

# 동적 기계 분석기

MCR 702e MultiDrive



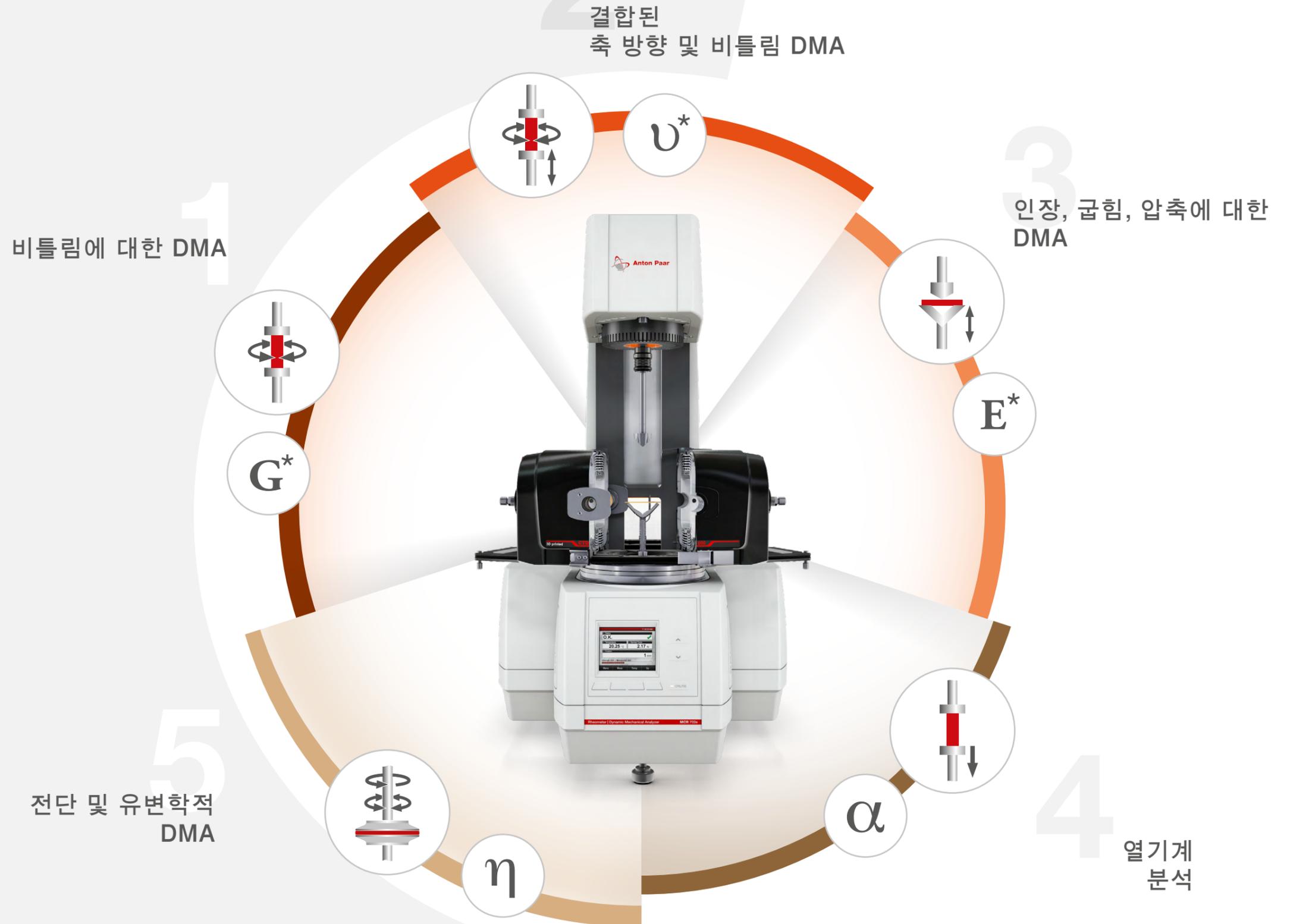
# DMA 그 이상

동적 기계 특성 분석을 위한 가장  
다재다능하고 강력한 플랫폼

MCR 702e MultiDrive는 최첨단 선형  
모터와 MCR 레오미터의 널리 알려진  
EC 모터 기술이 결합된 제품입니다.  
액체, 연질, 고체 시료에 대한 동적  
기계 분석(DMA)의 가능성과 한계를  
새롭게 정의합니다. 하나의 장비로 인장,  
비틀림, 굽힘, 압축에 대한 DMA는 물론,  
유변학적 특성 분석과 열역학적 분석  
(TMA)까지 수행할 수 있습니다.

혁신은 여기서 그치지 않습니다.  
MCR 702e MultiDrive는 하나의 시험  
정의를 통해 축 방향 및 비틀림 DMA  
를 결합하여 수행할 수 있습니다.  
이러한 독자적인 기능을 통해 이방성  
물질의 특성 분석이 향상되었으며, 단일  
시험에서 푸아송 비율까지 측정할 수  
있습니다.

이렇게 획기적인 5-in-1 기능으로 무장한  
MCR 702e MultiDrive는 동적 기계  
분석기에 대한 새로운 표준을 제시하며,  
동적 기계 재료 특성 분석의 완전히  
새로운 장을 열어줍니다.



1 비틀림에 대한 DMA

2 결합된  
축 방향 및 비틀림 DMA

3 인장, 굽힘, 압축에 대한  
DMA

5 전단 및 유변학적  
DMA

4 열기계  
분석

# 이를 가능하게 하는 모드

상부 EC 모터와 하부 이동식 자석 선형 드라이브를 조합한 MCR 702e MultiDrive는 세계 최초로 비틀림과 선형 방향은 물론 결합된 축 방향 및 비틀림 모드에 이르기까지 동적 기계 측정, 열기계 분석, 공기-베어링 기반 레오미터로 알려진 다양한 유연학적 측정에 적합한 장치입니다. 즉 Anton Paar는 산업 및 연구 분야 모두를 위한 유연성을 제공합니다. MCR 702e MultiDrive를 사용하면 사용자가 선택한 방법을 통해 고체부터 액체 상태에 이르기까지 다양한 재료의 특성을 분석할 수 있으며, 이러한 분석으로부터 가장 믿을 수 있으며 종합적인 결과를 얻을 수 있습니다.

