

# 트위스트 롤러를 이용한 마찰구동기구의 개발

(Development of a twist-roller friction drive)

신영재\*, 이 후 상, 황 주 호

(한국기계연구원 공작기계그룹)

Youngjae Shin, Husang Lee, Jooho Hwang

Keywords: Ultraprecision positioning, friction drive, twist-roller friction drive, positioning resolution

ABSTRACT: For ultraprecision positioning, the use of the twist roller-type friction drive is proposed. In our study, it is difficult to decrease the resolution of positioning below 100 nm when we use general servo motors. Therefore we propose the feed drive with a small lead like a the cam-roller type traction drive leadscrew and modify it more accurately. By using the semi-loop control system, the positioning resolution of the drive can be 22.4 nm, where the pulse per revolution of the motor is 655360 and the the lead is 0.734 mm.

## 1. 서론

위치결정은 정밀공학에서 필수적인 기술의 하나이며 다양한 위치결정시스템들이 공작기계, 측정기 등에 사용되고 있다. 최근 랙과 피니언식 마찰구동기구[1]와 유정압식 리드스크류[2]들은 초정밀 비구면 가공기와 같은 초정밀 가공기의 위치결정시스템에 사용되고 있다. 이와 같은 구동기구들은 구동모터의 회전운동을 이송 테이블의 직선운동으로 변환시키는 구동방식으로 되어 있으므로 기계적인 이송 분해능을 높이기 위해서는 1회전당 이송거리 즉 리드(Lead)를 줄이거나 고정도의 각도분해능을 가진 구동모터를 사용해야 한다. 리드가 6mm인 스크류를 사용할 경우 1nm의 기계적인 위치결정 분해능을 얻기 위해서는 1회전당 6백만 이상으로의 각도를 분해할 수 있는 고분해능의 구동모터가 필요하다. 그러나 이와같은 구동모터는 고가이며 수급에 대한 어려움이 많아 본 연구에서는 리터를 줄이는 방법에 의하여 트위스터 롤러를 이용한 마찰구동기구를 제안한다. 이와 같은 방식의 구동기구는 포장과 관련된 기계의 이송장치와 제품의 운반장치 등과 같은 비교적 정도가 요구되지 않는 이송에 사용되어 왔다. 그러나 트위스터 롤러식의 마찰구동기구는 다른 마찰구동기구와 같이 구조가 간단하고 감속성이 다른 이송기구에 비하여 우수하여 구동모터 1회전당 100 $\mu$ m 이하의 리드도 가능하므로 초정밀 위치결정시스템에 적용할 경우, 일반 구동모터를 사용할 수 있으며 또한 고분해능의 모터를 사용할 경우 기계적인 분해능을 높일 수 있는 장점이 있으며 또한 롤러의 조립정도 및 마찰구동 접촉부의 지지강성의 개

선에 의하여 기계적인 이송분해능을 높일 수 있다. 최근 이와 같은 구동원리를 사용하여 초정밀 이송장치를 개발한 사례가 발표되고 있다. [3],[4]

## 2. 동작원리

그림1과 같이 직경이 D인 구동축(Driving shaft) 상에 접촉되어 있는 피구동롤러(Driven roller)의 회전축이 구동축의 회전축과 각도  $\alpha$ 를 이루고 있는 상태에서 구동축이 1회전 할 때 피구동롤러는 구동축 방향으로 L 만큼 이송하도록 되어 있다. (그림2) 여기서 구동축의 회전운동을 구동축의 축방향으로 직선운동으로 변환하기 위하여 피구동롤러가 자전운동만을 하도록 하는 지지체가 필요하므로 지지체는 회전되지 않고 구동축의 축방향으로 직선운동만을 하도록 직선 안내시켜야한다.

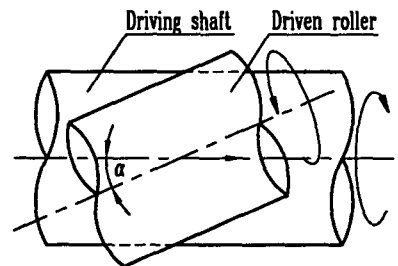


Fig.1 Driving shaft and driven roller of twist-roller friction drive

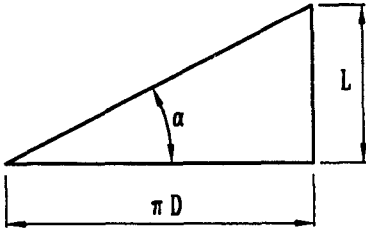


Fig.2 Development of roller locus

### 3. 구동력 및 정적강성의 해석

그림3과 같이 수직하중  $N$  및 접선방향의 하중  $F_x$  가 정적인 상태로 작용하는 경우 접촉하고 있는 구 탄성체 내의 한 고정점에 대한 접선방향으로의 변형량은 다음과 같다.[5]

