

측정 사이클 타임 최적화

개요

모든 공작 기계의 프로빙 사이클에 기본 요구 사항은 수용 가능하며 신뢰할 수 있는 수준의 측정입니다. 또한 허용 시간 내에 측정이 이루어져야 합니다. 따라서 생산 가공 공정을 위한 계측 솔루션을 구축하는 데 있어 측정 사이클 타임을 최적화하는 것은 중요한 부분입니다. 그리고 최적화를 위해 측정 사이클 타임에 영향을 미치는 요인들을 이해하는 것이 필요합니다. 이 모듈에서는 이러한 요인과 그 영향을 소개합니다.

문서 **TE412**, 원터치 대 투터치 프로빙 전략에서 알아본 바와 같이, 프로빙 사이클 유형은 반복도와 사이클 타임에 상당한 영향을 미칩니다. 여기서는 이송 속도, 백오프, 초과 이동 등 영향을 미치는 다른 요인들도 소개합니다.

이송 속도

프로빙 사이클 시작 시점에 공작 기계는 프로브를 시작 위치에서 측정 대상 표면으로 이동시켜야 합니다. 사이클 속도를 높이기 위해서는 간단히 이송 속도를 높여 더 빠르게 표면에 도달하면 된다고 생각할 수 있습니다. 그러나 문서 **TE412**에서 알아본 것처럼, 공작 기계 컨트롤러가 프로브 트리거 신호에 반응하는 시간 때문에 측정 정확도가 영향을 받아 상당한 측정 불확실성을 초래합니다. 또한 원터치 사이클의 경우, 측정 불확실성이 측정 속도에 정비례하는 것으로 확인되었습니다. 원터치 사이클의 경우, 트리거 신호에 대한 응답 시간이 빠른 **CNC**로의 직접 입력을 통해 측정 불확실성을 어느 정도 줄일 수 있습니다.

스캔 시간이 더 길고(가령 4 ms) 이송 속도가 3000 mm/min인 공작 기계 컨트롤러의 경우, 불확실성은 0.2 mm 일 수 있습니다. 공작 기계는 측정할 표면의 위치를 제한적으로만 알 수 있으므로 표면에 접촉하기 직전 정확한 계측을 제공하는 수준인 프로빙 이송 속도(가령 30 mm/min)까지 안정적으로 늦출 수 없습니다. 이 경우, 투터치 사이클이 필요합니다.

3000 mm/min의 이송 속도에서 스캔 시간이 4 μs인 직접 입력 컨트롤러의 경우, 측정 불확실성은 0.2 μm 일 수 있습니다. 불확실성이 이처럼 낮을 경우, 이송 속도를 올려 사이클을 최적화할 수도 있지만, 공작 기계의 가속 특성 또한 영향을 받으므로 이 방법은 바람직하지 않습니다.

가속 및 감속

공작 기계의 가속 및 감속 방식을 판별하는 알고리즘은 제어 시스템 제조업체가 설정합니다. 제조업체마다 자체적인 로직 구조와 계산 방식을 가지고 있습니다. 그러나 공작 기계는 일반적으로 일정한 속도로 가속하지 않습니다. 몇몇 제조업체는 가속 속도를 그림 1과 같이 지정된 시간 동안 프로그래밍 된 이송 속도에 도달하는 시간으로 계산합니다. 결과적으로, 프로그래밍 된 이송 속도에 도달하기 위해 축이 이동하는 거리는 이송 속도와 관련해 선형적으로 증가합니다.

$$2 \times \text{가속 거리(mm)} = [\text{이송 속도(mm/min)} \times \text{시간 상수 N(초)/60}]$$

$$[2 \times \text{가속 거리} = \text{가속 거리} + \text{감속 거리}]$$

일반적인 시간 상수가 0.06초라고 가정할 때 총 가속 및 감속 거리는 0.025 mm(50 mm/min 속도)에서 2.5 mm(5000 mm/min 속도)로 증가합니다. 감속 거리는 동일합니다. 따라서 축이 프로그래밍된 이송 속도에 도달할 수 있는 최소 이동 거리는 0.05 mm(50 mm/min 속도) 및 5 mm(5000 mm/min 속도)입니다.

