

LCD 제품의 광학 성능 향상을 위한 백라이트 유닛용 도광판의 최적설계

이갑성[†] · 정재호* · 윤상준** · 최동훈**

An integrated design approach for Light Guide Panel(LGP) of Back Light Unit(BLU) to improve the Optical Performance of Liquid Crystal Display(LCD)

Gabseong Lee, Jae Ho Jeong, Sang-Joon Yoon and Dong-Hoon Choi

Key Words : Back Light Unit(백라이트 유닛), Dot Pattern(도트 패턴), Light Guide Panel(도광판), Liquid Crystal Display(액정표시장치), Optimization(최적화)

Abstract

Difficulties in developing process of Liquid Crystal Display(LCD) products such as frequent design modifications, various design requirements, and short-term development period bring on the need of integrated design approach that is efficient and easy to handle. Back Light Unit(BLU) of the LCD, which drastically affects the optical performance of LCD products, is divided into in-coupling part and out-coupling part. Serration of the in-coupling part flattens the light received from point light sources and dot pattern of the out-coupling part regularizes the light sent to screen. Therefore, the optical performance of a LCD product is largely influenced by the shape of serration and the arrangement of dot pattern. In this research, a new design approach which enables to improve the optical performance of LCD products and overcome the pre-mentioned difficulties in developing process of LCD products is proposed. The shape of serration is parameterized to 3 parameters and out-coupling part is partitioned into 10 partitions to apply the optimization technique to this problem. 3 parameters for the shape of serration and densities of 10 partitions are used as design variables in the design optimization. Optical simulation tool named SPEOS is used to evaluate the optical performance of the LCD product. Since the optical simulation uses the random ray tracing technique, numerical noise may possibly be included in the simulation process. To solve the problem caused by numerical noise, the PQRS method which can stably find the solution of the noise problem is used in this research.

1. 서론

액정표시장치(Liquid Crystal Display; LCD)는 문자 및 영상 정보의 표시 장치로써 다양하게 사용되고 있는데, 특히 얇고 작게 만들 수 있는 장점이 있기 때문에 대부분의 휴대용 display 기기에

적용되고 있다. LCD가 display 산업계에서 차지하는 비중은 나날이 커져가고 있으며, 업계의 경쟁 또한 더욱 치열해져 가고 있다.

LCD는 자체 발광하지 못하는 수동형 표시 장치(Passive display device)이므로, 별도의 광원을 필요로 한다. CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp), LED(Light Emitted Diode)등이 주로 광원으로 사용되었는데, 최근에는 보다 얇게 만들 수 있고, 색 재현 성능이 좋은 LED가 주로 사용되고 있다. LCD에는 광원이 따로 존재하므로, 광원에서 나오는 빛을 화면으로 전달하기 위한 장치인 백라이트 유닛(Back Light Unit; BLU)이 필요하다.

[†] 한양대학교 대학원 기계공학과
E-mail : gabseong@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2220-0478 FAX : (02)2291-4070

* 삼성 SDI

** 한양대학교 기계공학부

특히 중소형 제품에서 주로 사용되는 측면형 (Edge-lit type) 제품의 경우, BLU의 일부인 도광판(Light Guide Panel; LGP)에 특수한 배열을 가진 도트 패턴(Dot pattern)이 존재하여, 이를 통해 LED에서 나온 빛을 화면으로 반사시킨다. 이 도트 패턴에 따라 LCD의 광학적 성능이 달라지게 되므로 이를 설계하는 기술은 매우 중요하지만, 현재 이것은 설계자의 경험에만 의존하고 있다. 그런데 휴대용 소형 디스플레이 제품은 설계 요구 사항의 변경이 자주 일어나고 개발 기간이 매우 짧기 때문에, 경험에만 의존한 설계로는 시장에서 경쟁력을 확보하기가 쉽지 않다. 따라서 다양한 설계 요구 사항에 능동적으로 대처할 수 있는 설계 방법론의 확립이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 적용성이 뛰어난 해석적 설계 기법을 이용하여 최적의 광학적 특성을 갖는 도트 패턴을 얻고자 한다. 또한 다양한 설계 요구 사항을 가진 중소형 LCD 제품의 백라이트 유닛용 도광판 설계에 능동적으로 대처할 수 있는 설계 방법론을 구축하고자 한다.

