

액정셀의 광학적 동특성 분석을 위한 실시간 측광식 편광계측기 : 제작과 성능시험*

양병관 · 노봉규* · 박 찬 · 김진승
전북대학교 물리학과 및 기초과학연구소
*현대전자(주)

김 재 기
국방과학연구소

(1997년 10월 28일 받음)

액정표시소자(LCD : Liquid Crystal Display Device)의 핵심부분인 액정셀의 광학적 동특성을 짚 수 있는 진폭분할방식의 측광식 편광계측기를 만들었다. 이 장치는 편광상태를 결정할 빛살을 비편광빛살분할기를 써서 밝기가 거의 같은 세 줄기의 빛살로 나누고, 나누어진 각각의 빛살을 편광빛살분할기 또는 사반파장판과 편광빛살분할기를 써서 직교하는 두 편광성분으로 나눈 다음, 각 성분의 밝기를 6개의 광다이오드를 써서 잴다. 이렇게 얻은 6개의 광신호의 비를 바탕으로 들어오는 빛살의 편광상태를 결정한다. 이 장치의 시간분해능은 80 μ s, 정확도는 뽀앙카레 공(Poincaré sphere)표현에서 나타낼 때 $\pm 0.3^\circ$ 이다. LCD에 쓰이는 전형적인 네마틱 액정의 반응시간은 수십 ms이므로 이 장치를 쓰면 액정셀의 광학적 동특성을 분석할 수 있다.

I. 서 론

액정표시소자(LCD : Liquid Crsytal Display)^[1]는 액정의 전기광학적 성질이 비등방성을 띠고 있는 것을 이용한 화면표시소자이다. 이것은 지금까지 표시소자로서 가장 널리 쓰여 온 음극선관에 비해 얇고, 가벼우며, 전력소모가 적어서 노트북 컴퓨터 등 휴대형 정보기기의 표시소자로서 쓰이고 있다. 현재의 액정표시소자는 음극선관에 비해 아직 값이 비싸고, 화면이 어두운 편이며 보는 방향에 따라서 명암대비와 색조가 달라지고 화면의 밝기가 시간적으로 조금씩 떨리는 단점이 있는데, 앞으로 가격하락과 성능개선이 충분히 이루어진다면, 음극선관을 대체하여 정보표시소자의 주역을 맡게 될 것이다. 따라서 액정표시소자의 화면특성을 개선하기 위한 기초연구가 매우 중요하다.

액정표시소자의 화면을 보는 방향에 따라 명암대비와 색조가 달라지는 시야각특성의 근원은 빛살이 액정셀을 지나올 때의 편광상태의 변화가 그 진행방향에 따라서 달라지는 것이다. 따라서 이에 관한 연구에서는 빛살의 진행방향을 바꾸어 가면서 액정셀을 지나올 때의 편광상태의 변화를 조사해야 한다. 또한 현재 노트북 컴퓨터에서 쓰는 액정표시소자는 주로 SVGA급이지만 앞으로는 XGA 또는 그 이상의 해상력과 함께 더 높은 frame rate가 요구될 것이다. 이를 실현하려면 화소의 응답속도가 더 빨라져야 하며, 이를 분석하려면 화소

의 편광투과특성의 시간변화를 짚 수 있어야 한다. 그러므로 앞으로 액정표시소자의 성능개선을 위한 연구에서는 빛살의 편광상태를 빠르고 정확하게 재는 장치가 필요하다.

빛살의 편광상태를 재는데는 소광법^[2]이나 측광법^[3-7]을 쓴다. 소광법은 일반적으로 타원편광인 빛살을 사반파장판을 지나게 하여 선편광으로 바꾸고, 이것을 편광프리즘을 써서 소광시킴으로써 확인한다. 이때 소광조건에서의 편광프리즘의 투과축의 방향으로부터 선편광의 편광방향이 결정되고, 선편광의 편광방향과 사반파장($\lambda/4$)판의 광축방향으로부터 타원편광의 주축의 방향과 타원도 그리고 회전방향이 결정된다. 이 방법은 매우 정확하지만 시간이 오래 걸리므로, 액정셀의 광학특성을 재는데는 적당하지 않다. 측광법은 비등방성 광학소자를 써서 빛살을 편광상태가 다른 여러가닥의 빛살로 나눈 뒤 광검지기를 써서 각 빛살의 밝기를 재고, 이로부터 들어온 빛살의 편광상태를 잴다. 이 방법은 정확도가 소광법 보다 못하지만 광검지기의 응답속도만큼 빨리 편광상태를 짚 수 있으므로 액정셀의 동적 광학특성을 분석하는데 적당하다.

