

면외변위 측정을 위한 홀로그래피 간섭계에서 발산빔과 원통표면에 대한 오차해석

강 영 준*, 문 상 준**

The Analysis on the Error of Diverging Beam and Cylindrical Surface in Holographic Interferometer for Measuring out-of-plane Displacement.

Young-June Kang*, Sang-Joon Moon**

ABSTRACT

Holographic interferometry is a useful whole-field nondestructive testing method for measuring deformations and vibrations of engineering structure. In practical way most holographic interferometer uses a diverging beam, a point light source. When an object is relatively small, the optical arrangement using a collimated light source has no difficulty technically but for a large object the collimated beam cannot be applied anymore practically. In this paper we calculate the error of measured displacement from the sensitivity vector dominated by the geometry of optical arrangement for holographic interferometer and show the result with 2-D plots. A plane surface and a cylindrical surface were chosen as objects to be measured and the results from the cases of a diverging and a collimated beams were compared and analyzed.

Key Words: Holographic Interferometry(홀로그래피간섭법), Sensitivity Vector(민감도벡터), Deformations(변형), Diverging Beam(발산빔), Collimated Beam(시준빔), Cylindrical Surfaces(원통표면)

기 호 설 명

$I(x, y)$: 홀로그래피에서의 강도분포
 $R(x, y)$: 참조파
 $S(x, y)$: 물체파
 $t(x, y)$: 홀로그래피의 진폭투과율
 T : 노출시간
 $s(x, y)$: 참조파

$u(x, y)$: 반사파
 δ : 위상차
 S : 광원의 위치벡터
 O : 관측점의 위치벡터
 n : 간섭무늬의 차수
 α : 광원의 입사각
 β : 반사각
 λ : 광파장

* 전북대학교 기계공학부
 ** 전북대학교 대학원

- d : 변위
- d_{opt} : 광경로차
- X_s : 광원 S 의 x 좌표
- Y_s : 광원 S 의 y 좌표
- Z_s : 광원 S 의 z 좌표
- X_p : 물체의 한점 P 의 x 좌표
- Y_p : 물체의 한점 P 의 y 좌표
- Z_p : 물체의 한점 P 의 z 좌표
- X_o : 관측점 O 의 x 좌표
- Y_o : 관측점 O 의 y 좌표
- Z_o : 관측점 O 의 z 좌표

1. 서론

물체 표면에서 발생된 변위를 비교적 넓은 피측정면적에 대해 동시측정이 가능한 홀로그래피 간섭계측법(Holographic interferometry; HI)이나 ESPI(Electronic speckle pattern interferometry)⁽¹⁾⁽²⁾는 기계 구조물의 변형 측정에 매우 유용한 측정법이다. 이 간섭법은 일정한 변위의 등고선을 나타내는 밝고 어두운 간섭무늬가 변형된 물체의 상위에 중첩되어 나타난다. 이런 변위의 방향은 간섭계의 광학적구성에 의해서 결정되는 민감도 벡터에 평행하게 나타난다. 따라서, 간섭무늬를 영상처리하여 물체상의 각위치에서 원하는 정보가 얻어진다면 변위의 양은 민감도벡터에 의해서 결정된다.

한편 홀로그래피 간섭계를 구성시 많은 경우 점광원, 즉 발산빔을 이용하고 있다. 물체가 작은 경우에는 시준빔을 사용하는 광학계의 구성이 큰 문제가 되지 않지만 홀로그래피 간섭법의 적용 대상의 크기가 커지면서 시준빔을 사용하지 못하고 발산빔을 사용해야만 하는 경우가 발생하게 된다⁽³⁾.

이에 대한 연구로서 F.M.Santoyo⁽⁴⁾ 등의 논문에는 발산하는 물체빔을 사용하여 광학적인 구성의 용이성을 언급하였으나, 발산빔으로 인하여 생기는 오차에 대한 정량적인 분석이 되어 있지 않았다.

