Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.22, No.3 pp.27-44, August 2003

CRT 디스플레이의 패널곡률이 시각작업 수행도와 안피로도에 미치는 영향*

The Effects of Panel Convexity on Visual Performance and Fatigue in Using Cathode-Ray Tube (CRT) Displays

김상호**, 장성호**, 임종호***

ABSTRACT

An experiment was carried out to compare the suitability in visual tasks between flat and conventional (convex) cathode-ray tube (CRT) displays. The subjects performed visual search tasks during 2-h for detecting target words among distracters presented on the screen. The subjects´ visual performance was evaluated with average time and number of errors made to complete the tasks. Visual fatigue after the search tasks was also evaluated in terms of degradations in accommodative power and subjective ratings. Difference was not found in task time between the two displays, but flat CRT showed a lower number of errors than conventional CRT. The difference in number of errors was statistically significant at $\alpha=0.05$. Although there was no difference between the displays in degradations of accommodative power, results from the subjective ratings showed that flat CRT yields less fatigue than conventional CRT. The results partially support the hypothesis that panel convexity of CRT displays has a significant effect on the performance and fatigue during visual tasks and thus flat CRT is the better display than conventional one.

Keyword: CRT, panel convexity, visual search performance, accommodative power, subjective ratings

* 본 논문은 한국과학재단 지정 금오공과대학교 전자부품산업고품질화 및 공정자동화연구센터의 지원에 의한 것임.
** 금오공과대학교 신소재시스템공학부 산업시스템공학전공
주 소 : 730-701 경북 구미시 신평동 188번지
전 화 : 054-467-4387
E-mail: kimsh@kumoh.ac.kr
*** LG.Philips Displays 디바이스 연구소

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

컴퓨터가 정보화사회에 있어서 필수기기로 자리매김하면서 사무실과 작업현장은 물론 일반가정에 이르기까지 모든 환경에서 그 사용이 일상화되었다. 이에 따라 컴퓨터를 통해 수행된 작업결과나 처리된 정보를 사용자가 눈으로 볼 수 있도록 표시해주는 출력장치인 시각표시장치(VDT, visual display terminal)의 사용 역시 과거에 비해 크게 늘어나고 있는 실정이다. 특히, 컴퓨터통신과 인터넷기술이 발달함에 따라 VDT사용자의 연령층이 더욱 다양화되고 있으며, 사용시간 역시 계속 증가하는 추세에 있다. 따라서, 요즘과 같은 정보화시대에는 서류작성, 결재 등의 사무작업 뿐 아니라, 교육과 문화교류, 정보교환 등의 매체로 컴퓨터가 커다란 역할을 담당함에 따라, 컴퓨터 디스플레이가 전반적인 작업수행도(task performance)에 매우 큰 영향을 미친다(松本正一, 1998).

최근 정보디스플레이 제조분야의 기술발전으로 액정 디스플레이(LCD, liquid crystal display)나 플라즈마 디스플레이패널(PDP, plasma display panel)과 같은 평판형 디스플레이(FPD, flat panel display) 들이 개발되었으나, 시판중인 디스플레이들 중에서 현재까지 데스크탑용 컴퓨터 디스플레이로 가장 일반적으로 사용되고 있는 것은 브라운관을 이용한 음극선관(CRT, cathode-ray tube) 디스플레이라 할 수 있다. CRT 디스플레이는 가격이나 색상 및 음영의 표현력에 있어서 여타의 디스플레이에 비해 많은 장점이 있으나, 화면의 곡률로 인해 발생하는 빛의 반사나 화상의 왜곡현상과 같은 문제점을 야기하는 것으로 지적되어 왔다(Koh, 1999; 고남제, 2001). 이의 해결을 위해 많은 CRT 디스플레이 제조업체에서 여러 가지 개선방안이 연구, 개발되었다. 하지만 대부분의 방법들은 화면반사에 따른 문제점을 해결하는데 중점을 두고 있었으며, 가장 근본적인 디스플레이 패널의 곡률(panel curvature) 문제에 대한 해결은 90년대 중반에 이르러서야 이루어지기 시작했다(Utsumi, 1997; Saito, 1999). 이러한 원인은 CRT 디스플레이의 패널표면이나 패널유리 자체에 각종 방반사(anti-reflection) 처리를 함으로써 반사광이나 정전기방지 같은 문제는 상대적으로 쉽게 해결할 수 있었으나, 패널곡률에 관한 문제는 기술적인 측면에서 해결하기 어려운 문제였기 때문이라 할 수 있다.

이처럼 여러 CRT 디스플레이 제조업체들에 의해 패널곡률이 무한대, 즉 완전평면인 제품이 판매되기 시작하면서 과연 평면형 CRT가 기존의 곡률을 지닌 일반형 CRT와 비교하여 실제로 사용자에게 보다 편안하게 개선된 제품인지 여부에 관심이 쏠리고 있다(Utsumi, 1997; Saito, Utsumi, 1998; Saito, 1999; Koh, 1999; 고남제, 2001). 컴퓨터용 디스플레이와 같은 소비제품에 대한 품질 또는 성능에 대한 평가가 사용자 중심으로 이루어져야 함은 자명하지만 현재까지 디스플레이에 대한 평가는 대부분의 경우에 생산자가 설정한 제품의 설계특성에 대하여 생산된 제품의 일치도를 검사하는 생산자 중심적 방식으로 진행되어왔다 (Besuijen,

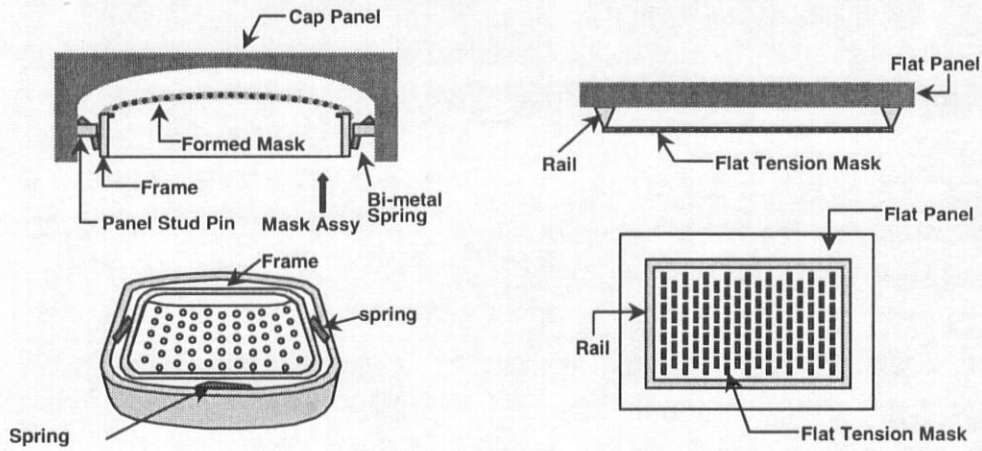
Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Spenkelink, 1998; Lindfors, 1998; Bastien 등, 1999). 그러나, 점차 심화되어 가는 시장경쟁 속에서 다양한 소비자들의 욕구를 충족시키기 위해서는 실제 사용환경 하에서 제품의 사용에 따른 평가 방식으로의 전환이 필수적으로 수반되어야 한다 (Boschman, Roufs, 1997; Roufs, Boschman., 1997). 이러한 목적의 일환으로 본 연구에서는 새롭게 개발된 평면형 CRT와 기존의 곡률이 있는 일반형 CRT를 사용하여 동일한 작업을 수행하면서 작업수행도와 안피로도를 평가함으로써 두 종류의 CRT에 있어서의 시인특성차를 비교 평가해 보았다. 이를 통해 물리적 설계특성치를 중심으로 한 기존의 품질평가방식에서 벗어나 사용자 중심의 품질특성 평가를 실시하고 제조업체에 VDT의 특성에 따른 사용상의 비교우위 및 취약정보를 제공하며 사용자로 하여금 보다 우수한 VDT종류를 판단할 수 있는 비교근거를 제시하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 평면형 CRT 디스플레이의 종류

