Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 28, No. 4 pp.71-76, November 2009

암순응 환경에서 조도수준과 표적크기가 탐지시간에 미치는 영향*

박재규[1] · 박성하[2] · 오현승[2]

[1](주)지엔피시스템 인간공학팀 / [2]한남대학교 산업경영공학과

Effects of Illumination and Target Size on Time-To-Detect while Recovering Dark Adaptation

Jaekyu Park[1], Sung Ha Park[2], Hyun Seung Oh[2]

[1]Human Factors Team, GNP System Co., Ltd, Daejeon, 305-509
[2]Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791

ABSTRACT

Effects of dark adaptation have large safety implications. This study was aimed to investigate the effects of varying illuminance and the size of critical detail on visual performance (i.e., time-to-detect) in a dark room environment. While adapting to the dark environment, ten subjects were asked to detect and answer simple numerical expressions under 9 experimental conditions (3 illuminance level × 3 target size). The ANOVA results revealed that the time-to-detect was significantly affected by both of the illumination level and the size of critical detail. As illumination increased from 10 lux to 20 lux, the time-to-detect was significantly declined. For the size of critical detail, 0.5/min size (i.e., equal to 2 minutes of visual angle) resulted in a shorter time-to-detect, as compared to 0.7/min size (i.e., equal to 1.6 minutes of visual angle). Potential applications of this research include the development of design guidelines for illumination and warning signs in poorly illuminated viewing environments.

Keyword: Dark adaptation, Illumination, Illuminance, Target detection, Visual angle

1. 서 론

인간의 눈은 밝은 환경에서 상대적으로 어두운 환경으로 이동하게 되면, 특정 물체의 세부 모습을 보거나 심지어 물체의 존재여부를 감지하는 데에도 어느 정도의 시간이 필요하다. 이러한 현상은 "암순응(Dark Adaptation)"으로 잘 알려져 있다. 어두운 환경에서 인간의 시력 민감도에 대한 평가를 처음으로 시도하고 순응이란 용어를 도입한 Aubert (1865)의 연구 이후, 1937년 Hecht 등은 시간에 따른 암순응의 과정을 2 단계의 점진적 암순응 곡선으로 설명하고 있다(Gescheider, 1985에서 인용). 첫 번째 단계는 민감도가 급격히 회복되는 단계로 어두운 환경으로 진입한 후 5~8분 정도 소요되며 망막의 원추체(Cones) 민감성에 의존한다. 두 번째 단계는 민감도가 비교적 완만히 회복되는 단계로 30~40분 정도 소요되며, 망막의 간상체(Rods) 민감성에 의존한다. 인간시력의 민감도는 원추체와 간상체의 역할전환 과정을 거치면서 어두운 환경에 완전히 적응하는

*이 논문은 2009학년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.
교신저자: 박성하
주 소: 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133번지, 전화: 011-527-8477, E-mail: shpark@hnu.kr

데 최대 40분 정도가 소요됨을 의미한다.

이와 같이 원추체와 간상체의 작용에 따른 비교적 점진적인 시각능력의 변화 외에도 동공(Pupil)의 작용에 따른 문제 또한 간과할 수 없다. 동공의 크기는 빛의 량을 조절하기 위해 밝은 환경에서는 축소되며 반대로 어두운 환경에서는 확장된다. 이러한 작용이 이루어지는 과정에서도 어느 정도의 시간이 소요되므로 순간적으로 부분적인 "시력소실(Blindness)"을 경험하게 된다. Crawford(1947)는 운전자가 터널에 진입하는 과정에서 목표물에 대한 시력 민감도를 측정하는 연구를 통해 어두운 환경으로 진입하는 순간 약 1초 이내 동안 시력 민감도가 크게 소실된다고 하였다. 이러한 순간적인 시력소실은 이후의 연구들에서 "빛의 차폐효과(Masking by light)"에 따른 순간적 암순응(Transient adaptation)으로 표현되고 있으며(Green, 1981; Green, 1984), 앞에서 설명한 전통적인 2단계의 점진적 암순응과 구분된다.

