TFT-LCD의 품질검사기준 설정을 위한 픽셀결점 탐지도 평가

A study on the detection probabilities of pixel defects with respect to their locations on the TFT-LCD

김 상 호 *, 양 승 준 *

Abstract

The number of pixel defects including bright and black dots on a panel is one of the critical factors determining the quality of TFT-LCD. Since pixel defects on the TFT-LCD panels are sometimes unavoidable, manufacturers have to inspect the panels so that any panel with an unacceptable number of defects will not be delivered to the buyers. However, the buyers demand for the manufacturers to meet different pixel defects tolerances (acceptable number of pixel defects on a TFT-LCD panel) around central(tight) and peripheral(loose) inspection zones. The disagreement in quality standard among different buyers also cause confusions in screening non-confirmative products and unstable yield of production. Few research has focused on the effects of defect locations on a TFT-LCD panel on their detection probabilities and the rational division of defect inspection zones.

In this research, experiments were conducted to find the detection probabilities of black dot defects with respect to their varying locations on a TFT-LCD. It is proposed a rational division of inspection zone on a TFT-LCD panel on the basis of detection probabilities of the defects. With these division of inspection zones and the mean defect detection probability within each zone, it is expected to establish a more reasonable pixel defects tolerances.

1. 서 론

최근 TFT-LCD가 컴퓨터용 모니터 또는 대형 TV 등 다양한 용도로 각광받고 있다. TFT-LCD는 품질기준에의 적합성(conformity)을 판정하기 위해 제품 출하 전 많은 검사 과정을 거치게 된다. 이러한 과정에서 광학기기로 제품의 특성을 측정하며, 검사원

* 금오공과대학교 산업시스템공학과

들이 육안으로 제품의 적합, 부적합을 판단하기도 한다. 현재 광학기기로 제품을 검사할 때에는 국제규격인 ISO13406, VESA, TCO99 등이 검사기준으로 활용되고 있다(이원복, 1999). 검사원에 의한 육안검사는 각 제품에 대한 buyer들의 요구조건을 기준으로 실시되는데, 각 회사와 국가 간의 표준이 정해져 있지 않아서 buyer들은 각자 자의적으로 결정된 규격을 제시하고 있다. 최근의 TFT-LCD들은 고화질화, 대형화와 동시에 소비자의 제품 선택 조건도 점차 고품질을 지향하고 있다. 이런 고품질의 제품은 가격 또한 상당히 높게 책정되어 있는데 대형 화면을 주도하고 있는 PDP의 경우와 비교해 보더라도 TFT-LCD는 동급 PDP에 비해 130~150% 수준의 가격이 책정되어 있다(한수연, 2002). 이런 고가의 제품이 buyer들의 서로 다른 판정기준으로 인해 적합, 부적합 판정에 차이가 존재한다면 검사규격에 대한 혼란뿐만 아니라 수율의 불안정을 초래할 수 있다. 따라서 동등한 제품에 대한 동등한 검사규격을 마련하여 buyer들의 서로 다른 요구에 합리적으로 대응할 수 있어야 할 것이다. 또한 기존의 검사영역 구분에 대해서 실제적인 실험을 통해 합리적 준거를 도출할 필요가 있다.

2. 연구내용 및 방법

현재 TFT-LCD 결점검사에서 휘점과 암점의 검사기준은 buyer에 따라 서로 다르지만, 공통적 특성은 엄격히 관리하는 영역과 느슨한 관리영역을 구분하고 있다는 점이다. 일반적으로 디스플레이의 중앙에서 끝까지를 4등분 하여 안쪽을 엄격히 관리하는 A 영역, 바깥쪽을 B 영역으로 구분한다. 검사원은 각 영역내의 결점개수로 제품의 적합성 여부를 판단하게 된다. 엄격한 수준의 buyer 들은 A 영역의 허용 결점 개수를 줄일 것이며, 조금 느슨한 수준의 buyer 들은 A영역의 허용 결점 개수를 늘일 것이다. 본 연구에서는 일반 사용자를 대상으로 결점의 위치변화에 따른 결점 탐지 실험을 실시하여 현재 사용되고 있는 A, B 영역에서의 검출력을 확인해보고자 한다. 또한, A, B 영역보다 세분화된 영역으로 구역 구분을 실시함으로써 영역별 허용 가능한 결점개수의 비와 보다 합리적인 영역 구분의 가능성을 확인해보고자 한다.

