

# Renishaw의 프로빙 기술과 스트레인 게이지 기술을 갖춘 새로운 초소형 OMP400 프로브

## 개요

Sir David McMurtry가 접촉식 트리거 프로브를 발명한 1972년부터 지금까지 프로빙은 공작 기계의 자동 생산 공정에서 핵심적인 역할을 하고 있습니다. 동역학적 위치를 활용하여 높은 반복도로 스타일러스를 고정하는 이 간단한 메커니즘은 30년 넘게 많은 Renishaw 프로브의 기반이 되었습니다. Renishaw의 동역학적 접촉식 트리거 프로브는 지속적으로 제조 산업에 많이 사용되고 있으며, 시장에서 가장 많이 판매되는 프로빙 제품이자 대다수의 최종 사용자와 공작 기계 제조업자들이 가장 먼저 찾는 제품입니다. 이러한 프로브의 측정 성능과 신뢰성을 과소평가하면 안 됩니다.

그럼에도 불구하고 Renishaw는 공작 기계용 접촉식 프로브의 정확도를 한층 더 개선할 수 있는 방법을 찾았는데, 이 방법을 활용해서 Renishaw MP700을 개발하고 출시했습니다. 스트레인 게이지 감지 기능을 도입하면서 많은 사용자의 측정 정확도가 개선되었습니다.

Renishaw는 이제 OMP400 접촉식 프로브를 도입하여 스트레인 게이지 기술을 한층 더 발전시키고 작은 패키지로 측정 성능을 높일 수 있게 되었습니다.

## 동역학적 프로브

Renishaw의 접촉식 트리거 프로브 메커니즘(그림 1)은 로드와 볼의 스프링 방식 동역학적 배열을 기반으로 합니다. 그러면 여섯 개의 접촉점을 통해 뛰어난 반복도로 스타일러스 캐리어를 고유한 위치에 고정할 수 있습니다. 이 메커니즘을 사용하면 부품 표면과 접촉할 때 프로브의 스타일러스가 편향되며 스프링이 있어 스타일러스가 접촉 후에는 메커니즘이 재배치됩니다. 이 메커니즘은 수년간 Renishaw 접촉식 트리거 프로브의 기반이 되었으며 역사가 긴 만큼 이러한 프로브는 "전통적인" 프로브라고 불리기도 합니다. 하지만 역사가 오래되었다고 해서 이러한 메커니즘이 수년간 개발되지 않았거나 성능에 제약이 있는 것은 아닙니다.

구성 요소 표면과 접촉하면 트리거 신호가 생성되며 이를 통해 기계를 중지시킬 수 있습니다



스프링이 동역학적 접촉부에 대해 스타일러스를 고정하며 스타일러스 및 부품 간의 접촉 후에 프로브가 배치된 위치로 복귀합니다

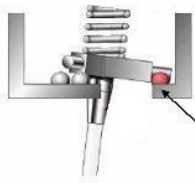
3개의 로드, 각 로드가 두 개의 볼에 배치되어 동역학적 위치에서 6개의 접촉 지점을 제공합니다

스타일러스 볼이 고유한 위치에 자리하며 1 μm 범위 내 동일한 위치로 복귀합니다

그림 1:

그림 2:

힘 증가 방향:



▶ 피봇 점이 스타일러스 중앙선에서 힘 증가 방향으로 더 멀리 떨어져 있습니다

▶ 피봇 점이 힘 감소 방향으로 스타일러스 중앙선에 더 가깝게 위치합니다

그림 3:

힘 감소 방향:

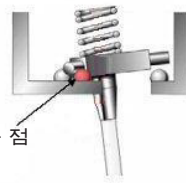


그림 4:  
힘 증가 및 감소 방향

접촉 요소는 탄화 텅스텐으로 만들어져 스프링의 힘에 의해 자재가 탄력적으로 변형되는 접촉 패치의 크기가 아주 작습니다. 전기 회로가 접촉부를 통과하며 프로브의 전자 장치가 이 회로의 저항을 측정합니다. 이 저항이 임계값에 도달하면 프로브의 출력이 '트리거됨'으로 설정됩니다. 트리거가 발생할 때 볼과 로드가 접촉 상태를 유지해야 스타일러스가 정의된 위치에 배치되어 반복 가능한 측정값을 얻을 수 있습니다.

