

## 레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정 기술

최종근<sup>a\*</sup>, 김성은<sup>b</sup>

## Parallelism Measurement of Rolls by Using a Laser Interferometer

Jong Geun Choi<sup>a\*</sup>, Seongeun Kim<sup>b</sup><sup>a</sup> Sunchon National University of Mechanical Engineering, 235, Jungang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do, 540-950, Korea<sup>b</sup> Sunchon National University of Mechanical Engineering, 235, Jungang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do, 540-950, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	23	April	2014
Revised	2	July	2014
Accepted	22	October	2014

## Keywords:

Printed electronics  
Roll-to-roll  
Parallelism  
Laser interferometer

## ABSTRACT

This research describes the measurement of roll parallelism by a laser interferometer. Parallelism among rolls is an important factor for improving the precision of printing devices. A laser interferometer, which is a device for the precise measurement of distance, can be utilized to measure parallelisms between rolls. To measure distance between two rolls by using a laser interferometer, the laser must not be severed during measurement. To achieve this condition, a linear motion guide was installed to each roll being measured, and continuous measurement of distance between two rolls was implemented by the simultaneous control of two mirrors installed on the guides. The method to measure parallelism between two rolls presented in this research can be utilized to improve printing precision by enhancing parallelism between rolls in printing devices.

## 1. 서론

인쇄전자(Printed Electronics)기술은 기존의 전자 부품을 생산하는 방식과는 달리 신문이나 잡지, 포스터 등의 인쇄물을 제작하는데 사용해진 인쇄기술을 전자부품의 제조에 적용하는 기술이다<sup>[1]</sup>. 인쇄전자 공정은 스크린프린팅, 롤투롤(Roll-to-Roll)-그라비아 프린팅, 플렉소그래픽 프린팅, 오프셋 프린팅-등의 접촉식과 잉크젯 프린팅, 에어로졸젯분사, 나노임프린팅리소그래피 등의 비접촉식으로 구별할 수 있다. 접촉식 인쇄방식은 생산성이 좋은 반면 미세 패턴 형성이 쉽지 않고, 비접촉식 인쇄는 미세패턴 구현에 적합하지만 인쇄속도가 느린 단점이 있다<sup>[2]</sup>. 이 중 폴리머 칩에 의한 저가의 RFID 태그, 스마트 센서, 플라스틱 태양전지 등의 인쇄 전자소자를 대량으로 생산할 수 있는 롤투롤인쇄 방식이 많은 개발

자로부터 주목 받고 있다. 그러나 롤투롤 인쇄기술은 아직까지도 그 정밀도 면에서 미흡하여 충분한 수익성을 갖추는데 여전히 어려움을 겪고 있다. 롤투롤 인쇄기술의 생산성 및 경제성 확보를 위해서는 인쇄장치의 고 정밀화가 필수이며, 여기에는 인쇄장치의 고 정밀화와 더불어 고도의 제어기술이 요구된다. 인쇄장치의 정밀 제어에는 미세 선평 패턴기술, 정밀 속도제어, 웹 장력제어, 사행제어 등이 포함되며, 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[3]</sup>.

인쇄장치의 정밀도는 웹의 이송에 직접 관여하는 롤의 형상 및 자세가 중요하며, 여기에는 롤의 진원도, 원통도, 흔들림, 평행도 등이 있다. 이들 중 롤의 진원도, 원통도, 흔들림은 모두 제작단계에서 비교적 용이하게 검사되고 개선 될 수 있다. 그러나 롤 사이의 평행도는 인쇄장치의 조립단계에서 달성해야 할 목표로서 측정 및 정밀도 달성이 용이하지 않다<sup>[4]</sup>. 따라서 본 연구에서는 인쇄장치의 고 정밀화를

\* Corresponding author. Tel.: +82-61-750-3823

Fax: +82-61-750-3530

E-mail address: jgchoi@sunchon.ac.kr (Jong Geun Choi).

위해 필요한 롤 평행도의 정밀 측정 방법을 제시하고자 한다.

