

# 원형, 다이아몬드, 사각형 가공 테스트와 함께 볼바 테스트 수행

## 소개

이 백서는 공작 기계 성능을 평가하기 위해 “원형 다이아몬드 사각형” 절삭 테스트와, 경우에 따라 이를 대신해 Renishaw 볼바 테스트를 사용할 수 있는 방법을 설명합니다. 먼저 원형 다이아몬드 사각형 윤곽 가공 테스트와 기계 성능을 평가하는 데 사용되는 측정에 대한 개요를 설명합니다. 그런 다음 Renishaw 볼바 시스템과 자동 플롯 진단 소프트웨어가 제공하는 결과를 설명합니다. 마지막으로 절삭 테스트에 앞서 볼바 진단 결과를 사용하여 금속이 절삭되기 전 기계 성능에 대한 중요한 정보를 제공하여 시간과 비용을 절약할 수 있는 방법에 대한 자세한 정보를 제공합니다.

## 원형 다이아몬드 사각형 기계 테스트

절삭 테스트는 공작 기계 성능을 평가할 수 있는 일반적인 방법을 제공해 왔습니다. 기계는 지정된 조건에서 테스트 시편을 제조하는 데 사용됩니다. CMM(좌표 측정기)에 놓인 테스트 시편의 치수 정확도를 확인하여 기계 성능을 확인합니다.

1966년 미국 항공우주 산업 협회(Aerospace Industries Association of America)는 CNC 밀링 기계에 대한 일련의 표준화된 절삭 테스트를 미국 국가 항공우주 표준(National Aerospace Standard) NAS979에 정의했습니다<sup>1</sup>(균일 절삭 테스트 - NAS 시리즈 - 금속 절삭 장비 사양).

이 표준의 섹션 4.3.3.5.1은 CNC로 제어되는 원형, 다이아몬드 및 사각형 형태 프로필의 가공과 관련된 복합 절삭 테스트를 정의합니다. 이 테스트를 “원형, 다이아몬드, 사각형 테스트”라고 합니다.

NAS979는 “2013년 5월 31일 이후 설계에 사용되지 않음”으로 간주되며, 직접적인 교체는 없었습니다. 그러나 현재 유사한 원형, 다이아몬드, 사각형 테스트가 국제 표준 ISO 10791-7 2014<sup>2</sup> 및 미국 표준 ASME B5.54 2005 3에 모두 정의되어 있습니다.

ISO 10791-7은 NAS979의 경우와 유사한 (동일하지는 않음) 원형, 다이아몬드 및 사각형 형태의 형상이 있는 테스트 시편을 사용하는 “위치 제어 및 윤곽 가공 테스트”를 정의합니다. 이 표준은 M1\_80(80 x 80 mm), M1\_160(160 x 160 mm) 및 M1\_320(320 x 320 mm)로 지정된 일련의 머신 크기에 맞는 3가지 크기의 테스트 시편과 각각의 목표 공차를 함께 정의합니다. 그림 1은 320 x 320 mm 테스트 시편의 도면을 보여줍니다.

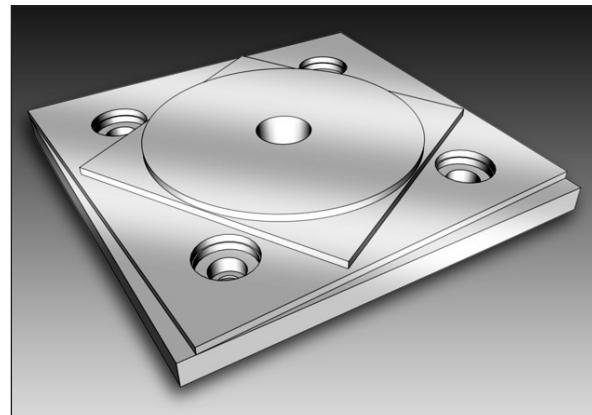


그림 1 – ISO 10791-7 320 mm 테스트 시편

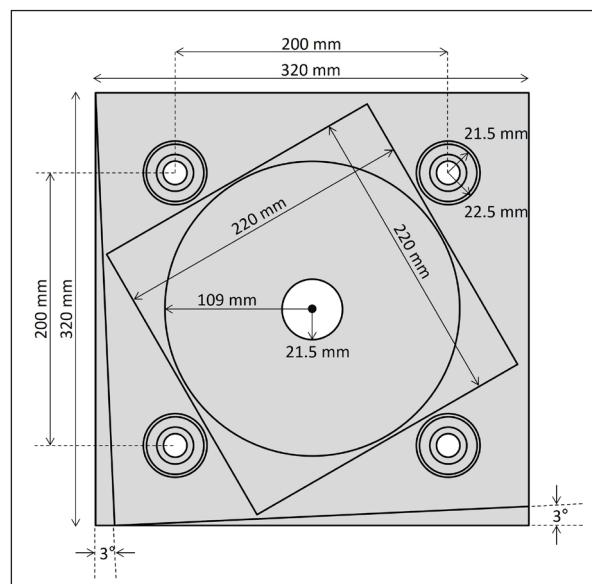


그림 2 - M1\_320 테스트 부품 주요 치수

ASME B5.54의 섹션 8.2는 ISO 10791-7에 포함된 160 mm 및 320 mm 테스트 시편에서 약간 수정된 버전을 사용하는 “정밀 윤곽 가공 테스트”를 정의합니다. 이 테스트는 검사 절차가 다르고 특정 공차 한계가 적용되지 않습니다(공급자와 고객 간의 공차 합의).

이 백서는 ISO 10791-7로 정의된 320 mm 테스트 시편에 초점을 맞추지만 기본 원칙은 일반적으로 적용됩니다.

그림 2는 320 mm ISO 10791-7 테스트 시편의 주요 치수를 보여줍니다.

그림 3은 주요 형상의 표기를 보여줍니다. 다이아몬드형의 평면 상단이 데이텀 표면 A입니다. 표면 B와 구멍 C 또한 데이텀 형상입니다. 모서리에 있는 가장 깊은 카운터 보어 구멍은 고정용입니다.

보어 구멍(E)은 X축과 Y축의 양의 방향에서 접근하고 카운터 보어 구멍(D)은 음의 방향에서 접근합니다. 데이텀 표면 B는 기계 리니어 축 중 하나(X 또는 Y)에 평행합니다.

ISO 10791-7은 가공된 형상 A에서 P 사이에 31개 목표 공차를 정의합니다. 320 mm 테스트 시편에 대한 이 공차가 아래 표에 나열되어 있습니다.