다양한 요인이 동역학적 접촉식 프로브 측정 성능에 영향을 미칩니다. 프로브를 전기적으로 트리거 하기 전에 스타일러스 볼이 공작물과 접촉하는 지점에서 스타일러스가 편향됩니다. 이 현상을 사전 이동 (pre-travel)이라고 합니다. 사전 이동은 스타일러스의 길이와 강성도, 접촉하는 힘에 따라 달라집니다(그림 2, 3, 4 참조). 로빙, 프로브 측정 오차 또는 진원도 측정 오차로 널리 알려진 사전 이동 변동(PTV)은 측정 성능에 영향을 미칠 수 있습니다. Renishaw 프로브의 경우 접점부가 삼각형을 형성합니다. 프로브 메커니즘과 관련해 접촉력이 적용되는 방향에 따라 피봇 거리가 달라지면서 로빙이 발생합니다. 프로브 교정을 통해 이러한 로빙 효과를 보정할 수 있습니다.

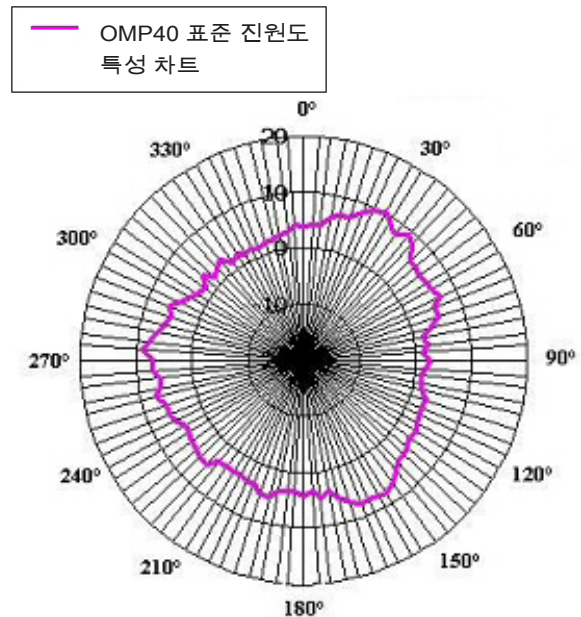
결과적으로 접촉력에 차이가 있으며, 사전 이동 거리가 달라집니다. 전통적인 프로브로 묘사되는 구현 사례와 차이가 나는 다른 프로브 메커니즘이 다수 존재합니다. 이러한 시스템은 XY 평면에서 로빙 또는 측정 오차의 발생 확률이 낮은 것으로 알려져 있습니다. OMP40, OMP60, MP10 접촉식 프로브의 Renishaw 볼 및 로드 메커니즘은 50mm 스타일러스 사용 시 XY 평면에서 6 μm의 표준 PTV를 가지고 있습니다. 오른쪽에 있는 그림 5에서는 1 μm 분해능 위치 피드백을 가진 공작 기계에서 교정된 링 게이지에서의 측정 테스트입니다. 기계를 포함한 최대 측정 오차는 50 mm 표준 세라믹 스타일러스 기준 8.85 μm입니다. Renishaw의 접근법은 언제나 사전 이동을 줄이는 데 초점을 맞추며, 로빙된 세 패치의 측정 오차가 더 크다고 일반화하기는 어렵습니다.

사전 이동이 적은 Renishaw의 접근법은 XZ 및 YZ 평면, 또는 완전 3D 표면처럼 3D로 프로빙할 때 빛을 발합니다. 그 이유는 PTV가 XY 및 Z 사전 이동 효과의 조합이 존재하는 3차원에서도 발생하기 때문입니다. Renishaw 동역학적 접촉식 트리거 프로브의 Z축 사전 이동은 미미한 수준이며 XY 사전 이동도 크지 않으므로 최종 3D 오차는 XY 결과에 근접할 수 있습니다. 또한 사전 이동이 적은 프로브를 활용하여 경사면에 대해 프로빙을 진행하면 스타일러스 볼과 표면 간의 마찰을 극복하기 전에 트리거가 발생합니다.

