

# 원자력발전소 중앙제어실

## 조명설비 설계특성

정 남 교

한국전력공사 원자력연수원 기전교수실장

### 1. 概論

TMI와 체르노빌 原電事故의 교훈을 통하여 原子力 安全性 確保가 기술적인 요인 못지 않게 인적 요인에 더욱 깊게 관계되어 있음을 인식한 지금, 관련 운전원의 안전 제일주의 사고를 바탕으로 완벽한 안전성 확보를 목표로 한 안전문화 정착이 범 국제적인 당면과제라 할 수 있다.

이러한 측면에서 본문에서는 原子力 發電所의 中央制御室(Main Control Room) 照明設備가 운전원에 미치는 영향을 효율성 제고 중심으로 검토 분석하여 그 대책을 수립하고자 한다.

국내 원자력발전소 중앙제어실 照明設備 系統의 設計基準은 EPRI NP-3659(Human Factors Guide for Nuclear Plant Control Room Development)와 NUREG-0700(Human Factors Guide for Control Room Design Review)에 따라 기준조도 1000Lux를 충분히 만족하고 있으나 조명의 질이 운전원에게 의식적, 무의식적으로 장기간 또는 긴급 대처시 미치는 영향이 크므로 최적 조명조건을 제공하기 위한 설비관리 측면의 잠재된 문제점을 도출하여 보면,

1) 중앙제어실(MCR) 制御盤에 설치된 計器表面

에서 빛이 반사되는 눈부심 현상 및 그림자로 인한 視野 沮害

2) 設備의 감시와 조작의 주체가 CRT를 통한 조작 중심으로 되어 있는 점을 고려할 때 CRT 스크린에 반사되는 光源 때문에 CRT로부터 정확한 정보값을 읽기 어려울 뿐만 아니라 시각적으로 순간 오동작 및 운전원의 피로감 누적

3) 등기구 설비의 經年變化에 따른 열화현상, 효율 저하 및 주위환경에 의한 오염으로 制御室 전반의 균일 조명 유지불가 및 조도 감소현상의 발생

등으로 대별할 수 있다.

이러한 문제점 해소를 위한 방편으로 최적 조명설비의 조건인 照度の 均一性을 유지하기 위한 질 높은 조도의 설정, 시공서, 설비의 미관, 유지보수 등에 대하여 대안을 제시하고 아울러 원자력발전소 조명설비의 구성과 특성을 간략히 기술하고자 한다.

### 2. 原電 中央制御室(MCR) 照明設備

中央制御室은 많은 수의 제어 패널로 구성되어 있으므로 조명 전체의 색채가 밝고 따뜻한 느낌을

주어 운전원에게 쾌적한 환경을 우선 제공하여야 한다.

### (1) 照度基準

- Design Criteria, Lighting System : 1000Lux
- NUREG-0700, 6.1(Control Room Work Space) 및 FSAR, TABLE 18.1-1(Illumination Levels)
- Scale Indicator Reading : 300Lux
- Seated Operator Stations Reading : 750Lux

### (2) 設計基準

原電의 照明系統은 지역별, 기기별 특성을 고려하여 3개의 계통 즉, 필수조명, 상시조명 및 비상조명계통으로 구성되며 중앙제어실 조명설비는 필수조명계통에 속한다.

필수조명 계통은 중앙제어실, 핵연료 취급지역, 원격 운전정지 조작반 지역 디젤발전기실 및 1급 안전등급 SW/GR실 등으로 1급 안전등급(Class 1E) MCC에서 격리장치(Isolation Device)로 사용된 480V/220V 단상전압조정 변압기를 통하여 전력을 공급하며, 외부전원(Off Site Power)이 상실되면 필수 조명전원도 상실되나, 1급 안전등급 디젤발전기가 기동하여 전력이 공급되어 4.16kV 모선에서 480V 1급 안전등급 MCC를 통하여 자동으로 회복된다.

