

'99 춘계학술발표회 논문집

한국원자력학회

기능기반의 소프트웨어 화면설계

Display Design of Function-based Soft-controller

이철권, 오인석, 서용석, 구인수, 장문희

한국원자력연구소

요약

SMART 제어실의 제어수단으로 VDU를 사용하는 소프트웨어의 화면을 CRT 정보표시를 위해 채택한 기능분석 결과를 근거로 기능중심으로 설계하였으며, 본 논문은 제어기 집단화, 표시 정보 구성 및 특정 제어기로의 접근방법 등에 관하여 기술한다. 설계된 소프트웨어는 기능별로 집단화되므로써 기존의 하드와이어드 형태의 제어기에 비해 제어기 접근을 용이하게 하며 관련정보 검색을 위한 운전원의 업무량을 최소화할 수 있다.

Abstract

The VDU soft-controller is a control function installed in the SMART main control room. The displays are functionally designed based on the result of the function analysis, which is same as the CRT information display design. This paper describes the design of the soft-controller displays such as controller grouping, selection of operational information, and method of access to a specific controller, etc. The developed soft-controller can facilitate the access to any controller through functional grouping, compared to the conventional hardwired controller, and considerably reduce the operator's work load required for searching the related information.

1. 배경

소프트제어기(Soft-controller)는 운전원의 제어행위를 하드와이어드 형태가 아닌 기기를 사용하여 소프트웨어적으로 수행하는 제어기로, 플랜트의 각종 기기나 공정을 정상상태로 유지할 수 있도록 제어실의 제어수단을 제공한다. SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)

는 물리적인 자연현상을 이용한 피동기능과 많은 수준의 자동화를 추구하고 있으나 자동제어시스템의 기능상실에 대비하고 보수 및 시험을 위하여 운전원에 의한 수동제어 기능을 별도로 제공하여야 한다. 그러나 각 제어기기 별로 지정된 제어기를 사용하는 기존의 대규모 제어실과는 달리 컴퓨터 기반의 소형제어반을 중심으로 설계되는 SMART 제어실에서는 이러한 하드와이어드 형태의 제어기를 사용할 수 있는 공간을 제어반 상에 확보하는 것은 불가능하다. 따라서 VDU(visual display unit)에 의한 공통의 기기를 사용하여 운전원이 필요로 할 때 필요한 제어기를 제공하는 소프트웨어 기반의 제어기는 착석식의 소형 제어반 설계에 필수적인 요소로 되었다. 또한 운전원의 신체적인 동선(moving path)을 최소화하고 제어행위에 필요한 운전정보를 제어기 상에 제공하여 운전원이 관련 정보를 참조하기 위해 다른 정보표시기를 사용할 필요가 없다는 점에서 운전의 편의성을 극대화할 수 있다. 하지만 공통의 기기를 이용한 제어기 설계는 고장시 모든 제어기능의 상실이 발생하지 않도록 대비책을 가져야 하며, 특히 운전중 운전원이 필요로 하는 특정제어기로의 접근(access)과 사용이 용이해야 한다는 설계요건이 뒤따른다.[1]

따라서 본 연구에서는 운전중 제어기로의 접근을 용이하게 하고 사용이 편리하도록 SMART 기능분석 결과를 근거로 소프트웨어 화면을 설계하였다.

2. 설계개념

소프트제어기는 SMART 제어반설계에서 정상운전시 1인 운전 목표를 달성하고 소형의 제어반 설계를 가능케 하는 중요한 요소로서, 상용화된 디지털기술을 사용하여 신뢰성 및 안전성은 물론 운전성이 향상된 제어기를 설계하기 위하여 설계요건을 개발하였다. 이 중에서 소프트웨어의 화면 및 정보 구성, 접근에 관한 설계요건은 다음과 같다.[2]

