

기계 직각도 교정

저자: M.A.V. Chapman

소개

이 백서는 ISO230-1(공작 기계 테스트 코드 - 무부하 또는 준정적 상태에서 작동하는 기계의 기하학적 정확도)의 2012 버전에 따라 공작 기계의 선형 이동 축 사이 직각도를 평가하는 다양한 방법을 설명합니다. 컴퓨터 시뮬레이션은 기계 축의 직각도, 진직도 및 각도(피치 또는 편요각) 오차와 기계의 작업 영역 내 테스트 위치에 따라 각 방법에서 측정되는 직각도 결과를 비교, 대조하는데 사용됩니다. 백서 마지막에는 체적 정확도 보상 프로세스의 일부로 기계 직각도 오차를 평가, 적용하는 방법에 대한 조언과 성능 비교표가 제공됩니다.

두 선형 이동 축 사이 직각도 - 정의

ISO230-1 섹션 3.6.7에서는 두 선형 이동 축 사이의 직각도 오차를 "해당 선형 이동 주축에 대한 선형 이동 구성요소의 이동 궤적을 나타내는 기준 직선의 기울기와 해당 선형 이동 주축에 대한 다른 선형 이동 구성요소의 이동 궤적을 나타내는 기준 직선의 기울기를 비교한 차이" 로 정의하고 있습니다. ISO230-1에는 다음 중 하나를 사용하여 각 축의 작동점에서 측정된 궤적의 직선으로 기준 직선을 획득할 수 있다고 규정되어 있습니다.

- a) 최소 영역 기준 직선, 또는
- b) 최소 제곱법 기준 직선, 또는
- c) 끝점 맞춤 기준 직선

그림 1은 다양한 맞춤 방법을 보여줍니다. 빨간색 궤적은 축이 이동할 때 기록되는 진직도 편차(즉 궤도)의 변화를 보여줍니다. 파란색 점선은 최소 영역, 최소 제곱 또는 끝점 맞춤법을 사용한 맞춤으로 획득한 기준선을 나타냅니다. 기준선의 기울기(경사도)는 끝점 맞춤 궤적 위에 표시됩니다. 기준선의 기울기는 사용한 맞춤 방법에 따라 다를 수 있습니다. 가장 널리 사용되는 맞춤 방법은 계산이 쉬운 끝점 맞춤법과 최소 제곱법입니다. 직각도 오차를 계산할 때는 두 기준선에 같은 맞춤 방법을 사용하는 것이 좋습니다. 이 백서에서 모든 기준선 맞춤 계산은 최소제곱법 기반으로 합니다.

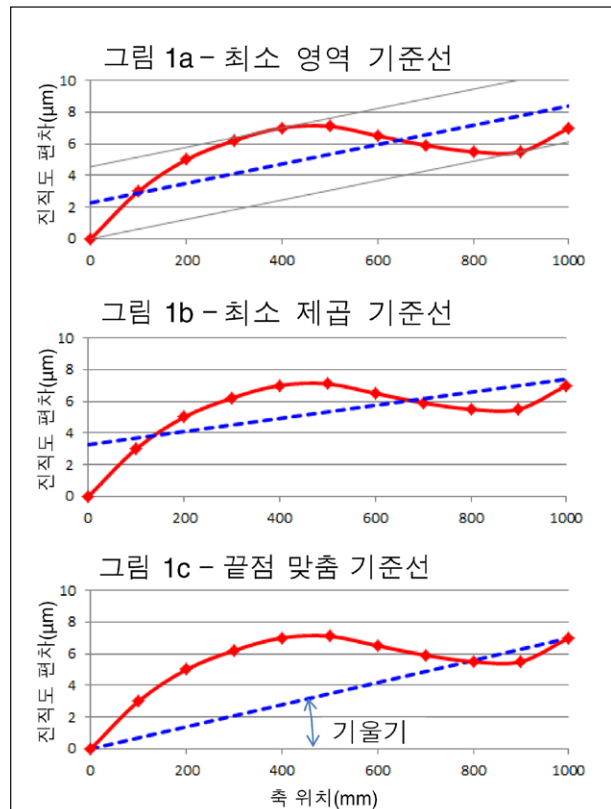


그림 1

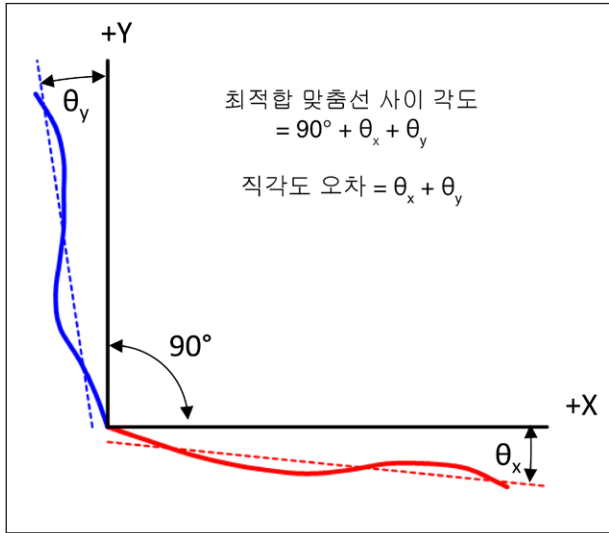


그림 2는 두 선형 이동 축 사이의 직각도 오차를 계산하는 방법을 보여줍니다. 검정색 실선은 기계의 X 축과 Y 축을 나타냅니다. 빨간색 실선과 파란색 실선은 축 길이를 따라 기록된 X 축과 Y 축 이동에 있어 진직도 편차(즉 궤도)의 변화를 나타냅니다. 이 편차의 스케일은 명확성을 위해 크게 과장되었습니다. 빨간색 점선과 파란색 점선은 이들 궤적 각각에 대한 최소 제곱법 기준선을 나타냅니다. 기준선의 기울기(경사도)는 θ_x 및 θ_y 로 표시됩니다. 이 예에서 직각도 오차는 θ_x 와 θ_y 를 더하여 계산합니다. 이 밖에도 다양한 대체 부호 규약을 사용할 수 있습니다. Renishaw의 볼바 및 레이저 직각도 분석 소프트웨어는 두 이동 축 사이의 각도가 90° 보다 큰 경우 양의 직각도 결과를 표시합니다. 이 부호 규약은 이 문서 전체에서 사용됩니다.

그림 2

주:

1. ISO230-1에서는 하나의 기계 축을 "기준 축"으로 정의하고 다른 기계 축을 "참조 축"으로 정의하며 오른손 규칙을 사용하여 직각도 오차 방향을 기준 축에 상대적인 참조 축의 회전으로 정의하는 다른 부호 규약을 권장합니다. 위 그림 2에서 X를 기준 축으로 선택하면 X에 상대적인 Y의 직각도 오차는 +ve입니다. 그러나 Y를 기준 축으로 선택하면 Y에 상대적인 X의 직각도 오차는 -ve입니다. 혼란을 방지하기 위해 ISO230-1에서는 축 사이 각도가 90° 보다 크거나 작은 경우에 대한 설명을 추가하도록 권장하고 있습니다. 직각도 테스트 결과를 비교할 때는 반드시 사용한 부호 규약을 이해해야 합니다.
2. ISO에서는 해당 기계 축(X, Y 또는 Z)에 상대적인 기준선의 기울기를 정의하고 있지만 직각도 오차를 측정할 때 기울기는 일반적으로 기준 가공물 또는 레이저 빔으로 정의된 파향선에 상대적으로 측정됩니다. 최종 결과는 같지만, 계산에 포함되어야 하는 가공물, 인덱서 또는 광학 프리즘의 직각도에 오차가 있을 수 있습니다. 알 수 없는 오차의 경우, 기준을 반대로 바꾸고 측정을 반복한 후 평균 직각도 결과를 사용해야 할 수도 있습니다.
3. 직각도 결과가 기계 축의 전체 작업 길이를 사용한 테스트를 기반으로 하는 경우 "글로벌"로 표기합니다. 축의 일부에 대한 테스트는 "로컬" 직각도 결과로 표기합니다.

두 선형 이동 축 사이 직각도 - 테스트 방법

ISO230-1:2012에는 다음과 같은 5가지 기계 직각도 평가 방법이 포함되어 있습니다.

- 1) 기계식 직각자 및 인디케이터(섹션 10.3.2.2)
- 2) 기계식 스트레이트엣지, 인디케이터 및 인덱싱 테이블(섹션 10.3.2.3)
- 3) 광학식 직각자 및 레이저 진직도 간섭계(섹션 10.3.2.4)
- 4) 원형 테스트(섹션 10.3.2.6 및 ISO230-4)
- 5) 대각선 변위 테스트(섹션 10.3.2.6 및 ISO230-6)

각 방법에 대한 자세한 설명은 다음과 같습니다.

방법 1 - 기계식 직각자와 인디케이터를 사용한 두축 진직도 테스트

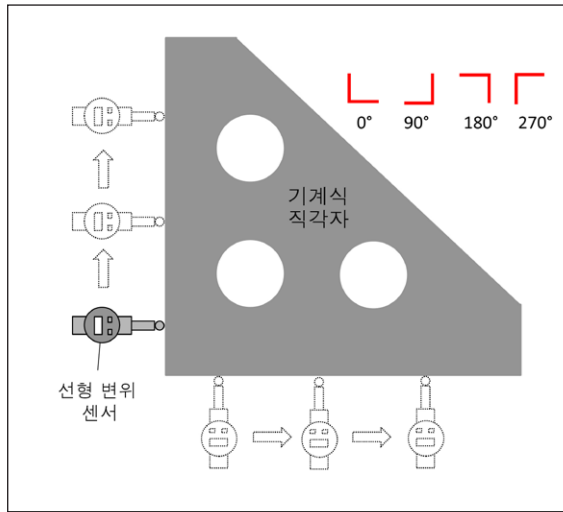


그림 3

기계식 스트레이트엣지를 사용할 경우, 그림 4와 같이 "T"자형 배열을 사용할 수도 있습니다. 이 배열은 방향을 반대로 바꿔(그림 4의 왼쪽-오른쪽 미러 이미지) 반전 기법으로 직각자의 오차를 제거할 수 있다는 이점이 있습니다.

또한 축 중 하나를 기계 작업 영역의 중앙에 가깝게 배치하여 테스트할 수 있습니다.

두 수평 축의 직각도를 측정하는 경우, 장비를 방향에 맞게 회전시켜 "L" 자형 설정과 "T" 자형 설정을 네 가지 방향(0°, 90°, 180°, 270°)으로 사용할 수도 있습니다. 그러나 한 축이 수직 방향인 경우에는 2가지 "L" 자형 방향(0° 및 90°) 또는 반전된 한가지 "T"자형이 테스트가 용이합니다. 여기서 다른 방향을 언급하는 이유는 향후 시뮬레이션에 포함되기 때문입니다.

이 방법은 기계식 직각자 대상 기계 축에 수직으로 정렬되도록 배치한 다음 선형 변위 센서(예: 디지털 인디케이터 또는 클럭 게이지)를 사용하여 각 축의 진직도 편차를 측정합니다. 이 설정은 그림 3에 나와 있습니다. 이 문서에서는 이 구성을 "L" 자형으로 표기합니다. 두 축의 진직도 데이터를 수집한 후 각 데이터 집합의 기울기(경사도)를 계산하며(최소 제곱, 끝점 또는 최소 영역법) 두 기울기를 비교하여 직각도 오차를 확인합니다. 직각자의 방향, 인디케이터 및 축의 측정 방향을 고려하여 전 과정에서 올바른 부호 규약을 사용하도록 주의해야 합니다.

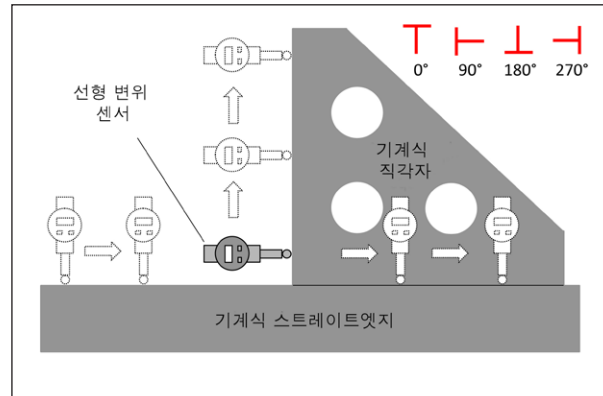


그림 4

방법 2 - 스트레이트엣지, 인디케이터 및 인덱싱 테이블을 사용한 두축 진직도 테스트

이 방법은 앵글러 인덱서에 장착된 기계식 스트레이트엣지를 사용합니다. 첫 번째 축의 진직도 편차를 측정한 후 인덱서를 사용하여 스트레이트엣지를 90° 회전시키면 두 번째 축의 진직도를 측정할 수 있습니다. 이 방법은 그림 5에 나와 있으며 이 문서에서는 "+" 자형 구성이라고 합니다.

직각도는 방법 1과 같은 방식으로 계산합니다.

이 방법의 이점은 두 기계 축이 작업 영역 중앙에 위치한 상태에서 축을 테스트할 수 있다는 것입니다. 그러나 필요한 직각도 결과보다 정확도가 우수한 정밀 인덱서가 필요합니다.

