

레이저 간섭계를 이용한 진직도 측정 및 이동형 기계 테이블의 측정

저자: M.A.V. Chapman, R. Fergusson-Kelly, W. Lee

소개

이 백서에서는 Renishaw의 레이저 간섭계를 이용한 진직도 옵틱의 기본적인 작동 원리에 대해 자세히 설명합니다. 그리고 이러한 옵틱을 사용하여 이동 테이블 기계 움직임의 진직도를 측정하는 방법을 설명합니다. 특히 진직도 간섭계 또는 반사경의 설치 위치나 광학 장치의 이동 조건에 따른 측정 결과 차이에 중점을 둡니다.

진직도 옵틱 개요

그림 1은 움직이는 테이블 기계에서 X축의 수평 진직도를 측정하기 위한 일반적인 설정을 보여줍니다. 세 가지 주요 구성 요소는 다음과 같습니다

- 레이저(그림에서 삼각대에 장착됨)
- 진직도 간섭계(그림에서 스피indle에 부착됨)
- 진직도 반사경(그림에서 이동 테이블에 장착됨)

테이블이 화살표 방향(X축)으로 이동하면 레이저와 옵틱이 완전한 직선에서 테이블 움직임의 수평(옆으로) 편차를 측정합니다. 옵틱들과 그 사이 레이저 빔 경로에 대해 그림 2에 자세히 나와 있습니다.

또는 진직도 간섭계와 반사경을 90° 회전하고(그림 3 참조) 측정을 반복해 완전한 직선을 기준으로 한 수직 편차(수직 진직도)를 측정할 수도 있습니다.

단순화를 위해 이 백서의 모든 다이어그램과 텍스트에서 단순히 수직 스피indle(Z) 기계의 수평축(X)의 수직 진직도 측정을 예시로 설명합니다. 하지만 기술된 원칙은 적절한 좌표 회전이 있는 다른 배치에도 동일하게 적용됩니다.

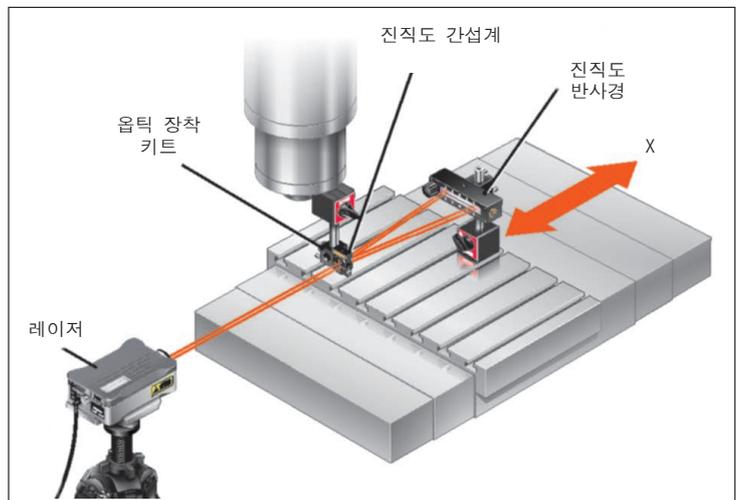


그림 1

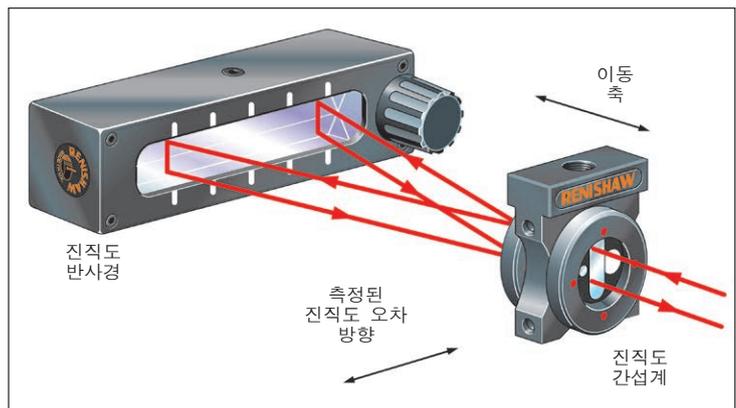


그림 2

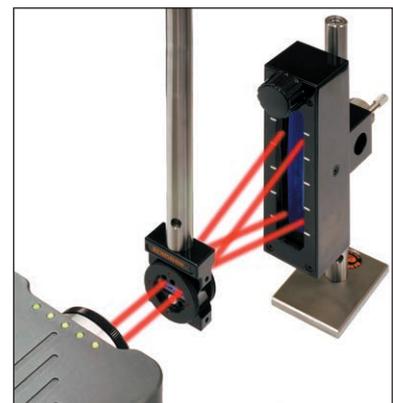


그림 3

그림 4의 간략한 그림에서 나온 것처럼 반사경이 이동 옵틱일 경우에 발생하는 결과를 먼저 고려해보는 것이 시스템이 진직도를 측정하는 방법을 이해하기 가장 쉬운 방법입니다. 레이저 헤드에서 나오는 빔이 진직도 간섭계에 도달하면 2개의 별도 빔으로 분할되며, 두 빔 사이 분산각은 2θ 입니다. (이러한 현상이 어떻게 일어나는지에 대해서는 뒷 부분의 "진직도 간섭계 - 자세히 알아보기" 참조). 두 빔은 진직도 반사경으로 이동하였다가 같은 경로로 다시 반사됩니다 (이에 대해서는 뒷 부분의 "진직도 반사경 - 자세히 알아보기" 참조). 진직도 간섭계로

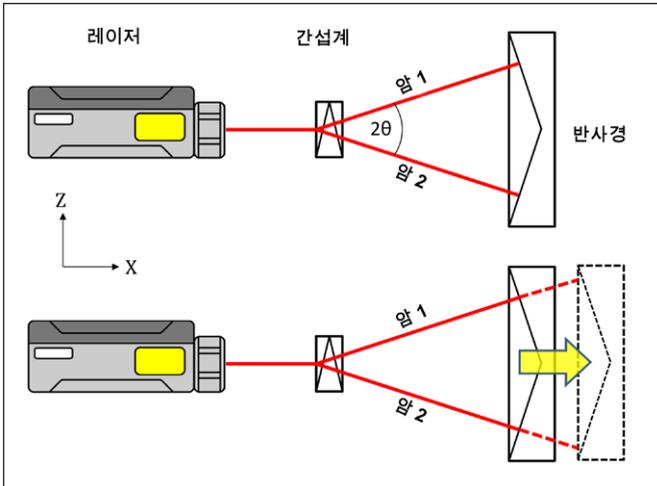


그림 4

돌아오는 두 빔은 재결합되어 레이저 헤드로 되돌아가고, 그곳에서 간섭이 일어나면서 측정 신호가 생성됩니다. 레이저 시스템은 간섭계의 두 "암"에서 광학 경로 길이 간 상대적인 변화를 감지하여 진직도에서 벗어난 정도를 측정합니다.

진직도 반사경이 X 방향에서 완전한 직선을 따라 간섭계 반대 방향으로 이동하는 경우 (그림 4에서 노란색 화살표와 점선의 새 위치 선들로 표시), 암 1과 암 2, 두 암의 레이저 빔의 길이가 동일한 양만큼 증가하므로 레이저 진직도 측정값에는 변동이 없습니다.

하지만 진직도 반사경이 Z 방향에서 거리 S만큼(그림 5에서 노란색 화살표와 점선의 위치 선들로 표시) 이동하는 경우, 암 1의 레이저 빔은 반사경과 정방향 및 역방향으로 이동함에 따라 $2 \cdot S \cdot \sin(\theta)$ 만큼 길어지고 암 2의 빔은 $2 \cdot S \cdot \sin(\theta)$ 만큼 짧아지게 됩니다. 따라서 암 1과 암 2 사이 길이의 상대적 변동량은 $4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$ 가 됩니다. 진직도 모드에서 레이저 시스템 소프트웨어는 레이저에 의해 감지된 경로 길이의 상대적인 변동을 $4 \cdot \sin(\theta)$ 으로 나눈 값을 진직도 판독값으로 변환하여 수직 진직도 판독값 S를 제시합니다. θ 값은 사용 중인 진직도 옵틱(장거리 또는 단거리)에 따라 미리 정의됩니다.