번호	형상	공차	허용치(mm)
1	중앙 구멍	구멍 C의 원통도	0.015
2		구멍 C축과 데이텀 평면 A 사이의 수직도	0.015
3	다이아몬드	측면 B의 진직도	0.015
4		측면 F의 진직도	
5		측면 G의 진직도	
6		측면 H의 진직도	
7	원	데이텀 평면 B에 대한 측면 H의 수직도	0.020
8		데이텀 평면 B에 대한 측면 F의 수직도	
9	경사면	데이텀 평면 B에 대한 측면 G의 평행도	0.020
10		측면 K의 진직도	0.015
11		측면 L의 진직도	
12	보어 구멍	측면 M의 진직도	
13		측면 N의 진직도	0.020
14		데이텀 평면 B에 대한 측면 K의 30° 각도	
15		데이텀 평면 B에 대한 측면 L의 60° 각도	
16		데이텀 평면 B에 대한 측면 M의 30° 각도	
17		데이텀 평면 B에 대한 측면 N의 60° 각도	
18	원	원 P의 원형도	0.020
19		데이텀 구멍 C에 대한 외부 원 P의 등심도	0.025
20	경사면	경사면 I의 진직도	0.015
21		경사면 J의 진직도	
22		데이텀 평면 B에 대한 측면 I의 3° 각도	0.020
23		데이텀 평면 B에 대한 측면 J의 93° 각도	
24	보어 구멍	데이텀 구멍 C를 기준으로 한 D1의 위치	0.050
25		데이텀 구멍 C를 기준으로 한 D2의 위치	
26		데이텀 구멍 C를 기준으로 한 D3의 위치	
27		데이텀 구멍 C를 기준으로 한 D4의 위치	
28		구멍 E1 - D1의 등심도	0.020
29		구멍 E2 - D2의 등심도	
30		구멍 E3 - D3의 등심도	
31		구멍 E4 - D4의 등심도	

표 1 - 320 mm 테스트 시편의 가공 형상에 대한 공차

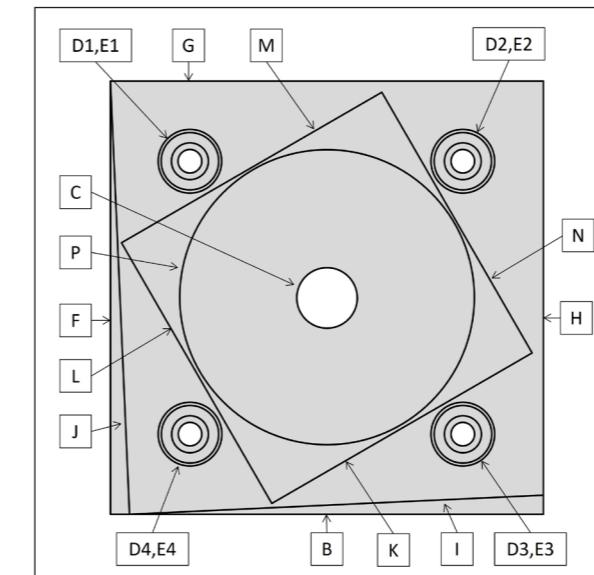


그림 3 - M1\_320 테스트 시편 - 형상 표기

가공을 마친 테스트 시편은 측정을 위해 CMM으로 가져옵니다. 목표 공차가 충족되지 않으면 기계를 조정하고 테스트를 반복해야 할 수 있습니다. 따라서 전체 프로세스에 대한 비용과 시간이 증가할 수 있습니다. 재료 소진 비용뿐만 아니라 가공 및 측정 시간도 존재합니다. CMM 시설이 인근에 없는 경우 운송 비용과 지연으로 인해 복합적으로 큰 영향을 미칠 수 있습니다.

그럼에도 불구하고 물리적 가공 테스트는 기계가 제조할 수 있는 부품의 정확도를 가장 실질적으로 보여줍니다. 최신 국제 및 미국 표준 ISO 10791-7 및 ASME B5.54에 원형 다이아몬드 사각형 테스트의 업데이트된 버전이 포함된 이유가 바로 이 때문입니다.

## 볼바 테스트

텔레스코핑 볼바를 공작 기계 테스트에 처음 사용한 것은 미국 Lawrence Livermore National Laboratory의 저명한 측정 학자인 James Bryan의 연구였습니다. 이 연구로 1984년 ‘텔레스코핑 마그네틱 볼바 테스트 게이지’에 대한 미국 특허<sup>4</sup>를 획득했습니다.

텔레스코핑 볼바는 양쪽 끝과 내부 변위 센서에 마그네틱 볼과 소켓 조인트가 있는 텔레스코픽 바로 구성됩니다. 기계 테이블 위에 하나의 볼 조인트가 배치되고 기계 스판들에 다른 볼 조인트가 배치되며 그 사이에 텔레스코픽 바가 배치됩니다. 기계는 테이블에 장착된 볼 조인트 주위의 원호를 보간하도록 프로그래밍되며 동시에 센서가 프로그래밍된 경로와 기계 스팬들의 편차를 기록합니다(그림 4 참조). 측정 결과적으로 나타나는 오차 그래프의 “원형성”은 기계의 윤곽 가공 성능을 나타내는 간단한 수치 결과를 제공합니다. 기계 방향(CW) 및 반기계 방향(CCW) 원호를 모두 사용하여 기계를 테스트하는 경우에는 기록된 데이터를 분석하여 기계 성능과 오차 소스에 대한 세부적인 통찰력을 제공할 수 있습니다.

볼바 테스트의 측정 결과는 1992년부터 ISO 230-4<sup>5</sup>, ASME B5.54<sup>6,7</sup>, ASME B5.57<sup>8</sup>, JIS B 6190<sup>9</sup>, GB/T17421.4<sup>10</sup>와 같은 여러 국가 및 국제 표준에도 포함되었습니다.

## 볼바 플롯 분석 및 오차 진단

볼바 테스트의 주요 결과는 플롯의 원형성\*입니다. 기록된 데이터를 중심으로 최대 반경과 최소 반경의 차이를 계산합니다. ISO 230-4 및 B5.54 표준에서는 이 결과를 “원형 편차”라고 합니다. 그림 5를 참조하십시오.

\*참고: 볼바 플롯 원형성은 원형 다이아몬드 사각형 테스트에서 가공된 원의 원형도 또는 원형도와 동일한 방식으로 계산됩니다.

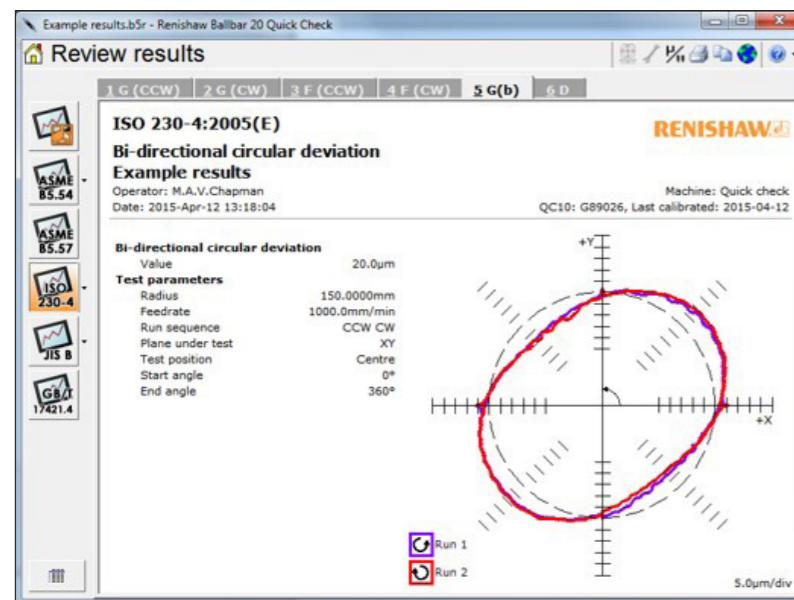


그림 5 - ISO230-4에 따른 Renishaw 분석



그림 4 - Renishaw QC20-W 볼바

Renishaw는 1992년 최초의 “퀵 체크(Quick-Check)” 볼바 테스트 시스템을 소개했으며 이어서 1994년에 QC10 볼바 시스템을 공개했습니다. 이후 제품은 정기적으로 업데이트되고 있습니다. 최신 QC20-W 볼바 시스템에는 무선 작업, 다양한 액세서리 및 소프트웨어, 광범위한 외국어 지원이 포함됩니다.

