

## OCT 박막 두께 측정기의 기울기 보정에 관한 연구

김기승\*, 박윤창  
선문대학교 정보통신학과

### A Study on Tilt angle compensation of OCT Thin-film thickness measuring device

Gi-Seung Kim\*, Yoon-Chang Park

Department of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

**요약** 스마트폰, 고해상도 디스플레이 등에는 정밀한 박막 필름들이 많이 사용되고 있다. 이러한 박막 필름은 일반적으로 롤투롤(Roll-To-Roll) 공정에서 생산되고 있는데, 생산 중에 엄격한 두께 관리가 필요하고, 이를 위해서 OCT(Optical Coherence Tomography) 두께 측정기가 실시간 정밀 두께 측정에 사용되고 있다. 필름에 빛을 투과하여 두께를 측정하는 OCT 방식에서는, 필름이 기울어지면 광 경로에 변화가 발생하고, 이는 측정되는 두께 값을 왜곡시키게 된다. 본 연구에서는, OCT 두께 측정기를 이용하여 플라스틱 박막 필름의 두께를 실시간으로 측정하는 것과 동시에 필름의 기울기를 측정하여 기울기 변화로 인한 두께 값의 왜곡을 보정하는 실험을 진행하였다. 실험에서는 두께 142  $\mu\text{m}$ 의 유리 박막의 기울기를  $-6^\circ$ 에서  $+6^\circ$ 까지 변화시키면서 왜곡된 두께 측정값을 얻고, 동시에 필름의 기울기를 측정하여 두께의 왜곡을 보정하였다. 이후, 기울기 변화를 주며 측정한 두께 값과  $0^\circ$ 를 기준으로 측정된 두께 값의 차이를 보정 전후로 비교하여 두께 값이 보정되는지 확인하였다. 기울기가 보정되기 전에는 두께 값에서 0.34  $\mu\text{m}$ 의 변동이 있었지만, 보정이 이루어지면서 두께 값의 변동 폭이 0.06  $\mu\text{m}$ 으로 감소 되는 것이 확인되었다.

**Abstract** Plastic thin-films are widely used in smartphones and high-resolution displays. A roll-to-roll process generally produces these thin-films, and a strict thickness control is required during their production. For this purpose, an OCT thickness measuring device is used in real-time thickness measurements. The OCT method measures thickness by transmitted light through the film. However, a change occurs in the optical path when the film is tilted, leading to distortion in the measured thickness value. This study measured the thickness of the plastic thin-film in real-time using an OCT thickness measuring, and corrected the distortion of the thickness value due to the change in the tilt angle. A distorted thickness measurement value was obtained by changing the slope of a 142  $\mu\text{m}$  thick glass thin film from  $-6^\circ$  to  $+6^\circ$  degrees, and the thickness distortion was corrected according to the tilt angle at the same time. There was a variation of 0.34  $\mu\text{m}$  in the thickness value before the tilt angle corrections, and it reduced to 0.06  $\mu\text{m}$  with the corrections.

**Keywords** : Plastic Thin-Film, Roll-to-Roll Process, Optical Coherence Tomography, Tilt Compensation, Refractive Index, Interferometer

---

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

email: kgs1324kgs@naver.com

Received December 10, 2021

Accepted February 4, 2022

Revised January 13, 2022

Published February 28, 2022

## 1. 서론

스마트폰, 정밀 디스플레이와 전기소자 등에 사용되는 플라스틱 박막 필름(Plastic Thin-film)이나 박막 금속과 같이, 유연하며 두께가 얇고 긴 소재는, 여러 개의 롤을 이용하여 이송시키며 일련의 공정을 연속적으로 수행하는 과정을 통해 제조되고 있다[1]. 이러한 롤투롤 공정(Roll-To-Roll)에서 생산되는 플라스틱 박막 필름의 두께 균일도는 매우 중요한 품질 항목 중의 하나이다. 플라스틱 박막 필름의 경우 한번 생산이 되면 이후 수정에 어려움을 겪기 때문에 제조 공정 중 실시간으로 두께가 관리되어야 한다. 때문에, 빠르면서도 정확한 두께 측정이 요구된다. 얇은 필름의 두께를 측정할 수 있는 두께 측정 방법은 기계적, 전자적, 광학적으로 다양한 방법의 측정법들이 연구 개발되었다[2-5]. 그 중, 측정 속도에서 유리하고 비접촉 측정을 할 수 있는 OCT(Optical Coherence Tomography, 이하 OCT) 측정법[6]을 이용한 두께 측정 장비가 인라인(In-Line)에서 실시간 정밀 두께 측정에 사용되고 있다[7].

