

원자력 발전소 주 제어실(MCR) 환경 개선에 관한 연구  
- 조명환경을 중심으로  
( A study on improvement of nuclear power plant  
main control room environment - focus  
on lighting)

류제혁 · 변승남

경희대학교 일반대학원 산업공학과 석사과정 1학기

Abstract

In nuclear power plant, the main control room(MCR) plays a leading and important role, so it is the core to have its design well operator-centered, both physically and cognitively.

This paper especially analyzes focusing on lighting MCR environment and shows alternatives. It will lead to improve work efficiency and to care operator's sight. In conclusion, reducing operator's stress, fatigue and increasing safety, comfort.

1. 연구의 배경 및 목적

원자력 발전소의 주 제어실은 기능 및 운영에 있어서 중추적 역할을 하고 있는 매우 중요한 공간이다. 이에 관련한 시스템 제어, 관리, 감시 등의 패널 및 복잡한 계기들로 그 환경은 매우 인공적이다. 따라서 폐쇄성이 강한 주 제어실 내에서 장시간

동안 외부와의 출입 없이 업무를 수행하는 운전원에게 있어 쾌적하고 안락한 공간이 조성되어야 한다. 쾌적한 운전환경은 곧 안전성과 직결된다. 따라서 본 논문은 특히 실제로 운전원들의 시력저하에 따른 불만사항이 호소되고 있는, 피로도와 시력에 직접적으로 영향을 미치는, 조명환경에 대한 개선안을 제시하여 안전성 제고와 쾌적한 운전환경을 제공하고 인간공학적 작업환경 설계를 통한 운전원의 인적 수행도를 최적화 하는데 목적이 있다.

2. 분석 및 고찰

2.1 인간공학적 측면

NUREG-0700에서는 해당 작업에 따른 적정 조도수준을 다음과 같이 권장하고 있다.

작업별, 구역별	적정조도(Lux)
패널, 주요기기	500
제어반	500
자료수집 및 기록	1000
책상에서의 업무	1000
유지, 보수	500

프린팅, 타이핑	500
VDU	100
비상표시	100

표 1. NUREG-0700의 작업별 적정 조도

VDU (Visual Display Unit)와 비상표시는 자체가 발광을 하므로 주변이 상대적으로 어두워야 시안성이 좋으므로 적정조도가 낮게 권장되고 있다. 전체적으로 주제어실 내의 업무를 위한 적정 조도는 500-1000Lux로 나타난다. CIE-IES 에서는 제어반 조명의 경우 500Lux를 권장하고 있고, 일본의 경우도 14개 발전소의 사례조사와 실험평가 등을 통해 400-600Lux를 제어반의 경우 기준 조도로 권장하고 있다.

## 2.2 현황 분석

전체적인 주제어실 조명에 있어서 울진 1, 2호기를 제외한 나머지 발전소는 모두 직접조명 방식을 채택하고 있다.



사진 1. 태안 5, 6호기

위의 태안 5, 6호기를 모서리 부분에 간접조명 방식을 일부 가미한 형태이다. 완벽한 간접조명 방식이라고는 할 수 없다. 천장의 직접 조명은 불규칙적인 배열로 균일한 조도를 내지 못하고 부분별로 달라지는 밝기로 인한 glare현상이 나타나게 된다. 이는 운전원의 시력저하에 영향을 미치며, 또한 환기구와 등기구의 지나치게 많은 느낌으로 인해 시각적 스트레스도 야기된다. 특히 모서리 코브조명의 밝은 휘도로 인해 계기판 쪽에 reflected glare현상이 나타난다.



사진 2. 계기판의 reflected glare현상

사진 2에서 보는 것과 같이 조명에 반사되어 계기판 화면에 눈부심 현상이 나타나는 것을 발견할 수 있다.



사진 3. 울진 3, 4호기

위의 사진은 울진 3, 4호기의 천장 조명 형태이다. 울진 3, 4호기는 직접조명 방식에 louver를 부착하여 간접조명의 형태를 띠고 있다. 그러나 이는 louver내부 등기구의 부정확한 배치간격으로 얼룩이 생기고 이는 눈의 어른거림을 가져와 피로도를 높이게 된다. 또한 CRT와 CCTV등의 화면에 반사가 생겨 위쪽부분의 조명을 꺼놓는 경우도 있다. 이는 결과적으로 주제어실의 특성과 업무를 고려한 효과적인 조명설계가 이루어지지 못함이다.

실제로 영광 원자력 발전소에 답사를 갔을 때 에도와 같은 조명방식 이었는데 천장의 얼룩으로 인한 어른거림과 어지러움을 느낄 수 있었다.

하루 24시간 3교대로 8시간씩 근무하는 운전원은 근무시간 8시간 동안에는 외부의 출입을 거의 할 수 없다. 이는 폐쇄되고 독립된 공간인 MCR 내에서 계속적으로 계기판을 주시, 감독해야하는 상황에서 조명은 직접적으로 관련이 깊다고 할 수 있다. 이에 좀더 나은 방향으로 환경개선을 모색해 볼 필요성을 느낀다.

