

주변 조도 변화에 따라서 TFT LCD의 Contrast Ratio를 자동 조절하는 방법

김상현, 손재식, 한관영, 이준신
 성균관대학교, 삼성전자, 삼성전자, 성균관대학교

Automatic control method of the TFT LCD's Contrast Ratio according to ambient light

SH KIM, JS SON, KY HAN, JS LEE

Sungkyunkwan Univ., Samsung Electronic Co., Samsung Electronic Co., Sungkyunkwan Univ.

Abstract - Mobile display는 사용자가 이동하면서 화면을 보기 때문에 주변 luminance의 변화에 따라서 contrast ratio 변화가 심하다. 특히 햇빛 아래에서는 Mobile display의 화면을 알아보기 어렵다. 본 연구에서는 주변 조도가 증가할수록 TFT LCD의 black 휘도의 변화율이 white 휘도 변화율보다 크게 작용하여 전체 contrast ratio(이하 CR)가 크게 감소함을 확인하였다. 또한, 반투과형 LCD는 반사층을 통해서 외부 빛을 반사시키기 때문에 주변 조도가 높아도 일정 수준의 CR은 유지할 수 있다. 그러나 투과형 LCD보다 CR이 낮았다. 본 논문에서는 투과형 TFT LCD에 back light 광원으로 LED를 사용하고, photo diode와 LED drive IC를 이용하여 주변 조도의 광량에 따라서 LCD의 back light LED의 휘도를 3단계 조절할 수 있는 회로를 구성하였다. 이렇게 함으로써 주변 조도에 따라 자동으로 back light 휘도 조절이 가능한 결과를 얻었다.

변화에 따라서 LCD back light의 휘도를 자동으로 조절하여 시인성을 개선시키는 방법을 제안하여 mobile 제품에 적합한 LCD 제작 방식을 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 환경에 따른 조도의 변화와 CR

2.1.1 LCD mode별 분류

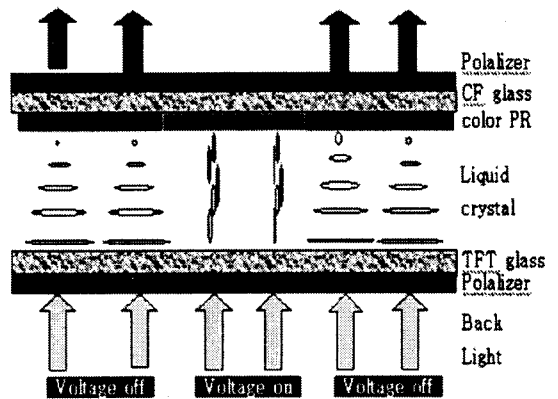
Twisted Nematic 액정의 TFT LCD는 광원을 이용하는 방식에 따라서 투과형, 반사형, 반투과형으로 구분할 수 있다. 투과형 LCD는 화소마다 형성된 TFT 소자를 동작시켜 액정 양단의 전압을 조절하면, 그에 해당하는 만큼 액정 분자가 반응하여 Back light 에서 발광된 빛의 투과량을 제어함으로써 gray에 따른 색상을 표현한다. [그림 1]의 투과형 TFT LCD는 TFT LCD중에서 가장 단순한 구조며, 많은 LCD 업체에서 채택하고 있는 구조다. 하지만 태양광과 같은 아주 밝은 환경에서는 시인성이 떨어진다.

1. 서 론

액정 Display에서 요구되는 표시 성능은 고휘도, 우수한 색재현성, 빠른 응답 속도, 넓은 시야각 그리고 높은 Contrast ratio 등을 들 수 있다. 액정 Display가 Notebook computer나 Monitor, TV 및 Mobile display 등으로 응용처가 확대됨에 따라서 이러한 표시 성능은 제품의 특성에 적합하게 적용하고 있다. 모니터나 TV 등은 사무실이나 가정에서 안정적이고 적절한 조명 아래에서 사용자와 일정한 거리를 유지하면서 사용되고 있어서 환경 변화에 따른 표시 성능에 대한 요구가 별로 없다. 하지만 휴대용 액정 display는 휴대 전화나 PDA, Game 기 등에 채용되어 사용자가 이동하면서 사용하고 있다. 침실이나 영화관 같이 어두운 곳에서나 사무실, 식당 같이 밝은 실내, 또는 자동차나 경기장 등과 같은 실외에서도 사용한다. 따라서 mobile용 액정 display는 사용하는 환경의 밝기가 변하더라도 시인성 변화가 작은 특성이 가장 중요하다.