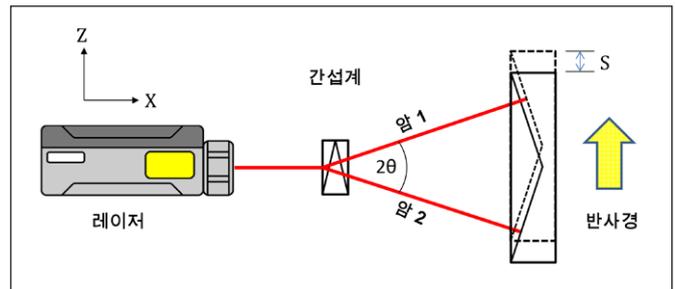


그림 5

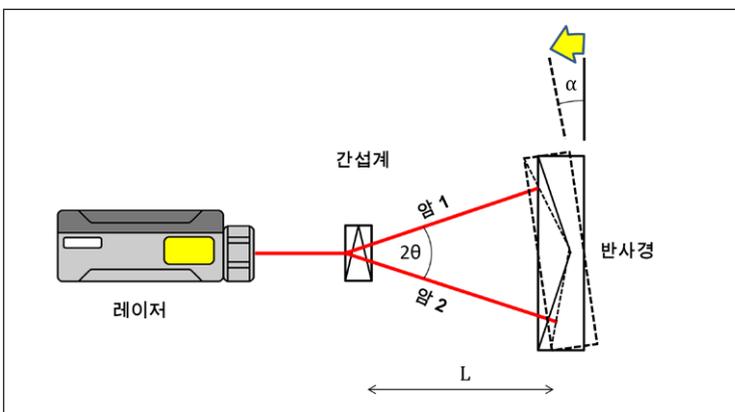


그림 6

이제 그림 6에 나온 것처럼 반사경이 작은 각도 α 범위에서 비틀린(기울어진) 경우, 발생하는 결과를 살펴봅니다. (알아보기 쉽도록 각도를 과장해서 표시한 점에 유의하십시오.) 여기에서도 암 1과 암 2의 빔 길이가 서로 다르게 변경되었습니다. α 가 작으면(예: 이동 선형 축의 피치 오차로 인해 발생할 수 있는 정도) 암 1의 빔 경로 길이가 $2 \cdot L \cdot \sin(\theta) \cdot \tan(\alpha)$ 정도 짧아진다는 것을 알 수 있습니다. 여기서 L은 옵틱들 간 거리입니다. 암 2의 빔 경로 길이는 $2 \cdot L \cdot \sin(\theta)$.

$\tan(\alpha)$ 만큼 길어지고, 그 결과 암 1과 암 2 사이 상대적 총 경로 길이 변화량은 $4 \cdot L \cdot \sin(\theta) \cdot \tan(\alpha)$ 가 됩니다. 이제 레이저 시스템 소프트웨어가 이 상대적 경로 길이 변화량을 $4 \cdot \sin(\theta)$ 으로 나누면 진직도 이탈 판독값인 $L \cdot \tan(\alpha)$ 가 산출됩니다. 따라서 진직도 반사경의 각도가 변하면 진직도 판독값이 바뀝니다.

반사경의 각도 변경 때문에 진직도 판독값이 "오염"된 것으로 보인다는 관측 결과는 종종 진직도 반사경은 항상 고정 율이어야 한다는 믿음으로 이어집니다. 하지만 이러한 결과가 장점으로 활용될 수 있는 경우도 있으므로 반드시 그렇지만은 않습니다.

이것은 인디케이터와 정밀한 스트레이트엣지를 사용하는 것을 유추하여 고려해 볼 수 있습니다. (그림 7 참조). 진직도 반사경과 스트레이트엣지는 비슷한 방식으로 동작합니다. Z 방향으로 이동하면 인디케이터나 레이저가 직접 이동량을 등록합니다.

반사경이 간섭계로부터 거리 L 정도의 지점에서 작은 각도 α 만큼 기울어질 경우, 진직도 판독값은 $L \cdot \tan(\alpha)$ 만큼 변경됩니다. 마찬가지로, 스트레이트엣지가 인디케이터 끝에서 거리 L 정도의 지점에서 각도 α 만큼 기울어질 경우, 인디케이터 판독값도 $L \cdot \tan(\alpha)$ 만큼 변경됩니다. 따라서 진직도 간섭계는 인디케이터와 동등하고 진직도 반사경은 정밀한 스트레이트엣지와 동등하다고 짐작할 수 있습니다. 진직도 반사경은 중심선을 따라 공간에서

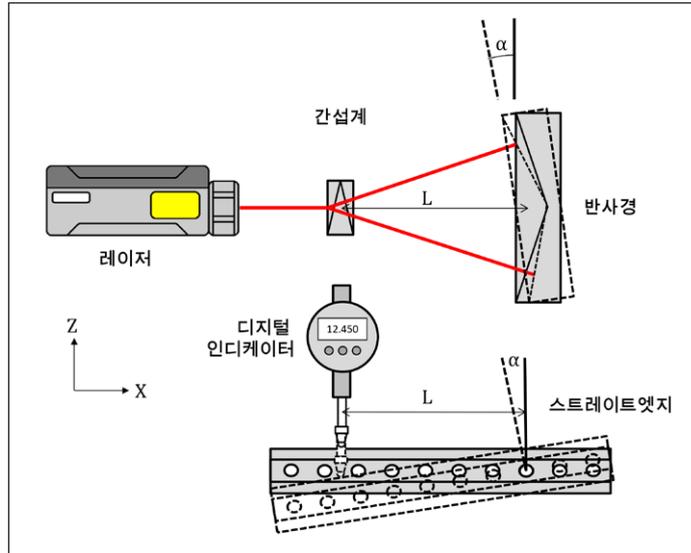


그림 7

가상의 스트레이트엣지를 효과적으로 생성합니다. 그러면 이 가상의 스트레이트엣지로부터 편차가 진직도 간섭계에 의해 "표시"됩니다. 이렇게 강력한 유사성(그림 8 참조)은 이동형 진직도 율터와 고정형 진직도 율터를 결정할 때 유용합니다. 이 부분에 대해서는 뒤에서 더 자세히 살펴보겠습니다.

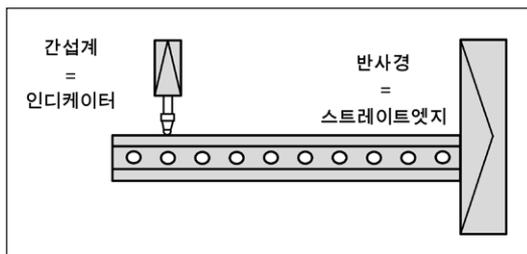


그림 8

진직도 반사경 - 자세히 알아보기

그림 4 - 7에 개략적으로 제시된 단순한 진직도 반사경은 서로 비스듬히 세워진 두 개의 평판 거울로 만들 수 있습니다. 하지만 그림 1 - 3를 보면 Renishaw의 설계는 더 복잡합니다. 그림 9에 나온 것처럼 반사경은 단단한 유리 블록으로 제작되고 2개의 굴절면과 2개의 반사면을 사용합니다. (알아보기 쉽도록 정점각을 변경했음에 유의하십시오. 실제로 단거리 진직도 반사경에서 이 각도는 177°에 근접합니다).

그림 10은 반사경에 인접한 빔 경로와 반사경 내부의 빔 경로를 보여줍니다. 레이저 빔이 유리로 입사하면 굴절률이 증가하여 직각 방향으로 굴절됩니다. 그런 다음 두 반사표면에 의해 90°에서 역반사되며, 최종적으로 유리에서 반사될 때 굴절률 감소로 인해 직각에서 벗어나는 방향으로 굴절됩니다.

