

SMART 제어실운전원의 정보순항직무 최적화를 위한
정보표시 방법론 예비평가

The Preliminary Evaluation of Information Presentation Techniques for
Optimizing Information Navigation Task of SMART Control Room Operator

서상문, 서용석, 박근욱, 김동훈, 구인수

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구에서는 SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor) 제어실의 주제어반에 구현할 운전원 인터페이스 화면 개발을 위하여 기존에 개발되었거나 연구중인 이차원적 정보의 시각화 기법, 정보표시 화면의 구조화 방법, 그리고 화면간의 이동에 필요한 명령입력 방식에 관한 기술을 조사하여 각각 어안렌즈 알고리즘, 탄성창 및 음성인식기술을 설계대안으로 선정하였다. 이를 운전원의 직무수행도 입장에서 해석하기 위하여 단순 직무수행도 모형을 개발하고 각각의 대안이 직무수행도에 미치는 영향에 대하여 예측 및 평가를 수행하였다. 확고한 설계방안 설정을 위하여 실험적 방법론을 제시하였다.

Abstract

This study surveyed techniques needed to implement the information display for SMART control room operator and selected three design alternatives among them. They are Fisheye Algorithm as a two dimensional information visualization technique, Elastic Window as a information display organization and manipulation, and the way of speech command with Speech Recognition technique for the information navigation task of SMART control room operator. A simple task performance model was developed to predict and interpret those design alternatives on the aspects of human performance. The preliminary evaluation using the simple task performance model was performed. A empirical way to select more concrete design alternative is presented.

1. 서 론

현장의 센서로부터 취득한 대량의 정보를 표시기 및 제어기와 일대일로 맵핑한 아날로그기술

중심의 재래식 제어반과 비교하여 컴퓨터 기술을 적극 채택한 일체형 원자로 제어반은 그 특성상 정보표시 영역의 제한이 필연적이다. 즉, 재래식 제어반의 정보표시가 넓은 이차원 공간에 널려있는 반면에 CRT 중심의 차세대 제어반은 한정적인 정보표시 영역으로 인하여 정보의 계층구조적 표현이 필수적이다. 이들 두 가지 형태의 인간-기계계면(man-machine interface)은 운전원의 직무 수행도 입장에서 볼 때 각각 장점과 단점을 가지고 있다. 재래식 제어반의 대표적 장점은 필요정보에 대한 병렬적 접근성(parallel accessibility)이 뛰어나다는 것이다. 즉, 정보의 표시가 이차원 공간에 널려있는 형태이므로 필요정보에 대한 탐색에 많은 인지적 자원(cognitive resources)을 소비하지 않는다. 감시, 진단, 그리고 조치와 같은 직무를 적시에 취해야 하는 안전최우선(safety-critical) 시스템에서는 재래식제어반의 병렬적 정보표시 특성이 운전원으로 하여금 본연의 직무에 집중할 수 있게 도와줌으로써 비상상황하에서도 수행도를 높일 수 있는 요소이다.

이에 반하여 CRT 중심의 차세대 제어반은 한정적인 표시영역으로 인하여 정보의 계층구조적 표현이 불가피하다. 이는 감시, 진단, 조치 직무 등과 같은 직접직무 외에 정보순항(information navigation)이라는 부가적 직무를 요구한다. 이러한 부가적 직무의 개입 결과 반응시간의 지연(delay of reponse time)과 인지적 맥락(cognitive context) 유지의 어려움으로 나타나고 나아가 비상시와 같은 대처 시간이 촉박한 환경하에서 심각한 인지적 오류를 유발할 수 있는 요인이 되기도 한다. 실제로 CRT 중심의 제어반을 사용하고 있는 타산업 분야의 운전경험으로 볼 때 복잡한 구조의 표시 시스템으로부터 필요한 정보에 신속히 접근할 수 없는 문제는 시간이 촉박한 상황하에서 심각한 인적오류의 가능성도 있다는 것을 보여주고 있다[1,2,3].

