

# PSD를 이용한 플라스틱 박막 필름의 경사 각도 측정 시스템 개발

김기승\*, 박윤창  
선문대학교 정보통신학과

## Development of Tilt angle measurement system of plastic thin-film using Position Sensitive Device

Gi-Seung Kim\*, Yoon-Chang Park  
Division of Information Communication, Sunmoon University

**요약** 스마트폰 등에서 사용되는 고성능 디스플레이에는 다양한 종류의 정밀한 플라스틱 박막 필름(Plastic Thin Film)이 사용되고 있다. 롤투롤(Roll-To-Roll) 공정으로 제조되는 플라스틱 박막 필름은 생산 공정 중에 실시간으로 필름의 두께가 측정되고, 정확하게 관리되어야 한다. 필름 제조 과정에서 필름에 장력이 작용하면서 주름이 발생되고, 이러한 주름 발생은 필름의 두께 방향과 두께 측정기의 광축이 서로 경사지게 한다. 결국 두께 측정기는 필름의 수직 두께가 아닌 경사진 두께를 측정하게 됨으로써 실제 두께보다 더 큰 값으로 측정하게 된다. 본 연구에서는, 플라스틱 필름의 경사로 인하여 발생하게 되는 두께 측정기에서의 측정값 오차를 보정하기 위하여, 필름의 경사 각도를 측정하는 연구가 진행되었다. 플라스틱 필름에 슬릿 빔 레이저를 조사하고, 필름에서 반사되는 슬릿 빔 레이저가 PSD(Position Sensitive Device)에 맺히는 광학 시스템을 구성하였으며, 실험을 통하여 필름의 경사 각도와 PSD 출력값의 관계를 1차 방정식 형태로 구하였다. 이를 이용하여 필름의 경사 각도를 측정하는 장치가 구축되었으며, 250KHz의 속도로 경사 각도의 측정이 가능하였다.

**Abstract** Various types of precision plastic thin films are used widely in high-performance displays, such as smartphones. For plastic thin-films manufactured by the Roll-to-Roll process, the film thickness must be measured and managed while moving. In the Roll-to-Roll process, wrinkles are generated when tension is applied to the film, which causes an inclination on the optical axis of the thickness gauge, resulting in a loss of accuracy. Therefore, this study attempted to develop an optical interference tomography measurement system. In this study, the tilt angle of the film was measured to correct the measurement value error in the thickness gauge caused by the tilt of the film. The system was constructed so that the laser was irradiated on the tilted film, and the laser reflected from the film was formed on the PSD. The relationship between the tilt angle of the film and the output value of the PSD was obtained experimentally. Using this, a device to measure the tilt angle of the film was constructed, and angle measurements were taken at a speed of 250,000Hz.

**Keywords** : Plastic Film, Roll-To-Roll Process, Optical Coherence Tomography, Position Sensitive Device, Tilt Measuring, Regression Analysis

본 논문은 2020년도 중소벤처기업부의 창업성장-기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S2766823]

\*Corresponding Author : Gi-Seung Kim(Sunmoon Univ.)

email: kgs1324kgs@naver.com

Received January 5, 2021

Revised January 27, 2021

Accepted February 5, 2021

Published February 28, 2021

## 1. 서론

플라스틱 필름(Plastic Film)은 우리의 일상생활에서 광범위하게 사용되고 있는 소재이다. 산업용, 광학용, 포장용, 전기절연, 태양광 및 전지소자 등의 다양한 공정에서 사용되고 있다. 그중에서도 스마트폰 등에 사용되는 고성능 디스플레이에는 더욱 얇으면서도 높은 품질의 플라스틱 필름이 요구되고 있다.

고품질의 플라스틱 필름과 관계되는 다양한 품질 항목 중에서도 필름의 두께는 매우 엄격하게 관리되는 항목이다. 또한 필름의 두께는 제조 과정에서 치수가 결정되면 이후에 수정이 어려우므로 제조 공정 중에 관리되어야만 한다. 필름의 두께가 제조 공정 중에 실시간으로 관리되기 위해서 인라인(In-Line) 두께 측정이 이루어져야 하고, 이 측정에는 기계적, 광학적 및 전자적으로 다양한 방법들이 사용되고 있다[1-3].