- 기기/변수 단위의 제어기가 아닌 기능/직무분석 결과를 근거로 계통이나 기능 위주의 집단화된(grouping) 제어기를 제공한다.
- 제어기로의 접근을 용이하도록 설계하여 시간지연을 초래하지 않도록 한다.
- 제어기에 표시되는 운전정보 만으로도 최소한의 제어수행이 가능하게 한다.
- 제어기는 현재 수행중인 제어변수의 제어결과를 연속적으로 제공한다.
- 오조작이 최소화되도록 각종 버튼 및 화면 설계에 인간공학적 측면을 고려한다.
- 제어기 화면은 다양한 형태로 표시되지만 제어실 내에서 일관성을 유지한다.
- 사용되는 제어기들의 종류를 최소화하며, 쉽게 구별될 수 있게 한다.

3. 설계내용

공통의 기기를 사용하는 소프트웨어기는 정보표시 설계에서 나타나는 정보의 암흑화

(tunneling) 현상과 같은 제어기의 암흑화 - 운전원이 요구하는 제어기에 접근 불능, 현상이 발생할 수 있으므로 이에 대한 대비책으로 효과적인 제어기 접근방법과 효과적인 제어기 화면설계 및 제어 수행시 필요한 제어기 상의 운전정보 선정을 위하여 기능분석 결과를 근거로 소프트웨어기를 설계하였으며, 운전원은 한 화면으로부터 주요 기능을 유지하기 위한 제어를 수행할 수 있다.

1) 기능분석 검토

기능분석은 SMART 계통을 기능중심으로 분류하여 MMIS에서 수행되는 기능을 운전원 입장에서 파악하고 MMIS 설계요건을 설정하기 위한 기본적인 기능구조를 설정하는 것으로서, MMIS 개발에 인간공학적 요소를 체계적으로 반영하기 위한 주요 분석업무 중 하나이다.[3] SMART에서의 사용을 목적으로 기능기반의 소프트웨어기를 설계하기 위하여 SMART 기능을 최상위 수준의 기능으로부터 상세기기 수준의 기능까지 체계적으로 분석한 결과를 검토하였다. SMART 기능분석 구조는 3 개의 최상위 목적인 안전성확보, 전기생산, 보조기능으로부터 8 개의 필수기능(Critical Function)을 정의하고, 각 필수기능은 다시 주요기능(Major Function)으로 나누어지며, 이들은 다시 부기능(Sub-Function) 들로 나누어진다. 또 각각의 부기능은 여러 개의 계통기능(System Function)으로 분해된다. 표 1은 SMART 전력생산 목적의 기능분석 일부를 나타낸 것이며, 표 2는 분석된 기능에 대하여 제어시스템과 구동기기를 할당한 예를 보여준다.

이 분석결과는 소프트웨어기의 집단화, 운전정보 구성, 제어기 접근 등 기능기반 설계의 근거를 제시한다.

2) 제어기 집단화

집단화는 정보표시 화면 설계시 정보를 효과적으로 나타내기 위하여 종종 사용되는 방법이며, 소프트웨어기 설계에 동일한 개념을 적용하여 제어기 접근을 용이하게 하고자 하였다.

기능분석 결과로부터 제어기 집단화를 위해 사용한 원칙은 각 필수기능 내의 주요기능과 부기능 단위로 집단화하였으며, 제어기 명칭을 부여할 때 일반적으로 운전원이 익숙한 용어나 주요기능을 고려하여 기능분석 구조에서 명시한 추상적이거나 물리적인 용어는 일부 수정하여 사용하였다. 집단화된 각각의 소프트웨어기는 제어기가 수행하는 기능을 구성하는 계통기능별로 할당된 제어계통 들로 구성되며, 각 제어계통은 이들이 제어하는 기기들의 제어기들로 표 3과 같이 집단화하였다. 예를들면, 기능분석 결과에서 감속재 온도는 급수량과 가압기 압력으로 조절되므로 이 두 변수를 제어하는 제어시스템으로 집단화하여 감속재온도 제어기를 구성한다.

