

# 4보다 더 작게 그리고 더 작아지게

글\_ 김태승 한국과학기술연구원 미래기술본부 책임연구원 tskim@kist.re.kr

**최** 근 들어 기술의 발전속도는 자고 일어나면 달  
라질 정도로 빠르다. 이러한 발전의 주역 중의  
하나는 반도체기술을 근간으로 한 마이크로시스템기  
술(Microsystem Technology) 혹은 극미세 전자기계  
시스템(Micro Electro Mechanical System) 기술의  
발전을 들 수 있다. 나노기술과 함께 스몰 테크놀로지  
(Small Technology) 또는 단순히 스몰텍이라고 부르  
기도 하는 이들 기술은 기존에 사용되던 부품을 아주  
작은 크기로 줄일 수 있게 하거나 아예 새로운 부품의  
탄생으로 이어져 기존 기술의 한계를 극복한 초소형  
시스템으로서 사람들을 놀라게 한다. 이미 이들 스몰  
텍으로 만들어진 전자기계들이 우리가 타는 자동차,  
프린터, 어린이나 혹은 노약자가 사용하는 호흡보조  
기, 체내의 혈액 분석시스템 등에 적용되고 있다. 이  
들 작은 시스템의 구현은 작게 됨으로써 나타나는 물

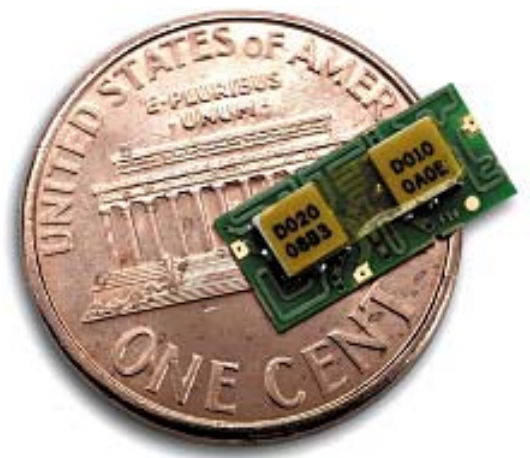
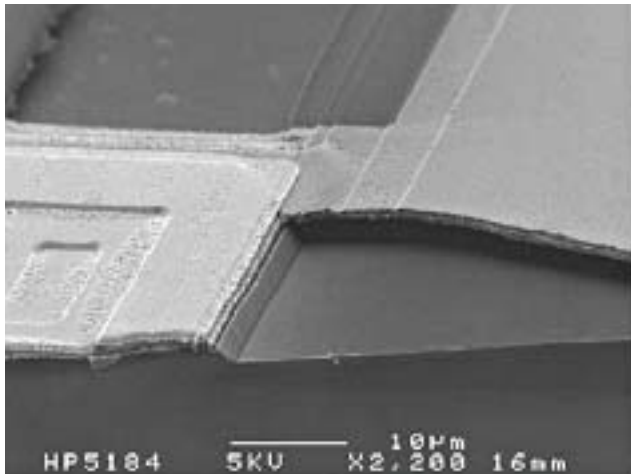
리적 현상을 이용한 것이다.

