

나노기술과 기계 (1)



정 규 원

(충북대학교 기계공학부)

그동안 기계공학과 기계기술은 1000분의 1을 나타내는 “마이크로”를 이용하여 그 성능을 표현한 경우가 많이 있었다. 대표적인 공작기계중에 범용으로 사용되는 밀링 또는 CNC 등의 정밀도가 마이크로미터로 표현되고 있으며, 각종 측정에 사용되는 센서의 성능 또는 선형성, 분해능등이 0.1% 즉 마이크로를 이용하여 표현되어 왔다. 20세기에 세계대전을 겪으면서 발전되어 마이크로로 표시되어 왔던 기술이, 20세기를 마무리하는 시점에 등장하기 시작하여 새천년의 벽두부터 키워드가 된 “나노” 기술에 자리를 내어 주는 것 같다. 그러나 아직 나노기술이 기계공학자들에게는 생소하며, 반도체 기술에 선두자리를 내어 주며 3D 분야로까지 인식되고 있는 기계기술을 혁신할 수 있는 가능성을 타진해 보고자 하여, 본 소고에서는 “나노”에

관하여 개괄적인 소개부터 시작하여 기계기술 또는 기계공학에 관련된 분야까지 소개하고자 한다.

1. 나노기술 등장

나노기술은 물질을 나노미터($10^{-9}m$) 크기인 원자 분자수준에서 현상을 규명하고, 구조 및 구성요소를 조작하는 데 필요한 전반적인 과학과 기술을 지칭한다고 할 수 있다. 나노는 10^9 을 나타내는 접두사로 사용되고 있는데, 회랍어인 나노스(난쟁이)에서 유래되었으며, 1 나노미터는 머리카락 두께의 약 5만 ~ 10만 분의 1 의 크기이며, 그림 1에서 보여주듯이 전자가 1개인 수소원자의 크기 즉 전자궤도의 지름이 약 1옹스트롬 즉 $10^{-10} m$ 정도이다. 그러나 단순히 단

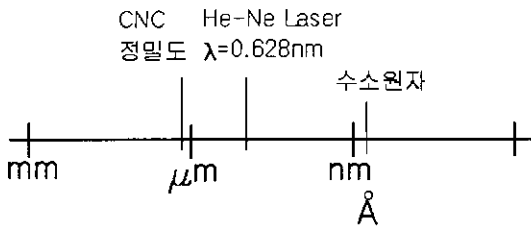


그림 1 스케일 비교

위의 접두사를 벗어나 이 세기의 키워드가 되기에는 많은 과정이 있었다.

나노기술이 본격적으로 관심을 끌기 시작한 것은 Eric Drexler가 박사학위과정의 연구결과로서 작성한 책인 “창조의 엔진” (Engines of Creation)을 1986년에 출판한 것으로 일반적으로 받아들여지고 있다. 저자는 미국 MIT에서 학제간 과학 전공 (Interdisciplinary Science)으로 학사, 공학 전공 (Engineering)으로 석사, 분자 나노기술 전공 (Molecular Nanotechnology)으로 1991년 공학박사학위를 받았다. 이 책에서 나노기술의 개념에 대하여 상세히 기술하고 있으며, 공학적으로 개념이 설명되어 있다. 이 책의 내용은 web 사이트에서 온라인으로 읽을 수 있으며, 나노기술을 이해하기에 도움이 되는 내용을 일부만 언급하면 다음과 같다.^(3,4)

인류가 선사시대부터 여러 가지 기계를 만들고 발전시켜 왔는데, 그 과정을 보면 큰 덩어리의 물질을 쪼개어 기계를 만들었다. 석기시대에는 큰 돌을 쪼개어 손도끼를 만들었으며, 공작기계도 큰 덩어리 재료를 밀링, 선삭등의 작업으로 작게 깎아서 부품을 만들고, 최근의 반도체 칩 제조공정도 큰 웨이퍼 잉곳을 잘게 쪼개는 과정이 주된 공정이다. 물론 중간 공정으로 용접 등 재료를 부착시키는 과정이 있으나, 이 또한 큰 재료를 쪼개는 과정을 거쳐야 한다. 그러나 나노기술에서는 이와 반대의 공정을 이용한다. 즉 물질로서 성

