

의학과 생물공학에서의 미소기계기술의 현황

이 상 훈*
 (*단국대학교 의과대학 의학과)

1. 서 론

미국의 어느 연구소에서 생체의 분자구조를 변화시켜 사람을 마이크로 단위로 축소하는 연구를 성공하여 축소된 사람을 체내에 주입시키는 실험을 하던 도중 이 기술을 악용하려는 무리의 습격을 받게 된다. 이 과정에서 축소된 사람은 우연히 다른 사람의 몸속으로 들어가게 되며, 신비한 몸속을 우주선과 같은 기구를 타고 다니면서 여러가지 사건을 겪게 된다. 이 이야기는 스피들버그라는 감독이 제작한 'Inner Space'라는 영화에 나오는 이야기이다. 이는 비록 영화속의 이야기이지만 여태까지 인체의 각부분을 하나의 시스템으로 간주하여 왔던 필자에게 있어서는 신선한 충격을 던져준 내용이었다. 이는 인체를 소우주(小宇宙)로 보고, 체내에서도 우리가 일상적으로 경험하는 여러가지 자연현상, 예를 들면 바람과 같은 현상이 발생한다고 생각하며, 풍(風)이라는 병명을 만들어 사용하였던 우리 선조들의 시각과 조금은 비슷한 관점이 아닌가 생각된다.

최근에 이와 같은 마이크로의 관점에서 문제를 해결하려는 새로운 기술들이 등장하고 있으며, 대표적으로 거론되고 있는 기술 중의 하나로 미소기계(Micromachine)가 있다. 반도체 공정에서 사용되는 가공기술을 주로 응용하여 시작된 미소기계에 관한 연구는 미국의 버클리대학에서 정전형 미소모터(Electrostatic Micromotor)를 개발하여 구동시킴으로 전세계적인 관심을 끌었으며, 이후 여러 연

구기관에서 이에 대한 활발한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이러한 연구와 관심에도 불구하고 아직까지 이 기술을 적용할 수 있는 마땅한 대상을 찾지 못하고 있는 것도 현재 미소기계와 안고 있는 한계중의 하나로 생각된다.

그렇지만 미소기계와 추구하는 목표가 마이크로나 나노의 세계에서 동작하는 시스템을 구현하고자 하는 것이기 때문에, 주로 세포단위의 대상을 많이 취급하는 의학이나 생물공학분야에 이들 기술이 응용될 수 있는 가능성은 다른 분야의 학문에 비하여 상대적으로 많을 것으로 생각된다. 만약 미소기계 기술이 의학분야에 성공적으로 적용될 수만 있다면 영화속의 이야기와 같이 세포크기의 무수히 많은 기계가 몸속을 돌아 다니는 것이 현실로 나타날 수도 있으리라 생각된다. 이 경우 여태까지 의학에서 진단용으로 사용되어 왔던 X-Ray, MRI, CT 등 고가의 거대 의료기기 대신 인공시각장치를 부착한 초소형 기계가 사용될 것이다. 특히 미소기계는 세포와 비슷한 크기를 가지고 있기 때문에 생체조직의 특성까지 쉽게 파악할 수 있는 시스템의 구성도 가능할 것으로 생각된다. 또한 수술이나 약물요법에 의한 치료가 미소기계에 의해 세포 하나 하나에 대한 치료로 대치되는 것도 가능하리라 생각된다.

이 글은 현재 의학이나 생물공학 부분에 있어서 사용되고 있거나 연구가 진행중인 미소기계기술의 현황과 앞으로의 전망에 관하여 이야기 하고자 한다.

2. 생물공학에서의 미소기계기술의 응용

생물공학에는 분자생물학(Molecular Biology)과 유전자공학이 있으며, 이들 분야에서 세포, 크로모솜(Chromosome), 생체막(Biological Membrane), 핵산, 단백질 분자등 대부분 미세한 대상물들을 조작해야 한다. 그런데 이러한 조작대상들의 크기가 대부분 수백 μm 의 세포로부터 수 나노미터의 분자들이기 때문에 이들에 맞는 크기를 가진 조작기구의 개발이 무엇보다도 먼저 필요하게 되었다. 그리고 여기에 사용되는 기구들은 대부분 2차원적으로 동작되기 때문에 기존의 반도체 공정이 그대로 이용될 수 있다. 이러한 이유들로 인하여 생물공학에 있어 미소기계기술의 응용은 다른분야에 비하여 비교적 활발하였다.

