

모바일 LCD 응용을 위한 자동 감마 제어 시스템 개발

류지열*·노석호**

삼성 SDI Co. Ltd.*, 안동대학교 전자공학과**

Development of Automatic Gamma Control System for mobile LCD Applications

Jee-Youl Ryu*·Seok-Ho Noh**

Samsung SDI Co. Ltd.*, Andong National University**

E-mail : jeeyoul.ryu@samsung.com

요 약

본 논문은 감마 곡선 최적화를 이용한 자동 LCD 감마 제어 시스템을 제안한다. 이러한 시스템은 평균 감마 오차와 감마 조정 시간을 줄이기 위해 모바일 LCD 구동 IC 내의 감마 조정 레지스터들을 자동적으로 제어한다. 제안된 감마 시스템은 측정 대상이 되는 모듈 (MUT, LCD 모듈), 프로그램화된 개인용 컴퓨터, 휘도 측정용 멀티미디어 디스플레이 측정기 및 퍼스널 컴퓨터와 LCD 모듈간의 인터페이스용 제어 보드로 구성되어 있다. 참조 감마 곡선과의 6-점 프로그램 정합 기술을 이용하여 새로이 개발된 알고리즘을 제안한다. 개발된 알고리즘과 프로그램은 범용 LCD 모듈에 적용가능하다.

ABSTRACT

This paper presents automatic LCD gamma control system using gamma curve optimization. It controls automatically gamma adjustment registers in mobile LCD driver IC to reduce average gamma error and adjusting time. The proposed gamma system contains module-under-test (MUT, LCD module), PC installed with program, multimedia display tester for measuring luminance, and control board for interface between PC and LCD module. We have developed a new algorithm using 6-point programmable matching technique with reference gamma curve. Developed algorithm and program are generally applicable for most of the LCD modules.

키워드

자동 감마 조정 시스템, 감마 곡선 최적화, 6-점 프로그램 정합 기법

I. 서 론

감마는 사람 눈의 빛에 대한 감도를 고려하여 부드러운 계조 표현을 가능하게 하는 LCD의 중요한 화질 특성중 하나이다. 모바일 LCD에서는 감마곡선을 조정하는 기능이 LDI 내부에 내장되어 있고, LDI의 레지스터를 변경하여 감마곡선을 조정할 수 있다. 그러나, 기존에는 개발담당자가 수작업을 통하여 감마곡선을 조정하게 되므로, 감마곡선의 정확도는 작업자의 숙련도에 따라 많은 편차가 발생하고 있다. 또한 20여 개의 레지스터를 조정해야 하므로, 감마조정에 많은 시간이 소모되어 개발 효율도 저하되는 문제도 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 작업자의 개입 없이 자동으로 LDI의 감마 레지스터를 설정할 수 있는 시스템을 개발하여 기존에 개발 담당자의 수작업으로 인하여 발생할 수 있는 감마 곡선의 부정확성, 개발 효율 저하 등의 문제를 개선하고자 한다.

II. 감마 곡선 최적화

2.1. 감마 개요

감마조정은 부드러운 계조를 표시하기 위해 영상의 휘도를 조절하는 과정으로 LCD와 인간의 시각 인지 특성간의 차이를 조정하는 작업이다. 그림 1은 감마 특성 곡선을 나타낸 것이다. 사람의 눈은 밝은 부분보다 어두운 부분에서 민감한 비선형적인 특성을 가지므로, LCD의 계조를 등간격으로 분할하면 밝은 부분보다 어두운 부분의 밝기 단계가 더 많이 변화하는 것처럼 인지된다[1-5].

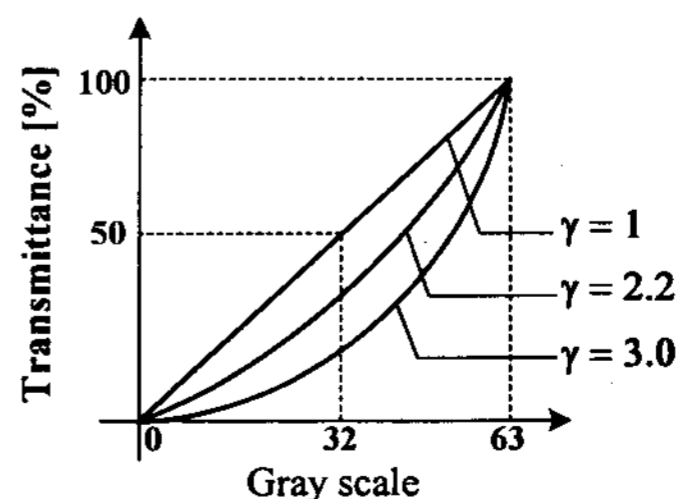


그림 1. 감마 특성 곡선

Fig. 1. Gamma characteristic curve.

