

# KRISS 각도 비교기 개발

## Development of the KRISS Angle Comparator

\*김종안<sup>1</sup>, #김재완<sup>1</sup>, 강주식<sup>1</sup>, 진종한<sup>1</sup>, 엄태봉<sup>1</sup>

\*J.-A. Kim<sup>1</sup>, #J. W. Kim(jaewan@kriss.re.kr)<sup>1</sup>, C.-S. Kang<sup>1</sup>, J. H. Jin<sup>1</sup>, T. B. Eom<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국표준과학연구원 기술표준본부 길이센터

Key words : angle standard, angle measurement, rotary scale, equal-division-averaged method

### 1. 서론

평면각 (plane angle) 측정은 형상 측정의 주요한 측정 분야 중 하나이다. 각도 게이지 블록, 다면경과 같은 각도 기준물의 교정을 위해 눈금 원판 (indexing table)이 각도 기준기로 이용되고 있다. 그러나 눈금 원판은 제한된 눈금 간격으로만 각도 기준을 생성할 수 있고 수작업으로 회전 위치를 이동시켜야 하는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 임의의 측정각과 많은 측정점을 갖는 각도 게이지 블록, 다면경, 각도 엔코더 등의 교정 작업에서 제한을 갖게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 360° 범위 내의 임의 각도 위치에 각도 기준을 생성할 수 있는 각도 비교기 (angle comparator)가 개발되고 있다.<sup>1,2</sup> 본 논문에서는 KRISS 에서 개발된 각도 비교기의 기구 및 구동부, 회전각 측정부, 신호 처리 및 제어부에 대하여 설명한다.

### 2. 기구 및 구동부

각도 비교기는 측정물의 정밀한 회전 운동을 발생시키기 위한 원형 공압 베어링과 구동 모터, 회전각 측정을 위한 원형 스케일과 엔코더 센서, 그리고 측정물을 고정시키기 위한 고정판과 전체 각도 비교기를 지지하기 위한 기구 물들로 구성된다 (Fig. 1).

원형 공압 베어링 (Model 10R, Professional Instruments Company)의 회전축 윗면에는 측정물을 장착할 수 있는 고정판이 연결되어 있고, 아랫면에는 원형 스케일이 고정되어 있다. 고정판을 구동하기 위해 8 개의 초음파 모터 (HR 2, Nanomotion)를 원주 상에 45 도 간격으로 배치하였다. 초음파 모터의 핑거 끝단과 고정판의 아랫면에 환상으로 코팅된 세라믹 스트립

간의 마찰력으로 고정판을 회전시킬 수 있다.

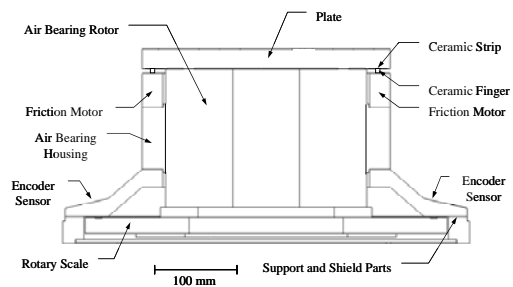


Fig. 1 Configuration of the KRISS angle comparator (sectional view)

초음파 모터 구동을 위해 전용 구동 드라이버 (AB2, Nanomotions)가 사용되었다. 제공되는 AC, 스텝, DC 구동 모드를 조합하여 최대 30 rpm 의 회전 속도를 얻을 수 있으며, 360 도 범위 내에서 0.005" 이하의 구동 분해능으로 회전각을 제어할 수 있다.

### 3. 회전각 측정부

회전각 측정을 위해 원형 스케일과 엔코더 센서가 이용된다. 원형 스케일은 360 도 상에 64800 개의 라인을 갖는 반사형 타입의 회절 격자 형태로 제작되었고, 엔코더 측정 위치에서의 격자 간격은 20 μm이다. 12 개의 엔코더 센서 (Mercury 3500Si, MicroE Systems)는 공압 베어링 지지부에 원주 형태로 배치되었다. 엔코더에서 발생하는 사인/코사인 형태의 센서 신호는 신호 처리 모듈 (SmartPrecision Electronics, MicroE Systems)에서 4096 체배되어 디지털 값으로 변환되고, 최종적으로 얻어지는 회전각 측정 분해능은 0.0049" 가 된다.