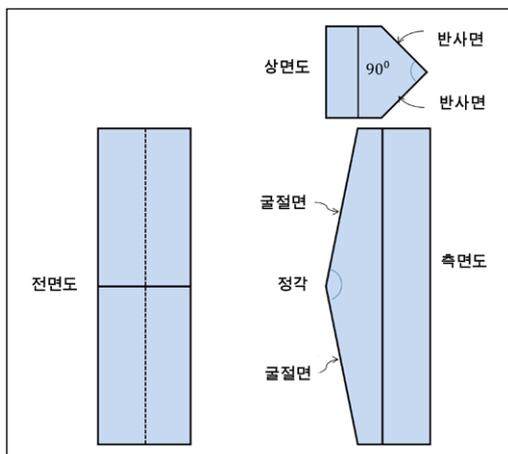


그림 9

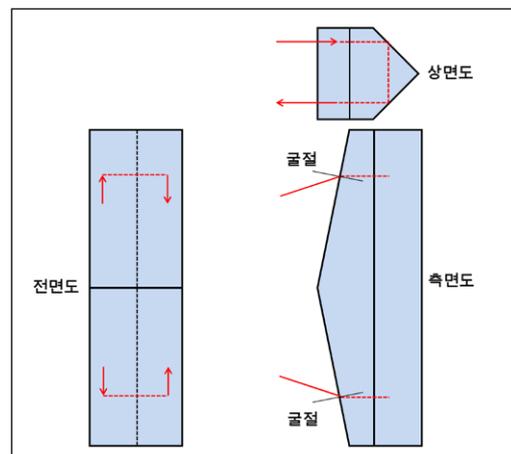


그림 10

더 복잡하기는 하지만 이 설계는 거울 2개를 사용하는 단순한 설계보다 더 많은 장점이 있습니다.

- 역반사 방식 설계를 사용하면 정방향 빔과 역방향 빔의 중첩이 억제되어 빔 정렬 과정에서 두 빔의 경로를 더 쉽게 추적할 수 있습니다.
- 역반사 작용은 또한 장축을 기준으로 반사경의 정확한 롤 정렬이 필요하지 않음을 의미하는데, 그 이유는 역반사 작용으로 인해 빔이 반드시 간섭계로 되돌아오기 때문입니다. 다시 강조하지만 그 결과 빔 정렬이 쉬워집니다.
- 단단한 유리 블록을 사용하면 치수 안정성과 기계적 견고성이 보장됩니다.

앞에서 설명했듯이, 상세한 옵틱 모델링을 통해 단단한 반사경이 간섭계로부터 거리 L 정도의 지점에서 작은 각도 α 만큼 기울어질 경우, 진직도 판독값은 $L \cdot \tan(\alpha)$ 만큼 변경됨이 확인됩니다. 따라서 더 복잡한 단단한 유리 블록 진직도 반사경 설계도 앞에서 설명한 대로 여전히 중심선을 따라 공간에 가상의 스트레이트엣지를 생성하는 것으로 짐작할 수 있습니다.

진직도 간섭계 - 자세히 알아보기

진직도 간섭계(윌라스톤(Wollaston) 프리즘이라고도 함)는 그림 11에 나온 것처럼 3개의 복굴절 결정 웨지로 제작됩니다. 일정한 굴절률을 갖는 등방성 물질과 달리, 복굴절 물질은 결정 축의 방향과 축을 통과하는 빛의 편광에 따라 변하는 굴절률을 갖습니다. 결정의 광축에 평행인 방향과 수직인 방향의 두 가지 선형 편광과 같은 물질을 통해 빛이 전달됩니다. 한 편광은 굴절률이 약간 더 높고 이동 속도는 느리며, 나머지 편광은 굴절률이 더 낮고 이동 속도는 더 빠릅니다. 두 외측 결정 웨지의 광축은 수직 방향이고, 내측 웨지의 광축은 수평 방향입니다(그림 11의 양방향 화살표 표시 참조).

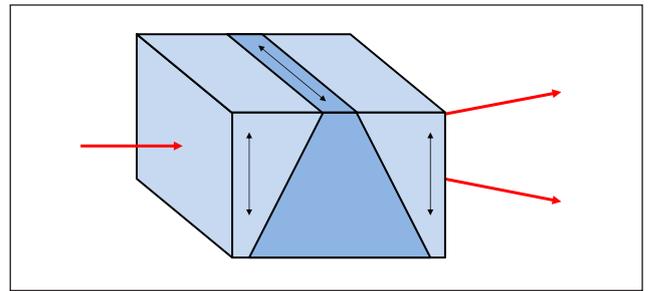


그림 11

그림 12는 윌라스톤 프리즘 내의 빔 경로를 보여줍니다. 알아보기 쉽도록 원형 편광 입사 빔을 2개의 별도 빔으로 나눠 표시하며 (일반적으로 두 빔이 겹침) 빔 분산각을 과장하여 표시했다는 점에 유의하십시오.

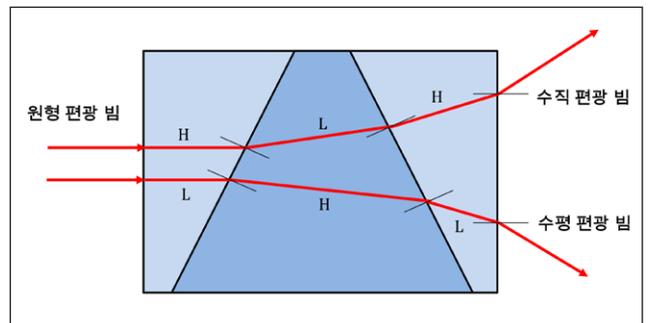


그림 12

원형 편광 레이저 빔이 첫째 웨지 복굴절 물체에 닿자마자 두 개의 선형 편광 빔으로 분할되는데, 하나가 수직으로 편광(즉, 첫째 웨지의 결정 축에 평행으로 편광)됩니다. 나머지 하나는 수평 편광(즉, 첫째 웨지의 결정 축에 수직으로 편광)됩니다.

그림에 나온 것처럼 물체의 복굴절 특성 때문에 수직 편광 빔의 굴절률(H)은 조금 더 낮은 수평 편광 빔의 굴절률(L)보다 약간 더 높아집니다. 두 빔은 첫째 웨지를 통해 동일한 방향으로 이동합니다.

수직 편광(위쪽) 빔이 첫째 웨지와 둘째 웨지 사이 계면에 도달하면 굴절률이 감소하여 수직에서 멀어지는 방향으로 굴절됩니다. 하지만 수평 편광(아래쪽) 빔이 동일한 계면에 도달하면 굴절률이 증가하므로 수직에 접근하는 방향으로 굴절됩니다. 그래서 여기가 두 빔이 발산하는 경로를 따르기 시작하는 지점입니다.

수직 편광 빔이 둘째 웨지와 셋째 웨지 사이 계면에 도달하면 굴절률이 증가하여 이번에는 수직에 접근하는 방향으로 굴절됩니다. 마찬가지로, 수평 편광 빔이 동일한 계면에 도달하면 굴절률이 감소하므로 이번에는 수직에서 멀어지는 방향으로 굴절됩니다. 둘째 웨지와 셋째 웨지 사이 계면이 첫째 웨지와 둘째 웨지 사이 계면과 반대 방향으로 기울어지기 때문에 빔 발산 정도가 더욱 증가하게 됩니다.

마지막으로, 빔이 셋째 웨지에서 다시 공기 중으로 나올 때, 두 빔 모두 굴절률이 감소하기 때문에 직각에서 더 멀어지게 편향되고 발산 정도도 여전히 증가합니다. 진직도 옵틱은 월라스톤 프리즘에서 나오는 빔들 간 빔 분산각(2θ)이 몇 초(arcsec) 이내에 진직도 반사경의 유효각과 일치하도록 엄격한 공차로 제작됩니다.