고성능 디스플레이 제조에 사용되는 플라스틱 필름은 대부분 롤투롤(Roll-To-Roll) 공정으로 생산되고 있다 [4]. 고속으로 이동 중에 필름의 두께 측정이 이루어져야 하므로 측정 속도에서 유리한 광학적인 방법이 사용되고 있으며, 대표적으로는 OCT(Optical Coherence Tomography, 이하 OCT) 방식이 있다[5].

롤투롤 공정에서 플라스틱 필름에 장력이 작용되면, 필름의 길이 방향으로 주름이 형성된다. 이러한 주름은 필름의 두께 방향과 OCT의 광축을 경사지게 하여, 정확한 두께 측정을 어렵게 한다. 실제 두께가  $T$ 인 플라스틱 필름이 각도  $\theta$ 만큼 경사지면,  $T/\cos(\theta)$ 의 값으로 두께 값이 얻어지게 된다. OCT에서 필름의 두께 측정이 이루어지는 순간에 필름의 경사 각도가 동시에 측정되면, 필름의 경사로 인한 두께 측정값의 왜곡을 쉽게 보정 할 수 있게 된다.

이를 위하여, 본 연구에서는 플라스틱 필름 제조 공정 중에 있는 필름의 경사 각도( $\theta$ )를 실시간으로 측정하는 연구를 진행하였다. 제조 공정 중에 고속으로 이동되는 플라스틱 필름에 슬릿 빔(Slit beam) 레이저를 조사하고, 필름에서 반사된 레이저가 PSD(Position Sensitive Device)에 맺히도록 시스템을 구성하였다. 실험을 통하여 PSD의 출력값과 필름의 경사 각도의 관계를 1차 방정식 형태로 구했다. 이를 이용하여 필름의 경사 각도를 측정하는 장치가 구축되었으며, 250KHz의 속도로 경사 각도의 측정이 가능하였다.

## 2. 경사 측정 장치

### 2.1 경사 측정 원리

롤투롤 공정 중에 이동하는 플라스틱 박막 필름에 레이저가 조사되면, 필름의 위치와 경사의 변화에 따라서 반사 방향이 변하게 된다. 본 연구에서는 슬릿 빔 레이저와 PSD를 사용하여 필름의 위치와 경사에 따라 어떻게 반사되는지 관찰하였다.

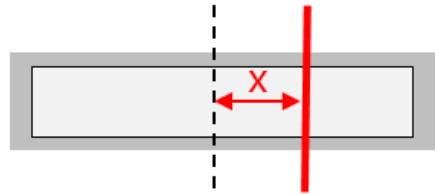


Fig. 1. One-dimensional PSD

Fig. 1은 1차원 PSD 센서이다. PSD는 센서의 범위 내에 들어온 빛의 위치를 1차원적으로 감지할 수 있는 센서이다. 이러한 PSD를 활용하여 필름에서 반사되는 슬릿 빔 레이저의 위치를 관찰하였다.

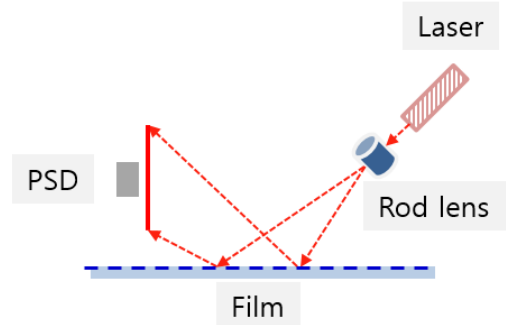


Fig. 2. Laser path on tilted film Side view - Reference line

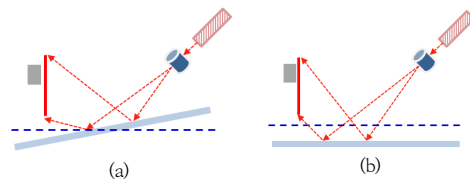


Fig. 3. Laser path on tilted film Side view  
(a) Tilted film (b) Moved film

Fig. 2와 3은 필름에 슬릿 빔 레이저를 조사하여 반사되는 모습을 측면에서 본 그림이다. 슬릿 빔 레이저는 포인트 레이저 앞에 로드(Rod) 렌즈를 놓아 만들어졌다.