평행도 측정기술은 공작기계 등의 초정밀 안내면의 평행정밀도를 평가하는데 활용되어 왔다. 평행도 측정에 널리 사용되고 있는 측정 방법은 2개 이상의 변위센서를 직선 이송 테이블에 장착하여 측정대상 안내면과 나란히 설치 후 변위 센서를 이용하여 안내면의 평행도 및 진직도를 측정하는 방법이다<sup>5-7)</sup>. 이러한 방법은 두 안내면 사이의 거리가 충분히 가까울 경우에는 비교적 용이하게 적용할 수 있으나 롤투를 인쇄 장비의 경우와 같이 롤 사이의 거리가 다양하고, 상대적으로 멀리 떨어져 있을 경우나 높이가 다른 경우 등에는 직접 적용하기 어렵다. 반면, 레이저 간섭계에 의한 거리 측정방법은 롤 사이의 거리나 높이 차에 영향을 받지 않는 비 접촉식으로 이루어지므로 이러한 어려움을 해결할 수 있는 대안으로 검토 될 수 있다.

## 2. 레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정 방법

### 2.1 레이저 간섭계를 이용한 평행도 측정 원리

레이저 간섭계는 레이저 빔을 이용하여 선형분할기와 선형반사기 사이의 거리변화에 의해 발생하는 빛의 위상 차이를 감지하여 상대거리를 측정한다<sup>8)</sup>. 레이저 간섭계의 원리를 이용하여 두 개의 직선운동가이드의 이송부에 선형분할기와 선형반사기를 마주 보게 설치하여 둘 사이의 상대거리를 측정한다. 만일 선형분할기와 선형반사기가 마주보며 이송될 수 있도록 제어한다면 둘 사이의 거리의 연속적인 측정이 가능하며, 이로서 두 직선운동가이드의 평행도가 측정될 수 있다. 이 방법의 적용을 위해서는 선형분할기에서 선형반사기로 향하는 레이저 빔이 이동 중에 단절되지 않아야 한다. 이때 서로 마주보며 이송하는 선형분할기와 선형반사기는 레이저광이 단절되지 않는 범위에서 둘 사이의 편차가 측정거리에 영향을 주지 않으므로 일반 제어가능 수준의 편차가 허용된다. Fig. 1은 레이저 간섭계를 이용한 평행도 측정 개념도이다.

### 2.2 롤 평행도 측정을 위한 방법 및 장치 구성

레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정을 위해서는 롤 샤프트에

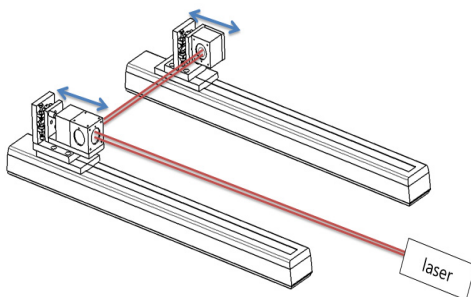


Fig. 1 Configuration of parallelism measurement using a laser interferometer

직선운동가이드를 충분한 고정력으로 설치하여야 한다. 이를 위해 Fig. 2에 보여지는 샤프트 그립 홀더(shaft grip holder)를 고안하였다. 고안된 샤프트 그립 홀더는 원형인 샤프트에 일정하게 장착할 수 있으므로 원하는 고정 정밀도를 가질 수 있다. 스트랩을 롤 샤프트에 감아 고정을 위한 충분한 장력을 발생시킴으로써 원하는 고정력을 얻을 수 있게 된다.

Fig. 3은 직선운동가이드에 대한 롤의 셋업 오차 방향을 보여준다. 피치(pitch) 방향 평행도는 두 개의 샤프트 그립 홀더의 브이홈 높이가 일정하면 필요한 반복 정밀도를 얻을 수 있다. 제작된 두 샤프트 그립 홀더의 높이차는 2 μm 이내였다. 롤 샤프트와 직선운동가이드의 요(yaw) 방향 평행도는 전자변위측정기(ND760, Heidenhain)를 이용하여 1 μm 수준의 정밀도를 갖도록 고정하였다. 이를 통해 직선운동가이드와 롤 샤프트의 평행도가 유지되면, 두 직선운동가이드의 평행도 측정으로 두 롤 사이의 평행도를 얻을 수 있다.

