

# Solid Coupling의 설계 및 비틀림 각도 오차 특성 연구

노창열<sup>†</sup>·이응석<sup>\*</sup>·안동율<sup>\*\*</sup>

## A Design of Solid Coupling and Study of Torsional Angular error Character

Chang Yell Roh<sup>†</sup>, Eung Suk Lee<sup>\*</sup> and Dong Ryul Ahn<sup>\*\*</sup>

**Key Words:** Angular error (각도 오차), Back lash(백래쉬), Elastic Deformation(탄성 변형), coupling(커플링)

### Abstract

This is a thesis about the Solid Coupling Design and Torsional Angular Error Character. The solid coupling which is designed and made is a strong rigidity material. This is a experiment of Solid Coupling Torsional Error. The Angular Error, FEM and Circularity Measurement. Devices are Twist Friction Driver, Polygon, Autocollimator and Standard Encoder for Measurement. Coupling caused by elastic deformation causes angular error.

### 1. 서론

최근에는 각종기기의 소형화, 고집적화에 수반하여 초정밀 가공이 적용되는 형상 및 가공물 그자체가 마이크로화가 진행되고 있다. 그리고 마이크로 부품이 더욱 초소형화됨에 따라서 상대적으로 요구되는 정밀도가 올라가기 때문에 그 가공기의 이송계에는 나노미터 단위의 위치결정이 요구 된다. 이와 같은 초정밀 이송계에 있어서 나노미터 단위로 제어하기 위해서는 이송계를 구성하는 요소들중 구동기구의 위치결정 분해능이 나노미터 단위를 가져야 한다. 구동기구의 위

치결정 분해능이 나노미터 단위를 가져야 함에 따라 이송계에서 발생하는 오차요인을 줄여야 한다. 그 중에서 이번 연구에서는 커플링에 대한 연구를 수행하게 되었다. 그래서 커플링의 탄성 변형에 의한 이송오차를 줄이기 위해 탄성인지 방식의 커플링이 연구되고 있다. 탄성인지 방식은 기하학적으로 대칭구조를 가지며 운동방향에 대해서는 견고하지만 다른 방향에 대해서는 견고한 성질을 가지고 있다. 본 연구에서는 이송계를 구성하는 요소들 중에 커플링으로 인한 각도오차 특성을 분석하는데 있다.

### 2. Coupling 선정조건

커플링(Coupling)은 축과 축을 연결하여 회전 토크를 전달하는 기계요소를 말한다. 다른 축을 회전시키는 축을 원동축 또는 구동축이라 하고, 구동축에 연결되어 회전토크를 전달받는 축을 종동축 또는 피동축이라고 한다. 커플링은 크게 두 가지로 나뉘어진다. 하나는 고정 커플링(rigid coupling)으로서 두축을 아주 견고하게 연결하는

---

† 충북대학교 대학원 기계공학과  
E-mail : tlata12@cbnu.ac.kr  
TEL : (043)263-5789 FAX : (043)263-2441

\* 충북대학교 기계공학부

\*\* 충북대학교 대학원 기계공학과

---

방법으로 두축 사이의 중심이 일직선상에 있어야 한다. 두번째는 유연성 커플링(flexible coupling)으로서 양쪽 축간의 회전력만을 전달하고 굽힘 진동과 비틀림 진동은 전달되지 않도록 하는 방법이다.

구동축과 종동축사이에는 세가지 오차요인이 존재한다. 커플링은 세가지 오차요인(Radial misalignment, Angular error, Axial motion)을 보상해줘야 한다. 커플링 설계시 이 세가지 부분을 모든 만족을 시키면서 구동축에서의 전달하는 회전력을 종동축으로 전달하는 커플링 설계가 필요하다.