그에 반해 기계적 사전 이동이 큰 다른 유형의 프로브는 트리거 전에 마찰을 극복하고 미끄러짐을 초래할 수 있습니다. 또한 XY 평면과 Z 평면 간 사전 이동의 차이가 커져 3D 측정 오차가 더 크게 발생합니다.

아래의 그림 5는 OMP40 동역학적 프로브를 사용하여 교정된 링 게이지의 진원도를 측정하는 것에 대한 일반적인 플롯을 보여 줍니다.

그림 5:



힘이 증가하는 세 방향이 이 플롯의 극점이라고 볼 수 있습니다. 이 경우 최대 사전 이동 변동은 약 8.85 μm입니다.

## 교정

사전 이동 자체는 측정 오차를 초래하지 않는데, 프로브 교정을 통해 쉽게 보정할 수 있기 때문입니다. 알려진 크기와 위치에 대한 데이터 형상을 측정하여 관련 스타일러스의 평균 사전 이동 값을 얻을 수 있습니다. 이 작업을 마친 후 측정 정확도에 영향을 미치는 주요 요소는 바로 프로브의 반복정밀도입니다.

하지만 여기에는 몇 가지 제약이 존재합니다. 복잡한 부품의 경우 다수의 프로빙 방향이 필요합니다. 프로브 / 스타일러스 조합에 대한 PTV 값이 충분히 낮으면 측정 정확도에 미치는 영향을 수용할 수 있습니다. 하지만 이 잠재적인 측정 오차가 수용 불가능할 정도로 크면 사용될 각 방향에 대해 프로브를 교정해야 할 수 있습니다. 이 작업에는 많은 시간이 소요될 수 있습니다.

## 스트레인 게이지 기술

정확도가 높고 기계와 쉽게 연결 가능한 프로브를 생산할 수 있는 기술을 원한다면 사전 이동과 PTV를 줄여야 합니다. Renishaw는 동역학적 저항성 접촉식 프로브 메커니즘인 실리콘 스트레인 게이지의 3D 측정 관련 제약을 없애 주는 새로운 형태의 감지 기술을 개발했습니다. 초소형 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit) 전자 장치와 솔리드 스테이트 감지 기술을 통해 이러한 목표를 달성할 수 있었습니다.

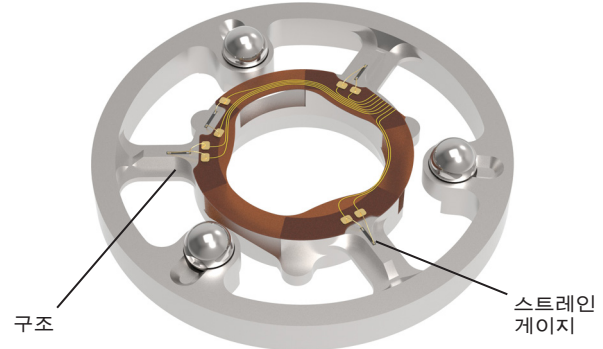
스트레인 게이지 접촉식 프로브가 여전히 동역학적 메커니즘을 사용해 스타일러스를 고정하긴 하지만, 접촉 요소의 저항을 통해 트리거를 감지하지는 않습니다. 그 대신 동역학적 범위를 넘어 정밀하게 설계한 프로브 구조에 스트레인 게이지를 배치합니다. 이러한 게이지는 스타일러스에 적용되는 접촉력을 측정하고 스트레인이 모든 방향에서 임계값을 초과할 때 트리거를 생성합니다. 그러면 낮은 트리거 힘과 적은 사전 이동 및 PTV를 얻을 수 있습니다.

1995년에 선보인 MP700 접촉식 프로브는 스트레인 게이지를 사용하는 최초의 Renishaw 공작 기계 프로브였습니다. 이 프로브를 사용하면 반복도 개선, 사전 이동 감소, PTV의 실질적인 제거를 비롯해 해당 기술을 통해 얻게 되는 모든 이점을 누릴 수 있습니다. 이러한 이점은 보다 정확한 측정에서 두드러지는데, 특히 다수의 감지 방향을 사용하는 3D 표면이나 공작물에 대한 접근 벡터를 알 수 없는 셋업에서 확인할 수 있습니다.