또한 생물공학에서 사용되는 대부분의 조작대상들이 부서지기가 쉽고 용액속에 존재하기 때문에 기계적 접촉부가 없는 조작기구의 개발에 대한 요구가 많았다. 때문에 Dielectrophoresis(DEP)와 같은 고주파 교류전계하에서 정전영향을 이용한 조작시스템의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그림 1은 고주파의 교류전계가 세포에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 양 전극의 모양이 다르기 때문에 세포에 가해지는 전계의 세기가 달라지며, 이로 인하여 단일세포에는 이동, 변형 및 회전현상이 발생하고, 여러 세포가 있는 경우는 체인이 형성된다. 이러한 성질은 기계적 접촉부가 없는 초소형

조작기구의 제작을 가능하게 하였으며 이를 FIC (Fluid Integrated Circuit)라고 한다. DEP의 원리를 이용하여 개발된 대표적인 시스템으로 그림 2와 같은 세포융합기가 있다. 이 시스템은 2개의 콤팩트가 각각 다른종류의 세포를 채널쪽으로 밀어내면 채널끝에 있는 융합기에 세포가 모이게 된다. 이 때 전극에서 가해지는 교류전계에 의하여 융합부에 세

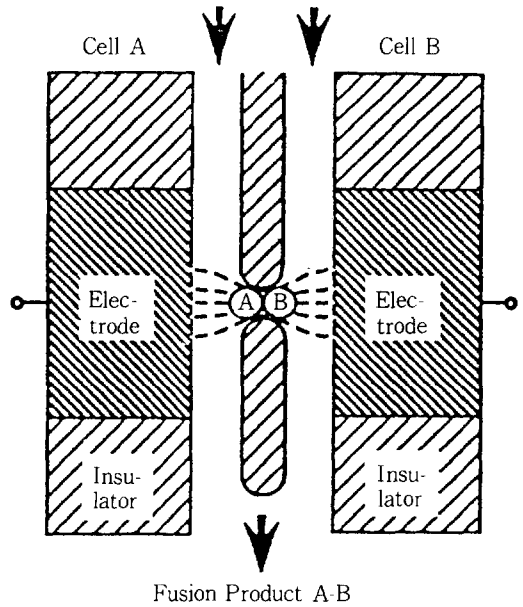


그림 2. 세포융합기에 대한 개괄도(Schematic Diagram)

