

시각피로의 측정방법에 관한 조사연구

A survey on the visual fatigue measurement methods

이 남 식¹, 박재희², 김 유창³

ABSTRACT

This paper surveys the various methodologies for the objective measurement of visual fatigue. Visual fatigue is a psychophysiological symptom caused by the excessive use of eyes and it can be used as an important measure of the effectiveness and the safety of visual displays. The purpose of this paper is to compare the various visual fatigue measurement methodologies in a sense of the suitability for the ergonomic research. The measurement methodologies based on accommodation, convergence, visual evoked potential, eye movement, eye blinking, and flicker fusion were discussed and compared.

1. 서 론

시각은 인간의 감각기관중에서 가장 많은 정보를 받아들이는 감각기관으로 특히 시각 표시 장치 (visual display)의 사용이 증대됨에 따라 시각표시장치를 효율적으로 설계, 평가하기 위해서 시각 및 시각성능에 대한 연구가 중요하게 되었다.

시각성능에 영향을 미치는 인자들로는 대비(contrast)나 광도와 같은 조명조건, 시각적 목표물의 크기, 목표물의 노출시간등과 같은 물리적인 요인과 시각적응, 시각피로와 같은 생리적인 요인, 나이, 개인차등과 같은 개인적요인등 매우 다양하기 때문에 시각성능의 성능척도(performance measure)로는 탐색시간(search time), 반응시간(reaction time), 과오율(error rate), 인식율 등의 체계기준(system criteria)과 시각피로, 판독용이성, 주관적인 반응등과 같은 인간기준(human criteria)등이 사용되고 있는데 특히 본 연구에서는 시각디스플레이를 평가하는데 있어 중요한 척도로 사용되고 있는 시각피로를 객관적으로 측정하는 방법들을 고찰하고자 하며 아울러 인간공학적인 시험평가의 측면에서 각 방법의 유용성에 대하여 비교 검토하고자 한다.

2. 시각성능의 측정방법

우리눈의 기능중에서 객관적으로 측정 가능한 중요한 생리적인 기능은 다음과 같으며 시각 피로의 자각적인 호소와 상관되는 생리기능의 저하로 다음과 같은 척도들이 고려 될 수 있다

¹ 한성대학교 산업안전공학과

² 한국표준학연구원 인간공학연구실

³ 충남전문대학 산업안전공학과

- 폭주조절작용 (convergence accommodation) : 양안으로 물체를 볼 경우 폭주 때문에 한눈으로 볼때와는 다른 조절양상을 보이게 된다.

- 강직성 조절작용 (tonic accommodation) : 완전한 암흑이나 시각적인 자극이 발생되지 않는 Ganzfeld와 같은 조건하에서 발생하는 조절작용.

조절작용을 측정하기 위해서는 수정체의 굴절력 (refractive power)을 측정하는데 이를 측정하는 방법으로는 망막 像 (retinal image)의 변화를 측정하는 방법이 가장 보편적으로 사용되고 있으며 다음과 같은 측정방법이 있다.

- 적외선을 이용한 굴절계측 [Cornsweet 70]
- 레이저 스펙클 (laser speckle)을 이용한 굴절측정 [Hennessy & Leibowitz 72]
- 편광판 (polarizer) 을 이용한 굴절력의 측정 [Simonelli 80]

이상의 방법들 사이의 비교는 표 1. 과 같다.

표 1. 조절작용 측정방법 사이의 비교

	적외선	레이저스펙클	편광판
자동화	가능	불가능	불가능
피험자의 응답필요성	불필요	필요	필요
피험자의 응답용이성	-	어렵다	쉽다
측정시간	100msec	수초-수분	수초-수분
장비의 가격	고가	중가	저가
암초점(dark focus)측정	가능	가능	가능
동적조절의 측정	가능	어려움	어려움

2.2 폭주 (convergence)

물체를 입체적으로 보기 위해서는 안구가 안쪽으로 모여 시각적인 목표(시표)를 주시하게 되는데 이러한 안구 운동을 폭주라고하며 이때 양안과 목표가 이루는 각을 폭주각 (vergence angle)이라 한다. 폭주작용은 안구에 부착되어 있는 여섯개의 근육들에 의해 조절되며 이러한 근육의 피로에 따라 폭주작용의 형태가 영향을 받을 수 있다. 또한 시각적 자극이 전혀 없는 상태에서의 폭주를 암폭주 (dark vergence)라 하며 눈의 상태를 나타내는 지표가 되고 있다.

폭주작용을 측정하는 방법은

[Noro 90].