또, 실제 변형을 측정할 경우 물체의 표면형상이 평면보다는 곡면의 경우가 많으므로 이에 대한 오차의 해석, 특히 물체의 모서리부분에 대한 오차해석이 필요하나 이에 대한 연구는 거의 되어있지않은 것 같다.

따라서, 본 연구에서는 면외변위측정을 위한 홀로그래피 간섭계 및 ESPI의 광학적 구조에 지배되는 민감도벡터⁽⁴⁾에 의하여 발생되는 점출변위의 오차를 컴퓨터를 이

용하여 계산하고, 그 결과를 2차원으로 도시하여 보았다. 그리고 가상적인 측정 대상으로 평면과 원통면을 선정하고 각각의 경우에 대해서 발산빔과 시준빔을 적용시켜 오차를 해석했다.

2. 홀로그래피간섭법의 원리

본 연구에서 사용한 홀로그래피 간섭법은 물체표면의 변형결과에 해당하는 간섭무늬가 일정한 변위마다의 등고선의 형태로서 관측되는 방법이다. 실시간 홀로그래피 간섭법의 원리는 다음과 같다.

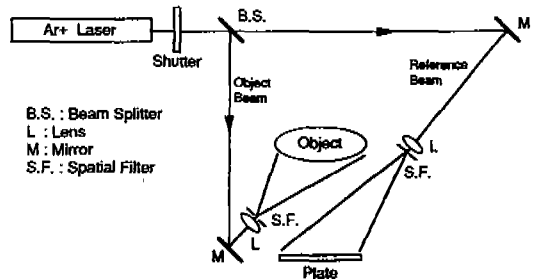


Fig.1 Optical arrangement for holographic interferometry

Fig.1과 같은 구성의 광학계에서 물체가 변형되기 전 한번의 노출을 주고 현상 과정을 거쳐 제작된 홀로그램을 원래놓았던 위치에 정확히 일치시켜 다시놓는다. 그리고 물체빔과 기준빔을 동시에 조사시킨다. 만일 이 물체에 변형이 일어나게 되면 변형된 물체의 파면(wavefront)이 홀로그램에 의하여 재생된 파면과 간섭을 일으키게 되어 실시간으로 그 물체의 변형을 나타내는 간섭무늬를 만들어 낸다. 즉 홀로그램에 기록된 물체의 상과 실제의 물체의 상이 간섭을 일으키게 되는 방법이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

물체가 변형하기 전의 상을 기록한 홀로그램을 표현하면 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$I(x, y) = |R(x, y) + S(x, y)|^2 \tag{1}$$

위의 식(1)에서 S 는 변형을 가하기 전의 물체빔의 진폭이고, R 은 기준빔의 진폭이다. 그리고 I 는 사진건판에서의 빛의 강도이다. 노출과 현상을 거쳐 제작된 홀로그램

의 진폭투과율의 식은 다음과 같다.

$$t(x,y) = t_0 + \beta TI(x,y) \quad (2)$$

여기서 $t(x,y)$ 는 홀로그래ムの 진폭투과율로서 실시간 간섭법에서는 변형이 되기 전의 물체의 상이 기록된 홀로그래ム을 의미한다. 또 β 는 사진건판의 노출특성에 따르는 상수이고, t_0 는 노출이 없는 필름을 현상했을 경우의 진폭투과율에 해당하는 상수이며 T 는 노출시간이다. 제작된 홀로그래ム을 노출이 되었던 원래의 위치에 고정시키고 물체빔과 기준빔이 홀로그래ム에 조사되도록 하면, 변형이 되는 물체로부터 반사되는 빛인 물체빔 S' 과 기준빔 R 이 사진건판을 투과한다. 그리고 이때 형성되는 파면 $u(x,y)$ 는 다음과 같이 표현된다..

$$u(x,y) = [S'(x,y) + R(x,y)] t(x,y) \quad (3)$$

위의 식(3)에 의하여, 원래의 기록된 물체의 상과 실제 놓여 있는 물체의 상이 간섭무늬를 형성하게 되고 이를 관찰 대상이 되는 간섭무늬의 향에 대하여 정리하면 식(4)와 같다.