이 논문에서는 액정셀의 광학적 동특성^[8,9]을 재기 위해 만든 진폭분할식 측광식 편광계측기의 기본구조와 보정방법 그리고 성능시험 결과를 설명한다. 제 2장에서는 본 연구에서 제작한 편광계측기의 기본구조를 설명하고, 제 3장에서는 일련의 선편광과 타원편광을 써서 편광계측기를 보정하는 방법을 설명한다. 제 4장에서는 이 장치의 성능시험으로서 30o 위상판과 평행배향된 네마틱 액정(Nematic liquid crystal)^[11]을 수직하게 지나온 빛의 편광상태의 시간적 변화를 재 결과를 설명한다.

*이 연구는 1995년도 한국과학재단 핵심전문연구비(951-0205-019-2)와 1996년도 교육부 기초과학육성연구비(BSRI-96-2432)의 지원에 의한 것임.

II. 측광식 편광계측기의 제작

측광식 편광계측기는 편광상태를 재야할 빛살을 적어도 4가닥 이상의 편광상태가 다른 빛살로 나누고, 나누어진 각 빛살의 밝기를 재어, 그 결과로부터 들어온 빛살의 편광상태를 결정한다. 빛살을 나누는 방식에는 파면분할방식과 진폭분할방식이 있는데, 빛에너지의 이용효율과 장치구성의 단순함에서 진폭분할방식이 더 낫다. 빛살의 진폭분할에는 빛살분할 프리즘^[1]이나 회절격자^[6] 또는 홀로그래피 광학소자^[4] 등을 쓴다.

회절격자를 써서 빛살을 나누는 경우 장치구성이 단순하고 비용이 적게 든다. 그러나 빛살들의 분할비를 마음대로 조절할 수 없고, 분할비가 들어오는 빛살의 진행방향에 대해 상당히 민감하게 달라져 측정결과의 정확도가 영향을 받는다. 또한 회절격자의 구조적 특성 때문에 측정감도가 편광상태에 따라서 달라진다. 그러므로 이 연구에서는 장치구성은 더 복잡하고 비용도 더 들지만, 비편광 빛살분할기와 편광프리즘을 써서 들어오는 빛살을 나눔으로써 들어오는 측정결과의 정확도가 빛살의 진행방향에 대해 영향을 덜 받고, 감도가 일정하게 유지되도록 하였다.

그림 1은 이 연구에서 만든 편광계측기의 개략적인 구조도이다. 편광계측기에 들어오는 빛살은 먼저 두 개의 비편광 빛살분할기(NPBS : non-polarizing beam splitter)를 지나면서 밝기가 거의 같은 세 줄기의 빛살로 나누어진다. 들어온 빛살이 첫 번째 NPBS를 지나면서 두가닥으로 나누어져 서로 수직방향으로 진행하는데, 그 밝기의 비는 약 7:3이고 편광상태는 거의 달라지지 않는다. 나누어진 두 빛살 가운데, 더 밝은 빛살은 두 번째 NPBS를 지나면서 다시 또 두 가닥으로 나누어져 서로 수직방향으로 진행하는데, 이번에는 나누어진 두 빛살의 밝기의 비는 약 1:1로 같고 편광상태도 거의 달라지지 않는다. 따라서 장치에 들어온 빛살은 두 NPBS를 지나면서 밝기가 비슷하고 편광상태가 들어올 때와 거의 같은 세가닥의 빛살로 나누어진다. 이렇게 나누어진 세 가닥의 빛살 가운데 하나는 편광빛살분할기(PBS : polarizing beam splitter)를 지나게 하여 수평방향과 수직방향의 선편광성분을 가진 빛살을 갈라낸다. 다른 하나의 빛살은 PBS를 빛살의 진행방향을 축으로 45° 돌려 수평방향에 대해 45°와 135° 돌아간 방향의 선편광성분을 가진 빛살로 갈라낸다. 나머지 하나의 빛살은

느린축이 수평방향에 대해 45° 돌아간 사반과장판을 지나게 하여 오른손 원편광과 왼손 원편광을 각각 수직 및 수평방향의 선편광으로 만든 후 편광빛살분할기를 써서 서로 직교하는 두 선편광성분을 갈라낸다. 실험에서 쓴 PBS는 방해색의 광학적 비등방성을 이용하여 서로 직교하는 두 선편광성분을 갈라놓는 것으로서, PBS를 지나가는 빛살에 대해서는 편광선택도가 높지만 반사되는 빛살에 대해서는 선택도가 상대적으로 낮다. 따라서 PBS에서 반사되는 빛살은 다시 편광판을 지나게 하여 편광선택도를 높였다. 이렇게 하여 편광상태가 다른 여섯 가닥의 빛살이 얻어진다. 이렇게 나누어진 여섯가닥의 빛살의 밝기의 비는 들어오는 빛살의 편광상태에 따라 달라지므로, 이 빛살들의 밝기를 재면 애초에 들어온 빛의 편광상태를 결정할 수 있다.