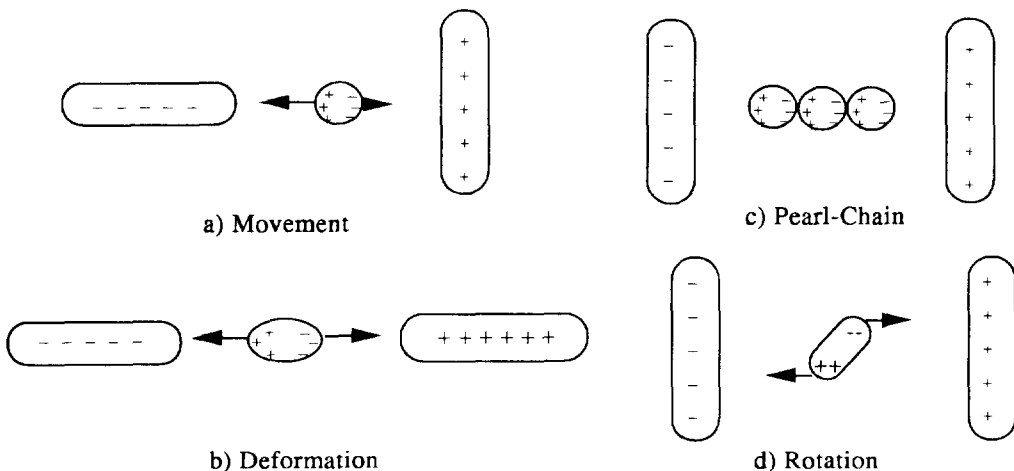


그림 1. AC 전계가 세포에 미치는 영향

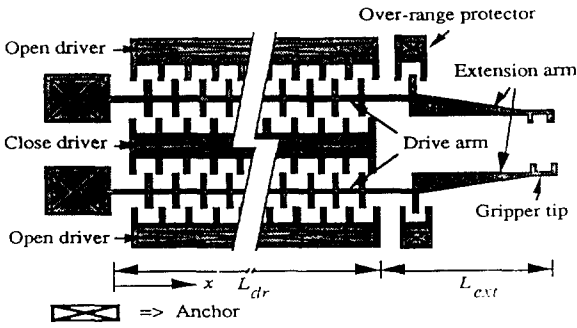


그림 3. Cell Gripper의 구조

포가 서로 접촉하게 되며, 이들 세포에 전극을 통하여 짧은 직류펄스를 가해주면 인지질층으로 구성된 세포막이 파괴되면서 하나의 세포로 융합되는 현상이 발생한다. 이 기구에 의하여 기존의 화학이나 전기적 융합에 의하여서는 불가능하였던 단일 세포끼리의 일대일 융합이 가능해 졌다. 한편 세포 융합기와 비슷한 종류로 세포를 저장 및 이동시키는 기구와 세포를 선택하는 기구에 관한 연구와 개발이 진행되고 있다.

이 외에도 편모운동을 하는 박테리아의 운동량을 측정하거나 DNA의 길이를 측정하는데도 FIC 기술이 응용되고 있으며, 레이저빔과 같은 빛을 사용하여 분자의 정보를 변화시키는 분자수술(Molecular Surgery)에도 응용되고 있다. 또한 단백질 패턴을 만드는 기구나 단백질분리를 위해 사용되는 Chromatography를 DEP를 이용하여 제작하려는 연구도 진행되고 있다.

이상에서 이야기한 기술들은 현재는 초보적인 단계에 머물러 있지만 그 발전정도에 따라 빠른시일내에 기존의 화학적인 처리방식을 일부 대신할 수 있는 시대가 올 것으로 기대된다.

FIC와 2차원적인 가공기술대신 3차원적인 기술을 생물공학에 응용한 경우도 있는데 그 대표적인 것이 Cell Gripper이며, 구조는 그림 3과 같다. 이는 정전형 Comb 구조로된 구동부에 전원을 가하면 2개의 Extension Arm이 서로 이끌리면서 Gripper Tip으로 세포를 집는 원리를 가지고 있다.

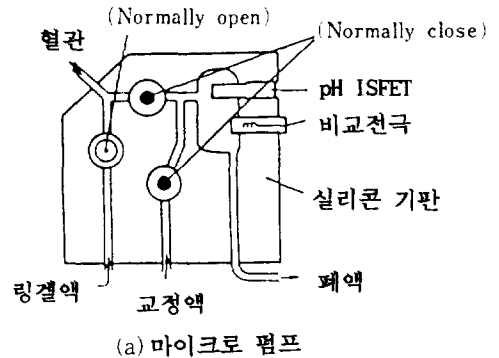
3. 의학에서 미소기계의 응용

의학에서도 생물공학과 마찬가지로 미소기계의

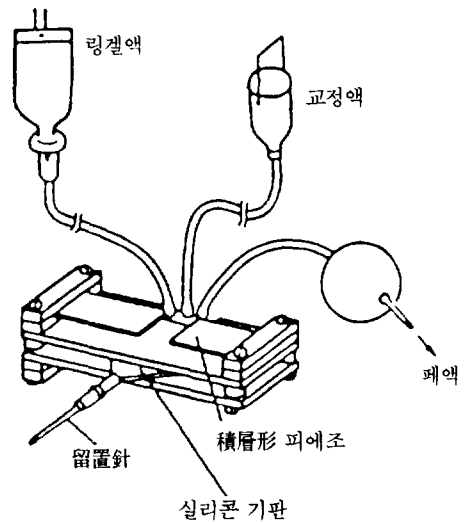
응용가능성은 무수히 많이 있고, 실제 활발한 연구가 진행되고 있으며, 이 글에는 다섯 분야에 있어 미소기계의 응용현황에 관하여 간략하게 설명하고자 한다.

3.1 마이크로 펌프의 응용

마이크로 펌프란 반도체 가공기술을 이용하여 제작된 액추에이터나 밸브를 사용하여 유체나 기체의 흐름을 조절하는 기능을 갖는 기구를 의미한다. 그림 4는 일본의 동북대에서 만든 마이크로펌프와 이를 미소혈액 분석시스템에 응용한 것을 그린 것이다. 이는 환자의 혈액검사시 혈액량을 최소화 하여 환자의 부담을 줄이고자 하는 목적에서 미소기계가



(a) 마이크로 펌프



(b) 미소혈액 분석시스템

그림 4. 마이크로 펌프와 이를 이용한 미소혈액 분석시스템

술을 이용하여 제작한 것이며, 초소형 밸브, 채널 및 센서를 집적화하여 구현하였다. 모든 시스템은 실리콘 기판위에서 제작되었으며 밸브는 압전소자를 이용하여 제작하였다. 또한 pH 센서는 ISFET를 이용하였고, 유량(流量)은 밸브에 의해 조절하게 되어 있다. 이 외에도 형상기억합금 액추에이터를 사용한 마이크로 밸브나 폴리실리콘을 이용한 밸브 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