사람의 계조별 밝기 인지 단계를 동일하게 하기 위해서는 어두운 부분의 밝기 변화 단계를 세밀하게 조정할 필요가 있고 이를 구현하기 위해서 다음과 같은 감마조정 수식을 이용한다.

$$\text{Transmittance}(\%) = \left(\frac{\text{Gray_Number}}{\text{Max_Gray_Number}} \right)^\gamma \cdot 100 \quad (2.1)$$

2.2. LDI 레지스터 설정

Mobile LDI의 레지스터에는 Panel의 특성에 따라 설정되는 여러 가지 레지스터가 있다. 그림 2는 이러한 레지스터의 설정 순서를 나타낸 것이다. LDI의 레지스터는 그림 2와 같이 크게 contrast 레지스터, 플리커 조정 레지스터, 감마 조정 레지스터로 구분할 수가 있고, 각각 GVDD 레지스터, VCOM 레지스터 및 감마 레지스터를 가변하여 해당 특성을 설정하게 된다. 일반적으로 Mobile LCD 특성 순서는 Panel의 V-T 곡선으로부터 최적 contrast ratio를 나타낼 수 있는 GVDD 값과 VCOMH 및 VCOML 값이 먼저 결정되고, 다음 단계로 중간 계조에서 VCOM 레벨을 미세 조정하여 flicker 특성을 설정한다. 그리고, 마지막 단계에서 계조가 부드럽게 표현될 수 있도록 감마 조정을 수행하게 된다.

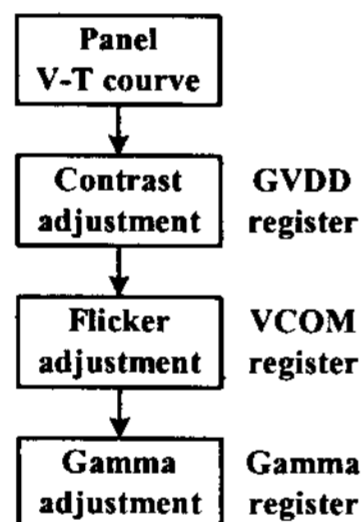


그림 2. LDI 레지스터 설정 과정
Fig. 2. LDI register setting sequence.

그림 3은 LCD의 V-T curve를 나타낸 것이다. V-T curve를 이용하여 최적 contrast ratio를 나타낼 수 있는 전압의 범위를 결정하고, GVDD, VCOM 전압을 이용하여 액정에 인가되는 전압의 최대, 최소값을 정할 수 있다.

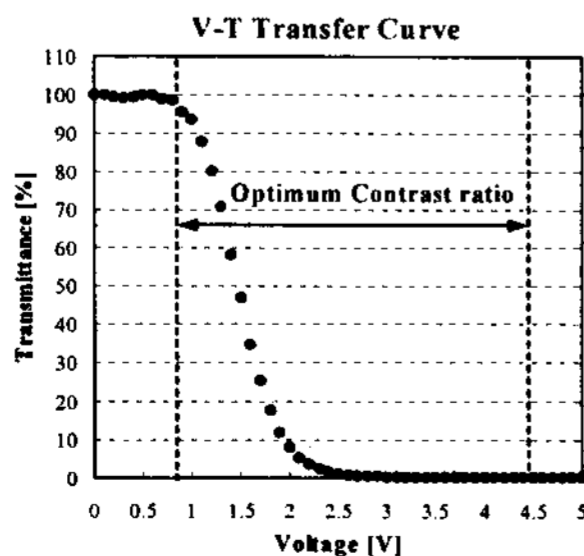


그림 3. V-T curve.
Fig. 3. V-T curve.