선형 드라이브      회전 드라이브

선형 및 회전 드라이브의 사용



단단한 원형 및 직사각형 고정장치(SCF, SRF)를 사용하여 선형 드라이브와 회전 드라이브가 결합된 측정을 통해 단일 실험 내에서 온도, 주파수, 시간 또는 습도의 함수로서 복소 영(E\*) 및 복소 전단(G\*) 계수를 측정할 수 있습니다. 이러한 방식으로, 최초로 단일 시료를 사용하여 등방성 물질의 푸아송 비를 빠르고 정확하게 측정할 수 있습니다. 또한, 복합재와 같은 이방성 물질을 측정할 때는 방향에 따라 빠른 분석 및 보다 포괄적인 분석이 가능합니다.

선형 드라이브      회전 드라이브

선형 드라이브의 사용



이 모드에서 회전 드라이브는 고정된 위치로 이동하는 반면 선형 드라이브는 하중이나 변위를 제어하는 데 사용됩니다. 3점 굽힘, 단일 캔틸레버, 이중 캔틸레버, 인장 상태의 DMA 고정장치 또는 압축 상태의 DMA 고정장치와 같은 측정 시스템 조합에서 이 모드는 '고전적인' 동적 기계 분석을 최대한 정교하게 수행하는 데 적합합니다. 또한 이 모드를 통해 크리프 및 회수 시험, 일정한 응력 또는 변형 측정, 열기계 분석을 수행할 수 있습니다.

선형 드라이브      회전 드라이브

회전 드라이브의 사용



이 모드에서 선형 드라이브는 고정된 위치로 이동하는 반면 회전 드라이브는 전단 변형 또는 전단 응력을 제어하는 데 사용됩니다. 이 옵션은 고체 원형 및 사각형 고정장치(SCF, SRF), 플레이트-플레이트 또는 콘-플레이트 지오메트리와 같이 사용 가능한 고정장치와 결합하여 비틀림에 대한 동적 기계 분석과 유연학적 측정을 수행할 수 있는 가능성을 열어줍니다.

회전 드라이브

단일 드라이브 시험 모드



이 모드에서는 선형 드라이브가 제거되며 측정 장치는 일반적인 회전 레오미터로서 작동합니다. 장치에서 선형 모터 장치가 제거된 경우, Anton Paar MCR 시리즈에서 잘 알려진 모든 측정 시스템, 온도 장치 및/또는 응용 분야별 액세서리를 장착할 수 있으며, 이를 통해 시료에 대해 표준적이며 정교한 분석이 가능해집니다. 선형 드라이브 대신 두 번째 회전 드라이브를 아랫부분에 장착할 수 있으며, 이를 통해 레오미터에서 사용할 수 있는 모든 시험 모드로 고도의 유연학적 측정을 수행할 수 있습니다.

# 주요 특징

## DMA 및 유변학적 측정의 높은 유연성을 위한 고급 개념

하나의 측정 장비에 선형 드라이브와 회전 드라이브가 결합되어 선형 및 비틀림 방향에 대한 진정한 동적 기계 분석을 수행할 수 있으며, 여기에 결합된 축 방향 및 비틀림 측정과 유변학적 측정까지 더해져 재료의 용도에 가장 적합한 유형의 특성 분석을 구현할 수 있습니다.

## 독자적인 모터 설계 - 에어 베어링 기술

선형 및 회전 드라이브의 에어 베어링은 고품질 MCR 레오미터 시리즈의 동적 기계 분석 및 모든 종류의 유변학적 측정을 위해 탁월한 감도를 제공하도록 설계되었습니다.

## 정교한 하중 측정 및 넓은 변위 범위

선형 드라이브는 이동식 자석 모터의 최적화된 설계와 고급 소재 채택을 통해 자기 이력 현상을 최소화합니다. 이를 통해 최대 40 N까지 넓은 하중 범위에 걸쳐 매우 정교한 측정을 통해 부드러운 재료와 단단한 재료의 특성을 분석할 수 있으며, 예를 들어 인장 시험에서는 9.4 mm 이상의 변위 범위를 사용할 수 있습니다.

## 최고의 분해능으로 변위 측정

선형 광학 인코더는 변위를 측정하는 장치에 사용됩니다. 이러한 광학 기술은 나노미터 이하 수준의 분해능으로 안정적인 변형을 측정을 가능하게 합니다.

## 재현성 높은 결과를 위해 최적화된 측정 시스템

측정 시스템의 혁신적인 설계 - 계산 유체 역학(CFD)을 이용하여 최적화된 설계 -로 시료 내의 온도 변화를 무시할 수 있는 수준으로 보장하여 고도로 정확하고 믿을 수 있는 결과를 달성합니다. 각 측정 시스템에는 고정된 시료에서 가까운 곳에 통합 온도 센서가 있어 전체 온도 범위에서 실제 시료 온도를 측정 가능하며 재현성이 매우 뛰어납니다.

## 모든 액세서리의 간편한 장착 및 자동 구성

측정 시스템을 교체할 때는 검증된 QuickConnect 커플링으로 간편하게 작업할 수 있으며, 나사를 조이거나 추가적인 정렬 절차가 필요하지 않아 사용이 매우 간편합니다. Toolmaster™는 완전 무접촉식 자동 도구 및 구성 시스템이며, 사용 가능한 모든 측정 시스템을 인식합니다. 이를 통해 시간을 절약하고 현재 사용 중인 구성이나 복잡한 지오메트리 데이터를 소프트웨어에 수동으로 입력할 필요 없이 측정 시스템과 액세서리를 오류 없이 교체할 수 있습니다.



