

자연계 광환경과 인공 조명 환경

지철근

1. 인간에 쾌적한 생활환경

인간이 생활하고 활동하려면 음식물, 물 등의 생체유지용 물질과 공기환경, 열 환경 및 광환경등의 생활환경등 많은 요소들이 필요하다.

이들 중, 인간이 상쾌하고 원활하게 활동하려면 인간에 알맞은 생활환경이 필요하다.

깨끗하고, 상쾌한 맑은 공기, 쾌적은 온도, 습도 등의 열 환경 등이 서로 얽혀진 인간이 쾌적하고, 건강을 지키는 알맞은 생활환경이 필요하다.

이와 같은 중요한 생활환경을 인공적으로 조성하는 한 요소인 인공조명환경은 광학의 인간환경에의 응용분야로서, 현재 널리 이행되고 있는 인공조명환경은 긴 세월 적용되어온 자연광환경의 많은 상황들이 결과적으로 원용되고 있다.

2. 자연계의 광환경

2.1 태양광

현대의 과학적 우주진화론에 의하면 우리들이 살고 있는 우주에 아무것도 없는 컴컴한 우주 속에 모든 것이 동전보다 적은 한 점에 끌려서 응집되고, 응축된 초고온, 초고압의 에너지 덩어리인 불덩어리가 150억 년 전에 대폭발(Big Bang)을 일으켰다고 한다.

대폭발로 온도가 급속히 떨어지면서 에너지는 물질의 기초를 이루는, 입자인 쿼크로 변하고, 또 쿼크와 반쿼크와 결합에서 빛이 만들어지고, 이어서 우주에서 가장 가벼운 수소(H:원자량)와 헬륨(He)을 형성하였다.

대폭발은 동시에 "빛의 우주의 탄생"이기도 하였다. 태양은 모든 별과 같이, 가스와 먼지로 된 거대한 소용돌이 속에서 탄생하였다. 모든 물질이 농축되어 굳어진 태양은, 근처의 가스나 먼지를 끌어 들어서 더욱 크게 성장하고, 더욱이 밀도도 높아져가서 태양은 단숨에 별로 변신되었다. 더욱이 내부의 온도와 압력이 충분히 높아진 태양은 우주공간에서 압도적 다수를 차지하는 가벼운 수소 원자들이 무리하게 밀어 넣어져 "핵융합 반응"을 개시하였다. 이 핵융합의 규모가 충분히 커졌을 때, 태양은 점화되어, 주위는 밝게 비추어지게 되었다. 즉 물질이 빛으로 변화한 순간이다.

태양의 반지름은 약 70만Km, 표면온도 6,000K이고 그 중심부는 1,000억 기압, 1,500만K인 초고온의 불덩어리이다. 태양이 만약 석탄 덩어리 이었다면, 겨우 5,500년 만에 모두 타버렸을 것이다. 그러나 태양은 탄생 이래로 50억년이 지난 지금도 계속 타고 있다. 6,000K의 고온에서는 모든 물질이 가스 상태로 되고, 원자로만 존재한다. 태양내부에 갈수록 압력과 온도가 높아진다.

1,500만K라는 태양의 중심부에서는 원자는 원자핵(양자와 전자로 분리)의 상태로 된다.

태양은 3/4이 수소원자(H)로 구성된 별이다. 1,500만K라는 초고온 하에서는 수소의 원자핵은 1초간에 수 100Km란 맹렬한 속도로 날아다니고 있으며, 수소의 원자핵 동지가 충돌하면 한 개로 융합하여 헬륨(He)핵으로 변한다. 이것이 "핵융합 반응"이다.

이 반응으로 수소는 1초간에 5억 6,400만 톤이 소비되고, 5억 6,000만 톤의 헬륨(He)이 생긴다.

이 질량의 차가 에너지로 변하여, 선으로 방사될 때 우리들은 열로서, 빛으로서 감수한다.