Equal-division-averaged (EDA) 방법<sup>2</sup>을 적용하여 원형 스케일의 오차를 자가 보정하기 위하여, 12 개 엔코더 센서를 원주를 6 개로 분할하는 형태와 7 개로 분할하는 형태로 배치하였다. 이러한 엔코더 센서 배치를 적용하면, 이론적으로 원형 스케일 오차의 푸리에 스펙트럼 중 42 차의 정수 배에 해당되는 차수의 스펙트럼을 제외한 나머지 항들을 보정할 수 있다.

#### 4. 신호 처리 및 제어부

각도 비교기를 위한 신호 처리 및 제어부는 Fig. 2 와 같이 구성된다. 회전각 제어 및 초기 위치 찾기와 같은 고속 작업 수행을 위하여 PXI 제어기 (NI PXI-1031, National Instruments)가 사용되었다. PXI 제어기 내에는 엔코더 값 읽기, 포토 인터럽터 신호 읽기, 모터 구동 신호 발생 등을 위하여 FPGA 다기능 신호처리 보드 (NI PXI-7831R, National Instruments)를 사용되었다.

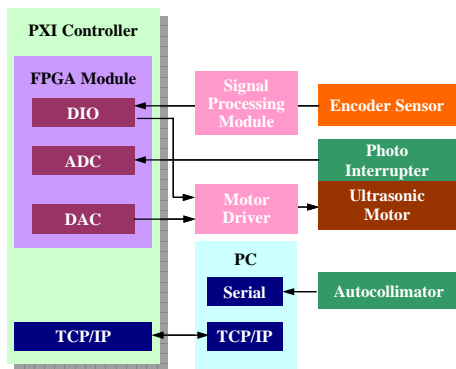


Fig. 2 Configuration of the signal processing module and controller

엔코더 신호처리 모듈에서 30 bit 엔코더 값이 순차 출력 (serial output) 방식으로 제공된다. 다기능 신호처리 보드의 디지털 입력/출력 포트를 이용하여 순차 출력 방식의 위치 값을 약 100 kHz 속도로 읽을 수 있다. 아날로그 입력과 출력 포트를 이용하여 포토 인터럽터의 신호 값을 읽고 모터를 구동하기 위한 전압 값을 출력한다. 또한 디지털 출력 포트를 이용하여 초음파 모터의 구동 모드를 변환 할 수 있다.

PXI 제어기 상에서는 각도 비교기의 초기 위치 찾기와 위치 제어 루틴이 수행된다. 초기 위치 찾기 루틴은 스케일 교정 값 적용 시 기준 위치를 찾기 위한 부분으로, 포토 인터럽터 신호와 스케일 값을 이용하여 초기 위치를 찾는다. 위치 제어 루틴에서는 조동과 미동 구동 방식을 순차적으로 적용하여 위치 제어를 수행한다. PXI 제어기는 TCP/IP 통신을 이용하여 PC 와 연결되며, PC 상에서 수행되는 호스트 프로그램은 각도 비교기 구동을 위한 사용자 인터페이스를 담당한다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 각도 게이지 블록, 다면경 등과 같은 각도 기준물과 회전 테이블, 각도 엔코더 등과 같은 각도 측정기의 교정을 위한 각도 비교기를 개발하였다. 12 개의 엔코더 센서를 이용하여 원형 스케일의 오차를 자가 보정할 수 있도록 하였고, 초음파 모터와 PXI 제어기를 이용하여 0.005" 수준의 구동 분해능을 얻을 수 있었다. 현재 여러 가지 각도 기준물과 측정기를 이용하여 각도 비교기의 성능 평가가 진행되고 있다.

#### 후기

본 연구는 한국표준과학연구원 “길이 측정 표준 확립 및 교정 측정 능력 선진화” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Probst, R., Wittekopf, R., Krause, M., Dangshaft, H., and Ernst, A., "The New PTB Angle Comparator," Meas. Sci. Technol., **9**, 1059-1066, 1998.
2. Watanabe, T., Fujimoto, H., and Masuda, T., "Self-Calibratable Rotary Encoder," J. Phys. Conference Series, **13**, 240-245, 2005.