

# 소형 이송 테이블의 운동 진직도 측정에 적합한 간이 측정 장치 개발

## The Development of a Simple Measurement Device for Suitably Measuring the Motion Straightness of a Small Linear Table

\*정형영<sup>1</sup>, 이현석<sup>1</sup>, #홍준희<sup>2</sup>, 신우철<sup>3</sup>

\*H. Y. Jeong<sup>1</sup>, H. S. Lee<sup>1</sup>, #J. H. Hong(hongjh@cnu.ac.kr)<sup>2</sup>, W. C. Shin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 기계공학과, <sup>2</sup>충남대학교 BK21메카사업단, <sup>3</sup>한국기계연구원

Key words : Optical fiber sensor, Straightness, Linear table

### 1. 서론

공작기계를 비롯한 대부분의 생산장비는 직선 이송 메커니즘이 구성되며 이송계의 운동 정밀도는 장비의 중요한 성능지표가 된다. 따라서 이송 테이블의 운동 정밀도 평가는 반드시 필요하며 본 논문은 이 중에서 진직도 측정에 대해 다루고자 한다.

때때로 진직도 측정은 측정기의 구조와 측정 공간상 문제로 인해 생산 과정 중에 이송 테이블 모듈만 분리해서 평가하거나 이송 가이드의 형상 진직도 측정으로 대체되는 경우가 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 시스템 조립오차, 적용환경에 따른 특성변화, 그리고 시스템 동작 시 받는 외력에 의한 구조 변형이 진직도에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 최종 완성된 장비에서 적용 목적에 따라 구동할 때 진직도 측정이 수행되어야 실제 필요한 정확도 평가가 이루어질 수 있다. 그래서 대도록 간소한 측정장치와 측정법이 필요하다. 일반적인 운동 진직도 측정장치와 방법을 살펴보면 레이저 간섭계, 수준기, 오토콜리메이터 등을 이용한 각도 측정 방법과 다이얼 게이지, 전기 마이크로미터, 변위센서 등을 이용한 길이 측정 방법을 들 수 있다.<sup>(2)</sup> 전자는 정밀 측정이 가능하지만 측정공간 확보에 제약이 받을 수 있고 장비가 고가이고 측정 셋업이 복잡하고 숙련기술이 필요한 단점을 지니고 있다. 후자의 경우, 접촉식 방법은 전자와 비교하여 간편하게 측정이 가능하나 측정압에 의한 오차를 수반하고 마모와 마찰로 인해 반복 정밀도에 한계를 지니고 있다. 비접촉 방식은 정밀도면에서는 비교적 양호하나 정전용량형 센서나 와전류형 센서 타입의 전기모터에서 발생하는 전자파방해에 노이즈가 발생할 수 있고 측정점 크기가 프로브 단면적의 약 2배가 되기 때문에 자세한 프로파일 을 얻기에는 한계가 있다.

본 논문은 미크론대 정밀도로 이송 테이블의 진직도를 측정함에 있어 협소한 공간에서도 측정이 가능한 구조와 전자파 방해에 의해 노이즈 발생이 없는 광강도 변조방식의 광섬유 센서로 측정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 제안한 측정기와 측정법의 유용성을 검증하기 위해 LM가이드, 볼 스크류 구동방식의 상용 정밀급 이송 테이블의 운동 진직도 측정에 적용하였다. 그리고 동일한 대상에 대해 초정밀 레이저인터페로미터를 이용한 측정실험 결과와 비교하여 본 논문에서 제안한 운동 진직도 측정장치의 유용성을 확인하였다.

### 2. 운동 진직도 측정

#### 2.1 기본원리

본 논문의 이송 테이블 운동 진직도 측정 방법은 길이 측정 방식을 따르며 기본 구성을 Fig.1에 보이고 있다. 측정 대상인 테이블에 변위 측정용 광섬유 센서 프로브를 고정하고 테이블 측면에는 센서 측정범위 이내 크기의 공극(airgap)을 유지한 상태로 진직자(straight edge)를 설치한다. 그런 다음 이송 테이블을 구동시키면 센서는 이송구간 내의 테이블과 진직자 사이의 상대 변위를 측정하게 된다. 진직자 측정면의 프로파일이 기하학적 직선이라면 광섬유 센서가 측정한 상대 변위값은 테이블의 운동 진직도 측정값이 된다. 그러나 현실적으로 기하학적 직선의 기준을 얻기는 불가능하므로 정확한 진직도 평가를 위해서는 진직자 측정면의 형상 프로파일에 대한 보정이 필요하다.

한국 산업 규격(KS B 5243)에 명시된 수 백 마이크로미터 길이의 강제 진직자의 진직도 등급을 보면 특급의 경우라도

수 마이크로미터의 범위 내로 규정되어 있다. 본 논문 목표인 수 마이크로미터 대의 운동 진직도 측정에 적용하기는 특급 진직자를 사용하더라도 형상 프로파일에 대한 보정이 필요하므로 강제 진직자를 자체 제작하여 측정에 적용하고 가능성을 검토해 보았다.

