韓國精密工學會 '95年度 秋季學術大會論文集 pp.254~259

레이저를 이용한 볼나사 리드오차 측정에 관한 연구

윤영식(건양대 공대), 박철우(연세대 대학원), 이상조(연세대 공대)
Young-Sik Yoon, Cheol-Woo Park, Sang-Jo Lee

Keyword : precision ball screw(정밀 볼나사), pitch error(피치 오차)
laser measurement system(레이저 측정 시스템)

ABSTRACT : Recently, the precision ball screw becomes the essence of the high-precision industries and is playing a key role in the positioning devices. The standard and definition of pitch error in a precision ball screw is specified by KS, JIS or ISO. However, the method of measuring the pitch error is not concrete. In this study, laser measurement system(LMS) with a laser position transducer and a machine-tools is developed. In order to verify the stability of the LMS, several experiments with the standard ball screw is performed.

1. 서 론

NC 공작기계, 정밀 측정기기의 위치결정 장치에 필수적으로 사용되는 정밀 볼나사(precision ball screw)는 일반 기계의 자동화, 고속화 추세에 따라, 각종 자동화 장비뿐만 아니라, 항공기, 자동차, 반도체 산업 및 일반 사무기기에 이르기까지 그 수요가 날로 증대되고 있다. 최근 급속한 발전을 이루고 있는 고정밀 가공 및 측정 기술은 궁극적으로 핵심부품들의 고정밀화에 기초를 두고 있으며, 특히 위치결정 장비에서는 여러 부품들중에서 정밀볼나사의 정도 등급이 시스템 자체의 정밀도를 좌우한다고 할 수 있다.

볼나사의 등급은 진동, 소음, 강성, 수명 및 리드오차 등 여러 요인에 의하여 판단되어야 하나, 기본적으로 리드오차로 대표되는 형상 정밀도가 이루어진 상태에서 여타의 연구가 병행되어야 한다. 볼나사의 등급은 리드정밀도에 따라 한국산업규격, JIS 및 ISO 등[1][2][3]에 규정되어 있으나, 등급단계가 서로 상이한 점이 있으며, 용어의 정의에 있어서도 명확하지 않은 면이 있어, 이를 바탕으로 한 측정방법을 결정하기가 어려우며, 각 생산업체의 성적서만으로 볼나사의 정밀도를 판단해야 하는 실정이다.

볼나사 생산업체의 볼나사 리드오차 측정방법은 일반적으로 레이저를 사용한 전용 볼나사 측정 시스템으로 평가하고 있으나, 국내에서는 신뢰성 있는 평가방법이 개발되어 있지 않으며, 전용 측정 시스템의 개발이 시급하다.

현재 운영되고 있는 리드오차 측정기[4]는 석정반위에 측정 대상 볼나사를 고정할 수 있는 V블럭과 볼나사의 축방향과 이에 직각방향의 거리를 측정하는 접촉 촉침(probe)과 마그네틱 스케일로 이루어져 있다. 이 방식은 측정할 수 있는 볼나사 길이의 제한이 있으며, 볼나사의 특정 대표각에 대하여 리드오차만을 측정하므로, 볼나사의 리드홈을 따라서 연속적 측정이 불가능하여 1회전당 변동값의 평가가 이루어지지 못하고 있다.[5] 또한, 설치와 측정에 있어 작업자의 주관이 개재될 가능성이 많아 정밀 볼나사를 생산하기 위한 생산시스템의 한 중요한 요소로서의 측정방법으로는 적합하지 않다. 따라서, 국제적인 정밀 볼나사 생산회사에서 보유·운영하고 있는 레이저를 이용한 볼나사 리드오차 측정 시스템이 개발되어야 하며, 이를 기존의 측정시스템과 병행하여 운영할 경우 측정의 신뢰성이 확보되며, 이를 생산현장과 연계한다면 볼나사의 정밀도가 제고될 것으로 예상된다.

따라서, 본 논문의 목적은 레이저 위치오차 측정 장치와 공작기계로 이루어진 정밀 볼나사 리드오차 측정시스템을 개발하고, 측정기를 이용하여 얻어진 데이터로부터 볼나사를 평가하는 방법을 확립하여 볼나사의 등급을 판정하는 전용 소프트웨어의 개발에 있다.

