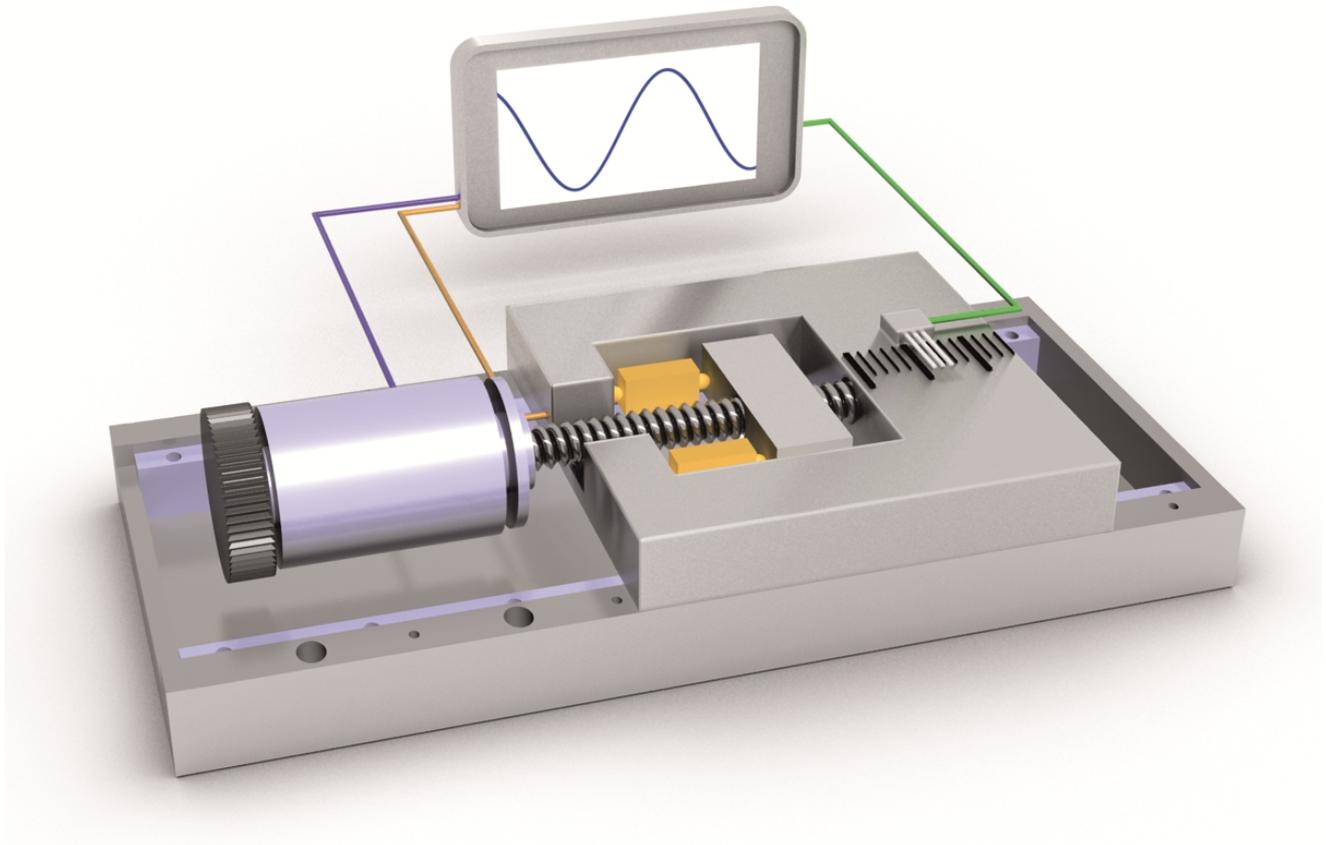


피에조 액추에이터와 하이브리드 나노포지셔닝 시스템

Long Travel Ranges, Heavy Loads, and Exact Positioning



1 소개

하이브리드 드라이브는 두 가지 드라이브 컨셉과 이점을 취합해 고성능의 정밀 포지셔닝 시스템으로 결합합니다. 한 드라이브가 애플리케이션의 모든 요구 사항을 충족할 수 없을 때 매우 유용한 솔루션입니다. 예를 들어 긴 변위, 무거운 하중, 나노미터 정밀도를 달성해야 할 때입니다. 따라서 피에조 드라이브와 기존의 드라이브 나사를 결합한 나노 시스템도 실용적인 솔루션을 제공하며 다른 드라이브 컨셉도 가능합니다.

