display들은 주요 작업영역에 위치해야 한다.[11]
- Single user workstation에서 control과 display가 최대로 퍼질 수 있는 범위는 72인치를 넘어선 안 된다.[11]
- Stand up console에서 사용자의 발을 위한 공간은 최소 높이 10cm, 넓이 51cm, 깊이 10cm가 되어야 한다.[11]
- Horizontal wrap around console에서 콘솔 너머로 보는 작업이 있을 경우 중앙의 화면은 112cm 이하여야 하고, 왼쪽과 오른쪽에 위치한 화면은 61cm를 넘어선 안 된다.[11]
- Horizontal wrap around console에서 콘솔 너머로 보는 작업이 없으면, 콘솔의 높이는 69cm를 넘어도 괜찮으며, 중앙의 화면은 86cm 이하여야 하고 왼쪽과 오른쪽의 화면은 61cm 이하여야 한다.[11]
- 운전원용 화장실은 주제어실 근처에 있어야 한다.[18]
- 운전원은 주제어실을 벗어나지 않고 물과 같은 음료를 마실 수 있어야 한다.[18]

기계적 요소
- 키보드 내의 키의 배치는 ANSI 표준형 배치(QWERT)여야 한다.[11]
- 숫자를 입력해야만 하는 작업일 경우 키보드는 numeric keypad를 제공해야 한다.[11]
- F키와 J키, numeric keypad의 5키에는 키보드의 올바른 자리를 느낄 수 있게 하기 위해 다른 키와는 촉각적으로 구별되어야 한다.[11]
- Toggle 키는 자신의 상태를 나타내 주어야 한다.[11]
- 마우스는 한 손으로 조작이 가능한 모양이어야 한다.[11]
- 마우스는 반대 손으로도 자연스럽게 사용할 수 있어야 한다.[11]
- 트랙볼의 볼은 어느 방향으로나 움직일 수 있어야 한다.[11]
- 트랙볼에서 볼의 조작은 오직 방향을 제어하는 것에만 쓰이도록 해야 한다.[11]
- VDU는 flicker나 Jitter가 없어야 한다.[11]
- VDT의 refresh rate는 55Hz보다 작아선 안 된다.[11]
- LCD의 backlight의 양은 최소화되어야 한다.[11]
- LCD는 적절한 조명 수준에서 사용되어야 한다.[11]
- 모든 환경조건에서 legend는 읽혀질 수 있어야 한다.[12]
- 제어반은 직립형이어야 하며 뒤에서 접근할 수 있어야 한다.[18]
- 제어반은 열기 쉽고 방화벽, 내진 지지대 및 내부 케이블 선로 등에 방해 받지 않고 접근하기가 용이해야 한다.[18]
- 주제어반 및 원격정지반 내부에는 영구적으로 설치된 조명이 제공되어야 한다.[18]
- 유지보수 시 자주 필요할 수 있는 휴대용 임시 조명 및 시험장비에 전원을 공급하기 위한 AC 전원 콘센트가 제공되어야 한다.[18]

