

(주) 이 내용은 Richard P. Feynman이 1959년 12월 29일 미국물리학회 연차 총회(장소: Caltech)에서 “There’s Plenty of Room at the Bottom”이라는 제목으로 강연한 내용을 번역한 것입니다. (이 내용은 Caltech에서 발행한 “공학과 과학”이라는 잡지 1960년 2월호에 게재되었습니다.) Feynman 교수의 이 유명한 강연이 매우 많이 인용되고 있으나, 원문의 내용을 끝까지 읽고 음미하는 경우는 적은 것 같아, 고려대학교 화공생명공학과 나노공학을 수강하는 학생들이 심시일반으로 번역하였습니다. 번역이 매끄럽지 않은 점은 차후 개선해 나가겠습니다. -- 안동준

## There’s Plenty of Room at the Bottom

물리학의 새로운 분야로의 초대



By Richard P. Feynman

저는 실험 물리학자들이 Kamerlingh Onnes와 같은 사람들을 종종 부러움으로 바라봤을 것이라 생각합니다. Kamerlingh Onnes는 바닥이 없을 것처럼 보이는 그리고 점점 더 낮게 내려갈 수 있는 저온의 분야를 발견했습니다. 그러한 사람들은 그 무렵 지도자가 되고 과학적인 탐구에서 일시적인 독점을 가지게 됩니다. Percy Bridgman는 더 높은 고압을 얻는 방법을 디자인했던 그는 또 다른 새로운 연구 분야를 열었으며 그는 그 연구분야로 접근할 수 있었고 계속해서 우리를 이끌어 갈 수 있었습니다. 더 높은 진공의 개발은 같은 종류의 계속되는 개발이었습니다.

저는 거의 되어진 것이 없지만 원리로는 수많은 일들이 되어질 수 있는 한 분야에 대해서 서술하고 싶습니다. 이 분야는 다른 분야들처럼 꽤 같은 것이 있지 않으며 이 분야에는 많은 기본적인 물리법칙을( 이상한 입자들은 무얼까? 라는 느낌에서 ) 말해주는 것이 아니라 복잡한 상황에서 일어날 수 있는 이상한 현상에 관한 커다란 흥미를 줄 수 있는 느낌에서 그것은 고체 상태 물리법칙과 같은 것입니다. 게다가 가장 중요한 점은 그것은 수많은 기술적인 적용을 가질 것이란 것입니다.

제가 말하고 싶은 것은 조작의 문제와 작은 스케일에서 제어의 문제입니다.

제가 이것을 언급함에 따라 사람들은 저에게 소형화에 대해 말했습니다. 그리고 소형화는 오늘날까지 진행 되어져 왔습니다 그들은 저에게 전기 모터에 대해 말했고 그 전기모터의 크기는 당신의 새끼손가락의 손톱정도의 크기입니다. 그리고 그들이 저에게 말하길 시장에는 공구들이 있고 그것을 가지고 당신은 핀의 머리에 주기도문을 쓸 수 있다고 말했습니다. 그러나 그것은 아무것도 아닙니다. 그것은 거의 가장 원시적인 것입니다. 제가 토론하고 자하는 방향에서 반정도인 것입니다. 그것은 엄청나게 작은 세계이고 그 이하도 있습니다. 2000년대에 그들은 이 시대를 뒤돌아보면서 그들은 왜 1960년대에 들어서야 어느 누가 이런 방향으로 심각하게 이끌어 가기를 시작했는지 의아해 할 것입니다.

핀 머리에 대영백과사전 전 24권을 쓸 수는 없을까요?

여기에 무슨 의미가 포함되어 있는지 한번 살펴보도록 하겠습니다. 핀 머리의 길이는 약 1/16 인치에 해당합니다. 만약 핀 머리를 25,000 배로 확대한다면 핀 머리의 면적은 대영백과사전 전체 페이지의 면적과 같게 됩니다. 그러므로 핀 머리에 대영백과사전 전체 24권을 쓰기 위해 필요한 것은 대영백과사전에 수록된 모든 글자를 1/25,000 배로 축소하는 것입니다. 이것이 가능할까요? 눈의 해상력은 약 1/20 인치인데, 이것은 대략 대영백과사전 1/2 축소판에서의 작은 점 하나를 인지할 정도입니다. 만약 1/25,000 배로 축소한다면 이 점 하나의 직경은 여전히 80 Å 이 되는데 일반적인 금속 원자 32개를 직선으로 연결한 정도의 길이가 됩니다. 그러므로 각각의 점 하나는 사진판을 만드는데 요구되는 크기로 쉽게 조정할 수 있으며, 핀 머리에 대영백과사전의 모든 글자를 쓸 수 있는 충분한 공간이 있다는 것에는 의심의 여지가 없습니다.

게다가, 이러한 축소된 방법으로 쓰여진 글자라 하더라도 읽을 수 있습니다. 금속으로 된 양각 글자라고 생각해 봅시다. 즉, 여기에 대영백과사전의 글자가 있고, 일반 글자 크기의 1/25,000 배로 축소된 양각 글자로 되어 있다면 어떻게 그 글자를 읽을 수 있을까요?

만약 그러한 방법으로 쓰여진 어떤 것이 있다면 오늘날 일반적으로 사용되는 기술을 이용하여 읽을 수 있습니다.(틀림없이 앞으로 더 좋은 방법이 개발될 것이지만 제 견해를 보다 신중하게 하기 위하여 우리가 오늘날 알고 있는 기술을 예들 들어 살펴보겠습니다.) 먼저 금속을 플라스틱 물질에 인쇄하여 몰드를 만듭니다. 그런 다음 매우 조심스럽게 플라스틱을 벗겨내고 실리카를 플라스틱에 증발시켜 매우 얇은 막을 형성시킵니다. 그 후 실리카의 반대 각도로 금을 증발시켜 음영을 넣으면 모든 작은 글자가 뚜렷하게 나타나게 되고, 실리카 박막에서 플라스틱을 녹여 제거하면 전자현미경을 통하여 글자를 읽을 수 있게 됩니다.

만약 핀 머리에 양각 글자의 형태로 쓰여져 있더라도 오늘날의 기술로도 쉽게 읽을 수 있을 것이라는 것에는 의심의 여지가 없습니다. 게다가, 원본을 쉽게 복사하는 방법을 찾을 수 있을 것이라는 것 또한 의심의 여지가 없습니다. 복사본 제조에 필요한 것은 단지 같은 금속 활자판을 플라스틱에 인쇄한 후 또 다른 복사본을 만들면 됩니다.

