

# CAD/CAM 엔지니어의 나노 기술 이해

정 연 찬

(서울산업대학교 생산정보대학 금형설계학과)

## ◎ 들어가는 말

물리 혹은 화학을 연구하는 학자가 아니어도 물질이 원자나 분자로 이루어져 있다는 사실을 알고 있다. 중학교에서 이미 물질의 성질이나 특성은 그 물질을 구성하는 분자나 원자의 종류에 의해 결정된다는 사실을 배우고 있다. 나노 기술은 그러한 단순하고 명확한 사실에 근거해서 물질의 기본 구성 단위인 분자나 원자를 쌓아서 필요한 물건을 만들자는 것이다. 최근에 전세계적으로 국가적인 관심이 나노 기술에 쏠리면서 많은 관련 연구가 진행되고 있다. 그리고 이미 나노 기술을 적용한 소비자 제품이 등장하고 있으며 일반인도 자주 나노에 관련한 정보를 접하고 있다. 과거와 달리 새로운 기술과 개념이 인터넷과 방송 매체를 통해 빨리, 대량으로 전달되면서 일반인에게도 나노 기술이 벌써 친밀한 용어가 되어 버렸다. 그러나 특별한 관심을 갖고 노력하지 않았다면 '나노' 혹은 '나노 기술'이라는 단어는 친근하지만 그 의미가 명확하지 않은 개념일 수 있다. 이 글은 '나노 기술'에 관한 몇 가지 사실과 궁금증을 설명하면서 CAD/CAM 엔지니어들에게 나노 기술에 관한 초보적인 이해를 돕고 진지한 관심을 유도하고자 한다.

## ◎ 원자나 분자를 보거나 만질 수 있다.

우리는 학교에서 "원자는 더 이상 쪼개질 수 없는 작은 입자이며, 눈에 보이지 않는다."라고 배웠다(atom의 어원이 '눈에 보이지 않는다.'이지만 요즘 학생들은 눈에 보인다고 배울지도 모르겠다). 그러나 1980년대 이후에 개발된 기술을 사용하면 분자는 물론이고 물질의 기본 단위 입자인 원자도 볼 수 있다. 심지어는 개개의 원자를 만질 수도 있으

며, 원자를 마음대로 조작(특정 위치로 옮기기 등)할 수도 있다. 그림 1을 통해 원자에 관한 기억을 되살려 보자.

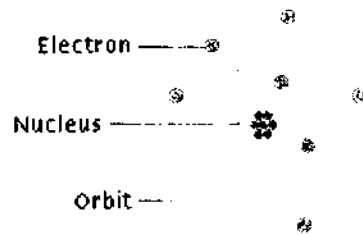


그림 1. 원자 모델

이미 1959년에 유명한 물리학자인 Richard Feynman<sup>1</sup>은 원자 단위의 관찰과 조작의 중요성을 언급 했지만 그 당시에는 순진한 과학자의 허황한 이야기로 취급되었다. 그러나 원자 한 개 크기의 물체를 관찰하거나 조작할 수 있게 되면서 그가 제기한 기술의 가능성과 혁신성이 새롭게 부각되고, 그의 천재성이 재평가되고 있다 [3].

## ◎ 나노(nano), 나노미터(nano meter)

'나노(nano)'란 난장이란 뜻의 그리스어인 nonos에서 유래 했으며, 10억분의 1 즉  $10^{-9}$ 을 나타내는 접두어다. 따라서 1나노미터(nm)는 10억분의 1미터를 의미하는 것이다. 그리고 흔히 머리카락과 비교해서 머리카락 굵기의 10만분에 1에 해당한다

<sup>1</sup> Richard Feynman의 물리학 강의 노트를 책으로 엮은 "파인만의 물리학 강의"는 물리학에 관심 있는 사람들에게는 유명한 책이다. 또 그의 전기에 해당하는 "파인만씨 농담도 잘하시네", "투바: 리차드 파인만의 마지막 여행" 등은 세상에 대한 그의 열정과 재치로 인해 일반인에게도 많이 알려져 있다.

\*E-mail: ychung@snut.ac.kr

고 한다. 그러나 10억, 10만 등의 숫자들은 너무 커서 실감이 나지 않으며 우리들에게 별 감흥을 주지 못한다. 오히려 원자의 크기가 대략 0.1나노미터이고 원자를 10개 정도 늘어 놓은 길이가 1나노미터라는 사실이 더 흥미롭다.