Renishaw 볼바 시스템의 인기는 테스트 속도와 세부적인 기계 성능 진단에서 그 원인을 찾을 수 있습니다.

그러나 간단한 플롯 원형성 계산은 볼바 데이터에 포함된 정보의 일부만을 사용합니다. 플롯 형태에 대한 세부 검사는 테스트 대상 기계에 존재하는 오차의 유형을 나타낼 수 있습니다. 그림 6의 결과는 XY 평면에서 3,000mm/min의 이송 속도로 150mm 반경의 양방향 볼바 테스트에서 기계의 다양한 오류가 볼바 플롯 모양을 어떻게 왜곡하는지 보여줍니다. CW 결과와 CCW 결과가 다르면 CW 데이터는 파란색으로, CCW 데이터는 빨간색으로 표시됩니다. 전체적으로 5μm/분할 플롯 스케일을 사용합니다.

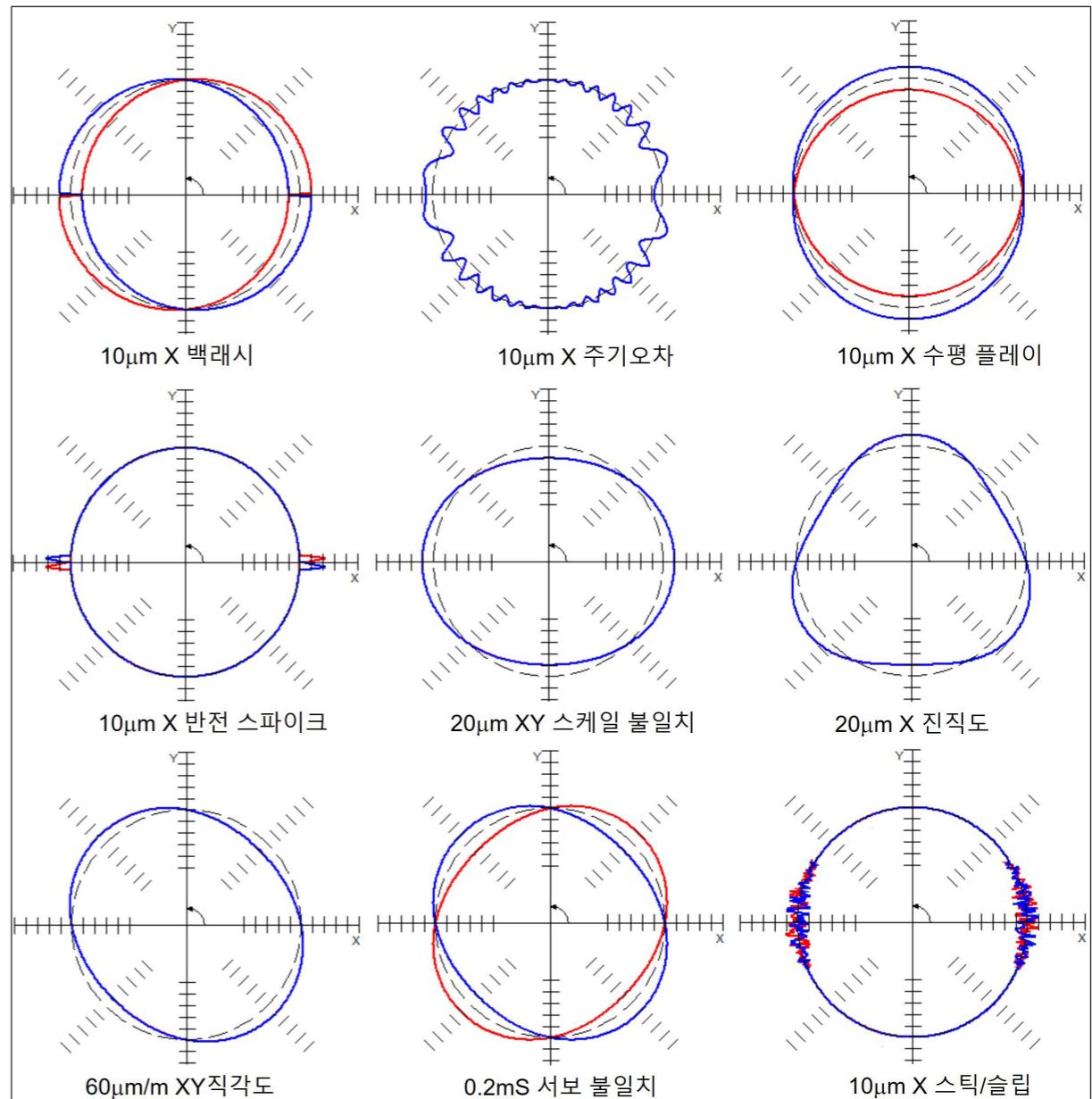


그림 6 - 다양한 기계 오차에 따른 볼바 플롯 왜곡

기계에 하나 또는 두 개의 오차가 있으면 플롯을 시각적으로 검사하여 해당 오류의 원인을 판별할 수 있습니다. 그러나 많은 경우 기계에는 여러 가지 종복 오차가 존재하므로 오차 원인을 시각적으로 식별하는 것이 불가능하지는 않지만 매우 어렵습니다.

그림 7은 X축과 Y축에 모두 오차가 있는 시뮬레이션된 기계의 플롯 예를 보여줍니다. 이 플롯을 시각적으로 검사하여 개별 기계 오차를 식별하는 것은 매우 어렵습니다. 이 문제를 극복하기 위해 Renishaw 볼바 소프트웨어에는 존재하는 기계 오차를 진단하고 각 오차의 양을 정량화할 수 있는 고급 수학 알고리즘이 포함되어 있습니다.

그림 8은 그림 7의 데이터에 대해 Renishaw 볼바 오차 진단 소프트웨어를 사용한 결과를 보여줍니다. 원시 데이터는 빨간색 및 파란색 결과로 표시되며 그 결과와 함께 얇은 검은색 결과가 중첩된 부분으로 적합한 진단 결과를 보여줍니다. 왼쪽 수치 값은 식별된 각 기계 오차의 양을 나타냅니다.