Fig. 3의 (a)와 같이 필름이 레이저의 입사 방향과 같은 방향으로 기울어지거나, Fig. 3의 (b)에서와 같이 기준면보다 위치가 위 혹은 아래로 움직일 때는, 슬릿 빔 레이저만 위아래로 움직이기 때문에 PSD에 입사되는 빛의 위치는 변화가 없다.

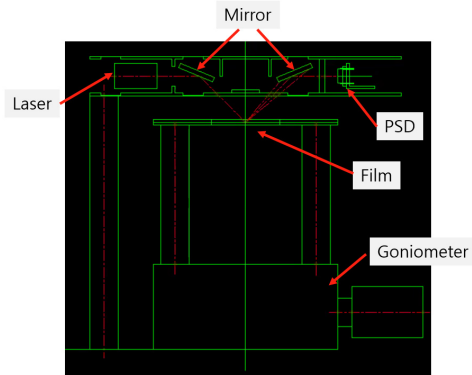


Fig. 4. PSD Optical system drawing Side view

Fig. 4는 Fig. 2와 3을 바탕으로 만든 실험용 광학계의 도면이다. 윗부분에 설치되는 다른 광학계와의 공간 간섭을 피하고자 거울이 추가되었고, 고니오미터(Goniometer)를 이용하여 레이저의 입사 방향과 직각으로 필름의 경사를 조절한다.

Fig. 5는 필름이 레이저의 입사 방향과 기울어졌을 때, 레이저가 어떻게 반사되는지 나타낸 그림이다. 추가로 Fig. 6은 Fig. 5의 실험 상황을 사진으로 나타낸 것이다.

필름이 레이저의 입사 방향과 기울어지면 PSD에 입사되는 빛의 위치는 필름이 기울어진 각도에 비례하여 변화한다. 이를 이용하여 PSD에 입사되는 빛의 위치와 실제 필름이 기울어진 각도 간의 상관관계를 구할 수 있다. 이를 이용하면, 실시간으로 필름의 기울어진 각도를 구할 수 있게 된다.

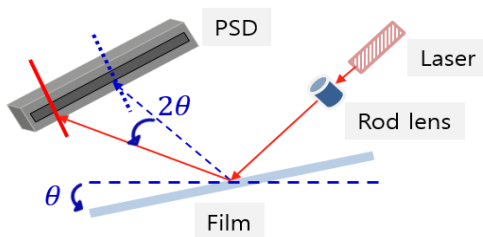


Fig. 5. Film tilt angle measuring principle - Diagram

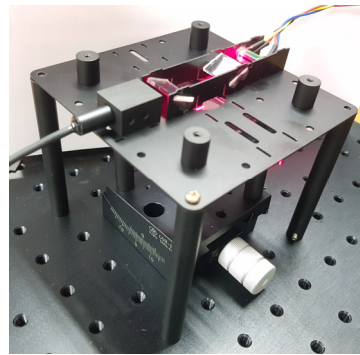


Fig. 6. Film tilt angle measuring principle - Optical system

## 2.2 PSD 센서

본 연구에서 사용된 PSD는 Hamamatsu 사의 S3932 1차원 센서이다. Fig. 1에서 표시된 바와 같이 센서의 범위 내에 들어온 빛의 위치를 1차원적으로 감지할 수 있고, S3932 센서의 특성은 다음과 같다.

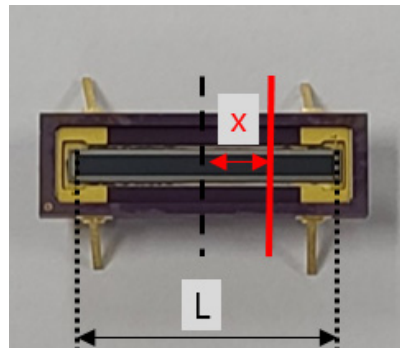


Fig. 7. Hamamatsu S3932 PSD - Light Position on PSD

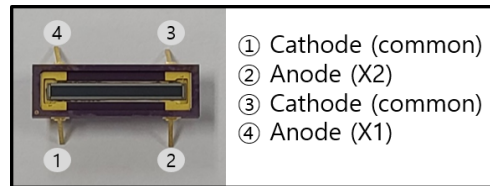


Fig. 8. Hamamatsu S3932 PSD Pin map

Fig. 7과 8은 S3932의 Datasheet를 참고하여 작성된 그림이다[6]. Fig. 7의 빨간 실선은 PSD에 감지되는 레이저를 나타낸 것이고, 센서 중앙으로부터의 거리 x는 Datasheet에 명시되어있는 다음과 같은 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1 + I_2} = \frac{2x}{L} \quad (1)$$

