

분광기를 이용한 반사형 TN LCD의 셀갭 측정

이기동[†] · 박경호 · 이서현 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

④ 609-735 부산시 금정구 장전동 산30번지

(2001년 5월 14일 받음, 2001년 10월 16일 수정본 받음)

본 논문에서는 회전 편광자법을 이용한 액정셀의 셀갭측정 방법을 개선하여 반사모드의 TN LCD의 셀갭을 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 측정 시스템에서 액정셀(liquid crystal cell)을 회전시키며 분산 특성을 측정하여, 액정 꼬임각이 알려진 셀의 갭과 파장에 따른 Δn_d 값을 구할 수 있다.

분류코드 : OS.010.

I. 서 론

셀갭(cellgap)은 LCD의 광학적 특성을 결정하는 가장 중요한 파라미터이다. 그러므로 이것을 정확하게 측정하기 위한 다양한 노력들이 진행되어왔다. 일반적으로 액정이 들어 있지 않은 셀의 셀갭 측정방법으로는 Peak to Peak법(or light interference method)^[1]이 가장 널리 이용되고 있다. 그러나 액정이 주입된 셀의 셀갭 측정 시 이 측정법에서는 투과율이 LCD에 사용되는 액정, 박막 및 유리등과 같은 LCD 구성요소에 의하여 왜곡되므로 셀갭 측정에 있어서 높은 신뢰도를 얻을 수 없다. 따라서 액정이 주입된 셀의 측정법이 필요하다. 액정이 주입된 셀의 경우 셀갭측정법은 회전편광자법(rotating polarizer method)^[2]과 위상보상법(phase compensation method)^[3] 등이 있다. 위상보상법의 경우 정확도가 높은 반면 측정이 어렵고 측정시간이 많이 소요된다. 회전편광자법은 분광기를 이용하여 분광파형의 peak나 valley에서의 파장을 측정함으로써 셀갭을 측정하는 방법이며 간단하고 정확하게 셀갭이 측정되어 광범위하게 사용되고 있다. 분광 파형을 이용한 셀갭 측정의 장점은 측정 시 소요시간이 작게 드는 장점을 가지며 측정이 후 분광 파형을 통하여 검증을 할 수 있다는 장점을 갖는 반면 작은 셀갭을 갖는 셀의 측정에 있어서 측정 시 peak나 valley 값이 가시광선 영역에서 관측되지 않으므로 셀갭 측정이 불가능한 단점이 있다. 회전편광자법은 peak 보다는 valley에서의 파장을 이용하면 더욱 정확한 값을 측정할 수 있으며 셀갭 이외에 액정의 분산특성도 측정할 수 있다.^[4] 그러나 이러한 측정방법은 현재 투과형에만 적용할 수 있는 방법만 제시되었으므로 가장 주목받고 있는 반사모드의 TN LCD의 경우에는 액정 셀의 내부에 금속전극이 있어 반사판의 역할을 하므로 적용할 수 없다. 이러한 이유로 본 논문에서는 분광기를 이용하여 반사형 TN LCD의 셀갭측정이 가능한 측정 방법을 제시하고 실제 제작된 액정 셀을 이용하여 셀갭을 측정해 보았다.

II. 반사형 셀갭 측정법

본 논문에서 제안된 새로운 반사형 TN LCD의 셀갭측정법에서는 반사모드 액정 셀의 셀갭을 측정할 수 있을 뿐 아니라, 반사를 통해 빛이 액정 셀을 두 번 통과하게 되므로 낮은 셀갭의 측정이 가능할 것으로 기대된다.

