Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.1, pp.95-112, April 2002

데스크탑용 CRT와 TFT-LCD의 시각 작업수행도 비교·평가*

A Comparative Evaluation on Visual Performance of CRT and TFT-LCD as Desktop Computer Displays*

김 상 호**, 최 경 임***

ABSTRACT

Two experiments were carried out to compare the suitability in visual tasks between cathode-ray tube (CRT) and thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD). In the first experiment, the subjects were requested to detect pre-assigned target words or icons among distracters presented under time-invariant (static) image mode. The subjects' visual performance and fatigue were assessed while carrying out search tasks with dim and bright ambient light conditions. Significant interaction effects were found among displays, task types, and ambient light conditions. Due to visual fatigue, the subjects' accommodative power decreased in the end of task and the degradation was more significant for the CRT users and under bright ambient light. In the second experiment, the subjects performed information processing task with time-varying road signs at a driving simulator to assess interaction effects between display types and changing speed of dynamic image. The perception time using TFT-LCD was shorter under slow image change while that of CRT was shorter under rapid image change. Findings from this study suggest that, to improve visual task performance, users should carefully select their visual display type depending on the task to be performed.

Keyword: CRT, TFT-LCD, visual performance, visual fatigue, words and icons, ambient light

* 본 논문은 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의해 수행된 연구결과임
** 금오공과대학교 신소재시스템공학부 산업시스템공학전공
주소: 730-701 경북 구미시 신평동 188번지
전화: 054-467-4387
E-mail: kimsh@kumoh.ac.kr
*** 포항공과대학교 기계산업공학부

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

정보화 사회로의 진입과 함께 컴퓨터는 사람들의 일상생활에서 가장 빈번하게 사용되는 도구의 하나가 되었다. 이에 따라 컴퓨터와 작업자 사이의 인터페이스인 컴퓨터 디스플레이의 사용이 과거에 비해 크게 늘어나고 있는 실정이다. 특히, 최근에는 ADSL과 같은 초고속 인터넷서비스들이 상용화되면서 인터넷방송을 비롯한 다양한 멀티미디어 환경에의 접근이 매우 용이해 졌다(中村芳知 등, 2001). 즉, 컴퓨터 디스플레이를 통해 재현되는 정보의 범위가 텍스트 중심의 정화상에서 그래픽 중심의 동화상에 이르기까지로 크게 확장된 것이다. 따라서, 요즘과 같은 정보화시대에는 서류작성이나 데이터 처리와 같은 사무작업뿐 아니라, 교육과 문화교류, 정보교환 등의 매체로서 컴퓨터 디스플레이의 특성이 전반적인 작업수행도에 커다란 영향을 미친다(松本正一, 1998).

최근 정보디스플레이 분야의 기술발전에 힘입어 브라운관을 이용한 CRT 디스플레이가 독점해오던 데스크탑용 컴퓨터 디스플레이시장을 평판형인 TFT-LCD가 빠른 속도로 잠식해가고 있는 추세이다. TFT-LCD는 얇고 가벼우며, 소비전력이 매우 낮고 전자파의 발생이 적으며, CRT에 비해 상대적으로 깨끗한 화상을 구현할 수 있을 뿐 아니라 중심부와 모서리부분의 선명도 차이가 작다는 장점으로 인해 상대적으로 높은 가격에도 불구하고 빠른 신장세를 나타내고 있다(이종덕 등, 2000; 장진, 2001). 그러나, TFT-LCD의 단점으로 시야각에 따라 발생하는 화질 및 색감의 저하현상과 낮은 광투과율, 난반사, 느린 응답속도 등의 문제점이 지적되고 있어 이러한 기술적 난제를 극복하고 가격경쟁력을 확보하기 위한 연구개발 노력이 계속되고 있다(이이상, 2001). 한편, CRT 디스플레이의 경우에도 문제점으로 지적되고 있는 중심부와 모서리부분의 선명도 및 색상의 비균일성을 극복하고 선명도를 제고시키며, 대형화와 TFT-LCD 대비 가격경쟁력을 유지함으로써 기존 시장점유율을 고수하기 위해 제품개선 노력을 경주하고 있다(이상훈과 추성훈, 2001). 이러한 노력에 따라 최근의 CRT 디스플레이 시장은 기존의 패널곡률을 지닌 일반형의 단점을 개선한 평면형으로 급속히 이행되고 있는 추세이다(한수덕, 2001). 따라서, 향후 데스크탑용 컴퓨터 디스플레이시장에 있어서는 보다 우수한 특성을 지닌 신형 디스플레이 디바이스가 등장할 때까지 TFT-LCD와 평면 CRT가 각축을 벌일 것으로 예상된다.

컴퓨터 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 and Spenkelink, 1998; Lindfors, 1998; Bastien et. al., 1999). 그러나, 점차 심화되는 시장경쟁 속에서 다양화되어 가는 소비자들의 욕구를 충족시키기 위해서는 실제 사용환경 하에서 제품의 사용에 따른 평가 방식으로의 전환이 필수적으로 수반되어야 한다(Roufs and

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Boschman., 1997; Boschman and Roufs, 1997). 또한, 현존하는 디스플레이들의 서로 다른 광학적 특성과 이들의 품질개선 양상을 고려해 볼 때 특정작업에서의 작업수행도를 기준으로 디스플레이들의 기술적 우위를 단순 비교하는 것은 바람직하지 않다. 따라서, 보다 다양한 작업환경 하에서 디스플레이의 종류와 사용환경이 작업수행도에 미치는 영향을 분석함으로써 수행되는 작업의 특성에 가장 적합한 디스플레이의 종류와 사용조건을 제시하기 위한 연구노력이 필요하다.

2. 기존 연구에 대한 고찰

노트북과 같은 모바일 환경에서 주로 사용되어온 TFT-LCD가 1990년대 중반 이후 데스크탑용 컴퓨터 디스플레이로 사용되기 시작하면서, 기존의 CRT 디스플레이와의 성능비교에 많은 연구자들이 관심을 가져왔다. Satio 등(1993)은 다양한 디스플레이를 이용해 여러 가지 시각작업을 수행하는 과정에서, CRT를 이용한 경우가 LCD나 PDP에 비해 보다 빠른 시각적 조절작용(visual accommodation)이 이루어진다는 결과를 발표하였다. 또한, Mackenzie 등(1994)은 화면에 나타난 target을 검색한 후 마우스를 이용해 선택하는 작업에서 LCD가 CRT보다 작업완수 시간이 34% 나 더 소요된다는 결과를 발표하였다.