반도체 제조, 품질 보증, 광학 검사 등이 하이브리드 드라이브를 응용하는 대표적인 애플리케이션입니다.

리니어 모터는 긴 변위에서 높은 포지셔닝 정확도와 반복정밀도를 제공하지만 로드를 견디는 리니어 가이드의 마찰이 크다는 단점이 있습니다.

그럼에도 불구하고 보이스 코일 액추에이터는 정밀 포지셔닝뿐만 아니라 힘 제어 및 부드러운 모션도 제공합니다. 그러나 이동 범위는 100mm로 제한되며, 전원을 켤 때만 정지 상태의 하중을 지탱할 수 있습니다.

2 일렉트릭 모터 및 보이스코일 하이브리드 컨셉

하이브리드 포지셔닝 시스템을 위해 다양한 컨셉이 이미 개발되고 구현되었습니다. 예를 들어, 리니어 모터와 보이스 코일 액추에이터의 조합입니다. (그림1 참조)

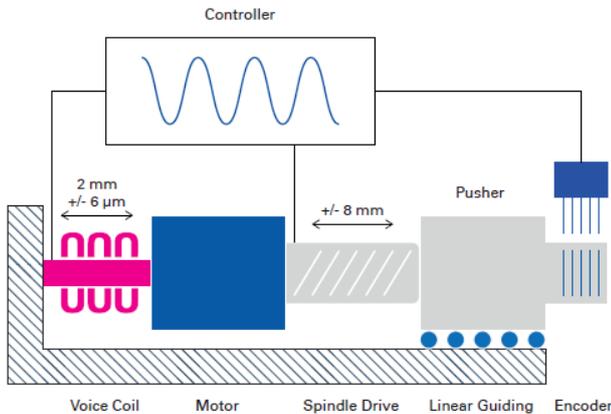


Fig. 1 일렉트릭 모터와 보이스 코일 액추에이터의 하이브리드 컨셉 (image: PI)

3 피에조 워킹 드라이브 및 액추에이터의 하이브리드 컨셉

PI는 이미 반도체 검사와 같은 다른 애플리케이션을 위한 하이브리드 드라이브 컨셉을 성공적으로 개발 및 확립하였습니다.



Fig. 2 피에조 워킹 드라이브 및 액추에이터의 하이브리드 컨셉 (image: PI)

긴 이동 범위와 강성이 높은 PiezoWalk® 드라이브는 다이내믹한 애플리케이션을 위한 PICMA® 액추에이터와 결합됩니다.(그림2 참조). 이 경우, 장점은 PiezoWalk® 드라이브의 설계에 따라 높은 Holding forces를 실현할 수 있다는 것입니다. 또한, PICMA® 드라이브의 높은 역동성은 스캔할 물체에 빠르게 포커싱하기 위해 중요한 요소입니다.

4 일렉트릭 모터 및 피에조 액추에이터의 하이브리드 컨셉

PI는 고도 300m 높이의 칠레 아타카마 사막에서 Europe Southern Observatory(ESO) 공학자 및 천문학자들과 함께 최대의 지상 망원경을 만드는 프로젝트를 진행하고 있습니다.



Fig. 3 유럽 거대 망원경(ELT)은 가시적 및 준적외선 파장 범위 내 전자기 방사선의 과학적 평가를 위한 가장 큰 지상 망원경 될 것입니다.

이 망원경의 혁신적인 디자인은 직경 39m의 메인 미러(M1)로 구성되어 있으며, 798개의 독립적인 미러 세그먼트로 나뉩니다. 각 미러 세그먼트는 직경이 1.4m이고 변위가 $\pm 5\text{mm}$ 인 세 개의 독립된 하이브리드 드라이브로 배치됩니다.

