Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 2 pp.73-82, May 2008

인간공학 기준에 의한 차세대형 주제어실 조명설계 및 조도 휘도 분석
- 중국 광동 Ling Ao Phase II NPP MCR 환경디자인을 중심으로 -

백 승 경[1] · 이 승 훈[2]

[1]수원과학대학교 실내건축디자인과 / [2]한서대학교 실내디자인학과

A Study on Lighting Design and Illumination and Luminance of in Advanced type Control Room by the Standard of Ergonomics
- Focused on Ling Ao Phase II NPP MCR Environmental Design in Guangdong, China -

Seong Kyung Back[1], Seung Hoon Lee[2]

[1]Department of Interior Architectural Design, Suwon Science College 445-743
[2]Department of Interior Design, HANSEO University 356-706

ABSTRACT

Currently an office in information society is advanced to a digitalized VDT office. The VDT office has a natural luminous system prioritizing visual perception and so importance of lighting design by artificial lighting is emphasized in the VDT office. The purpose of the study is to analyze Illumination and Luminance for lighting design by the standard of ergonomics in the VDT office. The study analyzed Illumination and Luminance in the main control room of an nuclear power plant needing a design of ergonomics ACR(Advanced Control Room) type Ling Ao phase II NPP MCR in Guangdong, China. The study examined the relativity of ACR characteristics to its operator's duties and set up an outline of lighting design, the standard of ergonomics and input data for the analysis. Thus, the study examined appropriateness with the standard of ergonomics setting up the analyzed Illumination and Luminance and drew a conclusion.

Keyword: VDT(Visual Display Terminals) office, Illumination, Luminance, Ergonomics, ACR (Advanced Control Room)

1. 서 론

공간은 도구를 사용하는 산업사회에서 컴퓨터를 사용하는 정보화 사회로 가고 있으며 정보화 사회의 공간은 컴퓨터와 디지털화된 계기들로 구성되는 인간과 기계의 상호 인터페이스적인 공간이다. 인간과 기계가 통합체계로 운영되는 인터페이스공간은 모니터링을 통해 조작 통제하는 VDT (Visual Display Terminals) 사무공간이다. 최근의 인간공학 연구의 흐름은 인간과 기계 상호보완 차원에서 연구가 이루어져 인간을 기계에 맞춤(기계위주)→기계를 인간에 맞춤(인간위주)→인간기계의 최적 통합체계의 설계→개인차를

교신저자: 백승경
주 소: 445-743 경기도 화성시 정남면 보통리 산 9-10, 전화: 019-9144-9024, E-mail: gardenback@hanmail.net

고려한 설계(신철학)로 철학적 변화배경을 거쳐 발전되었다(황세옥, 1999). 따라서, 연구 목적은 인간과 기계가 공유하며 조작, 통제하는 시스템화된 공간인 원자력 발전소(이하 원전) 주제어실을 인간공학적인 기준으로 조도 휘도 분석을 하여 효과적인 조명설계를 제시하고자 한다.

본 연구에서는 중국 광동 Ling Ao Phase II 원전의 차세대형 주제어실 조명설계를 바탕으로 인간공학 기준에 적합한 조도, 휘도를 분석한다. 적정조도 휘도를 위하여 기존 주제어실과 차별화된 차세대형 주제어실의 네 가지 조명설계안이 요약 제시된다. 조명설계안이 제시된 주제어실은 적정조도, 적정휘도, 최소한의 Glare, 영역별 조도제안, Dimming Zone 등이 효과적으로 구현된다. 조명설계안은 LDP(Large Display Panel)와 VDU(Visual Display Unit) 공간의 유연한 조명환경 제어, 작업영역에 따른 조도, 휘도 차별화로 차세대형 주제어실의 기능적인 업무효율을 위한 운전원의 시환경 개선과 그에 따른 가독성 향상으로(이수진, 김진우 2007) 인간공학 기준에 의한 차세대형 주제어실 조명설계안을 제시하는데 의의가 있다.

연구의 방법은 2장에서 원전의 차세대형 주제어실에 공간적 특성과 운전원 직무와 조명환경의 상관성에 대하여 알아본다. 3장에서는 주제어실의 인간공학적인 조명설계 기준을 NRC에서 추출하여 제시한다. 4장에서는 조명설계제시와 조도, 휘도 분석을 한다. 조도 휘도 분석은 10회에 걸친 분석값 중 인간공학 규준에 적합한 최종 분석 값을 제시하고 5장에 결론을 도출한다.

본 연구는 세 가지 제한을 전제로 한다.

첫째, 원전 특성상 정확한 치수와 재질 및 각 운전원석 고유명을 서술하지 않으며 분석을 위한 기초 데이타는 None Scale 기준으로 표기한다.

둘째, 분석은 조명분야의 RELUX 프로그램으로 한정하고 주제어실을 Max 상용(최대시 상용조명)과 Dimming 상용(적정시 상용조명) 그리고 비상상용(비상시 상용조명)으로 나누어 분석한다.

셋째, 조도 휘도 분석에 의한 조명설계 해석은 빛의 특성과 관련한 공간적인 고려사항이다. 공간에 있어 인공조명인 빛은 인지되는 정도가 매우 비형상적이고 영역적이어서 제시된 숫자와 칼라 값 개체에 의미를 해석하기 보다는 빛의 특성을 감안하여 조명의 조사 방식에 따른 전반적인 조도 레벨, 휘도의 방향으로 해석한다. 따라서 본 논문에서 숫자와 칼라를 함께 삽입한 것은 연구의 신뢰성을 부여하고자 하였으므로 빛을 숫자 분석에 의한 개체적인 절대 해석이 아니라 상위 하위 5%를 배제한 90% 범위대의 숫자 영역대 또는 칼라 준위 값을 해석에 참고로 한다.