액정 display는 주변 조도가 밝아지면 contrast ratio가 감소해서 시인성이 나빠진다. 특히 태양광 아래에서는 표시 화면을 거의 알아보기 어렵다.⁽⁶⁾ 이러한 문제점을 해결하기 위해서 밝은 태양광을 반사시켜서 display하는 반사형 LCD가 개발되었지만, 광원이 약하거나 어두운 곳에서는 화면이 잘 안 보인다.⁽⁴⁾ 이를 개선한 방식이 어두운 곳에서는 LCD의 Back light를 이용하고, 밝은 곳에서는 외부 광을 반사시켜서 화면을 표시함으로써 실내의 어디에서나 시인성을 향상시킨 반투과형 LCD가 개발되었다. 그러나 반투과형 LCD는 반사 mode와 투과 mode에서 액정 구동 전압에 따른 gray 차이가 있고, 태양광 아래에서는 여전히 contrast가 낮으며, 투과형에 비해서 반사층과 유기 보호막 등의 TFT panel 제조 공정이 추가되기 때문에 생산성이 낮은 문제점이 발생한다.⁽¹⁾

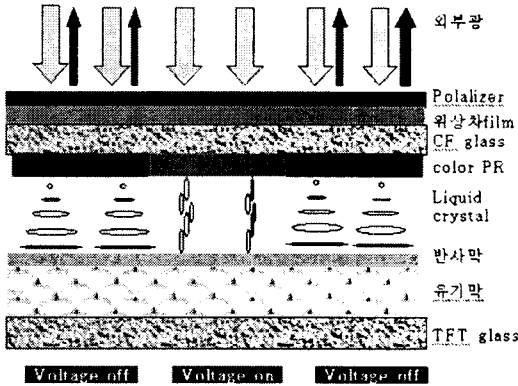
본 논문에서는 투과형 LCD를 이용하여 주변 밝기가



[그림 1] Twisted Nematic 방식의 투과형 TFT LCD의 동작 방식

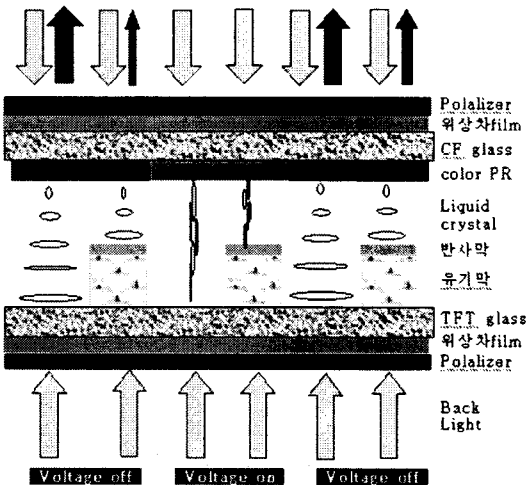
반사형 TFT LCD는 color filter를 통해서 입사된 외부 광이 panel 내에 형성된 반사층에서 반사되고, 다시 color filter를 통과해서 나오으로써 색상을 구현한다.⁽¹⁾ [그림 2]에서 보듯이 반사형 LCD는 투과형 LCD와는 달리 편광판에서 선형 편광된 빛을 원편광 상태로 바꿔주는 위상차 film과, 입사된 빛을 반사시키는 반사층, 그리고 반사율을 향상시키기 위한 유기막이 필요하다. 따라서 반사형 LCD는 제조 공정이 복잡해서 생산성이 낮고,

반드시 외부 광원이 있어야 하며, 어두운 곳에서는 시인성이 매우 떨어진다. 하지만 태양 광선에서는 투과형 LCD에 비해서 시인성이 상당히 우수하다.