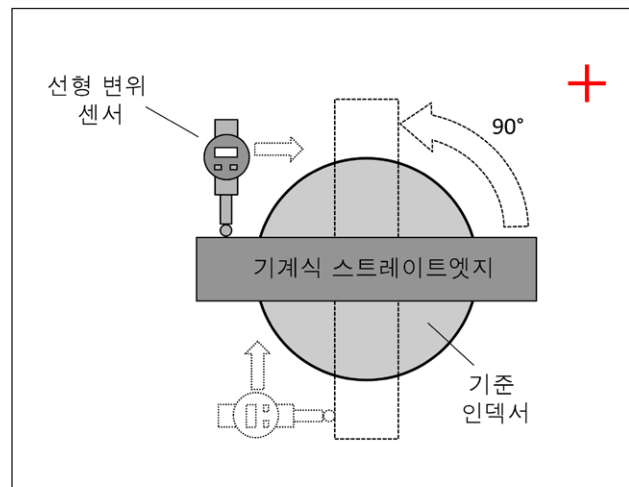


그림 5

방법 3 – 광학식 직각자와 레이저 진직도 간섭계를 사용한 두축 진직도 테스트

이 방법은 진직도 광학 장치, 광학식 직각자를 포함하는 레이저 간섭계 시스템(예: Renishaw의 XL-80 시스템)을 사용합니다. 장비는 기계 구성에 따라 "L" 자형 또는 "T" 자형 구성으로 설정할 수 있습니다. 그림 6은 두 수평 축의 직각도를 테스트하는데 자주 사용되는 "L" 자형 구성을 보여줍니다. 이 설정은 광학식 직각자가 90° 회전하는 공간에서 진직도 반사경이 레이저를 투영하는 방식입니다. 이 레이저와의 진직도 편차는 진직도 간섭계로 측정(표시)합니다. 그림 6의 진직도 반사경과 광학식 직각자, 그림 3의 기계식 직각자는 직접 비교가 가능합니다. 두 설정 모두 같은 "L" 자형 기준선을

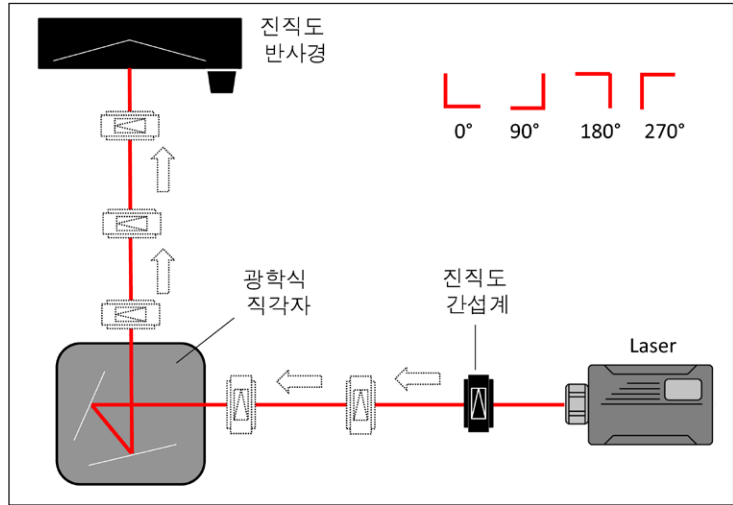


그림 6

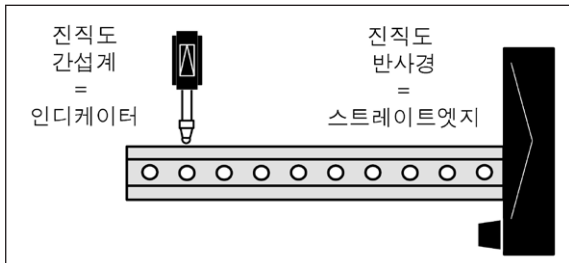


그림 7

제공합니다. 그림 6에서 레이저와의 진직도 편차는 진직도 간섭계로 측정합니다. 이는 그림 3에서 기계식 스트레이트엣지의 진직도 편차를 선형 변위 센서로 측정하는 것과 같은 방식입니다. 인디케이터를 사용하는 기계식 스트레이트엣지와 간섭계를 사용하는 진직도 반사경의 직접적인 비교가 그림 7에 나와 있습니다. 이 내용은 Renishaw 백서 "TE325 - 레이저 간섭계를 이용한 진직도 측정 및 이동식 기계 테이블의 측정"에서 자세히 설명합니다. 마찬가지로, 두 수평 축의 직각도를 측정할 때 기구적 접근성을 고려하여 장비를 방향에 맞게 회전시켜 구성요소를 4가지 "L"자형 방향(0°, 90°, 180°, 270°) 중 하나로 배열할 수 있습니다. 4가지 "L"자형 방향 모두 향후 시뮬레이션에 포함됩니다.

그림 8a, b와 같이 추가 회전 미러와 대형 역반사경을 사용하여 구성요소를 재배치하고 "T"자형 구성으로 테스트를 수행할 수도 있습니다. 이 구성은 테스트 대상 축 중 하나가 수직 방향일 때 자주 사용됩니다. 수평 축은 그림 8a와 같이 레이저, 진직도 간섭계, 반사경을 사용하여 테스트합니다. 수직 축은 그림 8b와 같이 회전 미러,

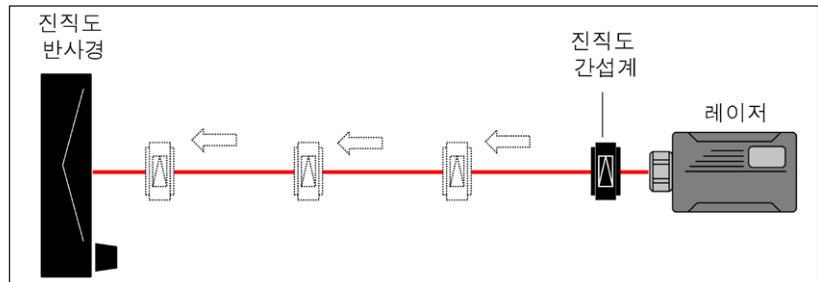


그림 8a

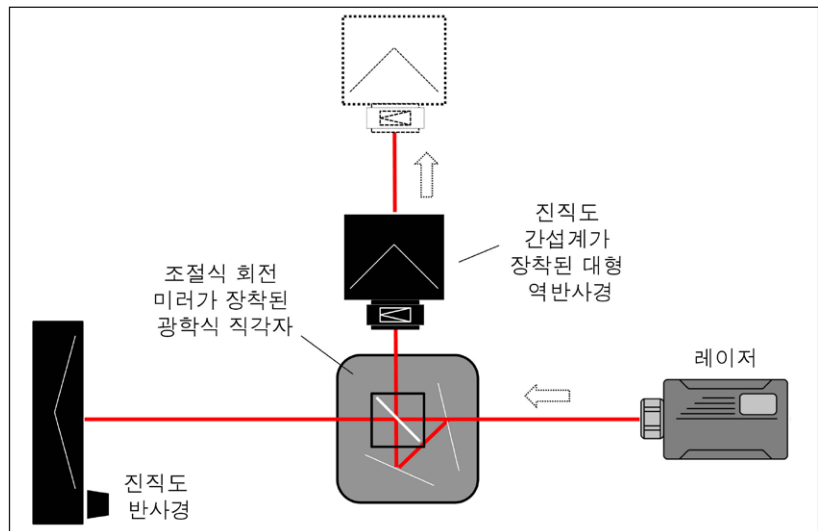


그림 8b

광학식 직각자, 대형 역반사경을 추가하여 테스트합니다. 두 축의 측정 중에 진직도 반사경의 정렬은 두 테스트에 대한 기준선을 생성하기 때문에 변경해서는 안 됩니다. 그림 8a, b에 나와 있는 레이저 간섭계 측정값과 그림 4에 나와 있는 기계식 직각자로 얻은 측정값 또한 직접 비교가 가능합니다.

직각도 결과는 방법 1과 방법 2에서 모두 같은 방법으로 계산합니다. 그러나 제조 공차로 인해 일반적으로 “프리즘 오차” 라고 불리는 광학식 직각자의 미세한 각도 오차에 대한 작은 보정이 필요할 수 있습니다. 이 보정은 분석 소프트웨어에서 사용자가 "프리즘 오차" 값을 입력하면 자동으로 적용됩니다.

레이저 기반 측정의 이점은 적절한 기계식 스트레이트엣지와 직각자를 사용할 수 없거나 운송 비용 또는 작업 부담이 크며 무게로 인해 기계 구조물의 기계적 왜곡을 발생시킬 수 있는 대형 기계에서 글로벌 직각도 측정 결과를 쉽게 제공할 수 있다는 것입니다.

방법 4 - 원형 테스트

CNC 제어가 가능한 정밀한 원형 보간을 수행할 수 있는 기계의 경우, 그림 9와 같이 망원 볼바(예; Renishaw QC20-W)를 사용하여 동적 원형 테스트로 기계 직각도를 판별할 수 있습니다. 이 테스트

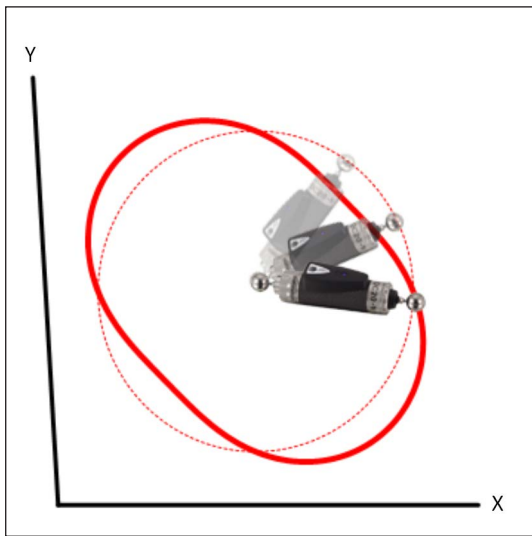


그림 9

방법은 ISO230-4에 기술되어 있습니다. 기계가 360° 원형 경로(빨간색 점선으로 표시)를 따라 낮은 이동 속도로 CW 방향과 CCW 방향으로 차례대로 이동하도록 프로그래밍됩니다. 망원 볼바의 한쪽 끝은 원 중심에 있는 기계 테이블의 피봇에 연결됩니다. 반대쪽 끝은 기계 스피ن들에 부착된 피봇에 연결됩니다. 기계가 원 주위를 이동하면서 볼바의 센서가 반경의 변화를 측정하여 오차 궤적을 생성합니다(빨간색으로 강조 표시됨). 직각도 오차가 있으면 평균 CW 및 CCW 볼바 오차 궤적이 그림과 같이 타원형으로 나타납니다. 직각도 오차는 45° 사선(즉 타원의 장축과 단축)의 길이를 비교하여 추정할 수 있습니다. Renishaw의 볼바 플롯 진단 소프트웨어는 가능한 다른 기계 오차(예: 백래쉬, 서보, 스케일 불일치, 주기적, 진직도 오차)와 직각도 오차를 구분하기 위해 광범위한 계산을 수행하며 결과적으로 직각도 결과가 다른 오차의 영향을 받지 않습니다. 또한 Renishaw 소프트웨어를 사용하면 부분 원형 테스트(최대 220°)의 직각도를 측정할 수 있습니다.

볼바 테스트의 장점은 빠르고 간편하다는 것입니다. 빠른 테스트 속도는 직각도 결과가 다른 결과에 영향을 미칠 수 있는 환경 변화(예: 열 변형)의 영향을 거의 받지 않음을 의미합니다. 연장 바를 사용하면 테스트 반경을 50 mm에서 1000 mm까지 변경하여 기계의 넓은 범위를 테스트할 수 있습니다. 테스트는 여러 위치에서 수행할 수 있으며 결과의 평균으로 축 길이 차이가 큰 기계의 직각도를 평가할 수 있습니다(이 방법은 이 백서 마지막 부분에서 자세히 다룸).

원형 보간(예: CMM)을 수행할 수 없는 기계의 경우 대신 Renishaw의 기계 점검 게이지(MCG)로 테스트를 수행할 수 있습니다(그림 10 참조). 또는 소형 기계의 경우 Renishaw 프로브 및 링 게이지로 테스트를 수행할 수 있습니다.

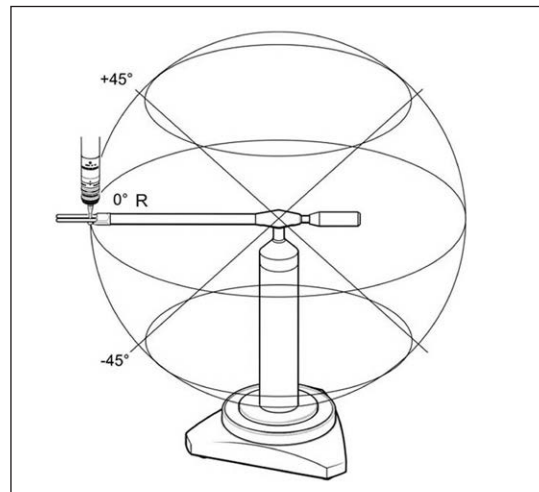


그림 10

방법 5 - 대각선 변위 테스트

기계를 평가하는 마지막 방법은 레이저 간섭계 시스템(예: Renishaw XL-80 시스템)과 선형 옵틱으로 두 대각선의 길이를 측정하는 것입니다(그림 11 참조). 이 테스트 방법은 ISO230-6에 기술되어 있습니다. 일반적으로 첫 번째 대각선의 길이를 측정할 수 있도록 레이저가 정렬됩니다. 그런 다음 두 번째 대각선을 측정할 수 있도록 레이저가 재정렬됩니다. 테스트 과정에서 이동하는 각 축의 측정 간격은 두 대각선 모두 동일해야 하며 각 대각선의 길이를 두 방향 모두에서 측정하고 평균을 구하는 방식으로 백래쉬의 영향을 제거해야 합니다.

또한 열 변형의 가능성을 최소화 하기 위하여 두 대각선 길이를 차례로 신속하게 측정하는 것도 중요 합니다. 소형 기계의 경우 코사인 오차를 최소화하기 위해 레이저를 대각선에 정확하게 맞춰야 합니다.

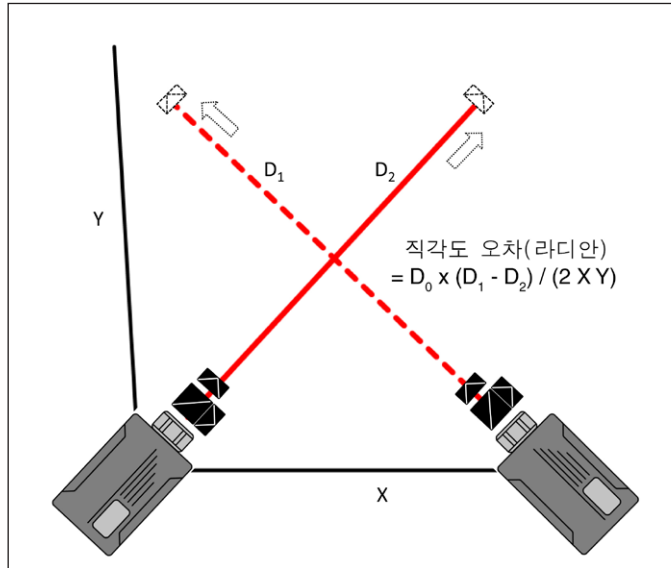


그림 11

그림 11과 같이 XY 평면에서의 테스트를 수행할 경우, X가 X 축을 따르도록 프로그래밍 되고 Y가 Y 축을 따르도록 프로그래밍된 경우 직각도(라디안)는 다음과 같이 구할 수 있습니다.

$$\text{직각도} = D_0 (D_1 - D_2) / (2XY)$$

여기서 D_0 은 공칭 대각선 길이이고 D_1 및 D_2 는 실제 대각선 길이입니다.