질을 갖추고 있는 가장 작은 원자들을 설계도에 따라서 부착시켜서 소기의 기능을 갖는 기계 또는 장치가 되도록 한다. 원자들을 모아서 만든 것을 기계라고 할 수 있는가? 기계의 사전적인 의미를 보면, “유용한 일의 실행과 같은 특정한 목적을 수행하기 위하여 미리 결정된 방식으로 힘을 변화, 전달, 또는 직접적으로 작용시키기 위하여 강체들로 구성되고, 연결된 시스템”인데, 원자들의 모임으로 만들어진 분자 기계 (molecular machine) 역시 이런 정의에 잘 맞는다. 그림 2는 원자들을 모아서 만든 유성기어를 개념적으로 보여주고 있다.

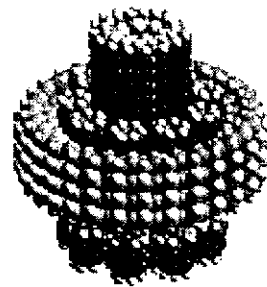


그림 2 원자 유성기어의 개념도
(<http://www.zyvex.com/nanotech/visuals.html>)

이런 나노기술은 앞에서 언급한 저서 이후에 급격히 시작되었다고 볼 수 있는데, 그 가능성은 1959년에 리처드 파인만 (Richard Feynman) 이 행한 연설 (There's Plenty of Room at the Bottom) 에서 언급하였다. 그 이전까지는 물리적인 법칙 때문에 원자를 조작할 수 없다고 알고 있었으나, 그는 이 연설에서 물리적인 법칙이 전혀 문제가 되지 않으며 그 가능성을 피력하였다. 연설의 제목이 의미하는 바가 난해하여 부연설명을 하면 다음과 같다. 많이 사용되는 컴퓨터 하드디스크는 날이 갈수록 저장해야할 데이터가 많기 때문에 그 용량이 날로 커지고 있다. 10여 년 전에

약 300MB 하던 것이 최근에는 40GB 용량의 제품이 많이 나오고 있다. 그러나 하드디스크는 점점 더 증가시켜야 필요가 생기며, 제조사들은 용량을 증가시키기 위해 많은 연구를 하고 있다. 그러나 지금과 같은 알루미늄판에 박막을 입히고 이를 쪼개어 자료를 기억시키는 방식에 한계를 보이고 있다. 파인만은 이와 같은 상황을 예측하였고, 원자 또는 분자수준으로 내려가면 많은 공간이 있음을 알고 이를 그 연설에서 언급하였다. 그러나 그 당시에는 기술의 한계로 인하여 그의 개념을 받아들이는 데 많은 어려움이 있었다. 최근에는 기술이 그 당시와는 비교할 수 없도록 발전하여 SPM (scanning probe microscopy)을 이용하여 원자를 하나하나 볼 수 있게 되었으며, 나아가 원자단위에서 그 성격을 변화시키거나 이동시키는 작업이 가능해졌다.

물질은 원자들의 집합이므로 직접 원자를 조작하는 나노기술은 새로운 물질을 합성할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다. 즉 경도가 가장 큰 다이아몬드는 탄소원자들의 집합체이다. 그러나 탄소원자들을 다이아몬드 결정과 다른 형태로 배열하면 또 다른 특성을 부여할 수 있는 물질이 될 수 있다. 따라서 현재 많은 연구들이 신물질을 합성하거나, 기존 물질의 순도를 높이는 등 재료, 약품, 의료, 생물등의 분야에 집중되고 있다. 또 다른 응용분야로는 점점 많은 기억용량을 필요로 하며 수요가 많은 컴퓨터의 저장장치 분야이다. 지금과 같은 하드디스크나 CD롬등은 마이크로미터로 표시되는 공간을 필요로 하고 있으나, 기억용량을 늘리기 위하여 나노미터 또는 그 이하의 크기에 1 bit 가 저장되어야 한다. 여기에 나노기술은 큰 역할을 할 수 있으므로, 세계의 유수한 컴퓨터 메이커에서는 이 분야에 집중하고 있다. 이러한 응용분야를 보면 다음과 같다.⁽¹⁾

