

## 다목적 투과형 편광기 시험 및 평가

백태현<sup>#</sup>, 김명수<sup>\*</sup>, 이춘태<sup>\*\*</sup>, 김환<sup>\*\*</sup>, 박태근<sup>\*\*</sup>

### Test and Evaluation of a Newly Built Multi-purpose Transmission Type Polariscope

Tae Hyun Baek<sup>#</sup>, Myung Soo Kim<sup>\*</sup>, Choon Tae Lee<sup>\*\*</sup>, Whan Kim<sup>\*\*</sup> and Tae Guen Park<sup>\*\*</sup>

#### ABSTRACT

A multi-purpose polariscope is developed by applying an electro-mechanical control system to a diffused transmission-type circular polariscope. A conventional polariscope is only good for manual control of optical elements. The new polariscope system is devised to be controlled through two stepping motors and two magnetic clutches. The developed system has both functions of a conventional linear- and circular-polariscope. The new polariscope can be used not only for the point-wise measurement using Tardy compensation technique but also for the full-field fringe analysis using conventional and/or phase measuring techniques, if applicable.

**Key Words** : Photoelasticity(광탄성), Polariscope(편광기), Isochromatics(등색선), Isoclinics(등경선), Phase Measuring Technique(위상측정법), Full-field Stress Analysis(전응력장해석)

#### 1. 서론

광탄성 효과를 갖는 시편을 투과형 편광기(transmission type polariscope) 사이에 위치시키고 하중을 가하면 응력에 의하여 광탄성 프린지가 나타나며, 편광기를 이용하여 이러한 프린지를 측정한다. 광탄성 프린지는 주응력 방향을 나타내는 등경프린지(isoclinics)와 최대 및 최소 주응력의 차이에 의해 나타나는 등색프린지(isochromatics)가 있다. 시편에 나타난 등경 및 등색 프린지를 측정하여 응력을 실험적으로 구할 수 있다.<sup>1</sup>

본 연구에서는 시제품으로 개발된 다목적 원

편광기(circular polariscope)<sup>2</sup> 성능을 검증하기 위하여 교정시험을 수행하였다. 교정시험은 시편에 인장하중을 가한 후, 시편에 나타나는 프린지 차수를 타디(Tardy)보정법<sup>1</sup>으로 측정하고, 측정된 프린지 차수를 이용하여 사용된 시편의 광탄성 프린지 상수를 결정하였다. 실험에 의해 결정된 프린지 상수를 제조회사에서 명시한 값과 비교하였다. 또한 위상 이동법을 이용하여 응력 동결된 원형디스크의 중심과 중심으로부터  $R/2$  지점(단,  $R$ 은 디스크의 반지름)에서 하중방향과 직교 되는 수평선 상에서 등색 및 등경 프린지 분포를 실험에 의해 구하였으며, 이들을 이론 또는 보정에 의한 측정값과 비교하였다.

접수일: 2004년 6월 30일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

# 교신저자: 군산대학교 기계공학부

E-mail: [thback@kunsan.ac.kr](mailto:thback@kunsan.ac.kr) Tel: (063) 469-4714

\* 군산대학교 전자정보공학부

\*\* 군산대학교 대학원 기계공학과

## 2. 광탄성이론

### 2.1 타디 보정법

광탄성에서 주응력의 차이에 나타나는 등색 프린지는 Fig. 1 과 같이 편광판(polarizer), 두 개의 사분파판(quarter wave plate), 그리고 검광판(analyzer)으로 구성된 원편광기로부터 얻을 수 있다. Fig. 1 에서 나타낸 기호는 다음과 같으며, 아래 첨자는 각 편광판의 광축과 수평축(x 축) 사이의 각도를 나타낸다. 즉,  $P_{90}$ 는 선편광판의 광축이  $90^\circ$ ,  $Q_{45}$ 는 제 1 사분파판(first quarter-wave plate)의 고속축(fast axis)이  $45^\circ$ ,  $R_{\alpha, \delta}$ 는 지연 시편(stressed model)의 최대주응력 방향(등경각)이  $\alpha$ ,  $Q_{\phi}$ 는 제 2 사분파판(second quarter wave plate)의 고속축이  $\phi$ , 그리고  $A_{\theta}$ 는 검광판(analyzer)의 광축이  $\theta$ 의 각도를 이룬다. Fig. 1 에서 광축의 방향은 우에 좌의 방향으로 도시었다.

