

광추적기법을 이용한 LCD Backlight Unit 시뮬레이션 제작에 관한 이론

서희경^{0*}, 강노경^{**}, 류양선^{*}, 김성철^{**}, 한광수^{*}, 최준수^{*}

^{*}국민대학교 컴퓨터학부, ^{**}서울대학교 전기·컴퓨터공학부 뉴미디어통신 공동연구소

{hkseo^{*}, ysloo^{*}}@cs-mail.kookmin.ac.kr, {peterpan^{**}, sckim^{**}}@maxwell.snu.ac.kr, {kshahn^{*}, jschoi^{*}}@kookmin.ac.kr

A Theoretical Basis for the Development of LCD Backlight Unit Simulator

Heekyung Seo^{0*}, NoKyung Kang^{**}, YangSeon Ryu^{*}, SeongCheol Kim^{**}, KwangSoo Hahn^{*}, JoonSoo Choi^{*}

^{*}Kookmin University, Department of Computer Science

^{**}Seoul National University, School of Electrical Engineering and Computer Science

요 약

LCD(Liquid Crystal Display)는 표시장치로 실용화된 후 많은 상용에 적용되고 있다. 그러나 LCD는 자체 발광 능력이 없으므로 그 후면에서 LCD 화면을 밝혀주는 BLU(Backlight Unit)를 필요로 한다. BLU는 내부 광원으로 밝기가 균일한 평면광을 만들어 LCD 화면을 균일하게 연조사하는 역할을 한다. LCD의 표시 품질을 향상시키기 위해, 균일한 평면광을 만들어내는 BLU를 제작하기 위한 다양한 방법이 개발되고 있다. 본 논문에서는 이러한 BLU를 제작하는 툴(Tool)과 제작된 BLU가 생성하는 평면광의 휘도 분포를 예측하는 시뮬레이터를 제안함으로써 BLU 개발에 소요되는 시간 및 비용을 단축할 수 있도록 한다.

1. 서 론

평판형 디스플레이로 현재 많이 보급화된 LCD는 거의 CRT에 가까운 표시품질을 내면서 가격과 응답속도 면에서 CRT에 뒤처지지 않고 소비전력이 적으며 경량, 박형의 장점으로 PC, 노트북, 벽걸이 TV, Navigation용 액정 표시장치등 여러 용도에 적용되고 있다. 그러나 LCD는 자체 발광능력이 없으므로 후면에서 LCD 화면을 밝혀주는 BLU를 사용한다. LCD의 핵심 부품인 BLU는 내부 광원으로부터 밝기가 균일한 평면광을 만들어 LCD 패널부분으로 보내줌으로써 LCD 화면 전체에 고르게 빛을 전달하는 역할을 하며 LCD 소비전력의 60~70% 이상이 여기서 일어난다. 따라서 LCD의 품질을 향상시키는 BLU를 제작하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 램프업계에서의 세관화 기술이나 LCD 패널업계에서의 고개울화 기술로는 더 이상 소비전력을 최소화하기 힘들기 때문에 앞으로는 BLU업계에서의 많은 노력이 기대된다. 현재 인쇄공정 없이 바로 LGP(Light Guide Plate) 자체가 광 산란기능을 가지도록 형상을 만드는 Printless LGP, 프리즘 기능을 가진 Prism Embedded LGP, 고휘도를 위한 평면 광원(Flat Lamp) 기술등에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 이러한 연구는 효율적인 BLU의 제작과정에 있어 많은 경험과 노하우를 필요로 하고 있고, 많은 시행착오로 인한 개발 소요시간 및 비용이 낭비되기도 한다. 이와 같은 불필요한 개발 자원 낭비를 막기 위하여 본 논문에서는 BLU의 제작과 제작된 BLU에 의해 생성되는 평면광의 휘도 분포 및 패널을 보는 각도에 따라 눈으로 들어오는 빛의 밝기를 예측하는 시뮬레이터를 제안한다.

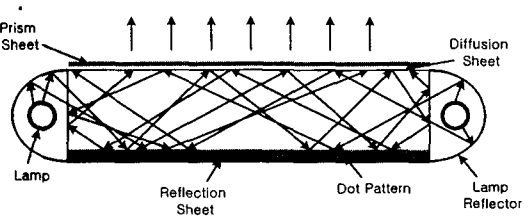
2. 연구 개요

본 연구는 실제로 개발되고 있는 BLU를 시뮬레이터를 통해 모델링하여 그 평면광의 휘도 분포와 시야각 그리고 위치별 밝기를 예측하도록 한다. 이것을 위해서 현재

