

CRT 모니터의 背景階調度가 영상의 視角認識에 미치는 영향

金鐘曉* · 朴光錫** · 閔丙九** · 李忠雄* · 任廷基*** · 韓萬靑***

= Abstract =

The Effect of Background Grey Levels on the Visual Perception of Displayed Image on CRT Monitor

Jong Hyo Kim*, Kwang Suk Park**, Byoung Goo Min**,
Choong Woong Lee*, Jung-Gi Im***, Man Chung Han***

In this paper, the effect of background grey levels on the visual perception of target image displayed on CRT monitor has been investigated. The purpose of this study is to investigate the efficacy of CRT monitor as a display medium of image information especially in medical imaging field. Three sets of experiments have been performed in this study; the first was to measure the luminance response of CRT monitor and to find the best fitting equation, and the second was the psychophysical experiment measuring the threshold grey level differences between the target image and the background required for visual discrimination for various background grey levels, and the third was to develop a visual model that is predictable of the threshold grey level difference measured in the psychophysical experiment.

The result of psychophysical experiment shows that the visual perception performance is significantly degraded in the range of grey levels lower than 50, which is turned out due to the low luminance change of CRT monitor in this range while human eye has been adapted to relatively bright ambient illumination. And it is also shown in the simulation study using the developed visual model that the dominant factor degrading the visual performance is the reflected light from the monitor surface by ambient light in general illumination condition.

1. 序 論

〈접수 : 1993년 2월 1일〉

* Dept. of Electronics, Seoul National University.

** Dept. Of Biomedical Engineering, College of Medicine

*** Dept. Of Radiology, College of Medicine Seoul National University.

근래 영상처리 관련기술의 발달에 힘입어 각종 분야에서 映像情報의 활용이 늘어남에 따라 다양한 정보들이 映像表示를 통하여 시각화되어 전달되고 있다. 그중에서 특히 의학분야에서의 의학영상을 이용한 진단이나, 품질관리 분야에서의 X-선 또는 초음파 영상을 이용한 非破壞 검사등과 같은 경우는 映像情報의 視角的 傳達 효율이 중요한 문제가 되는데, 映像獲得 과정에서는 이상이 검출되

있는데도 視角的 傳達과정에서 그 이상이 놓쳐버리는 경우가 있기 때문이다. 특히 의학분야에서 이 같은 문제는 환자의 생명과 직결될수도 있기 때문에 대단히 중요한 문제로서 영상정보의 효과적인 시각적 전달을 위한 체계적인 연구가 뒷받침되어야 할 분야이다.

전자공학 분야에서 영상정보의 시각적 전달에 관한 연구는 비교적 많지 않은 편이며 주로 생리학 또는 심리학 분야에서 연구된 視角係 모델을 그대로 적용하는 성격이 대부분이었다. 그런데 영상정보의 시각적 전달에 있어서는 많은 경우에 映像表示 媒體로 CRT 모니터가 이용되고 있으며 이는 生理的이나 心理學 분야에서의 시각특성 실험을 위한 특수한 像表示環境과 다르기 때문에 이와 같은 視角表示環境의 차이를 視角係 모델에 반영해 주지 않으면 바람직한 결과를 얻을수가 없다. 따라서 영상정보의 효과적인 시각적 전달을 위한 연구가 이루어지기 위해서는 CRT모니터를 映像表示 媒體로 이용함으로써 디지털 영상처리 분야에서 직접 이용할수 있는 시각 특성에 관한 연구가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 디지털 영상처리 분야에서 직접 이용할수 있는 시각특성에 관한 자료를 수집하기 위하여 많은 분야에서 영상 표시기로 이용되는 CRT 모니터를 映像表示 媒體로 이용하고 이때 여러가지 背景 階調度가 시각인식 특성에 미치는 영향을 조사하며, 生理學분야에서 제안된바 있는 視覺係의 光化學反應 모델을 이용함으로써 그러한 특성이 예측가능함을 나타내고자 한다.