영화관, 공연장, 야간주차장, 도로상의 터널 내외 공간, 야간작업이 행해지는 산업현장의 통로 등은 물론, 일생생활에서도 명암의 변화가 심하게 발생하는 환경은 무수히 많다. 이러한 환경을 갖는 시설들의 조명을 설계할 때, 암순응을 고려한 적절한 조도수준을 제공하는 것은 안전에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 미국의 IESNA(2000)에서는 활동유형과 장소에 따른 권장조도수준 범위를 상-중-하 세 단계로 제공하고 있으며, 시각작업을 수행하는 대상들의 나이, 정확성/속도, 반사율을 고려한 가중치를 이용하면 비교적 정확한 조도수준을 결정할 수 있다. 한국의 경우에도 지식경제부 기술표준원에서 이와 유사한 기준을 제공하고 있다(지식경제부 기술표준원, 1998). 그러나 조도수준을 결정하는데 있어 장소 별로 조도 기준을 명시하고 있지만, 암순응에 대한 고려는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 암순응이 발생되는 어두운 환경에서 조도수준과 표적의 크기에 따른 인간의 시각적 능력을 숫자에 대한 탐지시간 분석을 통하여 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

예비실험과 본 실험을 별도로 수행하였다. 예비실험에서는 암순응 환경인 10 lux의 조도수준에서 식별 가능한 표적의 크기와 식별하는데 까지 소요되는 시간을 알아보았으며, 본 실험에서는 예비실험의 결과를 이용하여 탐지 가능한 표적의 최소크기를 결정한 후, 표적의 크기와 조도수준이 탐지시간에 미치는 영향을 분석하였다.

2.1 피실험자

시각 장애 및 질환 병력이 없는 10~30대 남/녀 10명을 대상으로 실험을 실시하였다. 피실험자의 평균 연령은 만 23.8(±5.25)세였으며, 정상 또는 교정시력이 1.0 이상인 경우에만 실험참여가 가능하였다. 정상 또는 교정시력의 기준을 만족한 피실험자는 본 연구와 관련된 실험의 목적, 내용, 위험성 등에 대해 설명을 들었으며, 실험참여 전에 서면으로 동의하였다.

2.2 실험 환경 및 실험장비

조도수준과 표적의 크기에 따른 탐지소요시간 측정을 위해 실험실 내에 암실을 구성하고 숫자로 된 표적과 광원을 설치하였다. 표적은 피실험자의 눈으로부터 3m 직선거리에 흰색 바탕에 검정색의 숫자로 설치하였으며, 거리 기준에 의해 표적의 크기를 조절하였다.

실험에서 숫자의 높이(Height)와 획의 굵기(Stroke width) 비율은 5:1로 하였다. 숫자를 보고 어떤 숫자인지 인식한다는 것은 숫자의 획(Stroke)과 배경(Background)을 구분하였음을 의미한다. 따라서 숫자를 시각적으로 인식하기 위한 세부크기(Size of the critical detail)는 숫자의 높이(Height)가 아닌 획의 굵기(Stroke width)에 의해 결정된다. 실험에서 획의 굵기는 예비실험에서는 1.0/min, 0.7/min, 0.5/min의 3가지 수준을, 본 실험에서는 예비실험의 결과를 바탕으로 0.7/min, 0.5/min, 0.3/min의 3가지 수준을 사용하였다. 1.0/min, 0.7/min, 0.5/min, 0.3/min의 크기는 각각 상대시력(Relative acuity)이 1.0, 0.7, 0.5, 0.3인 사람이 이상적인 조명조건에서 식별할 수 있는 숫자를 의미하며, 이 숫자가 클수록 글자크기는 작다. 예를 들어, 1/min 크기의 숫자는 상대시력이 1.0인 사람이 식별할 수 있는 크기를 말하며, 획의 굵기가 눈에 구현하는 시각도(Visual Arc)가 1분(minute)이므로 가장 작은 숫자를 의미한다. 반면에 0.5/min 크기의 숫자는 상대시력이 0.5인 사람이 식별할 수 있는 크기이며, 획의 굵기가 눈에 구현하는 시각도가 2분이므로 1/min 크기의 숫자에 비해 2배 크다. 참고로 0.7/min과 0.3/min의 크기는 시각도가 각각 1.6분과 3.6분이다.