X와 Y가 같으면 이 방정식은 다음과 같이 정리됩니다.

$$\text{직각도} = (D_1 - D_2) / D_0$$

이 테스트의 장점은 빠르고 간단하다는 것이며 대형 기계와 중형비가 다른 기계에 적합합니다. 하나의 축이 수직 방향인 경우에는 회전 미러와 회전 조인트가 필요하며 설정이 조금 복잡해질 수 있습니다. 결과는 두 가지 레이저 거리 판독값을 기반으로 하므로 기계의 반복성이 낮으면 양호한 평균을 얻기 위해 테스트를 반복해야 할 수도 있습니다. 각 대각선상의 여러 위치에서 데이터를 수집할 수도 있습니다. 그런 다음 측정된 변위를 프로그래밍된 변위와 비교합니다. 각 대각선의 리니어 오차 데이터에 최소 제곱 직선을 맞추고 기울기를 비교하여 직각도 오차를 판별합니다. 이 백서에서는 전체 대각선 길이의 차이를 사용하여 직각도 오차를 판별합니다(ISO230-1 및 ISO230-6의 권장 사항).

기계 오차 시뮬레이션

각각의 직각도 테스트 방법에 대한 성능을 평가하기 위해 직각도, 진직도, 편요각 오차의 조합이 다른 5개 기계를 시뮬레이션했습니다(그림 12 참조). 5개 기계 모두 X 축과 Y 축의 길이가 800 mm이며 시뮬레이션에서는 XY 평면의 왜곡만 고려합니다. (그러나 일반적으로 다른 축의 조합에도 결과를 적용할 수 있습니다.) 그림 12의 파란색 선은 각 기계의 XY 평면의 왜곡 결과를 나타내며, 200배 확대하여 왜곡되지 않은 100 mm 간격의 격자위에 겹쳐서 표현됩니다.

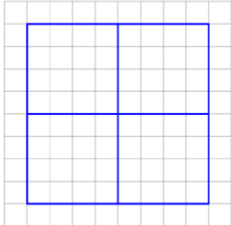
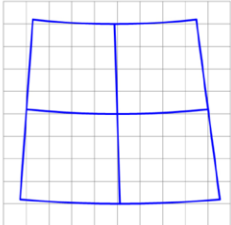
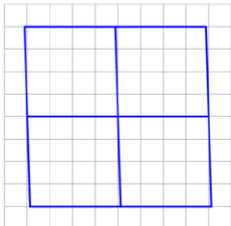
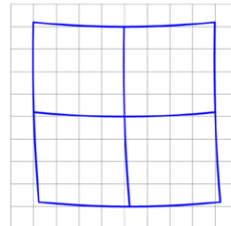
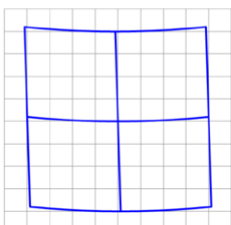
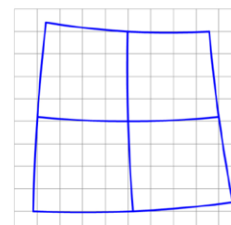
오차 조합이 다른 5개 기계 시뮬레이션	
 <p>오차 없음</p>	 <p>기계 3 ✓ 15μm/m XY 직각도 ✓ 10μm X 진직도 ✓ X 축 편요각 ✗ 5μm Y 진직도 ✗ Y 축 편요각</p>
 <p>기계 1 ✓ 15μm/m XY 직각도 ✗ 10μm X 진직도 ✗ X 축 편요각 ✗ 5μm Y 진직도 ✗ Y 축 편요각</p>	 <p>기계 4 ✓ 15μm/m XY 직각도 ✓ 10μm X 진직도 ✗ X 축 편요각 ✓ 5μm Y 진직도 ✗ Y 축 편요각</p>
 <p>기계 2 ✓ 15μm/m XY 직각도 ✓ 10μm X 진직도 ✗ X 축 편요각 ✗ 5μm Y 진직도 ✗ Y 축 편요각</p>	 <p>기계 5 ✓ 15μm/m XY 직각도 ✓ 10μm X 진직도 ✓ X 축 편요각 ✓ 5μm Y 진직도 ✓ Y 축 편요각</p>

그림 12

5개 기계 모두 기본 글로벌 직각도 오차는 +15 μ m/m입니다. 이 밖에도 X 축과 Y 축으로부터의 진직도 및 편요각 왜곡 오차가 다양한 조합으로 존재합니다. 편요각 왜곡 오차가 포함되는 경우 오차의 크기는 일반적으로 해당 축의 진직도 오차와 관련이 있습니다(강체 운동 가정 - 자세한 내용은 부록 1 참조). 진직도 오차가 항상 기계 XY 평면의 각도 오차를 유발하는 것은 아니며 기계의 운동학적 구성(연쇄)에 따라 다릅니다. 시뮬레이션에서 편요각으로부터 발생하는 왜곡 유무를 모두 고려한 진직도 오차 조합이 포함되어야 하는 이유가 바로 이 때문입니다. 진직도 오차가 있는 축이 작업 고정대를 지지하는 경우 해당 축의 결과 편요각에 따라 기계 3, 5와 같이 작업 영역이 왜곡될 수 있습니다. 그러나 진직도 오차가 있는 축이 공구만 지지하는 경우에는 편요각 오차가 있더라도 기계의 XY 평면의 각도 왜곡을 야기하지 않습니다. 이러한 오차 조합은 각도 및 진직도 오차(직각도의 로컬 변화 야기 가능)가 글로벌 직각도 오차가 함께 나타날 때 다양한 테스트 방법의 결과 차이를 강조하기 위해 의도적으로 선택한 것입니다. 특히 기계 3과 5에서 편요각으로부터 발생하는 왜곡의 정도는 가변적이지만 로컬 및 글로벌 직각도 왜곡이 15 μ m/m로 같기 때문에 더 중요합니다.

시뮬레이션 모드

인디케이터가 있는 기계식 스트레이트엣지와 간섭계가 있는 진직도 반사경은 직접 비교가 가능하므로 “L” 자형 구성과 “T” 자형 구성의 이 두 방법에 따른 시뮬레이션 결과는 동일합니다. 따라서 5가지 시뮬레이션 모드로 이전에 설명한 모든 테스트 방법과 장비 조합을 다룰 수 있습니다. 이 5가지 시뮬레이션 모드(a-e)와 이 모드가 적용되는 테스트 방법/장비가 아래에 나열되어 있습니다.

- a. 망원 볼바를 사용하는 원형 테스트
- b. 레이저 간섭계와 리니어 옵틱을 사용하는 레이저 대각선 테스트
- c. 다음을 사용하는 “+” 자형 구성의 두축 진직도 테스트:
 - 기계식 스트레이트엣지, 인디케이터, 90° 인덱서
- d. 다음을 사용하는 “T” 자형 구성의 두축 진직도 테스트:
 - 기계식 스트레이트엣지, 직각자, 인디케이터, 또는
 - 레이저 진직도 간섭계, 광학식 직각자, 대형 역반사경, 회전 미러.
- e. 다음을 사용하는 “L” 자형 구성의 두축 진직도 테스트:
 - 기계식 직각자, 인디케이터, 또는
 - 레이저 진직도 간섭계, 광학식 직각자

그림 13은 5가지 다른 시뮬레이션 모드를 보여줍니다. 이전과 마찬가지로 파란색 선은 왜곡되지 않은 100 mm 간격의 격자위에 중첩되어 표현하며 시뮬레이션한 기계의 XY 평면 왜곡을 보여줍니다. 테스트 중 기계의 움직임은 빨간색으로 표시됩니다. 기계 움직임의 왜곡 또한 2000배 확대되어 나타납니다. (볼바 트레이스의 경우, 빨간색 선은 스케일이 자동으로 조정되어 일반적으로 볼바 테스트 분석에서 나타나는 궤적의 스케일링과 일치하도록 중앙에 배치됩니다.)

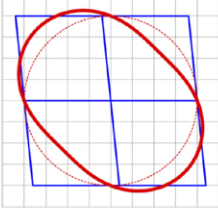
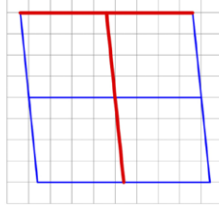
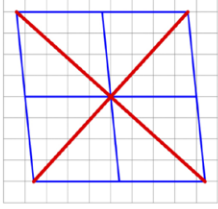
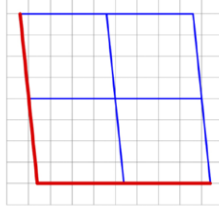
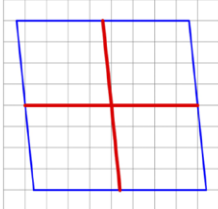
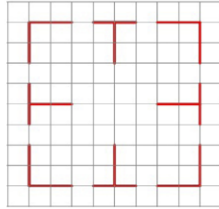
5가지 다른 시뮬레이션 모드(a - e)	
 <p>a) 볼바 테스트 테스트 반경과 위치는 다를 수 있습니다. 볼바 오차 플롯이 중심으로 자동 조정됩니다.</p>	 <p>d) 2축 진직도(T) T자형 직각자와 인디케이터 또는 레이저, 광학 직각자, 대형 역반사경 및 진직도 옵틱을 사용하여 수행됩니다. 방향, 길이 및 위치는 다를 수 있습니다.</p>
 <p>b) 레이저 대각선 테스트 레이저 및 리니어 옵틱을 사용하여 수행됩니다. 대각선 길이와 위치는 다를 수 있습니다.</p>	 <p>e) 2축 진직도(L) 직각자와 인디케이터 또는 레이저, 광학 직각자와 진직도 옵틱을 사용하여 수행됩니다. 방향, 길이 및 위치는 다를 수 있습니다.</p>
 <p>c) 2축 진직도(+) 직선자와 인디케이터 및 90° 인덱서를 사용하여 수행됩니다. 위치는 다를 수 있습니다.</p>	<p>참고 L자형 구성과 T자형 구성 모두 왼쪽 그림과 같이 4가지 방향으로 설정할 수 있습니다.</p> 

그림 13

시뮬레이션 모드 d와 e는 4가지 다른 방향(0°, 90°, 180°, 270°)의 테스트 장비로 수행할 수 있습니다. 시뮬레이션 매개변수 또한 기계의 800 mm x 800 mm XY 평면 내 테스트 장비의 크기와 위치에 맞게 조정될 수 있습니다. 예를 들어 글로벌 직각도 테스트를 시뮬레이션하려면 볼바 반경이 400 mm로 설정되고 테스트 장비는 XY 평면의 중심에 위치합니다. 로컬 직각도 테스트의 경우에는 볼바 반경을 줄이고 테스트 위치를 변경할 수 있습니다.

글로벌 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 1

그림 14는 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 1의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

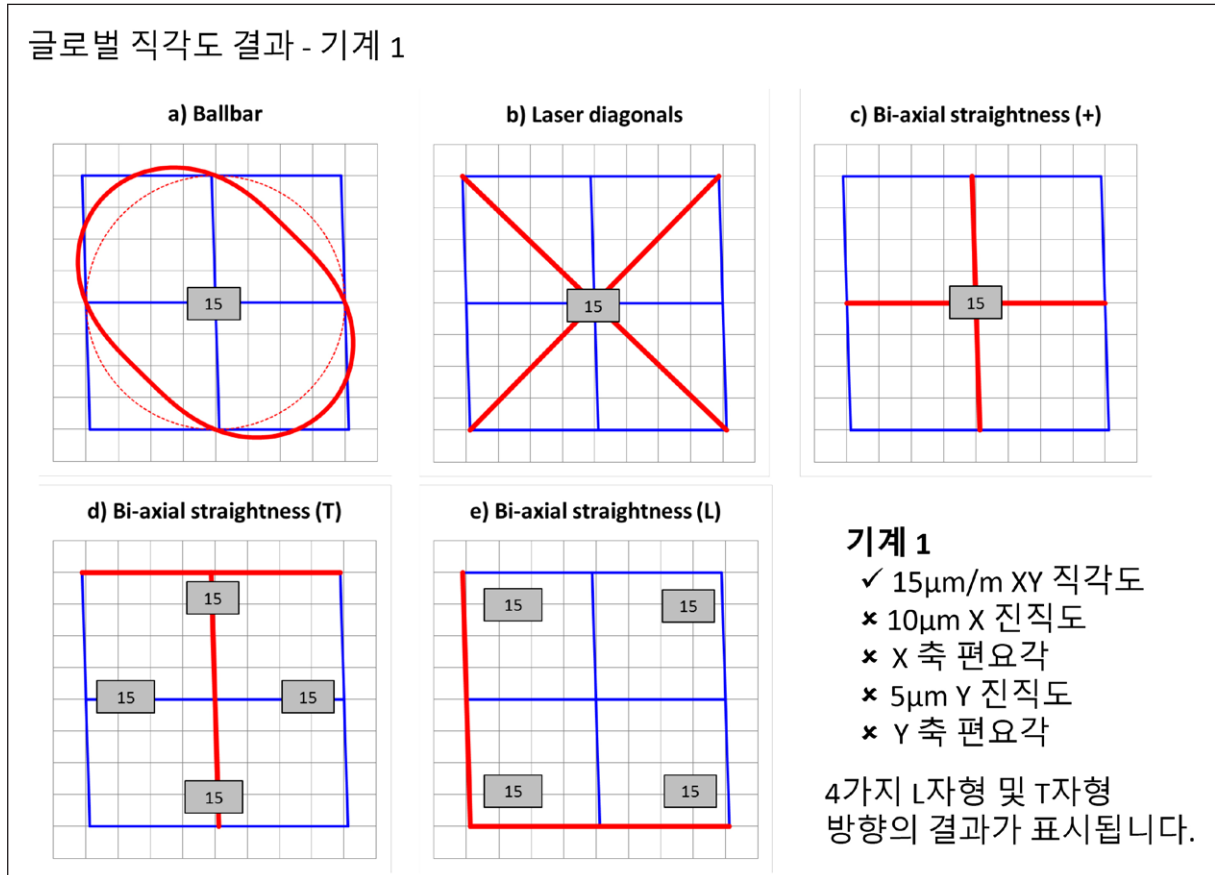


그림 14

작은 사각 상자 속 숫자는 각 시뮬레이션에서 계산된 직각도 결과($\mu\text{m}/\text{m}$)를 보여줍니다. “T” 자형 및 “L” 자형 구성의 경우에는 테스트 장비의 가능한 방향마다 하나씩 4개의 결과가 나타납니다. 결과는 적용되는 장비 방향의 축 이동 경로 교차 지점에 가깝게 배치되지만 명확성을 위해 빨간색 “T” 자형 또는 “L” 자형 기계 이동 경로 하나만 표시됩니다. 그림 14 d 에의 경우, 상단 결과는 빨간색으로 표시되는 “T” 자형 장비 방향과 관련이 있습니다. 오른쪽 결과는 시계 방향으로 90° 회전된 “T” 자형 배열과 관련이 있습니다.