Where,  $I_1, I_2$  denotes current

Eq. (1)의  $I_1, I_2$ 는 Fig. 8의 2, 4번 핀(Anode)에서 나오는 전류값을 의미한다. 본 연구에서는 전류값 대신 저항을 이용하여 전압을 측정하였다.

### 3. 경사 측정 실험

#### 3.1 실험

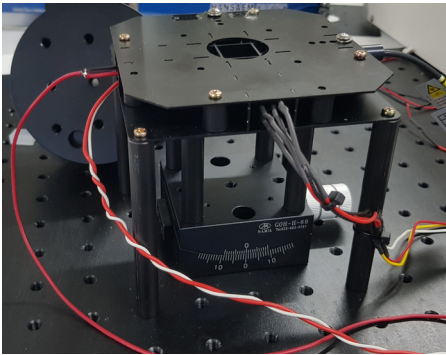


Fig. 9. Experiment setup

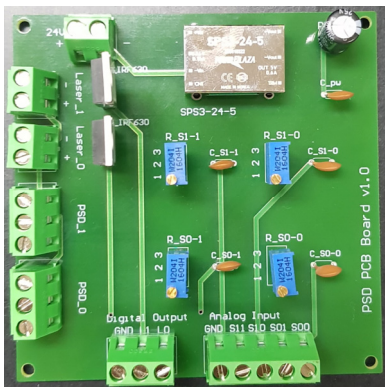


Fig. 10. PSD circuit

Fig. 9는 실험 장치를 구성한 사진이다. 실험 장치는 광학계를 고정된 상태에서 고니오미터를 사용하여 필름의 각도를 세밀하게 조절할 수 있도록 구성하였다. Fig. 10과 같이 제작된 회로를 사용하여 PSD의 출력 전류를 전압으로 변환 후, National Instruments 사의 USB-6211 Data Aquisition 장비를 이용하여 계측하였다. 실험은 필름의 각도를 -5도에서 +5도까지 0.5도 간격으로 변화시키며 전압을 계측하였다.

#### 3.2 실험 결과

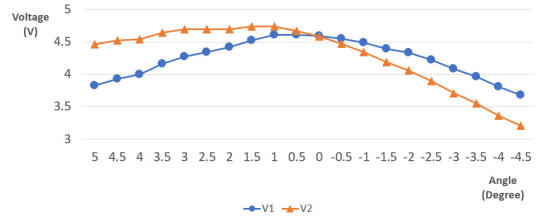


Fig. 11. Experiment result (Voltage)

실험 결과, 각도의 변화에 따라 PSD에서 측정되는 전압 V1과 V2가 Fig. 11과 같이 변하는 것을 확인할 수 있었다.

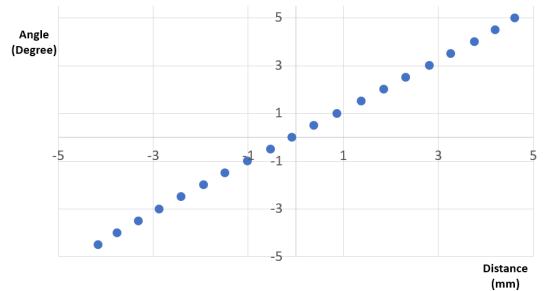


Fig. 12. Light Position on PSD vs Tilt Angle

Fig. 12는 측정된 전압값에 Eq. (1)을 적용한 결과를 나타낸 그래프이다. x축은 PSD 위의 레이저 위치이며, y축은 레이저 위치에 따른 필름의 경사각이다. 위의 그래프는 1차 함수의 형태이므로, x축과 y축의 값을 이용하여 선형 회귀분석[7]을 통해 회귀직선을 구하면, 다음과 같은 식이 유도된다.

$$y = 1.0664x + 0.0394 \quad (2)$$

Where,  $x$  denotes light position.  $y$  denotes film tilt angle.