2. 백라이트 유닛 및 도광판의 구조

측면형 LCD 제품의 BLU의 구조는 Fig. 1과 같다. LGP는 LED에서 나온 빛이 화면을 향하도록 하는 기능을 하며, 반사 시트(Reflection sheet)는 화면 아래로 향하는 빛을 반사시켜 다시 LGP로 향하게 하고, 확산 시트(Diffuser)는 LGP를 빠져 나온 빛을 균일하게 하는 역할을 한다. 두 장의 프리즘 시트(Prism sheet)는 확산 시트를 통과한 빛을 고르게 하는 역할을 한다. BLU의 부품들 중에서 가장 중요한 역할을 하는 것은 빛을 전달하는 매개체인 LGP이다. LGP는 LED로부터 빛을 받아들이는 in-coupling 파트와 빛을 화면으로 내보내는 역할을 하는 out-coupling 파트로 나눌 수 있다.

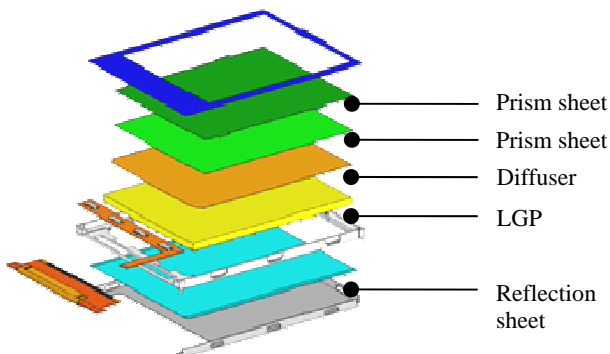


Fig. 1 Structure of a Backlight Unit

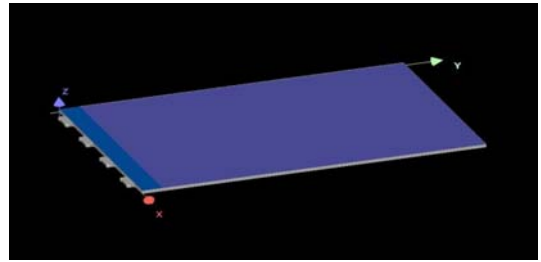


Fig. 2 Schematic view of a simulation model

In-coupling 파트에는 톱니형의 Serration이 가공되어 있어서 LGP에 유입되는 빛이 골고루 퍼지도록 한다. Out-coupling 파트에는 dot pattern이 음각으로 가공되어 있다.

본 연구에서는 휴대폰에 주로 사용되는 2.2 inch 측면형 LCD 모델을 설계의 대상으로 한다. 해당 모델은 4개의 LED를 광원으로 가지고 있다.

3. SPEOS를 이용한 광학 성능 해석 및 정량화

3.1 SPEOS를 이용한 광학 성능 해석

본 연구에서는 LCD 제품 모듈의 광학적 성능을 해석하기 위하여 광학 시뮬레이션 툴인 SPEOS를 사용하였다. SPEOS는 시스템의 형상과 재질 및 재료의 광학적 특성 등을 정의한 후, 광선추적법(Ray tracing technique)¹을 이용하여 시스템의 광학적 특성을 해석한다. 광선추적법은 난수 생성을 통해 광선의 방향을 임의로 결정한 후, LED에서 나오는 빛의 경로를 추적하여 광학적 성능을 추정하는 기법으로, 광선의 수를 크게 설정할수록 해석의 정확도는 높아진다. 본 연구에서 고려하는 광학적 특성은 빛의 밝기의 일종인 조도(illuminance)이며, 단위는 lux이다.

3.2 광학 성능의 정량화

본 연구에서는 광학적 성능을 정량화 하기 위하여 평균 조도(Average illuminance)와 균일도(Uniformity)의 두 가지 개념을 도입한다. 균일도는 발광 영역에서 조도의 균일함을 나타내는 지표이며, 평균 조도는 LCD 모듈의 평균적인 밝기를 나타낸다. 균일도와 평균 조도가 높을수록 LCD 모듈의 광학적 성능은 좋을 것으로 판단할 수 있다. 균일도와 평균 조도를 측정하기 위하여 BLU의 발광 영역을 20 x 20으로 나눈다. 이 때 나누어진 부분을 픽셀(Pixel)이라 하며, SPEOS 해석을 통해 각 픽셀들에 대한 조도를 측정할 수 있다. 이때, 픽셀들의 조도의 산술 평균을 평균 조도로 고려한

다. 평균 조도는 식 (1)과 같이 표현된다. i 와 j 는 각각 픽셀의 행과 열을 나타내며, L_{ij} 는 픽셀의 조도를 의미한다.