2.1 실험 방법

피실험자는 금오공과대학교에 재학 중인 21~28 세 사이의 남자 18 명이 참가 하였으며, 현재 안계 질환이 존재하지 않으며, 교정시력을 포함하여 1.0~1.5 의 시력을 가진 사람들로 구성되었다. 주변 휘도는 일반적인 가정의 휘도에 맞는 450 lux로 설정하고, 디스플레이와 피실험자와의 거리는 표준 시청거리 3 m를 사용하였다. 실험을 실시할 동안 다른 빛과 소음을 방지하기 위하여 차광을 하고, 주변을 통제하여 피실험자가 실험에 집중할 수 있는 환경을 제공하였다.

소프트웨어를 이용하여 구현한 사각의 점을 피실험자가 결점으로 인식하도록 하였다. 각 결점의 발생 위치는 서로 겹쳐지지 않으며 주변 3 cm 이상의 거리를 두고 발생하

도록 설정하였다. 이는 현재 검사과정에서 서로 간의 거리를 최소 2 cm로 판단하기 때문이다. 결점의 크기는 1 픽셀로 고정하였는데 이는 주변 픽셀과의 간섭 등으로 인해 결점의 크기가 픽셀 1 개 이상으로 나타나면 부적합품으로 판정되기 때문이다. 각 결점의 발생 위치는 각 실험마다 random하게 변화하도록 하였다.
본 실험에 사용된 디스플레이는 30″ 디지털 TFT-LCD이며, 결점의 탐지여부는 피실험자가 원으로 된 마우스를 결점 위에 놓고 클릭하면 없어지는 방식으로 구현하였고, 탐지 시간, 결점위치가 저장되도록 코딩하였다.

2.2 실험 계획

실험은 예비실험과 본 실험으로 구성되었다. 예비실험을 통하여 피실험자에게 실험의 순서와 내용을 알게 하였으며, 학습효과를 제거하였다. 또한 본 실험에서 적용할 탐색 작업시간을 구하도록 하였다. 실험은 1 회에 3 번씩 실시하도록 하였으며, 총 2 회의 실험을 실시하고, 각 실험마다 1 분간의 휴식을 주고 실시하였다. 실험의 수행도를 높이고 일정한 시간을 찾기 위하여 탐색전략을 도입하였다. 1968년 Lovie가 제시한 systematic 탐색 방법은 왼쪽 위 모서리에서부터 오른쪽으로, 위에서 아래로 순차적으로 검색하는 방식으로 natural과 random한 방식에 비해서 수행도의 증가가 생긴다고 하며(Drury & karwan, 1984), 일반 검사원들은 검사를 실시 할 때 systematic한 방식을 적용한다고 한다(Drury & Chi, 1995). 따라서 모든 피실험자에게 systematic 방법을 알려주어서 실험에 임하였다(Colin G. Drury. 1997).
본 실험은 예비 실험을 통하여 동일한 systematic 탐색 전략을 가진 피실험자가 화면에 뿌려지는 픽셀단위의 결점을 찾아내는 실험이다.

2.3 결점 검출력 추출을 위한 실험

전체 실험은 균일한 결점발생 실험과 불균일한 결점발생 실험의 두 가지 조건에서 실시되었다. 균일한 결점발생 실험은 디스플레이에 일정 개수의 결점을 제시한 상태에서 피실험자에게 결점 수에 대한 정보를 제공하지 않고 실험을 실시하였다. 총 2 회의 실험을 실시하였는데 1 회의 실험은 5 번의 시행으로 이루어졌다. 대상 디스플레이는 휘도가 높고 흰색 바탕 상태에서 실험이 진행되므로 눈의 피로를 감안하여 각 1 회의 시행 후 1 분간의 휴식을 실시하였다. 정해진 탐색시간을 초과하게 되면 실험자가 곧바로 실험을 정지시키고 다음 시행으로 진행하였다. 실험에서 나타나는 결점의 위치는 모두 랜덤화 하였다.
불균일한 결점 발생 실험은 피실험자가 정확한 발생 개수는 모르지만 실험이 반복됨에 따라 앞선 실험에서 발생된 결점 개수에 대한 정보를 통해 일정한 결점 개수를 상정하고 기대치에 따라 일정 개수 이상을 찾으려 할 경우 결점 검출력의 증가가 발생할 소지가 있다고 판단되어 불균일한 결점개수에 대한 실험을 시행하였다. 실험방식은 균일한 결점 개수 발생 실험과 동일하게 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 피실험자별 결점탐지 시간과 검출력의 유의차 분석