롤투롤 공정에서 플라스틱 박막 필름은 물성값에 맞게 적절한 장력을 유지하기 위해 다양한 기구 및 제어 모듈이 장착되는데[8] 그렇지 못할 경우, Fig. 1과 같이 필름이 주름지는 현상이 발생하게 된다. 주름으로 인해 기울기에 변화가 생기게 되면 OCT 두께 측정기에서 광 경로 변화가 발생하고, 이는 두께 측정 결과값을 왜곡시키게 된다.

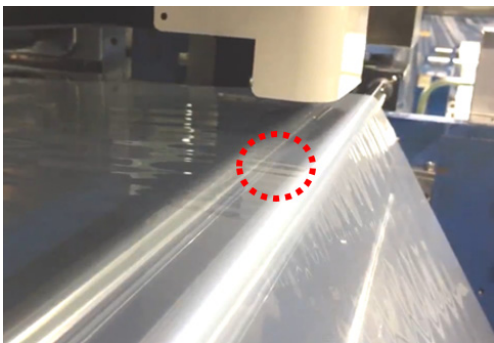


Fig. 1. warped film in roll-to-roll process

이 문제를 해결하기 위하여, 두께 측정시에 필름의 기울기를 동시에 측정하여 실시간으로 측정 두께를 보정할 수 있는 실험을 진행하였다. 필름의 두께와 기울기를 동시에 측정할 수 있는 실험장치를 구성하였고, 시편의 기울기를 -6도에서 +6도까지 조절하며 시편의 두께와 기

울기를 측정하였고, 기울기 값을 이용하여 측정된 두께 값을 보정하여 필름의 기울기로 인한 왜곡을 최소화하였다.

## 2. OCT 두께 측정 장치

### 2.1 두께 측정 이론

Fig. 2는 기울기가 0인 필름을 투과하는 빛의 경로를 나타낸 그림이다. 필름에 수직으로 빛이 입사할 때, 제1 경계면을 통과하여 입사된 빛은 제2 경계면에서 일부는 투과되고 일부는 반사가 된다. 반사된 빛은 다시 제1 경계면에서 일부가 투과하고 일부가 반사된다.

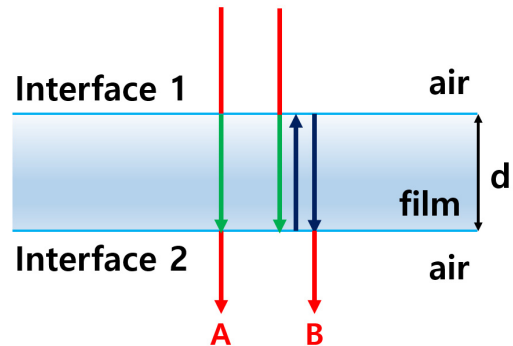


Fig. 2. Transmitted light path (perpendicular)

이렇게 되었을 때 제2 경계면에서 Fig. 2과 같이 A와 B의 빛이 광경로차(Optical Path Difference, 이하 OPD)로 인해 간섭을 일으키는데, 이 간섭무늬에서의 상쇄 및 보강 여부는 필름의 두께( $d$ ), 광원의 파장( $\lambda$ ) 및 굴절률( $n$ )에 따라 결정되고 광경로차가 파장의 배수로 반복하여 발생하게 되며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$OPD = 2d \cdot n \quad (1)$$

$$m = \frac{OPD}{\lambda} = \frac{2d \cdot n}{\lambda}$$

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{2n} \quad (2)$$

Where,  $n$  denotes refractive index

Fig. 2에서 A와 B의 빛은 렌즈를 통해 모아져서 분광기에 의해 파장별 빛의 세기분포로 나타난다. 이는 푸리에 변환을 거쳐 가장 높은 스펙트럼을 갖는 주파수를 찾고, 광원의 파장  $\lambda$ 와 차수  $m$ 의 곱을 이용하여 Eq. (1)과 (2)로부터 필름의 두께를 계산할 수 있다[9].