반면, 비교적 최근 Menozzi 등(1999, 2001)에 의해 보고된 두 번의 연구결과에서는 LCD가 CRT에 비해 우수한 시각 작업수행도를 나타내는 것으로 보고되었다. 그러나, 동일한 연구자에 의해 진행된 연구임에도 불구하고, 두 연구결과간에 상당한 불일치가 존재한다. Menozzi 등(1999)이 진행한 첫 번째 실험에서는 14인치 일반형 CRT와 10.4 인치 노트북용 STN급 LCD가 비교대상이었으며, 작업내용은 화면에 제시된 두 가지 영문자 'E'와 'F'들 중 target으로 지정된 'F'를 골라내는 것이었다. 작업에 따른 반응시간과 오류수를 분석한 결과 LCD를 사용한 경우가 CRT를 사용한 경우에 비해 유의하게 짧은 반응시간을 나타냈을 뿐 아니라 오류도 34% 정도 적게 유발하는 것으로 나타났다. 한편, 동일한 내용의 실험을 데스크탑용 15인치 TFT-LCD와 17인치 일반형 CRT 디스플레이를 이용해 재현한 Menozzi 등(2001)의 후속연구에서는 앞서의 연구결과와는 달리 반응시간에 있어서 두 디스플레이간에 유의한 차이가 없으며, TFT-LCD가 CRT에 비해 22% 정도 적은 오류를 유발하는 것으로 보고되었다. 이 결과에서 과거에 비해 크게 개선된 TFT-LCD를 이용하여 작업을 진행하였음에도 불구하고 CRT와의 시각 작업수행도 차이가 오히려 줄어든 점은 주목할 만 하다. 또한, 이 연구에서 보고된 LCD와 CRT간 오류율의 차이는 일반적인 사무환경에서 수행되는 작업내용과 실험에서 수행한 작업내용의 차이를 고려해 볼 때 다소 과장되게 해석될 수 있음에 유의할 필요가 있다.

이상에서 정리한 바와 같이 기존 연구결과들을 살펴보면 CRT와 TFT-LCD를 이용한 시각 작업수행도 평가결과가 서로 일치하지 않을 뿐만 아니라, 양쪽 디스플레이 기술이 현재수준에 비해 현저히 떨어지는 과거시점에

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

비교가 이루어졌다는 문제점을 안고있다. 또한, 시각 작업수행도를 평가하기 위해 채택한 작업내용에 있어 최근 그 이용이 크게 증가하고 있는 아이콘과 같은 그래픽정보나 동화상 정보의 처리과정이 포함되지 않고 텍스트 정보만을 처리하는 것에 국한되어 있다. 더욱이, 실제 사무작업에서는 거의 나타나지 않는 비현실적인 작업을 수행한 결과를 바탕으로 수행도 평가가 이루어졌다는 점도 추가적인 연구의 필요성을 뒷받침한다.

3. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 앞서 언급한 연구의 필요성에 따라 보다 개선된 최신 디스플레이기술로 생산된 CRT와 TFT-LCD를 이용하여 보다 일반적인 사무작업 특성을 반영한 작업을 수행하는 과정에서의 시각 작업수행도와 안피로도 차이를 비교, 분석해 보았다. 본 연구는 CRT와 TFT-LCD의 광학적 특성차로 인해 수행되는 작업의 내용과 조건에 따라 적합한 수행도를 보이는 디스플레이의 종류가 서로 다를 것이라는 기본가정 하에 진행되었다. 이러한 가정 하에서 물리적 설계특성치를 중심으로 한 기존의 품질평가방식에서 벗어나 사용자 중심의 품질특성 평가를 실시하고 제조업체에 VDT의 특성에 따른 사용상의 비교우위 및 취약정보를 제공하며 사용자로 하여금 직무특성에 적합한 VDT 종류를 결정할 수 있는 비교근거를 제시해보고자 한다. 본 연구에서 컴퓨터 디스플레이를 이용한 다양한 시각작업 특성을 반영하기 위해 실시한 실험내용은 크게 정화상에서의 검색작업과 동화상에 대한 인지작업으로 나누어 볼 수 있다.

3.1 정화상에서의 시각 작업수행도 평가

3.1.1 실험계획 및 내용

정화상을 이용한 시각작업에 있어서 작업수행도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 디스플레이의 종류, 작업(화면의 구성) 내용, 주변조명의 밝기를 독립변수로 결정하고, 시각 작업수행도와 안피로도를 종속변수로 하는 실험을 구성하여 수행하였다.

디스플레이 종류로는 CRT와 TFT-LCD가 사용되었으며, 작업내용으로는 텍스트 검색작업과 아이콘 검색작업을 실시하였다. 이는 선명도(sharpness)와 직선성(linearity)이 뛰어난 TFT-LCD가 CRT에 비해 문자위주의 텍스트 작업에 보다 적합할 것이며, 시야각과 색상 표현력이 뛰어난 CRT가 TFT-LCD에 비해 아이콘 중심의 그래픽작업에 보다 적합할 것이라는 가정을 실험적으로 규명해보기 위함이었다. 실험과정에서 수행한 시각작업은 기존 연구에서 일반적으로 이용된 시각탐색작업으로 하되, 보다 일반적이고 실제적인 사무작업 특성이 반영되도록 노력하였다. 즉, 텍스트 작업의 경우 무의미하게 나열된 글자나 단어 중 target을 검색하는 대신 문장형태로 제시되는 지문을 읽고 지문 속에서 target으로 제시된 단어를 검색하도록 하였다[그림 1 참조]. 또한, 그래픽 작업에 있어서의 시각 작업수행도를 평가하기 위하여 텍스트 검색작업 이외에 아이콘 검색작업을 함께 진행하였는데, 작업

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

내용은 스프레드시트 형태로 제시된 아이콘들 중 target으로 제시된 아이콘을 찾아내는 것이었다[그림 2 참조]. 작업과정 중 텍스트화면과 아이콘화면은 무작위 순으로 제시되었으며, 한 화면에서 주어진 target을 모두 찾았다고 판단하면 작업자 스스로 다음 화면으로 이동하는 self-paced 방식으로 진행되었다.

실험에는 15인치 TFT-LCD와 17인치 완전평면 CRT를 이용하였으며, 디스플레이 크기의 불일치를 해소하기 위해 검색작업에 사용되는 화면의 크기와 화면에 제시되는 개체의 크기를 동일하게 조절하였다. 또한, 디스플레이의 휘도는 화면 중앙의 흰색 민무늬 바탕에서 측정하였을 때 100 cd/m²가 되도록 동일하게 조정하였다. 두 디스플레이의 도트피치(dot pitch)는 0.24 ㎜로 동일하였으며, 해상도 역시 1024×768로 동일하게 조정하였다.

주변조명(ambient light)의 밝기를 독립변수로 채택한 것은 휘도특성이 우수한 CRT가 LCD에 비해 주변조명의 변화에 강한 특성을 보일 것이라는 가설을 실험적으로 규명해보기 위함이었다. 주변조명의 변화에서 낮은 수준은 VDT작업 시 추천되는 수준인 300-500 lx 중 300 lx로, 높은 수준은 일반 사무환경에서 추천되는 수준인 500-1500 lx 중 1200 lx로 결정하였다(Grandjean, 1987; Sanders and McCormick, 1993). 조명조건의 변화에 있어 자연광을 완전히 차단하고 간접 확산조명을 이용함으로써 디스플레이 화면에서 경면반사(specular reflection)가 발생하지 않도록 하였다.

