

조명의 색온도에 따른 작업자의 피로도 평가 (II)

양희경, 고한우, 김묘향*, 임석기, 윤용현
한국표준과학연구원, (주)테크녹스기술연구소*

Evaluation of Fatigue with Color Temperature (II)

Heui-Kyung YANG, Han-Woo KO, Myo-Hyang KIM*, Suk-Ki LIM,
Yong Hyeon YUN

Korea Research Institute of Standard and Science, Technox R&D Center*

Abstract

조명 색온도에 따른 작업자의 피로도를 평가하기 위하여 세 종류의 조명 색온도 (2700K, 4000K, 6500K)를 실험변수로 하여 오류수정작업이 수행되었다. 작업수행 중 피로도와 집중도에 관한 주관평가를 실시한 결과, 시각 및 정신피로가 가장 적고 집중도가 높은 2700 K에서 작업수행도가 가장 좋았다. 6500 K에서는 정신피로를 가장 많이 느끼고 집중도가 제일 낮았으며, 4000 K에서 시각 및 정신피로를 가장 많이 느끼며 작업수행도는 가장 낮았다.

Keywords : 색온도, 주관평가, 피로도, 집중도, Working Performance

1. 서론

최근의 조명환경은 종래의 명시성(明視性)에서 공간의 용도나 재실자의 행위가 고려되어진 쾌적성(快適性)을 추구하기 위해 계획되어지고 있다. 그러나 조명환경에 대한 쾌적성 평가에 관한 연구는 주관평가가 중심이 된 심리적 연구가 우선되어 왔다. 주관평가의 경우 특별한 장치가 필요치 않다는 점에서 비교적 용이하게 사용할 수 있으나, 평가항목의 선정 방법에 따라서 피험자의 개인적인 기호에 치우치거나 재현성 있는 결과를 얻기 어렵다는 문제점이 지적되고 있다. 이에 대응하여 인간의 심리적인 반응을 객관적으로 평가하는 방법 중에 하나인 생리적 지표측정에 의한 방법은 인간의 심리반응을 객관적으로 측정할 수 있으며, 경시적(輕視的)인 변화 또한 측정할 수 있다는 장점이 있다[1][2].

본 연구에서는 인간에게 쾌적성을 보장하기

위해 체계적으로 분석, 규명되어야 할 조명광원의 특성 중 색온도를 실험변수로 설정하여 인체의 영향을 평가하기 위해 작업수행도, 주관평가 및 6종류의 생리신호를 측정하여, 색온도 변화와의 상관관계를 추출하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 일차적으로 주관평가(시각피로, 정신피로, 집중도)와 작업수행도의 상관관계를 분석하였다.

2. 실험조건 및 방법

2.1 실험조건

실험은 한국표준과학연구원내의 주거/사무 환경평가실의 사무환경에서 표1의 실험절차에 의해 실시되었다. 환경조건은 조도 500 lx, 온도 23 ± 1 °C, 습도 50 ± 5 % RH로 설정하였다.

피험자는 실험내용에 대해 충분히 숙지하고서 실험참가에 동의한 남자 10명, 여자 2명

(평균 23.8세)으로 하였다. 생리신호 측정 및 주관평가에 영향을 미치지 않도록 실험전일 충분한 수면과 휴식을 취하고, 술이나 커피 등의 자극적인 음료 섭취를 피하도록 하였다.

피험자는 먼저 실험에 관한 설명을 들은 후, 색온도 4000 K로 설정된 준비실에서 실험에 사용될 주관평가와 task를 연습하였다. 평가실은 조명의 실험변수로서 세 종류의 색온도 즉, 주광색에 속하는 6500 K, 냉백색인 4000 K, 전구색인 2700 K로 설정하였다.