본 논문에서 제시되는 결과는 映像情報의 視覺的 傳達에 관련된 분야, 특히 의학영상의 효과적인 영상표시를 위하여 유용하게 사용될수 있을 것이며 그밖에 시각 특성을 이용한 효율적인 畫像 壓縮등의 분야에도 유용하게 적용될수 있을 것으로 기대된다.

2. 視覺認識特性和 實驗

본 연구에서는 CRT모니터의 背景 階調度가 視覺 認識特性에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다음과 같은 3가지의 실험을 수행하였다. 첫째로 CRT 모니터의 輝度 응답 특성의 측정, 둘째로 균일한 背景 階調度상태의 CRT모니터에 標의 영상을

표시하였을때 그 시각적 인식에 요구되는 背景과 臨界 階調度 차이를 여러 背景 階調度에 대해 측정하는 心理 物理的실험, 그리고 셋째로는 心理 物理的 실험에서 얻은 결과를 예측할수 있는 視覺系 모델을 개발하는 것이다.

1) CRT모니터의 輝度 응답 특성

본 실험에 사용된 映像表示部는 Vectrix사(미)의 graphics board 와 Moniterm사(미)의 CRT모니터로 구성되어 있으며, 1024×1024 해상도의 영상을 60Hz 順次走査 방식으로 표시할수 있는 기능을 가지고 있다.

모니터의 發光 輝度 측정기로서는 National(일)사의 Digital Lux Tester (model BN-2000LT)가 사용되었는데 이 측정기는 0.1 lux 단위의 정밀도로 199.9 lux까지 측정 가능하며 단위를 10 lux로 바꿈으로써 19990 lux까지 측정이 가능하다.

측정을 위해 모든 전등을 소등하고 창에는 커튼을 쳐서 가능한 한 주변 조명의 영향을 배제하였는데 이때의 모니터 주변의 조도는 2.5lux 정도였다. 측정을 위한 모니터의 사전 조정으로서 밝기 조정 단자를 조절하여 귀선이 보이기 직전의 상태로 바이어스 輝度를 설정하였다.

측정 방법은 모니터의 전 화면에 일정한 階調度를 표시함으로써 화면의 밝기를 균일하게 한 상태에서 측정기를 화면에 중앙에 밀착시키고 원격 조작스위치를 사용하여 화면의 輝度를 측정하였다. 이때 사용된 측정기가 照度計이므로 측정된 값은 단위 면적당 입사 광속을 나타내는 lux이나, 측정기를 화면에 밀착시켜 측정하였으므로 측정기에의 단위면적당 입사 광속은 곧 화면에서의 단위 면적당 발산 광속과 같다고 볼수있으며, CRT모니터의 화면은 점 광원에 의한 完全 擴散面이라고 볼수있으므로 完全 擴散面에서의 광속발산도 M과 輝度 L과의 관계를 나타내는 식(1)을 이용하여 측정된 조도값으로부터 간접적으로 얻었다.

$$L = M/\pi \quad (1)$$

화면에 표시되는 階調度는 0에서 250까지 10단위로 증가시켰으며 각 階調度에 대해 10번씩 측정하여 그 평균치를 취하였다.

2) 시각 인식 특성의 측정

이 실험에서는 CRT모니터에 일정한 背景 階調度를 표시한 상태에서 背景 階調度보다 약간 큰 階調度를 갖는 標의 영상을 화면의 임의 위치에

발생시킨후 그 階調度의 차이를 점차로 증가시키면서 관찰자가 標的영상을 感知하기 시작하는 때의 階調度 차이값 즉 臨界 階調度 차이를 측정하였다. 이 실험의 측정조건을 그림 1에 보였다.