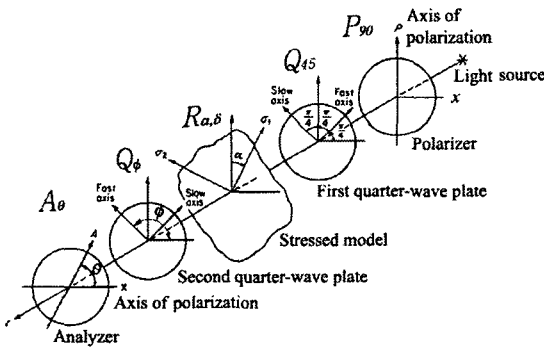


Fig. 1 Optical arrangement of a circular polariscope

원편광기의 암시야배열(dark-field setup)은 Fig. 1 에서 사용된 기호를 이용하여  $P_{90}$ ,  $Q_{45}$ ,  $R_{\alpha, \delta}$ ,  $Q_{135}$ ,  $A_0$  와 같이 나타낼 수 있다. 원편광기의 배열로부터 검광판을  $\beta$  로 회전시켰을 때, 소수의 등색 프린지 차수(fractional fringe order)  $N$  은 다음의 식으로 구할 수 있다.<sup>1</sup>

$$N = n \pm \frac{\beta}{\pi} \quad (1)$$

위의 식(1)에서  $n$ 은 정수의 등색 프린지 차수이고 “±”의 기호는 검광판의 회전방향에 따라 양

또는 음의 부호가 결정된다. 이러한 방법을 타디(Tardy) 보정법이라하며, 소수이하 첫 자리까지 정확히 측정할 수 있다. 이러한 보정법은 편광기를 선편광상태에서 특정점에 등경프린지를 일치시킨 후, 다시 원편광상태로 정렬한 후 검광판을 회전시켜 정수 또는 반차수의 프린지가 특정점을 지날 때 회전각도를 측정한다. 즉, 재래식 보정법은 점 측정 방법(point measurement)이다.

### 2.2 4-단계 위상이동법

프린지 위상이동법은 Fig. 1 과 같이 편광판의 광축을 수직축 ( $P_{90}$ )에, 제 1 사분파판의 고속축을 수평축으로부터  $45^\circ$  ( $Q_{45}$ ), 시편의 등경각이 수직축으로부터  $\alpha$  각도 ( $R_{\alpha, \delta}$ ), 제 2 사분파판의 고속축을 수평축으로부터  $\phi$ 의 각도( $Q_{\phi}$ ), 그리고 검광판의 광축이 수직축으로부터  $\theta$ 의 각도( $A_{\theta}$ ) 위치에 정렬되어 있을 때, 검광판으로부터 나온 빛의 세기, 즉 광 강도  $I$ 는 다음의 식과 같다.<sup>3</sup>

$$I = K[1 - \sin 2(\theta - \phi) \cos \delta - \sin 2(\phi - \alpha) \cos 2(\theta - \phi) \sin \delta] \quad (2)$$

4 단계 위상이동법은 각각의 편광판의 위치를 Table 1 과 같이 정렬시킨 조건으로부터 얻을 수 있다. 검광판으로부터 출력된 광강도(output intensity)는 식(2)를 이용하여 구할 수 있으며, 그 결과는 Table 1 과 같다. Table 1 에 나타낸 광강도에 관한 식으로부터 다음 식(3)을 얻는다.

Table 1 Optical arrangements and their intensity

| equations for 4-step phase measuring method |  |   |
|---|--|---|
| No.   | Arrangement                                    | Output Intensity                        |
| 1   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha, \delta}Q_{-45}A_0$     | $I_1 = K(1 - \cos \delta)$              |
| 2   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha, \delta}Q_{-45}A_{45}$  | $I_2 = K(1 - \cos 2\alpha \sin \delta)$ |
| 3   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha, \delta}Q_{-45}A_{90}$  | $I_3 = K(1 + \cos \delta)$              |
| 4   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha, \delta}Q_{-45}A_{135}$ | $I_4 = K(1 + \cos 2\alpha \sin \delta)$ |

$$\frac{I_4 - I_2}{I_3 - I_1} = \frac{\cos 2\alpha \sin \delta}{\cos \delta} \quad (3)$$

만일 식(3)에서  $\alpha = 0$ , 또는  $\alpha = \pm\pi$  일 경우, 상대지연  $\delta = 2\pi N$ 의 관계로부터 등색프린지 차수  $N$ 에 관한 식은 아래와 같다.<sup>4</sup>

$$N = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{I_4 - I_2}{I_3 - I_1} \right) \quad (4)$$

만일 등경각  $\alpha = 0$ , 또는  $\alpha = \pm\pi$  일 경우에 식(4)를 이용하면 특정한 선에서 프린지분포를 연속적으로 구할 수 있으므로 선측정(line measurement)이 가능하다.