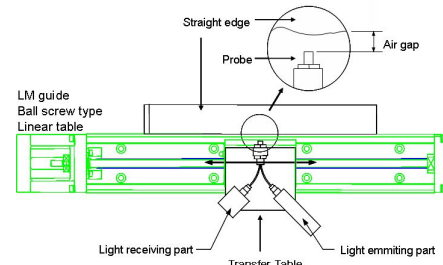


Fig. 1 Configuration of straightness measurement using an optical fiber sensor

#### 2.2 반전법

제작된 강제 진직자의 프로파일 보정에 반전법을 적용하였다. 반전법은 동일한 구간에 대해 대칭되는 방향으로 두 번 측정함으로써 측정기준이 지닌 오차를 측정결과에서 제거하는 보정법이다.<sup>(3)</sup> 반전법에 의한 진직자의 기준면 프로파일 보정개념을 Fig.2에 나타내고 있다. 진직자 기준면을 테이블에 고정된 센서 프로브와 일정 간격이 되게 테이블 한쪽 측면에 위치한 다음에 테이블을 이송시키면 센서는 기준면과의 상대변위를 연속적으로 측정하게 된다. 그 다음 동일한 이송구간에 대해 진직자를 테이블 반대쪽 측면으로 대칭되게 이동하여 고정시키고 프로브도 반대 측정 방향으로 고정하여 동일하게 기준면과의 상대변위를 연속적으로 측정한다. 각각의 측정값을  $S_1$ ,  $S_2$  라 하면 아래식과 같이 정의할 수 있다.

$$S_1 = e + p \quad , \quad S_2 = e - p \quad (1)$$

여기서  $e$ 는 기준면의 형상 프로파일을 나타내고  $p$ 는 이송 테이블의 진직도 운동오차를 나타낸다. 따라서 다음식을 통해 기준면 형상 프로파일을 보정한 테이블의 진직도 운동오차를 얻을 수 있다.

$$p = \frac{(S_1 - S_2)}{2} \quad (2)$$

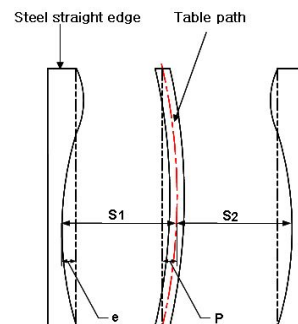


Fig. 2 Measuring principle of reversal method

### 3. 측정 장치 및 방법

제안한 측정장치의 정밀도는 무엇보다도 적용 센서의 성능과 적용성에 큰 영향을 받게 된다. 그러면 적합한 센서로서 갖추어야 할 요건은 변위 측정 정밀도, 반전법을 구현하기에 공간적 제약을 덜 받는 간소한 프로브 구조, 측정 환경 상에 존재하는 노이즈 원에 대한 강인성, 더불어 경제적인 가격을 들 수 있다. 이 모든 조건을 충족시킬 만한 센서로서 본 논문의 광강도 변조방식 광섬유 변위센서를 이용하였다.

제안한 측정기와 측정법으로 마이크로대의 운동 진직도 측정이 가능한지 상용 이송 테이블을 대상으로 측정실험을 하였다. 진직도 측정대상은 THK사 정밀급 이송 테이블로서 볼스크류, LM가이드 타입이고 스트로크는 25mm이다. 측정 공극은 센서 선형 측정구간인 04mm로 설정 하였다. 측정 데이터를 샘플링하여 획득하는 방식으로 이루어졌다.

### 4. 실험 및 고찰

Fig.3은 광섬유 변위센서를 이용한 상용 테이블의 운동 진직도 측정결과이다. 측정결과에 존재하는 고주파 노이즈 성분은 광섬유 센서가 강제 진직자의 측정면을 연속적으로 측정하는 과정에서 상대변위뿐만 아니라 표면의 미세한 가공 패턴들도 검출한 결과이다. 특히, 반전법 보정과정을 거치면서 두 배 이상 증폭되거나 상쇄된 피크점으로 나타났다. 이런 고주파 노이즈 성분은 진직도 평가시 무시되어야 하므로 저역통과 필터처리 후 진직도를 평가하였다.

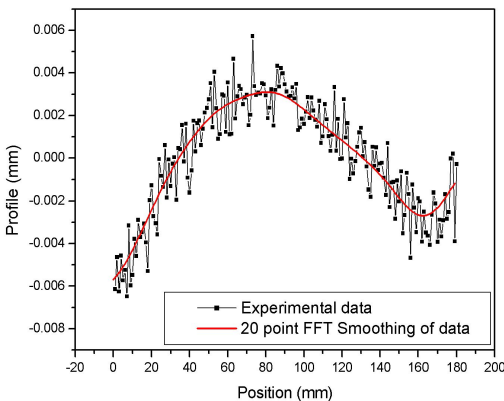


Fig. 3 Straightness profile data measured by the optical fiber sensor

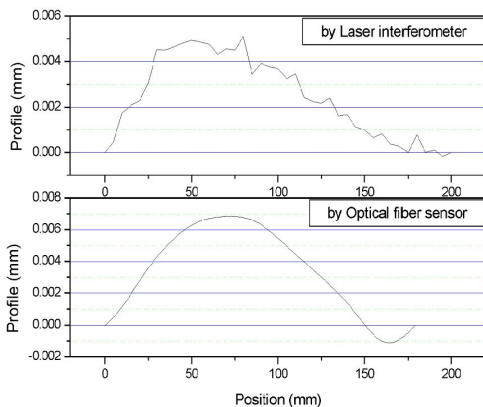


Fig. 4 comparison between straightness results of a laser interferometer and the optical fiber sensor

