

노트북 LED 영상장치 내부의 전도열전달 해석과 성능 지수 평가

박 일 석,¹ 손 창 현,^{*1} 손 동 현,² 백 성 민,³ 박 철³

NUMERICAL ANALYSIS FOR CONDUCTION HEAT TRANSFER AND APPRAISAL OF PERFORMANCE INDICES IN LED MONITOR FOR LAPTOP COMPUTER

I.S. Park,¹ C.H Sohn,^{*1} D.H. Son,² S.-M. Baik³ and C. Park³

Dark Mura phenomena which can happen at the region with high temperature gradient in a Notebook LCD Monitor using LED light source has numerically been studied. The calculation was conducted under the nearly realistic conditions by considering the anisotropic thermal properties of materials and the real dimensions of each component. The two performance indices of LED monitor, i.e., the maximum temperature and the spacial gradient of temperature were examined for the various shapes, lengths and thickness of heat sink plate. Calculated results give more reasonable temperature distribution comparing with experimental results.

Key Words : LED(Light Emitting Diode), 전도열전달(Conduction Heat Transfer), 다크무라(Dark Mura)

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 전기 신호를 빛으로 바꾸는 화합물 반도체로서 최근 각광받고 있는 LED 모니터의 경우 구동장치가 간단하고 사용수명이 길고 친환경적이며 전력소비비가 낮은 특징이 있다[1].

배면조광(Back lighting) 방식의 LED 모니터에서는 광원이 액정판 뒤에 위치하므로 빛을 고르게 분산할 수 있고 광원이 넓은 면적에 배치되어 있으므로 발열로 인한 국부 과열 현상 측면에서 유리하지만 LED 개수가 많이 요구되는 단점이 있다. LED 광원이 모니터의 한쪽 측면에 위치하고 도광판을 사용하여 빛을 분산하는 측면조광(Side lighting) 방식의 경우는 LED 개수를 줄일 수 있어 제품 단가를 낮출 수 있고 완성품의 소비전력을 줄일 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 이와 같은 장점을 극대화하기 위해 길이가 짧은 모니터의 세로 측면에 LED 광원을 배열한 경우의 모니터 내부 열전달 현상

을 다룬다.

노트북 LED 모니터는 좁은 공간 속에 LCD(Liquid Crystal Display) 패널, LED 배열(Array), 도광판, 반사판, 각종 시트, 방열판(Heat sink plate), PCB(Printed Circuit Board) 등 다양한 재료의 부품들을 포함하고 있다. 노트북 LED 모니터 내부의 열전달은 주로 이들 구성품들 사이의 전도열전달에 의해 지배받으며, 공간상의 문제로 강제대류를 통한 능동적인 온도 제어가 불가능하기 때문에 모니터 내부에 국부적인 고온 영역이 존재할 수 있으며 이로 인해 온도의 큰 공간 구배를 보이는 영역이 나타날 수 있다.

Fig. 1은 LCD 패널 내부의 국부적인 온도 불균형으로 모니터 전면에 명암비 차이가 나타나 마치 얼룩(Mura)과 같은 현상이 나타난 모습을 보이고 있으며 이를 다크무라(Dark Mura)라고 한다[2]. 다크무라 현상은 전문가 혹은 민감한 사용자가 아니면 현상 초기에는 쉬이 감지하기 어려우나 시간이 지남에 따라 영상의 질 저하를 초래하는 LCD 모니터의 주요 성능지수 중 하나이다. 따라서 능동적 냉각기술의 적용이 제한된 상황에서 열원(Heat Source)인 LED 소자와 PCB 상의 발열부품으로부터 열전달 경로에 대한 정확한 분석을 통하여 최적의 냉각성능을 확보하도록 구조설계가 이뤄질 필요가 있다.

Kazutaka 등[3]은 특정주파수 필터를 이용한 다크무라 제거

접수일: 2011년 6월 13일, 수정일: 2011년 9월 20일,

게재확정일: 2011년 9월 21일.