2. 차세대형 주제어실 특성 및 조명환경

2.1 차세대형 주제어실 특성

신형경수로인 ACR(Advanced Control Room)은 LDP 등 디지털 기기들을 기반으로 운영하는 차세대형 주제어실이다. ACR내의 VDU는 운전원 등을 위한 Workstation이 개인별로 설치되어 있으며 운전원은 Workstation 상의 VDU 화면을 통하여 정보를 취득하며 제어명령 또한 VDU 상의 Soft Control을 사용하여 전달한다. ACR내의 LDP는 원전 주요 계통의 종합적 상황을 제어실내 모든 작업 요원에게 상시적으로 전달하기 위한 LDP이다(과학기술부, 2001). 기존의 많은 수의 경보창을 대신하여 경보신호도 체계적으로 처리되어 VDU 및 LDP 등을 통하여 운전원에게 전달된다. VDU 상에 전자식 절차서(Computerized Procedure System) 등 운전 편의성을 증진시킬 수 있는 기능들이 제공되므로 기존 주제어실에 비해 운전원의 인지적, 신체적 부하가 경감되어 운전 신뢰성이 향상된다.

그림 1은 ACR 방식의 Ling Ao phase II NPP MCR Facility Plan으로 중앙 콘솔지역의 VDU 및 전면 LDP 등이 설치된 지역으로 구분된다. 중앙의 VDU는 4개 콘솔인 OWP(Operator Work Panel)가 있고 1개의 ECP(Emergency Control Panel)가 구성된다. 전면 LDP는 상하 8개가 통합된 한 화면으로 구성되고 왼쪽으로 11개의 BUP(Back-Up Panel)가 위치한다. BUP 맞은편에는 JDT(Fire detection System)와 프린터로 구성된다. 주제어실 주변 구성은 병렬형으로 양측 사무실은 컴퓨터실(Computer Room)과 지원사무실(Common Control Room)로 이루어진다. 조명설계시 주제어실 구성체계는 직무와 함께 가장 중요한 체크요소로 영역별 작업성격과 그에 준한 시 환경이 제시되어

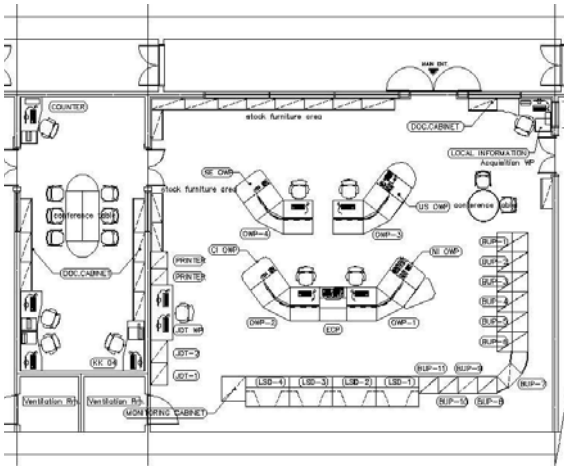


그림 1. Ling Ao phase II NPP MCR Facility Plan

야 한다. 따라서 주제어실 특성에 따른 시 환경은 VDU 및 LDP 등이 설치된 지역과 기타 작업지역별로 수행되는 Task에 따라 동일한 조도가 요구되는 몇 개의 조명구역으로 구분하여 구역별 최적의 작업환경을 제공과 동시에 원자력관련 제반 인간공학 기준을 만족하는 조명설계가 수행되어야 한다.

2.2 운전원 직무와 조명환경의 상관성

그림 2는 주제어실내 전면의 LDP 중심으로 중앙 OWP Console의 VDU 운전원 좌석과의 공간적인 치수 관계를 보여주고 있다. 주제어실은 소프트웨어기반의 디지털 정보화면을 통한 직무가 주로 이루어지므로 LDP와 VDU의 상관된 환경적 변화가 요구된다. 환경적 변화는 조명, 공간배치, 제어실내 구성 형태 및 색상, 재료마감 등 인테리어를 주제어실에 맞게 기능적, 미적, 심미적 및 인간공학적인 요소를 고려하여 설계해야(한국전력기술주식회사, 2007)하며, 특히 운전원의 시각적 요소를 고려한 조명환경은 운전원 직무와 가장 밀접한 관계 속에서 고려되어야 한다.

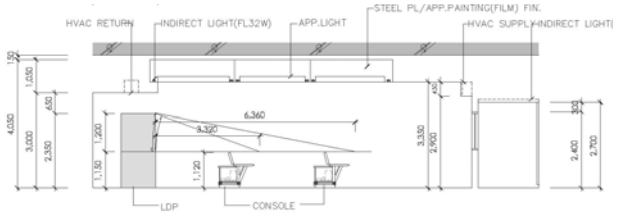


그림 2. LDP와 중앙 VDU 운전원과의 공간적 치수

원전 제어반의 다양한 표시기를 통하여 제공되었던 거의 모든 정보들이 간단한 화면을 통하여 운전원들에게 제공되고, 또 그러한 정보에 대한* 제어 및 원전에 대한 제어 조작도 마찬가지로 화면 조작을 통하여 피드백(Feedback)이 이루어진다. 그렇기 때문에 이러한 화면 표시장치 및 관련 조작기기와 관련된 기기의 결함 및 인적 오류에 대한 대비가 가장 중요한 설계현안이다(이용희 외, 2003). 원전은 여러 운전조를 구성하는 각각의 운전원은 개별적으로 수행해야 할 직무가 있으며 운전원들에게 적절히 할당되어 유기적으로 수행되어야 한다(하준수 외, 2006). 따라서 운전원 직무를 원활히 수행하기 위해서는 주제어실내의 적절한 조명환경의 유지가 필수적으로 요구되며, 특히 차세대형 원전의 경우 안전운전의 중요성과 변화된 Display 환경 때문에 인간공학설계 기준을 통하여 적절한 조명환경의 설계 및 유지를 요구하고 있다.