CRT 디스플레이를 평판화 하기 위한 노력이 최근에만 행해진 것은 아니다. CRT 전면 패널유리의 곡률 반지름을 크게 하여 점점 더 평면에 가깝게 만들어 오기도 했고, 전면 패널 유리의 형상을 구형 대신 실린더형으로 함으로써 화면의 수직 혹은 수평, 한 쪽 방향으로만 완전평면화를 시키기도 했다. 그러나, 완전평면 유리의 성형이 구형보다 어렵고, 평면인 경우 CRT 내부의 진공압을 견딜 수 있는 여유도가 적으며, 색 선별 부품인 쉐도우 마스크(shadow mask)의 원형 유지가 평면이 될수록 어렵기 때문에 완전평면형 CRT의 구현에 제약을 받아 오다가 1990년대 후반에



(a) 외평내곡형 CRT (b) 내외 완전평면형 CRT

그림 1. 외평내곡형 평면형 CRT와 내외 완전평면형 CRT의 내부구조 및 구성부품

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

들어서야 유리 제작기술의 발달과 CRT의 주요부품인 쉐도우마스크 인장 기술력을 바탕으로 완전평면형 CRT가 출시되기 시작했다(Utsumi, 1997; Saito, 1999).

현재 시판되고 있는 평면형 CRT는 전면유리의 형태에 따라 구분될 수 있는데, 유리의 외면은 완전평면이고 내면은 기존과 같이 곡률을 준 CRT와 내외면이 모두 완전평면인 CRT, 두 가지 종류가 있다. 이는 단지 전면 패널유리의 외형상으로 구분한 것이지만 기술적 측면에서 본다면 색 선별 부품인 쉐도우마스크를 성형방법으로 제작하느냐 인장 기술을 사용하느냐의 차이로 구분한 것과 마찬가지이다(고남제, 2001; 이상훈, 추성훈, 2001). 인장이 아닌 성형방법으로는 쉐도우마스크를 완전평면화 시킬 수 없기 때문에 쉐도우마스크의 곡률에 맞추어 전면유리 내면에 곡률을 준 것이 외평내곡형인 CRT이다. 그림 1은 외평내곡형 CRT와 내외 완전평면형 CRT 내부의 구성부품의 차이를 나타낸 것이다.

2.2 평면형 CRT 디스플레이의 시인특성

2.2.1 외부광 반사의 최소화

대부분의 컴퓨터 작업환경에서 주변조명은 사용자의 바로 위쪽에 위치해 있다. 곡률이 있는 CRT라면 볼록거울과 같은 작용을 하기 때문에 그 빛이 바로 화면에 반사되어 사용자의 눈에 비치게 된다(Koh, 1999). 또한, 그림 2와 같이 반사되는 조명의 위치가 사용자 근처에 있기 때문에 반사되는 빛의 세기가 세다. 그러나 평면형 CRT의 경우 반사가 되더라도 멀리 있는 조명에서 나오는 빛이 반사가 되기 때문에 그 세기가 약하다(Saito, Utsumi, 1998). 화면에 반사된 빛은 눈의 피로를 유발할 뿐 아니라 작업에 성가시기 때문에 작업효율을 떨어뜨린다.

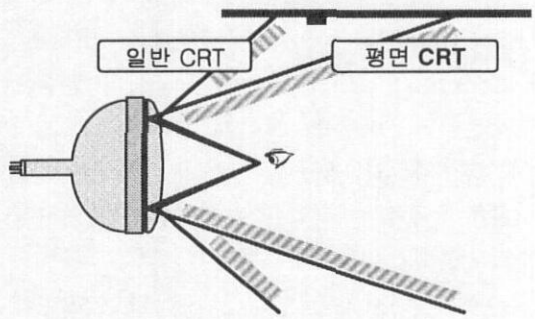


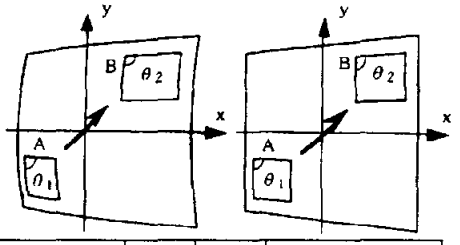
그림 2. CRT의 패널곡률에 따른 외부광의 반사모형

2.2.2 왜곡이 없는 화상 제공

CRT를 정면에서 바라보았을 때는 곡률이 있는 경우나 평면인 경우 모두 화상의 왜곡이 발생하지 않지만 시야각이 커지면 곡률이 있는 CRT는 화상의 왜곡이 발생하는 반면 평면형 CRT의 경우는 화상의 왜곡이 거의 발생하지 않는다. 그림 3은 외면곡률이 2.4R (1R = 1.767 × CRT 크기(인치) × 25.4 ㎜) 인 일반형 CRT와 평면형 CRT에서 화상의 왜곡이 어느 정도인지를 계산한 것이다. 시거리 90 ㎝, 우측으로 90 ㎝ 떨어진 측면에서 7.5 ㎠의 정방형 사각화상을 보았을 때 코너각이 좌하단과 우상단에서 곡률 CRT의 경우에는 16°, 평면 화면은 8° 정도의 차이가 발생한다(Saito, Utsumi, 1998). 따라서, 화상의 왜곡정도가 평면형 CRT가 훨씬 작을 뿐 아니라 사각형 화상이 움직이는 동영상이

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

라 가정하면 평면형 CRT에서 훨씬 더 자연스럽게 느껴질 것이다.



Screen Shape	θ1	θ2	Δθ = θ2 - θ1
일반형 CRT	82°	98°	16°
평면형 CRT	88°	96°	8°

그림 3. 일반형과 평면형 CRT에 있어서 화상왜곡 정도의 차이

2.2.3 최대 시야각

많은 사람이 TV를 시청하거나 CRT에서 제시되는 정보를 이용하여 발표를 하는 경우 화면을 바라보는 시야각이 벌어져서 화면이 잘 안 보이는 경우가 발생할 수 있다. 평면형 CRT는 유효 시야각을 180° 까지 최대로 확장시킨다(고남제, 2001).