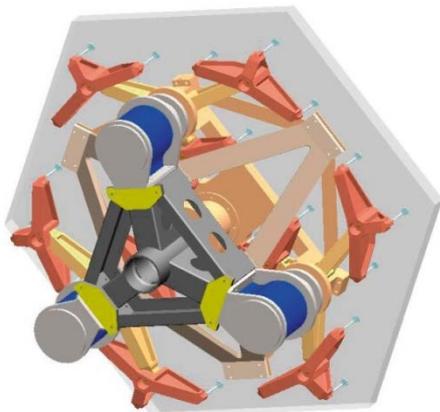


Fig. 4 메인 미러 세그먼트에 대한 설명으로, 세 개의 하이브리드 드라이브가 파란색으로 표시되어 있습니다. (image: ESO)



Fig. 5 M1 세그먼트 서브 유닛의 컨셉 디자인 (Image: ESO)

각 미러의 세그먼트는 약 250kg의 무게를 지지해야 합니다. 망원경의 서로 다른 정렬로 인해 총 2,394개의 액추에이터가 463N과 1,050N 사이의 push/pull forces로 움직이고 로드를 유지할 수 있어야 합니다. (그림5 참조)

망원경의 가장 중요한 임무 중 하나는 우주의 가장 선명한 이미지를 제공하는 것입니다. 연구원은 태양계 너머에 있는 외계행성을 찾는 데 사용할 수 있습니다. 따라서 가장 큰 기술적 과제는 최대 범위 편차가 2nm인 전체 범위에 걸쳐 미러 세그먼트를 이동하는 것입니다.

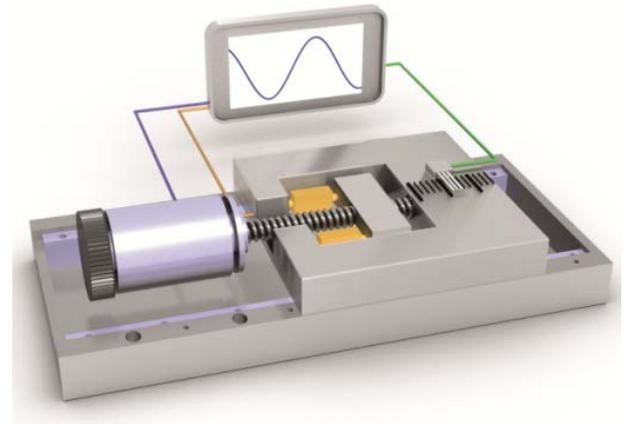


Fig. 6 일렉트릭 모터는 무거운 로드와 긴 변위에 적합합니다. 피에조 드라이브와 결합하여 하이브리드 시스템은 서브나노미터 범위에서 포지셔닝 정확도를 제공합니다. (image: PI)

PI는 이러한 높은 패스 정확도를 달성하기 위해 해비 로드와 긴 변위에 적합한 모터 드라이브 스크류를 피에조 액추에이터와 결합하는 하이브리드 개념을 개발했습니다(그림6 참조). 매우 다른 두 드라이브를 직렬로 조합하면 강력하고 고정밀한 포지셔닝 시스템이 만들어집니다(그림7 참조).



Fig. 7 직경 약 200mm, 전체 길이 약 285mm인 매우 견고한 하이브리드 리니어 액추에이터 (image: PI)

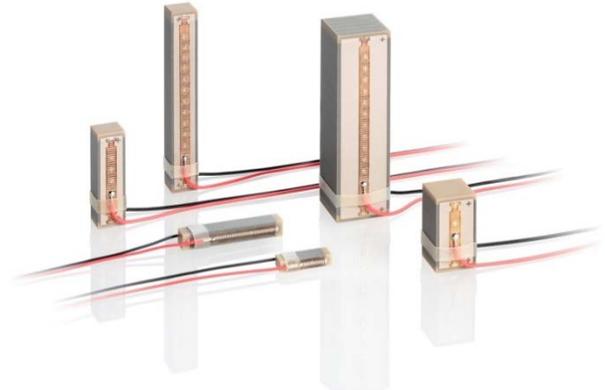


Fig. 8 피에조 액추에이터: 의료 기술, 연구, 산업, 생명 과학, 현미경 등에 적용이 가능하다. (image: PI)

망원경 세그먼트를 위한 하이브리드 드라이브에 사용되는 피에조 액추에이터는 아타카마 사막의 불리한 조건에 견디기 위해 질소로 채워진 메탈로 캡슐화됩니다(그림9 참조).

4.1 피에조 액추에이터의 서브 나노미터 정확도

압전 소재에 전기 전압이 적용될 때 발생하는 정밀 모션은 나노포지셔닝에 매우 중요합니다. 전력은 결정질 고체 상태 내에서 기계적 에너지로 변환되는데, 이는 회전 또는 마찰 부품이 없다는 것을 의미합니다.

