

압전소자와 미소변위 기구를 이용한 회전장치 개발

강시흥*(한국표준과학연구원), 임태봉(한국표준과학연구원)

Development of a Rotating Device Using Piezoelectric and Micro Displacement System

S.H. Kang(Korea Research Institute of Standards and Science), T. B. Eom(Korea Research Institute of Standards and Science)

ABSTRACT

- A rotating device driven by an Inchworm motor was designed and fabricated to be used as an angle standard system.
1. PZT was adopted as a driving source, while the movement of PZT was guided by the leaf spring employing the elastic transformation of metals.
 2. The device could rotate in a 360-degree arc. continuously. Performance test of the device showed about 0.02 sec. of the minimum revolution angle and 1/15 rpm of the maximum revolution speed.
 3. To improve its performance requires further studies on realizing a shifting device with faster response time, on increasing the output current (capacity) of the power amplifier used to drive PZT, on the dynamic motion of clamping, and on determining the optimum clamping condition

Key Words : 압전소자 (Piezoelectric), 미소변위 (Micro displacement), 회전장치 (Rotary system), 각도 표준기 (Angle standard system)

1. 서론

정확한 원주분할이 필요한 기계가공, 다면경 (Polygon) 이나 광학프리즘의 광학가공, 원주분할 스케일의 제작, 항공 우주산업, 천체관측 및 측량에는 정밀한 회전장치가 사용된다.

특히 이러한 정밀 회전 장치의 각이 정확도를 평가하기 위해서는 초정밀 회전 테이블이 필요하다.

이런 회전 테이블은 크게 테이블을 회전시키기 위한 구동 장치, 원주방향 및 축방향의 회전 정확도를 유지시켜주는 베어링과 회전각 측정장치로 구성되어 있다. 구동장치로는 오래 전부터 워엄 기어와 DC모니터가 사용되었으며 최근 DC 토오크 모터나 초음파 모터를 이용한 직접 구동방식(direct drive)이 사용되고 있다. 이들은 기어의 백래시나 모터의 저속 구동 토오크 때문에 1초 미만의 각도 위치 제어가 어렵다. 베어링으로는 볼베어링이나

공기베어링, 유압베어링이 사용되고 있으며 0.02 μ m 수준의 회전 정확도를 얻고 있다. 한편 회전각을 측정하는 장치로는 광학식 로타리 엔코더(encoder)가 사용되고 있으며 0.1초 수준의 분할 정확도를 갖고 있다.

이런 원주분할 각도 회전장치는 위의 세 가지 요소가 정확하게 결합되어 각가의 성능이 유지되어야 한다. 예를 들어 광학식 로타리 엔코더자체의 눈금 분할 정확도가 0.1초이하 할 경우 베어링 회전축이 원주방향으로 흔들림(runout)을 갖고 회전하게 되면 그 양에 비례하는 각도 오차가 발생하여 0.1초의 정확도를 얻을 수 없다.

또한 베어링과 광학식 로타리 엔코더의 결합 후 0.1초의 최종정확도를 얻었을 경우에도 구동장치 위치 결정능력이 0.1초가 안되면 각도 회전장치로 제 기능을 발휘할 수 없게 된다. 각도표준기로 사용되는 초정밀 회전장치는 보통 0.1초 수준의 각도

측정 정확도가 필요하기 때문에 테이블의 각도 위치 제어는 이 보다 좋아야 한다. 전술했듯이 기어나 직접 구동방식을 사용했을 경우 1초 미만의 각도 위치제어가 힘들기 때문에 360. 회전이 가능한 회전 장치 위에 수십초 범위에서 0.1초 미만의 위치 제어가 가능한 미소 각도 회전 장치를 부착하여 사용하고 있으나 기계적인 구조 및 전자 제어계가 복잡하다. 본 연구의 주요 목적은 국가 각도표준기로 사용될 0.1초 수준의 정확도를 갖는 각도 표준기 개발 연구의 일부분으로써 이 각도 표준기에 사용할 회전장치의 개발에 있다.

본 논문은 새롭게 설계된 고정밀 회전 테이블에 관한 것으로 압전 액츄에이터를 사용한 "Inchworm" 기능으로 테이블이 미세한 각도 분해성능을 갖고 360. 전원주를 회전할 수 있도록 하였다.