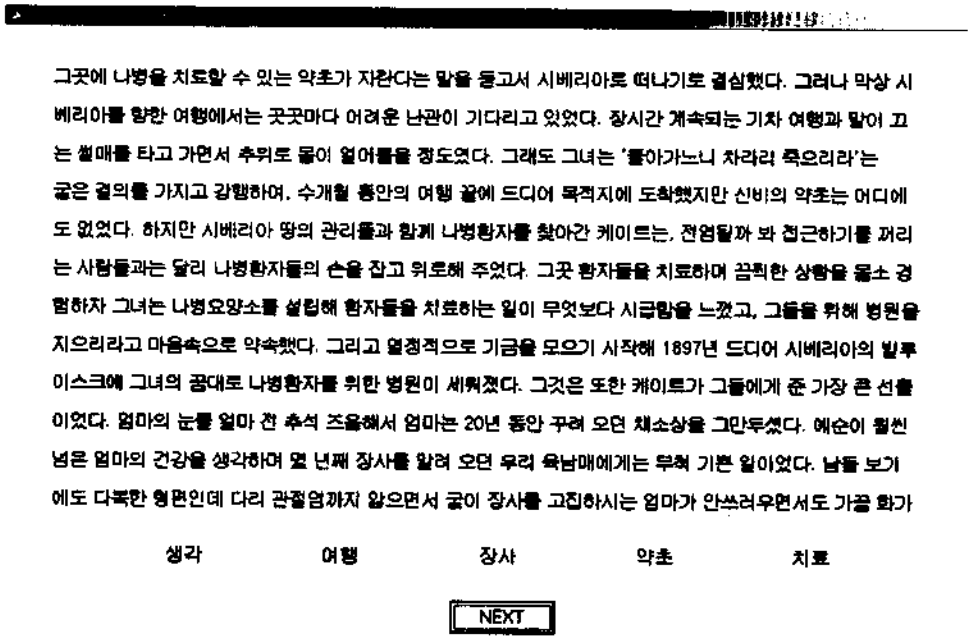

그림 1. 정화상 평가실험에 사용된 텍스트 검색작업용 화면의 예

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

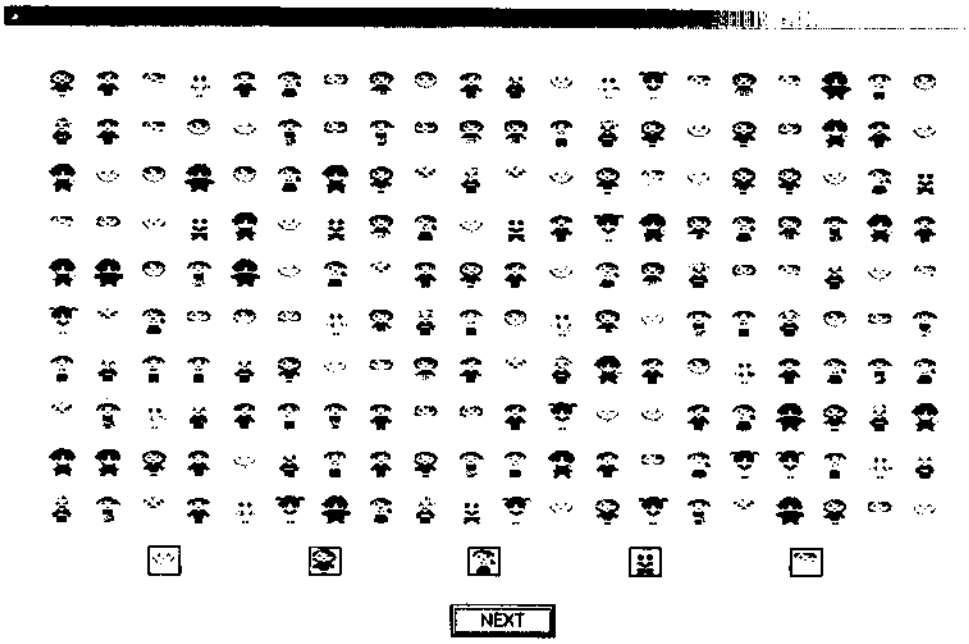

그림 2. 정확상 평가실험에 사용된 아이콘 검색작업용 화면의 예

피실험자로는 광학적 특이성을 나타내지 않으며 컴퓨터와 마우스의 사용에 익숙한 대학생 8명이 선발되었다. 피실험자들은 본 실험에 앞서 충분한 교육과 훈련(16시간)을 통해 실험과정에서 나타날 수 있는 학습효과를 배제할 수 있도록 하였다. 또한, 본 연구에 있어 개인차의 영향을 배제하기 위하여 모든 피실험자가 모든 실험조건에서 작업을 수행하는 within-subject 디자인을 사용하였으며, 실험순서는 피실험자별로 완전히 랜덤화하여 실시하였다.

3.1.2 시각 작업수행도의 평가

작업수행도란 주어진 작업을 얼마나 빠르고 정확하게 수행하는가를 평가하는 것이므로 본 연구에서는 응답시간, 적중률, 오보율의 세 가지 측정변수들을 도입하여 시각 작업수행도를 평가하였으며, 각 측정변수에 대한 조작적 정의(operational definition)는 다음과 같다.

(1) 응답시간(Response Time, sec): 주어진 화면에서 target을 검출하는데 소요된 평균 시간

(2) 적중률(Hit Rate, %): 주어진 화면에 나타난 개체들 중 정확히 target을 검출해낸 비율

(3) 오보율(False Alarm Rate, %): 주어진 화면에서 target이 아닌 개체를 target으로 오인한 비율

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

피실험자들이 선택한 탐색전략에 따라 응답시간과 적중률 또는 오보율간에 trade-off가 존재할 가능성이 있으므로 각 화면에서의 작업이 완수되면 해당작업에서의 적중률과 오보율을 제시함으로써 집중력을 유지할 수 있도록 한 상태에서 가급적 빠른 시간 내에 작업을 완수할 것을 요구하였다.

3.2 동화상에서의 시각 작업수행도 평가

3.2.1 실험계획 및 내용

빠른 속도로 변화하는 동화상에 대한 정보처리 과정에서 디스플레이의 광학적 특성차가 시각 작업수행도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 컴퓨터 시스템을 이용한 차량운전(driving) 시뮬레이터에서 시각적 인지작업을 수행하면서 그에 따른 수행도를 비교 분석하였다. 시뮬레이터에서 수행된 시각작업은 도로표지판을 판독하여 주어진 목적지까지 이동하기 위해 필요한 차량의 진환방향을 결정하는 것이었으며, 시뮬레이터에서의 차량 이동속도와 디스플레이 종류를 독립변수로, 작업을 완수하기까지 소요된 시간을 종속변수로 하는 실험을 구성하여 수행하였다.

실험에 사용된 시뮬레이터는 가상차량의 움직임에 따라 운전자의 시야에 비추어지는 일반적인 도로의 형상과 텍스트 및 그래픽 정보를 모두 포함하고있는 도로표지판의 변화를 동일하게 재현해 낼 수 있도록 고안되었다[그림 3 참조]. 즉, 시뮬레이터에서 지정된 차량속도에 따라 운전을 시작하면 도로와 도로주위의 배경이 변화함과 동시에 시간경과에 따른 차량의 이동거리가 계산된다. 계산된 이동거리로부터 도로표지판까지의 거리감소에 따라 발생하는 시각(visual angle)의 증가량을 계산하고, 이에 상응하도록 도로표지판 및 그 정보내용의 크기를 조정하여 디스플레이에 재현함으로써 작업자가 차량을 운전하여 도로표지판 쪽으로 접근하는 것처럼 느끼게 하였다. 디스플레이에 재현한 도로표지판의 재생율(refresh rate)은 75 Hz이었다.