광원은 조도의 변화를 암실 공간 내에서 가능한 한 일정하게 유지하기 위해 표적과 피실험자의 중간부분 측면에 85cm의 높이로 설치하였으며 간접조명으로 하여 피실험자에게 눈부심이 발생하지 않도록 하였다. 암실로 구성된 실험실의 자세한 배치 및 규격은 그림 1과 같다.

암실 내에서 실험조건에 따른 조도수준의 조절은 백열전등에 신성계전사의 정격전류 500W인 SSD-500 조광기

(Dimmer Switch)를 연결하는 방법으로 자체 제작한 광원을 이용하였으며, 조도 측정은 유효기간 내에 검교정을 마친 TES사의 TES 1332A 조도계를 사용하였다.

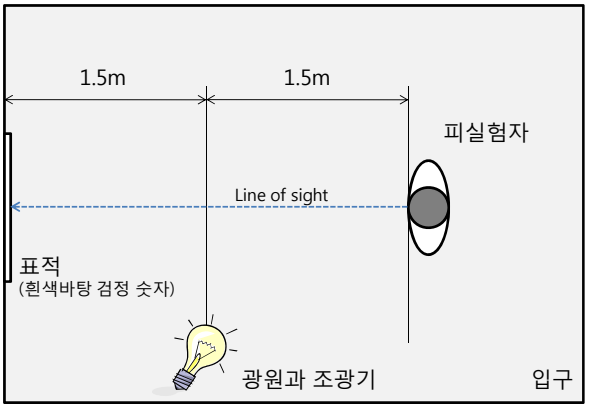

그림 1. 실험실(암실) 배치도

2.3 실험계획

2.3.1 암순응 환경에서 시각능력에 관한 예비실험

예비실험에서는 암실 환경에서 최대 암순응 시간인 40분 동안 3m 거리에서 식별 가능한 숫자의 크기와 식별하는데까지 소요되는 시간을 알아보았다. 실험을 위한 암실 내의 조도수준은 10 lux로 설정하였다. 참고로 10 lux의 조도수준은 KS 조도분류에서 B 분류에 해당하는 수준으로 "어두운 분위기의 이동이 빈번하지 않은 장소"에 대한 공간조명을 위한 권장조도수준이다(지식경제부 기술표준원, 1998). 앞의 실험 환경에서 설명한 바와 같이 숫자의 크기는 0.5/min, 0.7/min, 1/min의 3가지 수준으로 하여 피실험자에게 제시하였다. 암실 환경에서 숫자의 명도 차이에 따라 번져 보이는 것을 방지하기 위하여 0, 8, 3과 같은 비슷한 형태의 숫자 사용은 배제하고 나머지 숫자들을 무작위로 선정하여 제시하였다. 또한 피실험자는 암실에 들어가기 전에 명순응이 완전하게 된 이후에 참여하도록 하였다.

2.3.2 암순응 환경에서 표적의 크기와 조도수준 변화에 따른 표적 탐지능력에 관한 본 실험

본 실험에서는 표적의 크기와 조도수준이 탐지시간에 미치는 영향을 분석하였다. 독립변수는 암실 환경 내의 조도수준과 탐지할 숫자크기로 설정하였다. 조도수준은 KS 조도기준에서 언급하고 있는 조도분류를 참고하였으며, 어두운 환경인 A(4 lux)에서 E(100 lux) 범위 중에 아주 어두운 A 분류와 가장 밝은 E 분류를 제외한 중간 범위인 B(10 lux), C(20 lux), D(40 lux)를 사용하였다(지식경제부 기술표준원, 1998). 또한 표적으로 이용된 숫자의 크기는 예비실험에서 탐지가 가능한 크기로 확인된 0.7/min을 가장 작은 수준으로 하고 그보다 큰 0.5/min, 좀 더 큰 0.3/min의 3가지를 설정하였다. 이를 각각 'Small', 'Middle', 'Large'라고 하였다. 이에 대해 예비실험에서 사용한 1.0/min은 'Very-Small'이라고 칭한다.

