



照明環境과 生産性

工學博士 池 哲 根

서울대학교 工科大學 教授
韓國照明, 電氣設備學會長

1. 광 환경과 인체

1.1 현대인의 눈의 혹사

(1) 눈의 혹사

인간은 동물로서 진화되어 왔으나 문명은 현대인을 육내동물로 살아가도록 하고 있으며, 선진국의 노동자의 80~90%는 육내노동자이다.

그러한 결과로 특히 인간의 눈은 매우 가혹한 요구를 받고 있다.

먼 곳뿐만 아니라 가까운 곳도 세밀히 보아야 하고 밤의 어두운 곳에서도 눈을 비벼가며 시작업을 해야할 경우도 있다.

고대인은 밝은 옥외의 자연광 하에서 농사, 수렵 등 야외의 육체노동을 하여 눈의 긴장은 매우 드물었다.

그러나 현대인은 하루의 노동을 끝내고 귀가 후에도 독서, TV 시청, 취미활동 등으로 눈을 사용하고 있으며, 하루 16시간 이상 시각작용을

수반하는 노동을 하며, 눈을 혹사하고 있다.

특히 귀가 후에는 어두운 가정의 전등 조명하에서 눈을 혹사하고 있다.

그러므로 시작업의 수행을 위한 인공적인 조명환경은 인간의 활동에 매우 밀접한 것이다.

만약 그러한 조명환경이 불량할 경우 인간이 그러한 불량한 환경에 오래 노출되고 있을 경우 시력저하 등의 생리적 효과와 또한 심리적인 영향을 무시할 수 없다.

(2) 현대인의 광 환경

자연계의 밝은 날의 조도는 겨울의 50,000lx로부터 여름의 100,000lx 정도로 계절에 따라 변화하고 있고, 하기에서도 흐린 날의 조도는 30,000~50,000lx, 몹시 흐린 날은 10,000~20,000lx, 그리고 천공광만의 조도는 10,000lx 정도로, 기후에 따라서도 변화되고 있다.

밝은 날의 나무그늘의 조도는 7,000lx 정도이다.

그러나 전등조명을 하고 있는 방의 조도는 대체로 50~1,000lx로서, 밝은 날의 나무그늘의 밝기의 1/10~1/100에 지나지 않는 어두운 조명을 실시하고 있다.

그러므로 현재의 전등에 의한 조도기준의 설정은 인간의 생물학적 필요성 보다는 경제적, 조명기술적 배려에 기초를 두고 있다고 볼 수 있다.

1·2 현대인의 근시화

(1) 현대인의 근시

인간의 지식의 85%는 시각을 경유하여 얻어지고, 육체행동의 80~90%는 눈에 의하여 기능이 제어되고 있으므로 일상업무에서 요구되는 전체 움직임에는 눈이 필수적이다.

그러므로 조명과 노동생산성의 관계는 불가분의 관계에 있다고 볼 수 있다. 일부를 제외하고는 유아의 눈은 매우 건전하며, 근시가 일어나는 것은, 8세~20세 정도까지의 청소년의 시기라고 보고 있다.

그리고 이 사이는 수험공부에 의하여 눈을 혹사하는 시기이기도 하다.

우리나라 국민학교 1학년 학생의 경우 평균 11%, 6학년이 되면 40% 정도로 근시화되고, 중학교 3학년에서 60%, 고교 2학년에서 70%로 증가되고 있다고 한다.

이와 같은 근시의 원인으로서는 과도한 독서, TV시청, 불량한 조명, 그리고 편식도 그의 원인으로 들고 있다.

특히 이들 중에서도 어둡고 부적절한 광환경 하에서 눈을 혹사하면 시력이 손상을 받게 된다.

(2) 눈의 직업병

현대의 작업은 고대에 비하여 세밀하고 작업시간이 계속 길어져서 이에 따른 시각업도 중노동화되어 가고 있다. 눈도 직업병에 걸린다는 재미있는 보고가 있다.