또한 집단화된 제어기는 운전원이 플랜트의 기능유지를 위하여 제어해야 하는 기기와 관련된 정보를 다른 정보표시기에서 검색할 필요가 없도록 하나의 제어기 화면에서 제공한다.

표 1. 전력생산 목적에 대한 기능분석구조 일부

Function Goal : Power Production					
Critical Function	Major-function	Sub-Function	System Function		
Create Fission Energy	Control Reactivity	Control Rod	Regulate Shutdown Rod Regulate Regulating Rod		
		Control Boron	Inject Borated Water		
		Control Moderator Density			
		Control Moderator Temp.	Control FW Flow		
		Control Moderator Pressure	Control PZR Pressure		
	Transfer Fission Energy	Maintain Coolant Inventory	Control Coolant Flow	Align V/Ws Control Makeup Water	
			Maintain Coolant Purification	Connect Filters/Ion Exchanger	
			Maintain Sub-cooled Margin (Maintain Coolant Temp.& Press.)	Control PZR Temperature Control PZR Pressure Control Main Coolant Pumps Regulate Control Rods	
			Circulate Coolant	Maintain Forced Circulation	Control Main Coolant Pumps
				Maintain Natural Circulation	Control PZR Pressure
Maintain Secondary Heat Sink		Supply Feed Water	Regulate Feed Water Flow		

3) 제어기 표시정보 구성

기존의 제어실에서는 운전원이 제어수행을 위하여 관련 운전정보를 제어기 주위에 설치된 정보표시기로부터 취득하게 된다. 그러나 이는 제어기와 정보표시기 들 간의 적절한 배치가 이루어지지 않은 경우 운전원의 업무부담으로 나타나고 또한 제어조치의 지연을 초래할 수 있다. 이러한 문제는 제한된 정보표시 기기를 사용하는 소형의 제어반에서는 정보 암흑화로 더욱 심각해질

표 2. 기능별 제어계통 할당 예

Function Goal : Power Production				
Major-function	Sub-Function	System Function	Assigned Control Sys.	Components
Control Reactivity	Control Rod Absorber	Regulate Shutdown Rod	Rod Control Sys	Shutdown Rods
		Regulate Regulating Rod	Rod Control Sys.	Regulating Rods
	Control Liquid Absorber	Inject Boron	Boron Inject. Control Sys.	2 Makeup Pumps, Several V/Vs
Control Moderator Density	Control Moderator Temp.	Control FW Flow	Feed Water Control Sys.	3 MFWPs, 2 SFWPs, 2 Cont. V/Vs
		Control Moderator Press.	PZR Control Sys.	5 V/Vs
	Control Coolant Flow	Align V/Vs Control Makeup Water	NSSS Comp. Control Sys. Makeup Control Sys.	Several V/Vs 2 Makeup Pumps, Several V/Vs
Maintain Coolant Inventory	Maintain Coolant Purification	Connect Filters/Ion Exchanger	Coolant Purification Control Sys.	Several V/Vs
	Maintain Sub-cooled Margin	Maintain PZR Temp. Control PZR Press. Control MCPs Regulate Control Rods	CCW Control Sys. PZR Control Sys. MCP Control Sys. Rod Control Sys.	Several V/Vs 5 V/Vs 4 MCPs S-Rods, R-Rods
Circulate Coolant	Maintain Forced Circulation	Control MCPs	MCP Control Sys.	Same as above
	Maintain Natural Circulation	Control PZR Press.	PZR Control Sys.	Same as above
Maintain Secondary Heat Sink	Supply FW	Regulate FW Flow	FW Control Sys.	Same as above

수 있으므로 이에 대한 해결책이 제시되어야 한다. 본 연구에서는 상기의 해결책으로 기능중심의 소프트웨어가 제어기 뿐만아니라 제어수행을 위한 필수적인 운전정보를 제공하도록 하였다. 따라서 운전원이 SMART의 특정기능을 유지하기 위하여 제어행위 수행시 관련 운전정보를 제어기 상에서 취득하므로써 운전원의 정보검색을 위한 행위를 최소화한다.

