

照明도가 일의 能率에 미치는 影響

A. T. churchman

業務를 수행 할때에는 조명의 효과가 극히 중요시 되어야 할에도不拘하고 이것이 거의 무시되고 있다. 特定한 業務에 따라 適切한 照明속에서 일하는 것은 일의 能率을 올리고 피로를 격감시키는 것이다. 이러한 點은 고용주나 고용인 모두에게 利益을 주는 것이다.

인간은 시초부터 光源을 태양에 의존하여 왔다. 光合成에 의해 이 태양에너지는 지구상의 모든 生物體를 창조한다. 本稿에서는 電磁波스펙트럼 중에서 눈에 視覺을 일으키는 부분을 다룬다.

같은 視覺은 비교적 현대적인 개념이다. Plato는 視覺은 눈이 주위 물체에 방사하는 粒子에 기인한다고 생각했었다. 이러한 그릇된 생각이 없어진 것은 15세기말 Leonardo da Vinci의 논리적인 논거가 나온 이후이다. 그는 우리가 하늘의 별을 볼 수 있음은 틀림없다고 말하고, 그러나 만약 Plato의 견해가 옳다면, 별을 보는 데에 돈 에너지의 量으로 인해 우리는 급속히 소멸되어 버릴 것이다. da Vinci는 현재는 너무나 변한 사실, 즉 視覺은 외부의 조명과 마음의 창인 눈에 의한 곁출에 관계한다고 추론하였다.

아라비아 사람은 網膜에 대해 알고 있었던 것 같은데 인간의 靈을 전달하는 것이 그 역할이라고 생각했다. 그러나 16세기에 와서 Kepler와 Scheiner는 網膜의 실제 기능이 視覺的 자극의 감각기관이라고 설명했다. 그러나 이들은 腦內에 형성된다고 보다는 뇌에 전달되는 像의 知覺作用에 대해서는 틀린 견해를 가지고 있었다. 18세기에 Padua의 파대학의 Ramazzini는 안경을 쓰지 않고 정밀작업을 하거나 불충분한 조명상태에서 먼곳을 바라보는 것이 눈에 해롭다는 것을 이미 인식하고 있었다. 그러나 19세기의 Helmholtz가 눈과 視神經에 대한 生理學的 기원으로 공인받고 있다.

한편 인간은 처음에는 불빛으로, 다음에는 옛날의 귀족풍 식당에서 처럼 곱돌양초로 환동할 수 있는 시간을 연장할 줄 알았다. 그러나 이것을 식사하는 데에 겨우 충분할뿐이었다. 후에 修道僧들은 더욱 정교한 촛불 곁에서 아름다운 彩色寫本을 많이 만들어냈다.

Victoria 시대에 가스와 가스램프가 제조된 이후에야 일반대중은 어두운 시간을 이용하게 되었다. 그러나 照明의 원리와 기술이 요파른 보게된 것은 경제적으로 전기에너지로 빛으로 변환시킨 1870년대의 Swan과 Edison의 공동연구 이후의 일이다.

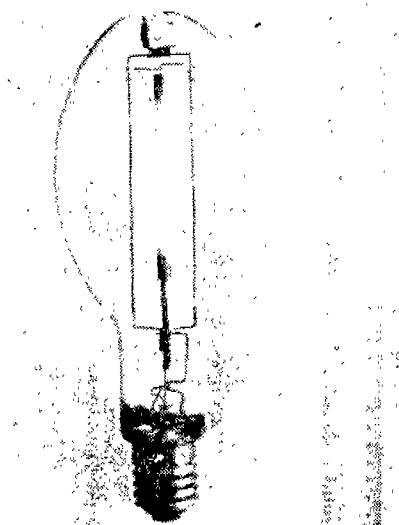
이들이 만든 최초의 상용전구는 효율이 1.4lm/W 이었고, 오늘날의 설유補強 전문가의 인정을 받을 만한 炭素필라멘트 제조기술, 즉 미리 成形된 網絲를 태우는 기술이 이용되었다. 그후 Swan은 필라멘트를 만들기 위해 니트로셀룰로오즈(nitrocellulose)를 抽出해냈는데, 이것은 合成설유가 최초로 쓰인 예이다. 이렇게 만든 전구도 효율이 낮아 3.3lm/W 이었지만, 副次的으로 발생하는 熱이 가스燈과 초의 1/20 2배 미만이어서 照明強度가 더 높아 질 수 있게 되었다.