즉, 직업이 정밀할수록 눈의 결함률이 높아지

〈표 1〉 직업별의 눈의 결함

직업종류	눈의 결함비율[%]
농부, 육체노동자	0~20
목수, 도장공	20~40
기계공, 인쇄공	40~60
주부, 학생	60~80
설계기술자, 속기사	80~100

고 있음을 알 수 있다. 이는 농사나 육체노동의 단순노동에 비하여 작업의 속도가 요구되는 설계기술 종사자와 속기사들의 눈의 결함률이 매우 높다는 것으로부터도 알 수 있다.

(3) 근시의 예방

근시가 일어나는 시기는 8~20세 정도의 청소년기이고, 이 사이에 수험공부가 가장 심한 시기이기도 하므로 다음 사항에 대하여 주의할 필요가 있다.

- 1) 학교 및 가정에서 공부할 경우, 조명환경을 좋게 한다.
- 2) 읽고 쓰는 자세를 바르게 하여 책으로부터 눈은 30~40cm 떨어져 읽는 습관을 익혀야 한다.
- 3) 장시간 수업을 할 경우에는 1시간에 대하여 10분 이상 눈을 쉬도록 한다. TV 시청의 경우도 마찬가지이다.
- 4) 육체의 운동을 적절히 하여야 한다.
- 5) 연에 1회 이상 시력검사를 할 필요가 있다.
- 6) 편식을 하지 말아야 한다.

등으로 청소년의 노동자도 각종 작업시에 위에서와 같은 방법에 주의하여 근시를 예방하여야 한다.

2. 조명과 시각

2·1 시 각

(1) 시력과 밝기

눈이 어느 정도까지 세밀한 물체의 형태를 식별할 수 있는가의 척도가 시력이며, 시력은 밝기에 따라서 심한 변화를 한다.

어두운 곳에서는 세밀한 것은 보기 힘들고, 밝은 곳에서는 보기 쉽다. 일반적으로 밝으면 밝을수록 시력은 상승한다.

조도가 1,000lx 정도까지는 조도의 상승과 더불어 시력도 전진적으로 증가하지만 1,000lx 정도에서 시력의 증가가 심하게 둔화된다.

그리고 조도가 0.05lx 정도 이하에서 시력이 강하게 떨어진다.

시력은 주시하는 물체의 밝기만이 아니고 주위의 밝기에 따라서도 좌우된다.

주위와 주시하는 중심이 동일한 밝기거나 또는 주위가 약간 어두울 때에 시력이 가장 좋고, 중심보다 주위가 약간 어두울 때도 시력이 좋다. 그러나 중심보다 주위가 밝으면 시력은 심하게 떨어진다.

(2) 눈부심

시야내의 어떤 휘도로 인하여 불쾌감을 일으키거나 시력의 저하를 일으키는 것을 눈부심이라 한다.

눈부심을 일으키는 주요 원인은 고휘도의 광원, 반사면, 투과면, 순응의 결핍, 시선부근에 노출된 광원 등이다.

눈부심을 일으키는 휘도의 한계는 주위의 밝음에 따라서 다르며, 대체로 항상 시야내에 있는 광원에 대해서는 $0.2\text{cd}/\text{cm}^2$ 이하이다. 그리고 때때로 시야내에 들어 오는 광원에 대해서는 $0.5\text{cd}/\text{cm}^2$ 이하라야 한다.

형광 램프의 휘도는 $0.4\text{cd}/\text{cm}^2$ 로서 $0.2\sim 0.5\text{cd}/\text{cm}^2$ 사이에 들어 가므로 잠깐 보아서는 눈이 부시지 않으나 항상 시야내에 있으면 안될 정도의 휘도이다.

100W 투명전구의 휘도는 $600\text{cd}/\text{cm}^2$ 이므로 눈

이 부셔서 바로 볼 수 없을 정도이다.

2·2 명 시

(1) 물체의 보임

빛이 없이는 물체를 볼 수 없고, 빛이 있다 하더라도 충분한 빛이 없으면 물체가 잘 보이지 않는다.

즉, 물체의 보임의 제 1조건은 밝음이다. 그러나 아무리 밝더라도 박테리아와 같이 작은 것은 보이지 않는다.