[그림 2] Twisted Nematic 방식의 반사형 TFT LCD의 동작 방식

투과형 LCD의 장점인 실내에서 우수한 시인성과 반사형 LCD의 태양광 아래서 우수한 시인성의 장점을 겸비한 것이 반투과형 LCD이다. [그림 3]에서와 같이 하나의 pixel을 반사창과 투과창으로 분할하여 한쪽은 투과형 구조를, 다른 한쪽은 반사형의 구조를 그대로 사용한다. 하지만 반투과형 LCD의 경우 투과 영역이 작아서 휘도가 투과형보다 낮고, 실외에서도 반사형 LCD보다 반사율이 낮아서 시인성이 떨어진다. 특히 투과 Mode와 반사 Mode의 gamma curve 차이로 인해서 색재현성 차이가 발생하는 문제점도 있다.⁽¹⁾



[그림 3] Twisted Nematic 방식의 반투과형 TFT LCD의 단면 구조

2.1.2 Mobile 제품 사용 환경에 따른 조도

TFT LCD가 채용된 Mobile 제품은 침실이나 거실, 사무실 등의 실내뿐만 아니라 차량 이동시 또는 운동 경기장 등의 실외에서도 사용하기 때문에 사용 환경이 계속 바뀌고 있다. 이러한 환경의 변화는 조도에서 많은 차이가 발생하고 있으며, 주변 조도에 의한 시인성의 차이가 나타난다. 실제 Mobile 제품의 사용 환경에 대한 조도를 측정할 값을 [표 1]에 나타냈다. 일반 사무

실은 450lux 정도이며 흐린날 실외는 4,200lux 수준으로 약 10배 더 밝았다. 맑은 날 자동차 안에서는 8,800lux, 건물 그늘의 조도는 그 두배 정도로 조사되었다. 맑은 날 오후 직사 광선의 조도는 조도계의 측정 범위를 벗어나서 측정하지 못했다.

[표 1] 환경에 따른 조도 측정값
측정기 : ANA-F9 LUXMETER
측정 단위 : Lux

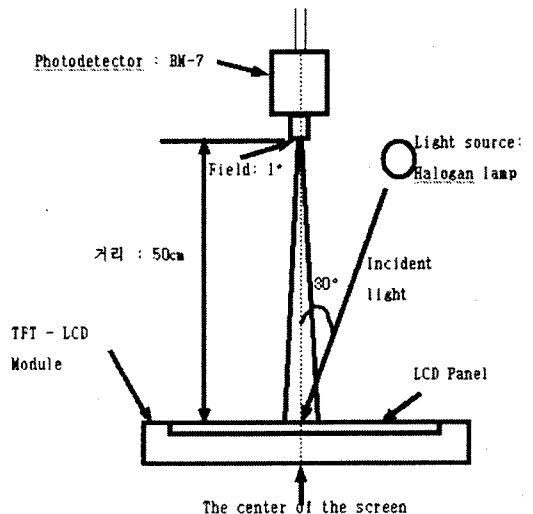
측정 장소	1회	2회	3회	평균
일반 사무실 책상	451	452	452	452
구름낀 흐린날 실외	4,249	4,194	4,268	4,237
맑은날 15시자동차안	8,912	8,772	8,897	8,860
맑은날 14시건물 그늘	16,375	16,324	16,548	16,416
맑은날 14시 직사광선	O/R	O/R	O/R	O/R

