

원자력발전소 주제어실의 공간특성에 따른 디자인 요소에 관한 연구**

A Study on Design Elements of Main Control Room in Nuclear Power Plants by Analyzing Space Characteristics

Author 이승훈 Lee Seung-Hoon / 이사, 한서대학교 실내디자인학과 교수
이태연 Lee Tae-Yeon / 정회원, 한서대학교 아동청소년복지학과 교수*

Abstract For guaranteeing for security of nuclear power plant, ergonomic factors have been applied to design of main control room, core area for management and control of nuclear power plant, but design elements for performance of operators have been ignored. As the behaviors of operators are important for security of nuclear power plant, space design which makes them pleasant psychologically and makes them maintain attention on security equipments ceaselessly is required. Therefore, the purpose of this study is to analyze space characteristics of main control rooms according to regulations of nuclear power plant and general guidelines of space design, and to offer basic data for designing of main control room which makes operators pleasant psychologically and physically. At first, theoretical issues related with design of main control room are reviewed and several premises of space are developed by abstracting design elements from common space and regulations of nuclear power plant and, then integrating each design elements interactively. In short, the improvement of system environment based on human-machine interface space has brought about perceptual, cognitive, and spatial changes and has realized next generation of main control rooms. And, differences and similarities between ordinary space and main control room, which ergonomic sizes and regulations are applied and is VDT environment based on LDP, are discussed in relation to 13 design elements and 17 space premise.

Keywords 차세대형 주제어실, 원자력발전소, 공간특성, 디자인요소
Advanced Control Room(ACR), Nuclear Power Plant(NPP), Space characteristics, Design element

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

금세기의 세계는 지구환경 변화와 신교유가 시대에 따라 각 국가마다 에너지자원 확보와 저탄소 정책에 주력하고 있다. 자원빈국인 우리나라는 에너지 자립사회를 구현하고자 환경, 경제, 건축, 디자인 등 다양한 분야에서 저탄소 성장으로의 정책을 전개하고 있다. 특히, 원자력 발전은 이산화탄소를 배출하지 않으면서 높은 경제성과 효율성을 가진 대체에너지로 재인식되어지고 있다.

원자력발전소는 주제어실 공간을 축으로 절대 안전을 지향하며 체계화된 절차와 공간으로 운영되어지고 있다. 주제어실은 핵발전소의 안전과 직결되므로 근무자가 신체적이고 심리적인 쾌적한 상태가 유지되도록 하는 공간 디자인이 요구된다. 그러나 주제어실 공간에 관한 연구는 기능적이고 시스템적인 기계화된 공학분야 연구 외에는 디자인적인 접근으로의 연구가 미비한 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 공간 특성을 바탕으로 공간디자인 전체를 분류하고 그에 따른 디자인 요소를 추출하는데 있다. 추출되어진 디자인요소는 공간특성에 따른 공간의 전체와 연관성 있는 계획요소이며 향후 근무자의 신체적 심리적 쾌적성을 최적화하는 디자인 접근으로의 제어공간 창출에 기초적 자료로 연구에 의의가 있다.

* 교신저자(Corresponding Author); leeyeon@hanseo.ac.kr

** 이 논문은 09년도 한서대학교 교비 학술연구 지원사업에 의하여 연구되었음.

1.2. 연구 방법 및 범위

디자인요소에 관한 연구는 궁극적으로 공간을 만들기 위한 과정이다. 공간 만들기는 '어떤 공간을 만들 것인가'와 '어떻게 하면 적합한 공간을 만들 것인가'의 해결 과정이다. 전자의 '어떤 공간'은 사용자가 공간을 평가하는 심리적 메카니즘 자체가 연구 대상이 되며, 후자의 '적합한 공간'은 구체적인 공간요소, 즉 공간특성 자체가 연구 대상이 된다. 본 연구에서는 전자의 어떤 공간 만들기를 원자력발전소 주 제어실 공간 만들기라고 가정하고 후자의 적합한 공간 만들기를 위한 세부적인 공간특성을 이론과 사례들을 통하여 해결방안을 모색하였다.

세부적인 연구방법으로 2장에서는 이론적 내용을 고찰하고 3장에서는 문헌과 사례연구로 주 제어실 공간특성을 분석하여 공간의 전체를 제시하였으며, 4장에서는 일반 공간과 원자력발전소의 규제에서 디자인요소를 추출하고 각각의 디자인요소를 전장에서의 공간디자인 전체와 연결하여 각 요소별 내용을 전개하였다.

연구의 공간적 범위는 원자력발전소 주 제어실 공간이며, 시간적 범위는 최근 건설 및 계획되어지는 정보화 공간인 차세대형 주 제어실(ACR, Advanced Control Room)을 대상으로 하였으며, 내용적 범위는 공간디자인에 전문분야가 될 수 있는 색채분야를 제외한 인테리어와 조명분야에 한정하였다.

2. 주 제어실의 고찰과 공간의 변화



2.1. 주 제어실과 차세대형 주 제어실의 고찰

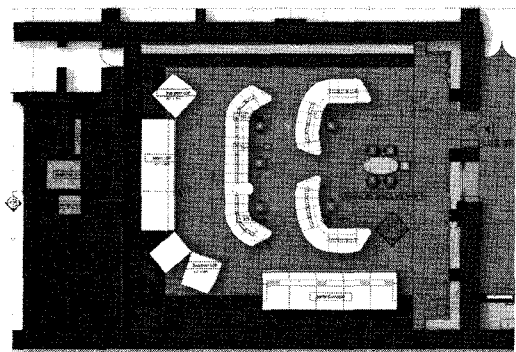
주 제어실(MCR, Main Control Room)은 원자력발전소(이하 원전, NPP, Nuclear Power Plant)의 운영에서 중추적 역할을 담당하는 개방형 사무공간이다. 공간의 기능적 역할은 원전운영에 필요한 인간-기계 인터페이스 시스템 중 인간의 판단, 조작 능력이 중요한 역할을 하는 직무 공간이다. 주 제어실은 모든 공학기술이 통합되고 다수의 시스템들이 긴밀하게 연결된 복합 시스템 환경으로 고도의 안전성이 요구되는 특수공간이다.¹⁾

