

# 슬릿 내부 반사를 이용한 광학식 인코더의 광경로 해석

권용민\*, 권현규\*<sup>#</sup>, 박창용\*

\*국립금오공과대학교 기계시스템공학과

## Optical Path Analysis for the Optical Encoder using Slit Internal Reflection

Yong-Min Kweon\*, Hyun-Kyu Kweon\*<sup>#</sup>, Chang-Yong Park\*

\*School of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received 9 August 2017; received in revised form 17 August 2017; accepted 7 September 2017)

### ABSTRACT

This paper introduces an optical encoder using the reflection in the slit. The digital optical encoder is a sensor to generate a pulse according to the displacement. An optical encoder is composed of 3 parts: light source, slit plate and light-receiving element. In a conventional encoder, one slit produces one signal. The resolution of the digital optical encoder is determined by the number of slits in the encoder plate. The small slit size is most important among the factors that determine the resolution in a generic-type optical encoder. However, a small slit has low productivity and technical difficulties, so analog optical encoders have emerged as an alternative. Nonetheless, this alternative requires additional circuitry and equipment because of the noise and drafts in the analog signals. A new sensor is presented in this paper with a high resolution and a slit of the same size using the reflection in the slit. Then, the path of the light that passes through the slit according to the shape was analyzed, and some paths were expressed in the mathematical expressions. In addition, the optical paths were analyzed in the rectangular, octagonal, and circular encoders, and shown the obtained number of signals per slit by using them. Thus, we confirm that this method has the best performance in circle-shaped slits.

**Key Words** : Optical Encoder(광학식 인코더), Displacement Sensor(변위 센서), High-precision Resolution (고분해능), Digital Output(디지털 출력)

### 1. 서 론

위치를 검출하는 센서 중 광학식 인코더는 빛을 이용하여 변위에 따른 펄스를 출력하는 센서로, 오염될 여지가 없는 환경에서 주로 사용된다. 광학식 인코더는 높은 신뢰성과 저렴한 가격을 특징으로 한다. 회전 변위를 측정하는 인코더의 성능을 나타

내는 용어로는 PPR(Pulse Per Rotation)이 많이 사용되는데, PPR은 단위 길이당 슬릿의 개수에 비례한다. 그렇기에 높은 PPR을 얻기 위해서는 슬릿을 매우 작게 제작하여 슬릿의 수를 늘려야만 한다. 그러나, 제작의 어려움과 광학적 간섭효과에 의하여 이러한 방법은 한계에 도달하였다. 이에 대한 대안으로 일정각도를 회전할 때 수광소자에 입사되는 광량을 측정하고 이를 보간하여 사용하는 아날로그 광학식 인코더가 나타나게 되었다<sup>[1]</sup>. 이러한 아날로그 인코더는 ADC의 성능에 따라서 높은 분해능을

# Corresponding Author : hkkweon@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7347, Fax: +82-54-478-7319

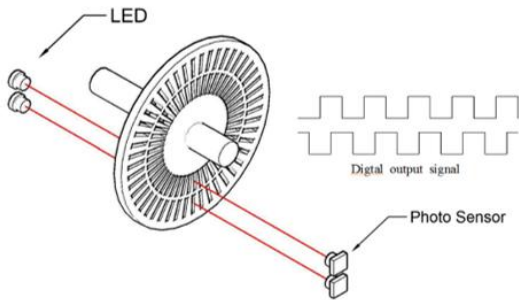


Fig. 1 Schematic of rotary optical encoder

가질 수 있지만, 아날로그 신호출력 신호에서 높은 노이즈와 드래프트가 발생하여, 필터링과 캘리브레이션 등의 후 처리가 필요하다.

본 논문의 광학식 인코더는 빛의 특성 중 하나인 반사를 이용하여 슬릿 내부에서 빛을 반사시켜 다수의 광경로를 갖게 하여, 높은 분해능을 얻을 수 있는 새로운 형태의 광학식 인코더를 제시한다. 기존의 광학식 인코더는 하나의 발광소자에서 발생한 빛이 하나의 광경로를 가지는 것에 반해, 본 연구에서 제안되는 광학식 인코더는 다수의 광경로를 갖는 구조를 갖는다. 또한 이러한 반사를 이용한 광학식 인코더를 설계하기 위한 슬릿 형상에 따른 광경로 해석도 수행하였다. 본 연구를 통하여 향상된 성능을 가진 광학식 인코더의 개발이 가능할 것이라 예상된다.