$$u'(x,y) = \beta TR^2 S(x,y) + (t_0 + \beta TR^2) S'(x,y) \quad (4)$$

최종적인 빛의 강도분포는 간섭무늬의 명암인 코사인함수형태의 진폭으로 나타나게 된다.

$$I'(x,y) = |S(x,y)|^2 \{ \beta^2 T^2 R^4 + (t_0 + \beta TR^2)^2 + 2\beta TR^2 (t_0 + \beta TR^2) \cos[\phi'(x,y) - \phi(x,y)] \} \quad (5)$$

여기에서 $\phi(x,y)$ 는 물체가 변형되기 전의 위상분포를 의미하고, $\phi'(x,y)$ 는 변형된 후의 위상분포를 의미한다. 식(5)에 의하여 코사인함수의 진폭을 가지는 간섭무늬의 형태로 가시화 되는 변위의 방향은 광학계 구성시 물체빔의 조사각도와 거리, 관측위치 그리고 광원의 종류에 따라 달라지게 되는데 이 변위의 방향을 표시하는 벡터가 바로 민감도벡터이다. 광학계의 구성형태에 의존하는 민감도벡터는 다음과 같이 결정된다.⁽⁵⁾

3. 민감도벡터

Fig.2에서 S 는 광원의 위치이고 O 는 관측점의 위치벡터이다. 이때 변형에 의하여 물체의 한점 P 가 P' 로 이

동되었을 경우 광경로는 $SP+PO$ 에서 $SP'+P'O$ 로 변화된다. $SP, SP',$ 그리고 SO 를 각각 벡터 \vec{A}_1, \vec{A}_2 그리고 \vec{A}_3 로 나타내면 PO 와 $P'O$ 는 $\vec{A}_3 - \vec{A}_1, \vec{A}_3 - \vec{A}_2$ 로 표현할 수 있다. 그리고 단위벡터 $\vec{U}_1, \vec{U}_2, \vec{U}_3, \vec{U}_4,$ 를 도입하여 각각 $\vec{A}_1, \vec{A}_2 - \vec{A}_1, \vec{A}_2, \vec{A}_3 - \vec{A}_2$ 에 내적하면 $SP, SP', PO, P'O$ 의 길이를 나타낼 수 있다. 광경로 SPO 와 $SP'O$ 의 위상을 각각 ϕ_1, ϕ_2 라 하면 다음과 같이 표현된다.

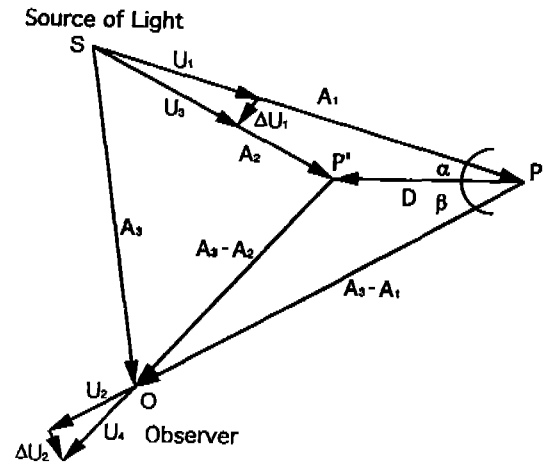


Fig.2 Determination of sensitivity vector

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (|\vec{SP}| + |\vec{PO}|) \quad (6)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} [\vec{U}_1 \cdot \vec{A}_1 + \vec{U}_2 \cdot (\vec{A}_3 - \vec{A}_1)]$$

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (|\vec{SP}'| + |\vec{P'O}|) \quad (7)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} [\vec{U}_3 \cdot \vec{A}_2 + \vec{U}_4 \cdot (\vec{A}_3 - \vec{A}_2)]$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} [\vec{U}_1 + \Delta\vec{U}_1] \cdot \vec{A}_2 + (\vec{U}_2 + \Delta\vec{U}_2) \cdot (\vec{A}_3 - \vec{A}_2)]$$

여기서 λ 는 가간섭광원으로 사용된 레이저의 파장을 나타낸다.