소프트웨어에서 제공하는 정보는 크게 플랜트정보, 기능관련 정보, 계통운전 정보 및 제어되

표 3. 제어기 집단화 예 : 전기생산과 관련한 제어기

Critical Function : 핵분열에너지 생성 및 조절		
- Reactivity Control	고체 흡수체 제어 액체 "	제어봉제어 Boron 제어
- 감속재 온도/압력 제어	감속재온도 제어 감속재압력 제어	급수 제어 PZR 제어
Critical Function : 핵분열에너지 전달		
- 냉각재량 확보	냉각재 유량 제어 Makeup 제어 Purification 제어 (필요시 수동 연결후 운전) * 냉각재 유량제어에 포함	RCPB용 V/V 제어 PZR온도제어(CCW V/V제어) PZR압력제어(N ₂ Gas 압력제어) MCP 제어 제어봉제어
- 냉각재 순환	유로확보(건전성유지) 강제순환 자연순환	No Controller MCP 제어 PZR 제어(Gas Cylinder V/V)
- 열제거원 확보	2차측 매체 확보	급수제어
Critical Function : 증기생산 및 전달		
- 급수량 확보	급수유로 확보	급수 제어 복수 제어 * 복수기진공도 제어 포함 (Ejector 계통 + 해수계통)
	급수량 확보	복수 제어 복수보충수제어(No Controller?) 급수 Purification 제어
- 급수품질 확보	이온교환 비등축성Gas제거	복수제어
- 급수순환	급수 온도 유지 급수순환 복수순환	급수 Pre-heater 제어(L,P,H,P) 급수 제어 복수 제어
- 증기생산/전달	증기과열도 유지	제어봉 제어 급수 제어
	증기압력 유지	Steam Bypass 제어 복수제어(복수기 진공도만)

는 기기관련 정보로 구성되며, 표 4는 제어기의 표시정보 구성 예를 나타낸다.

4) 제어기 접근

소프트제어기는 운전원의 제어기 암흑화를 방지하기 위하여 제어실 주 정보표시기인 CRT 화면으로부터 직접 특정 제어기로 접근할 수 있으며, 이 외에도 소프트제어기 상에서 순항(navigation)을 통하여 접근가능하다. 그러나 안전계통에서 사용하는 제어기는 안전계통 독립성유지 설계요건을 만족하기 위하여 제어기 상에서의 순항에 의한 접근만 가능하도록 설계하였다.[4]

표 4. 소프트웨어기 정보구성 예

Function Goal : Power Production		* Plant Information : Rx & Elect, Output		
Major-function	Sub-Function	System Function	Required Information	Component Status
Control Moderator Temp.			Tavg, Steam Flow	
	Control Moderator Temp.		Th, Tc, PZR Temp.	
	Control FW Flow		FW Flow, FW Temp, Pumps Discharge Press.	
	Control Moderator Press.		PZR Press. (Trend)	
	Control PZR Press.		PZR Press. (Indication)	V/Vs On/Off Status
Maintain Coolant Inventory				
	Maintain Coolant Temp./Press.		Sub-cooled Margin Steam Flow, Rx Level	
		Maintain PZR Temp.	PZR Temp.	
		Control PZR Press.	PZR Press. (Trend)	V/Vs On/Off Status
		Control MCPs	Pumps Speed	
	Regulate Control Rods	Th, Tc, Tavg, Tref		Rods Position

가) 정보화면으로부터 접근

공통의 기기를 사용하는 소프트웨어기는 운전원이 특정제어기로 접근하고자 할 때 많은 지연시간이 소요될 것으로 예상되며, 따라서 제어기 설계는 이로 인하여 운전원의 제어행위를 방해하지 않도록 설계되어야 한다.[5] 본 연구에서는 이를 해결하기 위한 방법으로 기능분석 결과를 바탕으로 제어기와 정보표시기를 통합시켜 상호 밀접한 연관을 갖도록 하였다.