주 제어실은 설치되어진 기계들 즉, 컴퓨터의 시스템의 아나로그와 디지털적 성능에 따라 재래형과 차세대형으로 나누어지며 <표 1>에 그 차이점들을 비교하여 제시하였다. 차세대형 주 제어실(이하 주 제어실)의 주요 특징으로 관련 장비들의 컴퓨터화를 들 수 있다. 컴퓨터 기반의 주 제어실에서는 제어계통과 안전계통 등으로부터 수집된 많은 데이터가 프로그램을 통해 처리되어 운전원(operator, 근무자)에게 제시되고, 운전원에 의한 조작을 전달하여 원

전의 각 설비가 제어되도록 하며, 동시에 필요한 정보를 저장하는 등 대부분의 기능들이 모두 컴퓨터에 의해 이루어지는 공간이다. 재래형 주 제어실 공간에 비해 차세대형 주 제어실은 시각표시장치(VDU, Visual Display Unit)상에 전산화된 절차시스템(Computerized Procedure System) 등 운전 편의성을 증진시킬 수 있는 기능들이 제공되므로 기존 주 제어실에 비해 운전원의 인지적, 신체적 부하가 경감되어 운전(업무) 신뢰성이 향상되었다.²⁾ 따라서 정보화시대에 따라 주 제어실 환경도 컴퓨터의 디지털 기반으로 진보되어 과거의 기능위주의 공간보다는 진보된 공간 특성에 따른 디자인이 새로이 요구되고 있다.

<표 1> 주 제어실 비교

	재래형(Convention type)	차세대형(Advanced type)
주 제어실 설계	벤치보드 형태의 하드와이어드 형식의 고정된 지시계, 기록계, 경보창 사용	컴퓨터 기반의 Compact Workstation 형태 화면표시장치 (Video Display Unit, VDU)를 통해 감시 및 제어 수행
VDU 적용 시기	1978년 이후	2007년 이후
환경 조건	벤치보드 형태의 주 제어실에 적합한 색상, 조명 등 최적화	컴퓨터 기반의 주 제어실에 적합한 색상 및 조명 등 최적화
인터페이스	MCB 형태를 적용 개별 최신MMI기기(VDU포함)로 교체, 제어방식은 Multi Loop 방식	LDP 및 Console 형태를 적용한 컴퓨터 기반의 Advanced MMI 적용, 제어방식은 DCS(Digital Control System) Multi Loop 방식
공간		



<그림 1> 차세대형 주 제어실

2.2. 주 제어실 공간의 구성요소

본 연구에서는 <그림 1>의 차세대형 주 제어실 평면도를 참조로 공간을 운영하는 운전원석과 중앙을 중심으로 대형정보화면 그리고 운전원석의 개별 컴퓨터와 주변 소프트웨어와 사무가구 등으로 물리적 구성을 한정한다.

(1) 운전원(Operator)석

운전원석은 발전소를 운영하는 사무원의 자리이며 주

1) 이승훈·백승경·이상호, 원자력 발전소 주 제어실 사례를 통한 특수 공간 디자인에 관한 기초적 연구, 한국실내디자인학회논문집 제16권 5호 통권 64호, 2007, p.82

2) 백승경·이승훈, 인간공학기준에 의한 차세대형 주 제어실 조명설계 및 조도 휘도 분석, 대한인간공학학회논문집 Vol.27 No.2, 2008, p.74

제어실내 업무영역이 각 자리배정에 따라 결정되므로 운전원석 공간의 인간공학적 크기와 동선관계가 매우 중요시 된다. 직무에 따라 운전원석은 각각 구분되며 개별적인 VDT(Visual Display Terminals)를 통해 발전소의 모든 기기들에 대한 감시 및 제어를 수행한다.

(2) 계기패널(제어반, MCB, Main Control Board)

계기패널은 제어기(스위치, knob), 표시기(게이지) 등이 부착된 컴퓨터로 기반의 기계로 각 운전원석 및 소프트웨어 장치에 부착되어 있다. 차세대 주제어실의 특성상 아날로그적인 계기패널의 최소화로 주제어실내 공간구성이 극소화 되었다.

(3) 대형정보화면(LDP, Large Display Panel)

대형정보화면은 차세대 주제어실의 가장 큰 특성으로 주제어실의 전면부 중앙에 위치하여 운전원들과 원전의 상황을 한눈에 볼 수 있도록 만든 인터페이스 화면이다. LDP의 간략성과 고정된 형식은 발전소의 상황이 쉽게 지각될 수 있도록 하는 특성을 가지고 있다. 또한, LDP는 발전소의 안전기능, 운전양식, 주요 운전변수와 상태 및 추이에 대한 정보를 지속적으로 나타내는 기능을 가지고 있으며, 워크스테이션에 의해 제공되는 상세한 정보뿐만 아니라, LDP에 의해 제공되는 지속적이고 신속한 정보를 이용함으로써 주제어실을 안전한 운전상태로 유지할 수 있도록 한다.³⁾ 대형정보화면은 원전의 다양한 센서, 경보 및 상태정보를 종합적으로 표시되어 근무환경에서의 정보분석의 부담을 줄이기 위한 것으로 그에 따른 시환경의 적합성이 요구된다.

2.3. 주제어실 공간의 변화

주제어실 공간의 변화는 컴퓨터 사무환경의 변화에서 비롯된다. 즉, 주제어실내 사무환경의 디지털화로 인간과 기계의 인터페이스 환경이 중요하게 되었으며 이로 인해 시각적, 인지적 및 공간구성의 변화가 요구되고 있다.