2. 볼나사의 측정 규격에 관한 용어

볼나사는 종류는 일반산업용 볼나사(C5,C7급)와 정밀 볼나사(C0,C1,C3,C5급)로 구분할 수 있으며, 본 연구의 대상은 리드정밀도가 C5급 이상의 정밀 볼나사이다. 한국산업규격[1][4]에 규정된 정밀 볼나사의 규격과 관련된 용어의 정의를 다음에 정리하였다.

(1)누적 기준 리드 : 기준리드에 따라 임의의 회전수로 회전했을 때의 누적한 리드.

(2)누적 실제 리드 : 연속측정에 따른 누적한 리드선도에서 그 평균적 경향을 구한 것 또는 나사축의 축선을 포함하는 임의 단면에서의 측정에 의해 구한 누적한 리드

(3)누적 대표 리드 : 누적 실제 리드의 경향을 대표하는 직선.

(4)누적 대표 리드 오차 : 누적 대표 리드에서 누적 기준 리드를 뺀 값

(5)변동: 누적 대표 리드에 평행하게 그은 2줄의 직선을 끼운 누적 실제 리드의 최대나비로서, 다음 항목에 대하여 규정한다.

(a)전구간 변동 : 너트의 유효 이동거리에 대응하는 것.

(b)300mm당 변동 : 나사축의 나사부 유효길이 사이에 임의로 취한 300mm에 대응하는 것.

(c)1회전당 변동 : 나사축의 나사부 유효길이 사이에 임의의 1회전에 대응하는 것.

3. 볼나사 리드오차 측정기

볼나사 리드 오차 측정기는 레이저를 이용한 위치측정 장치와 선반과 유사한 공작기계, 데이터를 수집하고 계산하는 개인용 컴퓨터로 구성된다. 본 연구를 통하여 개발된 볼나사 레이저 측정시스템(Laser Measurement System, LMS)은 크게 하드웨어와 소프트웨어의 두부분으로 나눌 수 있다. 하드웨어 부분은 측정대상 볼나사를 장착하고 회전시키는 선반과 유사한 모양의 기계부와 레이저 발생기, 인터페로메타(interferometer), 3개의 평면 거울, 반사경(reflector), 온도 센서와 습도센서로 이루어진 레이저부로 구성된다. 또한 소프트웨어는 볼나사 레이저 측정기 전용 프로그램으로 개발되었으며, 측정을 실행하여 얻어진 데이터를 수집하고, 계산하여 그림을 그리고, 화일에 저장하며, 프린터와 플로터로 결과를 볼 수 있도록 되어 있다.

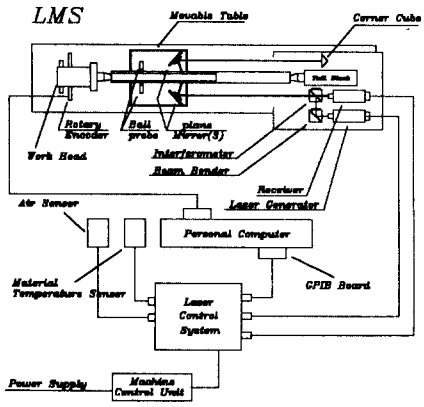

Fig. 1 볼나사 레이저 측정 시스템의 개략도

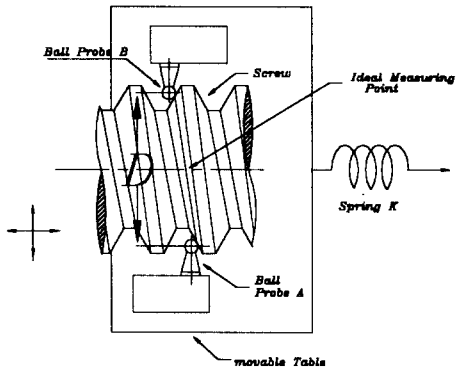

Fig. 2 Movable table with 2 ball probes

3.1 볼나사 레이저 측정기(LMS)