또 컴퓨터에서 8바이트의 배정도(double precision) 실수는 유효자리수가 15~16개 정도 이므로 형상 정보를 표현할 때 나노미터 크기의 정밀도를 표현할 수 있다는 것도 다행스러운 일이다.

### ◎ 나노 기술(nano technology)

‘나노 기술’ 혹은 ‘나노 테크놀러지’의 ‘나노’는 나노미터를 나타낸다. 따라서 나노 기술은 원자를 수십 개 이어 놓은 정도의 크기를 다루는 기술이다. 교과서적인 정의로 나노 기술은 분자나 원자 혹은 나노미터 수준의 크기를 가진 물체를 조작해서 새로운 소재, 기계, 소자 등을 창출하는 기술을 통칭한다. 미국 정부에서는 좀 더 엄밀하게 “가로, 세로, 높이 중에 한 번이 100 nm 정도 혹은 그 이하인 물질의 구조와 기능을 제어하는 기술”로 정의하고 있다. 즉, 나노 기술이란 적어도 어느 한 변의 길이가 1~100나노미터 정도인 분자, 원자 혹은 그 구조물을 다루는 기술로 이해할 수 있다.

### ◎ 왜 하필 나노미터 수준의 크기 인가?

우리가 나노보다 1,000배 큰 마이크로( $10^{-6}$ ) 혹은 1,000배 작은 피코( $10^{-12}$ )가 아닌 나노미터 수준의 크기에 많은 관심을 갖는 이유는 뭘까? 나노미터 크기의 영역은 물질의 구성과 성질이란 측면에서 중요한 의미가 있는데, 그 첫 번째 이유로 나노미터 수준의 크기에서 물질의 성질과 기능이 처음으로 드러난다는 점이다. 원자는 그 크기가 0.1~0.3나노미터 정도이다. 그런데 원자 크기의 규모에서 물질의 성질은 100여가지 정도 밖에 나타나지 않는다. 그것은 원자가 그 물질적 특성을 잃지 않는 최소의 단위이며, 원자의 종류가 100여가지 밖에 없기 때문이다. 결국 원자 크기의 규모에서는 100여 종류의 물질밖에 있을 수 없다. 그렇지만 원자를 수십 개 혹은 수백 개 모아서 나노미터 수준의 크기까지 오게 되면 거기서 처음으로 다양한 성질과 기능을 가진 물질이 나타나게 된다. 2 nm 정도의 폭을 가지는 DNA는 우리들 인체를

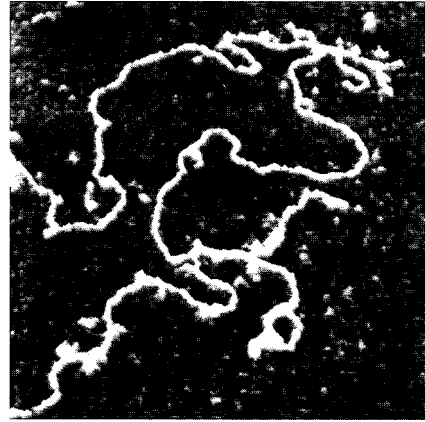


그림 2. 2 nm 폭의 DNA

구성하기 위한 기본 프로그램이며, 나노 크기에서 기능을 가지는 물질로서 가장 흥미로운 관찰 대상이다.

두 번째 이유는 기능이 나타나기 시작하는 나노 크기의 물질을 제어하게 되면 그것보다 크게 만든 물질의 물성과 기능도 모두 결정된다는 것이다. 이것은 나노미터 크기가 물질의 매우 근원적인 결정을 하는 규모라는 것을 나타내 주고 있다. 나노미터 크기보다 작은 원자만으로는 아무것도 제어할 수 없지만 그것을 수십 개, 수백 개 결합하여 나노미터 크기의 세계로 이끌어 온 순간에, 그것보다 큰 물질까지 어떤 성질, 기능을 가질 지가 모두 결정되는 것이다. DNA가 인간의 모든 것을 결정하는 결정적인 프로그램인 것이 위와 같은 것을 나타내는 증거이며, 매우 중요한 것임을 알 수 있다. 다른 예로는 결정이 생성되어 재료가 만들어질 때에 핵이 되는 나노 크기의 단위가 만들어지기만 하면 그 후에는 그 핵이 성장하는 것만으로 재료가 만들어 진다 [2].