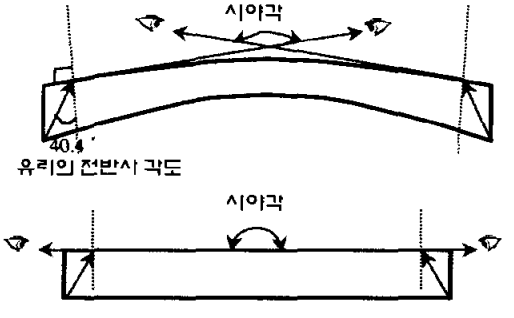


그림 4. 일반형과 평면형 CRT의 유효 시야각 차이

그림 4는 화면을 볼 수 있는 유효 시야각을 나타낸 것으로 최대 시야각보다 큰 각도에서 화면을 보면 유리에서 전반사가 일어나 화상이 보이지 않게 된다. 곡률이 있는 CRT의 외면곡률 반지름이 2R인 경우 유효 시야각은 162° 정도이다.

2.3 안피로도 관련 기존연구의 고찰

VDT작업은 근접작업이므로 근접반사의 3요소인 조절, 축동, 폭주가 과도하게 발생한다. 따라서, 과도한 VDT작업은 조절근점의 연장이나 안구운동과 조절기능의 일시적 이상을 초래하고, 이로 인해 안피로가 유발되는 것으로 알려져 있다. 안피로로 인한 조절력의 저하는 accommodometer를 이용하여 검사할 수 있다.

Nyamn 등(1985)은 사무작업자들 중 VDT작업자와 VDT작업을 하지 않는 사무근로자들의 주관적인 안피로도/근골격계 피로도를 각각 조사하였고, 객관적인 안피로도 측정을 위해 굴절력(refraction), 조절력(accommodation), 수렴능력(convergence capability)을 VDT작업의 수행 전후에 측정하였다. 기존연구에 의하면 VDT 작업자, 특히 여성이 VDT 작업 후 안피로(eye discomfort), 근골격계 피로(musculoskeltal complaints), 두통, 피부질환이 비 VDT작업자, 남성에 비해 더 많이 발생하는 것으로 보고 되었지만 실험결과 객관적인 안피로도의 측정을 통해서는 VDT작업자와 비 VDT작업자간에 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Zwahlen과 Hartmann(1985)은 여섯 명의 여성 타이피스트를 대상으로 VDT작업을 수행하는 동안에 동공의 크기(pupil diameter), 조절력을 측정하였다. VDT작업은 이틀에 걸쳐 이루어졌으며 측정결과로부터 작업전후간의 뚜렷한 변화를 관찰할 수는 없었다. 다만, 세 시간 작업후의 조절력에서는 감소하는 경향이 있으나 개인차가 심하였다. 안피로의 주관적인 자각증상과 조절력간에는 상관관계는 높은 것으로 나타났지만 통계적으로 유의할만한 수준은 아니었다.

Takeda 등(1986)은 안피로를 측정하는 객관적인 방법으로 조절력의 감소(DAA, decrease of accommodation area)를 측정할 것을 권장하였다. 이들은 세 명의 피실험자를 대상으로 다섯 시간동안 VDT작업(중간에 1시간의 휴식)을 수행토록 한 후 DAA 측정과 함께 작업수행도와 주관적 피로를 병행하여 조사하였다. VDT작업은 다섯 가지 색상의 CRT에서 각각 이루어져 CRT간의 비교도 이루어졌다. 수행도와 주관적 피로도를 비교, 분석한 결과 DAA가 안피로도 측정에 적정하다는 결론을 도출하였고 다섯 가지의 CRT 중 광역 에너지 스펙트럼 분포(broad spectral energy distribution)를 갖는 CRT가 가장 작은 안피로를 유발하는 것으로 나타났다. Takeda 등(1988)은 다섯 종류의 CRT를 이용하여 종이인쇄물과 VDT를 보는 것의 차이를 비교하였다. 비교는 조절력의 감소정도에 대한 비교를 통해 이루어졌는데 조절력의 감소는 accommodometer를 이용하여 굴절력의 동적인 변화를 측정함으로써 이루어졌다. 이 연구결과는 디스플레이의 비교와 안피로의 객관적인 측정방법으로 조절력 측정이 타당하다는 것을 보여주었다.

Ostberg와 Smith(1987)는 여섯 명의 VDT작업자를 대상으로 작업수행 후의 안피로도를 조사하였다. VDT작업은 데이터의 입력과 파일을 갱신하는 작업으로 하루에 세 시간씩 두 번, 이틀동안 수행되었다. 안피로의 측정요소로 작업전후 조절력, 주관적 안피로도 조사, 작업하는 동안 안구 움직임의 패턴, 동공의 크기를 사용하였다. 실험 결과 안구 움직임의 패턴은 VDT작업의 종류에 따라 다르게 나타났고 CRT를 보는 시간이 길수록 조절력이 감소하는 경향을 나타냈다.

Saito와 Taptagaporn(1991)은 다섯 명의 피실험자를 대상으로 네 시간 동안의 VDT작업을 수행한 후 동공의 크기, 조절력을 측정하였다. 실험결과 작업 후 피실험자의 조절력이 감소되었고 동공크기와 조절력의 상관관계는 적은 것으로 나타났다. 즉, 안피로의 측정 시 두 요소의 평가가 동시에 수행되어야 한다는 결과를 얻었다. 동공의 크기는 작업 후 증가한 것으로 나타났다. Saito 등(1993)은 안피로도를 객관적으로 측정할 수 있는 요소를 정리 · 요약하였고 실제 현장에서의 적용 사례를 예시하였다. 현장적용시의 안피로도 측정요소는 CFF(critical flicker fusion), 조절력, 동공크기, 눈의 움직임 등이었다. Saito, Taptagaporn, Salvendy (1993)는 VDT작업자와 비 VDT작업자의 안피로도를 측정하기 위하여 안구의 움직임과 조절력을 측정하였고 또한 디스플레이 종류에 따른 안피로도를 측정하였다. 실험결과 VDT작업자는 비 VDT(사무)작업자보다 눈이 2.5

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

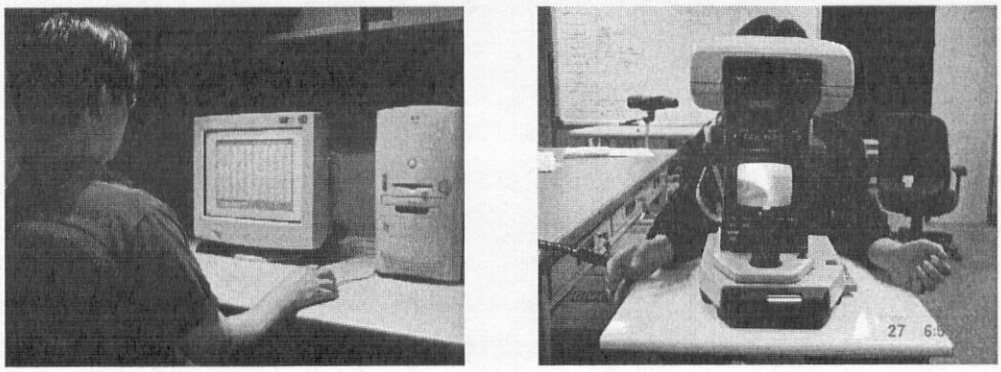
배 많이 움직였다. 조절속도와 주관적 안피로도의 상관계수는 0.809로 객관적 안피로도의 측정요소로 조절속도가 적합한 것으로 나타났다. 디스플레이의 비교 실험결과 positive-type(밝은 색 바탕에 어두운 색 문자)이 negative-type보다 조절속도가 빠르고 LCD가 가장 안피로가 심한 것으로 나타났고 조절속도가 가장 느렸다.