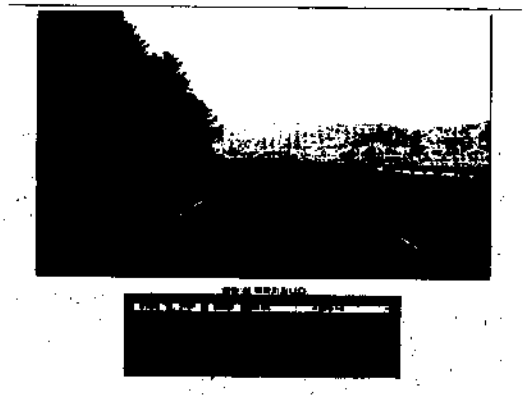

그림 3. 동화상 평가실험에 사용된 시뮬레이터

실험에 사용된 디스플레이의 종류와 조건은 정화상에서의 실험과 동일하게 유지하였으며, 주변조명의 밝기는 300 lx로 고정하여 실험을 실시하였다. 차량 이동속도를 독립변수로 채택한 것은 두 디스플레이간의 응답속도 차이로 인해 나타나는 잔상효과가 동화상에서의 시각 작업수행도에 영향을 미칠 것이라는 가설을 실험적으로 규명해보기 위함이었다. 차량 이동속도의 수준으로는 60, 80, 100, 120 km/h의 네 가지 조건을 채택하였다. 동일한 도로표지판의 반복 제시에 따른 학습효과를

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

배제하기 위하여 글자 수와 기호의 변화에 따라 서로 다른 인지적 부담을 지닌 네 가지 도로표지판 형태[그림 4 참조]를 변량인자(random factor)로 사용하였으며, 도로표지판의 형태는 유지하되 제시되는 지명과 목적지를 바꿔 작업내용을 변화시켰다. 피실험자로는 운전경험이 있는 대학생 총 8명이 참여하였으며, 실험 이전에 충분한 사전연습을 통해 시뮬레이터 작업에 익숙해질 수 있도록 하였다. 또한, 정화상에서의 실험과 동일하게 개인차를 배제하기 위한 within-subject 디자인을 이용하여 실험을 실시하였다.

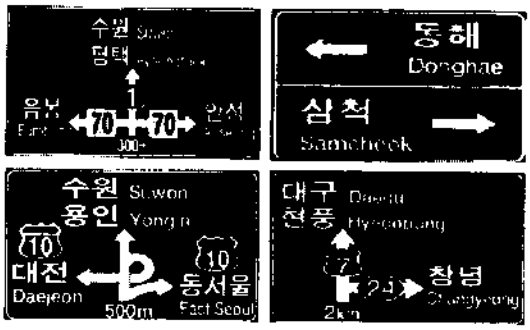

그림 4. 동화상 평가실험에 사용된 도로표지판의 예

3.2.2 시각 작업수행도의 평가

동화상에서의 시각 작업수행도를 평가하기 위하여 응답시간과 인지시간의 두 가지 측정변수를 사용하였으며, 측정변수들에 대한 조작적 정의는 다음과 같다.

(1) 응답시간(Perception Time, sec): 도로표지판에서 임의의 낱 글자를 식인하기까지 소요된 시간

(2) 인지시간(Cognition Time, sec): 반응시간 이후 도로표지판의 내용을 이해하고 방향전환에 대한 의사결정을 완료하기까지 소요된 시간.

작업수행 과정에서 피실험자가 도로표지판의 내용을 정확하게 인지하였는지 여부를 확인하기 위하여 작업이 완료된 후 피실험자가 선택한 전환방향이 정확했는지를 확인하였다.

3.3 안피로도의 평가

작업과정에서의 안피로 발생여부와 작업수행 조건에 따른 안피로도의 유의차를 분석하기 위하여 3.1절에서 언급한 정화상에서의 시각 작업수행도 평가실험 이전과 이후에 안피로도를 각각 측정한 후 이를 비교 분석하였다. 정화상에서의 시각탐색작업은 총 250분간에 걸쳐 진행되었으나, 단조감으로 인한 작업수행도의 급격한 저하를 막기 위하여 전체 실험을 4 part로 구성하고 각 part에서 40 분간 탐색작업을 수행한 후 30 분간 동화상 컴퓨터게임을 실시하도록 하였다. 따라서, 안피로 정도에는 정화상과 동화상 정보처리의 영향이 모두 포함되었다고 볼 수 있다.

작업수행 과정에서 발생하는 안피로의 크기를 평가하기 위하여 안피로 관련 정량적 지표로서 비교적 민감도가 높은 것으로 알려진 조절력의 변화를 측정, 평가하였다(Saito et. al., 1994; Chi and Lin, 1998). 조절력의 측정에는 Nidek사에서 제작한 AA-2000 accommodometer가 사용되었다. AA-2000은 피실험자가 인식해야 할 target의 위치를 일정시간 간격

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

을 두고 원점과 근점으로 교차 이동시킴으로써 안구의 조절작용을 유발하면서 조절작용의 시간지연, 조절폭, 조절속도 등의 안피로관련 지수들을 측정할 수 있도록 고안된 정밀측정 장비이다.

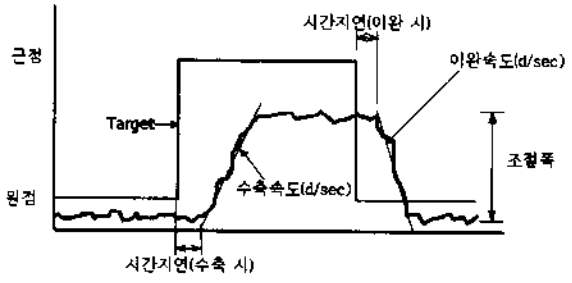

그림 5. Accommodometer를 이용한 안피로도 분석 시 측정가능한 조절력 관련변수들

시간지연 (단위: sec)이란 target의 위치가 변화한 후 수정체의 굴절력을 조절하기 위한 홍채(iris)의 수축 또는 이완이 시작될 때까지 경과한 시간으로서, 일반적으로 안피로가 누적되면 시간지연이 증가하는 특성을 나타낸다. 조절폭(단위: D, 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 감소하는 것이 일반적이다. 그림 5는 AA-2000을 이용하여 측정 가능한 조절력의 변화지표들을 도식적으로 나타낸 것이다.

4. 연구결과 및 고찰

4.1 정화상에서의 시각 작업수행도

표 1은 정화상에 대한 시각 작업수행도 평가실험에서 각 작업조건의 변화요인들이 작업수행도에 미친 영향과 그 통계적 유의차 검정결과를 종합하여 정리한 것이다.