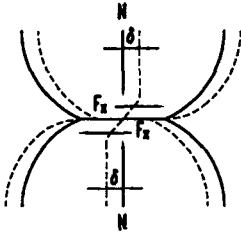


Fig.3. Tangential deflection  $\delta$  of bodies in contact under combined normal  $N$  tangential  $F_x$  loads

$$\delta = \frac{3\mu N}{4\pi G a} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{F_x}{\mu N} \right)^{2/3} \right] \Gamma \quad (1)$$

$\alpha$  기서  $G$ 는 등가횡탄성계수,  $\nu$ 는 프아송비,  $a$ 는 구름 방향에 수직한 방향으로의 타원 접촉면의 반경,  $b$ 는 타원 접촉면의 구름방향으로의 반경,  $\mu$ 는 마찰계수이며  $\Gamma$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\Gamma = (1 - \nu/k^2)F + \nu E/k^2, \quad a < b \quad (2)$$

$$\Gamma = \pi(2 - \nu)/4, \quad a = b \quad (3)$$

$$\Gamma = (1 - \nu + \nu/k_1^2)F_1 - \nu E_1/k_1^2, \quad a < b \quad (4)$$

$$k = (1 - b^2/a^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$k_1 = (1 - a^2/b^2)^{1/2} \quad (6)$$

$$F = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \phi)^{-1/2} d\phi \quad (7)$$

$$E = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \phi)^{1/2} d\phi \quad (8)$$

식(1)을 사용하여 이송방향으로의 컴플라이언스는 다음과 같다.

$$C_{F_x} = \frac{\partial \delta}{\partial F_x} = \frac{1}{2\pi G a} \left( 1 - \frac{F_x}{\mu N} \right)^{-1/3} \Gamma \quad (9)$$

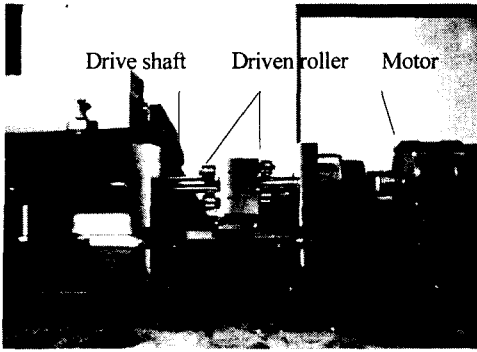
최대 구동력은 수직하중과 마찰계수와의 곱의 75%로 설정하여 다음과 같이 계산한다.

$$F_D = 0.75\mu \cdot N \quad (10)$$

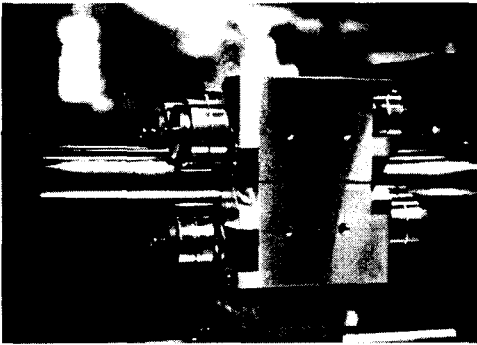
### 4. 성능 실험

그림4는 실험을 위하여 제작된 트위스트 롤러를 이용한 마찰구동기구이다. 그림4의 (a)는 마찰구동기구의 구성을 나타내는 그림이며 그림4의 (b)는 구동기구의 핵심부분인 구동축과 피구동롤러 즉 트위스트 롤러와 이 둘을 지지하고 있는 지지체를 자세히 나타낸 것이다. 피구동롤러와 구동축 사이의 예압력이 동일하게 작용하도록 하기 위하여 구동축의 한 수직단면에서 피구동롤러 3개가 120° 등간격으로 지지체의 전후에 고정되어 있다. 지지체 조립의 편의성과 예압력(구동축과 피구동롤러 접촉부에 작용하는 수직하중을 결정하기 위한 하중)을 용이하게 가하기 위하여 지지체는 상·하부 2개로 구성되어 있으며, 피구동롤러는 지지체에 설치한 스프링에 의하여 구동축에 밀착된다.

그림5는 마찰구동기구의 강성을 측정된 것으로 평균강성은 약 16kgf/ $\mu\text{m}$ 이며, 강성측정시 트위스트롤러의 지지체 좌우에서 측정된 변위가 서로 다르게 나타나므로 지지체에 하중이 작용할 때 각운동이 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 트위스트 롤러식 마찰구동기구가 이송테이블에 연결될 때 지지체의 각운동에 의하여 이송테이블의 위치결정정도가 저하될 수 있으므로 지지체의 각운동이 줄이는 것이 본 개발 장치에서 요구된다. 그림6,7,8은 트위스트 롤러식 마찰구동기구에 회전모터를 연결한 후 스텝이송을 실행하여 지지체의 직선이송량을 측정된 것이다. 회전모터에 의한 구동기구의 이송분해능은 일방향으로 지지체 직선이송을 10회 실시하여 그 평균값을 모터의



(a)



(b)

Fig.4 View of twist-roller friction drive(a) and detail view of driving shaft and driven roller