편광계측기에 들어오는 빛살의 밝기는 시간에 따라 달라질 수 있으며, 이에 따라 나누어진 각 빛살의 밝기를 나타내는 광신호도 달라진다. 그러나 빛살의 편광상태가 일정하다면 매 순간 각 빛살의 광신호의 비는 일정하게 유지된다. 따라서 광신호에서 빛살의 밝기변화에 의한 효과를 없애려면 들어오는 빛살을 먼저 두 가닥으로 갈라내어 한 가닥은 기준광으로서 밝기를 재어 이것을 기준광신호로 삼고, 다른 한 가닥은 앞에서 설명한 것처럼 여섯가닥으로 나누어 각각의 밝기에 비례하는 광신호를 낸다. 여섯 개의 광신호값을 기준광신호의 값으로 나누어준 값은 들어오는 빛살의 밝기와는 무관하고, 편광상태에 따라서만 변화하게 된다.

실제의 장치에서 밝기의 변화를 재는 기준광은 두께 수 μm 의 아주 얇은 셀룰로스로 된 박막 빛살분할기(pellicle beam-splitter)를 써서 갈라냈다. 이 박막 빛살분할기의 반사도와 투과광의 편광상태가 들어오는 빛의 편광상태에 따라 달라지지 않게 하려면 빛이 빛살분할기에 거의 수직하게 들어가게 해야 하므로 입사각이 약 4.3°가 되도록 장치를 구성했다. 이렇게 얻은 기준광의 밝기를 낸 값을 D_0 로 나타내면 매순간 D_1 - D_6 의 광다이오드에서 나오는 신호값을 D_0 에서 나오는 신호값으로 나누어준 값(d_1 - d_6)은 오로지 편광상태의 변화에 의해서만 변한다.

그래서 장치에 들어오는 빛의 스토크스 변수(Stokes parameter)^{[10],[11]}를 S_0, S_1, S_2, S_3 로 나타내면, 이상적인 경우 아래와 같은 관계가 있다^{[4],[6]}:

$$\begin{aligned} S_0 &= C_0(d_1 + d_2) \equiv C_0 i_1 \\ S_1 &= C_1(d_1 - d_2) \equiv C_1 i_2 \\ S_2 &= C_2(d_3 - d_4) \equiv C_2 i_3 \\ S_3 &= C_3(d_6 - d_5) \equiv C_3 i_4 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 C_0, C_1, C_2 와 C_3 는 편광측정장치의 구성요소들과 광검출기의 이득에 의해서 결정되는 상수이다. 빛의 진행방향을 z축으로 하고, 그림 1의 개략도면에서 수직으로 나오는 방향을 x축으로 하는 직교좌표계를 썼다. 이것을 아래와 같이 행렬식으로 나타낼 수 있다.

$$I = F \cdot S \quad (2)$$

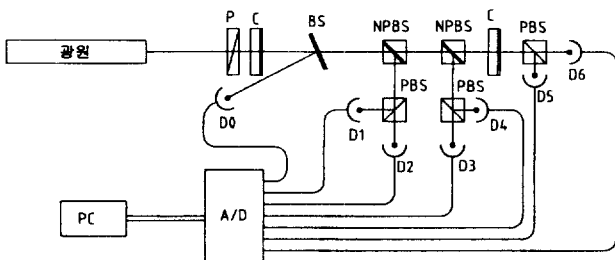


그림 1. 편광계측기의 개략도(NPBS : 비편광 빛살 분할기, PBS : 편광 빛살분할기, D1-D7: 광검출기, P : 편광판, C : $\lambda/4$ 판, A/D : A/D 변환기 모듈, PC : 소형 컴퓨터, BS : 박막 빛살분할기)

I 는 $I[i_1, i_2, i_3, i_4]$ 이고 S 는 스토크스 벡터이다. F 는 측광식 편광계측기의 장치행렬(instrument matrix)^[12,13]이라 부르는데, 들어오는 빛의 스토크스 변수와 광검출기의 신호사이의 관계를 나타내는 4×4 실수행렬이다. 일반적으로 F 의 비대각성분은 0이 아닌데 NPBS와 PBS의 성능에 따라 그 값이 정해진다. 장치행렬 F 의 요소를 결정하려면 편광상태를 정확하게 알고 있는 여러 방향의 선편광과 원편광에 빛살에 대한 광검출기의 신호를 기록하고, 그 결과와 가장 잘 맞도록 장치행렬 F 의 요소들의 값을 결정한다. 이렇게 결정된 F 의 판별식의 값이 0이 아니면 역행렬 F^{-1} 을 구할 수 있고, 이를 쓰면 광신호로부터 측광식 편광계측기에 들어온 빛살의 스토크스 변수를 결정할 수 있다.