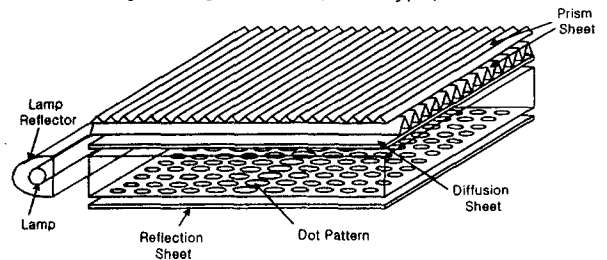
개발되고 있는 BLU의 형상 및 기술에 대한 관찰과 BLU 모델링 방법, 그리고 BLU 내에서의 빛의 흐름에 관한 연구가 필요하고 마지막으로 예측된 평면광을 이용하여 결과를 산출하도록 한다.

2.1 BLU 형상 및 기술

BLU는 램프의 위치에 따라 직하형(Direct Type)과 사이드형(Side Type)(그림 1, 그림 2 참조), 그리고 도광판이 경사가 진 쐐기형(Wedge Type)으로 분류된다.



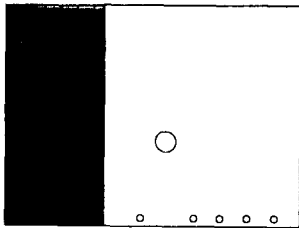
[그림 1] 사이드형(Side Type) 2D



[그림 2] 사이드형(Side Type) 3D

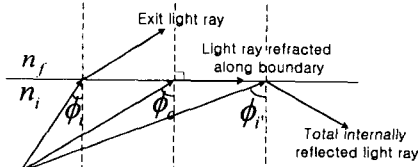
BLU는 LCD 표면으로 균일하면서 밝은 환경에서도 높은 대비비를 얻기 충분하게 LCD 표면을 조명해주어야 한다. BLU의 구성요소로는 다음과 같다. 우선 광원의 역할

을 하는 램프로써 CCFL(Cold Cathode Fluorescent), LED(Light Emitting Diodes) 또는 평면광원이 있고, 램프를 감싸고 있는 램프 반사판(Lamp Reflector)이 있다. 그리고 BLU에서 가장 핵심이 되는 부품인 도광판(LGP)은 PMMA(Polymethyl Methacrylate) 물질로써 빛의 전파 방향에 수직, 즉 도광판의 바로 위에 있는 LCD 패널 방향으로 빛을 이끌어내는 것이 중요한 관건이다. 그 방법 중 하나가 그림 2, 3과 같이 도광판 하부에 정모양의 확산물질(도트패턴)을 발라놓는 방법을 사용하는데 램프에서 나오는 빛의 진행방향에 따라 점차 도트 크기를 크게 해준다. 그러나 이 확산물질에 맞아 나오는 빛은 파장이 감소하여 색이 강해지기 때문에 도트 인쇄과정 대신에 LGP 자체에 형을 가하는 방법으로 LGP를 주조하기도 한다.



[그림 3] 도트패턴 인쇄

그 외에 도광판 하부면으로 빠져나가는 빛을 패널쪽으로 반사시키는 반사판(Reflection Sheet), 도광판 전면으로 나오는 빛의 균일도를 증가시키는 확산판(Diffusion Sheet), 확산판을 통해 나온 빛들의 시야각을 보정하기 위한 프리즘판(Prism Sheet) 등이 있다(그림 2 참조). 그리고 그림 4와 같이 다른 매질을 갖고있는 경계면을 빛이 통과할 때 그 경계면에서 굴절이 일어나게 된다. 이때 90도 굴절각을 갖고 굴절하는 ϕ 입사각을 임계각(Critical Angle)이라고 하고 입사각이 임계각보다 큰 빛은 전반사된다. 도광판의 PMMA의 굴절률을 1.5, 공기의 굴절률을 1이라고 하면 스넬의 법칙에 의하여 임계각은 약 42도가 된다.



[그림 4] Total Internal Reflection

2.2 BLU 모델링

BLU의 핵심 부품으로는 램프 반사판, 도광판 그리고 도광판 하부에 인쇄되는 도트 패턴이 있다. 램프 반사판은 주로 단면이 Parabola 등의 평면곡선을 가지도록 디자인한다. 도광판과 도트 패턴도 여러 가지 모델이 있는데 각 모델에 필요한 수치값들을 가지고 다양한 도광판과 도트 패턴을 설계할 수 있다. 특히 도트 패턴은 램프 거리에 따른 인쇄된 도트의 밀도 함수를 가지고 서로 다른 크기를 갖는 도트들을 모델링하도록 한다.