- (1) 전자/통신분야 : 테라바이트 수준의 대용량의 소형정보저장매체, 슈퍼컴퓨터 수준의 PC 등 새로운 정보 통신기기

- (2) 재료분야 : 멀티미디어(CD, DVD)용 광다이오드 및 레이저다이오드에 사용될 나노미터-다층 복합재료, 자연 광합성 원리를 응용한 새로운 태양광전지등 분자단위에서 설계된 고기능성/고성능/고효율 소재
- (3) 의약, 생명과학분야 : 의학적 조기진단에 사용될 간편한 진단칩, 장기복용으로 인한 부작용의 염려가 없는 고순도, 고 선택성 약품 및 작용물질, 하이브리드 시스템의 합성피부, 유전자 분석 조작, 혈액대체 물질
- (4) 환경, 에너지분야 : 현재의 공해를 유발하는 축진자를 대체할 수 있도록 자연 광합성 원리를 응용한 새로운 태양 광전지, 재생가능에너지로 활용할 수 있는 저렴한 수소저장매체, 환경유해물질, 식료품검사, 신체기능진단 등에 사용될 완벽한 선택적 센서
- (5) 우주, 안보분야 : 나노로봇, 초소형 정찰기등 나노구조 기계 전자장치, 화학 및 생물학 탐지기

이와 같은 나노기술은 과학기술의 새로운 영역을 창출하거나, 기존 제품의 고성능화로 IT(Information Technology), BT(Biotechnology), ET (Environmental Technology)와 함께 21세기의 신(新)산업혁명을 주도할 핵심 기술로 등장하였으며, 미국 일본 유럽 각국들은 2000년대부터 나노기술의 중요성을 인식하고, 국가종합계획 등을 마련하여 대응중에 있으며, 특히 미국은 범부처 종합계획으로서 국가 나노기술개발 전략(National Nanotechnology Initiative)을 마련하여 추진 중에 있고, 일본도 2000년 말부터 나노기술 장기종합계획을 마련중이며, 독일 등 유럽 국가도 체계적인 대응책을 마련중에 있다. 금년 4월에 열린 독일 하노버 메세에서는 독일 엔진니어협회(VDI)에서는 나노기술에 관한 특별 세미나를 개최하기도 하였다. 국내에서는 최근 과학기술부가 74쪽에

달하는 나노기술 종합발전 계획을 마련하여 범 국가적인 추진 체계와 지원방법등을 모색하고 있다.

2. 나노기술의 현황

앞에서 살펴본 바와 같이 원자 수준에서 어떠한 조작을 가하는 작업은 그동안 매우 어려운 기술이었다. 그러나 지난 10여년 동안에 원자를 조작할 수 있는 장비가 개발되어 그 가능성이 알려진 이후로 많은 연구가 이루어지고 있다. 최근 세계적으로 우수한 연구소에서 이루어진 연구결과를 대표적인 것들을 간략하게 소개한다.

미국 IBM연구소의 아이클러 박사팀은 1990년 나켈표면의 제논(Xe) 원자들을 STM의 탐침으로 하나씩 움직여 "IBM"이라는 로고를 새기는데 성공하여, 원자조작의 가능성을 최초로 입증하였다. 그 후 계속 IBM T. J. Watson Research Center의 Nanoscale science and technology group에서 활발한 연구결과가 나오고 있다.¹⁰⁾ 그림 3은 실리콘 웨이퍼위의 일부분의 원자들을 산화시켜서 20nm 굵기로 선을 만들어서 쓴 글자들을 AFM 장치를 이용하여 영상을 얻은 것이다. 같은 연구그룹에서는 머리카락 굵기의 10000

분의 1정도인 카본 나노튜브를 AFM을 이용하여 구부려서 글자를 만들었다. 또한 40옹스트롬(angstroms) 굵기의 팁으로 만들어진 AFM 데이터 저장 장치도 보여주고 있다. 전문가들은 이러한 기술을 한 단계 더 발전시키면 0과 1로 표시되는 디지털 신호를 원자 한 개의 유무 형태로 바꾸는 것이 가능해져 현재 CD정보량의 1백억배를 저장할 수 있을 것으로 예측하고 있다.