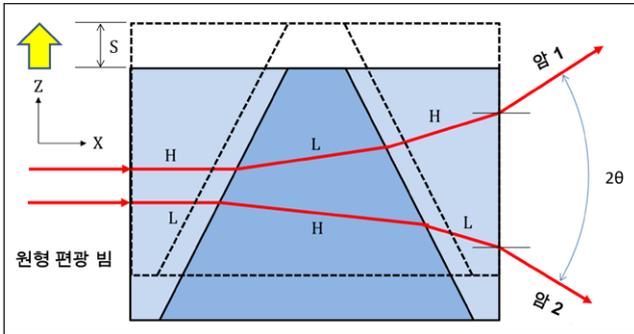


그림 13

두 빔의 발산으로 유발되는 월라스톤 프리즘 내 차동 굴절 또한 진직도 측정에 옵틱을 사용할 수 있는 이유가 됩니다. 그림 13의 점선으로 표시된 것처럼 월라스톤 프리즘이 Z 방향으로 거리 S만큼 이동될 때 발생하는 결과를 살펴보겠습니다. 위쪽(수직 편광) 빔은 굴절률(L)이 더 낮은 것으로 보이는 물질에 더 많은 부분이 통과하는 반면, 아래쪽(수평 편광) 빔은 굴절률(H)이 더 높은 것으로 보이는 물질에 더 많은 부분이 통과하여 그에 따라 두 빔의 광학 경로 길이가 변경되는 것을 확인할 수 있습니다.

월라스톤 프리즘을 가로지르는 광학 경로 길이도 분산각 2θ 생성에 기여하므로 월라스톤을 거리 S만큼 옆으로 이동하면 위쪽 빔의 광학 경로 길이(간접계 측정의 암 1 형성)가 $2.S.\sin(\theta)$ 만큼 감소하고, 아래쪽 빔의 광학 경로 길이(간접계 측정의 암 2 형성)는 $2.S.\sin(\theta)$ 만큼 증가할 것임이 쉽게 확인됩니다. 따라서 암 1과 암 2 사이 빔 길이의 총 상대적 변화량은 $-4.S.\sin(\theta)$ 가 됩니다. 레이저 시스템 소프트웨어는 이러한 경로 길이의 상대적 변화를 $4.\sin(\theta)$ 으로 나눈 결과를 진직도 판독값으로 변환하여 비진직도 판독값 $-S$ 를 제시합니다. 이는 부호 규칙이 반전되는 것을 제외하고 진직도 반사경을 거리 S만큼 옆으로 이동했을 때와 정확하게 동일합니다(그림 5 참조).

이제 월라스톤이 기하학적 중심 정도에서 작은 각도 α 만큼 기울어질 경우, 발생하는 결과에 대해 살펴봅니다(그림 14에서 알아보기 쉽도록 과장해서 표시함). 시스템을 통과하는 빔 경로의 상세한 옵틱 모델링을 통해 암 1과 암 2 사이 광학 경로 길이(그리고 이에 따른 진직도 판독값) 차이가 월라스톤 프리즘의 작은 각도 이동에 의해 크게 변경되지 않는다는 것이 확인됩니다. 이는 인디케이터처럼 작용하는 진직도 간접계의 유사성과 다시 한 번 일치합니다(각도의 작은 변화에 영향을 받지 않음).

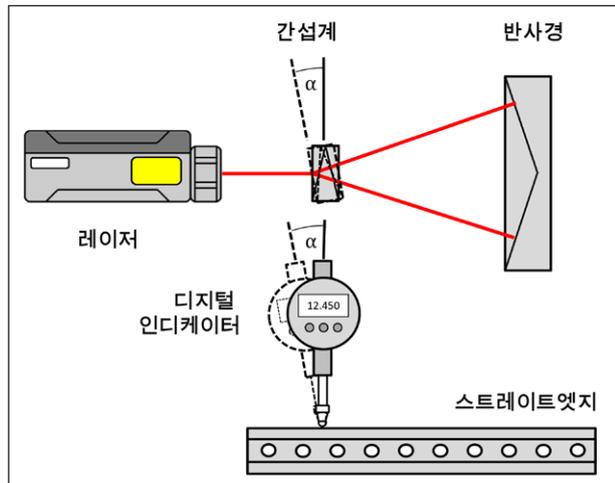


그림 14

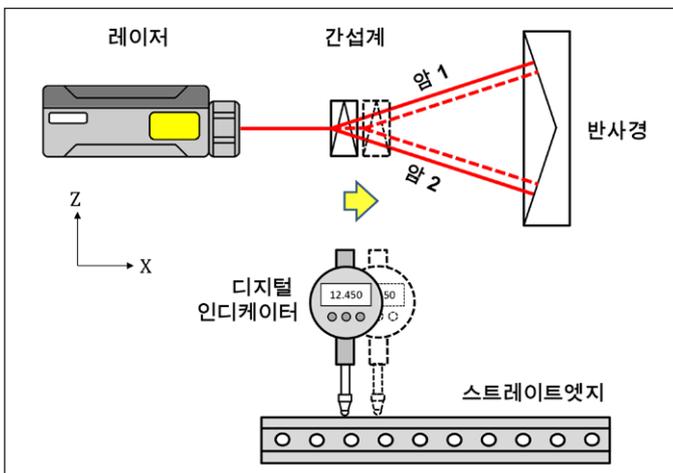


그림 15

그림 15는 월라스톤 프리즘이 완전히 직선인 X 방향으로 이동할 경우, 발생하는 결과를 보여줍니다(노란색 화살표와 점선의 새 위치 선들로 표시). 암 1과 암 2의 레이저 빔이 동일한 길이만큼 증가하므로 레이저 진직도 측정값에는 변화가 없습니다. 다시 한 번, 이러한 결과는 정렬된 스트레이트엣지를 따라 움직이는 인디케이터 동작과 일치합니다.

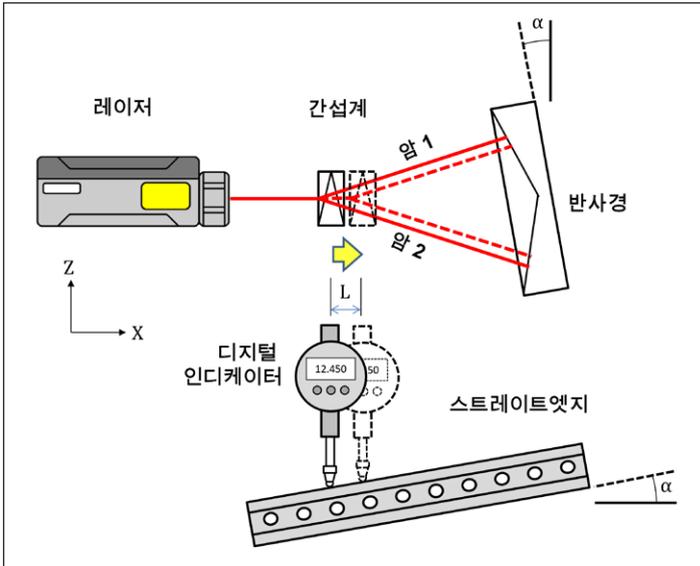


그림 16

오차를 제거합니다. 그러나 X 방향에서 위치 오차에 대한 민감도를 줄이고 레이저의 경우를 축을 따라 최대 신호가 유지되도록 하려면 기울기 오차를 최소화하는 것(스트레이트엣지 또는 반사경 조정)이 것이 현명합니다.

레이저 정렬의 영향

지금까지의 분석은 진직도 간섭계와 반사경의 작동에 초점을 맞추었고, 인디케이터와 스트레이트엣지의 작동에서 밀접한 유사점을 도출하였습니다. 하지만 레이저 간섭계 측정값에는 세 번째 구성 요소인 레이저가 포함됩니다. 레이저 위치의 상대적 중요성과 오정렬이 진직도 측정에 미치는 영향을 확인하기 위해 상세한 분석을 수행했습니다.