태양방사는 지구를 둘러싸고 있는 대기 중의 O₃, CO₂ 및



수증기에 흡수되어 지구 표면상에는 290~3,500nm 범위의 방사선 도달한다. 즉 자외선이 5%, 가시광선이 50%, 적외선이 45%의 방사 비율로 도달한다.

태양광 방사중 280nm 이하는 자외선은 O₃이 흡수하며 생체에 조사되면, DNA 및 생체 구성분인 단백질이 파괴되어 자손이 도절되고, 사망에 이르게 된다. 1.2μ(1,200nm)보다 긴 적외선은 CO₂과 수증기가 흡수하여 차단함으로써, 생체의 구성분인 수분의 증발을 막아서, 생체의 말라 시들어버림을 막는 등, 생체에 유해한 자외선과 열선을 차단하여 생명을 존속 시키고 있다.

2.2 자연의 광환경

약 400만년에 걸친 긴 세월의 인류역사를 통해, 태양과 달, 별 등과 물체의 연소에 의한 불빛인 황색, 주황색 및 적색등이 혼합된 색광의 의한 인류생활에 중요한 역할을 해왔으며, 전기에너지를 사용하는 전구가 기쁨등 불에 대치된 것은 겨우 120년전 이다.

우리인간은 오랜 세월에 걸쳐서 자연계의 광환경에 적응되어 왔으므로, 자연계 광환경의 원천인 태양광인 주광조명이 인류에게 가장 자연스럽고 건강적이며 긍정적인 빛이라 할 수 있다.

(1) 주광의 광질

태양은 약 6,000K의 고온방사체로서, 연속스펙트럼은 흰빛을 방사한다. 그러나 인공광원인 고압수은등이나 고압나트륨등의 고휘도 방전등의 방사 스펙트럼은 선 스펙트럼이고, 형광등은 다수의 휘선이 모여서 띠모양의 이루는 대상스펙트럼 이다.

이와 같이 인류는 연속스펙트럼인 주광의 광질 조명하에서 오랜 세월 적응되고 진화되어 왔으므로 연속스펙트럼의 방사조명이 인류에게는 매우 자연스러운 광질이라고 말할 수 있다. 이에 대한 심리적 실험결과를 보면 태양광과 근사한 연속스펙트럼인 백열등 조명이래서는

- ① 양계에서 산출된 계란은 다른 인공조명하에서 보다 콜레스테롤이 감소되었고,
- ② 교실조명에서 학생들의 행동이 침착하였고,
- ③ 스트레스 반응의 지표인 부신피질호르몬의 변화가 없었다.

그러나 대상스펙트럼인 냉백색 형광등 조명하에서는

- ① 피로, 초조, 주의력산만(교실조명)
- ② 스트레스 반응의 지표의 레벨이 높은 수준에 달하였다.

그러므로 인공광원의 방사 스펙트럼인 광질을 태양광에 의한 주광의 광질에 접근 시키는 것이 광원개발의 큰 과제라고 할 수 있다.

(2) 광환경

여름철 야외공간의 광환경은 위쪽 하늘은 푸르고 맑으며, 주위는 검무른 녹색으로 덮힌 산림과 산, 아래쪽은 검은 황토의 지면 등으로 이루어지는 것을 알 수 있는데, 이렇게 자연의 광환경은 지면으로부터 주위 그리고 위쪽 하늘로 올라가면서 밝으며 이러한 광환경이 안정감을 준다.

(3) 시야내의 밝음의 분포

자연계의 조명환경에 의한 시야내의 밝음의 분포인 휘도의 대비는 일반적으로 10 : 1을 초과 하지 않는다는 Logen의 측정결과이다.

조도가 70,000[x]정도의 밝은 날 여름철의 자정조도의 경우 나무그늘의 조도는 7,000[x]정도로 휘도 비는 10:1 정도이다.