### 2.3 8-단계 위상이동법

식(4)는 측정하고자 하는 지점에서 등경각이  $\alpha = 0$ , 또는  $\alpha = \pm\pi$  일 경우에 유효하나, 그렇지 않을 경우 적용할 수 없다. 등경각이 일정하지 않은 일반적인 경우에 등경각  $\alpha$ 와 등색프린지 차수  $N$ 을 구하기 위하여 8-단계 위상이동법을 이용한다. Fig. 1로부터 각각의 편광판을 Table 2와 같은 방법<sup>2</sup>으로 정렬시킨 조건으로부터 식(2)를 이용하여 광강도를 구한다. Table 2의 광강도에 관한 식으로부터 등경각  $\alpha$ 에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{I_5 - I_6}{I_1 - I_2} \right) \quad (5)$$

위의 식(5)와 같이 4개의 영상을 이용하여 등경각  $\alpha$ 를 구하고, 계산된 등경각 및 Table 2에 나타난 광강도에 관한 8개의 식으로부터 등색프린지 차수  $N$ 을 구한다.

$$N = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left\{ \frac{(I_1 - I_2) \cos 2\alpha + (I_5 - I_6) \sin 2\alpha}{\frac{1}{2}[(I_4 - I_3) + (I_8 - I_7)]} \right\} \quad (6)$$

아래의 Table 2로부터 정렬 조건을 살펴보면  $I_3 = I_7$ , 그리고  $I_4 = I_8$ 이므로  $I_4 - I_3 = I_8 - I_7$ 의 관계가 성립된다. 따라서 식(6)의 분모 항에 나타난 바와 같이 평균값을 이용한다.

한편으로 4-단계 위상이동법에 관한 Table 1과 8-단계 위상이동법에 관한 Table 2를 비교하여 보면, Table 1의 정렬번호 1, 2, 3, 및 4는 Table 2의 정렬번호 3, 2, 4, 및 1과 동일하다. 즉, 8-단계 위상이동법에 관한 영상으로부터 4-단계 위상이동법 시험을 할 수도 있다.

Table 2 Optical arrangements and their intensity

| equations for 8-step phase measuring method |  |   |
|---|--|---|
| No.   | Arrangement                                  | Output Intensity                        |
| 1   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_{45}A_{-45}$ | $I_1 = K(1 + \cos 2\alpha \sin \delta)$ |
| 2   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_{-45}A_{45}$ | $I_2 = K(1 - \cos 2\alpha \sin \delta)$ |
| 3   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_{-45}A_0$    | $I_3 = K(1 - \cos \delta)$              |
| 4   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_{45}A_0$     | $I_4 = K(1 + \cos \delta)$              |
| 5   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_0A_0$        | $I_5 = K(1 + \sin 2\alpha \sin \delta)$ |
| 6   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_{90}A_{90}$  | $I_6 = K(1 - \sin 2\alpha \sin \delta)$ |
| 7   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_0A_{45}$     | $I_7 = K(1 - \cos \delta)$              |
| 8   | $P_{90}Q_{45}R_{\alpha,\delta}Q_{90}A_{45}$  | $I_8 = K(1 + \cos \delta)$              |

위의 식(5)와 (6)을 이용하면 어느 지점에서나 등경각과 등색프린지 차수의 측정이 가능하므로 전응력장 측정(full-field stress measurement)이 가능하다.

### 3. 다목적편광기 설계 및 제작

재래식 편광기는 일반적으로 타디보정법에 적합하도록 Fig. 1에 나타난 2개의 선형편광판과 2개의 사분파판을 정렬하여 선편광과 원편광상태의 기능을 겸하여 타디보정법에 적합하도록 설계, 제작되어 있다. 그러나 최근 발표된 프린지 위상이동법에 의해 전응력장 측정이 가능하기 위해서는 사분파판과 편광판을 특정한 각도로 별도로 회전시킬 수 있어야 한다.

본 연구에서 개발된 다목적 편광기의 기능은 재래식 편광기와 같이 선편광기 및 원편광기의 기능뿐만 아니라 전응력장 측정, 시험이 가능할 수 있도록 하였으며, 개념도는 Fig. 2와 같다.

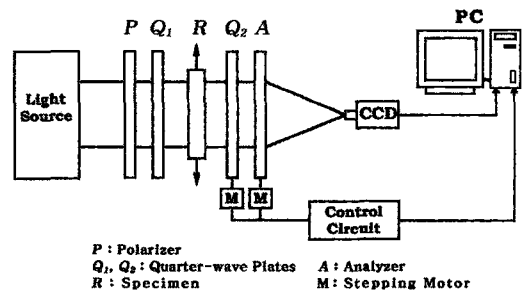


Fig. 2 Schematic diagram of the developed multi-purpose polariscope

Fig. 2 에서  $P$ ,  $Q$ ,  $R$  및  $A$ 는 각각 편광판, 4 분파판, 시편(retarding specimen)과 검광판을 의미한다. 편광판과 검광판 및 두개의 4 분파판을 회전시킬 수 있도록 두개의 스텝핑모터를 장착하였으며, 마그네틱클러치를 "ON"으로 하였을 때는 편광판과 검광판이나 두개의 4 분파판을 동시에 회전시킬 수 있으며, "OFF"로 하였을 경우, 독립적인 회전이 가능하다. 또한 평면편광상태에서 등경프린지를 측정할 수 있도록 편광판, 두개의 4 분파판 및 검광판을 동시에 회전시킬 수 있도록 설계되어 있다.