솔리드 커플링 설계의 목적은 고정커플링, 유연성커플링의 특성을 모두 만족시키는데 있다. 설계기준은 반경 R을 변경하고, 입력 토크 및 위치결정은 입력토크는 모터(Mitsubishi HC-MF23)의 최대토크 1.9N\*M로 결정하였고 입력토크의 위치결정은 세가지 오차요인(Radial misalignment  $\lambda$ , Angular error  $\alpha$ , Axial motion  $\delta$ )중 두가지 오차요인(Radial misalignment  $\lambda$ , Angular error  $\alpha$ )을 변경 하면서 설계를 하였다. 세가지 오차요인은 HEIDENHAIN사의 커플링 사양을 기준 (Coupling rigidity; 4000nm/rad) 같은 rigidity를 가지는 치수를 구하기 위한 것이며, 적용된 Torque는 실험에 사용된 서보 모터의 Max. Torque 이다

선정조건을 정리를 하면 크게 두 가지로 볼 수 있다. 일정한 Alignment error 가 있는 조건에서 Indexing error 가 최소가 될때, Indexing response 가 최소가 되는 강성(NM/rad)이 최대 (필요)일때, 두가지 조건이 절충되는 형상설계가 목적이다.

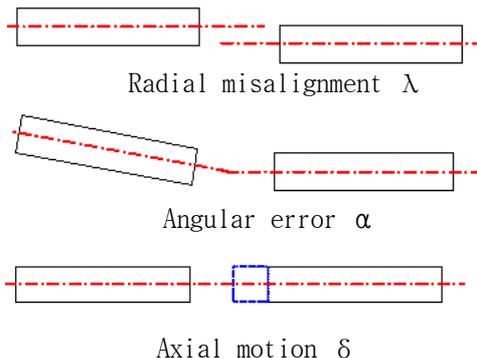


Fig.1 Three types of alignment error in axial

connection using coupling

### 3. Solid Coupling 설계 및 FEM해석

#### 3.1 Solid Coupling 설계

Fig.2에서와 같이 반경 R을 변화시키면서 ANSYS 해석을 해보았다. Fig.3에서와 같이 한쪽은 고정단 이라고 가정을 하고 FEM 해석을 하였다.

Table 1 material Properties of Solid Coupling for FEM analyzing

|                 |        |
|-----------------|--------|
| Torque          | 1.9NM  |
| Material        | SM20C  |
| Poisson's ratio | 0.3    |
| E               | 210Gpa |

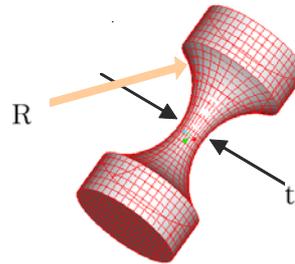


Fig.2 Design parameter of Solid coupling

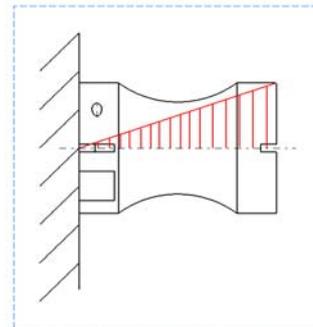


Fig. 3 Geometric boundary condition



표준엔코더는 IK220 보드를 이용하여 PC에서 데이터를 정리할 수 있게 하였다. 모터(MITSUBISHI HC-MF23)는 사용 하였다

4.2 Coupling 각도 오차 실험

모터와 구동축의 연결체인 커플링은 구동축에 비해 탄성변형이 쉽다. 이송계의 이송부하에 의한 비틀림 탄성 변형은 모터의 회전각 위치와 구동축의 회전각 위치 오차를 발생시킨다. 특히 이송방향이 바뀔 때 커플링의 탄성변형에 의한 회전각오차가 크게 발생하며 이는 이송오차로 이어지고 백래쉬 요인이 된다.

