



데스크탑용 CRT와 TFT-LCD의 시인특성에 대한 인간공학적 평가

장 성 호, 김 상 호(금오공과대학교 신소재시스템공학부)

I. 서 론

최근 노트북이나 랩탑(laptop)과 같은 휴대용 컴퓨터의 모니터로 주로 사용되어오던 평판형 디스플레이(flat panel displays, FPD)인 TFT-LCD의 응용범위가 점차 확대되면서 브라운관 방식의 CRT 디스플레이가 독점해오던 데스크탑용 컴퓨터 모니터 시장을 빠른 속도로 잠식해오고 있는 추세이다. TFT-LCD는 얇고 가벼우며, 소비전력이 매우 낮고, 전자파의 발생이 적으며, CRT 디스플레이에 비해 상대적으로 깨끗한 화상을 구현할 수 있을 뿐 아니라 중심부와 코너부의 선명도 편차가 작다는 장점으로 인해 상대적으로 높은 가격에도 불구하고 가파른 신장세를 나타내고 있다. 그러나, TFT-LCD의 단점으로 시야각에 따라 발생하는 화질 및 색감의 저하 현상과 낮은 휘도, 느린 응답속도 등이 지적되고 있으며, 이러한 기술적 난제를 극복하고 생산공정의 단순화를 통해 원가를 절감함으로써 가격경쟁력을 확보하기 위한 연구개발 노력이 계속되고 있다. 한편, CRT 디스플레이의 경우에도 문제점으로 지적되고 있는 중심부와 코너부의 선명도 및 색상의 비균일성을 극복하고 선명도를 보다 제고시키며, 화면크기는 대형화하되 제품의 부피를 줄이고, TFT-LCD 대비 가격 경쟁력을 유지함으로써 기존 시장점유율을 고수하기 위한 제품개선 노력을 경주하고 있다. 이러한 제품개선 노력에 따라 최근의 CRT 디스플레이는 기존 곡률형의 단점이 개선된 평면형으로 급속히 이행되고 있는 추세이다. 따라서, 향후의 데스크탑용 모

니터 시장에 있어서는 또 다른 형태의 새로운 디스플레이 디바이스가 등장하는 시점까지 평면 CRT와 TFT-LCD가 각축을 벌일 것으로 예상된다. 또한, 향후 폭발적인 시장성장이 예상되는 디지털 HDTV 및 쌍방향 인터넷 TV 시장에서도 기존의 CRT나 TFT-LCD는 물론 PDP 등과 같은 신종 디스플레이들의 치열한 시장점유 경쟁이 불가피할 것으로 예상된다. 따라서, 경쟁 디스플레이 디바이스들과의 품질특성 차별화를 통해 가격결정력을 지닌 고부가가치 제품을 개발하고 신규수요를 계속적으로 창출하기 위한 연구노력이 제조업체들에게 절실히 요구된다. 특히, 디스플레이 디바이스 분야에서의 기술개발 속도가 가속화 됨에 따라 EL, FED 등과 같은 신소재들을 이용한 신종 디스플레이 디바이스의 제품화 및 상용화가 예상보다 조기에 가시화 되고 있으며, TFT-LCD의 시장수명이 당초의 예상에 비해 크게 단축될 것으로 예견되는 등 신기술이나 신제품 개발을 위한 투자에 있어 위험부담이 매우 큰 상황이다. 따라서, 소비자들의 욕구를 정확히 파악하여 보다 효율적인 기술개발 전략을 수립하고, 제품개발 기간을 단축하기 위한 방안이 모색되어야 할 것이다.

디스플레이와 같은 소비제품에 대한 품질 또는 성능에 대한 평가가 사용자 중심으로 이루어져야 함은 자명하지만 현재까지의 평가는 대부분 생산자가 설정한 제품의 설계특성에 대하여 생산된 제품의 일치도를 검사하는 생산자 중심적 방식으로 진행되어 왔다. 그러나, 광학 측정장치에 의한 평가결과와 인간의 육안에 의한 감성평가 결과

사이에 상당한 불일치가 존재한다는 사실은 이미 여러 연구결과를 통해 입증된 바 있다. 따라서, 점차 심화되는 시장경쟁 속에서 다양한 소비자들의 요구를 충족시키기 위해서는 제품의 실제 사용환경 하에서 이루어지는 소비자 중심적 평가방식으로의 패러다임 전환이 필수적으로 수반되어야 한다. 기존의 CRT 디스플레이와 관련된 제품평가 기준인 ISO 9241은 물론 ISO 13406이나 TCO 99와 같은 평판형 디스플레이에 대한 국제적 품질규격들에 있어서 인간공학적 제품평가의 중요성이 강조되고 있다는 점이 이를 뒷받침한다. 사용자 또는 소비자 중심의 제품평가에 대한 당위성에도 불구하고 현재 디스플레이 제조업체들이 이러한 방식을 채택하는데 어려움을 겪고있는 주된 이유는 인간의 감성이란 대단히 복잡한 특성을 지니고 있어 이를 객관적으로 평가할 수 있는 정량적 방법론을 개발하는 것이 현실적으로 매우 난해한 작업이기 때문이다. 또한, 제품의 품질에 대한 감성적 평가 또는 선호도란 매우 주관적인 특성을 지니고 있기 때문에 평가자의 개인차에 따라 일관적이지 못한 결과가 도출된다는 점이 문제를 더욱 복잡하게 만들고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제품의 사용과정에서 나타나는 품질특성의 영향을 보다 객관적인 형태로 평가할 수 있는 인간/감성공학적 평가시스템이 개발되어 현장에 도입되어야 할 필요성이 크다.

이상과 같은 맥락에서 본 연구에서는 시각작업 과정에서 발생하는 작업수행도와 안피로도의 차이를 기준으로 현재의 기술수준에서 향후 데스크탑용 모니터 시장을 주도할 것으로 예상되는 완전평면 CRT와 TFT-LCD를 정량적으로 비교, 평가해 보았다. 본 연구와 관련된 기존 연구들을 살펴보면 CRT와 TFT-LCD를 이용한 시각작업의 수행도 평가결과가 서로 일치하지 않는 문제점을 안고 있다. 뿐만 아니라, 양쪽 디스플레이 기술이 현재수준에 비해 현저히 떨어지는 과거시점에 비교가 이루어졌으며, 시각작업 수행도를 평가하기 위해 채택한 작업이 실제 VDT 사용과정에서는 거의 나타나지 않는 비현실적인 내용으

로 구성되었다는 점도 추가적인 연구의 필요성을 뒷받침한다. Mackenzie 등(1994)은 화면에 나타난 target을 검색한 후 마우스를 이용해 선택하는 작업에서 LCD가 CRT보다 작업완수 시간이 34%나 더 소요된다는 결과를 발표하였다. Satio 등(1993)은 다양한 디스플레이를 이용해 여러 가지 시각기능을 수행하는 과정에서, CRT를 이용한 경우가 LCD나 PDP에 비해 보다 빠른 시각적 조절작용(visual accommodation)이 이루어진다는 결과를 발표하였다. 한편, 비교적 최근에 Menozzi 등에 의해 보고된 두 번의 연구결과에서는 LCD가 CRT에 비해 우수한 시 작업 수행도를 나타내는 것으로 보고되었으나, 동일한 연구자에 의해 진행된 연구임에도 불구하고, 연구결과에 상당한 불일치가 존재한다. Menozzi 등(1999)이 진행한 첫 번째 실험에서는 14인치 일반형 CRT와 10.4인치 노트북용 STN급 LCD가 비교대상이었으며, 작업내용은 화면에 제시된 두 가지 영문자 'E'와 'F'들 중 target으로 지정된 'F'를 골라내는 것이었다. 작업에 따른 반응시간과 에러를 분석한 결과 LCD를 이용한 경우가 CRT를 이용한 경우에 비해 유의하게 짧은 반응시간을 나타냈을 뿐 아니라 에러도 34% 정도 적게 유발하는 것으로 나타났다. 한편, 동일한 실험내용을 데스크탑용 15인치 TFT-LCD와 17인치 일반형 CRT를 이용해 재현한 Menozzi 등(2001)의 후속연구에서는 앞서의 연구결과와는 달리 반응시간에 있어서는 두 디스플레이 간에 유의한 차이가 없으며, TFT-LCD가 CRT에 비해 22% 정도 적은 에러를 유발하는 것으로 보고되었다. 이 결과에서 과거에 비해 크게 개선된 TFT-LCD를 이용하여 작업을 진행하였음에도 불구하고 CRT와의 시각작업 수행도 차이가 오히려 줄어든 점은 주목할 만하다. 또한, 이 연구에서 보고된 LCD와 CRT의 에러의 차이는 일반적인 사무환경에서 수행되는 작업내용과 실험에서 수행한 작업내용의 차이를 고려해 볼 때 다소 과장되게 해석될 수 있음에도 유의할 필요가 있다.