### ◎ 나노미터 크기의 관찰

나노미터 크기의 원자나 분자를 하나씩 눈으로 보고 관찰 하는 것은 물질이 원자 혹은 분자로 구성되어 있다는 사실을 알게 된 과학자들의 꿈이었다. 물질의 기본 구성 단위인 원자나 분자를 개별적으로 관찰할 수 있다면 원자나 분자가 갖는 성질을 보다 많이 알 수 있게 된다. 그러한 꿈을 가능하게 하는 것이 현미경인데, 현미경에는 크게 광학

식, 전자식, 탐침식(SPM)이 있다.

일반적으로 현미경이라고 하면 광학식 현미경을 가리킨다. 광학 현미경은 빛이 광학 렌즈를 통과할 때 휘는 성질을 이용하여 작은 물체를 크게 확대할 수 있다. 그런데 빛의 굴절 현상은 빛의 파동성에 근거하기 때문에 광학 현미경의 최대 분해능은 빛의 파장 정도로 제한된다. 가시광선의 파장은 400~750 nm 정도이기 때문에 0.1 nm 정도인 원자를 관찰하는 것은 곤란하다. 그러나 파의 간섭효과 등을 이용하면 수직 분해능(단차 분해능)은 원자 크기에 도달할 수 있다고 한다.

전자식 현미경은 그림 3에서 보는 것과 같이 그 원리는 광학식 현미경과 유사하다. 광학식 현미경은 빛의 파동성을 이용하지만 전자식 현미경은 '전자'의 파동성을 이용한다. 따라서 빛이 아닌 전자파를 굴절시켜 시료를 확대 관찰하게 된다. 전기장이나 자기장을 이용해서 전자의 진행 방향을 바꾸는 전자기 렌즈를 사용하며, CRT와 같은 별도의 장치를 통해서 전자파를 가시화 한다. 이론적으로는 원자에 가하는 가속전압을 높이면 전자파의 파장이 작아져서 원자 하나 크기의 분해능을 달성할 수 있다. 그러나 가속전압을 높이면 수직 분해능이 나빠져서 실제로는 수평 방향만 원자 크기의 분해능이 가능하다. 여러 가지 형의 전자식 현미경이 있지만 주사형전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscope)과 투과형전자현미경(TEM; Transmission Electron Microscope)이 대표적이다.

탐침식 현미경은 끝이 뾰족한 탐침(probe, tip)으로 물질의 표면을 더듬듯이 주사(scanning)하면서 형상을 알 수 있는데, 1982년에 처음 개발되었으며 이러한 새로운 개념의 현미경을 총칭해서

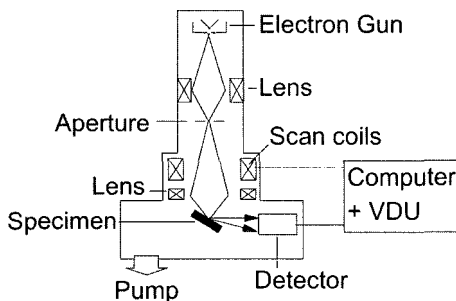


그림 3. 전자식 현미경: SEM

SPM(Scanning Probe Microscope)이라고 한다. SPM으로는 현재 STM(Scanning Tunneling Microscope)과 AFM(Atomic Force Microscope)이 대표적이다. STM은 탐침으로 샘플 표면을 주사(scanning)하면서 원자와 탐침 사이에 흐르는 미세한 전류(tunneling current)를 측정하여 탐침과 원자간의 거리를 측정한다. 탐침의 주사(scanning) 궤적과 탐침과 원자간의 거리를 종합하면 샘플의 표면 형상을 알 수 있게 된다. STM은 전류를 측정하기 때문에 도체나 반도체와 같이 전도성을 띠는 경우에만 사용할 수 있다. 그러나 AFM은 STM