2.3 빛의 흐름에 관한 연구

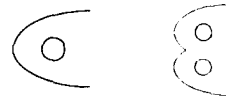
광원인 램프에서 생성된 빛은 반사 및 굴절등의 광학 현상에 의해 도광판으로 입사해서 도광판 하부의 도트에 맞아 산란되어 도광판 전면으로 나가게 된다. 이것을 시뮬레이션하기 위해서 사용하는 광추적기법으로는 확률에 근거해 빛의 진행방향을 결정하는 몬테카를로 방법을 이용한 경로추적(Path Tracing)[1]을 기반으로 한다. 본 연구에서는 빛을 하나의 광자로 보고 광추적의 시작점을 광원으로 두었기 때문에 전방향 광자경로추적(Forward Photon Path Tracing)이라고 할 수 있다. 또한 각 구성 요소의 재료에서 빛의 반사나 투과, 확산 특성을 기술하는 BSDF의 모델링도 필요하다.

3. BLU 핵심부품의 설계

광추적 시뮬레이션을 하기 전에 우선 작업해주어야 할 부분이 바로 효율의 최적화를 위한 핵심부품 설계이다.

3.1 램프 반사판(Lamp Reflector)

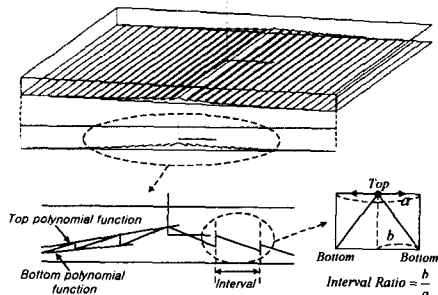
램프 반사판으로 설계할 수 있는 모델에는 4가지로써 Circle, Ellipse, Parabola, Hyperbola가 있다. 그리고 각 모델에 대해서 두 개의 램프가 들어가는 Double 타입과 하나의 램프가 들어가는 Single 타입이 있다.



[그림 5] Single Type과 Double Type

3.2 도광판(LGP)

도광판으로 설계할 수 있는 모델로는 하부에 확산패턴을 인쇄하는 모델과 직접 형을 가하는 주조형식의 모델도 나올 수 있다. 그림 6은 주조형식의 모델 중 하나인 Wedge Cut 모델 및 그 모델을 생성하는데 필요한 입력 데이터들(Top and Bottom Function, Interval Function, b/a Ratio)이다. Wedge Cut 이외의 다른 모델들도 마찬가지로 생성에 필요한 입력 데이터로 설계 가능하다.

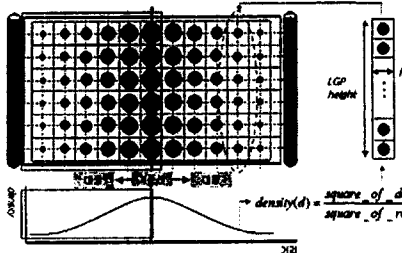


[그림 6] Wedge Cut 모델과 입력 데이터

3.3 도트 패턴(Dot Pattern)

도트 패턴의 모델로는 원형의 확산 인쇄물을 배열하는 방법에 따라 Circular Grid, Circular Honeycomb, Hexagon Honeycomb 등이 있다. 도광판에 인쇄되는 도트의 밀한 정도를 나타내는 밀도함수(Density Function)를 이용해서 램프 거리에 따른 서로 다른 크기의 도트를 생성

한다.

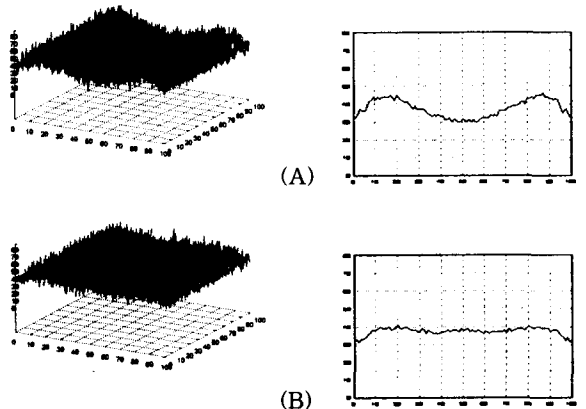


[그림 7] Circular Grid의 밀도

지 않는 장점이 있으나 광원에서 생성하는 광자의 샘플링 수가 많을수록 정확한 결과를 얻을 수 있다.

5. 실험결과

그림 10은 램프 반사판으로는 둘 다 Parabola를 사용하고 도광판으로는 서로 다른 인쇄패턴을 가지는 도광판을 사용한 시뮬레이션 결과의 한 예이다. 왼쪽 그림은 3D 결과로 생성되는 평면광의 휘도를 나타내고, 오른쪽 그림은 3D 결과를 세로 방향으로 적분한 결과이다. 이상적인 시뮬레이션 결과는 화면 전 영역에 걸쳐 동일한 휘도 분포를 나타낸다. 따라서 (B)의 BLU가 (A)보다 더 효율적임을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다.



