

4f 광학체계에서 진폭변조형6각살창의 결함식별을 위한 빛의 에돌이적결상특성

조전규, 최철규, 리유성

광학적공간려과를 위한 4f광학체계의 구성 및 동작특성은 잘 알려져있다.[1-4] 그러나 진폭변조형6각살창을 공간려과하는 경우에는 그것의 구조적특성으로 인한 프라운호페르에 돌이와 관련하여 전통적인 4f광학체계를 그대로 적용할수 없으며 그 체계를 변화시키거나 일정한 교정을 하지 않으면 안된다.

논문에서는 진폭변조형6각살창에서의 프라운호페르에돌이특성을 조사한데 기초하여 4f광학체계에서 그것의 푸리에스펙트르 및 려과영상의 에돌이적결상특성을 밝혔다.

1. 진폭변조형6각살창에서의 프라운호페르에돌이

진폭변조형6각살창은 통로들이 θ_0 의 각도로 경사져있다. 그러므로 정확한 푸리에스펙트르를 얻자면 물체를 푸리에변환렌즈의 앞초점면에 바로 세워서는 안되며 각 θ_0 만큼 경사지어 설치해야 한다.

일반적으로 1차원평면살창에서 평면빛파동싹을 지나는 빛파동의 행로차는 다음의 식을 만족시키는 에돌이각 φ 의 방향에서 극대가 이루어지게 된다.

$$\Delta = (a_0 + a_1) \sin \varphi = b \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

여기서 b 는 살창상수, a_0 은 싹의 너비, a_1 은 싹사이의 불투명한 부분의 너비이다.

입사파가 수직이 아니라 통로방향으로 입사하는 경우에는 극대조건이 식 (1)로 표시되는데 이때 살창의 공간주기는 입사방향에 수직인 방향으로의 사영값으로 바뀌어지게 된다.

주어진 살창은 통로들이 θ_0 의 각으로 경사지어있는 경사형살창이므로 식 (1)에서 경사각 θ_0 으로 인한 보충적인 행로차를 고려해주어야 한다.

진폭변조형6각살창에서 빛의 에돌이모형은 그림 1과 같다.

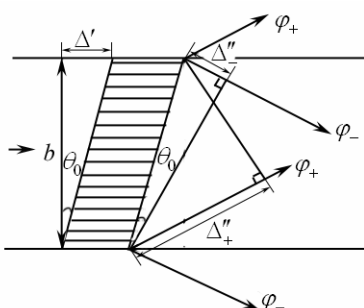


그림 1에서 보는바와 같이 대상물의 통로방향으로 평면빛파동이 입사하는 경우 입사방향을 기준으로 할 때 $+\varphi$ 방향으로의 에돌이에 대하여 극대조건은

$$\Delta_+ = \Delta''_+ - \Delta' = b \sin(\theta_0 + \varphi_+) - b \sin \theta_0 = +k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

이고 $-\varphi$ 방향으로의 에돌이에 대해서는

$$\Delta_- = \Delta''_- + \Delta' = b \sin(\varphi_- - \theta_0) + b \sin \theta_0 = -k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (3)$$

그림 1. 진폭변조형6각살창에서 빛의 에돌이모형

로 된다.

$\varphi_- = -\varphi_+$ 로 부호규칙을 약속하면 식 (2), (3)은 같은 형식을 취하게 된다.

결국 에돌이의 극대, 극소조건은 일반적으로

$$b \sin(\theta_0 + \varphi) - b \sin \theta_0 = \pm k\lambda, \quad (4)$$

$$b \sin(\theta_0 + \varphi) - b \sin \theta_0 = \pm(2k+1) \cdot \lambda/2. \quad (5)$$

φ 가 작은 조건에서는

$$b \cos \frac{2\theta_0 + \varphi}{2} \sin \varphi = \pm k\lambda, \quad (6)$$

$$b \cos \frac{2\theta_0 + \varphi}{2} \sin \varphi = \pm(2k+1) \frac{\lambda}{2}. \quad (7)$$

식 (6), (7)을 식 (1)과 비교하여보면 진폭변조형 6각살창에서는 공간주기가 b 가 아니라

$$b' = b \cos \frac{2\theta_0 + \varphi}{2} = b \cos \left(\theta_0 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (8)$$

로 줄어드는 효과가 나타난다.

