

나노테크놀로지와 정밀공학 - 나노구동 계측제어

김승우, KAIST 기계공학과 교수

오늘날 현대 산업사회를 주도하고 있는 반도체 및 정보통신을 포함한 제반 첨단산업은 하드웨어 면에서 초정밀(ultra-precision)이라는 기술적 특성을 공동기반으로 하고 있다. 이는 반도체의 고집적화, 광자기 메모리의 고용량화, 광섬유 활용 다채널 고속 통신망, 그리고 고분해능 레이저 프린터등의 대표적인 예를 통해 쉽게 짐작할 수 있다. 이러한 현대첨단산업의 초정밀 수요를 위해 1970년도부터 세계적으로 정밀공학(precision engineering)이라는 다학제간(multi-disciplinary) 학문이 탄생되었으며, 이는 기계, 전자, 그리고 광학 기술을 복합적으로 연계하여 정밀메카니즘의 설계, 측정, 그리고 가공에 대한 전문적인 연구를 대상으로 하고 있다. 현재 초정밀을 향한 정밀 핵심기술의 보유는 한 국가의 제반 첨단산업의 국제적 경쟁력 확보를 위해 필수적인 공통 기반기술로서 자리 매김을 하고 있다.

정밀공학에서의 계측제어(precision measurement/control)기술의 발전은 1990년도에 들어 0.1 나노미터 (nanometer; $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)의 변위분해능을 갖는 초정밀 위치결정(ultra-precision positioning)을 가능하게 하였다. 이는 광기전(光機電) 복합기술의 발전에 근거하고 있으며, 최근 순수과학 및 공학 분야에서 획기적인 파급효과를 창출하고 있다. 대표적인 예로 물리학 분야에서는 STM(scanning tunneling microscopy)과 AFM(atomic force microscopy)의 출현으로 연계되어 단위원자(single atom) 수준의 초미세 측정과 조작이 가능하게 되었다. 그리고 생명과학 분야에서의 유전자(DNA)의 관측 및 조작을 가능하게 하고 있다. 공학분야에서의 파급효과는 초정밀 메카트로닉스기술의 도약을 유도하여 반도체 제조 및 검사장비, 광통신부품, 광자기디스크 등의 기 능고도화의 획기적인 진전을 이루고 있다.

현재 초정밀을 향한 정밀공학분야에 있어서 당면하고 있는 문제중의 하나가 “20세기 후반부에 확보된 0.1 나노미터의 초정밀 변위 위치결정 분해능을 어떻게 0.1 미터 이상의 대역 범위에서까지 구현할 수 있을까?”이다. 사실 오늘날의 초정밀 계측제어는 수 마이크로미터 수준의 대단히 작은 영역에 제한되고 있다. 주된 기술적 이유는 위치결정 변위 창출을 위해 현재 사용되고 있는 구동기와 계측기술의 작동영역이 작은 압전구동기(piezoelectric actuators)와 정전용량 변위센서(capacitive displacement sensor)등에 의존하기 때문이다. 반면 산업분야에서의 초정밀 위치결정의 수요는 반도체 웨이퍼의 대형화 및 고집적화, 광통신부품의 고정밀화 및 대형화, 광자기메모리의 고집적화 및 대형화 추세에 따라 가공의 허용공차는 0.1 나노의 극초정밀 수준을 유지하면서도 제품의 크기는 0.1 미터를 넘어서 1 미터까지 대형화되어 가는 추세이다.

본 논문에서는 현재 전 세계적으로 연구되고 있는 나노구동을 위한 초정밀 계측제어 기술의 현황과 발전방향에 대하여 소개한다.