(1) 조절작용 (accommodation)

- 조절근점의 연장
- 암초점의 근접
- 조절시간의 지연
- 조절운동의 저주파화

(2) 폭주 (convergence)

- 폭주근점의 연장
- 암폭주의 근접
- 개산시간의 지연

(3) 시유발전위 (VEP: visual evoked potential)

- 시유발전위의 감소
- 시유발전위 발생의 지연

(4) 안구운동 (eye movement)

- 안구운동속도의 저하
- 새카드운동의 지연
- 새카드 운동후의 미끄러짐 발생

(5) 눈깜박임 (eye blinking), 점멸융합주파수

- 눈깜박임의 증가
- 점멸융합주파수의 증가

따라서 본 연구에서는 위에 열거된 눈의 기능들의 변화를 측정하는 방법들에 대하여 조사하고 이들 방법들의 사용조건들 (operating conditions)을 파악하므로서 인간공학적인 시험평가에 적합한 측정방법에 대하여 논의하고자 하였다.

2.1 조절작용 (accommodation)

조절작용은 수정체의 두께가 조절되어 망막에 명확한 상이 맺히도록 조절되는 과정으로 조절을 유발시키는 원인에 따라 다음과 같이 분류된다 [Ciuffreda 90]

- 반사조절작용 (reflex accommodation) : 망막에 상이 정확히 맺히도록 반사적으로 발생하는 조절로 2D (diopter)범위에서 발생한다.
- 심리적 조절작용 (psychic accommodation) : 시표까지의 거리가 동일하더라도 원근 (perspective)과 같은 시각암시가 존재할 경우 일어나는 조절현상.

(1) 폭주각을 측정하는 방법 [Miller 87]과

② eye tracking 장치를 사용하여 측정하는 방법 [Green 92]의 두가지 방법으로 크게 나눌수 있다.

표 2. 폭주 측정방법 사이의 비교

	폭주각측정기	EOG	EMR
자동화	semi-automatic	가능	가능
피험자의 응답필요성	필요	불필요	불필요
피험자의 응답용이성	쉽다	-	-
피험자가 느끼는 부담	없음	전극부착	1Kg내외의 장치부착
측정에걸리는 시간	수초-수분	10-500Hz	10-500Hz
측정지속시간	intermittent	수시간	15분이내
장비의 가격	저가	고가	고가
암폭주(dark vergence)측정	가능	가능	가능
동적조절의 측정	어려움	가능	가능
Calibration의 필요성	불필요	개인마다 필요	개인마다 필요

2.3 시유발전위 (VEP, visual evoked potential)

눈의 망막에 광자극이 가해질때 망막 및 대뇌의 시각영역에서 발생하는 전위를 시각유발전위 이라 부른다. 시각유발전위는 섬광 (flash)이나 격자-반전 (pattern-reversal)등의 광자극을 눈에 가하면서 후두부에서 피부전극을 이용하여 측정 할 수 있다. 특히 격자-반전의 주기를 600 msec 이상으로 했을때, 정중 후두부 (MO)에서 측정되는 VEP 파형은 N-P-N (negative-positive-negative)의 三相性 파형으로 N75, P100, N145의 대표적인 특성 peak를 갖는다. 즉 광자극이 있은후 75 msec, 100 msec, 145 msec 후에 각각 negative, positive, 및 negative의 파형이 나타난다. VEP는 망막의 영상의 질에 매우 민감하기 때문에 망막의 이미지가 최적일때에 VEP는 최대의 진폭을 가지며 이미지가 흐려질때, 즉 조절작용이 많이 필요할때에 VEP반응은 진폭은 감소되며 침두치의 지연을 가져온다 [Ossenblok 88]. 단 VEP는 개인에 따라 시각특성에 다르기 때문에 개인 간 (inter-individual)의 차이를 비교하는데에는 사용되기 어렵다.

2.4 안구운동 (eye movement) 의 측정 [Green 92]

안구운동은 무작위로 빠른 움직임을 보이는 새카드 운동과 안구가 특정정보를 받아들이기 위하여 움직이지 않는 주시로 나뉘어 지며 안구운동을 측정하는 장치는 눈의 각회전을 검출하여 안구 운동의 주요 측정변수들을 획득한다.

안구운동의 측정방법은 크게 EOG (Electro Oculography)를 이용하는 방법과 각막의 광학적인 반사를 이용하는 방법으로 나뉘며 EOG는 안구의 전면과 후면사이의 생체전위의 차 때문에 안구가 회전함에 따라 양안 측면에서 발생하는 전위차를 기록한것으로 1도의 안구운동에 대하여 4 μ V의 전위차가 발생하며 이를 이용하여 안구의 운동을 측정하게 된다. 분해능은 낮으나 측정용이성과 계측대상자가 부담을 덜 느껴 널리 사용되고 있다. 각막의 광학적인 반사를 이용하는 방법은 각막과 수정체의 표면에서 일어나는 빛의 경면반사 (Purkinje images)를 추적하며 눈동자를 추적하는 방법 (pupil tracking), 눈의 흰자위를 추적하는 방법 (limbus tracking), 콘택트렌즈에 의한 경면반사등이 있으며 측정방법사이의 비교는 표 3과 같다.