2. 진폭변조형 6각살창에 의한 푸리에스펙트럼과 러파영상의 결상특성

진폭변조형 6각살창에 대하여 새롭게 결정한 에돌이의 극대, 극소조건식 (4), (5)에 기초하여 푸리에스펙트럼과 러파영상의 결상특성을 보기로 하자.

주어진 대상물의 공간러파광학계에서 진폭변조형 6각살창의 결상과정은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보느냐와 같이 진폭변조형 6각살창의 푸리에스펙트럼은 푸리에변환렌즈의 초점면에 정확히 놓이게 되며 러파영상은 거울푸리에변환렌즈의 초점면에 대하여 일정한 각 θ'_0 로 경사지어 형성되게 된다.

러파영상면에서 경사각 θ'_0 는 통로의 경사각 θ_0 과

$$\tan \theta'_0 = \frac{f_2}{f_1} \tan \theta_0 \quad (9)$$

의 관계에 있으며 주어진 대상물의 경우에는

푸리에변환렌즈의 초점거리의 비 f_2/f_1 가 커질수록 커지게 된다.

입구물체가 경사형살창구조를 이루고있는것으로 하여 러파영상의 x 및 y 방향에 따르는 배율은 같지 않게 된다. ($\beta_x \neq \beta_y$)

그림 2로부터 x, y 축방향에 대한 배율은

$$\beta_x = \frac{\sqrt{h'^2 + z'^2}}{\sqrt{h^2 + z^2}}, \quad (10)$$

$$\beta_y = \frac{f_2}{f_1}. \quad (11)$$

식 (9)를 고려하면

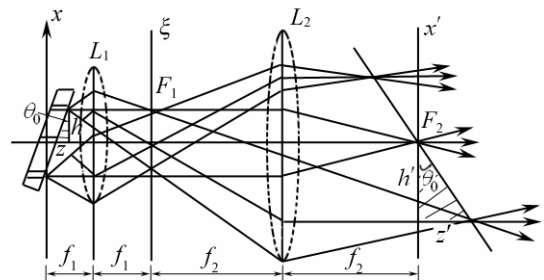


그림 2. 공간러파광학계에서 진폭변조형 6각살창의 결상과정

$$\beta_x = \beta_y \sqrt{\beta_y^2 \sin^2 \theta_0 + \cos^2 \theta_0} . \quad (12)$$

즉 β_x 는 통로경사각 θ_0 에 의하여 약간의 변화를 받게 된다.

그러나 초점거리가 같은 두 변환렌즈로 4f광학체계를 구성하면 $\beta_y = 1$, $\beta_x = \beta_y$ 로 된다.

이로부터 진폭변조형6각살창의 공간려파를 위한 4f광학체계는 그림 3과 같다.

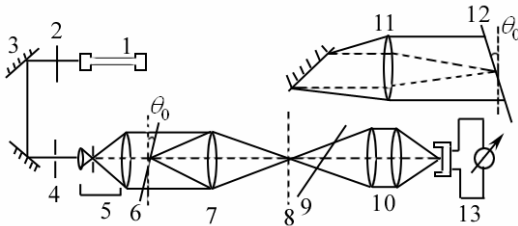


그림 3. 진폭변조형6각살창의 공간려파를 위한 4f광학체계

- 1-He-Ne레이자($P=2mW$), 2-빔여단개,
3-반사거울, 4-바늘구멍공간려파기,
5-시준광학계, 6-물체면, 7-푸리에변환렌즈,
8-푸리에스펙트르면, 9-반투명거울,
10-집광렌즈계, 11-거울푸리에변환렌즈,
12-려파영상면, 13-빔접수 및 검출체계

4f광학체계에서 공간간섭성이 좋은 시준평면파로 진폭투과도가 $A(x, y)$ 인 진폭변조형6각살창을 비쳐주면 첫번째 푸리에변환렌즈 7에 의하여 푸리에스펙트르면 8에는

$$U(\xi, \eta) = C_1 \iint A(x, y) \exp[-ik(x\xi + y\eta)/f_1] dx dy = C_1 \tilde{A}(\xi/(\lambda f_1), \eta/(\lambda f_2)) \quad (13)$$

와 같은 푸리에스펙트르가 나타난다.