그러므로 물체의 크기도 보임을 좌우한다고 할 수 있다. 물체의 크기는 물체의 치수를 말하는 것이 아니고 시각의 크기를 말한다. 이것이 제 2조건이다.

물체의 보임을 좌우하는 제 3조건은 휘도의 대비이다.

예컨데 흰 눈위에 얼지른 검은 숫가루는 잘 보이지만 흰 백목가루는 잘 보이지 않는다.

제 4조건은 속도이다. 권총의 탄환은 눈에 보이지 않으며, 카메라의 셔터를 통하여 물체를 볼 경우 1/10초 정도의 노출에서는 물체가 잘 보이지만, 1/50초 정도의 짧은 노출시간으로는 명확히 볼 수 없다.

(2) 시야내의 휘도환경

눈부심은 시야 내의 고르지 못한 휘도가 있으므로해서 순응의 평형이 깨어진 상태이다.

그러므로 시야의 밝기가 고르게 밝으면 눈부심은 일어나지 않으나 고르지 않을 경우에는 정도의 차이에 따라 눈부심이 일어난다.

시야내의 밝음이 고를수록 시력이 좋아지고 전 시야가 거의 같은 휘도일 때 최고로 예민한 시각이 얻어진다.

미국의 "로간"씨는 자연계의 조명환경을 측정 한 결과, 휘도의 비가 10 : 1을 초과하지 않으나 전등조명의 설비에서 휘도의 비는 100 : 1, 1,000 : 1로서 대단히 높음을 발견하였다.

이와 같은 높은 휘도비가 전등조명에서의 시

각의 피로의 주원인을 알게 되었다. 일반적으로 밝으면 밝을수록 시력이 증진하고 물체가 잘 보이게 되지만 시야내에 눈부심이 나타나거나 또한 보려는 물체에 비교하여 주위가 너무 밝으면 보임이 떨어지거나 장시간 시작업을 하는 사이에 눈의 피로가 일어난다. 시야의 중심부근의 휘도와 시야의 주변 휘도가 같거나 또는 시야의 주변이 중심보다 약간 어두운 정도가 가장 물체를 보기 쉽다.

주위가 지나치게 밝아도 보임이 떨어지지만 주위가 너무 어두워도 눈의 피로의 원인이 되므로 조명설계에서는 시야내의 휘도환경을 조정할 필요가 있다. 이상과 같이 시야 내의 균등한 밝음이 시각도 좋아지고 피로도 적어지지만 실제로는 그렇게 되지 못하므로 어떠한 한도를 허용하고 있다.

미국 조명학회에서 설정하고 있는 휘도분포의 허용한도를 표 2에 표시한다.

3. 조명과 생산성

3.1 조명환경과 노동생산성

사무실이나 설계실에서는 과실이 전 공장의 생산성에 매우 큰 영향을 미치고 있다. 그러나 총무부장이나 설계부장은 과실을 감소시켜서 생산을 향상시키려는 데 관심을 가지고 있다.

그러나 이들을 조명환경 개선에 의하여 물체를 잘 볼 수 있도록 하여 과실을 감소하는 방법을 간과하고 있다. 좋은 환경 설정은 비용이 많이 든다는 고정관념 때문이다.

사무실이나 특히 설계실의 종업원의 눈은 육의 자연광의 광량에 비하여 매우 적은 광량하에서 대단히 긴 시간 10cm 밖에 떨어져 있지 않는 정밀한 문자나 기호를 보아야 한다.

이리하여 젊은 종업자의 25%, 50세 이상의 종업자의 75% 이상이 어떤 종류의 결함이 있는 눈을 갖게 된다. 좋은 조명환경은 이들의 눈의 결함을 예방시켜 준다.

〈표 2〉 미국조명학회설정 시야휘도 분포의 허용 한도

휘 도 차 이	사무실 학 교	공 장
직업대상물과 그 주위의 사이	3 : 1	5 : 1
작업대상물과 그것으로부터 떨어진 면	10 : 1	20 : 1
조명기구 또는 창과 그 부근면과의 사이	20 : 1	50 : 1
보통 통로내의 각부	40 : 1	80 : 1

사무직 노동자는 불량한 조명환경 하에서 장시간 눈을 사용하면 육체노동 이상으로 신경성 근육이 스트레스를 받게 된다. 소위 피로를 느끼게 되는 원인이 된다.