기계 1의 결과는 글로벌 직각도 결과가 테스트 방법과 장비 방향에 관계없이 항상 $15 \mu\text{m}/\text{m}$ 임을 보여줍니다. 시뮬레이션한 기계는 글로벌 직각도 오차 $15 \mu\text{m}/\text{m}$ 이외에 다른 오차가 없으므로 예상과 정확하게 일치합니다.

글로벌 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 2

그림 15는 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 2의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

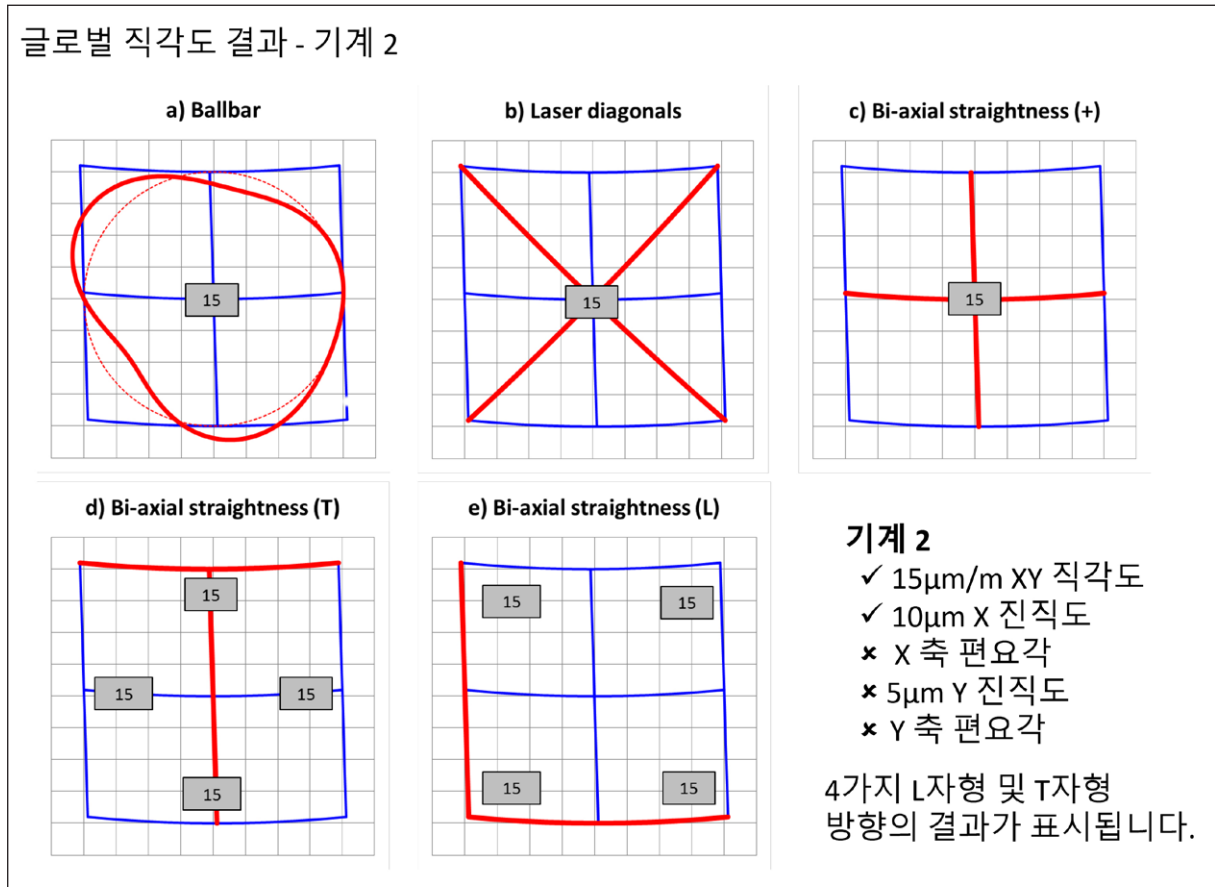


그림 15

기계 2의 결과는 역시 글로벌 직각도 결과가 테스트 방법과 장비 방향에 관계없이 항상 15 μ m/m임을 보여줍니다. 이는 X 축 진직도 오차를 추가해도 글로벌 직각도 테스트 방법의 성능에는 영향을 미치지 않았음을 나타냅니다.

글로벌 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 3

그림 16은 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 3의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

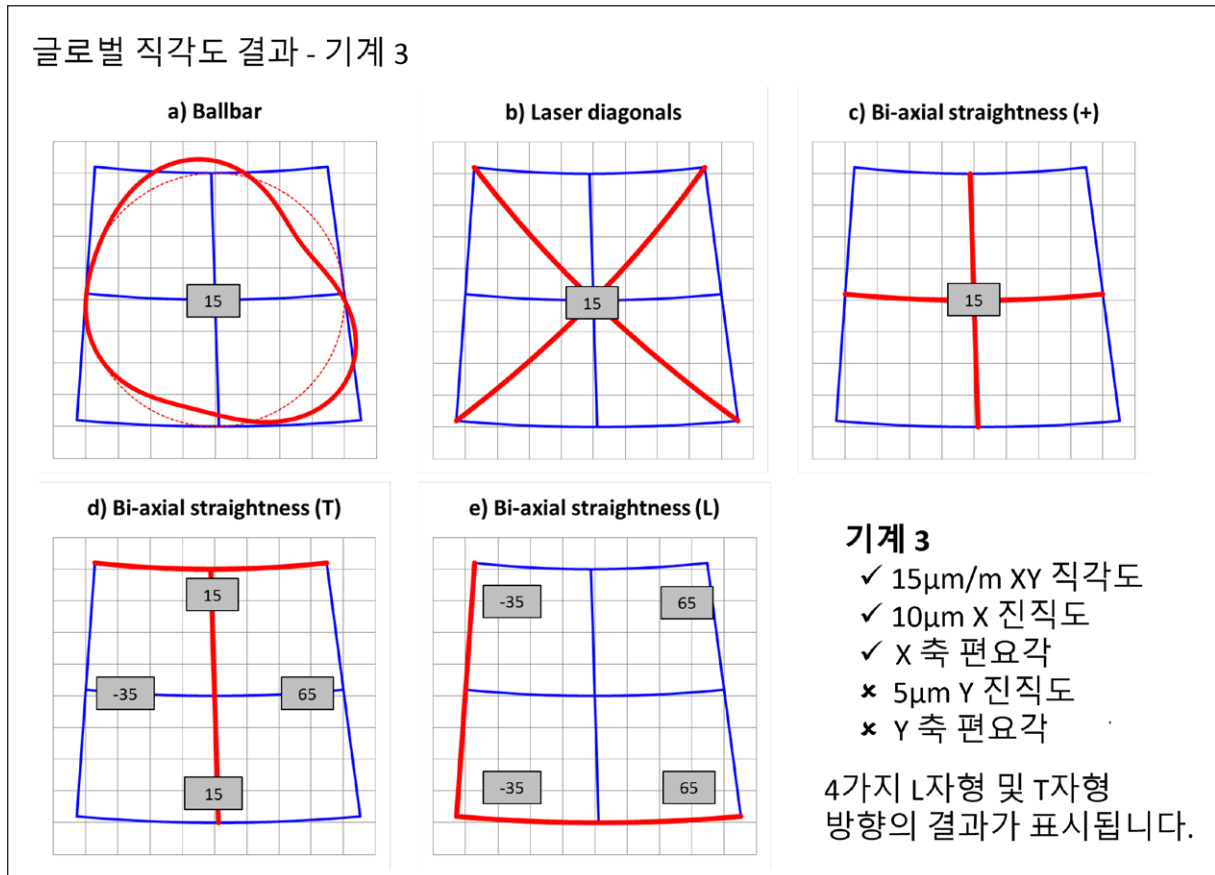


그림 16

기계 3의 결과는 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 두축 진직도 방법의 글로벌 직각도 결과 역시 15 μ m/m임을 보여줍니다. 그러나 “T” 자형 테스트 방법과 “L” 자형 테스트 방법의 결과는 변경되었습니다. 이는 이 두 방법이 X 축 편요각에 민감함을 의미합니다. 이 결과는 “잘못된” 것이 아니며 단지 Y 축이 X 축의 왼쪽 끝에서 오른쪽 끝으로 이동할 때 -35 μ m/m에서 +65 μ m/m까지 X 축과 Y 축의 각도 변화를 강조하는 것입니다. “T” 자형 직각도 테스트와 “L” 자형 직각도 테스트의 경우 두 축의 전체 구간을 이동하지만(따라서 “글로벌” 직각도 테스트로 분류됨) 실제로는 특정 위치에서 테스트할 때 두 축 사이의 직각도만 나타냅니다. 이 내용은 “+” 자형 구성에도 적용됩니다. 그러나 이 예에서는 시뮬레이션한 왜곡의 대칭에 따라 “+” 자형 구성의 직각도 결과가 볼바 및 레이저 대각선 방법에서 제공되는 값과 일치합니다. 반대쪽 모서리 또는 측면으로부터 “L” 자형 또는 “T” 자형 직각도 결과의 평균을 구하는 경우, 다른 방법에서 제공되는 값과 일치합니다.

주: ISO230-1에서는 이상적으로 기계 직각도는 기계의 작업 영역 중앙을 통과하는 선을 따라 평가하도록 권장합니다. 위 결과에서 그 이유를 알 수 있습니다. “L” 자형 테스트와 관련된 두 선 모두 일반적으로 기계의 작업 영역 가장자리에 위치하므로 중앙이 아닌 가장자리의 기계 직각도를 표현합니다.

글로벌 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 4

그림 17은 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 4의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

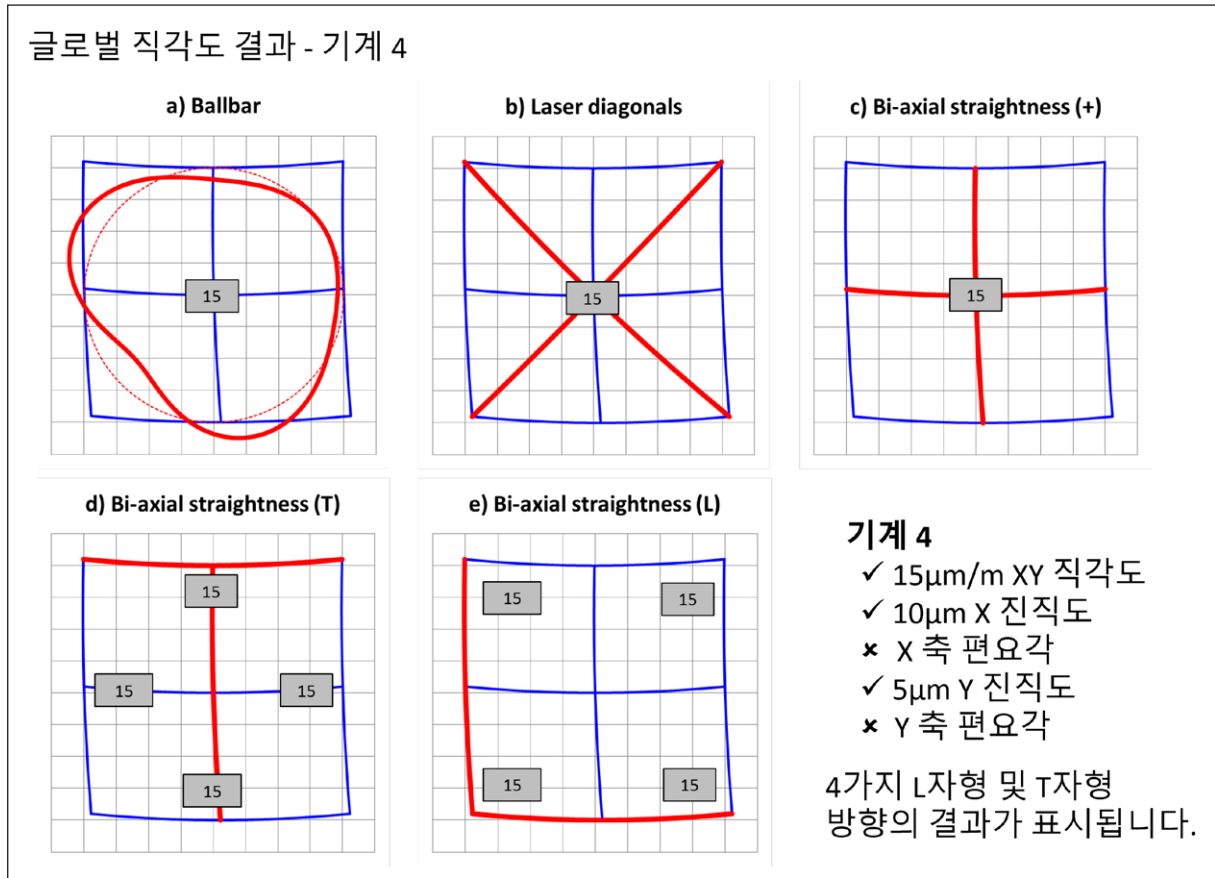


그림 17

기계 4의 결과는 이제 글로벌 직각도 결과가 모두 테스트 방법과 장비 방향에 관계없이 역시 15 μ m/m 임을 보여줍니다. 편요각 오차 왜곡이 제거되었으므로 X 축과 Y 축에 모두 진직도 오차가 있더라도 모든 방법이 같은 결과를 제공합니다.