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 정보표시 화면 및 구조의 설계에 많은 접근 방법이 시도되고 있다. 달링턴 발전소의 운전원 인터페이스 화면은 기기중심, 계통 중심 및 기능 중심의 세 가지 계층구조로 개발되었다[4]. ABB-CE도 이와 유사한 접근방식을 취하여 정보표시 화면을 발전소 계통 중심 및 필수안전기능(critical safety function) 중심으로 구성하였다[5]. 설계자는 어떤 방식으로 화면에 표시할 정보의 양을 줄여 사용자가 쉽게 읽을 수 있게 할 것인가와 정보를 여러 화면에 적절히 배분함으로써 운전원의 탐색과정에서 필연적으로 발생하는 화면간의 전이를 줄일 수 있는가의 의사결정에 어려움을 겪는다. 대량의 정보 네트워크를 가진 화면 설계에서 운전원이 정보표시 공간을 쉽게 이동하여 자연스럽게 인지적전이(cognitive transition)를 할 수 있는 수단을 제공하는 것이 무엇보다도 중요하다.

二次元的 정보의 視覺化 기법	정보표시 화면의 構進化 방법	화면간의 移動에 필요한 명령입력 방식
<ul style="list-style-type: none"> · ArcView · Fisheye/Distortion views · GroupKit · Information Mural · Pad++ · Powers of Ten 	<ul style="list-style-type: none"> · Cone/Cam-Trees · Elastic Windows · Fractal Views · Hyperbolic Trees · Info Cube · TreeMap 	<ul style="list-style-type: none"> · Speech Recognition

그림 1 설계요소별 구현기술 分類

본 연구에서는 SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor) 제어실의 주제어반에 구현할 운전원 인터페이스 화면 개발을 위하여 기존에 개발되었거나 연구중인 이차원적 정보의

시각화 기법, 정보표시 화면의 구조화 방법, 그리고 화면간의 이동에 필요한 명령입력 방식에 관한 그림 1과 같은 기술을 조사하였다. 이들 방법론 중에서 운전원의 인지적 전이를 도와 줄 수 있는 설계요소 중 이차적직무 수행에 최소한의 인지적 자원을 소비할 것으로 예상되는 방법론으로 어안렌즈(fisheye) 알고리즘, 탄성창(elastic window) 및 음성인식(speech recognition) 기술을 표 1과 같이 선정하였다.

이를 운전원의 직무수행도 입장에서 해석하기 위하여 단순 직무수행도 모형[2절 참조]을 개발하고 각각의 대안이 직무수행도에 미치는 영향에 대하여 예측 및 평가[3절]를 수행하였다. 확고한 설계방안 설정을 위하여 실험적 방법론을 추후연구[4절 참조]에서 제시하였다. 표 1은 기존에 일반적으로 사용되고 있는 방법론과 위의 조사에서 선정한 대안을 보여준다.

표 1 SMART 인터페이스 화면 설계에 적용 가능한 設計 代案

설계방법 설계요소	既存方式	設計代案
정보 표시	이차원 평면	어안렌즈(Fisheye) 알고리즘
표시화면 구조	계층구조적 배열 (PopUp)	탄성창(Elastic Windows)
명령입력 방식	Mouse/Touch 방식	음성명령(Speech Command)

2. 검토를 위한 직무수행도 모형 (task performance model)

SMART의 운전원 인터페이스 화면은 표 1에서 보는 바와 같이 현재 일반적으로 상용되고 있는 설계방식과 각 대안에 대한 실험적 비교평가를 통하여 결정될 것이다. 본 절에서는 각 대안을 운전원의 직무수행도 측면에서 검토하기 위하여 사용할 단순모형을 제시하였다.

2.1 일차적직무 및 이차적직무

운전원의 역할은 발전소 계통 및 그 기능의 목적을 달성하는데 수행하여야 할 일련의 책임으로 정의할 수 있다. 이러한 역할을 충족하기 위하여 운전원은 관련 직무(task)를 수행한다. 직무는 운전원의 역할이라는 측면에서 볼 때 일차적직무 및 이차적직무 두 가지 영역으로 나눌 수 있다. 일차적직무는 운전원이 자신에게 할당된 기능적 역할인 발전소 감시자(supervisor)로서의 할 일들을 말하는 것으로 공정감시(process monitoring), 사건감지(event detection), 의사결정(decision making), 반응계획 (response planning), 그리고 조치 등에 관련된 직접적인 직무를 말한다.

이차적직무는 일차적직무와 직접적인 관련은 없지만 일차적직무를 수행하기 위하여 부가적으로 수행하여야 하는 직무를 말한다. 컴퓨터기반 정보표시 체계를 예로 들면, 대부분 계층구조적 구성이 불가피하므로 사용자는 화면간의 이동, 화면의 크기조정, 다중화면 조작과 같은 이차적직무를 부가적으로 수행하여야 한다. 이와 같은 직무를 이차적직무로 정의한다.