인간은 물건을 보는 기계이며, 그의 효율, 복지, 행동, 행복감 등을 시각으로 결정된다고 보고 있다.

일반적으로 좋은 환경의 설정은 비용이 너무 든다는 고정관념 때문에 시행을 주저하고 있다. 보고에 따르면 조명환경의 개선비용이 인건비의 1% 이하이고 사무소 경비의 0.7% 이하라고 한다.

이상적인 조명환경 조성은 사무소 경비의 1.5~3% 정도 필요하다고 한다.

조명환경을 올바르게 설정하여 사무소의 생산성을 20% 향상시킨 사례도 있으며, 일반적으로 5% 이상의 생산성향상으로 투자비용은 충분히 보상된다고 보고 있다. 조명환경의 개선에는 투자가 필요하며, 투자에 대한 보상문제가 당연히 나오게 된다.

지금까지 증명된 투자효과중 중요한 것은 다음과 같다.

- 1) 생산의 향상
- 2) 손실의 감소
- 3) 중년, 고연령층의 일을 도와준다.
- 4) 사기가 향상된다.
- 5) 고연색성을 얻을 수 있다.

6) 안전성의 향상

7) 건강 유지에 도움이 된다.

이와 같은 효과를 얻을 수 있다면 틀림없이 중요한 투자라고 할 수 있다. 조명환경의 정비에는 상당한 투자가 필요하지만 기술혁신에 의한 투자액에 비하면 매우 근소한 것이다.

조명환경의 정비는 극히 당연한 것이지만 지금까지 무시되어 왔다.

젊은 남녀 노동자를 전부 근시안이 되게 하거나 오후의 노동시간이 되면 미스나 로스가 극단적으로 증가되거나 활기가 없어져서 피로나 권태를 느끼게 하고, 중고연령층의 화골형성을 상하게 하는 것 등은 조명환경의 개선으로 어느정도 방지할 수 있는 행동이다.

국제조명위원회(CIE) 대회에서는 일반 소비자의 안전이나 쾌적환경에 대한 인식이 높아져서 조명에 종래와 같이 시간각만을 기초로 하는 것이 아니고 시간각에 광생물학적 작용까지 함께 고려하려는 움직임이 일고 있다.

사무실, 설계실의 조명환경 개선은 크게 4가지 기본적 요건으로 나누고 있다.

- 1) 적절한 광량을 선정할 것
- 2) 실내의 밝음의 밸런스를 갖도록 하는 것
- 3) 조명기구의 선택 및 위치선정을 바르게 하는 것
- 4) 광의 질을 선택하는 것

등이다. 종래 조명기술자나 전등 메이커 등은 1), 2), 3)에 대해서는 충분한 연구를 하여 왔으나 4)의 광의 질에 대해서는 등한시 하려는 경향이 있다.

예컨대 사무실이나 설계실은 밝게만 하면 된다는 생각이다.

더욱 밝게 하면 더욱 더 잘 보인다는 잘못된 생각으로 일관해 온 것이다. 즉 광의 질은 무시되어 왔다.

3·2 조명과 작업능률

조명이 작업능률에 큰 영향을 미치고 있으며,

조명방법, 조도, 광원의 종류에 따라 영향을 받고 있다.

(1) 조명방법과 작업능률

작업에 대한 조명은 작업을 편하게 할 수 있는 조명이라야 한다.

다음과 같은 것은 작업능률을 떨어뜨린다.

- 1) 작업에 손 그늘이 생길 경우
- 2) 시야에 눈부신 빛이 있을 경우
- 3) 빛이 흔들릴 경우

작업에 따라 조명의 요구가 다를 경우가 있다. 예컨대 책을 읽을 때나 글씨를 쓸 경우와 같이 평면상의 사무적인 작업에서는 그늘이 생기지 않는 조명방법이 좋고 반대로 금속면이나 직포면의 검사작업과 같이凹凸을 보아야 할 작업에서는 빛을 비스듬히 조사하여서 그늘에 의하여凹凸을 명확히 보이도록 하는 방법이 작업을 편하게 할 수 있다.