3. 인간공학적인 주제어실 조명설계 기준

본 연구를 위한 인간공학 기준은 조명의 기본적인 지침과 영역별 조도 준위, 휘도비율, 반사값을 제시하는 내용으로 정한다. 인간공학 기준은 NUREG0700 REV-2 12.1.2.3-1 Illumination Levels(표 1) / NUREG0700 REV-2 12.1.2.3-4 Task Area Luminance Ratios(표 2) / NUREG0700 REV-2 12.1.2.4-3 Emergency Lighting Levels / NUREG0700 REV-2 12.1.2.3-7 Reflectance (표 3) / IEC 60964 App.A.4.1.3.b) Visual Capabilities & Characteristics 등의 내용을 분석 기준으로 한다. 이외 VDU, Glare, Dimming은 NRC, FAA, IEC의 기준에 따르고 마감재 선정 기준은 원전 건축설계지침에 기준하여 선정하였다.

표 1. 다양한 작업과 작업공간을 위한 표준 조도 수준
Nominal illumination level for various tasks and work areas(단위:fc)

항목	작업공간 혹은 작업 유형 Work Area or Type of Task	작업조도 Task Illuminance, footcandles(Lux)
1	패널, 주 작업공간 Panels, primary operating area	50(500)
2	보조패널 Auxiliary panels	50(500)
3	표시기 읽기 정도 Scale indicator reading	50(500)
4	앉아서 작업공간 Seated operator stations	100(1000)
5	읽기-손으로 쓴 것 Reading - handwritten(pencil)	100(1000)
6	인쇄 혹은 타이핑된 것 - printed or typed	50(500)
7	대형화면 - VDU	10(100)
8	쓰고 데이터 기록 Writing and data recording	100(1000)
9	유지 및 배선공간 Maintenance and wiring areas	50(500)
10	비상 작업공간 Emergency operating lighting	10(100)

3.1 적정조도

안정적 직무수행을 위하여 원전 주제어실은 표 1과 같은 인간공학적 권장조도 수준을 준수하여야 한다. 이러한 조도값은 작업 배경의 반사율, 운전원의 나이, 작업수행의 임계성 등 보수적인 가정에 기초를 두고 있다. 특히 너무 낮거나

높은 조도는 위험한 작업을 수행할 때 계기판독을 어렵게 하거나 운전원 눈의 피로감을 가중시키고 시 작업 능력을 저하시키는 요인이 되므로 조명설계시 주의가 요구된다.

조도는 빛의 밝기를 수량적으로 표시한 것이다. 표 1은 NUREG0700 REV-2 12.1.2.3-1 Illumination Levels로 원문과 한글 번역본을 함께 하였으며 이는 최대 작업조도와 Dimming을 한 상태의 작업조도, 비상시 작업조도에 설계 지침이 된다.

3.2 적정휘도

원전 주제어실의 원활한 운전을 위해서는 작업면과 주변 공간 간의 조명적 균형이 중요하다. 균일한 작업조명에 대한 요구사항을 수용하기 위해서는 주변 작업의 조명 정도를 결정하는 것이 필요하다. 그러므로 효과적인 시각적 직무수행을 위해서 표 2와 같은 휘도비율을 정하여 규제를 하고 있다.

휘도는 광원을 보았을 때 빛나는 정도 즉 표면에 반사되었을 때 현휘를 비율로 표기한 것으로 마감표면의 반사율과 깊은 상관성이 있다. 표 2의 내용은 NUREG0700 REV-2 12.1.2.3-4 Task Area Luminance Ratios로 원문과 한글 번역본을 함께 하였으며 상대적인 비율값을 제시하고 있다. 이는 최대 작업시 Max 상용조도와 적정 상태의 Dimming 상용조도, 비상시 작업조도에 설계지침이 된다.

표 3의 내용은 마감재 반사율 적용의 NUREG0700 REV-2 12.1.2.3-7 Reflectance의 지침이며 본 연구에서는 천장면을 90%, 벽면을 50%, 바닥면을 20% 준한 마감재 반사율을 적용한다.

표 2. 최대 작업공간의 휘도비율
Maximum task area luminance ratios

항목	공간 Area	휘도비율 Luminance Ratio
1	작업공간에 대하여 인접한 어두운 주위환경 Task area versus adjacent darker surroundings	3:1
2	작업공간에 대하여 인접한 밝은환경 Task area versus adjacent lighter surroundings	1:3
3	작업공간에 대하여 더 멀리 떨어진 어두운 표면 Task area versus more remote darker surfaces	10:1
4	작업공간에 대하여 더 멀리 떨어진 밝은 표면 Task area versus more remote lighter surfaces	1:10
5	휘도에 대하여 인접한 표면 Luminaires versus surfaces adjacent to them	20:1
6	표준시야영역 안의 어느 곳 Anywhere within normal field of view	40:1

표 3. 권고되는 작업공간의 반사 정도
Recommended workplace reflectance levels

표면 Surfaces	반사율 Reflectance	
	우선값 Preferred	허용값 Permissible
천장 Ceiling	80%	60~95%
위쪽의 벽 Upper Wall	50%	40~60%
아래쪽의 벽 Lower Wall	15~20%	
기계 / 표시기 Instruments/Design	80~100%	
캐비넷 / 콘솔 Cabinets/Consoles	20~40%	
바닥 Floor	30%	15~30%
가구 Furniture	35%	25~45%

Recommended reflectances are for finish only. Overall average reflectance of acoustic materials may be somewhat lower. The upper walls(one to two feet below the ceiling)may be painted with the same paint as is used on the ceiling.