지난 50년간 高效率의 추구로 효율 6lm/W인 Nernst 稀酸素-오스미움 필라멘트, 10lm/W인 가스充燈電球, 15lm/W인 코일모양의 텅스텐 필라멘트, 할로젠(halogen)化 텅스텐電球로 발전되었다. 할로젠化 텅스텐電球는 필라멘트 온도가 가장 높았고 효율이 21lm/W인데, 이값은 필라멘트 온도가

텅스텐의 融解點(3,655°K) 일 때의 理論効率 53lm/W에 필적한다.

1920년대에는 네온사인에 高電壓管이 널리 쓰였고, 1930년대에 電子放出陰極을 가진 低電壓螢光管이 사용되었는데, 그 효율은 演色性和 電源周波數에 따라 40~80lm/W이었다. 低壓水銀, 나트륨街路燈은 효율이 더욱 높아 75~150lm/W 이나, 質體感과 演色性이 좋지 않다. 나트륨은 그 放出色이 明視 最大視感度에 가깝기 때문에 조명에 있어서 특히 유용하다.

최근의 GEC社의 高壓(1/3기압) 나트륨放電燈의 출현으로 거의 절정에 달한 감이 있는데, 이것은 白色光을 내며 黃色線은 自體吸收된



400W 高壓 나트륨燈 Solacor

다. 효율은 實驗用 160lm/W, 商用 100lm/W에 이

照明度가 중요한 이유를 알려면 눈의 生理와 知覺作用의 心理를 좀더 조사할 필요가 있다. 網膜에

르며, 理論効率은 대해서 2007lm/白色光放出에 W, 綠에너지가 555nm(綠色光)에서 放出되던 680lm/W이다.

I. 눈(眼)

눈이 받을 수 있는 光信號의 強度는 10^{10} 범위, 즉 어두운 밤의 10^{-6}cd/m^2 에서 청명한 날의 눈(雪)이나 모래에 대한 10^4cd/m^2 까지이다. 눈을 對象物에 집중시키면 (foveal vision이라고 함) 세부적인 것을 감지하기가 더욱 쉽고 (視覺的 銳敏性), 反射作用에 의해 처음에는 눈을, 다음에는 머리를 돌려 foveal vision을 이용하게 된다.

英國 Hampsirerh 所在 IBM 社의 1,000 lx 照明施設



는 視神經이 들어가는 盲點, fovea와 para fovea 들 포함하고 있는 斑斑 및 末梢가 있으며, 이들 사이에 光을 탐지하는 두 종류의 세포 즉 rod와 cone 이 1억개, 신경섬유가 백만개 있다. 시각활동의 중추는 fovea인데, 그 크기는 핀의 머리만 하고(직경 260 μ m), 1°의 角을 끼고 있다. 이것에는 rod가 없으며, 직경 1 μ m(角으로 24'')인 cone 10,000개가 2 μ m간격으로 있다.

生理學者들의 실험에 의하면 황혼時와 같은 낮은 照度(10⁻³cd/m²)에서는 fovea는 반응을 나타내지 않고 rod만이 반응한다(暗視). 이 경우 天空上の 銳敏性은 感度보다 떨어져 뇌가 다수의 rod를 走査하는데에 0.5초이상 걸린다.

보통은 cone에 의지하는 데, 視覺活動中樞에서 그 밀도가 가장 크다. 明視범위는 10~10⁴cd/m²이고, 이 범위에서 뇌가 映像을 형성 종합하는 데는 0.1초가량 걸린다.

다른 視覺的銳敏性은 照度의 函數인데, 이것은 일의 適應度에서 走査되는 cone의 수와 비교하여 실제 신호에 대해 작용시킬 cone의 수가 정해지기 때문이다. 연구자들이 구한 임계치는 視覺的銳敏性이 80%(30'')가 되려면 100cd/m²의 照度가 필요하고, 95%(27'')에는 4100cd/m²이 필요하다.

