

VDT 를 이용한 원자력발전소 주제어실의
운전원 인터페이스 프로토타입 개발
Development of a VDT-based Prototype of the Operator Interface
for the Main Control Room of a Nuclear Power Plant

어홍준*, 김범수*, 한성호*, 정민근*, 오인석**

* 포항공과대학교 산업공학과, ** 한국원자력연구소

Abstract

The main control room (MCR) of a nuclear power plant plays an important role in the operation of the plant. Since the traditional man-machine interface of the current MCR is old-fashioned, a next-generation MCR, that provides a VDT-based human-computer interface is being designed. This paper aims to provide a systematic and efficient method for converting a traditional man-machine interface of the MCR into a VDT-based one. Procedures and analysis methods are presented for efficient and effective development.

1. 서론

원자력발전소의 주제어실(Main Control Room:이하 MCR)은 발전소의 운용과 관련된 중추적 기능을 수행하는 곳이다. 현존하는 원자력발전소 MCR의 대부분은 전통적인 인간-기계 인터페이스로 구성되어 있으며, 구성 계기의 수가 수천 개에 달한다. 수천 개의 계기들 중 특정 작업에 필요한 계기는 수십 개에 불과하며, 또한 수십 개의 계기들이 나타내는 정보들 각각이 모두 필요한 경우보다는 일부 통합된 정보만이 필요한 경우가 많다. 전통적인 인간-기계 인터페이스에서는 설계 시에 여러 가지 기계적, 공간적 제약 조건이 작용하므로 계기의 통합이나 배치에 한계가 있다(Ivergrad, 1989). Visual Display Terminal(이하 VDT)을 이용한 인터페이스의 경우에는 위와 같은 제약 조건이 없을 뿐더러 효율적인 계층적 인터페이스의 구현이 가능하므로, MCR의 전통적인 인간-기계 인터페이스는 점차 VDT를 이용한 인간-컴퓨터 인터페이스의 형태로 변화되고 있다.

본 연구에서는 원자력발전소의 주제어실을 위한 VDT를 이용한 인터페이스의 프로토타입을 개발하는 과정을 통해서, 전통적인 MCR 인터페이스를 VDT를 이용한 인터페이스로 변환하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 프로토타입 대상 선정

2.1 프로토타입 대상 부계통의 선정

원자력발전소의 MCR을 구성하는 계통, 패널, 부계통, 계기그룹등을 기준으로 구분이 가능하다. 부계통은 원자력발전소내에서 이루어지는 특정 작업상황에 따라 계기들을 분류한 기준이다. 본 연구에 앞서 수행된 사전조사의 결과, 서로 다른 부계통간의 연관관계는 전체의 1.34%에 불과한 것으로 나타났다(한성호 등, 1995). 즉 발전소에서 이루어지는 각각의 작업은 대부분이 한 부계통내의 계기들만으로 수행될 수 있고, 특정 부계통에 대한 설계가 다른 부계통들과는 관계없이 독립적으로 이루어질 수 있으므로, 프로토타입의 규모를 부계통단위로 결정하였다.

프로토타입의 대상이 되는 부계통을 선정하기 위하여, 울진 원자력발전소 MCR 내의 전체 96개의 부계통에 대한 평가를 수행하였다. 평가에는 각 부계통들의 사용빈도, 중요도, 관련 부계통의 갯수, 관련 계기의 종류, Display/Control 균등도의 4가지 기준이 적용되었으며, 평가결과를 이용하여 우선순위를 결정하였다.

마지막으로, 상위 우선순위를 차지한 부계통들에 대해서 현장의 실무진들과 협의한 결과 최종 프로토타입의 대상으로 부계통 RCP(Reactor Coolant Pump)가 선정되었다.