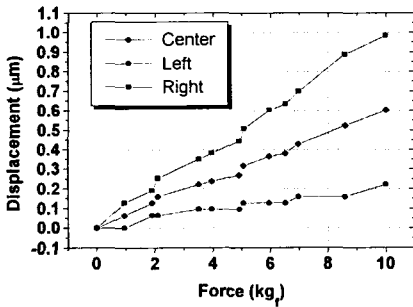


Fig5. Compliance of friction drive

회전각도 입력치로 나눈 것으로 본 구동기구에서는 모터의 최소입력에 대한 직선이송량은 1.2 nm 이다. 그림6는 스텝이송량이 11.2 nm, 그림7은 스텝이송량이 22.4 nm, 그림8은 스텝이송량이 33.6 nm의 경우로 10 스텝이송 시킨 후 다시 반대방향으로 10 스텝이송

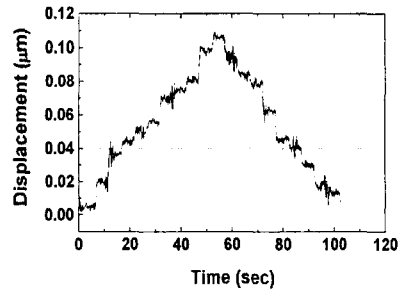


Fig6. Step response test with 11.2nm step increment

시킨 결과이다. 그림5의 강성측정결과에서도 알수 있듯이 이송중 지지체의 각운동과 구동기구의 진동, 모터의 진동, 변위 측정면의 진동, 변위측정센서의 측정오차, 구동축의 반경방향의 변화 및 모터의 각도 분할능력 등에 의하여 스텝이송량의 측정에 많은 영향을 주고 있음을 그림6,7,8에서 알 수 있다. 스텝이송 실험에서 11.2 nm 미만의 스텝이송량의 경우에는 스텝 간의 구분이 불명확하나 11.2 nm 이상의 스텝이송량에서는 스텝 간의 구분이 드러나며 22.4nm 이상의 스텝이송량에서는 명확하게 확인된다.(그림7,8)

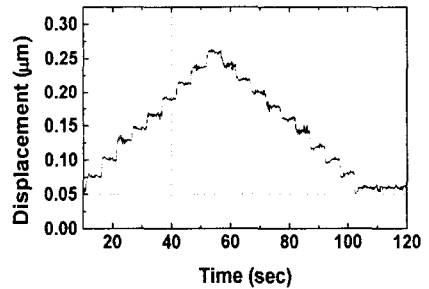


Fig7. Step response test with 22.4nm step increment

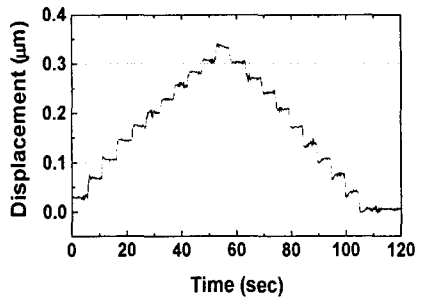


Fig8. Step response test with 33.6nm step increment

그림 7,8을 보면 스텝이송의 방향이 반전될 때 나타나는 구동기구의 백래쉬가 스텝이송량보다 미소함을 알 수 있다. 11.2nm 이하의 스텝이송량에서는 지지체의 각운동, 구동기구의 진동, 변위측정계의 측정오차 등에 의하여 백래쉬의 발견이 어려운 상태이다. 그리고 그림 7,8을 보면 스텝이송전과 후의 위치 변화가 서로 반대로 나타나고 있는데 이의 원인은 모터의 회전각도 분할성능과 구동축의 회전중심에 대한 반경의 변화 등이다.

### 5. 결론 및 향후 추진방향

본 연구에서는 비구면 가공기 위치결정시스템의 위치결정분해능을 향상시키기 위한 구동기구로 트위스트 롤러를 이용한 마찰구동기구를 제안하여 기계적인 이송분해능을 1 nm로 할수 있는 가능성을 실험하였으며, 지지체의 각운동의 개선, 트위스트 롤러의 조립 정도의 향상 및 구동기구의 강성의 증대에 관한 연구를 통하여 1 nm 이송분해능을 실현하고자 한다.

### 참고문헌

1. Leadbeater, P.B. et al., "A unique machine for grinding large, off-axis optical components : the OAGM 2500," Precision Engineering, Vol.11, No.4, 1989, pp. 191-196
2. Mizumoto, H., "Effective improvements of the design of hydrostatic lead screws," MTDR Conference Proc, 1983, pp.369-374
3. Mizumoto, H., Nomura, K., Matsubara, T. and Shimizu, T., "An ultraprecision positioning system using a twist-roller friction drive," Precision Engineering, Vol.15, No.3, 1993, pp.180-184
4. Mizumoto, H., et al. "An angstrom-positioning system a twist-roller friction drive," Precision Engineering, Vol. 17, No.1, 1995, pp.57-62
5. Rohn, D.A., Loewenthal, S.H., "An Analysis of Traction Drive Torsion Stiffness," J. of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol.107, 1985, pp.573-581