2.2 인지적 영향

인지적 자원의 소비 측면에서 본다면 이차적직무가 일차적직무와 경쟁하게 된다. 그 결과 운전

원은 일차적직무 수행에 보다 많은 인지적 자원을 할당하려고 하지만 이차적직무가 사이사이 끼어들어 작업부하를 심각히 높이고 (특히, 비상상황하에서), 본연의 직무수행 목표 달성을 저해한다. 실제로 CRT 중심의 제어반을 사용하고 있는 타산업 분야의 운전경험으로 볼 때 복잡한 구조의 표시 시스템으로 부터 필요한 정보에 신속히 접근할 수 없는 문제는 시간이 촉박한 상황하에서 심각한 인적오류의 가능성도 있다는 것을 보여주고 있다[Ohara]. 또한 이차적직무의 문제는 시스템에 대한 운전원 반응시간(response time)의 지연을 유발한다.

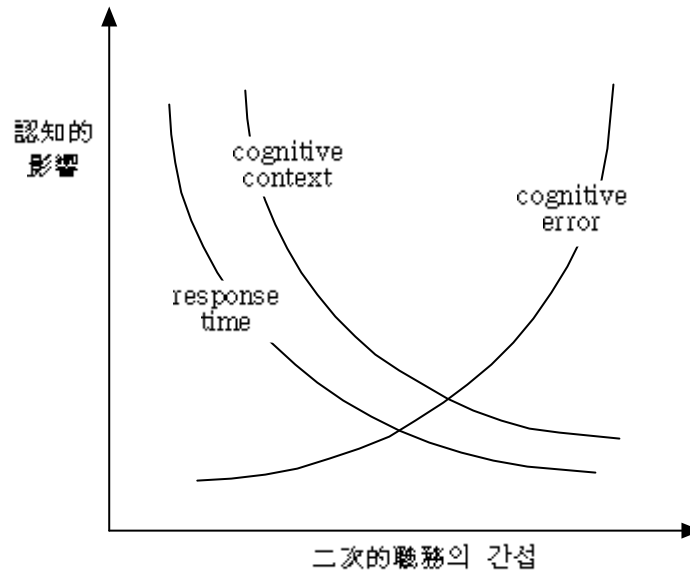


그림 2 이차적 직무의 간섭과 인지적영향 관계

이차적직무의 또 다른 인지적 영향은 운전원의 인지적 맥락 (cognitive context)의 유지를 방해한다는 것이다. 인지적 맥락의 유지는 상황파악도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 또한 상황파악도를 유지하는 것은 작업부하(cognitive workload)와 관련이 있다. 최상의 운전원 직무수행도는 적절한 작업부하가 주어졌을 때 가능하다. 상황파악 직무에 소요되는 인지적 과정 (cognitive process)이 운전원의 작업부하를 적절한 수준이상으로 끌어올릴 때 인적오류 또는 바람직하지 못한 직무수행도가 나타나며 그 결과 발전소 전반적인 수행도는 기대에 미치지 못할 것이다. 그림 2는 일차적직무에 이차적직무가 간섭하고 있을 때 미치는 인지적 요인 및 결과에 대한 관계를 보여주고 있다.

3. 설계요소의 비교 및 해석

3.1 어안렌즈(fisheye)와 이차원 평면

설명 및 특징 - 어안렌즈(fisheye) 알고리즘은 정보의 시각화 (information visualization) 방법론 중 하나로서 기하학적 변환을 통하여 일반좌표에 놓인 정보를 어안좌표로 바꾸어주는 방식이다 [6]. 이때 변환(transformation)의 기준은 사용자가 정해진 초점에 따라 변환된다. 사용자가 초점을 입력장치를 통하여 주었을 때 그 부분의 주위에 있는 정보는 확대되어 보이고, 초점에서 멀어질수록 상대적으로 작아져 보인다. 변환의 방법으로는 일반적으로 Cartesian 변환 방법과 Polar 변환 방법이 적용되며 곡률은 사용자가 초기에 설정치로 입력한다. 큰 값의 곡률을 입력할 수록 확대되

는 부분의 영역이 더 커진다. 이 방법론의 장점은 기존의 평면적 정보 배치보다 훨씬 많은 양의 정보를 한 화면에 표현할 수 있다는 것이다. 즉, 한 화면에 정보표현의 양이 많아 질 수록 계층구조로 표현하여야 할 화면의 수는 적어지는 것이다. 또한 여러 계층구조에 적용 가능할 뿐만 아니라 그래픽 엔진의 계산량도 간단한 수식을 사용하므로 고속의 화면 변환이 가능하다.