상호작용 요소
- 직접조작은 액션과 그림형식으로 표현된 개체로 과제를 수행할 때 기본적으로 사용된다. 또한 성공적으로 명령을 수행하도록 액션과 대상개체는 동기화 되어야 한다.[10]
- 사용자가 시스템 내부의 메커니즘에 대한 이해없이 조작할 수 있어야 한다.[10]
- 직접조작 인터페이스에는 데이터 파일이나 메뉴 등 쉽게 그래픽 아이콘으로 표현할 수 있는 윈도우 개체가 포함된다.[10]
- 직접조작은 컴퓨터 연산 처리가 늦는 경우에 사용해서는 안 된다.[10]
- 직접조작 인터페이스는 작업의 상황을 바로 눈으로 확인할 수 있어야 한다.[10]
- 디스플레이상에서 포인팅이 자주 사용될 경우에는 사용자의 다른 액션이 포인팅에 의해 이루어 질 수 있도록 해야하고 사용자의 입력장치 사이의 이동을 최소화할 수 있도록 인터페이스를 설계해야 한다.[10]
- 연속적인 패닝과 스크롤을 이용하여 큰 출력(output)을 볼 때 디스플레이 프레임(frame)의 가장자리에 현재의 위치를 표시하는 그래픽 지표(indicator)를 제공해야 한다.[10]
- 문자나 표, 그래픽 선택의 영역이 표시된 페이지를 초과할 때 스크린은 자동적으로 사용자가 선택을 멈춘 부분이나 디스플레이 페이지의 마지막 지점까지 스크롤로 표시해야 한다.[10]
- 사용자의 액션을 처리하는데 2초 이상이 걸리거나 사용자의 추가 입력을 처리할 수 없는 상태일 때 시스템이나 응용 프로그램은 이전 액션의 처리중임을 표시하여야 한다.[10]
- 사용자가 시스템의 처리로 인해 기다려야 할 경우에는 다른 작업이 가능하기 전까지 '작업중' 이나 '처리중' 또는 '기다려 주십시오' 등의 메시지나 적절한 아이콘으로 표시해야 한다. 만약 대기 시간이 15초 이상일 경우 사용자에게 반드시 알려야 한다. 60초 이상 초과할 경우에는 남은 시간을 카운트다운 형식으로 디스플레이 해야 한다.[10]
- 15초 이상 소요된 후에 사용자가 입력해야 할 경우에는 처리과정이 끝난 후에 지시등이나 소리로 사용자에게 명확하게 표시해야 한다.[10]
- 사용자의 입력값을 거부할 때는 거부의 이유와 정정방식을 설명하는 피드백을 제공해야 한다.[10]

- 시스템이 과부하 상태거나 처리가 지연될 때 사용자에게 지연에 대한 이유를 알려야 한다.[10]
- 기기가 조작되는 동안 모니터링 되는 Display를 충분히 가깝게 위치해 있어야 한다.[12]
- Control과 Display는 control이 조작되는 동안 display가 모호하지 않도록 위치해 있어야 한다.[12]
- 관련된 control과 display들은 쉽게 알아볼 수 있어야 한다.[12]
- 다수의 control과 하나의 display일 때, control들은 display 아래에 위치해 있어야 한다.[12]
- 만약 바로 아래에 위치하기 어렵다면 control들은 display의 오른쪽에 위치해야 한다.[12]
- 다수의 control들은 선이나 행렬 형태로 그룹화되어야 한다.[12]
- 하나의 control에 다수의 display일 경우 다수의 display들은 하나의 control 위쪽에 위치해야 한다.[12]
- 만약 그럴 수 없다면 display들은 control의 왼쪽에 위치해야 한다.[12]
- 다수의 display들은 수평 혹은 행렬 형태로 배열되어야 한다.
- 어떠한 control의 움직임에도 display로 부터의 피드백은 분명해야 한다.[12]

환경적 요소

- VDU상의 내용을 읽을 때의 조명은 10ftc이 좋다.[12]
- Business machine operation(calculator, digital input, etc)의 경우 조명은 최소 50ftc이 되어야 하며, 100ftc이 좋다.[13][14]
- 인쇄되거나 타이핑된 문서를 읽을 때의 조명은 50ftc이 좋다.[12]
- Console surface의 조명은 최소 30ftc이 되어야 하며, 50ftc이 좋다.[13][14]
- 전자 장비를 시험하는 곳의 조명은 최소 30ftc이 되어야 하며, 50ftc이 좋다.[13][14]
- Emergency operating lighting은 10ftc이 좋다.[12]
- Emergency lighting은 최소 3ftc이 되어야 한다.[13][14]
- 주위의 소음은 65dB를 넘어선 안 된다.[12]
- 경보음은 주변의 소음보다 10dB 더 높아야 한다.[11]
- 작업 요소의 기능과 안정성에 영향을 받지 않도록 진동은 피해야 한다.[11]
- 주제어실의 평균 온도는 습도 30~60%에서 겨울에는 68~75°F를, 여름에는 73~79°F를 유지해야 한다.[12]
- 머리와 바닥의 온도차는 10°F를 넘어선 안 된다.[12]
- 주제어실의 환기는 분당 20 Cubic Feet 이상의 신선한 공기를 제공할 수 있도록 해야 한다.[12]
- 공기의 속도는 머리 위에서 측정했을 때, 분당 45feet 이하가 되어야 한다.[12]
- Optical Display를 통해 보여지는 정보의 질은 외부로부터 전기장 및 자기장의 영향을 받아선 안 된다.[11]

