

## LCD backlight unit의 고분자 산란형 도광판에 관한 연구

### A study on the LCD backlight unit using polymer

정 일 용\*, 박 우 상\*\*  
(Il-Yong Jung\*, Woo-Sang Park\*\*)

#### Abstract

Dot pattern print methods composed of a diffusion film and two prism sheets, have been generally used for backlighting systems of LCDs. However, this methods require complex structures and show high power consumption and optical loss. To improve these disadvantages of conventional backlight units, light guides using highly scattering optical transmissions (HSOT) polymer as scatters, have been introduced. In this study, we analyzed multiple scattering effect in light guide by means of Monte carlo simulation based on Mie scattering theory and ray tracing method. As a result, it was revealed that scattering intensity depends on the size of scatters. On the other hands, it was shown that scattering efficiency depends on the wavelength of fluorescent lamp as well as the size of scatters.

**Keyword** : LCD, backlight unit, light guide, Monte carlo, Mie scattering, multiple scattering

#### 1. 서 론

최근 LCD에 관한 연구는 휴대용 컴퓨터의 전력 소모를 줄이기 위한 방향으로 다양하게 이루어지고 있다. LCD display에서 가장 많은 전력을 소모하는 것이 backlight임에도 불구하고, 그 개선 방향에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 현재 휴대용 컴퓨터 등에 사용되고 있는 backlight 도광판은 측면으로 입사되는 광을 반사면을 통해 반사시키는 방법으로 edge-light형이라 한다. 현재는 균일한 휘도 분포를 얻기위해서 확산물질을 dot 인쇄하는 방식을 이용하고 있는데, 이것은 광손실이 많은 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 고분자 산란형 도광판 방식이 제안되었다.<sup>1)</sup> 고분자 산란형 도광판이란 기존의 PMMA 도광판 내에 고분자

를 산포시키는 방법으로서, 도광판 위에서의 광이용 효율과 휘도 균일도의 향상을 기대할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 Mie scattering 이론<sup>2)</sup>을 이용하여 도광판 내에서의 multiple scattering을 분석하였고, 광선추적을 하는 과정에서는 monte carlo<sup>3)</sup> 방법을 사용하였다.

#### 2. 본 론

##### 2. 1. Light scattering theory

PMMA 도광판 내에서 산란물질로 사용되는 고분자 안으로 입사된 빛의 이동을 나타내는 scattering intensity와 efficiency는 Mie scattering 이론을 통해서 얻어낼 수 있다.

$$I(\alpha, m, \theta) = \lambda^2(i_1 + i_2)/8\pi^2 \quad (1)$$

인하대학교 전자·전기·컴퓨터공학부  
( 인천광역시 남구 용현동 253, Tel : 032) 860-7762 )  
E-mail : \* ; g1991229@inhavision.inha.ac.kr  
\*\* : wspark@inha.ac.kr

$$K(\alpha, m) = \left( \frac{\lambda^2}{2\pi^2 r^2} \right) \sum_{v=1}^{\infty} (2v+1) \{ |a_v|^2 + |b_v|^2 \} \quad (2)$$

여기서,  $I$ 는 scattering intensity,  $K$ 는 scattering efficiency,  $\lambda$ 는 입사되는 빛의 파장,  $r$ 은 산란입자의 반지름,  $\theta$ 는 산란각을 의미한다. 식 내부에 쓰여진  $i_1, i_2, a_v, b_v$ 의 정의는 다음과 같다.

$$i_1 = \left| \sum_{v=1}^{\infty} \frac{2v+1}{v(v+1)} \left\{ a_v \frac{p_v^1(\cos \theta)}{\sin \theta} + b_v \frac{dp_v^1(\cos \theta)}{d\theta} \right\} \right|^2 \quad (3)$$

$$i_2 = \left| \sum_{v=1}^{\infty} \frac{2v+1}{v(v+1)} \left\{ b_v \frac{p_v^1(\cos \theta)}{\sin \theta} + a_v \frac{dp_v^1(\cos \theta)}{d\theta} \right\} \right|^2 \quad (4)$$

$$a_v = \frac{\Psi_v'(ma)\Psi_v(a) - m\Psi_v(ma)\Psi_v'(a)}{\Psi_v'(ma)\zeta_v(a) - m\Psi_v(ma)\zeta_v'(a)} \quad (5)$$

$$b_v = \frac{m\Psi_v'(ma)\Psi_v(a) - \Psi_v(ma)\Psi_v'(a)}{m\Psi_v'(ma)\zeta_v(a) - \Psi_v(ma)\zeta_v'(a)} \quad (6)$$

$$\alpha = 2\pi r n_m / \lambda_0 \quad (7)$$

$$m = n_s / n_m \quad (8)$$

여기서,  $p_v^1(\cos \theta)$ 는 legendre polynomial,  $\Psi_v$ 는  $x J_v(x)$ ,  $J_v(x)$ 는 bessel function,  $\zeta_v(x)$ 는  $x h_n^1(x)$ ,  $h_n^1(x)$ 는 hankel function,  $n_m$ 은 PMMA의 굴절률,  $n_s$ 는 산란체의 굴절률을 의미한다.