이상과 같은 과거 연구결과들을 바탕으로 본

연구에서는 보다 개선된 최신의 디스플레이 기술로 제조된 CRT와 TFT-LCD를 이용하여 보다 일반적인 사무작업 특성을 반영한 작업을 수행하는 과정에서 발생하는 시각작업 수행도의 차이와 작업과정에서 발생하는 안피로도를 비교, 분석하였다. 특히, 본 연구는 이들 디스플레이 기술들을 비교하여 단순한 기술적 우열을 가리기 보다는, 현재의 기술수준에서는 수행되는 작업의 특성에 따라 그 작업에 보다 적합한 디스플레이의 종류가 달라질 수 있다는 가정 하에 진행되었다. 이러한 가정을 규명하기 위한 방안의 일환으로 과거에 비해 크게 늘어나고있는 그래픽 작업의 비중을 고려하여 기존연구에서 다루어지지 않은 그래픽 작업에 있어서의 시각작업 수행도를 평가해보았다. 본 연구의 목적은 디스플레이의 평가에 있어 물리적 설계특성치들을 중심으로 한 기존의 품질평가방식에서 벗어나 다양한 작업조건 하에서 사용자 중심의 품질특성 평가를 실시함으로써 제조업체에 VDT의 특성에 따른 사용상의 비교우위 및 취약정보를 제공하며, 사용자로 하여금 직무특성에 적합한 VDT 종류를 결정할 수 있는 비교근거를 제시해 보고자 하는 것이다.

II. 연구방법

1. 기본가설

서론을 통해 정리된 연구목적에 따라, 본 연구를 통해 규명해 보고자 하는 내용들을 통계적으로 검정이 가능한 가설형태로 정리하면 다음과 같다.

(1) 디스플레이의 광학적 특성차로 인해 수행되는 작업의 특성에 따라 우수한 작업수행도를 나타내는 디스플레이의 종류가 서로 달라질 것이다. 즉, 해상도와 직선성이 뛰어난 TFT-LCD가 CRT에 비해 문자위주의 텍스트작업에 적합할 것이며, 시야각과 색표현력이 뛰어난 CRT가 TFT-LCD에 비해 ICON 중심의 그래픽작업에 보다 적합할 것이다.

(2) 디스플레이의 휘도특성 차이로 인해 작업 수행 시 주변조명 수준에 따라 나타나는 시각작업 수행도의 변화정도에 차이가 있을 것이다. 즉, 휘도특성이 뛰어난 CRT가 TFT-LCD에 비해 주변 조명의 변화에 보다 강한 특성을 보일 것이다.

(3) 시각작업 과정에서 발생하는 안피로에 있어 디스플레이의 광학적 특성차가 유의한 영향을 미칠 것이다. 즉, 방반사 특성이 우수한 TFT-LCD가 CRT에 비해 전반적으로 작은 안피로를 유발할 것이다.

2. 실험계획 및 내용

앞서 도입한 기본가설을 실험적으로 입증하기 위하여 시각작업 과정에 영향을 미칠 것으로 예상되는 디스플레이의 종류, 작업(화면의 구성) 내용, 주변조명의 밝기를 독립변수로 결정하고, 시각작업 수행도와 안피로도를 종속변수로 하는 실험을 구성하여 수행하였다. 실험과정에서 수행한 시각작업은 기존 연구에서 일반적으로 이용된 시각탐색작업으로 하되, 보다 일반적이고 실제적인 사무작업 특성이 반영되도록 노력하였다. 즉, TEXT 작업의 경우 무의미하게 나열된 글자나 단어 중 target을 검색하는 대신 문장형태로 제시되는 지문을 읽고 지문 속에서 target으로 제시된 해당 단어를 검색하도록 하였다(<그림 2> 참조). 또한, 그래픽 작업에 있어서의 시각작업 수행도를 평가하기 위하여 TEXT 검색작업 이외에 ICON 검색작업을 함께 진행하였는데, 작업 내용은 스프레드 시트 형태로 제시된 ICON들 중 target으로 제시된 ICON을 찾아내는 것이었다(<그림 3> 참조).

작업과정에서 안피로가 발생하도록 하기 위하여 총 250분간의 시각탐색 작업을 수행하였는데 단조감으로 인한 작업수행도의 급격한 저하를 막기 위하여 전체실험을 4part로 구성하여 각 part에서 40분간 탐색작업을 수행하고 그 사이에는 30분간씩 컴퓨터 게임을 실시하도록 하였다. 작업과정 중 TEXT화면과 ICON화면은 무작위순으로 제시되었으며, 한 화면에서 주어진 target

을 모두 찾았다고 판단하면 작업자 스스로 다음 화면으로 이동하는 self-paced 방식으로 진행되었다.

디스플레이 종류로는 15인치 TFT-LCD와 17인치 완전평면 CRT를 이용하였으며, 모니터 크기의 불일치를 해소하기 위해 검색작업에 사용되는 화면의 크기와 화면에 제시되는 개체의 크기를 동일하게 조절하였다. 또한, 디스플레이의 휘도는 화면 중앙의 흰색 민무늬 바탕에서 측정하였을 때 100cd/m²가 되도록 동일하게 조절하였다.

주변 조명의 밝기 변화에서 낮은 수준은 VDT 작업에 추천되는 수준인 300lux로, 높은 수준은 사무환경에 적합한 수준인 1200lux로 결정하였다.

피실험자로는 광학적 특이성을 나타내지 않는 사람들로써 컴퓨터와 마우스의 사용에 익숙한 대학생 8명이 선발되었다. 피실험자들은 본 실험에 앞서 충분한 교육과 훈련(16시간)을 받음으로써 실험과정에 나타날 수 있는 학습효과를 배제할 수 있도록 하였다. 또한, 본 연구에 있어 개인차는 분석의 대상이 아니었기 때문에 모든 피실험자가 모든 실험조건에서 작업을 수행하는 Within-Subjects 실험계획을 사용하였으며, 실험순서는 피실험자별로 완전히 랜덤화하여 실시하였다.

3. 시작업 수행도의 평가

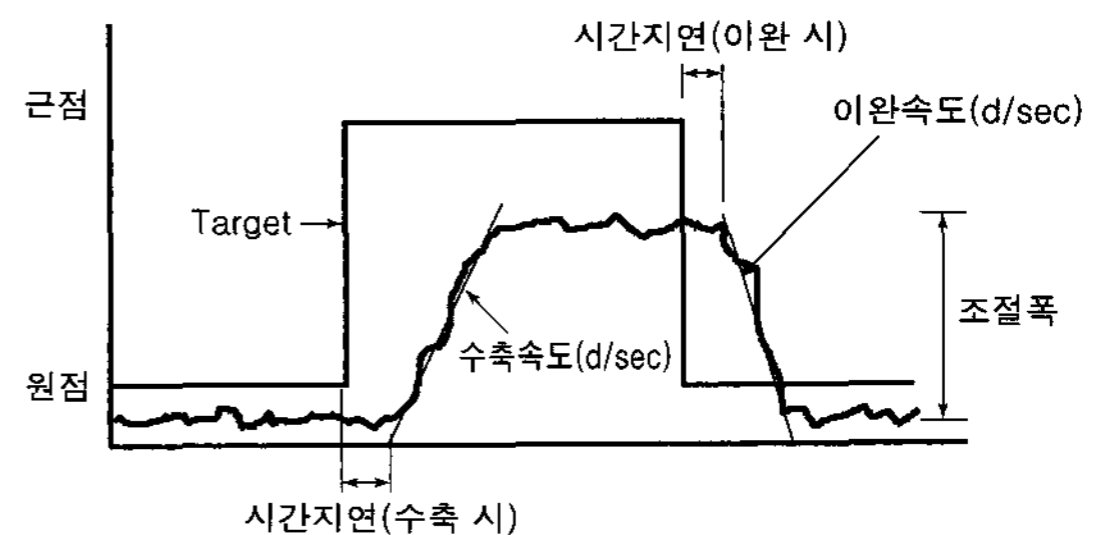
작업수행도란 주어진 작업을 얼마나 빠르고 정확하게 수행하는가를 평가하는 것이므로 본 연구에서는 응답시간, 적중률, 오보율의 3가지 측정변수들을 도입하여 시작업 수행도를 평가하였으며, 각 측정변수에 대한 조작적 정의는 다음과 같다.