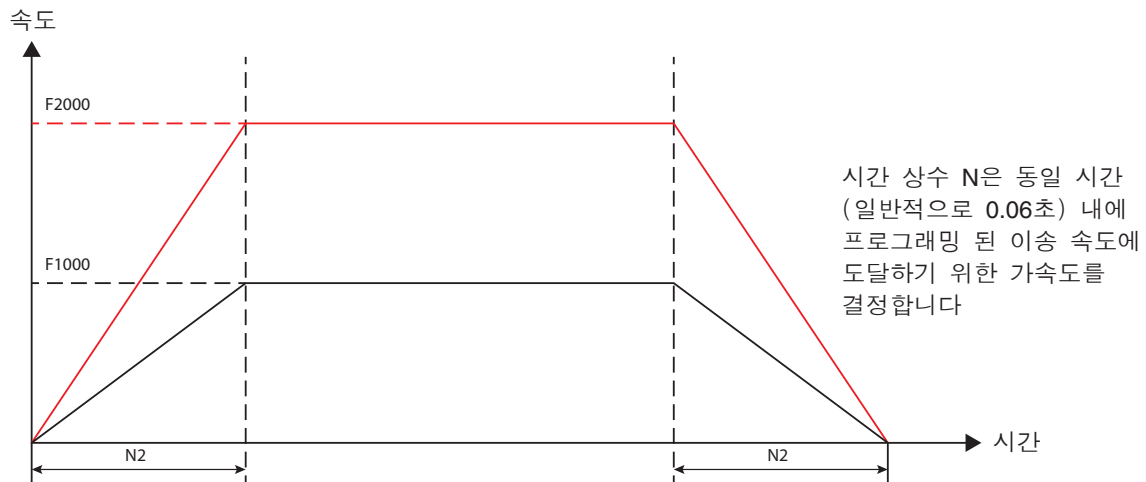


그림 1: 기계는 설정 된 시간 동안 가속되며, 필요한 이송 속도에 따라 가속 속도가 달라집니다.

CNC가 프로브 트리거 신호를 인식하고 나면 스타일러스가 편향되는 동안 프로브가 계속해서 부품 쪽으로 이동합니다. 프로빙 속도가 증가하면, 프로빙 이동의 감속 단계에서 트리거 지점을 넘어 이동하는 거리가 증가하게 됩니다. 그로 인해 복귀 이동 시 시작 지점으로 돌아가는 거리가 증가합니다.

시간 상수가 0.06초인 기계를 예로 들어 보겠습니다.

30 mm/min 속도의 프로빙 이동 후 5000 mm/min 속도로 표면 기준 2.5 mm 지점으로 복귀 이동하려면 2.52 mm의 이동이 필요하고 0.085초의 시간이 소요됩니다.

30 mm/min 대신 5000 mm/min 속도의 프로브 이동 후에는 5.833 mm의 이동이 필요하고 0.13초의 시간이 소요됩니다.

이는 프로빙 사이클 지속 시간을 판별하는 데 있어 매우 중요하며 2000 mm/min 이상의 이송 속도에서 프로빙이 갖는 많은 이점이 사라지게 만듭니다.