## 2. 광학식 인코더의 원리

광학식 인코더는 측정하는 방향이 직선 또는 회전에 따라 리니어 인코더와 로터리 인코더로 분류되고, 위치값을 출력하는 절대 위치 인코더와 일정 변위가 발생했을 때 펄스를 출력하는 증분형 인코더로 분류된다.

Fig. 1의 일정 변위마다 따라 신호를 출력하는 증분형 디지털 로터리 인코더이다. 인코더의 내부구조는 크게 광원, 수광부, 인코더 플레이트로 이루어진다. 인코더 플레이트상에는 일정한 간격으로 슬릿을 새긴 트랙을 갖고 있으며, 측정대상 축에 고정된다. 광원과 수광부는 광원에서 발생한 빛이 수

광부에 입사 될 수 있도록 서로 마주보도록 배치된다. 측정대상 축이 회전함에 따라 인코더 플레이트도 회전하게 되면서, 광원에서 발생한 빛이 슬릿 부분에서는 통과하여 수광부에 입사되고, 다른 부분에서는 막혀 수광부에 입사되지 못한다. 이러한 빛의 유무를 신호로 발생시켜 변위량을 측정하게 된다. 트랙열이 하나인 광학식 인코더의 경우 측정대상의 회전방향을 알기가 어려우며, 열을 복수로 만들거나, 수광부 신호간의 위상차가 90°의 차이가 있도록 광원과 수광부를 하나씩 더 배치하여 하여 회전 방향검출을 가능하게 한다.

이러한 기존 방식의 광학식 인코더의 경우 총 슬릿의 개수에 따라서 PPR이 결정되기에, 높은 PPR을 얻기 위해서는 작은 슬릿을 조밀하게 배치시켜야 한다. 하지만 이러한 미세가공은 어려울 뿐만 아니라 빛의 회절에 의한 간섭이 발생하여 설계의 어려움이 발생한다.

## 3. 슬릿 내부의 반사를 이용한 설계

Fig. 2에 사각형태의 슬릿 내부에서의 반사를 이용한 설계의 개념을 나타내었다. 슬릿의 내부를 반사물질로 코팅하고, 빛을 슬릿의 이동방향으로 일정한 각도 입사시키면, 슬릿의 위치에 따라 빛이 진행되는 광경로가 Fig. 2와 같이 벽면에 반사되거나 슬릿을 통과하는 두 개의 광경로를 가지게 된다.

Fig. 3과 같이 슬릿의 두께와 간격, 그리고 빛의 두께를 조절하게 되면 각각 수광소자의 출력신호가 90°의 위상각을 갖게 되어 기존에 열을 복수로 배치하거나, 광원과 수광부를 추가하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

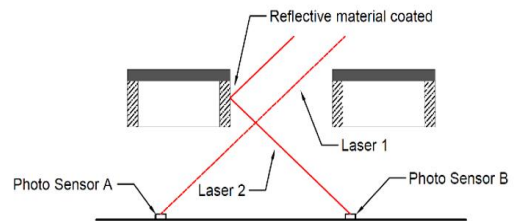


Fig. 2 Schematic of the light reflection in the slit

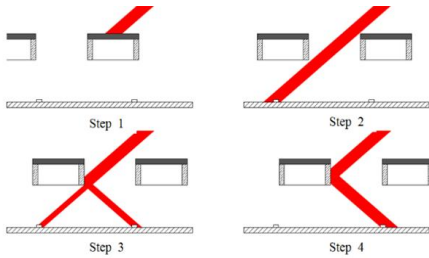


Fig. 4 Reflection in the slit according relative position

이렇게 슬릿 내부에서 입사하는 빛을 반사시키는 것으로 원래 하나의 광경로를 다수의 광경로로 갖도록 하여 기존에 하나의 신호를 발생시키던 것을 다수의 신호를 발생 시킬 수 있다. 이러한 광경로는 슬릿의 형상에 따라 달라지고, 광경로의 수도 변화하기에 설계를 위해서는 형상에 따른 광경로의 해석이 필요하다. 이후의 장에서는 이러한 광경로에 대한 해석에 대하여 기술한다.