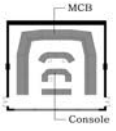
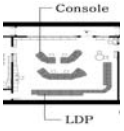
4. 주제어실 조명설계 및 조도 휘도 분석

본 장에서는 앞에서 언급된 운전원의 직무 특성과 조명환경 관련 규제를 참조로 주제어실 조명설계 및 조도 휘도를 분석하였다. 분석은 기존 주제어실과는 다른 구성 요소가 도입된 차세대형 주제어실인 중국 광동에 건설 중인 원자력발전소 Ling Ao phase Ⅱ 주제어실을 대상으로 하였다. 조도 휘도 분석을 위한 기초 데이터 및 공간 개요는 표 5의 자동 연산용 등기구와 램프의 조명 분석용 공학적인 세부 내용 파일과 표 6의 수작업 입력값과 표 7의 공간 개요를 필요로 한다. 즉, 등기구와 램프의 공학적인 자료와 실내의 재료마감에 따른 반사율과 작업면 높이, Lighting Plan에 의한 조명기구와 램프배열 그리고 조명효율, Power, Maintenance 지수가 반영된 값이 조명분야의 RELUX 프로그램을 통하여 이루어진다. 분석 값은 숫자, 색 온도 값으로 정량화하여 표시하며 칼라 값은 하단 칼라 띠의 숫자를 참고로 비교되고 숫자 값은 X, Y, Z축에 의해 m단위 간격으로 산술하였고 ▼기준으로 중간 Section한 횡 · 종단면 값과 3D 형태를 각각 ◇, □ 위치에서 본 각도로 그래픽과 그래프로 표기하였다.

본 연구에서는 비상등을 제외한 전체 등기구에 Dimmer Ballast를 내장하여 평상시 조도 준위를 최대값, 적정값 또

는 이외 상황에 유연하게 제어할 수 있도록 제안하였다. 따라서 모든 조명이 최대 조도된 최대값의 Max 상용조명과 Dimmer Switch로 조도 준위가 조절된 Dimming 상용조명, 위 상황의 조명이 모두 소등된 비상전력으로 가동되는 비상시의 비상용조명등 모두 3가지 상황으로 나누어 분석하였다. 분석은 위 3가지 상황의 주제어실내 동일 조건하에 Dimmer Switch 조작에 의한 조도의 변화와 소등시의 비상등에 조도 준위를 검증하는 데 있다. 전체 평면 좌표 값 중 숫자 '(0)'으로 표기된 것은 조도가 기기들과 만나는 면으로 조도 휘도가 나타날 수 없는 값이고 표기 중 '[59]'으로 표기된 것은 주변 조도 휘도에 비해 현저히 높은 숫자 값을 표시한다. 따라서 '( )'과 '[ ]' 등의 값은 분석 값에서 제외한다. 좌표와 칼라에서 표현된 값은 등 기구와 램프의 배광 분포 곡선의 겹친 부분 혹은 후미 진 부분에서의 극소 혹은 극대화된 값으로 각각 상위, 하위 5% 범위로 간주하여 제외하였다.

표 4. 주제어실 조명설계 비교

항목	기존 주제어실	차세대형 주제어실
특성	개별 조작, 제어용 아나로그 계기와 패널 보드로 구성 – 'U'자형 패널구성	통합 조작 제어가 네트웍된 디지털화된 화면 (LDP/VDU)구성 – LDP를 중심으로 구성
배광 방식	작업면에 하향 직사되는 단일조명방식 (1.직접등) 1	작업면과 비작업면과 구분된 복합조명 방식 (1.간접등, 2.직접등, 3.반간접등) 1 2 3
조명 기구	1.건축화 조명–직접등 광천장 조명	1.건축화 조명–간접등 / 2.Down Light / 3.월워셔
Dimmer Ballast	없음 (On–Off type Switch)	On 상태에서 조도량을 조절 (Dimmer Switch)
작업 영역별 조도	단일 수평면에서 동일 조도 직사	영역별 조도 제안으로 차별화된 조도 직사
천장 높이	주제어실 전체 CH: 3,300mm	LDP 상부 CH: 3,000mm 중앙 콘솔상부 CH: 4,050mm 유지 보수공간 CH: 3,350mm
가구 및 설비 배치형태		
사진		

4.1 주제어실 조명설계

표 4는 기존 주제어실과 차세대형 주제어실의 특성에 따라 비교한 것으로 개선 목적 관련하여 네 가지 조명설계안은 다음과 같으며 이를 반영한 내용은 표 5, 표 6, 표 7이며 분석은 표 8과 표 9이다.

(1) 천장 높이의 다변화: 표 7의 천장설계에 따라 그림 2와 같이 주제어실 높이를 작업영역에 따라 달리 구성한다. LDP 상부는 주변 조명간의 간섭을 피하기 위하여 천장면을 낮춘다. 중앙 콘솔 상부는 간접조명의 상부 확산광을 위하여 최대한 높이고 이외 유지보수를 위한 공간은 천장면을 낮춰 적정조도를 확보한다.

(2) 복합조명방식: LDP 상부는 자체 휘도에 의한 주목성을 위해 조명을 피하고 주변 조도로 조도를 유지하며, LDP 후면 유지보수를 위해 상부에서 월워셔 타입의 반 간접조명 방식으로 하여 조도, 휘도 직사 범위에서 제외한다. 중앙 콘솔 상부는 VDU 환경에서의 최소한의 글레어를 위하여 천

표 5. 조도 휘도 분석을 위한 등기구 램프 기초 데이터

Description	Mark	Q'ty	Lamp	배광 곡선
Down light (직접등 –비상조명)		15	PANOS IP54 GLASS 1/150W A65 Incandescent	
Indirect light (간접등)		76	ZE T16 EVG 1/35W T16 Fluorescent	
Down light (직접등)		11	2LIGHT E2 EVG TI 2/42W TC–TELI Fluorescent	
Wall washer Down light (반간접등)		18	MIREL FEW T16 EVG 1/54W T16 Fluorescent	

표 6. 조도 휘도 분석을 위한 공간 기초 데이터

구분	Input data	참고
규모	W:14,885*D:12, 100*H:4150	실내안쪽 규모
반사율 (Reflectance)	바닥: 20% 천장: 90%, 벽: 50%	재료에 따른 NRC 반사율
작업면 조도, 휘도	내측면에서 0.5m 시작하여 2m 간격	X, Y, Z의 그리드 값
측정점 높이	바닥으로부터 0.8m	콘솔 작업대 기준
보수율 (Maintenance)	80%	일반 사무공간 기준 보수율