이 장치에는 광다이오드가 모두 7개 쓰이므로 각각의 신호 처리에 시간 지연이 생기지 않게 각각의 광다이오드에 A/D 변환 모듈을 독립적으로 달아 주었다. 각각의 모듈은 PC에서 보내온 신호에 따라 동시에 광전류를 디지털 신호로 바꾸며, 변환된 신호는 RAM에 저장된 후, 뒤에 PC가 읽어들인다. A/D 변환기(A/D converter)로는 10비트의 AD573을 썼는데 A/D 변환시간은 최대 30 μ s이다. A/D 변환 모듈에 1 kHz의 사각파를 넣어 성능을 시험한 결과 80 μ s의 분해능을 가졌다. 광검출기는 UDT사의 UDT-555D 광다이오드를 써서 제작했다. 20 kHz의 사각파를 LED에 걸어서 나오는 빛을 광검출기에 보내 광검출기가 신호를 제대로 재생하는 것을 확인했다. 이것은 충분히 빠라서 장치의 시간분해능은 A/D 모듈의 분해능에 의해서만 결정된다. 그래서 이 장치의 시간분해능은 80 μ s이다.

III. 장치행렬의 결정

장치행렬 F ^[13]의 요소들의 값은 편광상태가 정확히 정의된 빛살을 편광계측기에 넣고 광전류신호를 재어 결정한다. 이 과정에서 일련의 선편광과 타원편광이 쓰인다. 모든 편광은 뽀앙카레 공(Poincaré sphere)^[10]표면 위의 점으로 나타낼 수 있는데 F 를 구할 때 쓰이는 편광은 적도선 위의 편광과 자오선 위의 편광이다.

적도선 위의 편광은 선편광으로서 편광방향의 방위각은 경도각의 절반이다. 실험에서는 복굴절 현상과 내부전반사현상을 이용한 투명 복굴절 결정으로 만든 글랜-톰슨 편광프리즘(Glan-Tompson polarizing prism)을 써서 적도선 위의 편광을 만들었다. x축에 대한 편광프리즘의 투과축의 방위각이 θ 이면 편광프리즘을 지나온 빛살은 경도각이 (2θ) 인 선편광으로 스토크스 벡터는 아래와 같다.^[13]

$$S = [1 \cos(2\theta) \sin(2\theta) 0]^T \quad (3)$$

편광프리즘을 돌려 투과축의 방위각 θ 를 변화시키면 편광프리즘을 지나온 빛살의 편광상태를 나타내는 점은 적도선을 따라 움직인다. 첫 번째 요소의 값이 1인 까닭은 규격화시켰기 때문이다. 이 선편광에 대한 광검출기 신호와 장치행렬의 성분과의 관계는 식 (2)에서 아래와 같다.

$$i_j = F_{j1} + F_{j2} \cos(2\theta) + F_{j3} \sin(2\theta)$$

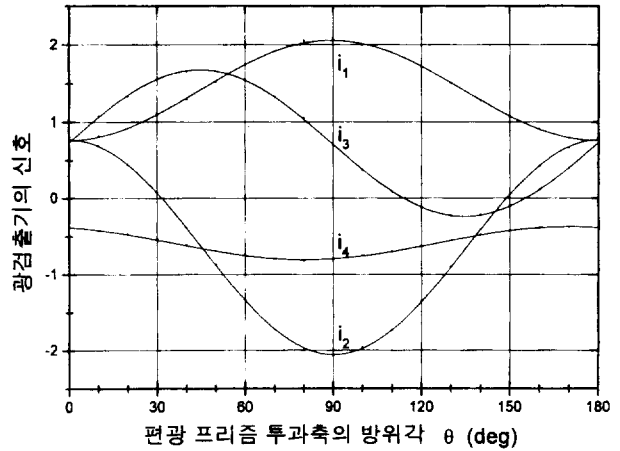


그림 2. 선편광에 대한 광검출기의 응답

$$j = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

편광프리즘을 돌려 투과축의 방위각 θ 를 바꿔가면서 잰 광신호를 종합하면 장치행렬의 처음 세 개의 세로줄 벡터를 구할 수 있다. 그림 2는 편광프리즘을 10°씩 돌리면서 잰 광신호의 변화인데 식 (4)의 조화함수꼴을 정확하게 따라가고 있다.

편광계측장치 보정에는 파장 543.5 nm의 헬륨-네온(He-Ne) 레이저 빛살을 썼다. 편광프리즘의 정렬이 완벽하지 않으면 편광프리즘을 180° 돌릴 때 투과된 빛살의 편광상태가 달라질 수 있다. 이 효과를 없애기 위해 투과축의 방위각이 θ 일 때의 광신호 $I(\theta)$ 와 $\theta+180^\circ$ 일 때의 광신호 $I(\theta+180^\circ)$ 의 평균값을 썼다.^[13] 그림에 표시된 점이 측정결과이다. 이상적인 경우라면 i_2, i_3, i_4 의 직류성분이 모두 0이어야 하고, 특히 i_3 는 교류 성분도 0이 된다. 그러나 비편광프리즘이 완벽하지 않기 때문에 실제로는 들어온 빛살이 비편광프리즘을 지나면서 편광상태가 조금 바뀌고 광검출기 앞의 편광판을 지나면서 빛이 일부 흡수되므로 짝이되는 광검출기(d_1 와 d_3 ; d_3 와 d_4 ; d_5 와 d_6)의 신호를 뺀 때 직류성분이 생긴다. d_1 이 일정하지 않은 이유도 편광판의 흡수에 의한 손실 때문이다. 실선은 식 (4)로 측정값을 맞춘 것이다. 이로부터 얻은 세 개의 세로줄 벡터는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} F_1 &= [1.409 \ -0.645 \ 0.719 \ -0.588]^T \\ F_2 &= [-0.648 \ 1.412 \ 0.014 \ 0.206]^T \\ F_3 &= [0.012 \ 0.01 \ 0.957 \ -0.071]^T \end{aligned} \quad (5)$$

