



조명과 생산성향상

글/지 철 근(서울대학교 전기공학과 교수, 공학박사)

1. 광환경과 인체

인간은 동물로서 진화되어 왔으나 문명은 현대인을 육내동물로 살아가도록 하고 있으며, 선진국의 노동자중 80~90%는 육내노동자이다. 이로 인하여 인간의 눈은 매우 가혹한 요구를 받고 있다.

먼 곳뿐만 아니라 가까운 곳도 세밀히 보아야 하고 밤이나 어두운 곳에서도 눈을 비비가며 시(視)작업을 해야 할 경우도 있다.

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

그러나 현대인은 하루의 노동을 끝내고 귀가후에도 독서, TV시청, 취미활동 등으로 눈을 사용하고 있으며, 하루 16시간 이상 시각작용을 수반하는 노동을 하여 눈을 혹사하고 있다. 특히 귀가후에는 어두운 가정의 전등하에서 눈을 혹사하고 있다.

그러므로 시각작업의 수행을 위한 인공적인 조명환경이 불량할 경우, 그리고 인간의 시각이 그러한 환경에 오래 노출되고 있을 경우 시력저하 등의 생리적 효과와 또한 심리적인 영향을 무시할 수 없다.

현대인의 광환경을 살펴보면, 자연계의 밝은 날의 조도는 겨울의 50,000lx로 부터 여름의 100,000lx 정도로 계절에 따라 변화하고, 여름철에도 약간 흐린 날의 조도는 30,000lx~50,000lx이며, 몹시 흐린 날은 10,000lx~20,000lx, 그리고 천공광만의 조도는 10,000lx정도로 기후에 따라서도 변화되고 있다.

밝은 날 나무그늘의 조도는 7,000lx정도이다. 그러나 전등조명을 하고 있는 방의 조도는 50lx로서,

밝은 날의 나무그늘의 밝기의 1/10~1/100에 지나지 않는 어두운 조명을 실시하고 있다.

그러므로 현재의 천동에 의한 조명기준의 설정은 인간의 생물학적 필요성보다는 경제적, 조명기술적 배려에 기초를 두고 있다고 볼 수 있다.

2. 현대인의 근시화

인간의 지식중 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 청소년 시기라고 보고 있다. 그리고 이 시기는 수험공부에 의하여 눈을 혹사하는 시기이기도 하다.

우리나라 국민학교 1학년 학생의 경우 11%, 6학년이 되면 40%가 근시가 되고, 중학교 3학년에 60%, 고교 2학년에서 70%로 증가되고 있다는 보고가 있다. 이와 같은 근시의 원인으로는 과도한 독서, TV시청, 불량한 조명 그리고 편식도 그 원인으로 들고 있다.

특히 이들중에서도 어둡고, 부적절한 광환경하에서 눈을 혹사하면 시력의 손상을 크게 받게 된다.

또한 눈의 결함과 불가분의 관계가 있는 것이 직업이다. 현대의 작업은 고대에 비하여 작업이 세밀하고, 작업시간이 계속 길어져서 이에 따른 시각작업도 중노동화 되어가고 있다. 눈도 직업병에 걸린다

는 재미있는 보고가 있다.

<표 1> 직업별 눈의 결함

직업종류	눈의 결함비율(%)
농부, 육체노동자	0~20
목수, 도장공	20~40
기계공, 인쇄공	40~60
주부, 학생	60~80
설계기사, 속기사	80~100

즉, 작업이 정밀할수록 눈의 결함률이 높아지고 있음을 알 수 있다.

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

이러한 근시 등 눈의 결함에 대한 예방으로는, 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 근무를 할 경우에는 1시간에 대하여 10분 이상 눈을 쉬도록 한다. TV시청의 경우도 마찬가지이다.
- 4) 적절한 옥외 운동을 하여야 한다.
- 5) 편식을 하지 말아야 한다.

