

주관평가와 작업수행도의 상관관계 분석에 의한 조명 색온도에서의 피로도 평가

Evaluation of Fatigue by Analysis of Relation between Subjective Rating Score and Working Performance with Color Temperature

양희경* · 고한우* · 김묘향* · 임석기* · 윤용현*

Heui-Kyung Yang, Han-Woo Ko, Myo-Hyang Kim, Suk-Ki Lim, Yong-Hyeon Yun

Abstract : We purpose to evaluate the fatigue of the error correcting task on monitoring with color temperature 2700 K, 4000 K and 6500 K. Results of questionnaire on subjective feeling of visual fatigue, mental fatigue and concentration. Visual fatigue and mental fatigue level were the lowest, concentration level was the highest and working performance was the best at 2700 K. At 6500 K, mental fatigue level was the highest and concentration level is the lowest. At 4000 K, visual fatigue level was the highest and working performance shown the worst ratio of correcting answers. As results, color temperature 2700 K is the best condition of color temperature to perform the error correcting task on monitoring.

Key words : Color Temperature, Visual Fatigue, Mental Fatigue, Concentration Level, Working Performance

요 약 : 조명 색온도에 따른 작업자의 피로도를 평가하기 위하여 세 종류의 조명 색온도(2700 K, 4000 K, 6500 K)를 실험변수로 하여 모니터상에서 오류수정 작업이 수행되었다. 색온도의 변화에 따른 인체의 영향을 평가하기 위하여 먼저 주관평가와 작업수행도의 상관관계를 분석하였다. 시각피로 · 정신피로와 집중도에 관한 주관평가를 실시한 결과, 2700 K에서 시각피로 및 정신피로가 가장 적고 집중도가 높으며 작업수행도가 가장 좋았다. 6500 K에서 정신피로를 가장 많이 느끼고 집중도가 제일 낮았으나, 시각피로를 가장 많이 느낀 4000 K에서의 작업수행도가 가장 낮았다. 결과적으로 세 가지 색온도 조건 중 2700 K가 모니터상의 오류수정 작업에 가장 적합하다고 할 수 있다.

주요어 : 색온도, 시각피로, 정신피로, 집중도, 작업수행도

1. 서 론

최근의 조명환경은 종래의 명시성보다는 공간의 용도나 공간 내의 재실자 행위가 고려된 쾌적성을 중시하고 있다. 조명의 쾌적성 평가는 주로 주관평가가 중심이 된 심리적 측면이 우선되었으며, 인간의 심리적 측면을 객관적으로 평가하는 방법으로 생리지표에 의해 경시적인 변화 또한 객관적으로 측정하려는 연구가 많이 진행되고 있다.

조명환경과 관련되어 색온도에 관한 연구내용으로

서 Noguchi가 두 색온도와 두 조도레벨의 조합환경에서 뇌파를 분석한 결과, 낮은 색온도에서 더 졸음이 온다고 하였으며 낮은 조도가 침실과 같은 환경에 더 효과적이라고 제안하였다[1]. Iwakiri는 적색계와 청색계 광원색의 각성수준을 검토한 실험에서 삼파장형 형광등은 청색광이 적색광보다 더 높은 각성수준을 유발하며, 단파장은 적색광이 더 높은 각성수준을 유발한다고 주장하였다[2]. 또한, 인간의 심리적인 반응을 생리적 지표에 의해 해석하고자 한 예로서 기온, 색온도, 조도, 소음조건 등의 조합환경이 인체의 생

* 한국표준과학연구원

리·심리반응에 미치는 복합적 영향을 검토한 연구가 있다[3]~[5].

그러나, 위의 연구들의 경우 작업수행을 하지 않거나 아주 짧은 시간 수행하는 등 실제 사무환경에서의 상황과는 다소 차이가 있으므로 사무환경에서 작업을 수행하는 동안의 조명의 영향을 평가하기에는 다소 무리가 있다고 할 수 있다.