피에조 액추에이터는 높은 정밀도뿐만 아니라 유지 관리 및 마모도 없습니다. 또한, 몇 톤의 무게도 움직이게 할 수 있습니다. 전기적으로 용량성 부하로 작동되며 정지 시에는 거의 전원이 필요하지 않습니다. 전원 회로의 동작은 전기 캐패시터와 매우 유사해서 정지 시에는 발열이 없습니다.

피에조 액추에이터는 수명이 뛰어납니다. PICMA® 멀티레이어 액추에이터의 경우(그림8 참조) 액티브 레이어는 얇은 세라믹 필름으로 구성되며 공기 누출 및 습도로부터 보호되는 세라믹 절연 레이어로 둘러싸여 있습니다.

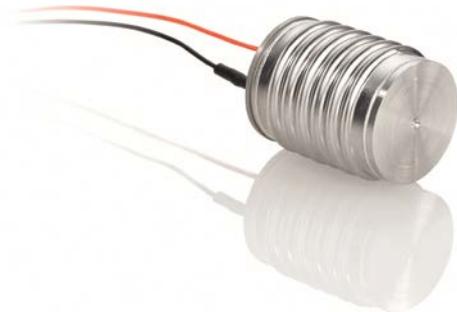


Fig. 9 하이브리드 드라이브 컨셉의 캡슐화된 PICMA® 리니어 액추에이터 (image: PI)

4.2 드라이브 시스템을 위한 고분해능 센서

하이브리드 드라이브의 또 다른 특징은 고분해능 센서로 두 드라이브를 동시에 지속적으로 제어할 수 있습니다. 이것이 전체 변위에서 피에조 액추에이터의 높은 분해능을 구현하는 유일한 방법입니다.

고분해능 센서는 증분식 광학 인코더로 드라이브 축 근처에 배치됩니다(그림10 참조). 0.1nm 분해능으로 작동하며, 아타카마 사막에서 망원경의 위치 변화에 민감하지 않습니다.

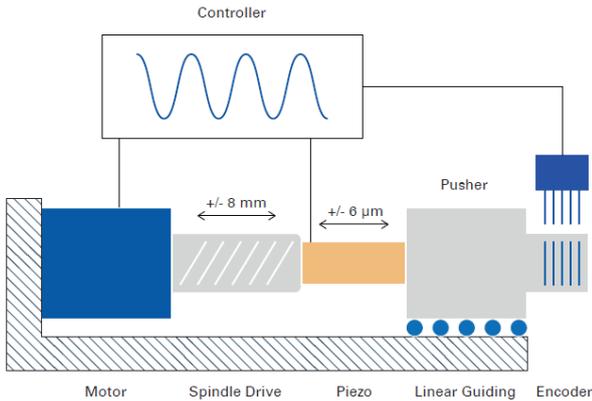


Fig. 10 하이브리드 드라이브의 개략도. 단일 고해상도 리니어 인코더를 사용하는 공통 컨트롤을 통해 높은 포지셔닝 정확도 및 일정한 속도를 제공합니다. (image: PI)

모터 드라이브 스크류는 몇 mm에서 최대 1m까지 이어지는 무거운 로드와 긴 변위에 적합합니다. 피에조 액추에이터는 액추에이터 길이의 약 0.1에서 0.15%의 변위를 제공하지만, 그럼에도 불구하고 고분해능 센서 1개로 나노미터 미만의 포지셔닝 정밀도를 달성하여 모터 드라이브의 부정확성을 보상할 수 있습니다.

드라이브 스크류는 브러시리스 하이-토크 모터에 의해 구동됩니다.

기어 헤드는 제로-플레이 구동 및 일정한 변속기 비율을 보장하므로 모터가 매우 작을 수도 있습니다. 높은 변속기는 또한 모터의 자동 잠금을 지원합니다.

전용 컨트롤러가 두 드라이브를 동시에 제어하고 고분해능 포지셔닝 시스템을 제어합니다. 서보 알고리즘은 모터와 피에조 시스템을 단일 드라이브 유닛으로 간주하고 실제 모션과 계산된 궤적을 비교합니다.