#### 4. 슬릿의 형상에 따른 광경로 해석

##### 4.1 사각형태의 슬릿과 광경로 해석

Fig. 4에 사각형상의 슬릿을 갖는 인코더의 개념도를 나타내었다. 슬릿을 통과한 빛이 위치가 다른 두 개의 수광소자에 입사하는 것을 볼 수 있다.

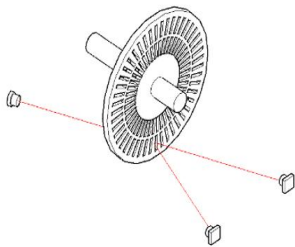


Fig. 4 Schematic of optical encoder having rectangular-shaped slit

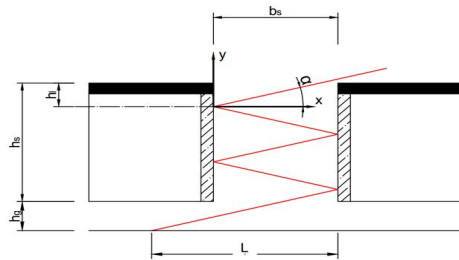


Fig. 5 Parameter of the optical path in the rectangular-shaped slit

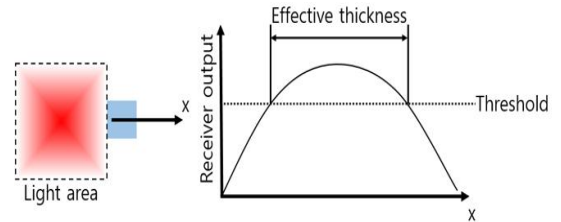


Fig. 6 Effective thickness of the light

Table 1 Parameter of rectangular-shaped slit

Variable symbol	Variable description
$h_s$	Thickness of slit
$h_g$	Distance between slit and ground
$h_l$	Distance of the point where the laser enters at the upper end of the slit
$\alpha$	Incidence angle of light
$L_s$	Distance in x direction from the last reflection position to the light receiving point
$b_s$	Distance between reflective surfaces
$W_l$	Effective thickness of incident light

Fig. 5와 Table 1에 사각 슬릿에서 광경로 해석을 위한 값들에 나타내었다. 여기서,  $W_l$ 은 빛의 유효 두께를 나타낸 것이다. 광원에서 발생한 빛이 수광소자에 입사할 때, 광량이 특정값 이상일 때 출력 신호를 발생시키게 된다. 이렇게 수광소자에 신호를 출력시키는 빛의 두께를 유효두께라 하고 이에 대한 내용을 Fig. 6에 나타내었다.

$$n = \frac{h_s - h_l}{b_s \tan \alpha} + 1 \quad (1)$$

$$n_r = \lfloor n \rfloor \quad (2)$$

식 (1) 은 슬릿 내부에 입사한 빛이 내부에서 일어나는 반사의 횟수를 구한 식이다. 그러나, 이 수식의 값은 소수점 값을 포함하고 있기 때문에 실제 반사 횟수는 소수점 밑을 버린 식 (2) 가 된다.

$$x = \frac{h_g + (n - n_r)b_s}{\tan \alpha} \quad (\text{When } n_r \text{ is odd}) \quad (3)$$

$$x = b_s - \frac{h_g + (n - n_r)b_s}{\tan \alpha} \quad (\text{When } n_r \text{ is even}) \quad (4)$$

$$y = h_s - h_l + h_g \quad (5)$$

빛이 최초로 반사되는 지점을 원점으로 하고, Fig. 5 나타낸 방향으로 좌표축을 설정하면, 수광소자가 존재하는 수광면에 빛이 도달하는 위치는 식 (3) ~ (5) 에 나타낸 식을 따른다.

사각형태의 슬릿을 사용하는 경우는 하나의 트랙으로 복열 구조트랙에서의 신호를 생성하는 것에 목적이 있는데, 이를 위해서는 빛의 두께와 슬릿의 크기, 입사각이 일정한 관계를 갖도록 설정해야 한다.

$$h_s = n_{\max} \frac{W_l}{\cos \alpha} \quad (6)$$

$$b_s = \frac{2W_l}{\sin \alpha} \quad (7)$$

이러한 관계에 대한 식은 (6) ~ (7)에 나타내었다. 식(6)에서의  $n_{\max}$  은 슬릿내부에서 발생하는 최대 반사 횟수를 의미한다.