먼저 그림 17에 나온 것처럼 레이저를 Z 방향으로 거리 S만큼 이동하는 단순한 사례를 살펴봅니다. 레이저 빔은 간섭계를 거리 S만큼 위로 이동했을 때와 정확하게 같은 방식으로 간섭계를 가로질러 거리 S만큼 아래로 이동했습니다(그림 13 참조). 따라서 이전 경우와 마찬가지로 이러한 이동으로 인해 발생하는 간섭계 근처의 암 1과 암 2 간 빔 길이의 상대적인 변화량은 $-4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$ 입니다. 그러나 레이저 빔은 반사경을 가로질러 거리 S만큼 위로 이동했을 때와 정확하게 같은 방식으로 반사경을 가로질러 거리 S만큼 아래로 이동했습니다(그림 5 참조). 따라서 이러한 이동으로 인해 반사경 근처에서 추가로 발생하는 빔 길이 간 상대적 변화량은 $+4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$ 입니다. 두 변화량은 동일하면서 정반대이므로 완전히 상쇄됩니다. 따라서 레이저 헤드만의 변환으로는 레이저 진직도 판독값에 변화가 발생하지 않습니다.

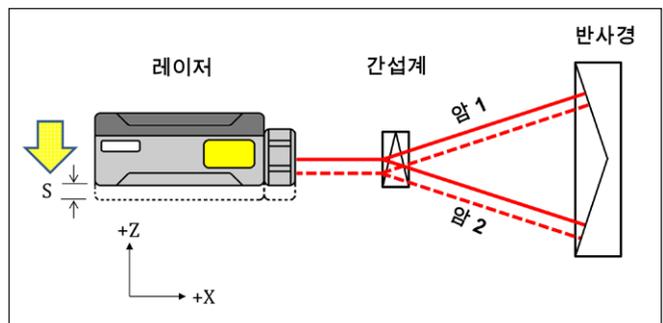


그림 17

레이저가 작은 각도 α 만큼 기울어질 때 발생하는 결과(그림 18에서 과장해서 표시)가 다소 불분명하므로 상세한 옵틱 모델링을 통해 심층 조사를 실시했습니다. 조사 결과, 암 1과 암 2 사이 광학 경로 길이(그리고 이에 따른 진직도 판독값) 차이가 레이저의 피치에서 작은 각도 이동에 의해 크게 변경되지 않음을 확인할 수 있습니다.

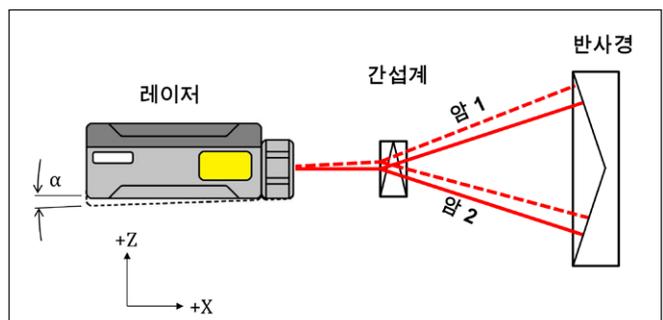


그림 18

마지막으로, 그림 16(약간 과장하여 보여줌)에 나온 것처럼 윌라스트 프리즘이 X 방향에서 완전한 직선을 따라 다시 이동하되, 이번에는 진직도 반사경이 일직선 정렬에서 작은 각도 α 만큼 약간 벗어날 경우에 발생하는 결과를 살펴봅니다. 이동된 거리가 L이라면 레이저 진직도 판독값은 $L \cdot \tan(\alpha)$ 만큼 변경됩니다. 스트레이트엣지가 동일한 수준으로 오정렬되는 경우와 같은 방식으로 인디케이터 판독값이 영향을 받는다는 점에 유의하십시오. 진직도 측정 시 반사경 또는 스트레이트엣지가 이동 축에서 오정렬되는 경우, 측정값에 "기울기 오차"가 편입됩니다.

소프트웨어는 일반적으로 데이터에 적합한 최소제곱 또는 끝점으로 이

그러나 정렬 오차의 다양한 조합을 모델링하면 윌라스톤 프리즘이 진직도 반사경을 기준으로 롤(X축 중심)에서 정확하게 정렬되지 않을 경우에 레이저의 편요각(Z축 중심 회전)에 대한 민감도를 보이는 것을 알 수 있습니다(그림 19 참조).

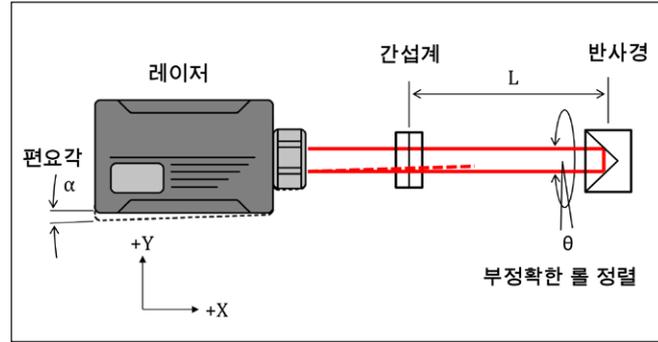


그림 19

모델링 결과에서는 윌라스톤 프리즘이 롤 정렬에서 반사경에 θ 라디안 정도 벗어나고, 옵틱 간 거리가 L m인 상태에서 레이저가 편요각 정렬에서 α 라디안 벗어나는 경우, 진직도 판독값 변화량은 $L \cdot \alpha \cdot \theta$ 라는 것을 보여줍니다. 동일한 방정식을 단거리 진직도 옵틱과 장거리 진직도 옵틱에 모두 적용합니다.

측정 단위를 변경해서, 윌라스톤 프리즘이 롤 정렬에서 반사경에 θ 도 벗어나고 옵틱 간 거리가 L m인 상태에서 레이저가 편요각 정렬에서 α 초를 벗어나는 경우, 마이크로미터 단위 진직도 판독값 변화량은 $L \cdot \alpha \cdot \theta / 11.818$ 인 것으로 나타납니다.

예를 들면 다음과 같습니다.

윌라스톤 프리즘이 롤 정렬에서 반사경에 1° 벗어나면 10 초 옵틱에 레이저 정렬 변동으로 인해 발생하는 진직도 판독값 변화량은 0.846 마이크로미터입니다.

따라서 측정을 시작하기 전에 윌라스톤 프리즘과 진직도 반사경의 롤 정렬이 정확하게 이루어지도록 주의해야 합니다. 정확하게 정렬되면 광학장치에 대한 레이저 정렬의 작은 변동이 진직도 판독값에 크게 영향을 주지 않습니다. 그러면 레이저 간섭계를 이용한 진직도 판독값이 진직도 반사경(스트레이트엣지)과 진직도 간섭계(인디케이터)의 상대적 위치에만 영향을 받는 것으로 간주할 수 있습니다. 이는 레이저 소스의 조향 안정성을 유지하는 것이 절대적으로 필요한 비간섭 레이저 기반 진직도 측정의 동작과는 상당히 다름에 유의하십시오.

이동 테이블 기계에서 진직도 측정

이제 레이저 간섭계 시스템 또는 인디케이터와 스트레이트엣지를 이용한 두 가지 다른 측정 방법(A와 B)을 비교하여 수직 스피들 공작 기계 X축의 수직 진직도 측정 간 차이를 살펴보고 합니다. 이러한 차이는 특히 테이블의 무게 이동으로 인해 X축에서 피치 오차가 발생하는 이동 테이블 기계를 고려할 때 두드러집니다. 예제에서는 테이블 주물이 견고한 본체로 작용하고 모든 굴곡이 기초 지지 가이드 레일과 베어링 내에서 발생한다고 가정합니다. 다음 그림에서 알아보기 쉽도록 피치 오차의 양을 과장해서 표시했습니다.