2.3. 감마 레지스터 구조

그림 4는 감마 조정레지스터를 기능별로 분류하여 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 gradient 조정 레지스터이고, gray-scale 전압의 dynamic range 변화 없이 중간 계조 부분의 기울기만을 변화시킬 수 있다. 그림 4(b)와 4(c)는 amplitude adjustment와 reference adjustment를 나타내었다. gray-scale 전압의 dynamic range를 변화시킬 수 있고, 각각 ladder gray-scale 전압을 생성하는 ladder resistor의 아래 부분과 윗부분을 변화시키게 된다. 그림 4(d)는 micro adjustment이고 각 gray-scale에 최적의 전압 level로 미세 조정할 수 있다.

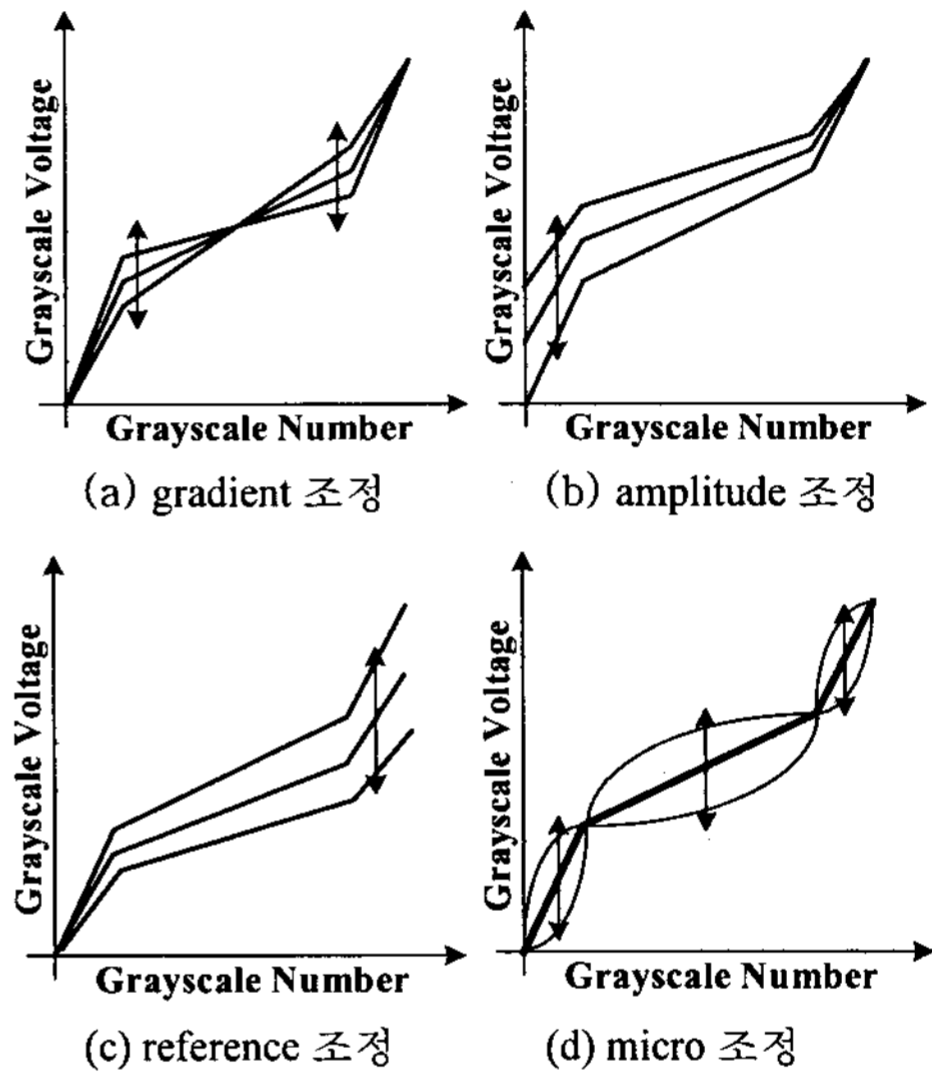


그림 4. 감마 조정 레지스터들의 동작
Fig. 4. Operation of gamma adjusting registers.