2. 기계장치 제작

2.1 기계장치 원리

본 연구는 국가 각도 표준기로 사용된 Angle standard 개발의 일부분으로써 개발하고자 하는 Angle standard 장치이다. Lamp에서 나온 빛은 원주 방향으로 확산되는데 원주방향으로 36° 간격으로 설치된 10개의 렌즈 B에 의해 평행광선이 된 후 반사경에서 수직으로 반사되어 원주 방향으로 6480Line 그려져 있는 원주 유리스케일을 통과한다. (이 원주 스케일 한 눈금 사이의 간격은 20초이다.) 원주스케일을 통과한 빛은 검출헤드 E에서 검출된다. 본 연구에서 개발하고자 하는 각도 회전 장치 H에 의해 공기 베어링 G가 돌아가면 원주 스케일 D가 돌아가고 이때 눈금부너의 명암이 검출기 D에서 검출하여 회전각을 측정한다. 여기서 검출기를 10개 사용한 것은 원주 스케일의 오차 및 공기 베어링의 회전오차를 서로 상쇄시키고자 한 것이다. 따라서 검출기 한 개만 사용했을 때 발생하는 베어링의 회전 오차에 의한 각도 오차 및 원주 유리스케일 눈금 간격 오차가 상쇄되어 정확한 각도를 얻을 수 있다.

개발 하고자하는 Angle standard의 목표 정확도는 약 0.1초이기 때문에 회전 장치의 미소회전각은 0.1초 보다 작아야 한다.

2.2 기계적 구성

본연구에서 설계 제작된 clamping 기구와 미소 회전장치의 도면이 Fig.1와 Fig.3에 있다.

이들의 제작 사항은 Table 1과 같다.

Table 1 Material and manufacturing conditions

Material	SKD-11
Hardness	HRC 60
Removal of distortion	Tempering at 500 °C
Manufacturing time	200h
Tolerance	± 10 μ m
Manufacturing machine	Jib boring and grinding M/C

clamping을 위한 미소각도 회전기구로 PZT의 움직임이 hinge를 축으로 전달 확대되어 상하방향으로 움직이게 된다. 이때 clamping용 ball과 회전테이블 사이의 간격은 ball의 나사로 조절한다.

여기서 사용한 PZT는 전압 150V일 경우 15 μ m 팽창되어 C에서는 약 100 μ m 정도 움직이게 된다.

Fig.2는 미소각도회전 기구로 PZT A가 팽창되고 PZT B가 수축되면 Hinge H를 축으로 C는 a방향으로 회전하게 되어있다.

여기에 사용된 PZT는 150V 인가시 6 μ m 팽창된다.

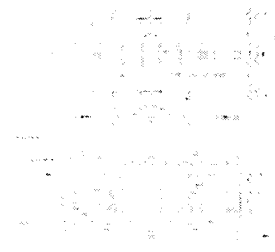


Fig. 1 Piezoelectric-driven clamping system

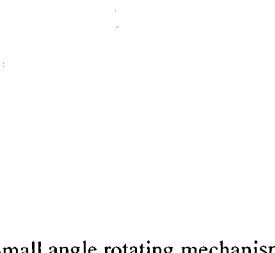


Fig. 2 Small angle rotating mechanism



Fig. 3 Small angle generator

2.3 기계적 동작원리

Fig. 4는 Fig. 1와 Fig. 3의 clamping 기구와 미소각도로 회전기구를 Rotary air bearing (Professional Instrument company USA)[20]에 설치한 것으로 동작원리는 다음과 같다.

PZT A'에 전압을 가하여 회전대를 고정 한 후 PZT A를 팽창시키고 PZT B를 수축시키면 시계방향으로 미소각도 회전한다. 다음 PZT B'에 전압을 가한 후 PZT A'에 전압을 제거하면 PZT A는 수축하고 PZT B는 팽창한다. 다음 PZT A'에 전압을 가하고 PZT B'에 전압을 제거하여 PZT A'를 고정시킨다.