결과적으로 조도수준은 KS 조도분류에서 B, C, D의 3수준, 숫자의 크기는 Small, Middle, Large의 3 수준으로 하여 3×3=9개의 조합조건에서 반복 측정이 이루어 지도록 하였다. 본 실험에서 탐지할 표적은 숫자에 의한 간단한 산술식을 이용하였으며(예, 2+5=), 피실험자들이 산술식을 정확하게 판독하여 인식할 수 있는지 알아보았다. 종속변수는 피실험자가 제시된 산술식의 결과를 응답하는 탐지시간으로 하였다.

2.4 실험절차

실험에 앞서 피실험자에게 실험의 목적과 방법에 대한 설명이 이루어졌으며, 실험참여에 동의한 피실험자는 실험참여 동의서에 서명하고 시력, 시각이상 유무 등 시각과 연관된 신체 특성에 대한 설문에 응답하였다. 피실험자들은 암실에 들어가기 전에 탐지할 표적의 위치에 대해 사전 숙지를 하였으며, 머리의 위치가 표적으로부터 3m 이내로 들어오는 것을 방지하기 위해 바닥에 피실험자가 탐지할 위치를 표시하여 그 선을 넘지 않도록 하고 가능하면 머리의 위치를 고정하도록 교육하였다.

예비실험이 모두 끝난 이후, 본 실험에서 피실험자에게 주어진 9개의 실험조건은 무작위의 순서로 제시되었으며, 각 실험 간에 약 5분간의 휴식시간을 주어 명순응의 상태로 회복되도록 하였다. 휴식시간 동안 실험자는 실험조건에 따라 조도계와 조광기를 이용하여 암실 내의 조도를 조절하였다. 본 연구는 정상 또는 교정시력 기준 1.0 이상이며 시각 장애가 없는 피실험자를 대상으로 하였으므로 예비실험에서 탐지능력에 이상이 발견된 경우 피실험자에서 제외하였다. 본 연구에서는 예비실험에 참여한 11명의 피실험자 중 한 명이 이상자로 발견되어 실험에서 제외하였다.

3. 실험결과

3.1 암순응 환경에서 시각능력에 관한 예비실험 결과

암순응 환경에서 시각능력에 관한 예비실험 결과, 암순응 환경에서 실험에 정상적으로 참여한 10명의 피실험자 모두가 판독하여 인식한 숫자의 크기는 예비실험에서 사용

한 VerySmall, Small, Middle의 세 숫자크기 중 Middle과 Small로 나타났다. Middle을 인식하는데 소요된 시간은 평균 317.5초, Small을 인식하는데 소요된 시간은 평균 761.9초로 나타났으며, 표준편차가 비교적 높아 개인차가 심한 것으로 판단된다. Small의 크기는 획의 굵기가 눈에 구현하는 시각도가 1.6분인 경우이다. 따라서 예비실험 이후 진행된 본 실험에서는 숫자의 크기를 Small(0.7/min) 이상으로 처리하여 실험을 수행해야 할 것으로 판단하였다.

참고로 예비실험에서 처리된 가장 작은 크기의 숫자(1.0/min)에 대해서는 피실험자 10명 중 3명 만이 인식이 가능하였으며, 평균 894.33초(표준편차=308.02)가 소요되었다. 그림 2는 숫자의 크기 별 평균 탐지시간을 비교하여 보여주고 있다.