시야내의 조도의 차이가 크든지, 휘도의 차이가 크면, 눈의 순응변화가 눈부심을 일으키고, 보인도 나빠지고, 이러한 조명하에서 작업을 하면 쉬이 피로해진다. 그러므로 휘도의 변화는 크지 않는 것이 바람직하다. 그렇다고, 균일한 휘도분포는 시각에는 좋으나, 이러한 실내조명은 단조롭고 반대로 휘도분포가 심하며 또한 음산한 느낌과 부자연스럽고 불안정한 인상을 주기도 한다.

빛과 함께

(4) 자연계의 광색 사이클과 생활리듬

인간의 생활리듬은 자연계의 광색사이클(순환)을 기준으로 활동하고 휴식한다. 동물, 식물도 같으며, 모든 생물은 자연계의 광 사이클에 따라 생활하고 있다. 그림은 하루 시각별 자연광인 태양광의 색온도 관계를 자연광과 인간의 생활이 어떤 모양으로 관련되어 있는가를 나타낸 것이다.

- 오전 6시 : 색온도 2,000K로 촛불의 광색과 같으며 사적인 분위기
- 7시 : 색온도 3,000K로 전구의 빛과 같으며 떠스한 이미지(가상)
- 7~8시 : 색온도 3,000~4,000K에서 안정된 분위기
- 8시 : 색온도 4,000K로 밝은 분위기
- 8~9시 : 색온도 4,000~5,000K로 시원한 분위기
- 9~12시 : 색온도 5,000~6,000K로 햇빛으로 밝다.

등이 뜨는 새벽 6시와 저녁 6시의 태양광의 색온도는 모닥불, 촛불과 같은 2,000K이고, 지상조도는 10,000lx 정도는 색온도, 지상조도 모두 낮은 수준이고, 밝은 낮 정오의 색온도는 6,000K 이고 지상조도는 80,000lx정도로 색온도, 지상조도 모두 높아진다. 이러한 자연광환경의 변화로 색온도 및 연색성이 높은 것은 오랜 세월 자연광 변화에 적응되어 생활하여 왔기 때문이라고 생각된다.

3 인공 광원의 특성

3.1 광원의 발광원리

광원이 방사하는 발광방법에는 열방사와 루미네선스로 대별된다.

(1) 열방사

열방사는 온도 방사라고도 하며, 물체가 어떤 온도에 있을 때 그 내부의 원자, 분자, 이온 등의 열진 동으로 방사에너지가 방출되는 현상을 말한다. 고온(2,000~3,000℃)에서 백열상태의 온도 방사를 이용한 것이 백열전구와 할로겐전구이다.

(2) 루미네선스

방전램프나 고체발광소자는 주로 루미네선스에 의한 발광이다.

a) 기체원자의 여기, 전자등에 의한 발광

기체원자가 외부로부터 어떤 형태의 에너지가 가해지면 예컨대 빛(광양자)조사, 전자나 이온 등의 충돌 등으로 기체원자의 핵의 전자가 외부로부터 받은 에너지로 인해 레벨이 높은 궤도(레벨)로 이행하여 여기상태로 되었다가 원상태로 복귀할 때 과잉에너지를 빛(광양자)으로 방사한다. 형광램프, 수은램프, 나트륨램프 등의 발광원리이다.

b) 일렉트로 루미네선스

전계로 자극되어 생기는 것으로, EL램프, 발광다이오드(LED)등 고체 발광소자와 더불어 전계로 가속된 자유전자와 원자의 충돌에 의한다.

3.2 각종 광원의 특성

일반조명용 광원으로 현재 널리 사용되고 있는 각종 광원들의 특성과 용도는 다음과 같다.

(1) 백열전구

열방사를 이용한 광원으로, 전구 내 필라멘트에 전류를 흘려서 고온으로 가열한 것으로, 소형 고효율 광원이다. 효율도 낮고, 수명도 짧지만 광색, 연색성이 우수하고, 점동장치도 불필요하며, 또 매우 열기이므로, 세계적으로 가장 많이 보급되어 있다. 또 한 출력(크기), 발광형태,



크기 등을 다양하게 할 수 있으므로 주력 상점 등 국내 조명에 널리 사용되고 있다.