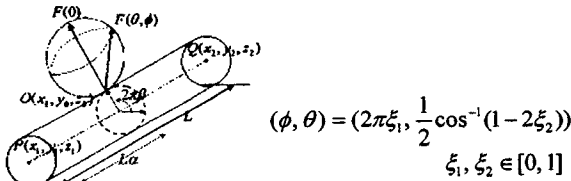
[그림 10] 실험결과

4. 몬테카를로 광추적 기법을 이용한 시뮬레이션

시뮬레이션은 광원을 생성하는 램프 모델링과 생성된 빛을 추적하는 광추적 부분으로 볼 수 있다. 이 때 빛의 산란을 기술하는 BSDF를 적용하였으며 확률 함수에 근거한 몬테카를로 방법을 사용하였다.

4.1 램프 모델링

램프는 형광등이라고 간주하고 형광등의 모델링 [2]을 사용한다. 형광전구의 내면에 칠해져 있는 형광물질은 완전 확산 투과 물질로서 형광등 표면에서의 빛은 모든 방향으로 똑같은 확률을 갖고 방사된다.



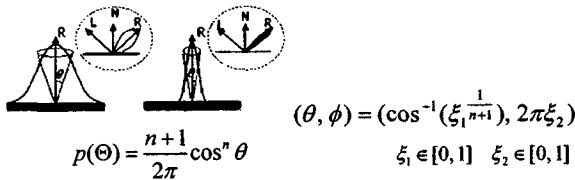
[그림 8] 램프의 모델링

$$(\phi, \theta) = (2\pi\xi_1, \frac{1}{2}\cos^{-1}(1-2\xi_2))$$

$$\xi_1, \xi_2 \in [0, 1]$$

4.2 BSDF(Bidirectional Scattering Distribution Function)

BSDF는 한 표면에서의 빛이 방사할 때 어느 정도 확산되어 나가는가를 기술한 함수로 BRDF나 BTDF로 표현될 수 있다 [3]. BSDF의 모델링은 확산되는 분포를 그림 9와 같이 코사인의 지수 n으로 조절하는 Phong 모델 [4]이 있고, 확산 분포를 파일로 입력받아 계산한다.



[그림 9] BSDF의 Phong 모델

$$(\theta, \phi) = (\cos^{-1}(\xi_1^{\frac{1}{n+1}}), 2\pi\xi_2)$$

$$\xi_1 \in [0, 1] \quad \xi_2 \in [0, 1]$$

4.3 광자경로추적(Photon Path Tracing) 기법

광자경로추적은 기존의 경로추적 [1] 기법을 기반으로 추적하는 빛에 광자의 개념을 적용한 것이다. 광자의 진행 방향을 결정할 때마다 임의의 난수를 발생시켜 해당 확률분포에 따라서 결정하도록 한다. 수행시간이 Ray Tracing과 같이 기하급수적으로 증가하지 않고 복잡한 형태에서 Beam Tracing [5]만큼 많은 연산을 필요로 하

6. 향후과제

실험 결과에서 보듯이 BLU의 모양에 따라서 그 결과에 많은 영향을 끼친다. 특히 램프 반사판에서 모델식의 계수변화와 도광판의 여러 수치값에 따라라도 결과에 영향을 미친다. 따라서 사람이 수작업으로 효율적인 BLU를 찾는 것보다 자동으로 찾아가는 Optimization 기능이 필수적이고 현재 이것을 연구 중에 있다. 또한 직하형 BLU의 모델링과 램프로 LED이나 EL Type을 시뮬레이터에 적용하는 방법, Prism Embedded LGP, 평면광원의 적용 등에 대한 연구가 이루어져야 한다.

7. 참고문헌

- [1] Henrik Wann Jensen, Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping, A K Peters, 2001.
- [2] Chen, L., M. Suzuki, T. Goda, and N. Yoshimura, Louvre Lighting Performance: Monte Carlo Assessment, Lighting Research & Technology, Vol. 30, No. 4, pp.165-168, 1998.
- [3] Andrew S. Glassner, Principles of Digital Image Synthesis, Morgan Kaufman, San Francisco, 1995.
- [4] Philip Dutre, Global Illumination Compendium, pp 19, 2001.
- [5] 박은철, LCD Backlight Unit 설계를 위한 3차원 모의 실험도구 개발에 관한 연구, 국민대학교 대학원, 2001.