두 롤 사이의 요 방향 평행도는 레이저 간섭계를 이용한 평행도 측정 방법으로 이루어진다. Fig. 4는 도식화된 레이저 간섭계 이용한 롤 평행도 측정 모습이다. 평행도 측정을 위해 준비된 레이저 간섭계는 Renishaw사 모델 MI10이며, Fig. 5는 이를 이용한 롤 평행도 측정 모습을 보여준다.

두 롤 사이의 평행도는 요 방향 평행도 외에 피치 방향의 평행도 중요하다. 롤의 피치 방향의 평행도는 웹 이송 경로에 있는 모든 롤을 수평-중력에 대해 수직-으로 설치함으로써 롤 사이의 평행도를 유지할 수 있다. 롤의 수평을 측정하기 위해서 수준기(Level

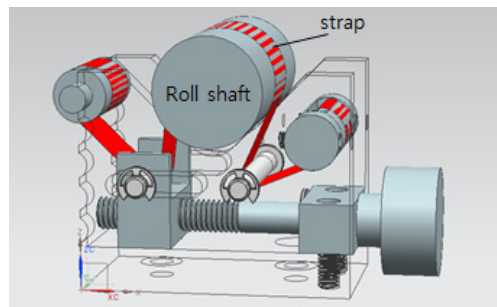


Fig. 2 Precision shaft grip holder to fix linear motion guide

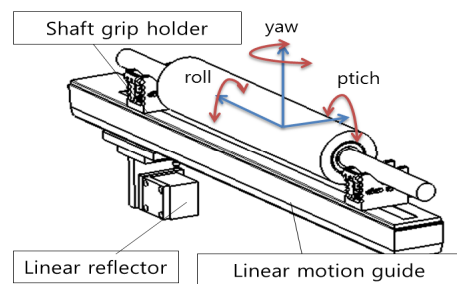


Fig. 3 Geometry direction definitions of roll set-up errors

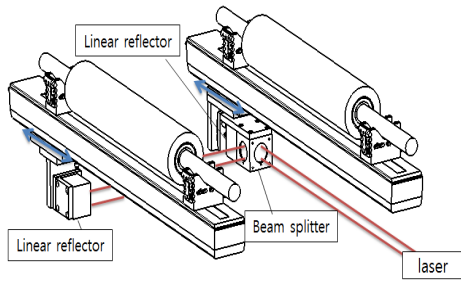


Fig. 4 Configuration of Parallelism measurement of rolls by using laser interferometer

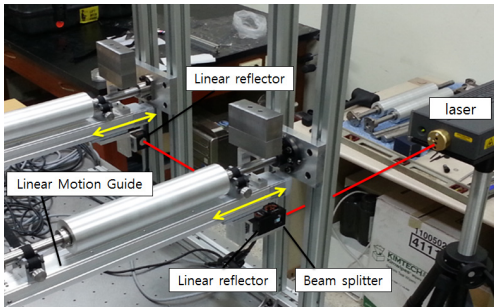


Fig. 5 Set up for parallelism measurement of rolls by using laser interferometer

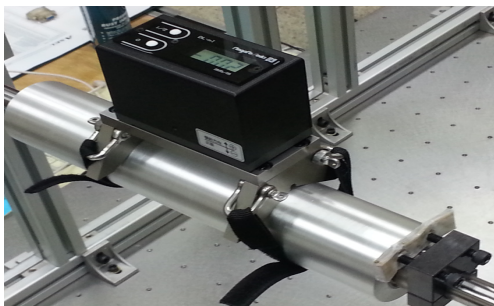


Fig. 6 Level measurement for pitching error of roll

instrument)를 둥근 형상의 롤 위에 설치할 수 있는 지그가 필요하며, Fig. 6은 이를 위해 제작된 수평 브이블록 지그를 이용하여 롤의 피치방향의 수평을 측정하는 모습이다. 롤의 수평 측정은 분해능 0.01 mm/m의 전자수준기(DL-m1, SK)를 사용하였다.