2.1.3 휘도 측정과 CR 계산

휘도 측정은 상온의 암실에서 [그림 4]와 같이 상부에 photodetector (BM-7)를 LCD panel에서 50cm 떨어진 위치에 1' field로 고정시키고, LCD panel과 수직 방향에서 30' 위치에서 빛을 비추면서 광량을 조절하여 조도를 변경하였다.⁽⁵⁾ CR은 LCD panel의 중앙에서 white 휘도와 black 휘도를 측정할 후, (식 1)처럼 두 pattern의 휘도 비율을 계산하였다.⁽³⁾

$$(식 1) \quad Contrast Ratio = \frac{G_{max}}{G_{min}}$$

- * Gmax : white 휘도
- * Gmin : black 휘도



[그림 4] TFT LCD 휘도 측정 구성도

2.2 투과형 LCD와 반투과형 LCD의 주변 조도 변화에 따른 CR 변화 비교

투과형과 반투과형 LCD의 주변 조도에 따른 시인성 차이를 비교하기 위해서 [표 2]에 제시한 사양의 TFT

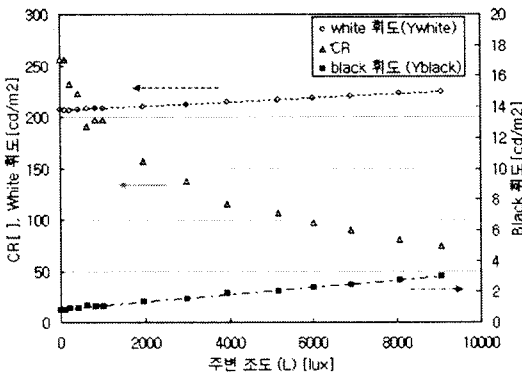
LCD로 black과 white 휘도를 측정하여 CR을 계산했다.

[표 2] 투과형 LCD와 반투과형 LCD 비교

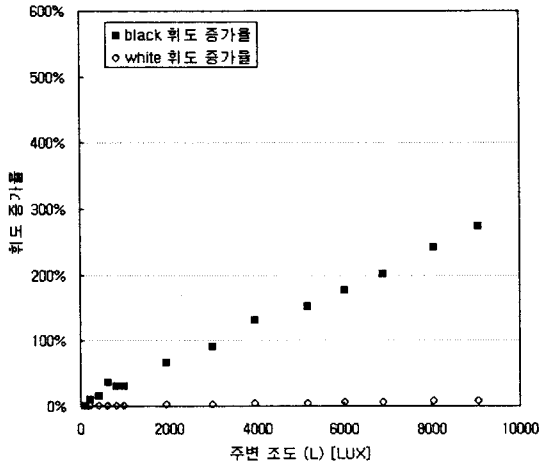
구분	투과형	반투과형	단위
Display size	2.03	2.03	inch
Display Area	34.848(H) *38.016(V)	30.96(H) *41.28(V)	mm
Pixel pitch	0.198(H) *0.198(V)	0.129(H) *0.129(V)	mm
Aperture ratio	50	32(투과)/ 53(반사)	%
해상도	QCIF	QVGA	-

2.2.1 투과형 TFT LCD의 CR 변화

[그림 5]는 암실에서 투과형 TFT LCD의 주변 조도를 변경하면서 White 휘도와 Black 휘도를 측정하여 CR을 계산한 결과다.



[그림 5] 조도 변화에 따른 투과형 LCD의 휘도 및 CR 값 변화



[그림 6] 투과형 LCD의 주변 조도 변화에 따른 휘도 증가율

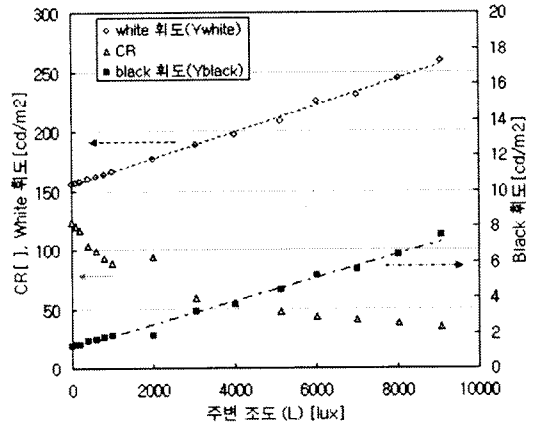
LCD panel 주변 조도가 증가함에 따라서 삼각형으로 표시한 CR 값은 감소한다. 주변 조도를 바꾸면서 휘도를 측정할 경우에는 LCD panel의 편광판이나 glass 및 내부 pattern에서 반사된 빛이 휘도에 영향을 미친다.