Fig.8은 예압 30N을 인가하고, 각속도 50000pulse/s2의 구동조건에서 각각 모터를 7° 왕복운동 시켰을 때 측정된 회전각 위치이다. Fig.9는 회전각의 크기에 대한 회전각 오차이다. A지점에서 B지점으로 가면서 Back lash가 일정한 값을 가진다. Coupling이 안정화 되어 그런 결과를 보여주는 것이다. Coupling에서 발생할 수 있는 Back lash 요인으로는 탄성변형, Clamp 상태(축조임 상태), 축 마찰력을 들 수 있다. 반복을 하면서 이 요인들이 안정화 상태로 된 것이다.

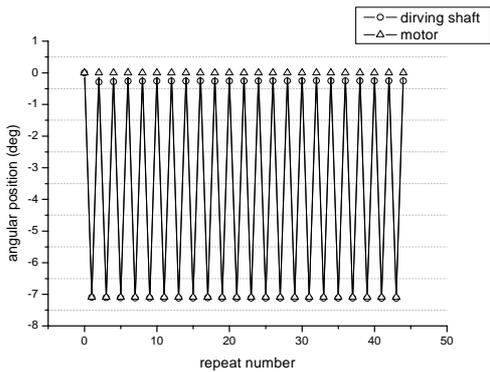


Fig.8 Angular position of driving shaft and motor in moving 7°

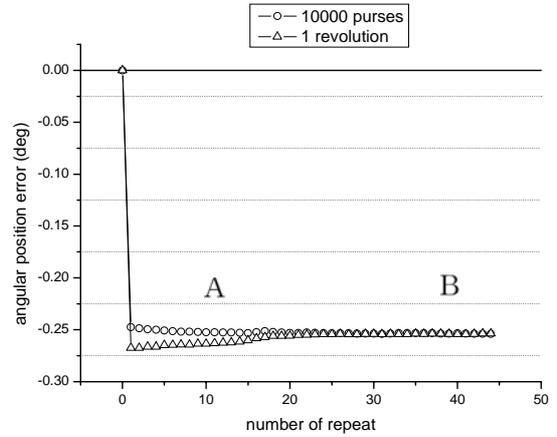


Fig.9 Coupling backlash

Fig.10 은 모터와 구동축의 회전각 위치를 측정한 그래프이다. 이송중 이송부하에 의한 커플링의 탄성변형에 의해 모터의 회전각 위치 보다 구동축의 회전각 위치가 적은 회전을 보이고 있다. Fig.11 는 이송 측정점에서 모터와 구동축의 회전각속도를 비교하였다. 모터의 제어 응답에 비해 구동축의 응답은 커플링의 탄성 변형의 요인으로 늦은 반응속도를 보이고 있다.

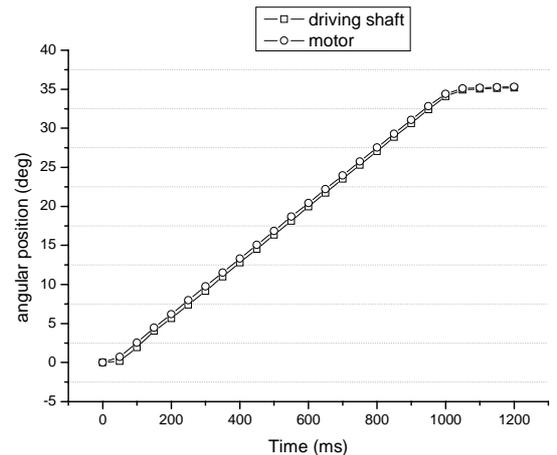


Fig.10 Position of motor and driving shaft in CCW direction for moving Friction driver