볼나사 레이저 측정기의 하드웨어 구성은 Fig. 1 과 같다. 기계부의 구성은 측정하고자 하는 볼나사를 장착할 수 있는 양센터와 볼나사를 회전시키는 AC서보 모타, 볼나사의 볼그루브를 따라서 움직이는 2개의 볼프루브(probe) 와 볼프루브를 지지해주고 움직임을 자유롭게 하도록 고안된 테이블이 있다. Fig. 2 는 볼나사의 그루브를 따라가는 테이블의 상세도이다. 레이저 발생기는 기계부의 심압대에 위치하고 있으며, 이로부터 발생한 레이저는 볼그루브 테이블에 고정되어 있는 3개의 평면거울을 통하여, 역시 심압대에 있는 반사경(corner cube)에서 반사되어 레이저 발생기 옆에 있는 수광부(receiver)로 들어와 제어기(controller)에서 연산되어 수치화된다. 두개의 온도 센서는 양센터 하단에 기계부의 온도를 감지하도록 설치하였으며, 습도센서는 기계부의 중앙에 위치하였고, 온도 센서와 습도 센서로부터 측정값은 제어기에서 받아서 레이저 측정값의 보정이 되도록 하였다.

또한, 볼나사의 회전량은 주축에 직결된 증분방식 로타리 엔코더(rotary encoder)와 32bit 카운타(counter)에 의하여 계산되도록 하였고, 이는 측정 볼나사의 위치를 간접적으로 알 수 있는 값이 된다. 레이저부에서 측정된 볼나사의 피치측정값은 GPIB를 통하여 개인용 컴퓨터로 수집되며, 로타리 엔코더의 펄스수는 역시 개인용 컴퓨터에 내장된 카운터로 측정된다. Table 1 은 하드웨어의 제원이다.

3.2 볼나사 측정시스템 전용프로그램

소프트웨어는 볼나사 레이저 측정시스템(LMS) 전용 프로그램으로서 메뉴 방식으로 전개되도록 되어 있기 때문에 컴퓨터에 익숙하지 않은 현장 작업자가 화면의 내용을 쉽게 이해하고 적응할 수 있도록 구성되어 있다. 주메뉴에서 Measure, File, Graphic, Output, SetUp의 5개의 모듈을 보여주며, 원하

Table 1 Specifications of the LMS

Item		Model	Specification
Laser position transducer (HP5527B)	Laser head	5517C	He-Ne LASER Accuracy : ±0.1ppm
	Linear interferometer	10766A	Nonlinearity : <4.2nm
	Linear retroreflector	10767A	
	Receiver	10780C	Sensitivity : 1.5 μW
	Electronics	5507B	Measurement Capability : 10.0nm HP-IB Interface : 25-350Hz
	Axis board	10932B	Data rate : 2.4-3.0MHz
	Air sensor	10751A	Operating Range : Temperature : 0-40℃ Absolute pressure : 517.2-775.7mmHg Accuracy(15-25℃) : 1.6ppm
	Material temperature sensor	10757A	Operating Range : 0-40℃ Accuracy : ±0.10℃
IEEE488 controller (IOTech)	GPIB	MP488 CT	NEC μPD7210 Speed : 330Kbyte/s
	Counter/Timer		AMD Am9513a Number of channel : 6 Resolution : 16bits Maximum input frequency : 7MHz
Personal Computer		486PC	CPU : Intel 80486 Ram : 4MB

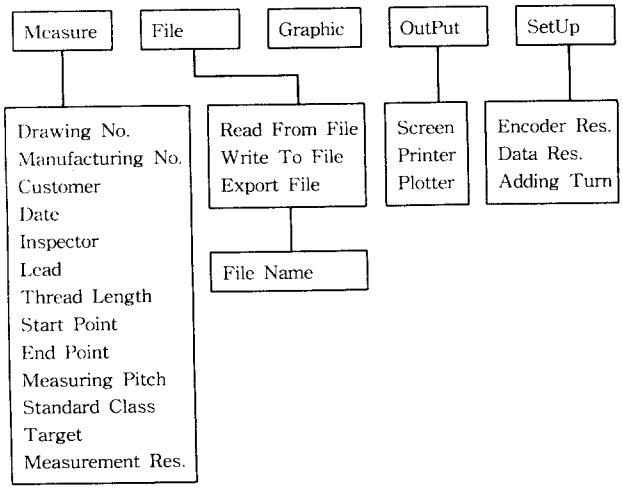

Fig. 3 Tree of the LMS software

는 작업으로 이동하면 그에 따른 부메뉴가 표시되도록 하였다. Fig. 3 는 소프트웨어의 전체 구성을 보여준다.