3.2 혈관을 움직이는 마이크로 로봇에의 응용

혈관이나 소형 파이프구조로 되어 있는 시스템에 있어 이상유무를 검사하는 문제를 마이크로 로봇을 사용하여 해결하려는 연구가 진행되고 있다. 그림 5는 자왜소자(Magnetostrictive)를 이용하여 제작한 관(管)용 마이크로 로봇이다. 자왜소자란 외부에서 자장(磁場)이 걸리면 형상이 변화하는 특성을 지니고 있다. 여기에 자장을 주기적으로 인가하면 관의 내벽에 접촉하고 있는 로봇의 다리가 벌레가 기어가듯이 움직이는 동작구조를 가지고 있다. 현재 직경이 21mm 이고 정역운동이 가능한 모델과 직경이 6mm 이고 정방향의 운동만 가능한 모델이 제작되어 실험중에 있다. 이 시스템을 당장 생체에 사용하기에는 불가능하지만 앞으로 지속적인 연구가 진행될 경우 관형 구조를 갖는 기구에는 응용할 수 있는 날이 멀지않을 것으로 생각된다.

3.3 비관혈적 수술에의 응용

오늘날 병원에서 사용되고 있는 대부분의 고가의 의료장비는 수술없이 진단이나 치료함을 목적으로 하고 있으며, 세계적인 의료기기 제작자들도 이런 종류의 장비개발에 천문학적인 연구비를 투자하고 있다. 미소기계에 관한 기술의 발전은 피부를 절개하지 않고서도 수술할 수 있는 시스템의 구현을 가

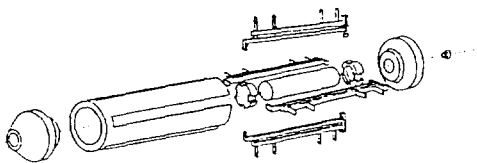


그림 5. 자왜소자를 이용한 관(管)형 마이크로로봇

능하게 할 것이다. 그림 6은 광파이버를 사용한 내시경과 레이저메스를 복합시킨 레이저 혈관내시경을 통하여 심장에 영양을 공급하는 관상동맥(Coronary Artery)이 막혀 생기는 심근경색을 치료하는 시스템이다. 말초동맥에서 내시경의 Tip을 삽입한 후 화면에 나타난 영상을 보면서 수술을 하기 위한 Image Guide, 광원을 전송하기 위한 Light Guide, 레이저의 전송을 위한 Lase Fiber, 혈관내 생리식염수를 채워주기 위한 Baloon, 혈관조작을 위한 Micromanipulator 등이 2mm 정도의 직경내에 내장되어 임상에 사용되고 있다. 이러한 혈관수술용 내시경은 크기에 상당한 제한을 받으며, 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법으로 내시경의 팁 끝에 미소기계를 장착하여 일부 기능을 자체적으로 해결하자는 아이디어가 제안되고 있다. 이 경우 관의 직경이 1mm 이하로 가능하게 만들 수 있을 것으로 생각된다. 만약 이 아이디어가 실현된다면 내시경