본 연구는 위에 서술한 점들을 보완하여 조명환경에 있어 조명광원 특성 중 조도를 500 lx로 고정하고, 색온도를 실험변수로 설정하여 사무환경에서의 조명이 작업자에게 미치는 영향을 평가하기 위해 심리지표인 주관평가, 행동지표인 작업수행도, 생리지표인 자율신경계 및 중추신경계 활동을 분석하고자 한다. 작업수행 과제는 사무환경에서 일반적인 형태인 Excel을 이용한 오류수정 작업을 실시하였다.

본 논문에서는 우선적으로 심리지표와 행동지표의 상관관계를 분석한 결과를 보고하려고 한다. 또한, 색온도 변화와의 상관관계를 추출함으로써 일반 사무환경에서 많이 이루어지는 VDT 작업시의 조명 적합성을 평가하고 사무환경 여건에 맞는 조명환경의 새로운 guideline을 제시하고자 한다.

2. 실험조건 및 방법

2.1 실험조건

실험은 한국표준과학연구원 내의 주거/사무환경평가실의 사무환경에서 표 1의 실험절차에 의해 실시되었다. 환경조건은 조도 500 lx, 온도 23±1 °C, 습도 50±5 % RH로 설정하였다. 또한, 조명의 실험변수는 세 종류의 색온도, 즉 주광색에 속하는 6500 K, 냉백

색인 4000 K, 전구색인 2700 K로 설정하였다.

피험자는 실험내용에 대해 충분히 숙지하고 실험참가에 동의한 남자 10명, 여자 2명(평균 23.8세)으로 하였다. 생리신호 측정 및 주관평가에 영향을 미치지 않도록 충분한 휴식을 취하고, 술이나 커피 등 자극적인 음료섭취를 피하도록 하였다.

2.2 수행과제 및 실험

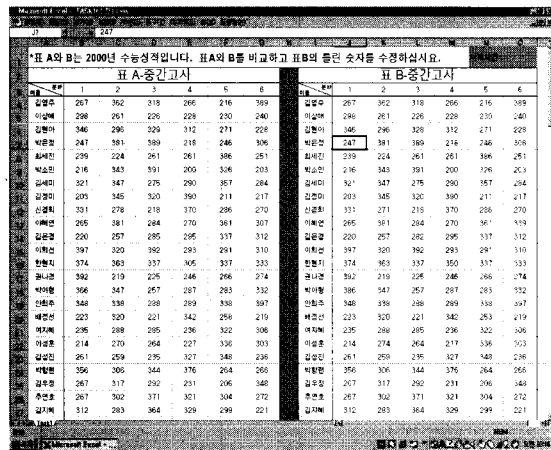


그림 1. 오류수정작업용 sheet
(왼쪽 : 원본, 오른쪽 : task용)

그림 1은 조명의 색온도에 따른 작업자의 피로도를 측정하기 위해 실시한 task용 sheet를 나타낸다.

수행과제 내용은 좌측의 원본표에 제시된 숫자와 오른쪽 표를 비교하여 틀린 숫자를 검색하여 수정하는 '오류수정 작업'이다.

모니터상에 101~399까지의 숫자가 무작위로 배열된 2개의 표가 좌우에 배치되어 있으며, 오른쪽의 task용 sheet는 6%(총 300셀 : 50행×6열)의 error를

표 1. 실험 Protocol

	실험설명 및 과제연습	센서 장착	휴식	주관 평가1	순응	task1 수행	주관 평가2	task2 수행	주관 평가3	task3 수행	주관 평가4	휴식	주관 평가5
			R1	Q1	A	T1	Q2	T2	Q3	T3	Q4	R2	Q5
시간(분)	30	10	10		5	20		20		20		10	
생리신호			●		●	●		●		●		●	
실험조건	기준 색온도(4000 K) : 간접조명				설정 색온도(2700 K, 4000 K, 6500 K) : 직접조명								
음악조건	●		공조소음 : 40 db										

포함하고 있다. 각 sheet의 시작시간을 기입하도록 하였으며, task는 20분씩 총 3회 실시하였다.