Measure모듈에서는 측정에 필요한 변수들을 입력하고 측정을 실행하는 부분으로서 LMS의 주축이 회전하고 레이저 제어부에서 측정값이 보내지면 측정이 시작된다. File 모듈은 측정된 데이터를 특정 파일명으로 저장하거나, 저장된 파일로부터 데이터를 읽어서 언제든지 다시 확인할 수 있도록 하며, 특별한 목적으로 쓰기 위하여 데이터의 형식을 달리하여 저장할 수 있다.

측정된 데이터로부터 계산된 누적대표 리드오차, 전구간 변동, 300mm 변동 등의 값은 모니터상으로 또는 프린터, 플로터로 결과를 얻을 수 있으며, 이는 Graphic모듈과 OutPut모듈에서 지정할 수 있다. Graphic모듈에서는 특정구간을 확대하여 결과를 볼 수 있으며, 각 피치에서의 값을 볼 수 있도록 하였고, Measure모듈에서 변수를 변경하면 새로 계산된 값을 보여준다. SetUp모듈은 측정시스템의 구성요소에 대한 지정값으로서 하드웨어의 교체등으로 인하여 인자를 변경할 때를 대비한 과정으로, 평상시 측정에서는 항상 고정된 값을 유지하여야 하므로 특별한 키에 의해서만 작동하도록 하여 오동작을 방지하였다.

4. 측정 결과 및 고찰

개발된 볼나사 레이저 측정 시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여 표준 볼나사(master ball screw)를 측정대상으로 하여 반복측정을 수행하였다. 표준 볼나사는 나사부 길이 750mm, 리드 10mm이고, 정밀도는 KS규격으로 C0급이며, 이는 530mm기준으로 누적대표리드오차 0.006mm , 전구간 변동 0.004mm, 300mm 변동 0.0035mm, 1회전 변동 0.0025mm가 허용값이다.

LMS를 이용하여 표준 볼나사를 1회전당 10° , 30° , 60° , 90° , 360° 씩 측정한 데이터로부터 얻어진 그림이 Fig.4 (a) ~(e) 이다. 또한 Fig.4 (f) 는 10° 씩 측정한 데이터를 1회전씩 평균한 대표각에 대한 리드오차의 그림이다. 그림에서 가로축은 볼나사의 좌단에서부터 축방향으로의 실제 거리이고, 세로축은 누적 실제 리드를 나타내며, "T" 자까지의 직선은 누적대표리드오차값이다. 그림에서 알 수 있듯이 10° , 30° , 60° , 90° 측정각도에 따른 리드오차 곡선은 같은 형상을 보이고 있으나, 360° 의 대표각도에 대한 그림 Fig.4 (e) 와 (f) 의 비교에서는 차이를 보이고 있다. 이는 "누적 실제 리드 "를 구하는 측정방법의 차이로 발생하는데, 한국산업규격의 용어의 정의에 의하면, 누적 실제 리드는 "연속측정에 따른 누적한 리드선도에서 그 평균적 경향을 구한 것"으로 규정하고 있으므로, Fig. 4 (e)와 같은 측정 방법보다는 Fig. 4 (f) 의 측정방법으로 볼나사의 누적실제 리드 선도를 얻는 것이 타당하다.