- (1) 응답시간(Response Time, sec) : 주어진 화면에서 target을 검출하는데 소요된 평균 시간
- (2) 적중률(Hit Rate, %) : 주어진 화면에서 주어진 개체들 중 정확히 target을 검출해낸 비율
- (3) 오보율(False Alarm Rate, %) : 주어진 화면에서 target이 아닌 개체를 target으로

오인한 비율

4. 안피로의 평가

작업수행과정에서 발생하는 안피로의 크기를 정량적으로 평가하기 위해 안피로 관련 지표로서 비교적 민감도가 높은 것으로 알려진 조절력의 변화를 측정, 평가하였다. 조절력의 측정에는 Nidek사에서 제작한 AA-2000 accommodometer가 사용되었다. AA-2000은 피실험자가 인식해야 될 target의 위치를 일정시간 간격을 두고 원점과 근점으로 교차 이동시킴으로써 안구의 조절작용을 유발하면서 조절작용의 시간지연, 조절폭, 조절속도 등의 안피로관련 지수들을 측정할 수 있도록 고안된 정밀측정 장비이다. 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 이 시간지연이 증가하는 특성을 나타낸다. 조절폭(단위: Diopter)이란 target의 위치변화에 따라 발생하는 굴절력의 변화폭을 나타내는 것으로서, 안피로가 누적되면 조절폭이 감소하는 것이 일반적이다. 조절속도(단위 Diopter/sec)란 조절폭을 조절작용이 시작된 이후부터 굴절력이 안정될 때까지의 조절시간으로 나누어준 기울기의 개념으로서, 안피로가 누적되면 조절속도가 감소하는 것이 일반적이다. <그림 1>은 accommodometer를 이용하여 측정 가능한 조절력 관련 변수들도식적으로 나타낸 것이다.



<그림 1> Accommodometer를 이용한 안피로도 분석 시 측정가능한 조절력 관련 변수들

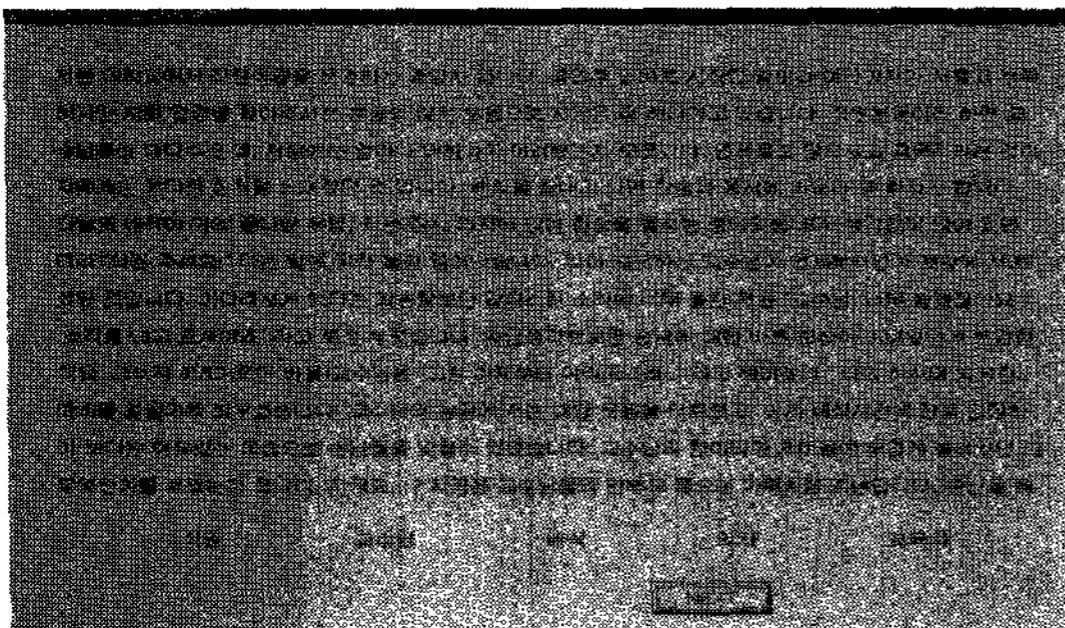
III. 연구결과 및 고찰

1. 1차 실험내용 및 결과

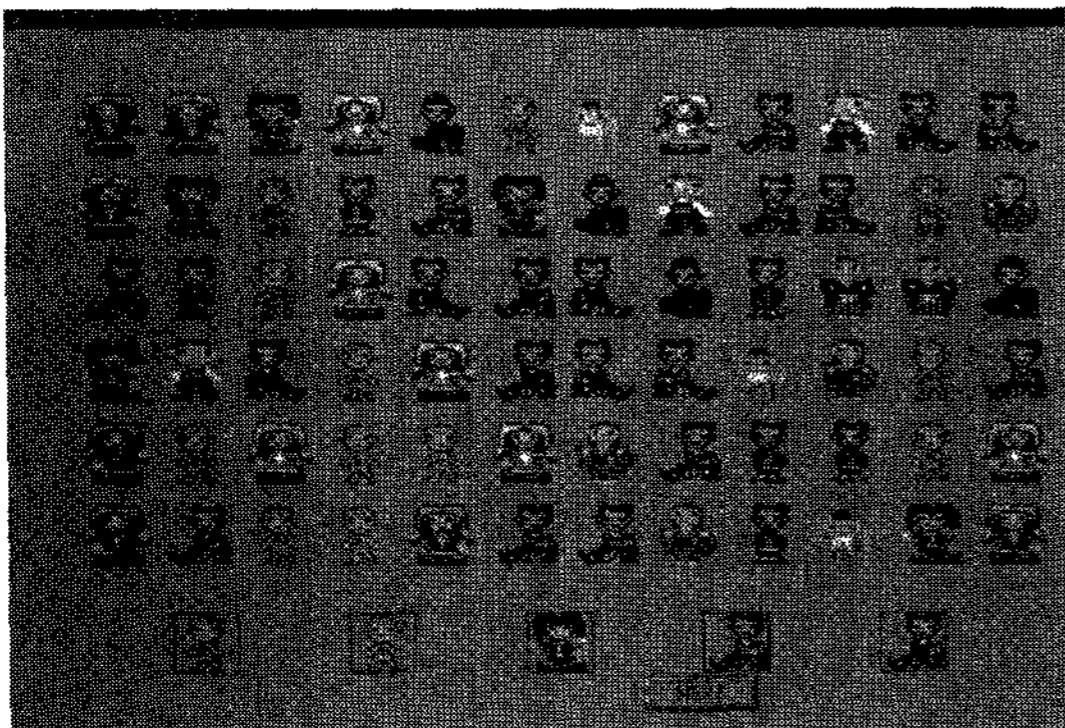
본 연구에서 도입한 실험방법론 및 작업수행도 측정변수들의 타당성 검토 목적까지를 포함한 예비실험적 성격으로 1차 실험을 실시하였다. <그림 2>와 <그림 3>은 1차 실험에서 TEXT작업과 ICON작업에 실제로 사용된 화면의 예이다. 1차 실험결과와 그에 따른 분석내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 응답시간 특성

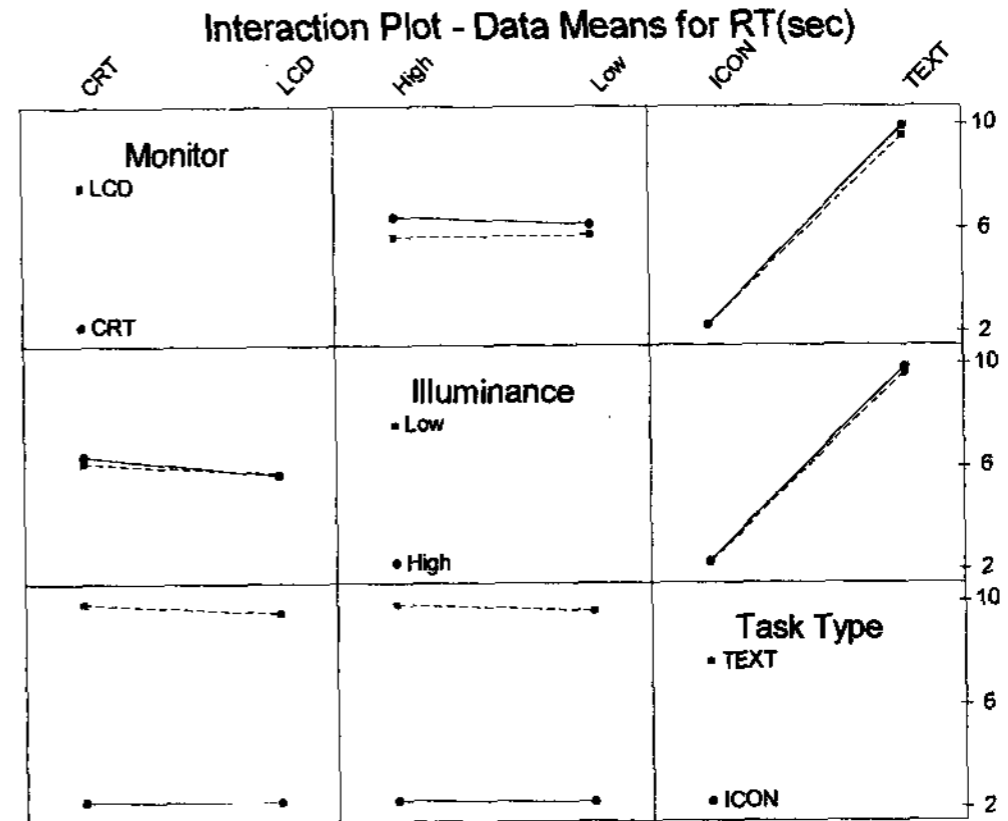
TEXT작업에서의 응답시간은 TFT-LCD가 CRT에 비해 짧은 특성을 나타냈으며, 이들간의 평균차를 검정한 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. ICON작업에 있어서도 TFT-LCD가 CRT에 비해 응답시간이 짧은 특성을 나타냈으