오른쪽에 있는 그림 6과 7에서는 스트레인 게이지 접촉식 프로브의 계통도를 보여 줍니다. 접촉력이 약한 경우 동역학적으로 배치된 상태를 유지하며 동역학을 통해 힘이 프로브 구조로 전달됩니다. 스트레인 게이지는 견고성을 저하하지 않으면서 프로브의 감도를 극대화하도록 설계된 정밀 제조 망에 장착됩니다. 스트레인 게이지는 구조에 적용되는 힘을 감지하며 전자 장치를 통해 출력을 처리해 모든 방향에서 힘의 임계값을 초과하는 경우 트리거 신호를 생성합니다.

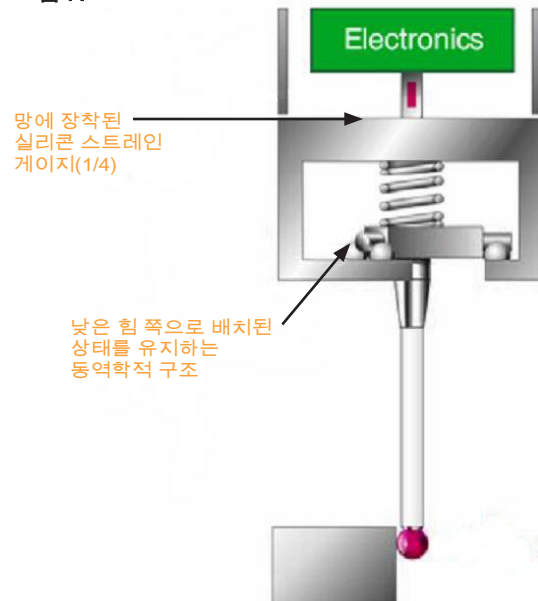
이 힘의 임계값은 일반적으로 몇 그램 정도인데, 동등한 기계적 프로브의 트리거 힘보다 훨씬 적은 값입니다. 사전 이동이 적은 프로브를 개발하는 이 접근법을 보고 해당 프로브가 진동과 충격에 약해 예기치 않은 트리거를 초래한다고 생각하는 경우가 있습니다. 그러나 Renishaw는 측정 성능이 저하되는 큰 기계적 사전 이동 관련 설계 대신 프로브 내 필터링 회로를 사용하여 게이지에서 확인되는 스트레인이 일시적인

그림 6:



와이어가 스트레인 신호를 프로브 회로로 다시 전송

그림 7:



충격 또는 진동이 아니라 스타일러스의 지속적인 실제 편향으로 인해 초래되는 것인지 확인합니다. 이 목표를 달성하기 위해 힘 임계값을 처음으로 초과하는 즉시 감지 회로에 길이가 짧고 반복도가 높은 지연을 삽입하며 이후 지연 기간 끝부분에서 트리거가 실행되기 전에 지속적으로 증가하는 힘이 확인되어야 합니다.

\* 사전 이동 변동 PTV

### OMP400 접촉식 프로브

OMP400은 Renishaw의 최신 광 신호 전송 공작 기계 접촉식 프로브입니다. 이 프로브에는 MP700에서 처음 선보인 높은 정확도의 스트레인 게이지 기술을 개선하여 적용했으며 수상 경력에 빛나는 OMP40 동역학적 접촉식 프로브만큼 작은 크기를 자랑합니다. 최초로 소형 기계 사용자들의 스트레인 게이지 정확도 개선을 지원하는 제품입니다.