색도 중요한 視覺的環境의 하나이며, 暗視에 작용하는 rod는 색을 구별하지 못한다. 色感度는 cone과 관계있고, cone의 감도는 赤色光(700nm)보다 青色光(435nm)에 대해 훨씬 낮다. rod의 最大感度는 cone의 경우(555nm, 黃一綠)보다 약간 짧은 波長(507nm, 靑一綠)에서 나타나는데,

이것을 Purkinje효과라고 한다. 날이 저물어 rod가 활동하게 될 때 赤色장미꽃과 青色갯개미취꽃의 輝度가 외견상 휘바뀌는 사실은 이 효과의 좋은 예이다. 이런 현상으로부터 보아 色配合는 照明구상상 중요하다.

視覺의 第4성질은 운동의 檢知이다. 이것도 어느 정도의 감도가 요구되면 cone의 기능이지만, 운동感知작용이 가장 큰 것은 末梢이다. 이 경우 기존세로는 운동물체에 fovea를 집중시키는 근육에 신호를 보낼뿐이다. 이것이 눈끝으로 들쭉 보는 것이다. 따라서 목표영역 밖을 감지하려면 주위의 밝기가 적절해야 한다.

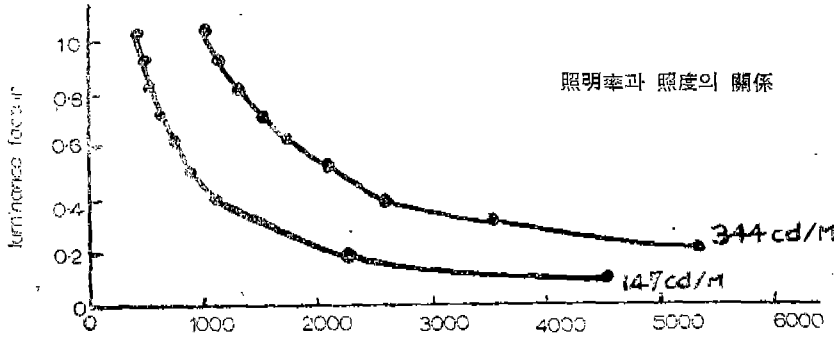


英國 GIASGOW 所在 James Templeton社의 3,000 lx 照度下에서의 양탄자검사 및 配合作業

이상을 요약하면, 暗視의 경우에는 rod가 기능을 발휘하는데, 이것은 低照度에서 동작하고, 색에 둔감하며, 비교적 방향감각이 없다. 明視기능을 가진 cone은 分解能이 높고, 목표물과 그 주위가 적절히 밝으면 色감각 및 방향감각을 가진다.

II. 知覺作用

色視에 있어서는 심리적인 효과가 이용된다. 유력한 생리학적 증거에 의하면 眼球의 rod와 cone이 식별할 수 있는 색은 赤色, 綠色, 靑紫色이다. 그러나 일반적인 인상은 이들 3색의 혼합으로 만들 수 없는 갈색, 金色, 銀色이고, 따라서 인상은 틀림없이 視網外皮내의 작용에 기인한다.



照度는 상대적인 말로서, 적응정도, 연령, 網膜의 다른 부분에 到來하는 빛에 좌우된다. 反射光에 대해서 後者は contrast比에 따라 다르다. contrast의 感知는 상대적인 것이고(Weber의 법칙), 照度와 contrasting의 면적에 좌우된다. 그렇지 않으면 인간은 자연의 照明變化에 적응하지 못한다.

腦는 끊임없이 자극을 취사선택하여 물체를 식별한다. 과거의 지식이나 기억과 미미의 세상을 이끌어내는 것은 자극의 樣相이다. 피카소의 線畫에 익숙해지면 간단한 10여개의 선으로 많은 정보가 전달됨을 알 수 있다. 비록 그렇다 하더라도 腦는 불가사의에 직면할 수 있다. 심리학이 발전하기 수세기 전에 da Vinci는 遠近法이란 크기不變과 一定縮尺에 대한 知覺의 錯覺을 일으키기 위해 腦가 이용하는 것이라고 했는데, 이것은 오늘날 다음과 같은 Emmert의 법칙으로 알려져 있다. 즉 腦는 網膜내의 像의 크기를 補整한다. 풍경사진을 찍는 아마추어 사진사는 바로 이 현상을 인식하게 된다.