표 1. 정화상에서의 시작업수행도에 대한 통계적 분석결과

측정항목	비교대상	비교항목	텍스트 검색작업	아이콘 검색작업
응답시간 (Response Time)	디스플레이 종류	평균비교(경향성)	CRT < LCD	CRT < LCD
		유의차 (p-value)	0.230	0.000**
	주변조명의 밝기	평균비교(경향성)	Low < High	Low < High
		유의차 (p-value)	0.670	0.101
적중률 (Hit Rate)	디스플레이 종류	평균비교(경향성)	CRT < LCD	CRT > LCD
		유의차 (p-value)	0.440	0.026*
	주변조명의 밝기	평균비교(경향성)	Low > High	Low < High
		유의차 (p-value)	0.408	0.051
오보율 (False Alarm Rate)	디스플레이 종류	평균비교(경향성)	CRT > LCD	CRT < LCD
		유의차 (p-value)	0.432	0.116
	주변조명의 밝기	평균비교(경향성)	Low > High	Low > High
		유의차 (p-value)	0.447	0.118

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

4.1.1 응답시간 특성

텍스트와 아이콘 검색작업 모두의 경우에 응답시간은 CRT가 TFT-LCD에 비해 짧은 것으로 나타났다. 디스플레이 종류에 따른 응답시간의 평균차를 검정한 결과 텍스트 검색작업에서는 유의차가 없었으며 아이콘 검색작업에 있어서는 통계적 유의차가 존재하는 것으로 나타났다. 한편, 조명조건의 변화에 따른 응답시간의 차이를 분석한 결과 텍스트와 아이콘 검색작업 모두에서 주변조명이 어두운 경우가 밝은 경우에 비해 평균적인 응답시간이 짧은 것으로 나타났으나, 그 평균차가 통계적으로 유의할만한 수준은 아니었다.

그림 6은 시각작업 수행조건의 변화에 따른 응답시간의 평균적 변화를 나타낸 것이다.

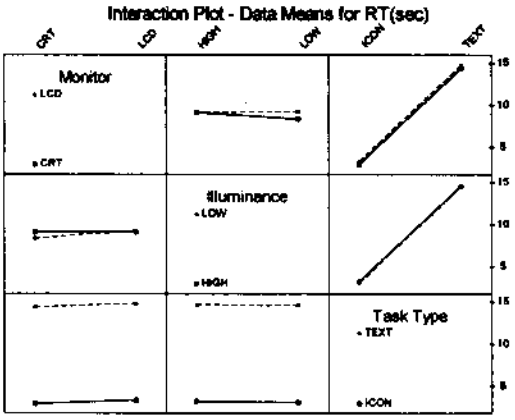

그림 6. 정화상에서 작업조건의 변화에 따른 응답시간의 평균적 변화특성

4.1.2 적중률 특성

텍스트 검색작업에서는 TFT-LCD가 CRT에 비해 다소 높은 적중률을 나타냈으나 이들 간에 통계적 유의차는 발견할 수 없었다. 아이콘 검색작업에서는 CRT가 TFT-LCD가 보다 높은 적중률을 나타냈으며, 이들의 평균차는 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. 이는 검색작업의 적중률에 있어서 디스플레이 종류와 작업내용간에 명백한 교호작용이 존재함을 나타내주는 결과이다. 한편, 주변조명의 밝기와 디스플레이 종류에 따른 적중률의 특성을 분석한 결과 CRT는 주변조명이 어두운 경우에 높은 적중률을 나타낸 반면, TFT-LCD의 경우에는 주변조명이 밝은 경우에 적중률이 높은 특성을 나타냈다. 또한, 조명조건의 변화에 따른 적중률의 변화여부를 분석한 결과 텍스트 검색작업에서는 주변조명이 어두운 경우에, 아이콘 검색작업에서는 주변조명이 밝은 경우에 적중률이 높은 것으로 나타났다. 그러나, 조명조건에 따른 적중률의 평균차는 양쪽 작업조건 모두에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 그림 7은 시각작업 수행조건의 변화에 따른 적중률의 평균적 변화를 나타낸 것이다.

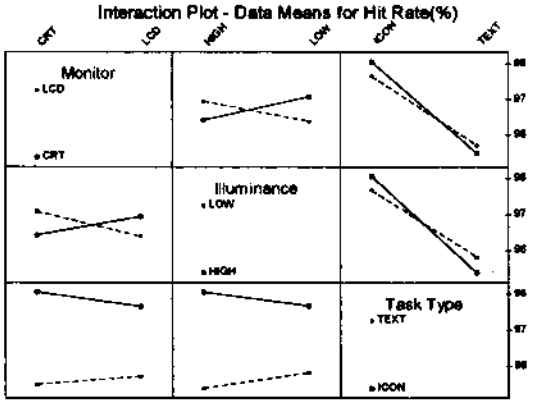

그림 7. 정화상에서 작업조건의 변화에 따른 적중률의 평균적 변화특성

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

4.1.3 오보율 특성

아이콘 검색작업이 평균적으로 응답시간이 짧았음에도 불구하고 텍스트 검색작업에 비해 높은 오보율을 나타냈다. 또한, 텍스트 검색작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 다소 높은 오보율을 나타냈으나, 아이콘 검색작업에 있어서는 TFT-LCD가 CRT에 비해 높은 오보율을 나타냄으로써 디스플레이 종류와 작업조건간에 교호작용이 존재하는 것으로 분석되었다. 그러나, 각 작업조건에서 디스플레이 종류에 따른 오보율의 평균차는 통계적으로 유의할만한 수준은 아니었다. 한편, 조명조건의 변화에 따른 오보율의 특성변화를 분석한 결과 텍스트와 아이콘 검색작업 모두 주변조명이 어두운 경우가 밝은 경우에 비해 높은 오보율을 나타냈으나, 이 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다. 조명수준의 변화에 따른 오보율의 변화에 있어서는 TFT-LCD가 CRT에 비해 보다 민감한 반응을 나타냈다.

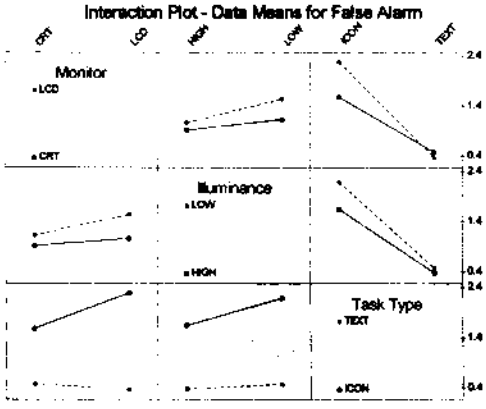

그림 8. 정화상에서 작업조건의 변화에 따른 오보율의 평균적 변화특성

그림 8은 시각작업 수행조건의 변화에 따른 오보율의 평균적 변화를 나타낸 것이다.

4.1.4 정화상에서의 연구결과 고찰

이상의 연구결과를 종합해 볼 때 본 연구를 통해 규명하고자 했던 기본가설 중 수행되는 작업내용에 따라 우수한 작업수행도를 나타내는 디스플레이의 종류가 서로 다를 것이라는 가설이 실험적으로 입증되었다. 즉, 실험결과로부터 통계적 유의차를 발견할 수는 없었으나 텍스트 검색작업의 경우에 응답시간과 정답률, 오보율 특성으로 평가한 시각 작업수행도에 있어서 TFT-LCD가 CRT에 비해 전반적으로 우수한 경향을 나타냈다. 또한, 아이콘 검색작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 우수한 시각 작업수행도를 나타냈을 뿐 아니라 응답시간과 정답률의 경우에는 통계적으로도 유의한 차이를 발견할 수 있었다.