주변 조도가 증가함에 따라서 black 휘도와 white 휘도의 증가율을 [그림 6]에 나타냈다. 초기 암실에서 값이 낮은 black 휘도는 주변 조도가 증가함에 따라서 반사에

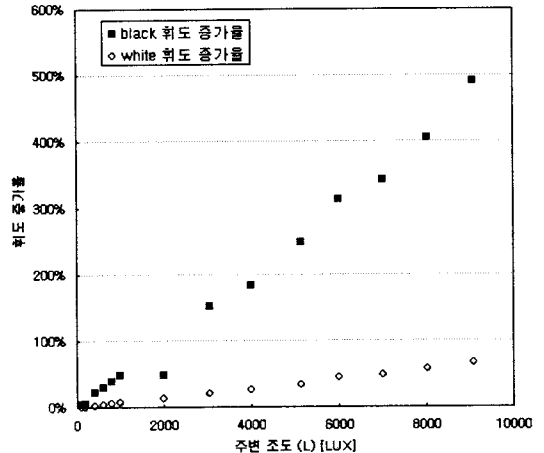
의한 휘도의 증가율이 White의 휘도의 증가율보다 큼을 알 수 있다. 따라서 CR을 계산하면 주변 조도가 증가할 수록 CR은 감소한다.

2.2.2 반투과형 TFT LCD의 CR 변화

반투과형 LCD의 휘도를 투과형과 동일한 방법으로 측정하여 CR을 계산한 값을 [그림 7]에 나타냈다. 투과형 LCD와 마찬가지로 주변 조도가 증가함에 따라서 black 및 white 휘도는 증가하고, CR은 감소한다. 그러나 투과형에 비해서 CR의 감소율이 작고, white와 black 휘도 증가율이 크다. 이렇게 휘도 증가율이 큰 것은 반사창에서 반사되는 빛이 white와 black 휘도를 상승시키기 때문이다. CR의 감소율이 투과형 LCD보다 작은 것은 [그림 8]에서 보듯이 암실 초기 상태 대비 주변 조도가 증가함에 따른 white 휘도 증가율이 투과형 LCD보다 현격하게 크기 때문이다.