Fig. 3 은 개발된 다목적 편광기의 내부구조도를 나타낸다. Fig. 3 에 나타난 기호는 부품명을 표시한다. 예를 들면  $RA$ ,  $RP$ ,  $RQ_1$  및  $RQ_2$ 는 각각 검광판(analyzer), 편광판(polarizer), 첫번째 및 두번째 4 분파판(first and second quarter plate)의 림(rim)을 나타낸다. 또한  $LM$ ,  $RM$ ,  $LS$  및  $RS$ 는 우측(left) 및 좌측(right)의 스텝핑모터(motor)와 축(shaft)들을 표시한다.

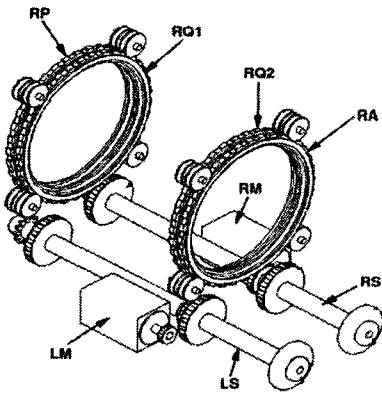


Fig. 3 Synchronizing mechanism of the developed multi-purpose polariscope

Fig. 4 는 개발된 편광기의 결합체를 나타낸다. Fig. 4 에서  $LSB$ 는 나트륨등(sodium vaped lamp)과 백열등(fluorescent lamp)이 내장된 광원상자(light box)를,  $BF$ 와  $FF$ 는 편광판과 4 분파판이 내장된 후방프레임(back frame)과 전방프레임(front frame)을 의미한다. Fig. 3 및 4 에서 나타난 기타의 부품에 대해서는 특허출원<sup>5</sup>에 상세히 설명되어 있다.

Fig. 5 는 시제품으로 제작된 투과형 다목적 편

광기의 조립체이며, Fig. 6 은 편광판을 스텝핑모터를 이용, 특정각도를 회전시킬 수 있는 제어패널이다.

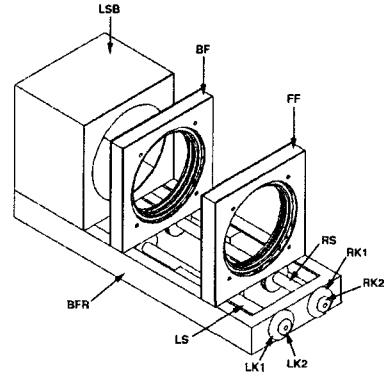


Fig. 4 Assembled shape of the developed multi-purpose polariscope

시험 제작된 투과형 다목적 편광기의 기능을 요약하면 다음과 같다. 편광판, 검광판 및 두개의 4 분파판을 포함한 모든 편광판은 동시회전이 가능하다. 이때 두개의 편광판과 두개의 4 분파판은 평면편광상태를 얻을 수 있도록 정렬되어 있으며, 이를 이용하여 주응력 방향과 관계되는 등경각을 측정할 수 있다.

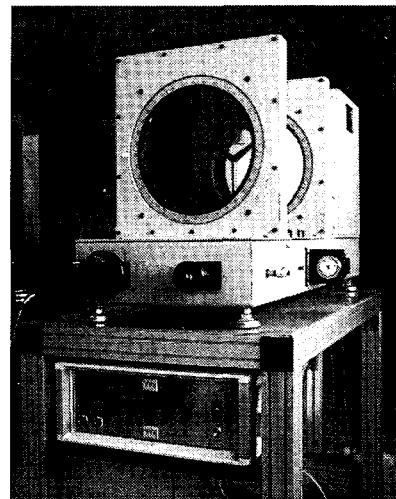


Fig. 5 Developed diffused-light polariscope

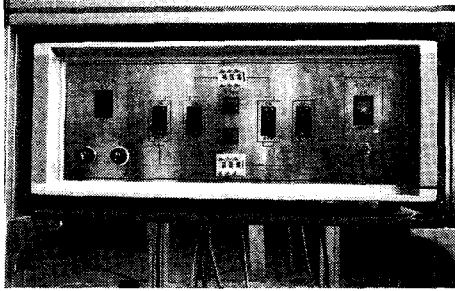


Fig. 6 Control panel of the developed multi-purpose polariscope

선편광상태에서 등경프린지를 측정하고자 하는 점에 일치시킨 후 고정하고, 두개의 4 분광판을 45° 회전시켜 원편광상태로 정렬조건의 변경이 가능하다. 이러한 원편광상태로 셋팅 후, 검광판을 회전시켜 정차수 또는 반차수의 프린지가 측정하고자 점을 통과할 때 식(1)에 나타난 회전각  $\beta$ 를 측정하여 소수의 프린지 차수를 얻을 수 있는 타디보정법의 기능을 수행할 수 있다.