2.2 수행 과제

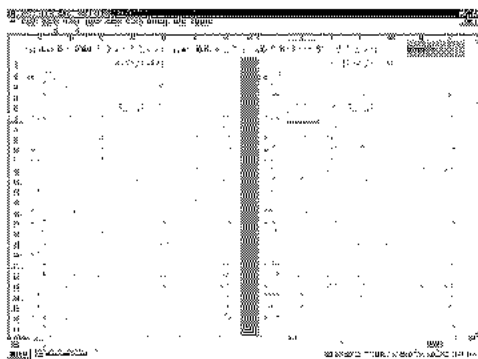


그림 1. 오류수정작업용 Sheet
(왼쪽 : 원본 오른쪽 : task용)

그림 1은 조명의 색온도에 따른 작업자의 피로도를 측정하기 위해 실시한 task용 sheet를 나타낸다. 수행과제 내용은 오류수정작업으로, 모니터 상에 101~399까지의 숫자가 무작위로 배열되어진 2개의 표가 좌우에 배치되어 있으며, 피험자는 좌측의 원본표에 제시된 숫자와 오른쪽 표를 비교하여 틀린 숫자를 검색하고 오른쪽 표에 수정하여야 한다. 한 장

의 sheet에는 6 % (총 300셀 : 50행×6열)의 error를 포함한다.

task는 20분씩 총 3회 실시하였으며, 각 sheet의 시작 시간을 기입하도록 하였다.

2.3 생리신호 측정 및 주관평가

피험자는 표1의 프로토콜에 따라서 10분간 안정을 취한 후 주관평가를 실시하였으며, 설정 색온도로 바뀌어진 조명환경에서 5분간의 순응을 거친 후 3회의 task를 수행하고, 각 session이 끝나면 Magnitude Estimation 법 (0-100 scale)에 의해 주관평가를 실시하였다.

작업수행과 동시에 중추신경계와 자율신경계 생리신호 EEG, ECG, 맥파, 피부전기반응 (GSR), 호흡 및 피부온도를 측정하였다.

생리신호 측정 시, 신체의 움직임으로 인한 noise가 발생하는 것을 최소화하기 위해, 피험자가 숫자를 비교할 때는 오른손만을 사용하여 키보드의 방향키 커서를 이동하도록 지시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 색온도에 따른 주관평가 결과

색온도 변화에 따른 인체 영향 평가를 위한 3가지 요소의 상관관계를 추출하기 위하여 가장 기본이 되는 주관평가와 색온도의 상관관계가 파악되어야하므로 1차적으로 주관평가와의 상관관계를 분석하였다.

그림 2는 주관평가에 의한 시각피로 평가치를 평균하여, Q1을 기준으로 정규화한 결과이다. 작업을 수행함에 따라서 시각피로가 점차

표 1. 실험 프로토콜

총 소요시간 : 125분

	실험설명 및 과제연습	센서 장착	휴식	주관 평가 1	순응	task1 수행	주관 평가 2	task2 수행	주관 평가 3	task3 수행	주관 평가 4	휴식	주관 평가 5
			R1	Q1	A	T1	Q2	T2	Q3	T3	Q4	R2	Q5
시간(분)	30	10	10		5	20		20		20		10	
생리신호			●		●	●		●		●		●	
실험조건	기준색온도(4000 K): 간접조명				설정색온도(2700, 4000, 6500 K): 직접조명								
음악조건	●		공조소음 : 50 db										

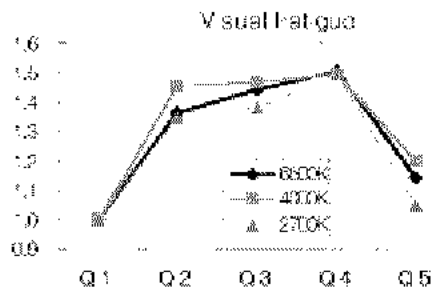


그림 2. 시각피로 (Q1 기준 Normalized)

증가하며, 2700 K < 6500 K < 4000 K의 순서로 시각피로를 크게 느낀다고 평가하였다.