광경로가 물체의 변형으로 인하여 SPO 에서 $SP'O$ 로 변경되었을 경우의 위상차를 δ 라 하면 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \delta &= \phi_1 - \phi_2 \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} [(\vec{U}_1 - \vec{U}_2) \cdot (\vec{A}_1 - \vec{A}_2) - \Delta\vec{U}_1 \cdot \vec{A}_2 - \Delta\vec{U}_2 \cdot (\vec{A}_3 - \vec{A}_2)] \end{aligned} \quad (8)$$

이때 물체의 변위가 아주 작다면 $\Delta\vec{U}_1 \cdot \vec{A}_2 = 0$, 그리고 $\Delta\vec{U}_2 \cdot (\vec{A}_3 - \vec{A}_2) = 0$ 이라 놓을 수 있으므로 식(8)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{2\pi}{\lambda} [(\vec{U}_1 - \vec{U}_2) \cdot (\vec{A}_1 - \vec{A}_2)] \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{U}_1 - \vec{U}_2) \cdot \vec{D} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 \vec{D} 는 변위벡터를 의미하고, $\vec{U}_1 - \vec{U}_2$ 는 민감도벡터로서 검출되는 변위의 방향을 의미한다. 변위는 2π 의 위상차에 의한 간섭무늬의 갯수로써 결정이 되므로 위상차 δ 를 $2\pi n$ 이라 놓으면 간섭무늬 갯수에 대한 변위가 다음과 같은 식으로 정리된다.

$$\delta = 2\pi n = \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{U}_1 - \vec{U}_2) \cdot \vec{D} \quad (10)$$

여기서 n 은 간섭무늬의 차수를 의미한다. 그러므로 식(10)은 다음식으로 된다.

$$n\lambda = (\vec{U}_1 - \vec{U}_2) \cdot \vec{D} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (11)$$

식(11)은 3차원 공간상의 벡터로 표현된 식이므로 해를 구하기 위해서는 3개의 식이 필요하게 되지만 광학계를 구성할 때 α 와 β 를 0° 로하고, 측정하려는 변위를 PO의 방향과 일치시켜 면외(out-of-plane) 변위, 즉 관측 방향과 평행한 변위에 대해 민감한 광학계를 구성한다면 다음과 같은 식으로 정리된다.

$$\begin{aligned} d &= n\lambda / (\cos\alpha + \cos\beta) \\ &= n\lambda / (1 + 1) \\ &= n\lambda / 2 \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 d 는 변위를 나타내고, λ 는 광파장이며, α 와 β 는 입사각과 반사각이다..

식(12)는 일반적으로 면외변위를 측정하는 광학계에서 얻을 수 있는 간섭무늬의 차수로부터 대략적으로 발생된

변위를 계산할 수 있는 수식이다. 실제 광학계는 관측점의 제한과 발산빔의 영향에 의한 오차를 필연적으로 내포하게 된다. 이러한 오차를 각각 평판과 원통형에서의 오차 분포로서 살펴보고, 시준빔과 발산빔의 차이를 비교하여 본다.

Fig.3와 같은 평판의 경우 오차의 계산은 다음과 같이 이루어진다.