Eq. (2)에 PSD에서 측정되는 레이저의 위치값(x)을 적용하면 필름의 경사(y)를 측정할 수 있게 된다. 본 연구에서 사용된 NI USB-6211(Data Aquisition)은 최대 8개의 전압을 초당 250,000회 측정할 수 있으며[8], PSD의 반응시간은  $3\mu s$ (Rise Time)이기 때문에, 거의 실시간으로 플라스틱 박막 필름의 경사 측정이 가능하게 되었다.

## 4. 결론

본 연구에서는, 플라스틱 필름의 경사로 인하여 발생하게 되는 두께 측정값에서의 오차를 보정하기 위하여, 필름의 경사 각도를 측정하는 연구가 진행되었다. 필름에 슬릿 빔 레이저를 조사하고, 필름에서 반사되는 레이저가 PSD에 맺히도록 시스템을 구성하였다. 실험을 통하여 필름의 경사 각도와 PSD의 출력값의 상관관계를 구하였다. 이를 이용하여 필름의 경사 각도를  $\pm 5$ 도 범위에서 측정하는 장치가 구축되었으며, 250KHz의 속도로 경사 각도의 측정이 가능하였다. 필름의 경사로 인한 두께 측정기(OCT)가 개발이 완료된 후 진행될 예정이다.

## References

- [1] Jeon Hong Kang, Kwang Min Yu, Han Jun Kim, Sang Ok Han, "A Development of Thickness Meter for Conductive Thin Film", *The Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conference Proceedings*, The Korean Institute of Electrical Engineers, Korea, pp.2057-2058, Jul. 2009.
- [2] Sung-Soo Kim, Do-Yun Kim, "Development and Characteristics of the x-ray transmission anode tube for the thickness measurement of film", *Applied Science and Convergence Technology*, Vol.17, No.3, pp.240-246, May 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.5757/JKVS.2008.17.3.240>
- [3] Hyun-Ju Cho, Jun-Yeon Won, Yong-Gyu Jeong, Bong-Ju Woo, Jun-Ho Yoon, Chang-Kwon Hwangbo, "Determining the Thickness of a Trilayer Thin-Film Structure by Fourier-Transform Analysis", *Korean Journal of Optics and Photonics*, Vol.27, No.4, pp.143-150, Aug. 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3807/KJOP.2016.27.4.143>
- [4] Eun Jung, Sung-Jin Kim, Sung Min Cho, "Production Technology Status of Organic Lighting & Display via Roll-to-Roll Process", *Vacuum Magazine*, Vol.4, No.2, pp.24-28, Jun. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5757/vacmac.4.2.24>
- [5] Sudheer Koganti, Tushar Kotecha, Roby Rakhit, "Choice Of Intracoronary Imaging: When To Use Intravascular Ultrasound Or Optical Coherence Tomography", *Interventional Cardiology*, Vol.11, No.1, pp.11-16, May 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15420/icr.2016:6:1>
- [6] HAMAMATSU PHOTONICS K.K., One-dimensional PSD S3932 Data sheet [Internet]. Hamamatsu Photonics K.K., c2020 [cited 2020 July], Available From :

[https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/s3931\\_etc\\_kpsd1002e.pdf](https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/s3931_etc_kpsd1002e.pdf) (accessed Dec. 2, 2020)

- [7] Sung Hyun. Park, Design of experiments. pp.259-274, minyoungsa, 1985.
- [8] NATIONAL INSTRUMENTS, NI USB-6211 Data sheet [Internet]. National Instruments, c2017 [cited 2017 sep.], Available From :  
<https://www.ni.com/pdf/manuals/375195d.pdf> (accessed Dec. 2, 2020)

김기승(Gi-Seung Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 선문대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 (박사과정)

<관심분야>

3D 측정, 컴퓨터비전, 머신 러닝

박윤창(Yoon-Chang Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

정밀기계, 3D 측정