2.1. 장치 구성도

분광기를 이용한 반사형 TN LCD의 셀갭의 측정을 위한 측정 시스템은 그림 1과 같이 편광자, 검광자, 액정 셀, 빔 스플리터(bean splitter)로 구성되어있다. 광원에서 나온 빛은 편광자와 액정 셀을 통과하게 된다. 이 빛이 다시 거울에서 반사되어 다시 액정 셀을 통과한 후 빔 스플리터를 통해 반사된 빛을 분리하여 검광자를 통과하여 분광기로 그 파형을 측정한다. 빛은 액정 셀을 전체 두 번 통과하게 된다. 측정 파라미터는 그림 2와 같이 입력편광자의 투과축과 출력편광자의 투과축 사이의 각을 θ , 입력편광자와 액정 셀의 입력디렉터(input director) 사이의 각을 η , 입력디렉터와 출력디렉터 사이의 각 즉 액정 셀의 꼬임각을 Φ 로 구성되었으며, 입력편광판의 투과축을 측정시스템의 기준으로 하였다.

2.2. 반사율 특성

측정시스템에서 출력 반사광의 반사율을 Jones Matrix를 이용하여 계산한 결과는 다음의 식 (1)과 같다.^[5]

$$R = \left(\frac{1}{16X^2} \right)^2 \{ [2\cos(\theta)(2\Gamma^2 \cos(2X) + 8\Phi^2)]^2 + [8\Gamma(\Phi \sin(2\eta - \theta)(1 - \cos(2X)) - X \cos(2\eta - \theta) \sin(2X))]^2 \} \quad (1)$$

단, $\Gamma = \frac{2\pi d}{\lambda} (\Delta n_{eff})$, $\Delta n_{eff} = \frac{n_e}{\sqrt{1 + \left(\left(\frac{n_e}{n_o} \right) - 1 \right) \sin^2 \theta_t}}$, $X = \sqrt{\Phi^2 + \left(\frac{\Gamma}{2} \right)^2}$

이 때, Φ 는 액정 셀의 꼬임각, θ 는 편광자와 검광자가 이루

[†]E-mail: gdlee@hyowon.pusan.ac.kr

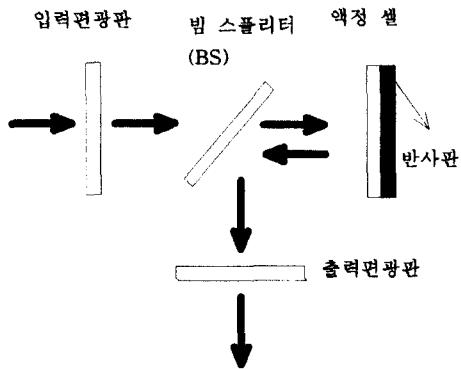


그림 1. 반사형 액정 셀 두께 측정 장치 구성도.

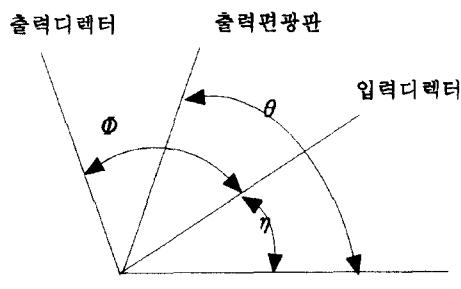


그림 2. 측정 파라미터의 구성.

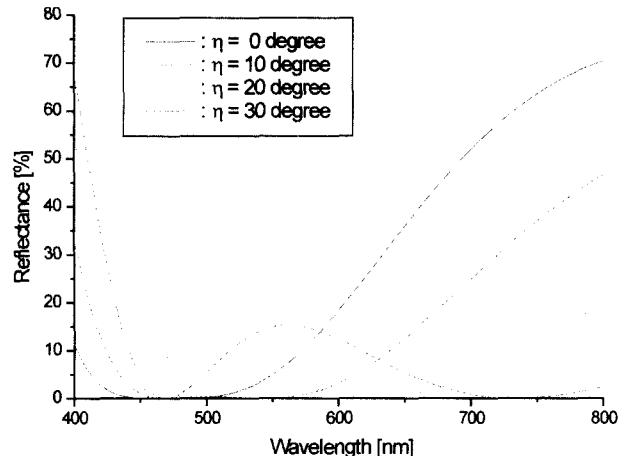
는 각, d 는 액정셀의 캡, θ_r 는 액정의 선경사각, η 는 액정 셀의 러빙방향(rubbing direction)이 편광자와 이루는 각이다. Δn_{eff} 는 선경사각이 θ_r 인 액정의 유효 굴절률을 나타낸다. 셀캡을 측정하기 위하여 반사율이 0이 되는 광학조건을 구해보면 식 (2)의 조건(i), (ii)와 같은 두 가지 조건을 구할 수 있다.