### MCR 702e Space MultiDrive

최대의 작업 공간이 필요할 때 완벽한 선택

노출된 지지판은 특히 다양한 유변학적 응용과 공초점 현미경과 같은 추가적인 외부 구성을 위해 모든 MCR 액세서리를 쉽게 조합할 수 있도록 최대의 작업 공간을 제공합니다. 이 장치에는 외부 전자함이 있어서 글러브 박스 설치와 같은 설치 조건에 극대화된 유연성을 제공합니다.

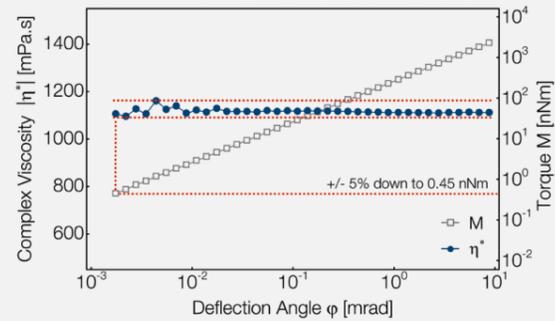


# 독자적인 모터 기술 - 최고의 정밀도를 위한 열쇠

## 회전 드라이브

EC 모터(영구 자석 동기 모터) 기반

- 로터에는 영구 자석이 장착되어 있습니다 ①
- 코일은 고정자에서 자기 극성을 생성합니다.
- 코일 내 유입되는 전류의 회전 자속에 로터가 동기되어 마찰 없이 움직입니다.
- 축 방향 ② 및 방사형 ③ 에어 베어링이 지원되어 DMA 모드에서 매우 단단한 시료의 특성 분석이 가능하며, 낮은 토크에서의 유변학적 측정도 가능합니다.



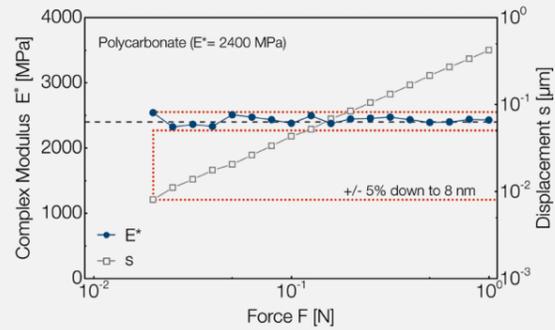
측정의 이점

- 고정자 전류와 토크 사이의 선형 관계를 통해 0.5 nNm까지 정교한 토크 측정 가능(위 그림 참조)
- 모터에서의 열 발생 및 온도로 인한 신호 드리프트가 발생하지 않는 높은 열 안정성으로 최고 230 mNm에 달하는 영구적 토크를 제공
- 신속한 토크 제어를 위한 순간적 자기장 생성