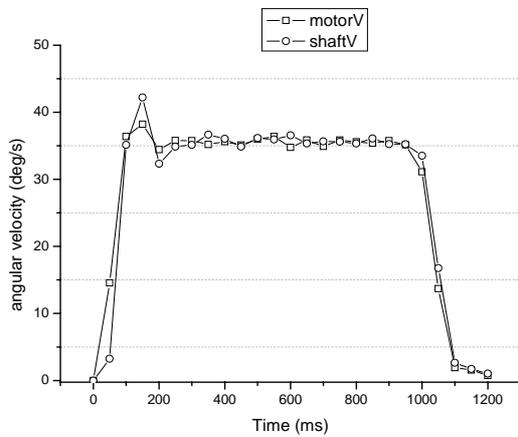


Fig.11 Angular velocity response

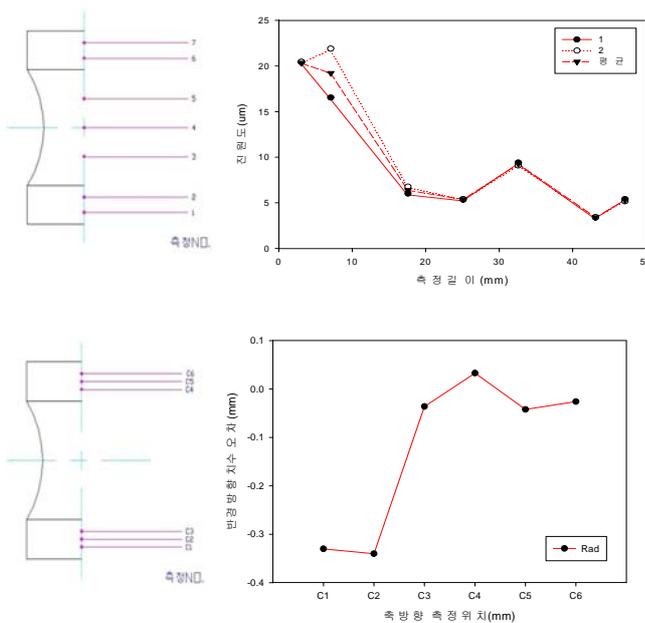


Fig.12 Roundness error for different sections along the axis of solid coupling

본 연구를 통하여 가공물의 측정을 실시한 결과 Fig.12에 나타난 것처럼, 아래로 갈수록 오차의 값이 점점 감소하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 수치제어 선반에 가공물을 장착시키고 가공할 때, 주축에 고정시킨 공작물이 편심회전을 한 이유가 가장 큰 것으로 예상된다.

### 5. 결론 및 향후 연구

이번 연구에 사용한 커플링은 한 종류만 사용했는데 추가로 여러 가지의 상용 커플링과 비교실험을 할 예정이다. 그리고 실험장치에서 구동축과 종동축의 동심도가 맞지 않을 때의 실험도 추가로 수행을 해야 할 것이다.

모터와 구동축의 연결에 필수 요소인 커플링의 탄성 변형에 의한 백래쉬가 발생한다. 또한 이송 부하에 의한 커플링의 탄성 변형은 이송 전 구간을 가속 등속 감속 구간으로 구분하여 각 구간별로 다른 탄성 변형량을 발생시키고 이는 이송 궤적의 오차로 나타난다

Solid Coupling은 설계는 완료한 상태이고 가공 중에 있고 Solid Coupling에 대한 실험은 수행할 예정이다.

### 참고문헌

- (1) Jiro OTSUKA, Michio TAKAHASHI, takashi USUDA, Makoto TOFUKU, "Study of Precision Positioning by Friction driver", Japan Soc, Prec. Eng., Vol. 26, No. 4, pp. 315-320 1992
- (2) 신영재, 최대봉, 이득우, "Ultra-precision Positioning by Friction Drive", 한국기계연구논문 B-8,
- (3) Chang kyu song, Young Jae Shin, Husang Lee, "Performance Assessment for Feeding System of Ultraprecision Machine Tool Driven by Friction Drive", 한국정밀공학회지 제 19권 제7호, pp. 64-70, 2002, July 1993
- (4) 송우근, 이응석, 최우천, 조동우, "정밀 이송장치의 모델링 및 제어, 마찰구동 장치를 이용한 초정밀 위치 이송" 한국자동제어 학회논문집, pp. 236-240, 1995
- (5) 박준호, 정밀 측정 시스템 공학, 야정 출판사, 1999.