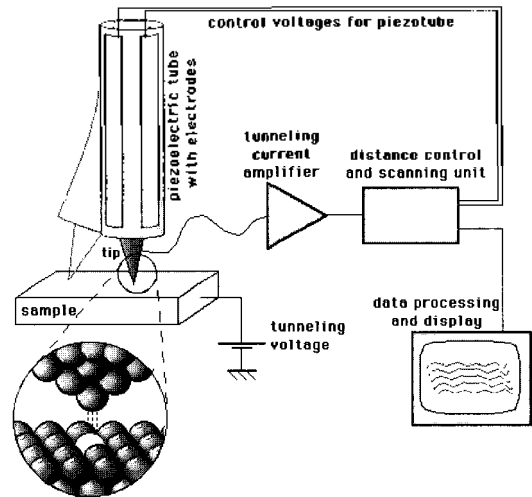


그림 4. STM 개념도

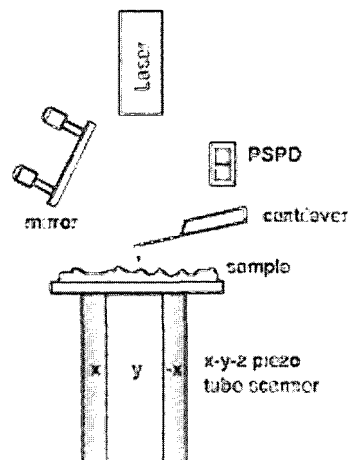


그림 5. AFM 개념도

과 달리 탐침과 원자간의 인력과 반발력을 측정하기 때문에 전도성이 없는 샘플에도 사용 가능하다. 미세한 힘(atomic force)을 측정하기 위해 그림 5에서 보는 것과 같이 지레를 이용한다.

SPM에서 주사(scanning)를 위한 구동 장치로는 압전체(piezoelectric)가 사용되며, 구동 정밀도는 0.01 nm에 이른다. SPM은 수직 방향으로도 분해능이 0.01 nm에 도달한다. 결국 SPM을 통해 나노미터 크기의 원자나 분자의 관찰과 물성을 측정하는 것이 가능해 졌다 [3].

### ◎ 나노미터 크기의 조작

나노미터 수준의 원자나 분자를 개별적으로 관찰할 수 있게 된 후 그러한 원자나 분자를 하나씩 제어하거나 움직여 보려는 시도를 하게 되었다. AFM으로 원자와 탐침간의 인력과 반발력을 제어하면 한 개의 원자를 움직일 수 있는데 1990년 미국 Almaden의 IBM 연구소에서 그림 6에서 보는 것과 같이 원자를 하나씩 움직여 세계에서 가장 작은 크기의 IBM이란 글씨를 쓰는 것에 성공했다 [3].

IBM에서 원자를 움직여 글씨를 쓰기 몇 년 전인 1986년에 MIT의 학생이었던 K. Eric Drexler는 그의 저서 “Engines of Creation”에서 어셈블러(assembly)라고 불리는 아주 작고 자기 복제 기능을 가진 “나노 기계”의 개념을 제안 하였다. 그가 제안한 개념이 상향식(큰 것을 자르고 깎아서 만드는 것이 아니라 원자, 분자를 밑에서부터 짜맞추어 올라가는 방법) 나노기술을 대표하고 있다. 어셈블러는 원재료가 되는 수소, 산소, 질소 등으로 특정 모양의 분자를 만든다. 어셈블러에 의해 만들어진 특정 모양의 분자는 복제장치(replicator)를 통해서 반복적으로 복제되고, 복제된 분자를 차곡차곡 쌓으면 자유자재로 원하는 물건을 만들 수 있다는 발상이다. 그림 7은 Drexler의 책 “Unbounding

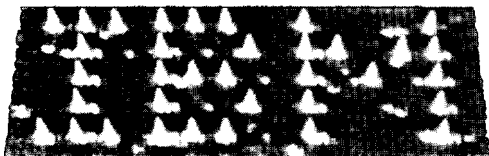


그림 6. 크세논(Xe) 원자로 쓰여진 IBM로고

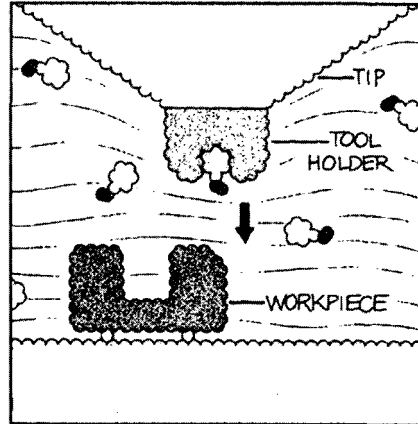


그림 7. Molecular manipulator

the Future: the Nanotechnology Revolution”에서 소개된 그림으로 STM 혹은 AFM의 탐침으로 분자를 쌓아서 물건을 만드는 개념을 보여주고 있다 [1].

Drexler가 제안한 방법은 황당하게 느껴질수도 있지만 분자를 쌓아나가는 것이 물리 법칙으로서는 전혀 잘못된 것이 없다고 한다. 또, 자연계의 생물체는 DNA에 적힌 정보에 따라 세포 안에 있는 리보솜(ribosome)은 단백질을 합성하고 있는데 Drexler가 제안한 방법과 크게 다르지 않으며 리보솜이 어셈블러 역할을 하고 있다.