글로벌 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 5

그림 18은 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 5의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

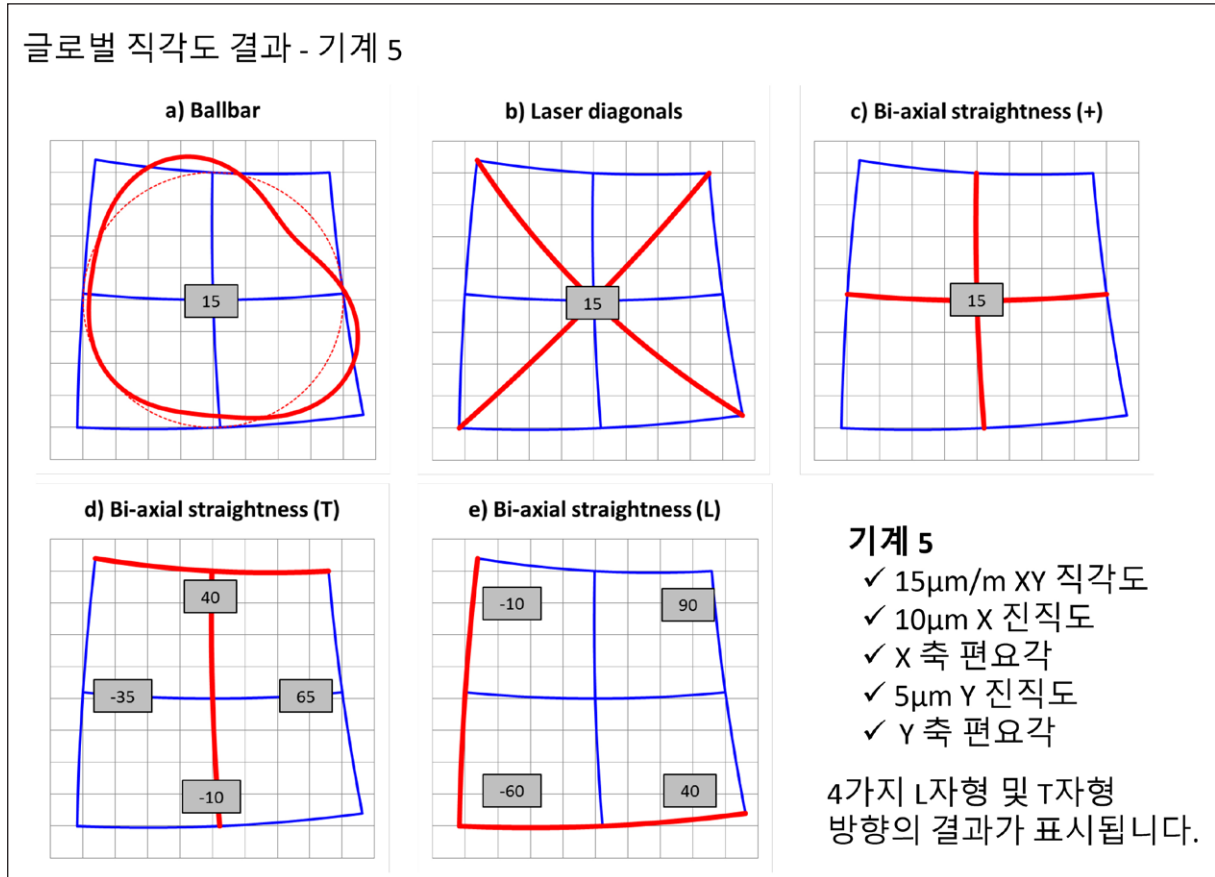


그림 18

기계 5의 결과는 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 두축 진직도 방법의 글로벌 직각도 결과가 계속 15 μ m/m임을 보여줍니다. 그러나 X 및 Y 축 편요각에 대한 민감성으로 인해 “T” 자형 및 “L” 자형 테스트 방법 결과는 역시 변경되었습니다. 이 결과 역시 “잘못된” 것이 아니며 단지 Y 축이 X 축의 한쪽 끝에서 반대쪽 끝으로 이동하거나 X 축이 Y 축의 한쪽 끝에서 반대쪽 끝으로 이동할 때 X 축과 Y 축의 각도 변화를 반영하는 것입니다. 반대쪽 코너 또는 슬라이드로부터 “L” 자형 또는 “T” 자형 직각도 결과의 평균을 구하는 경우, 다른 방법에서 제공되는 값과 일치합니다.

글로벌 직각도 결과 - 결론

편요각 오차 변화에도 기계의 XY 평면이 왜곡되지 않는 경우, 글로벌 직각도 결과는 모든 방향에서 모든 테스트 방법에 동일합니다(15 μ m/m).

그러나 기계의 XY 평면에 대칭적으로 가변적인 편요각 오차가 적용되는 경우;

- 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 두축 진직도 테스트 방법은 계속 동일한 글로벌 직각도 결과 (15 μ m/m)를 제공합니다.
- “T” 자형 및 “L” 자형 두축 진직도 테스트는 장비 방향에 따라 다른 결과를 제공합니다.

로컬 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 1

로컬 직각도 테스트는 각 테스트 방법을 사용하여 기계 XY 평면 내 5개 위치에서 시뮬레이션되었습니다. 그림 19는 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 1의 로컬 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다. 로컬 직각도는 표시된 다양한 위치에서 각 축의 단 200 mm 길이에 대해서만 평가됩니다.

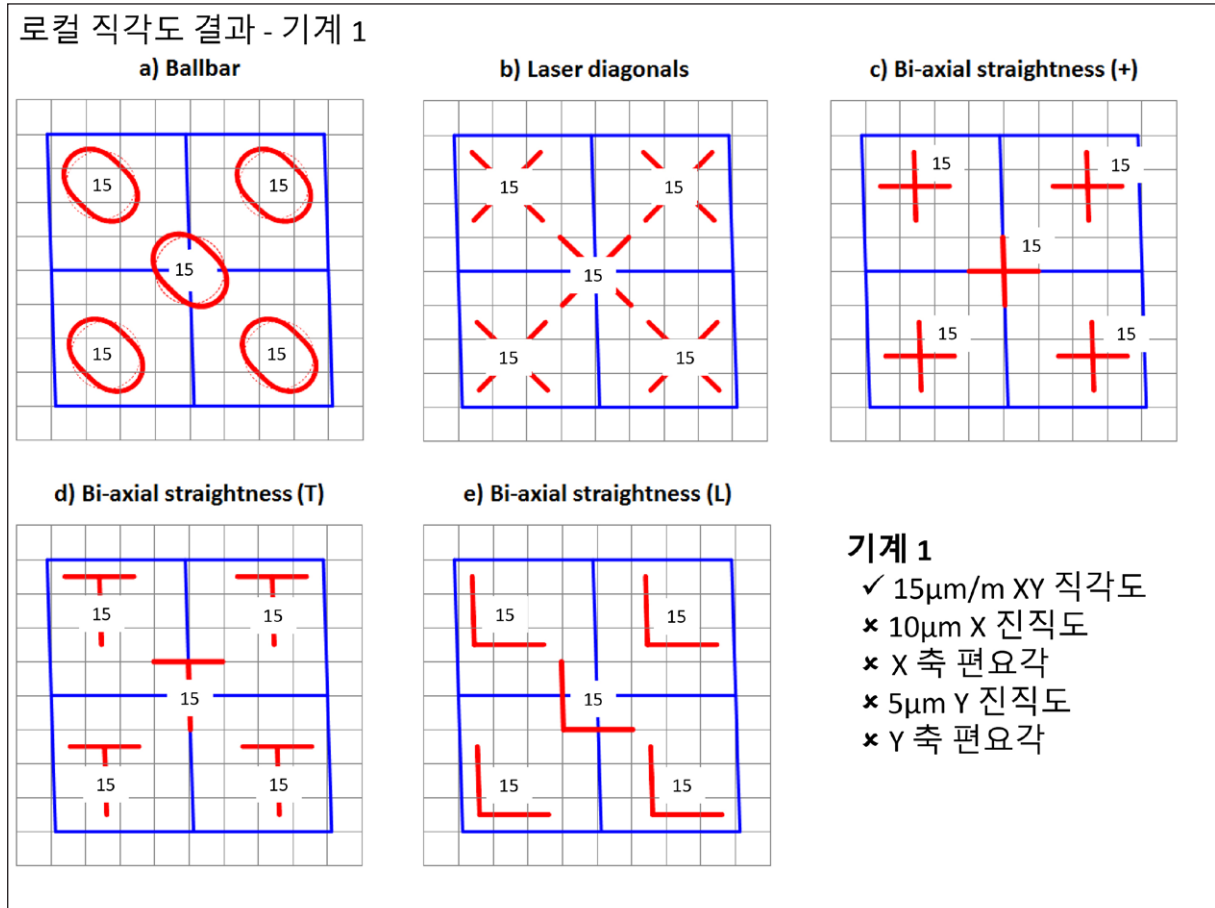


그림 19

기계 1은 테스트 위치와 방법에 관계없이 15 µm/m의 로컬 직각도 결과를 보여줍니다. 시뮬레이션한 기계는 글로벌 직각도 오차 15 µm/m 이외에 다른 오차가 없으므로 예상과 정확하게 일치합니다.

로컬 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 2

그림 20은 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 2의 로컬 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

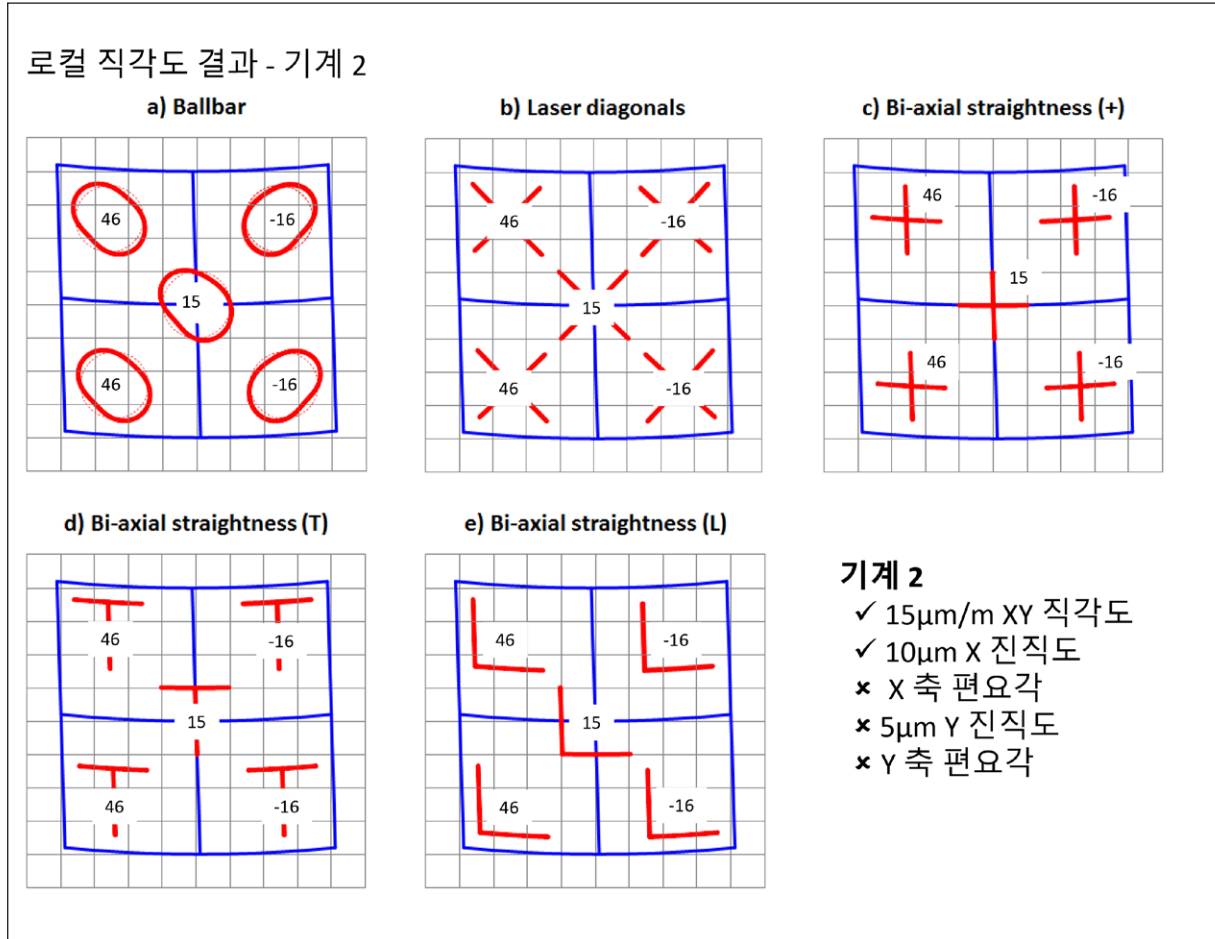


그림 20

기계 2는 테스트 위치에 따라 다른 로컬 직각도 결과를 보여주지만 모든 테스트 방법이 같은 결과를 제공합니다. 이는 X 진직도 오차가 적용되어 로컬 직각도가 변화되었음을 나타냅니다. 이러한 기계의 경우 테스트 위치를 신중하게 선택해야 합니다. 모든 테스트 방법은 같은 결과를 제공합니다. 기계 2에는 편요각 유도 각도 왜곡 오차가 없기 때문입니다.

로컬 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 3

그림 21은 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 3의 로컬 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

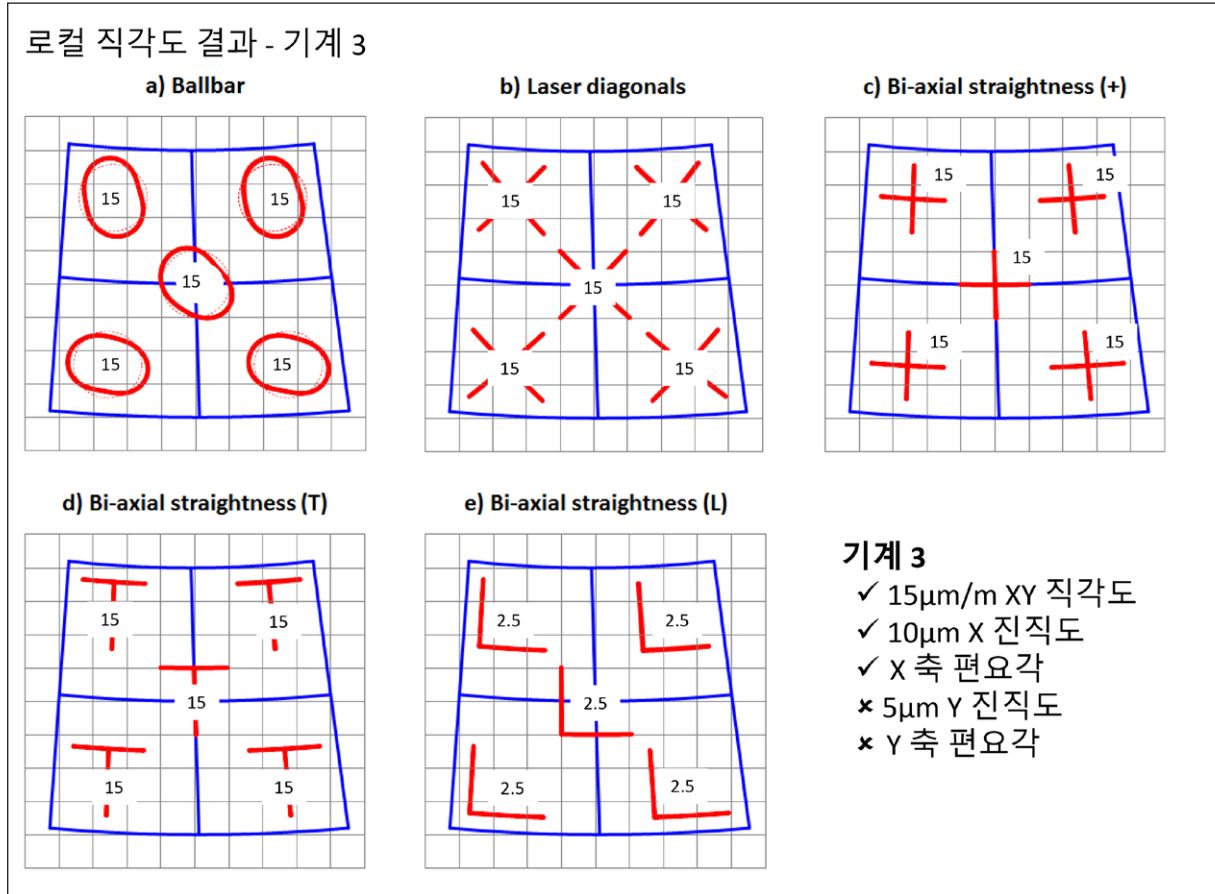


그림 21

기계 3은 테스트 위치는 관계가 없지만 테스트 방법에 따라 다른 로컬 직각도 결과를 보여줍니다. 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 및 “T” 자형 두축 진직도 방법은 같은 결과를 제공하지만 “L” 자형 두축 테스트는 다른 결과를 제공합니다. 직각도 결과의 일관성은 테스트 위치에 관계없이 흥미롭습니다. 이는 기계에 해당 편요각 왜곡을 유도하는 축 진직도 오차가 있다면(강체 모델) 기계가 명확하게 "흰" 경우라도 로컬 및 글로벌 직각도가 영향을 받지 않음을 보여줍니다.