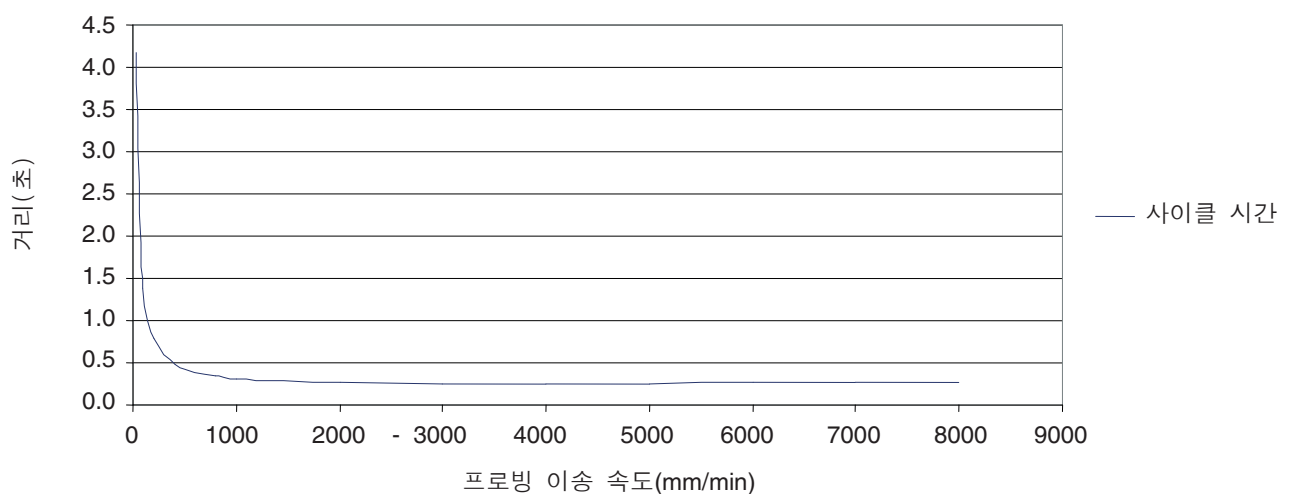


그림 2: 단일 터치 사이클 시간

그림 2는 최대 2000 mm/min까지 이송 속도가 증가할 때 사이클 타임이 어떻게 개선되는지 보여주며, 그 이후에는 개선이 없다는 것도 보여줍니다. 더 빠른 이송 속도의 트리거 후 감속 거리가 증가하면 사이클 타임이 더 감소하지는 않습니다. 프로브 트리거 후 시작 위치로 복귀하려면 이 거리를 되돌아가야 합니다.

또한 너무 빠른 이송 속도에서는 프로브와 스타일러스가 손상될 가능성이 있습니다. 프로브가 가공품과 접촉 중인 동안에 이동하는 추가 거리는 장치의 초과 이동 한계에 가까워질 수 있습니다(특히 Z축 또는 짧은 스타일러스 사용 시 다른 축에서). 또한 작은 형상 내에서 측정 할 때 부적절하게 빠른 이송 속도를 사용하면 스타일러스가 파손될 가능성이 있습니다.

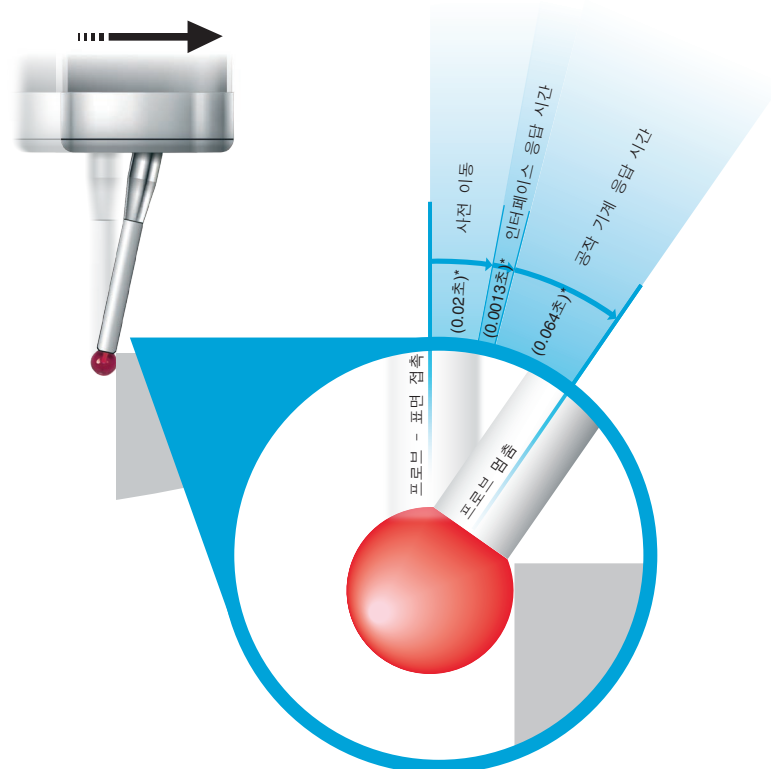
백오프 거리

투터치 프로빙 사이클 도중, 첫 접촉을 위한 접근 이송 속도는 상대적으로 빠르며 단순히 표면을 빠르게 찾는 것을 목적으로 사용됩니다. 백오프 후 프로브는 측정 불확실성을 낮추기에 충분할 정도로 느린 측정 속도로 변경됩니다(문서 TE412 참조). 사이클 중 이 부분을 최적화하는 데 사용할 수 있는 중요한 매개변수가 바로 백오프 거리입니다. 측정 속도가 낮은 (대략 30 mm/min) 영역에서 표면을 기준으로 삼는 백오프 거리가 2 mm인 경우 게이징 접근에 4초가 소요되는데, 이는 매우 긴 시간입니다. 사이클 시간을 최적화하기 위해서는 백오프 거리를 최소한으로 줄여야 합니다.