위의 기능이외에도 선 측정을 위한 4 단계 위상 이동법과 전응력장 측정이 가능한 8 단계 위상이동법의 기능이 수행될 수 있도록 두개의 편광판과 두개의 사분광판을 별도로 회전시킬 수 있다.

위에서 기술한 편광판과 사분광판의 회전은 Fig. 6 에 나타난 제어패널로 조작할 수 있으며, 또한 수작업으로도 할 수 있다. 즉, 시제품으로 제작된 다목적 편광기는 재래식 편광기의 기능과 광탄성 프린지 위상이동법을 수용할 수 있는 기능이 모두 갖추어져 있다.

#### 4. 시험 및 평가

##### 4.1 인장시편을 이용한 교정시험

광탄성 효과가 높고 기계가공성이 우수한 폴리 카보네이트 계열의 플라스틱 일종인 PSM-1<sup>6</sup> 으로 제작된 편광의 인장시편을 개발된 다목적 원형 편광기의 사분광판 사이에 설치된 하중장치에 고정시킨 후, 추를 매달아서 시편에 하중을 가한다. 시험편 형상과 치수는 Fig. 7 과 같으며 두께( $t$ )는 3.175 mm (1/8 inch)이다. 재료의 표준 프린지 상수( $f_\sigma$ )는 7005 N/m (40 lb/in), 영탄성계수( $E$ )는 2482 MPa (360,000 psi), 푸와송비( $\nu$ )는 0.38 이다.<sup>6</sup> 광탄

성 프린지상수는 아래의 식(7)을 이용하여 결정할 수 있다.

$$f_\sigma = \frac{P}{wN} \quad (7)$$

식(7)에서  $P$ 는 가한 하중,  $w$ 는 시편의 폭이고,  $N$ 은 등색프린지 차수이며, 식(1)과 같이 타디보정법에 의해 측정하였다.

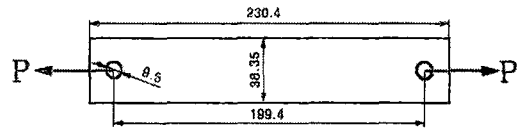


Fig. 7 Dimensions of a rectangular cross-section tensile plate specimen

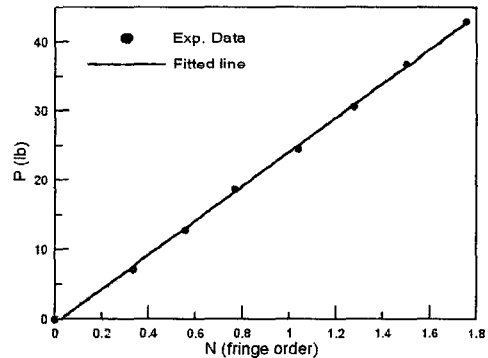


Fig. 8 Fringe order (N) versus load (P) obtained from experiment

식(7)의 관계를 이용하여 측정된 프린지차수와 하중의 관계는 Fig. 7 과 같다. 광탄성 프린지 상수를 최소자승법에 의한 회귀 직선식(regression line) 으로부터 결정하였다. 재료(PSM-1)의 사양<sup>6</sup> 에 제시된 프린지 상수는 40 lb/in-fringe 이다. 인장시편을 이용한 교정시험 결과는 40.36 lb/in-fringe 이며, 사양에 제시된 값과 0.9%의 오차 이내로 일치하였다. 이 결과는 참고문헌<sup>7</sup>의 시험결과에 비해 더 정밀한 결과를 얻었다.

#### 4.2 4-단계 위상이동법 시험

시제품으로 제작된 편광기의 광탄성 위상이동법의 적용가능성 시험을 하기 위해 상·하 직경방향으로 압축하중을 받는 상태에서 응력동결(stress freezing)된 원형디스크를 이용하였다. 원형디스크의 재질은 광탄성에서 응력 동결용으로 사용되는 에폭시수지 계열(3DMU-050 epoxy resin)<sup>8,9</sup>이다. 이 재료의 프린지 상수는 응력동결온도(critical temperature)에서 490 N/m (2.8 lb/in-fringe) 이다. 원형디스크의 지름은 44.70 mm (1.76 in.) 이고 두께는 3.18 mm (0.125 in.) 이다.