2.2 프로토타입 대상 작업의 선정

부계통 단위에서 이루어지는 작업은 크게 정상운전과 비정상 운전으로 구분이 된다 (그림 1 참조). 정상 운전은 발전소의 상황에 이상이 없는 경우 이루어지는 평상시의 운전작업을 뜻하며, 일반적으로 [기동] -> [운전중 감시] -> [정지]와 같이 3 단계의 Event로 구성되어 있다. 비정상 운전은 이상 상황이 발생했을 때 문제를 해결하는 작업을 뜻한다. 보통 조절장치를 작동시킨 후, 그 Feedback을 감시하는 절차로 구성되어 있으며, 일부 작업들은 시스템에 의해서 자동적으로 이루어지는 것도 있다.

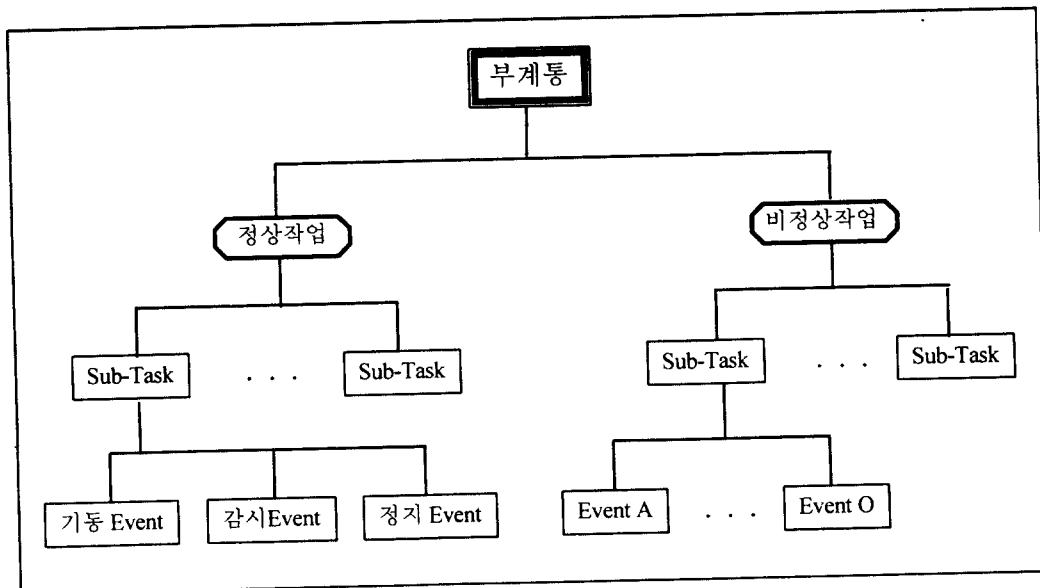


그림 1. 부계통 작업의 구성체계

그림 1에 나타난 바와 같이, 정상운전과 비정상운전작업은 각각 수종의 Sub-Task 들로 구성되어 있다. 본 연구에서 프로토타입의 대상으로 선정된 부계통 RCP의 경우, 정상운전작업에는 1-6-1 ~ 1-6-6의 6종이 있고, 비정상 운전작업에는 2-1 ~ 2-4까지 4종이 있다. 각각의 정상운전(혹은 비정상 운전)Sub-Task는 서로 비슷한 구성체계를 가지고 있으므로, 프로토타입 개발시에 모든 작업을 반영할 필요는 없다. 본 연구에서는 정상 운전과 비정상 운전의 Sub-Task들 중 각각 하나씩의 작업을 선택해서 프로토타입을 개발하고 있다. 각 작업별로 작업의 사용빈도, 대표성, 관련기기들의 구성도, 계기의 종류, 작업 단계의 수 등을 고려한 분석결과 정상 운전작업 중에서는 1-6-2(원자로 냉각제 펌프 운전) 작업이 선정되었고, 비정상 운전작업 중에서는 2-1(원자로 냉각제 펌프의 고장) 작업이 선정되었다.

