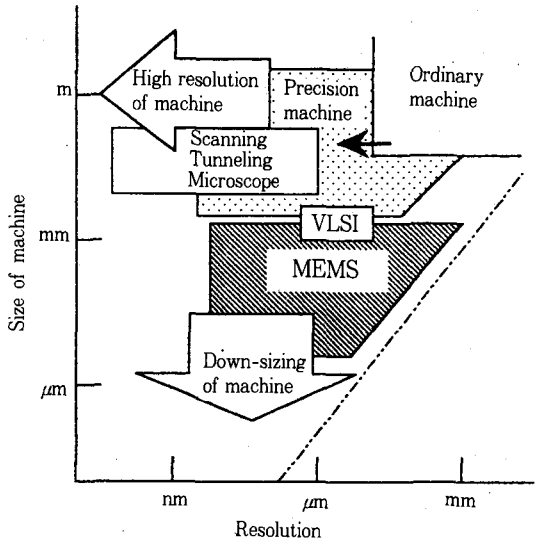
마이크로 머신의 응용

김 용 권
서울대학교 전기공학과 조교수

1. 서론

마이크로 머신 분야는 여러 가지 이름으로 불리우고 있다. MEMS(Micro Electro Mechanical Systems), 마이크로 메커트로닉스, 마이크로 시스템, 마이크로머시닝(Micromachining) 기술 등등. 우선 마이크로 머신이란 용어는 아주 작은 기계를 일컫는 말이고, 일반인이 들어서 기계가 작다는 뜻으로 이해하기 쉬우므로 자주 쓰인다. MEMS는 마이크로 머신보다는 보다 포괄적이고 학술적인 용어이다. 직역하면, 초소형(또는 미세) 전기기계 시스템이라는 말로 아주 작은 전기기계 및 그 시스템이라는 뜻이다. 현재 미국전기학회에서 이 용어를 사용하여 학회논문지를 발간하고 학술대회를 열고 있으며, 대한 전기학회에서도 MEMS연구회를 1994년도에 설립하여 학술대회를 가진 바 있다. 이 말은 이 분야를 설명하는 가장 적절한 용어이고, 그 이유는 이 글을 읽으면서 차차 알게 될 것이다. 마이크로 메커트로닉스는 메커트로닉스를 마이크로화했다는 표현으로 메커트로닉스의 지명도를 빌린 표현이며, 한때 일본에서 이 용어를 사용했다. 국내에서는 과학재단이 지원하는 중점과제연구회의 이름이 마이크로 메커트로닉스 연구회로 되어 있다. 마이크로 시스템이라는 용어는 주로 유럽에서 사용되는 용어이고, 마이크로머시닝 기술은 마이크로 머신이나 MEMS를 만드는 제작기술 및 해석, 측정, 응용 기술을 일컫는 말이다. 이 글에서는 편의상 마이크로 머신이라는 용어로 통일해서 쓰기로 한다.

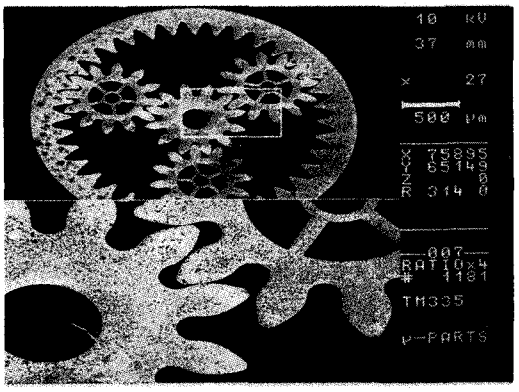
그러면, 도대체 어떤 것을 마이크로 머신이라고 하는가? 이에 대한 논의도 상당히 많은 편이나 저자는 좁게는 다음과 같이 정의한다. 반도체 집적소자를 제작하는 기술로부터 파생된 마이크로머시닝 기술로 제작된 각종 구조물, 기기, 시스템으로서 그 크기가 부품은 0.1~1㎜, 전체 기기는 10㎜ 정도인 것이다. 보다 넓은 의미로는 정밀기계 가공 기술과 정밀 조립에 의해 제작된 기기도 포함할 수 있다. 현대 과학 및 산업기술은 엄청난 속도로 진보하고 있어서 새로운 기술용어가 쏟아져 나오고 있는데, 특히 마이크로(Micro) 또는 나노(Nano), 수퍼(Super), 지능형(Intelligent)과 같은 접두사 또는 형용사는 새로운 기술용어마다 붙어서 그 신비감을 잃어가고 있다. 그 중에서 마이크로 머신의 마이크로가 무엇을 의미하는지는 **그림 1**을 보면 곧 알 수 있다. 현재 마이크로테크놀로지 또는 나노테크놀로