다음 PZT A는 팽창시키고 PZT B는 수축시킨다. 이 과정을 반복하면 연속적으로 회전하게 된다. 만일 반대방향으로 회전시키기 위해서는 이 과정을 반대로 하면 된다.



Fig. 4 Rotary inchworm type piezoelectric actuator

2.4 작동 전자 장치

Fig. 5는 전자제어계의 개략도이다. 이 회전장치의 제어는 PC에서 수행되도록 하였으며 PC에 장착된 Data translation사의 Data aquisition board를 통해 이루어진다.

이 board는 그 channel의 D/A 변환기 (12bit)와 8channel의 A/D 변환기 및 16channel의 Digital I/O가 있는데 이중 2channel의 D/A 변환기와 2channel digital I/O가 이용된다.

프로그램에 따라 정해진 전압은 D/A변환기로 출력된다(0V~12V). 이 아날로그 신호는 고전압 증폭기에 의해 0V에서 150V사이의 값으로 증폭된다. 한편 Digital I/O의 출력(0V 혹은 5V)은 고전압 증폭기에서 증폭되는데 적당한 증폭비를 선택하여 사용된다. 고압증폭기의 출력은 4개의 PZT에 각각 입력된다. Fig. 6는 PZT에 전압이 인가되는 순서도이다. 빠르게 회전시키기 위해서 PZT A,B는 최대 최소 전

압을 연속적으로 인가 시키면 되고 저속구동을 위해서는 D/A 변환기를 통해 PZT에 0V,0.1V,0.2V... 등으로 인가시키면 된다.

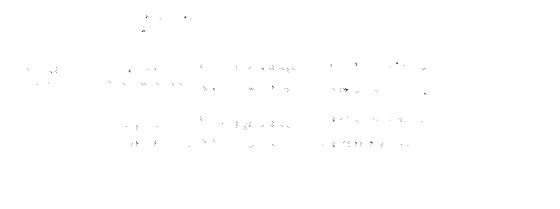


Fig. 5 Block diagram of the overall control system for the PZT motor



Fig.6 Piezoelectric-driven turntable drive sequence

작동 초기에 PZT AB는 중간 전압을 인가하고 clamping PZT A',B'는 전압을 인가하지 않는다.

회전을 시키기 위해 PZT A'에 전압을 인가하여 clamping 시킨 후 PZT A는 전압을 증가시키고 PZT B는 전압을 감소시켜 rotary air bearing을 회전시킨다. PZT A에 최대전압, PZT B에 최소전압이 되면 PZT B'에 전압을 인가하여 clamping을 시키고 다시 PZT A' 전압을 제거시킨 후 PZT A는 전압을 감소시키고 PZT B는 전압을 증가시켜 rotary air bearing을 회전시킨다. 이 과정을 반복하면 연속적인 회전을 얻을 수 있다. 역회전을 위해서는 PZT A'는 전압을 제거하고 PZT B'는 전압을 인가한 후 PZT A에 전압을 증가, PZT B에는 전압을 감소시키거나, 반대로 PZT A'에 전압을 인가하고 PZT B'는 전압을 제거한 후 PZT A는 전압을 감소 PZT B는 전압을 증가시킴으로써 역회전이 일어난다.

회전속도는 PZT A,B에 전압이 증가 혹은 감소되는 기울기를 변경 시킴으로써 제어가 된다.

3. 실험

Fig. 8는 이 장치의 최소 회전 각 분해능을 측정하기 위한 실험 장치이다. 회전 테이블위에 시준기 (Autocollimator)를 반사경을 설치한 후 이 반사경의 회전각을 시준기로 측정하도록 하였다.

측정은 D/A 변환기 출력을 최소단위로 변환시키면서 측정된 것으로 약 0.02초 수준의 분해능을 얻을 수 있었다. Fig.9는 PZT의 response time을 검사하기 위한 장치로서 고정 기구의 움직임을 capacitance type 변위계인 간격 센서(gap sensor)로 측정하였다.