- (i) $\theta = \frac{\pi}{2}$ 일 때 $\cos(2X) = 1$,
- (ii) $\theta = \frac{\pi}{2}$ 일 때 $\Phi \tan(X) + X \tan(2\eta) = 0$ (2)

조건 식에서 반사율이 0이 되는 조건은 편광자와 검광자를 90°가 되도록 하여 구할 수 있음을 알 수 있다. 특히, 식 (2)의 조건(i)을 만족하면 측정시스템에서 액정 셀이 러빙 방향에 관계없이 반사율이 0이 되는 파장이 있음을 알 수 있다. 식 (2)의 조건(ii)에서는 액정 셀을 회전시켜 η 를 변화시킬 때 반사율이 0이 되는 복수개의 파장이 있음을 알 수 있다. 이는 이론적으로 η 값을 변화할 때 반사율 0이 되는 파장이 식 (2)의 조건(ii) 조합에 따라 무한대로 얻을 수 있다는 것을 의미한다. LCD의 셀캡 d 의 측정은 액정의 굴절률을 이방성 $\Delta n(\lambda)$ 과 계산된 $\Delta n(\lambda)d$ 를 이용하여 구할 수 있다. Cauchy's 방정식을 이용하여 위상지연 값을 나타내면 식 (3)과 같다.

$$\Delta n(\lambda)d = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots \quad (3)$$

식 (2)의 조건(i), (ii)에 의하여 반사율 0인 3개의 파장과 그 파장에서의 Δnd 를 각각 계산하여 위의 식에서 파장분산계수 A, B, C, \dots 를 계산한 다음, 굴절률 이방성 값이 알려진 파장

그림 3. η 의 변화에 따른 분광특성 계산 결과($240^\circ, \Delta nd = 0.7 \mu\text{m}$).

에서의 Δn 으로 나누어주면 셀캡을 계산할 수 있다. 그림 3은 고임각이 240° , 위상지연 값이 $0.7 \mu\text{m}$ 인 액정 셀이 측정시스템에서 η 값이 변할 때의 분광특성을 계산한 결과이다. 470 nm에서는 η 값의 변화와 무관하게 반사율이 0이되어 식 (2)의 조건(i)를 만족함을 알 수 있고, $\eta = 20^\circ$ 일때는 630 nm에서 반사율이 0이 되고 $\eta = 30^\circ$ 일때는 735 nm에서 반사율이 0이 되어 식 (2)의 조건(ii)를 만족함을 확인 할 수 있다.

III. 실험 결과

제안된 반사형 TN LCD의 셀캡측정법을 검증하기 위하여 초기 고임각을 240° 로 하고, 다음과 같은 두가지 조건의 액정 셀을 제작하였다. 제작에 사용된 배향제는 Nissan사의 SE-