본 연구에서 규명하고자 했던 우수한 휘도특성을 지닌 CRT가 TFT-LCD에 비해 주변조명수준의 변화에 보다 강한 특성을 나타낼 것이라는 두 번째 가설은 입증할 수 없었다. CRT는 주변 조명이 어두운 경우에, TFT-LCD는 주변조명이 밝은 경우에 보다 높은 시각 작업수행도를 나타냈다. 이 결과는 오히려 TFT-LCD가 주변조명의 변화에 보다 강한 특성을 지닌 것으로 잘못 해석될 수 있지만, 앞서의 분석과정에서 살펴보았듯이 이는 아이콘 검색작업 시 TFT -LCD가 높은 조명수준에서 보다 높은 적중률과 낮은 오보율을 나타낸 것에서 비롯된 결과이다. 그러나, 아이콘 검색작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD에 비

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

해 보다 우수한 특성을 나타내고 있음이 확인되었기 때문에 TFT-LCD가 높은 조명조건에 유리한 것으로 결론지을 수는 없다. 그러나, 오보율의 증가폭을 제외한 나머지 항목들에서 CRT가 TFT-LCD에 비해 주변조명 수준의 변화에 보다 강한 특성을 갖고 있다는 가설 역시 입증되지 못하였으므로, 두 디스플레이가 주변 조명수준의 변화에 동등한 수준의 적응도를 지닌 것으로 보는 것이 타당할 것이다. 다만, 시각 작업수행도를 높이기 위해서는 디스플레이 종류에 따라 주변조명 조건을 달리하는 것이 유리하다는 사실은 유의할만한 결과이다.

4.2 동화상에서의 시각 작업수행도

4.2.1 응답시간

시뮬레이터에 나타나는 도로표지판에서 임의의 낱 글자를 시인하기까지 소요된 응답시간을 측정 분석한 결과, 실험한 모든 차량 이동속도에서 TFT-LCD가 CRT에 비해 짧은 응답시간을 나타냈다. 또한, 디스플레이 종류에 따른 응답시간의 평균차에 검정결과 이들 사이에 통계적 유의차가 존재함을 확인하였다. 그림 9는 주어진 차량 이동속도에서 디스플레이 종류에 따른 응답시간의 평균적 변화를 나타낸 것이다.

4.2.2 인지시간

도로표지판의 전체적인 내용을 파악하고 주어진 목적지로 향하기 위한 전환방향을 결정하기까지 소요된 인지시간을 측정 분석한 결과 차량 이동속도가 느린 경우에는 TFT-LCD가 CRT에 비해 평균적으로 짧은 인지시간을 나타낸 반면, 이동속도가 빠른 경우에는 CRT가 TFT-LCD에 비해 평균적인 인지시간이 짧아지는 특성을 보였다. 이는 디스플레이의 종류와 동화상에서 재현되는 화상의

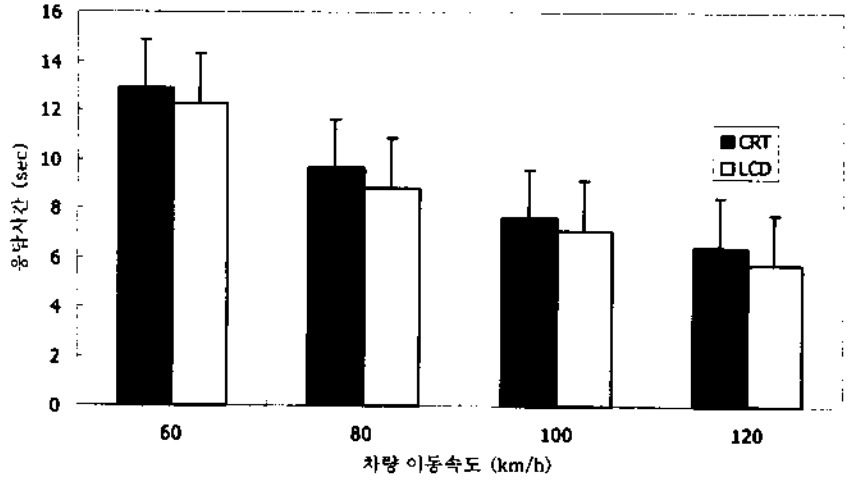

그림 9. 동화상에서 작업조건의 변화에 따른 응답시간의 평균차

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

속도간에 교호작용이 존재함을 나타내주는 결과이다. 이로 인해 전체적인 속도에서 CRT와 TFT- LCD의 인지시간에 있어서는 통계적 유의차를 발견할 수 없었다. 그림 10은 주어진 차량 이동속도에서 디스플레이 종류에 따른 인지시간의 평균적 변화를 나타낸 것이다.

4.2.3 동화상에서의 연구결과 고찰

본 실험에서 사용한 디스플레이들의 도트피치와 해상도가 동일하였음에도 불구하고 빠른 속도로 변화하는 동화상에 대한 시인과정에서 CRT가 TFT-LCD에 비해 유의하게 긴 응답시간을 나타냈다. 이는 같은 크기의 화상을 인식할 때 CRT에 비해 TFT-LCD에서 그 내용이 보다 또렷하게 인지되며, 동일한 인지도를 확보하기 위해서는 CRT에 글자나 기호를 표시할 경우 TFT-LCD에 비해 더 큰 시각을 제공해주어야 할 필요성이 있음을 나타내주는 결과이다. 이러한 결과는 CRT와 TFT-LCD의 선명도의 차이에 기인한 것으로 추정되며, 색상특성보다는 화상의 선명도가 중요한 역할을 하는 텍스트 검색작업에서 TFT-LCD가 유리한 특성을 보인 것과 일치하는 것이다.

동화상이 제공하는 정보의 인지적 처리시간에 있어서 화상의 변화폭이 작은, 낮은 속도에서는 TFT-LCD가 CRT에 비해 짧은 인지시간을 보인 반면, 화상의 변화폭이 큰, 높은 속도에서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 짧은 인지시간을 보였다. 이러한 교호작용의 원인은 CRT와 TFT-LCD의 응답속도 차이로 인해 디스플레이에서의 잔상 지속시간이 서로 다르기 때문인 것으로 추정된다. 동화상에서 제공하는 정보의 변화속도에 따라 잔상이 인지적 처리과정에 정효과와 부효과를 각각 미칠 수 있는데, 화상의 변화속도나 폭의 크기가 작으면 잔상효과로 인해 인지처리과정이 용이해지는 반면 그와 반대의 경우 잔상으로 인해 작업의 난이도가 증가하는 것으로 해석된다.

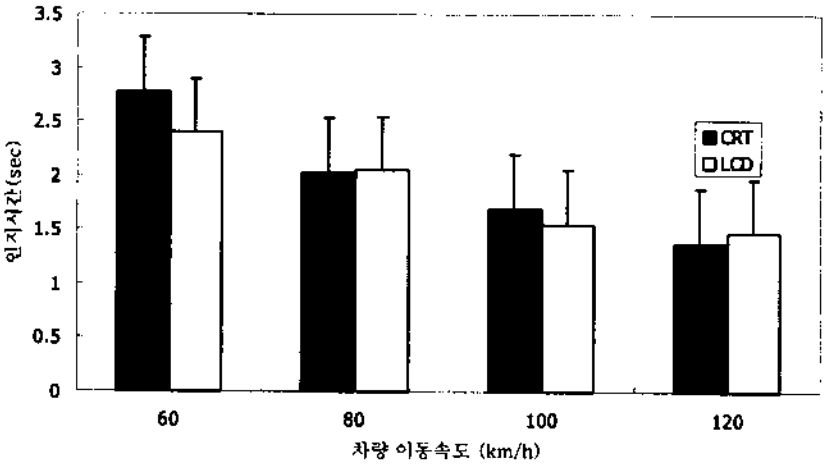

그림 10. 동화상에서 작업조건의 변화에 따른 인지시간의 평균차

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

4.3 안피로도

시각 작업과정에서 작업수행조건에 따라 발생하는 안피로도의 크기변화를 정량적으로 분석하기 위하여 3장에서 언급했던 바와 같이 조절작용의 시간지연, 조절폭, 조절속도와 같은 세 가지 조절력 특성의 변화를 비교, 분석하였다. 작업 수행 이전과 250분간의 작업 수행을 마친 후에 각각 조절력의 특성을 측정하여 그 차이를 통해 안피로도를 정량적으로 분석하였다. 표 2는 작업수행 전후에 나타난 안피로도 평가지표들의 변화양상과 통계적 유의차 검정결과를 종합하여 정리한 것이다.