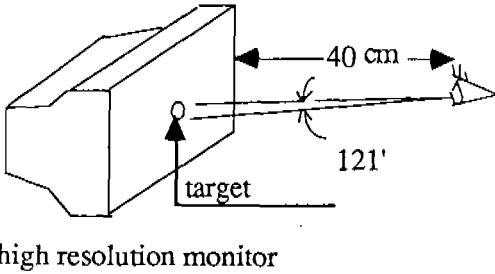


그림 1 균일한 背景 階調度를 가진 CRT모니터상에 표시된 標的 영상의 시각 인식 특성을 측정하는 心理 物理的 실험 조건을 보여주는 그림

Fig. 1 Schematic diagram showing the experimental conditions of the psychophysical experiment for measuring visual perceptual properties of the target image displayed on CRT monitor with uniform background grey level.

관찰자는 의학 영상분야에 경험이 있는 의공학 기사2명이었으며 관찰시 화면과 관찰자와는 약 40cm의 관찰거리를 유지하도록 하였고 標的영상은 표시된 상태에서 지름이 14mm인 원형 영상이었다. 이때 標的영상은 관찰자의 視野에서 약121'의 시각을 차지한다. 背景 階調度는 0에서 250까지 10단위로 증가시켜가며 각 경우의 시각인식 특성을 측정하였으며 각 관찰자에 대해 이 측정실험을 5번 반복 실시하여 모두 10벌의 측정값을 얻고 그 평균값을 취하여 각 背景 階調度에 대한 階調度차이의 문턱값을 얻었다.

또한 주변조명에 의한 시각 인식 특성의 영향을 아울러 조사하기 위하여 2가지 주변조명의 조건에 대해 이상과 같은 시각 인식 특성의 측정실험을 실시하였으며, 그 하나는 실험 1)에서와 같이 외부조명이 가능한 차단된 상태의 조도 2.5 lux인 조명 조건이며 다른 하나는 약3.5mm 높이의 천정에 40W 형광등이 9m²당 하나꼴로 설치된 작업환경에서의 조명조건으로서 이때 모니터 주변의 조도는

약 170 lux 였다.

조명조건에 따른 視覺系의 순응 과도기의 영향을 배제하기 위하여 인식 측정실험은 관찰자가 적어도 5분이상씩 조명조건에 익숙하게 된후 시작하였다.

3) 시각인식 특성의 예측

위의같이 측정된 시각 인식 특성의 자료는 그 자체로서도 유용하게 이용될수 있을 것이지만, 모델을 이용하여 이를 예측할수 있게 한다면 그 응용의 범위가 더욱 넓어질 것이며 시각 인식 특성을 이해하는 데도 도움이 될 것이다. 본 실험에서는 생리학 분야에서 제안된 바 있는 視覺系의 光化學 反應 모델에 위에서 측정된 모니터의 輝度 응답특성과 주변조명에 의한 안구내의 광 산란 현상을 적용함으로써 心理 物理的 실험에서 측정된바와 같은 臨界 階調度차이를 예측하는 視覺系의 모델을 개발하였다.

A. 光化學反應 모델의 반응 상수의 결정

시각 인식의 과정은 대단히 복잡하고 다단으로 연결된 일련의 과정으로 이루어져 있다. 그러나 그 중에서도 가장 기본적인 과정은 망막에 있는 시각 수용기 세포에서 광에너지가 세포의 막 전위로 변환되는 과정이다. 이 변환은 수용기 세포내의 가역적인 光化學反應에 의해 일어나는데 이 光化學反應의 활성도로서 시각 자극의 강도를 기술할수 있다. Hecht는 이 광 화학반응의 미분방정식으로부터 視覺系가 순응되어있는 背景 輝度L과 이 視覺系가 감지할수 있는 標的의 臨界콘트라스트($\Delta L/L$)_{th}와 의 관계를 식(2)와 같이 유도하였다[1]. 여기서 K₁, K₂는 광화학계의 반응 상수들로서 자극시간, 자극의 면적등에 따라 달라진다.

$$\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_{th} = K_1 \left(1 + \frac{1}{\sqrt{K_2 L}}\right)^2 \quad (2)$$