3. 연구내용 및 방법

3.1 실험환경

VDT작업과 관련된 과거의 연구결과들을 바탕으로 작업대와 조명을 비롯한 작업환경을 VDT작업을 수행하기에 가장 적합한 조건으로 조성하였다. 실험실의 조도는 자연광을 차단한 상태에서 자연광과 유사한 삼파장 형광등과 할로겐 확산 간접조명을 이용하여 250 lx로 유지하였으며, 디스플레이의 광도는 중앙부위에서 백색 민무늬 바탕화면을 정밀 광도측정기(photometer)를 이용하여 측정했을 때 85 cd/㎡가 되도록 조정하였다. 이 광도는 주변광을 약간 상회함으로써 휘광을 발생시키지 않을 수 있는 수준이다. 또한, 선정된 CRT 디스플레이들에 대한 사양을 검토하여 패널곡률을 제외하고 VDT작업에 영향을 미칠 수 있는 기타의 하드웨어 특성들인 광도비, 광도대비, 색온도 등을 동일하게 조정하였다. 실험에 사용된 디스플레이들은 17" 크기의 일반형 CRT(패널곡률 = 1.6R)와 패널 내외면이 완전평면인 CRT 각 두 대씩 총 네 대였으며, 해상도는 1024×768 픽셀이었다.

실험에 참여한 피실험자는 컴퓨터와 마우스의 사용에 익숙한 대학생으로 총 15 명이었으며, 정밀 안과검진을 통해 과거질병력(특히, 안질환)과 누액분비, 시력, 굴절력 및 조절력 검사 등을 실시하여 안기능 이상자들이 포함되지 않도록 하였다. 실험과정에서 나타날 수 있는 개인차의 영향을 배제하기 위해 각 피실험자가 모든 실험조건(디스플레이 종



(a) 시각작업 수행도 평가실험 (b) 안피로도 평가실험

그림 5. 실험장비의 배치 및 실험장면

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

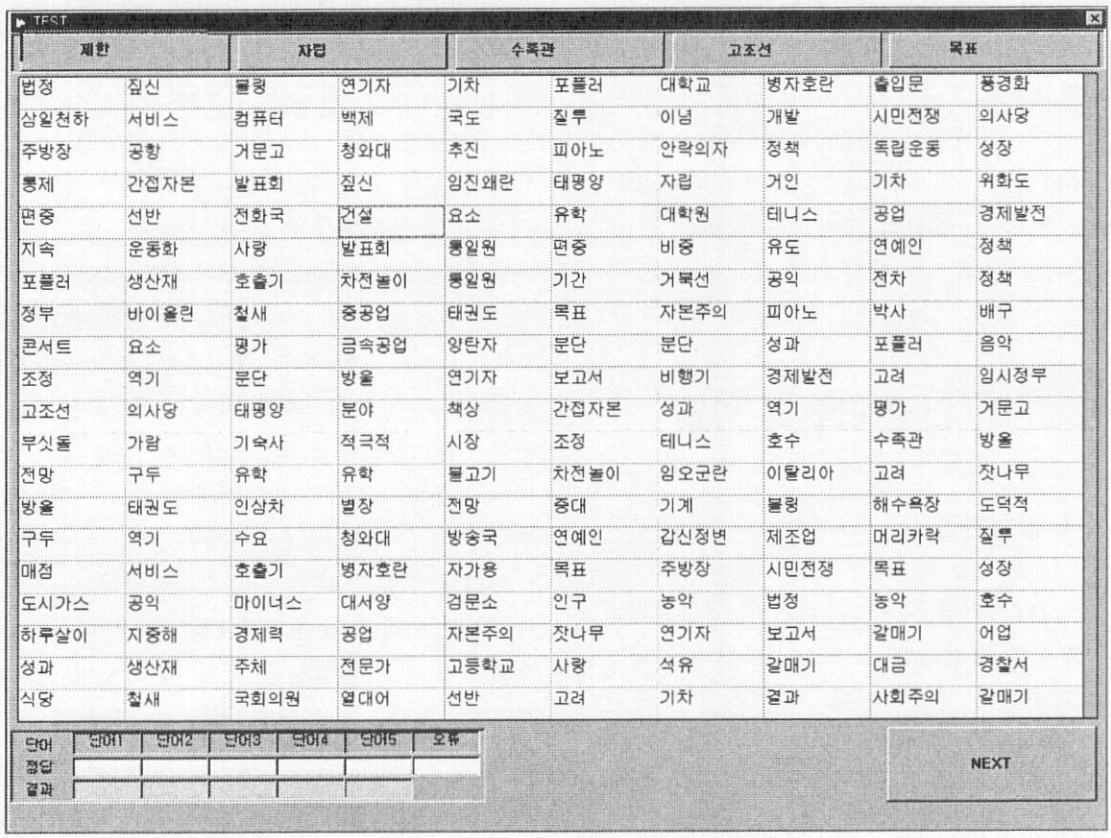


그림 6. 시각탐색작업에 사용된 화면의 예

류별로 각 2회씩 총 4회)에서 작업을 수행하는 within-subject design을 이용하였다. 학습효과가 나타나는 것을 방지하기 위하여 선정된 피실험자들이 실험에서 수행할 작업에 익숙해지도록 충분한 훈련기간을 거친 후 본 실험을 실시하였고, 피실험자별 실험순서는 무작위로 결정하였다. 그림 5는 실험환경에 따른 장비의 배치와 실험과정을 나타낸 것이다.

3.2 작업내용

피실험자들이 수행한 VDT작업은 화면 상단에 제시된 다섯 개의 단어를 10×20 개의 셀(cell)로 구성된 주화면에서 찾아내는 단어 검색 작업이었다. 찾아낸 단어는 대상 셀을 마우스로 더블 클릭하거나 엔터키를 눌러 선택하며, 선택된 셀의 구석에 '★'표시가 된다. 단어를 잘못 찾았을 경우에 해당 셀에서 다시 마우스를 더블 클릭하거나 엔터키를 눌러 취소할 수 있도록 하였다. 작업속도는 피실험자

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

들이 스스로 결정하도록 하였으며, 주어진 다섯 개의 단어를 모두 찾았다고 판단했을 경우 화면 아래 오른쪽 부분의 'NEXT'를 눌러 다음 화면으로 이동한다. 이 때, 직전 화면에서의 수행도를 화면 아래 부분에 제시함으로써 피실험자들이 자신의 수행결과를 확인하고 계속적으로 작업에 집중할 수 있도록 하였다.

화면에 제시된 단어는 2~4 음절의 한글 단어로 구성되어 있으며, 찾아야 하는 단어(target)의 출현빈도는 200 개의 단어 중에 0~5 개 정도가 존재하게 하였다. 글자의 크기는 12 pt였으며 글자체는 굴림체를 사용하였다. 그림 6은 실제 실험에서 사용된 검색용 화면의 예를 보인 것이다.