정보표시기로부터 운전원이 제어하고자 하는 기기의 심벌이나 다른 표시형태를 선정하면 선정 기기에 대한 제어수단을 갖는 제어기가 소프트웨어기에 표시되며, 운전원은 즉각적으로 제어행위를 취할 수 있다. 아울러 소프트웨어기는 관련 운전정보를 동시에 제공한다. 이 때 한가지 유의할 점은, 일반적으로 하나의 기기나 계통은 여러 개의 기능을 지원하고 있으므로 운전원이 특정기기나 계통을 선정한 경우 소프트웨어기가 운전원에게 제공해야 기능을 결정하기 어렵다. 이에 대해 본 연구에서는 운전원이 선정한 기기나 계통이 현재 정보표시기 상에서 운전원에게 보여지고 있는 화면의 기능과 관련된 정보를 표시하도록 하였다.

나) 소프트웨어기 상에서의 접근

운전원은 소프트웨어기 상에서 제공되는 메뉴로부터 특정 제어기로 접근할 수 있다. 이 때

소프트제어기는 운전원 안내를 위하여 주메뉴에 기능별로 분류된 전체 소프트웨어기 목록을 제공하며, 이 외에도 각 기능별 소프트웨어기는 계통별/기기별 메뉴를 자체화면에 제공하여 운전원의 접근을 용이하게 한다. 이 방법은 CRT의 기능상실에도 소프트웨어기의 기능이 유지될 수 있게 한다.

5) 운전원연계

평판표시기 상의 운전원연계 방법에는 터치방식, 마우스, 키보드 또는 기능키(function key) 사용 등 여러 가지가 있으나, 소프트웨어기에서는 연계기기의 단순화를 기하고자 터치방식을 사용한다. 따라서 터치방식의 연계설계를 위하여 인간공학적 측면에서 고려되는 요소들, 즉 버튼의 배치 및 크기, 색깔, 사용문자의 크기, 약어 등을 반영한다.

6) 모형 구현

설계와 병행하여 확인을 위하여 개발되는 모형(prototype)의 개발환경은 WIN95 운영체제의 마이크로컴퓨터를 기반으로 GUI(graphic user interface)로서 SL-GMS를 사용하였다. 본 모형에서 개발된 정적화면은 표시기 프로세서인 IBM PC에 설치되었으며, 현재 모형의 주 정보처리부인 HP사의 워크스테이션으로부터 동적정보를 받아 이들을 제어반의 평판표시기(flat panel display)에 표시한다. 추후 설계가 진행되면서 소프트웨어기는 제어시스템과 함께 설치 운용된다.

그림 1과 2는 감속재 온도제어 기능과 냉각재 온도 및 압력제어 기능을 수행하는 제어기의 모형을 보여준다. 제어화면의 첫 화면은 기능분석에서 필수기능을 구성하는 주요기능 별로 집단화된 메뉴를 나타낸다. 집단화된 각 제어기 화면은 표제영역, 운전정보 표시영역, 제어영역 및 제어시스템 메뉴영역의 네 개 영역으로 나누어진다. 표제영역은 주요기능 명칭과 함께 원자로 출력과 전기출력에 관한 정보를 표시하며, 운전정보 표시영역은 제어기 표시정보 구성결과를 근거로 제어하고자 하는 기기의 제어와 관련한 운전정보를 제공하며, 제어영역은 운전원이 실제 기기의 제어를 위한 행위를 수행하는 영역으로 기기정보가 표시된다. 하단의 제어시스템 메뉴영역은 운전원이 소프트웨어기 상에서 특정제어기로 접근할 때 사용하는 시스템 단위의 구성기기를 보여주는 메뉴이다. 제어영역에는 실행(EXECUTE) 버튼이 있으며 모든 운전원 입력은 이 버튼을 통해 이루어지도록 하여 운전원 입력오류를 줄이도록 하였다.