3. 조명과 시각

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

시력은 주시하는 물체의 밝기만이 아니고 주위의 밝기에 따라서도 좌우된다. 주위와 주시하는 중심이 동일한 밝기이거나 또는 주위가 약간 어두울 때에 시력이 가장 좋고, 중심보다 주위가 밝으면 시력은 심하게 떨어진다.

그리고 사람의 눈은 1/10lx의 어두운 달밤에도,

10만lx인 밝은 대낮의 옥외에서도 물체를 볼 수 있는 것은, 동공의 크기를 변화시키는 것만으로는 밝음에 대한 조절이 불충분하고 망막의 감광도를 대폭 변화시킴으로써 이를 수 있다. 어두운 곳에서 밝은 곳으로 나왔을 경우의 순응을 명순응이라 하며 감광도가 급격히 떨어져서 1~2분 정도면 일정하게 되고, 밝은 곳에서 어두운 곳으로의 순응을 암순응이라 하며 시간이 약 30분 정도 필요하고, 1만~2만 배의 감광도를 얻게 된다.

한편, 눈부심은 시야내의 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, 전시야가 거의 같은 광도일 때 최고의 예민한 시각이 얻어진다.

미국의 로간박사가 자연계의 조명환경을 측정한 결과 휘도의 비가 10:1을 초과하지 않으나 전등조명의 설비에서 휘도의 비는 100:1~1,000:1로서 대단히 높음을 발견하였다.

이와 같이 높은 휘도비가 전등조명에서의 시각 피로의 주원인임을 알게 되었다. 일반적으로 밝으면 밝을수록 시력이 증진하고 물체가 잘 보이게 되지만, 시야내에 눈부심이 나타나거나 또한 보려는 물체에 비하여 주위가 너무 밝으면 보임이 떨어지거나 장시간 시작업을 하는 사이에 눈의 피로가 일어난다.

시야의 중심부근의 휘도는 시야의 주변이 중심보다 약간 어두운 정도가 가장 물체가 보기 쉽다고 앞서 설명한 바 있으며, 주위가 지나치게 밝아도 보임이 떨어지지만, 주위가 너무 어두워도 눈 피로의 원인이 되므로 조명설계에서는 시야내의 휘도환경을 조정할 필요가 있다.

이상과 같이 시야내의 균등한 밝음이 시각도 좋아지고, 피로도 적어지지만 실제로는 그렇게 되지 못하므로 어떠한 한도를 허용하고 있다.

<표 2> 미국조명학회 설정 시야별 휘도분포의 허용한도

휘도 차이	사무실, 학교	공 장
작업대상물과 그 주위와의 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

미국조명학회에서 설정하고 있는 휘도분포의 허용한도를 <표 2>에서 표시한다.

4. 조명환경과 노동생산성

사무실이나 설계실에서의 과실이 전공장의 생산성에 매우 큰 영향을 미친다. 총무부장이나 설계부장은 과실을 감소시켜서 생산을 향상시키려는데 관심을 가지고 있다.

그러나 이들은 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 시간동안 10cm밖에 떨어져 있지 않는 정밀한 문자나 기호를 보아야 한다.

이리하여 젊은 종업원의 25%, 50세 이상의 종업원 75% 이상이 어떤 종류의 결함이 있는 시력을 갖게 된다. 좋은 조명환경은 이들의 눈의 결함을 예방하여 준다.

사무직 종사자는 불량한 조명환경하에서 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 시감으로 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 필요

하다고 한다.

조명환경을 올바르게 설정하여 사무소의 생산성을 20% 향상시킨 사례도 있으며, 일반적으로 5% 이상의 생산성 향상으로 투자비용은 충분히 보상된다고 보고 있다.

조명환경의 개선에는 투자가 필요하며 투자에 대한 보상문제가 당연히 나오게 된다. 지금까지 증명된 투자효과는 다음과 같다.

- 1) 생산의 향상
- 2) 손실의 감소
- 3) 중년, 고연령층의 일을 도와 준다.
- 4) 사기가 향상된다.
- 5) 고연색성을 얻을 수 있다.
- 6) 안전성이 향상
- 7) 건강 유지에 도움이 된다.