<그림 2> 1, 2차 실험에 사용된 TEXT 검색작업용 화면의 예



<그림 3> 1차 실험에 사용된 ICON 검색작업용 화면의 예



<그림 4> 작업조건의 변화에 따른 응답시간의 평균적 특성 변화(1차 실험결과)

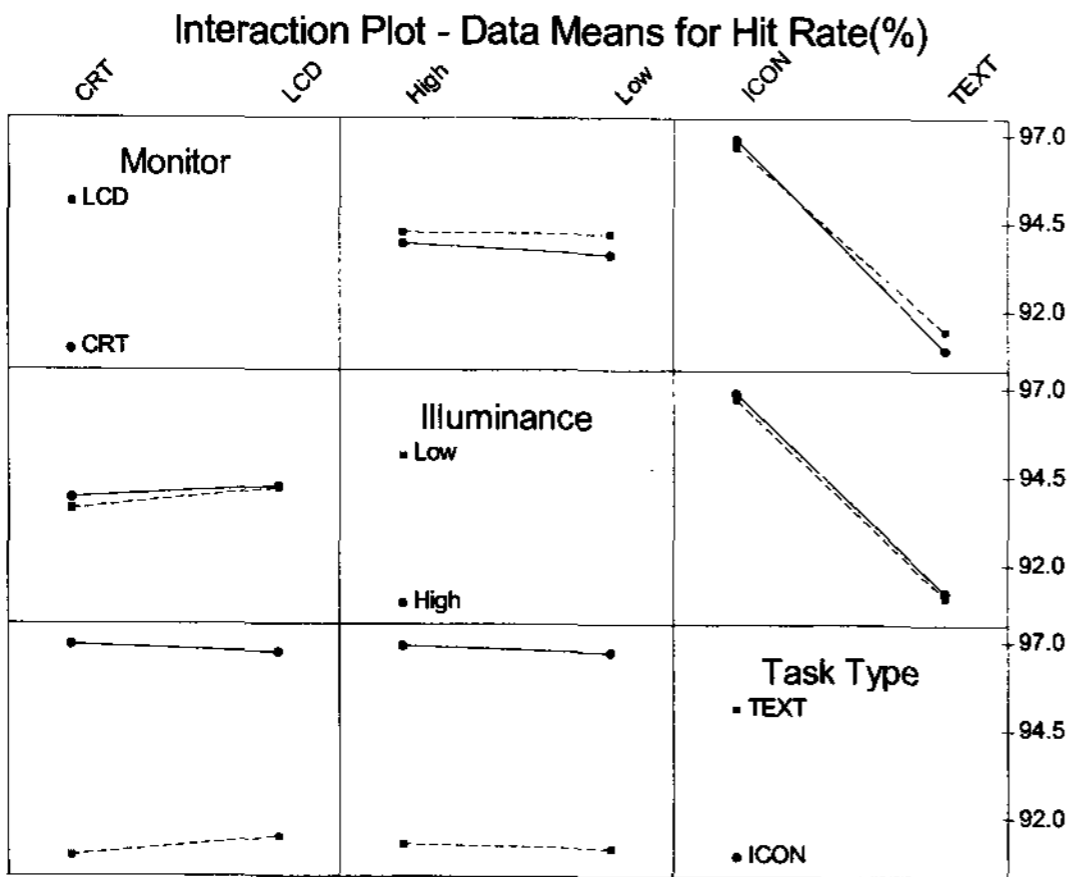
나, 이들간의 평균차는 통계적으로 유의하지 않았다. 한편, 조명수준의 변화에 따른 응답시간의 차이를 분석한 결과 TEXT작업과 ICON작업 모두에서 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 평균적인 응답시간이 긴 것으로 나타났으며, 특히, TEXT작업에 있어서는 조명조건에 따른 응답시간의 평균차가 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

<그림 4>는 시각작업 수행조건의 변화에 따른 응답시간의 평균적 변화를 도식적으로 나타낸 것이다.

2) 적중률 특성

적중률 특성에 있어서는 TEXT작업에서는 CRT가, ICON작업에서는 TFT-LCD가 보다 높은 적중률을 나타냈다. 그러나, 각 검색작업에 있어서 디스플레이 종류에 따른 적중률의 평균차가 통계적으로 유의할 만한 수준은 아니었다. 한편, 조명수준의 변화에 따른 적중률의 변화여부를 분석한 결과 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 적중률이 높은 것으로 나타났다. 특히, ICON검색작업에 있어서는 조명조건에 따른 적중률의 평균차가 통계적으로도 유의한 것으로 분석되었다.

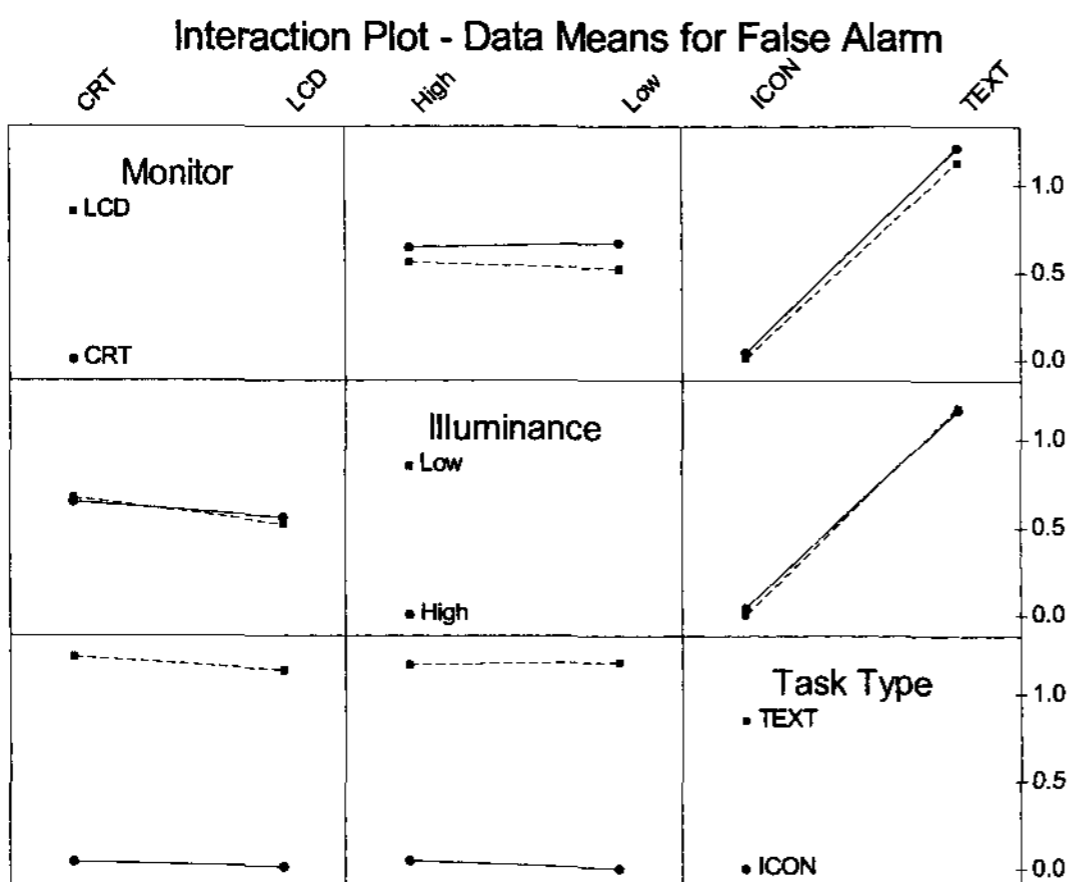
<그림 5>는 시각작업 수행조건의 변화에 따른 적중률의 평균적 변화를 도식적으로 나타낸 것이다.