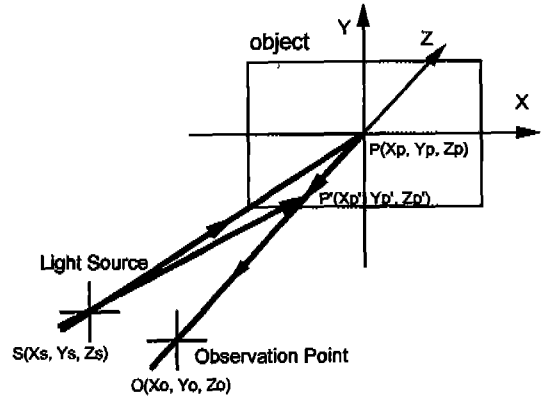


Fig.3 Optical arrangement for plane surface

Fig.3의 평판에서의 한 점 P 가 Z 축방향에 평행한 일정 크기의 변위 ΔZ_1 가 발생함에 따라 Fig. 3에서와 같이 P 로 이동하였다고 가정하자. 물체가 변형이 되기 전의 광경로를 PL 이라 하고 변형이 된 후의 광경로를 PL' 라 하면 광경로차 d_{opt} 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} d_{opt} &= PL - PL' \\ &= (|SP| + |PO|) - (|SP'| + |P'O|) \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 $|SP|$, $|OP|$, $|SP'|$, $|P'O|$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$|SP| = \sqrt{(X_p - X_s)^2 + (Y_p - Y_s)^2 + (Z_p - Z_s)^2} \quad (14)$$

$$|PO| = \sqrt{(X_p - X_o)^2 + (Y_p - Y_o)^2 + (Z_p - Z_o)^2} \quad (15)$$

$$|SP'| = \sqrt{(X_p - X_s)^2 + (Y_p - Y_s)^2 + (Z_p - \Delta Z_1 - Z_s)^2} \quad (16)$$

$$|P'O| = \sqrt{(X_p - X_o)^2 + (Y_p - Y_o)^2 + (Z_p - \Delta Z_1 - Z_o)^2} \quad (17)$$

여기서 X_s, Y_s, Z_s 는 광원 S 의 x, y, z 축의 좌표이고, X_o, Y_o, Z_o 는 물체의 한점 P 의 x, y, z 축의 좌표이며, X_p, Y_p, Z_p 는 관측점 O 의 각각의 축의 좌표이다.

발생된 변위 ΔZ_1 에 대한 홀로그래피 간섭계로써 구해진 변위 d_{opt} 의 오차는 다음과 같다.

$$error = |(\Delta Z_1 - d_{opt}) / \Delta Z_1| \quad (18)$$

Fig.4와 같은 원통면에서의 변형을 고려하면, 평면에서와 달리 관찰면의 기하학적인 구조에 의한 영향이 고려되어야 한다.

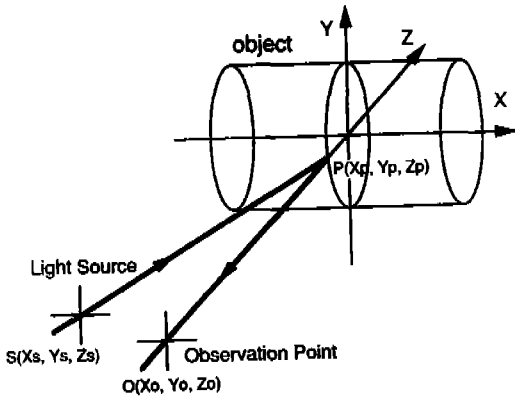


Fig.4 Optical arrangement for cylindrical surface

고려의 대상이 되는 한 점의 Z 축상의 위치는 Y 축에 따라 변하게 된다. 원통면의 반지름을 r 이라 하고 Y 축을 따라 변하게 되는 Z 축상의 상대적인 변위를 ΔZ_2 라 하면 ΔZ_2 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta Z_2 = \sqrt{r^2 - Y_p^2} \quad (19)$$