2.4. 감마 레지스터 설정 알고리즘 개발

그림 5는 감마 레지스터 설정 순서를 나타낸 것이다.

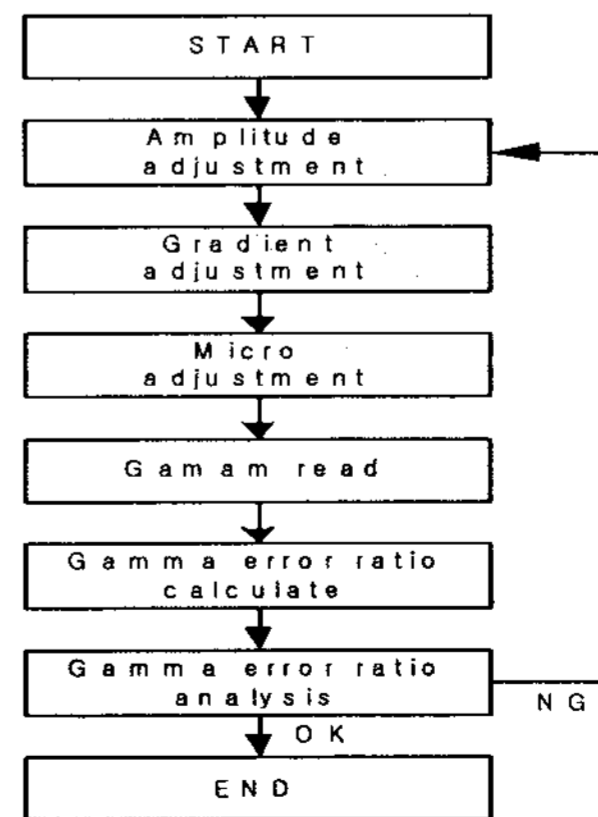


그림 5. 감마 조정 레지스터 설정 순서도
Fig. 5. Gamma register setting flowchart.

amplitude 조정에서 전체 감마곡선의 offset을 조정하고, gradient 조정에서는 중간계조의 휘도기울기를 조정하고, micro 조정에서는 각 계조를 미세 조정할 수 있게 된다. 감마조정이 완료되면 아래와 같은 감마 오차율 계산 수식으로 감마조정 결과를 판단한다.

$$\text{Gamma error rate(\%)} = \left(\sum \frac{|L_{ref}(k) - L_{meas}(k)|}{L_{ref}(k)} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

그림 6은 amplitude 조정 알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다. Amplitude 조정 레지스터는 기준 감마곡선보다 높게 설정된 감마곡선을 내리는 방향으로 작용을 하게 된다.