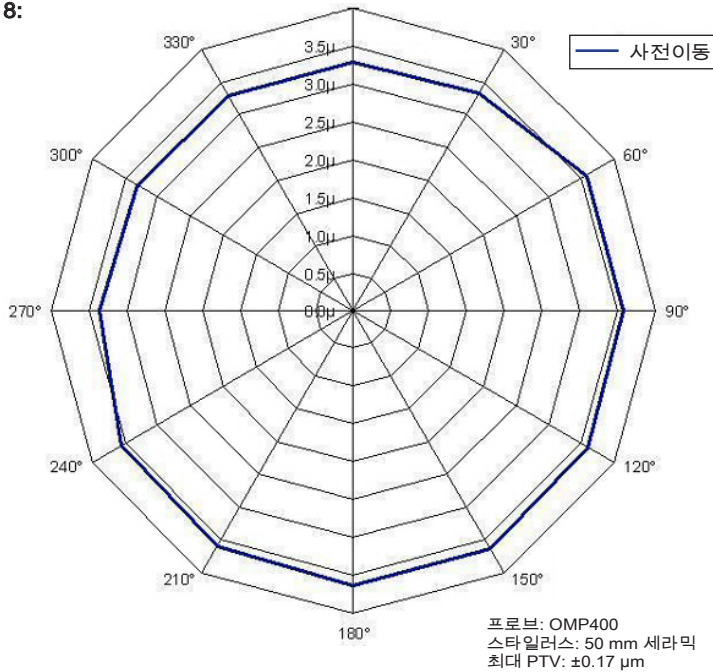
OMP400 접촉식 프로브는 아주 적은 사전 이동을 자랑하며 프로브 전자 장치 내 개선된 새로운 알고리즘을 사용하여 업계를 선도하는 MP700 접촉식 프로브보다 낮은 PTV를 제공합니다. 따라서 간단한 프로브 교정 루틴을 통해 제품을 모든 방향에서 사용할 수 있게 됩니다. 스트레인 게이지 접촉식 프로브의 아주 높은 반복도와 결합된 OMP400은 금형과 다른 복잡한 부품을 측정할 수 있는 유일한 솔루션입니다.



또한 스트레인 게이지 기술로 전통적인 저항성 프로브에 비해 작동 수명을 10배 늘릴 수 있습니다. 또한 프로브 내 스트레인 게이지 구조가 개선되면서 제품의 견고성이 향상되어 공작 기계 내부의 거친 환경에서 편리하게 사용할 수 있습니다.

동역학적 저항성 접촉식 프로브의 경우 스타일러스의 길이에 따라 PTV가 증가하므로 필요한 측정 성능 때문에 사용 가능한 스타일러스의 길이가 제한될 수 있습니다. 트리거 힘이 더 낮고 일관된 OMP400 접촉식 프로브는 측정 성능이 더 우수하며 훨씬 더 긴 스타일러스를 지원할 수 있습니다. OMP400은 최대 200 mm 길이의 스타일러스를 지원할 수 있으며 이때 측정 성능은 미비하게 저하됩니다.

그림 8:



왼쪽에 있는 그림 8에서는 10 nm의 분해능으로 Renishaw Probe Test Rig에서 수행한 측정 테스트를 보여 주는데, 원을 중심으로 12개의 지점을 30° 간격으로 수집했습니다. 차트에서는 OMP400 접촉식 프로브의 일반적인 PTV 플롯을 보여주며 모든 방향에서 낮고 균일한 사전 이동을 확인할 수 있습니다. 50 mm 스타일러스를 사용하는 XY 평면의 PTV 값은 0.34 μm밖에 되지 않으며 이는 크기가 비슷한 동역학적 접촉식 프로브의 PTV 값보다 90% 정도 적은 수치입니다. OMP400 접촉식 프로브의 XYZ PTV 값은 일반적으로 1미크론보다 작습니다.

OMP400 프로브	스타일러스 길이			
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
<b>반복정도</b> 12개의 모든 방향 기준 최대 2 시그마	0.25 μm	0.35 μm	0.50 μm	0.70 μm
<b>2D(XY) 로빙</b> 링 게이지에서의 최대 편차	± 0.25 μm	± 0.25 μm	± 0.40 μm	± 0.50 μm
<b>3D(XYZ 로빙)</b> 벡터 공간에서의 최대 편차	± 1.00 μm	± 1.75 μm	± 2.50 μm	± 3.50 μm

\* 사전 이동 변동 PTV