$$\text{Average Illuminance} = \frac{\sum_{i,j} L_{ij}}{20 \times 20} \quad (1)$$

또한 식 (2)와 같이 400 개의 픽셀 중 최소값과 최대값의 비를 균일도로 고려한다.

$$\text{Uniformity} = \frac{\min(L_{ij})}{\max(L_{ij})} \quad (2)$$

4. 설계 정식화 및 수행 전략

4.1 설계 변수의 선정

본 연구에서는 LGP 의 in-coupling 파트의 serration 형상과 dot pattern 의 배열을 설계 대상으로 고려한다. In-coupling 파트의 serration 은 원형, 톱니형을 비롯한 다양한 형상으로 나타낼 수 있지만, 가공성을 고려하여 톱니형이 가장 많이 사용된다. 따라서 본 연구에서는 톱니형 serration 의 형상을 나타낼 수 있는 세가지 파라미터인 톱니의 높이, 폭, 그리고 톱니 간 피치를 in-coupling 파트의 설계 변수로 고려한다. Serration 의 형상과 관련된 변수는 Fig. 3 에서 개략적으로 표현하였다. Out-coupling 파트를 이루는 dot pattern 에 포함된 dot 의 개수는 약 20 만 개 정도이며, 이에 대한 좌표를 모두 설계 변수로 사용하는 것은 불가능하다. 따라서 LGP 를 몇 개의 영역(Partition)으로 나누고 각각의 영역에 대한 dot pattern 의 밀도를 설계 변수로 사용하였다. 이러한 접근 방법을 밀도 기반 설계 기법(Density-based approach)라 한다. 영역의 밀도에 관한 식은 다음과 같다.

$$D_{kl} = \frac{A_{kl, \text{Dot}}}{A_{kl, \text{Partition}}} \quad (3)$$

이 때 D_{kl} 는 N_k by N_l 로 분할 된 out-coupling 파트중 k 번째 행, l 번째 열의 dot 밀도를 의미하며, $A_{kl, \text{partition}}$ 은 분할된 영역의 넓이를 나타내며, $A_{kl, \text{Dot}}$ 는 분할된 영역 중 dot 가 차지하는 영역의 넓이를 나타낸다.

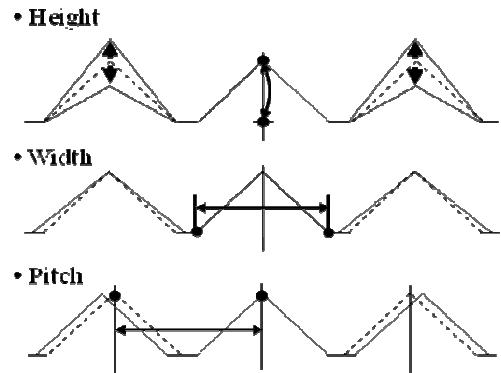


Fig. 3 Shape of serration

이러한 밀도 기반 설계 기법은 Chang and Fang² 의 연구에서도 도입된 바 있으나, Chang and Fang 은 dot 의 위치를 고정하고 반지름을 변경시켜 밀도를 조정하였다. 그런데 이러한 방법은 dot 의 반지름이 각 영역마다 달라서 가공비의 증가를 초래한다. 따라서 본 연구에서는 dot 의 크기를 고정하고 개수를 변화시켜 밀도를 조정함으로써, 가공비 증대를 방지하였다. 또한 원형 dot 보다 효율이 좋다고 알려진 타원형 dot 을 사용하였다.

한편 in-coupling 파트의 설계를 통해 광원과 평행한 방향에 대한 균일도 확보가 가능하므로, 본 연구에서는 광원에 수직인 방향에 대한 밀도만을 설계 변수로 고려할 수 있다. 따라서 최종적으로 out-coupling 파트를 광원과 수직인 방향에 따라 10개의 영역으로 구분하여, 각각의 dot pattern 의 밀도를 설계 변수로 설정한다. Out-coupling 파트에 대한 설계 변수는 Fig. 4에 묘사하였다.