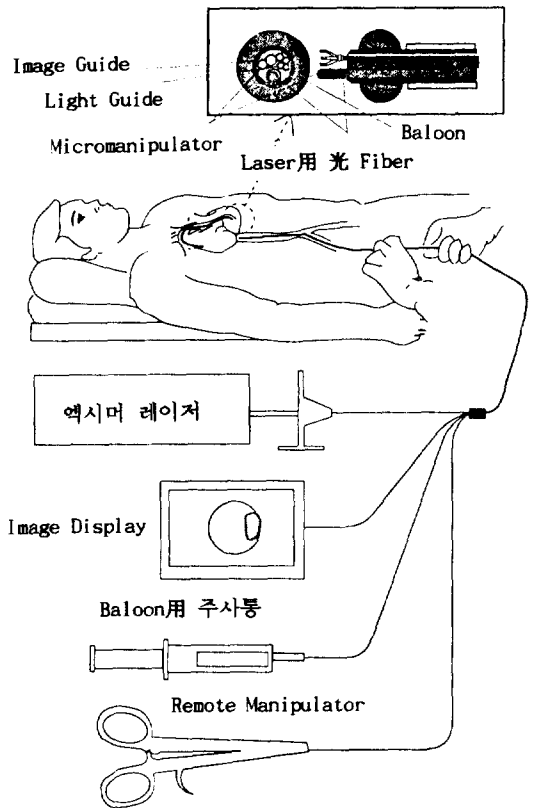


그림 6. 내시경과 레이저메스를 복합시킨 레이저 혈관 내시경

에 의해 수술할 수 있는 혈관의 범위가 현재보다는 훨씬 넓어질 수 있을 것이다. 이러한 시스템은 미소기계와 일반기계는 서로의 단점을 보완하면서 복합적으로 구성되기 때문에 기존의 미소기계는 응용시에 갖는 한계를 상당히 해결할 수 있을 것으로 생각되며, 미소기계기술의 본격적인 응용의 장을 열 수 있으리라 기대된다.

3.4 인공장기에의 응용

인체를 크게 3 부분으로 나누면 감각기관, 운동기관, 뇌를 포함한 신경기관으로 나눌 수 있으며, 오늘날 공학은 인체의 각 기관별 원리를 응용하려는 연구를 활발히 진행하고 있다. 감각기관의 경우 센서가, 뇌의 경우 인공지능이나 신경회로망등이 인체의 구조를 모방한 좋은 예가 된다. 그러나 운동기관에 관한 연구는 기존의 모타나 엔진으로부터 더 이상 발전하지 못하였다. 그렇지만 인체의 운동기관은 매우 효율이 좋고 제어성이 우수한 시스템이기 때문에 기술의 발전이 언젠가는 인체의 운동구조를 모방하는 시대를 전개할 것으로 생각한다. 일본 동경대의 후지마사 교수는 미소기계기술을 응

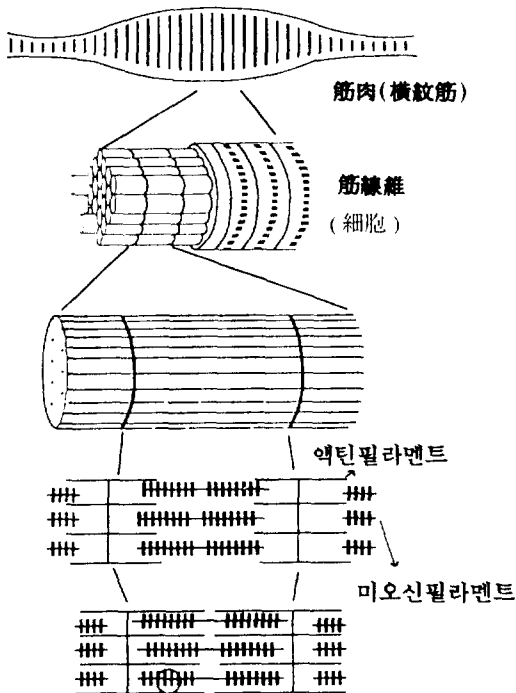


그림 7. 인체의 근육구조

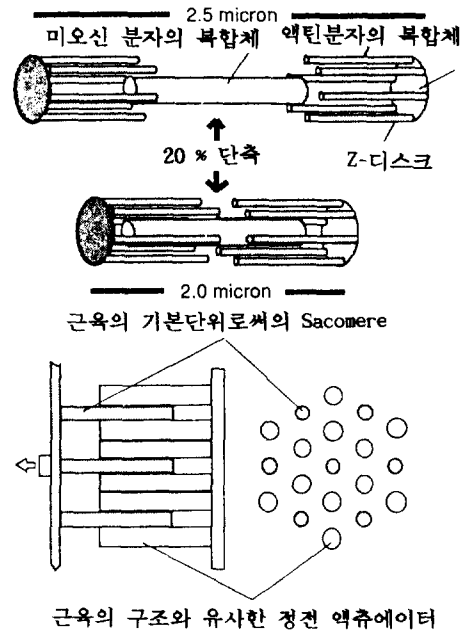


그림 8. 근육운동의 수축방식과 유사한 정전형 액츄에이터

용하여 인체의 운동기관중 대표적인 심장을 인공적으로 제작하려는 연구를 시작하고 있다. 그림 7은 인간의 근육구조를 나타내고 있다. 근육의 기본 유닛은 액틴과 미오신으로 구성되어 있으며, 이를 Sacmere라고 부른다. 여기에 전기적 자극이 가해질 때 2.5 μ m의 Sacmere는 20% 정도 수축하게 되며, 이러한 수축이 동시에 발생하면 근육이 운동을 하게 된다. 따라서 미소기계를 이용하여 인체의 운동구조와 유사한 Sacmere를 만들 수 있다면, 인공근육의 등장도 가능할 것으로 생각한다. 그림 8은 미국에서 근육구조의 수축형식과 유사한 정전형 액츄에이터에 대한 기본특허를 출원한 것이다.