〈그림 5〉 작업조건의 변화에 따른 적중률의 평균적 특성 변화(1차 실험결과)

3) 오보율 특성

오보율 특성에 있어서는 TEXT작업과 ICON작업 모두에서 CRT가 TFT-LCD에 비해 평균적으로 높은 오보율을 나타냈으나, 각 작업조건에서 디스플레이 종류에 따른 오보율의 평균차가 통계적으로 유의하지는 않았다. 한편, 조명조건의 변화에 따른 오보율의 변화여부를 분석한 결과 TEXT작업에 있어서는 주변조명이 어두운 경우에, ICON작업에 있어서는 주변조명이 밝은 경우에 오보율이 높게 나타났으나, 이 경우에도 두 작업 모두에서 조명조건에 따른 오보율의 평균차



〈그림 6〉 작업조건의 변화에 따른 오보율의 평균적 특성 변화(1차 실험결과)

가 통계적으로 유의할 만한 수준은 아니었다.

〈그림 6〉은 시각작업 수행 조건의 변화에 따른 오보율의 평균적 변화를 도식적으로 나타낸 것이다.

4) 1차 실험결과에 대한 고찰

1차 실험결과를 통해 나타난 응답시간, 적중률과 오보율의 변화 특성을 종합적으로 고려한 결과 다음과 같은 중간결론을 도출하였다. 본 연구에서 도입했던 기본가설 중 첫 번째, 수행되는 작업의 특성에 따라 우수한 작업수행도를 나타내는 디스플레이의 종류가 서로 달라질 것이라는 가설에 있어서는 원래의 예상대로 TEXT작업에서 TFT-LCD가 CRT에 비해 전반적으로 짧은 응답시간과 높은 적중률, 낮은 오보율 특성을 나타냈다. 따라서, 문자위주의 TEXT작업을 수행하는 경우에는 TFT-LCD가 CRT에 비해 유리하다는 가설이 부분적으로 입증되었다. 그러나, 이러한 차이가 통계적인 유의성이나 실질적인 의미를 갖기에는 다소 미약한 수준인 것으로 판단된다. 한편, ICON작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD보다 유리할 것이라는 기본가설과는 다소 상반되는 결과가 도출되었다. 즉, 적중률에서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 다소 높은 경향을 나타내기는 하였으나 그 차이가 통계적으로 유의할 만한 수준이 아니었으며, 응답시간과 오보율에서는 오히려 TFT-LCD가 다소 우수한 경향을 나타냈다. 그러나, ICON작업의 수행결과를 TEXT작업의 수행결과와 비교하면 평균적인 응답시간이 훨씬 짧을 뿐만 아니라 적중률은 크게 높고, 오보율은 거의 나타나지 않았음을 알 수 있다. 이러한 결과는 TEXT작업과 ICON작업 사이에 상당한 난이도 차이가 존재함을 의미하는 것이며, 이를 ICON작업에서 디스플레이 종류에 따른 작업수행도의 차이가 도출되지 않은 주원인으로 추정한다면 보다 높은 수준의 난이도를 지닌 ICON 검색작업을 설계하여 추가적인 실험을 실시할 필요가 있다.

본 연구의 기본가설 중 두 번째인, 우수한 휘도 특성을 지닌 CRT가 TFT-LCD에 비해 주변조명수준의 변화에 보다 강한 특성을 가지고 있

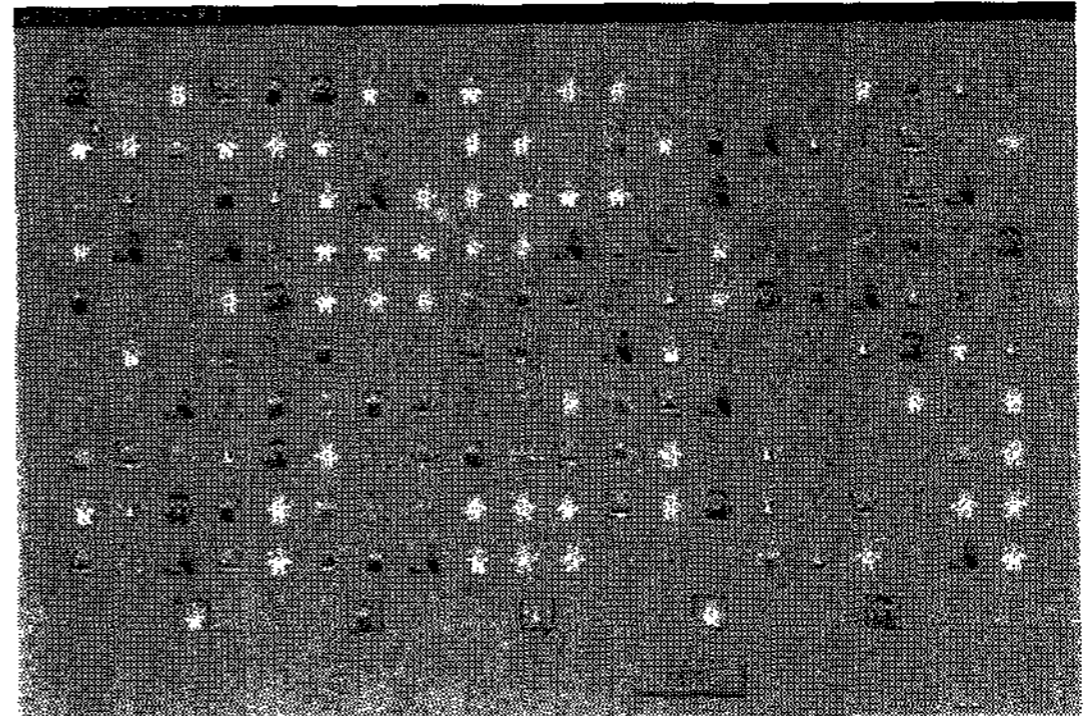
는지 여부를 확인하고자 작업수행도의 변화를 분석한 결과 이 가설은 기각되었다. 응답시간과 적중률, 오보율 특성 모두에서 디스플레이 종류와 조명수준 간에 유의할 만한 교호작용이 검출되지 않았으며, 이를 통해 TFT-LCD가 주변조명의 변화에 대해 CRT와 동등한 수준의 강건함을 지니고 있음을 확인하였다. 한편, 조명수준의 변화에 따른 적중률과 오보율 특성에서는 당초의 예상과는 달리 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 더 높은 작업수행도를 나타냈다. 이는 주변조명이 밝은 경우가 시각작업에 보다 편안하기 때문이라기보다는 작업조건이 불편해지고 작업의 난이도가 상승하면서 작업자들의 작업에 대한 집중도가 오히려 증가했기 때문인 것으로 추정되며, 주변조명이 밝은 경우에 평균적인 응답시간의 증가를 수반하는 것이 이를 뒷받침한다. 그러나, 주변 조명이 밝은 경우가 보다 높은 작업 부담을 유발함을 보다 명확히 입증하기 위해 작업조건에 따른 안피로 유발정도를 비교, 분석할 필요가 있다.