4-단계 위상이동법 시험은 원형편광기 상태에서 원형디스크를 4 분파판 사이에 위치시킨 후, 검광판을 0°, 45°, 90° 및 135° 회전시켜 얻은 영상을 이용하였다. 이러한 조건은 Table 1 에 나타나 있으며, 이러한 편광판 정렬조건으로부터 얻은 영상은 Fig. 9 와 같다.

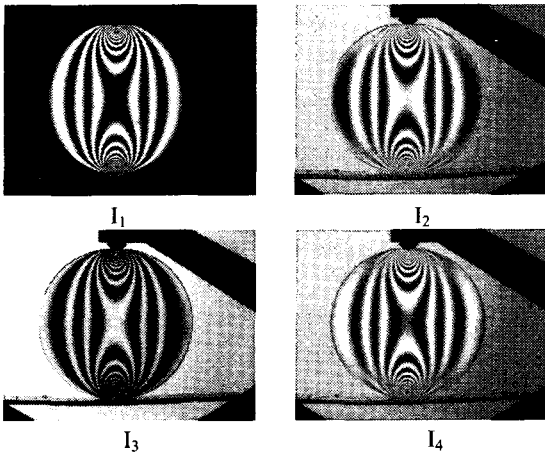


Fig. 9 Four images obtained from the optical arrangements of Table 1



Fig. 10 Isochromatic fringe phase map obtained from Table 1 and Eq. (4) for 4-step phase measuring method

Fig. 9 에 나타난 4 개의 영상과 식(4)를 이용하여 얻은 결과는 Fig. 10 과 같다. Fig. 10 의 수평선 상에서 프린지 위상값은 arc tangent 범위가  $-\pi$  에서  $+\pi$  이므로 Fig. 11 의 그래프 하단에서 보인 바와 같이 위상점프(phase jump)가 나타난다. 위상이동에 의한 광강도(phase intensity)를 펼치면(unwrapping) 원형 디스크의 수평선상 지름에서 전체적(whole field)인 광강도 분포는 Fig. 11 과 같다.

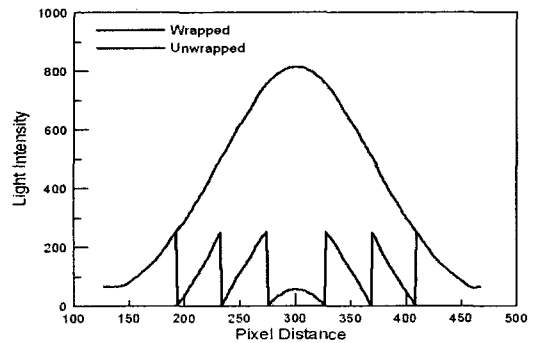


Fig. 11 Light intensity of wrapped and unwrapped isochromatic fringe phase map obtained from 4-step phase measuring method

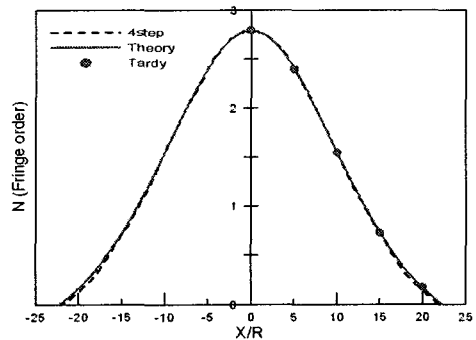


Fig. 12 Comparison of isochromatic fringe order distribution along horizontal line indicated in Fig. 9

한편으로 Fig. 10 에 나타난 수평선 방향 지름의 이론적인 프린지분포는 아래의 식(8)를 이용하여 구할 수 있다.<sup>1</sup>

$$N(x) = \frac{1}{f_\sigma} \left( \frac{8P}{\pi h D} \right) \frac{(D^4 - 4D^2 x^2)}{(D^2 + 4x^2)^2} \quad (8)$$

식(8)에서  $h$ 는 시편의 두께,  $D$ 는 디스크의 지름,  $P$ 는 작용하중이고,  $x$ 는 디스크의 중심으로부터 수평방향의 거리이다. 타디 보정법에 의한 측정값, 프린지 위상이동법에 실험 결과를 식(8)에 나타낸 이론 프린지 분포와 비교하면 Fig. 12 와 같다. 디스크 중심의 수평선상 지름에서 위상이동법에 의해 측정된 프린지분포는 타디보정법에 의한 측정값 및 이론 프린지 분포와 잘 일치하였다.

### 4.3 8-단계 위상이동법 시험

8-단계 위상이동법은 편광기를 Table 2 와 같이 정렬하여 얻은 8 개의 영상을 이용한다. 이러한 조건으로부터 얻은 영상은 Fig. 13 과 같다.

