

이방성 매질을 투과한 빛의 편광상태 분석을 위한 확장된 존스 행렬식의 엄밀한 수치해석

The exact numerical analysis of the extended Jones matrix expressions for polarization state characterization of a light through a uniaxial medium

류장위, 신유식, 김상열, 안성혁*, 김용기**

아주대학교 분자과학기술학과, *아주대학교 물리학과, **삼성전자 첨단기술연수소

jangwisi@ajou.ac.kr

빛이 매질을 통과한 후, 편광상태 변화를 계산하는 가장 간단한 방법은 존스 행렬법이지만, 이 방법은 빛이 수직 입사하는 경우만 고려하고, 또한 매질 사이의 경계면에서 반사되는 빛은 고려하지 않는 등의 gksrP가 있다.⁽¹⁾ Berreman에 의해 유도된 4 x 4 행렬법은 매질의 경계면에서 전자기파의 굴절, 다중 반사와 파장 등을 고려한 정확한 계산 방법이나 계산식 자체가 매우 복잡하고, 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD)에 적용하려면 LCD의 복잡한 구조에 따른 광해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.⁽²⁾ 이에 비해서 일반적인 LCD의 광학적 특성을 계산 시간을 단축하면서도 비교적 쉽고 직관적으로 계산할 수 있는 확장된 존스 행렬법이 Yeh 등과 Lien에 의해서 개별적으로 유도되었다.^(3,4) 확장된 존스 행렬법은 서로 다른 두 매질의 경계면에서 반사하는 빛이 투과하는 빛보다 매우 작을 경우 비교적 간단한 방법으로 빛의 편광상태 변화를 계산할 수 있는데, Berreman의 4 x 4 행렬법의 계산 결과와 큰 차이가 없음이 Kwok 등에 의해 보고되었다.⁽⁵⁾ 한편 정상복소굴절율(n_o)과 이상복소굴절율(n_e)의 차이가 크지 않은 편광자나 위상지연자와 같은 이방성 물질은 $n_e \approx n_o$ 로 가정된 후 Yeh 등이 유도한 확장된 존스 행렬법을 사용한 광학적 특성을 계산할 수 있으나, 액정과 같이 이러한 물질보다 이방성이 큰 물질의 경우 보다 정확한 광해석 계산을 위해서는 n_e 와 n_o 를 구별해 계산해야 한다.

본 연구에서는 근사적인 방법을 사용한 Yeh 등의 논문을 보완하여 등방성 매질과 이방성 매질의 경계면에서 투과계수의 정확한 표현을 유도하였다. 광학 이방성이 작은 경우 ($|n_e - n_o| \ll n_e, n_o$), 계산된 투과계수가 Yeh 등의 근사식에 의한 투과계수와 정확하게 일치하는 것을 확인하였다.

그림 1은 기존의 근사적인 방법을 사용하여 계산한 투과율과 정확한 투과계수가 반영된 투과율을 비교한 그래프이다. 광축이 수직으로 교차된 한 쌍의 편광자를 투과한 빛의 투과율을 입사각과 방위각에 대한 등투과율 그래프 (a)와 방위각 45도에서 입사각의 함수로 계산한 투과율 그래프로 나누어 표현하였다. 계산에 사용된 편광자의 광학상수는 $n_o = 1.5$, $n_e = 1.5 - i(0.01)$, 두께는 $50 \mu\text{m}$ 이다. 입사파는 편광되지 않은 빛이며, 교차하는 두 편광자의 광축은 각각 x-축, y-축 상에 존재한다. (a)에서 교차하는 두 광축 방향으로 입사한 빛은 누수가 없지만 입사각이 증가하며 방위각이 광축에서 벗어남에 따라 누수가 발생함을 볼 수 있다.