2.3 생리신호 측정 및 주관평가

피험자는 실험절차에 따라 작업수행을 하고서 그림 2의 13항목들에 대한 주관적 평가를 Magnitude Estimation법(0-100 scale)에 의해 컴퓨터상에서 실시하였다. 그리고, 작업수행과 동시에 중추신경계와 자율신경계 생리신호 EEG, ECG, 맥파, 피부전기반응(GSR), 호흡 및 피부온도를 측정하였다. 생리신호 측정 동안 신체의 움직임으로 인한 noise가 발생하는 것을 최소화하기 위해 피험자가 숫자를 비교할 때는 오른손만을 사용하여 키보드의 방향키 커서를 이동하도록 지시하였다.

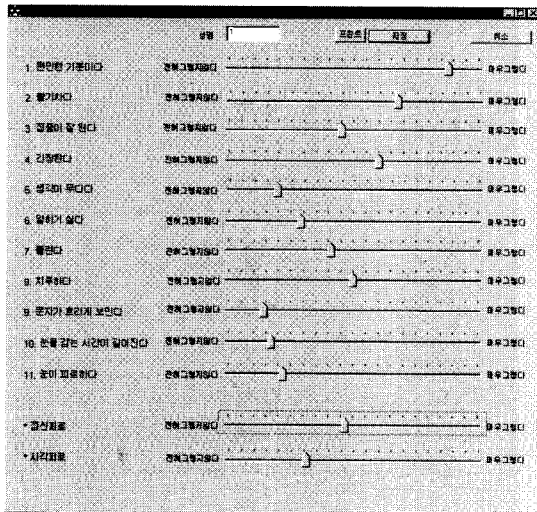


그림 2. 주관평가 설문내용

3. 실험결과 및 검토

3.1 색온도에 따른 주관평가 결과

색온도 변화에 따른 인체영향을 평가하기 위하여 먼저 주관평가와의 상관관계를 분석하였다.

주관평가는 Window용 SPSS(Ver. 10.0)를 이용하여 각 항목의 색온도 요인에 대한 분산분석(ANOVA)에 의해 유의검정을 실시하였다[6]. 그 결과, 문자가 흐리게 보인다, 눈이 피로하다, 집중이 잘 된다, 졸립다,

눈을 감는 시간이 길어진다, 눈이 피로하다, 시각피로 등의 7개 항목에서 색온도 간의 유의차가 인정되었다 (눈을 감는 시간이 길어진다 : $p < 0.01$, 그 외 항목 $p < 0.05$).

주관평가는 시각피로, 정신피로, 집중도에 관한 항목을 중심으로 각 구간에서 Q1의 값을 빼서 그 차이 값을 나타내었다. 각 구간의 값에서 Q1을 빼 준 값을 나타낸 결과는 각 구간의 값들이 기준이 되는 초기값 Q1에 비하여 얼마나 증가 혹은 감소하였는지를 알 수 있다.

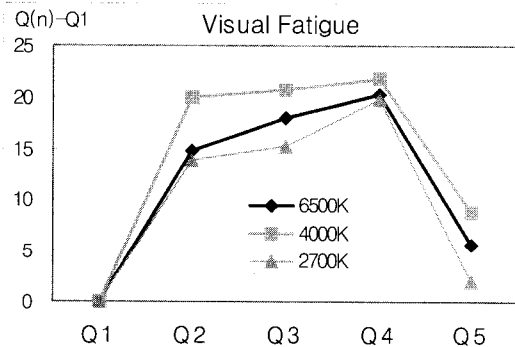


그림 3. 시각피로 (Qn-Q1 : n=1,...,5)

그림 3은 주관평가에 의한 시각피로 평가치를 평균하여 나타낸 결과이다. 여기서는 보다 구체적인 내용인 ‘문자가 흐리게 보인다’와 ‘눈이 피곤하다’의 두 항목을 평균한 값을 시각피로로 평가하였다. 이 두 항목을 평균한 값 또한 색온도 간 유의검정을 실시하여 유의수준 $p < 0.05$ 로 확인되었다.