### 3. 레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정

#### 3.1 직선운동가이드의 진직도 측정

레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정은 두 직선운동가이드 사이의 거리를 측정하는 원리 이므로 두 직선운동가이드의 형상오차가 평행도 측정오차에 중첩되어 나타난다. 가이드 형상오차를 제거하기 위해 두 직선운동가이드의 진직도를 측정하고, 둘 사이의 진직도 차를 이용하여 측정 값으로부터 보정하였다. 진직도 측정은

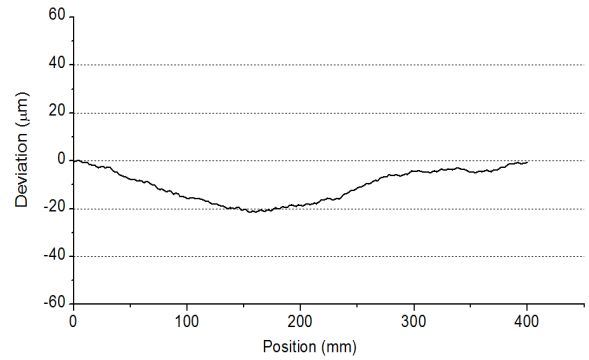


Fig. 7 Straightness difference between two linear motion guides

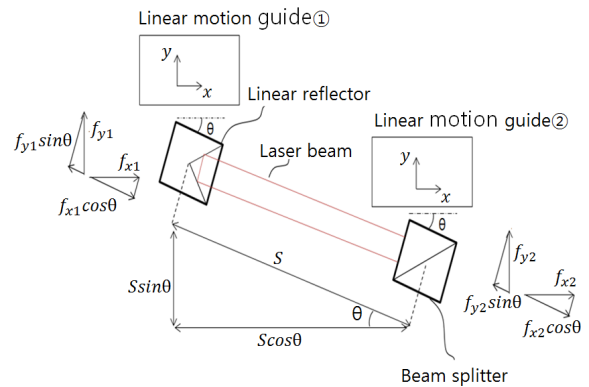


Fig. 8 Configuration of parallelism measurement between two rolls with difference levels

레이저 간섭계를 이용한 진직도 측정 원리로 이루어진다. Fig. 7은 두 직선운동가이드의 양 끝의 편차를 0으로 맞춘 진직도 차를 보여주며, 20 μm 이상의 오차가 있음을 알 수 있다.

설치 높이가 다른 두 롤의 평행도 측정에서 두 직선운동가이드의 형상오차는 두 직선운동가이드의 수평과 수직방향의 진직도 성분에 영향을 받는다. Fig. 8은 설치 높이가 다른 두 롤의 평행도 측정 개략도 이다. 레이저 간섭계를 이용한 높이 차를 갖는 두 롤의 평행도 측정은 두 롤의 설치 각  $\theta$ 방향의 거리가 측정된다. 이때 두 직선운동가이드의  $\theta$ 방향 형상오차가 평행도 측정 결과에 영향을 미치게 된다. 두 직선운동가이드의  $\theta$ 방향 형상오차를 구하기 위해 각각의 직선운동가이드의 수평 및 수직 진직도를 이용하여 계산한다. 직선운동가이드 ①의 수평진직도를  $f_{x1}$ , 수직진직도를  $f_{y1}$ 라 하고, 직선운동가이드 ②의 수평진직도를  $f_{x2}$ , 수직진직도를  $f_{y2}$ 라 한다. 설치 각  $\theta$ 로 설치된 두 미러 사이의 공칭거리가  $S$ 이다.

이때 두 직선운동가이드의  $\theta$ 방향 진직도차  $P(\theta)$ 는 식 (1)과 같은 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned}
 P(\theta) &= (S + f_{x2}\cos\theta) - (S + f_{x1}\cos\theta) \\
 &\quad - (S + f_{y2}\sin\theta) + (S + f_{y1}\sin\theta) \\
 &= f_{x2}\cos\theta - f_{x1}\cos\theta - f_{y2}\sin\theta + f_{y1}\sin\theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