3.3 하이브리드 환경의 콘솔(Console)에 대한 적용

앞의 과정을 통해 얻어진 하이브리드의 특성과 지침들을 가지고 개선 예정인 고리 1호기의 콘솔을 평가 적용시켜 보았다.[9] 개선 예정인 고리 1호기의 경우 기존 아날로그 형태의 주제어실에서는 없었던 전용 콘솔의 개념이 도입되었다. VDT를 이용하여 전용 콘솔로 모니터링을 하고 공용 콘솔인 MCB에서 필요한 조작이 이루어지는 작업 방식을 선택할 예정이다.

인간공학 지침을 토대로 분류해 본 결과 운전원 콘솔은 Sit-down, Stand-up, Sit-Stand 등의 형태가 있다. 먼저, Sit-down 콘솔은 주로 VDU 기반 운전직무를 수행하거나, MCB의 MMI 기기와 상호작용을 통한 운전직무를 수행할 때 주로 사용되는 형태이며, Stand-up 콘솔은 주로 하드와이어 MMI 기기를 조작하거나 감시와 같은 운전직무를 수행할 때 주로 사용되는 형태이다. Sit-Stand 콘솔은 착석식과 입석식을 모두 고려한 형태이나 다른 콘솔의 장점을 거의 살리지 못하지 때문에 현재는 거의 사용되지 않는 형태이다.

3.3.1 전용 콘솔 관련 지침

인적 요소에서는 전용 콘솔이 가질 수 있는 형태를 언급하였다. Sit down console과 Horizontal wrap around console이 혼합된 형태이므로 이들에 대한 지침을 언급하였다. 기계적 요소에서는 전용 콘솔에서 VDT를 이용한 감시 작업을 위한 내용들이 언급되었는데 LCD와 키보드, 마우스, 트랙볼의 내용이 주로 언급되었다. 상호작용 요소에서는 VDT 화면을 통한 작업에 대해 direct manipulation과 같은 부분이 주로 언급되었다. 마지막으로 환경적 요소에서는 콘솔의 형태를 고려하여 직무에 따른 조명 수준을 언급하고 소음, 진동 등과 같은 부분에서도 언급하였다.

3.3.2 공용 콘솔 관련 지침

인적 요소 부분에서는 stand up 콘솔 형태에 관한 내용을 언급하였고 기계적 요소 부분에서는 MCB에서 주요 제어기기로 사용되는 Legend button과 LCD 및 유지보수에 관한 내용에 대해 언급하고 있다. 상호작용 요소 부분에서는 Legend button과 tag 간의 관계 및 그룹화를 위한 항목이 주로 언급되었다. 환경적 요소는 조명 수준에 대한 부분을 제외하고는 전용 콘솔과 같다.

4. 결론 및 검토

본 연구에서는 디지털과 아날로그의 특성을 통해 하이브리드 형태의 원전 주제어실이 가질 수 있는 특징과 그에 따른 인간공학 지침을 인적 요소, 기계적 요소, 상호작용 요소, 환경적 요소로 나누어 알아보고자 하였다.

인적 요소의 측면에서 하이브리드 시스템은 설계에 따라 가장 많은 변동을 가질 수 있음을 예측할 수 있었다. VDU를 이용한 부분 디지털 환경이다 보니 VDU 내의 정보표시 설계나 Navigation 설계 등의 부분에 문제가 있을 경우 인지적 부하와 육체적 부하 모두가 증가할 수도 있을 것이다. 또한 오랜 시간 VDU를 이용한 작업을 행할 경우 디지털 피로 및 VDT 증후군과 같은 신종 질환에 노출될 가능성도 있었다.