A 설정 - 정지 스피들에 진직도 간섭계(또는 인디케이터)를 고정하고 이동 테이블에 반사경(또는 스트레이트엣지)를 고정하는 설정입니다(그림 20 및 21 참조).

B 설정 - 정지 스피들에 진직도 반사경(또는 스트레이트엣지)을 고정하고 이동 테이블에 간섭계(또는 인디케이터)를 고정하는 설정입니다(그림 22 및 23 참조).

A 설정(고정형 간섭계 또는 인디케이터)

그림 20(아래)에서 삼각대에 장착된 레이저와 스피들에 설치된 진직도 간섭계, 이동 테이블에 장착된 진직도 반사경을 보여줍니다. 그래프는 이 설정에 의해 측정되는 진직도 결과를 보여주는데, 직선 이동임을 알 수 있습니다. 그 이유는 반사경의 각도 변화가 간섭계로부터 거리 증가로 보정되므로 때문에 X축이 이동함에 따라 반사경에 의해 생성되는 가상의 스트레이트엣지가 일정한 위치에서 진직도 간섭계와 교차하기 때문입니다.

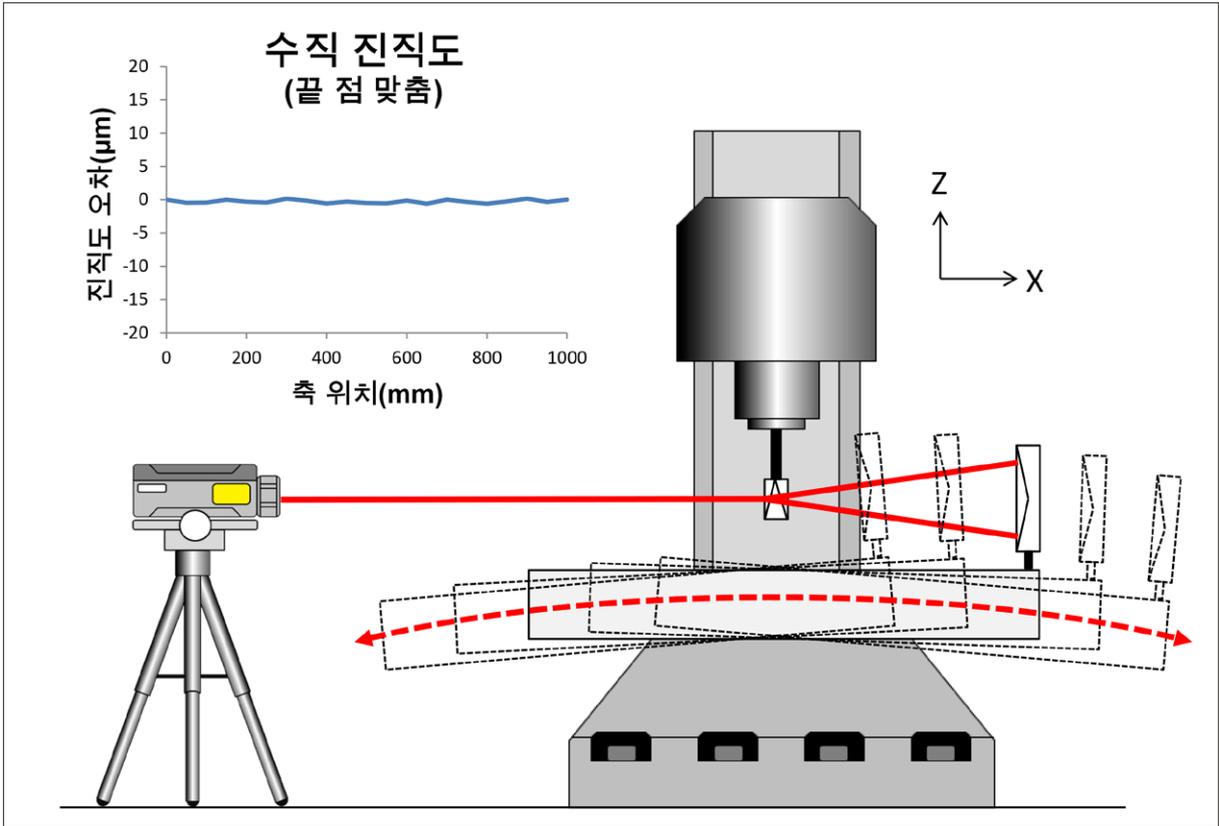


그림 20

기계 테이블은 확실히 곡선 경로를 따라 이동하는 반면에 진직도 그래프는 직선으로 나타나므로 처음에는 부정확한 결과로 보일 수 있습니다. 이 내용은 나중에 살펴보겠습니다.

이제 그림 21(아래)에 나온 것처럼 레이저 시스템을 이동 테이블에 장착된 스트레이트지와 스피들에 장착된 디지털 인디케이터로 교체할 경우에 발생하는 결과를 살펴보겠습니다.

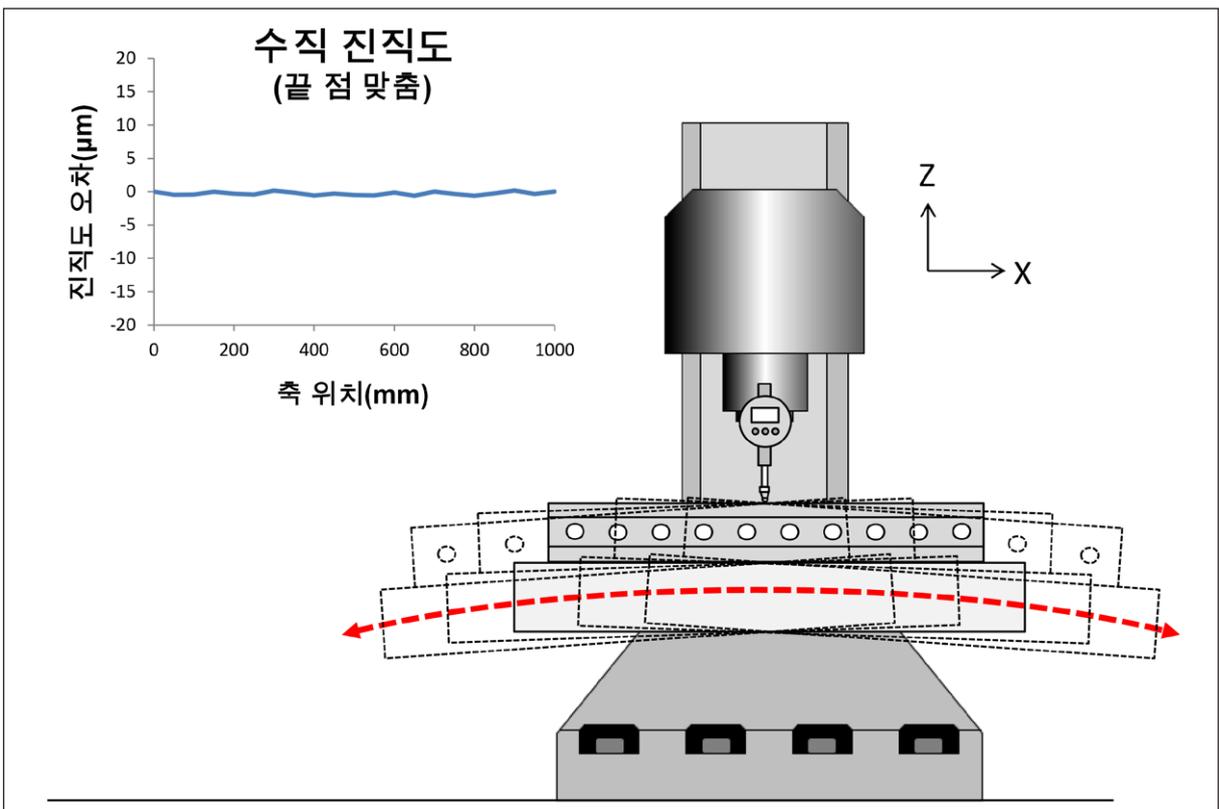


그림 21

이 설정의 결과 그래프에서도 테이블 이동은 직선으로 나타납니다. 그 이유는 테이블이 아래쪽으로 이동할 때 스피들로부터 테이블 장착 스트레이트엣지까지 수직 거리가 일정하게 유지되기 때문입니다.