(2) 할로겐전구

백열전구에 불활성가스와 더불어 미량의 할로겐물질을 봉입한 전구이다. 정동 중에 증발된 텅스텐이 할로겐원자 또는 분자와 결합하여 할로겐화 텅스텐으로 되어 관 벽에 부착되지 않고 확산이나 대류작용으로 또 다시 고온의 필라멘트 부근에서 텅스텐과 할로겐으로 해리되어 텅스텐은 필라멘트로 되돌아가는 과정을 통하여 전구의 흑화가 방지되는 효과가 있다.

효율, 수명 모두 백열전구 보다 약간 우수하고 소형화 시킬 수 있으므로 조명기구도 소형으로 된다. 상점용, 투광용, 영상, 스튜디오 등에 사용된다.

(3) 형광램프

형광램프는 열음극 저압수은증기 방전램프의 일종으로, 방전에 의해 발생하는 파장 253.7nm를 주체로 하는 수은스펙트럼중의 지외선에 의해, 유리관내벽에 도부된 형광체를 여기하여 발광하는 것이다. 저주파 고효율 광원으로 수명도 길다. 색광에 따라서 백색, 주광색, 3파장형 형광램프 등이 있고 소형의 콤팩트 형광램프 그리고 전구형 형광램프 등이 있으며, 주택, 상점, 사무실, 공장 등에 보급이 급속도로 넓게 진행되고 있다. 그러나 안정기가 필요하고 주위온도의 영향을 받기 쉽고 빛의 어른거림도

약간 있는 것이 흠이다.

(4) 고압수은램프

고압수은램프는 일반적으로 수은램프라 하며, 1기압 정도의 수은 증기 증의 방전에 의한 복사를 이용한 것으로, 수은증기 1기압정도를 유지하기 위하여, 발광관의 온도는 아르자신의 발열로 400°C이상유지할 필요가 있으므로 발광관의 외부에 단열외관을 씌운다.

색광은 녹색을 띤 청백색으로 광속발산이 큰 것과 수명이 긴 것 등이 특징이지만, 연색성은 떨어진다. 특성이 우수한 메탈할라이드 램프의 개발로 보급이 중단된 상태이다.

(5) 메탈할라이드 램프

수은램프의 발광관내에 발광물질로서 할로겐화금속(우화물)을 봉입한 램프를 메탈할라이드 램프라 한다. 금속을 할로겐화물의 형태로 봉입한 것은 금속단체보다 할로겐화물의 증기압이 높다는 것과 석영발광관의 화학반응에 의한 상식을 현저하게 적게 할 수 있기 때문이다. 고압수은램프보다 효율, 연색성이 우수하여, 육의 저명 및 국내 고전장 조명에 적합하다. 고연색 램프는 상점, 체육관, 공장 등에 사용된다.

(6) 고압나트륨램프

고압나트륨 증기압 100~200Torr의 방전에서 얻을 수 있는 빛으로 발광관은 고온 700~800°C에서 나트륨증기

표 1. 각종광원의 특성의 예

| 광원의 종류 | 램프의크기(w) | 램프의광속(m) | 램프의효율(lm/w) | 평균연색계수(Ra) | 색온도(K) | 평균수명(h) |
|------------|----------|----------|-------------|------------|--------|---------|
| 백열전구 | 100 | 1,520 | 15.2 | 100 | 2,850 | 1,000 |
| 할로겐전구 | 250 | 4,500 | 18.0 | 100 | 2,910 | 2,000 |
| 형광램프(백색) | 40 | 3,100 | 78.0 | 63 | 4,200 | 10,000 |
| 형광램프(주광색) | 40 | 2,700 | 68.0 | 77 | 6,500 | 10,000 |
| 형광램프(3파장형) | 40 | 3,100 | 78.0 | 84 | 5,000 | 10,000 |
| 메탈할라이드램프 | 400 | 31,000 | 78.0 | 63 | 5,700 | 9,000 |
| 고압나트륨램프 | 400 | 50,000 | 125 | 29 | 2,100 | 12,000 |

빛과 함께

에 침식되지 않는 투광성 알미나세라믹스의 발광관을 사용한다.