### **어떠한 방법으로 글자를 작게 쓸 수 있을까요?**

다음 질문은 어떠한 방법으로 글자를 작게 쓸 수 있는가? 하는 것입니다. 아직까지 여기에 대한 기준 기술은 없는 실정입니다. 그러나 처음 나타난 것과 만큼 그리 어렵지 않다는 것을 보이고자 합니다. 전자현미경의 렌즈를 사물을 확대하는 방법과 마찬가지로 축소할 수 있도록 거꾸로 한 후, 이온 소스를 렌즈로 통과시켜 아주 작은 점으로 초점을 맞출 수 있습니다. 이 작은 점을 이용하여 TV의 양극선 오실로스코프에 쓰는 것과 같이 라인을 따라가면서 쓸 수 있으며, 이것을 조절함으로써 영상을 주사할 때 부착되는 물질의 양을 조정하는 방법으로 글자를 쓸 수 있을 것입니다.

이 방법은 공간전하 제한현상 때문에 매우 느릴 수 있습니다. 그러나 좀더 빠른 방법들이 있을 것입니다. 우선, 아마도 글자 형태의 구멍을 가진 스크린과 같은 광학적 프로세스를 이용하여 만들 수 있을 것입니다. 이 구멍 뒤에서 아크를 발생시켜 구멍을 통하여 금속 이온을 통과시킵니다. 그런 다음 앞에서 설명 한 축소 렌즈를 이용하여 핀 머리에 금속을 부착시킬 수 있는 이온 형태의 작은 이미지를 형성시켜 글자를 쓸 수 있을 것입니다.

더 간단한 방법도 있습니다. 이 방법이 잘 될지는 확신이 서지 않지만 빛을 사용하는 것인데, 광학현미경을 거꾸로 작동시켜 빛을 작은 광전 스크린에 비추어 초점을 맞춥니다. 그러면 빛이 비춰진 스크린에서 전자가 방출되죠. 이 전자들을 전자 현미경 렌즈로 작게 접속하여 금속 표면에 직접 때립니다. 이것을 웬만큼 오래 하면 전자 빛이 금속을 깎아내지 않을까요? 나는 모르겠습니다. 금속이 잘 깎이지 않는다면, 원래의 핀에 어떤 물질을 코팅해서 그 위에 전자를 때리면 나중에 우리가 알아볼 수 있는 변화를 일으킬 수 있을 것입니다.

이러한 장치에서 강도의 문제는 없습니다. 확대할 경우와 다릅니다. 확대하려고 한다면 전자 몇 개를 취해서 계속 더 크게 스크린 위에 펼쳐야 합니다. 이것은 정반대입니다. 한 페이지에서 나온 빛을 아주 작은 영역으로 집중시키기 때문에 빛은 아주 강렬합니다. 광전 스크린에서 나온 전자 몇 개를 아주 작은 영역으로 다시 축소시키기 때문에 전자빔도 매우 강합니다. 이런 것을 왜 아직도 해내지 못하는지 이유를 모르겠습니다.

브르태니커 백과사전을 핀 머리에 쓰는 것은 그렇게 하면 됩니다. 하지만 이번에는 세상에 있는 모든 책을 쓴다고 생각해 봅시다. 미국 국회 도서관에는 약 9백만 권의 책이 있습니다.

영국 대영박물관 도서관에는 5백만 권, 프랑스 국립 도서관에도 5백만 권이 있죠. 분명 중복된 책이 있을 테니까, 이 세상에는 관심을 가질 만한 책이 2천 4백만 권쯤 있다고 합시다.

우리가 여태까지 말해온 크기대로 이 모든 것을 인쇄하면 어떻게 될까요? 이것은 얼마나 많은 공간을 차지할까요? 물론 이것은 핀 머리 백 만개 정도의 넓이를 차지할 것입니다. 백과사전 24권이 아니라 2천 4백만 권이 있으니까요. 백 만개의 핀은 천 개의 핀을 한 변으로 하는 정사각형 안에 다 들어가고, 이 정사각형의 넓이는 약 2.5m<sup>2</sup>입니다. 종이 두께의 플라스틱 두판을 입힌 실리카 사본에 이 모든 정보를 넣으면, 대략 백과사전 35쪽에 해당하는 넓이가 됩니다. 그건 팜플렛 한 권에 지나지 않는 분량입니다. 모든 인류가 이제까지 책에 기록한 모든 정보를 팜플렛 하나에 담아 손에 들고 다닐 수 있는 셈이죠. 그것도 부호화한 것이 아니라 원래의 그림과 판화 등 모든 것을 해상도 손실 없이 작게 축소해서 만든 것을 말합니다.

이 건물에서 저 건물로 뛰어 다니는 우리 캘리포니아 공과대학의 사서에게 이런 말을 하면 어떻게 생각할까요? 10년 뒤에는 당신이 관리하느라 고생하는 모든 정보, 마루에서 천장까지 쌓아올린 12만 권의 책, 서랍에 가득한 색인 카드, 보관실에 가득한 모든 고서를 단 한 장의 색인 카드에 때려 담을 수 있다면! 예를 들어, 브라질대학의 도서관이 불에 타버렸을 경우, 우리는 두어 시간 안에 우리도서관에 있는 모든 책의 사본을 만들어서, 보통의 항공 봉투보다 더 크지도 더 무겁지도 않은 봉투에 넣어 우편으로 보내줄 수 있습니다.

이 강연의 제목은 바닥에는 풍부한 공간이 있다.(There is Plenty of Room at the Bottom.)입니다. 그냥 바닥에는 공간이 있다가 아닙니다. 내가 입증해 보인 것은 공간이 있다는 것에서 그쳤는데, 그런 식으로 물건의 크기를 줄이는 것은 실제로 가능합니다. 이제 풍부한 공간이 있다는 걸 보여주고 싶군요. 지금 이 자리에서 실제적인 방법을 논하지는 않겠습니다. 나는 단지 이론적으로 가능한 것, 물리학 법칙에 따라 가능한 것만을 말하고자 합니다. 나는 반 중력을 발명하려고 하지 않습니다. 반 중력이라는 것은, 기존 법칙이 우리가 생각하는 것과 다르다는 것이 밝혀졌을 때만 가능한 일이죠. 나는 법칙이 우리가 생각하는 대로 일 때 무엇을 할 수 있는가를 말하고자 합니다. 법칙에서 벗어나지 않는 대로 일 때 무엇을 할 수 있는가를 말하고자 합니다. 법칙에서 벗어나는 것을 하지 않는 이유는 단지 우리가 아직 거기에 근접하지 않았기 때문일 뿐입니다.