정확한 투과계수 표현을 사용하여 단축이방성 a-판을 임의의 편광상태로 입사한 빛이 투과한 후의

편광상태를 임의의 입사각과 방위각에 대하여 계산하였다. 또한 광축이 수직으로 교차된 이상적인 두 o-타입 편광자에 편광되지 않은 빛이 투과한 경우 투과율을 임의의 입사각과 방위각에서 계산한 후, 기존의 근사식과 비교하였고, 완전하지 않은 두 편광자의 소광계수와 두께의 변화에 따른 투과율을 계산하여 실제의 편광자를 상정한 소광도를 평가하였다. 정확한 투과계수를 사용하는 방법을 제시하여 근사식이 적용되지 않는 이방성이 큰 이방성 매질을 통과한 후의 빛의 편광상태를 분석할 때 액정 디스플레이 분야나 광소자의 편광 분석에 기여하고자 하였다.

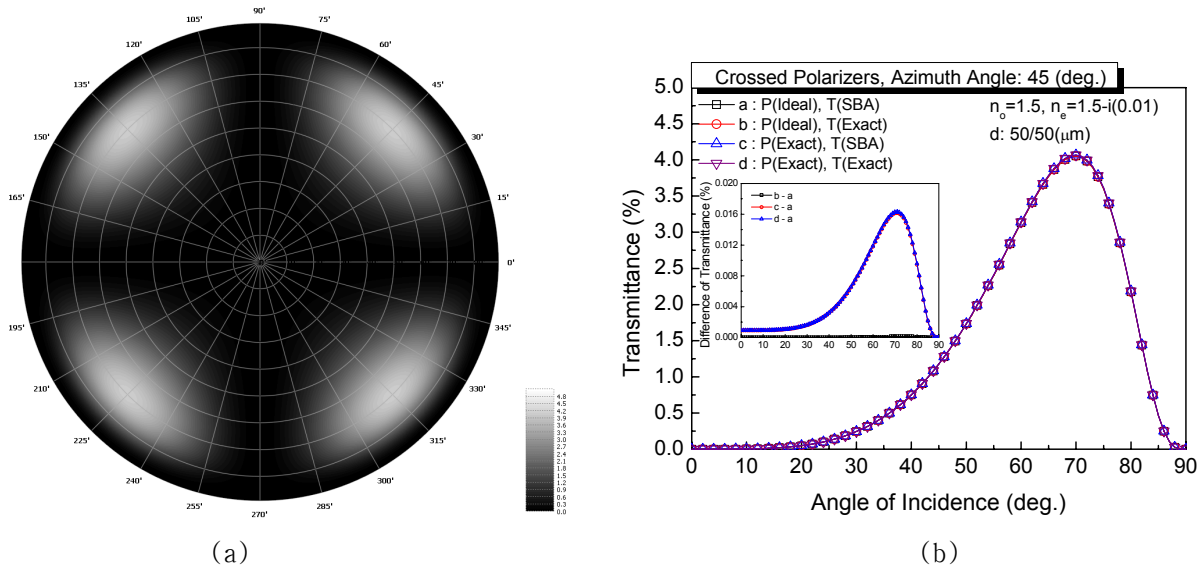


그림 1 광축이 수직으로 교차된 편광자를 투과한 빛의 등투과율 그래프(a)와 방위각이 45도 인 경우 입사각에 따른 투과율 그래프(b).

참고문헌

1. R. C. Jones, "A new Calculus for the Treatment of Optical systems," *J. Opt. Soc. Am.*, 31, 488-493 (1941).
2. D. W. Berreman, "Optics in Stratified and Anisotropic Media : 4x4-matrix Formulation," *J. Opt. Soc. Am.*, 62, 502-510 (1972).
3. P. Yeh, "Extended Jones matrix method," *J. Opt. Soc. Am.*, 72, 507-513 (1982).
4. A. Lien, "Extended Jones matrix representation for the twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence," *Appl. Phys. Lett.*, 57, 2767-2769 (1990).
5. F. H. Yu, and H. S. Kwok, "Comparison of extended Jones matrices for twisted nematic liquid-crystal displays at oblique angles of incidence," *J. Opt. Soc. Am. A*, 16, 2772-2780 (1999).