표 2. 안피로도 평가지표에 대한 통계적 분석결과

측정항목 / 비교대상	지연시간	조절폭	조절속도 (기울기)
디스플레이 종류	CRT > LCD *	CRT > LCD	CRT < LCD
주변조명의 밝기	Low < High	Low > High *	Low < High

4.3.1 조절작용의 시간지연 증가

조절작용 시에 발생하는 시간지연의 정도를 분석한 결과 예상했던 바와 같이 작업수행 이전에 비해 작업수행 이후에 시간지연이 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 주변조명 수준에 따른 영향을 분석한 결과 밝은 조명조건에서 작업을 수행한 경우가 어두운 조명조건에서 작업을 수행한 경우에 비해 평균적으로 큰 조절작용 시간지연이 발생하였으나, 그 평균차에서 통계적 유의성은 발견할 수 없었다. 한편, 작업에 사용한 디스플레이의 종류에 따른 조절작용 시간지연 정도의 차이를 분석한 결과 CRT를 이용하여 작업을 수행한 경우가 TFT-LCD를 이용하여 작업을 수행한 경우에 비해 보다 큰 시간지연이 발생하였으며, 그 평균차가 통계적으로 유의하였다.

4.3.2 조절폭의 감소

조절폭의 감소에 있어서도 작업수행 이전에 비해 작업수행 이후의 감소폭이 증가하는 경향이 나타나 작업수행 과정에서 어느 정도의 안피로가 발생하였음을 확인할 수 있었다. 주변조명 수준이 조절폭의 감소에 미치는 영향을 분석한 결과, 밝은 조명조건에서 작업을 수행한 경우가 어두운 조명조건에서 작업을 수행한 경우에 비해 평균적으로 큰 조절폭의 감소가 발생하였으며, 그 평균차가 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. 한편, 작업에 사용한 디스플레이의 종류에 따른 시간지연 정도의 차이를 분석한 결과 CRT를 이용하여 작업을 수행한 경우가 TFT-LCD를 이용하여 작업을 수행한 경우에 비해 보다 작은 조절폭 감소가 발생한 것으로 나타났으나, 그 평균차에서 통계적 유의성은 발견할 수 없었다.

4.3.3 조절속도(기울기)의 감소

작업수행 이전과 이후의 조절속도(기울기)의 변화를 분석한 결과 예상과 달리 일관성 있는 결과가 도출되지는 않았다. 주변조명 수준이 조절속도의 감소에 미치는 영향을 분석한 결과 밝은 조명조건에서 작업을 수행한 경우에 어두운 조명조건에서 작업을 수행한 경우보다 오히려 평균적으로 작은 조절속도의

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

감소가 발생하였으나, 그 평균차가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 한편, 작업에 사용한 디스플레이의 종류에 따른 조절속도의 감소정도를 분석한 결과 CRT를 이용하여 작업을 수행한 경우가 TFT-LCD를 이용하여 작업을 수행한 경우에 비해 보다 큰 조절속도의 감소가 발생한 것으로 나타났으나, 그 평균차에서도 통계적 유의성은 발견할 수 없었다.

4.3.4 안피로도 평가결과에 대한 고찰

본 연구결과를 컴퓨터 디스플레이를 이용한 시각작업과정에서 안피로도의 정량적 분석을 위해 조절력의 변화특성을 이용할 수 있음을 다시 한번 확인하였으며, 본 연구에서 도입한 조절력 특성과 관련된 세 가지 측정변수들 중에서는 조절작용의 시간지연과 조절폭의 변화가 조절속도의 변화보다 시각작업조건에 보다 민감하게 반응하는 지표인 것으로 분석되었다. 또한, 조절작용의 시간지연 정도를 통해 TFT-LCD가 CRT에 비해 전반적으로 작은 안피로를 유발함을 확인함으로써 TFT-LCD가 CRT에 비해 안피로에 강한 특성을 지니고 있음을 확인하였다. 또한, 조절폭 감소정도의 분석을 통해 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 더욱 큰 안피로를 유발한다는 사실을 확인하였다. 이 결과와 앞서 조명조건의 변화에 따른 시각 작업수행도의 변화결과를 종합하면 다음과 같이 해석된다. 조명수준의 변화에 따른 적중률과 오보율 특성에서 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 더 높은 작업수행도를 나타낸 것은 주변조명이 밝은 경우에 작업의 난이도가 상승하면서 작업자들이 작업에 보다 집중하였기 때문이며, 이로 인해 응답시간의 증가와 안피로의 증가가 발생한다.

5. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 컴퓨터 사용과정에서 발생하는 시각작업의 수행도와 안피로 발생정도를 기준으로 향후 데스크탑용 컴퓨터 디스플레이 시장을 양분할 것으로 예상되는 CRT와 TFT-LCD의 특성을 비교, 분석해 보았다. 본 연구에서는 두 디스플레이 기술의 전반적인 우위를 평가하기보다는 작업조건 즉, 제품의 사용조건에 따른 상대적 적합성을 실험적으로 규명하는데 보다 큰 비중을 두었다. 연구결과에 대한 분석을 통해 본 연구에서 규명하고자 했던 기본가설들에 대한 타당성 검증을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 현재의 디스플레이기술 수준에서는, 시각 작업수행도에 있어 디스플레이의 종류와 수행작업 내용간에 교호작용이 존재하며, 해상도와 직선성이 뛰어난 TFT-LCD가 CRT에 비해 문자위주의 텍스트작업에 보다 적합한 반면, 시야각과 색표현력이 뛰어난 CRT가 TFT- LCD에 비해 아이콘 중심의 그래픽작업에 보다 적합하다.

둘째, 시작업 수행과정에서 주변의 조명수준은 작업수행도와 안피로도에 유의한 영향을 미친다. 컴퓨터 디스플레이를 이용한 시각작업에 있어 주변조명이 밝으면 어두운 경우에 비해 작업수행시간과 안피로가 증가하는 부효

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

과가 발생하나 긴장도가 높아져 적중률의 증가, 오보율의 감소와 같은 정효과를 동반한다. 한편, 휘도특성이 TFT-LCD에 비해 뛰어난 것으로 알려진 CRT가 주변조명의 변화에 보다 강할 것으로 기대되었지만 TFT- LCD도 동등한 수준의 적응력을 지니고 있다.