표 7. 조명설계 개요

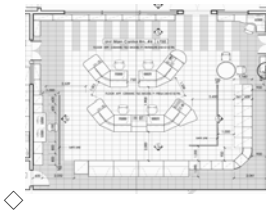
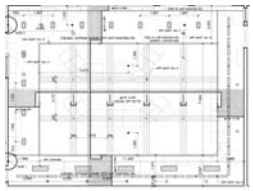
항 목	평면(Floor Plan)	천장(Ceiling Plan)	벽(Wall)
도면(Drawing)			
재료마감(Material)	Ceramic tile (grey)	Ceiling tex / gypsum board with painting	Lacquer Painting
Power & Luminous	Total power: 4969w, luminous flux of all lamps: 401300lm		

표 8. 주제어실 조도 분석(Lux)

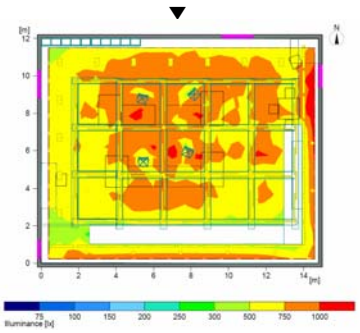
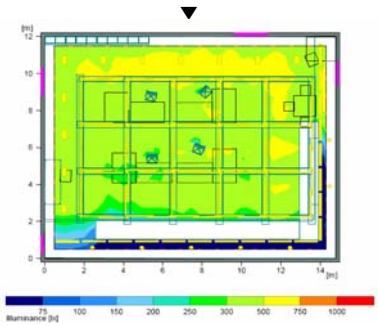
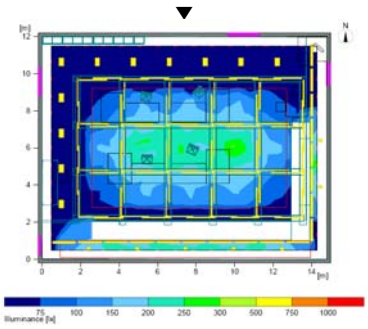
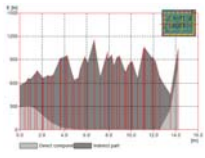
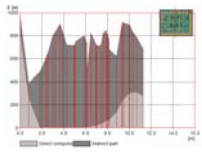
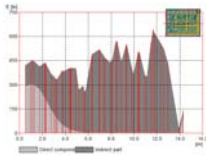
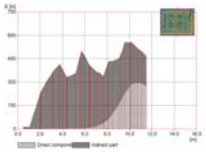
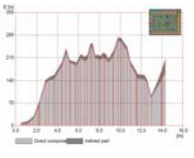
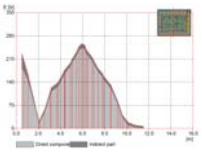
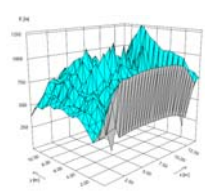
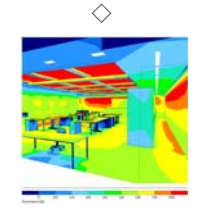
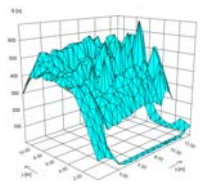
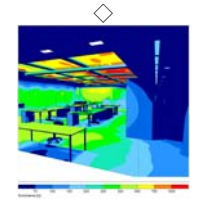
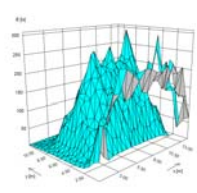
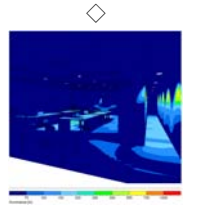
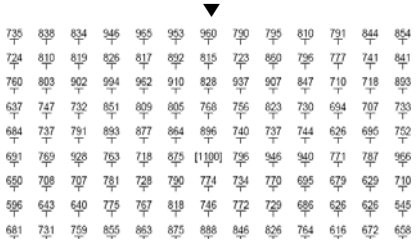
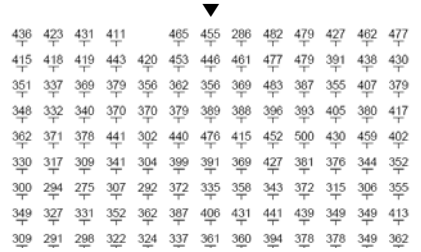
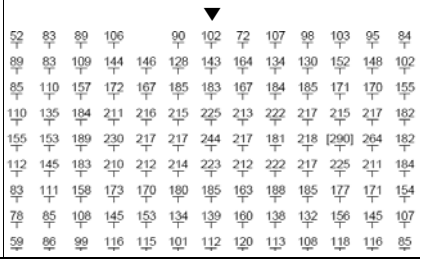
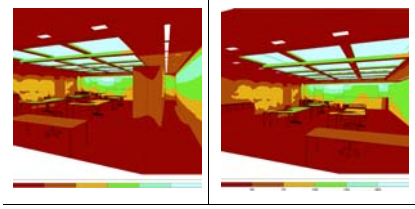
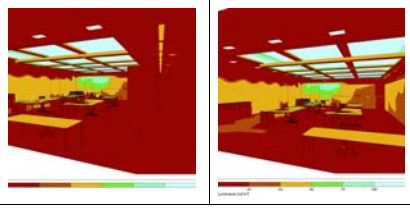
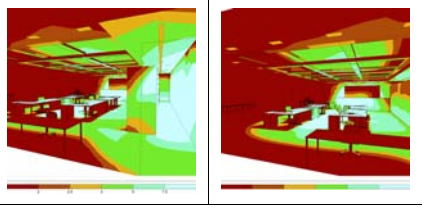
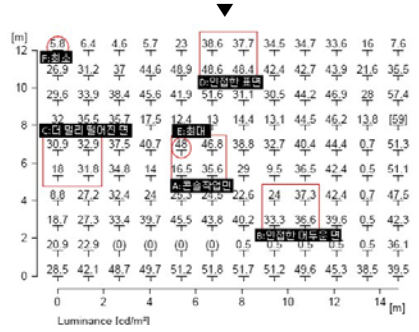
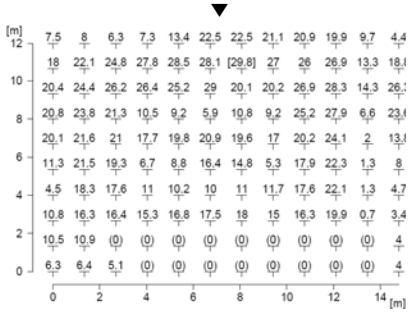
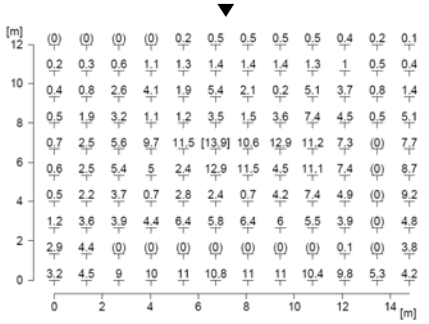
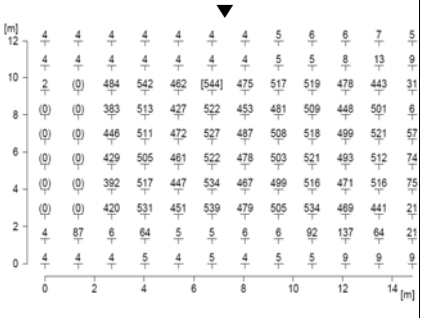
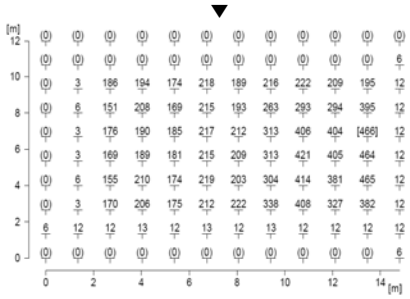
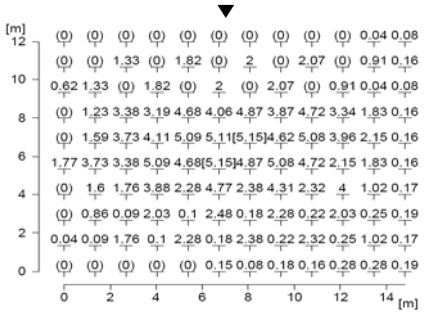
1. MAX 상용조명 Color Plan		2. Dimming 상용조명 Color Plan		3. 비상용조명 Color Plan	
					