3.5 약재배달 시스템

(Drug Delivery System: DDS)

암세포와 같이 체내 여러부위에 산재하여 있는 질병의 경우 일정 부위에만 약을 주입하여 병이 있는 세포를 치료하거나 병균을 제거해야 하는 경우가 다반사로 발생한다. 현재 미소기계기술을 이용하여 연구중인 DDS는 이러한 목적에 매우 적합한 시스템이라고 생각된다. 그림 9는 DDS에 관한 상

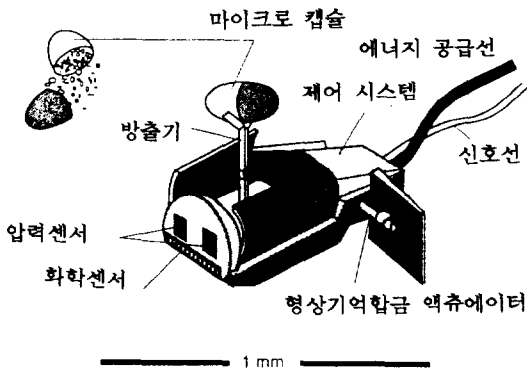


그림 9. DDS(Drug Delivery System)에 관한 상상도

상도인데, 이는 가는 혈관내시경을 통하여 약제가 필요한 부위까지 근접하도록 한 후 센서들이 약물이 필요한 부위를 찾고, 형상기억합금 액추에이터가 운동원으로 사용된다. 필요한 부위에 시스템이 도달하면 마이크로 캡슐에 터지면서 약이 투입되는 동작구조를 가지고 있다. 일본의 통산성은 그림과 유사한 DDS를 1992년 부터 시작하는 대형프로젝트의 마이크로머신 분야에서 제안하고 있다. 이러한 DDS는 현재 미소기계에 관한 연구를 하는 사람들에게 있어서 가장 관심을 끌고 있는 분야중의 하나이다.

4. 맺음말

이상에서 생체공학이나 의학에서 사용되거나 연구되고 있는 미소기계의 현황에 대하여 살펴 보았다. 이외에도 체내에 주입된 미소기계의 위치를 고속 DSE(Digital Subtraction Echocardiography)를 사용하여 찾는 연구나, 형상기억합금을 이용한 내시경용 Cather-Tip에 관한 연구들이 진행되고 있다.

이러한 미소기계에 관한 연구는 앞으로 해결해야 할 문제를 많이 가지고 있고, 지금의 기술로는 요원한 듯이 보인다. 그러나 인간의 생명에 대한 애착과 생활수준의 향상으로 인하여 일단 미소기계와 의학이 어느 정도의 접목 가능성만 확인되면 기술발전의 정도가 급속하게 빨라질 것으로 생각된다. 또한 그 발전의 정도에 따라 의학의 혁명을 가져올 수도 있

을 것으로 생각되며, 필자도 이런 날이 하루속히와서 인류가 병(病)으로 부터 좀더 자유로워지기를 기원한다.

참 고 문 헌

- [1] M. Washizu: "Manipulation of Biological Objects in Micromachined Structure", IEEE Micro Electromechanical System 92, pp 196-201, 1992.
- [2] M. Washizu, O. Kurosawa: "Electrostatic Manipulation of DNA in Microfabricated Structures", IEEE Trans, IA, vol. 26, no. 6, pp 1165-1172, 1990.
- [3] T. Fukuda, H. Hosokai, H. Ohyama, H. Hashimoto, F. Arai: "Giant Magnetostrictive Alloy Application to Micro Mobil Robot as a Micro Actuator without Power Supply Cables", IEEE Micro Electro Mechanical Systems 91, pp 210-215, 1991.
- [4] 藤正 巖, 中島尙正 et al: "マイクロマシン 開発ノートブック", 秀潤社, 1991.



이상훈(李尙勳)

1960년 12월 13일생, 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 제어계측공학과(의공과 전공) 졸업(석사). 1992년 동 대학원 제어계측공학과(의공학 전공) 졸업(공학박). 현재 단국대 의과대학 의공학과 전임강사.