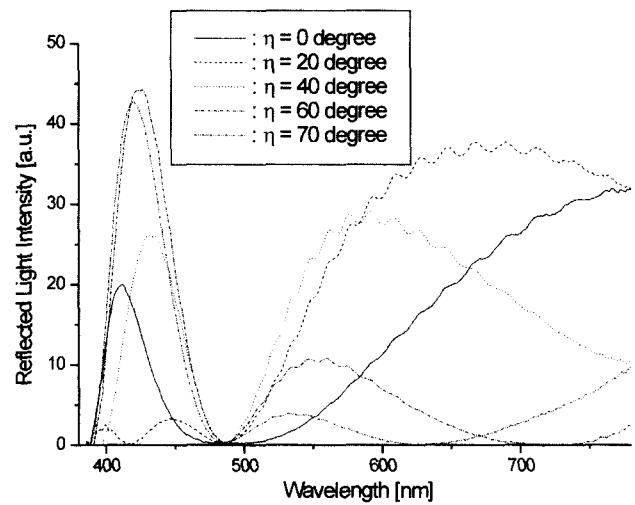
그림 4. η 의 변화에 따른 분광파형($240^\circ, 6.2 \mu\text{m}$).

표 1. 셀캡측정에 사용된 액정셀의 파라미터

No.	twsit angle	spacer
A	240°	$6.2 \mu\text{m}$
B	240°	$6.8 \mu\text{m}$

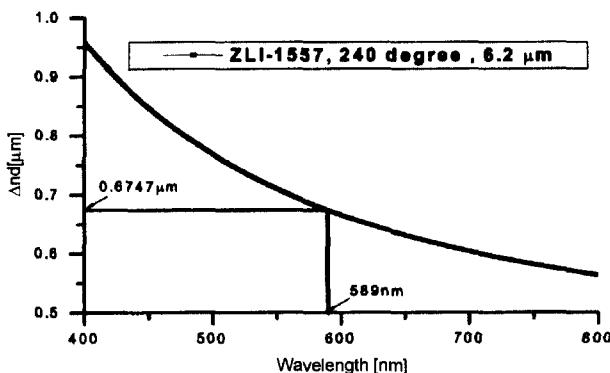


그림 5. 위상지연 분산특성. $\Delta nd(589 \text{ nm})/\Delta n(589 \text{ nm}) = 0.6747/0.1147 = 5.88 \mu\text{m}$.

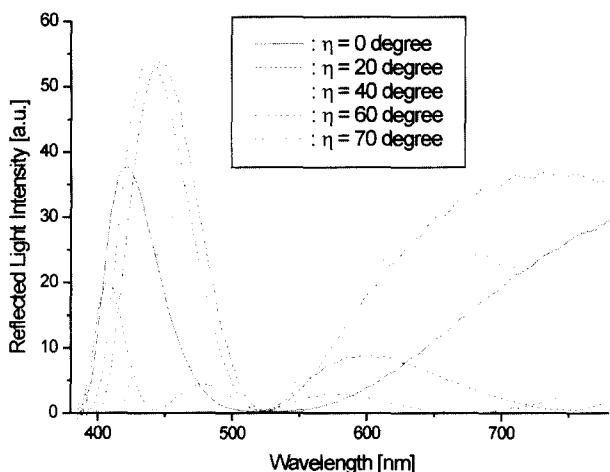


그림 6. η 의 변화에 따른 분광특성(240°, 6.8 μm).

3140(선경사각 3°)이며, 주입된 액정은 E. Merck사의 ZLI-1557로 굴절률 이방성(Δn)은 589 nm에서 0.1147°이다.

제작된 액정셀을 측정시스템에서 η 를 10°씩 변화시켜가면서 분광파형을 측정하였다. 그림 4는 액정셀 A의 분광파형을 측정한 결과로 반사율이 0이 되는 파장 중 415 nm, 623 nm, 717 nm가 식 (2)의 조건(ii)를 만족시키므로 이 파장을 이용하여 셀갭을 확인하였다.

각각의 파장에서의 위상지연값을 조건식을 이용하여 계산한 결과는 0.9209 μm, 0.6489 μm, 0.5957 μm이다. Cauchy's 방정식을 완성하면 그림 5와 같은 위상지연 분산특성을 얻을 수 있다. 액정셀 A의 셀갭(d)은 그림 5의 위상지연 분산곡선에서 위상지연값을 액정의 굴절률 이방성으로 나눈값 5.88 μm이다.