運動端緒는 像과 網膜은 물론 눈과 머리의 상대적 운동에서 일어난다. 視網外皮는 近距離物體와 遠距離物體 사이의 運動變位를 찾는다. 觀者는 기차역에서 열의 기차가 움직이고 있을 때 두자가 멀어져가는 느낌을 가진 적이 있는가? 다른 背景物體를 찾아낼 때까지는 순간적으로 어떤 기차가 움직이고 있는지 알 수 없게 된다. 運動視差의 유효성은 목표물체와 주위의 상대적 照度와 照明方向에 따라 다르다. 따라서 運動感覺의 결정이 중요한 경우에는 작업과 주위 조명의 객관적 평가에 이 要因을 참작해야 한다.

III. 錯 覺

照度率과 照度의 關係

또 중요한 것은 형태의 知覺이다. 이 경우 다른 감각기관과의 협동으로 경험(기억)에 의존하게 된다. 그래서 만약 물체를 이상한 각도로 보이거나 이상한 방향에서 물체에 빛을 비추면, 錯覺을 일으

키는데, 이것은 圓錐, 角錐, 도려낸 삼각형에 잘 나타나는 현상이다.

뚜렷한 그림자가 없고 知覺의 端緒가 없으면 주위가 마치 흐린 날처럼 분명치 않고 지리하게 된다. 그러므로 映像과 형태의 知覺이 照度에 따라 단순하게 변하지 않음을 알 수 있으며, 이것은 우리가 照度에 無關해질 수 있기 때문이다. 눈은 가장 밝은 곳에 적응하게 되고, 안락한 知覺作用의 上下限을 표준치의 1/3~3배 범위내에 정한다. 그러나 조명이 불충분할수록 작업은 힘이 더 들고, 기억에 의존도가 들수록 피로가 더욱 빨리 생긴다. 그러므로 실험에 있어서는 결과적으로 생기는 中樞神經系의 피로를 찾아내기 위한 확장시험을 함으로써 이러한 요인을 극복해야 한다.

작업과 조명의 절대적인 경제치란 단지 精密知覺(視覺의 銳敏性)만을 기로로 하여 조화시키는 것이 순수한 foveal vision에 이상적이지만, 적절한 피로도와 주위 물체에 대한 美的反應을 나타내게 하려면 훨씬 높은 照度가 형태知覺에 필요함을 인

식해야 한다. 부족한 조건하에서는 단지 생리적인 한계에 달할뿐이고, 規定食을 하려는 사람이 잘 알듯이 심리적인 요인은 有用性에 의해 정해진다.

IV. 照 度

이 문제에 대한 연구는 세계적으로 아직 이의가 없을 정도로 확고한 위치에 있지는 않으나 한가지 표본이 나타나고 있다. 제 1차세계대전 말에 산업 피로연구원이 최초로 사색연구를 하였는데, Elton에 의하면 網紡織공장의 日光率을 높임으로써 이득이 있었다고 한다.

심리상태에 근거한 有用性현상의 예는 1930년대의 타이피스트의 주관적인 견해를 이용한 연구에서 찾아볼 수 있는데 이들은 150~300lx가 적절하다고 편명하였다. 20년후 런던 소케 Thorn House의 서기들은 700, 1,500, 3,500lx중 700~1,500lx를 선택하였고, 화관의 文書작성 사무원들은 압도적으로(73%) 1770lx를 택했다.

1935년과 1947년에 발표된 Weston의 고전적인 두 논문은 작업능력보다도 可視능력에 의한 반복가능한 定量試驗法을 밝힌 최초의 시도였고, 이것을 Landholt 破壞시험이라 한다. Weston에 의하면 상대적인 작업성취도는 照度에 따라 對數적으로 증가하고, 그 영향은 contrast가 빈약할수록, 細部가 섬세할수록 크다. 비록 Weston의 연구가 피로를 참작하지는 않은 것이지만, 그 결과는 1968년도 규약에 勸奨値로서 채택된 최소조도 300lx이었다.