로컬 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 4

그림 22는 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 4의 로컬 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

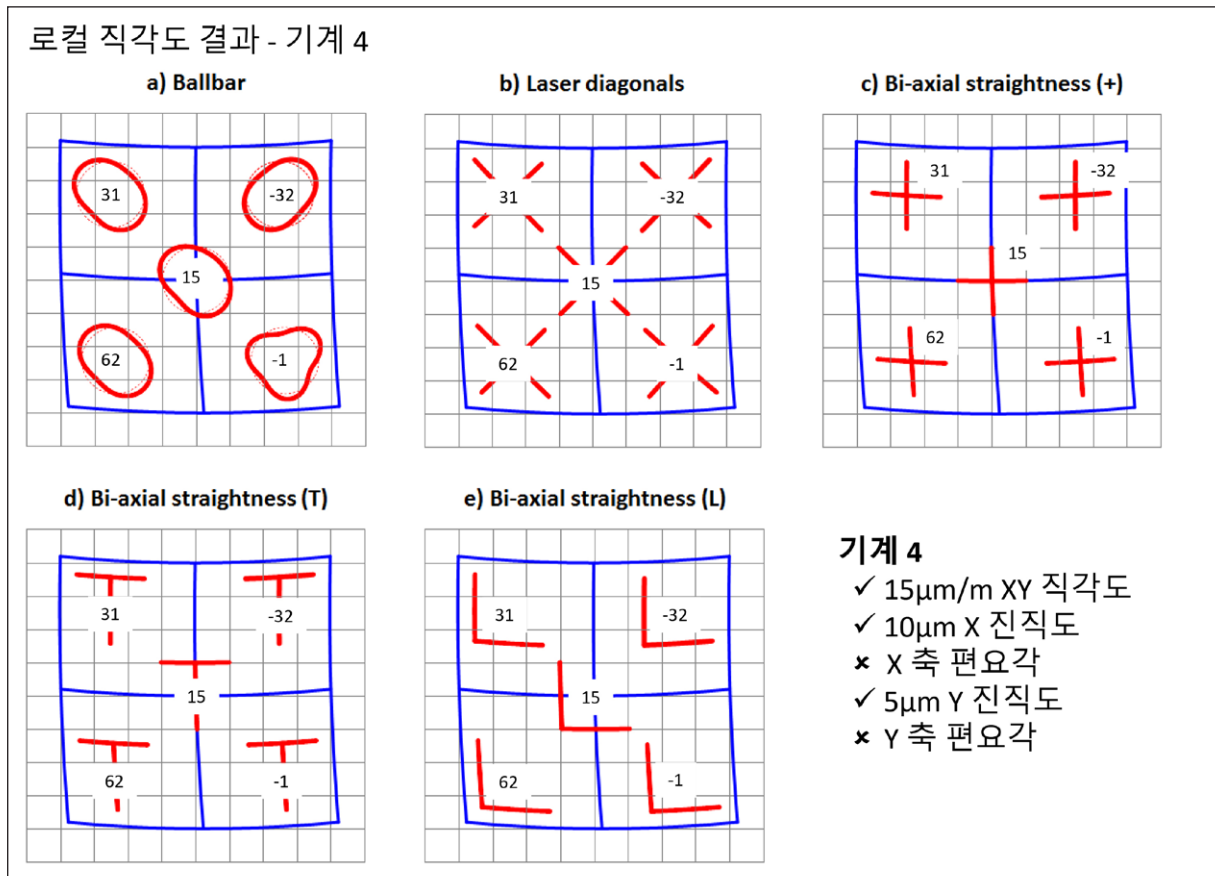


그림 22

기계 4는 테스트 위치에 따라 다른 로컬 직각도 결과를 보여주지만 모든 테스트 방법이 같은 결과를 제공합니다. 이는 X 및 Y 진직도 오차가 적용되어 로컬 직각도가 변화되었음을 나타냅니다. 이러한 기계의 경우 테스트 위치를 신중하게 선택해야 합니다. 모든 테스트 방법은 같은 결과를 제공합니다. 기계 4에는 편요각 유도 각도 왜곡 오차가 없기 때문입니다.

로컬 직각도 시뮬레이션 결과 - 기계 5

그림 23은 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 5의 로컬 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

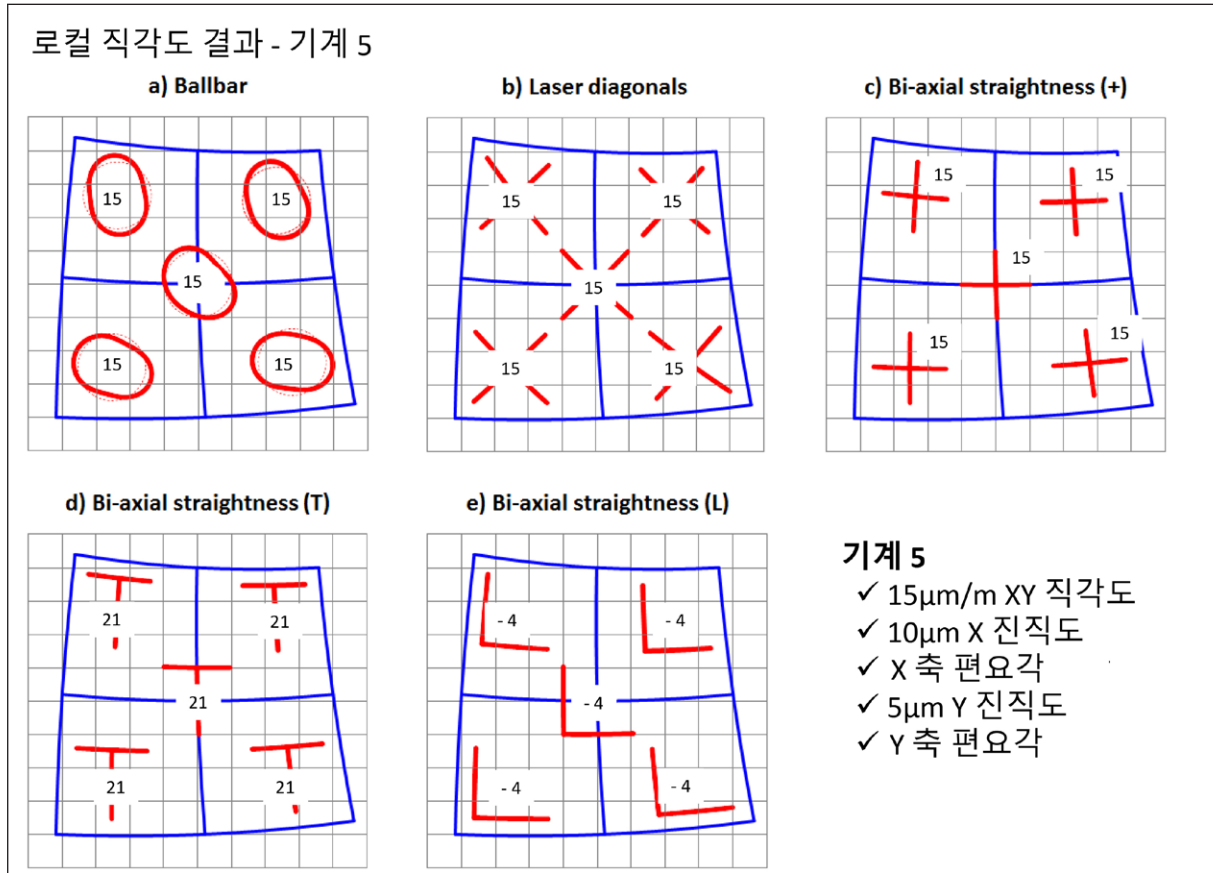


그림 23

기계 5는 테스트 위치는 관계가 없지만 테스트 방법에 따라 다른 로컬 직각도 결과를 보여줍니다. 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 두축 진직도 방법은 같은 결과를 제공하지만 “L” 자형 및 “T” 자형 두축 테스트는 다른 결과를 제공합니다. 역시 직각도 결과의 일관성은 테스트 위치에 관계없이 흥미롭습니다. 이는 기계에 해당 편요각 왜곡을 유도하는 두 축의 진직도 오차가 있다면(단순 강제 모델) 기계가 명확하게 “흰” 경우라도 로컬 및 글로벌 직각도가 영향을 받지 않음을 보여줍니다.

로컬 직각도 결과 - 결론

기계의 하나 이상의 축에 진직도 오차가 있지만 해당 편요각 유도 각도 왜곡은 없는 경우, 로컬 직각도는 테스트 위치에 따라 달라지지만 모든 테스트 방법은 같은 직각도 결과를 제공합니다.

기계에 해당 각도(피치 또는 편요각) 왜곡 오차를 유도하는 진직도 오차가 있는 경우, 로컬 직각도에 변화가 없으므로 로컬 직각도 테스트 결과는 테스트 위치에 영향을 받지 않습니다. 그러나 “T” 자형 및 “L” 자형 테스트의 로컬 직각도 결과는 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 두축 테스트의 로컬 직각도 결과와 다릅니다. 다른 시뮬레이션(이 문서에는 나와 있지 않음)에서는 같은 조건하의 글로벌 직각도 테스트 결과와 같이 “T” 자형 및 “L” 자형 로컬 직각도 결과가 장비 방향에 따라 다르게 나타날 것으로 입증되었습니다.

중형비가 다른 기계에서의 글로벌 직각도 오차 테스트

지금까지 시뮬레이션한 기계는 X 축과 Y 축의 길이가 같았습니다. 그러나 실제 기계는 일반적으로 X 축이 Y 축보다 길고 Z 축이 더 짧습니다. 축 길이가 크게 다른 기계의 글로벌 직각도를 테스트하려면 이 차이를 처리하도록 구성될 수 있는 테스트 장비가 필요합니다. 두축 진직도 및 레이저 대각선 테스트 방법은 간단한 수정으로 이 차이를 처리할 수 있습니다. 그러나 볼바 테스트는 일반적으로 360° 원형 테스트에 의존하므로 축 길이가 유사한 기계에 적합합니다. Renishaw의 고급 볼바 진단 소프트웨어는 220° 원호로부터의 분석을 허용하여 이 문제를 부분적으로 처리하며 따라서 중형비가 약 1½인 기계의 글로벌 직각도를 테스트할 수 있습니다. 1.

중형비가 더 큰 기계의 경우, 더 긴 축을 따라 여러 번의 볼바 테스트를 수행한 다음 직각도 결과의 평균을 구할 수 있습니다. 이 방법과 다른 테스트 방법의 성능을 조사하기 위해 X 축이 750 mm, X 축이 250 mm인 다른 기계(기계 6)를 시뮬레이션했습니다. 이 기계의 글로벌 직각도 오차는 15 μm/m, X 축 진직도 오차는 10 μm, Y 축 진직도 오차는 5 μm입니다. 그림 24는 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 6의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

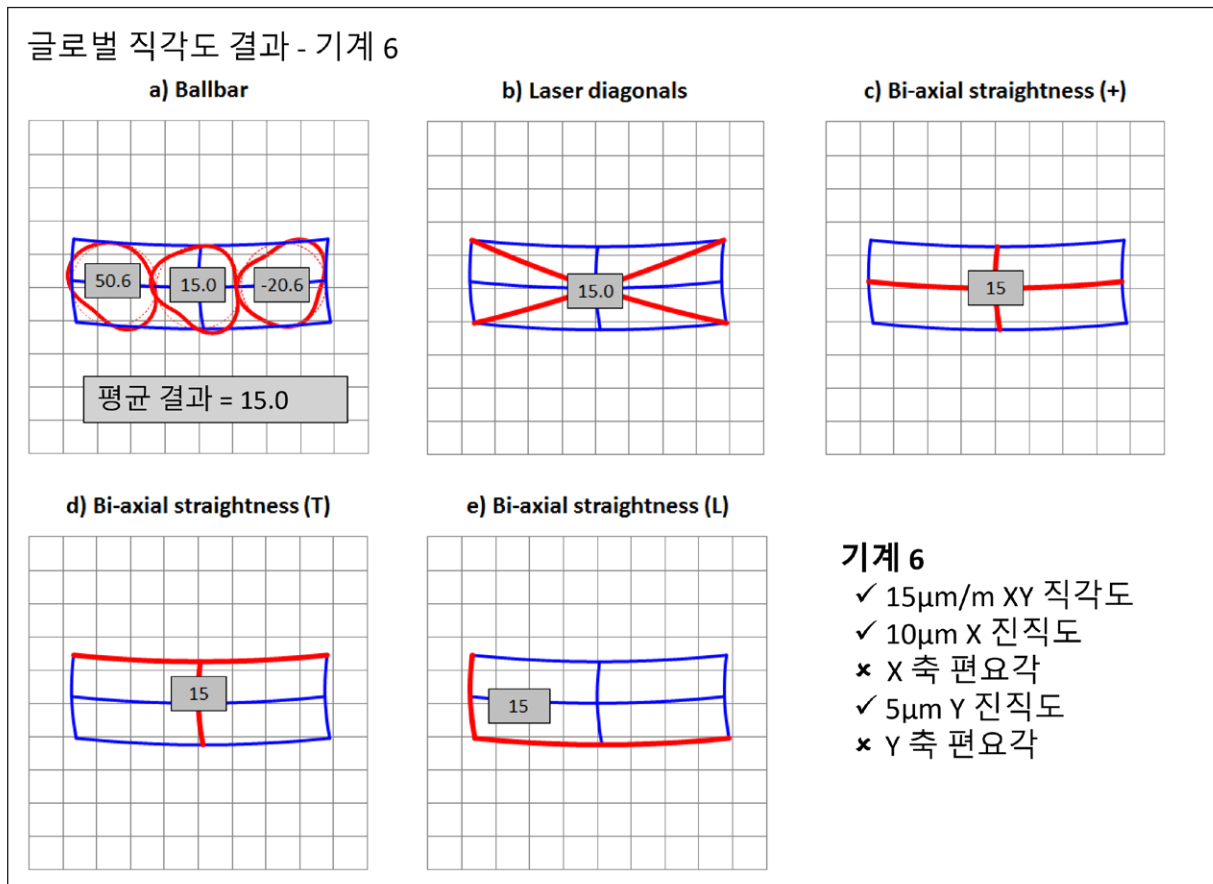


그림 24

3개 볼바 직각도 결과의 평균은 다른 테스트 방법 각각의 15 μm/m 글로벌 직각도 결과와 일치합니다.