사각슬릿의 경우 변위가  $2b_s$  발생하는 동안 2개의 신호를 발생시킨다.

## 4.2 팔각형태의 슬릿과 광경로 해석

Fig. 7에 팔각 슬릿을 가지는 경우의 개략도를 나타내었다. Fig. 8 은 인코더 플레이트 상의 팔각슬릿과 슬릿 내부에서 빛의 반사에 대해서 나타낸 것이다. 이와 같이 슬릿을 통과한 빛이 세 가지의 광경로를 갖기 위해서는 두 가지의 조건이 필요하다. 첫째는 내부의 빔면에서 반사를 시작하는 빛이 슬릿 내부에서 같은 홀수 번 반사 되어야 한다는 것, 두 번째는 입사하는 빛이 슬릿의 반경 방향에서 입사하여야 한다는 것이다. 하지만 빛이 슬릿의 반경 방향에서 입사하는 경우, 슬릿이 아닌 구간을 지날 때는 하나의 광원에 대응 되는 세계의 수광부 모두에 빛이 도달하지 않는다. 이러한 문제는 첫째는 팔각슬릿 간의 간격을 팔각슬릿 6분의 1로 하는 방법과, 광원을 추가하여 하나의 광원에서의 빛이 슬릿구간에서 벗어 날 때 다른 광원에서의 빛이 슬릿구간에 입사하도록 배치하는 것으로 해결이 가능하다.

Table 2 Parameter of octagonal-shaped slit

Symbol	Variable description
$h_s$	Thickness of slit
$\alpha$	Incidence angle of light
$T$	The x direction length of each reflecting surface
$b$	The y-direction length of the non-reflecting surface
$W_l$	Effective thickness of incident light
$n_r$	Number of reflections of light

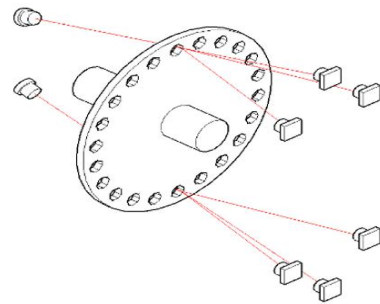


Fig. 7 Schematic of optical encoder having octagonal-shaped slit

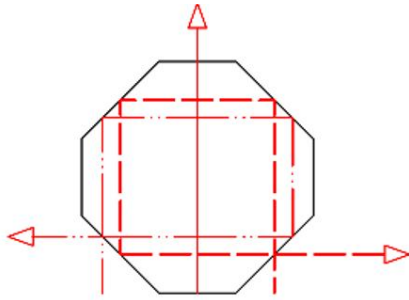


Fig. 8 Schematic of reflection in the octagonal-shaped slit

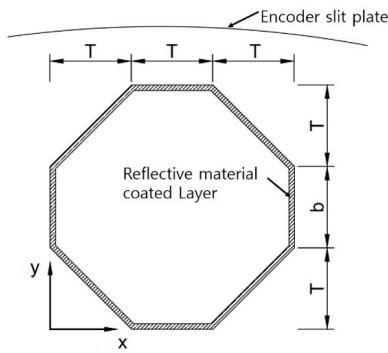


Fig. 9 Parameter of the optical path in the octagonal-shaped slit

Fig. 9에 팔각슬릿의 치수 파라미터 나타내었고, Table 2은 팔각슬릿에서의 광 경로 해석에서 사용하는 변수들에 대해 나타낸 것이다. 팔각슬릿에 일정변위에 따라 펄스가 생성되게 하기 위해서는 Fig. 9에 나타낸 것처럼 각 반사면의 x방향 길이를 같게 하고, 입사하는 빛의 두께를 0.5T, 1.5T, 2.5T 중 하나로 하여야 한다. 만약 광원을 다수의 광원을 사용하여 슬릿 간의 간격을 크게 하였다면, 3.5T, 4.5T의 두께를 사용하여도 될 것이다.