1 정회원, 경북대학교 기계공학부

2 경북대학교 대학원 기계공학부

3 LG디스플레이(주)

* Corresponding author, E-mail: chsohn@knu.ac.kr

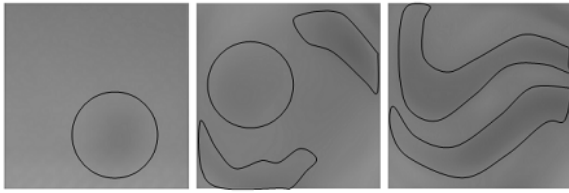


Fig. 1 Dark Mura phenomena in Liquid Crystal Display [2]

방법을 제시하였다. Chao와 Tsai[4]는 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)에 이방성 확산기법(Anisotropic diffusion scheme)을 사용한 계측법을 제시하였고, Li와 Tsai[5]는 선 검출법(Hough transform method)을 이용하여 다크무라 현상에 대한 측정을 시도하였다. 이밖에도 측정방법에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[6-7].

LED 모니터의 또 다른 성능지수로서 LED 소자의 최대온도가 있다. LED는 구동 온도의 상승에 따라 인가전압과 휘도가 감소하는 특성을 가지므로 LED 소자로부터의 방열량을 적절히 배출하지 못할 경우, 모니터의 성능저하 또는 소비전력의 상승을 야기할 수 있다. 특히 본 연구에서 다루는 노트북 모니터와 같이 좁은 공간에 다수의 열원이 배치된 경우, 그 중에서도 세로 측면과 같이 짧은 모서리에 열원이 배치된 경우에는 LED 소자의 최대온도가 매우 중요한 성능지수가 된다.

본 연구에서는 노트북용 LED 모니터 내부의 열적 성능을 조절하기 위해 도입된 방열판의 모양, 길이, 두께 등 형상인자들의 변화에 따른 LED 모니터의 두 가지 성능지수들의 변화 특성을 고찰한다.

2. 수치해석

2.1 LED 모니터 형상 모델링

노트북용 LED 모니터의 단면 형상을 Fig. 2에 보이고 있다. 그림의 오른쪽에 LED 소자가 지면에 수직인 방향으로 배열되어 있고 LED 배열 왼편에 LED 빛을 패널에 고루 전달해주는 도광판이 위치하고 있다. 도광판의 앞뒤로 반사판 및 각종 폴리머 시트들과 LCD 패널이 위치하고 있다. LCD 패널은 상부글래스와 하부글래스 그리고 상하부글래스 바깥표면의 폴리머 코팅층으로 구성되어 있다. LED 소자에 누적되는 열을 효과적으로 방출하기 위하여 소자에 알루미늄 재질의 방열판을 부착하여 바깥으로 확장하였다. 각 구성품들 간 또는 구성품들과 구조체 간에 빈 공간이 존재하지만 그 크기가 매우 작다.

LED 소자가 부착되어 있는 MCPCB는 열전도도의 이방성

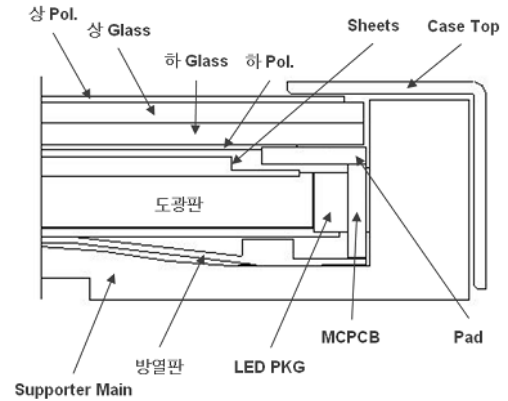


Fig. 2 Section view of LED Monitor

특성을 가지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 각 구성품들의 열물성치에 대해 등방성과 이방성을 모두 적용하여 해석을 수행하였다.

2.2 해석방법 및 경계조건

Fig. 2와 같은 LED 모니터 내부의 열전달은 주로 고체 구성품들에 의한 열전도에 지배되며 LED 배열이 위치한 입광부 영역에서는 공기층이 존재하는 영역이 있으나 그 크기가 매우 작기 때문에 자연대류를 무시하고 공기층을 공기와 같은 열물성을 가지는 고체로 가정하여 해석을 수행하였다.