작업을 수행함에 따라서 시각피로가 점차 증가하며, 2700 K < 6500 K < 4000 K의 순서로 시각피로를 많이 느낀다고 평가하였다. 여기서 2700 K, 6500 K는 비슷한 크기로 증가하는 반면, 4000 K는 Q1-Q2 구간에서 급격하게 증가하는 특징을 볼 수 있다.

그림 4는 세 종류의 조명 색온도에서 작업시의 정신피로를 평가한 결과이다. ‘정신피로’ 항목의 초기값(Q1)을 각 구간의 값에서 뺀 결과를 나타낸 것으로, 2700 K < 4000 K < 6500 K의 순서로 정신피로를 많이 느끼며, 작업을 수행함에 따라 정신피로는 점점 증가한다고 평가하였다.

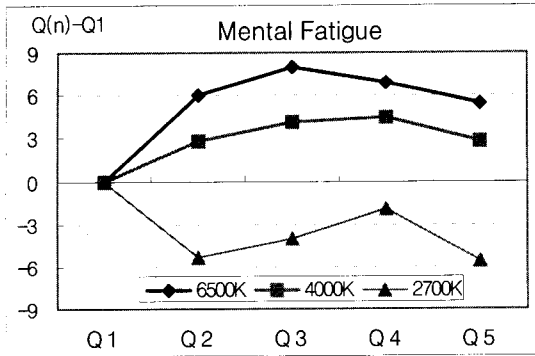


그림 4. 정신피로(Qn-Q1 : n=1, ..., 5)

6500 K는 Q3(task2)까지 계속 증가 후 감소하고, 4000 K는 Q4(task3)까지 6500 K에 비해 비교적 완만하게 계속 증가한다. 2700 K는 Q2에서 감소 후 Q4(task3)까지 계속 증가하기는 하지만 초기값보다는 작은 값을 나타낸다. 이것은 전구색인 2700 K가 편안한 느낌을 주는 온색계열의 색온도이며, 조명환경 분위기 평가에서 나온 휴식에 적합하다는 의견과 깊은 연관이 있을 것으로 생각된다.

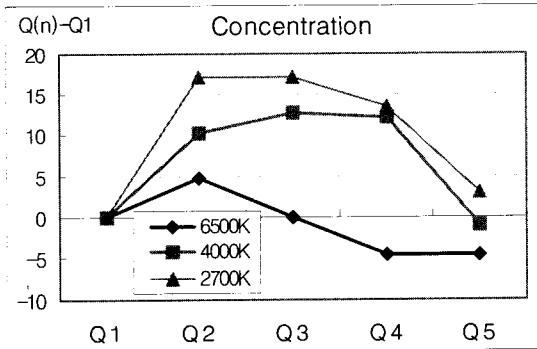


그림 5. 집중도(Qn-Q1 : n=1, ..., 5)

그림 5는 집중에 관한 주관평가에 대해 각 구간에서 초기값 Q1을 뺀 차이값을 나타낸 결과이다. '집중이 잘 된다'는 항목에 대해서 6500 K < 4000 K < 2700 K의 순서로 집중정도가 높다고 평가하였다.

모든 색온도에서 작업수행 초기에는 집중도가 비교적 크게 증가하고 작업을 수행함에 따라 Q2(task1) 이후부터 4000 K는 비교적 큰 변동이 없이 일정치를 유지하는 반면, 2700 K와 6500 K는 점차 집중력이 감

소하는 경향을 나타낸다.