### (3) 照明設備系統 特性

계통구분	구 성	안전등급	기 능	비 고
일반조명 (Normal)	약 50%	Non-1E	평상시 점등	
필수조명 (Essential)	약 50%	Non-1E	평상시 및 소외 전원상실시 점등	
비상조명 (Emergency)	발전소 조명의 약 2.5% 배분	Non-1E	일반, 필수조명 상실시 자동점등	8Hr용 축전지 Backup

### (4) 照明設備 現況

발전소	설계기준 조도	유지조도	조명방식	등기구	비 고
고리 3,4	1000 Lux	약 700Lux	직접조명 격자루버	40W×2등용	
영광 1,2	1000 Lux	"	직접조명 격자루버	40W×2등용	
영광 3,4	1000 Lux	"	직접조명 격자루버	40W×1등용	주제어반 주위 아크릴판 설치
울진 1,2	700 Lux	"	간접조명	40W×3등용	

## 3. 照明設備 基準

### (1) 定義

照度는 물체의 표면에 떨어지는 단위표면당 빛의 양을 말하고 輝度란 그 표면으로부터 반사된 빛의 강도를 말한다. 明度는 눈에 도달하는 빛에 대한 주관적인 “像”을 뜻한다.

#### ◎照度

어떤 視作業을 수행하는데 요구되는 視覺 기능에는 작은 물체를 식별할 수 있는 능력, 대상물과 배경의 밝기 차이를 식별할 수 있는 능력(輝度對比判別力), 물체색 차이를 판별할 수 있는 능력(色差判別力) 등이 있다. 이러한 시각 기능은 양질의 照明 하에서는 照度の 증가에 따라 향상되며 知覺에 요하는 시간도 단축된다.

#### ◎밝음의 분포

視野內에 밝음의 변화가 크면 운전원이 視線을 움직이는데 따라 눈의 順應狀態가 크게 변화하기 때문에 시각 기능이 저하되고 피로가 증대하게 된다.

#### ◎눈부심

視野內에 노출된 光源 특히 輝度가 높은 물체는 그 주위와의 輝度對比가 심한 경우에는 시각 기능을 저하시키거나(Disability Glare), 운전원에게 不快感(Discomfort Glare)을 가져다 준다. 이같은 눈

부심은 광원의 휘도, 광원의 위치, 광원의 크기 및 수, 그리고 주위의 밝기에 따라 결정되므로 이들 요인을 적절히 제어하여 눈부심을 방지하여야 한다.

## (2) 光源의 選擇

光源으로서 效率과 光色이 우수하고 輝度가 낮으며 수명이 긴 형광램프를 쓰고 있는 것은 적절한 선택이라 할 수 있는 반면, 發光效率이 불량한 백열전구를 쓰고 있는 것은 재고하여야 할 것이며, 일반적인 최적조명의 선택은 다음과 같다.

- 루버 : 백색 또는 연한 아이보리색
- 벽 : 벽색 또는 밝은 베이지색
- 바닥 : 옅은 회색 또는 옅은 녹색
- 램프 : 형광등(백색)

## (3) 照明器具의 選擇

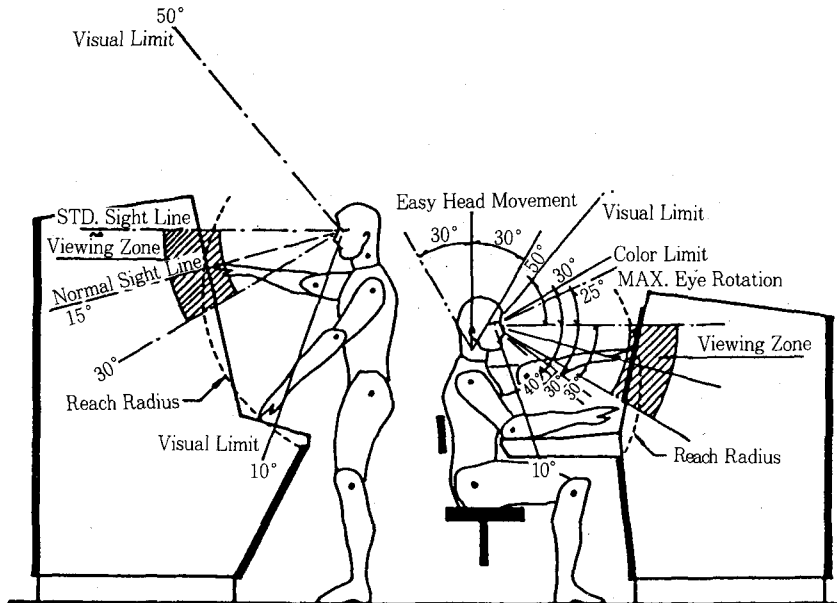
조명기구는 광원을 내장하여 이 광원에 전력을

공급하고 광원에서 나오는 빛을 효과적으로 背光하며(光學的 기능) 광원을 보호하는데 그 목적이 있다. 근래에는 인간의 거주환경을 보다 향상시키기 위하여 조명의 질이 중시되는 경향과 함께 적은 에너지를 이용하여 효율 향상을 이루려는 것이 개발의 목표가 되고 있으며, CRT 화면에서의 高輝度體反射를 방지하는 것이 과제이며 종래의 형광등기구에는 이러한 점이 고려되어 있지 않았다. 거울면의 루버나 반사판을 사용하여 휘도를 제한하는 OA용 형광등 조명기구가 개발되어 사용된다.