## 선형 드라이브

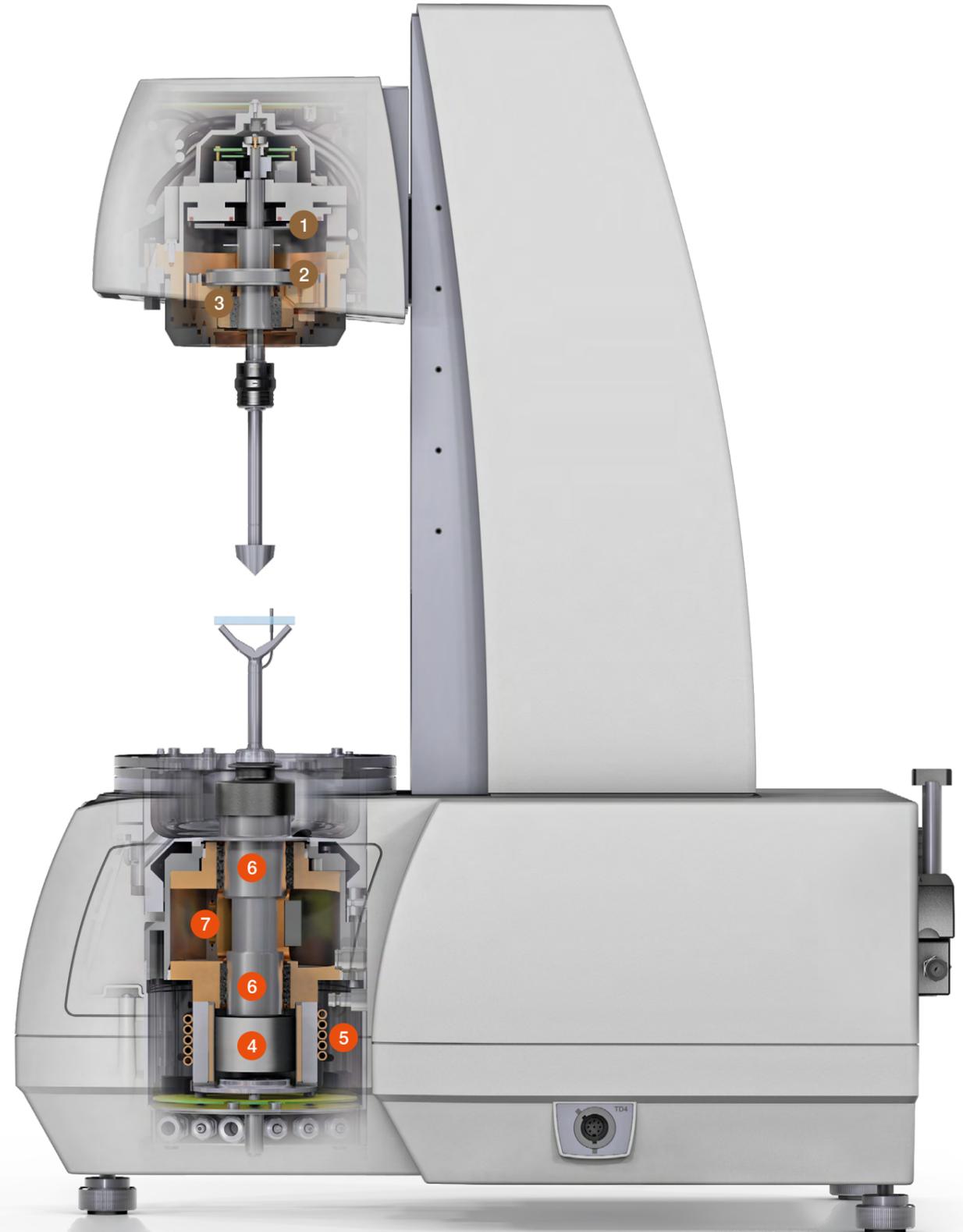
이동식 자석 모터 기반

- 영구 자석이 장착된 경량 구동축 ④
- 고정자 코일 ⑤이 자기장을 유도하며 구동축의 축 방향 운동에 영향을 미칩니다
- 독자적인 자기장 기술을 통해 가장 낮은 수준의 전류로 변위를 구현하여 광학 인코더로 측정할 수 있습니다
- 방사형 ⑥ 및 비틀림 ⑦ 에어 베어링을 통해 비틀림, 굽힘, 압축에 대해 작은 힘으로 DMA 측정이 가능하며, 단단한 물체의 비틀림에 대해서도 DMA 측정이 가능합니다

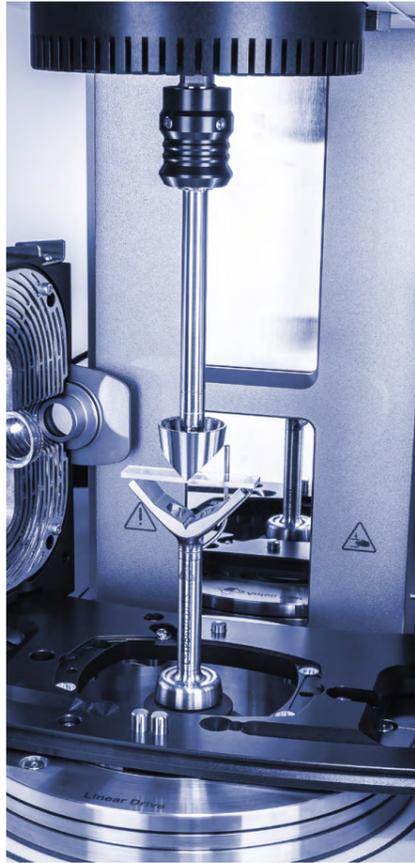


측정의 이점

- 자기장 기술은 최저 0.5 mN의 뛰어난 신호 대 잡음비로 하중 측정을 보장합니다
- 모터 개념은 완벽한 열 관리를 제공하고 최대 40 N의 높은 부하와 긴 측정 시간에서도 온도로 인한 신호 드리프트를 제거합니다
- 광학 인코더와 가장 정교한 선형 드라이브로 9.4 mm에서 10 nm까지 뛰어난 변위 범위를 만들어냅니다 (위 그림 참조)

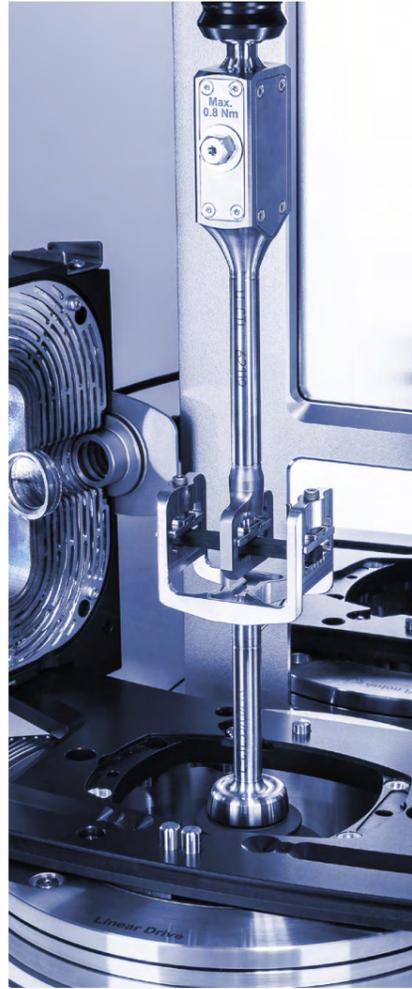


# 측정 시스템



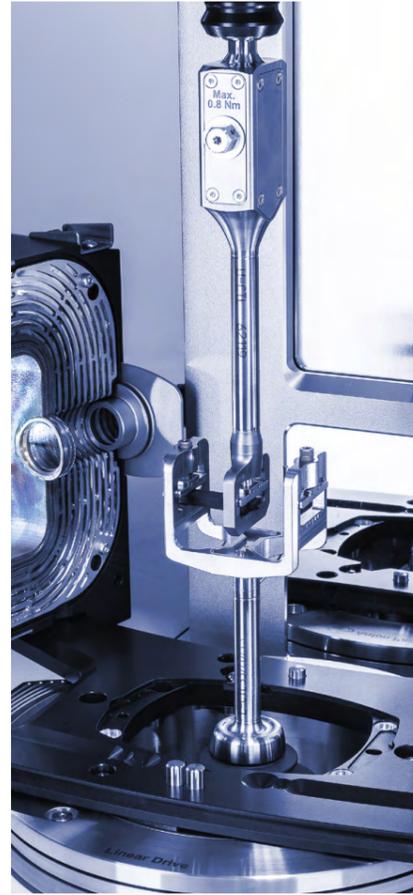
3점 굽힘 시스템

시료를 양 끝의 이동식 지지대에 위치시키고 시료의 중간 지점에 고정 샤프트를 배치합니다. 시료를 추가로 고정할 필요가 없기 때문에 구속으로 인한 측정 오류가 최소화됩니다. 이 측정 시스템은 합성물과  $T_g$  미만의 열가소성 수지, 열경화성 수지, 금속과 세라믹 등의 단단한 소재의 특성 분석에 적합합니다.