그리고 $|\overline{SP}|$, $|\overline{PO}|$, $|\overline{SP}'|$, $|\overline{P'O}|$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$|\overline{SP}| = \sqrt{(X_p - X_s)^2 + (Y_p - Y_s)^2 + (Z_p - \Delta Z_2 - Z_s)^2} \quad (20)$$

$$|\overline{PO}| = \sqrt{(X_p - X_o)^2 + (Y_p - Y_o)^2 + (Z_p - \Delta Z_2 - Z_o)^2} \quad (21)$$

$$|\overline{SP}'| = \sqrt{(X_p - X_s)^2 + (Y_p - Y_s)^2 + (Z_p - \Delta Z_1 - \Delta Z_2 - Z_s)^2} \quad (22)$$

$$|\overline{P'O}| = \sqrt{(X_p - X_o)^2 + (Y_p - Y_o)^2 + (Z_p - \Delta Z_1 - \Delta Z_2 - Z_o)^2} \quad (23)$$

식(20),(21),(22),(23)을 식(13)에 대입하고 식(18)을 적용하면 원통면에서의 오차를 계산할 수 있게 된다.

발산빔과 시준빔의 차이를 계산해보기 위하여 광학계의 구성을 다음의 Fig.5, Fig.6과 같이 정하였다.

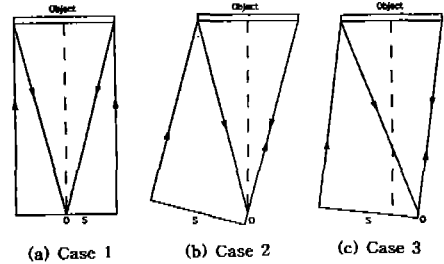


Fig.5 Optical arrangement using collimated beam

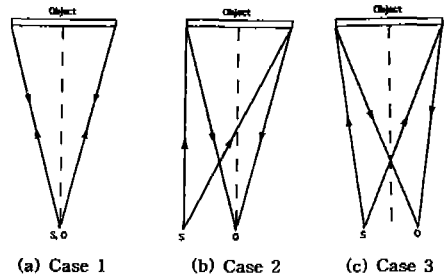


Fig.6 Optical arrangement using diverging beam

Fig.5(a)와 Fig.6(a)는 광원의 위치와 관측점의 위치가 동일한 경우의 광학계를 나타낸다. Fig.5(b)와 Fig.6(b)의 경우에는 관측점과 물체의 중심이 Z 축상에 존재하고 있고 광원의 위치는 실제 구성되는 광학계의 경우에서처럼 관측점의 좌측에 위치시킨 구성이다. Fig.5(c)와 Fig.6(c)는 관측점과 광원의 중간 위치와 물체의 중심을 일치시킨 형태의 광학계를 나타낸다. 본 연구에서는 평판의 경우 시준빔과 발산빔의 조건에 대하여 오차 분포를 계산하였으며 원통면의 경우에는 발산빔에 대해서만 그 결과를 살펴보았다. Fig.7은 본 해석의 대상이 되었던 광학계의 사진으로서 원통형 압력용기의 크기 및 광학계의 제원은 Table 1과 같다⁽⁶⁾.

Table 1 Specification of optical arrangement

Distance	1.2 m
Incident Angle	7°
Object Width	0.3 m

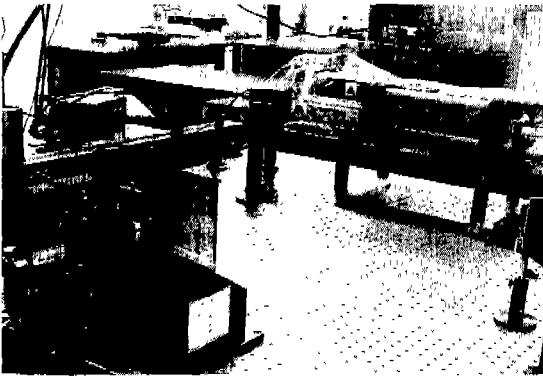
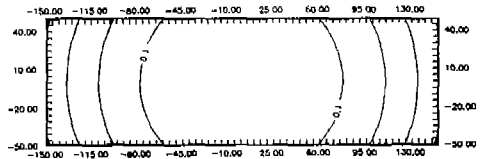