(1) 시각적인 변화

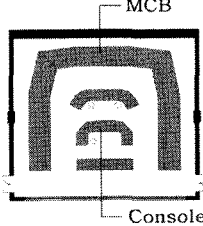
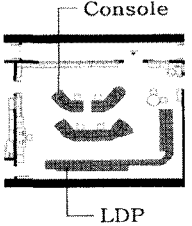
시각적인 변화는 VDT 사무환경으로의 변화로서 사용자들이 공유한 인터페이스 영역의 확대이다. 다른 사무환경과 마찬가지로 원전 역시 컴퓨터와 사용자의 정보교환 인터페이스(interface) 역할을 주로 담당하는 것이 VDT이며, 컴퓨터 사용이 증가하면서 그 사용 범위도 확대되어 오늘날 대부분의 작업은 작업자가 VDT를 통하여 수행하는 비율이 높아지고 있다.⁴⁾ 주제어실은 VDT 대형정보화면을 통해 운전원들이 설비를 제어하고 있으므로 인간-기계가 상호작용하는 시스템으로의 쾌적한 시환경을 위하여 조형디자인과 재료의 반사율 등의 내용 변화가 제시되어야 한다.

3) 한국원자력연구소, 차세대 원자로 설계검증 및 핵심기술개발, 과학기술부, 2002, p.147
4) 황세욱, 공간계획과 인간공학, 태학원, 2004, p.99

(2) 인지적인 변화

재래형 주제어실의 축각 위주 사무환경이 시각적인 사무환경으로 변화되면서 인터페이스 환경에서 사용자의 인지적 기능에 대한 관심이 커지게 되었다. 재래형 원전 환경에서도 운전원의 인지적 기능과 관련된 공학적 접근에 근거한 연구들이 이루어졌으나, 주로 인터페이스 환경의 조작과 제어과정에서 발생할 수 있는 행동오류가 주된 관심사였다. 그러나 새로운 원전 주제어실의 시각적 변화는 운전원과 VDT 인터페이스 간의 복잡한 상호작용을 요구하게 되어 다양한 인지적 변화를 가져오게 되었다. 즉, 시각적 인터페이스 위주의 사무환경은 시각적 환경이 정보전달에 최적화되지 못하면 정보처리과정에서 오류가 발생하거나 인지적 부담을 가져올 수 있다. 예를 들어, 기본적인 시각 환경에서 눈에 적응된 휘도보다 더 밝은 광원 혹은 반사광이 시야 내에 있음으로써 생기는 눈부심(glare)이나 좁은 시야각 등은 가시도(visibility)를 떨어뜨려⁵⁾ 정보처리과정에서 잘못된 판단을 유발할 수 있으며, 성가신 느낌이나 불편함을 일으켜 운전원이 업무에 집중하는 것을 방해할 수 있다.

<표 2> 주제어실 공간의 변화

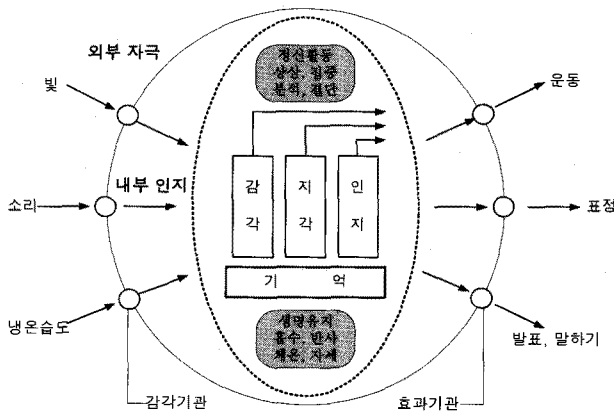
타입	아날로그형	디지털형
평면		
사례	영광 원자력 발전소 units 5 & 6	LingAo 원자력 발전소 unit 3 & 4
공간 구성	<ul style="list-style-type: none"> • 양측면 2개 출입구 • 'U'자형 벤치보드(MCB) 배치 • 주제어실 정면에 관람시창 • 운전원의 중앙 영역 배치 • 낮은 천장(CH:3.2m) 	<ul style="list-style-type: none"> • 측면 2개, 후면 1개 출입구 • 중앙 LDP 대형화면 배치 • 주제어실 정, 측면에 관람시창 • 운전원의 LDP중심 방사형배치 • 높은 천장(CH:5.2m, 5.6m)

(3) 공간적인 변화

최근에는 개량형 방식에서 MMI⁶⁾ 설계기술의 개발에 따라 점차 차세대형으로 전환되고 있는 시점에 있다.⁷⁾ 그에 따라 디지털화된 인터페이스 환경의 변화와 함께 공간의 변화도 요구되고 있다. 기존의 주제어실 평면 구성은 U자형의 대형 MCB와 그에 해당되는 운전원들로 이루어진 중앙 분산형 영역구성이었으나, 차세대형 주제어실은 LDP를 중심으로 한 방사형 영역구성을 하고 있다. 또한 대형 LDP로 인하여 기존의 천장고와는 다른 확대된 공간이 요구되며 그에 따른 시환경 확보와 인간

5) Ibid., p.166
6) MMI(Man-Machine Interface): 제어기, 지시기, 스위치등 관련하여 사람과 기계가 모니터를 통해 상호 소통할 수 있는 주제어실 통제 시스템. 원자력 발전소 주제어실과 같은 제어실에서 전용되는 디지털화된 시스템 체제
7) 이승훈·백승경·이상호, Op. cit., p.82

공학적, 기능적, 감성적인 측면에서의 공간설계와 디자인이 요구되고 있다.



<그림 2> 인간의 정보처리계 모델

3. 주제어실 공간특성에 따른 디자인 전제

3.1. 인간공학적 인지공간

주제어실 공간은 정보처리가 이루어지는 환경으로 인간의 눈이나 귀 등의 감각기관으로부터 획득한 정보를 각 개인의 업무영역에서 의미 있는 정보로 부호화하고 처리하여 환경을 통제하게 된다. 이러한 인간과 기계의 인터페이스 환경에서 디자인은 인간에게 인지활동에 적합한 공간을 제시해야 한다.