프로빙 소프트웨어는 대부분의 공작 기계에서 스타일러스를 재안착시킬 수 있을 만큼 프로브가 멀리 후퇴할 수 있는 기본 백오프 거리 값을 갖습니다. 이 매개변수는 측정된 표면이 아니라 프로브가 빠른 접근 시 첫 접촉 도중에 멈추는 지점을 기준으로 한 백오프 거리를 정의합니다. 다음 섹션에서 설명할 여러 요인들 때문에 프로브는 측정된 표면과 접촉한 후 특정 시간에(그리고 특정 거리에서) 멈춥니다. 이러한 현상을 초과 이동이라 합니다. 측정 사이클을 위한 백오프 설정을 최적화하기 위해서는 기계 특성을 고려해야 합니다. 백오프 매개변수는 빠른 접근 속도에서 기계의 일반적인 초과 이동과 프로브가 재안착하는 데 필요한 표면 기준 최소 거리를 고려해서 설정해야 합니다.

초과 이동

초과 이동은 측정된 표면부터 측정된 표면을 프로빙한 후 검사 프로브가 멈추는 지점까지의 거리입니다. 그림 3에 보여지는 것처럼, 트리거 시퀀스의 세 단계로 이 거리가 결정됩니다.



* 일반적인 값

그림 3: 프로브 트리거 시퀀스 및 신호 전송

프로브 트리거 시퀀스는 크게 세 가지 시간 단계로 나눌 수 있습니다.

1단계 - 기계적 트리거를 위한 프로브 표면 접촉, '기계적 사전 이동'

2단계 - CNC 컨트롤러로 전송하는 트리거 신호의 기계적 트리거, '인터페이스 응답 시간'

3단계 - CNC 응답을 위한 트리거 신호 전송, '공작 기계 응답 시간'

1단계 - 기계적 사전 이동

기계적 사전 이동은 특정 표면과의 접촉 지점과 프로브 감지 임계값 사이에 필요한 이동 거리를 의미합니다. 사전 이동은 프로브 하드웨어에 따라 달라지고 프로빙 속도에 따라 변하지 않습니다. 그리고 적절한 교정 및 애플리케이션 소프트웨어로 교정할 수 있습니다.

트리거 시퀀스 사전 이동 단계의 끝은 프로빙 시스템이 CNC에서 트리거 신호를 발생 시키는 시점이 아니라, 기계적 트리거가 발생하고 응답을 시작했음을 인터페이스가 인식하는 시점입니다. 사전 이동과 사전 이동 편차는 기본적으로 기계적인 프로빙 장치의 중요한 특성이며 측정 품질을 결정하는 데 있어 매우 중요한 요인입니다.

기계적 사전 이동 거리(μm)	속도 30 mm/min	속도 1000 mm/min
	사전 이동 기간(초)	사전 이동 기간(초)
2	0.004	0.0001
10	0.02	0.0006
50	0.1	0.003

표 1: 사전 이동이 사이클 타임에 미치는 영향

표 1에서 사전 이동이 사이클 타임에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있지만 사전 이동 거리가 큰 장치를 느린 측정 속도와 함께 사용할 경우에만 중요한 요인으로 작용합니다.

2단계 - 인터페이스 응답 시간

인터페이스 응답 시간은 프로브 메커니즘이 트리거되는 시점과 트리거가 CNC 컨트롤러로 전송되는 시점 간 차이입니다(문서 TE412 참조). 이 인터페이스는 프로브의 상태를 지속적으로 모니터링하고 표면과 접촉할 때 트리거 신호를 공작기계로 전송합니다. 이는 사이클 시간을 최적화하기 위해 변경 할 수 있는 요인이 아니지만, 다른 매개변수 선택 시 반드시 고려해야 합니다.

3단계 - 공작 기계 응답 시간

공작 기계 응답 시간은 컨트롤러 응답 시간에 감속 기간을 더한 값입니다. 컨트롤러 응답 시간은 기계가 프로브 트리거 입력을 인식해서 그에 대응하는 프로세스에 의해 결정됩니다. 이 동작은 프로빙 하드웨어 공급자의 통제 범위를 벗어나며, 사이클 타임에 미치는 영향은 적지만 프로빙 시스템의 측정 성능에 직접적인 영향을 미칩니다. 인터페이스는 트리거 신호를 CNC 컨트롤러로 전송합니다. 다음에 진행되는 일은 공작 기계 컨트롤러의 성능과 트리거 신호가 인터페이스되는 방식에 따라 달라집니다. 인터페이스가 프로브 트리거를 전송하고 제어 시스템이 해당 신호에 반응하는 과정에서 발생하는 시간 지연은 컨트롤러 사양과 구매 옵션에 따라 최소 4μs에서 최대 4ms까지 될 수 있습니다.(문서 TE412 참조).