기계 1 - 6에서 시뮬레이션한 진직도 오차는 단순 곡선이었습니다. 이 축이 가늘고 긴 기계는 진직도 오차가 더 복잡한 형태를 나타내는 경우가 있습니다. 이와 같은 조건에서 다양한 테스트 방법의 성능을 조사하기 위해 다른 기계를 시뮬레이션했습니다. 기계 7은 X 축의 진직도 오차가 더 복잡한 형태(축이 두 지점에 지지되어 있는 형태)를 나타낸다는 것을 제외하고는 기계 6과 동일합니다. 그림 25는 각각의 테스트 시뮬레이션 모드를 사용한 기계 7의 글로벌 직각도 테스트 시뮬레이션 결과를 보여줍니다.

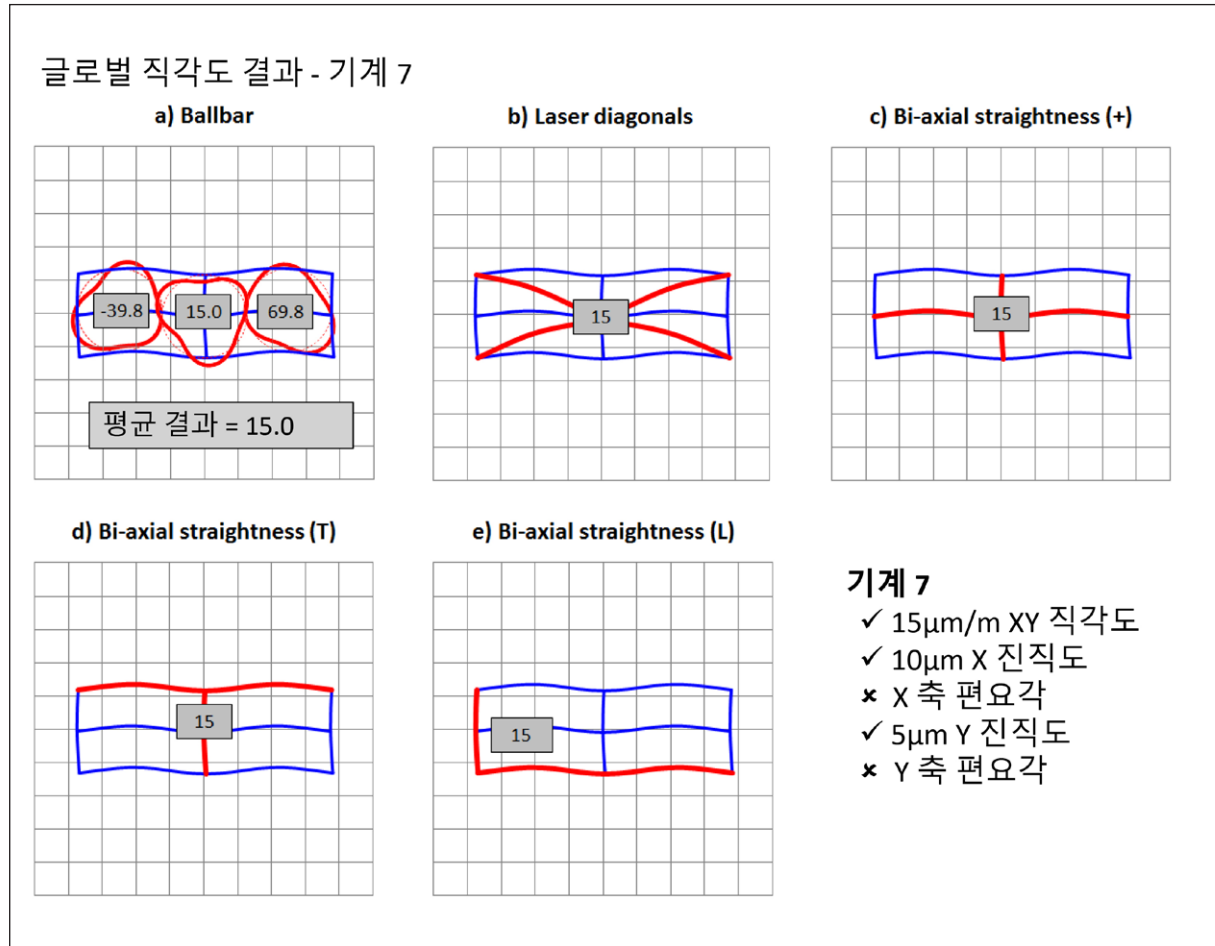


그림 25

3개 볼바 직각도 결과의 평균은 역시 다른 테스트 방법 각각의 글로벌 직각도 결과와 일치합니다. 연관된 X 및 Y 축 편요각 왜곡 오차가 추가되면 “T” 자형 및 “L” 자형 두축 진직도 방법에서 얻은 글로벌 직각도 결과가 95 μ m/m와 39 μ m/m로 각각 큰 차이를 나타냅니다. 그러나 “+” 자형 두축 진직도와 레이저 대각선 테스트의 평균 볼바 직각도 및 글로벌 직각도 결과는 15 μ m/m 로 일관되게 유지됩니다.

위에서 시뮬레이션한 테스트는 기계의 750 mm x 250 mm 영역에 딱 맞는 3가지 125 mm 반경 볼바 테스트를 쉽게 활용합니다. 그러나 대부분 기계의 경우 여러 볼바 테스트 원을 기계의 작업 영역에 정확히 맞추는 것은 불가능합니다. 이러한 조건에서는 간격이 고른 중복 원을 사용할 수 있습니다. 이 방법의 성능을 조사하기 위해 그림 26과 같이 기계 6과 7에서 4가지 중복 볼바 테스트를 시뮬레이션했습니다.

중첩 볼바 테스트 원 시뮬레이션

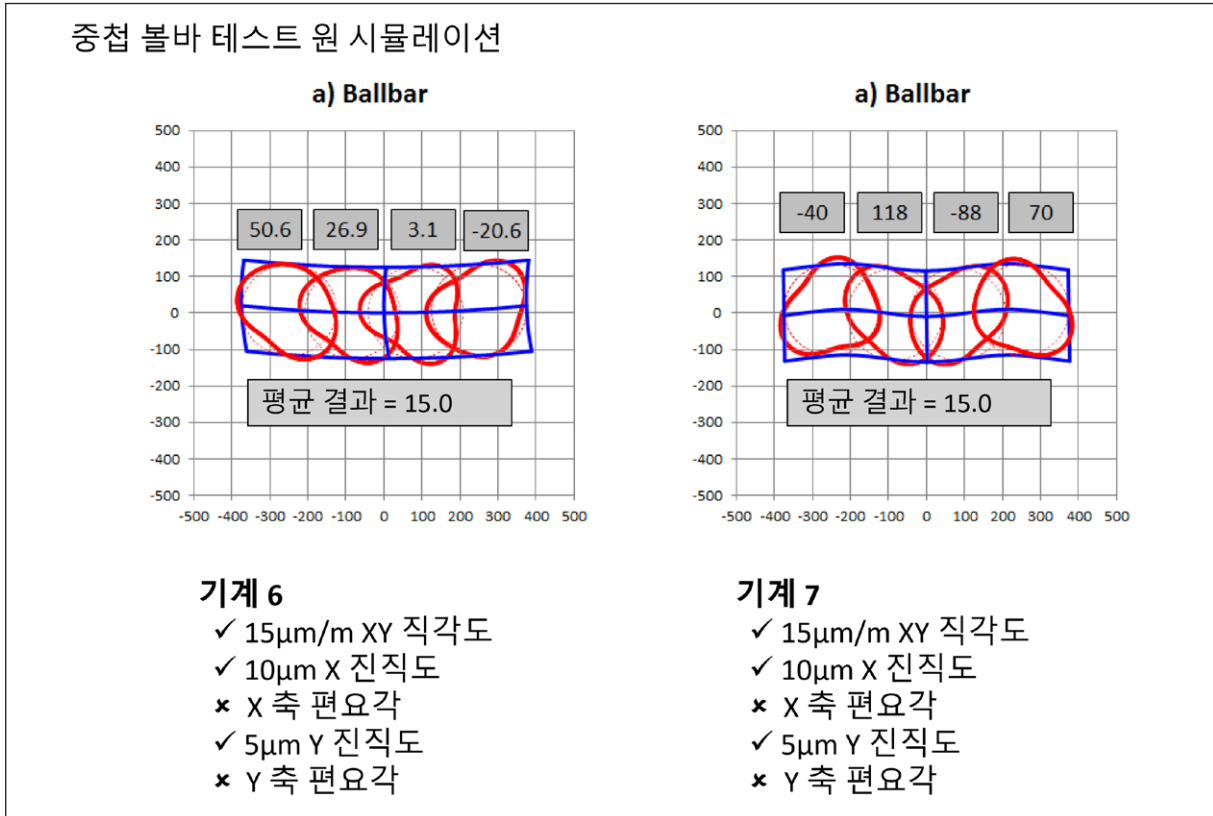


그림 26

이 시뮬레이션은 4가지 중첩 볼바 테스트의 평균 직각도 결과가 3가지 인접 볼바 테스트의 15 µm/m 평균 직각도 결과와 일치함을 보여줍니다. 모든 조건에서 정확한 일치기를 기대할 수는 없지만 일부 중첩을 허용할 수 있는 방법임을 나타냅니다. 3가지 이상의 테스트가 중첩되는 경우에는 중첩 크기가 같도록 테스트를 조정하는 것이 좋습니다.

위 결과는 여러 볼바 테스트의 평균 결과를 사용함으로써 축 길이가 다른 기계의 글로벌 직각도를 쉽게 추정할 수 있음을 나타냅니다.

종합 결론

이 백서에서는 두 선형 이동 축 사이의 직각도에 대한 ISO230-1의 정의와 직각도를 측정하는 데 사용할 수 있는 다양한 테스트 방법을 검토했습니다. 테스트 방법을 모델링하고 기계 축에서 진직도와 편요각 오차의 다양한 조합으로 성능을 비교했습니다.

시뮬레이션 수행 결과는 다음과 같습니다.

- ISO230-1에 나열된 다양한 직각도 테스트 방법에서 얻은 결과는 사용한 테스트 방법, 기계 작업 영역 내 테스트 위치, 테스트 장비의 방향에 따라 달라집니다.
- 볼바, 레이저 대각선, “+” 자형 두축 진직도 구성은 모든 조건에서 동일한 결과를 제공합니다. 그러나 기계 작업 영역 내에 피치 또는 편요각에 의해 발생하는 각도 왜곡이 존재하는 경우, “L” 자형 및 “T” 자형 두축 진직도 테스트 구성은 다른 결과를 제공하며 장비 방향에도 영향을 받습니다.
- 모든 결과는 “잘못된” 것이 아니며 단지 다른 기준 프레임을 사용하는 데 따른 차이입니다. 따라서 시스템 간 직각도 결과를 비교할 때는 신중한 주의가 필요합니다. 테스트 위치 또는 테스트 방법이 같지 않다고 해서 결과가 다르게 나타나지는 않습니다. 부호 규약과 기준선 맞춤 방법의 차이도 고려해야 합니다.

- 기계 작업 영역의 반대쪽 또는 반대쪽 코너에서 “L” 자형 또는 “T” 자형 두축 진직도 테스트를 반복하여 획득한 글로벌 직각도 결과의 평균을 구해보면, 볼바, 레이저 대각선 또는 “+” 자형 두축 진직도 구성에서 얻은 결과와 좀더 유사하게 일치합니다.
- 축 길이가 다른 기계의 글로벌 직각도는 여러 볼바 테스트의 평균 직각도 결과로 추정할 수 있습니다.
- 피치 및 편요각 오차는 테스트 방법, 위치 및 방향에 따라 다른 직각도 테스트 결과를 야기할 수 있으므로 직각도와 관련된 체적 정확도 보상을 수행할 때는 신중한 접근이 필요합니다. 이 주제는 부록 II에서 자세히 다룹니다.

덧붙여, 그림 27은 ISO230-1에 기술된 다양한 글로벌 직각도 테스트 방법의 "장점"을 대략적으로 보여주는 표입니다. 표 내용은 각 시뮬레이션의 결과와 각 방법의 주요 특징과 한계를 함께 고려한 것입니다.

테스트 방법 장점 표	"L"자형 구성의 기계식 직각자 및 인디케이터	"T"자형 구성의 기계식 스트레이트엣지, 직각자 및 인디케이터	"+"자형 구성의 기계식 스트레이트엣지 및 90° 인덱서	"L"자형 구성의 레이저 진직도 간섭계 및 광학식 직각자	"T"자형 구성의 레이저 진직도 간섭계 및 광학식 직각자	볼바, 링 게이지 또는 MCG를 사용한 원형 테스트	레이저 대각선 테스트
간편한 사용	★★★★	★★★	★★★	★★	★	★★★★	★★★★
대형 기계에 대한 적합성	★★	★★	★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★
중형비가 다른 기계에 대한 적합성	★★	★★★	★★	★★★	★★★	★★★	★★★★
편요각 오차에 대한 무관성	★	★★	★★★	★	★★	★★★★	★★★
환경 변화에 대한 무관성	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★	★★★★	★★

그림 27

부록 I - 진직도 및 관련 편요각 오차 모델링

진직도 오차와 관련 편요각 오차를 모델링하는 데 사용되는 방정식은 다음과 같습니다. 길이가 L인 기계의 X 축을 고려합니다. X 축은 단순히 휘거나 곡선 형태로 진직도 오차 S를 야기합니다. 이 내용은 그림 28에 나와 있습니다. 왜곡은 잘 보이도록 파란색으로 강조 표시되었습니다.