내부의 열전달을 지배하는 다른 인자로서 구성품들 간의 접촉열저항을 들 수 있다. 본 연구에서는 구성품들 사이에 마이크로 스케일의 공기간극(Air gap)을 적용함으로써 접촉열저항의 영향을 확인하는 선행 연구를 수행하였었다.[8] 그러나 LED 모니터에 쓰이는 구성품들은 모두 폴리머 계통으로 열전도도가 공기와 크게 다르지 않으며, 구성품 간 공기간극도 매우 작기 때문에 접촉열저항의 고려 유무가 열전달 해석 결과에 거의 영향을 미치지 않음을 확인하였다.[8] 따라서 본 연구에서는 구성품 간 접촉열저항은 무시하고 열전달 해석을 수행하였다.

모니터의 전/후면을 포함한 외면에는 외부 공기와의 대류 열전달과 모니터 내부의 전도열전달이 연속이어야 하므로 다음 식 (1)의 열유속 연속 조건을 경계조건으로 사용하였다.

$$-k \frac{dT}{dn} \Big|_{Solid} = h(T_{wall} - T_{\infty}) \tag{1}$$

대류열전달계수, h는 내외부 온도차를 고려하여 층류 자연대류조건으로 가정하여 4(W/m²K)의 일정 값을 전체 외곽면에 적용하였다. 일정한 대류열전달계수를 적용하는 것에 대한

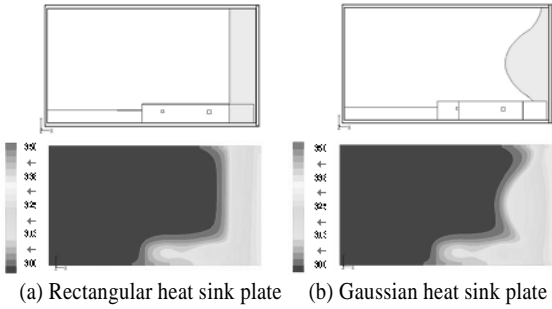
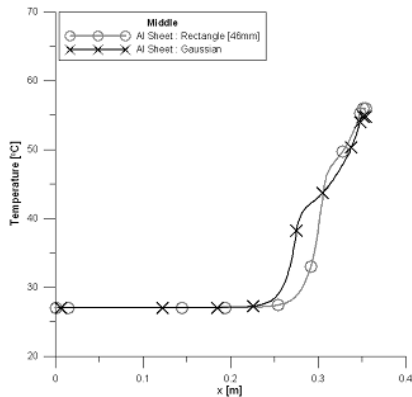
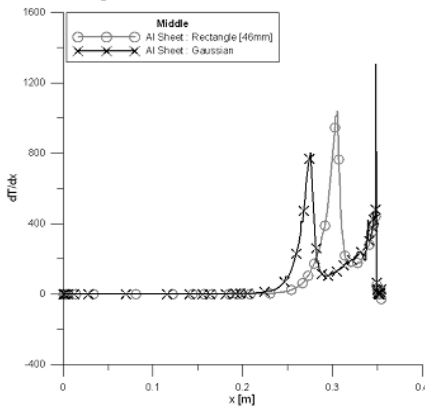


Fig. 3 Temperature distributions for rectangular and Gaussian heat sink plates



(a) Temperatures on horizontal center line



(b) Temperature gradients on horizontal centerline

Fig. 4 Distribution of temperature and temperature gradient for rectangular and Gaussian heat sink

타당성을 검증하기 위하여 외부 공기영역을 포함한 자연대류 열전달 해석을 사전에 수행한 바 있으며 최대온도 및 온도분포 측면에서 충분히 타당한 경계조건임을 확인하였다.[8]