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

조명환경의 정비는 극히 당연한 것이지만, 지금까지 무시되어 왔다.

젊은 남녀 노무자를 전부 근시안이 되게 하거나 오후의 노동시간이 되면 미스나 로스가 극단적으로 증가되든가, 활기가 없어져서 피로나 권태를 느끼게 하고 중·고연령층의 화골형성을 상하게 하는 것 등은 조명환경의 개선으로 어느 정도 방지할 수 있는 행동이다. 국제조명위원회에서는 일반 소비자의 안전이나 쾌적환경에 대한 인식이 높아져서 조명에 종래와 같이 시감각만을 기초로 하는 것이 아니고 시감각에 광생물학적 작용까지 함께 고려하려는 움직임이 일고 있다.

사무실, 설계실에 조명환경 개선에는 크게 4가지 기본적 요건으로 나누고 있다.

- 1) 적절한 광량을 설정하는 것
- 2) 실내 밝음의 밸런스를 갖도록 하는 것
- 3) 조명기구의 선택 및 위치선정을 올바르게 하는 것

4) 광의 질을 선택하는 것
 등이다. 종래 조명기사, 전구메이커 등은 1), 2), 3)에 대해서는 충분한 연구를 하여 왔으나 4)의 광의 질에 대해서는 등한시 하려는 경향이 있다. 예컨대 사무실이나 설계실은 밝기만 하면 된다는 생각이다. 더욱 밝게 하면 더욱 잘 보인다는 잘못된 생각으로 일관해 온 것이다. 소위 루멘(lm) 경쟁으로 편중되어 온 것이다. 그리고 형광등의 보급과정에서 와트당의 루멘의 수치를 가장 중요시한 결과 광의 질은 무시되어 왔다. 전등의 광색인 색온도, 스펙트럼 분포와 연색성 등 빛의 질이 등한시 되어 온 것이다.

5. 조명과 작업능력

조명이 작업능률에 큰 영향을 미치고 있으며 조명 방법, 조도, 광원의 종류에 따라 영향을 받고 있다. 작업에 대한 조명은 작업을 편하게 할 수 있는 조명이라야 한다.

다음과 같은 것은 작업능률을 떨어뜨린다.

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

그런데 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 검사 작업과 같이 요철을 보아야 할 작업에서는 빛을 비스듬히 조사하여서 그늘에 요철을 명확히 보이도록 하는 방법이 작업을 편하게 할 수 있다. 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 조임을 적게 하면 명확히 보이는 원근의 범위가 넓어지며 초점심도가 깊어진다. 눈에서는 동공이 적어지면 명시의 깊이가 깊어져서 작업이 편해진다.
- 3) 밝으면 기분이 명량해져서 작업이 촉진된다.

<표 3> 조도 증가에 따른 생산성 증가

작업	구조도 [lx]	신구조도 [lx]	생산성증가(%)	조명비증가(%)
철제조차	26	58	22	5.5
용접	84	116	12	2.5
편물공장	78	200	10.8	2.5
양막공장	78	250	13	-
복지직표	24	118	25	-

<표 3>에 조도 증가에 따른 생산성 증가와 조명비 증가를 표시한다.

철제조차 작업의 경우 조도는 약 2배로 증가시키면 생산성 증가는 22%로 급격히 향상되고, 조명비 증가는 5.5%에 지나지 않음을 알 수 있다.

그런데 작업장이 밝으면 기분이 명량해지고, 심신의 피로가 적어져서 작업능률이 향상되고, 생산제품의 품질이 향상되며 불량률이 감소된다.

이와 같이 조도가 높으면 유리한 점이 많다.

그러나 조도가 심하게 높으면 기분이 불안정해지고, 눈의 피로도 오히려 커지며, 전력이나 경제 측면에서의 제한을 받게 되므로 작업의 정도에 따라서 가장 적당하다고 생각되는 조도의 기준을 추천하고 있다.