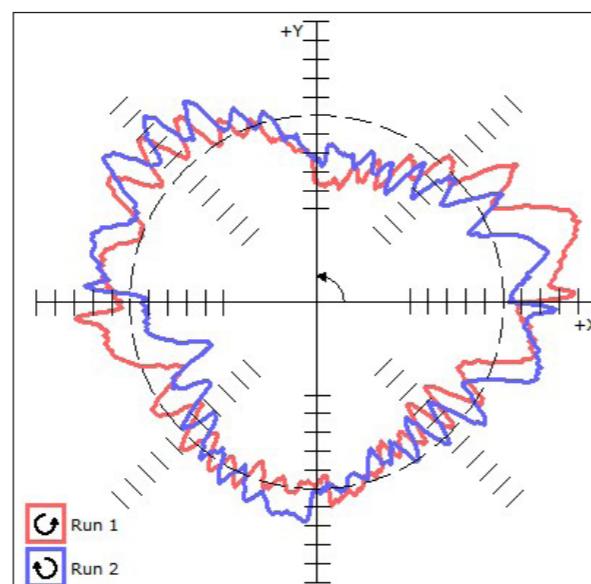


그림 7 - 복합 오차 플롯

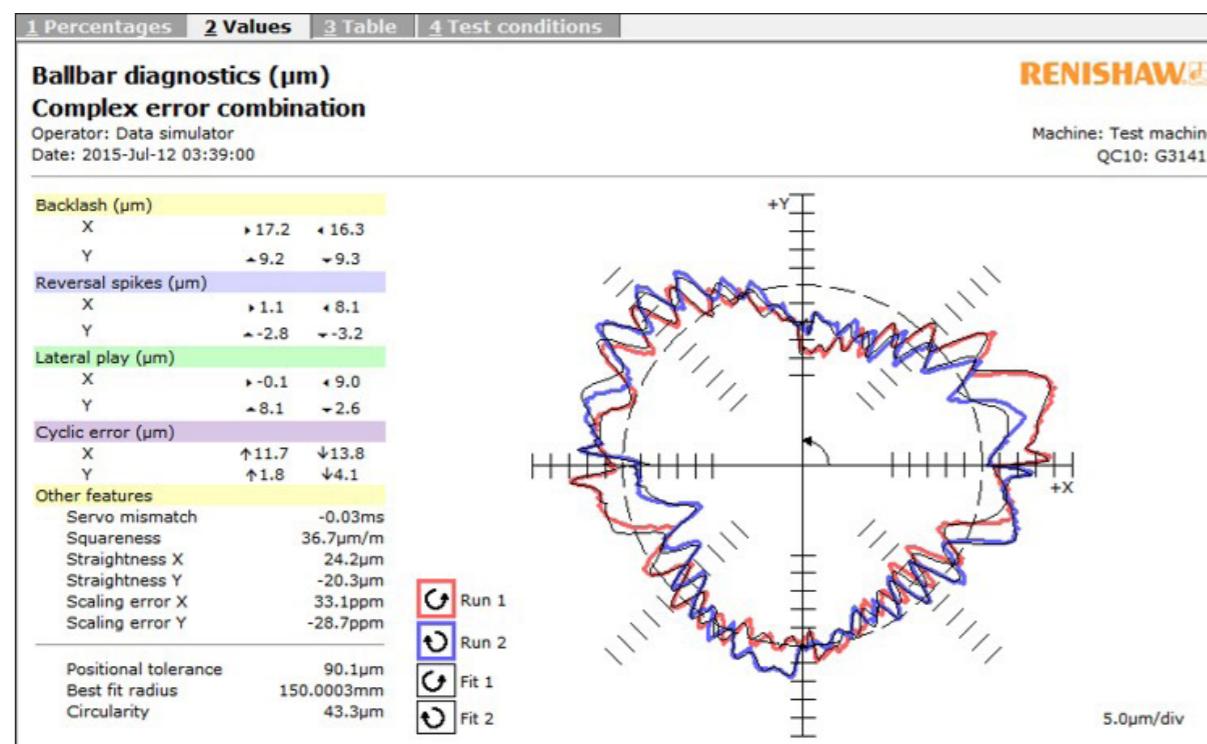


그림 8 - 볼바 오차 진단 결과( “값” 탭)

볼바 캘리브레이터를 사용하여 볼바 길이가 캘리브레이션된 경우(그림 9 참조) 진단을 통해 X축과 Y축의 개별 스케일링 오차를 식별하고(오차 간 불일치만이 아닌) 테스트 영역 내에서 기계가 달성할 수 있는 위치 공차까지 예측할 수 있습니다.



그림 9 - 볼바 캘리브레이터

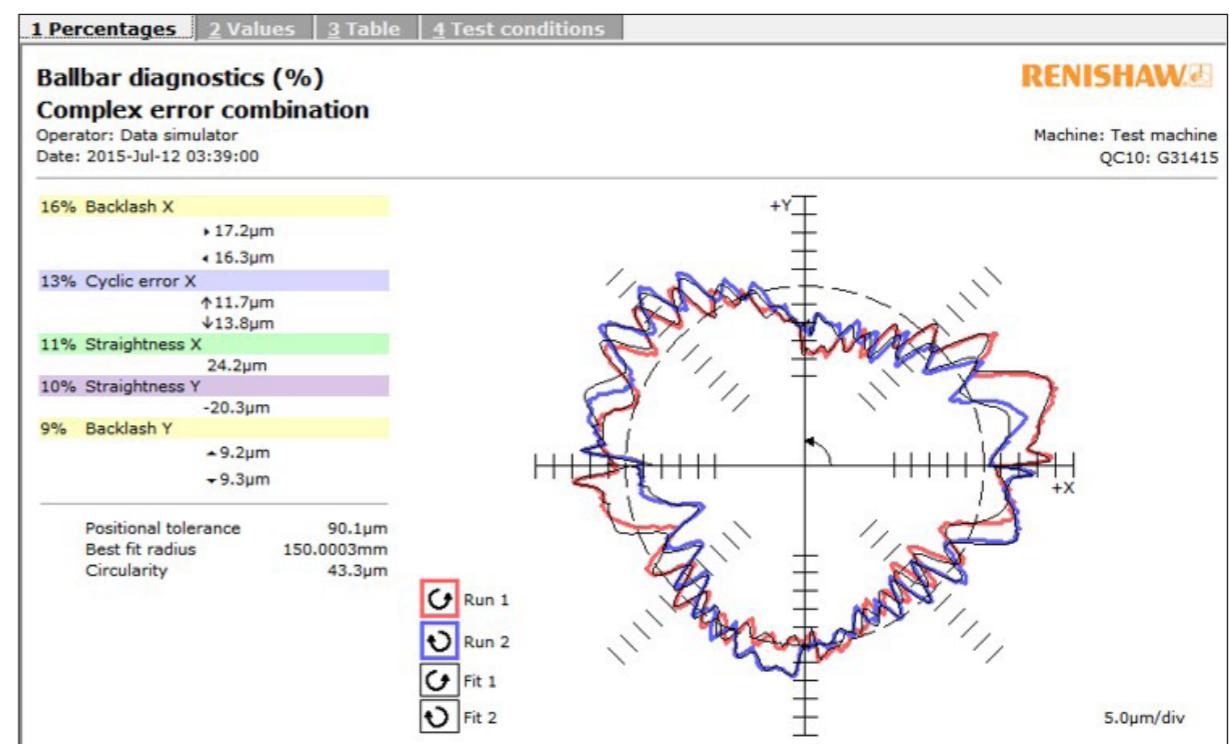


그림 10 - 볼바 진단 결과( “퍼센트” 탭)

Renishaw 볼바 소프트웨어는 오차 소스를 원형 편차 결과에 대한 기여율 순으로 평가하고 가장 유의미한 기여 항목을 먼저 나열하여 진단 결과를 다른 형식으로 나타낼 수도 있습니다(그림 10 참조).

이 예에서 진단은 플롯의 비원형성(원형 편차)에 대한 주요 요인이 X축의 백래시 오차임을 보여줍니다.

볼바 테스트는 몇 분이면 완료되며 진단 결과를 즉시 확인할 수 있습니다. 따라서 볼바 테스트는 기계 성능을 평가하고 교정 조치가 필요한 영역을 식별할 수 있는 매우 빠르고 강력한 방법을 제공할 수 있습니다.