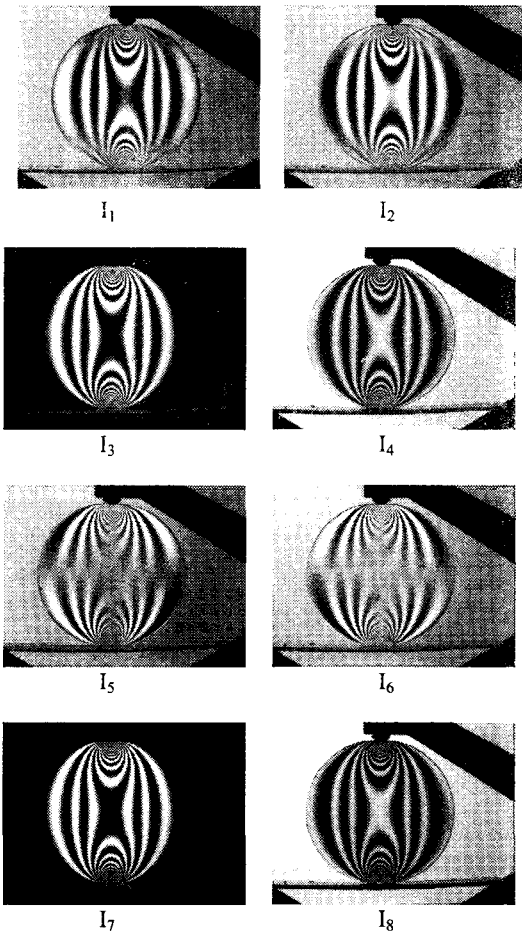


Fig. 13 Eight images obtained from the optical arrangements of Table 2

Fig. 13 에 나타낸 영상들과 식(5)에 의해 얻은 등경프린지 위상맵 영상은 Fig. 14(a)와 같고, 식(6)에 의해 계산된 등색프린지 위상맵은 Fig. 14(b)와 같다. Fig. 14(a) 및 (b)에 나타낸 수평선 A-A 는 디스크 중심으로부터 반지름  $R$  의 1/2 지점, 즉  $y=R/2$  의 거리에 있는 선이다.

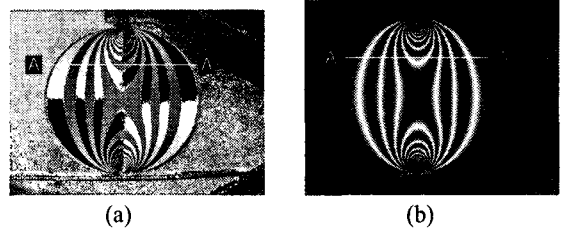


Fig. 14 Wrapped phases of (a) isoclinics and (b) isochromatics

Fig. 14(a)의 등경프린지 위상맵 영상에 표시된 A-A 선상의 광강도로부터 등경각을 계산하면 Fig. 15 와 같으며, 등색프린지의 영향으로 위상점프가 일어난다. 이러한 위상점프를 위상이동법에 의하여 제거하면 Fig. 16 과 같은 분포를 얻을 수 있다. 또한, Fig. 14(a)의 A-A 선상에서 등경프린지를 수작업으로 측정(manual measurement)하여 Fig. 16 에 나타냈으며, 이들은 서로 잘 일치하였다.

Fig. 14(b)의 A-A 선상에서 등색프린지 분포를 구하기 위하여 등색프린지에 관한 위상맵으로부터 위상을 펼친 후, 등색프린지 프린지 차수로 환산하여 나타내면 Fig. 17 과 같다. 응력동결된 디스크의 등색프린지 센터로부터 수작업에 의해 측정값도 Fig. 17 에 표시하였으며, 이들은 8-단계 위상이동법에 의해 얻은 분포에 근접하였다.

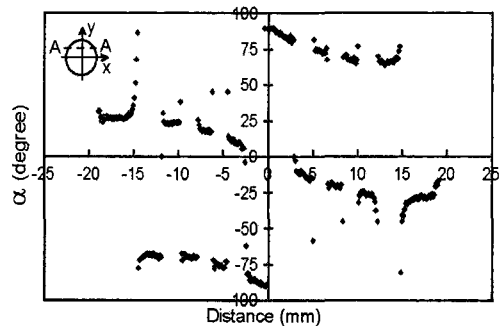


Fig. 15 Wrapped isoclinic phase distributions along line A-A indicated in Fig. 14(a)

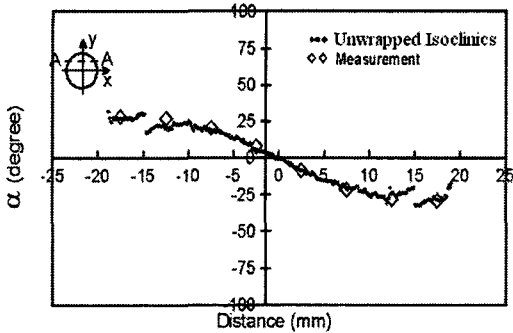


Fig. 16 Comparisons of digitally determined isoclinics and manual measurements along line A-A indicated in Fig. 14(a)