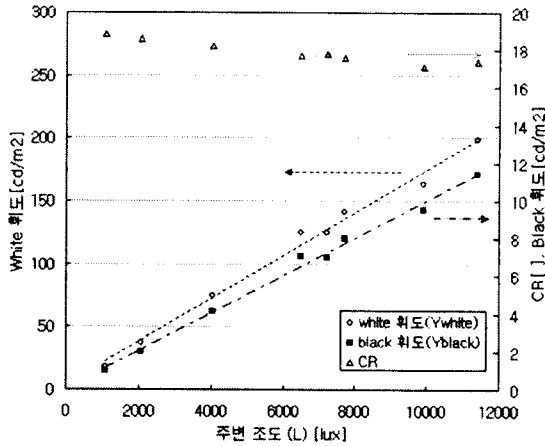


[그림 7] 조도 변화에 따른 반투과형 LCD의 휘도 및 CR 값 변화



[그림 8] 반투과형 LCD의 주변 조도 변화에 따른 휘도 증가율

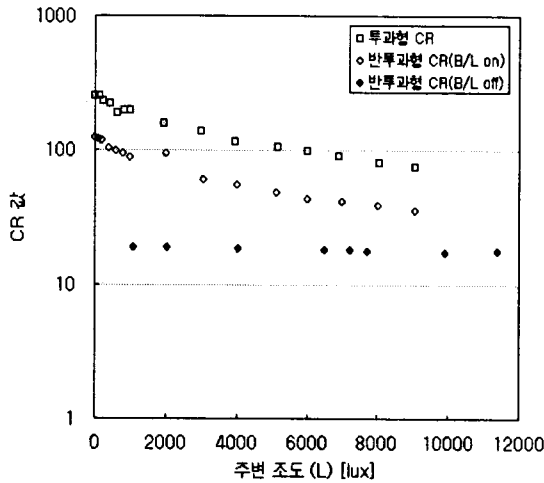
이번에는 반투과형 LCD의 Back Light를 끄고 주변 조도를 바꿔가면서 white와 black pattern의 휘도를 측정하여 다음 CR을 계산하여 [그림 9]에 나타냈다. 이 경우에는 CR 값이 투과형 LCD나 back light를 켜 반투과형 LCD보다 매우 낮지만, 주변 조도 증가에 따른 CR 값 감소율은 제일 작다. 즉 반투과형 LCD는 아주 밝은 곳에서도 반사에 의한 CR이 어느 정도 유지 되지만, 수 준은 낮다는 것을 알 수 있다.



[그림 9] 반투과형 LCD의 Back Light를 off 시킨 상태에서 조도 변화에 따른 휘도 및 CR 변화(반사mode의 휘도 및 CR)

2.2.3 주변 조도 변화에 따른 CR 비교

투과형 LCD와 반투과형 LCD의 Back light on/off 상태에 따른 CR 값을 비교하여 [그림 10]에 나타냈다.

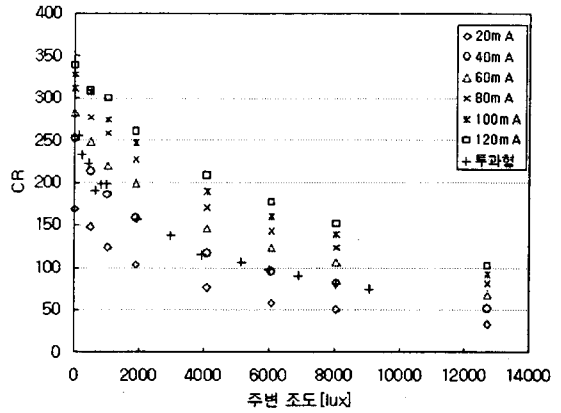


[그림 10] 조도 변화에 따른 투과형과 반투과형의 CR값 비교

조도가 증가함에 따라서 투과형 LCD의 CR은 빠르게 감소하지만, 반투과형 LCD의 CR은 조금 느리게 감소하다가 태양광선처럼 아주 밝은 곳에서도 반사 mode에 의해서 어느 일정한 수준의 CR은 확보할 수 있다.

2.3 투과형 LCD의 back light 입력 전류와 CR

앞에서 평가했던 투과형 LCD는 3개의 LED가 back light를 구성하고 있다. 이번에는 동일한 LCD에 10개의 LED를 장착하여 병렬로 연결한 후 LED에 공급하는 전류를 변경하면서 조도 변화에 따른 black과 white 휘도를 측정했다. [그림 11]은 측정된 휘도를 CR로 계산한 그래프이다. 이 그래프에서도 역시 주변 조도가 증가하면 CR은 감소하지만, back light의 LED에 입력 전류가 증가하면 초기 암실 상태에서의 white 휘도값이 증가해서 CR이 증가함을 알 수 있다.



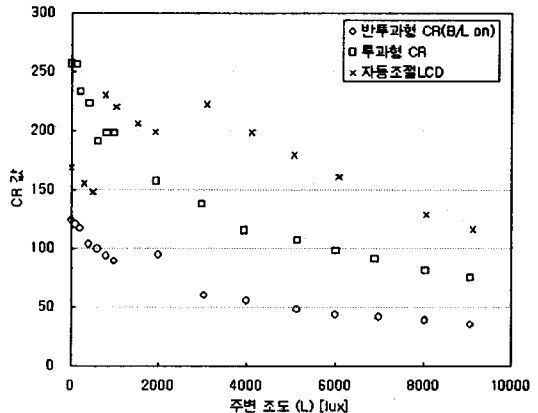
[그림 11] 조도 변화와 Back light 입력 current에 따른 투과형 LCD의 CR 변화