여기서 C_1 은 상수이며 \sim 은 푸리에변환을 표시한다.

공간려파기의 려파함수를 $F(\xi, \eta)$ 로 표시하면 려파기뒤에서의 복소수진폭분포는

$$U'(\xi, \eta) = U(\xi, \eta) \cdot F(\xi, \eta) = C_1 \tilde{A}(\xi/(\lambda f_1), \eta/(\lambda f_2)) \cdot F(\xi, \eta) \quad (14)$$

로 되고 두번째 변환렌즈에 의하여 얻어지는 영상분포는

$$\Psi(x', y') = C_1 C_2 \iint \tilde{A}(\xi/(\lambda f_1), \eta/(\lambda f_2)) \cdot F(\xi, \eta) \exp[ik(x'\xi + y'\eta)/f_2] d\xi d\eta = C_1 C_2 A(x'f_2/f_1, y'f_2/f_1) \cdot F(x'/(\lambda f_2), y'/(\lambda f_2)). \quad (15)$$

결과 려파영상면에서의 세기분포는

$$I(x', y') = \Psi(x', y') \cdot \Psi^*(x', y'). \quad (16)$$

진폭변조형6각살창의 경우에 대상물은 잡음 $n(x, y)$ 와 그속에 잠겨있는 신호 $S(x, y)$ 로 되어있다고 볼수 있다. 이때 잡음 $n(x, y)$ 는 대상물의 규칙적인 분포에 해당되며 신호 $S(x, y)$ 는 그로부터 리탈된 불규칙적인 결함에 해당된다.

이러한 대상물의 특성을 고려하여 대상물의 규칙적인 분포에 해당하는 푸리에스펙트르를 음화기록하여 얻어지는 $1 - |A(x, y)|^2$ 의 투과도를 가지는 진폭려파기 혹은 2진공간려파기를 설치함으로써 대상물의 푸리에스펙트르를 조종할수 있다.

4f광학체계에서 변환렌즈를 초점거리가 각각 $f_1=100mm$, $f_2=400mm$ 인 정렌즈로 하면 려파영상면에는 려파영상이 $\beta = f_2/f_1 = 4$ 배로 확대되어 나타나게 된다.(그림 4)

그림 4에서 보는바와 같이 려파영상에서는 결함부분이 검은 배경우에 밝은 부분으로 명확히 식별되었다.

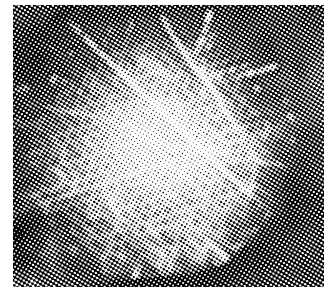


그림 4. 공간려파된 영상의 실례

맺 는 말

진폭변조형6각살창을 공간러파하는 경우 프라운호페르에돌이의 보다 정확한 에돌이극대, 극소조건식을 유도하였다. 그리고 푸리에스펙트르와 러파영상이 형성되는 면을 정확히 결정하기 위한 문제를 해결하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Goodman; Introduction to Fourier Optics, Stanford University, 98~120, 2005.
- [2] E. Cuhe et al.; Applied Optics, 42, 11, 1938, 2003.
- [3] A. Migukin et al.; Applied Optics, 52, 2, 269, 2013.
- [4] R. R. Willey; Applied Optics, 46, 8, 1201, 2007.

주체106(2017)년 3월 5일 원고접수

Diffraction Image Formation Characteristics of Light for Defect Discrimination of Amplitude Modulation Type Hexagonal Grating in 4f Optical System

Jo Chon Gyu, Choe Chol Gyu and Ri Yu Song

We have found more accurate diffraction maximum and minimum conditions of Fraunhofer diffraction for sensibility raising in case of spatial filtering of amplitude modulation type hexagonal grating. And we have solved the problem to correctly decide the surface where the Fourier spectrum and filtered image form.

Key words: amplitude modulation type hexagonal grating, 4f optical system