비교 및 해석 - 이차원 평면에서의 정보배치는 표시영역(예를 들면, 화면의 크기)에 종속적이다. 이에 비하여 어안렌즈 알고리즘을 적용한 화면에서는 같은 크기의 이차원 화면에서보다도 훨씬 많은 정보를 배치할 수 있다. 그 결과 구현할 총 화면의 수는 현저히 줄어든다. 운전원에게 주어지는 이차적 직무중의 하나인 화면간의 이동부하가 이차원 평면에 비해 줄어들 것이다. 그러나 기존의 이차원 평면에서는 그 화면에 표시되어 있는 모든 정보에 추가적인 이차적직무의 부담없이 병렬적 접근이 가능한 반면에, 어안렌즈 화면에서는 찾고자 하는 정보의 대략적 위치에 초점을 이동함으로써 확대하여야 비로소 인지할 수 있게 된다. 설계자가 어안렌즈 알고리즘과 이차원 평면 중에서 한가지의 기법을 선택하고자 할 때 실험을 통한 규명이 선행되어야 할 것이다.

3.2 탄성창 (elastic window)과 계층구조

설명 및 특징 - 탄성창의 설계는 계층적 창 구조 (hierarchical window organization), 무공간 타일형 배치 (space-filling tiled layout), 다중 창 작업 (multi-window operation) 등 세 가지의 원칙에 기반을 두고 있다[7]. 설계자는 이 방법을 사용하여 운전원의 직무계층구조를 정보표시 화면의 계층구조에 맵핑(mapping)할 수 있다. 탄성창에서는 다음과 같은 다중 창 조작 작업을 원활히 수행 할 수 있다.

- Creating Window Groups and Hierarchies
- Multiple Open/Close Operations
- Multiple Resize Operations
- Multiple Pack/Unpack Operations
- Multiple Slide/Relocate Operations
- Multiple Maximize Operation
- 기타

비교 및 해석 - 현재 일반적으로 상용되고 있는 계층구조적 화면 설계방식은 보통 PopUp의 형식으로 구현된다. 한 개의 창이 PopUp된 상태에서 다른 창을 PopUp할 경우 이전 창을 오버랩핑하게 된다. 뒤에 숨은 창을 앞으로 끌어오기 위해서는 창크기 조정과 같은 행위를 반복적으로 수행하여야 한다. 이와 같이 다중창 작업에서 계층구조적 설계방식은 상당량의 부가적 직무를 수반한다.

이에 비하여 탄성창 방식은 계층적 창 구조, 무공간 타일형 배치, 다중 창 작업 등 세 가지의 설계원칙에 기반을 두고 개발된 기술이므로 이미 기존의 단순한 계층구조적 화면설계 특성은 내포하고 있다. 여기에 더불어 운전원 스스로 계층구조의 동적 재구성이 가능하므로 자신이 가지고 있는 Task Hierarchy와 정신적 호환성 (mental compatibility)이 높은 인터페이스의 사용이 가능하다. 이 특징은 운전원의 인지적 직무수행도 향상에 매우 바람직한 설계요소라 할 것이다.

탄성창 방식은 동시에 여러개의 창 조작을 가능하게 한다. 다중창 열기 및 닫기, 다중 창 크기 조정, 등 한꺼번에 여개의 창에 대한 조작이 가능하다. 이것은 기존의 방식에 비해 상당히 많은 시간을 절약할 수 있는 설계요소이다. 조작 시간의 단축은 반응시간의 단축으로 이어지고 상대적으로 운전원의 주의(attention)를 적게 소비하므로 인지적 맥락의 유지가 용이할 것이다.

3.3 Mouse/Touch 방식과 음성인식 기술을 이용한 명령입력 방식

화면간의 이동에 필요한 명령입력 방식으로 Mouse 및 Touch 스크린 방식이 널리 상용되고 있다. 이에 대한 대안으로 음성인식 기술을 선정하였다. 조작을 통한 직접적인 명령입력 방식보다는 운전원의 주의(attention)를 덜 소비할 것으로 예측된다. 실험을 통한 규명이 필요하다.