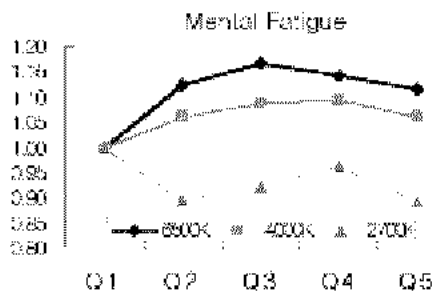


그림 3. 정신피로 (Q1 기준 Normalized)

그림 3은 세 종류의 조명 색온도에서 작업시의 정신피로를 평가한 결과이다. 작업을 수행함에 따라 정신피로는 점점 증가하고, 2700 K < 4000 K < 6500 K의 순서로 정신피로를 크게 느낀다고 평가하였다.

특히 2700 K는 Q2(T1)에서 정신피로가 감소한 후, task를 수행함에 따라 증가하지만 Q1보다 적은 것으로 평가되었다. 이것은 전구 색인 2700 K가 편안한 느낌을 주는 색온도이기 때문으로 생각된다.

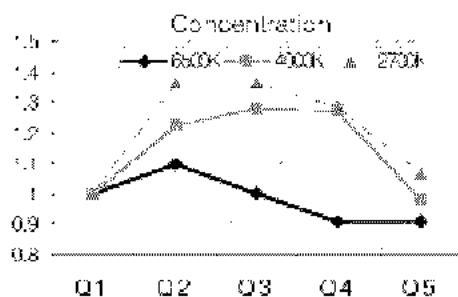


그림 4. 집중도 (Q1 기준 Normalized)

그림 4는 집중도를 평가한 결과이다. 작업

수행 초기에는 비교적 크게 증가하며, 6500 K < 4000 K < 2700 K의 순서로 집중된다고 평가하였다.

4000 K는 Q3(T2)에서 조금 증가 후 감소하며, 2700 K와 6500 K는 작업을 수행함에 따라 점차 집중력이 감소한다.

즉, 2700 K에서 가장 집중도가 높고 정신피로를 덜 느끼는 반면, 6500 K에서는 집중도가 가장 낮고 정신피로가 가장 큰 것으로 나타났다. 이것은 4000 K와 같이 정신피로가 완만히 증가하므로 집중 유지가 가능하지만, 6500 K와 같이 정신피로가 일정량 이상 급격하게 증가를 하는 경우, 집중을 방해하는 요소로서 작용하게 되므로 집중도가 크게 감소하는 것으로 생각된다.

3.2 색온도에 따른 작업수행도 결과

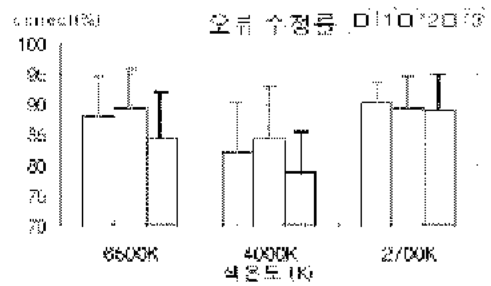


그림 5 오류수정작업 결과

그림 5는 오류수정작업 결과를 식(1)의 '오류 수정률'로서 계산하여 나타낸 것이다.

$$\text{오류 수정률 (\%)} = 100 * [1 - (\text{수정된 cell 수} / \text{전체 오류 cell 수})] \quad (1)$$

작업수행시간 경과에 따라 오류수정률이 점점 감소했으며, 4000 K < 6500 K < 2700 K의 순서로 오류수정률이 높았다.

이러한 결과로부터 시각 정신피로가 가장 적을 뿐 아니라 집중도가 가장 높게 평가되었던 2700 K가 오류수정작업에 적합한 조명환경이라 판단할 수 있다. 색온도 6500 K에서 정신피로를 가장 크게 느끼며 집중도가 가장 낮게 평가되었으나, 4000 K에서의 오류 수정률이 더 낮았다. 이는 색온도 4000 K의 준비실에서 task 연습을 했음에도 불구하고, Q1에

서 Q2 사이의 정신피로가 급격히 증가한 점과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다.