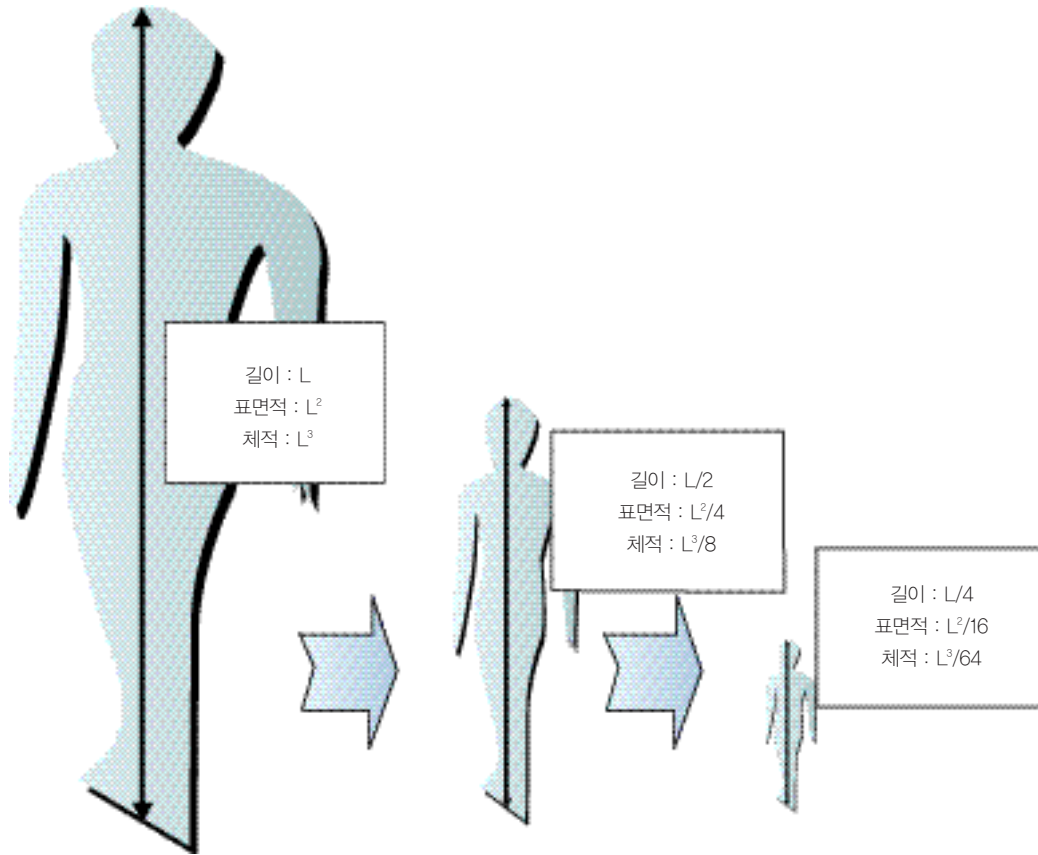
### 걸리버는 최초의 마이크로시스템 기술자(?)

마이크로세계는 mm 이하의 크기 영역을 말한다. 이  
러한 작은 크기의 영역에서는 어떤 변화가 있을까?  
예를 들어 단순히 사람의 크기가 작아졌다고 생각해  
보자. 즉 1mm 이하로 사람이 작아질 경우 어떤 일이 벌  
어질까? 걸리버가 인도로 향해하는 도중 1/12이나 작  
은 난쟁이 나라 릴리펫에 가기도 하고, 키다리 나라  
브로브딩내그로에 가서 여러 가지 일을 겪는 영국의  
작가 스위프트가 지은 걸리버여행기를 한번쯤 읽었던  
것을 대부분의 사람들은 기억할 것이다.

그러나 이러한 것은 과학적으로 보면 있을 수 없는  
일이다. 기본적으로 사람의 크기가 작아지면 과학적  
으로 사람간의 대화가 불가능하다. 즉, 사람이 귀로

〈그림 1〉  
벌크 어코스틱 레조네이  
터(통신용 필터)의 단면도  
(좌) 와 미국 Agilent  
Technology에서 개발  
판매를 시작한 FBAR  
Filter 칩 모습 (우) 〈그림  
설명〉 왼쪽 그림은 오른  
쪽 칩 패키지를 제거한  
내부의 소자모습으로 두  
께 1~2 마이크로미터의 멤브레  
인 위에 형성된 압전 레  
조네이터를 보여주고있  
다. 1센트짜리 동전보다  
도 훨씬 작은 칩의 구현  
이 이러한 마이크로시스  
템 기술을 이용하여 가능  
하게 되었음을 보여준다.