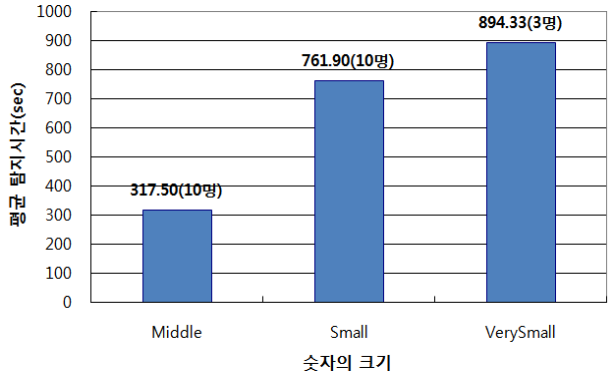

그림 2. 예비실험에서 숫자크기 별 평균 탐지시간(middle, small, verysmall은 각각 0.5/min, 0.7/min, 1.0/min의 크기임)

3.2 암순응 환경에서 표적의 크기와 조도수준 변화에 따른 표적 탐지능력에 관한 본 실험결과

Statview(5.0) 통계분석용 소프트웨어를 이용하여 실험에서 획득된 탐지시간 자료에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 분산분석 후에 주효과가 유의한 것으로 나타난 변수에 대해서는 Fisher's PLSD를 이용하여 수준간 평균비교를 하였으며, 통계적 유의 수준은 전체적으로 5%로 설정하여 분석하였다.

탐지시간 자료에 대하여 분산분석을 수행한 결과, 조도수준에 대한 주효과($F_{2,81}$=10.137, p=0.0001)와 숫자크기에 대한 주효과($F_{2,81}$=17.063, p=<0.0001)가 모두 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다. 조도와 숫자크기의 각 수준에 따라 탐지시간에 차이가 있음을 의미한다. 조도수준×숫자크기의 2인자 교호작용 또한 유의하였다($F_{4,81}$=3.636, p=0.0089). 표 1은 탐지시간에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다.

표 1. 탐지시간에 대한 분산분석

Source	DF	SS	MS	F-value	Pr>F
조도수준	2	393973.96	196986.98	10.137	0.0001*
숫자의 크기	2	663176.69	331588.34	17.063	<0.0001*
조도수준×숫자의 크기	4	282635.38	70658.84	3.636	<0.0089*
잔차	81	1574087.8	19433.18		

*:유의수준 5% (α=0.05)에서 유의함

표 2는 분산분석에서 주효과가 유의한 것으로 나타난 조도수준에 대하여 수준간 평균비교를 수행한 Fisher's PLSD 분석결과를 보여주고 있다. 세 수준의 조도에서 숫자를 인식하는데 소요된 탐지시간을 각각 비교한 결과, 10 lux(평균=181.4초)와 20 lux(평균=48.267초), 10 lux와 40 lux(평균=34.8초) 사이에서 각각 탐지시간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 20 lux와 40 lux 사이에는 탐지시간에 유의한 변화를 확인할 수 없었다(p=0.7093). 그림 3은 조도 각 수준에서 평균 탐지시간을 비교하여 보여주고 있다. 그림으로부터 10 lux 수준에서는 탐지시간이 유의하게 증가되며, 결과적으로 20 lux와 40 lux에 비해 암순응을 통한 시각적 탐지에 어려움을 초래하는 것으로 해석할 수 있다.

표 2. 조도수준 간 탐지시간의 평균비교

	Mean Diff.	Crit. Diff.	p-value
10 lux, 20 lux	133.133	71.616	0.0004
10 lux, 40 lux	146.600	71.616	0.0001
20 lux, 40 lux	13.467	71.616	0.7093