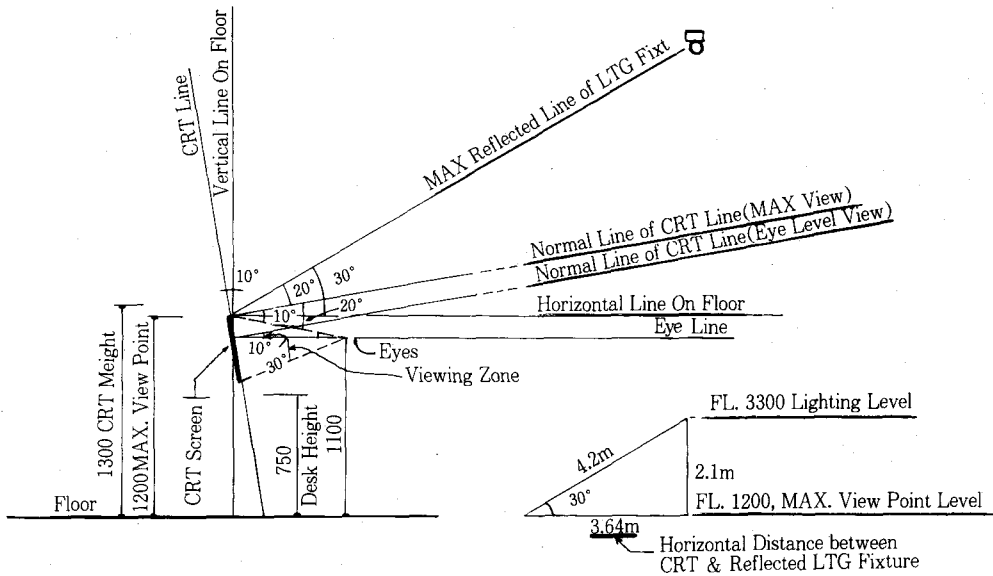
- 光學的 功能 : 背光特性, 눈부심, 등기구효율
- 機械的 構造의 功能 : 온도상승, 방수, 방습, 소음
- 電氣的 功能 : 내전압, 내장안전기의 전류, 역률

## (4) CRT 스크린과 光源의 距離

CRT 스크린과 조명의 문제에서 가장 문제가 되는 CRT 스크린에 반사되는 광원에 대한 해결 방법으로 과연 CRT와 조명기구와의 거리가 얼마일 때



<그림 1> Factor of CRT Console & Backup Console



<그림 2>

CRT 스크린에 조명기구가 반사되지 않는가를 검토하여 보면, (루버 천정내의 조명기구, 스위칭 회로 등에 참고가 될 수 있을 것임)

그림 1은 운전원이 CRT를 보고 작업시, 조명기구가 운전원에게 미치는 영향의 범위와 시계는 30°임을 보여주고 있다.

그림 2에서 보는 바와 같이 CRT콘솔의 시계는 30°, 루버 천정(Lighting Level)은 최대 3.3m, 시계의 높이는 바닥면으로부터 1.2m로 가정할 때, CRT스크린에서 루버 천정까지의 높이는 2.1m가 된다.

그림 2를 참조하여 계산하면

$$2.1 \times \tan 60^\circ = 3.64\text{m}$$

즉, CRT스크린에 반사되는 조명기구와의 수평거리는 3.64m가 되며, 이것은 수평거리 3.64m 이내에 있는 조명기구는 CRT스크린에 반사되지 않으며, 수평거리 3.64m보다 멀리 설치되어 있는 조명기구는 CRT 스크린에 반사됨을 보여주고 있다.

같은 원리로 CRT스크린에 반사되는 조명기구와

CRT 스크린과의 거리는

$$3.64\text{m} \div \cos 30^\circ = 4.2\text{m} \text{가 된다.}$$

정리해보면, 루버천정(Lighting Level)의 높이가 3.3m이고, 최대 시계의 높이를 1.2m로 보았을 때, CRT스크린에 반사되는 조명기구와 CRT콘솔과의 최소수평거리는 3.64m임을 알 수 있다.