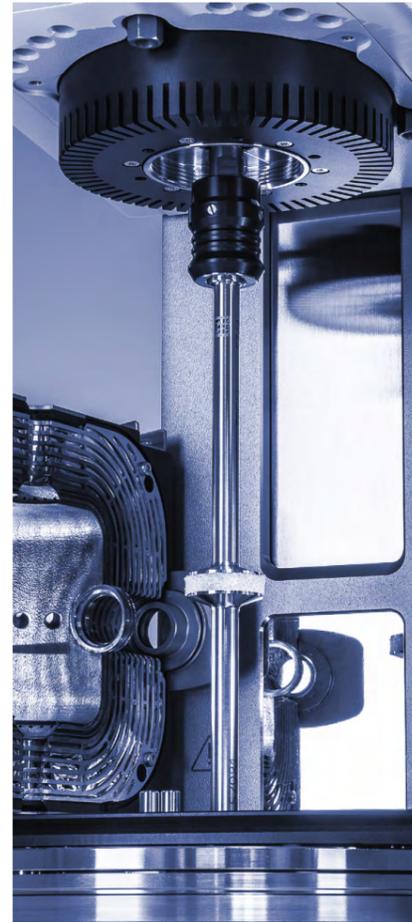
이중 캔틸레버

이 측정 시스템에서 시료는 양 끝의 두 클램프로 고정되며, 시료 중간에는 중앙 클램프가 위치합니다. 클램프로 고정한다는 점으로 인해, 이러한 측정 시스템은 늘어짐이 발생할 수 있는 덜 단단한 재료에 적합합니다.



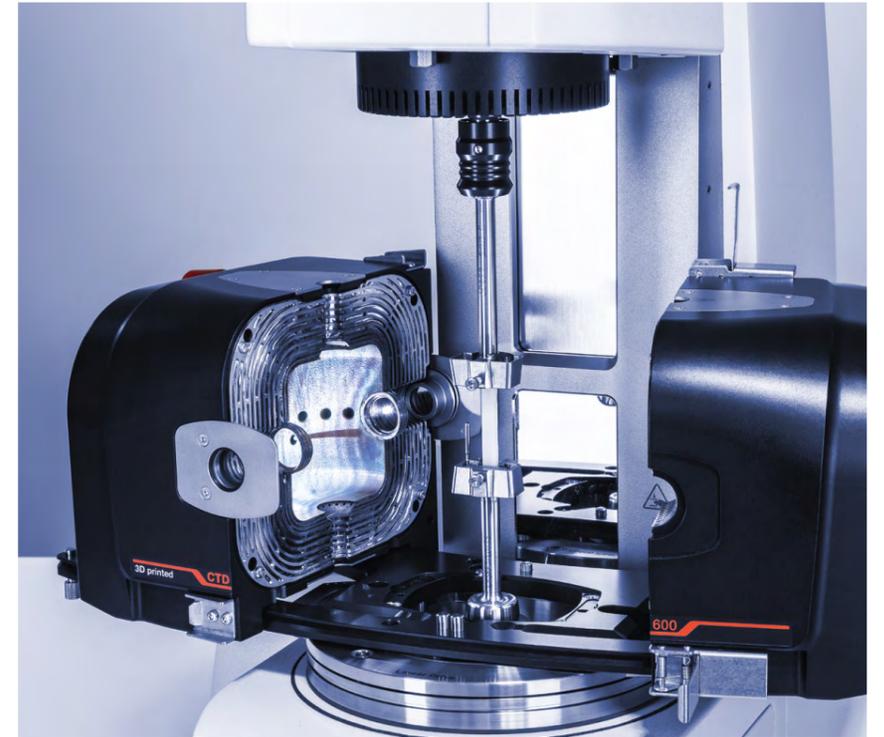
단일 캔틸레버

이 측정 시스템에서 시료는 중앙 클램프와 끝에 위치한 단 하나의 클램프 사이에 고정됩니다. 이러한 시스템은 길이가 짧은 시료에 사용할 수 있습니다. 이 측정 시스템은 늘어짐을 보일 수 있는 소재에 대해 이중 캔틸레버와 유사한 방식으로 특성 분석을 수행할 수 있습니다. 열가소성 수지와 탄성중합체를 예로 들 수 있습니다.



압축 시스템

압축 DMA의 경우 기존의 플레이트-플레이트 측정 시스템을 사용할 수 있습니다. 상부와 하부 측정 시스템 사이에 시료를 위치시키고 단축 하중을 가합니다. 이 변형 모드는 특히 폼과 탄성중합체, 그리고 기타 식품 시스템 및 젤 등 연질 고체의 특성 분석에 적합합니다.



솔리드 사각형 고정장치 및 솔리드 원형 고정장치

이 측정 시스템에서 시료는 수직으로 배치되며, 상부 및 하부 고정장치에 고정되며 단축으로 변형이 가해집니다. 이러한 측정 시스템은 특수한 설계를 통해 두께와 직경이 다른 시료를 측정 시스템의 축에 정확히 정렬하여 측정할 수 있도록 합니다. 이러한 방식으로 필름, 섬유, 막대에 대해 재현 가능한 결과를 얻을 수 있습니다.