2D Horizon Section	2D Vertical Section	2D Horizon Section	2D Vertical Section	2D Horizon Section	2D Vertical Section
					
3D XYZ Plan	3D Color Plan	3D XYZ Plan	3D Color Plan	3D XYZ Plan	3D Color Plan
					
MAX 상용조명 Table plan		Dimming 상용조명 Table plan		비상용조명 Table plan	
					

표 9. 주제어실 휘도 분석(cd/m^2)

1. Max 상용조명 Color Plan	2. Dimming 상용조명 Color Plan	3. 비상용조명 Color Plan
◇ □	◇ □	◇ □
		
Table, Floor Plan	Table, Floor Plan	Table, Floor Plan
		
Table, Ceiling Plan	Table, Ceiling Plan	Table, Ceiling Plan
		

▼: 기준면, ◇: ◇위치에서 본 view, □: □위치에서 본 view

장 상부를 직사하는 간접등 방식으로 한다. 주제어실내 유지 보수를 위한 공간은 조도 확보를 위해 직접등 방식을 한다. 글레어는 등기구의 배광 방식과 배치와 상관하며 간접 또는 반간접(최홍규, 2006)을 제안한다.

(3) Dimmer Ballast 내장: 비상 조명기구를 제외한 모든 등기구에 Dimmer Ballast 내장하여 최대, 적정조명으로 주제어실 조도를 영역별로 유연하게 제어한다. 그림 3과 같이 작업영역을 차별화한 Dimming plan을 적용한다.

(4) 인간공학 규제에 준한 마감재: 표 3을 적용하려면 주제어실 바닥은 15~30%, 벽은 40~60%, 천장은 60~95% 영역안의 반사율이 적용된 마감재를 제시한다. 이는 휘도와 상관성이 깊으며 거울이나 기타 반사 휘도가 심한 마감재 사용을 제한함을 의미한다.

4.2 주제어실 조도 분석

주제어실 조도 분석은 표 5, 표 6, 표 7에 따라 표 8의 분석 값이 나왔다. 표 8의 1, 2, 3은 각각 Max 상용조명, Dimming 상용조명 그리고 비상용조명의 조도를 평면상 칼라 값으로 표현하였고 하단에 연계하여 해당되는 분야를 각각 횡단면 종단면 형태로 잘라 중앙 반사 조도(Indirect part)와 직사 조도(Direct cowpony)를 알 수 있다. 횡·종단면에 의한 조도의 분포 형태는 공간에서 글레어와 밀접한 상관성이 있으며 그래프상에서 밝은 면은 직접조명에 의한 직사 조도, 진한 면은 간접조명에 의한 반사 조도로 알 수 있다. 표 8의 1과 2는 횡·종단면 그래프상 조도 형태가 모두 진한색의 간접조명에 의한 천장면 반사 조도분포로 VDT 사무공간의 글레어가 적은 안정된 시 환경이다. 표

8의 3 비상조명은 비상시 단시간 쾌속 직사를 목표로 직접 조명에 의한 조도 형태를 구현하였다. 표 8의 1, 2, 3의 3차원적 X, Y, Z축에 의한 종합 좌표로 표현된 그래프와 주제어실 전체의 조도 형태가 구현된 칼라 값을 구했고 보다 정확한 표기를 위해 하단에 중양 콘솔 운전원 작업면 조도량(그림 3의 Zone 1 영역)을 각각 숫자로 표현하였다. 이 숫자 값은 표 8의 1, 2, 3의 세 가지 상황에 해당하는 중앙 운전원 콘솔 상부 조도량을 비교 검토할 수 있다.