관련연구에 의하면 VDT작업은 40~50 분의 작업 후 휴식을 취하도록 권장하고 있다.(Grandjean, 1987). 그러나 컴퓨터 게임을 하거나 PC 통신, 인터넷 정보검색 등을 행하는 경우에는 연속적으로 두 시간 이상 작업을 하는 경우가 빈번히 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 권장되지는 않지만 실생활에서 흔히 일어날 수 있고 디스플레이 패널의 곡률에 따른 안피로도의 차이를 측정하기 위해 안피로 유발이 가능할 것으로 추정되는 두 시간 동안 작업을 수행하도록 하였다.

3.3 시각 작업수행도 및 안피로도의 평가

3.3.1 시각 작업수행도

주어진 시각탐색작업에 대한 작업수행도는 작업수행시간과 오답수의 두 가지 항목으로 측정하였다. 작업수행시간은 작업자가 주어진 개별화면에 대한 검색작업을 마치는데 걸린 평균시간으로 정의하였다. 또한, 주어진 target을 찾지 못하였거나 target이 아닌 단어를 target으로 오인한 경우를 오답으로 정의하고, 한 화면당 발생한 오답수로 작업수행의 정확도를 평가하였다.

3.3.2 안피로도의 정량적 측정

작업수행과정에서 발생하는 안피로도의 크기를 정량적으로 평가하기 위해, 앞서 정리했던 연구결과들을 통해 확인된 바와 같이 비교적 민감도가 높은 것으로 알려진 조절력의 변화를 측정, 평가하였다. 본 연구에서는 작업수행 이전과 중간휴식 없이 진행된 두 시간의 작업 수행 이후에 각각 조절력의 특성을 측정하여 그 차이를 분석함으로써 안피로도를 정량적으로 분석하였다. 조절력의 측정에는 Nidek사에서 제작한 AA-2000 accommodo- meter가 사용되었다.

AA-2000은 피실험자가 인식해야 될 target의 위치를 일정시간 간격을 두고 원점과 근점으로 변화시킴으로써 안구의 조절작용을 유발하면서 조절작용 시의 시간지연, 조절폭, 조절속도 등의 피로관련 지수들을 측정할 수 있도록 고안된 안과용 정밀측정 장비이다.

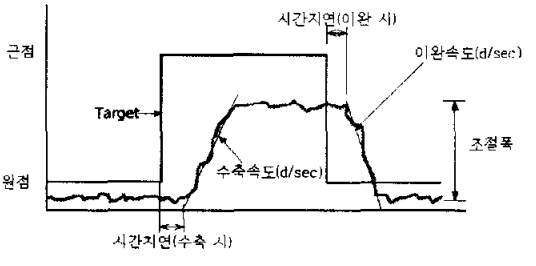


그림 7. Accommodometer를 이용한 안피로도 분석 시 측정가능한 조절력 관련변수들

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

그림 7은 accommodometer를 이용하여 측정 가능한 조절력의 변화지표들을 나타낸 것이다. 시간지연(단위: sec)이란 target의 위치가 변화한 후 수정체의 굴절력을 조절하기 위한 홍체(iris)의 수축 또는 이완이 시작될 때까지 경과한 시간으로서, 일반적으로 안피로가 누적되면 시간지연이 증가하는 특성을 나타낸다. 조절폭(단위: Diopter)이란 target의 위치변화에 따라 발생하는 굴절력의 변화폭을 나타내는 것으로서, 안피로가 누적되면 조절폭이 감소하는 것이 일반적이다.

조절속도(단위 D/sec)란 조절폭을 조절작용이 시작된 이후부터 굴절력이 안정될 때까지의 조절시간으로 나누어준 기울기의 개념으로서, 안피로가 누적되면 조절속도가 감소한다.

3.3.3 안피로도의 주관적 측정

정량적인 안피로도의 측정과 별도로 피실험자들이 느끼는 주관적인 피로도를 측정하였다. 주관적 안피로도는 안과검진에 사용되는 안피로의 자각증상을 Likert의 5점 척도를 이용하여 측정하였으며, 안피로가 없으면 0점으로 아주 심하면 4점으로 평가하게 하였다. 안피로에 따른 자각증상의 평가항목은 다음과 같았다.

I) 눈에 압박감이 있다.
II) 눈에 통증(따가움, 쑤심, 시큰거림 등)이 있다.
III) 눈이 뿌옇게 잘 보이지 않는다.
IV) 눈이 충혈된다.
V) 눈물이 난다.
VI) 눈이 가물거린다.

4. 분석결과 및 고찰

4.1 시각 작업수행도

시각탐색작업에 대한 수행도를 평가하기 위해 채택한 두 가지 지표, 작업수행시간과 오답수간의 상관성 여부를 확인하기 위하여 각 화면에서의 검색시간과 그 때의 오답수간의 상관관계 분석을 실시하였다. 분석결과 작업수행시간과 오답수간의 Pearson 선형상관계수는 -0.108 (p-value=0.002)로서 미약한 음의 상관관계가 있음을 확인하였다. 이는 검색시간이 늘어나면 오답수가 다소 감소하는 경향이 있음을 나타내주는 결과로서 어느 한 가지 지표만으로 시작업수행도를 평가하는 것은 부적절하다는 결론을 내리고 각각의 지표에 대한 세부적인 분석을 실시하였다.

4.1.1 작업수행시간

디스플레이 패널의 곡률이 시각탐색작업에 있어서의 작업수행시간에 유의한 영향을 미치는지 여부를 확인하기 위해 분산분석을 실시하였으며, 그 결과를 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 작업수행시간에 대한 분산분석 결과

Sources	df	Sum of Square	Mean Square	F-value	p-value
Displays	1	2406.5	2406.5	0.218	0.6477
Subject	14	1460191.2	104299.4	9.465	0.0082
Displays× Subject	14	154279.3	11020.0		
Total	29	1616877.0			

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

각 디스플레이 종류별 작업수행시간은 일반형 CRT에서 화면당 179.6초, 평면형 CRT에서 화면당 176.8초로 일반형 CRT가 평면형 CRT에 비해 평균적으로 2.8초 더 걸리는 것으로 나타났으나, 이 차이가 통계적으로는 유의하지 않았다. 따라서, 디스플레이 패널의 곡률은 시각탐색작업의 수행시간에는 유의한 영향을 미치지 않았다고 볼 수 있다.

4.1.2 오답수

디스플레이 패널 곡률이 시각탐색작업에 있어서 오답수에 미치는 영향을 분석하기 위해 실시한 분산분석 결과를 정리하면 표 2와 같다. 각 디스플레이별 오답수는 일반형 CRT에서는 화면당 1.14개, 평면형 CRT에서는 화면당 0.84개로 일반형 CRT가 평면형 CRT에 비해 평균적으로 0.3개 더 많은 오답수를 보이는 것으로 나타났으며, 이 차이는 통계적으로도 유의하였다. 따라서, 디스플레이 패널의 곡률이 오답수에 유의한 영향을 미치고 있으며, 평면형 CRT가 일반형 CRT에 비해 작업수행의 정확도면에서 보다 우수한 특성을 지니고 있음을 확인하였다.