장치행렬의 마지막 세로줄 벡터를 구하는데는 뽀앙카레 공에서 자오선 위의 점들에 해당하는 타원편광을 넣어주면서 광신호를 잰다. 자오선 위의 점에 대응되는 편광은 $\lambda/4$ 판의 느린 광축을 x축과 일치시키고, 여기에 선편광을 지나게 하여 얻는다. 하지만 정확한 $\lambda/4$ 판은 있을 수 없으므로 위상지연값이 φ 인 위상판으로 가정한다. 위상지연값이 φ 인 위상판의 느린 광축을 x축과 나란하게 둔 뒤 편광방향이 θ 인 선편광을 입사시켜 얻은 빛을 편광계측기에 보내서 광검출기의 신호를 분석한다. 이 편광의 스토크스 변수는 아래와 같다.^[10,13]

$$S = [1 \cos(2\theta) \sin(2\theta) \cos(\varphi) \sin(2\theta) \sin(\varphi)]^T \quad (6)$$

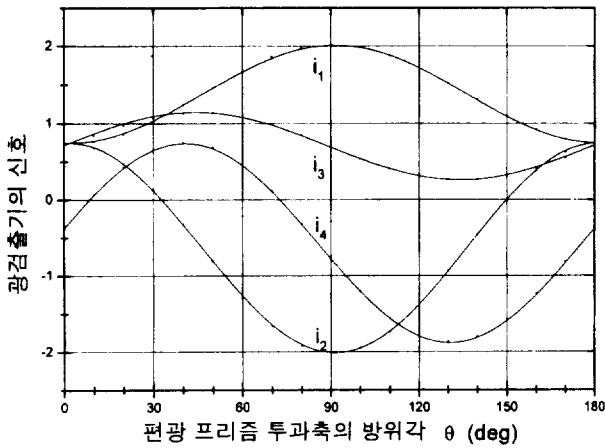


그림 3. 타원편광에 대한 광검출기의 응답

이 90°이면 뽕앙카레 공에서 자오선위의 편광이다. 광검출기의 신호는 식 (7)과 같다.

$$i_j = F_{j1} + F_{j2} \cos(2\theta) + F_{j3} \sin(2\theta) \cos(\varphi) + F_{j4} \sin(2\theta) \sin(\varphi) \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

θ를 변화시키면서 얻은 광신호를 분석하면, 장치행렬의 마지막 세로줄 벡터를 구할 수 있다. 그림 3은 편광프리즘의 투과축을 10°씩 돌려가며 잰 광신호의 변화이다. 측정값을 점으로 표시했는데, 이 값도 편광프리즘의 투과축의 방위각이 θ일 때와 θ+180°일 때의 광신호값을 평균한 것이다. 위상판으로 바비네-솔레이 보상판(Babinet-Soleil compensator:BSC)을 썼다. 측정값을 식 (7)에 맞추면 F_{j1,2,3}(j=1,2,3)는 앞에서 구한 값과 정확하게 일치해야 하지만 실제의 결과는 약 3% 정도 다르게 나왔다. 그러나 그들 사이의 비는 일정해야 하므로 그 비에 해당하는 규격화 인자를 고려해야 한다. 그래서 측정값에 맞추어 쓴 함수는 식 (8)과 같다.

$$i_j = A [F_{j1} + F_{j2} \cos(2\theta) + F_{j3} \sin(2\theta) \cos(\varphi) + F_{j4} \sin(2\theta) \sin(\varphi)] \quad (8)$$

A는 규격화 인자이다. 그림 3의 실선은 식 (8)로 맞춘 것이다. F_{j1,2,3}는 편광판만을 써서 잰 값으로 식 (5)와 같고, 이 과정에서 고정시켰다. A는 네 개의 곡선을 맞출 때 일정하게 했다. BSC의 위상차 φ를 90°로 맞췄지만 오차가 있을 수 있으므로 실험결과와 가장 잘 맞는 값을 찾았다. 그래서 이 과정에서는 네 개의 곡선에 대해서 A와 φ는 같고, 각각의 곡선에서는 F₄를 구한다. 그 결과 마지막 세로줄 벡터는 아래와 같다.