따라서 가공품 표면과 접촉 시 이러한 세 단계로 인해 트리거 신호 인식 전 짧은 지연이 발생한다고 볼 수 있습니다. 교정 및 측정 사이클에서 동일한 동적 조건이 사용되는 한, 시간 지연이 일관되며 교정이 가능하기 때문에 1단계와 2단계는 측정 무결성에 영향을 미치지 않습니다.

그러나 3단계에서는 컨트롤러 응답 시간을 쉽게 확인할 수 없어 측정 성능에 큰 영향을 미칠 수 있습니다.

결론

CNC 공작 기계에서의 프로빙 사이클 시간을 결정하는 요인은 여러 가지입니다.

이 중 일부는 사전 이동 및 인터페이스 응답시간과 같은 프로빙 하드웨어로 인한 것입니다. 일반적으로 교정 루틴을 통해 설명 할 수 있으며 모든 측정이 동일한 동적 조건에서 이루어 지도록 보장 할 수 있습니다. 더 큰 영향을 미치는 요인은 공작 기계 제조업체가 설정한 가속 및 감속 속도, 제어 시스템의 선택과 셋업, 사용하는 검사 전략, 특정 공작 기계에 맞는 프로빙 시스템 최적화입니다. 몇 가지 일반적인 사항을 소개합니다.

- 공작기계의 컨트롤러 응답 시간 및 가속 속도와 관련한 특성은 선택하는 프로빙 하드웨어보다 프로빙 사이클 타임 최적화에 더 큰 영향을 미칩니다.
- 백오프 거리를 프로빙 소프트웨어에서 최적화한 경우, 투터치 측정 방법과 원터치 측정 방법 간 사이클 타임 차이는 미미합니다.
- 또한 접촉식 트리거 프로브 사용 시 2000 mm/min 이상의 속도로 측정하는 것은 원터치든 투터치든 사이클 타임에 이점이 없을 가능성이 높으며, 측정에 부정적인 영향을 미칩니다.
- 공작 기계는 선택하는 감지 장치와 무관하게 특정 프로빙 사이클 타임을 결정하는 데 있어 매우 중요한 역할을 하므로, 어떤 프로빙 제조업체도 속도를 기준으로 다른 제품보다 더 우수하다고 주장할 근거는 없습니다.
- 측정 된 표면 위치에 대한 불확실성은 측정 사이클 타임에 직접적인 영향을 미칠 수 있습니다. '알려진 부품' 측정(즉, 단순 가공된 표면)의 경우, 초기 간격 이동은 가공된 표면에 매우 가까워질 수 있습니다. 측정 시간이 최소화되도록 이송 속도와 백오프 거리를 최적화할 수 있습니다. '알려지지 않은 부품' 측정 시 부품 표면 관련 불확실성을 수용할 수 있도록 보수적으로 프로브를 배치해야 합니다. 일반적인 분야는 고정 장치가 정밀하지 않거나 입력 소재에 편차가 있는(주조 등) 부품 셋업이 있습니다.

www.renishaw.com/machinetool



#renishaw

+82 031 346 2830

 korea@renishaw.com

© 2026 Renishaw plc. All rights reserved. RENISHAW®와 프로브 로고는 Renishaw plc의 등록 상표입니다. Renishaw 제품 명과 'apply innovation'의 지정 및 마크는 Renishaw plc 또는 그 자회사의 등록 상표입니다. 다른 브랜드, 제품 또는 회사 이름은 해당 소유주의 등록 상표입니다. Renishaw plc. 영국과 웨일즈에 등록됨. 기업 번호: 1106260. 등록된 사무소: New Mills, Wotton-under-Edge, Glos, GL12 8JR, UK.

본 문서의 공개 당시 문서의 정확성을 확인하기 위해 최선의 노력을 기울였지만, 발생하는 모든 보증, 조건, 진술 및 책임은 법률이 허용하는 한도에서 제외됩니다.

품목 번호: H-5650-2081-02-A