2. 2차 실험내용 및 결과

1차 실험결과에 대한 분석내용을 바탕으로 2차 실험을 구상하여 실시하였다. 2차 실험에서는 ICON작업의 난이도를 상향조정하기 위하여 개별 ICON의 크기를 줄여 한 화면에 제시되는 ICON의 수를 크게 증가시키고, 보다 다양한 색상과 형상 조합을 사용하여 ICON을 구성하였다. TEXT작업의 경우에도 1차 실험에 따른 학습효과를 배제하기 위하여 1차 실험에 사용했던 지문 대신 새로운 지문을 사용하였으며, 보다 많은 지문을 준비하여 실험 중 동일한 내용이 중복되어 나타나지 않도록 하였다. <그림 7>은 2차 실험에서 ICON작업에 사용된 실제 화면의 예이다. 2차 실험결과와 그에 따른 분석내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 응답시간 특성

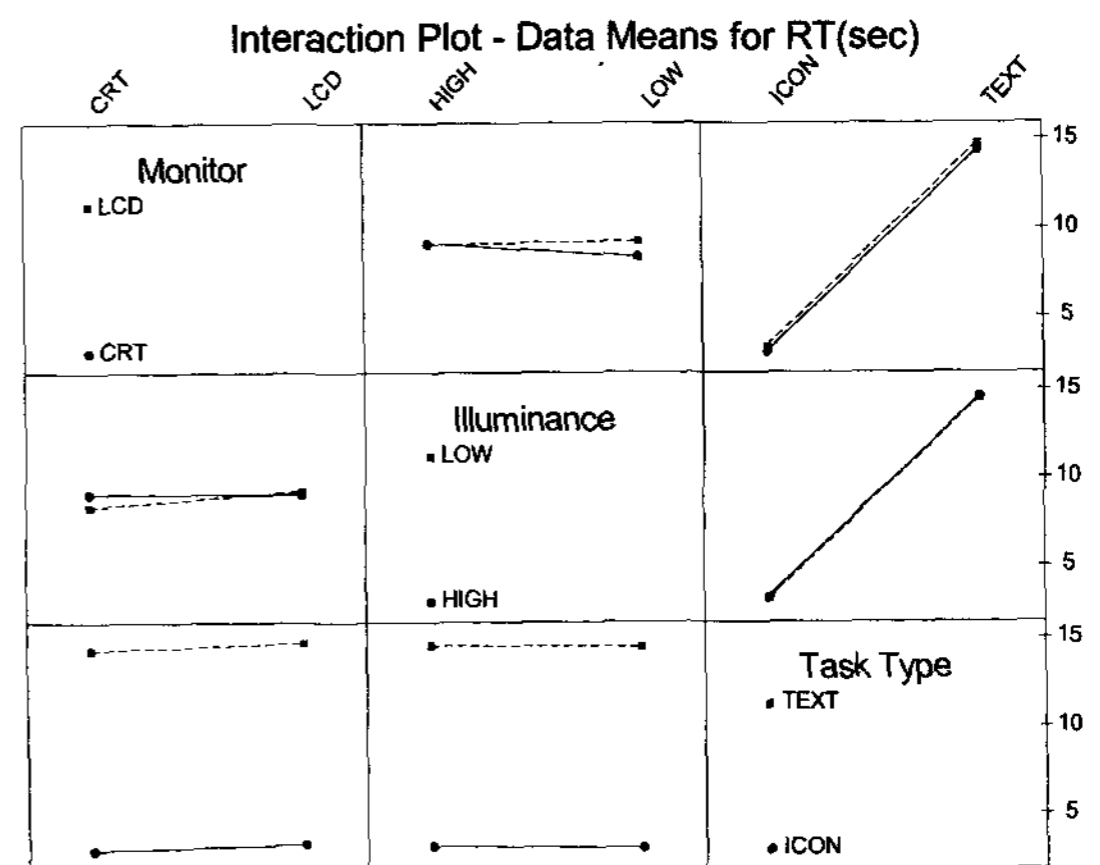
난이도가 낮았던 1차 실험결과와는 달리 ICON작업에서의 난이도가 높아지면서 전체적인 응답



<그림 7> 2차 실험에 사용된 ICON 검색작업용 화면의 예

시간이 전반적으로 크게 증가하면서 CRT의 응답시간이 TFT-LCD에 비해 짧아진 것으로 나타났다. 또한, 디스플레이 종류에 따른 응답시간의 평균차가 통계적으로도 유의하게 나타났다. TEXT작업에서의 응답시간 역시 1차 실험결과에 비해 늘어났으며 CRT가 TFT-LCD에 비해 짧은 응답특성을 나타냈으나, 이들간의 평균차는 통계적으로 유의하지 않았다.

한편, 조명조건에 따른 응답시간의 차이를 분석한 결과 1차 실험결과와 동일하게 TEXT작업과 ICON작업 모두에서 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 평균적인 응답시간이 긴 것으로 나타났으나, 조명조건에 따른 응답시간의 평균차가 통계적으로 유의할 만한 수준은 아닌 것으로 분석되었다. <그림 8>은 시각



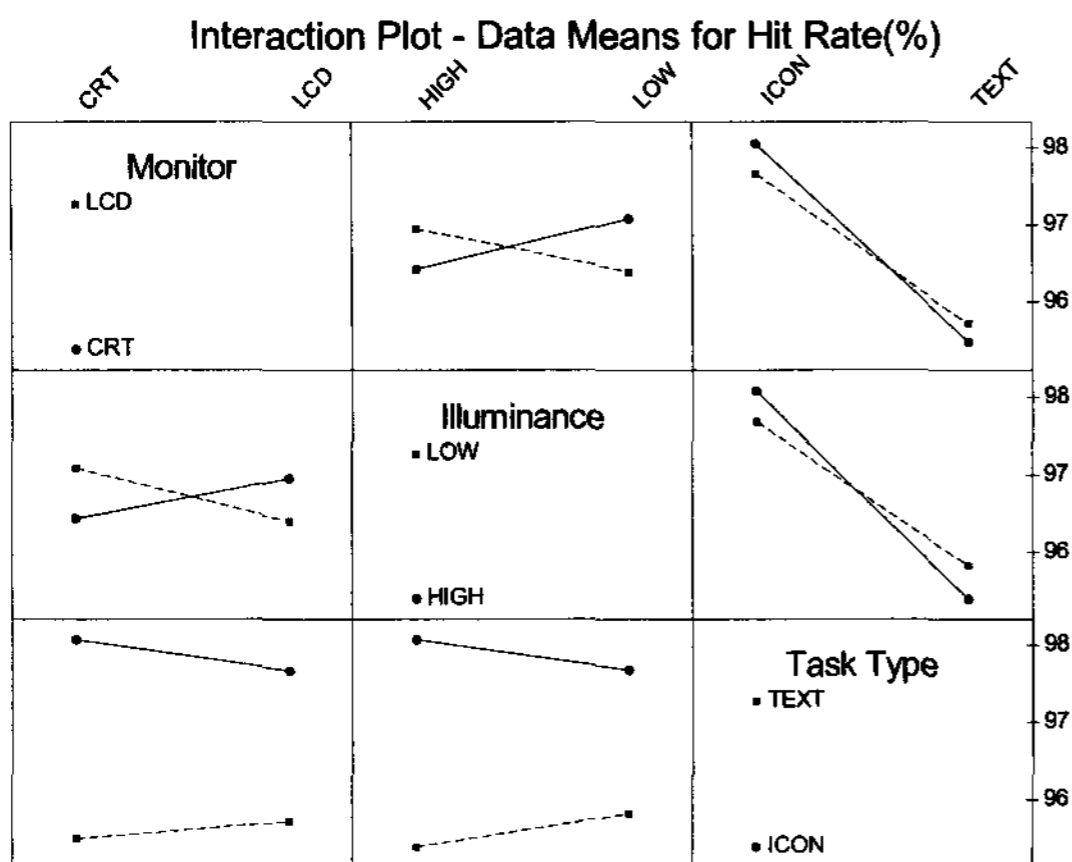
<그림 8> 작업조건에 따른 응답시간의 평균적 변화특성 (2차 실험결과)

작업 수행조건의 변화에 따른 응답시간의 평균적 변화를 도식적으로 나타낸 것이다.

2) 적중률 특성

적중률 특성에 있어서는 1차 실험결과와 동일하게 TEXT작업에서는 CRT가, ICON작업에서는 TFT-LCD가 보다 높은 적중률을 나타냈다. 그러나, 디스플레이 종류와 작업종류의 교호작용이 보다 분명하게 나타났는데, 특히 ICON 검색작업에 있어서는 디스플레이 종류에 따른 적중률의 평균차가 통계적으로도 유의할 만한 수준이었다. 한편, 조명조건의 변화에 따른 적중률의 변화여부를 분석한 결과 1차 실험결과와는 달리 TEXT작업에서는 주변조명이 어두운 경우에, ICON검색작업에서는 주변조명이 밝은 경우에 적중률이 높은 것으로 나타났다. 그러나, 조명조건에 따른 적중률의 평균차는 양쪽 작업조건 모두에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 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.

<그림 9>는 시각작업 수행조건의 변화에 따른 적중률의 평균적 변화를 도식적으로 나타낸 것이다.