이 모델을 시각 인식 특성에 이용할수 있기 위해서는 주어진 실험 조건에 적합한 반응상수들을 정해야 한다. 이를 위해서 본 실험에서는 우선 視覺系의 인식 특성에 관한 문헌으로부터 본 실험과 관련된 실험자료를 구하고 기 발표 자료와 가장 잘 합치되는 반응 상수들을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 정하였다. 背景 輝度가 視覺系의 인식 특성에 미치는 영향에 관해서는 많은 실험 자료가 있으며 그 대부분은 標的 광원을 대단히 짧은 시간 동안 발광시킨 경우이므로 모니터에 표시된 영상

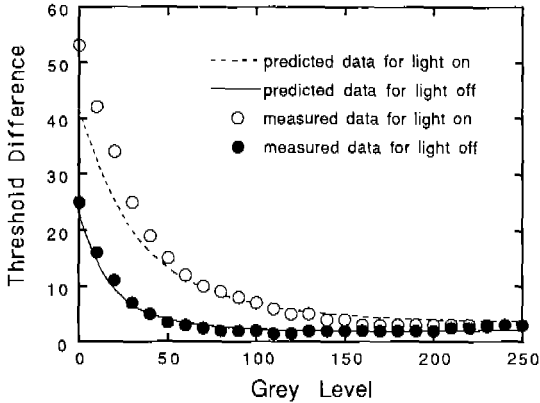


그림 4 여러가지 배경 階調度에 대한 標的 영상의 시각인식 측정 실험 및 視覺系 모델을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 실험 결과. 검은 원 및 흰 원은 각각 형광등 소등 및 점등 상태의 측정 결과이고 실선 및 점선으로 나타낸 곡선은 각각 형광등 소등 및 점등 상태에 대한 시각모델의 예측 결과이다.

Fig. 4 Shows the results of the psychophysical experiment for visual discrimination of the target image in various background grey levels and the result of computer simulation experiment using the visual model. Black circles and white circles are the measured data for light off and light on respectively, and the solid line and dotted line show the predicted results by visual model for light off and light on respectively

이와 같이 구한 散亂光量 等價輝度 L_s 와 앞에서 구한 K_1, K_2 그리고 (6)과 같은 모니터의 輝度 응답특성을 식(3), (4)와 같은 視覺系 모델에 적용함으로써 각 배경 階調度에서 標的 영상의 인식에 필요한 臨界 階調度 차이의 예측값을 구할 수 있었는데 이와같이 구한 예측결과를 그림 4의 心理物理的 실험 결과에 중복하여 실선과 점선으로 나타내었다. 여기서 실선은 형광등 소등상태에 대한 예측치이고 점선은 형광등 점등상태에 대한 예측치이다.

4. 檢 討

두 가지 조명 조건에 대하여 視覺系 모델의 예측치는 心理物理的 실험의 측정치와 대체로 잘 일치

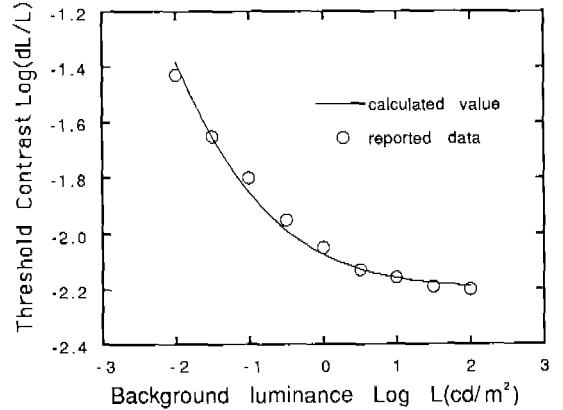


그림 5 視覺系의 光化學反應 모델의 반응상수 K_1, K_2 를 결정하기 위한 실험의 결과. 흰 원은 문헌 [2]로부터 취한 자료들이고 실선은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻은 K_1, K_2 를 적용하여 얻은 계산결과를 나타낸다. 여기서 標的 영상은 視覺 121'의 크기이다.