주제어실의 인터페이스 환경은 인간이 시스템에서 주어지는 정보들을 수용하고 처리하여 적절한 반응을 보여야 하는 공간으로서 인간과 시스템간의 관계가 모든 수준에서 고려되어야 한다. <그림 2>는 빛, 소리, 냉·온, 습도 등의 외부자극이 감각기관을 통해 수용된 후 감각, 지각, 인지의 정신활동을 통해 어떻게 운동, 표정, 말하기 등의 행위로 표현되는지를 보여주고 있다.⁸⁾ 그러므로 주제어실의 인터페이스 환경은 인간이 시스템에서 정확한 정보를 수용하여 적절한 인지적 판단과 직무를 수행할 수 있도록 최적화된 공간으로 디자인되어야 한다.

인간공학적 측면에서 작업공간의 설계는 주로 어떻게 하면 동작을 경제적으로 할 수 있는지를 고려한다. 즉, 시스템을 합리적으로 배치하여 신체에 무리를 주는 작업을 피하게 하고 불필요하거나 중복되는 작업 요소를 배제하여 작업자의 에너지 사용을 줄이고, 작업 중 발생할 수 있는 실수를 최소화할 수 있도록 공간적으로 뒷받침한다. 이를 위해서는 인간공학적인 기준치수와 설비조건, 업무능률의 극대화를 위한 디자인의 지원, 공간에서 불필요한 인지반응을 극소화할 수 있는 최소화된 디자인 패턴, 보행과 좌식직무 수행을 위한 제반 여건 조성 등이 요구된다. 따라서 공간의 전제는 인간공학 가구 사용,

인간공학 기준치수 적용, 소리환경의 안정성, 공기환경의 쾌적성, 미니멀 디자인 등으로 제시된다.

3.2. 감성공학적 정서공간

감성공학은 인간의 감성을 시각적인 디자인 요소로 번역해 구체적인 설계에 적용하는 기술로 제품이나 환경에 대한 소비자의 요구(감성)를 객관적이고 과학적으로 측정하여 이를 제품이나 환경 설계에 응용하고 구현하는 기술을 말한다.⁹⁾ 감성공학과 인간공학의 차이는 제품이나 환경에 대한 정서적인 만족감과 물리적 편의성에 있다. 이는 감성공학과 인간공학을 비교한 <표 3>에서 알 수 있듯이 감성공학은 공간 디자인에서의 사용자의 심리적인 반응을 바탕으로 한다.

주제어실의 설계에 감성공학을 적용하는 이유는 운전원이 심리적 쾌적성과 안정감을 갖도록 하여 직무수행능률을 향상시키고 심리적 스트레스를 감소시켜 인적 오류를 최소화하기 위한 것이다. 주제어실은 인간공학적으로 요소가 지배적인 디지털 환경으로 감성에 긍정적인 영향을 주는 천장고 및 천장의 형태, 친근한 칼라 및 재질의 사용, 주공간과 부공간의 분리에 의한 분위기 차별화, 휴먼스케일을 채용한 입면의 구성 등을 활용하여 공간의 환경적 문맥성을 개선할 필요가 있다. 이는 과거 기능위주의 인간-기계 공간에서 감성을 고려한 사용자-기계의 휴먼인터페이스 공간으로의 변화이다. 따라서 공간의 전제는 공간의 확장성, 친근감 있는 재료, 공간구성의 위계, 휴먼스케일 디자인 등으로 제시된다.

<표 3> 감성공학과 인간공학의 비교

구분	감성공학	인간공학
목적	공간디자인	기계, 시스템, 업무, 환경의 설계/활용
관심대상	사용자(Operator)	인간(Human)
연구방법	인문과학적	인문/자연과학적, 공학적
측정방법	심리학적, 생리학적	심리학적
접근방법	유니크(Unique)	시스템어프로치(System Approach)

3.3. 특수환경의 안전공간

모든 산업시설에서 안전성이 요구되지만, 원전은 일반 안전이나 기술안전은 물론이고 방사선 안전까지 고려되어야 하는 특수 환경적 공간으로 건설과 운영 전 단계부터 적용된다. 특히, 원전을 제어하고 운영하는 주제어실 공간에 적용되는 규제는 국제지침에 따르도록 되어있으며, 주제어실내 마감 재료와 지진, 인간공학적인 내용을 포함하고 외부와의 엄밀한 차단성도 요구된다. <표 4>의 원자력발전소 환경 관련 규제는 NUREG¹⁰⁾과 이외의

9) 황세욱, Op. cit., p.275

10) NUREG: 원자력규제위원회 [原子力規制委員會, Nuclear Regulatory Commission] 1974년 미국의 에너지 관계법에 따라 핵물질 사용에

8) 라스무센, 인터페이스의 인지공학, 이근철 역, 기전연구소, 1999, p.90

국제규제에 따라 분류된다. 공간의 전제는 규제가 적용된 공간설계, 규제에 준한 재료사용, 규제에 준한 내진설계, 외부와의 2중 차단 등으로 일반 공간과는 다른 엄격한 규제조건이 수반된다.

3.4. 직무수행을 위한 독립공간

주제어실은 단계적 직무수행을 위한 공간으로 운전원이 직무를 단계적으로 이끌어갈 수 있도록 공간적인 독립성이 제시되어야 한다. 운전원의 직무수행 내용은 1) 원전상태가 규칙기반행위(rule-based behavior)를 요구하는 것으로 인식될 때와 규칙기반행위를 요구하지 않고 지식기반행위(knowledge-base behavior)를 요구할 때의 경로로 나누어 직무를 수행한다. 이러한 직무수행은 세 단계로 첫째는 원전상태를 추적하는 단계(Developing, Maintaining)와 두 번째 플랜트의 오작동을 발견했을 때 이에 대응하고 반응하는 단계(Handling) 그리고 세 번째는 수행도 모델의 전 과정을 포함한 계획, 실행 및 목표 성취에 초점을 두는 단계(Controlling)가 있다.¹²⁾ 즉, 추적, 대응 그리고 계획 목표 성취의 전 단계에서 주어진 영역에서의 직무수행을 원활하게 할 수 있는 위계적 배치가 요구된다. 이를 위하여 주제어실의 평면배치에서 각 운전원간의 동선관계, LDP를 위계로 한 공간구성, 출입구와 부속실과의 연계성, 간이 회의를 위한 주제어실 내 회의공간 확보등 직무수행과 직관된 전체적인 공간구성이 조성되어야 한다. 따라서 공간의 계획은 원활한 동선 배치, LDP 중심의 공간 설계, 부속실과의 연계성, 유연한 콘솔배치 등으로 요약될 수 있다.