3. 프로토타입의 설계

프로토타입의 설계절차는 그림 2에 나타난 바와 같이 요약할 수 있다. 설계절차들 중 우선적으로 수행되어야 하는 것이 대상 작업에 대한 분석이다. 해당작업을 단계별로 분류하고, 각 단계마다 필요한 정보와 정보의 구현방법, Feedback 등에 대한 분석을 수행한다. 작업분석을 마친 후에는 분석결과를 이용해서 화면구성과 Navigation에 대한 설계를 진행한다. 이와 같이 개략적인 화면설계가 완료된 후에는 세부설계를 시작하게 된다. 세부설계단계에서는 개별적인 계기의 형태, 기능, 화면배치와 같은 요소들을 결정하게 된다.

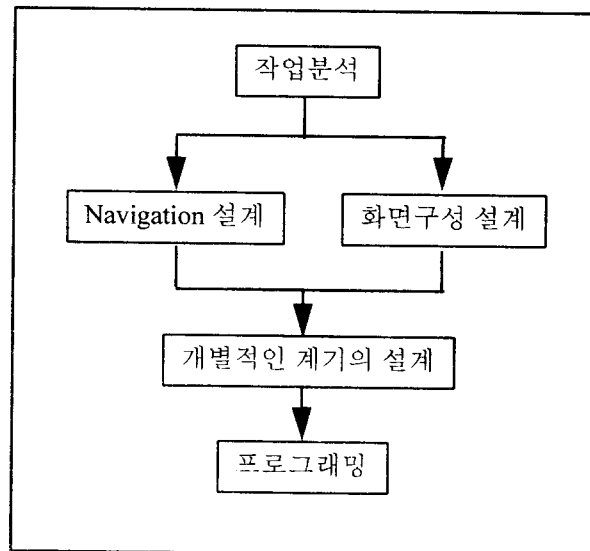


그림 2. 프로토타입 설계 절차

3.1 작업분석

작업분석은 크게 두 단계로 구분이 된다. 첫 번째 단계는 Task 내에서 Sub-task들 간의 연관관

계, 혹은 Sub-task 내에서 Event 들 간의 연관관계를 분석하는 Function Level 의 분석이다. 이 자료를 토대로 3.2 절의 Navigation 에 대한 설계를 수행한다. 두번째 단계는 Event 내에서 작업이 어떻게 이루어지는지를 Task-flow Diagram 을 이용해 분석하는 것이다. 본 연구에서 정의한 Task-flow Diagram 은 그림 3 과 같은 요소들로 구성되어 있다.

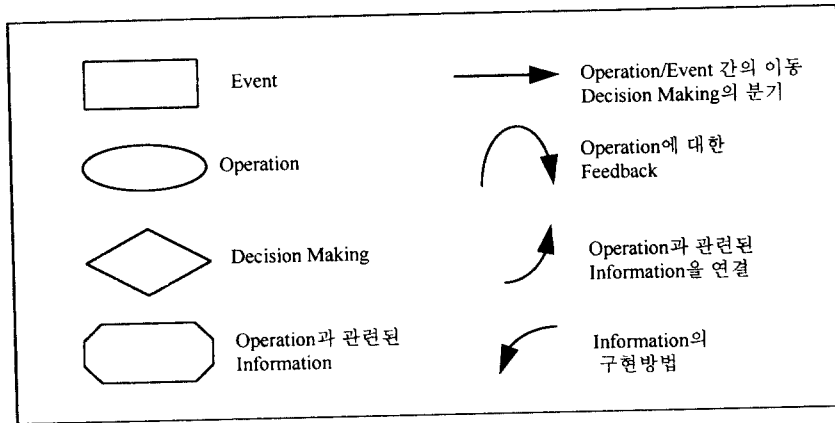


그림 3. Task-flow Diagram 의 구성요소

Event 란 그 자체가 독립적인 단위로 수행될 수 있는 최소한의 작업 단위를 나타내며 그림 1 의 최하단부에 나타나 있다. Operation 은 System 의 상태를 변화시키게 하는 행동을 나타낸다. 각각의 Operation 에는 관련된 Information 과 그 구현방법, Operation 에 대한 Feedback 등을 정의할 수 있다. 이와 같은 구성요소들을 이용하여 Event 에 대한 Task-flow Diagram 을 작성한 예가 그림 4 에 나타나 있다.