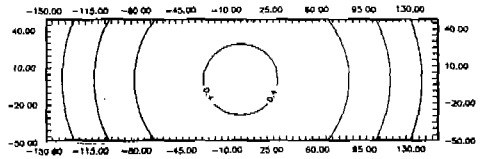
Fig.7 Photograph of optical arrangement

4.결과 및 고찰

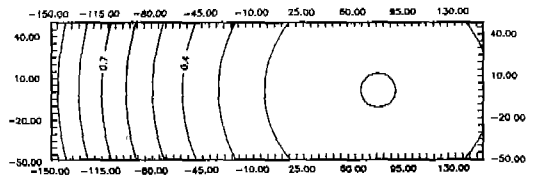
Fig.8(a)는 Fig.5(a)와 같이 구성된 광학계에서 평판을 대상으로 한 오차 분포이다. 그림에서 가로 및 세로의 수치는 시편의 크기를 나타내며 단위는 mm이며 오차분포를 나타내는 등고선은 0.1%간격이다. 시준빔을 사용하더라도 관측점이 제한되어 있으므로 오차는 필연적으로 수반된다. 계산된 모든 조건 중 가장 오차가 적은 결과로서 오차 분포는 좌우가 대칭적이고 최대 오차는 0.37%정도이다. Fig.8(b)는 Fig.5(b)의 광학계에서의 컴퓨터시뮬레이션의 결과이다. 오차의 분포는 대칭적이고 최대 오차는 0.75%정도임을 알 수 있다. Fig.8(c)는 Fig.5(c)의 결과로서 오차 분포는 대칭적이지 않은 형태를 보이고 있고 최대 오차는 좌단에서 0.95%정도이다. Fig.9(a)는 Fig.6(a)의 결과로서 발산빔을 광원으로 사용하고 있으며 오차 분포는 대칭적이고 최대 오차는 0.75%정도이다. Fig.9(b)는 Fig.6(b)의 결과로서 일반적으로 많이 구성되는 광학계이다. 오차 분포는 대칭적이지 않고 최대 오차는 우단에서 1.86%정도이다. Fig.9(c)는 Fig.6(c)와 같은 구성으로 광원과 관측점사이로 물체의 중심을 맞춘 경우의 오차 분포로서 좌우가 대칭적이고 최대 오차는 0.85%정도이다. Fig.10(a),(b),(c)는 Fig.9(a),(b),(c)와 동일한 광학계이지만 측정 대상이 원통면이며,그림에서 가로축의 수치값은 시편의 길이를 나타내고,세로축의 수치값은 시편의 직경을 나타내며,단위는 mm이다. 오차의 분포와 최대 오차는 평면에 대한 결과와 비슷한 정도이며, 평면과의 차이점은 상단과 하단에서 오차의 분포 양상이 다르다는 점이다. 이는 원통면의 기하학적 형상으로 인한 차이임을 알 수 있다.



(a) Case 1 : Fig.5(a)

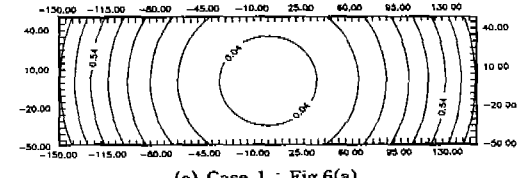


(b) Case 2 : Fig.5(b)

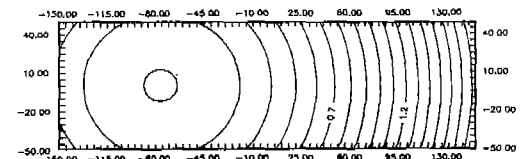


(c) Case 3 : Fig.5(c)

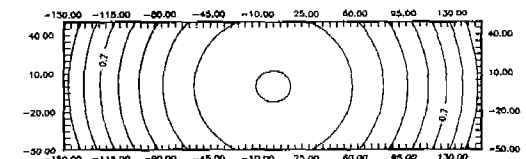
Fig.8 Error distribution contours by computer simulation on plane surface and collimated beam