셋째, 디스플레이의 선명도와 응답속도 차이로 인해 동화상 처리과정에 있어서 화상의 특성에 따라 서로 다른 시각 작업수행도를 보인다. CRT는 TFT-LCD에 비해 보다 큰 화상을 필요로 하지만 화상의 빠른 변화에 높은 적응력을 보인다. TFT-LCD는 CRT에 비해 같은 크기의 화상을 보다 또렷하게 재현하지만 빠르게 변화하는 화상을 재생하는데는 취약한 측면이 있다. 넷째, 디스플레이의 광학적 특성차로 인해 시각작업과정에서 발생하는 안피로 수준이 서로 다르며, 전반적으로 TFT-LCD가 CRT에 비해 작은 안피로를 유발한다.

기존 연구결과들과 본 연구결과를 종합해 볼 때 CRT나 TFT-LCD와 같이 서로 다른 광학적 특성을 지닌 디스플레이의 성능을 비교, 분석할 경우에는 평가자 개인취향에 의한 영향을 배제하고, 수행도 위주의 객관적 평가방법론을 동원하더라도 평가작업의 내용과 평가환경에 따라 서로 다른 결과가 나타날 수 있음을 알 수 있다. 특히, 빠른 속도로 발전하고 있는 디스플레이 분야의 기술특성상 모든 평가조건에서 절대적인 기술우위를 계속 고수하기란 매우 어려우므로, 제품의 단순한 우열을 가리기 위한 평가보다는 보다 다양한 실제 사용조건에서 성능을 중심으로 한 제품평가와 그에 따른 시장공유 방안이 모색되어야 할 것이다. 또한, 평가결과 나타난 특성차에 대한 통계적 유의차보다는 실질적인 의미를 파악하는 것이 더욱 중요하며, 전반적인 경향성의 해석에도 유의할 필요가 있다. 본 연구에서 채택한 방식처럼 작업수행도와 안피로도를 기준으로 디스플레이를 평가한다면 다음과 같은 제품선택기준을 제안할 수 있을 것이다.

첫째, 난이도가 높고, 정확도가 요구되는 시각작업의 경우에는 작업특성과 조건에 적합한 디스플레이를 선택하여 사용할 필요가 있다. 현재의 기술수준을 기준으로 할 때 그래픽 작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 유리한 측면이 있으며, CRT를 이용할 경우에는 주변조명을 낮추고 작업을 수행하는 것이 보다 바람직하다. TFT-LCD를 이용하여 정확도가 요구되는 그래픽작업을 수행할 경우에는 수행시간이 다소 늘어나고, 안피로가 유발될 수는 있지만 주변조명을 밝게 해주는 것이 정확도를 높이는데 도움이 된다.

둘째, 동화상 환경에서의 시작업에 있어서도 작업의 특성에 따라 적합한 디스플레이를 선택하여 사용할 필요가 있다. 화상의 변화속도가 빠르고, 내용의 변화폭이 큰 시각작업에 있어서는 잔상효과가 작은 CRT가 유리하다. 반면, 화상의 변화속도가 느리고, 변화폭이 작으며 인지과정에서 잔상효과에 대한 의존도가 높은 작업에서는 TFT-LCD가 유리하다.

셋째, 화상에서 제공하는 글자나 기호에 대한 식별성이 중요한 작업에 있어서는 선명도가 높은 TFT-LCD가 유리한 측면이 있다. 반면, 화상에서 제공하는 색상의 재현성이나 자연스러움이 중요한 작업에서는 CRT가 유리한 측면이 있다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

본 연구에서는 컴퓨터 사용환경에 익숙한 20대 대학생들을 대상으로 실험한 결과를 바탕으로 결론이 도출되었다. 따라서, 컴퓨터 사용경험에서 차이가 있는 보다 다양한 연령층을 대상으로 실험을 실시할 경우 결과에 차이가 있을 수 있다. 특히, 안피로도의 경우에는 노년층을 대상으로 할 경우 보다 민감한 연구결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 화상에 대한 변별력을 기준으로 한 검색작업 위주로 시각 작업수행도를 평가하였다. 그러나, 향후에는 컴퓨터 디스플레이를 이용한 시각작업에 있어서 인터넷 TV, 웹(web) 기반 전자상거래 등에서 이용되는 전자 카탈로그 등과 같이 디스플레이를 통해 재현된 색상정보의 중요성이 더욱 증대될 것으로 예상되므로 색상의 재현성과 관련된 추가적 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 컴퓨터 디스플레이를 이용한 작업내용을 일반 사무환경에서의 이용으로 국한하였으나, 생산현장에서 공정제어 등에 사용되는 경우와 같이 보다 다양한 용도에서의 추가적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

이종덕 외, 디스플레이 공학 I, 청범출판사: 서울, 2000.

이상훈, 추성훈, "FPD에 대응한 CRT의 최근 기술동향 및 전망", 한국정보디스플레이학회지, 2(5), 12-19, 2001.

이이상, "액정 TV의 현황 및 전망", 한국정보디스플레이학회지, 2(1), 25-29, 2001.

장진, "TFT-LCD 산업 경쟁력 향상 방안", 한국정보디스플레이학회지, 2(1), 9-16, 2001.

한수덕, "CRT 시장과 기술, 그리고 향후 전망", 한국정보디스플레이학회지, 2(5), 6-11, 2001.

松本正一, 전자 디스플레이, 성안당: 서울, 1998.

中村芳知 등, "高輝度マルチメディアブラウン管 (17形 Diamondtron M2管) の開發", 月刊ディスプレイ, '01 7月号, 23-28, 2001.

Bastien J.M.C. et. al., "The Ergonomic Criteria and the ISO/DIS 9241-10 Dialogue Principles: A Pilot Comparison in an Evaluation Task", Interacting with Computers, 11, 299-322, 1999.

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

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

Chi, C.F. and Lin, F.T., "A Comparison of Seven Visual Fatigue Assessment Techniques in Three Data-Acquisition VDT Tasks", Human Factors, 40(4), 577-590, 1998.

Grandjean, E., Ergonomics in Computerized Offices, Taylor & Francis: London, 1987.

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

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

MacKenzie, I.S. et. al., "Effects of Output Display and Control-Display Gain on Human Performance in Interactive Systems", Behaviour and Information Technology, 13(5), 328-337, 1994.

Menozzi, M. et. al., "CRT versus LCD: A Pilot Study on Visual Performance and Suitability of Two Display Technologies for Use in Office Work", Displays, 20, 3-10, 1999.

Menozzi, M. et. al., "CRT versus LCD: Effects of Refresh Rate, Display Technology and Background Luminance in Visual Performance", Displays, 22, 79-85, 2001.

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

Saito, S. et. al., "Physiological Indices of Visual Fatigue due to VDT Operation: Pupillary Reflexes and Accommodative Responses", Industrial Health, 32, 57-66, 1994.

Saito, S. et. al., "Visual Comfort using Different VDT Screens", International Journal of Human-Computer Interaction, 5(4), 313-323, 1993.

Sanders, M.S. and McCormick, E.J., Human Factors in Engineering and Design, 7th Ed., McGraw-Hill, 1993.

저자 소개

◈ 김상호

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

◈ 최경임

이화여자대학교 물리학과를 졸업하고, 포항공과대학교에서 기계공학 석사, 산업공학 박사학위를 취득하였다. 관심분야는 생체역학, 제품설계, 감성공학 등이다.

논문접수일 (Date Received): 2002/1/25
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/4/16

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.