동일한 측정 시스템을 회전 모터와 함께 사용하여 선형 드라이브를 이용한 인장 DMA를 보완함으로써 비틀림에 대한 동적 기계 분석을 수행할 수 있습니다. 그 결과 최초로 단일 시험 정의에서 시료나 측정 시스템, 기타 액세서리를 교체하지 않고 동일한 시편의 영률과 전단 계수를 측정할 수 있습니다. 이를 통해 푸아송 비, 이방성 물질의 방향 의존적 특성 분석, 인장 상태에 대한 DMA 데이터를 비틀림 상태의 DMA로 또는 그 반대로 변환할 필요 없이 전체 재료의 거동을 측정하는 등, 이전에는 DMA로 측정할 수 없었던 재료의 특성을 이제는 간단하게 측정할 수 있습니다.

✓ 통합 온도 센서가 최상의 재현성으로 시료의 온도를 감지합니다.

편  
이

✓ CFD에 최적화된 설계로 시료 내에서 가능한 가장 낮은 온도 구배를 보장합니다

✓ 견고한 지오메트리를 통해 규제 준수와 관련된 문제 없이 단단한 시료의 특성 분석이 가능합니다.

✓ QuickConnect 기능으로 나사 없이 신속하게 측정 시스템을 교체할 수 있습니다

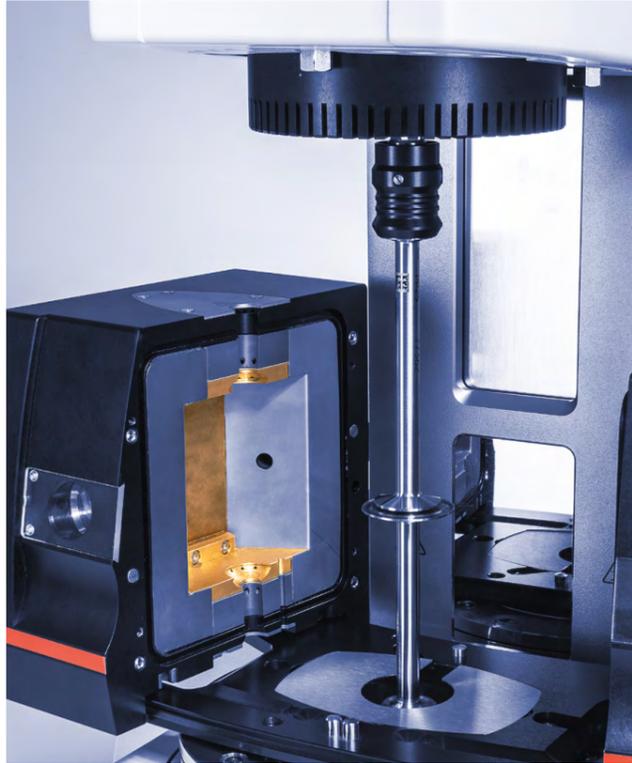
편  
이

✓ Toolmaster™ 기능을 사용하면 소프트웨어를 별도로 수동 설정할 필요 없이 자동으로 도구를 인식하고 구성합니다

✓ 자동 ZeroGap/ZeroAngle을 통해 복잡한 정렬 절차 없이 측정시스템의 재현 가능한 위치를 보장합니다.

# 온도 및 습도 적용을 위한 액세서리

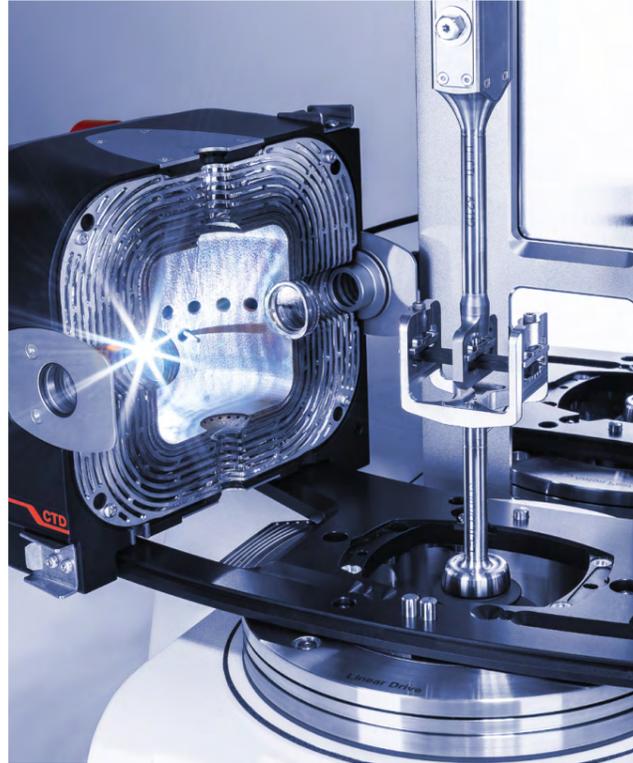
Anton Paar는 DMA와 유변학의 특정 요구 사항에 맞춘 다양한 대류 온도 장치(CTD)를 제공합니다. 이 온도 장치는 -160 °C에서 +1000 °C의 온도 범위에 적용 가능하며 공기나 불활성 기체에 사용할 수 있습니다. 모든 시스템은 쉽게 교체할 수 있으며 전체 온도 범위에서 정확한 온도 제어를 보장합니다.