이동 반사경을 이용한 레이저 진직도 결과는 이동 테이블에 장착된 스트레이트엣지를 표시하여 얻은 결과와 일치합니다.

이제 B 설정과 같이 구성 요소를 서로 바꾸고 간섭계(또는 인디케이터)가 이동 테이블에 장착될 경우, 발생하는 결과를 살펴봅니다.

B 설정(이동형 간섭계 또는 인디케이터)

그림 22에서 삼각대에 장착된 레이저와 스피들에 설치된 반사경, 이동 테이블에 장착된 간섭계를 보여줍니다. 이 설정으로 측정되는 진직도 그래프에서는 오차량이 곡선으로 나타납니다. 이는 이동 옵틱이 반사경일 때 산출되는 결과와는 매우 다릅니다.

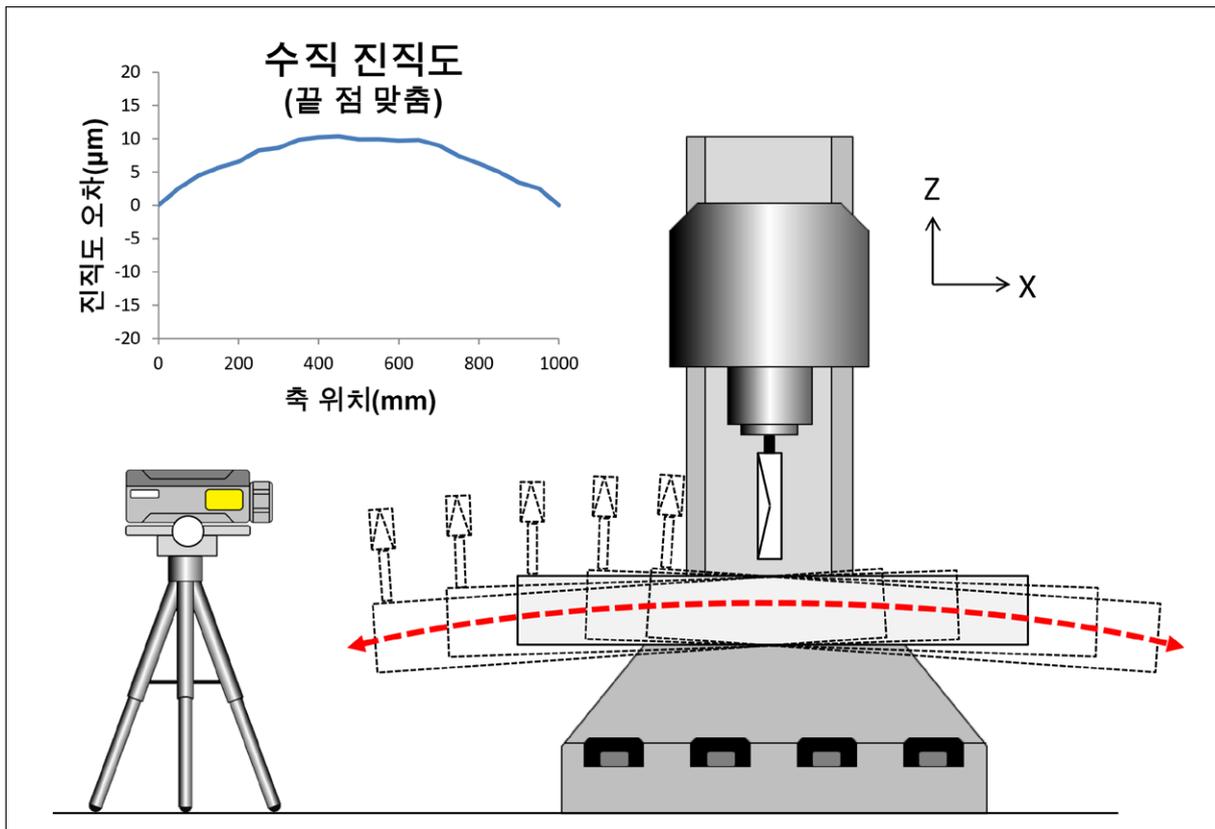


그림 22

마지막으로, 그림 23(아래)에 나온 것처럼 레이저 시스템을 스피들에 장착된 스트레이트엣지와 이동 테이블에 장착된 디지털 인디케이터로 교체할 경우에 발생하는 결과를 살펴봅니다.

이 설정의 결과 그래프에서도 오차량은 곡선으로 나타납니다.

이동 간섭계를 이용한 레이저 진직도 결과는 이동 테이블에 장착된 인디케이터를 사용해 스피들에 장착된 스트레이트엣지로부터 얻은 결과와 일치합니다.

확실히 이동 진직도 간섭계(또는 인디케이터)로 얻은 결과는 이동 반사경(또는 스트레이트엣지)으로 얻은 결과와 매우 다릅니다. 그러면 어떤 결과가 "올바른" 결과일까요?

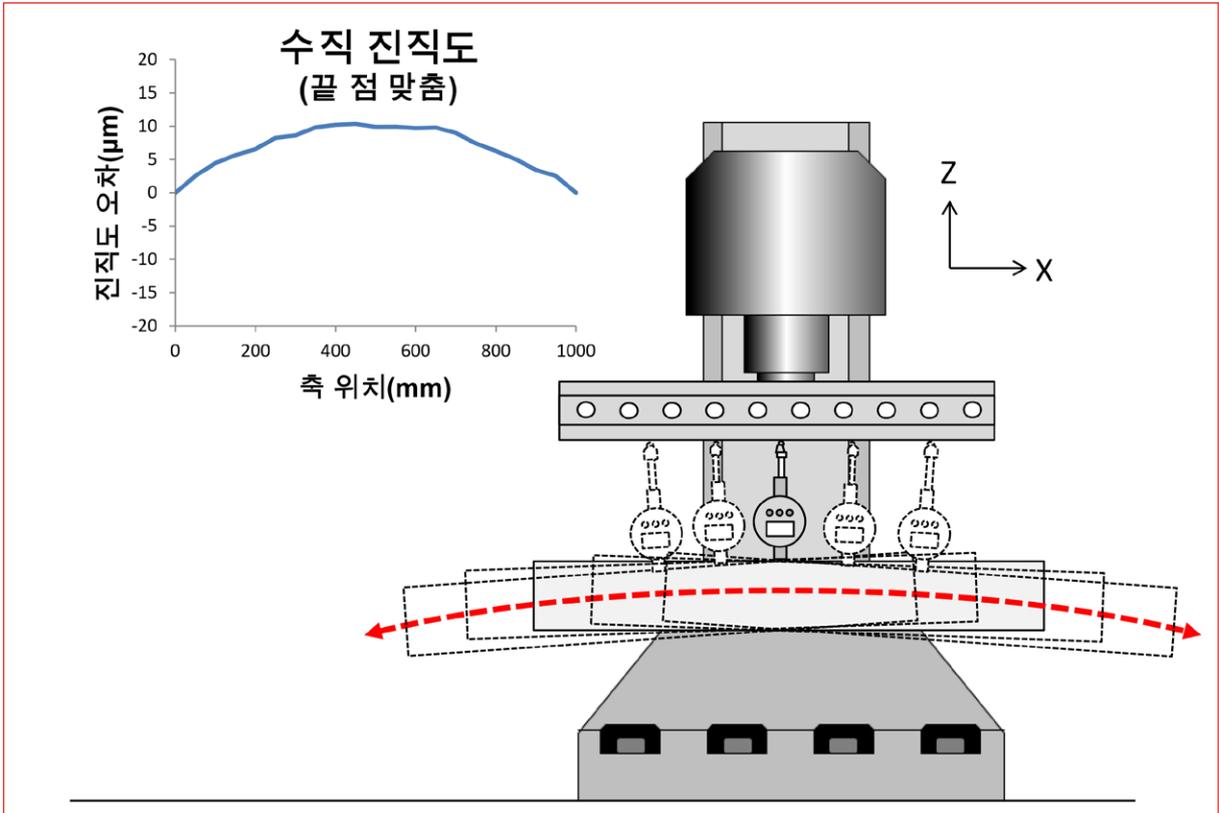


그림 23

이동 간섭계 혹은 이동 반사경 - 둘 중 "정답"은 무엇일까요?