4. 결론

소프트제어기는 VDU 기반의 소형 제어반 설계에 중요한 인간기계연계 기기로서, 일 인의 운전원에 의한 정상운전을 가능케 한다. 본 연구에서는 SMART 제어실의 제어수단으로 공통의 기기를 사용하는 소프트웨어기를 정보표시 방법에서 채택한 기능중심으로 설계하였다. 설계된 소프트

트제어기는 정보표시 구조와 동일하게 기능별로 집단화하므로써 기존의 하드와이어드 형태의 제어기에 비해 제어기 순항 및 관련정보 검색에서 운전원의 업무량을 최소화할 수 있다.

현재까지 유사한 소프트웨어기 설계는 기존의 하드와이어드 형태의 제어기를 모사한 화면구성으로 설계, 구현되어 왔다. 그러나 본 연구에서 채택한 기능기반의 제어기 설계는 현재 설계된 예를 찾아보지 못한 것으로, 제어실의 운전효율성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업 일환으로 수행되었음.

[참고문헌]

1. 이철권 외, "SMART MMIS를 위한 소프트웨어기 개발", '98춘계원자력학회 학술발표회, 1998
2. NUREG 0700, "Human-System Interface Design Review Guideline", 1995
3. NUREG-0711, Human Factors Engineering Program Review Model, 1994
4. IEEE-603, "Criteria for Safety Systems for NPGS", 1991
5. J.M.Ohara 외, "Hybrid Human-System Interfaces: Human Factors Considerations", BNL Report J6012-T1-4/96, Dec., 1996

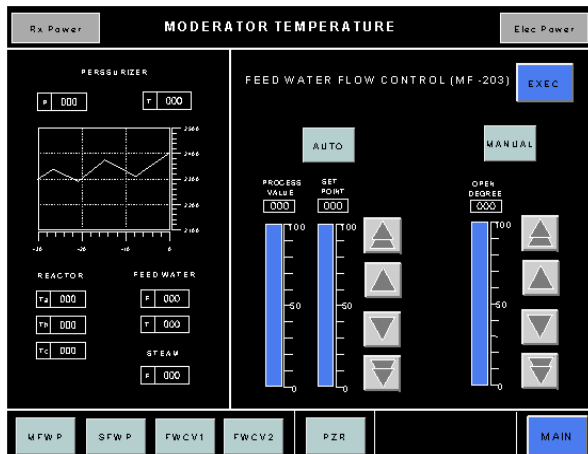


그림 1. 소프트웨어기 화면 (급수밸브제어)

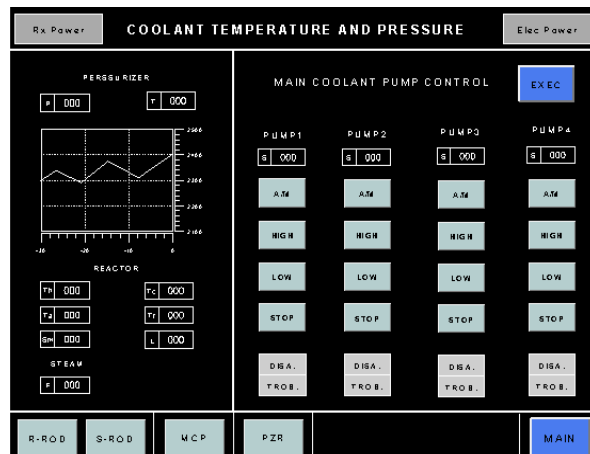


그림 2. 소프트웨어기 화면 (주냉각펌프 제어)