<그림 1> 기계 가공 또는 정밀도의 마이크로화와 기계 크기의 마이크로화

지로 불리우는 기술이 있다. 그것은 그림 1에서 기계를 마이크로미터 또는 나노미터급으로 정밀하게 제작하거나 위치를 제어하자는 기술이다. 즉, 기계 자체의 크기는 미터 정도로 크더라도 가공오차나 위치제어의 정밀도를 높이자는 방향의 연구이다. 그에 반하여 마이크로 머신을 연구하는 분야는 기계자체의 크기를 밀리미터 이하로 작게 하자는 연구이므로 나노테크놀로지와 마이크로 머신은 상이한 연구분야임을 알 수 있다.

이 글에서는 우선 여태까지 제작된 마이크로 구조물, 기기, 시스템 중에서 가장 인상적인 몇가지의 예를 보이고, 마이크로 머신을 응용할 수 있는 분야를 소개하기로 한다. 이 글에서는 마이크로 머신을 만드는 기술인 마이크로머시닝 기술에 대한 설명은 생략하므로 보다 구체적인 기술에 대해서 알고자 하는 독자는 참고문헌을 읽기 바란다.

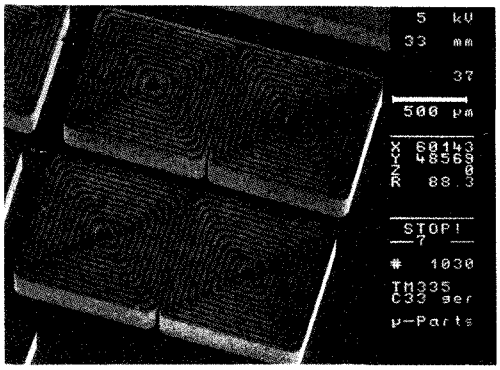


<그림 2> 마이크로머시닝 기술로 제작된 톱니바퀴들

2. 제작된 마이크로 머신

그림 2는 니켈로 제작된 톱니바퀴이다. 그림 오른쪽 위의 하얀 막대가 축척을 나타내고 있는데 그 길이가 500㎛이므로 톱니바퀴 전체의 크기는 약 2.5㎜이다. 사람 머리카락의 직경이 대개 100㎛ 정도이므로 작은 톱니바퀴 위에 머리카락을 놓으면 안 보일 것이다. 이 톱니바퀴는 선반 등의 기계 가공에 의해서 제작된 것이 아니라 반도체 집적소자를 만드는 기술에 의해서 만들어졌다. 즉, 필림에 형상을 만들어 놓고 인화를 하면 몇 백장이라도 똑같은 형상 사진을 얻듯이 원판과 현상, 인화방법으로 똑같은 형상을 쉽게 얻을 수 있다. 이 형상은 대개 고분자 재료(화학약품)이므로 그림 1과 같은 금속 구조물을 얻으려면 패터닝된 고분자 재료를 몰드로 해서 금속을 도금하면 된다. 이렇게 해서 그림 1과 같은 니켈 구조물이 얻어진다. 그림 1에서의 구조물 높이는 100㎛이며 이 기술은 독일에서 개발된 LIGA 기술이다.