$$\left[ (3n_r - 2)T + \frac{n_r - 1}{2}b \right] \tan \alpha + \frac{T}{2\sin \alpha} \leq \quad (8)$$

$$h_s < \left[ (3n_r - 2)T + \frac{n_r - 1}{2}b \right] \tan \alpha - \frac{T}{2\sin \alpha}$$

$$T \tan \alpha - \frac{W_l}{\sin \alpha} \quad (9)$$

식 (8)은 반사수와 반사면 길이 T를 결정하였을 때 인코더 플레이트의 두께의 범위를 나타내고, 식 (9)는 식 (8)을 이용하여 나타낸  $h_s$ 의 허용범위의 크기이다. 이 식 (9)의 값은 0보다 큰 값을 가져야 함으로  $W_l$  값에 따라 최소 입사각 조건인  $\alpha_{\min}$ 을 구할 수 있다

Table 3은 빛의 두께를 0.5T로 하였을 경우에 슬릿이 이동할 때 빛이 입사되는 센서에서 신호 출력 여부 상태를 나타낸 것이다. 표에서 [1]은 빛이 수광소자에 입사되어, 그 광량이 수광자의 최소반응량을 넘어 신호가 발생하는 경우이고, [0]은 수광소자에 입사한 빛이 최소반응량을 넘지 못하여 신호가 생성되지 않는 것을 나타낸다. Step 1~6 구간은 빛이 슬릿을 통과하고 있는 상태에서 광경로가 변하면서 수광소자에 입사되는 빛의 상태가 변화하는 것을 나타낸다. Step 7구간은 빛이 비 슬릿구간에 입사하여 그 어떠한 센서에도 빛이 입사되지 않는 상태를 나타낸다. 팔각 슬릿에서는 슬릿구간에서는 6개, 비 슬릿구간에서는 1개를 나타내어 총 7의 Step를 갖게 된다. 슬릿간의 간격은 0.5T로 규정하였으니 변위 3.5T가 발생할 때 인코더는 이를 7개로 나눌 수 있게 된다. 하지만 Fig. 7에 나타낸 것과 같이 두 개의 광원을 사용하고, 각각의 광원은 세 개의 수광소자를 수반하고, 하나의 광원에서 발생한 빛이 슬릿구간에서 벗어날 때 다른 하나의 광원에서 발생한 빛이 슬릿에 입사되도록 배치한다면, 각 수광소자의 출력 상태는 Table 4를 따르게 된다. 이 경우 변위 6T가 발생하는 경우 6개의 신호가 발생 할 것을 예측 할 수 있다. 이를 통하여 광원을 두개 배치하는 것과 슬릿간의 간격을 조절하는 것이 같은 분해능을 가짐을 알 수 있고, 실제

Table 3 Photo sensor truth table in case of one light

Step	0	1	2	3	4	5	6	7
Sensor 1 state	1	1	0	0	0	0	0	0
Sensor 2 state	0	1	1	1	0	0	0	0
Sensor 3 state	0	0	0	1	1	1	0	0

**Table 4 Photo sensor truth table in case of two light**

Step	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12=0
Sensor 1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Sensor 2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sensor 3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Sensor 4	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Sensor 5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Sensor 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

설계시에는 다양한 조건들을 분석하여 설계에 적용하여야 할 것이다.

### 4.3 원 형태의 슬릿과 광경로 해석

위에서 설명한 사각슬릿과 팔각슬릿결과에서, 내부의 형상이 더 많은 면을 갖고 있을 때 더 많은 광경로를 갖게 되고, 이를 이용하면 더 높은 분해능을 갖는 광학식 인코더를 설계 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 더 많은 면을 가질수록 내부의 광경로 해석이 어렵고, 슬릿을 가공하는 것에 어려움이 존재한다. 하지만 원의 형상은 무한개의 반사면을 갖고 가공 또한 매우 쉽다. 원슬릿은 무한개의 광경로를 갖기 때문에 광경로를 해석하고 이를 이용하면 사각과 팔각의 형태의 슬릿 보다 더 높은 분해능을 얻을 수 있다. 이러한 원형태의 슬릿을 가지는 인코더 플레이트의 개념을 Fig. 10에 나타내었다. 이 또한 팔각슬릿과 같이 슬릿 구간과 아닌 구간에서의 센서 출력이 상이하다는 문제가 있기에 팔각슬릿과 같이 두개의 광원을 사용하거나, 슬릿간의 간격을 조정할 필요가 있다. 원형슬릿 내부를 통과하는 빛의 광경로는 무한하기에 이들을 위와 같이 해석적으로 하기에는 어려움이 따른다. 그렇기에 본 논문에서는 슬릿을 통과하는 빛의 진행 방향을 수학적으로 표현하여 이를 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