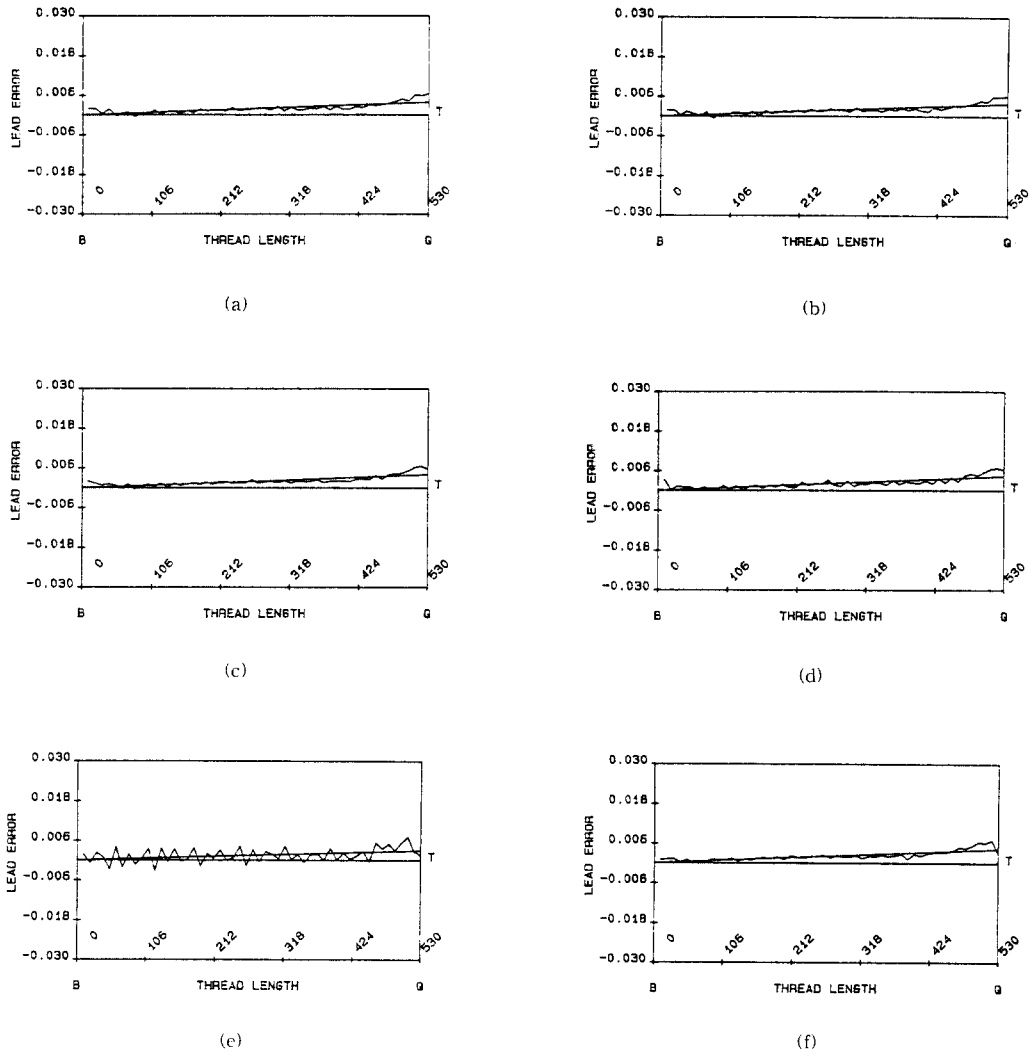

Fig. 4 Lead error diagram

위의 측정된 누적 실제 리드 선도들의 평가 항목별 정량적 비교는 Table 2 에 정리하였다. 누적 실제 리드선도의 평균적 경향을 구하는 방법으로 데이터의 평균 개수를 달리하여 평가하였는데, 표에서 평균갯수로 표시된 수치가 인접데이터를 평균한 갯수이며, 인접데이터를 평균하지 않았을 경우가 0 이다. 각도는 실제 측정한 각도를 말하며, 각 경우에 대하여 2회 측정하여, 누적대표리드오차, 전구간변동, 300mm당 변동, 1회전당 변동 등의 평가 항목에 대한 평가값을 정리하였다.