4. 결론 및 추후연구

이상에서 살펴본 바와 같이 컴퓨터 기반 운전원 인터페이스 화면 설계에서 심각히 고려하여야 할 설계 방향중의 하나는 운전원의 이차적직무를 최소화하는 설계방식이어야 한다는 것을 알 수 있다. 정보순항(information navigation) 문제는 이미 타 산업 분야에서도 제기된 이슈이다. SMART의 경우에도 인간공학업무 중 운전경험검토(operating experience review)에 정보순항 이슈를 포함하고 상위수준의 인간-기계계면(MMI) 설계요건(design requirements)을 설정하여야 한다.

표 3은 표1의 조합으로 대안 3과 4가 운전원의 직무수행도를 최적화 할 수 있는 방법으로 생각된다. 그러나 좀 더 확고한 대안 선택 근거를 확보하기 위해서는 설계 단계별로 실험적 평가가 이루어져야 한다. 이를 위하여 다음과 같이 독립변수 및 종속척도를 설정하였다.

독립변수(independant variable) - 컴퓨터기반 운전원 인터페이스는 표 1의 세 가지 설계요소가 갖추어져야 하나의 시스템이 된다. 각 설계요소 별로 하나만을 선정하여 조합하여 나오는 독립변수의 수는 표 2와 같이 8 가지이다.

표 3 추후연구에서 수행할 실험의 독립변수

설계요소 설계대안	정보표시	표시화면 구조	명령입력 방식
1	이차원 평면	계층구조적 배열 (PopUp)	Mouse/Touch 방식
2	이차원 평면	계층구조적 배열 (PopUp)	Sound 방식
3	이차원 평면	탄성창(Elastic Windows)	Mouse/Touch 방식
4	이차원 평면	탄성창(Elastic Windows)	Sound 방식
5	어안렌즈(Fisheye)	계층구조적 배열 (PopUp)	Mouse/Touch 방식
6	어안렌즈(Fisheye)	계층구조적 배열 (PopUp)	Sound 방식
7	어안렌즈(Fisheye)	탄성창(Elastic Windows)	Mouse/Touch 방식
8	어안렌즈(Fisheye)	탄성창(Elastic Windows)	Sound 방식

종속척도(dependant measures) - 표 4의 척도 중 직무수행소요시간과 행위의 수가 설계초기 단계에서 신속히 적용할 수 있는 것이다. 인적수행도 척도로서의 직무수행소요시간은 간단하면서도 가장 해석하기 쉬운 척도일 것이다. 시간이 적게 소요되었다는 것은 그 설계대안이 피실험자로 하여금 맡은바 임무를 빨리 완료할 수 있도록 도와주었다는 것을 의미하는 것으로 좋은 설계방법

론일 가능성이 높은 것이다. 행위의 수 (number of actions)는 직무수행소요시간 만큼 강력한 척도는 아니다. 피실험자는 최소의 행위로 직무를 완수하라는 요구를 받는다. 이 외의 다른 척도는 설계의 진척상황에 맞게 활용되어야 할 것이다.

표 4 추후연구에서 수행할 실험의 종속척도(dependant measures)

분 류	척 도 (Dependant Measures)
수행도 척도 (Performance Measures)	Time taken to complete the tasks
	Number of actions
	Number of warnings given
사용자 의견 (User Opinion)	Subjective rating questionnaires
	Debriefing interviews
	Observation testing
지식 척도 (Knowledge Measures)	Verbal protocols analysis
	Knowledge state questionnaire

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력개발사업 일환으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] L. Segal, and A. Andre, *Changing Technology in Control Room Design: Is One Graphical Interface Worth 1000 Indicators?*, Proceedings of the Human Factors Society, 39th Annual Meetings, Santa Monica, CA, 1995.
- [2] W. Singleton, *From Research to Practice: Are Researchers Producing Work That's Usable in System Design?*, Ergonomics in Design, July, 30-36, 1994.
- [3] J.M. O'Hara, W.F. Stubler, and J.C. Higgins, *Hybrid Human-System Interface: Human Factors Considerations*, U.S. NRC, 1996.
- [4] Fenton and Duckitt, *The Darlington Control Room and Operator Interface*, Proceedings of the Human Factors Society, 35th Annual Meeting, Santa Monica, CA, 1991.
- [5] ABB-CE, *System80+ Standart Safety Analysis Report-Design Certification*, 1993.
- [6] D.A. Mitta, *A Fisheye Presentation Strategy: Aircraft Maintenance Data*, HCI-Interact'90 Proceedings, 875-880, 1990.
- [7] E. Kandogan, B. Shneiderman, *Elastic Windows: Improved Spatial Layout and Rapid Multiple Window Operations*, ACM AVI'96 Advanced Visual Interfaces, Gubbio, Italy, 1996.