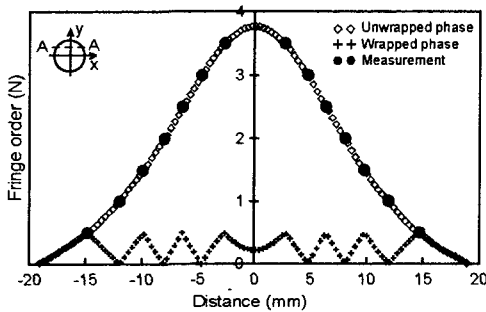


Fig. 17 Unwrapped and wrapped isochromatic phase distributions along line A-A indicated in Fig. 14(b)

### 5. 결론

본 연구에서 시제품으로 제작된 투과형 다목적 원편광기의 성능시험을 하기 위하여, 인장시편을 이용한 광탄성 프린지 상수를 결정하여 시편재료의 사양과 비교하였다. 또한 응력 동결된 원형디스크를 이용하여 4-단계 및 8-단계 위상이동법으로부터 등경 및 등색프린지 분포를 측정하고 이들을 수작업에 의한 측정값과 비교하였다. 이러한 성능 시험로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 폴리카보네이트 계열인 PSM-1 재료의 인장시편을 이용한 교정시험 결과는 사양에 제시된 값과 0.9%의 오차 이내로 일치하였다.
- (2) 압축하중을 받는 상태에서 응력 동결된 원형디스크를 이용하여 4-단계 위상이동법에 관한 시험을 수행하여 디스크 중심의 수평선상 지름에서 등색 프린지 분포를 얻었으며, 이들

분포는 타디보정법 및 이론값과 일치하였다.

- (3) 8-단계 위상이동법에 의해 디스크 중심으로부터 반지름  $R$ 의 1/2 지점, 즉  $y=R/2$ 의 거리에 있는 수평선상에서 등경각과 등색프린지 차수를 구했으며, 수작업에 의한 측정값은 8-단계 위상이동법에 의해 얻은 결과에 근접하였다.

새로 제작된 투과형 다목적 원편광기는 재래식 편광기와 같이 선편광기와 원편광상태의 기능을 모두 갖추고 있으며, 타디 보정법에 의해 수작업으로 프린지 차수를 측정할 수 있다. 또한 사분파판과 검광판을 별도로 회전시킬 수 있으므로 프린지 위상이동법을 수용할 수 있다. 재래식 광탄성기에서는 오로지 수작업에 의해서만 편광판을 회전시킬 수 있으나, 새로 개발된 다목적 편광기에서는 수작업 또는 제어패널에 의해 편광판을 개별적으로 또는 동시에 회전시킬 수 있는 장점이 있다. 4-단계 및 8-단계 시험으로부터 시제품으로 개발된 다목적 편광기를 이용하면 등경각과 등색프린지 차수분포를 디지털 영상처리 방법에 의해 정밀하고 편리하게 구할 수 있는 가능성을 제시하였다.

### 후 기

본 연구는 산학협동재단 2004 년도 학술연구비 지원과 한국과학재단 목적 기초연구 과제(과제번호: R05-2003-000-11112-0) 연구비 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. Dally, J. W. and Riley, W. F., *Experimental Stress Analysis*, Second Ed. McGraw-Hill, Inc., 1991.
2. Baek, T. H., "Development and Test of the Multi-purpose Polariscopes," *Proceedings of the Symposium, Novel Applications of Experimental Methods in Mechanics*, Society for Experimental Mechanics, Inc., pp. 185-191, June 2003.
3. Quiroga, J. A. and Gonzales-Cano, A., "Phase Measuring Algorithm for Extraction of Isochromatics of Photoelastic Fringe Patterns," *Applied Optics*, Vol. 36, No.32, pp. 8397-8402, 1997.
4. Asundi, A., "Phase Shifting in Photoelasticity,"



Experimental Techniques, Vol. 7, No. 1, pp. 19-23, 1993.

5. Polariscope Mechanism for Photoelastic Fringe Measurement, Patent Application Number: 10-2002-0055238, 2002. 9.
6. Photoelastic Division, Measurement Group, Inc., Raleigh, NC. 27611, USA.
7. Back, T. H. and Kim, M. S., "Construction and Calibration Test of a Transmission-type Circular Polariscope for Photoelastic Stress Measurement," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 38-43, 2004.
8. Back, T. H. and Lee, J. C., "Development of Image Processing Technique for Photoelastic Fringe Analysis," Transactions of the Korean Society for Mechanical Engineers, Vol. 18, No. 1, pp. 2577-2584, 1994.
9. Back, T. H., "Digital Image Processing Technique for Photoelastic Isochromatic Fringe Sharpening," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 220-230, 1993.