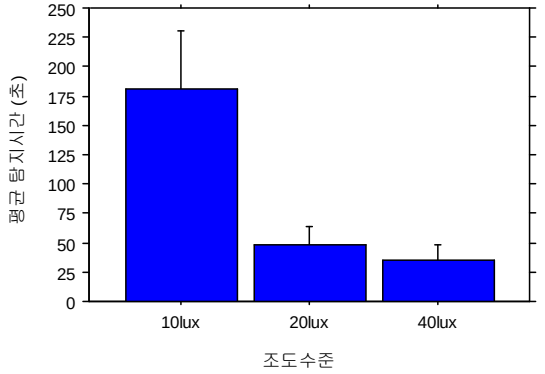

그림 3. 조도수준에 따른 평균 탐지시간

표 3은 역시 분산분석 결과에서 주효과가 유의한 것으로 나타난 숫자크기에 대하여 Fisher's PLSD를 이용한 수준

간 평균비교를 수행한 결과를 보여주고 있다. 세 수준의 숫자크기에서 탐지시간을 서로 비교한 결과, Small과 Large, Small과 Middle 간에 탐지시간의 차이가 유의한 것으로 나타났다(각각 $p<0.0001$, $p=0.0008$). 그러나 Middle과 Large 간에는 탐지시간에 유의한 차이가 없었다($p=0.2176$). 그림 4는 숫자크기에 따른 평균 탐지시간을 비교하여 보여주고 있다. 그림으로부터 탐지시간은 Middle과 Large 크기의 숫자에 비해 Small 크기의 숫자를 탐지하는 시간이 유의하게 증가함을 알 수 있다.

표 3. 숫자의 크기수준 간 탐지시간의 평균비교

	Mean Diff.	Crit. Diff.	p-value
Large, Middle	-48.833	80.301	0.2176
Large, Small	-201.533	80.301	<0.0001
Middle, Small	-152.700	80.301	0.0008

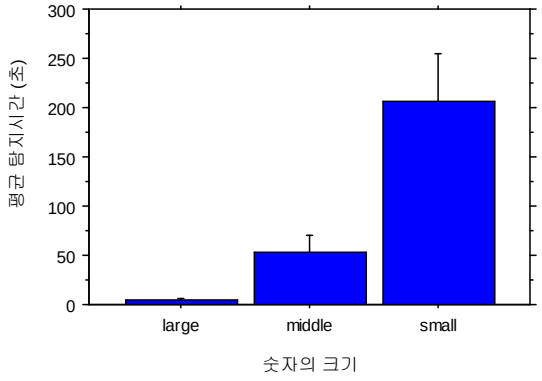

그림 4. 숫자의 크기에 따른 평균탐지시간(large, middle, small은 각각 0.3/min, 0.5/min, 0.7/min의 크기임)

이상과 같은 주효과와 수준간 모평균차이 검정의 결과는 인자간에 교호작용이 없는 경우에 신뢰가 가능하다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 조도수준과 숫자크기의 2인자 교호작용의 효과에 대한 수치검정 결과는 통계적으로 매우 유의하게 나타났다($p=0.0089$). 조도수준과 숫자크기의 교호작용이 있는 경우, 조도수준의 영향이 숫자크기와 혼합되어 주효과와 수준간 평균비교 결과에 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 따라서 2인자 교호작용도를 작성하여 교호작용의 원인을 추가적으로 분석하였다(그림 5 참조). 그림 5에서와 같이 조도가 낮은 10 lux 수준에서는 숫자크기에 따른 탐지시간이 유의한 차이를 보이나, 조도수준이 20 lux, 40 lux로 높아지는 경우에는 그 차이가 유지되지 못하고 비슷한 수준으로 수렴되고 있음을 알 수 있다.

결과적으로 조도와의 교호작용의 영향을 고려하였을 때, 숫자크기에 대한 주효과 검정과 수준간 모평균 차이검정의 결과는 조도가 낮은 경우와 상대적으로 높은 경우를 구분하여 해석되어야 한다. 앞에서 숫자크기에 대하여 수준간 평균비교를 수행한 결과는 Small과 Large, Small과 Middle 간에는 탐지시간에 차이가 있었으나 Middle과 Large 간에는 탐지시간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 해석은 조도가 20 lux 이상인 경우에만 가능하다. 교호작용도(그림 5)에서 알 수 있듯이 조도수준이 낮아지는 경우(실험에서 10 lux 수준)에는 0.5/min(Middle)과 0.3/min(Large) 간에도 탐지시간에 유의한 차이가 발생한다.