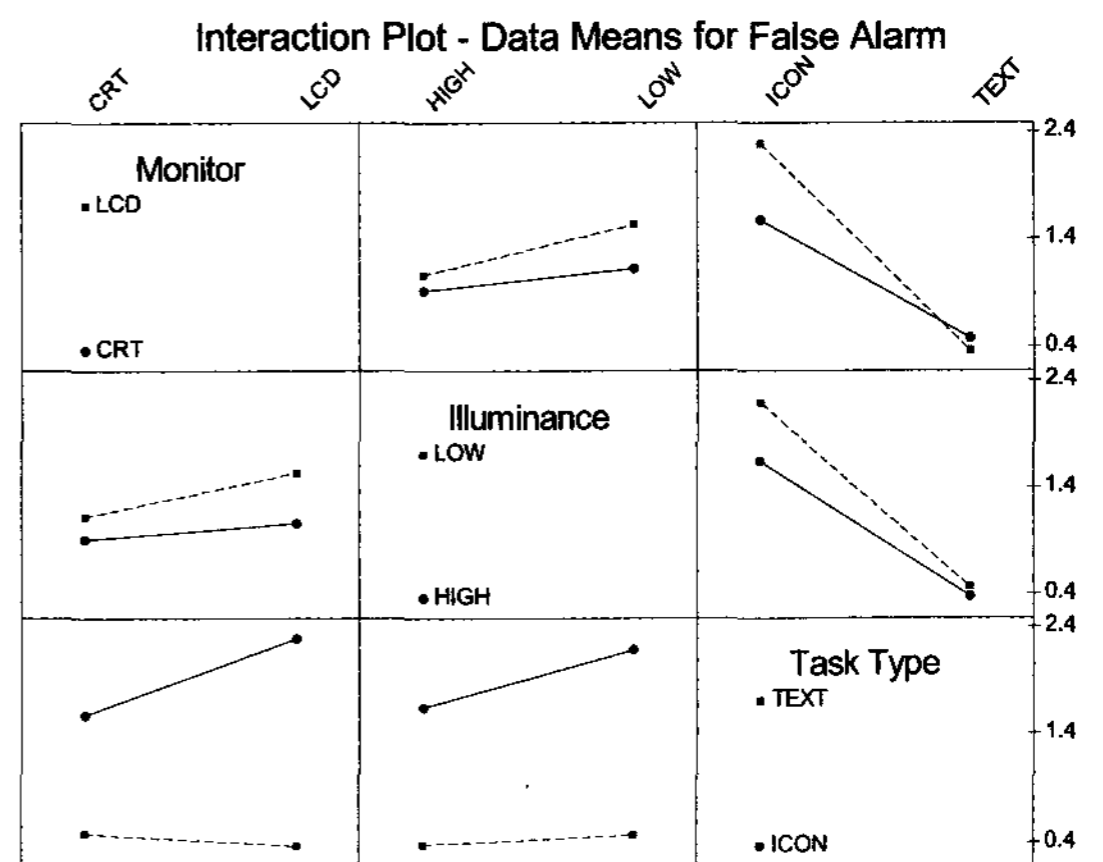
<그림 9> 작업조건의 변화에 따른 적중률의 평균적 변화특성 (2차 실험결과)

3) 오보율 특성

오보율 특성이 1차 실험결과와 가장 두드러진 차이를 나타내었다. TEXT작업에서의 오보율이 높았던 1차 실험결과와는 달리, ICON작업이 평균적으로 응답시간이 짧았음에도 불구하고 높은 오보율을 보였다. 또한, TEXT작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 다소 높은 오보율을 나타냈으나, ICON작업에 있어서는 TFT-LCD가 CRT에 비해 높은 오보율을 나타냄으로써 디스플레이 종류와 작업조건 간에 명백한 교호작용이 존재하는 것으로 분석되었다. 그러나, 각 작업조건에서 디스플레이 종류에 따른 오보율의 평균차는 통계적으로 유의할 만한 수준은 아니었다.

한편, 조명조건의 변화에 따른 오보율의 특성 변화를 분석한 결과 TEXT작업과 ICON작업 모두 주변조명이 어두운 경우가 밝은 경우에 비해 높은 오보율을 나타냈으나, 이 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다. 조명수준의 변화에 따른 오보율의 증가폭에 있어서는 TFT-LCD가 CRT에 비해 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타냈다.

<그림 10>은 시각작업 수행조건의 변화에 따른 오보율의 평균적 변화를 도식적으로 나타낸 것이다.



<그림 10> 작업조건의 변화에 따른 오보율의 평균적 변화특성 (2차 실험결과)

4) 1, 2차 실험결과에 대한 고찰

2차 실험결과 ICON작업의 응답시간이 1차 실험에 비해 늘어났으며, 오보율도 큰 폭으로 증가하여 작업의 난이도가 의도대로 상향조정 되었음을 확인할 수 있었다. 그러나, TEXT작업에 있어서는 작업내용의 변화가 없었음에도 불구하고 응답시간이 1차 실험에 비해 늘어나고 오보율은 다소 떨어지는 현상이 나타났다. 이는 ICON작업의 난이도가 큰 폭으로 증가하면서 함께 진행된 TEXT작업에서의 검색전략까지도 다소 보수적으로 변화한 때문인 것으로 추정된다. 이로 인해 원래 의도한 TEXT작업과 ICON작업의 응답시간 차이를 줄이지는 못하였지만, ICON작업의 오보율이 TEXT작업의 오보율보다 훨씬 커지는 역전현상이 나타났기 때문에 양쪽 작업 모두에서 난이도가 상향조정된 것으로 판단하고 그에 따른 분석을 실시하였다.

1, 2차 연구결과를 종합해 볼 때 본 연구에서 도입했던 기본가설 중 첫 번째인 수행되는 작업의 특성에 따라 우수한 작업수행도를 나타내는 디스플레이의 종류가 서로 달라질 것이라는 가설을 실험적으로 입증하였다. 1차 실험을 통해 문

자위주의 TEXT작업을 수행하는 경우에 TFT-LCD가 CRT에 비해 다소 유리하다는 가설을 부분적으로 입증하였다. 그러나, 이러한 차이가 작업의 난이도가 상향조정되거나, 검색전략이 변화하면서 그 편차가 커져 통계적으로나 실질적으로 의미를 부여하기에는 부족한 수준에 그쳤다고 결론지을 수 있다. 한편, ICON작업에 있어서는 2차 실험을 통해 작업의 난이도가 상향조정되면서 CRT가 TFT-LCD보다 유리할 것이라는 기본가설과 일치되는 결과가 도출되었다. 평균적인 응답시간과 적중률에서 CRT가 TFT-LCD에 비해 우수한 경향을 나타냈으며, 그 차이가 통계적으로 유의할 만한 수준임이 확인되었다. 또한, 오보율에서도 CRT가 다소 우수한 것으로 나타나 전반적인 작업수행도면에서 TFT-LCD에 비해 ICON작업에 상대적으로 유리한 특성을 지니고 있음을 확인하였다.

본 연구의 기본가설 중 두 번째인, 우수한 휘도 특성을 지닌 CRT가 TFT-LCD에 비해 주변 조명수준의 변화에 보다 강한 특성을 가지고 있다는 가설은 기각되었다. 1, 2차 실험결과를 종합하면 CRT는 주변 조명이 어두운 경우에 보다

<표 1> 1, 2차 실험에 따른 분석결과 비교요약

비교항목	TEXT 검색작업		ICON 검색작업	
	실험 I	실험 II	실험 I	실험 II
응답시간 (Response Time)	CRT>LCD	CRT<LCD	CRT>LCD	CRT<LCD
	0.041**	0.230	0.116	0.000**
	Low<High	Low<High	Low<High	Low<High
	0.009**	0.670	0.090	0.101
적중률 (Hit Rate)	CRT<LCD	CRT<LCD	CRT>LCD	CRT>LCD
	0.316	0.440	0.733	0.026**
	Low<High	Low>High	Low<High	Low<High
	0.775	0.408	0.087	0.051
오답률 (False Alarm Rate)	CRT>LCD	CRT>LCD	CRT>LCD	CRT<LCD
	0.793	0.432	0.436	0.116
	Low>High	Low>High	Low<High	Low>High
	0.640	0.447	0.256	0.118

* 통계적 유의수준 5%에서 유의함;

** 통계적 유의수준 1%에서 유의함.

높은 시작업 수행도를 나타냈으며, TFT-LCD는 주변조명이 밝은 경우에 높은 시작업 수행도를 나타내었다. 이 결과를 잘못 해석하면 오히려 TFT-LCD가 주변조명의 변화에 보다 강한 특성을 지닌 것으로 해석될 수 있지만, 앞서의 분석 과정에서 살펴보았듯이 이는 ICON작업 시에 TFT-LCD가 높은 조명수준에서 보다 높은 적중률과 낮은 오보율을 나타낸 것에서 비롯된 결과이다. 실제로 ICON 작업에 있어서는 CRT가 TFT-LCD에 비해 보다 우수한 특성을 나타내고 있음이 확인되었기 때문에, 이 결과는 디스플레이 종류와 조명수준 간의 교호작용으로 이해하기보다는 디스플레이 종류와 작업종류 간의 교호작용으로 이해하는 것이 보다 타당할 것이다. 그러나, 오보율의 증가폭을 제외한 나머지 항목들에서 CRT가 TFT-LCD에 비해 주변조명 수준의 변화에 보다 강한 특성을 갖고 있다는 가설역시 입증되지 못하였으므로, 두 디스플레이가 주변 조명수준의 변화에 동등한 수준의 강도를 지닌 것으로 결론지을 수 있다.