Fig. 5 Shows the experimental results to find out the reaction constants K_1, K_2 in photo-chemical reaction model for visual system. The circles are the data taken from [2], and the solid line represents the calculated results by computer simulation. The data are for the case of target size 121' in visual angle

하였다. 형광등 점등시 아주 낮은 階調度에서 보이는 오차는 모니터 표면에서의 반사광이 주변환경에서의 반사광을 반영하므로 실제로는 불균일한데 모델에서는 이를 균일하다고 근사화하였기 때문인 것으로 생각된다.

標的 영상의 인식에 필요한 배경과의 臨界 階調度 차이가 그림 4에서와 같이 낮은 배경 階調度에서 커지는 이유를 앞서 視覺系 모델을 이용하여 분석하였다. 먼저 그림 1과 같은 실험 조건에서 視覺系가 標的 영상을 인식하는데 필요한 標的 영상의 臨界 콘트라스트 즉 標的 영상의 輝度和 배경 輝度와의 비를 C_{TL} 이라 하고 이 값을 CRT 모니터의 전 배경 階調度的 범위에서 앞서와 같은 視覺系 모델을 이용하여 구하였다. 또한 각 배경 階調度에서 標的 영상에 배경과 단위 階調度만큼 차이날 때 標的 영상에 대한 輝度 콘트라스트를 증가분 콘트라스트 C_L 이라 하고 이를 마찬가지로 방법으로 CRT 모니터의 전 배경 階調度的 범위에서 구하였다. 그림 6에 이

와같이 구한 C_{TL} 과 C_L 의 곡선을 보였다.

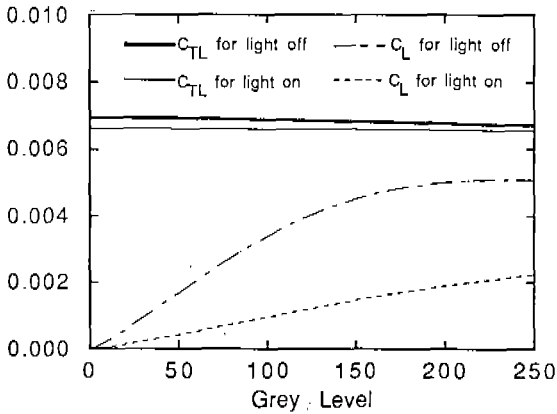


그림 6 標의 영상의 臨界 콘트라스트(輝度단위) C_{TL} 과, 배경과 단위 階調度만큼의 차이를 갖는 標의 영상의 증가분 콘트라스트 C_L 의 곡선. 제안된 모델을 이용하여 구한 곡선임.

Fig. 6 Shows the curves for the threshold contrast (in luminance unit) C_{TL} of the target image, and the incremental contrast C_L when the target image has unit grey level difference from background. These curves have been obtained by suggested model

그림 6에서 臨界콘트라스트 C_{TL} 이 CRT모니터의 背景 階調度에 상관없이 거의 일정한 것은 視覺系가 모니터의 발광 輝度에 비해 비교적 밝은 주변 조명에 이미 순응되어 있기 때문이다. 반면 단위 階調度 차이에 의한 증가분 콘트라스트 C_L 은 背景 階調度가 높을수록 큰 값을 보이는데 이는 식(6) 및 그림 3에서 보는 바와같이 CRT모니터의 輝度 변화율이 階調度가 높을수록 커지는데 반하여 背景 輝度는 모니터의 밝기보다 상대적으로 큰 주변 조명에 의해 階調度 변화에 상관없이 거의 일정한 값을 유지하기 때문이다. 주어진 背景 階調度에서 標의 영상이 인식되려면 標의 영상과 배경과의 階調度 차이에 의한 콘트라스트가 그 背景 階調度에서의 臨界콘트라스트보다 커야 한다.