2700 K는 Q2에서 크게 증가한 후 점차 감소하기는 하지만 작업수행 동안 전체적으로 높은 집중도를 유지하는 편이다. 4000 K는 작업수행 동안 일정한 집중도를 유지하지만, 6500 K는 Q2에서는 증가한 후 점차 감소하며 Q2 이후부터 초기값보다 더 집중도가 떨어진다고 평가하였다. 즉, 집중에 장애가 되는 어떠한 원인이 있음을 생각할 수 있다.

이상의 결과들로부터 2700 K는 가장 집중도가 높고 정신피로를 덜 느끼며, 4000 K에서는 정신피로가 완만히 증가하므로 어느 정도 집중유지가 가능하지만 6500 K에서 집중도가 가장 낮고 정신피로가 가장 큰 것으로 나타났다. 즉, 6500 K의 정신피로가 Q1-Q2 구간에서 일정량 이상 급격하게 증가하며 집중을 방해하는 요소로써 작용하게 되므로 집중도가 크게 감소한다고 추측된다.

3.2 색온도에 따른 작업수행도 결과

서로 다른 색온도가 작업자에게 미치는 영향을 알아보기 위해 주관평가에 이어 작업수행도를 분석하였다.

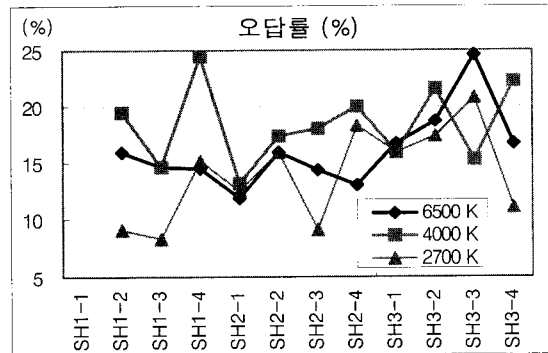


그림 6. 시간경과에 따른 오답률(%) 변동

피험자가 공통적으로 완료한 범위라 생각되는 4장째의 sheet까지 각 sheet별 오답률(%)을 계산하여 그림 6에 나타내었다. 여기서 오답률은 '(수정된 cell 수 / sheet에 원래 포함된 오류 cell 수) × 100'로 계산하였다. 단, task1의 첫 번째 sheet는 작업수행 시작시의 긴장감 등을 고려하여 계산에서 제외하였다.

2700 K는 시간이 경과함에 따라 오답률이 점차 증

가하는 경향을 볼 수 있으며, 4000 K, 6500 K는 오답률이 작업수행 초기에는 다소 감소하지만 시간이 지나면서 점차 증가하는 경향을 볼 수 있다.

$$\text{오류수정률(\%)} = 100 \times \left[1 - \frac{\text{수정된 cell 수}}{\text{전체 오류 cell 수}} \right] \dots (1)$$

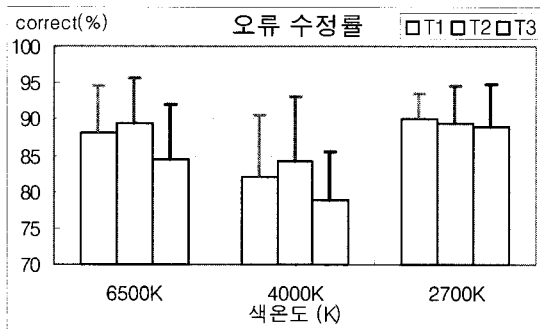


그림 7. 오류수정 작업결과

오류수정 작업을 완료한 셀 범위에서의 오답수를 세어 식 (1)에 의해 '오류수정률'을 계산한 결과를 그림 7에 나타내었다. 여기서 또한 task1의 첫 번째 sheet를 제외한 나머지 부분만 고려하였다.

task 구간별 평균 오류수정률의 결과는 4000 K < 6500 K < 2700 K의 순서로 높게 나왔다.