〈표 1〉은 1, 2차 실험에서 각 작업조건의 변화 요인들이 작업수행도에 미친 영향의 경향성과 그 통계적 유의차를 종합하여 정리한 것이다.

3. 안피로도

시각작업과정에서 작업수행조건에 따라 발생하는 안피로도의 크기변화를 정량적으로 분석하기 위하여 II장에서 언급했던 바와 같이 조절작용의 시간지연, 조절폭, 조절속도와 같은 3가지 조절력 특성의 변화를 비교, 분석하였다. 작업 수행 이전과 250분간의 작업 수행을 마친 후에 각각 조절력의 특성을 측정하여 그 차이를 분석함으로써 안피로도를 정량적으로 분석하였다.

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, 이 평균차가 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다.

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 앞서의 결과나 예상과는 달리 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.

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 감소가 발생하였으나, 그 평균차가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 한편, 작업에 사용한 디스플레이의 종류에 따른 조절속도의 감소정도를 분석한 결과 CRT

를 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) 안피로도 분석결과에 대한 고찰

앞서의 연구결과를 통해 시각작업 수행조건에 따른 안피로도의 정량적 분석과정에 조절력의 특성변화를 이용할 수 있음을 다시 한번 확인하였으며, 본 연구에서 도입한 조절력 특성과 관련된 3가지 측정변수들 중에서는 조절작용의 시간지연과 조절폭의 변화가 조절속도보다 시각작업조건의 변화에 보다 민감하게 반응하는 지표인 것으로 분석되었다. 또한, 조절작용의 시간지연 정도를 통해 TFT-LCD가 CRT에 비해 전반적으로 작은 안피로를 유발함을 확인함으로써 본 연구에서 도입한 세 번째 가설인 TFT-LCD가 CRT에 비해 안피로에 강한 특성을 지니고 있음을 입증하였다.

또한, 조절폭 감소정도의 분석을 통해 주변조명이 밝은 경우가 어두운 경우에 비해 더욱 큰 안피로를 유발한다는 사실을 확인함으로써 앞서 조명조건의 변화에 따른 시각작업수행도의 변화와 관련하여 도출한 결론이 타당함을 확인하였다. 즉, 조명수준의 변화에 따른 적응률과 오보율 특성에서 당초의 예상과는 달리 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 발생함을 규명하였다.

IV. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 VDT 사용과정에서 발생하는 시각작업의 수행도와 안피로 발생정도를 기준으로 향후 데스크탑용 디스플레이 시장을 양분할 것으로 예상되는 CRT와 TFT-LCD의 특성을 비교, 분석해 보았다. 본 연구에서는 두 디스플레

이 기술의 전반적인 우위를 평가하기 보다는 작업조건 즉, 제품의 사용조건에 따른 상대적 적합성을 실험적으로 규명하는 데 보다 큰 비중을 두었다.

연구결과에 대한 분석을 통해 본 연구에서 도입하였던 3가지 기본가설들에 대한 타당성 검증을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 현재의 디스플레이 기술수준에서는, 시각작업 수행도에 있어 디스플레이의 종류와 수행작업 내용 간에 교호작용이 존재하며, 해상도와 직선성이 뛰어난 TFT-LCD가 CRT에 비해 문자위주의 텍스트작업에 보다 적합하며, 시야각과 색표현력이 뛰어난 CRT가 TFT-LCD에 비해 ICON 중심의 그래픽작업에 보다 적합하다.

둘째, 시각작업 수행과정에서 주변의 조명수준은 작업수행도와 안피로도에 유의한 영향을 미친다. VDT 작업에 있어 주변조명이 밝은 경우, 어두운 경우에 비해 작업수행시간과 안피로가 증가하는 부효과가 발생하나 긴장도가 높아져 적응률의 증가, 오보율의 감소와 같은 정효과를 동반한다. 한편, 휘도특성이 TFT-LCD에 비해 뛰어난 것으로 알려진 CRT가 주변조명의 변화에 보다 강할 것으로 기대되지만 실제로는 TFT-LCD와 동등한 수준의 적응도를 지니고 있다.

셋째, 디스플레이의 광학적 특성차로 인해 시각작업과정에 발생하는 안피로 수준이 서로 다르며, 전반적으로 TFT-LCD가 CRT에 비해 작은 안피로를 유발한다.

이상의 결론을 종합해볼 때 디스플레이의 외형적 특성이나 가격, 그에 따른 개인적 선호도를 배제하고, 사용과정에서의 작업수행도와 안피로도를 기준으로 디스플레이를 평가한다면 다음과 같은 제품선택기준을 제안할 수 있을 것이다. 첫째, 비교적 낮은 난이도의 시각작업을 수행할 경우에는 디스플레이 종류에 따른 작업수행도의 차이가 유의할 만한 수준이 아니기 때문에 CRT나 TFT-LCD 중 어느 쪽을 선택해도 무방하지만 TEXT 작업의 경우에는 TFT-LCD가 다소 유리한 측면이 있다.

둘째, 작업의 난이도가 높고, 정확도가 요구되

는 작업의 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 낮추어 작업을 수행하는 것이 보다 바람직하다. TFT-LCD를 이용하여 정확도가 요구되는 그래픽 작업을 수행할 경우에는 수행시간이 다소 길어지고, 안피로가 유발될 수는 있지만 주변조명을 밝게 해주는 것이 유리하다.

과거의 연구결과들과 본 연구결과를 종합해 볼 때 CRT나 TFT-LCD와 같이 서로 다른 광학적 특성을 지닌 디스플레이의 성능을 비교, 분석할 경우에는 평가자 개인의 성향에 의한 영향을 배제하고, 수행도 평가 위주의 객관적 방법론을 동원하더라도 평가작업의 내용과 평가환경에 따라 서로 다른 결과가 나타날 수 있음을 알 수 있다. 특히, 빠른 속도로 발전하고 있는 디스플레이 분야의 기술특성 상 모든 평가항목에서 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 유의미성보다는 실질적인 의미를 파악하는 것이 더욱 중요하며, 전반적인 경향성의 해석에도 유의할 필요가 있다.

본 연구에서는 화면에 제시된 정화상에서의 검색작업을 기준으로 시작업 수행도를 평가하였다. 그러나, 현재 인터넷 등에서는 많은 콘텐츠들이 동화상으로 구현되고 있으며, 향후 VDT를 통해 제시되는 정보 중 동화상의 비중이 더욱 증가할 것으로 예상되므로 동화상 처리과정에서 나타나는 디스플레이의 특성차와 그에 따른 시작업 수행도의 차이에 대한 연구가 이루어지는 것이 바람직 하겠다. 이러한 동화상에서 일반적으로 CRT가 우수한 성능을 나타내고 있는 것으로 이해되고 있다.

따라서 추후 이에 대한 검증작업도 필요하리라 사료된다. 또한, 본 연구에서는 VDT를 이용한 작업내용을 일반 사무환경에서의 이용으로 국한하였으나, 생산현장에서 공정제어 등에 사용되는 경우와 같이 보다 다양한 용도에서의 추가적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 한국과학재단의 지역협력연구센터(RRC) 사업과 LG. PHILIPS Displays(주)의 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

참 고 문 헌

- [1] I. S. MacKenzie and S. Riddersma, "Effects of output display and control display gain on human performance in interactive systems," *Behavior and Information Technology* 13(5) (1994), 328-337.
- [2] M. Menozzi, U. Napflin, and H. Krueger, "CRT versus TFT-LCD: A pilot study on visual performance and suitability of two display technologies for use in office work," *Displays* 20 (1999), 3-10.
- [3] M. Menozzi et al., "CRT versus TFT-LCD: effects of refresh rate, display technology and background luminance in visual performance," *Displays* 22 (2001), 79-85.
- [4] S. Saito, S. Taptagapron, and G. Salvandy, "Visual comfort using different VDT screens," *International Journal of Human-Computer Interaction* 5(4) (1993), 313-323.