(2) 조도와 작업능률

일반적인 작업에서는 눈부심을 느끼지 않는 범위에서는 조도가 높을수록 작업능률이 높아진다. 즉,

- 1) 조도가 높을수록 시력이 증진한다.
- 2) 조도가 높으면 명시의 깊이가 깊어진다.

즉, 조도가 높아지면 눈의 동공이 적어진다. 카메라에서 조리개를 작게 하면 명확히 보이는 원근의 범위가 넓어지며, 초점심도가 깊어진다. 눈에서는 동공이 작아지면 명시의 깊이가 깊어져서 작업이 편해진다.

3) 밝으면 기분이 명랑해져서 작업능률이 촉진된다.

표3은 조도 개선에 따른 생산성증가를 나타내고 있다.

(3) 조도기준

작업장이 밝으면 기분이 명랑해지고 심신의 피로가 적어지며, 작업능률이 향상되고 생산계

〈표 3〉 조도증가에 따른 생산성 증가

작업	구조도	신구조도 (lx)	생산성증가 (%)	조명비 증가 (%)	
철제조차	26	58	선 반 35 블 반 16 나사파는반 6 홈파기 반 22	22	5.5
용접	84	116	12		2.5
편물공장	78	200	10.8		2.5
양말공장	78	250	13		-
복지직표	21	118	25		-

품의 품질이 향상되며 불량률이 감소된다.

이와 같이 조도가 높으면 유리한 점이 많다.

그러나 조도가 너무 높으면 기분이 불안정해지고 눈의 피로도 오히려 커지며 전력이나 경제 측면에서의 제한을 받게 되므로 작업의 정도에 따라 가장 적당하다고 생각되는 조도의 값이 정해지고 있다.

(4) 광원의 종류와 작업능률

일반작업에서는 전구조명에서 보다는 주광 채광이 작업능률이 높다. 이는

- 1) 주광은 확산광이며 그늘이나 손그늘이 적다.
- 2) 주광은 적외선이 적지만 전구는 적외선이 많아서 눈을 자극한다.
- 3) 주광이 기본적으로 명량하다.

3.3 조명과 피로

조명이 불량하면 눈이 피로해지고 나아가서는 심신이 피로해진다.

표5는 조도와 피로의 관계의 실험 결과로서 50~1,000lx에서 오독률이 가장 적고 10분 후나 90분 후에도 변동하지 않지만 조도가 낮아짐에 따라 오독률은 증대한다.

조명과 피로와의 관계는 단지 조도 뿐만이 아니라 조명방법에 따라서도 달라진다. 다음과 같

〈표 4〉 공장의 조도기준

정도	작업의 종류	기준조도 (lx)	조도범위 (lx)
	작업의 예		
초정밀	기계 (초정밀기계) 시계, 정밀조각 직물 (자수에 관한 작업) 검사 (초정밀)	1,000	1,500~ 700
	기계 (정밀기계조각) 금속 (가검사) 인쇄 (식자, 문선) 검사 (정밀) 질은색복지 (절단, 검사, 재봉) 비행기, 조립, 수선 질은색의 방직		
보통	기계조각, 연마, 가공, 용접, 밝은색 복지의 절단, 금속의 열처리, 제약, 제지화학의 필터링 증류결정도장, 밝은색의 방직	200	300~ 150
거침	목공, 농업, 구조, 금속로 (주입)		

〈표 5〉 조도와 오독률 (%)

조도 (lx)	10분후	90분후
500~1,000	1	1
100	3	4
30	15	20
10	35	45

은 상태에서는 피로가 증가한다.

- 1) 눈부심의 광원이나 반사면이 있는 경우
- 2) 작업개소만 밝고 주위가 어두운 경우 또는 이와 반대의 경우
- 3) 전구로 2,000lx 이상의 고조도로 조명하는 경우

즉, 전구조명에 의한 고조도의 경우 많은 적외선이 눈에 들어가서 가열되므로 피로가 증대된다.