각 背景 階調度에서 단위 階調度차이에 의한 증가분 콘트라스트 C_L 과 標의 영상이 인식되기 위한 臨界 콘트라스트 C_{TL} 의 비 C_L/C_{TL} 을 視覺效率(visual efficiency)이라고 하면 이 視覺效率은 그 背景

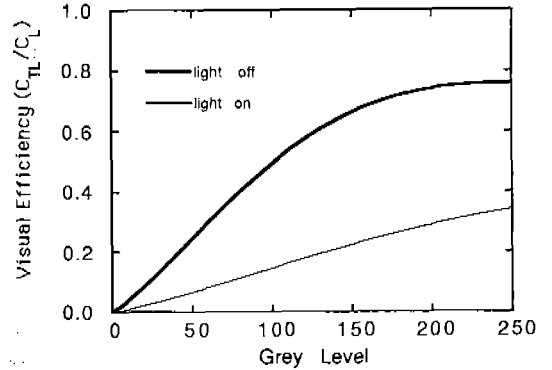


그림 7 그림 6의 臨界 콘트라스트 C_{TL} 과 증가분 콘트라스트 C_L 의 비로 정의된 視覺效率 곡선.

Fig. 7 Shows the visual efficiency curve defined as the ratio of incremental contrast C_L to the threshold contrast C_{TL} shown in Fig.6

階調度에서 영상정보가 시각적인 자극의 강도로 전달되는 효율이라고 할 수 있을 것이다. 그림 7은 그림 6에서의 C_L , C_{TL} 로부터 구한 視覺效率 곡선을 나타낸다. 그림 7에서 형광등 소등시보다 형광등 점등시에 視覺效率이 저하되며 두가지 경우 모두에 낮은 階調度의 범위에서 視覺效率이 낮음을 볼 수 있다.

이 그림에서 낮은 階調度의 범위에서 視覺效率이 낮은 것은 증가분 콘트라스트 C_L 이 이 범위에서 작기 때문임이 잘 나타난다. 이는 앞서 살펴본 바와 같이 CRT모니터의 輝度변화율이 이 범위에서 작은 때문이다. 이상의 사실을 종합하여 볼때 그림 4와 같이 낮은 階調度의 범위에서 標의 영상의 인식에 필요한 臨界 階調度차이가 커지는 것은 CRT모니터가 이 범위에서 작은 輝度변화율을 가짐으로써 CRT모니터상에 표시된 영상정보의 시각적 전달 효율이 떨어지기 때문임을 알 수 있다.

標의 영상의 인식에 영향을 미치는 주변 조명의 요소는 그림 2에서와 같이 두 가지로 나눌 수 있는데 그 하나는 모니터 표면에서의 반사광이고 다른 하나는 그외 주변으로부터의 빛이다. 이 두가지 요소 각각이 標의 영상의 인식에 미치는 영향을 알아보기 위하여 그림 2와 같이 근사화된 주변 조명 분포에서 모니터에서의 반사광 L_2 또는 그외의 주변 조명 L_1 중 하나만 존재할 경우를 가정하였을때

標的 영상의 인식에 필요한 臨界 階調度 차이를 앞에서 사용된 視覺系의 모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 구하였다. 그림 8에 그 결과를 나타내었는데 이 결과로부터 標的 영상의 인식을 방해하는 주된 요소는 모니터 표면에서의 반사광인 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 CRT모니터에 표시된 영상 정보의 전달효율을 높이기 위한 몇가지 방안을 제시해 보도록 하겠다. 첫째는 가능한한 주변조명을 차단하는 것이다. 이방법은 외부와의 차단이 가능한 검사실 같은 경우는 가능하나 부득이하게 주변조명이 상당량 필요한 경우는 어려울 수도 있다.