모든 경우에서 누적 대표 리드 오차는 0.0039~0.0051mm 사이의 값을 보이고 있으나, 평균적 경향을 구하지 않은 방법인 ⑩의 경우만이 0.0027mm로 다른 평가값과는 차이를 보이고 있는데, 이는 볼나사의 특정 대표각도만을 측정하여 연속측정에 의한 평균적 경향을 구하지 못한 결과라 생각한다. 이러한 현상은 전구간 변동, 300mm당 변동값에서도 같은 경향을 보이고 있으며, ①~⑨의 방법에서는 거의 유사한 결과가 나왔으나, 360° 로 측정 또는 데이터 처리한 결과는 이전의 경우보다 편차가 크게 발생하였다. 특히 측정 또는 계산을 360° 씩 처리 하게되면 1회전당 변동의 평가가 이루어지지 못한다.

Table 2 Travel deviation and variation by method #1

분류	각도	평균갯수	측정회수	누적대표리드오차	전구간변동	변동/300mm	변동/1회전
①	10	0	1회	0.0039	0.0038	0.0038	0.0121
			2회	0.0048	0.0038	0.0038	0.0134
②	30	0	1회	0.0039	0.0039	0.0039	0.0106
			2회	0.0048	0.0038	0.0038	0.0111
③	30	3	1회	0.0040	0.0039	0.0039	0.0099
			2회	0.0048	0.0039	0.0039	0.0098
④	60	0	1회	0.0041	0.0038	0.0038	0.0094
			2회	0.0048	0.0034	0.0034	0.0099
⑤	60	3	1회	0.0041	0.0038	0.0038	0.0088
			2회	0.0049	0.0032	0.0032	0.0087
⑥	60	5	1회	0.0041	0.0040	0.0040	0.0080
			2회	0.0048	0.0033	0.0033	0.0089
⑦	90	0	1회	0.0044	0.0044	0.0042	0.0090
			2회	0.0051	0.0047	0.0047	0.0094
⑧	90	3	1회	0.0042	0.0039	0.0038	0.0086
			2회	0.0048	0.0044	0.0044	0.0094
⑨	90	9	1회	0.0041	0.0041	0.0041	0.0072
			2회	0.0048	0.0036	0.0036	0.0068
⑩	360	0	1회	0.0030	0.0081	0.0075	-
			2회	0.0027	0.00101	0.0099	-
⑪	360	37	1회	0.0044	0.0047	0.0047	-
			2회	0.0039	0.0079	0.0079	-

Table 3 Travel deviation and variation by method #2

분류	각도	평균갯수	측정회수	누적대표리드오차	전구간변동	변동/300mm	변동/1회전	시작위치
①	10	0	1회	0.0046	0.0033	0.0033	0.0081	540°
			2회	0.0047	0.0025	0.0025	0.0081	
②	10	0	1회	0.0047	0.0034	0.0034	0.0081	630°
			2회	0.0047	0.0025	0.0025	0.0083	
③	10	0	1회	0.0049	0.0033	0.0033	0.0085	720°
			2회	0.0047	0.0025	0.0025	0.0084	
④	30	0	1회	0.0049	0.0035	0.0035	0.0078	〃
			2회	0.0046	0.0025	0.0025	0.0079	
⑤	30	3	1회	0.0049	0.0033	0.0033	0.0061	〃
			2회	0.0046	0.0025	0.0025	0.0060	
⑥	60	0	1회	0.0049	0.0037	0.0037	0.0072	〃
			2회	0.0048	0.0025	0.0025	0.0078	
⑦	60	3	1회	0.0049	0.0033	0.0033	0.0056	〃
			2회	0.0046	0.0026	0.0026	0.0057	
⑧	60	5	1회	0.0049	0.0033	0.0033	0.0050	〃
			2회	0.0046	0.0025	0.0025	0.0050	
⑨	60	7	1회	0.0049	0.0033	0.0033	0.0044	〃
			2회	0.0046	0.0025	0.0025	0.0046	