## 작은 크기로의 정보

우리가 현재 존재하는 형태로 직접적으로 그림이나 모든 정보를 표현하는 대신에 다양한 문자를 표현하기 위하여 점과 대쉬(dash) 혹은 그와 같은 종류로 단지 정보를 쓴다고 가정해봅시다. 각각의 문자는 6내지 7개의 정보의 비트들로 표현됩니다. 즉 여러분은 단지 각각의 문

자를 표현하기 위해서 약 6내지 7개의 점 혹은 대쉬를 필요로 할 겁니다. 지금 저는 전에 했던 것처럼 모든 것을 핀의 머리의 표현 위에 모든 것을 쓰는 대신에 나는 물질 내부까지 사용할 작정입니다.

우리가 하나의 금속의 조그만 부분으로 점을 표현하고, 다음 다른 금속의 인접 부분에 의하여 대쉬를 표현하도록 합시다.

대략 정보 한 비트에는  $5 \times 5 \times 5$ 개의 원자들(즉 125개) 입방체 하나가 필요하다고 가정해 보도록 합시다. 아마 우리는 정보가 확산이나 다른 과정에 의하여 정보가 잃어버리지 않는다는 것을 확실하게 하기 위하여 100여 개의 원자를 사용할 수 있습니다.

저는 백과사전에 얼마나 많은 문자가 있는지 헤아려 보았습니다. 그리고 저는 저의 2천4백만권의 책이 백과사전의 크기와 같다고 가정하고 얼마나 많은 정보의 비트가 있는지 계산하였습니다. 그 결과는  $10^{15}$ 개였습니다. 각각의 비트가 100개의 원자를 필요로 합니다. 세상의 모든 책에 사람이 축적해온 정보는 1과100분의 2인치 폭의 정육면체에 기록될 수 있습니다. 이것은 인간의 육안으로 판별할 수 있는 미세한 먼지 수준입니다. 그래서 바닥에는 풍부한 공간이 있다고 하는 겁니다. 나에게 마이크로 필름에 대하여 말하지 마십시오.

수많은 정보량이 극단적으로 작은 공간에 담겨질 수 있다는 것은 물론 생물학자는 잘 알고 있습니다. 그리고 우리가 이 모든 것을 이해하기 전에 존재했던 미스테리를 풀 수도 있습니다.

우리 자신과 같은 복잡한 생물체의 조직에 관한 정보의 모두가 가장 조그만 한 세포에 저장될 수 있는가 하는 미스테리 말입니다. 우리가 갈색의 눈을 가졌는지, 우리가 어떤 생각을 하는 건지, 태아 때 턱뼈가 한쪽 작은 구멍에서 발전하는데, 후에 거기서 신경 섬유가 자랄 수 있게 한다는 것에 이르기까지 모든 정보는 긴 사슬 형태의 DNA로 조그만 한 세포에 포함되어 있습니다.

대략 50개의 원자가 세포에 대한 정보 한 비트를 위하여 사용됩니다.

## *더 나은 전자 현미경*

만약 내가  $5 \times 5 \times 5$ 개의 원자들로 이루어진 하나의 부호를 쓴다면, 오늘날 내가 그것을 어떻게 읽을 수 있을까? 하는 문제가 있습니다. 전자현미경은 그다지 썩 좋지 않습니다. 최대의 주의와 노력을 기울인다면 전자현미경은 10 옴스트롱까지 볼 수 있습니다. 나는 지금 조그만 한 사이즈의 물질에 대하여 말하고 있지만 100배까지 전자현미경을 향상시키는 것의 중요성을 여러분은 알아주기 바랍니다. 이것은 전자의 회절법칙에 어긋나지 않습니다. 그러한 현미경의 전자의 파장길이는 단지 1/20옴스트롱입니다. 그래서 그것은 개개의 원자를 볼 수 있게 합니다. 개개의 원자를 분명하게 볼 수 있다는 것은 어떠한 좋은 점이 있을까요?

우리는 다양한 분야의 친구를 가지고 있습니다. 예를 들어 생물학에서 우리 물리학자는 종종 그들을 보고 말합니다. 여러분은 생물학의 진보가 매우 느린 이유를 알고 있습니까? (실제로 나는 오늘날의 생물학보다 더 빠르게 진보하는 어떠한 분야도 알고 있지 못합니다.) 여러분은 우리가 하는 것처럼 더 많은 수학을 사용해야 합니다. 그들은 우리에게 대답할 수 있습니다. 그들은 겸손하기 때문에 내가 그들을 위해 대답하고자 합니다. "우리가 더 빠른 진보를 할 수 있도록 당신이 100배 더 나은 현미경을 만들어 줘야 합니다."

오늘날 생물학에서 가장 중심적이고 기본적인 문제가 무엇입니까? 그것은 다음과 같은 질문 들입니다: DNA에서 염기서열이란 무엇인가? 돌연변이가 생긴다면 무슨 일이 일어나는가? DNA에서의 염기서열은 어떻게 단백질의 아미노산의 서열과 연결되는가? RNA의 구조는 무엇인가; RNA는 싱글체 인가 더블체 인가? 그리고 DNA에 대해 RNA의 염기서열은 어떻게 관련되어 있는가? 세포 내 미립자의 조직은 무엇인가? 단백질은 어떻게 합성되는가? RNA는 어디를 향해 움직이며 어떻게 착상하는가? 또 단백질은 어떻게 착상하는가? 아미노산은 어디로 들어가는가? 광합성에서 엽록소는 어떤 위치에 있는가?; 엽록소의 어느 곳에 카로티노이드가 포함되는가? 빛 에너지가 화학적에너지로 변환하는 시스템은 무엇인가? 등등..

이러한 기본적인 생물학적 질문에 간단한 대답이 있습니다: 그것은 단지 보면(관찰하면) 되는 것입니다! 체인구조에서 염기서열을 관찰하면 되는 것입니다; 세포 내 미립자의 구조를 보면 되는 것입니다. 불행히도 현재의 현미경으로는 다소 큰 scale에서만 볼 수 있습니다. 현미경의 배율을 지금보다 약 100배 더 좋게 만든다면 생물학의 많은 문제들이 보다 쉬워질 것입니다. 제가 좀 과장해서 말한다면 생물학자들이 현재보다 수학을 많이 사용해야 한다는 비판에 대해 좀더 호의적이 될 것이고 여러분에게 분명 감사를 표할 것입니다.