원 형태 슬릿 내부에서의 광경로를 계산하기 위한 치수 변수를 Fig.11에 나타내었다. 원형 슬릿내부를 통과한 빛이 수많은 광경로를 갖는 이유는, 입사지점에 따라서 입사각 변하고, 원형 슬릿 내부에서 반사되는 반사각이 변하기 때문이다. 슬릿이 완벽한 원형이라는 것을 가정한다면, 슬릿 내부에 입사

된 빛이 각 반사점에서 반사될 때 각 접면과 갖는 각도는 동일하다. 이를 이용하여 한 반사지점에서 다음 반사지점까지 도달하기 위해서 빛이 이동해야 하는 XY평면상의 거리를 구할 수 있고, 이와 각을 이용하여 Z방향으로 이동하는 거리 또한 도출이 가능하다.

$$n = \frac{h_s - r \sin\theta \tan\alpha}{2r \sin\theta \tan\alpha} + 1 \quad (10)$$

$$n_r = \lfloor n \rfloor \quad (11)$$

이들의 조합하여 빛이 반사하는 횟수를 수학적으로 나타낼 수 있는데 이를 (10)에 나타내었다. 이 또한 사각 슬릿의 반사수와 같이 소수점을 포함하고 있기에 수소점 미만 값을 (11)을 정리하여 결정한다.

**Table 5 Parameter of circle-shaped slit**

Variable symbol	Variable description
$h_s$	Thickness of slit
$h_g$	Distance between slit and ground
$h_l$	Distance of the point where the laser enters at the upper end of the slit
$\alpha$	Incidence angle of light
$(x, y)$	Coordinates of the point at which light enters the slit in the xy plane
$(X_1, Y_1)$	Coordinates of the point where the light is incident on the light receiving surface
$r$	Radius of slit
$n_r$	Number of reflections of light
$L_s$	Distance on the xy plane from the last reflection position to the light receiving point

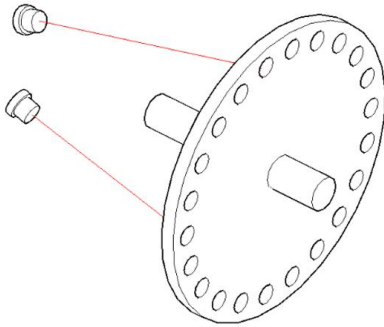


Fig. 10 Schematic of optical encoder having circle-shaped slit

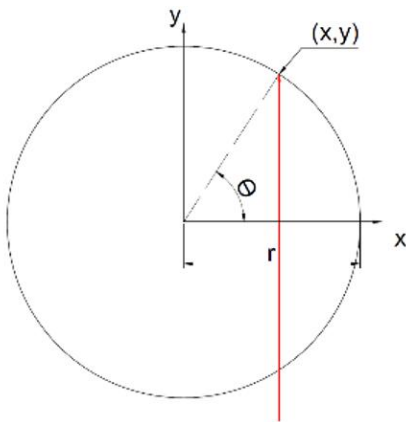


Fig. 11 Parameter of the optical path in the circle-shaped slit

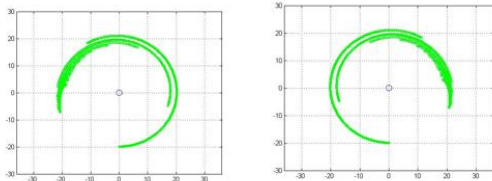


Fig. 12 Simulation of optical path in the circle-shaped slit

슬릿내부에 빛이 입사하는 최초 지점을 아는 경우, 각각의 반사지점에서의 반사각을 알 수 있고, 이를 통하여 총 반사 횟수를 알 수 있다. 이를 통