Fig. 7 Photo type Piezoelectric driven turntable

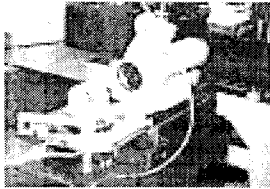


Fig. 8 Setup for checking the minimum rotation

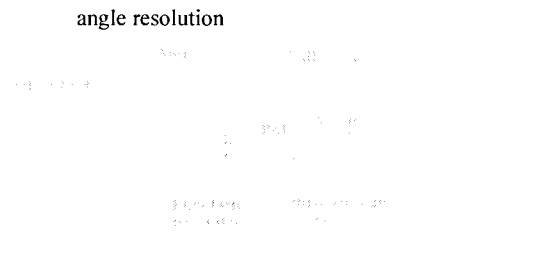


Fig. 9 Setup for checking the response time of the clamping mechanism

측정은 기능 발생기(function generator)에서 square pulse을 인가 시키면 PZT가 움직이고 이 PZT의 움직임이 간격 센서에 의해 검출되는데 function generator의 신호와 간격 센서의 신호를 오실로스코프로 확인하였다. PZT에 인가되는 전압이 약 15V일 경우 0.5KHz의 주파수를 인가 했을 때 거의 시간지연 없이 간격 센서의 신호가 나왔다. 이 보다 주파수를 올렸을 경우 간격 센서의 출력 파형이 찌그러졌다. 이 고정 기구에 사용한 PZT는 고유 진동수가 약 30KHz 정도인데 이보다 60배 낮은 주파수에서만 정상작동을 하였다. 이 현상은 미소이동 기구의 반응시간이 PZT에 비해 훨씬 크기 때문에 발생된다. 또한 PZT의 압력 전압을 높였을

경우 간격 센서에서 얻어지는 움직임의 크기가 변하지 않고 일정하게 나타났다. 이 현상은 현재 제작한 power Amp의 최대 출력이 60mA 정도로, 고주파수, 고전압을 PZT에 인가 할 때 필요한 전류보다 훨씬 작기 때문에 발생된다. 구동주파수를 0.5KHz로 인가 전압을 15V로 하였을 경우 최대 회전속도는 1회전/15분으로 나타났다. 따라서 회전속도의 향상이 필요한데 이것을 하기 위해서는 PZT용 power amp의 보완과 미소이동기구를 빠르게 구동할 수 있도록 설계 제작하여야 한다. 또한 고정에 대한 동적 운동에 대한 계산 및 실험을 더 수행하여 회전 속도의 향상을 위한 연구가 필요하다.

4. 결론

본 연구에서 Inchworm 모터 구동방식의 회전장치인 각도 표준 시스템(Angle standard system)을 설계 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Inchworm 원리의 회전장치를 설계 제작하였는데 미소구동원으로 PZT를 이동 안내기구로 금속의 탄성 변형을 이용한 판 스프링(leaf spring)을 이용하였다.
2. 본장치로 360° 연속회전이 가능하며 최소 회전각은 약 0.02초 였고 최대 회전속도는 1/15 rpm이었다.
3. 반응시간이 빠른 이동기구의 설계제작, PZT 구동용 power amp의 출력 전류증강 고정 of dynamic motion에 대한 연구 및 최적 고정 조건을 선택하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- (1) Kazumasa Ohnishi, Mikio Omeda, Minoru Kurosawa, and Sadayki Ueha "Rotary inchworm type piezoelectric actuator" Electrical Engineering in Japan, Vol. No.3(1990)
- (2) Toru Tojo, kazuyoshi Sugihara and Susumu Saito, "Piezoelectric - driven Turntable with High Positioning Accuracy (2nd Report)" Bull. japan soc. 28 prec. Engg, Vol. 24, No. 2 (1990)
- (3) T. G. King, M.E Preston, B. J. M. Murphy and D. S Cannell, "Piezoelectric ceramic actuators : A review of machinery applications precision Engineering (1990)
- (4) Seung - Bae Jung and seung - Woo kim "Improvement of scanning accuracy of, PZT Piezoelectric actuators by feed - forward Model - reference control"Bufferwoth - Heinemann. (1994)
- (5) Nobuhiro Tsvda, Takash : kato and Masaji Sawabe "One Piece Compound Parallel spring with reduction Flexure Levers" 日本精機學會 第 48卷 6號 (734~739) (1991)