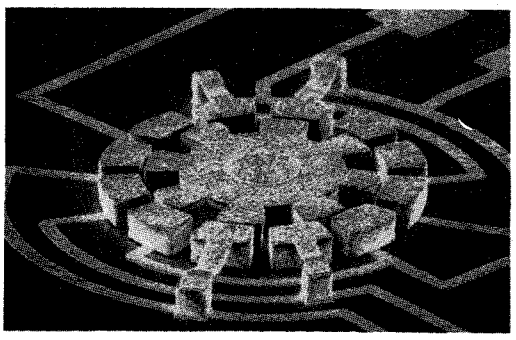
그림 3은 마이크로 코일이다. 구리로 제작되었으며, 권선수는 오른쪽과 왼쪽에 각각 10회이다. 코



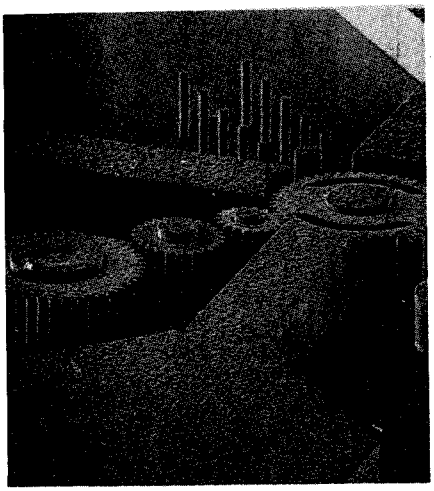
<그림 3> 전체 크기가 1×2㎜인 마이크로 코일

일 전체 크기는 1×2㎜이며 코일의 높이는 220㎛이다. 따라서 LIGA 기술을 이용하면 매우 정밀한 기계 구조물은 물론이고 소형 전기기기의 부품도 제작할 수 있다.

그림 4와 **5**는 금속으로 제작된 정전(靜電)형과 전자(電磁)형 마이크로 모터이다. 우리가 쓰는 모터는 모두가 전자형이다. 그 이유는 전자형 모터가 충분한 힘을 내기 때문이다. 정전형은 힘이 작아서 쓰지 못한다. 그러나 크기가 작아지면 꼭 그렇지만은 않다. 크기가 작아지면 전자력은 정전력에 비해

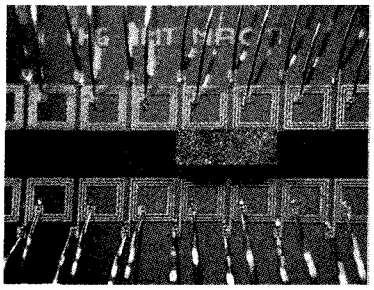


<그림 4> 금속으로 제작된 정전형 마이크로 모터



<그림 5> 회전자의 직경이 0.3㎜인 전자형 마이크로 모터

서 작아지며, 만들기도 그리 쉽지 않다. 정전형은 평면적인 전극만을 제작하면 되는데 비하여 전자력은 입체적인 자기회로와 코일을 만들어야 한다. 그림 4는 정전형 마이크로 모터이며 금속으로 제작된 것이다. 둘레의 고정자 전극에 전압을 순차적으로 인가하면 회전자가 정전인력으로 회전하게 된다. 정전형 마이크로 모터는 실리콘을 재료로 해서도 많이 제작된 바 있다. 그림 5는 전자형 마이크로 모터이다. 회전자의 직경은 300㎛ 정도이며 이것이 돌면서 톱니바퀴에 의해 힘이 외부에 전해지게 되

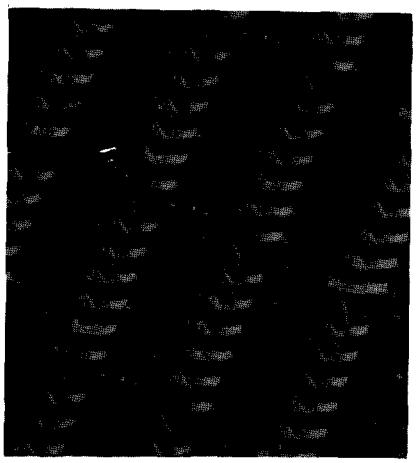


<그림 6> 마이크로 선형 모터

어 있다. 최근에는 전자력을 이용한 마이크로 모터의 연구도 활발하다.