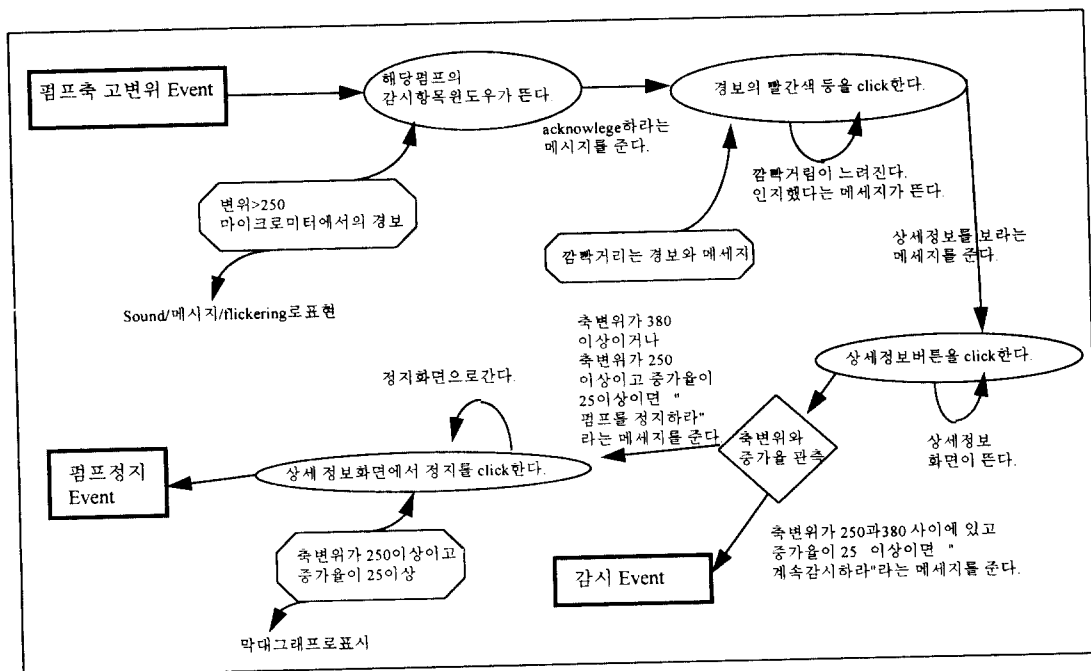


그림 4. Task-flow Diagram 의 사례

3.2 Navigation 설계

Navigation 을 설계하기 위해서는 우선 시스템의 화면단위를 결정해야 한다. 화면단위의 결정에는 두가지 요소를 고려해야 한다. 첫번째 요소는 화면에 표시되는 정보의 양에 관한 것이다. 한 화면에 표현되는 정보의 양이 너무 많을 경우, 검색시간이 길어지고, 실수를 유발할 수도 있다 (Tullis, 1988). 반대로 화면에 표현되는 정보의 양을 적게 설계하면, 화면의 갯수가 많아지고, 더불어 Navigation 의 횟수가 많아 지게 되므로 바람직하지 못하다. 둘째로, 작업의 연속성도 고려해야 한다. 반드시 연속해서 이루어지는 일련의 작업을 두개 이상의 화면에 걸쳐서 구현할 경우, 한 화면내에서 구현한 경우보다 작업 수행 속도가 떨어지게 된다. 위와 같은 요소들을 고려해 볼때, 화면단위는 Event 단위로 결정하는 것이 바람직하다.

작업 분석의 첫 번째 단계에서 Event 간의 연관관계에 대한 분석자료를 화면간의 Navigation 으로 해석한 결과가 그림 5 에 나타나 있다. 그림 5 에서 는 화면단위를 나타내며, 는 화면단위간의 Navigation 이 발생하는 상황을 나타낸다. 화살표의 방향이 Navigation 의 방향을 나타내며, 선의 한쪽에만 화살표가 있는 경우는 반대 방향으로의 Navigation 이 필요없다는 것을 나타낸다.