프로그램을 통하여 제시된 표 8의 조도 분석은 인간공학 지침기준인 표 1의 검증을 다음과 같은 내용으로 정리할 수 있다.

(1) 표 1의 1, 4, 5, 8번 항목은 오퍼레이팅, 앉아서 읽기, 쓰기가 주된 업무영역으로 그림 3의 Zone 1 지역으로 연계한다. 중앙 운전원 콘솔영역으로 최대 1000Lux(주황색주변)에서 적정 500Lux(연두색주변)의 적정 조도가 제시되었다.

(2) 표 1의 2번 항목은 보조 패널을 위한 영역으로 그림 3의 입구 좌 측면 Zone 3 지역으로 연계한다. BUP 패널을 위한 조도는 최대 700Lux(노란색주변)에서 적정 500Lux(연두색주변)의 적정조도가 제시되었다.

(3) 표 1의 6번 항목은 인쇄 혹은 타이핑된 것을 위한 영역으로 그림 3의 입구 우 측면 Zone 3 지역으로 연계한다. 인쇄를 위한 조도는 최대 700Lux(노란색주변)에서 적정 500Lux(연두색주변)의 적정조도가 제시되었다.

(4) 표 1의 7번 항목은 대형화면을 위한 영역으로 그림 3의 Zone 2 지역으로 연계한다. LDP 앞은 최대 250Lux(연두색주변) 이상에서 적정 100Lux(파랑색주변) 이상의 적정조도가 제시되었다.

(5) 표 1의 9번 항목은 유지 및 배선을 위한 영역으로 그림 3의 Zone 4, 5 지역으로 연계한다. 유지 관리를 위한 조도는 최대 700Lux(노란색주변)에서 적정 500Lux(연두색주변)의 적정조도가 제시되었다.

(6) 표 1의 10번 항목은 비상 작업공간 영역으로 표 8의 3과 연계한다. 주제어실 비상용조명은 상용조명이 모두 소등된 비상 상황에서의 조도가 100Lux(파랑색주변) 이상 확보되므로 소등시 적정조도가 제시되었다.

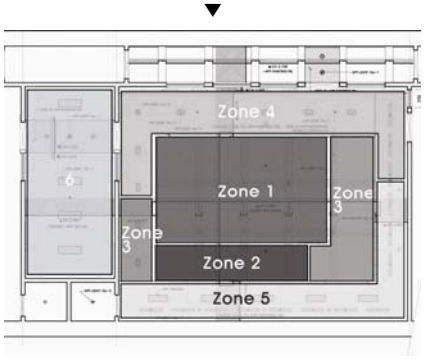


그림 3. 조도 Dimming Plan

4.3 주제어실 휘도 분석

주제어실 휘도 분석은 표 5, 표 6, 표 7에 따라 표 9의 분석 값이 나왔다. 표 9의 1, 2, 3은 각각 Max 상용조명, Dimming 상용조명 그리고 비상용조명시 휘도를 숫자와 칼라 값의 3D형태로 분석한 것을 표현하였다. 휘도는 NRC 규제와 관련하여 작업면 휘도비와 주변부 휘도비가 참고되어야 하며 천장면 휘도차가 있어야 간접등 반사 휘도에 의한 작업면 글레어가 최소화되므로 천장면 휘도비가 참고되어야 한다. 따라서 표 9의 휘도 분석은 1, 2, 3각 조명상황에 따른 주제어실 전체의 휘도를 ◇, □ 위치에서 본 면을 3D 칼라 값으로 제시하였고 작업면과 천장면 휘도비를 정량화하여 X, Y 즉, 가로 세로의 평면 숫자 값으로 하단에 표기하였다.

프로그램을 통하여 제시된 표 9의 휘도 분석은 인간공학 지침기준인 표 2에 검증하여 표 10, 표 11, 표 12, 표 13으로 평균 휘도비를 정리하였고 내용은 다음과 같다.

표 10. A: 콘솔 작업면과 B: 인접 어두운면 휘도 분석(cd/m^2)

A: 콘솔 작업면(작업공간/ 인접한 밝은 환경)
B: 인접한 어두운 면(인접한 어두운 주위환경/ 작업공간)

항목	기준치	적용면	적용면 평균치	산술값
1	3 : 1	B : A	36.7 : 32.8	1.12 : 1
2	1 : 3	A : B	32.8 : 36.7	1 : 1.12

(1) 표 2의 1, 2번 항목은 작업공간에 대하여 인접한 어둡거나 밝은 주위환경과 상대적 비율로 표 9의 A, B 콘솔 작업면과 인접 작업면과의 휘도비로 분석된다. 따라서, 표 10과 같이 작업공간과 인접한 어둡거나 밝은 주위환경과의 산술 휘도비는 상대적으로 3배 이상 나지 않으므로 적정휘도 기준에 적합하다.

표 11. A: 콘솔 작업면과 C: 더 멀리 떨어진 면 휘도 분석(cd/m^2)

A: 콘솔 작업면(작업공간/ 더 멀리 떨어진 밝은 표면)
C: 더 멀리 떨어진 면(더 멀리 떨어진 어두운 표면/ 작업공간)

항목	기준치	적용면	적용면 평균치	산술값
3	10 : 1	A : C	36.7 : 28.4	1.3 : 1
4	1 : 10	C : A	28.4 : 36.7	1 : 1.3

(2) 표 2의 3, 4번 항목은 작업공간에 대하여 더 멀리 떨

어진 어둡거나 밝은 표면과 상대적 비율로 표 9의 A, C 콘솔 작업면과 더 멀리 떨어진 면과의 휘도비로 분석된다. 따라서, 표 11과 같이 작업공간에 대하여 더 멀리 떨어진 어둡거나 밝은 표면과 산술 휘도비는 상대적으로 10배 이상 나지 않으므로 적정휘도 기준에 적합하다.