기계적 요소의 측면에서는 새로운 기기들이 등장한다는 점이다. PC가 도입되면서 키보드, 마우스, 트랙볼과 같은 컴퓨터 기반의 제어 기기들이 등장했고, Display 기기들에서는 기존의 CRT 중심에서 LCD와 같은 FPD의 Display 기기들이 등장하여 기술들에 대한 예측과 평가가 필요하였다.

상호작용 요소 측면에서는 기존의 Conventional Control device를 조작하면서 나타났던 feedback 및 에러관리 등의 특징에 Navigation, Direct Manipulation 등과 같은 VDU 작업에서의 feedback 및 에러관리 등의 특성이 추가되었다. 인적 요소에서도 언급했듯이 상호작용 요소를 얼마나 잘 설계하느냐에 따라 인적 요소에서 나타났던 특징들이 장점이 될 수도 있고 단점이 될 수도 있다.

환경적 요소 중에서는 가장 큰 특징을 나타냈던 부분이 조명에 대한 부분이다. 직무에 따른 조명 수준과 VDU를 이용함으로써 주의해야 할 Glare 등의 특징이 두드러지게 나타났다. 하지만 소음, 온도/습도 및 환기, 진동은 인간에게 적합한 일정 수준을 언급하는 것으로 그쳤고 정전기나 자기장에 대한 부분은 NUREG 0700 Rev.2에서는 아예 언급조차 되지 않고 있었다. 정전기 및 자기장에 대해 언급하고 있는 일부 인간공학 지침들에도 화면의 내용을 왜곡시키지 않아야 한다는 정도의 언급만 있을 뿐 자세한 수치에 대한 언급은 없는 실정이다.

디지털과 아날로그의 장단점 및 특징에 대한 비교연구를 통해 알 수 있듯이 디지털은 조작의 편리함, 시스템의 신뢰성, 유지보수 등 많은 측면에서 장점을 가지나 복잡한 기능을 이용하기 위한 인지적 부하나 고장 원인 진단의 어려움 등과 같이 단점 또한 많은 것이 현실이다.

현재 기술의 수준 등을 고려해 볼 때, 하이브리드 환경이 가질 수 있는 바람직한 방향은 내부적 처리는 디지털화 하고 인간에게 보여지는 Display 형태는 아날로그 형태를 취하는 것이라 말할 수도 있을 것이다. 하지만 하이브리드가 디지털과 아날로그가 합쳐진 형태로 디지털과 아날로그의 장점을 고루 갖출 수도 있지만 반대로 단점만을 가질 수도 있는 위험부담을 안고 있다. 따라서 디지털과 아날로그 하이브리드 중 어느 하나가 미래에 대한 정답이라고 말하기는 힘들다.

본 연구는 위에서 언급한 하이브리드의 특징을 바탕으로 고리 1호기가 개선되어 가야 할 방향을 제시함은 물론 그에 적합한 인간공학 지침을 제공한다는데 그 의의가 있다고 할 수 있겠다. 따라서 본 연구에 대한 향후 연구과제로는 우선 환경적 요소에서 정전기 및 자기장에 관한 특징과 평가 항목을 연구하는 것이라 할 수 있겠다. 디지털로 환경이 바뀌면서 많은 인간공학 지침들이 정전기 및 자기장에 대해 언급하고는 있으나 정작 원전에서 주요 평가지침서로 사용되는 NUREG 0700 Rev.2에서는 이에 대한 언급이 없는 실정이다. 본 연구에서 간략히 언급하기는 했으나 좀 더 깊이 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서 사용된 통합 가이드라인 및 참조된 가이드라인들은 모두 외국 가이드라인으로 신체 치수와 관련된 부분과 같이 특정 부분에서 한국인의 특성과 맞지 않는 부분이 있을 수 있다. 이러한 부분을 찾아 한국인의 특성에 맞는 지침으로 고치는 연구가 필요하다 하겠다.