2700 K는 편안한 느낌을 주는 조명색이므로 작업수행을 개시하자마자 곧 몰입이 가능했으나 시간경과에 따라 집중도가 점차 감소하며, 이것은 오류수정률이 점차 감소하는 것과 일치하는 결과라 할 수 있다. 그러나 4000 K, 6500 K에서는 시각피로 또는 정신피로가 작업수행 초기(Q2)에 크게 급증함으로써 집중장애요인으로 작용하게 되어, 특히 6500 K의 경우는 Q2에서의 집중도가 가장 높다고 평가했음에도 결과적으로 조금 시간이 경과한 후 오류수정률이 높아진 것으로 생각된다.

4000 K는 집중도가 Q3(task2 직후)에서 가장 높으며, task2에서의 오류수정률이 가장 높게 나온 것과 일치하는 결과라 할 수 있을 것이다.

6500 K 또한 2700 K와 마찬가지로 작업수행 초기의 집중도가 가장 높기는 하나 전반적으로 집중도가 낮은 색온도로서 정신피로의 급격한 증가경향이 작업수행에 비교적 많은 영향을 끼치는 것으로 생각된다.

즉, 작업수행 초기에는 급격하게 증가하며 Q3(task2)에서 가장 큰 정신피로를 느낀다고 평가되었는데, 이것은 어느 범위 이상의 정신피로를 느낄 경우 집중을 방해하는 원인을 제공하게 되며 결과적으로 오류수정률 결과가 비교적 낮게 나온 것과 밀접한 관련이 있는 것으로 추측된다.

4. 검토 및 결론

본 연구에서는 조명의 색온도를 변수로 한 사무환경에서 VDT 작업자의 피로도를 평가하기 위해 심리지표인 주관평가와 행동지표인 작업수행도의 상관관계를 분석하였다.

색온도 2700 K에서 시각피로 및 정신피로를 가장 적게 느끼고 집중도가 높으며 오류수정률이 가장 높게 나왔다. 이러한 결과로부터 모니터상에서의 오류수정과정 같은 작업에 있어서는 실험조건 중 2700 K가 가장 적합한 조명환경이라 판단할 수 있다.

색온도 4000 K에서 시각피로를 가장 많이 느끼며 작업수행도는 가장 낮았다. 시각피로의 경우 task를 수행하면서 모든 색온도에서 증가하는 경향을 보이는 데, 특히 4000 K의 경우 Q1-Q2에서 매우 급격히 증가하였으며 전반적으로 시각피로가 크다고 평가되었다. 이것은 오답률이 전반적으로 가장 낮게 나온 결과와 일치한다고 볼 수 있다.

색온도 6500 K에서 정신피로를 가장 많이 느끼며 집중도가 가장 낮게 평가되었다. 그러나 실제 작업수행은 4000 K에서 가장 낮게 나왔다. 즉, 정신피로를 문턱값(threshold) 이상으로 크게 느낀 경우, 집중하는 데 장애요인으로 작용을 함으로써 4000 K보다 집중도가 더 낮게 나온 것이라 할 수 있다. 그러나 4000 K의 작업수행도가 더 낮게 나온 것에서 이 실험의 작업수행도 결과는 시각피로의 영향을 강하게 받았다고 생각할 수 있을 것이다.

본 연구에 앞서 조도레벨을 400 lx로 설정하고 색온도 2700 K와 4000 K에서 40분간 paper상 데이터 검색작업을 실시하여 그 실험결과를 검토하였다(7). 그 결과 작업수행도는 2700 K에서 더 높았으나 시각피로 및 정신피로 모두 2700 K에서 더 많이 느낀다고

평가하였다.