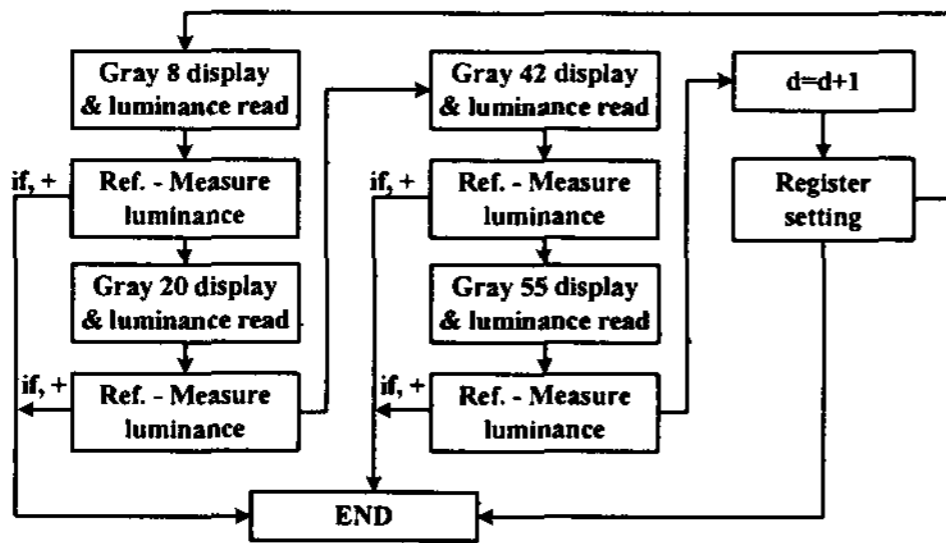
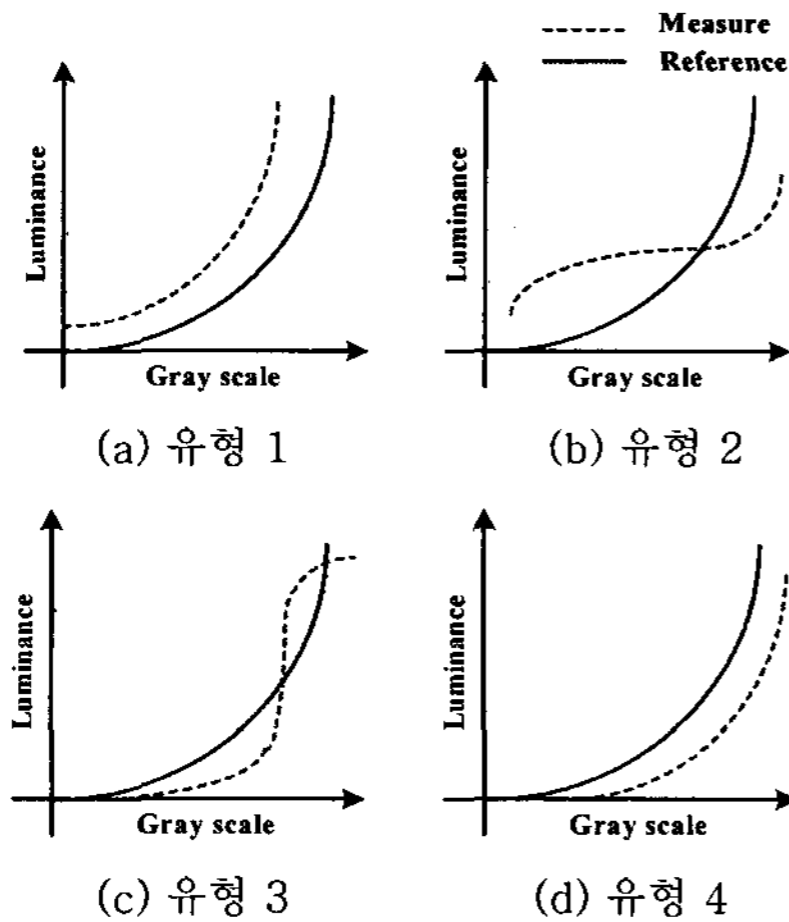


그림 6. Amplitude 조정 알고리즘의 순서도
Fig. 6. Flowchart for amplitude adjustment algorithm.

본 알고리즘에서는 감마곡선을 그림 7과 같이 4가지 유형으로 분류하였고, 각 유형별로 조정 레지스터는 다르게 선택된다.



(a) 유형 1 (b) 유형 2 (c) 유형 3 (d) 유형 4

그림 7. Gradient 조정 유형

Fig. 7. Possible measured modes.

Gradient 조정 레지스터는 중간계조의 기울기를 조정하는 기능을 하므로, 실제 감마곡선의 유형에 따라 서로 다른 레지스터를 변화시켜야 한다. 각 유형에서 변화되는 레지스터와 알고리즘은 그림 8과 같다. 즉, 초기에 유형이 결정되면 레지스터를 선택하여 변화시키게 되고, 레지스터의 증가는 감마곡선의 유형이 변화될 때까지 계속된다.

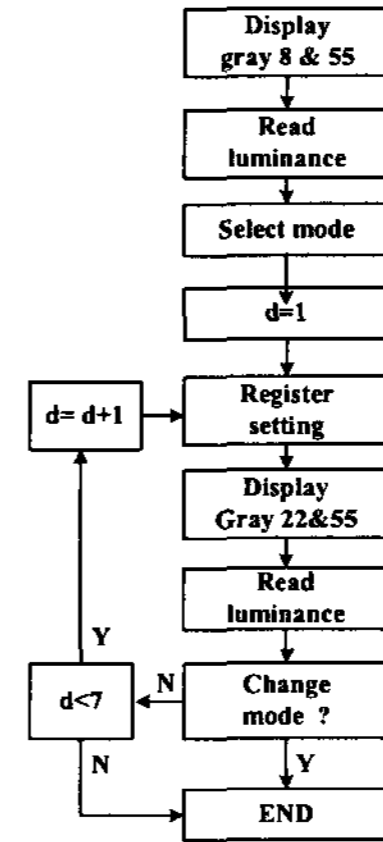


그림 8. Gradient 조정 알고리즘 순서도
Fig. 8. Flowchart for gradient adjustment algorithm.