본 연구가 가져야 할 또 하나의 숙제는 하이브리드 환경으로 분류된 지침에 대한 검증이다. 지금까지의 인간공학 지침서는 아날로그에서 디지털로 바뀌는 요소가 있으면 그에 대한 항목을 추가하는 형식으로 개정이 이루어져 왔다. 본 연구에서는 이러한 인간공학 지침에서 하이브리드 환경에 적합한 지침이라고 여겨지는 부분을 가려내었지만 이들에 대해 실험을 통한 검증이 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의해 연구된 논문입니다.

참고 문헌

[1] 장성필, 개량형 정보표시 평가 항목의 중요도 선정에 관한 연구, 금오공과대학교, 2003, p1-3.

[2] 이재환, 배예나, 디지털과 아날로그 컨트롤패널이 사용자 인터페이스에 미치는 영향에 관한 연구, 한양대학교, 2001.

[3] L. C. Jain, R. K. Jain, 이상배 역, 하이브리드 지능시스템, 도서

출판 그린, 1999, p12.
[4] 컴퓨터 용어 대사전, 영진출판사, 2000, p62, p499.
[5] 이재혁, 디지털 환경에 있어서 제품디자인의 요소분석에 관한 연구, 삼척대학교, 2005, p6-8.
[6] 이구형, 디지털 제대로 이해하기 - 인간을 위한 감성 디지털 강의, 지성사, 2004, p14, p24-25, p30, p32.
[7] 이기정, 디지털 문화로 인한 물리적 환경의 변화가능성 예측 연구, 연세대학교, 2000.
[8] http://blog.empas.com/behamoth/14905337.
[9] KOPEC, 고리 1호기 주제어실 설계개념, 한국수력원자력주식회사, 2006.
[10] 차우창 (2005) 개량형 정보표시 설계 평가기술에 관한 연구 III, 한국원자력안전기술원.
[11] 차우창 (2006) 첨단 정보표시 기반 제어실 설계 평가기술(I), 한국원자력안전기술원.
[12] Nuclear Regulatory Commission. Human-System Interface Design Review Guideline(NUREG-0700 Rev.2), U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2002.
[13] Dept. of Defense Design Criteria Standard, HUMAN ENGINEERING (MIL-STD-1472F), U.S ARMY AVIATION AND MISSILE COMMAND, 1999.
[14] Department of Transportation, Human Factors Design Guide (HFDG) Ch.13 Environment, Department of Transportation, 2003.
[15] Human Factors Engineering of Computer Workstations (BSR/HFES 100, Draft Standard for Trial Use). The Human Factors and Ergonomics Society, 2002.
[16] Man-Systems Integration Standards NASA STD 3000, Vol. I. II, Revision B, 1995.
[17] KOPEC, 고리 1호기 주제어반 개선방안 조사용역 제 3절 운전원 콘솔, 한국전력기술주식회사, 2006.
[18] KOPEC 기술보고서, 고리 1호기 인간공학 지침서, 한국수력원자력주식회사, 2006.
[19] 정경훈, 윤완철, 함동한, 차세대 원전 주제어실 설계 기본개념의 인지공학적 평가, 한국경영과학회, 1996.
[20] 조현정, 디지털 패러다임과 아날로그 감성 커뮤니케이션에 관한 연구, 이화여자대학교, 2001.
[21] 이경은, 디지털 패러다임으로의 전환에 따른 효율적 디자인 프로세스에 관한 연구, 이화여자대학교, 2001.
[22] 차우창, 디지털 정보표시 환경의 지침기반 평가기술, 대한인간공학회 제26권 제1호, 2007.
[23] 김남철, 하이브리드 환경에 적합한 원전 주제어실 평가, 금오공과대학교 석사논문, 2007.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 차 우 창 ❖ chaw@kumoh.ac.kr
오레곤 주립대 산업공학 박사(인지공학전공)
현 재: 금오공과대학교 산업시스템공학과 교수
관심분야: 인지시스템공학, HCI, HPP modeling & simulation

❖ 김 남 철 ❖ sun14th@gmail.com
금오공과대학교 산업시스템공학과 석사
현 재: 금오공과대학교 산업시스템공학과 연구원
관심분야: 인지공학, 인간공학 지침기반 평가

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 01월 07일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2009년 04월 29일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2009년 04월 30일