외부 공기 영역을 배제하고 해석 영역을 모니터 자체에만 국한함에 따라 총 사용 격자수를 획기적으로 줄일 수 있었으

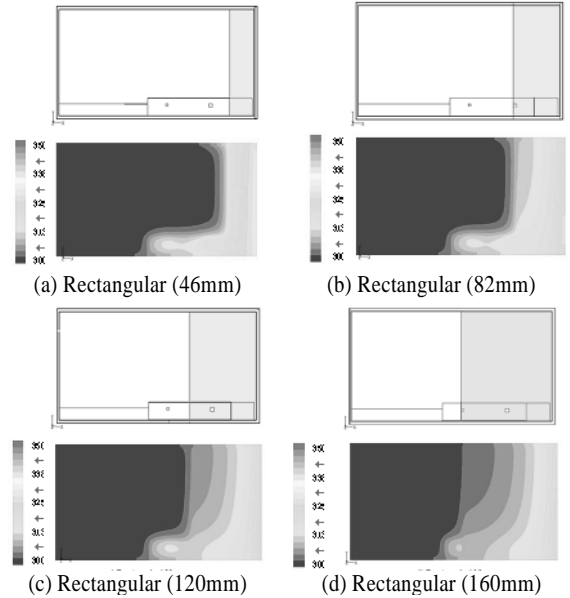


Fig. 5 Temperature distributions for various lengths of rectangular heat sink plate

며, 본 연구에서는 총 70만개의 격자 셀을 사용하였다. 본 연구의 해석 영역은 전도열전달 영역에 국한되므로 격자 의존도가 크지 않으며 격자 의존도를 검사하기 위해 총 100만개의 격자를 사용하여 해석한 경우에도 동일한 결과를 확인하였다. 넓은 모니터 전후면 면적에 비해 매우 얇은 구성품들이 적층되어 있으므로 두께 방향으로 최소 5개의 격자점을 포함시켰으며, 온도 변화가 큰 입광부 및 최외곽 모서리에 격자를 밀집시켰다. 본 연구에서는 모니터 내부 전도 열전달 해석을 위해 상용 CFD 코드인 Fluent 6.3.26[9]을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방열판 형상 변화

발열원(Heat source)인 LED 배열로부터 외부로 열을 이동시키는 매개체로 사용되는 방열판의 형상을 Fig. 3과 같이 직사각형 형태와 같은 면적을 가지는 가우스분포 형태를 한 경우의 열전달해석 결과를 비교하였다. Fig. 3에 나타난 온도분포에서는 열원인 LED 소자가 위치한 우측에서 온도가 높고 방열판의 형상과 유사한 온도 분포를 예측함을 볼 수 있다. Fig. 4에 나타낸 수평 중앙선을 따른 온도 분포(Fig. 4(a))와 온도 구배(Fig. 4(b))를 비교하면 보다 분명한 차이를 확인할 수 있다. LED 배열이 위치하는 우측면에 최대온도가 나타나고 최대온도의 크기는 방열판의 형상이 달라도 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 4(b)와 같이 온도구배의

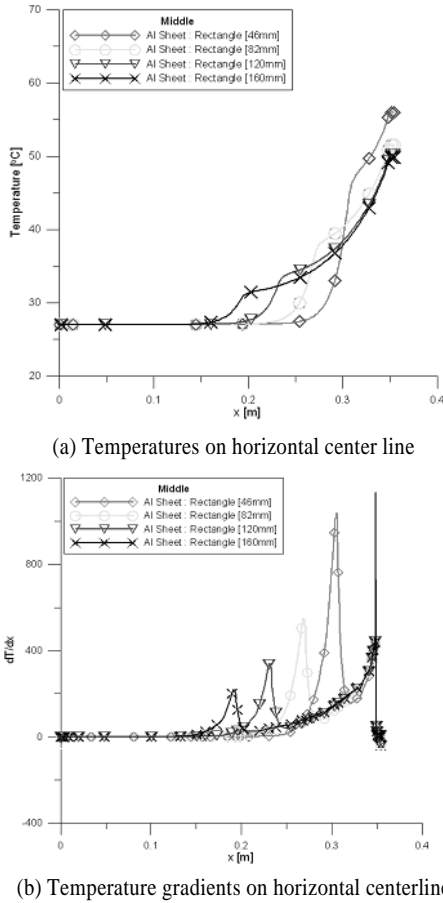


Fig.6 Distribution of temperature and temperature gradient for various lengths of rectangular heat sink plate

크기는 매우 다름을 확인할 수 있다. 다크무라 현상을 나타내는 지표로 온도 구배 크기가 중요하며 Fig. 4(b)의 온도구배 분포를 통해 가우스분포 방열판이 다크무라 측면에서 훨씬 유리함을 확인할 수 있다.