또한 원형, 다이아몬드, 사각형 테스트에서 얻을 수 있는 결과에 대한 중요한 통찰력을 제공하여 시간과 비용을 줄일 수 있습니다.

## 고급 볼바 테스트 설정

볼바 테스트를 원형, 다이아몬드, 사각형 가공 테스트에 앞서 수행하는 경우 볼바를 다음과 같이 설정해야 합니다.

- **볼바 테스트 반경.** 이상적으로 테스트 반경은 테스트 원의 크기가 원형, 다이아몬드, 사각형 테스트 시편과 유사하도록 선택해야 합니다. Renishaw 표준 볼바 키트는 100, 150, 250, 300, 400, 450, 550, 600 mm 테스트 반경을 지원합니다. 볼바 캘리브레이터는 100, 150, 300 mm를 지원합니다. 소형 원 어댑터 키트(옵션)는 50 mm 반경을 지원하며 50 mm 볼바 캘리브레이터를 포함합니다. 이러한 제약 조건과 ISO 10791-7 테스트 시편 크기에 따라 그림 11에 표시된 볼바 테스트 반경을 사용하는 것이 좋습니다.

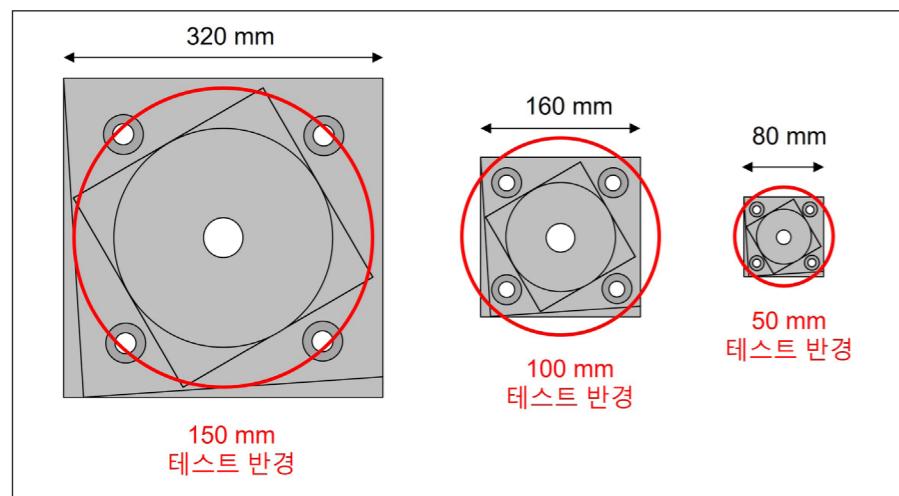


그림 11 - 80, 160, 320 mm ISO 10791-7 테스트 시편에 제안되는 테스트 반경

- **볼바 길이 캘리브레이션.** 이상적으로는 볼바 캘리브레이터를 사용하여 테스트를 시작하기 전에 볼바 길이를 캘리브레이션해야 합니다. 이렇게 하면 분석 결과에 위치 결정 오차 결과가 포함됩니다. 또한 테스트 시편 물질 팽창 계수와 예상 온도를 볼바 소프트웨어에 입력하면 물질 팽창 보정까지 수행할 수 있습니다.

주: 구멍 D1, 2, 3, 4의 목표 위치 공차가 0.050 mm인 ISO 10791-7 테스트 시편을 가공하는 경우에는 물질 팽창 보정이 중요하지 않습니다. 따라서 팽창 계수와 온도를 잘 모르는 경우에는 팽창 계수 0.0 ppm/°C와 재료 온도 20°C를 입력합니다.

- **테스트 위치 - 볼바 테스트는 테스트 시편과 같은 위치를 중심으로 해야 합니다.**
- **테스트 이송 속도 -** 볼바 테스트의 이송 속도는 가공 테스트 중 마감 절삭에 사용되는 이송 속도와 같아야 합니다.
- **테스트 원호 -** 약간의 오버슈트가 있는 360°(프로그래밍 간소화를 위해 90° 또는 180° 제안) 테스트 원호를 선택합니다. 즉 반전 형상을 안정적으로 캡처할 수 있습니다.
- **테스트 실행 - CW 1회와 CCW 1회, 총 2회 실행을 수행합니다.** 전체 볼바 진단 결과를 얻을 수 있습니다.

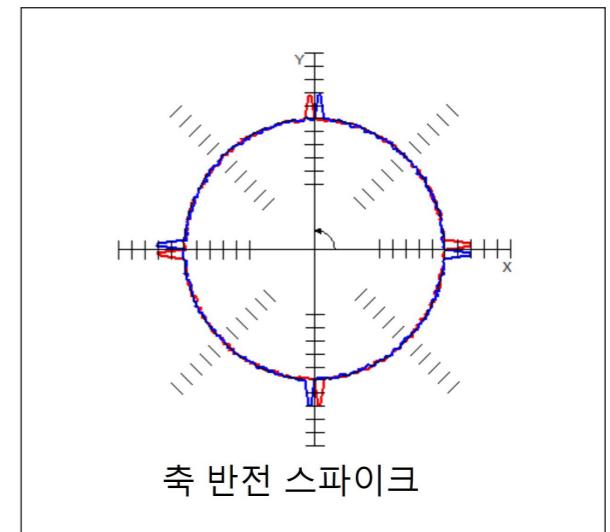
## 볼바 데이터 분석

볼바 데이터를 캡처한 후에는 볼바 기계 오차 진단 소프트웨어를 사용하여 분석해야 합니다. 플롯 원형성, 기계의 진단 오차, 위치 공차 결과(그림 8 참조)와 원형, 다이아몬드, 사각형 테스트 시편의 목표 공차(표 1 참조)를 비교하여 절삭 테스트의 잠재적인 문제를 예측\*할 수 있습니다.

\*주의 사항: 절삭 테스트에는 스픬들 편차, 진동, 공구 교환 편차 등과 같이 볼바 테스트에 포함되지 않는 추가 오차 소스가 포함됩니다. 테스트 형상과 크기 또한 다릅니다. 따라서 결과의 직접적인 상관관계가 성립하지 않습니다. 그러나 기계가 가공된 테스트 시편에서 필요한 목표 공차를 충족하지 못하는 볼바 결과가 확인되는 경우에는 교정 조치를 수행하는 것이 좋습니다.

볼바 테스트 결과는 다음과 같이 목표 절삭 테스트 공차와 비교할 수 있습니다.

- **가공된 원의 원형도.** 볼바 테스트 결과에 ISO 10791-7의 원 P의 목표 원형도 공차(또는 ASME B5.54에서 윤곽 원 L의 목표 원형도 공차)보다 큰 원형성 오차가 나타나는 경우 가공된 원이 공차 범위를 벗어날 수 있습니다.
  - “퍼센트” 진단 탭(그림 10 참조)을 사용하여 볼바 테스트 원형도 오차의 주된 원인을 판별하고 그에 따라 교정 조치를 수행할 수 있습니다.
  - 볼바 원형도 오차의 주된 원인이 외측 축 반전 스파이크인 경우에는 가공된 원이 심각한 영향을 받지 않을 수도 있습니다. 이러한 스파이크가 절삭기 반경의 블렌딩 효과로 평탄화 될 수 있기 때문입니다.(그러나 표면 마감에 시각적으로 확인 가능한 흠집이 나타날 수는 있습니다.)