따라서, 수평거리 3.64m보다 멀리 설치되어 있는 조명기구는 CRT스크린에 반사됨을 알 수 있다.

#### 4. 照明設備 改善方案

##### (1) 照明의 質 改善

制御盤 상부에 눈부심(Glare)현상을 방지하기 위해, 유백색 커버의 등기구를 채택하고 격자루버의 격자크기 및 Blade 반사각도를 재설정하고, 계기표면 및 CRT스크린으로부터 반사광원을 차단하고 Dimming System을 채택하여, 主制御盤 주변 照度を 50~100% 범위내에서 조절 가능하도록 하

여야 한다.

또한, 發光體를 보유하고 있는 LED Type의 Indicator 및 Digital 기록계를 설치하고, 계기 자체의 발광에 의한 운전원 시각의 피로도를 경감시킬 수 있는 전반적 균일 조명을 위하여 완전 루버조명 방법을 채택하는 동시에, 계기 Cover 재질의 선택 시에도 주의하여야 한다.

반사현상 방지 및 균일 조명을 필요로 하는 대상 범위는 주 제어반 주위외에 Operator Console을 포함하여야 하며, 천정에서 반사되는 간접조명 방식을 병용할 수도 있다.

## (2) 補修率 向上

조명설계상 중요한 요소는 補修率로서 램프, 반사경, 글로우 등의 經年劣化, 오물의 부착에 의해 어느 정도 光速이 감쇄하는가를 예상하여 초기치를 크게 잡는 것이 필요하다. 이 초기치에 대한 실제 사용시 값의 비를 補修率이라 하며, 보통 0.5~0.8 정도이다. 물론 램프 자체의 광속도 감소하나, 실제 시설에서는 기구 및 램프의 오염에 의한 광속 감소가 더욱 심하다. 또한 램프의 교체 및 보수 편의성을 고려한 등기구 설비의 채택과 동시에, 조명기구의 청소는 형식적으로 실시하고 있으나 설치 상태

에 따라 정기적으로 먼지 털기, 물로 씻기 등을 실시하여 항상 설계 조도를 확보하도록 하여야 한다.

## 5. 結論

원자력발전소 중앙제어실(MCR) 조명설비의 최적조도조건은 운전원의 근무효율 제고 측면에서 쾌적한 환경과 비교적 안락한 분위기를 유지하기 위한 제반조건으로

- 루버 천정을 채택하여 CRT스크린에 반사되는 광원을 제거함으로써 안전운전에 기여하고,
- CRT와 프린터, 계기설비가 설치되어 있는 모든 작업면에서 균일한 조도를 얻어 운전원의 근무환경을 개선하며,
- 필요시 원하는 부분의 조도를 조절할 수 있게 하여 적절한 조광 효과를 얻고
- 제어반 주위에 유백색 Cover 등기구 및 격자 루버 설치 등으로 반사(Glare) 현상을 방지하는 등, 설계단계에서 고려되어야 할 제반조건 준수와 설계조도를 유지하기 위한 효율적 설비 관리 기법의 개발이 선행되어야 하며, 특히 가동중인 원자력발전소에서는 계획예방정비의 주요항목으로 선정하여 철저히 관리함으로써, 원전 안전성 향상에 기여하여야 할 것이다.

## 한국표준형 원전 안전도 세계 최상급

### — 국제원자력기구 평가결과 발표 —

(자료 : 이달의 원자력발전, '95.9)

**북**한에 제공될 한국표준형 원전의 모델인 울진 3,4호기는 『국제적으로 최상급 수준의 안전성』을 지닌 것으로 확인됐다.

국제원자력기구(IAEA)는 최근 우리 정부에 제출한 울진 3,4호기의 평가결과 보고서를 통해 이같이 밝혔다. 과기처가 9월 22일 발표했다. IAEA 설계안전조사단은 한국표준형 원전의 안전성에 대한

논란이 제기된 직후인 지난 5월 29일부터 6월 9일까지 한국을 방문, 현장답사와 이후의 검토과정을 거쳐 이달초 평가보고서를 우리 정부에 제출했다.

국제원자력기구는 이 평가보고서에서 울진 3,4호기가 한국고유의 설계개선을 이루었고 선행 원자로인 영광 3,4호기의 설계·시운전 실증결과도 적절히 반영됐다며 한국의 원전산업기술을 높이 평가했다.

과기처 관계자들은 IAEA가 이같은 결론을 내림에 따라 한때 국제적인 제기 되었던 한국표준형 원전의 안전성 논란을 완전히 해소할 수 있게 됐다고 말했다.