같은 방법으로 액정셀 B의 분광특성을 측정한 결과는 그림 6과 같이 444 nm, 522 nm, 678 nm에서 반사율이 0이 되었으며, 각각의 위상지연값은 0.9400 μm, 0.8145 μm, 0.6808 μm이다. 액정셀 B의 셀갭(d)은 그림 7의 위상지연 분산곡선에서 위상지연값을 액정의 굴절률 이방성으로 나눈값 6.487 μm이다.

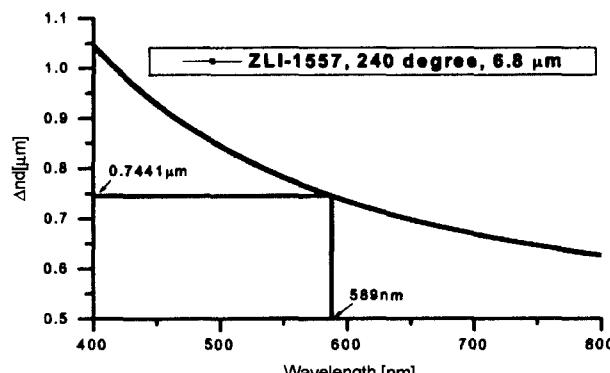


그림 7. 위상지연 분산특성. $\Delta nd(589 \text{ nm})/\Delta n(589 \text{ nm}) = 0.7441/0.1147 = 6.487 \mu\text{m}$.

IV. 결 론

본 논문에서는 분광기를 이용하여 반사형 TN LCD의 셀갭을 측정할 수 있는 새로운 측정법을 제안하였다. 이 측정법은 θ 가 90°일 때, η 값을 변화시키면서 최소 반사점(반사율 0)을 여러 파장에서 측정할 수 있어 셀갭을 정확하게 측정 할 수 있고 셀갭 이외에 액정셀의 위상지연 분산특성도 계산할 수 있으나 꼬임각을 측정할 수 없는 단점이 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초 연구(R02-2000-00266) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] K. H. Yang, "Measurements of empty cell gap for liquid-crystal displays using interferometric methods," *J. Appl. Phys.*, vol. 64, no. 9, pp. 4780-4781, 1988.
- [2] 이기동, 윤태훈, 김재창, 이용상, "분광기를 이용한 TN LCD의 새로운 셀갭 및 트위스트각의 측정," 제5회 공전자공학 학술회의, 한국광학회, 청주, 1998, p. 339.
- [3] A. Lien and H. Takano, "Cell gap measurement of filled twisted nematic liquid crystal displays by a phase compensation method," *J. Appl. Phys.*, vol. 69, no. 3, pp. 1304-1309, 1991.
- [4] 김창선, 이기동, 윤태훈, 김재창, "회전편광자법을 이용한 낮은 셀갭 측정," 한국광학회지, vol. 11, no. 3, pp. 158-161, 2000.
- [5] H. L. Ong, "Optical properties of general twisted nematic liquid-crystal displays" *Applied Physics Letter*, vol. 51, no. 18, pp. 1398-1400, 1987.

Cell gap measurement method for single-polarizer reflective liquid crystal cells

Gi-Dong Lee[†], Kyoung-Ho Park, Seo-Hern Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim

Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

[†]E-mail: gdlee@hyowon.pusan.ac.kr

(Received May 14, 2001 ; revised manuscript received October 16, 2001)

A novel method to measure the cell gap of a single-polarizer reflective twisted nematic liquid crystal (TN LC) cell by using a rotating polarizer technique is proposed. By rotating an LC cell, we can measure the cell gap of an LC cell as well as the wavelength dependence of retardation under the condition that the twist angle is known.

Classification code : OS.010.