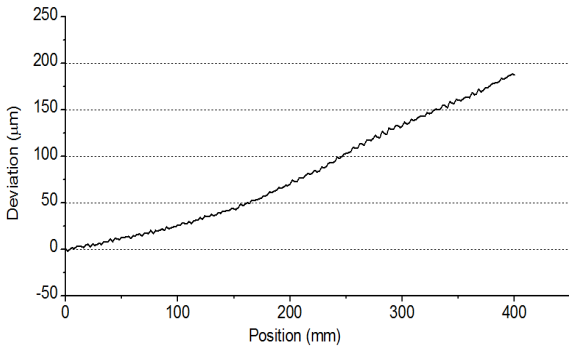


Fig. 9 Result of parallelism measurement between two rolls before correction

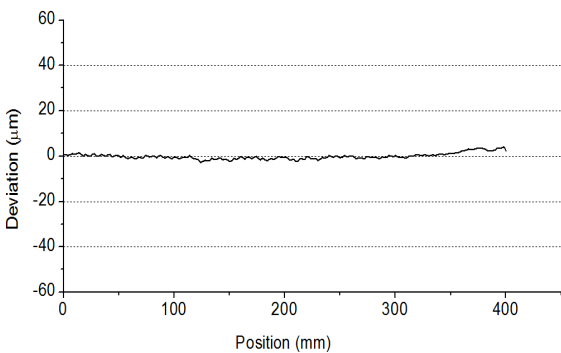


Fig. 10 Result of parallelism measurement after straightness difference correction between two rolls in linear motion guide

측정한 각각의 직선운동가이드의 수직 및 수평 진직도와 식 (1)을 이용하여 두 직선운동가이드의  $\theta$ 방향 형상오차를 구할 수 있다.

### 3.2 롤 평행도 측정

Fig. 9는 동일한 높이에 0.5 m 간격으로 설치된 두 롤 사이의 평행도 측정 결과를 보여준다. 측정 결과 롤 양 끝은 200  $\mu\text{m}$  수준의 평행도 오차를 보였다. 측정된 결과를 이용하여 진직도 차를 보정하면 두 롤의 평행도를 얻을 수 있다.

Fig. 10은 평행도 측정 결과를 바탕으로 두 롤 사이의 평행도를 개선하고 다시 측정한 후, 두 직선운동가이드의 형상오차인 진직도 차를 보정한 결과이다. 측정 결과에서  $\pm 3 \mu\text{m}$  수준의 진폭 오차를 나타내는데, 이는 직선운동가이드의 이송 시 발생하는 진동에 의한 오차로 판단된다. 제시된 레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정 방법은 양 끝단의 거리 차가 두 롤사이의 평행도를 나타내는 값이므로 이송 중 발생하는 오차는 중요하지 않다. 특히, 직선운동가이드의 이동이 없는 양 단에서 진동은 발생하지 않으므로 측정 중 발생하는 진동의 영향은 무시 될 수 있다. 이를 통해 동일한 높이로 설치된 두 롤 사이의 평행도를 측정하고, 측정된 롤 평행도에서 두 직선운동가이드의 형상오차를 제거할 수 있다.

Fig. 11은 한쌍의 두 롤을 각각 0.5 m와 1 m 간격으로 설치하고

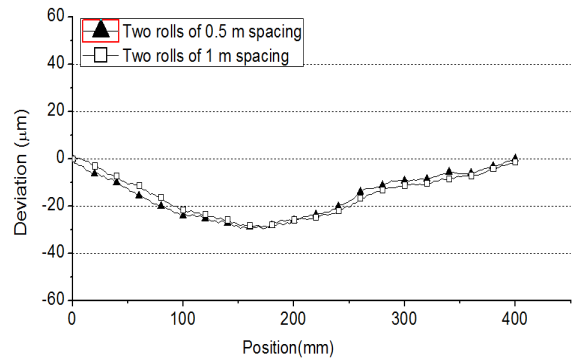


Fig. 11 Result of parallelism measurement results of two rolls with different spacings

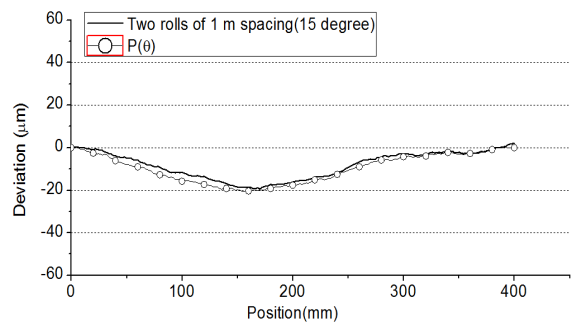


Fig. 12 Result of parallelism measurement between two rolls with difference levels