들을 수 있는 가청주파수는 20Hz~20kHz 정도이다. 사람의 크기가 작아지면 기본적으로 인간의 소리를 내는 기관의 크기가 그만큼 작아지고 음의 주파수가 커져 고주파 대역으로 이동하게 되며 정상적인 사람과의 대화는 불가능하게 된다. 이처럼 크기의 변화에 따라 고주파 대역으로 이동하는 원리를 이용해서 수 GHz 이상의 대역에서 작동하는 통신용 부품을 마이크로 시스템 기술로 구현하려고 하는 계획은 이러한 과학적 이유 때문이다.

즉, 핸드폰처럼 무선 통신을 하는데 있어서 단순한 대화와 같은 정보의 크기는 지금의 핸드폰으로도 충분하지만 동영상이나 혹은 기타 대용량의 정보를 전달하고자 할 때에는 대역이 훨씬 큰 영역으로 이동해야 된다. 이 때 사용되는 부품 중 필터나 듀플렉서 등을 <그림 1>과 같은 극미세 부품으로 적용하고자 하는

노력은 바로 이런 마이크로 시스템 기술 덕분이라고 할 수 있다.

이처럼 사람이 작아지면 사람의 부피는 단순히 길이의 세제곱분의 1로 작아지게 되고 표면적은 길이 제곱분의 1 비율로 작아진다<그림 2 참조>. 통상적으로 어떤 생물이 사용하는 에너지는 표면적에 비례한다고 알려져 있다. 즉 사람이 작아질 수만 있다면 현재보다 작아진 길이의 제곱에 반비례해서 에너지를 적게 쓸 수 있고, 따라서 아주 적은 양의 식사로 모든 운동을 할 수 있다는 것을 의미한다. 어떤 시스템의 크기가 작아지면 그만큼 보다 효율적인 시스템이 될 수 있다. '작아진다' 라는 것은 단순히 작아지는 것을 의미함을 떠나 효율성의 증대로 이어져 커다란 기계로 할 수 없던 일을 아주 효율적으로 할 수 있는 기회를 제공한다.

<그림 2>  
신장 L인 사람이 1/2로 그리고 1/4로 줄어 들었을 때 표면적과 체적의 변화를 보여주는 그림으로 길이는 단순히 1/4로 줄어 들 때 표면적은 1/16로 줄고, 체적은 1/64로 줄어들게 된다.



〈그림 3〉  
만화영화 'Ants'의 한 장면으로 작은 물방울에 갇힌 개미의 모습: 크기가 작은 물방울에서 발휘되는 표면적의 영향을 보여주며 물방울의 크기가 작아질수록 가두어 두려고 하는 힘은 커진다.

### 시스템 크기가 작아질수록 효율적

어떤 기계의 정밀성을 살펴보면 길이  $L$ 인 기계는  $\pm dL$  만큼의 정밀성을 가지고 운동한다면 길이가  $L/10$ 으로 작아질 경우  $\pm dL/10$  만큼의 정밀한 운동을 구현할 수 있어 10배의 정밀도 향상을 가져온다는 것을 의미한다. 따라서 수  $\mu\text{m}$  정도의 정밀을 요하는 부품이 필요하다면 전체 시스템의 크기를 줄이면 달성할 수 있다. 예를 들어서 현재 우리 주변에 전화를 이용한 유선통신망은 대부분 광통신 라인을 사용한다. 광통신은 레이저와 같은 광이 직경  $10\mu\text{m}$  정도의 코어 부분으로 이루어진 광섬유를 통하여 전달된다. 이들 광통신망은 전화국간의 연결은 이루어져 있지만 전화국과 가입자선 즉, 각 가정에 바로 광섬유를 이용한 연결은 이루어지지 못하고 있다.

이를 위해서는 광섬유로부터 나온 광신호를 효율적으로 신속하게 그리고 정밀하게 분배해주는 장치가 없었기 때문이기도 한데 신속성과 정밀성을 요하는 광스위치를 바로 마이크로시스템 기술로 구현할 수 있게 해준다. 작아짐으로써 직경  $10\mu\text{m}$ 의 광을 조절할 수 있는 기회를 얻게 되는 것이다. 사람의 크기가 작아지면 체적은 세제곱에 비례해서 작아진다. 이것은 작아짐으로써 무게가 급격히 작아진다는 것을 의미하는 것으로 작용하는 힘이 거의 없다는 것을 의미한다. 이들 부품을 떨어뜨렸을 때 거의 망가지지 않는다. 작

용하는 힘이 작기 때문이다. 한 가지 중요한 것은 작아짐으로써 표면적이 절대적으로 영향을 미친다는 것이다.