<표 4> 원자력발전소 환경관련 규제 (수치는 규제항목수를 의미함)

환경디자인관련 규제	조명	색채	인테리어	총계	색채와 중복항목
NUREG 0700 Rev.2	15	24	217	256	25
ISO 9241	24	2	28	54	2
MIL-STD1472F	5	15	63	83	15
BSR/HFES-100	3	8	44	55	8
FAA/HFDS	27	44	179	250	44
IEEE-STD-1289	0	1	0	1	1
HF 010	26	6	65	97	6
NASA-STD-3000	8	9	72	89	9
계	108	109	668	885	110

4. 주제어실 공간디자인 요소

본 장에서는 전장에서 디자인전제를 바탕으로 그에 따른 공간특성의 주제어와 부합된 내용으로 디자인요소

관해 공공의 건강과 안전, 환경을 보호하기 위한 목적으로 설립한 독립기관

- 11) 요약, 한국원자력연구소, 차세대 원자로 설계검증 및 핵심기술개발, 과학기술부, 2002, p.32
- 12) 요약, Ibid., pp.34-35

와 연계하여 내용을 서술하였다.

4.1. 주제어실 공간디자인 요소 선정

원전 주제어실은 특수공간으로 원전 규제에 근거하여 추출된 요소와 일반적인 공간에서 추출된 요소를 종합하여 선정하였다.

(1) 원전 규제 요소의 추출

원전 규제는 <표 4>에서와 같이 여러 가지 규제에 근거하고 있으나, 우리나라 원전시설 지침에 따라 NUREG 0700 Rev.2를 준수하는 것이 일반적이다. 이는 미국의 원전규제를 준수하는 우리나라의 실정을 볼 때 NUREG 규제가 거의 모든 규제사항을 포함하고 있기 때문이다. 따라서 <표 5>를 참조로 하여 원전 규제 요소로 10개를 디자인 요소로 추출하였다.

(2) 일반 공간디자인 요소추출

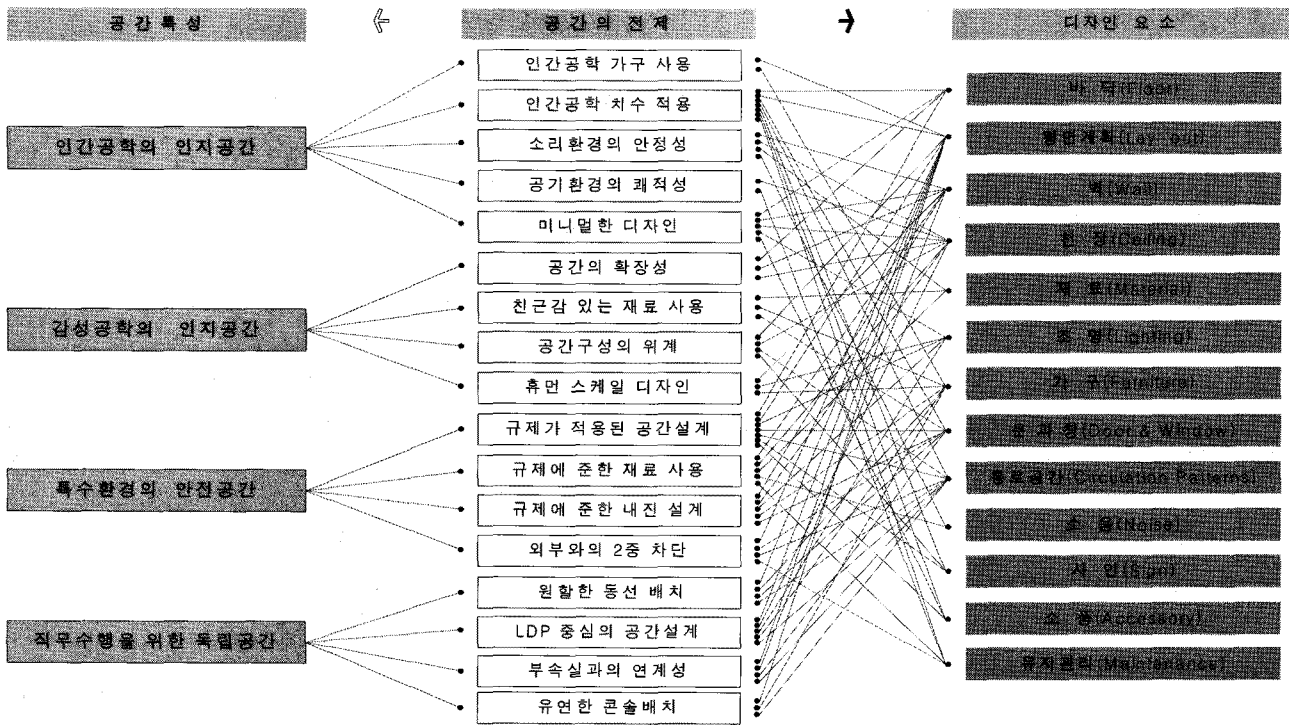
일반 공간디자인 요소 추출은 국내 실내디자인 관련 문헌 8개에서 목차별 분류된 요소를 추출하였으며 어의 상 유사한 의미를 갖고 있거나 동일 영역을 지칭하는 단어는 하나의 단어로 일원화하였다. 즉, 출입구, 개구부는 문과 창으로 하고, 플로어 커버는 바닥으로 예술품, 식물 등은 소품으로 일원화하였다. 또한, 가시공간 확보로 인하여 원전 주제어실에서 제시될 수 없는 계단과 기둥, 난로 등의 내용은 요소 추출에서 삭제하였다. 이상의 내용으로 <표 5>와 같이 공간디자인 요소를 디자인 요소로 추출하였는데, 종합추출된 규제 요소는 바닥, 벽, 천장, 평면계획, 소음, 재료, 가구, 조명, 소품, 문과 창, 통로 공간, 사인, 유지관리 등으로 총 13개이다.