하여 슬릿내부에서 마지막으로 반사되는 지점과 이때의 방향을 구할 수 있고, 슬릿과 수광면간의 Z방향 거리  $h_l$ 을 이용하여 수광면에서 빛이 도달하는 지점좌표  $(X_1, Y_1)$ 를 구할 수 있다.

$$L = \frac{h_s - 2r(n - n_r) \sin \theta \tan \alpha}{2r \sin \theta \tan \alpha} \quad (12)$$

$$x = r \cos [(2n_r - 1)\theta] + L \cos [2n_r \theta] \quad (13)$$

$$y = r \cos [(2n_r - 1)\theta] + L \cos [2n_r \theta] \quad (14)$$

이를 구하기 위한 식을 (12)-(14)에 나타내었다. 식 (13), (14)을 이용하여 Matlab을 통한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 결과를 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12(a)는 레이저의 입사지점  $x$ 가  $[r, 0]$ 인 구간에서, Fig. 12(b)는  $[0, -r]$  구간에서 수광 면상에 나타나는 광경로의 자취를 나타내었다. 이 결과로부터, 빛이 입사가 시작시점과 입사가 최종점에서 슬릿에 통과한 빛이 일정영역에 집중되고, 이후부터는 나선형으로 빛이 수광하는 것을 볼 수 있다. 또한 나선형으로 진행되는 동안 빛의 입사지점이 연속적으로 나타나지 않고, 다른 곳으로 점프하는 것을 확인할 수 있는데, 이러한 것은 반사횟수가 변하는 지점을 통과하여 발생하는 것으로 예상된다. 원형슬릿의 경우, 슬릿을 통과한 빛이 수광면에 나타내는 자취선상에 빛을 감지하는 수광소자를 2개를 배치하면, 사각슬릿과 같은 출력을 나타내고, 3개를 배치하면 팔각슬릿과 같은 출력을 나타낸다. 이러한 원형슬릿과 다수의 수광소자를 배치함으로써 같은 슬릿의 수를 가지는 광학식 인코더와 비교하여 매우 뛰어난 분해능을 가지는 디지털 광학식 인코더에 제작이 가능 할 것으로 판단된다.

### 5. 원형 슬릿의 광경로 시뮬레이션

Fig. 13 ~ 15는 4.3절에서 유도한 광경로의 수학적 표현을 이용하여 슬릿의 반경, 슬릿의 두께, 입사하는 빛의 각도를 조정하여 나타낸 그림이다. Fig. 13을 보면 슬릿의 반경이 작을수록 빛이 넓게 퍼지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 14는 슬릿의 두께를 변화시켜마 시뮬레이션한 결과인데, 슬릿내부에서의

반사의 횡수가 증가함에 따라서 빛의 반향이 변화고, 빛이 넓게 퍼지는 것을 확인 할 수 있다. Fig.15는 입사하는 빛의 각도에 따른 자취를 나타내는데, 입사각이 작을수록 자취가 더 넓게 퍼지는 것을 확인 할 수 있다.