화학공정의 이론은 오늘날 이론 물리학에 기초합니다. 이러한 관점에서 물리학은 화학의 기초를 제공하고 있습니다. 그러나 화학은 역시 분석을 포함하고 있습니다. 만약 여러분에게 낯선 물질이 주어진다면 여러분은 길고 복잡한 화학분석을 거쳐 그것이 무엇인지 알고 싶어 할 것입니다. 오늘날에는 거의 대부분의 물질을 분석할 수 있습니다. 그렇기 때문에 내 아이디어는 조금 늦은 것 같습니다. 그러나 물리학자들이 분석하기를 원한다면 그들 역시 화학 분석을 화학자들과 같이 분석해야만 하는 것입니다. 각각의 원자가 어디에 있으면 무엇인지를 볼수 있다면 어떤 복잡한 물질의 분석도 매우 쉬워질 것 입니다. 오직하나의 문제점은 바로 현미경 배율이 100배 나쁜 것 입니다.(나중에 다시 질문 하겠습니다만; 물리학자들이 화학의 세 번째 문제-합성-에 대해 무엇을 할 수 있겠습니까? 임의의 화학물질을 물리적인 방법으로 합성할 수 있겠습니까?)

전자현미경의 배율이 나쁜 이유는 렌즈의 f-value(초점거리)가 약 1/1000 정도이기 때문입니

다: Numerical Aperture(개구수)가 너무 작다는 것입니다. 그리고 제가 아는 것은 축 방향으로 대칭인 정적영역 렌즈에서는 좀더 큰 f-value를 만들기 위한 더 이상의 배율증가가 불가능하다는 이론이 있다는 것입니다; 현재의 해상도가 이론적인 최고 치입니다. 그러나 모든 이론에는 가정이 있습니다. 왜 렌즈 영역은 대칭이어야 하는 것입니까? 저는 이것을 도전과제로 제시 하겠습니다: 전자현미경의 배율을 증대하기 위한 방법은 없을까요?

## **마법의 생물학적 시스템**

아주 작은 크기로 정보를 기록해내는 생물학적인 예들은 저에게 어떠한 일이 가능하다는 생각을 불러 일으킵니다. 생물학은 간단하게 정보를 쓰는 것이 아닙니다.; 생물학은 정보에 대해 어떤 특별한 작용을 합니다. 생물 시스템은 대단히 작습니다. 많은 수의 세포들은 매우 작지만 활동적 입이다; 세포들은 많은 종류의 물질을 만들어냅니다; 주위를 돌아 다닙니다; 몸을 좌우로 흔듭니다; 그리고 모든 종류의 마법과 같은 일을 하는 것입니다. 그 모든 것을 매우 작은 영역에서 말 입이다. 또한 그들은 정보를 저장합니다. 우리들 역시 우리가 원하는 것--우리가 만들 수 있고 아주 작은 영역에서 작동할 수 있는 것--을 매우 작게 만들 수 있다는 가능성을 상상해 보십시오.

매우 작은 것을 만드는 이런 사업에도 경제적인 이점이 있을 것입니다. 계산기의 몇 가지 문제점들을 당신이 상기하게끔 해보도록 하겠습니다. 우리는 컴퓨터에 많은 양의 정보를 저장해야 합니다. 전에 언급했던 즉, 금속의 분배로서 모든 것을 기록할 수 있었던 종류가 영구하다는 것입니다. 컴퓨터에 더욱더 흥미로운 사실은 기록, 삭제 그리고 몇 가지 다른 것들을 기록하는 방법들입니다.(이것은 흔히 우리가 방금 기록했던 물질들을 버리기 싫어하는 이유 때문일 것이기도 합니다. 그러나 만약 우리가 매우 작은 공간에 기록할 수 있다면 많은 차이점을 만들게 될 수도 있습니다; 워혀진 후에 바로 버릴 수 있기에 말이죠. 또한 그런 물질을 위한 비용도 절감될 것입니다.)

## **컴퓨터를 소형화 하는 것**

나는 실제로 어떻게 그 작은 크기에 이것을 기록하는지는 모릅니다. 하지만 계산기가 매우 크다는 것은 알고 있습니다. 왜 우리는 계산기들을 더 작게 만들 수 없는가, 왜 우리는 작은 Wire로, 또 작은 원소로 만들 수 없는가. 나는 작은 것이라는 사실에 의미를 두고 싶습니다. 예를 들면 Wire가 10개 또는 100개의 원자직경으로 될 수 있고, 회로가 수천 Å으로 가로질러 만들어 질 수 있는 것입니다. 모든 사람들은 컴퓨터가 결론에 이르는 수학적 이론들을 분석해 왔습니다. 그 컴퓨터의 가능성은 매우 흥미롭습니다.--만약 그들이 몇 개의 거대한 차수에 의해 더욱 더 복잡하게 만들어진다면요. 만약 그들이 수 백 만개의 원소들만큼 많이 가지게 된다면 그들은 판단을 할 수 있을 것입니다. 그들은 방금 시작한 계산에 대

한 최선의 답을 계산하는데 시간을 가지게 될 것입니다. 그들은 그들의 경험으로부터 분석 방법을 택하게 될 것이고, 이는 그들에게 주는 한 분석방법보다 더 낫은 방법일 것입니다. 그리고 많은 다른 방법들에서 그들은 새로운 양적인 형태를 지니게 될 것입니다.

만약 내가 당신의 얼굴을 본다면 그 즉시, 나는 전에 보았던 것을 인식하게 됩니다.(실제로, 나의 친구들은 이런 설명의 주제에 대해 불운한 예로 선택 되어 졌다고 들 말 할 것입니다. 하지만 최소한 나는 사과가 아닌 사람 이다는 것을 인식할 수는 있습니다.) 그러나 그렇게 빨리 얼굴 사진을 가져와서 심지어 이것이 인간이라고 말할 수 있는 기계는 없습니다. 그리고 당신이 전에 보여줬던 똑같은 사람에 대해서도 마찬가지로 일 것입니다. -- 정확하게 똑같은 사진이 아니다면. 만약 그 얼굴이 바뀐다면; 만약 내가 그 얼굴에 더 근접한다면; 내가 그 얼굴과 더 유사하지 않다면; 빛이 바뀐다면 - 어찌 됐든 난 인식할 수 있을 것 입니다. 이러함에 컴퓨터의 소형화는 내가 나의 머리 속에서 사진을 가져오듯 쉽게 그러한 일을 해 낼 수 있을 것입니다. 우리가 만드는 컴퓨터들은 그러한 것을 할 수 없습니다. 나의 뼈에 있는 수많은 원소들은 우리의 놀라운 컴퓨터의 수많은 원소들 보다 더 거대하게 클 것 입니다. 그러나 우리의 기계적인 컴퓨터들은 너무 큼니다; 이러한 상자에 있는 원소들은 Microscopic 입니다. 나는 그것들을 Submicroscopic하게 만들길 원합니다.