**CTD 180 HR**

Peltier 기반 대류식 온도 제어

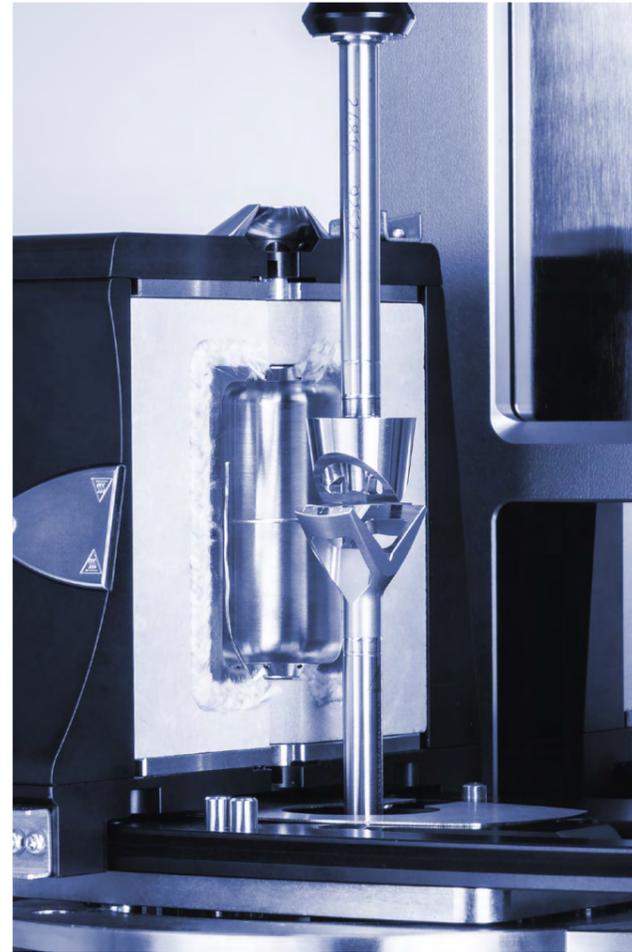
- 온도 범위 -20 °C ~ +180 °C
- 가스 냉각기 또는 액체 질소와 같은 추가 냉각 옵션을 사용하지 않는 냉각에 적합
- 고분자, 식품, 의약품에 대한 상대 습도의 영향을 분석하기 위한 완벽한 선택



**CTD 600 MDR**

대류와 복사를 결합한 가장 정밀한 최첨단 온도 제어 기능

- 온도 범위: -160 ~ +600 °C
- 최저 및 최고 온도에서도 정확하고 안전한 온도 제어를 할 수 있도록 하는 혁신적인 3D 금속 프린팅 생산 기술
- 처짐, 슬립, 파손 또는 광학적 위상 전환과 같은 측정 영향을 파악할 수 있는 디지털 아이 카메라 옵션



**CTD 1000 MDR**

가장 넓은 온도 범위를 위한 강력한 대류 온도 제어

- 온도 범위: -150 ~ +1,000 °C
- 금속 및 합금, 유리 및 세라믹의 특성 분석에 적합



**저온 옵션**

- 옵션 1: 최저 -160 °C의 온도를 위한 EVU 20
- 액체 질소의 증발과 CTD 600 MDR 또는 CTD 1000 MDR에 대한 질소의 지속적인 흐름을 제어합니다.
  - 가스 공급이 자동으로 공기 또는 불활성 가스로 전환되어 CTD 600 MDR의 전체 온도 범위를 커버합니다.

- 옵션 2: CTD 600 MDR용 가스 냉각 장치 및 -90 °C까지 온도 지원
- 압축 가스(공기 또는 불활성 가스) 사용
  - 내부 안전 규정에 따라 액체 질소 사용이 금지된 경우 완벽한 선택입니다.

**CTD 180 HR의 습도 옵션**

- 외부 습도 발생기는 실제 온도에 따라 5 %에서 95 % 까지 상대 습도 제어 가능
- 재료의 건조, 연화, 경화에 대한 영향 연구에 사용

모든 MCR 액세서리 사용 가능

- ✓ 시스템 내에서 균일한 가스 흐름으로 온도를 제어하여 정확도가 높음

편의

- ✓ 최고 온도에서 장시간 측정 가능

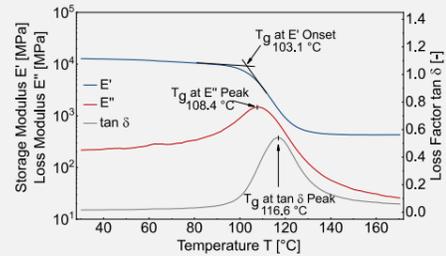
- ✓ 저렴한 운영 비용과 낮은 토크 및 하중에서도 정확한 측정을 위한 낮은(불활성) 가스 소비

선형 드라이브를 제거하면 MCR 702e MultiDrive를 CMT(결합형 모터 변환기) 레오미터로 사용할 수 있습니다. 이 구성은 모든 온도 장치와 필요한 용도별 액세서리에 사용할 수 있으며, 무수히 많은 옵션을 선택할 수 있습니다. 또한, Anton Paar는 특정 응용 분야를 위한 맞춤형 제품도 공급하고 있습니다. 이러한 제품에는 액체에 잠긴 고체에 대한 DMA 시스템, 일회용 또는 맞춤형 지오메트리와 결합 가능한 샤프트, 굽힘 모드에서 일반적인 DMA 측정 시스템으로 분말 시료를 시험하기 위한 재료 포켓, 축 전단 방향에 대한 DMA로 점탄성 재료의 특성 분석을 수행하는 전단 샌드위치 등이 포함됩니다. 상세한 개요는 Anton Paar 웹사이트를 참조하십시오.

# MCR 702e MultiDrive - 동적 기계 특성 분석을 위한 가장 다재다능한 플랫폼

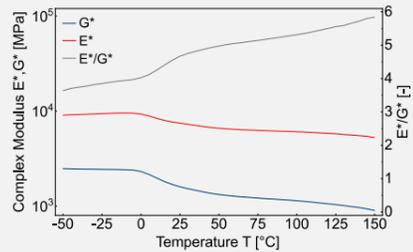
사양

5-in-1 기능을 갖춘 MCR 702e MultiDrive는 동적 기계 특성 분석에 사용할 수 있는 가장 포괄적인 범위의 시험 모드를 제공합니다. 다음 네 가지 측정 예시를 통해, 일반적인 복합 재료의 특성 분석 및 최적화를 위해 고분자 산업에서 중요한 용도에 대해 설명합니다. MCR 702e MultiDrive를 사용하면, 이러한 모든 측정을 하나의 장치를 통해 높은 품질로 수행할 수 있습니다.