표 2. 오답수에 대한 분산분석 결과

Sources	df	Sum of Square	Mean Square	F-value	p-value
Displays	1	24.8	15.5	19.83	0.0015
Subject	14	177.9	7.94	10.18	0.0137
Displays ×Subject	14	22.9	1.6		
Total	29	225.6			

4.2 안피로도의 정량적 분석

4.2.1 조절작용의 시간지연

시각탐색작업으로 인한 안피로 발생여부를 확인하기 위하여 조절작용 시 발생하는 시간지연 정도를 작업수행 이전과 이후에 각각 측정하여 비교, 분석하였다. 시간지연 정도는 일반형 CRT와 평면형 CRT 모두 작업수행 이후가 이전에 비해 증가하는 경향을 나타냈으며, 수축 시와 이완 시의 시간지연의 증가량을 디스플레이별로 나누어 정리하면 그림 8과 같다.

Target이 원점에서 근점으로 이동할 때 발생하는 수축 시의 조절작용에 있어서 일반형 CRT는 작업수행 이전에 비해 작업수행 이후의 시간지연이 평균적으로 0.03 sec 증가하였으며, 평면형 CRT의 경우에는 0.029 sec 증가하였다. 이러한 작업전후 시간지연차이의 유의성 여부에 대한 통계적 검정결과 일반형 CRT(p-value=0.017)와 평면형 CRT (p-value =0.029) 모두 유의수준 5%에서 유의한 차이를 나타냈다. 그러나, 일반형 CRT와 평면형 CRT간의 수축조절 시 시간지연 차이는 통계적으로 무시할 수 있는 수준이었다.

한편, target이 근점에서 원점으로 이동할 때 발생하는 이완 시의 조절작용에 있어서는 일반형 CRT의 경우가 작업이후 시간지연이 평균적으로 0.035 sec 증가하였으며, 평면형 CRT의 경우에는 평균 0.023 sec 증가하였다. 이들 작업전후 시간지연차이의 유의성 여부에 대한 통계적 검정결과 유의수준 5%에서 일반형 CRT의 경우에는 유의차가 존재하

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

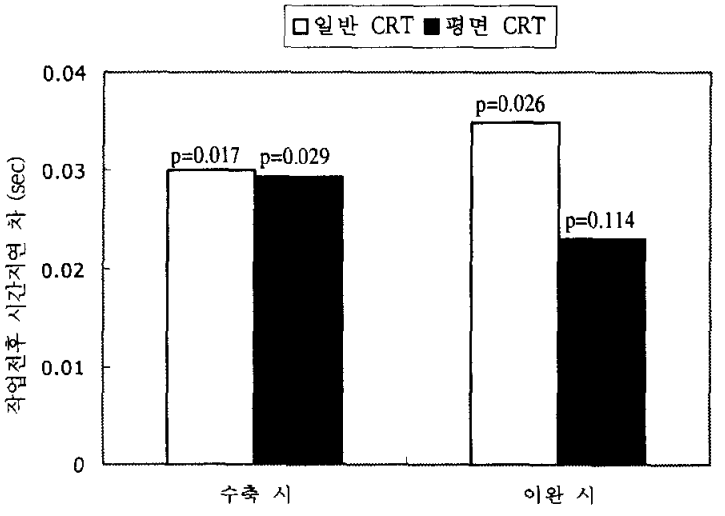


그림 8. 디스플레이 종류에 따른 작업수행 후 조절시간 지연량의 차이

였으나, 평면형 CRT의 경우에는 무시할 수 있는 수준이었다. 또한, 일반형 CRT와 평면형 CRT간의 이완조절 시 시간지연 차이 역시 통계적으로 무시할 수 있는 수준이었다.

이상의 결과를 통해 두 시간의 시각탐색작업 이후에 다소의 안피로가 발생하였음을 시간지연의 증가를 통해 확인할 수 있었다. 그러나, 디스플레이 패널의 곡률차에 따라 화면의 왜곡과 반사정도에 차이가 발생하여 안피로도에도 차이가 있을 것이라는 가설은 통계적으로 입증할 수 없었다.

4.2.2 조절속도

시간지연 항목과 동일하게 시각탐색작업 이전과 이후의 조절속도 변화여부를 비교, 분석하였다. 조절속도는 일반형 CRT와 평면형 CRT 모두 작업수행 이후가 이전에 비해 감소하는 경향을 나타냈으며, 수축 시와 이완 시의 조절속도의 감소량을 디스플레이별로 나누어 정리하면 그림 9와 같다.

수축 시의 조절작용에서 일반형 CRT는 작업수행 이전에 비해 작업수행 이후의 조절속도가 평균적으로 0.248 D/sec 만큼 감소하였으며, 평면형 CRT의 경우에는 0.14 D/sec 만큼 감소하였다. 그러나, 작업 이전과 이후 조절속도의 평균에 대한 유의차 검정 결과 일반형 CRT와 평면형 CRT 모두 통계적 유의차는 없는 것으로 나타났다. 또한, 일반형 CRT와 평면형 CRT간의 조절속도 변화폭의 차이는 0.11 D/sec 정도로 일반형 CRT가 다소 큰 폭으로 감소하였으나 이 차이 역시 통계적으로는 유의하지 않았다 (p-value= 0.298). 이완 시에는 일반형 CRT의 경우 작업이전에 비해 이후가 평균적

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

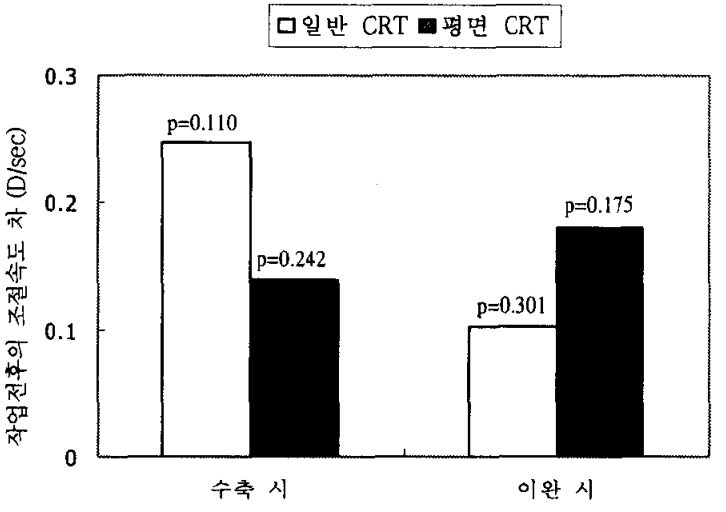


그림 9. 디스플레이 종류에 따른 작업수행 후 조절속도 변화량의 차이

으로 0.103 D/sec 만큼 감소한 반면, 평면형 CRT의 경우에는 0.181 D/sec의 감소를 나타냈으나 이들의 차이 역시 통계적으로는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 디스플레이에 따른 차이를 보면 수축 시와는 반대로 평면형 CRT가 일반형 CRT에 비해 0.08 D/sec 정도 감소폭이 컸지만 이 차이 역시 통계적으로는 유의하지 않았다(p-value = 0.428).

따라서, 본 실험조건에서는 수축과 이완 시의 조절속도변화를 통해서는 안피로 발생여부를 확인할 수 없었으며, 디스플레이 패널의 곡률이 안피로도에 미치는 영향 역시 검출할 수 없었다.