(a) Case 1 : Fig.6(a)



(b) Case 2 : Fig.6(b)



(c) Case 3 : Fig.6(c)

Fig.9 Error distribution contours by computer simulation on plane surface and diverging beam

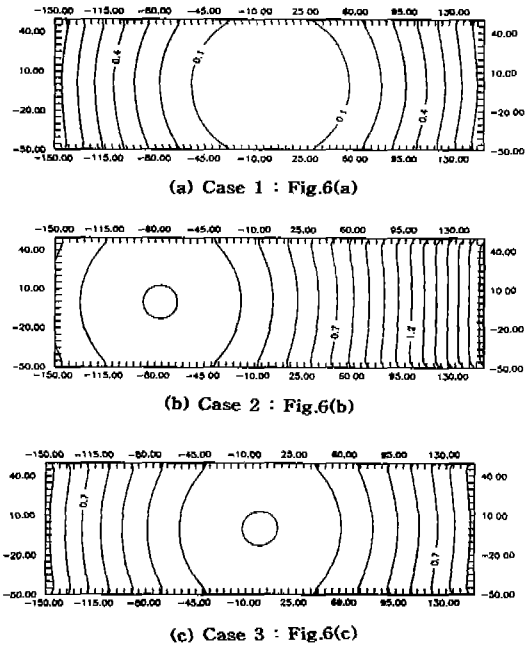


Fig.10 Error distribution contours by computer simulation on cylindrical surface and diverging beam

5. 결 론

본 연구를 통하여 홀로그래피 간섭계가 면외면위를 측정하기 위한 형태로 구성되었을 때 민감도벡터에 의하여 내포하게 되는 오차를 계산하여 보았다. 시준빔을 사용하는 경우는 발산빔을 사용하는 경우보다 오차가 적은 결과를 보였고 실용적으로 구성할 수 있는 Fig.5(b)의 광학계의 경우 최대 오차는 약 0.75% 정도였다. 발산빔을 사용하는 경우는 시준빔을 사용하는 경우보다 더 큰 오차를

지니고 있었으며 일반적으로 구성하는 형태인 Fig.6(b)의 광학계에서는 1.86% 정도의 최대 오차를 보였으며, 이를 보완한 광학계의 형태인 Fig.6(c)의 경우에는 최악의 오차 분포가 이동되어 대칭이 되는 관계로 0.85% 정도의 최대 오차를 보이게 되었다. 따라서 발산빔을 사용하는 정밀한 면외면위측정을 위한 홀로그래피 간섭계 구성시 Fig.6(c)의 형태로 구성하는 것이 오차를 줄여 주는 방법이 될 수 있음을 알 수 있었다. 본 해석의 대상이 되었던 형태의 광학계는 실용상 오차의 보정이 필요 없는 정도의 수준인 1.86% 정도의 최대 오차를 지니는 것으로 판정되었다.

참 고 문 헌

1. R.Jones & C. Wykes, "Holographic and Speckle Interferometry", CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, pp81-90, 1989.
2. W.Schumann, M.Dubas, "Holographic Interferometry", Springer-Verlag, pp77-92, 1979.
3. 홍석경, 백성훈, 조제완, 김철중, "ESPI 입사광의 기하구조에 따른 Sensitivity Vector 분석", 한국광학회지 제5권 제3호, pp.379-385, 1994.
4. F.M.Santoyo, M.C.Shellabear, and J.R.Tyrer, "Whole field in-plane vibration analysis using pulsed phase-stepped ESPI", Applied Optics, 30, pp717-721, 1991.
5. 강영준, 문상준, "홀로그래피 간섭법을 이용한 미소변형 측정법", 한국정밀공학회지 제12권 제9호, pp.52-58, 1995.
6. 강영준, 문상준, "위상이동 실시간 홀로그래피 간섭법을 이용한 파이프의 내부결함 측정법", 한국정밀공학회지, 제13권 제2호, pp.68-75, 1996.