그림 6은 마이크로 코일과 영구 자석을 이용한 마이크로 리니어 모터이다. 마이크로머시닝 기술로 코일을 제작하고 그 코일에 전류를 흘림에 따라서 영구자석이 선형적으로 움직이는 구조이다. 이를 이용하면 현재의 전기기계를 더욱 작고 정밀하게 제작할 수 있다.

그림 7은 수많은 마이크로 액추에이터를 제작하여 작은 힘을 더하여 무거운 짐을 나르게 하며 하나 하나의 액추에이터는 단순한 일을 하지만 이들을 적절하게 조합해서 고도의 일을 하게 하는 예이다. 캔티레버(외팔 보)인 액추에이터는 선열팽창률이 다른 두 개의 폴리이미드와 금속으로 제작된 전열선으로 구성되어 있다. 전열선이 두 폴리이미드 막 사이에 만들어져 있어서 외부에서 전류를 흘리면 폴리이미드의 온도가 올라가고 선열팽창률이 다르기 때문에 캔티레버는 위로 휜다. 바이메탈의 원리와 다를 바 없다. 이런 전류를 줄마다 인가하면 같은 줄의 캔티레버는 모두 올라가게 된다. 전류를 끊으면 식어서 다시 내려가게 된다. 캔티레버는 단순한 이 운동만을 반복하게 된다. 그러나, 각 줄에 가하는 전류를 적절히 제어하면 캔티레버 위에 물체를 얹고 그 물체를 움직일 수 있다. 마치 운동회에서 일렬로 서서 머리 위로 판자를 들어올리고 앞뒤의 사람이 번갈아서 적절히 판자를 들었다 놓았다 하면서 판자를 나르는 것과 같은 이치이다. 혼자 들기 무거운 판자도 이렇게 해서 나를 수 있고, 위아래로 들어올리는 단순한 작업만으로도 물체를 이동시킬 수 있다. 이것은 마이크로 머신의 응용 중에서 매우 중요한 역할을 하는 것으로, 현재 시스템 제어가 분산적인 시스템 제어로 연구되어지는 것과 같은 맥락에서 이해할 수 있다.



<그림 7> 마이크로 액추에이터를 이용한 분산협조 시스템의 예

이 개념은 마이크로 머신 분야에서 로봇을 만든다면 인조 인간형 로봇을 만드는 것이 아니라 인조 개미형 로봇을 추구한다는 것이다. 인조 인간 로봇은 고도의 지능과 큰 힘을 가지고 인간처럼 일을 하는 것을 목표로 하고 있다. 현재 유용한 용도로 사용되고 있으나, 제어가 힘들고 많은 동력을 사용하고 있으며 작은 짐을 나르거나 섬세한 일을 하기에는 크기가 크고 효율이 매우 나쁘다. 따라서, 인조 개미 로봇을 만들면 보완적으로 일을 할 수 있다. 현재 이런 연구는 차근차근 진행되고 있어서 1㎤보다 작은 마이크로 로봇(로봇이라고 하기보다는 움직이는 머신) 경연대회가 매년 열리고 있으며, 비록 제한된 공간 내에서이기는 하지만 마이크로 인조 모기를 제작해서 날개 하기도 하였다.