### 2.2 기울기에 따른 계층 두께 변화

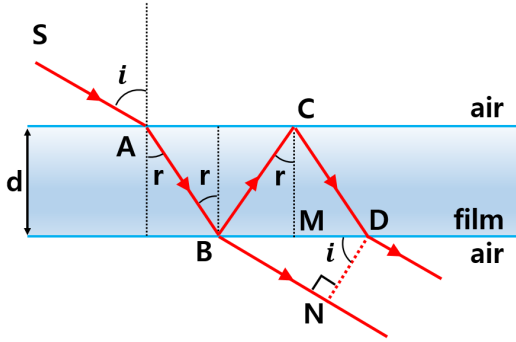


Fig. 3. Transmitted light path (Tilt)

$$\begin{aligned} OPD_s &= n(\overline{BC} + \overline{CD}) - \overline{BN} \\ &= 2n \cdot \overline{BC} - \overline{BN} \\ &= 2n \cdot \overline{BC} - 2\overline{BM} \cdot \sin(i) \end{aligned} \quad (3)$$

Fig. 3은 필름이 기울어졌을 때, 점 S에서부터 필름을 통과하는 빛의 경로를 나타낸 그림이다.  $i$ 는 입사각,  $r$ 은 필름에서의 굴절각이다. Eq. (3)은 Fig. 3을 바탕으로 필름을 통과할 때의 광경로차( $OPD_s$ )를 유도한 수식이다 [10].

반사의 법칙에 따라,  $\triangle BCD$ 는 이등변 삼각형이므로  $\overline{BN}$ 은  $2\overline{BM} \cdot \sin(i)$ 와 같이 삼각함수를 이용해 표현할 수 있다. 이 식을 더욱 자세히 풀면 Eq. (4)의 수식이 유도된다.

$$\begin{aligned} 2n \cdot \overline{BC} - 2\overline{BM} \cdot \sin(i) \\ &= 2n \cdot \frac{d}{\cos(r)} - 2d \cdot \tan(r) \cdot n \cdot \sin(i) \\ &= 2n \cdot d \cdot \left( \frac{1 - \sin^2(r)}{\cos(r)} \right) \\ &= 2d \cdot n \cdot \cos(r) \end{aligned} \quad (4)$$

$\overline{BC}$ 와  $\overline{BM}$ 의 길이는 삼각함수로 표현할 수 있고,  $\sin(i)$ 는 Snell의 법칙에 따라  $n \cdot \sin(r)$ 로 치환이 가능하다. 최종적으로 기울어진 필름을 통과할 때의 광경로차는  $2d \cdot n \cdot \cos(r)$ 로 유도된다.

$$\begin{aligned} 1 \cdot \sin(i) &= n \cdot \sin(r) \\ r &= \arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Eq. (5)는 필름에서의 굴절각  $r$ 을 입사각  $i$ 로 사용할 수 있도록 Snell의 법칙을 이용해 유도한 식이다. 입사각은 경사 계측기를 사용하여 구할 수 있다.

$$2d \cdot n \cdot \cos(r) = 2d_s \cdot n \cdot \cos(0) \quad (6)$$

$$d = d_s \div \cos\left(\arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n}\right)\right) \quad (7)$$

Fig. 3에서 실제 필름의 두께를  $d$ , 측정기에서 경사각을 고려하지 않고( $r=0$ ) 측정된 두께를  $d_s$ 라 했을 때, Eq. (4)를 이용하여 Eq. (6)이 유도된다. 이것을 Eq. (5)를 참고해 정리하게 되면, Eq. (7)이 유도되어 필름의 두께  $d$ 를 구할 수 있게 된다.