<표 4> 공장의 조도기준

구분 정도	작업의 종류		기준조도 (lx)	조도범위 (lx)
	예			
초정밀	기계(조정밀기계)		1,000	1,500~700
	시계, 정밀조각			
	직물(자수에 관한 작업)			
	검사(초정밀)			
정밀	기계(정밀기계조작)		500	700~300
	금속(가검사)			
	인쇄(식자, 문선)			
	검사(정밀)			
	질은색복지(절단, 검사, 재봉)			
	비행기, 조립, 수선			
보통	기계조작, 연마, 가공, 용접, 밝은색 복지		200	300~150
	의절단, 금속의 열처리, 제약, 체지화학의 필터링, 증류결정도장, 밝은색의 방직			
거침	목공, 농업, 구조, 금속노(주입)		100	150~70

즉 공장에서 작업의 정밀도에 따라서 작업종류를 거침, 보통, 정밀 및 초정밀 작업으로 크게 분류하여, 각각의 경우의 기준조도를 <표 4>에서 나타내고 있다.

6. 조명과 피로

조명이 불량하면 눈이 피로하고, 나아가서는 심신이 피로하다.

<표 5>는 조도와 피로의 관계 실험결과로서 500~1,000[lx]에서 오독률이 가장 적고, 10분후나 90분후에도 변동하지 않지만, 조도가 낮아짐에 따라 오독률은 증대된다.

조명과 피로와의 관계는 단지 조도 뿐만 아니라 조명방법에 따라서도 달라진다.

그리고 다음과 같은 조명상태에서는 피로가 증가한다.

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

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

7. 조명과 사고재해

공장의 사고재해가 조명의 불량에 의한 것이 매우 크다.

조명불량은 첫째로 조도의 부족이며, 조도가 낮으면 눈을 작업개소에 근접시키므로 선반작업의 경우 눈에 절분이 들어간다.

또한 작업개소만 밝고 통로 등이 어두우면 보행근

<표 5> 조도와 오독률

조도 [lx]	10 분 후	90 분 후
500~1,000	1	1
100	3	4
30	15	20
10	35	45

처에 있는 물건에 발이 걸려 넘어지기도 한다.

그리고 눈부신 빛으로 명시가 방해되어 상처가 나는 경우도 있다.

이와 같이 불량한 조명에 의하여 재해가 일어나기 쉬우므로, 될 수 있는대로 공장 전체가 균등하게 밝고, 눈부신 빛이 보이지 않도록 하는 것이 조명에 의한 재해를 방지하는데 필요하다.

8. 자외선과 적외선에 의한 눈의 손상

자외선중 3,000 Å 이하의 짧은 파장이 눈에 조사되면 각막에서 거의 전부를 흡수하여 각막에 손상을 준다. 탄소아크등이나 살균등을 직시하면 눈이 상하게 된다. 3,000 Å 이상을 초과하면 각막을 투과하여 수정체에서 흡수되지만 손상을 주는 일은 없다.

3,000 Å 이상의 가시광선은 망막에 도달하고 만약 광원의 휘도가 매우 높으면, 황반화상이 생긴다. 일식이 이를 때 태양을 직시하는 경우나 용접광에 의하여 일어난다.

또한 파장이 길어져서 적외선이 되면 안구내로 진입하여 대량 진입시에는 수정체나 망막에 손상을 준다. 유리공이나 단소공에 백내장이 많은 것은 이 때문이다.

이를 예방하기 위해서는 자외선이나 적외선에 모두 보호안경을 쓴다. 황반화상에도 보호안경이나 적당한 필터를 사용한다. ☺

<표 6> 자외선과 적외선에 의한 눈의 손상

병명	원인	증상	예방	예후
자외선 안염	설면반사 탄소아크등, 살균등 용접광	통증 충혈 눈물이 나온다	보호안경	2~3일로 완치
황반화상	태양직시 용접광 탄소 등의 직사	시력장애 시야의 중 심부 암점	보호안경 적당한 필터	경증은 나아 지지만, 증중 인 것은 나아 지지 않는다.
적외선 백내장	다량의 적외선	시력장애	보호안경	수술로 어느 정도 회복