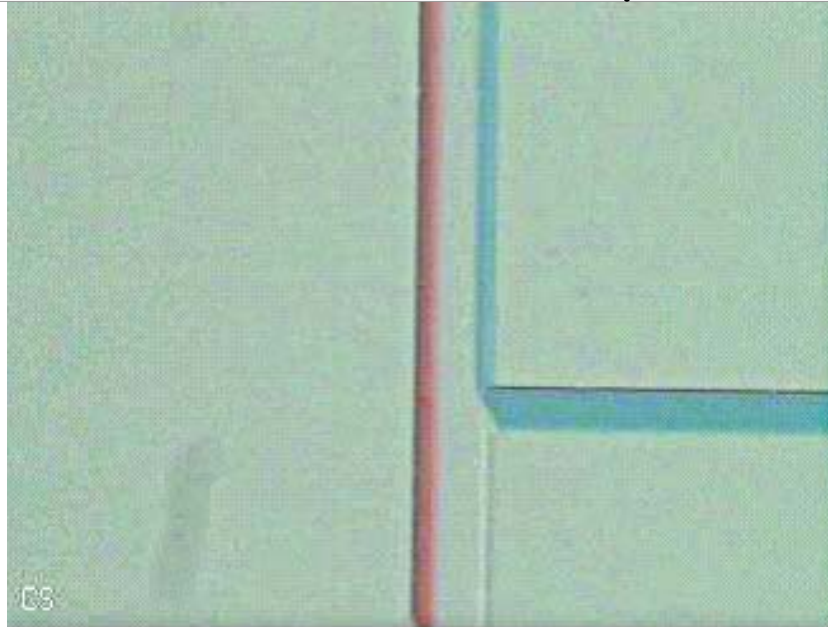
반지름  $D$ , 길이  $L$ 인 관의 체적은  $2\pi D^2L$ 이고 표면적은  $4\pi DL$ 이다. 이 둘의 비를 살펴보면  $D$ 가 작아지면 관의 체적은 제곱에 비례하여 줄어들지만 표면적은 반지름  $D$ 에 비례하여 줄어든다. 산술적으로 관의 직경이 미세해질수록 관의 표면적이 차지하는 비율이 훨씬 커져서 관이 클 때에 비하여 물리적으로 표면이 영향을 미치는 확률이 커지게 된다. 이처럼 작아지면 표면의 영향이 커지게 되는데 만화영화로 상영된 'Ants'의 한 장면인 〈그림 3〉을 보면 보다 이해하기가 쉬울 수 있다. 개미가 도망가다가 아주 작은 물방울에 갇히게 된 그림을 보여주고 있는데 실제로 이것은 가능한 일이다. 아주 작은 물방울은 큰 물방울에 비하여 상대적으로 표면장력의 힘에 의하여 물방울을 유지하려는 힘이 커지게 되고 작은 개미를 충분히 가두어 둘 수 있을 수 있다. 충분히 개미가 작아진다면 효과는 더 커질 것이다.

일반적으로 수 마이크로에서 수백 마이크로(1마이크론 =  $1/106\text{ m}$ )의 미세 채널을 흐르는 유체(액체 또는 기체)는 커다란 관을 흐를 때와는 완전히 다른 현상을 보인다. 통상적으로 관내 액체의 경우 적용되는 레이놀즈 수(Reynolds Number : 수식적으로 관경항목 나누기 점도로 표시되는 물리적 상수)는 1000 이상으로 때에 따라서는 이보다 더욱 커서 액체가 흐르면서 터블런스를 일으키기도 한다. 그러나 수 백 마이크로 이하의 미세 관로에서는 1이나 혹은 이하의 값을 보이며 아주 규칙적인 라미나플로를 보이게 된다. 이러한 특성은 바로 가스의 흐름의 경우에도 적용된다.