- **4개 모서리 훌의 위치 공차.** 볼바 위치 공차 결과(그림 8 - “값” 진단 탭 참조)와 4개 모서리 구멍에서 필요한 목표 위치 공차를 비교합니다. 볼바 결과가 목표 위치 공차 값의 두 배보다 큰 경우\* 4개 보어 훌 중 하나 이상의 위치가 공차 범위를 벗어날 수 있습니다.

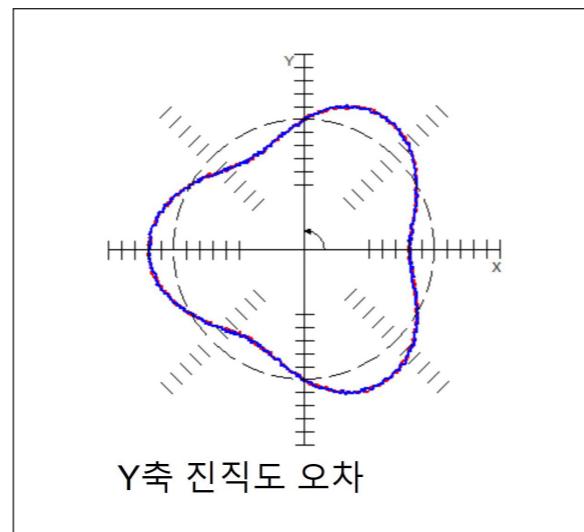
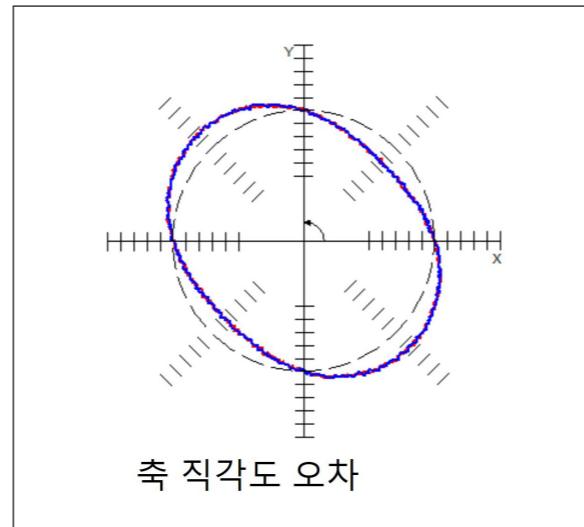
- “퍼센트” 진단 탭(그림 10 참조)을 사용하여 주요 오차 소스를 판별하고 그에 따라 교정 조치를 수행할 수 있습니다.

\*참고: 볼바 위치 공차는 테스트 원 내부 임의 위치에 있는 2개의 형상 간에 달성되는 위치 공차의 추정치를 제공합니다. 반면에 ISO 10791-7 및 ASME B5.54 목표 공차는 중앙 구멍을 기준으로 정의되어 형상 오차와 많은 기계 오차의 효과가 반감됩니다.

- 가공된 표면의 각도 정확도. 볼바 직각도 진단 결과(그림 8 - “값” 진단 탭 참조)와 가공된 다이아몬드, 사각형 및 93° 표면에 대한 목표 각도 공차를 비교합니다. 이를 위해서는 ISO 10791-7에 “표시된 런아웃” 공차를  $\mu\text{m}/\text{m}$  또는 arcsecond 단위 각도로 변환하여 볼바 진단 결과를 일치시켜야 합니다.

예를 들어 320 mm ISO 테스트 피스의 경우 데이터 평면 B에 대한 측면 H의 직각도 공차를 0.02 mm로 가정합니다. 측면 H의 길이는 320 mm입니다. 따라서 320 mm 길이에 대한 0.02mm 공차는 각도 편차  $0.02/320(62.5 \mu\text{radians} \approx 13 \text{ arcsecond})$ 에 해당합니다.

o 볼바 테스트에서 진단한 직각도 오차가 목표 각도 공차를 초과하는 경우 가공된 표면의 각도가 공차 범위를 벗어날 수 있습니다. 이 경우 기계의 직각도를 조정 또는 보정해야 할 수 있습니다.



- 가공된 표면의 진직도. 볼바 진직도 결과(“값” 진단 탭)와 가공된 다이아몬드, 사각형, 3° 및 93° 표면에 대한 목표 진직도 공차를 비교합니다.

o 볼바 테스트에서 진단한 진직도 오차가 목표 진직도 공차를 초과하는 경우 가공된 표면이 공차 범위를 벗어날 수 있습니다. 이 경우 가이드웨이 진직도를 조정 또는 보정해야 할 수 있습니다.

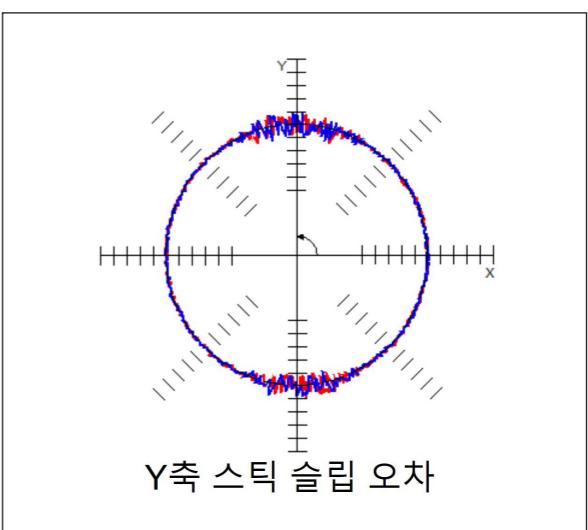
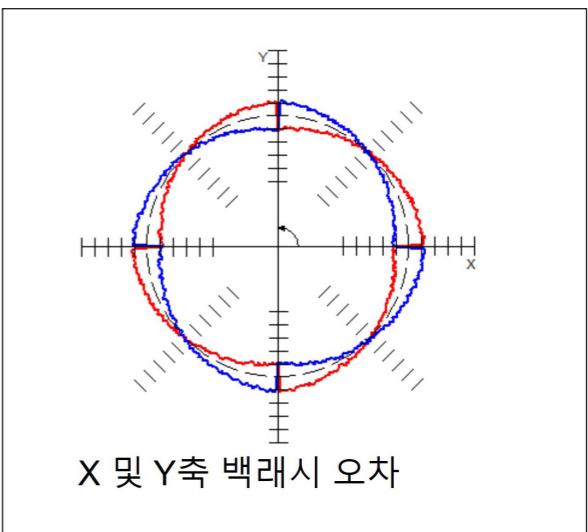
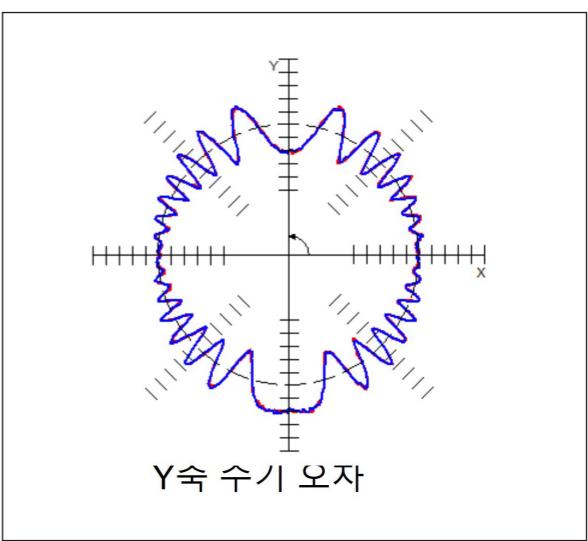
o 볼바 테스트에서 진단한 축 주기 오차가 다이아몬드 표면의 목표 진직도 공차를 초과하는 경우 이로 인해 가공된 표면의 진직도와 관련된 문제가 발생할 수 있습니다. 참고 - 주기 오차는 사각형 표면의 진직도에 영향을 미치지 않으며 3° 및 93° 각도 표면에 영향을 미칠 가능성이 매우 낮습니다.