Hamburg의 Bodmau에 의하면, 高contrast(0.9), 高反射率(0.8)의 조건일때 探索時間(search time)은 500lx에서 倍弱되는 반면에, 中contrast(0.6), 低反射率(0.1)의 조건인 경우 探索時間은 10~30歲의 연령층에서는 1,000lx, 50歲 이상에서는 5,000lx에서 최소이었다. 照度에 대한 被試驗者의 주관적인 선택도론 조사한 결과, 낮은 연령층은 高contrast의 경우 71%가 1,000lx를, 中contrast의 경우 87%가 2,000lx를 선택하였는데, 그 비율은 노년층의 2배였다. 이러한 결과로 보아 視覺의 銳敏性에 관한 實驗室試驗보다도 실제작업에 비하여 더 높은 照度가 요구된다.

미국과 독일에서는 疲勞度를 검출하기 위해 實驗室型작업(6' 文字인식, 2시간 계속)과 실제작업(구슬치기, 4'작업, 2시간 조업 20분휴식, 4시간조업)

에 대하여 前後의 眼科學的 및 심리학적 검사를 한 것이 있다. 피로, 눈을 깜박거리는 비율, 주관적인 질문서를 포함한 모든 작용으로 보아 最適照度는 1,000lx이었다.

1946년 이후 Blackwell은 여러가지 Contrast比를 가진 均一照度內的 표적에 대해 일련의 시험을 행하였다. 이 실제 시험은 明視에 있어서 상세한 影像의 통합에 필요한 生理學者들이 주장하는 최소시간의 두배의 시간을 줄 때 秒當 5가지의 視覺테이터의 同化에 기초를 둔 것이었다.

Blackwell의 논거는 다음과 같다. 대부분의 작업상황이 그렇듯이 표적물이 시간, 공간, 크기에 있어서 분시에 나타나고, 단순한 檢知보다도 상식적인 반응이 요구되는 경우에는 4~20사이의 현장계수(field factor)만큼 증가되어야 한다. 현장시물레이터(field Simulator)로 그가 구한 바에 의하면 작업규모(細部)와 정보내용의 합수인 현장계수의 실제값은 13이다.

確度 99%의 성능계수와 함께 Blackwell의 레이터는 최근의 미국 IES규약의 근간으로 되어 있다. 은폐반사(즉 불분명하고 불쾌한 빛)를 참작하던 視覺活動 評價器를 이용하여 실제작업에 대한 有效contrast比를 구할 수 있다. 부기나 사무기계 조작과 같은 사무작업에 대해서는 1,500lx의 照度에서 유효 Contrast比 0.6이 얻어진다. 소규모 조립작업에서는 유효 Contrast比가 0.5이고 勸奨照度 5,000lx이다.

1968년도 영국 IES규약의 권찬자들은 이러한 결과에 회의에 나타내어 Blackwell의 연구결과를 인정치 않는 유일한 그룹이다. 非信譽에게는 현장계수가 다소 주관적인 것 같고 Weston의 결과가 반대된다.

이러한 두 문제점을 해결하기 위하여 2년반전에 P.Boyce각사는 照度와 작업성취도 및 노력의 관계를 구하였다.

첫째로 측정대상을 알아야 했다. 노력은 피로에 의해 결제를 받는 動機(작업에 대한 욕망이나 압박)에 의존한다. 따라서 動機가 일정하던 노력은 피로에 관계되고, 노력이 일정하면 피로는 작업악화로 측정될 것이다. 피로의 내습은 작업성취도론 지속시키기 위한 증가된 노력에 의해 측정되고, 결국 작업성취는 불규칙해진다. 따라서 Boyce는 표준화가 용이하고 定量的인 평가가 가능하며(연습효과와

영향을 받지 않고 최소한도의 手工 또는 口頭 숙련의 조건하에), 또 視覺기능과의 관련이 가능한 소형 작업상황이 필요했다.