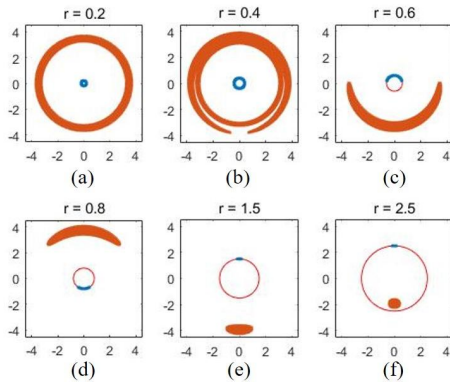


Fig. 13 Optical traces for slit radius

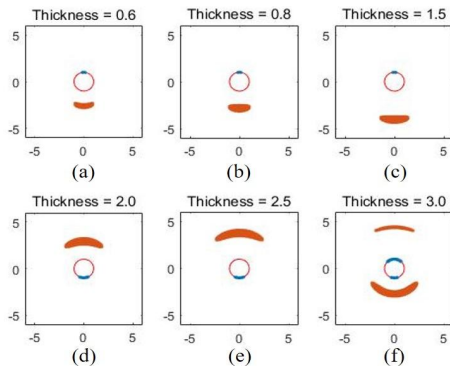


Fig. 14 Optical trace for slit thickness

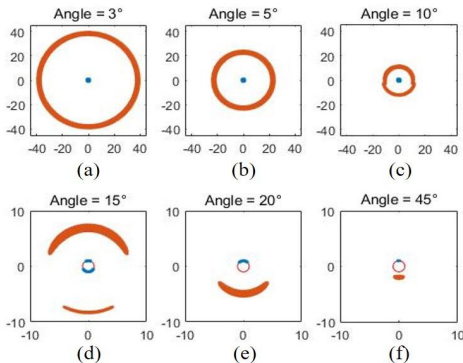


Fig. 15 Optical trace for incident angle

## 6. 결론

본 논문에서는 슬릿 내에서 반사를 이용한 광학식 인코더의 개념을 제시하였고 다음과 같은 결론을 내었다.

1. 제시된 광학식 인코더는 빛이 슬릿 내부를 통과하면서 다수의 광경로를 가져 하나의 슬릿으로 다수의 슬릿을 가진 것과 같은 효과를 구현할 수 있음을 확인하였다.

2. 슬릿의 형상에 따라서 슬릿 내부에서 다수의 광경로를 가질 수 있는 조건들에 대해 고찰하였고, 조건식으로 유도하여 나타내었다. 또한, 광경로에 대한 해석은 사각, 팔각, 원 형태의 슬릿에서 해석을 수행하였고 원형태의 슬릿의 경우 Matlab을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 다수의 시뮬레이션을 통하여 슬릿의 크기, 두께, 빛의 입사각도와 입사면에서의 광 자취에 대한 관계를 확인하였다.

4. 기존의 광학식 인코더는 하나의 슬릿을 이용할 때 하나의 신호를 발생시키는 것과는 달리, 반사를 이용한 다양한 출력을 얻을 수 있음을 확인하였으며, 특히, 원형슬릿의 경우 수광소자의 배치수에 따라서 그 신호의 수와 분해능이 결정됨을 확인하였다.

## 후기

본 연구는 금오공과대학교 교내학술연구비 지원으로 수행된 연구임.

## REFERENCES

1. Kim, M. H., Kim, J. M., Kim, C. U., "A Study on Precision Position Measurement Method for Analog Quadrature Encoder." Korean Institute of Power Electronics, Vol. 9, No. 5, pp. 485-490, 2004.
2. Song, H. S., Park, S. J., Ahn, J. W., "A Novel Optical Analog Encoder for Precise Angle



- Control of SRM,” Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2003, No. 4, pp. 16-18, 2003.
3. Hong, J. P., Son, J. K., Won, T. H., Kwon, S. J., Hong, S. I., Kim, J. D., “A Study on precision encoder design using diffraction grating.” Korean Institute of Power Electronics, Vol. 2004, pp. 878-882, 2004.
4. Hong, J. P., Park, S. J., Kwon, S. J., “A novel encoder of digital and analog hybrid type for servo control with high-precision resolution.” Korean Institute of Power Electronics, Vol. 8, No. 6, pp. 512-518, 2003.
5. Hwang, J. H., “Implementation of a Sinusoidal Encoder for manual to Electric Convertible Wheelchair” A Thesis for a Doctorate, Graduate School of Soongsil University, Department of Electrical Engineering, Republic of Korea, pp. 34-41, 2013.
6. Song, J. H., “Development of a new error compensation method in linear encoder using phase shifted grating.” A Thesis for a Master, Korea advanced institute of science and technology, Department of Mechanical Engineering, pp. 1-3, 1998.
7. Lee, S. H., “Development of a High-Resolution Encoder System Using Dual Optical Encoders.” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 9, pp. 76-85, 2007.
8. Nam, Y. S., Paek, H. K., “Error in Incremental Encoder Due to Vibration and Its Solution.”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 55-61, 2008.
9. Cho, K. C., Kim, S. Y., Shin, K. Y., “Development of Automated Non-contact Thickness Measurement Machine using a Laser Sensor”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 51-58, 2015.
10. Park, J. S., Kim, K. H., Kim, L. S., Zhen Qin, Lyu, S. K., “A Study on the Performance Evaluation of Cycloid Reducer.” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 113-118, 2017.