- 모서리 훌 내 카운터 보어 동심도. ISO 10791-7 및 B5.54 모두 카운터 보어 위치의 반대 방향에서 보어 위치에 접근해야 한다고 규정하고 있습니다. 따라서 X축과 Y축의 측면 운동과 백래시에 대한 진단 값을(그림 8 - “값” 진단 탭 참조) 4개 모서리 보어 및 카운터 보어에서 필요한 동심도 공차와 비교해야 합니다.

o 볼바 테스트에서 진단한 백래시 또는 운동 오차가 목표 동심도 공차를 초과하는 경우 해당 구멍의 동심도가 사양을 벗어날 수 있습니다. 이 경우 축 백래시를 조정 또는 보정하거나 가이드웨이 운동을 조정해야 할 수 있습니다.

- 원과 3° 및 93° 표면의 표면 마감. 3° 및 93° 표면을 가공하는 경우 한 축은 프로그래밍된 이송 속도에 가깝게 움직이는 반면 다른 축은 해당 이송 속도의 약 1/20에 해당하는 속도로 이동합니다. 축 윤활 또는 간극에 문제가 있는 경우 저속 이동 축의 스틱 슬립 모션으로 인해 3° 또는 93° 가공 표면의 표면 마감(또는 극단적인 경우 진직도)에 문제가 발생할 수 있습니다. 가공된 원의 축 반전 영역에도 표면 마감 문제가 발생할 수 있습니다.

o 볼바 결과가 축 반전 지점 주변에서 과도한 소음을 보일 경우 축 중 하나에 스틱 슬립 모션이 있음을 나타냅니다. 이 경우 축 가이드웨이 윤활 또는 간극을 조정해야 할 수 있습니다.



위 섹션에는 볼바 테스트를 사용하여 절삭 테스트 전에 기계의 잠재적 문제를 확인하는 방법이 설명되어 있습니다. 문제를 해결한 후 필요에 따라 신뢰도 수준을 높여 절삭 테스트를 수행할 수 있습니다.

#### 볼바 테스트 사용의 이점

- 금속을 절삭하기 전에 잠재적인 문제를 파악하여 시간과 비용을 절감할 수 있습니다.
- 문제가 식별되면 볼바 진단 소프트웨어가 주의가 필요한 기계 영역을 강조 표시할 수 있습니다.
- 볼바 테스트를 사용하여 적합한 크기의 테스트 시편이 현실적으로 불가능한 대형 기계를 테스트할 수도 있습니다.(연장 막대를 추가하여 최대 1350 mm 테스트 반경에 QC20-W 볼바를 사용할 수 있습니다.)
- 볼바 테스트는 속도가 빨라 정기적인 반복 수행으로 기계 성능 이력을 구축할 수 있습니다. 이를 통해 추세를 파악할 수 있으며 문제가 심각한 수준에 이르기 전에 유지보수 일정을 수립할 수 있습니다. 그림 12는 Renishaw 볼바 소프트웨어에서 제공되는 기계 이력 플롯 중 하나를 보여줍니다. 이 소프트웨어로 진단된 특징(예: 원형성, 직각도, 백래시 등)의 시간을 비교하여 그래프로 나타낼 수 있습니다.

#### 절삭 테스트의 이점

절삭 테스트는 볼바 테스트로 발견할 수 없는 추가 오차 원인에 민감합니다. 예를 들어 다음과 같습니다.

- 스픈들 문제(정렬, 진동, 베어링 마모 등)
- 절삭 로드로 인한 기계 편향
- 도구 소음, 냉각제 문제 등으로 인한 추가 표면 마감 문제
- 공구 교환 반복성 문제(B5.54에서는 4개 모서리 구멍의 각 보어 및 카운터 보어를 가공하기 전에 공구를 교환하도록 규정하고 있습니다.)

#### 결론

이 백서에서는 원형, 다이아몬드, 사각형 가공 테스트 및 기계 성능을 평가하는데 사용되는 측정에 대한 개요를 설명했습니다. 또한 금속 절삭 테스트 전에 Renishaw 볼바 시스템과 진단 소프트웨어를 사용하여 금속이 절삭되기 전에 기계 성능에 대한 세부적인 정보를 제공함으로써 시간과 비용을 모두 절감할 수 있는 방법을 설명했습니다.

초기 기계 성능을 측정하고, 볼바 테스트를 지속적으로 사용하여 기계 성능의 변화를 모니터링하고 추세를 파악하며 문제가 발생하기 전에 유지보수 일정을 수립할 수 있습니다.

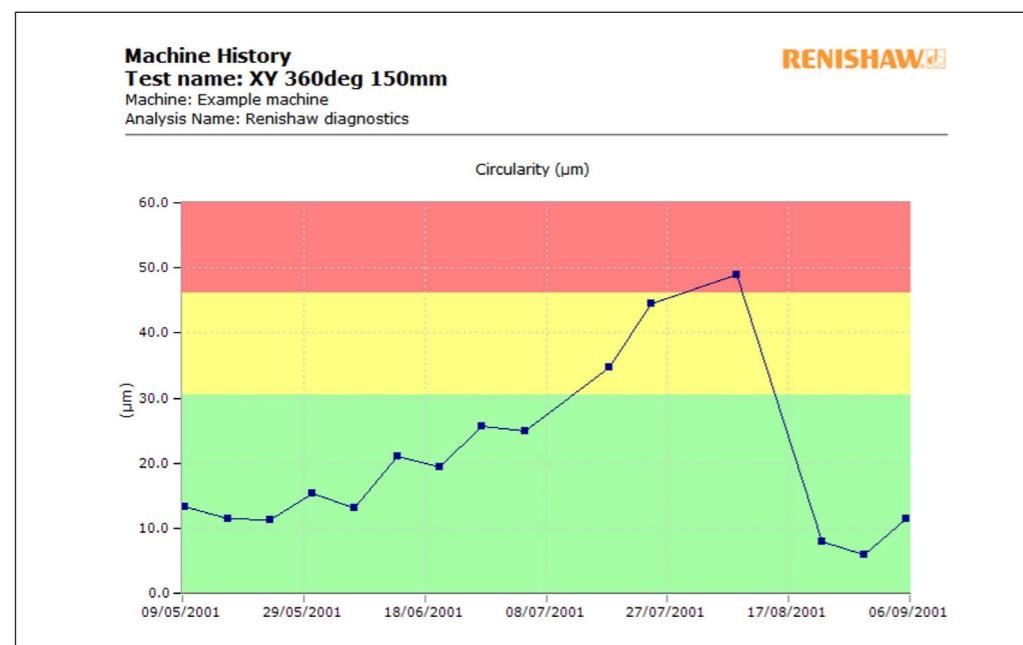


그림 12 - 기계 이력 플롯

#### 각주 1 - ASME B5.54 권장 사항

3축 공작 기계의 성능을 신속하게 예측하기 위한 최소한의 테스트 세트를 권장하는 ASME B5.54의 부록 A3<sup>11</sup>에 제시된 타당한 조언에 주목해야 합니다.