조도레벨 400 lx, 500 lx의 색온도 2700 K, 4000 K를 비교하면, 작업수행도는 두 조도레벨 모두 2700 K에서 높게 나타났으나 조도 400 lx는 색온도 2700 K에서 피로를 더 많이 느끼며, 조도 500 lx는 색온도 4000 K에서 피로를 더 많이 느낀다고 서로 다르게 평가하였다. 편안하게 느껴지는 광원의 색온도와 조도의 관계에 관한 Kruithof의 연구에 의하면, 저조도에서 색온도가 낮을 경우 사람은 어둡다고 느끼며 고조도에서 색온도가 낮은 경우 불쾌감을 느끼게 된다고 보고하였다[8]. 즉, 조도레벨이 다른 두 실험에서 정신 피로, 시각피로 결과가 다르게 나온 것은 낮은 색온도인 2700 K가 조도레벨 400 lx에서는 비교적 어둡게 느껴진 것이 원인이라 생각된다.

또한, 이것은 조도레벨의 차이에 따라 색온도의 느낌이 달라지는 것 이외에 또 다른 이유로 paper와 모니터상에서 작업할 때 색온도에 대한 느낌이 달라지는 것이 원인이라 할 수 있다. 즉, paper에서는 순수하게 조명 색온도 자체의 영향이 나타났다고 볼 수 있으나, 모니터의 경우 조명 색온도와 모니터 화면의 밝기가 동시에 눈에 영향을 미치기 때문이다.

이 연구는 컴퓨터 desk work이 점차 증가하고 있는 현대의 사무환경에 맞는 조명환경의 조건을 검토하고 새로운 기준을 제시해야 될 필요성이 증가되었으며 조명의 권장조도 등을 새롭게 결정할 필요가 있으므로 이를 위해 우선 색온도를 변수로 하여 각 색온도에서의 심리, 행동지표를 비교·분석하였다.

주관평가의 결과에 대해서는 색온도 간의 유의검정은 가능했으나 sample data 수가 적으므로 각 색온도에서 시간에 따른 차이를 검정하는 것은 어려웠다. 그러나 색온도가 다를 경우 주관평가, 작업수행도에 있어 서로 다른 영향을 받음을 확인할 수 있었다.

추후 보다 많은 피험자에 대해 작업수행과 동시에 측정된 생리신호 및 주관평가 결과를 비교·분석하여 사무환경 VDT 작업자의 피로도와 상관관계가 높은 생리지표를 추출함으로써 보다 객관화된 평가와 사무환경에 적절한 조명 색온도 및 조도 등의 조명환경 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

※ 본 연구의 일부는 제2회 한일국제감성과학회 심포지엄 포스터(2001), 한국감성과학회 추계학술대회(2001) 포스터로 발표되었음.

※ 본 연구는 G-7 감성공학기반기술개발사업에 의해 지원되었음(M1-9817-03-0001).

참고문헌

- [1] H. Noguchi and T. Sakaguchi(1999), Effect of Illuminance and Color Temperature on Lowering of Physiological Activity, Applied Human Science J. of Physiological Anthropology Vol. 18 No. 4, 117-123.
- [2] 岩切一幸 · 綿貫茂喜 · 安河内朗 · 柄原 裕(1997). 光源色がその曝露中と曝露後にCNVの早期成分に及ぼす影響, 日本生理人類學會誌 Vol. 2 No. 3, 31-37.
- [3] 石井 仁 · 堀越哲美(1999). 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, 85-90.
- [4] <http://www.cocktail.cas.uec.ac.jp/JSPA/media/biotron/keita.htm>
- [5] K. Ishibashi and A. Yasukouchi(2001), Variations of Heart Rate Variability under Varied Physical Environmental Factors, 한국감성과학회 2001년 추계학술대회 논문집 O17, 91-95.
- [6] 정충영 · 최이규(2001), SPSSWIN을 이용한 통계분석 제4판, 무역경영사.
- [7] 임석기 · 고한우 · 양희경 · 윤용현 · 김묘향(2001), 조명의 색온도에 따른 작업자의 피로도 평가(1)-주관평가와 ECG 파라미터의 상관관계 분석, 한국감성과학회 2001년 춘계학술대회 논문집.
- [8] A. A. Kruithof(1941), Tubular Luminescence Lamps for General Illumination, Philips Technical Review Vol. 6 No. 3, 65-73.