이 단순 진직도 오차는 2차 방정식, $\delta y = Kx^2$ 형식으로 모델링할 수 있습니다. 여기서 δy 는 X 축 상의 위치 x에서 Y 방향의 진직도 편차이고 K는 상수입니다.

$\delta y = S$, $x = L/2$ 로 치환하여 재배열하면 $K = 4S/L^2$ 이 됩니다. 따라서 X 축 위치에 대한 Y 방향의 X 축 진직도 오차와 관련된 방정식은 다음과 같습니다.

$$\delta y = 4Sx^2/L^2 \dots\dots\dots \text{방정식 1}$$

이제 그림 29에 빨간색 부분과 같이 직선 Y 축이 기계의 곡선 X 축 위에 겹쳐질 때 어떤 결과가 나타나는지 알아봅시다. 다른 제한이 없다면 X 축이 움직이면서 X 축의 로컬 편요각에 따라 Y 축의 각도가 변화합니다. 이 “관련 편요각” θ 은 x에 대해 방정식 1을 미분해서 찾을 수 있습니다($\theta = 8Sx/L^2$). 관련 편요각 오차는 X 방향에서 작은 변위 δx 를 초래하며 이 변위는 Y 축 상의 위치에 따라 다릅니다. θ 를 라디안 단위로 표시하고 2차항을 무시하면 $\delta x = -y\theta$ 로 이 변위를 대략적으로 추정할 수 있습니다. 기계에 글로벌 직각도 오차 θ_0 이 있는 경우 θ 에 더한 후 δx 를 계산합니다($\delta x = -y(\theta_0 + \theta)$). θ 로 치환한 결과는 다음과 같습니다.

$$\delta x = -y(\theta_0 + 8Sx/L^2) \dots\dots\dots \text{방정식 2}$$

방정식 1과 2는 일반 x,y 위치에 대해 계산될 기계 위치에서 작은 오차, δx 및 δy 를 허용합니다. 기계가 위치 [x,y]로 이동하도록 지시하면 실제 위치는 [(x+ δx),(y+ δy)]가 됩니다. δx 및 δy 로 치환한 결과는 다음과 같습니다.

$$\text{실제 위치} = [(x - y(\theta_0 + 8Sx/L^2)), (y + 4Sx^2/L^2)] \dots\dots\dots \text{방정식 3}$$

방정식 3은 XY 직각도 오차와 X 축의 진직도 오차로 인해 관련 편요각 왜곡을 야기하는 기계의 x,y 위치에서 위치 오차를 계산하는 데 사용되는 일반 방정식입니다. 진직도 오차가 반드시 관련 편요각 오차 왜곡을 야기하는 것은 아니므로(기계의 구성과 연쇄에 따라 다름) $8Sx/L^2$ 은 0이 될 수 있습니다. 이러한 조건에서 방정식 3은 다음과 같습니다.

$$\text{실제 위치} = [(x - y\theta_0), (y + 4Sx^2/L^2)] \dots\dots\dots \text{방정식 4}$$

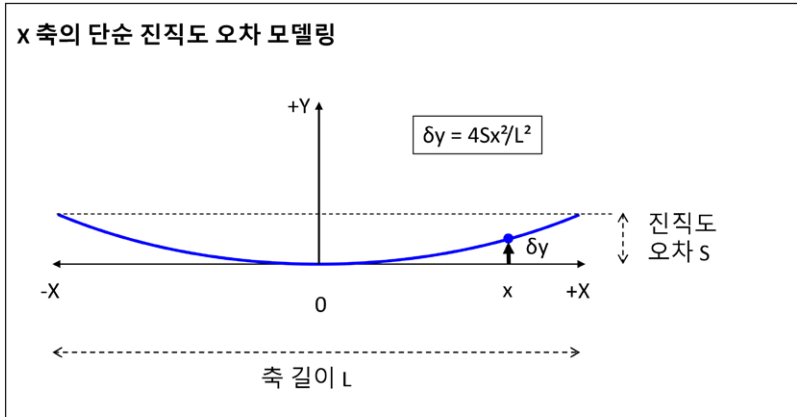


그림 28

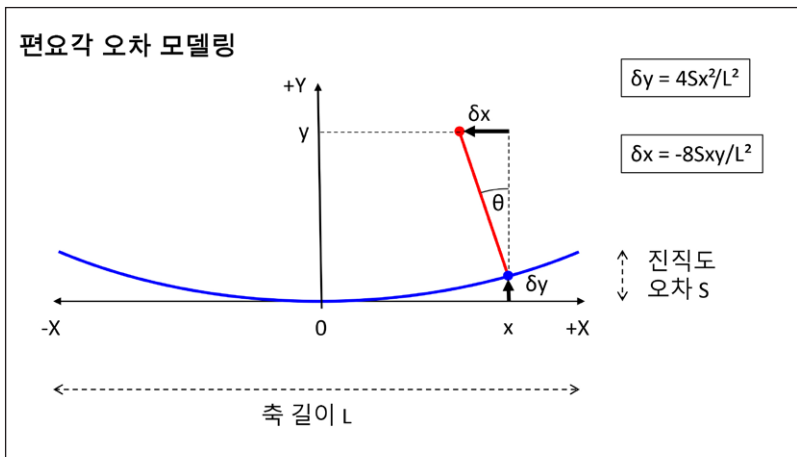


그림 29

Y 축의 진직도 오차와 거의 동일한 방식으로 파생되는 관련 편요각 오차의 영향을 모델링하는 데 사용되는 방정식입니다. (이 경우 직각도 오차를 다시 고려하지 않아도 됩니다.) 이들 방정식을 조합하여 본 백서에서 모델링한 모든 기계의 위치 오차를 계산할 수 있습니다.

각 직각도 테스트 방법을 시뮬레이션하려면 적절한 명령 위치 시퀀스를 생성하고(테스트 방법에 따라 다름) 각각의 기계 위치 오차를 계산한 다음 적절한 직각도 계산 알고리즘을 적용합니다.

부록 II – 기계 직각도 오차의 체적 보상

직각도를 보상 또는 조정할 때는 다음 사항을 고려해야 합니다.

직각도, 피치 및 편요각 오차는 테스트 방법, 위치 및 방향에 따라 직각도 테스트 결과에 다르게 나타날 수 있으므로 진직도, 피치 및 편요각 오차를 먼저 측정 및 보상하는 것이 좋습니다. 이러한 오차가 최소화되면 직각도(및 부수적으로 선형) 오차가 테스트 위치 및 테스트 방법의 영향을 크게 받지 않게 되므로 직각도 결과의 신뢰성이 향상되고 보다 쉽게 적용할 수 있습니다.

측정된 직각도 오차를 보상할 때는 기계의 다른 기준선/특징에 대한 조정을 유지 또는 개선하는 방식으로 보상이 적용될 수 있도록 신중한 주의를 기울여야 합니다. 고려해야 할 조정 예는 다음과 같습니다.

- 스피들 회전 축으로의 보상 축 이동에 있어 그 평행성 또는 수직성
- 테이블 표면으로의 보상 선형 축 이동에 있어 그 평행성 또는 수직성
- 4번째 축과 5번째 축의 기준점으로의 보상 축 이동 조정.

간단한 예로 잠재적인 위험을 쉽게 설명할 수 있습니다. 이 백서에서 설명한 테스트 방법 중 하나를 사용하여 선반의 X 축과 Z 축 사이 직각도 오차가 40 μ m/m로 측정된 것으로 가정합니다. 그림 30a를 참조하십시오. 이 그림에서 Z 축은 스피들의 회전 축에 맞게 올바르게 조정되어 수평으로 나타나지만 X 축은 조정되지 않았습니다. XZ 직각도 측정만으로는 사용자가 X 축 또는 Z 축이(또는 둘 다 아님) 스피들에 올바르게 조정되었는지 판단할 수 없으므로 직각도 보정이 잘못 적용될 수 있는 위험이 있습니다. 사용자는 X 축 또는 Z 축(또는 두 축의 조합)에 교차 축 보상을 적용하여 직각도 오차를 보정할 수 있습니다.

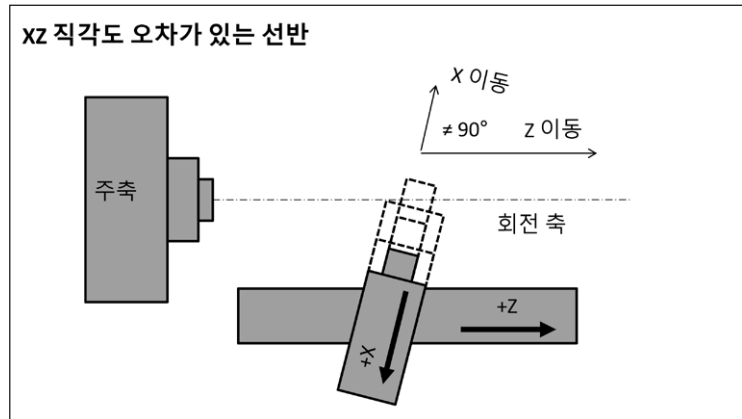


그림 30a

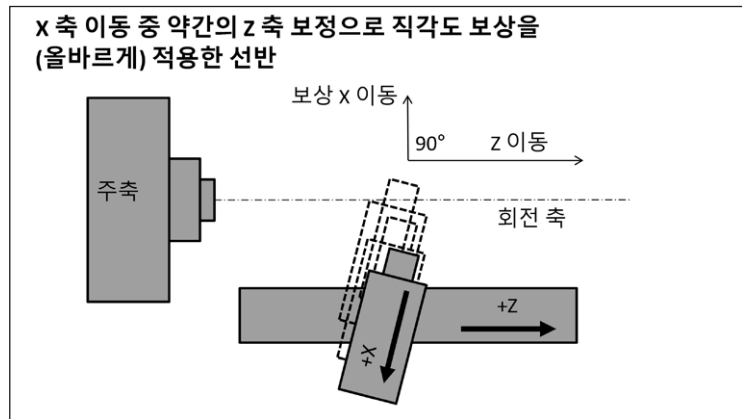


그림 30b

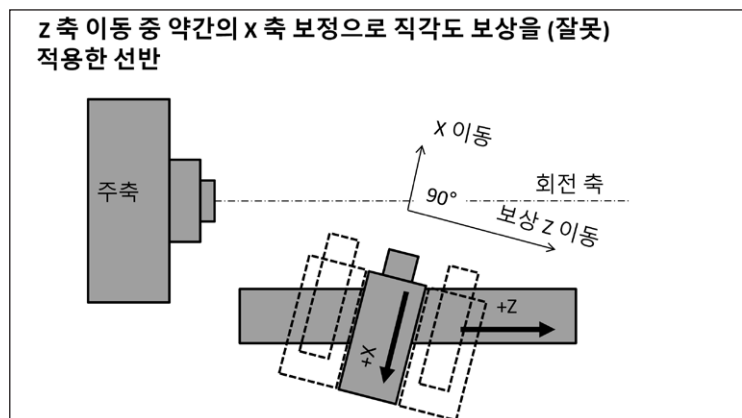


그림 30c

그림 30b는 Z 축을 올바르게 사용하여 X 축 이동 중에 약간의($40 \mu\text{m}/\text{m}$) δz 보정을 적용한 결과를 보여줍니다. 이제 도구의 보상된 X 이동은 Z 축에 대해 90도이며(따라서 X 축과 Z 축이 "직각"으로 나타남) Z 축은 스피ن들의 회전 축에 계속 평행을 유지합니다.

그림 30c는 X 축을 잘못 사용하여 Z 축 이동 중에 약간의($40 \mu\text{m}/\text{m}$) δx 보정을 적용한 결과를 보여줍니다. 도구의 보상된 Z 이동은 X 축에 대해 90도이지만(따라서 X 축과 Z 축이 "직각"으로 나타남) 보상된 Z 이동은 스피ن들의 회전 축에 평행하지 않습니다.

그림 30b와 c 모두 보상을 통해 보상된 X 및 Z 이동이 서로 직각을 이루지만 30c의 경우 보상으로 인해 스피ن들 회전 축으로의 이동이 잘못 조정되었습니다. 이 예는 기계 직각도에 대한 소프트웨어 보정 이전에 다른 기계 조정을 고려해야 하는 이유를 명확하게 보여줍니다. 이는 큰 XZ 또는 YZ 직각도 오차를 보상할 때 특히 중요합니다. 이러한 경우 먼저 기계적 조정을 통해 X, Y, Z 축, 스피ن들 회전 축, 기계 테이블 사이의 직각도 및 평행 오정렬을 제거하는 것이 좋습니다. 그런 다음 체적 보상을 사용하여 최종 조정할 수 있습니다.

참조

1. ISO230-1:2012 공작 기계 테스트 코드 - 파트 1: 무부하 또는 준정적 상태에서 작동하는 기계의 기하학적 정확도.
2. Renishaw 백서 "TE325 - 레이저 간섭계를 이용한 진직도 진직도 측정 및 이동식 기계 테이블의 측정"
3. ISO230-4:2005 공작 기계 테스트 코드 - 파트 4: 수치 제어 공작 기계에 대한 원형 테스트
4. ISO230-6:2002 공작 기계 테스트 코드 - 파트 6: 본체 및 면 대각선에서의 위치 정확도 판별(대각선 변위 테스트)

www.renishaw.co.kr/contact



#renishaw

 02-2108-2830

 korea@renishaw.com

© 2013–2022 Renishaw plc. 본 문서는 Renishaw의 사전 서면 허가 없이 전체 또는 일부를 복사나 복제할 수 없으며, 어떤 방법으로든 다른 매체로 전송하거나 다른 언어로 변경할 수 없습니다.
RENISHAW®와 프로브 로고는 Renishaw plc의 등록 상표입니다. Renishaw 제품명과 'apply innovation'의 지정 및 마크는 Renishaw plc 또는 그 자회사의 등록 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, Gloucestershire, GL12 8JR, UK.

품목 번호: H-5650-2996-01-A

발행일: 09.2022