평행도 보정 후 재측정한 측정된 결과를 보여 준다. 두 평행도 측정 결과는  $\pm 3 \mu\text{m}$  수준으로 평행도의 정밀측정이 이루어졌음을 알 수 있다. 이 결과에서 설치된 두 롤 사이의 거리에 관계없이 롤 평행도 측정 결과가 거의 일치함을 알 수 있다.

Fig. 12는 식 (1)의 두 직선운동가이드의  $\theta$ 방향 진직도차  $P(\theta)$ 와 높이 차를 갖는(설치 각  $\theta=15^\circ$ ) 두 롤의 평행도 측정결과를 보여 준다. 측정 결과에서 최대 5  $\mu\text{m}$  수준의 편차를 보이는데, 이는 측정 과정에서 생기는 직선운동가이드의 진동 및 환경적인 요인으로 판단된다. 레이저 간섭계를 이용한 롤 평행도 측정에서는 양 끝단의 차이를 이용하므로 측정 정밀도에는 영향이 없는 것으로 판단된다. 이를 통해 두 직선가이드의 형상오차를 효과적으로 제거하여 높이차를 갖는 두 롤의 평행도 측정을 할 수 있음을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 연구는 레이저 간섭계를 이용한 두 롤 사이의 평행도 측정 방법을 제시 하였으며 이로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 레이저 간섭계와 직선운동가이드를 이용한 평행도 측정방법은 인쇄전자 장비 등의 롤 사이의 평행도 정밀 측정에 효과적으로 사용 될 수 있다.

- (2) 제시된 평행도 측정방법은 두 롤 사이의 거리가 먼 경우는 물론, 두 롤 사이의 설치 높이 차가 있는 경우에도 적용할 수 있다.
- (3) 제시된 평행도 측정 방법은 고 정밀 인쇄전자 장비의 정밀도 향상에 요구되는 수  $\mu\text{m}$  수준의 측정이 가능하였다.

따라서, 제안된 측정 방법을 활용하여 롤투롤 인쇄장비의 제작에 활용한다면 인쇄장비의 정밀도 향상으로 고 품질의 인쇄전자 부품 제조에 크게 기여 할 것으로 기대된다.

### References

- [1] Yoon, S. C., Lim, J. S., Lee, C. J., 2007, Printed Electronics: High Resolution Printing Technology, Polymer Science and Technology 18:3 238-245.
- [2] Park, J. Y., Park, J. S., 2013, The present status and future aspects of the market for printed electronics, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 17:2 263-271.
- [3] Kim, C. H., Choi, B. O., Ryu, B. S., Lim, K. J., Lee, M. H., Kim, D. S., 2007, Roll-to-Roll Gravure Offset Printing System for Printed Electronics, KSME Spring Conference 2007 461-466.
- [4] Kim, D. M., Choi, J. G., Kim, H. S., 2010, Precision Film Control of Roll to Roll System for RFID Printing, Journal of the Korean Society for precision Engineering 19:6 867-874.
- [5] Hwang, J. H., Park, C. H., Gao, W., Kim, S. W., 2005, Parallelism Measurement for Guide Rails of precision Machine Tolls, KSME Spring Conference 2005 792-795.
- [6] Hwang, J. H., Park, C. H., Gao, W., Kim, S. W., 2007, Parallelism and Straightness Measurement of a Pair of Rails for Ultra Precision Guide-ways, Journal of the Korean Society for precision Engineering 24:3 117-123.
- [7] Jeong, J. H., Oh, J. S., Kihm, G. h., Park, C. H., 2013, A Study on the Effect of the Sensor Gain Error in the precision Measurement of Straightness Error Using Mixed Sequential Two-Probe Method, Journal of the Korean Society for precision Engineering 30:6 607-614.
- [8] ML10 laser, 2004, Laser system user guide Version 7.1, Renishaw plc.