표 3. 안구운동 측정방법 사이의 비교

	EOG	각막반사	흰자위추적	콘택트렌즈
수평측정범위	± 50	± 30	± 15	± 20
수평방향 해상도	2°	2°-3°	15 arcmin	2 arcsec
최대해상도주파수	10-200 Hz	10-200 Hz	500 Hz	500 Hz
시각적 불편	전극부착	헤드기어착용	중간	높음
피실험자의 훈련	낮음	필요	낮음	낮음
교정, 준비시간	길다	30분	짧음	길다
주관적인 불편성	낮음	중간	낮음	높음
비용	중간	높음	중간	매우높음

2.5 기타

이외에도 눈의 깜박임 (eye blinking) 을 측정하는 방법으로는 적외선의 광학적인 반사를 이용하는 방법과 비디오를 이용하여 측정하는 방법등이 있으며 특히 최근에는 VDT 작업을 할 때 현저하게 눈깜박임이 줄어들어 안구의 눈물막이 더 쉽게 마르는 것으로 보고 [Tsubota and Nakamori, 93] 되어 보다 관심을 가져야할 방법이라고 생각되며, 또한 동공수축운동의 맥동현상의 분석을 통한 피로측정법도 개발이 되어 열거된 방법들이외에도 새로운 측정법에 대한 개발이 계속 진행되고 있다.

3. 결론

이상에서와 같이 시각의 생리적인 기능변화를 측정할 수 있는 다양한 방법들을 고찰하였다. 그러나 대부분의 방법들이 의학적 진단을 위하여 개발되었기 때문에 시각디스플레이의 인간 공학적인 평가를 위해서는 평가의 목적에 알맞도록 측정척도 및 시험절차의 선정이 필요하며 아울러 측정의 민감성 (sensitivity) 신뢰성 (reliability) 용이성 (usability), 경제성 (economy), 측정가능한 기간 (possibility of prolonged usage) 과 아울러 피험자와의 적합성 (compatibility), 피험자의 교육훈련의 필요성 (training) 등을 고려하여 측정방법론을 선정하여야 하겠다.

4. References

1. Bullimore, M.A., (1990), "Assessment of visual performance," in Wilson, J.R. and Corlett, E.N. (eds.), *Evaluation of Human Work*, Taylor & Francis, Ltd..
2. Campbell, F.W., Robson, J.G., (1959), "High-speed infrared optometer," *J. Optical Soc. of America*, Vol. 49, No. 3, pp. 268-272.
3. Ciuffreda, K.F., (1990), "Accommodation and its anomalies," in Chaman, W.N. (ed.), *Visual Optics and Instrumentation*, MacMillan.
4. Cornsweet, T.N. and Crane, H.D., (1970), "Servo-controlled infrared optometer," *J. of Optical Soc. of America*, Vol. 60, No. 2, pp. 548-554.
5. Green, P., (1992), *Review of eye fixation recording methods and equipment*, IVHS technical report #92-20, The Univ. of Michigan.
6. Gunnarsson, G. and Soderberg, I., (1983), Eye strain resulting from VDTwork at the Swedish telecommunications administration, *Applied Ergonomics*, Vol. 14, No. 1, pp. 61-69.
7. Hennessy, R.T., and Leibowitz, H.W., (1972), "Laser optometer incorporating the Badal principle," *Behav. Res. Meth. & Instru.*, Vol. 4, No.5, pp. 237-239.
8. Howland, H.C., and Howland, B., (1974), "Photorefracton: a technique for study of refractive state at a distance," *J. Optical Soc. of America*, Vol. 64, No. 2, pp. 2240-249.
9. Miller, R.J., (1987), "Nonius alignment apparatus for measuring vergence," *American J. of Optometry & Physiological Optics*, Vol. 64, No. 4, pp. 458-466.
10. Mohon, N. and Rodemann, A., (1973), "Laser speckle for determining ametropia and accommodation response of the eye," *Applied Optics*, Vol. 12, No. 4, pp. 783-787.
11. Osenblock, P. and Spekreuse, (1988), "Visual evoked potentials as indicators of the workload at visual display terminals," *Ergonomics*, Vol. 31, No. 10, pp. 1437-1448.
12. Simonelli, N.M., (1980), "Polarized venier optometer," *Behav. Res. Meth. & Instru.*, Vol. 12, No.3, pp. 293-298.
13. Takeda, T., et al., (1984), "A new objective measurement method of visual fatigue in VDT work," *Human factors in Organizational Design and Management*, Elsevier,
14. Tyrrell, R. and Leibowitz, H.W., (1990), "the relation of vergence effort to reports of visual fatigue following prolonged near work," *Human factors*, Vol. 32, No. 3, pp. 341-357.
15. Tsubota, K. and Nakamori, K., p. 584, *New England J. of Medicine*, 25 Feb., 1993.
16. Wilson, D.C., (1974), "Dynamic optometer," *J. of Optical Soc. of America*, Vol. 64, No. 2, pp. 235-239.