3.3 조도레벨 실험변수시의 실험결과 비교

조도조건이 500 lx일 때, 세 종류의 조명 색온도 2700 K, 4000 K, 6500 K에서 오류수정 작업시, 2700 K의 정신피로 및 시각피로가 가장 적고, 집중도가 높으며 작업수행 결과가 가장 좋았다. 이 결과를 조도레벨이 다르면서 동일한 색온도 설정조건인 선행연구결과와 비교, 분석하였다.

표2는 조도 400 lx에서 두 종류의 색온도 2700 K, 4000 K에서 데이터 검색 작업을 수행한 선행연구 결과와 본 실험 결과를 비교한 것이다[3].

표 2. 조도레벨에 따른 평가결과 비교

	시각·정신피로	작업수행도
400 lx	4000 K < 2700 K	4000 K < 2700 K
500 lx	2700 K < 4000 K	4000 K < 2700 K

작업수행도는 두 조도레벨 모두 2700 K에서 더 높게 나타난 반면, 시각 및 정신피로는 조도 400 lx에서의 2700 K, 조도 500 lx에서의 4000 K에서 더 크게 느끼는 것으로 평가되었다. 즉, 조도레벨이 달라짐에 따라 같은 색온도에 대한 주관평가 결과가 전혀 다른 경향을 보인다. 이것은 인간의 눈은 색온도에 따른 느낌을 선형적으로 지각하지 못하므로, 조도레벨이 달라짐으로 인해 2700 K가 주는 느낌이 크게 달라지기 때문인 것으로 생각된다. 이후 더욱 다양한 조도레벨에서의 실험을 통해 사무환경에 적절한 조명환경 조건의 guideline을 결정하는 것이 중요한 연구과제라 할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 조명의 색온도를 변수로 하여 작업자의 피로도를 평가하기 위해 일차적으로 주관평가와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 피로가 가장 적고, 집중도 및 작업

수행도가 높았던 색온도 2700 K이 오류수정과 같은 작업에 적합한 조명환경이라 평가되었다.

또한, 6500 K에서 시각 및 정신피로를 더 많이 느끼며, 집중도는 가장 낮다고 평가되었으나 4000 K에서의 작업수행도가 가장 낮게 나온 것은 Q1-Q2 사이에서의 정신피로가 급격히 증가한 영향이 크게 나타난 결과라 생각된다.

조명의 조도레벨이 다른 조건에서 실험한 결과와 비교했을 때, 같은 색온도라도 조도레벨에 따라 시각 및 정신피로에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 즉, 사무환경 중 조명의 색온도 혹은 조도레벨이 작업 생산성 및 쾌적성에 직접 큰 영향을 끼치므로, 작업 내용에 따른 적절한 조도 및 색온도의 설정은 매우 중요하다고 할 수 있다.

추후 작업수행과 동시에 측정된 생리신호를 분석 비교하여, 작업자의 피로도와 상관관계가 높은 생리지표를 추출함으로써 보다 객관화된 평가를 할 수 있으리라 기대된다.

* 본 연구는 G-7 감성공학기반기술개발사업에 의해 지원되었음 (2000-J-ES-02-A-01)

참고문헌

- [1] 石井 仁、堀越哲美、"異なる作用温度、照明レベル、光源の組み合わせが人體の生理・反應に及ぼす複合的影響"、日本建築學會系論文集 第517號、pp85-90 (1999)
- [2] 坂上美香、明石行生、梅野千繪、八木昭宏、"作業者の集中度と照明環境との關係について-周辺の照度/作業エリアの照度の比-"、J. Illum Eng. Inst. Jpn Vol. 81 No. 5 (1997)
- [3] 임석기, 고한우, 양희경, 윤용현, 김묘향 "조명의 색온도에 따른 작업자의 피로도 평가(1)-주관평가와 ECG 파라미터의 상관관계분석-", 한국감성과학회 2001년 춘계학술대회 논문집 (2001/05/25 천안)