국내에서도 NRL, SRC, ERC, 창의적 연구진흥사업, 국가지정연구실사업등을 통하여 연구가 수행되고 있어서 초보적인 연구결과가 나오고 있다. 이들 연구는 주로 무기, 유기재료, 기억매체 개발 등에 치중되어 있으며, 계측 분석기술도 일부 포함되어 있다. 이들 대부분의 연구는 아직 특별한 환경조건 즉, 무진동, 진공, 청정실등의 극한적인 환경을 갖춘 실험실에서 이루어지고 있다. 한 예로서 현재 사용되고 있는 SPM 장비에서 스캐닝할 수 있는 면적은 약 1mm² 이하이며, 주로 가로 세로 5 μm이하의 범위에서 사용하고 있다.

그러므로 이와 같은 나노수준의 연구가 실용화되어 우리 주변에서 사용되기까지는 개발되어야 할 기술이 매우 많을 것으로 보인다. 나노미터 수준으로 가공하기 위한 나노공정(nano-processing)이 개발되어야 하는데, 여기에는 물리적, 화학적, 기계적, 광학적, 생체적 공정등이 포함된다. 이들 공정을 통하여 처리된 핵심소자를 이용하여 나노소자, 나노센서, 칩 위의 시스템, NEMS, 에너지시스템등으로 응용 제품이 제작되기 위해서 제품설계, 조립 기술등이 필요하며, 이를 위하여 공정 장비, 조립장비등과 이를 위한 기계기술이 요구된다.

다음 편에는 나노기술과 관련된 기계기술에 대하여 살펴보고자 하며, 본 원고는 다음 참고문헌들을 인용하여 작성되었음을 밝혀두고자 한다.

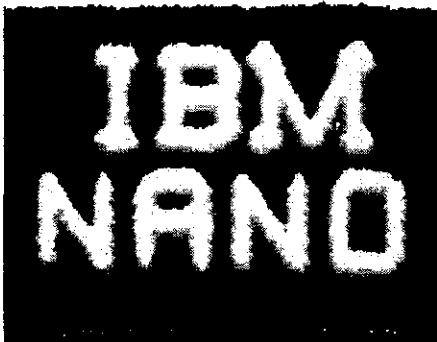


그림 3 나노스케일 글자
(<http://www.research.ibm.com/nanoscience/>)

참고 문헌

- (1) 나노기술 종합발전계획 (안), 과학기술부, 2001년 6월.
- (2) <http://www.research.ibm.com/nanoscience/>
- (3) <http://nanotech.about.com/science/nanotech/>
- (4) <http://www.foresight.org/>

미) 니) 상) 식)

「6시그마」란?

시그마는 통계학적 용어로서 표준편차를 즉, 데이터들이 중심으로부터 흩어져 떨어져 있는 정도를 의미한다.

규격의 중심과 규격 한계선 사이가 표준편차의 6배와 크기가 같을 경우 6시그마 수준이라고 평가한다. 예를 들어 지름이 1cm인 볼트를 생산할 경우 공정에서 최적의 조건을 유지하더라도 생산되는 볼트의 지름은 모두 똑같을 수 없어, 1.021cm나 0.98cm등과 같이 변동이 있게 마련이다.

이 변동을 산포라고 한다. 통계학에서 산포를 측정하는 방법 중 하나로서 표준편차(standard deviation)를 사용하는데 시그마는 이 표준편차를 나타내는 기호이다.

이 때 규격 한계값을 0.05cm라 하고 산포의 측정값인 시그마(표준편차)를 0.0083라고 할 때 규격상한까지의 길이를 시그마 값으로 나타내면 $0.05/0.0083=「6시그마」$ 가 된다.

반대로 산포가 커져서 표준편차가 0.025일 경우 규격상한까지의 길이는 $0.05/0.025=「2시그마」$ 가 된다.

산포가 클수록 규격범위 내에 들어올 가능성을 나타내는 시그마 값(규격한계값을 표준편차로 나눈 수치)은 낮아지며 제품의 불량률은 높아지게 되고 산포가 작을수록 시그마 값은 높아지며 불량률은 낮아지게 된다. 따라서 이것은 제품의 품질을 사전에 나타내는 기준(규격범위 내에 들어올 가능성)이라고 할 수 있다.

「6시그마」 품질수준은 백만 개 제품 중 불량률이 단 3.4개 이내인 수준이다.

공정능력	백만개 중 불량건수	불량률
2 σ	308,538	30.85%
3 σ	66,807	6.68%
4 σ	6,210	0.62%
5 σ	233	0.0233%
6 σ	3.4	0.00034%

※ 분포의 이동 $\pm 1.5\sigma$ 의 경우