만약 우리가 컴퓨터를 이렇게 신기하고, 특별한 질적인 능력을 갖게 만든다면 우리는 아마 펜타곤의 크기로 이것을 만들어야 할 것입니다. 이것은 몇 가지 단점을 갖게 될 것입니다. 먼저 이것은 너무 많은 물질을 요구하게 됩니다; 세상에는 이 거대한 것에 넣을 모든 트랜지스터를 위한 제라늄이 충분치 않습니다; 또 TVA도 컴퓨터를 가동하기 위해 필요할 것입니다. 그러나 심지어 더 실제적인 어려움은 컴퓨터가 어떤 속력에서 한계에 이를 것이라는 것입니다. 이 거대한 크기 때문에 한 자리에서 다른 자리로 정보를 얻는 데는 한정된 시간이 필요할 것입니다. 그 정보는 빛의 속력보다 더 빠를 수는 없습니다. --- 그래서 결국에는, 우리의 컴퓨터가 더욱더 빨라지게 되고 더욱더 정교해질 때를 위해 우리는 더욱 더 그들을 작게 만들어야 할 것입니다.

그러나 그들을 작게 만들 충분한 공간이 없습니다. 내가 물리적인 법칙에서 볼 수 있는 것은 어떤 것도 없습니다. 그것은 컴퓨터 원소들이 지금 보다 더 작게 만들어 질 수 없다는 것을 말하기도 합니다.

### **증발건조에 의한 소형화**

여러분들은 이런 장치를 어떻게 제조할 수 있을까요? 여러분들은 어떤 종류의 제조 과정을 사용할 것인가요? 집필에서 어떤 배열에 원자를 놓는 것을 이야기해왔던 이래로, 우리들이 고려할 수 있는 어떤 실현 가능성은 물질을 증발시키는 것이었을 것입니다. 그 다음에 절연

체를 증발시킨다. 그리고, 다음 층에서, 도선의 또 다른 위치, 다른 절연체, 그리고 기타 등등을 증발시킨다. 그래서, 여러분은 단순히 당신이 매우 좋은 차원표기의 요소(코일과 냉각기, 트랜지스터 등)를 가지고 있는 재료의 덩어리를 가지고 있을 때까지 증발시킵니다.

그러나, 나는 다른 가능성이 있는 것을 단지 즐겁게 토론하고 싶습니다. 우리들이 큰 컴퓨터를 제조하는 것처럼 이 작은 컴퓨터들을 왜 제조할 수 없을까요? 우리들은 미소한 수준에서 구멍을 뚫고 자르고 납땀하고, 찍어내고, 다른 형태로 주조 등을 왜 할 수 없을까요? 당신이 더 이상 주조할 수 없기 전에 작은 것을 어떻게 한다는 거에 대하여 무슨 제한이 있을까요? 당신이 조그마한 당혹감을 가지면서 아내의 손목시계처럼 어떤 것에 일하고 있을 때 마다, 만약 당신은 오직 개미가 이것을 하도록 훈련할 수 있었으면 하고, 당신에게 말하는군요! 내가 이것을 하기 위하여 단지 개미를 훈련시킬 수 있다면, 내가 제안하고 싶은 것은 이것을 하기 위하여 개미를 훈련시키는 가능성을 꼬마를 가르치도록 훈련하는 것입니다. 움직일 수 있는 기계들을 제외하고 작은 가능성은 무엇일까요? 그것들은 유용하거나 유용하지 않을 지도 모르나 그것들은 만든다면 확실히 즐거운 것입니다.

어떠한 기계(예를 들면, 자동차)를 생각해봅시다. 그리고 자동차처럼 미소한 기계를 만드는 문제에 관하여 이야기 해봅시다. 자동차의 특별한 디자인 안에서, 부분들에 다소 정밀도를 필요로 합니다; 정확도도 필요로 합니다, 1인치의 4/10000를 생각하십시오. 만약 실린더의 형태보다 덜 정확하다면, 그것은 잘 작동하지 않을 것입니다. 만약 내가 그것을 너무 작게 한다면, 원자의 크기를 고려해야 할 것입니다.; 말하자면 원이 너무 작으면 나는 볼들의 원을 만들 수 없습니다. 그래서, 만약 내가 에러를 한다면, 1인치의 4/10000에 대응, 10원자의 실수에 대응, 그것은 내가 자동차 4,000배의 차원을 줄일 수 있는 것으로 판명 될 수 있습니다. 대략 그것이 1mm 지름에 대응합니다. 명백하게, 만약 당신이 그것이 훨씬 더 큰 내구성을 가지고 작동하도록 자동차를 재 설계한다면, 그것은 조금도 불가능하지 않습니다, 그러면 당신은 훨씬 더 작은 장치를 제조할 수 있을 것입니다.

그런 작은 기계들 안에 무슨 문제점들 있다는 것을 생각하는 것은 흥미롭습니다. 맨 먼저, 같은 정도로 충격을 가한 부분과 함께, 힘은 당신이 줄이고 있는 영역으로 갑니다. 그래서 무게 그리고 관성과 같은 것들은 상대적으로 덜 중요하게 됩니다. 바꾸어 말하면, 물질의 강도는 비례적으로 매우 높습니다. 예를 들면, 원심력이 우리가 크기를 감소하듯이 같은 비율로 증가되었다면, 원심력으로부터 플라이휠의 스트레스들과 팽창은 같은 비율일 것이다. 반면에, 우리들이 사용하는 거대한 구조의 금속 원소는 물질이 같지 않기 때문에 작은 규모로 합금 해야 합니다. 플라스틱과 유리와 비결정성 자연의 것들은 매우 많이 더 균일해서 우리들은 이러한 물질로 우리들의 기계들을 만들어야만 할 것입니다.

우리 도선들과 자기의 부분을 가지는 시스템의 전기부분에 관련된 문제점들은 있습니다. 매

우 작은 단위에 자기적 성질들은 큰 단위처럼 같지는 않습니다.: 포함된 도메인 문제는 있습니다. 무수히 많은 도메인들로 만들어진 큰 자석은 하나의 도메인을 가진 작은 규모로 만들어 질 수 있습니다. 전기에 관한 장비는 단순히 작은 규모로 하는 것은 쉽지가 않습니다.; 그것은 재 설계되어야만 합니다. 그러나, 나는 왜 그것이 다시 작동하기 위하여 재 설계될 수 없는 이유를 모르겠습니다.