<표 5> 디자인 요소추출

문헌 및 규제	바닥	벽	천장	평면계획	소음	재료	가구	조명	소품	문과 창	통로 공간	사인	유지관리
NUREG0700 Rev.2 (2002)				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
실내디자인 각론(한국 실내디자인학회, 2009)	●	●					●	●		●			
실내디자인 방법론(기문당, 2001)							●	●	●				●
인테리어디자인의 공간과 요소(신기술, 2007)	●	●	●				●	●	●	●			
실내건축디자인 총론(교문사, 2008)	●	●	●							●	●		
실내디자인 구성요소(형설출판사, 2000)	●	●	●				●	●	●	●			
실내디자인학(기문당, 2002)	●	●	●				●	●	●	●	●	●	
Interior Architecture(기문당, 2007)	●	●	●				●	●	●	●		●	
실내디자인론(기문당, 1992)	●	●	●				●	●	●	●	●	●	

4.2. 주제어실 공간특성에 따른 디자인 요소 전개

본 절에서는 3장에서 서술된 주제어실 4가지의 공간 특성에서 출발한 17개의 공간디자인 전제를 디자인 요소 13개와 유의미 있는 내용으로 연결하여 각각의 요소별



<그림 3> 공간특성과 디자인요소와의 연계

디자인 방안을 제시하였다. <그림 3>의 공간특성과 디자인요소와의 연계에 제시된 내용은 디자인 요소를 찾아가고자 하는 목적계층기법(objective hierarchy)¹³⁾으로 최종적인 주제어실 공간 특성에 따라 구분하여 단계적으로 구체화되는 디자인 요소를 만드는 과정이다.

(1) 바닥(Floor)

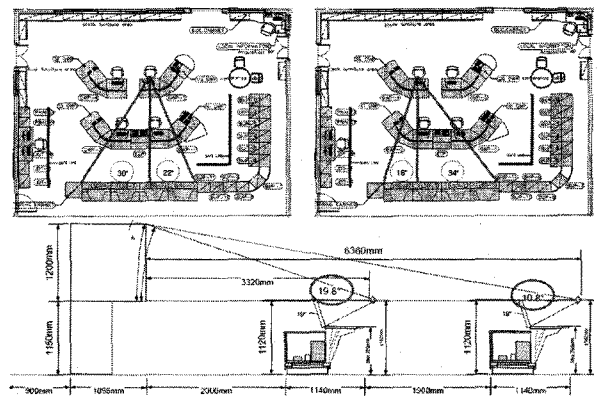
공간의 전제는 인간공학적 치수 사용, 미니멀한 디자인, 공간의 확장성, 규제(Regulation)가 적용된 공간설계이다. 주제어실 바닥은 바닥의 커버와 안전구역에 대한 경각심의 표시로 작용하는 패턴으로 한정된다. 주제어실 바닥은 많은 설비로 인한 올림바닥(access floor)으로 되어있기 때문에 유지관리를 위한 규격화되어 있는 치수(600*600mm)가 적용되어야 한다. 이러한 구조상의 치수 외에도 인간공학 치수, 즉 상위와 하위의 5%를 뺀 5-95%의 인간을 기준으로 안정된 치수가 적용되어야 한다. 또한 원전 규제에 준하여 과도한 패턴보다는 단순하게 인지될 수 있는 미니멀한 디자인과 주제어실의 협소한 느낌을 최소화할 수 있도록 공간이 확장되도록 한다.

(2) 평면계획(Layout)

공간의 전제는 LDP중심으로 한 위계적인 공간설계가 핵심으로, 인간공학 가구 사용, 인간공학 치수 적용, 공간구성의 위계, 규제가 적용된 공간설계, 외부와의 이중 차단, 원활한 동선배치, LDP중심의 공간설계, 부속실과의 연계성, 각 운전원간의 기능적 연결성을 고려한 유연

한 콘솔배치 등을 고려해야 한다.

<그림 4>의 주제어실 평면은 소프트웨어기반의 디지털 정보화면의 직무를 위한 LDP와 중앙의 운전원석인 VDU와의 상관된 공간배치를 위계적이고 인간공학적인 치수를 적용 설계한 것이다.



<그림 4> LDP중심의 공간설계 평면형(상) 단면형(하)

(3) 벽(Wall)

공간의 전제는 소리환경의 안정성, 미니멀한 디자인, 공간의 확장성, 휴먼스케일 디자인, 규제에 준한 내진 설계¹⁴⁾, 규제에 준한 재료의 사용, 부속실과의 시각적 연계성이다. 주제어실 벽면 디자인은 간접적으로나마 소음을

14) 내진설계(Seismic Category): 원전에서의 내진설계는 우리나라의 경우 내진설계 등급Ⅱ를 적용하고 있다. 이는 모형이나 직접실험 방식이 아닌 전문기관에서의 계산에 의한 시험성적서로 통과된 내용을 기준으로 설치되어지고 있다.

13) 이도영, 건축디자인 연구방법론, 스페이스타임, 2005, p.437

감소할 수 있도록 음양각이 반복된 디자인 패턴과 협소한 주제어실을 확장되게 보이도록 하는 디자인이 제시될 수 있다. 또한, 벽과 기타 구조적 설치는 볼트 조임식의 설치구조를 갖춘 내진설계에 의한 벽면마감을 규제 요건에 포함된다.