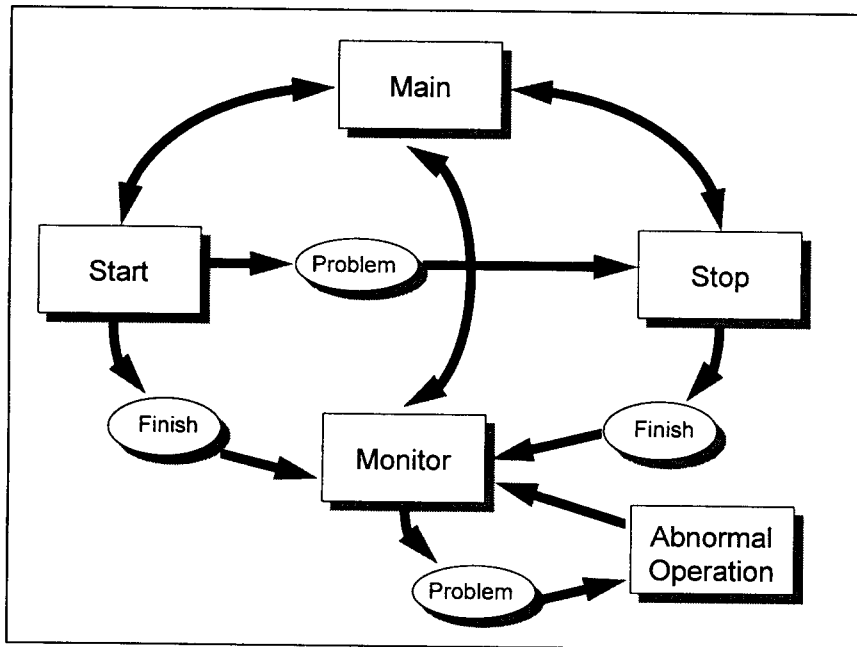


그림 5. Main Navigation Diagram

3.3 화면 설계

일반적으로 소프트웨어의 화면은 다음과 같은 요소로 구성되어 있다.

- Title Bar : 화면의 Identification
- Navigation Button Group : 화면간의 Navigation 을 수행하는 Button 들의 Group
- Message Line : Feedback 이나 Help Message 를 제공하는 부분
- Operational Area : 실제 작업과 관련된 Display 나 Control 들의 Group 으로서 다시

Information Area 와 Control Area 로 구분이 된다.

위와 같은 구성요소들에 대한 화면 배치안을 작성한 것이 그림 6 에 나타나 있다. 화면 구성도의 작성에는 본 연구의 선행연구로 1995 년도에 수행되었던 한성호 등(1995)의 인터페이스 설계지침을 참조하였다.

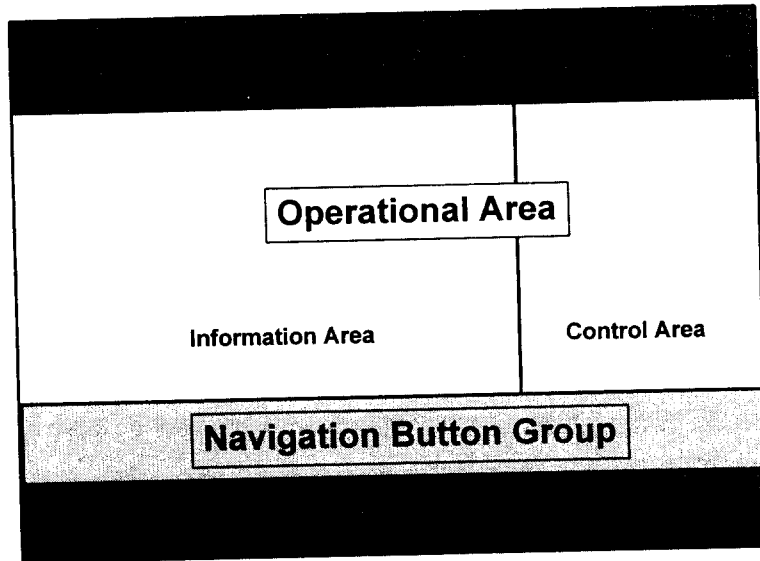


그림 6. 화면 구성도

3.4 개별적인 계기의 설계

프로토타입 설계의 마지막 단계로 개별적인 계기에 대한 설계를 수행한다. 계기의 설계는 계기의 기능 및 형태와 관련된 설계와 계기의 배치에 대한 설계로 나눌 수 있다.