$$F_4 = [-0.0314 \quad 0.0644 \quad 0.4417 \quad 1.2950]^T \quad (9)$$

A=0.977, φ=-90°이다. 식 (5)는 뽕앙카레 공의 적도선 위의 편광으로 구한 것이고, 식 (9)는 자오선 위의 편광으로 구한 것이다. 그림 2, 3에서 보는 것과 같이 서로 수직인 두 대원에 대해서 아주 잘 맞는다. 모든 편광은 뽕앙카레 공위의 한 점으로 표시할 수 있는데 결국 그 사이의 대원을 지나는 편광에 대해서도 이와같이 잘 맞는 것을 예측할 수 있다. 이

상을 종합하면 장치행렬은 아래와 같다.

$$F = \begin{pmatrix} 1.3768 & -0.6336 & 0.0117 & -0.0314 \\ -0.6304 & 1.3802 & 0.0099 & 0.0644 \\ 0.7023 & 0.0139 & 0.9354 & 0.4417 \\ -0.5743 & 0.2017 & -0.0692 & 1.2950 \end{pmatrix} \quad (10)$$

F의 처음 세 개의 세로줄 벡터는 식(5)에 규격화 인자인 0.977을 곱한 값이다. 장치행렬의 대각성분은 대부분의 비대각성분 보다 상당히 크다. 하지만 비대각성분이 정확히 없어지지 않았는데 이 까닭은 NPBS와 PBS가 완벽하지 않기 때문이다. 특히 세 번째 가로줄 벡터 값은 비대각성분이 비교적 크게 나왔는데 이것과 직접적인 관계가 있는 D3과 D4이 NPBS를 투과와 반사를 각각 한 번씩한 빛살을 검출하므로 그 효과가 크게 나온다. 이같은 특성을 없애려면 D3과 D4의 PBS앞에 편광상태의 변화를 보정하는 위상판을 두되, ±45° 방향의 선편광을 보내서 D3과 D4의 신호가 가장 작아지도록 정렬한다.

이 장치행렬 F의 역행렬 F⁻¹을 구하면 다음과 같다:

$$F^{-1} = \begin{pmatrix} 0.9328 & 0.4274 & -0.0157 & 0.0067 \\ 0.4180 & 0.9210 & -0.0172 & -0.0298 \\ -0.8495 & -0.3476 & 1.0656 & -0.3636 \\ 0.3032 & 0.0275 & 0.0521 & 0.7604 \end{pmatrix} \quad (11)$$

IV. 편광계측기의 성능시험

편광상태를 정확히 아는 타원편광의 빛살을 만들어 편광계측기에 넣어 측정결과와 비교하였다. 타원편광은 레이저 빛살을 편광프리즘을 지나게 하여 선편광을 만든 뒤, 이것을 다시 위상지연값이 30°로 조정된 바비네-솔레이 보상판(BSC)을 지나게 하여 만들었다.

그림 4는 편광 프리즘을 10°씩 변화시키면서 얻은 결과이다. 점은 측정값이고 실선은 그에 맞춘 결과이다. 식 (6)에서 알 수 있듯이 s₁은 BSC의 위상차(φ)와 무관하고 오직 편광 프리즘의 투과축에 따라 변하여 cos(2θ) 함수를 그린 실선과 잘

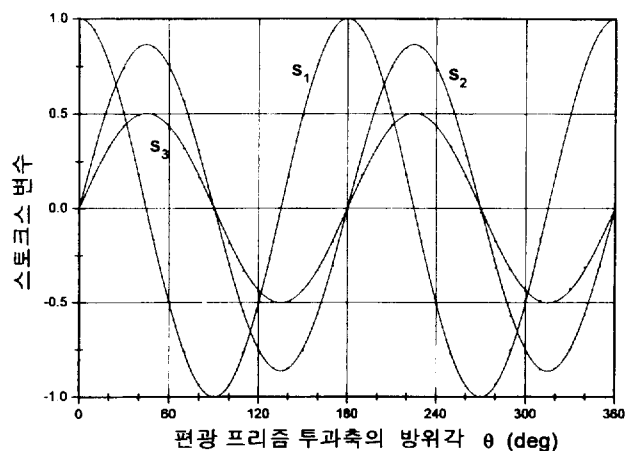


그림 4. 편광계측기의 성능시험

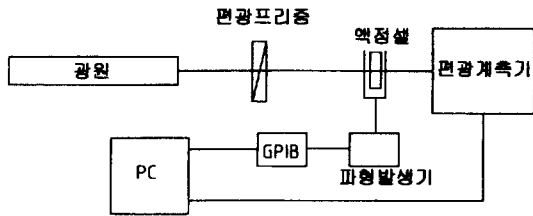


그림 5. 액정셀의 동적 전기광학 투과특성 측정장치의 개략도

맞는다. s_2, s_3 는 BSC의 위상지연값에 따라 변하는데 측정값과 가장 잘 맞는 값은 30.15° 로서, 두 실선은 각각 $\sin(2\theta)\cos(30.15^\circ)$ 와 $\sin(2\theta)\sin(30.15^\circ)$ 이다. 장치행렬을 구할 때는 편광판에 대해서 평균했는데 여기서는 평균하지 않았다. 위상판의 위상지연값을 30.15° 로 놓고 계산한 쾨앙카레 벡터와 측정값의 쾨앙카레 벡터가 이루는 각의 표준편차는 0.3° 이므로 이 장치의 정확도는 $\pm 0.3^\circ$ 이며, 최대 오차는 1.3° 이다.