1회전당 변동값의 비교에서는 모든 경우에서 C0급 볼나사의 허용기준내에도 들지 않을 뿐 아니라, 그 편차도 다른 평가항목에 비하여 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과의 원인으로는, 일반적으로 볼나사 정밀도의 평가항목중 누적대표리드오차, 전구간변동, 300mm당 변동은 볼나사의 나사부만을 측정하는데 반해, 1회전당 변동은 너트를 체결한 상태에서 측정을 시행하는 측정 방법상의 차이에 기인하는 것으로 예측된다. 위치 결정용 정밀 볼나사가 적용되는 상황은 너트가 완전히 체결되고 예압이 가해져서 백래시 등의 위치 결정의 불완전 요인을 최소화한 상태이므로, 너트가 체결된 볼나사에 대한 1회전당 변동의 측정은 타당성을 갖는다고 생각된다. 또한 누적 실제 리드의 측정에서 호칭리드 10mm에 대하여 기준 측정길이 50mm의 측정간격을 최대로 하는 방법을 한국산업 규격에서 권장하고 있기 때문에, 너트 체결에 의한 볼나사의 측정이 실제 작동상태에서 정밀도를 예상하는 평가값으로서의 의미를 갖는다고 할 수 있다.

볼나사의 나사몸체만을 측정하여, 너트 체결상태의 측정 효과를 예측하기 위한 계산결과는 Table 3 에 정리하였다. 표에서 각도,평균갯수는 앞의 Table 2 에서와 같은 의미이고, 측정한 각 데이터를 연속된 각도에서 50mm(5산)씩 평균한 결과이다. ①,②,③은 측정 시작위치에 따른 평가값을 비교한 결과인데, 거의 유사한 결과를 보이므로 측정 시작 위치에 따른 편차는 미미한 결론을 얻었다. ③~⑨의 측정방법에서의 평가값들은 앞에서의 측정 방법보다도 편차가 줄어드는 안정적인 값들을 보이고 있으나, 1회전당 변동값은 그 크기가 허용값에 좀 더 접근하였으나 여전히 기준값에서 벗어난 결과를 보여준다. 이것은 1회전당 변동은 너트를 체결하여 측정이 이루어져야 한다는 것을 말하고 있으나, 실제 생산 현장에서 이미 체결이 된 상태에서 불량 판정을 받은 생산 제품에 대한 처리에 있어, 볼나사 몸체를 재가공해야 하는데 이에 드는 해체 시간등을 고려해 볼 때 바람직하지 못한 방법이며, 볼나사 몸체만을 측정하여 너트 체결 상황을 예측하는 데이터 처리 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

5. 결 론

볼나사 리드오차 측정 시스템 개발에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1)레이저 위치 측정장치와 공작기계를 응용하고 전용 소프트웨어로 이루어진 볼나사 레이저 측정시스템 개발하였으며, 볼나사 홈의 규격에 적합한 측정지그들을 사용한다면 볼나사의 등급을 평가하는 생산 현장에 적용할 수 있다.

(2)개발된 레이저를 이용한 볼나사 리드오차 측정 시스템을 사용하여 표준 볼나사를 측정한 결과, 누적대표 리드오차 전구간 변동 및 300mm 변동값으로 판단할 때, 볼나사 레이저 측정 시스템의 측정 결과는 신뢰할 수 있다.

(3)볼나사의 평가는 연속측정에 의하여 호칭리드에 따른 기준 측정길이 간격으로 측정하여, 데이터를 얻고 그 평균적 경향의 누적실제 리드 선도를 구하여 평가 항목별로 평가 하는 것이 타당하다.

(4)1회전당 변동값의 오차의 원인은 다른 항목과 상이한 측정 방법에 원인이 있는 것으로 판단되며, 관련된 고정구를 개발하여 너트가 조립된 상태의 볼나사를 측정하는 방법이 개발된다면 측정값이 안정화 될 것으로 예상된다.

(5)볼나사 레이저 측정 시스템의 측정 정밀도를 향상시키기 위하여 기계부에서 보완하여야 할 사항과 측정 소요시간의 단축, 측정공간의 안정화 방안등의 문제는 앞으로도 계속 연구가 이루어져 할 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] KS B 1020(1993).

[2] JIS B 1192(1987).

[3] ISO 3408(1991).

[4] 이상조, "고정밀 가공 및 측정기술에 관한 연구", 통상산업부·과학기술처 3차년도 중간보고서, 1995.

[5] 박철우, 윤영식, 이상조, "볼나사 리드오차 측정에 관한 연구", 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 학술대회논문집, pp.34-39, 1995.