**A3.1** 텔레스코핑 볼바를 사용한 3개 평면에서 원형 테스트를 수행하는 윤곽 가공 성능 테스트.

**A3.2** 레이저 간섭계를 사용한 각 축에 대한 리니어 포지셔닝 정확도 및 반복성 테스트

**A3.3** 레이저 간섭계를 사용한 4개의 대각선에 따라 대각선 변위 테스트.

**A3.4** 기존 “원형 다이아몬드 사각형” 테스트를 포함하는 정밀 윤곽 가공 테스트



그림 13 - B5.54 권장 테스트 세트

#### 각주 2 - 원뿔 또는 각뿔 절삭 테스트

NAS979, B5.54 및 ISO 10791-7 표준은 또한 5축 기계에 대한 원뿔 절두체 절삭 테스트에 대해 설명합니다. 이 테스트에는 5개 축을 모두 동시에 움직여 각진 원뿔형 단면 테스트 시편을 가공하는 작업이 포함됩니다(그림 14의 왼쪽 도면 참조).

그림 14의 오른쪽에 나와 있는 볼바 설정으로 기계가 달성할 수 있는 절두체의 원형성을 평가할 수 있습니다. 볼바 분석 소프트웨어는 원형성을 올바르게 계산하지만 기계 오차 진단을 위해서는 신중한 해석이 필요합니다. 이 소프트웨어는 3축 기계 테스트의 문제만 진단하도록 설계되었기 때문입니다.

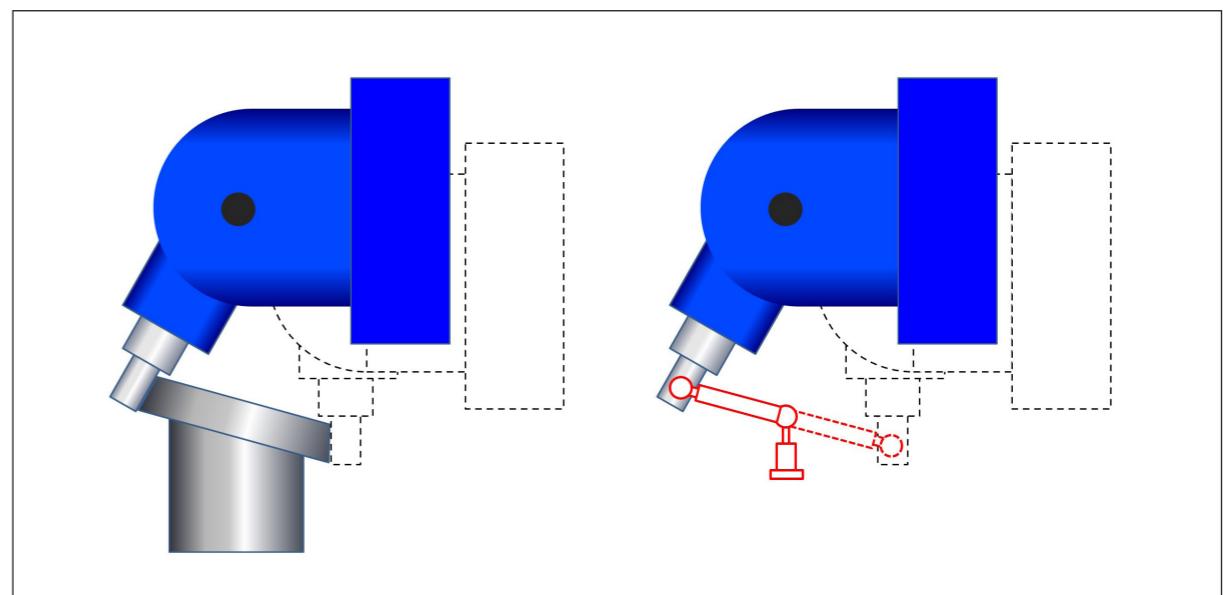


그림 14 - 5축 기계에 대한 원뿔 또는 각뿔 절삭 테스트

참조 문헌

1. 미국 국가 항공우주 표준 NAS979(균일 절삭 테스트 – NAS 시리즈 - 금속 절삭 장비 사양). 섹션 4.3.3.5.1 - 복합 절삭 테스트.
2. 국제 표준 ISO 10791-7 2014: 머시닝 센터의 테스트 조건 - 파트 7: 완성된 테스트 시편의 정확도.
3. 미국 표준 B5.54-2005 컴퓨터 수치 제어 머시닝 센터의 성능 평가 방법. 섹션 8.2 정밀 윤곽 가공 테스트.
4. 미국 특허 번호 US4435905 A - 텔레스코핑 마그네틱 볼바 테스트 게이지 - James B. Bryan
5. 국제 표준 ISO230-4:2005 - 공작 기계용 테스트 코드 - 파트 4: 수치 제어 공작 기계에 대한 원형 테스트.
6. 미국 표준 B5.54-1992 컴퓨터 수치 제어 머시닝 센터의 성능 평가 방법. 섹션 5.9.3 텔레스코핑 볼바를 사용하는 윤곽 가공 성능.
7. 미국 표준 B5.54-2005 컴퓨터 수치 제어 머시닝 센터의 성능 평가 방법. 섹션 7.11 텔레스코핑 원형 테스트를 사용하는 윤곽 가공 성능.
8. 미국 표준 B5.57-2012 컴퓨터 수치 제어 선반 및 터닝 센터의 성능 평가 방법.
9. 일본 표준 JIS B-6190(일본어 ISO 230-4, 위 참조 문헌 5 참조)
10. 중국 표준 GB/T17421.4(중국어 ISO 230-4, 위 참조 문헌 5 참조)
11. 미국 표준 B5.54-2005 컴퓨터 수치 제어 머시닝 센터의 성능 평가 방법. 부록 A3 권장되는 최소 테스트 세트.

[www.renishaw.co.kr/contact](http://www.renishaw.co.kr/contact)

#renishaw 

 +82 31 346 2830

 korea@renishaw.com

© 20XX~20XX Renishaw plc. All rights reserved. 본 문서는 Renishaw의 사전 서면 허가 없이 전체 또는 일부를 복사나 복제할 수 없으며, 어떤 방법으로든 다른 매체로 전송하거나 다른 언어로 번역할 수 없습니다.

RENISHAW®와 프로브 기호는 Renishaw plc의 등록 상표입니다. Renishaw 제품 명칭, 명명법, "apply innovation" 마크는 Renishaw plc 또는 그 자회사의 상표입니다. 다른 브랜드, 제품 또는 회사 이름은 해당 소유주의 등록 상표입니다.

본 문서의 공개 당시 문서의 정확성을 확인하기 위해 최선의 노력을 기울였지만, 발생하는 모든 보증, 조건, 진술 및 책임은 법률이 허용하는 한도에서 제외됩니다. Renishaw는 이 문서와 장비 및/또는 소프트웨어, 여기에 명시된 사양을 변경할 권리를 보유하며, 이러한 변경을 고지할 의무는 없습니다.

Renishaw plc. 영국과 웨일즈에 등록됨. 기업 번호: 1106260. 등록된 사무소: New Mills, Wotton-under-Edge, Glos, GL12 8JR, UK.

품목 번호: H-5650-0178-01-A

발행 일: 01.2026