### 극미량 반응 측정소자, Lab-on-a Chip

통상적인 연속유체로서의 현상은 채널이 아주 미세해 질수록 보이지 않으며, 또한 가스 분자간의 상호작용 하나 하나를 가지고 해석하는 볼츠만식도 적용되

지 않는 중간 영역으로 존재한다. 또한 크기가 클 때는 전혀 영향을 미치지 않아 무시되던 열에 의한 영향이나 혹은 전기장에 대한 영향 등이 나타나며, 표면의 영향이 커지기 때문에 미소채널의 표면상태에도 지대한 영향을 받는다. 즉 친수성이나 혹은 소수성이나 같은 표면특성이 영향을 미치게 되고 앞에서 이야기한 바와 같이 라미



나플로를 보이기 때문에 다른 종류의 액체가 동시에 진입이 되어도 거의 섞이지 않는다(그림 4). 이와 같은 미세채널내의 특성을 이용하여 두 종류의 시약을 동시에 넣어 계면에서의 반응을 활용하여 극미량의 화학 또는 생물학적 반응을 측정하거나 하는 Lab-on-a Chip으로도 적용되어지기도 하며 거꾸로 Lab 칩내에서 반응을 빠른 시간내에 일으키기 위하여 강제로 미세 채널내에 다양한 구조물을 만들어 잘 섞이도록 하기도 한다.

마이크로의 세계는 현실의 매크로 세계와는 다른 현상을 보인다. 때로는 이러한 다른 현상이 제약 요인이 되기도 하는데 그 중의 하나가 움직이는 마이크로 소자들이 아주 미량 남아있는 액체 때문에 달라붙어서 움직이지 못하게 되는 곤란함을 겪기도 하는 것이 그것이다. 또는 마이크로세계에서 보이는 특이한 현상을 이용하여 특수한 부품을 구현하기도 한다. 이미 예를 들었지만 Lab-on-a-Chip이 그 중의 대표적인 소자로서 미량의 혈액을 이용하여 빠른 시간내에 사람의 질병을 검사하거나 다양한 화학 물질의 분석에 활용을 위하여 연구되고 있다. 이들 마이크로소자들은 구현되기 이전에 공상과학이나 혹은 만화영화에서

보여 주었던 아이디어들이 기술의 발전과 더불어 현대에 이르러 구현되어 상용화되는 경우도 많다.

영화로서 유명했던 'Inner Space'에서 사람이 아주 작은 잠수정에 타고 사람의 몸속을 탐험하는 이야기인데, 오늘날 사람이 작아져서 들어갈 수는 없지만 이러한 마이크로 캡슐을 이용해 인체의 질병감지를 위한 시도가 이루어지고 있다. 캡슐형 내시경이 그것으로 내부에 다양한 소자를 탑재하고 몸속의 영상을 찍어 몸밖으로 전송함으로써 가능하게 된다. 미래에는 더욱 작아져 혈관내의 질병을 검사할 수 있는 수준의 시스템으로 발전할 것으로 기대되며 현재 많은 연구가 수행되고 있는 나노기술과 합쳐져서 마이크로세계에서 벌어지는 현상들을 보다 정밀하게 규명할 수 있고 이들 현상을 보다 다양한 소자나 시스템에 응용할 수 있기를 기대해본다. ☞

〈그림 4〉

폭 70 마이크로, 깊이 12 마이크로인 채널내에 적색, 무색, 하늘색 3가지 액체를 흘려보낼 때 서로 섞이지 않고 흘러감을 보여주는 사진으로 관로의 크기가 작아짐으로써 레이놀즈 지수가 1에 가깝게 되고 이에 따라 아주 고요한 라미나 흐름을 보이기 때문에 나타나는 특이 현상임



글쓴이는 KAIST 재료공학과를 졸업, 동대학원에서 박사학위 취득 후 현재 한국과학기술연구원 미래기술본부 책임연구원으로 재직중이다.