3.2 방열판 길이 변화

방열판의 길이를 증가시키에 따라 LED 모니터의 열적 성능지수의 변화를 비교하기 위해 Fig. 5와 같이 방열판의 길이를 약 40mm 씩 증가시키며 열전달 해석을 수행하였다. Fig. 5의 온도분포 그림에서 방열판 크기를 증가시키는 것은 온도 분포와 최대온도 두 지표에 매우 큰 영향을 끼침을 알 수 있다.

Fig. 6(a)에 나타난 직사각 방열판의 길이 변화에 따른 수평 중앙선 위에서의 온도 분포를 보면 방열판 길이가 길어짐에 따라 모니터 내부의 온도가 길게 분포되며, 방열판의 길이

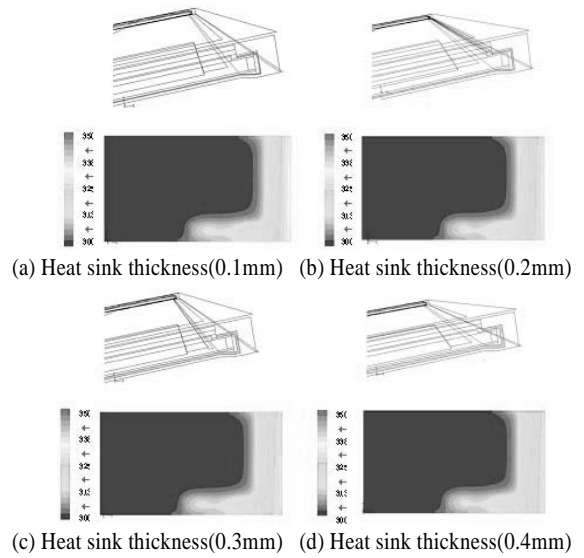


Fig. 7 Temperature distributions for various thicknesses of rectangular heat sink plate

가 46mm인 경우 LED 배열 부근 최대온도가 높지만 82mm 이상에서는 최대온도가 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보이고 있다.

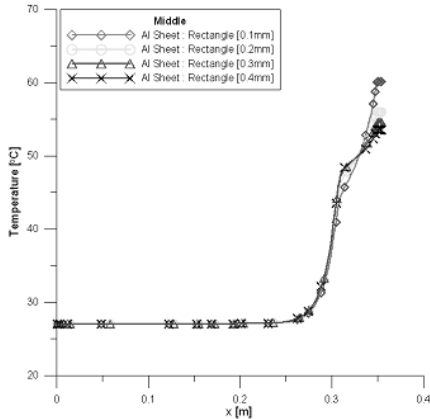
따라서 LED 배열 부근 최대온도를 낮추기 위해서는 방열판의 길이를 특정 길이 이상으로 늘일 필요가 없다. 그러나 다크무라 현상의 주요 지표인 온도구배는 Fig. 6(b)와 같이 방열판의 길이가 길어짐에 따라 온도 구배의 최대 값의 위치가 발열면에서 멀어지고 있으며 그 크기 또한 방열판의 길이 증가에 대해 지속적으로 감소하는 경향을 보임을 확인할 수 있다.