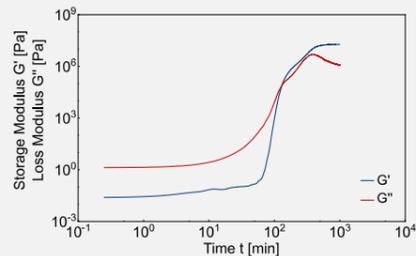
## 1. 굽힘에 대한 DMA

탄소 섬유 강화 고분자(CFRP)의 점탄성 특성을 측정하기 위해 굽힘 모드에서 DMA를 수행하는 경우가 있습니다. 이 그림은 Tg의 측정에 일반적으로 사용되는 세 가지 방법을 나타냅니다 (온셋 G', G''의 피크, tan δ의 피크). 이는 사용 중 재료의 적절한 적용 온도와 실제 기계적 특성을 측정하기 위해 사용할 수 있습니다.



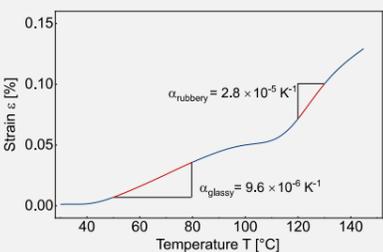
## 2. 축-비틀림 결합 모드에 대한 DMA

고분자 복합재는 이방성에 의해 변형 모드에 따라 크게 달라지는 점탄성 특성을 보일 수 있습니다. 이 예는 비틀림 상태의 DMA와 CFRP의 인장 상태의 DMA에 대한 온도 의존적 결과를 나타냅니다. E\*와 G\* 사이의 변화율은 하중 방향에 따른 CFRP의 기계적 특성이 온도에 따라 다양한 정도로 영향을 받고 있음을 나타냅니다.



## 3. 유변학

에폭시 수지는 일반적으로 CFRP의 고분자 매트릭스로 사용됩니다. 가교 반응 시 그 기계적 특성이 변합니다. 등온 진동 시간 스윕을 수행하면 가교의 개시 및 속도, G' 및 G''의 교차점, 최종적인 기계적 특성을 쉽게 측정할 수 있습니다. 따라서 레진 시스템의 거동을 제어 및 개선하여 우수한 부품 품질을 보장할 수 있습니다.



## 4. 열기계 분석

열팽창 거동에 대한 지식은 구성품 설계 및 시뮬레이션에 중요한 요소입니다. 약 100 °C부터 치수 변화의 불연속성이 보이기 시작하며, 이는 DMA 시험에서 결정된 유리 전이 온도와 밀접한 관계가 있습니다. 이 결과는 유리 상태와 고무 탄성 상태를 비교할 때 열팽창 계수(CTE)가 다른 값을 나타낸다는 것을 보여줍니다.

	단위	사양
<b>인장, 굽힘, 압축에 대한 DMA용 선형 드라이브</b>		
최대 하중	N	40
최소 하중	N	0.0005
최대 변위	µm	9,400 <sup>(1)</sup>
최소 변위	µm	0.01
최대 주파수	Hz	100
최소 주파수	Hz	0.001

<b>비틀림 및 유변학에 대한 DMA용 회전 드라이브</b>		
최대 토크	mNm	230
최소 토크, 회전	nNm	1
최소 토크, 진동	nNm	0.5
최대 편각(설정값)	µrad	∞
최소 편각(설정값)	µrad	0.05
최대 각속도	rad/s	314
최소 각속도	rad/s	0 <sup>(2)</sup>
최대 각 주파수	rad/s	628 <sup>(3)</sup>
최소 각 주파수 <sup>(4)</sup>	rad/s	10 <sup>-7</sup> <sup>(5)</sup>
수직력 범위	N	-50 ~ +50

<b>온도 제어</b>		
최대 온도 범위	°C	-160 ~ +1,000 <sup>(6)</sup>
최대 가열 속도	K/min	60 <sup>(6)</sup>
최대 냉각 속도	K/min	30 <sup>(6)</sup>

회전 드라이브만 사용할 경우의 일반 기능, 측정 시스템, 액세서리 및 사양에 대한 자세한 내용은 MCR Evolution 책자에서 확인할 수 있습니다.

<b>기능</b>	
인장, 굽힘, 압축에 대한 DMA	✓
비틀림에 대한 DMA	✓
축-비틀림 결합 모드에 대한 DMA	✓
열기계 분석	✓
Toolmaster™, 측정 시스템	✓
Toolmaster™, 측정 셀	✓
측정 시스템용 QuickConnect(나사 불필요)	✓
T-Ready™	✓
저온 옵션, 질소 증발 장치	○
저온 옵션, 가스 냉각기	○
습도 옵션	○

✓ 포함 | ○ 옵션

- 진동 시 최대 ±4,500 µm의 변위
- 전단 응력 제어(CSS) 모드에서 전단 속도 제어(CSR) 모드에서 측정 지점 지속 시간 및 샘플링 속도에 따름
- 다중 파장 기능을 사용하면 더 높은 주파수(측정 시스템 및 시료에 따라 942 rad/s (150 Hz) 이상)를 사용할 수 있습니다.
- 주파수를 10<sup>-4</sup> rad/s 미만으로 설정 시 측정 지점 지속 시간이 1일을 초과하므로 실질적인 관련성이 없어집니다.
- 이론값(주기당 지속 시간 = 2년).
- 한계는 사용 중인 대류 온도 장치 및 측정 시스템에 따라 다릅니다. 요청 시 -170 °C까지의 온도를 위한 맞춤형 저온 옵션이 제공됩니다.



**Anton Paar**

**안톤파코리아주식회사**

경기도 성남시 분당구 양현로 240 (이매동, 13566)

**Anton Paar** Korea Ltd.

240, Yanghyeon-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,  
Gyeonggi-do, 13566, Republic of Korea

Tel.: 02-6747-5771 Fax: 02-6747-5772

info.kr@anton-paar.com