그림 5는 평행배향된 네마틱 액정셀의 동적 전기광학 투과특성^[8,9]을 재는데 쓰인 장치의 개략도이다. 액정셀에는 1 kHz 사각파의 전압신호를 걸어주었다.

그림 6은 액정셀에 걸리는 전압을 0.2Vpp씩 높이면서 투과광의 스토크스 변수를 재 결과이다. 액정셀에는 액정 ZLI-5100-100을 두께는 $5 \mu\text{m}$ 로 채웠고, 선경사각은 0° 이다. 액정의 느린 광축을 x축과 나란하게 했고 액정셀에 들어오는 선편광의 편광방향은 45° 이다. 파형은 1 kHz의 사각파이다. 이 결과는 액정셀에 걸린 전압이 2Vpp를 지날 때 편광상태가 급격히 변하며 전압이 더 높아지면서 편광상태의 변화가 포화되는 것을 보여준다.

그림 7은 8Vpp의 구동신호가 액정셀에 25 ms동안 걸리도록 하면서 20 Hz로 액정셀에 걸었을 때 셀을 지나온 빛의 편광상태의 변화를 보여준다. 나머지 25 ms동안은 셀에 전압이 걸리지 않는다. 구동신호는 1 kHz의 사각파이다. 전압이 걸린 바로 뒤의 편광상태 변화는 그림 6과 비슷하다. 전압이 걸리면 액정분자에 유도된 쌍극자가 전기장으로부터 회전력을 받아 분자의 배향이 급격히 달라지지만, 전압이 제거되면 액정고유의 탄성복원력과 점성저항력만을 받으므로 서서히 원래

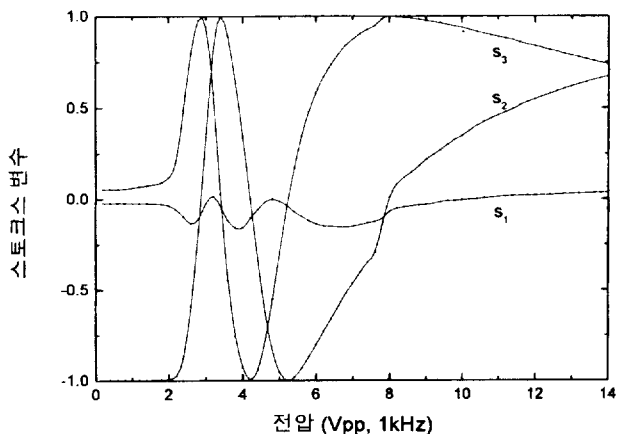


그림 6. 액정셀에 걸어주는 전압에 따른 액정셀을 지나온 빛의 편광상태 변화

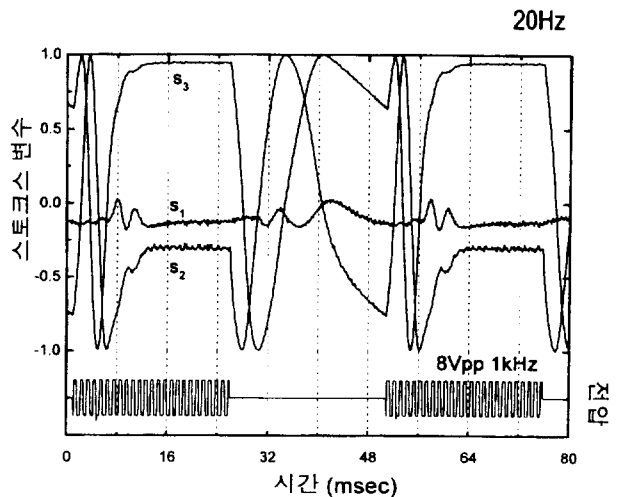


그림 7. 액정셀을 지나온 빛의 편광상태의 동적변화

의 배향상태로 되돌아가는 것을 알 수 있다. 그림에서와 같이 제작된 계측기는 $80 \mu\text{s}$ 의 시간분해능으로 네마틱 액정의 동특성을 실시간으로 측정한다. 전형적인 네마틱 액정의 반응시간은 수십 ms이므로 이 광계측기를 쓰면 그 동특성을 실시간으로 측정할 수 있다.