하이브리드 드라이브의 제어 원리는 이해하기 쉽습니다(그림11 참조): 모터 전압은 피에조의 제어 전압에서 파생됩니다. 이 전압이 클수록 모터가 더 빠르게 구동합니다. 피에조가 팽창하면 모터는 드라이브 나사를 같은 방향으로 움직입니다. 이러한 방식으로 드라이브 나사의 대략적인 포지셔닝은 피에조의 미세한 포지셔닝에 의해 보완됩니다. 동시에, 드라이브 스크류는 항상 피에조를 자동으로 제로 포지션에 위치시킵니다. 이렇게 하면 양방향으로 위치를 수정할 수 있는 최상의 조건이 됩니다. 또한 비교적 긴 변위와 높은 위치 정확도를 결합할 수 있습니다.

이러한 유형의 하이브리드 드라이브의 특성은 망원경뿐만 아니라 높은 정밀도로 위치 감지, 긴 변위에서 반복적인 이동, 나노미터 정밀도로 목표 위치에 도달해야 하는 경우에 실용적인 솔루션입니다. 다른 일반적인 애플리케이션으로는 측정 기술, 표면 검사, 반도체 제조, 현미경 및 레이저 기술 등이 있습니다.

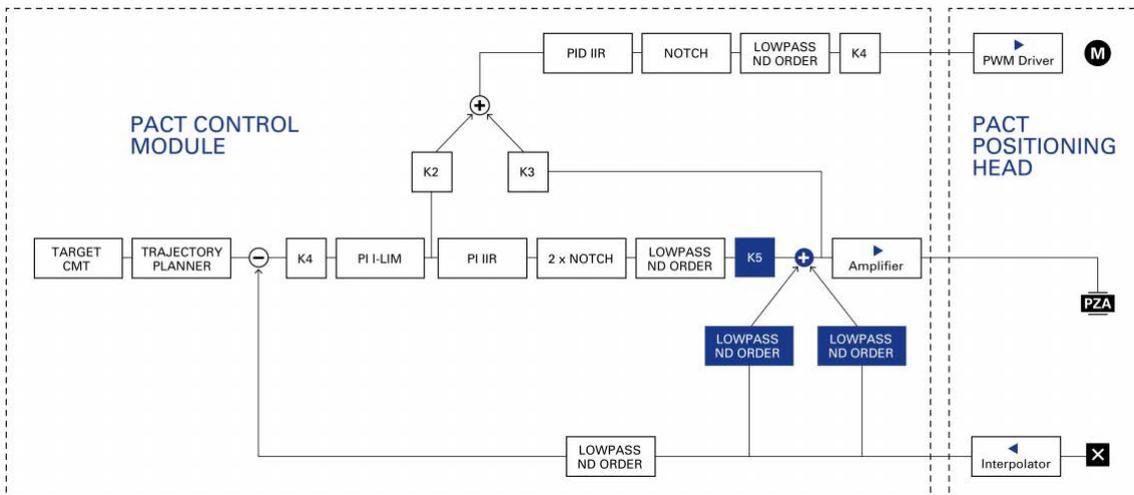


Fig. 11 컨트롤러 구조 (image: PI)

5 저자



Oliver Dietzel, Team Leader for Project Management
Corporate Platform Development at Physik Instrumente (PI)
GmbH & Co. KG

6 PI 소개

PI(Physik Instrumente)는 정밀 포지셔닝 기술을 갖춘 고품질의 제품을 제공하는 글로벌 리더입니다. PI는 40년 이상 피에조 또는 모터 드라이브로 스탠다드 및 OEM 제품을 개발 및 제조하고 있습니다.

PI는 혁신적인 드라이브 컨셉, 제품 및 시스템 솔루션의 지속적인 개발과 200개 이상의 기술 특허를 보유하고 있습니다.

PI는 모든 핵심 기술 자체를 개발, 제조 및 인증합니다. 피에조 부품, 액추에이터, 모터뿐만 아니라 에어베어링, 마그네틱 다이렉트 드라이브, 제어 기술, 소프트웨어를 제공합니다. 아울러 PI는 고객에게 최상의 솔루션을 제공하기 위해 끊임없이 연구 및 개발하며 새로운 요구 사항에 유연하게 대응할 수 있습니다.

PI는 다축 구동 시스템을 위한 모듈형 모션 컨트롤러의 세계적인 개발 및 제조업체인 ACS Motion Control의 다수 지분을 인수함으로써 정밀도 및 역동성에 대한 요구가 높은 산업용 애플리케이션을 위한 맞춤형 시스템을 공급할 수 있게 되었습니다. 독일의 4개 지역 외에도 15개의 해외 지사를 통해 국제적으로 성장하고 있습니다.