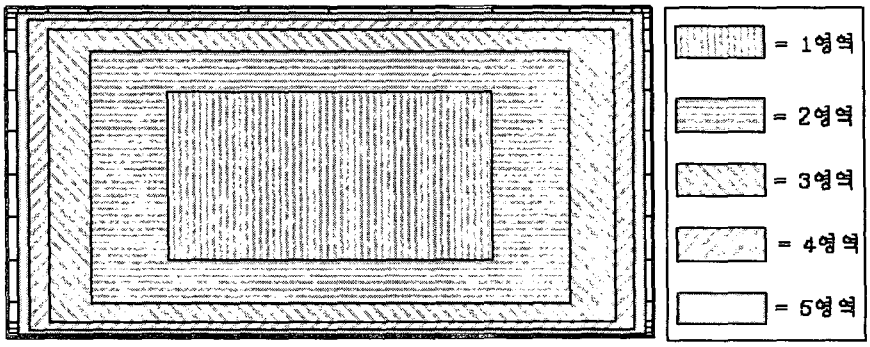
예비실험을 통해 탐지시간을 105 초로 결정하였다. 본 실험에서는 1명을 제외하고 모두 정해진 시간 내에 실험을 완료하였다. 균일 실험에서는 평균 97 초, 표준편차가 4 초로 나타났으며, 불균일 실험의 평균 시간은 93 초, 표준편차는 9.23 초로 나타났다. 여기서 산포가 커진 것은 결점의 발생빈도가 일정하지 않았기 때문인 것으로 추정된다. 이로써 탐색시간이 피실험자의 검출력에 영향을 미쳤다고 볼 수는 없다는 결론을 도출하였고, 피실험자가 동등한 환경에서 주변 요인들을 통제한 상황의 결점 검출력에 영향을 미치는 요소는 결점의 발생 위치라고 말할 수 있다. 검출력에 대한 피실험자별 유의차 분석 결과 [표 1]과 같이 피실험자별 검출력에 유의차가 존재하지 않았다. 따라서 본 실험은 디스플레이에 대한 일반인의 검출력을 표현했다고 볼 수 있다.

<표 1> 균일 결점실험과 불균일 결점 실험의 피실험자별 유의차 분석

Analysis of Variance			
균일 결점 실험		불균일 결점 실험	
F	0.77	F	0.78
P-Value	0.705	P-Value	0.644