(4) 천장(Ceiling)

공간의 전제는 소리환경의 안정성, 공기환경의 쾌적성, 미니멀한 디자인, 공간의 확장성, 공간구성의 위계, 규제에 준한 내진 설계, 규제에 준한 재료의 사용, LDP중심의 공간설계이다. 주제어실내 천장은 조명을 위한 공간과 공기조화(HVAC) 공간으로 이루어져 있으며, 기능적으로는 LDP중심으로 각 운전원간의 직무위계를 구성하는데 간접등과 직접등에 적정조도 범주를 위하여 조형적이고 전체 토목적인 한계 값에 따른 내진설계로 디자인되어야 한다.

(5) 재료(Material)

공간의 전제는 소리환경의 안정성, 친근감 있는 재료의 사용, 규제에 준한 재료의 사용이다. 규제에 준한 재료 사용은 원전규제인 M0-M2로 이는 불연재와 난연재 1, 2급이 해당되며, 바닥, 벽, 천장, 가구 등에 적용된다. 원전은 유풍기간 없이 1년 동안 항상 가동되는 곳으로 주제어실 유지보수를 위해서 1년에 한번 정해진 날짜에 이상유·무와 관계없이 전기램프와 기타 소모자재를 교체한다. 이를 위해서는 주제어실내 재료로는 장수명과 원활한 수급이 가능한 자재선택이 요구된다.

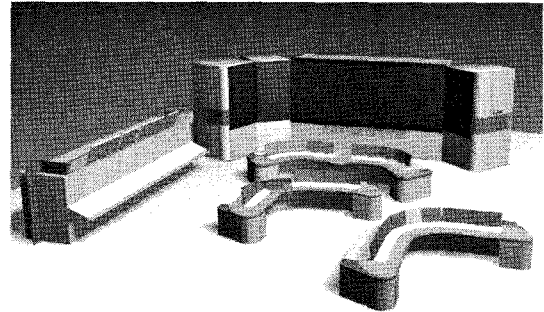
(6) 조명(Lighting)

공간의 전제는 미니멀한 디자인, 휴먼스케일 디자인, 규제가 적용된 공간설계, 규제에 준한 내진 설계, LDP중심의 공간설계이다. 조명은 시각적 시스템 환경이 주요 직무인 차세대형 주제어실에서 가장 주요한 주제로서, 운전원의 시각적 요소를 고려한 조명환경은 운전원 직무와 긴밀한 연계 속에서 고려되어야 한다. 원전 규제에 조명설계 분야는 총 11개 항목으로 조도수준(illumination), 작업표면의 반사율(reflectance), 마감재의 반사율, 작업장의 휘도비(task area luminance ratio), 배광분포(uniformity), 반사눈부심(reflective glare), 색상조명(colored ambient illumination), 조명기구(luminaires) 등이 있다.¹⁵⁾ 따라서 조명분야는 원전 규제에 준할 수 있도록 조명 시뮬레이션을 통한 검증과 분석 후 최종 조명설계 과정을 진행하여야 한다.

(7) 가구(Furniture, Console)

공간의 전제는 인간공학 가구 사용, 친근감 있는 재료 사용, 휴먼스케일 디자인, 규제에 준한 내진설계, 원활한 동선배치, LDP중심의 공간설계, 유연한 콘솔배치 등과 관련이 있다. 주제어실 가구는 일반 사무용 가구와 인터

페이스 할 수 있는 콘솔도 가구의 영역으로 통일화된 디자인으로 종합적으로 제시될 수 있다. 이는 기능성을 바탕으로 한 감성적인 배려로 기계적 환경에서의 친근감과 유연한 디자인으로 심미적 변화를 꾀할 수 있다.



<그림 5> LDP와 콘솔 디자인 예

(8) 문과 창(Door & Window)

공간의 전제는 인간공학 치수 적용, 친근감 있는 재료 사용, 규제가 적용된 공간설계, 규제에 준한 내진설계, 외부와의 2중 차단, 원활한 동선배치, 부속실과의 연계성이다. 문과 창의 요소에는 일반 공간과 달리 관람창이 부가된다. 주제어실 모든 유리로 된 창은 규제에 준한 방탄창으로 마감되며, 문은 양 부속실과 연계할 수 있는 2개소로 나누어 져야 한다. 또한, 복도면과 접할 수 있는 1개소의 별도 출입구도 구성되어야 한다. 이러한 출입구와 관람창과의 관계에서 운전원과 이외 동선과의 관계를 고려하여 위치가 선정되어야 한다.

(9) 통로공간(Circulation Patterns)

공간의 전제는 인간공학 치수 적용, 공간구성의 위계, 규제가 적용된 공간설계, 외부와의 이중 차단, 원활한 동선배치, LDP 중심의 공간설계, 부속실과의 연계성, 유연한 콘솔배치이다. 일반적으로 주제어실은 24시간 3교대 근무를 원칙으로 하고 있으며, 주제어실내 식음료 반입과 직무외의 기타 활동에 대하여 전혀 수행할 수 없으므로 주변 부속실인 회의실과 식당, 화장실과의 내부적 동선경로와 연결이 매우 긴밀화되어있어야 한다. 또한, 복도 및 타실등과 같은 외부와는 차단된 안전한 독립공간으로 존재할 수 있어야 한다.

(10) 소음(Noise)

공간의 전제는 소리환경의 안정성, 규제가 적용된 공간설계이다. 원전규제에서는 주제어실내 소음환경을 45db 이내로 권장하며 65db를 넘지 않도록 하고 있다. 이를 위해서는 마감하부면의 별도 흡음시공이 요구되지만 근원적으로 소음원의 차음에 직접적인 효과가 있다. 주제어실내 소음원은 LDP와 콘솔의 기계운영적인 소음과 HVAC의 공기조화를 유지하기 위한 소음으로 나누어지며, 이를 차단하거나 감쇠할 목적으로 LDP와 콘솔의 재료마감에서 별도의 내·외부 층진재와 HVAC 내부의 2중

15) 이승훈·백승경·이상호, Op. cit., pp.87-88

띄움 구조 등이 고려되어야 할 사항이 있다.