4.2.3 주관적 안피로도

피실험자들이 느끼는 주관적 안피로도를 측정하기 위해 앞서 언급했던 여섯 가지 항목의 안피로 자각증상에 대한 설문조사를 실시하고 그 결과치를 분석하였다. 설문과정에서 사용한 Likert의 5 point scale을 서열척도(ordinal scale)로 간주할 경우 각 영향요인에 따른 주관적 안피로도 변화여부는 적합도 검정(goodness-of-fit test)과 같은 비모수형(nonparametric) 통계방법론을 이용하여 분석하는 것이 타당할 것이다. 그러나, 본 연구에서는 안피로도의 차이를 보다 정량적으로 나타내고, 분석과정을 간략화하기 위해 이를 등간척도(interval scale)로 가정하고 작업 이전과 이후의 점수차를 안피로도 점수로 정의하여 이 값에 대한 분산분석을 실시하였다.

그림 10은 여섯 가지 조사항목에서 작업이후의 점수증가량을 일반형 CRT와 평면형 CRT로 나누어 도식화한 것이다. 그림에 나

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

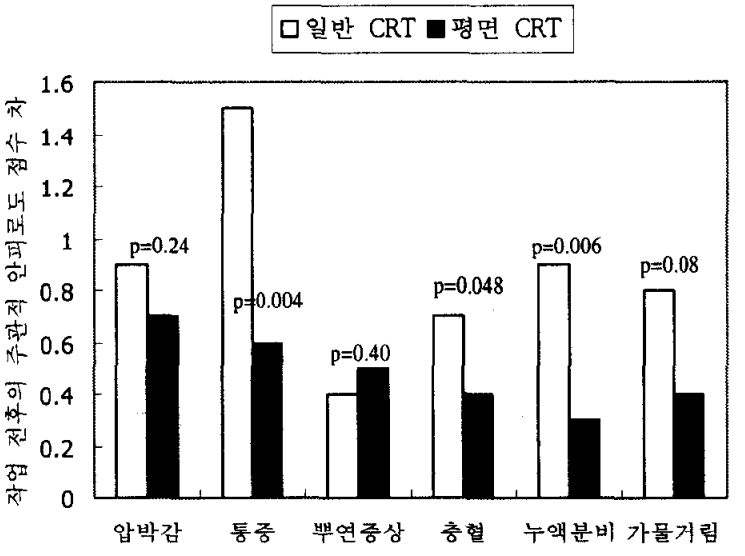


그림 10. 디스플레이 종류에 따른 안피로 자각증상의 점수 차이

타난 바와 같이 여섯 가지 항목 모두에서 작업이후가 작업이전에 비해 자각증상에 따른 안피로도 점수의 증가가 관측되었으며, '눈이 뿌옇게 잘 보이지 않는다'는 항목을 제외한 나머지 다섯 가지 항목 모두에서 일반형 CRT가 평면형 CRT에 비해 점수 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 특히, '눈에 통증(따가움, 쑤심, 시큰거림 등)이 있다', '눈이 충혈된다', '눈물이 난다'의 세 가지 항목에 있어서는 일반형 CRT와 평면형 CRT의 안피로도 점수 증가폭에 통계적 유의차가 존재하였다.

이상과 같은 주관적 안피로도 분석을 통해 피실험자들이 작업과정을 통해 안피로를 경험하는 것으로 느끼고 있으며, 디스플레이의 곡률에 따라서도 안피로 정도에 차이를 느끼고 있음을 확인하였다.

5. 결론 및 추후연구방향

본 연구에서는 최근 시판되고 있는 평면형 CRT 중 17" 제품이 곡률이 있는 기존의 17" 일반형 CRT에 비해 사용하기 편안하도록 개선된 제품인지를 시각탐색작업 과정에서의 작업수행도와 안피로 유발정도에 대한 정량적 분석을 통해 인간공학적 관점에서 고찰해보았다. 연구결과 시각탐색작업에서의 오답수 특성과 주관적인 안피로도에 있어서 평면형 CRT가 일반형 CRT에 비해 우수한 특성을 나타냈다.

시각 작업수행도를 평가하기 위해 도입했던

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

두 가지 평가척도인 작업수행시간과 오답수 중 작업수행시간에 있어서는 두 디스플레이간에 통계적 유의차를 확인할 수 없었으나, 오답수에 있어서는 평면형 CRT가 일반형 CRT에 비해 유의하게 적은 오답을 유발하는 것으로 나타났다. 따라서, 작업수행시간이 동일한 상태에서 보다 적은 오답수를 나타낸 평면형 CRT가 곡률이 있는 일반형 CRT에 비해 높은 시각 작업수행도를 나타낸 것으로 결론지을 수 있다. 또한, 조절력의 특성변화를 통해 살펴본 안피로도의 정량적 평가결과에서는 디스플레이의 곡률차에 따른 통계적 유의성을 확인할 수 없었으나 피실험자들의 주관적 안피로도 평가결과에서는 평면형 CRT가 일반형 CRT에 비해 적은 안피로를 유발하는 것으로 나타났다. 이상의 결과들은 현재 시판중인 17" 평면형 CRT가 사용성 측면에서 곡률 1.6R인 17" 일반형 CRT에 비해 개량된 특성을 지니고 있음을 나타내주는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 CRT 사용시간을 두 시간으로 한정하여 실험을 실시하였으며, 단기추시를 통해 작업 중의 안피로 발생여부와 안피로에 미치는 패널곡률의 영향을 살펴보았다. 정밀계측장비를 이용해 관측한 정량적 자료의 분석을 통해 조절작용 과정에서 시간지연이 증가하는 현상을 확인함으로써 VDT작업과정에서 일정 수준의 안피로가 발생하고 있음을 규명하였다. 그러나, 패널곡률에 따른 안피로도의 차이를 계측장비를 통해서는 규명하지 못했다. 이는 본 실험에서의 작업부담과 추시기간이 패널곡률의 안피로도에 미치는 영향을 규명하기에는 다소 부족했기 때문인 것으로 추정된다. 안피로도에 대한 영향을 보다 명확히 규명하기 위해서는 작업시간을 좀 더 늘려서 실험을 실시하거나 장기적인 추시방법을 채택하여 추가적인 연구를 수행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구과정에서 채택한 작업조건은 주변조명이 250 lx로서 VDT작업에 가장 적합한 수준이었으며, 확산 간접조명을 사용하였기 때문에 디스플레이 화면에 조명이 직접 반사되는 휘광현상은 나타나지 않았다. 따라서, 본 실험에서 측정한 작업수행도와 안피로도의 차이는 외부광의 영향보다는 화면의 왜곡현상과 관련된 것으로 해석하여야 할 것이다. 한편, 일반형 CRT에 있어서 화면의 왜곡현상은 중심부가 아닌 주변부에서 발생하므로 실험 중 target이 화면의 어느 부위에 나타나는가에 따라 작업수행도가 서로 달라질 수 있다. 따라서, 패널곡률의 영향을 보다 명확히 규명하기 위해서는 중심부를 제외한 주변부에서의 시각작업을 기준으로 수행도를 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러할 경우 평면형 CRT와 일반형 CRT의 작업수행도 차이가 보다 선명하게 나타날 것으로 예상된다. 또한,본 연구에서는 외면곡률이 1.6R인 17" 일반형 CRT와 평면형 CRT를 연구대상으로 한정하였으며, 본 연구결과를 일반화하기 위해서는 보다 다양한 곡률을 갖는 CRT들에 대한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 스프레드시트 형태로 구분되어 있는 셀에서 해당단어를 검색하는 시각탐색작업을 수행하였다. 이러한 작업에 있어서는 낱글자에 대한 식별성(legibility)이 작업수행도를 결정하는 주요인이라 할 수 있다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

그러나, 일반적인 문서작업에 있어서는 문자의 개별적인 식별성 못지않게 전체적인 문장의 가독성(readability)이 작업수행도에 큰 영향을 미친다. 따라서, 현실적인 문서작업의 특성을 반영하기 위해서는 셀 형태로 구분된 단어의 검색작업이 아니라 문장형태로 제시되는 화면에서 검색작업을 수행하도록 하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단된다.