3.3 방열판 두께 변화

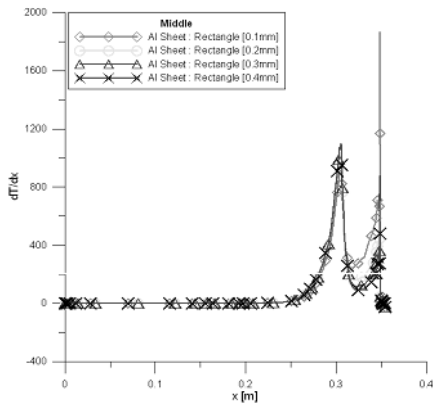
방열판 두께 변화에 따른 모니터의 열적 성능 변화를 비교하기 위해 알루미늄 재질의 방열판 두께를 0.1mm에서부터 0.1mm 간격으로 증가시키며 열전달 해석을 수행하였다. Fig. 7의 온도 분포에서 나타나듯이 온도 분포의 형상은 방열판 두께에 무관한 것으로 해석되었으나 LED 배열 부근 최대온도는 다른 값을 보여 주고 있다.

Fig. 8(a)는 수평 중앙선에서의 온도 분포를 보여 주고 있으며, 방열판 두께가 두꺼울수록 최대 온도가 낮아짐을 알 수 있다. 하지만 방열판의 두께가 0.3mm 이상에서는 최대온도의 크기가 더 이상 낮아지지 않는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8(b)는 방열판 두께 변화에 따른 온도 구배 결과를 보여 주며, 최대 온도 구배의 위치가 방열판 두께 변화와 상관관계가 적음을 알 수 있다.



(a) Temperatures on horizontal center line



(b) Temperature gradients on horizontal centerline

Fig.8 Distribution of temperature and temperature gradient for various thicknesses of rectangular heat sink plate

4. 결 론

노트북 LED 모니터의 광원으로 사용되고 있는 측면조광 LED의 발열로 인해 모니터 내부에 국부적으로 나타나는 다크무라 현상을 LED 모니터 내부의 전도열전달 해석을 통하여 검토하였다. LED 모니터의 다크무라 현상 및 최대온도는 방열판의 두께나 길이에 따라 특정값에 수렴하는 경향이 있음을 확인하였으며 이로부터 방열판은 모니터 중량, 다크무라, 최대온도 등을 조합한 목표함수에 대한 최적화 인자가 될 수 있음을 확인하였다. 방열판에 관한 최적화 인자들은 본 연

구에서 다른 두께, 길이, 모양, 접촉면 형상 이외에도 재질과 외부와의 전열경로 설계 등 추가 변수들에 대한 최적화 연구의 수행을 통해 고성능 경량 노트북 모니터를 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 (주)LG디스플레이의 산학연구 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 2009, 김운호, 백종석, "Industry Report : LED 산업" Initiating Coverage.
- [2] 2009, L.-C. Chen and C.-C. Kuo, "Automatic TFT-LCD mura defect inspection using discrete cosine transform-based background filtering and 'just noticeable difference' quantification strategies," *Measurement Science and Technology*, Vol.19, pp.1-10.
- [3] 2006, K. Taniguchi, K. Ueta, and S. Tatsumi, "A mura detection method," *Pattern Recognition*, Vol.39, pp.1044-1052.
- [4] 2008, S. M. Chao and D. M. Tsai, "An anisotropic diffusion-based defect detection for low-contrast glass substrates," *Image and Vision Compute*, Vol.26, pp.187-200.
- [5] 2010, Wei-Chen Li and Du-Ming Tsai, "Defect Inspection in Low-Contrast LCD Images Using Hough Transform-Based Nonstationary Line Detection," *IEEE*. pp.1551-3203.
- [6] 2004, W. S. Kim, D. M. Kwak, Y. C. Song, D. H. Choi, and K. H. Park, "Detection of spot-type defects on liquid crystal modules," *Key Eng. Mater*, Vol.270-273, pp.808-813.
- [7] 1989, J. Wilder, "Finding and Evaluating Defects in Glass," in *Machine Vision for Inspection and Measurement*, H. Freeman, Ed. New York: Academic Press.
- [8] 2011, 박일석, 손창현, "NBPC LED 모델의 열전달 현상규명 및 개선" LG 디스플레이(주) 연구과제보고서.
- [9] 2010, ANSYS, "ANSYS CFD Training Manual", TAE SUNG SOFTWARE & ENGINEERING, INC.