計器를 읽는 작업을 택하였는데 2시간 기간에 걸친 2,000~3,000회의 연속작업이었다. 이 시간은 실제로 끊임없이 연속적으로 주의를 집중하는 최대시간이라고 생각할수 있다. 燈光色 螢光灯으로 7.4~624cd/m²의 작업輝度를 얻었는데, 이것은 이 경우 작업 照度 116lx, 613lx, 1,270lx, 1,888lx, 4,196lx, 8,393lx에 해당하고, 이들에 1~6級の 이름을 붙였다.

둘째로 25회 연속의 형식이 赤色 또는 靑色 표시등으로 표시되는 메탄을 인식해야 했다. 計器와 표시등 사이의 適應上的 차이는 적었다. 視覺的銳敏度 3"(0.87mrad)은 0.76m 떨어진 라자기 상의 C와 O를 구별하는 것에 해당한다.

셋째로 요구된 패턴을 나타내는 計器를 지적해내는 데에는 눈과 손의 협동작용이 조금 필요하였고 끝으로 計器가 최대눈높을 벗어나는 것을 감지하는 작업이 있었다. 특수한 計器나 赤色 또는 靑色에 대한 개인적인 偏向을 상쇄하기 위해 提示순서와 방식을 無作爲하게 하고, 補調査者가 불편을 느끼지 않도록 적절한 통풍을 하고, 또 은폐照度를 9~13%로 유지시켰다.

실제평가시간(t)을 25回群마다 합하고($\sum t$), 피로를 평가하기 위해 差($\sum t_{max} - \sum t_{min}$)을 200回 大群마다 계산하였다. 各大群에 대한 總經過時間 T를 作業速度의 尺度로 사용하고, 모든 결과를 광범위하게 통계학적으로 분석하였다.

20명의 조사대상자 전원은 작업속도를 희생시키면서 정해진 오차와 감시를 지속하는 것으로 작업을 수행하는 것 같았다. 그러나 大群時間 T는 처음에는 숙달에 의해 감소하다가, 피로의 내습으로 인해 증가하였다.

5級에서의 최소피로는 4,196lx에 해당되었다. 最

小輝度增加는 最小 照度下에서의 2시간 작업이눈의 Contrast 感度를 현저히 감소시켰음을 말해준다. 주관적으로 보아 최소의 정신적인 피로(40%)와 최소의 불쾌감(35%)는 4, 5, 6級에서 발생한다. 조명에 대한 최대의 단축감(80%)은 3,4級에서 일어나고, 데다수(80%)가 3級 이상에서는 視覺上的 곤란이 감소하는 반응을 보였다.

그러므로 주관적 데이터와 定量的 데이터는 대충 일치하며, 이와 같은 작업특성이 視覺的 銳敏度를 측정하는 것보다 더 현실적임을 보여준다. 최소의 피로를 수반하는 작업에 대한 最適目標照度는 4~5級 사이에서 정할수 있고, 또 Boyce의 소규모 작업상황과 비슷한 銳敏度, Contrast比와 주의집중을 가진 작업에 대해서는 더 높은 照度(147~344cd/m²)로 정한다(그림 1).

反射率(照明率) 0.24인 無光澤面에 反照된 검사작업과 조립작업에 필요한 照度는 2,000~4,000lx이고, 반면에 反射率 0.75인(이것은 표면이 수직하게 보면 照明率과 같음) 白紙에 대해서는 필요照度が 600~1,450lx이다. 이 두개의 값은 미국 IES규약 및 Blackwell의 결과와 잘 일치한다.

Contrast比가 더 낮으면(즉 등사용원지, 작업자의 연령증가, 희미한 카이본 紙寫本)그림 1의 그래프는 照度가 더욱 높은 쪽으로 이동해야 할 것이다. 현재 이 관측결과로 高階層에 확장시키는 연구가 진행중이다.

照度の 개선이 경영자와 작업자에게 모두 유리하다는 것을 보여주는 事例가 세계적으로 많이 있으며, 예를 들면 영국 Northampton州所在 Ingersoll 공장에는 1,000lx의 조명시설이 갖추어져 있다.

이제는 適正照度の 유지가 가능하다고생각된다. 경영자는 종종 照明을 단지 중요치 않은 공장설비 중의 하나로 여기고, 또 여기고 싶어하는데, 그 이유는 1,000lx의 조명시설이라도 겨우 인건비의 1~2%의 비용이 들기 때문이다.