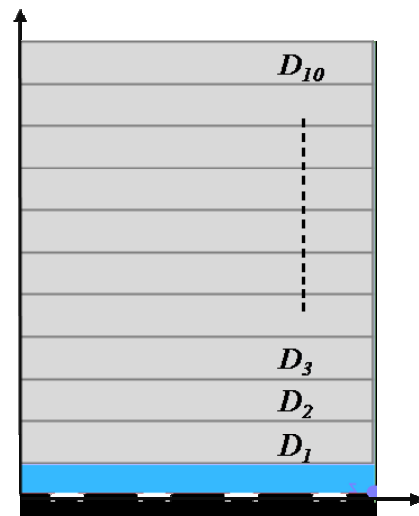


Fig. 4 Partition of the out-coupling part

4.2 설계 정식화

본 연구에서 고려하는 성능 조건은 앞서 설명한 LCD 모듈의 평균 조도와 균일도이다. 이 중 업계에서 제한하는 기준이 있는 균일도를 최적 설계의 제한 조건으로, 평균 조도를 최대화하여야 할 목적 함수로 설정하였다. 또한 4.1 절에서 자세히 설명하였던 serration 의 형상에 관한 변수 3 개와 out-coupling 파트에 10 개로 분할된 영역의 밀도를 설계 변수로 고려하였다. 이상을 정리하여 정식화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Find} && D_j, j=1, \dots, 10 \\
 & \text{to max} && \text{Average Illuminance} \quad (4) \\
 & \text{subject to} && \text{Uniformity} \geq 0.8
 \end{aligned}$$

4.3 최적화기법의 선택

본 연구에서 사용하는 시뮬레이션 툴인 SPEOS 는 무작위적으로 이뤄지는 광선추적법을 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 또한 영역의 밀도가 결정되면 그에 해당하는 dot 의 개수를 계산하고, 그에 따라 내부의 dot 위치를 임의로 결정한다. 따라서 이와 같은 불확정성으로 인해 시뮬레이션 결과에는 수치적 노이즈(Noise)가 포함되어 있을 가능성이 높으며, 이 경우 주로 유한차분법(Finite difference method)으로 계산되는 해석 결과의 민감도(Sensitivity)를 이용하여 설계를 개선하는 국지적 최적화 기법(Local optimization technique)을 적용하면 최적의 설계해 에 수렴하지 못할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 최적화 기법으로 PQRSM(Progressive Quadratic Response Surface Modeling)³ 을 사용하였다. PQRSM 은 순차적 근사 최적화 기법(Sequential approximate optimization algorithm)의 하나로써, 신뢰 영역 개념(Trust region concept)과 반응표면모델(Response Surface Model; RSM)을 사용한다. PQRSM 은 수치적 노이즈가 존재하는 경우에도 효율적이고 강건하게 수렴할 수 있는 방법으로 알려져 있다.⁴

5. 최적화 결과

설계 변수의 초기 값은 업계에서 이용되는 초기 개발 단계의 규격을 사용하였다. 초기 모델은 평균 조도가 2241 lx 이고 균일도가 38%로, 주어진 성능 조건을 만족하지 못하였다. PQRSM 을 이용하여 최적화를 수행한 결과는 평균 조도가 2319 lx, 균일도가 82%로, 제한 조건을 만족하면서 평균

조도 또한 초기 값에 비해 더 좋은 해를 찾을 수 있었다. Serration 형상에 대한 변수의 변화 량은 Fig. 6 과 같고, Dot pattern 의 밀도에 대한 변수의 변화는 Fig. 7 과 같다. 초기 설계의 경우 오히려 LED 에서 먼 곳의 조도가 가까운 곳의 조도보다 더 높은 것을 알 수 있는데, 이것은 경험적으로 균일도 조건을 만족시키기 위해 LED 에서 먼 곳의 dot pattern 의 밀도를 과도하게 높였기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 최적화 기법을 통해 in-coupling 파트의 serration 형상과 out-coupling part 의 dot pattern 밀도를 적절하게 조절함으로써, 균일도를 대폭 상승시킨 설계 해를 얻을 수 있었다. 최적화 결과를 살펴보면, 설계 변수의 변화는 크지 않으나, 성능은 큰 폭으로 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 특징으로부터 본 설계 문제의 성능 조건들은 설계 변수에 매우 민감함을 알 수 있다. 따라서 만약 유한차분법을 기반으로 하는 국지적 최적화 기법을 사용하였을 경우, 성능 조건의 민감도에 의해 설계 해로 수렴하지 못하는 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 특징을 고려하였을 때, 근사 최적화 기법인 PQRSM 을 사용한 것은 적절하였다고 판단할 수 있다.