참고 문헌

고남제. (2001). 평면 CRT의 기술 동향 및 향후 과제. 한국정보디스플레이학회지, 2(5), 12-19.

이상훈, 추성훈. (2001). FPD에 대응한 CRT의 최근기술동향 및 전망. 한국정보디스플레이학회지, 2(5), 20-26.

松本正一. (1988).전자디스플레이. 성안당: 서울.

Bastien J.M.C., Scapin, D.L. and Leulier, C. (1999). The Ergonomic Criteria and the ISO/DIS 9241-10 Dialogue Principles: A Pilot Comparison in an Evaluation Task, *Interacting with Computers*, 11, 299-322.

Besuijen, K. and Spenkelink G.P.J (1998). Standardizing Visual Display Quality, *Displays*, 19, 67-76.

Boschman M.C. and Roufs, J.A.J. (1997). Text Quality Metrics for Visual Display Units: II. An Experimental Survey, *Displays*, 18, 45-64.

Cox, T. (1990). The Recognition and Measurement of Stress: Conceptual and Methodological Issues, Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomic Methodology, Edited by Wilson, J.R and Corlett, E.N., Taylor & Francis: New York, 628-647.

Grandjean E. (1987). Ergonomics in Computerized Offices, Taylor & Francis.

Howarth, P.A. and Istance, H.O. (1986). The Validity of Subjective Reports of Visual Discomfort, *Human Factors*, 28(3), 347- 352.

Koh, N.J. (1999). New Development Trends of Flat CRT, from a Structural Point of View, *Display Monthly*, 5(3), 23-29.

Lindfors, M. (1998). Accuracy and Repeatability of the ISO 9241-7 Test Methods, *Displays*, 19, 3-16.

Megaw, T. (1986). VDUs and Visual Fatigue, Contemporary Ergonomics 1986, Proceedings of the Ergonomics Society's 1986 Annual Conference, Durham, 8-11 April 1986, Edited by D.J. Oborne, Taylor and Francis, London,

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

254-258.

Megaw, T. (1990). The Definition and Measurement of Visual Fatigue, Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomic Methodology, Edited by Wilson, J.R and Corlett, E.N., Taylor & Francis: New York, 682-702.

Nyamn, K.G., Knave, B.G. and Voss M. (1985). Work with Video Display Terminals among Office Employees IV: Refraction, Accommodation, Convergence and Binocular Vision, Scandinavian *Journal of Work, Environment and Health*, 11(6), 483-487.

Ostberg, O. and Smith, M.J. (1987). Effects on Visual Accommodation and Subjective Visual Discomfort from VDT Work Intensified through Split Screen Technique, Work with Display Units 86, Edited by B. Knave and P.G. Wideback. North-Holland: Amsterdam, 512~521.

Roufs, J.A.J. and Boschman M.C. (1997). Text Quality Metrics for Visual Display Units: I. Methodological Aspect, *Displays*, 18, 37-43.

Saito, S. and Taptagaporn, S. (1991). Pupillary Reflexes and Accommodation as Physiological Indices of Visual Fatigue due to VDT Operation, Human Aspects in Computing, Design and Use of Interactive Systems and Work with Terminals, Edited by H.J. Bullinger. Elsevier, Amsterdam, Volume(1), 233- 237.

Saito, S., Taptagaporn, S. and Salvendy, G. (1993). Visual Comfort in Using Different VDT Screens, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 5(4), 313-323.

Saito, S., Taptagaporn, S., Sotoyama, M. and Suzuki, T. (1993). Physiological Indices of Visual Fatigue and Visual Comfort Related to VDT Work, HumanComputer Interaction: Applications and Case Studies, Edited by M.J. Smith and G. Salvendy. Elsevier: Amsterdam, 909-913.

Saito, T. (1999). A Design Concept of Perfect Flat CRT, Proceedings of IDW '99, 445-448.

Saito, T. and Utsumi, I. (1998). Perfectly Flat CRT, from a Visible Point of View, *Display Monthly*, 4(1), 49-53.

Takeda, T., Fukui, Y. and Iida, T. (1986). An Objective Measurement Method of Accommodation

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Aftereffect Induced by VDT Work and Its Application to Display Colour. *Japenese Journal of Ergonomics, 22(1), 9-17.*

Takeda, T., Ostbrg, O., Fukui, Y. and Iida, T. (1988). Dynamic Accommodation Measurements for Objective Assessment of Eyestrain and Visual Fatigue. *Journal of Human Ergology*, 17(1), 21-35.

Taptagaporn, S. and Saito, S. (1991). The Effects of the Visual Conditions of VDT Viewing on Pupil Size. Towards Human Work: Solutions to Problems in Occupational Health and Safety. Edited by Kumashiro, M. and Megaw, E.D., Taylor & Francis: London, 340-345.

Utsumi, I., Flat CRT Rounds Out List of Developer Achievements. *Display device: electronic display device and application technology*, 16, 43-44.

Zwahlen, H.T. and Kothari, N. (1986). Effects of Positive and Negative Image Polarity VDT Screens, A Cradle for Human Factors. Proceedings of the Human Factors Society 30th Annual Meeting, Dayton, Ohio. The Human Factors Society, Santa Monica, California, 1, 170-174.

저자 소개

◈ 김상호

성균관대학교 산업공학과를 졸업하고, 포항공과대학교에서 석사, 박사학위를 취득하였다. 현재 금오공과대학교 산업시스템공학전공 부교수로 재직 중이며, 관심분야는 디스플레이에 대한 사용자 중심의 품질평가와 작업시스템 분석, 산업안전공학 등이다

◈ 장성호

한양대학교 정밀기계공학과를 졸업하고, Univ. of Michigan에서 산업공학 석사, 박사학위를 취득하였다. 현재 금오공과대학교 산업시스템공학전공 교수로 재직 중이며, 관심분야는 정밀측정, 인간공학, 품질공학 등이다.

◈ 임종호

포항공과대학교 산업공학과에서 학사, 석사학위를 취득하였으며, 현재 LG.Philips Displays 디바이스연구소 주임연구원으로 재직 중이다. 관심분야는 CRT 디스플레이의 설계 및 평가, 제조프로세스 이노베이션 등이다.

논문접수일 (Date Received): 2003/03/10
논문게재승인일(Date Accepted): 2003/06/19

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.