일반형은 근 백색광원으로 가장 높은 효율을 갖고 있으나 색온도가 낮아서 연색성이 좋지 않지만, 경제적 이유로 도로, 광장 등 옥외 조명에 널리 사용된다.

(7) EL램프와 LED

EL램프는 면광원으로서 응용이 기대되는 광원으로 먼 상의 투전극간에 유전체 절착체에 형광체를 혼합한 박막을 바른 것으로 현재는 저휘도 저효율이므로 면광원으로서는 디스플레이 패널에 사용되고 있다.

한편 발광다이오드(LED)는 전기에너지를 직접 빛으로 변환하는 고체소자로서 일반 조명용으로 효율, 가격 등이 부적당하여 일반조명으로 사용하기에는 아직은 부족하며, 표시소자로서, 시계, 카메라, 컴퓨터 등에 응용되고 있다.

3.3 광원의 장래

1960년대에 개발된 할로겐전구, 메탈할라이드램프, 고압나트륨램프가 종래의 백열전구, 형광램프, 형광수은램프와 아예를 나란히 할 정도로 보급되었다.

또한 조명환경의 향상과 더불어 광원의 종류도 다양화되어왔다. 그리고 조명외의 산업용으로서의 응용도 확대되고, 양적으로나 질적으로도 발달은 눈부실한하였다. 그 배경에는 100년여의 광원의 역사를 만든 선인들의 노력의 발자취가 있다.

이들의 발명에 입장시켜서, 기초적인 발광기구의 해명, 텅스텐선, 형광체, 유리, 세라믹스, 전자광사물질등 재료의 개발, 진공기술등의 램프의 제조과정기술, 점등장치등의 하드한 기술과 그들을 응용하는 촉광, 조명수법등의 소프트웨어 기술의 진보등이 쌓여서 모인 결과라고 본다.

금후의 광원의 개발 방향으로서, 효율, 연색성, 광색수명 특성, 광속유지율등의 향상, 형태의 소형화등과 조명, 안전을 위한 조명 등 다양화된 조명에 알맞은 광원의 개발

이 진행될 것이다.

금후의 광원으로서 점관원(전구, HID램프)등 선광원(형광램프)의 다음으로 면광원(EL램프)등이 기대된다. 백열 현상을 이용한 전구, 방전현상을 이용한 형광램프 HID램프 등의 다음은 고체발광을 이용한 광원(LED)발광다이오드(LED)나 화학반응을 이용한 광원인 (케미컬라이트: 2 종류의 액체를 화학반응 시키면 녹색발광을 한다.)등이 장래 실용화 될지도 모른다.

이들의 광원이나 현재 이용되고 있는 광원도 성능이 획기적으로 향상된다면, 새로운 조명의 전기가 기대된다.

4. 인공 조명환경에서의 자연광환경의 원용

인류는 근 400만년의 긴세월 자연의 태양광환경에 적응되어 왔으므로, 인공조명에서도 자연광환경의 여러 상황들이 결과적으로 원용 되고 있다는 은 자연스럽다고 볼 수 있다.

4.1 광원의 광색

인류는 오랜 세월 낮에는 고온방사체인 태양광(6,000K)아래서 생활하고, 밤에는 모닥불(2,000K)의 빛속에서 지냈으며, 5,000년 이래 기름의 연소에 의한 기름등불 빛 아래서, 근대 150년부터는 기름등불, 촛불, 모닥불과 같은 연소광(2,000K) 아래서 생활해 왔다.

120여 년 전에 발명된 백열전구(2,850K)는 연소불빛과 근사한 붉은 색계가 우세한 백색광이며 그 빛속에서 생활하여 왔다.