이에 답하기 위해서 그림 24에 나온 것처럼 이 기계가 X축을 따라 동일한 크기, 동일한 깊이의 구멍 5개가 일렬로 배치된 부품을 밀링 가공하는 경우에서 발생하는 결과를 예를 들어보겠습니다. 구멍의 정확도를 검사하기 위해 3차원 측정기(CMM)에 부품을 놓습니다. CMM 검사에서 모든 구멍의 깊이가 동일하고 각 구멍의 바닥이 일직선 상에 놓여 있음을 알 수 있습니다. 또한 각 구멍의 각도는 서로 다르다는 것도 확인됩니다.

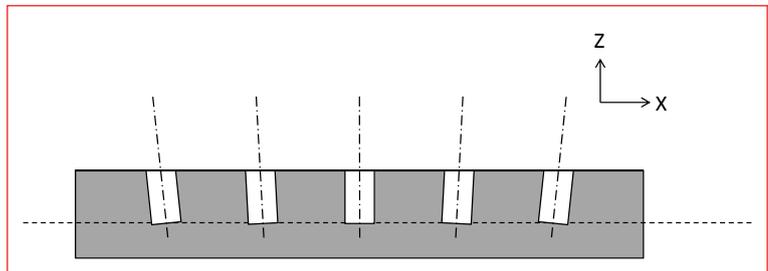


그림 24

따라서 공작물 관점에서 보면 X축은 직선으로 나타나고 피치 오차만 있습니다. 이러한 결과는 이동 테이블에 고정된 반사경으로 얻은 레이저 진직도 결과 및 이동 테이블에 고정된 스트레이트엣지로 얻은 인디케이터 결과와 일치합니다.

인디케이터 및 스트레이트엣지와 유사성과 이번 관측 결과로 진직도 간섭계 또는 반사경을 이동 테이블에 고정해야 할지 판단하는 데 있어 귀중한 정보가 도출됩니다.

A 설정(고정형 간섭계 또는 인디케이터) - 일반적으로 공작물 홀더와 스피들 간 상대적 이동의 정확도를 확인할 때 이 설정을 사용해야 합니다. 이 배열을 통해서 공작물의 좌표계 기준의 스피들 위치 지정 오차를 보여주므로 기계가 생산할 부품의 정확성을 파악할 수 있습니다. 이동 테이블 기계를 점검할 때 ASME B5.54가 권장하는 측정 방법입니다.

B 설정(고정형 반사경 또는 스트레이트엣지) - 일반적으로 기계 상의 단일 지점 이동에서 오차를 확인할 때 이 설정을 사용해야 합니다. 예를 들어, 기계의 좌표계 대비 이동 테이블에서 특정 점의 궤적을 추적하는 경우입니다. 검사 결과로 기계의 제작 품질에 대한 정보는 제공되지만 공작물이 얼마나 정확하게 제작되는지는 확인되지 않을 수도 있습니다.

결론

이 논문에서는 레이저 간섭계를 이용한 진직도 측정의 작동 원리에 대해 자세히 설명했습니다. 또한 진직도 간섭계(윌라스톤 프리즘)의 작동을 인디케이터와 비교할 수 있는 방법과 진직도 반사경을 정밀 스트레이트엣지와 비교할 수 있는 방법을 설명하고 레이저의 위치가 덜 중요한 이유도 입증했습니다. 이어서 이러한 비유를 활용하여 이동 테이블 기계에서 다른 측정 방법 간에 중요한 차이를 설명했습니다. 공작물 기준으로 절삭 공구의 이동 진직도를 정확하게 평가하기 위해서는 A 설정에서 설명한 ASME B5.54 권장된 대로 진직도 간섭계(또는 인디케이터)는 공구 홀더에 부착하고 진직도 반사경(또는 스트레이트엣지)은 공작물 홀더(이동 테이블)에 고정해야 한다는 점을 입증했습니다. 반면에 B 설정(이동 간섭계)은 기계 제작의 기본 품질 평가와 고장 진단에 더 적합합니다.

어떤 측정 설정을 선택하든 측정 정확도를 최적화하는 데 다음 정보가 유용할 것입니다.

레이저 간섭계를 이용한 진직도 측정에 유용한 정보

진직도 간섭계를 사용할 때 측정 정확도를 극대화하기 위해 다음 사항을 권장합니다.

- 축이 짧을 경우 항상 단거리 진직도 옵틱을 사용합니다. 단거리 옵틱은 장거리 옵틱보다 더 정확하고 환경 영향에 덜 민감합니다.
- 난기류로 인한 노이즈의 영향을 최소화합니다. 주변 보다 따뜻하거나 차가운 공기가 레이저 빔을 통해 흐를 때 일시적으로 광학 경로 길이가 변화하여 진직도 판독값에 노이즈를 유발합니다. 레이저 소프트웨어의 장시간 평균 기능을 활성화하고 주변 환경을 변경함으로써 노이즈를 감소시킬 수 있습니다.
 - 국부적인 열원을 제거하거나 가리고 햇빛을 차단합니다.
 - 또는 팬을 사용하여 공기를 강하게 혼합하면 공기 균질화에 도움이 되고 노이즈 발생 빈도가 증가하므로 장기 평균 기능을 통해 보다 효과적으로 제거할 수 있습니다. 그림 25는 팬을 이용하여 레이저 빔 주변 공기를 난기류로 변경 후 노이즈를 줄이는 예를 보여줍니다.
- 진직도 반사경을 조정하여 과도한 기울기 오차를 방지합니다. 수동 기계에서 특히 중요한 조치입니다.

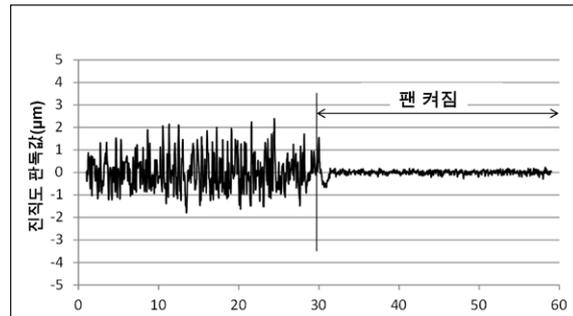


그림 25

- 반사경이 단단히 고정되고 열적으로 안정적인지 확인합니다. 반사경은 몇 미터 거리까지 확장될 수 있는 공간에서 가상의 스트레이트엣지를 생성한다는 점을 기억하십시오. 열 또는 진동의 영향으로 인한 반사경 각도의 불안정성을 피해야 합니다. 반사경 하우징을 천으로 덮어서 환경의 열적 변화로부터 절연시키는 것이 도움이 되기도 합니다.
- 반사경과 진직도 간섭계의 롤 정렬이 정확한지 확인합니다. 정확하게 정렬되면 옵틱에 대한 레이저의 각도 정렬에서 약간의 변동이 진직도 측정에 미치는 영향이 없습니다. 레이저 장착 또는 기계 자체의 각도 안정성(예: 진동 방지 기능이 장착된 기계 또는 불량한 상태의 지지대)이 염려되는 경우, 단순히 역방향 빔이 정확하게 겹치도록 하는 것만으로는 충분하지 않을 수 있는 단거리 측정에서 각별한 주의가 필요합니다. 문제가 해결되지 않으면 레이저를 기계에 단단히 부착하는 것을 고려해보십시오.

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-5650-2998-01-A

발행일: 09.2022