2.5. 시스템 및 제어 프로그램 개발

(1) 하드웨어 개발

감마조정 시스템의 전체 block diagram은 그림 9와 같고, 크게 알고리즘이 구현된 PC, 전체 시스템을 제어하는 control부, LCD의 휘도를 측정하는 휘도계로 구성되어 있다. 이 중 control 부는 TI사의 TMS320F2812 DSP칩을 중심으로 구성되어 있고, PC, 휘도계와 RS232 인터페이스 연결, 휘도계 제어, LCD 휘도 data read, LDI register setting, LCD에 계조 영상 디스플레이 등의 역할을 한다. PC부에는 감마조정 알고리즘이 구현되어 있고, GUI program, 감마오차 계산, 시스템 monitoring 등의 기능이 구현되어 있다.

(2) 제어 프로그램 개발

그림 9의 자동감마시스템을 제어하기 위해 PC 프로그램을 National Instruments의 LabCVI를 이용하여 구현하였다. 그림 10은 PC상에서 실행된 프로그램 캡처 화면을 나타낸 것이다. 감마조정 알고리즘, luminance meter 제어, LCD 제어 기능 등을 프로그램에 구현하였다. 프로그램의 우측 하단에 있는 [Auto]버튼을 클릭하면 Amplitude 조정, gradient 조정, micro 조정이 자동으로 순차적으로 진행되어 감마설정을 완료하게 되고, 그 결과는 감마오차율로서 표시된다.

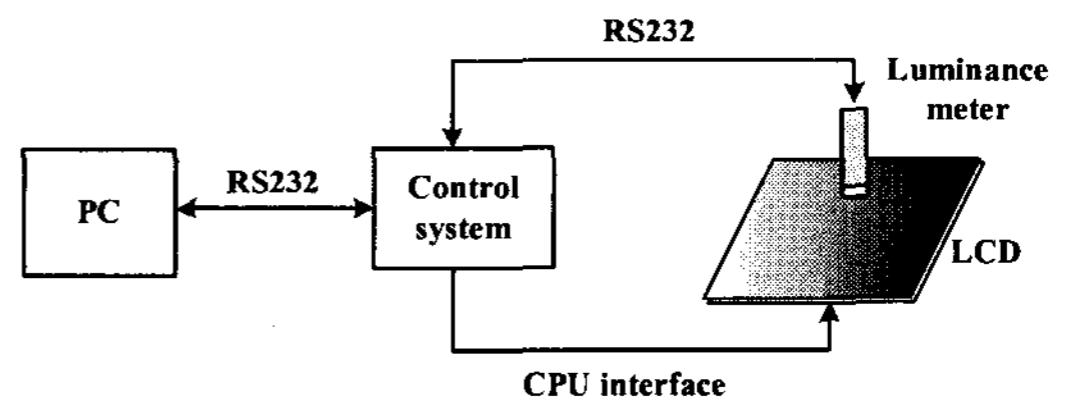


그림 9. 자동감마조정시스템 구성도.
Fig. 9. Block diagram of automatic gamma adjustment system.