### ◎ CAD/CAM 기술의 방향

CAD/CAM 기술은 형상정보를 표현, 해석하고 다양한 형태로 변환하는 기술로 이해할 수 있다. 개념 형상을 NURBS, 솔리드 모델 등으로 표현하거나 특징형상 등의 개념으로 재해석하고, 렌더링 정보 혹은 가공 정보로 변환하는 기술이기 때문이다. 이러한 기술이 나노 기술에 어떻게 쓰일 수 있으며, 나노 기술의 발전에 따라 어떤 방향으로 발전할까?

가장 가깝게는 SPM으로 얻어진 형상의 표현과 재구성에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 현재 개발된 현미경들은 나뭇대로의 특성이 있어서 하나의 현미경으로 완벽한 3차원 형상을 얻기에는 한계가 있으며 각각의 정보는 나뭇의 노이즈를 포함하고 있다. 따라서 같은 시료를 서로 다른 종류의 현미경으로 관찰하고 있는데 각각의 현미경에서 얻어

진 정보를 체계적으로 종합한다면 보다 완벽한 3차원 형상을 얻을 수 있다. 또, 현재는 아주 좁은 영역을 관찰할 수 있기 때문에 여러 개의 측정된 형상을 연결한다면 큰 형상을 얻을 수도 있다. 최근의 비접촉식 3차원 측정 데이터 처리 기술을 응용할 수 있을 것으로 보인다.

두 번째로 SPM은 구동 장치를 가지고 있는데, 얻어진 형상 혹은 예측되는 형상 정보를 바탕으로 현재의 구동 장치를 보다 빠르고 정확하게 제어할 수 있을 것이다. 현재의 NC제어 혹은 NC 데이터 생성 기술을 응용하면 되겠다.

세 번째로는 지금의 CNC 밀링 기계와 같은 수치제어 SPM을 상상할 수 있겠다. 초기에는 마치 드릴링 가공과 같은 방식으로 움직일 것으로 생각되지만 장기적으로는 RP(Rapid Prototyping) 기계처럼 될 수 있을 것이다. 그리고 그러한 기계의 시뮬레이터도 상당히 의미 있는 일이 될 것으로 기대된다.

좀 더 어려운 과제로는 Drexler가 제안한 방법을 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현해보는 것이다. 실세계에서는 원자, 분자를 자유자재로 움직이는 것이 아직 용이하지 않다. 그러나 원자나 분자를 움직여서 쌓아나가는 것이 물리 법칙의 제한이 아니라 현재 인류가 갖고 있는 기술의 한계라면 컴퓨터 시뮬레이션에서는 충분히 극복 가능한 일이다. 정해진 물리 법칙에 따라 원자를 움직여서 원하는 분자를 생성하고, 각각을 쌓아 본다면 Drexler의 방법이 가능한지 혹은 어떤 문제점이 있는지 좀 더 빨리 알 수 있을 것이다.

## ◎ 맺음말

이미 나노기술은 엄청난 산업을 형성하고 있다. 전세계적으로 수많은 연구 인력과 자원이 투입되고 있으며 다양한 파생 산업이 생겨나고 있다. 나노기술의 궁극적인 목표인 원자와 분자를 짜맞추어서 실 세계에 유용한 물건을 만드는 일이 설령 가능하지 않더라도 이제 우리는 나노기술에 관심을 가질 수 밖에 없다.

소개된 내용의 상당 부분은 기존의 책과 인터넷에서 유통되는 정보에 의존하고 있음을 밝히며, 일일이 참고문헌을 밝히지 못함을 아쉽게 생각한다. 그러나 저자의 얇은 지식을 바탕으로 정리 되면서 잘못된 이해와 내용이 있을 수 있으며 그러한 내용은 전적으로 저자의 잘못이다. 그러나 이 글을 통해 나노 기술에 관한 진지하고 폭넓은 관심을 기대한다.

## 참고문헌

- [1] K. Eric Drexler & Chris Peterson, *Unbounding the Future*, 세종서적(한정환 역), 1995
- [2] Tomoji Kawai, 나노 테크놀로지 입문, 성안당(김태영, 홍영대 역), 2003
- [3] Scizo Morita, 알기쉬운 나노기술, 교보문고(이인숙 역), 2002
- [4] Naval Research Laboratory website: <http://stm2.nrl.navy.mil>
- [5] PSIA website: <http://www.psia.co.kr/>
- [6] Foresight website: <http://www.foresight.org>
- [7] 주승기, 나노테크놀로지, 서울대학교출판부, 2002