검증실험을 위해 레이저인터페로미터는 HP사 5529A모델을 이용하여 동일한 테이블 이송구간에 대해 측정하였다. Fig.4는 레이저인터페로미터로 측정한 결과와 제작된 광섬유 변위센서로 측정한 결과를 각각 나타내고 있다. 진직도 평가결과 레이저인터페로미터는 6.5  $\mu\text{m}$ , 광섬유 변위센서는 8.5  $\mu\text{m}$ 로 2  $\mu\text{m}$ 의 오차를 나타내었다. 오차의 원인으로 레이저인터페로미터에 비해 광섬유 변위센서의 정밀도가 다소 떨어지는 점과 강제 진직자의 표면거칠기에 의한 노이즈가 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한 반전법 구현 시 실험 셋업오차도 존재했을 것으로 사료된다. 적용한 상용 이송 테이블의 사양서에서도 10  $\mu\text{m}$  이하의 운동 정밀도가 기재되어 있는 것을 볼 때 산업현장에서 신뢰할 만한 수준의 결과로 판단되어지며 간소한 측정기와 측정법으로 고가의 상용 측정장비의 결과와 근접한 결과를 얻을 수 있다는 점에 의미를 둘 수 있다.

### 5. 결론

본 논문은 마이크로대 정밀도로 이송 테이블의 진직도를 평가하기 위해 측정 공간상 제약을 비교적 덜 받고 전자파 방해에 의해 노이즈 발생이 없는 광강도 변조방식의 광섬유 변위 센서를 이용하였으며, 일반적으로 제작할 수 있는 수준의 강제 진직자를 이용해 간편하게 측정할 수 있는 장치를 제안하였다. 검증을 위해 상용 정밀급 볼스크류, LM가이드 이송 테이블 시스템의 진직도 측정에 적용한 뒤 동일한 대상에 대해 레이저 인터페로미터를 이용한 측정결과와 비교하였다. 그 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 진직도 평가결과 상용 레이저인터페로미터를 이용한 측정에서는 6.5  $\mu\text{m}$ 이었으며, 본 연구에서 제작한 광섬유 변위센서를 이용한 측정에서는 8.5  $\mu\text{m}$ 의 운동 진직도를 나타내었다.
2. 초정밀 상용 레이저 인터페로미터의 측정결과치에 비해 제안한 광섬유 변위센서의 측정치가 2  $\mu\text{m}$ 의 오차를 나타냈으나 이것은 상용 이송테이블의 운동 정밀도 10  $\mu\text{m}$ 이하임으로 유효하다.
2. 본 논문에서 제안한 광섬유 센서를 이용한 측정 장치는 초기 셋업이 간편하고 구성 또한 간단하여 협소한 소형 이송 테이블의 진직도 측정에 적합하다.

본 논문에서는 반전법을 이용하였다. 반전법은 진직자를 테이블 반대쪽 측면으로 대칭되게 이동하여 고정시키고 프로브도 반대 측정 방향으로 고정하여 동일하게 기준면과의 상대변위를 연속적으로 측정을 하게 되므로 셋업 오차가 발생하게 될 수도 있다. 이 부분을 보완하기 위해 앞으로 한 번의 셋업으로 진직도를 측정할 수 있는 축차 이점법을 이용하여 더욱 연구할 계획이다.

### 참고문헌

1. 김현수, 장문주, 홍성욱, 박천홍, "평면 공작물 진직도 측정 시스템 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회지, Vol.19, No.3, 107-113, 2002.
2. 한국 산업 규격 (KS) B 4918, 18-19, 1995
3. 박천홍, 정재훈, 김수태, 이후상, "서브미크론 진직도 측정장치 개발," 한국정밀공학회지, Vol.17, NO.5, 124-130, 2000.
4. 신우철, 홍준희, "스텝 인텍스 멀티모드 광섬유의 투광 조도분포 모델링," 한국광학지, Vol.17, NO.2, 136-142, 2006.
5. 신우철, 홍준희, 박찬규, "주축도 모니터링용 광파이버 변위센서 제작 및 성능 평가," 한국공작기계학회 논문집, Vol.14, NO.6, 37-44, 2005.
6. 신우철, 홍준희, "스텝인텍스 멀티모드 광섬유를 이용한 광강도 변조방식 변위센서 설계모델 연구," 한국광학지, Vol.17, NO.6, 500-506, 2006.