표 12. A: 콘솔 작업면과 D: 인접한 표면 휘도 분석(cd/m^2)

A: 콘솔 작업면(휘도) D: 인접한 표면(인접한 표면)				
항목	기준치	적용면	적용면 평균치	산술값
5	20 : 1	D : A	43.33 : 36.7	1.18 : 1

(3) 표 2의 5번 항목은 휘도에 대하여 인접한 표면과의 상대적 비율로 표 9의 A, D 콘솔 작업면과 인접한 표면과의 휘도비로 분석된다. 따라서, 표 12와 같이 휘도에 인접한 작업면의 산술 휘도비는 20배 이상 나지 않으므로 적정휘도 기준에 적합하다.

표 13. E: 최대와 F: 최소 휘도 분석(cd/m^2)

E: 최대(휘도) F: 최소(인접한 표면)				
항목	기준치	적용면	적용면 평균치	산술값
6	40 : 1	E : F	48.0 : 5.8	8.3 : 1

(4) 표 2의 6번 항목은 표준시야 영역 안에서의 휘도비로 표 9의 E, F 주제어실내 휘도의 최대값과 최소값의 비율로 분석된다. 따라서, 표 13과 같이 표준시야 영역 안에서의 산술 휘도비가 40배 이상 나지 않으므로 적정휘도 기준에 적합하다.

위 내용은 Max 상용조명을 토대로 분석한 내용이므로 동일 조건에서의 조도 준위를 낮춘 Dimming 상용조명과 비상조명의 결과도 동일하게 간주되며 이는 표 9의 숫자와 3d 칼라 휘도 준위를 종합적으로 적용해도 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 VDT 사무공간인 차세대형 원전 주제어실의 인간공학적인 조명환경에 대한 연구를 위해 Ling Ao Phase II 원전 주제어실 조명설계 및 조도, 휘도 분석을 하였으며 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 원전 주제어실의 조도 휘도 분석을 위해서는 주제어실 특성과 직무형태를 정확히 알고 설계에 임해야 한다. 설계개요와 함께 NRC 기준에 준한 마감재와 반사율을 종합적으로 프로그램에 입력하여 조도와 휘도값을 구하였다.

둘째, 조명설계는 기존의 조명방식이 아닌 작업영역을 고려한 천장 높이의 다변화, 복합조명방식의 제안, 상용조명에 Dimmer Ballast 내장하며 원전 규제에 준한 마감재를 제안한다. 특히 직접등 방식이 아닌 간접등 또는 복합조명방식을 제시하여 LDP와 VDU 환경에서의 글레어를 최소화 하였다.

셋째, 조도 분석은 주제어실내 작업영역에 따라 중앙 운전원 콘솔영역, LDP 영역, 유지 관리를 위한 영역, 인쇄와 보조패널을 위한 영역으로 세분되며 이를 NRC 기준에 따라 조도영역을 연계하며 최대 조도와 적정조도, 비상시 조도로 구분하여 분석 검증하였다.

넷째, 휘도 분석은 마감재, 조명방식과 상관성을 갖고 있다. 작업공간 기준으로 인접면과의 상대적인 휘도, 더 멀리 떨어진 작업면과의 상대적인 휘도, 인접한 표면과의 휘도, 주제어실 시야내에 최소 최대값의 휘도비로 구분하며 이를 NRC 기준에 따라 휘도영역을 연계하며 최대 휘도와 적정휘도, 비상 휘도로 구분하여 분석 검증하였다.

차세대형 주제어실 특성에 준한 조명설계 및 조도 휘도 분석을 통해 검증된 인간공학적인 조명환경은 주목성을 강조하여 향후 운전원의 효과적이며 정확한 정보파악을 가능케 하고 시각적 피로도를 감소시켜 원전 운전신뢰도 향상에 기여함과 동시에 쾌적한 주제어실 환경을 제공하는데 의의가 있다.

참고 문헌

과학기술부, 차세대 원자로 설계검증 및 핵심기술개발, 144-171, 2001.

백승경, 이승훈, 임채진, 최일남, 나정창, 김자경, 변승남, 원자력발전소 인간공학설계기준에 따른 차세대형 주제어실의 조명설계 및 조도 휘도 분석, *대한인간공학회 춘계 학술발표회*, 2007.

이용희, 장통일, 임현교, 원자력 발전소 주제어실 인터페이스 설계를 위한 인적 오류 분석 기법의 보완, *대한인간공학회*, 22(1), 31-42, 2003.

이수진, 김진우, 휘도대비가 가독성에 미치는 영향에 대한 실험연구, *대한인간공학회*, 26(2), 21-33, 2007.

최홍규, 조명설비 및 설계, 성안당, 5-10, 2006.

하준수, 성풍현, 신형원전 주제어실 인적요소 검증을 위한 인적수행도 평가척도 개발, *대한인간공학회*, 25(3), 85-96, 2006.

한국전력기술주식회사, Design Report for the Environment Design of Ling Ao Phase II MCR, 2007.

황세옥, 공간계획과 인간공학, 태학원, 2-3, 1999.

NUREG 0700 REV 2, Nuclear Regulatory Commission, 2002.

ISO 9241, International Organization for Standardization, 1997.

FAA/HFDS, Federal Aviation Administration, 2001.
NASA-STD-3000 8장, National Aeronautics and Space Administration, 1995.
MIL-STD-1472F, Military Standards, 1999.
IEC 60964, International Electrotechnical Commission, 1989.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 백 승 경 ❖ gardenback@hanmail.net
홍익대학교 디자인공예학과 공간디자인전공 박사(수료)
현 재: 수원과학대학교 실내건축디자인과 겸임교수
홍익대학교 부설 환경개발원 선임연구원
관심분야: 사무공간, 공공디자인, 생태디자인

❖ 이 승 훈 ❖ leesh@hanseo.ac.kr
홍익대학교 건축학과 박사(수료)
현 재: 한서대학교 실내디자인학과 교수
관심분야: 사무공간, 공공디자인, 전시디자인

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 02월 22일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 04월 10일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 04월 25일