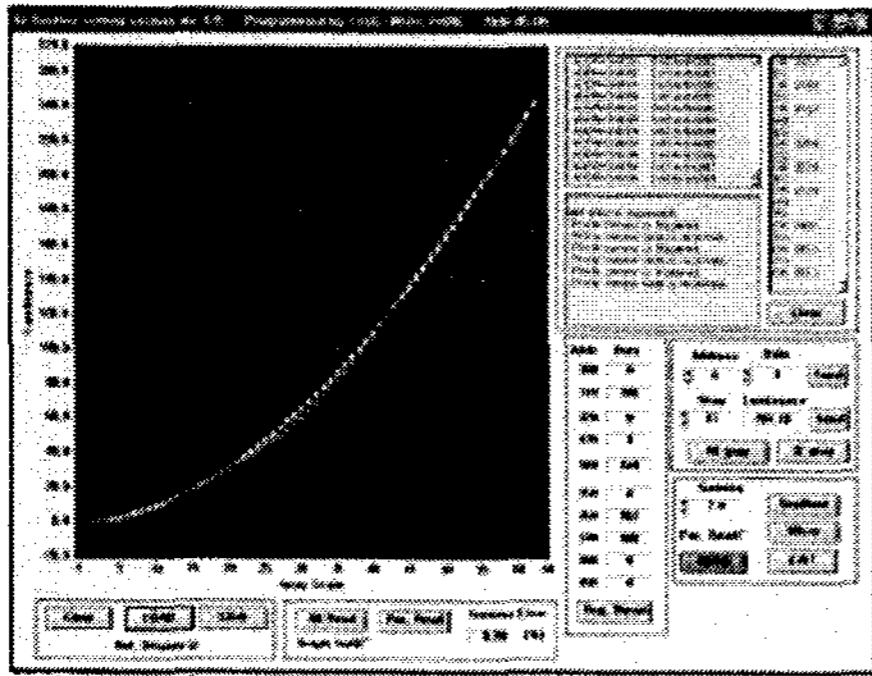


그림 10. 자동감마조정시스템을 구현한 소프트웨어
Fig. 10. Software of automatic gamma adjustment.

III. 실험 결과 및 검토

본 연구에서는 개발된 자동 감마 시스템의 성능을 증명하기 위해 서로 다른 해상도 및 인터페이스 방법들에 대해 다양한 종류의 크기, 액정 모드 및 구동 IC에 따른 특성을 검토하였다. 이에 대해 평균 감마 오차와 감마 조정 시간을 각각 확인하였다. 패널과 패널간의 다양한 산포를 고려하여, 1.8, 2.0, 2.2 및 3.0 감마 곡선 값들에 대한 결과를 확인하였다. 그림 11(a)-(d)는 이러한 감마 값들에 대한 조정 결과를 각각 나타낸 것이다.