## **윤희의 문제**

윤희는 몇몇 흥미로운 요점을 포함합니다. 기름의 효과적인 점도는 (그리고 만약 우리들이 할 수 있는 만큼 속력을 증가시킨다면) 우리가 소형화 한 만큼에 비례하여 점점 높아질 수도 있을 것입니다. 만약 우리들이 그렇게 많이 속력을 증가시키지 않고 오일이 등유나 다른 유체로 변화되지 않는다면 문제는 그다지 심각한 것은 아닙니다. 그러나 실제로 우리들은 전혀 기름칠을 하지 않아도 될지 모릅니다. 우리들은 어떤 특별한 힘을 가지고 있습니다. 베어링을 건조하여 주십시오! 그러한 작은 설비로부터 열이 매우 빨리 빠져 나가기 때문에 그것들은 뜨겁게 되지 않을 것입니다.

이 빠른 열손실은 가솔린이 폭발하는 것을 막을 것입니다. 그래서 내연기관은 불가능합니다. 저온에서도 힘을 발생시키는 다른 화학반응 들은 사용될 수 있습니다. 아마도 전기를 외부로부터 공급하는 방법이 그러한 작은 기계들에 가장 사용하기가 좋을 것입니다.

이러한 기계들의 효용성은 무엇일까? 누가 알고 있습니까?

물론, 작은 자동차는 단지 작은 것들이 운전하는 것에만 유용할지도 모릅니다. 그리고 나는 우리 사람들의 관심이 그렇게 오래 가지 않을 거라 생각합니다. 그러나, 우리들은 매우 작은 크기의 선반과 다른 공구들을 포함하고 있는 완전히 자동화된 공장에서 컴퓨터에 의한 작은 원소의 제조 가능성을 언급했었습니다. 작은 선반은 큰 선반과 정확하게 같을 필요는 없을 것입니다. 나는 이러한 일을 처리하기에는 완전 자동화가 가장 편리한 방법의 한가지라는 것을 알리면서 매우 작은 물건들의 최대한의 물성을 얻기 위한 디자인의 개선은 여러분의 상상에게 남깁니다.

나의 친구(Albert R Hibbs)는 상대적으로 작은 기계들에 대해 매우 흥미로운 가능성을 제안했습니다. 그는 "그것이 무모한 생각이지만 만약 여러분이 외과 의사를 믿을 수 있으면 외과 수술이 흥미로워질 것이다"라고 말했습니다. 여러분은 혈관 안에 기계 외과 의사를 들여놓게 되고 그것은 심장으로 들어가서 관찰하게 됩니다.( 물론 이때 정보가 공급되어야만 합니다 ) 그것은 어떤 밸브에 결점이 있다는 것을 발견한 후 작은 칼을 가지고서 그것을 얇게 뺍니다. 다른 작은 기계들은 부적절한 기능을 하고 있는 몸 속의 기관을 치유하기 위하여 몸 속에 영구적으로 남을 수도 있습니다.

여기에 흥미로운 의문이 있습니다. 우리들은 이렇게 자그마한 장치를 어떻게 제조합니까?  
나는 여러분에게 그것을 남깁니다. 그러나, 나는 초자연적인 한 가지 제안을 하겠습니다. 여러분은 원자력 공장에 원자들이 방사능을 띠기 때문에 직접적으로 처리할 수 없는 기계와 재료가 있다는 것을 알고 있습니다. 너트의 나사를 풀고 볼트를 조이는 등의 일을 하기 위하여 master hand와 slave hand set를 가지고 있고 지렛대의 세트를 조작함으로써 이러한 손들을 제어하며 여러분은 이러한 방법에 의해 사물을 변화시키고 매우 훌륭하게 사물들을 처리할 수 있습니다.

이런 장치들은 대개 단순하게 만들어져 있습니다. 손이 꼭두각시 줄 같은 케이블에 연결되어 있습니다. 그러나 물론 이 장치는 보조전동기를 사용하도록 만들어져 있어서, 기계적이지 않거나 전기적으로 연결되어 있습니다. 사람이 레버를 돌리면 레버는 보조 전동기를 돌리고, 이것은 전선에 흐르는 전류를 변화시키고, 이것이 다른 쪽 끝에 있는 모터를 움직입니다.

이제 나는 주인이 전기적으로 작동하는 원격조정시스템과 같은 장치를 많이 만들기를 원합니다. 그러나 나는 현대의 큰 크기의 기계 운전자들에 의해 특별하고 주의 깊게 만들어진 원격조정장치를 원합니다. 그것들은 여러분들이 일상적으로 작동하는 손의 크기의 1/4입니다. 여러분은 1/4의 것들과 어떤 식으로든 어떤 일을 행할 수 있는 계획을 가지고 있습니다. 작은 너트와 볼트를 작은 손으로 작동할 수 있는 작은 서보기구; 그것들은 작은 구멍을 뚫습니다; 그것들은 4배 더 작습니다. 아! 그래서 나는 1/4크기의 선반을 제조하려고 합니다. ; 1/4크기의 도구를 제조합니다. 그리고 1/4크기로 만듭니다. 여전히 손의 다른 셋트는 다시 상대적으로 1/4크기입니다! 이것은 내 관점으로 볼 때 1/16입니다. 그리고 나는 이일을 하고 난 후에 큰 크기의 시스템을 변형시키는 것의 perhaps를 통해서 직접적으로 전송합니다. 1/16의 서버모터로 말입니다.

자, 여러분들은 거기로부터의 원리를 얻습니다. 그것은 좀 어려운 프로그램이지만 그것은 가능성이 있습니다. 여러분이 어떤 것이 1에서 4로 가는 것보다 한 단계 안에서 더 멀리 갈 수 있다고 말할 수 있을지 모릅니다. 물론, 이것은 매우 조심스럽게 모두 디자인되어집니다. 그리고 손과 같이 그것을 만들기에 정말로 필요 없습니다. 여러분이 매우 조심스럽게 그것을 생각한다면, 여러분은 아마도 그러한 일들을 하는 것에 훨씬 더 나은 시스템에 이르게 될 것입니다.

오늘날에조차도 여러분이 팬타그래프를 통하여 작업을 한다면, 여러분은 단지 한 단계에서조차라 할지라도 4개의 요소들 보다 훨씬 더 많은 것을 얻을 수 있습니다.

그러나, 당신은 작은 팬타그래프를 만드는 그리고 또, 작은 팬타그래프를 만드는 팬타그래프를 통하여 직접적으로 작업을 할 수가 없습니다. 그것은 구멍의 느슨함과 구조의 불규칙성 때문입니다. 팬타그래프의 끝은 당신이 당신의 손을 움직이는 불규칙성보다 상대적으로

더 큰 불규칙성으로 흔들립니다. 나는 펜타그래프의 끝 위에 펜타그래프의 끝 위에있는 펜타그래프의 끝이 어떤 민감한 행동을 전혀 하지 않았는데도 매우 나쁘게 흔들리는 것을 발견하였습니다.