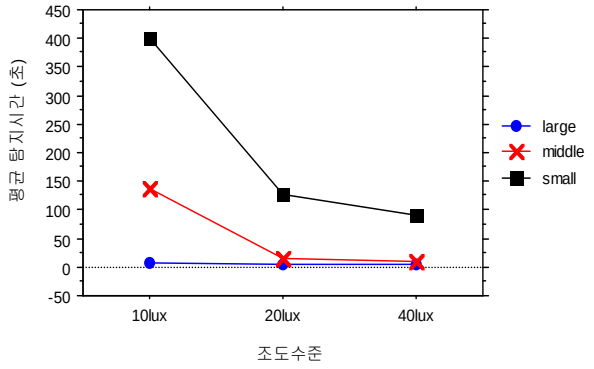

그림 5. 조도수준과 숫자크기의 2인자 교호작용도(large, middle, small은 각각 0.3/min, 0.5/min, 0.7/min의 크기임)

4. 결론 및 토의

인간의 눈은 밝은 환경에서 민감한 원추체와 어두운 환경에서 민감한 간상체의 역할에 의해 물체를 시각적으로 탐지하고 인식한다. 그러나 조도수준이 급격이 변화하는 환경에서는 원추체와 간상체의 역할 전환에 따른 순응의 시간이 필요하다. 서론에서 언급한 바와 같이 인간의 일상적 활동과 산업활동 과정에서 명암의 변화가 급격히 이루어지는 환경은 무수히 많다. 본 연구는 밝은 환경에서 어두운 환경으로 들어간 암순응 환경에서 조도수준과 목표물의 크기가 시각적 탐지시간에 미치는 영향을 분석하였다.

암실 환경에서 인식 가능한 숫자의 크기를 파악하기 위한 예비실험 결과, 실험에서 적용한 10 lux에서 피실험자 모두에게 인식이 가능한 숫자의 최소크기는 획의 굵기가 눈에 구현하는 시각도가 1.6분인 0.7/min(Small)의 숫자로 확인되었으며, 인식하는데 소요된 시간은 평균 761.9초로 나타났다. 이 보다 작은 1.0/min(VerySmall)의 숫자는 주어진 40분 동안 10명 중 3명 만이 인식에 성공하였다. 이론적으

로 1.0/min의 크기는 상대시력 1.0인 사람이 이상적인 조명 조건에서 인식이 가능한 수준이다. 조도수준이 10 lux의 수준으로 낮아지면 암순응이 완전히 이루어진 후에도 시각능력은 30% 이하로 저하됨을 의미한다.

본 실험에서는 조도수준과 숫자크기의 효과를 평가하였다. 10, 20, 40 lux의 세 수준에서 숫자를 인식하는데 소요된 탐지시간을 비교한 결과, 조도가 10 lux에서 20 lux 수준으로 증가됨에 따라 탐지시간이 유의하게 감소하였다. 그러나 40 lux 수준으로 증가하였을 때에는 20 lux와 비교하여 탐지시간 감소 정도가 통계적으로 유의하지 않았다. 결과적으로 암순응이 요구되는 작업 환경에서 20 lux 정도의 조도가 적절한 수준임을 알 수 있었다. 20 lux의 조도는 미국방성 MIL-STD 1472F에서 비상등(Emergency light)의 권고치로 제시하고 있는 30 lux 보다는 낮은 수준이다(U.S. Department of Defense, 2000). 또한 20 lux는 국내 KS 조도 기준에서 "어두운 분위기의 공공장소"에 대한 전반조명을 위한 권고치에 해당되며, 공장의 안전조명 중 위험한 장소의 권고치인 22 lux와 비슷한 수준이다. 그러나 공장의 안전조명 중 일반 장소의 경우 최대 11 lux로 제시되고 있어 암순응을 고려한 기준 보완이 필요할 것으로 보인다. 또한 어두운 공공장소 중 하나인 영화관 등의 조도 기준으로 관객 이동 시와 상영 중의 두 가지에 대해 제시하고 있으나, 상영 중에 이동을 하는 통로에 대한 기준이 제시되고 있지 않아 이에 대한 기준 설정이 필요하다.