(11) 사인(Sign)

공간의 전제는 인간공학 치수 적용, 공간구성의 위계, 규제가 적용된 공간설계가 적용된다. 일반공간에서의 사인은 주목성과 명시성으로 표현할 수 있으나, 주제어실에서 사인은 원전의 디스플레이(Display) 규제에 따라 가장 필요한 곳에 절제된 표현으로 직무의 인지와 기기들과의 사인과 혼선되지 않도록 제안되어야 한다.

(12) 소품(Accessory)

공간의 전제는 인간공학 치수 적용, 미니멀한 디자인, 규제를 적용된 공간설계이다. 원전규제에 따라 주제어실은 별도의 소품 배치가 금지되며, 부득이 한 경우에는 계측 및 건축 관련부서간의 협의가 이루어진 후에 배치가 가능하다. 특히, 소화기의 경우에 있어서는 지정된 위치와 영역기준에 비치해야 한다.

(13) 유지관리(Maintenance)

공간의 전제는 인간공학 치수의 적용, 공기환경의 쾌적성, 규제에 준한 재료의 사용, 외부와의 이중 차단이다. 앞의 (5) 재료에서 서술한 내용과 같이 원전은 정해진 기간 안에 유지보수를 해야 하므로 재료선정과 유지관리에 있어 운전원 직무에 영향을 주지 않도록 용이한 수급과 관리가 될 수 있도록 한다.

5. 결론

주제어실의 공간특성을 공간디자인의 선행연구를 바탕으로 공간의 전제를 분류하였다. 공간의 전제는 일반 공간 및 주제어실 규제에서 종합 추출된 13개의 디자인 요소와 연관 지어 각각의 내용을 전개하였다. 전개과정에서 일부 요소에서는 중복되는 요소가 발견되었으나 이는 공간디자인의 상호연관성으로 이해할 수 있으며 다음과 같은 결론이 도출되었다.

첫째, 주제어실은 인간과 기계의 인터페이스 공간으로 시스템 환경의 진보로 인하여 시각적, 인지적, 공간적 변화를 초래하였으며, 이것은 다시 오늘날 차세대형 주제어실로 구현되고 있다.

둘째, 진보된 주제어실의 공간특성은 인간공학의 인지공간, 감성공학의 정서공간, 특수환경의 안전공간, 직무수행을 위한 독립공간으로 볼 수 있으며, 이를 통하여 17개의 공간의 전제를 제시하였다.

셋째, 주제어실 공간특성에 따른 공간디자인의 핵심은 인간공학 치수 적용과 규제가 적용된 공간설계 그리고 대형모니터(LDP)중심의 VDT환경의 위계적인 공간설계이다. 이는 차세대형 주제어실 특성에 따른 것으로 디자인 요소 중 평면계획과 쾌적한 시각환경을 위한 조명계획에 가장 많은 연관성을 보였다.

넷째, 주제어실은 일반 공간과 다른 디자인 전제는 규제가 적용된 공간설계, 규제에 준한 내진설계, LDP중심의 공간설계, 외부와의 이중차단이며, 이는 디자인요소 전반에 걸쳐 연관성 있게 나타났다. 이러한 규제에 관한 내용은 전반적인 산업안전에 관한 내용은 규제가 적용된 공간설계로 동일하나 원전공간에 별도의 지침으로 내진설계와 재료적 제한이 다른 공간과 차별화된다.

주제어실 공간특성에 따른 디자인 요소에 관한 연구를 하였으나, 인간공학적 요소만이 반영된 공간에 환경적 개념이 도입된 지 얼마 되지 않은 초기단계로서 심화된 연구전개에 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구는 특수공간에 대한 공간특성에 따른 디자인요소 전개로 향후 전개되는 연구기반 조성에 의의가 있으며, 터키원전, UAE원전 등 세계원전 수주가 가열된 현시점에서 향후 주제어실과 같은 특수공간에 환경 및 디자인과 관련된 후속연구에 지속적인 관심이 필요하다.

참고문헌

1. 김성호, 인테리어디자인의 공간과 요소, 신기술, 2007
2. 김중근 외, 공간플래닝을 위한 Interior Architecture, 기문당, 2005
3. 라스무센, 인터페이스의 인지공학, 이근철 역, 기전연구사, 1999
4. 박홍, 실내디자인론, 기문당, 1992
5. 백승경·이승훈, 인간공학기준에 의한 차세대형 주제어실 조명설계 및 조도 휘도 분석, 대한인간공학회논문집 Vol.27 No.2, 2008
6. 이승훈·백승경·이상호, 원자력 발전소 주제어실 사례를 통한 특수공간 디자인에 관한 기초적 연구, 한국실내디자인학회논문집 제16권 5호 통권64호, 2007
7. 이도영, 건축디자인 연구방법론, 스페이스타임, 2005
8. 오인옥, 실내디자인방법론, 기문당, 2001
9. 오인옥, 실내디자인학, 기문당, 2002
10. 카이호 히로유키·하라다 에츠코·쿠로스 마사야키, 인터페이스란 무엇인가?, 박영목·이동연 역, 지호, 1998
11. 한국실내디자인학회, 실내디자인학론, 기문당, 2009
12. 한국원자력연구소, 차세대 원자로 설계검증 및 핵심기술개발, 과학기술부, 2002
13. 한국전력기술주식회사, Design Report for the Environment Design of Ling Ao Phase II MCR, 2007
14. 한영호, 실내디자인 구성요소, 형설출판사, 2000
15. 황세옥, 공간계획과 인간공학, 태학원, 2004
16. 황세옥, 실내건축디자인총론, 기문당, 2000
17. FAA/HFDS, Federal Aviation Administration, 2001
18. IEC 60964, International Electrotechnical Commission, 1989
19. ISO 9241, International Organization for Standardization, 1997
20. MIL-STD-1472F, Military Standards, 1999
21. NASA-STD-3000 8장, National Aeronautics and Space Administration, 1995
22. NUREG 0700 REV 2, Nuclear Regulatory Commission, 2002

[논문접수 : 2010. 10. 28]
[1차 심사 : 2010. 11. 15]
[게재확정 : 2010. 12. 10]