각 단계에서, 기계장치의 정밀함의 향상은 필요합니다. 예를 들어, 만약 펜타그래프에 작은 선반이 만들어져 있었다면, 우리는 그것의 주나사가 불규칙인 것을 발견할 수 있었습니다. 큰 크기의 것보다 더 불규칙적이게 말입니다.

우리는 주나사를 여러분이 이 주나사가 그 크기에서 원래 있었던 주나사만큼 정밀하게 될 때 까지 앞뒤로 보통의 방법으로 변환할 수 있는 깨지기 쉬운 너트에 대항하여 겁치게 할 수 있습니다.

우리는 세 쌍을 세배로 함께 하여 편평하지 않은 표면의 마찰에 의해 편평하게 만들 수 있습니다. 그리고 그 편평한 것은 그리고 나서 당신이 시작하려고 하는 것들보다 더 납작하게 됩니다. 그러므로 작동방법을 고침으로 해서 작은 크기에서 정밀성을 향상시키는 것은 불가능한 것이 아닙니다. 그래서 우리가 이런 재료를 만들 때, 그 부분에서 잠깐 동안의 정밀주나사를 만드는 작업으로 인해 장비의 정확성을 각 단계에서 향상시키는 것이 필요합니다.

johansen block, 그리고 우리가 높은 단계에서 정밀한 기계작업을 사용합니다. 이것은 모든 다른 재료에서도 그렇습니다.

우리는 각 단계에서 멈추어야 하고 다음 단계로 가기 위한 모든 재료를 제조해야만 합니다. 이것은 매우 길고 어려운 프로그램입니다. 아마도 당신은 작은 크기로 더 빠르게 이르게 하는 더 좋은 방법을 계산할 수 있습니다.

그러나 아직, 결국 당신은 단지 평소보다 4천 배 작은 하나의 작은 아기선반을 얻은 것에 불과합니다. 그러나 우리는 거대한 컴퓨터를 만드는 생각을 하였습니다. 그런데 그것은 우리가 컴퓨터를 위한 와셔를 거의 만들 수 없는 상황에서 선반 위에 구멍을 뚫음으로 인해 우리는 만들었습니다. 이런 하나의 선반을 제조할 수 있는데 있어서 얼마나 많은 와셔가 있어야 합니까?

## 수많은 작은 손

처음 1/4 크기로 손을 만들 때, 열 세트를 만들겠습니다. 열 세트를 만들고, 동시에 똑같이 움직이도록 본래 레버에 나란히 연결합니다. 그리고 1/4 크기의 새 장치를 다시 만들면서, 각 장치로 10개의 복사체를 만들면 결국 1/16 크기의 손을 100개를 얻게 됩니다.

만들어진 수많은 선반들은 어디에 놓을까요? 본래 크기의 선반보다 너무 작아서 아무것도 할 필요가 없습니다. 예로 1/4000 크기로 일정한 선반 10억 개를 만들면 큰 선반에 있는 물

질에서 2%이하만을 작은 선반들이 차지하므로 많은 물질과 공간을 이용할 수 있습니다.

보다시피 아무런 물질이 필요하지 않습니다. 그래서 동시에 생성하고, 구멍을 뚫고, 부품을 붙이는 등의 모델들을 각각 10억 개씩 만들고 싶습니다.

크기가 줄어들면서 많은 흥미로운 문제들이 발생합니다. 모든 물질이 단순히 비례하면서 크기가 줄지는 않습니다. 물질들이 분자간 인력(Van der Waals) 때문에 서로 붙는 문제가 생깁니다. 아마 이럴 것입니다 : 부품을 만든 후에 볼트에서 너트를 빼면, 중력이 너무 약해서 떨어지지 않을 것이며 볼트에서 떼어내기도 어려울 것입니다. 그것은 마치 당밀을 가득 찬 손을 물컵에서 꺼내려는 사람이 나오는 오래된 영화 같은 것입니다. 우리가 디자인할 준비가 되어 있어야 할 이러한 성질의 문제가 여러 가지 있을 것입니다.

## **원자의 재배열**

그러나 결국 먼 미래에 우리가 원하는 방식으로 원자를- 계속 작게 해서, 바로 원자를- 배열할 수 있다고 생각합니다. 만일 원하는 데로(물론 화학적으로 불안정한 상태로 둘 수 없는 것과 같이 정상적으로) 원자들을 배열할 수 있다면 어떤 일이 벌어질까요?

지금까지 광물을 찾기 위해서 기꺼이 땅을 파왔습니다. 우리는 광물의 큰 덩어리에 열을 가하는 등 여러 작업을 하여 불순물 등이 적은 순수한 물질을 얻기를 원합니다. 그러나 항상 본래 특성에 의해 나타나는 원자 배열을 인정해야만 합니다. 말하자면 정확히 1000 떨어져 배열된 불순물이 있는 체스판 배열이나 특정한 형식을 갖는 것은 얻지 못했습니다.

일정한 층으로만 된 층 구조로 우리는 무얼 할 수 있을까요? 원하는 방식으로 원자들을 배열하면 물질의 성질은 어떻게 될까요? 그것들은 이론적으로 조사하기에 매우 흥미로운 것입니다. 어떤 일이 일어날지 정확히 알 수는 없지만, 작은 크기의 배열을 조절할 수 있게 되면 물질에서 얻을 수 있는 성질의 가능한 폭이 굉장히 넓어지고, 다른 일도 많이 할 수 있을 것이라는 것은 확신합니다.

예를 들어 한 회로에 1000~10000 의 작은 코일이나 콘덴서 등이 있고, 한 쪽에 작은 안테나를 가지고 있으며, 넓은 면적에 서로 연결되어 전체 회로의 시리즈를 이루는 물질을 생각해봅시다. 유럽에 라디오 프로그램을 보내기 위해, 뭉쳐있는 안테나 세트에서 라디오 파를 쏘아내듯이, 전체 안테나가 빛을 내는 것이 가능할까요? 일정한 방향에 매우 높은 강도의 빛을 쏘아내는 같은 일이 일어날 것입니다.(아마도 그런 빔은 기술적으로나 경제적으로 유용하지는 않을 것입니다.)