3. 마이크로 머신의 응용

마이크로 머신의 응용 분야는 다방면에 걸쳐 있

다. 우선 정보기기를 예로 들 수 있다. 잉크젯 프린터의 헤드에는 작은 노즐이 줄지어서 있고 이 노즐 뒤에는 잉크를 담아놓은 작은 방이 있다. 이 방의 잉크를 조금씩 뿜어내면 하나의 점이 되고 점이 모여서 글씨가 된다. 작은 노즐과 작은 방 그리고 잉크를 뿜는 동력원 등을 마이크로머시닝 기술로 제작하고 있다. 컴퓨터의 하드디스크드라이브의 헤드도 마이크로머시닝 기술로 만들고 있고 마이크로머시닝 기술로 더욱 작고 위치제어가 정밀한 액추에이터를 만들 수 있다면 하드디스크드라이브의 기억밀도를 더욱 높일 수 있다. 마이크와 스피커도 작게 만들 수 있다. 마이크로 밸브와 펌프, 분석장치 등을 마이크로화하여서 마이크로 유체 분석기를 만들 수 있다. 이것은 시료가 미량인 경우에 아주 유용한 기기이다. 자동차용 각종 센서 및 시스템으로도 사용될 수 있다. 압력센서 및 온도센서, 충격량 센서, 가속도센서 등은 자동차의 부가가치를 더욱 높일 것이다.

마이크로 머신은 광학용으로도 많이 사용되리라고 여겨진다. 우선 광통신용 소자로서 광스위치, 거울, 도파로, 렌즈 등이 있으며, 화상표시장치로의 응용도 연구되고 있다. 또한 각광을 받고 있는 응용분야가 의료 및 바이오테크놀로지 분야이다. 의료용에는 주로 작다는 장점이 주로 응용되어서 미세 수술장치, 내시경 등이 응용대상이고, 바이오테크놀로지에는 세포조작기구, 바이러스를 위한 마이크로 구조물 등에 응용될 전망이다.

4. 결론

마이크로 머신에 대하여 간단히 설명하였으나 사실은 간단히 설명하기에는 너무 넓은 범위의 기술과 응용을 갖고 있는 분야이다. 실제로 이를 연구하는 연구자의 전공분야를 보면, 전기, 전자, 기계, 재료, 금속, 물리, 화학, 의공학, 생물학, 광학 등 다분야에 걸쳐 있으며, 이것들이 유기적으로 연결되어서 연구하지 않으면 제대로 된 연구결과 또는 제품을 얻을 수 없다는데 어려움이 있다. 그러나, 국내에서도 이 분야를 연구하는 연구자가 눈에 띄게 늘어가고 있으며, 이를 응용하려는 산업체의 움직임도 활발하므로 마이크로 머신이 응용된 제품이 곧 국내 시장에 나오리라고 생각한다. 아울러, 3장의 마이크로 머신의 응용에서 언급한 응용은 현재 선진국에서 상용화된 것이 있으며, 상용화 연구의 마지막 단계에 접어든 것이 대부분이다.

마지막으로 십년전을 생각해봅시다. 누가 삐삐가 이렇게 많이 보급되리라고 생각했습니까? 핸드폰이란 말을 들어본 적은 있었습니까? 기술과 산업은 항상 현재의 연장선상에서 진보하는 것은 아닙니다. 눈에 안보이는 것을 보는 사람이 성공합니다.

<참고문헌>

1. 후지타 히로유키 저, 김용권 역, 마이크로 머신의 세계, 서울, 대영사, 1995.
2. R.T.Howe and K.J.Gabriel, "Silicon micromechanics : sensors and actuators on a chip", IEEE Spectrum, July, 1990, pp.29~35.
3. J.Bryzek and K.Petersen, "Micromachines on the march", IEEE Spectrum, May, 1994, pp.20~31.
4. 김용권, "마이크로 머신으로의 초대(I)", 전기학회지, 41권 11호, 1992, pp.8~15.
5. 김용권, "마이크로 머신으로의 초대(II)", 전기학회지, 42권 5호, 1993, pp.23~33.
6. MEMS 특집호, 전기학회지, 42권 10호, 1993, pp.4~54.