두번째는 모니터의 표면에서의 반사광을 억제하는 것이다. 이방법은 모니터의 표면에 반사방지 코팅처리를 해주는 것이 가장 원천적인 해결방법이겠지만 손쉽게는 모니터의 주위에 차양을 씌워줌으로써 어느정도 반사광의 문제를 억제할 수 있을 것이다. 세번째는 모니터의 輝度 응답 특성을 보정함으로써 전階調度 범위에서 視感度를 균일화시키는 것이다. 이것은 직접 CRT의 구동회로를 개선함으로써 이룰 수도 있고 대부분의 디지털 영상표시장치에 내장되어 있는 Look-up table을 조정함으로써 간접적으로 해결 수도 있을 것이다. 네번째로는 그림 6과 같은 視覺認識 특성을 반영한 영상처리를 해주는 방법이다. 이를 위한 영상처리 방법으로는 영상의 형태를 왜곡시키지 않는 범위내에서 가능

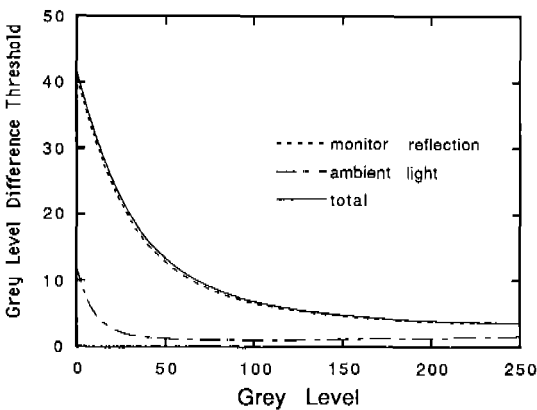


그림 8 주변조명이 標的 영상의 인식에 미치는 영향에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 실험결과.

Fig. 8 Shows the computer simulation results for the effect of ambient illumination on the visual discrimination of target image

한한 영상 데이터의 다이내믹 레인지를 축소시키고 視覺効率が 높은 階調度 범위에 영상이 표시되도록 하는 방법이라든지 전 階調度에 대해 높은 視覺効율을 얻을 수 있도록 하는 階調度 적응 콘트라스트 개선법등이 있을 것이다.

5. 結 果

CRT모니터의 背景階調度가 標的 영상의 인식에 미치는 영향을 조사하기 위하여 세가지 실험을 수행하였다. 그 첫번째 실험인 CRT모니터의 輝度 응답 특성 측정 실험 결과 CRT모니터는 階調度에 대하여 지수 2.2 인 $!$ 乘의 관계가 있는 것이 밝혀졌으며, 두번째 실험인 標的 영상의 인식에 대한 心理物理的 실험에서는 CRT모니터의 背景階調度가 50 이하로 낮은 영역에 대해서는 標的 영상의 인식을 위한 배경과의 階調度 차이가 상당히 커짐을 알 수 있었다. 세번째 실험인 視覺系 모델을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 실험에서는 Hecht의 光化學반응 모델에서의 背景 輝度에 주변 조명에 의한 안구에서의 散亂光量 等價輝度を 반영함으로써 心理物理學 실험결과와 잘 일치하는 예측치를 얻을 수 있었다.

이 모델을 이용한 분석 결과 낮은 背景 階調度에서 視覺効率が 저하되는 것은 視覺系가 주변 조명에 순응되어 있는데 반하여 모니터의 변화율이 이 범위에서 매우 작은 때문임을 알 수 있었다. 특히 주변 조명이 밝을 때 낮은 階調度의 범위에서 視覺効率が 급격히 떨어지는 것은 모니터의 표면에서 반사되는 반사광이 주 원인이라는 사실 또한 이 모델을 이용한 분석을 이용하여 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Hecht, S, "A theory of visual intensity discrimination", *J.Gen.Physiol.*, Vol. 18, pp. 767-789, 1935.
- 2) H.R. Blackwell, "Contrast Thresholds of the Human Eye", *J. Opt. Soc. Am.*, V.36, PP. 624-643, 1946.
- 3) Moses, *Adler's Physiology of the Eye*, Mosby, London, pp. 389-390, 1975.

4) Brent Baxter, H.Ravindra, R.A. Normann,
Changes in lesion detectability caused by light
adaptation in retinal photoreceptors", *Invest.*

Radiol., Vol. 17, pp.394-401, 1982.

5) Martin D. Levine, *Vision in Man and Machine*,
McGraw Hill, New York, p. 75, 1985.