나는 작은 규모의 전기적 회로를 만드는 문제에 대한 어떤 생각을 가지고 있으며, 이러한 문제를 푸는 것에는 상당한 어려움이 따를 것입니다.. 만약 여러분들이 작은 규모의 어떠한 회로를 만들었다고 가정하면, 그것은 파장의 크기를 낮추어야 되며, 게다가 표면의 깊이를 크기 비의 지수 배 감소시켜야 하기 때문에 진동의 성질을 뛰어넘는 일이다. 또한 저항의 문제도 어려움이 증가된다. 만약 진동이 너무 크지 않거나 또는 다른 방법을 이용할 수만 있다면, 우리는 *superconductivity*의 사용을 통하여 난관을 넘을 수 있을 것입니다.

### **작은 세계의 원자들**

물리학자들이 7개의 원자로 구성된 회로와 같은 극히 작은 세계에 대하여 이해하게 될 경우, 그들은 디자인에 대한 새로운 가능성을 암시하게 되는 일들을 많이 접하게 될 것입니다. 작은 규모 내에서의 원자는 양자역학에서 이야기 되어지는 것처럼 큰 규모 내에서의 원자와 동일하게 행동하지 않습니다. 따라서 우리가 더 미시화 된 세계에 관심을 가지고, 그곳에서의 원자를 조작하기 위해서는 기존의 연구방법과 다른 방법으로 연구해야 하고, 이러한 것들의 거동에 대하여 예측할 수 있어야 합니다. 그렇게 된다면, 우리는 회로뿐만 아니라 양자화된 에너지 레벨을 포함하는 어떤 시스템, 또는 양자 스핀의 상호작용 등을 이용할 수 있게 될 것입니다.

만약 충분히 작게 만들 수 만 있다면, 물리학자들은 모든 장치들을 아주 동일한 하나의 장치로 복제할 수 있을 것입니다. 지금 물리학자들은 차원적으로 정확하게 동일한 차원을 가지는 두 개의 큰 기계를 만들 수 없지만, 만약 여러분의 기계가 100원자 정도로 구성되어만 있다면, 여러분들은 완전히 똑같은 다른 것을 가질 수 있습니다.

원자 레벨에서 우리는 새로운 종류의 힘과 새로운 종류의 가능성, 새로운 종류의 효과를 얻을 수 있을 것입니다. 제조와 물질의 재생산의 문제는 상당히 어렵게 될 것이다. 요컨대 나는 초자연적 효과의 모든 종류를 만들어 내기 위한 장황한 형태로 사용되는 화학적 힘인 생물학적 현상으로서 영감을 줄 수 있다.

나의 물리학적 지식으로는 원자를 이용하여 원자를 다룰 수 있는 가능성에 대해서는 뭐라 말할 수 없습니다. 그러나 이는 모든 법칙을 위배하는 것이 아니며 지금은 너무 커서 할 수 없는 것을 할 수 있게 만드는 어떠한 원리일 것입니다.

결국에는 물리학자들은 화학적 합성을 할 수 있게 될 것 입니다. 물리학자들에게 화학자들이 다가와 말합니다. 나는 원자의 군집으로 구성된 분자를 만들고자 합니다. 그리고 이제부터 그것을 만들겠습니다. 화학자들은 그들이 원하는 분자를 만들기 위해 신비한 일을 진행할 것입니다. 그들은 그들이 원하는 것이 고리모양을 하고 있음을 알 것이고, 원자들을 혼합

하여, 흔들어서 그들을 범위 내에 정렬화 시킬 것입니다. 그리고 물리학자들에 의해서 모든 난관이 해결될 때, 그들은 모든 것들을 합성할 수 있는 방법들을 터득하게 될 것입니다.

화학자들이 언급한 모든 화학물질의 합성이 원론적으로 가능하다는 것은 제가 생각하기에 물리학자들에게 흥미로운 일일 것 입니다. 화학자들이 원하기만 하면, 물리학자들은 그것을 합성할 것입니다.

주문을 하면 물리학자들이 그것을 합성합니다. 어떻게 할까요? 화학자들이 말한 곳에 원자를 놓습니다. 그렇게 해서 당신은 물질을 제조합니다. 화학과 생물학의 문제들은 우리가 무엇을 하고있는지 볼 수 있고 원자 레벨에서 어떤 일을 할 수 있는 능력이 궁극적으로 발전 (피할 수 없는)된다면 푸는데 큰 도움이 될 것입니다.

지금 당신은 이렇게 말할 것 입니다. ‘누가 이일을 해야 하고 왜 그들이 그 일을 해야하는지?’ 글세요, 난 몇가지 경제적인 적용에 대해 지적하고 싶습니다. 그러나 나는 당신이 이일을 해야 하는 이유가 재미를 위해서야 하는 것을 압니다. 즐겁게 생각하십시오. 실험실 실험실 사이에서 경쟁을 합시다. 어떤 실험실이 다른 실험실에 하나의 작은 모터를 보내고 그리고 그 모터를 받은 실험실은 첫 번째 모터보다 더 작은 모터를 다시 보냅니다.

## **고교경연대회**

단지 재미를 위해서 그리고 이 분야에서 아이들의 관심을 불러일으키기 위해서 나는 고등학교에 관련 있는 사람들이 학교 경쟁에서의 다양한 분야를 만드는 것을 생각해야 한다고 제안합니다. 지금까지 우리는 이 분야에서 아직 시작하지 않았음에도 불구하고 아이들은 전에 자기들이 써오던 것보다 더 작게 쓸 수 있습니다. LA의 고등학교에서 베니스의 고등학교로 ‘How’s this?’라고 적혀진 핀을 보낼 수 있습니다. 그리고 그들은 하나의 핀을 하나 받는데 ‘i’라고 적혀진 하나의 점에서 ‘그렇게 최신의 것이 아니네’라고 적혀있습니다.

어쩌면 이러한 것은 당신이 이러한 분야를 하도록 흥미를 못 끌 수도 있습니다. 그리고 단지 경제만이 그 일을 할 것입니다. 그리고 나는 어떤 것을 하기 원합니다. 그러나 나는 지금 이 시점에서 그것을 할 수 없습니다. 왜냐하면 나는 아직 기초가 준비되어 있지 않기 때문입니다. 전자 현미경을 사용하여 선형적으로 1/25000만큼 작은 공간에서 책의 정보를 취할 수 있고 기록할 수 있는 첫 번째 사람에게 1000달러의 상을 제공하는 것이 제 의도입니다. 또한 나는 단지 1/64inch cube안에 들어가는 전자 모터를 만드는 첫 번째 사람에게 또한 1000달러의 다른 상을 주기를 원합니다.

나는 그 상이 수여되는데 그리 오래 기다리지 않도록 바랍니다.