기존의 MCR 인터페이스에 있는 계기들은 크게 정상 상황에서 사용하는 계기들과 비정상 상황에서만 사용하는 계기들로 구분할 수 있다. 전체 계기들 중 상당부분이 비정상 상황 발생여부의 감시나 비정상 상황이 발생했을 때만 필요하며, 정상 운전중에는 소수의 계기들만이 필요하다. 반면, 전체 운전 시간 중 비정상 상황이 차지하는 부분은 아주 적다. 그러므로, 평상시에는 비정상 운전 중에만 필요한 계기들을 하위계층에 배치하면 운전의 효율성을 높일 수 있다. 한가지 유의할 점은, 비정상상황이 발생했을 때 관련계기들에 대한 빠른 접근이 가능하도록 단축경로를 마련해 두어야 한다는 것이다.

전통적인 인간-기계 인터페이스에서는 계기의 형태가 여러 가지 기계적인 제약조건을 수용할 수 있도록 설계되어 왔다. 반면 VDT 를 이용할 경우, 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 자유롭게 표현할 수 있으므로, 기계적인 설계특성 보다는 사용편의성의 측면을 강조한 설계가 필요하다. 사용편의성을 강조한 설계지침들 중 계기의 형태와 관련된 지침의 예로는 “Line Graph 에서 Y 축은 변화하는 정보를, X 축은 고정된 정보를 표시하는 것이 좋다.”, “Graph 에 표시된 각 Point 나 Bar 에는 수치를 함께 표시하는 것이 바람직하다.”와 같은 것을 들 수 있고, 계기의 기능과 관련된 지침의 예에는 “Control 또는 Navigation 과정에서 사용자가 선택한 항목에 대하여 명확한 Feedback 을 주어야 한다.”, “Control 은 가능하면 마우스의 Pointing 만으로 수행될 수 있어야 한다.”와 같은 것들

이 있다(Benyon, et al., 1993; Fowler, et al., 1995). 본 연구에서는 전술한 바와 같은 설계지침들과 더불어 한성호 등(1995)이 개발한 전통적인 Display/Control의 분류체계와 VDT를 이용하는 Display/Control의 분류체계를 이용하여, 각 계기별로 적절한 형태 및 기능을 결정하였다.

4. 결론

본 연구에서는 원자력발전소 주제어실의 운전원 인터페이스에 대한 프로토타입을 개발하는 과정을 제시했다. 컴퓨터 시스템 개발에서 Prototyping 기술은 사용편의성 제고 측면에서 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구결과가 VDT를 이용한 인간-컴퓨터 인터페이스가 주류를 이루게 될 차세대형 MCR의 설계시 사용편의성 향상에 도움을 줄 수 있는 자료로 활용되기를 기대한다.

5. Reference

- 한성호, 정민근, 박지영, 정철, 송맹기, 송영웅, 어홍준, 이인석, 김범수, VDT를 이용한 원자력발전소 주제어실의 인간공학적 설계 및 평가. 한국원자력연구소, 대전, 1995.
- Benyon, D., Gordon, D., Keller, L., Preece, J., and Rogers, Y., A Guide to Usability: Human Factors in Computing, Addison-Wesley, Workingham, England, 1993.
- Fowler, S. L. and Stanwick, V. R., The GUI Style Guide, AP Professional, Cambridge, 1995.
- Ivergard, T., Handbook of Control Room Design and Ergonomics, Taylor and Francis, New York, 1989.
- Tullis, T. S., "Screen Design", In Helander, M.(Ed), Handbook of Human-Computer Interaction. Elsevier Science, New York, 1988.