V. 결 론

액정셀의 광학적 동특성을 분석할 수 있는 진폭분할방식의 측광식 편광계측기를 만들었다. 이 장치는 비편광빛살분할기를 써서 편광상태를 그대로 유지하면서 밝기가 거의 같은 세 가닥의 빛살로 나눈 다음, 각 빛살을 편광빛살분할기 그리고 위상판을 써서 서로 직교하는 선편광성분을 갈라내어 각 성분의 밝기를 광다이오드를 써서 재고, 그 결과를 처리하여 들어오는 빛살의 편광상태를 결정한다. 이 장치에는 움직이는 부분이 없으므로 측정과정의 시간분해능은 오로지 광신호를 재는 속도에 의해서만 제한된다. 성능시험결과 이 장치의 정확도는 쾨앙카레 공 표현에서 $\pm 0.3^\circ$ 이었으며, 이 장치를 써서 평행배향된 네마틱 액정의 동특성을 $80 \mu\text{s}$ 의 시간분해능으로 측정했다.

부 록

d_1 과 d_2 는 각각 광계측기에 들어오는 빛의 x,y선편광 성분의 밝기에 비례하는 신호이다. 그래서 스토크스 벡터의 S_0 와 S_1 는 아래와 같은 관계를 갖는다.

$$S_0 = C_0(d_1 + d_2)$$

$$S_1 = C_1(d_1 - d_2)$$

광검출기 $D_{3,4}$ 앞의 PBS는 45° 회전되어 있으므로 d_3 와 d_4 는 45° 선편광 성분($S_0 + S_2$)과 -45° 선편광 성분($S_0 - S_2$)에 비례하는 신호를 얻는다. 그래서 두 신호를 빼면 아래와 같이 스토

크스 벡터의 S_2 에 비례하는 신호를 얻을 수 있다.

$$S_2 = C_2(d_3 - d_4)$$

D5와 D6는 왼손 원편광(S_0-S_3)과 오른손 원편광 성분(S_0+S_3)이 $\lambda/4$ 판을 지나 선편광이 된 빛의 밝기를 측정하므로 이것을 규격화한 d_5 와 d_6 는 아래와 같은 관계를 갖는다.

$$S_3 = C_3(d_6 - d_5)$$

참고문헌

[1] B. Bahadur, Liquid Crystal Applications and Uses, Vol. 1 (World Scientific, Singapore, 1990).
 [2] R. W. Collins, Rev. Sci. Instrum. **61**, 2029 (1990).

[3] R. M. A. Azzam, Opt. Acta **29**, 685 (1982).
 [4] T. Todorov and L. Nikolova, Opt. Lett. **17**, 358 (1992).
 [5] R. M. A. Azzam, Opt. Lett. **10**, 309 (1985).
 [6] R. M. A. Azzam and K. A. Giardina, J. Opt. Soc. Am. **A10**, 1190 (1992).
 [7] A. M. El-Saba, R. M. A. Azzam, and M. A. G. Abushagur, Opt. Lett. **21**, 1709 (1996).
 [8] Hp. Schad, J. Appl. Phys. **54**, 4994 (1983).
 [9] S.-T. Wu, Appl. Opt. **28**, 48 (1989).
 [10] 노봉규, 김진승, 한국광학회지 **5**, 25 (1994).
 [11] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, fifth ed. (Pergamon Press, London, 1975).
 [12] K. Brudzewski, J. Mod. Opt. **38**, 889 (1991).
 [13] R. M. A. Azzam and A. G. Lopez, J. Opt. Soc. Am. **A6**, 1513 (1989).

A real time photopolarimeter for the analysis of dynamic characteristics of liquid crystal cells : construction and performance testing

Byeong-Kwan Yang, Bong Gyu Rho*, Chan Park and Jin Seung Kim
 Department of Physics and Basic Science Research Institute,
 Chonbuk National University 561-756, Chonju
 *Hyundai Electronics, Co. Ltd., Ichon, 467-860, Korea

Jae Ki Kim
 Agency of Defence Development
 P. O. Box 35, Taejeon 305-600, Korea

(Received : October, 28, 1997)

A division-of-amplitude type photopolarimeter has been constructed for the analysis of the dynamic optical characteristics of liquid crystal panels, one of the essential components of liquid crystal displays. In this instrument an incoming light ray, whose state of polarization is to be determined, is divided into three rays of nearly same intensities and of identical polarization state by using NPBS(non-polarizing beam splitters). Each of the three rays is further divided into two components of orthogonal polarization states by using a PBS(polarizing cube beamsplitter) or by using a combination of a quarter wave plate followed by a PBS. The intensity of each ray is measured by using a photodiode to produce a set of six photo-signals, which in turn are converted into four Stokes parameters describing the state of polarization of the incoming ray. Performance test of the instrument shows that its time resolution is 80 μ s, accuracy ± 0.3 degrees when the state of polarization of the incoming ray is represented on the Poincare sphere.