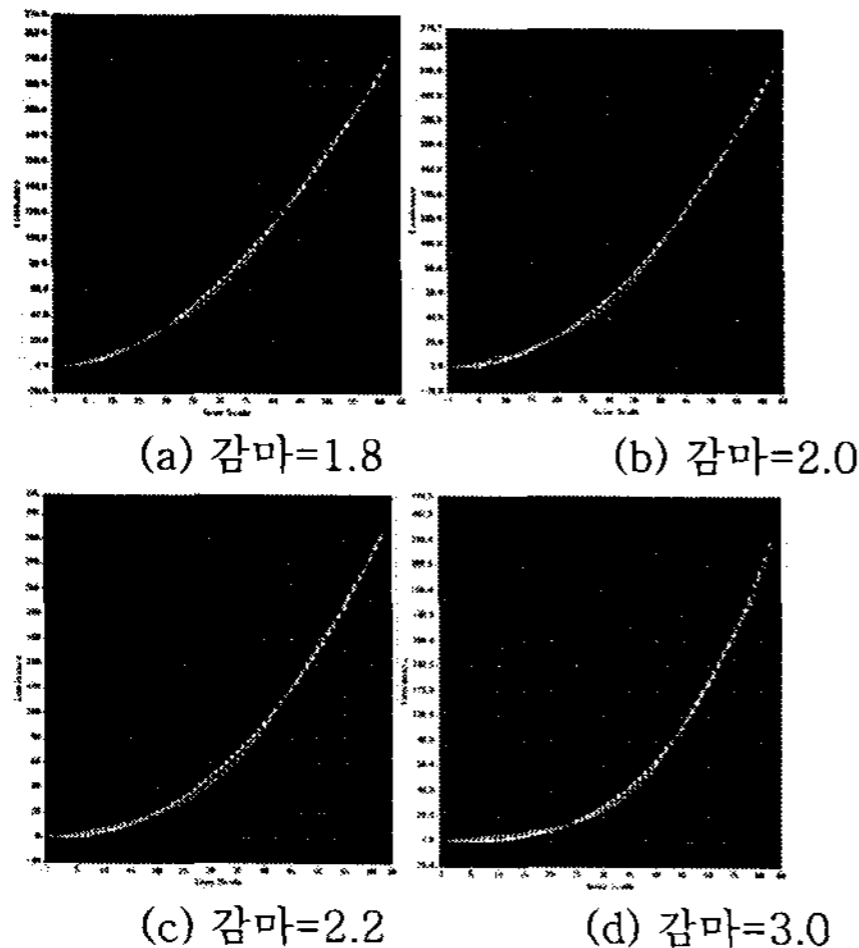


그림 11. 감마 조정 결과
Fig 11. The adjusted results.

측정된 모듈은 QCIF (176×220) 해상도를 가진 1.76" TN 모드이며, CPU 16비트 인터페이스가 적용되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제안된 측정 시스템은 4가지 경우의 감마 곡선들에 대해 10% 이하의 평균 감마 오차와 약 4분의 우수한 감마 조정 시간을 보였다. 2.2 감마 곡선에 대해서는 7%의 매우 낮은 평균 감마 오차와 약 4분의 우수한 감마 조정 시간을 보였다.

기존에 감마 조정은 LCD 엔지니어들의 수작업으로 수행되었다. 회도계를 이용하여 측정한 데이터

를 보고 LCD driver IC에 있는 10여 개의 register 들을 직접 변경하였으므로, 경력 2년인 LCD 엔지니어는 평균 24시간정도 소요되는 것과 비교하면 본 논문에서 제안한 자동감마조정시스템은 개발 효율을 크게 향상시킬 수 있는 것을 알 수 있다. 또한 기존의 방법이 사람에 전적으로 의존하기 때문에 작업 숙련도에 따라 작업 시간과 감마 조정 정확도에 편차가 매우 심한 단점이 있다. 표 1은 자동감마조정 시스템을 적용한 결과를 요약한 것이다. ECB 모드에서 일부 감마오차율이 커지는 경향을 볼 수 있지만, 모두 15% 이내의 감마오차율을 보였고, 조정 시간도 약 6분 이내를 보였다.

표 1. 자동 감마 조정 시스템 적용 결과
Table 1. Summary of the adjusted results for the proposed system.

LC Mode	Driver IC	Resolution	Gamma error rate (%)		adjusting time (min.)
			Before adjustment	After adjustment	
TN	S6D0118	QCIF	21.97	9.95	4
TN	S6D0128	QCIF	20.97	7.00	4
TN	S6D0128	QCIF	21.89	6.81	4
ECB	S6D0139	QVGA	41.50	12.83	4
ECB	S6D0139	QVGA	37.48	13.27	4
ECB	R61505	QVGA	32.52	4.85	6

VI. 결 론

본 논문에서는 작업자의 개입 없이 자동으로 LDI의 감마 레지스터를 설정할 수 있는 시스템을 개발하여 기존에 개발 담당자의 수작업으로 인하여 발생할 수 있는 감마 곡선의 부정확성, 개발 효율 저하 등의 문제를 개선하였다. 즉 자동 감마 조정 시스템은 감마 레지스터의 설정 소요시간을 크게 줄일 수 있으므로 개발 효율을 향상시킬 수 있었고, 또한 LCD의 감마 곡선을 최적의 상태로 설정할 수 있으므로 화질 특성과 같은 품질 경쟁력에서 크게 앞서갈 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] J. H. Oh et. al., "Automated LCD Gamma Curve Optimization," *SID 2006*, pp. 394-397, June 2006.
 [2] H. W. Park et. al., "A Novel Method for Image Contrast Enhancement in TFT-LCDs: Dynamic Gamma Control (DGC)," *SID 2003*, pp. 1343-1345, May 2003
 [3] S. W. Lee et. al., "Driving Scheme for Improving Color Performance of LCD's: Accurate Color Capture," *SID 2003*, pp. 344-347, May 2003
 [4] H. C. Kim, "An image interpolator with image improvement for LCD controller," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.47, No.2, pp. 263-271, May 2001
 [5] Y. N. Chu, Dynamic gamma correction circuit, operation method thereof and panel display device, US patent #20060087521