### 2.3 필름의 기울기 계측 원리

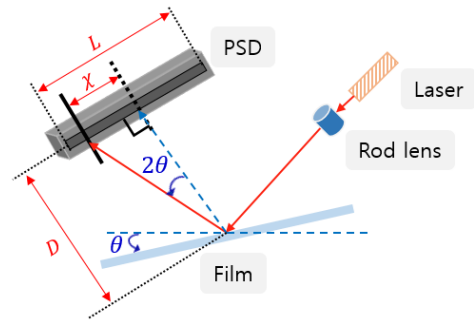


Fig. 4. Film tilt angle measuring principle

$$2\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{d}\right) \quad (8)$$

본 연구에서는, PSD(Position Sensitive Device)를 이용한 플라스틱 박막 필름의 기울기 측정 시스템을 이용하였고, 해 시스템은 초당 250,000회의 기울기 측정이 가능하다[11]. Fig. 4는 선행연구에서 제작된 기울기 측정기의 구조를 나타낸 것이다. 필름에 레이저를 조사할 때 필름이 기울어지면 PSD에 입사되는 빛의 도달 위치가 필름이 기울어진 각도에 비례하여 변화하며, 필름의 기울기  $\theta$ 는 Eq. (8)을 이용하여 계산할 수 있다.

### 3. 기울기에 따른 두께 보정 실험

Fig. 5는 시편의 두께와 기울기를 동시에 측정할 수

있도록 개발된 OCT 두께 측정기를 보여주고 있다. 필름의 기울기를 -6도에서 +6도까지 0.1도 간격으로 조절하며 유리 시편의 두께와 기울기를 함께 측정하였다. 이 실험에는 두께가 대략 142  $\mu\text{m}$ 인 유리 시편이 사용되었다.

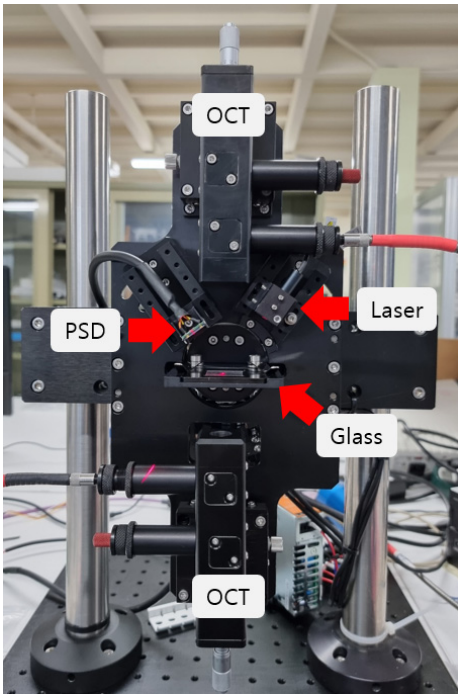


Fig. 5. Experiment setup (OCT Thickness measuring device)

Fig. 6, 7, 8은 필름의 기울기 변화에 따른 실험 결과로서, 측정된 두께 값, 측정된 기울기 값 그리고 보정된 두께 값을 각각 표시하고 있다. Fig. 6에서는 필름의 기울기가 변화하는 것에 따라 필름의 두께 측정값이 142.05  $\mu\text{m}$ 에서 142.39  $\mu\text{m}$ 까지 변화 하는 것을 볼 수 있다.

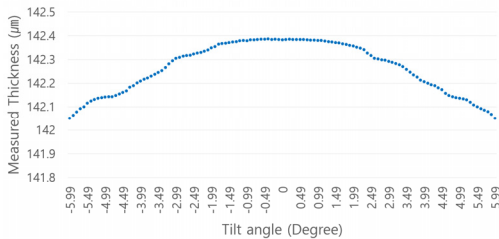


Fig. 6. Experiment result - Measured thickness

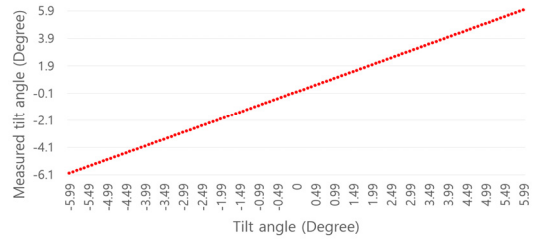


Fig. 7. Experiment result - Measured tilt angle

필름의 기울기를 감지하는 PSD 센서에서 얻어지는 기울기 값(Fig. 7)은 Eq. (4)에 의해, 기울기로 인한 두께 값 왜곡을 보정하게 된다. Fig. 8은 보정된 결과를 보여주고 있는데, 필름의 기울기가 -6도에서 +6도까지 변화해도 필름의 두께 값은 142.33  $\mu\text{m}$ 에서 142.39  $\mu\text{m}$  범위에서 안정되고 있음을 볼 수 있다. 두께 값의 변동 폭으로 보면, 0.34  $\mu\text{m}$  정도로 발생 되는 두께 값 왜곡이 기울기 계측을 통한 보정으로 0.06  $\mu\text{m}$ 로 축소되는 효과를 확인하였다.