3.2 영역별 결점 검출력에 의한 결점 개수 비

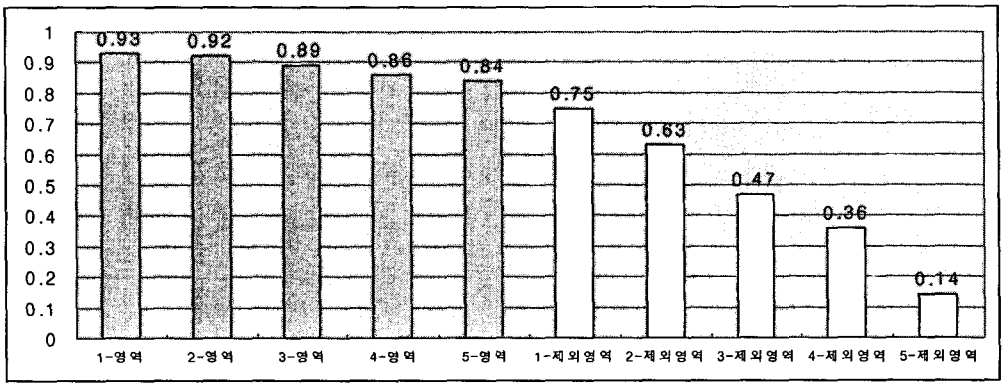
결점의 발생영역별 검출력을 확인하기 위하여 디스플레이 전체 화면을 [그림 1]에서와 같이 5등분으로 구분한 후 검출력을 비교하였다. [그림 1]에서의 1영역이 기존의 A 영역에 해당하며, 1 영역을 제외한 영역이 B 영역이다. [표 2]는 균일 실험과 불균일 실험의 결과 5등분한 영역별 결점 검출력을 정리 한 것이다. 두 가지 실험조건 모두 각 영역의 안쪽에서는 검출력이 서서히 떨어지지만 디스플레이의 가장자리로 다가갈수록 검출력이 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 두 실험조건에서 나타난 결점 검출력에 유의한 차이가 존재하는 가에 대해서 χ^2 동일성 검정을 실시한 결과 p-value 가 0.969 로서 두 실험 결과에는 유의한 차이가 존재하지 않음을 확인할 수 있었다. [그림 2]에 두 실험조건에서 얻은 결과를 통합하여 영역별 검출력을 나타내었다.



<그림 1> 디스플레이 영역 구분 형태

<표 2> 균일 결점과 불균일 결점 영역별 검출력

	균일결점 실험		불균일결점 실험	
	안쪽 영역 검출력	바깥쪽 영역 검출력	안쪽 영역 검출력	바깥쪽 영역 검출력
1 - 전체의 16 등분	91 %	73 %	97 %	81 %
2 - 전체의 64 등분	90 %	61 %	95 %	70 %
3 - 전체의 256 등분	88 %	44 %	93 %	54 %
4 - 전체의 1024 등분	84 %	26 %	92 %	33 %
5 - 전체의 4096 등분	82 %	14 %	90 %	13 %



<그림 2> 전체 영역별 결점 검출력

기존의 A 영역과 B 영역에 있어서 허용 가능한 결점의 전체 개수를 정확히 정의하기는 어렵지만 현재 나타난 검출력을 이용해 결점의 비로서 영역별 결점 개수를 제시할 수 있다. 전체 영역에서 A 영역의 검출력이 93 %인 것은 A 영역의 결점을 발견할 수 없는 확률이 7%라는 것과 동일한 의미이다. 따라서 결점발생 확률 대비 A 영역 결점 발생 확률은 전체 개수 대비 A 영역의 개수로 표현된다. 예로써 전체 결점 수가 12개라면 다음과 같은 계산이 가능하다

0.32 : 0.07 = 12 : A 영역
0.32 : 0.25 = 12 : B 영역

따라서, 허용 가능한 결점의 개수는 A 영역에서 2.63 개, B 영역에서는 9.37 개 이다. 이처럼 현재 TFT-LCD 결점검사에서 사용되는 허용 결점 개수 기준을 영역별 결점비로 바꾸어 나타내면 서로 다른 검사기준을 가진 buyer들이 통일된 기준을 적용할 수 있는 가능성을 열어줄 수 있을 것이다.

3.3 기존의 영역과 검출력에 의한 영역 구분

3.2절의 [그림 2]에서 확인한 것처럼 디스플레이의 검출력은 디스플레이의 가장자리 부분에 의해서 결정되는 것으로 판단된다. 실제로 본 연구에서 정의한 5개 영역별 검출력의 유의차를 확인하기 위하여 χ^2 동일성 검정을 실시하였다.