2.4 주변 조도 변화에 따른 LCD panel 휘도 조절 장치

TFT panel 옆에 주변 조도를 감지하여 출력 전류를 조절하는 photo diode와, photo diode로부터 출력되는 신호를 처리하여 back light LED의 밝기를 조절하는 drive IC, 그리고 back light용 LED를 연결하여 회로를 구성하였다. LCD panel의 휘도를 충분히 높이기 위해서 상하로 각각 5개씩 back light LED를 10개 장착하였고, 10개의 LED를 구동하기 위해서 2개의 Drive IC를 사용하였다. Photo diode 2개 중에서 1개는 반투과형 sheet로 cover를 만들어서 주변 조도가 밝더라도 감응도를 낮게 하여서 Drive IC에 차등 신호를 줄 수 있도록 했다.

일반 사무실 정도의 조도인 500lux 이하에서는 Drive IC에서 최대 밝기의 14.3%정도에 해당하는 2.3mA를 각각의 Back light LED에 공급하도록 했다. 500~ 2000 lux 정도 밝기에서는 6.8mA를 공급하고, 2000 lux를 초과한 경우에 15mA를 공급하여 Back light LED의 밝기가 최대 되도록 구성했다.

이렇게 구성한 TFT LCD를 조도를 변화시키면서 휘도를 측정하여 계산한 CR을 앞에서 측정된 투과형과 반투과형의 CR과 비교한 값을 [그림 12]에 나타냈다.



[그림 12] 휘도 자동 조절 LCD의 CR 값

500 lux 미만에서는 투과형과 반투과형 중간 정도의 CR 값을 보여 주고 있다. 이 정도 CR은 해당 주변 조도에서 mobile display의 시인성에 전혀 문제가 없다. 500

lux 이상에서도 투과형이나 반투과형 LCD보다 CR이 높아서 시인성이 가장 좋아 졌다.

3. 결 론

주변 조도가 증가하면 black 상태의 휘도 증가분이 white 상태의 휘도 증가분보다 커서 Contrast Ratio가 감소하게 됨을 확인하였다. Photo diode를 이용하여 주변 조도의 변화에 따라서 3단계로 back light 휘도를 조절할 수 있도록 하였다. 그 결과 자동 휘도 조절 LCD는 500lux 이상의 조도에서는 기존 투과형보다 CR이 10% 정도 증가했고, 2000lux 이상에서는 70%까지 증가하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Xinyu Zhu, Zhibing Ge, Thomas X. Wu, Shin-Tson Wu., "Transflective liquid crystal displays", IEEE/OSA JOURNAL OF DISPLAY TECHNOLOGY, VOL.1, NO.1,Page(s)15 - 29, SEPTEMBER 2005
- [2] McKillip, R.; Marzen, V., "Display technology at Rockwell", Digital Avionics Systems Conference, 1994. 13th DASC., AIAA/IEEE 30 Oct.-3 Nov. 1994 Page(s):289 - 294
- [3] Tannas, L.E., Jr., "Evolution of flat-panel displays", Proceedings of the IEEE Volume 82, Issue 4, Page(s):499 - 509 , April 1994
- [4] Dai-Liang Ting; Chung-Yuan Liu; Jyh-Wen Shiu; Wei-Chih Chang; Hung-Ta Wei; Chi-Jain Wen.; "A high contrast and high brightness reflective LCD with an internal diffusive reflector", Information Display, 1999. ASID '99. Proceedings of the 5th Asian Symposium on 17-19 March 1999 Page(s):41 - 44
- [5] Michael E. becker, "Evaluation and characterization of display reflectance", Displays 19, 35-54, 1998
- [6] Chin-Chiuann Lin, "Effects of contrast ratio and text color on visual performance with TFT-LCD", International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 31, Issue 2, Pages 65-72 , February 2003,