### 2.3 간접조명 방식

직접 광원이 빛을 쏘여서 직접 그 빛을 받는 것을 직접조명 방식이라 한다. 이에 반해, 간접조명 방식은 광원이 천정이나 벽 등의 다른 어떤 곳을 부딪쳐서 쏘여주는 방식이다. 본 논문에서 제안하는 간접조명 방식은 등기구의 광원이 천정을 향하여 그 빛이 천정을 반사하여 아래로 떨어지는 빛을 말한다. 이는 광원의 직접적인 자극이 아닌 은은한 광원으로 미적으로도 우수한 형태이다. 일반인들에게 딱딱하고 권위적인 이미지를 주는 원자력 발전소의 분위기를 운전원에게 내 집처럼 편안한 느낌을 줄 수 있다. 이는 곧 업무능률 향상과 더불어 물리적, 정신적 스트레스 감소로 결과적으로 안전성을 더욱 높이는 결과가 된다.

그렇다면 여기서 하나의 문제가 제기될 수 있는데, 과연 간접조명이 적정기준 조도를 충족시킬 수 있느냐 하는 것이다. 간접조명 방식에 dimming system이 가능하게 설계하는 것이다. 즉, 조도를 운전원이 수동으로 조절이 가능하게 하는 것이다. 평균치인 750Lux를 기준으로 설정하고 운전원이 조금 흐리거나 밝다고 느낄 때 조절할 수 있는 방식이다. 이와 같은 dimming system은 여러 등기구에도 많이 쓰이고 우리 주변에서도 그리 어렵지 않게 발견할 수 있다. 간접조명 방식은 직접조명 방식에 비해 눈의 시각적 피로를 덜 느끼게 해준다. 8시간 내내 MCR 내에서만 생활하는 운전원에게 있어 이러한 조명방식의 변화 하나만으로 개선을 가져올 수 있다.

업무공간과 형태에 따라 구획을 나누어서 구역별로 기준조도를 다르게 구성할 수도 있다. 예를 들어, 제어반 쪽과 운전원의 책상면에 요구되는 조도는 분명 다르다. 제어반 쪽은 계기를 체크해야하기 때문에 조도가 높으면 오히려 반사되어 잘 보이지 않기 때문이다. 이런 식으로 업무별로 구역을 나누어 차등조도를 설정한다면 더욱 효과적이다. 조도의 균일도가 떨어져서 얼룩얼룩한 현상은 시각적인 피로를 유발하지만 균일한 조도가 구역으로 나누어지는 것은 시각적인 피로를 유발하지 않는다. 운전원과 잠깐 이야기를 나누었을 때, 그들의 대부분이 MCR 근무 후 시력저하를 느꼈다고 말했고, 또 실제로도 시력이 떨어지거나 안경, 렌즈의 도수를 바꾸었다고 한다.

### 3. 결론

기존의 발전소 주제어실 조명설계에 사용된 직접 조명 방식은 glare현상을 피하기 어렵고, 직접적인 광원으로 인한 운전원의 시각적 피로도를 증가시킨다. 분석 결과 몇 가지 결론을 내릴 수 있었다.

첫째로 조도의 불균일 이다. 불균일한 조도에 그때 그때 유지, 보수가 이루어지지 않는다면 이는 지속적으로 운전원에서 물리적, 정신적 스트레스를 주게 된다. 허나 기존의 조명설계를 보았을 때 유지, 보수에도 그리 유용한 설계는 아니다. 또한 조명으로 인한 glare현상이 같은 문제를 일으키고 있다. 유지, 보수 뿐만 아니라 간접조명 방식은 운전원의 능률과 시각적 피로 면에서 확연히 직접조명 방식과 차이가 있음을 다시 한 번 말해둔다.

둘째로 이러한 불균일한 조도가 균일하게 전체적으로 유지된다는 점이다. 각각의 구역별, 업무별 권장 기준조도를 충족시키지 못하는 현 상황 하에서 조절이 가능한 dimming system은 큰 업무적 효율을 가져다 줄 것이다.

발전소 주제어실은 사람의 심장부와 같은 중추적 역할을 하는 곳이다. 가장 인간공학적으로 설계

되어야하고, 가장 인간, 즉 운전원 중심으로 설계되어야하는, 매우 세심하게 신경 써야 하는 부분이나 워낙 성역과도 같은 느낌이 강하고 기존의 방식에서 변화하지 못했음이 아쉬웠다. 무엇보다 운전원의 업무환경 개선이 우선해야겠고, 이는 곧 능률향상과 안전성 제고라는 큰 상으로 돌아오게 될 것이다. 간접조명의 전문적이고 세부적인 사항은 조명 전문가와의 구체적인 조언, 상담이 있어야 하겠다.

#### 참 고 문 헌

- [1] NUREG-0700 Rev,2, "Human-system interface design review guidelines", 1995
- [2] Gong-Xia Yang, "A case study for the design of visual environment of a control room in power plant", Lighting Research & Technology, Vol. 17, No.2, 1985
- [3] John E. Kaufman, "IES Lighting Handbook, application volume", 1981
- [4] C. Wickens, "Engineering psychology and human performance", HarperCollins publishers, 2nd, 1992.
- [5] P.R. Boyce et al., "Lighting the graveyard shift : The influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night-shift workers", International journal of lighting research and technology, v.29, no.3, 1997, pp.105-142.
- [6] 이진숙 외 2명, "실내 조명의 패턴변화에 따른 밝기감 평가 실험", Research institute of industrial technology v.10, no.1, 1995
- [7] Man-system integration standards, NASA-STD-3000
- [8] Design for control rooms of nuclear power plants, CEI-IEC 964