조도와의 교호작용의 영향을 고려하였을 때, 숫자크기가 탐지시간에 미치는 효과는 조도가 낮은 경우와 상대적으로 높은 경우를 구분하여 해석하였다. 결과적으로 조도수준이 20 lux 이상인 경우에는 숫자의 크기를 0.5/min(Middle)에서 0.3/min(Large)로 증가시켜도 탐지시간에 유의한 감소가 없으므로 0.5/min(Middle)의 크기가 적절하다. 그러나 조도수준이 낮아지는 경우(실험에서 적용한 10 lux 수준)에서는 0.5/min(Middle)과 0.3/min(Large) 숫자 간에도 탐지시간에 유의한 차이가 발생하므로 0.3/min(Large)의 크기가 적절한 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 암순응이 발생되는 어두운 환경에서 적절한 조도의 기준과 조도수준에 따른 시각적 표적(예, 경고문구, 안내문 등)의 크기를 설계하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 본 연구는 몇 가지 추후 연구과제를 남겨두고 있다. 첫째, 암순응 환경에서 시각능력과 관련된 국내 문헌과 기초자료의 기반이 미약하다. 이는 암순응이 오래된 연구주제임에도 불구하고 국내 관련 연구가 많이 이루어지지 않은 사실과 무관하지 않다. 둘째, 인간 시각능력의 주요 인자인 나이를 고려하지 않고 있다. 향후 시각능력이 급격히 감퇴되는 고령층의 암순응 능력을 이해하기 위한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 끝으로, 서론에서 언급된 "빛의 차폐효과"에 따른 순간적 암순응이 시각적 수행도에 미치는 영향은 안전의 측면에서 오히려 중요한 요인이 될 수 있다. 향후 이에 대한 후속연구가 기대된다.

참고 문헌

지식경제부 기술표준원, KS A 3011: 조도 기준, 1998.

Aubert, H., *Physiologie der Netzhaut*, Breslau, 1865.

Crawford, B. H., "Visual adaptation in relation to brief conditioning stimuli", *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 134 (pp. 283-302), 1947.

Gescheider, G. A., *Psychophisics: Method, Theory, and Application*, 2nd ed., New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1985.

Green, M., Spatial Frequency Effects in Masking by Light, *Vision Research*, 21(6), 861-866, 1981.

Green, M., Masking by Light and the Sustained-Transient Dichotomy, *Perception and Psychophysics*, 35(6), 519-535, 1984.

Hecht, S., Haig, C., and Chase, A. M., The Influence of Light Adaptation on Subsequent Dark Adaptation of the Eye, *Journal of General Physiology*, 20, 831-850, 1937.

IESNA, *Lighting Handbook*, 9th ed., IESNA, New York, 2000.

U.S. Department of Defense, *Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities (MIL-STD 1472F)*, Washington, D.C., 2000.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 재 규 ❖ ergopark@gmail.com
고려대학교 산업시스템정보공학과 석사
현 재: (주)지엔피시스템 인간공학팀 과장
관심분야: 인적오류, 작업부하

❖ 박 성 하 ❖ shpark@hnu.kr
Texas Tech University 산업공학과 박사
현 재: 한남대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 인간공학, 산업안전

❖ 오 현 승 ❖ hsoh@hnu.kr
Iowa State University 산업공학과 박사
현 재: 한남대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 경제성공학, Engineering Valuation

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 10월 27일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2009년 11월 24일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2009년 11월 27일