이렇게 오랜 세월 밤에는 색온도가 낮은 난색계의 백색광에 친숙되고, 적응된 생활 경험, 낮에는 색온도가 높은 전구의 광색은 인류가 태고로부터 긴 세월, 아간의 등화로서 친숙된 불빛에 가까우므로, 백열전구 조명은 아간의 휴식이나 가정의 단란에 적당하다.



또한, 인간의 생활리듬은 자연계의 광색사이클을 기준으로 활동하고 휴식하고 있다.

아침, 저녁 6시~7시의 태양광의 색온도는 2,000K ~ 3,000K로서 전구의 색온도와 근사하다.

아침의 이시근대는 기상 조식등 하루의 활동을 준비하는 시간이고, 저녁의 이시근대는 직장으로부터 귀가, 석식 및 식구들의 모임등 단란한 사적인 분위기의 시간이며 피스한 느낌의 최미한 밝음의 시간이다.

그러므로 전구는 아간의 휴식이나 가정의 단란등의 장소의 조명에 적당하고 형광등은 색온도가 4,500K ~ 6,500K로서 대낮의 주광과 같이 밝고 시원하여 사무실, 공장등 작업장소에 적당하다.

4.2 공간광환경

심리실험 결과로부터 사무실, 교실 등의 실내면의 반사율은 좋은 광속발산도비와 능률적이고 안정되고 인락한 광환경을 이르게 하려면 다음표 예서와 같이 국제조명위원회(C.I.E)와 미국조명학회(E.S)에서 추천하고 있다. 이는 자연계공간 광환경의 밝기와 유사하며 방비닥보다

벽면이 벽면보다 천정의 반사율이 높다. 이는 여름철의 야외의 자연광환경과 유사하며, 하늘은 푸르고 밝고, 주위는 검푸른 녹색에 덮인 산, 산림, 지면은 검은 황토등으로 지면으로부터 위 공간으로 올라감에 따라 밝아진다. 이러한 광환경은 실내뿐만이 아니라 건조물의 투광조명에서도 안정감을 주기위해 적용되는 것이 바람직하다.

4.3 시야내의 밝음의 분포

작업면휘도를 기준으로, 주위의 쾌적한 휘도비는 사무실의 경우, 작업면 휘도는 시야내의 시각대상물 책상면, 바닥면들의 동시에 보이는 휘도비이다.

시각대상물과 그 주위의의 바람직한 휘도비는 심리실험 결과로부터 C. I. E 및 미국 I. E. S에서 추천되고 있는 것을 표2에서 나타낸다.

이는 자연계조명환경의 휘도비와 유사하다. 즉 자연계의 광환경의 휘도비는 일반적으로 10:1을 초과하지 않는다. 그러나 전등조명의 대표적인 설비에 의한 휘도비는 100:1 ~ 1,000:1로서 매우 높아서 시각피로의 주원인이 되고 있다.

표 2 조명기준에서 본 추천 휘도비

| 반사면 | C.I.E | 미국 I.E.S |
|---------------|---------|----------|
| 작업면휘도 | 10% 이상 | 1 |
| 바로주위 | 1/3 이상 | 1/3 최소 |
| 전반적 배경이 어두운 면 | 1/20 최소 | 1/10 최소 |
| 전반적 배경이 밝은 면 | - | 10 최대 |



저/자/익/력 지철근

지철근 박사는 서울공과대학에 재직하면서 국내에 조명공학을 처음으로 도입하였다. 국회의사당, 세종문화회관 등에 조명위원으로 활동하였으며, 올림픽 기념 환강대교 아치 및 잠실교 수중보 조명, 남대문 조명 계획등 다수의 조명 프로젝트를 지휘하였다. 대한전기학회, 한국 조명설비학회등 등을 역임하였으며, 현재 서울대학교 공과대학 명예교수, 국제조명위원회 한국 위원회 회장 등의 공직에 봉사하고 있다.