도광판 내로 입사된 photon은 반복적으로 산란 물질과 충돌한다. 충돌한 후, photon은 초기 진행 방향이 아닌, 생성된 scattering angle 방향으로 진행하게 된다. 이 때, photon path length는 산란 물질의 단면적과 농도, scattering efficiency 등과 관계가 가진다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L = - \frac{\ln(\text{random No.})}{\pi r^2 K C} \quad (9)$$

$L$ 은 photon path length,  $\text{random No.}$ 는 난수발생기에서 생성되는 0과 1사이의 난수,  $C$ 는 단위 부피당 산란 입자의 농도를 의미한다.

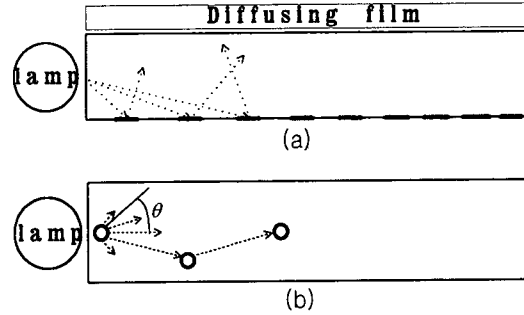


그림 1. 도광판의 구조 (a) dot 인쇄 방식 (b) 고분자 산란 방식

Fig. 1. Structure of backlight light guide

## 2. 1. 모델링 및 simulation

그림 1.은 확산물질 dot 인쇄방식과 고분자 산란형 backlight 를 비교하여 나타낸 것이다. 기존의 방식에서는 dot 패턴을 감추고, 확산 균일도를 높이기 위해 확산 필름이 필요하였으나, 고분자 산란형의 경우는 PMMA와는 다른 굴절률을 가진 고분자에 의한 산란 작용을 이용하기 때문에 확산 균일도가 매우 높다. 따라서 확산 필름을 쓸 필요가 없다. 빛의 진행과정에서 산란입자와 산란을 일으킨 후, 산란된 각을  $\theta$ 라 할 때 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$F(\theta) = \frac{I(\theta)}{\int_0^\pi I(\theta) d\theta} \quad (9)$$

$$\theta = F^{-1}(\text{random No.}) \quad (10)$$

여기서,  $F(\theta)$ 는 산란각에 대한 확률 밀도 분포 함수이다. 다중 광산란을 모델링 하기 위해서 역변환 함수에 난수를 대입하여 각도난수를 얻는다.

도광판 내로 입사된 빛은 투명한 PMMA를 투과 하면서 내부에 포함된 대략 0.1~0.4wt%의 고분자와 산란을 일으켜 진행방향이 바뀌게 된다. 이를 좌표로 나타내면 다음과 같다.

$$x_n = x_{n-1} + L \cos \left( \frac{\pi}{2} - \sum_{n-1} \theta_{n-1} \right) \quad (11)$$

$$y_n = y_{n-1} + L \sin \left( \frac{\pi}{2} - \sum_{n-1} \theta_{n-1} \right) \quad (12)$$

여기서,  $L$  은 photon pass length이고,  $\theta$  는 식 (10)으로부터 얻은 각도 난수이다.

### 3. 계산 결과 및 논의

#### 3. 1. Intensity Profile과 Efficiency

Mie theory에 의해서 구한 scattering intensity와 efficiency 특성을 나타내었다.

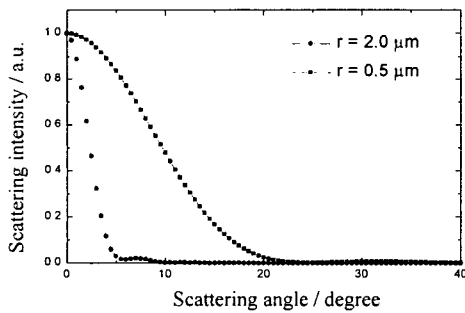


그림 2. 산란각에 대한 intensity 특성  
Fig. 2. Angular dependence of scattering intensity

그림 2.는 산란각에 대한 intensity의 변화를 보인 것이다. 산란입자의 크기가 작을수록 클 때보다 다양한 각도로 산란되어짐을 알 수 있으며, 이는 산란입자의 크기가 도광판 위에서의 휘도 균일도에 영향을 미치고 있음을 의미한다.

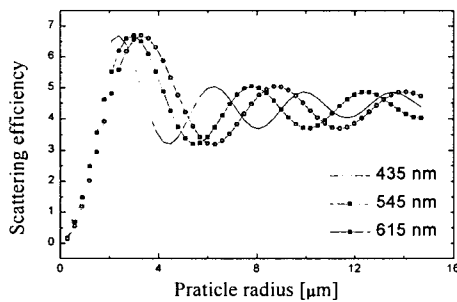


그림 3. 산란입자의 크기에 대한 scattering efficiency 특성  
Fig. 3. Dependence of scattering efficiency characteristics on the various radius

그림 3.은 다양한 크기의 산란입자에 대한 scattering efficiency를 나타낸다. 그림 3.에 나타난 각각의 파장값은 일반적으로 backlight unit에 사용되는 냉음극 형광램프(CCFT)의 주요한 값들이다. 이로부터 같은 크기의 입자라 할지라도 각각의 파장값에 따라 scattering efficiency가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 산란입자의 크기는 사용할 냉음극 형광램프의 파장값에 따라 결정하여야 한다.