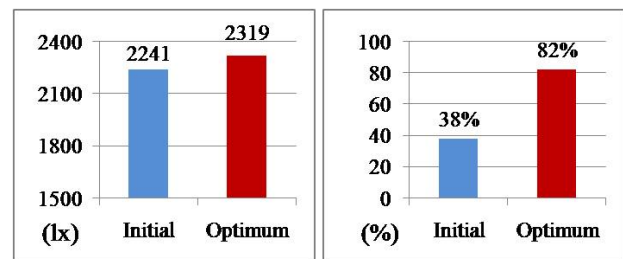


Fig. 5 Simulation results of initial and optimum design

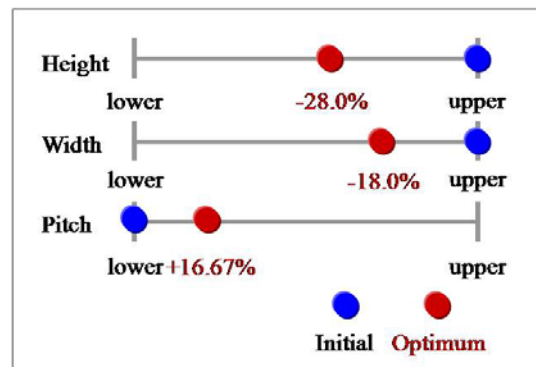


Fig. 6 Changes of parameters for the shape of serration

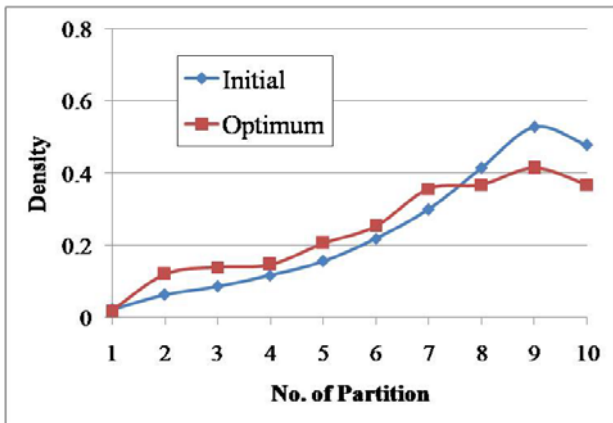


Fig. 7 Dot density of initial and optimum design

6. 결 론

본 연구에서는 휴대용 LCD 제품의 평균 조도와 균일도를 높이기 위한 설계를 수행하였다. 설계 요구 조건을 만족시키기 위하여 in-coupling 파트의 serration의 높이, 폭, 피치와, dot pattern의 밀도를 설계 변수로 하여 최적화를 수행하였다. 본 연구에서 사용되는 시뮬레이션은 수치적 노이즈를 포함하고 있고, 설계 변수의 변화에 시뮬레이션 결과가 민감한 특징이 있다. 따라서 이러한 경우에 대해서도 효과적이고 효율적으로 최적화를 수행할 수 있는 근사 최적화 기법인 PQRSM을 사용하였다. 설계의 모든 과정은 PIDO 툴의 일종인 PIAⁿO⁵를 이용하여 진행되었다. 최적 설계 결과, 평균 조도는 초기 설계에 대비하여 2241 lx에서 2319 lx로, 균일도는 38%에서 82%로 향상되었다. 본 연구의 결과는 다양한 규격을 가진 LCD 제품의 광학적 성능의 개선에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 실제 제작 공정에서 발생하는 설계 제한 조건들을 면밀히 검토하여 설계 요구 조건에 추가하고, 시뮬레이션의 결과가 실제 실험 결과와 유사한 경향을 보이도록 한다면, 본 연구의 실용성을 더욱더 높일 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 최적설계신기술연구센터(iDOT)와 두뇌한국 21(BK21)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Andrew S. Glassner, 1989, *An Introduction to Ray*

Tracing, Morgan Kaufmann

- (2) Jee-Gong Chang and Yu-Bin Fang, 2007, "Dot-pattern design of a light guide in an edge-lit backlight using a regional partition," *Optical Engineering*, Vol. 46, No. 4, pp. 043002
- (3) Hong, K. J., Choi, D. H., and Kim, M. S., 2000, "Progressive Quadratic Approximation Method for Effective Constructing the Second-Order Response Surface Models in the Large Scaled System Design," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 24, No. 12, pp. 3040~3052.
- (4) Changhyun Park, Sungryong Kim, Donghun Choi and Byunggi Pyo. 2005, "Design Optimization for Minimizing Warpage in Injection Molding Parts with Numerical Noise," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 29, No. 11, pp. 1445~1454.
- (5) Framax, 2008, PIAⁿO user's manual, *Framax Co. Ltd*