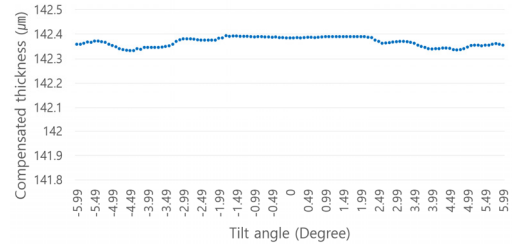


Fig. 8. Experiment result - Compensated thickness

#### 4. 결론

스마트폰, 고해상도 디스플레이 등에 사용되는 정밀한 박막 필름들은 일반적으로 롤투롤 공정으로 생산되고 있다. 생산 중에 엄격한 두께 관리가 필요하고, 이를 위해서 OCT 두께 측정기가 사용되고 있다. 필름에 빛을 투과하여 두께를 측정하는 OCT 방식에서는, 필름의 기울기 발생이 두께 값을 왜곡시키게 된다.

본 연구에서는 OCT 두께 측정기를 이용하여 플라스틱 박막 필름의 두께를 실시간으로 측정하는 것과 동시에 필름의 기울기를 측정하여 기울기 변화로 인한 두께 값의 왜곡을 보정하는 실험을 진행하였다.

두께 142  $\mu\text{m}$ 의 유리 박막의 기울기를 -6도에서 +6도까지 변화시키면서 왜곡된 두께 측정값을 얻고, 동시에

필름의 기울기를 측정하여 두께의 왜곡을 보정하였다. 기울기가 보정되기 전에는 두께 값에서 0.34  $\mu\text{m}$ 의 변동이 있었지만, 보정이 이루어지면서 두께 값의 변동 폭이 0.06  $\mu\text{m}$ 으로 감소되는 것이 확인되었다. 해당 실험에서는 초당 75.9회의 두께를 측정할 수 있었다.

## References

- [1] Kooy, N., Mohamed, K., Pin, L. T., Guan, O. S., "A Review of Roll-to-roll Nanoimprint Lithography", *Nanoscale Research Letters*, Vol.9, No.1, pp.320-332, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-320>
- [2] 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.
- [3] K.N. Joo, "Large Area Film Thickness Measurements by Spectroscopic Imaging Ellipsometry", *Korean Society for Precision Engineering 2019 Spring Conference Proceedings*, Korean Society for Precision Engineering, Korea, pp.805, 2019.
- [4] 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>
- [5] 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: <https://dx.doi.org/10.3807/KJOP.2016.27.4.143>
- [6] 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: <https://dx.doi.org/10.15420/icr.2016:6:1>
- [7] UniScan-T [Internet]. UniEye Co., Ltd., c2020 [cited 2020], Available From : [http://www.unieye.co.kr/kr/product/product\\_list.php?part1\\_idx=1](http://www.unieye.co.kr/kr/product/product_list.php?part1_idx=1) (accessed Dec. 3, 2021)
- [8] N. A. Ebler, R. Armason, G. Michaelis, and N.D'sa, "Tension Control : Dancer Rolls or Load Cells", *IEEE Trans. Ind. Appl. Vol.20*, pp.727-739, July/Aug. 1993.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/28.231986>
- [9] Geoffrey F. Miller, *A Fast Fourier Transform Approach to Finding the Thickness of Single-Layer Thin Films with Slowly Varying Indices of Refraction and Negligible Absorption Coefficients*, Bachelor of Science, Texas State University-San Marcos, pp.7-17, Aug. 2012.
- [10] G. H. Hong, *The Photonics Journal*, p.330, Book Publishing Sanghakdang, 2021, pp.61-63.
- [11] Gi-Seung Kim, Yoon-Chang Park, "Development of Tilt angle measurement system of plastic thin-film using Position Sensitive Device", *Proceedings of the 10th SPVM National Physics Conference and Workshop*, Vol.22, No.2, pp.134-138, Feb. 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.134>

### 김기승(Gi-Seung Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

3D 측정, 컴퓨터비전

### 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