<표 3> χ^2 영역별 검정

영역	1	2	3	4	5
Total	939	2132	2846	3240	3428
Hit	872	1955	2536	2793	2878
P-Value	0.122				

[표 3]에 정리된 바와 같이 p-value가 0.122로 전반적인 영역별 검출력의 차이는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 1 영역과 5 영역간의 차이에서는 p-value가 0.059로서 현재 사용되는 영역 중 비교적 큰 검출력의 차이가 나타났다. 따라서 1~4 영역을 동일한 영역으로 간주하고 A 영역의 확장된 영역으로, 5 영역을 B 영역으로 대체할 수 있을 것이다. 이러한 결론에 비추어 본 다면 기존의 A, B 영역구분은 다소 비합리적인 것으로 판단된다. 앞서 3.2 절에서 도출된 결점 비를 확장된 A(1~4), B(5) 영역에 적용하면 A 영역은 2.15 개, B 영역은 9.85 개가 된다. 기존의 A 영역에서의 허용결점 개수는 2.63 개이지만 확장된 A 영역에서 2.15 개로 줄어든 것은 전체 허용개수를 고정할 경우 모서리 부분에서의 허용개수가 늘어났기 때문에 나타나는 현상이다.
한편, 새롭게 정의한 A, B 영역구분에 따르면 확장된 A 영역의 크기는 509.8 × 382.6 ㎜로 전체 디스플레이의 크기인 513 × 385㎜와 뚜렷한 차이가 나타나지 않는다. 따라서 현재 A 영역의 구분을 4 부분까지 확장한다면 점차적으로 영역별 검출력을 구분하지 않고 디스플레이의 전체 영역에서의 결점개수로 단일화하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

최근 TFT-LCD의 기술발전에 힘입어 고화질의 제품이 출시되는 시점에서 현재 결점

검사 기준으로는 소비자의 요구에 대응하기에 부족한 측면이 있다. 또한 buyer들이 제시하는 서로 다른 검사기준에 대응하다보면 공정의 수율변동을 피하기 어렵다. 따라서, 보다 명확하고 통일된 검사기준의 확립이 시급하다고 하겠다.
본 연구에서 나타난 영역 구분에 따른 결점의 검출력을 고려할 때 현재 A, B 의 영역 구분은 합리적이지 않으며, 실험에서 나타난 확장된 영역, 1~4 와 5 로 바꾸는 것이 타당하겠다. 또한, 기술이 발전함에 따라서 영역 구분을 하지 않고 점차 전체 디스플레이의 결점 개수로 검사조건을 바꾸어 나가야 할 것이다.
본 연구에서는 픽셀 검사 중 암점에 관하여만 실험을 실시하였다. 하지만 인간의 시각 특성상 다른 색이 나타났을 때 이로 인한 착시 현상과 색에 의한 간섭 현상이 나타나서 이로 인한 결점 검사 시에 영향을 미칠 수가 있으므로 차후에 R, G, B와 휘점에 관하여 실험을 실시하여 본 실험의 결과와 검출력에 대해서 비교해 보아야 할 것이며, 현재 실험의 결과로서 타 디스플레이에도 같은 현상이 나타날 수 있으므로 타 디스플레이로의 확장성을 고려해 보아야 할 것이다.

5. 참 고 문 헌

[1] 신성문, "TFT-LCD 정보통신 산업동향", 전자 부품 연구원, 전자정보센터, (http://eic.re.kr ,) 2003

[2] 이원복, "LCD 모니터의 반사율 특성에 따른 시각 작업 수행도 평가", 금오공과대학교 석사학위논문, 1999

[3] 한수연, "LCD, 대화면 TV 시장 놓고 PDP와 격전 예고", 주간 경제, LG 경제 연구원, 2002

[4] Arani, T., Drury C.G. and karwan, M.H, "A variable Memory model of visual search", Human Facotrs, 26(6) pp 631~639, 1984

[5] Drury, D.G. and Chi, C.F, "A test of economic models of slopping policy in visual search", IIE Transactions, 27 pp 382~393, 1995

[6] Karwan, M., Morwski, T.b and Drury, C.G., "Optimum speed of visual inspection using a systematic search strategy", IIE Transactions, 27 : 291~299, 1995

[7] Lovie, A.D., and P. Lovie, "The effect of a horizontally structured field and target brightness on visual search and detection times", ergonomics, 11(4) pp 359~367, 1968

[8] Mao-Jiun J. Wang, shu-chiang Lin, Colin G. Drury, "Training for strategy in visual search", International Journal of Industrial ergonomics 20, 1997

[9] Saitoh, F, "A method for detection pixel defects in LCD visual inspection system", Journal - Japan Society For Precision Engineering, vol 63, no.4, pp. 520~524, 1997