#### 3. 2. Monte carlo simulation

2차원적으로 광선추적을 도식적으로 나타내었다. 초기 입사방향은 동일한 것으로 가정하였다.

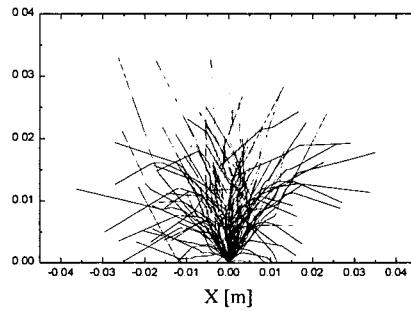


그림 4. 광선 추적 ( $r = 0.5 \mu\text{m}$ )  
Fig. 4. ray tracing ( $r = 0.5 \mu\text{m}$ )

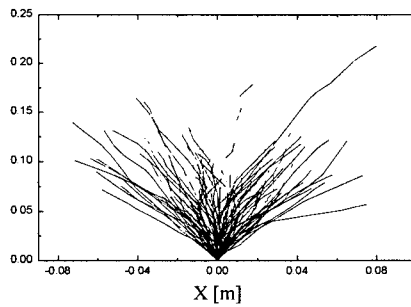


그림 5. 광선 추적 ( $r = 2.0 \mu\text{m}$ )  
Fig. 5. ray tracing ( $r = 2.0 \mu\text{m}$ )

그림 4. 과 그림 5. 은 산란입자의 반지름이 각각  $0.5 \mu\text{m}$ ,  $2.0 \mu\text{m}$  인 경우의 광선 추적한 것을 나타

낸 것이다. multiple scattering을 할 때, 반지름이  $0.5\mu\text{m}$ 일 때는 산란각이  $60^\circ$  근방까지 넓게 생기기 때문에  $2.0\mu\text{m}$ 으로 계산한 것보다 더 넓게 퍼진 모양을 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 TFT-LCD에서 사용되는 edge-light형 도광판 내에 산란 물질을 첨가하였을 때의 multiple scattering 현상을 분석하기 위하여 Mie theory에 입각한 monte carlo simulation을 수행하였으며 주요결과는 다음과 같다.

1. PMMA 도광판 내에 첨가된 산란 입자의 크기가 작을 경우  $20^\circ$  근방까지 다양하게 산란각이 생성되었으나, 입자의 크기가 커질수록  $10^\circ$  이내의 산란각만 생성됨을 알 수 있었다. 산란각은 곧 도광판 내에서의 빛의 움직임을 나타낸다. 따라서 이 결과는 첨가되는 입자의 크기가 도광판의 휘도 균일도에 중요한 parameter가 됨을 보여준다.
2. 산란 입자의 크기에 대한 efficiency 특성은 입자의 반지름이 증가함에 따라 급격히 진동하였으나, 반지름이  $16\mu\text{m}$ 이상이 되면서 4.5의 값으로 포화되었다.
3. 입자의 크기에 대한 광선추적 simulation에 의해서 앞의 결과1, 2를 확인하였다. 산란입자의 크기가 클수록 평균 산란각이 작기 때문에 초기 진행방향에 대한 변화가 적다.  $L$ 이 작을수록 photon path length가 길기 때문에 도광판 내에서 산란되는 회수가 많아진다.

#### 참고 문헌

- [1] Akihiro Horibe, Masahiro Baba, Eisuke Nih-ei, Yasuhiro Koike, "High-efficiency and highly-quality LCD backlight using highly scattering optical transmission polymer", IEICE TRANS. ELECTRON, Vol. E81-C, No. 11, 1998.
- [2] Wyn Brown, "Light scattering principles and development", Oxford Science Publications, pp.52-53, 1996.
- [3] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery, "Numerical recipes in C", Cambridge university press, pp.235-328, 1992.
- [4] Ward Cheney, David Kincaid, "Numerical mathematics and computing", 3th Brooks / Cole Publishing Company, pp.84-85, 1994.
- [5] George B. Arfken, Hans J. Weber "Mathematical methods for physicists", Academic Press, pp.627-692, 1995.
- [6] Julla S. Higgins, Henri C. Benoit, "Polymers and neturon scattering", Oxford Science Publications, pp.57-70, 1994.
- [7] Ping Sheng, "Scattering and localization of classical waves in random media", World Scientific, pp.259-260, p.237, 1990.
- [8] Baber Hill, "Light scattering by particles : computational methods", World Scientific, pp.187-252, 1990.