

## 인공근육의 미래



• 이윤선 •  
연세대 보건과학대학 의용공학부 교수

### 1. 서 론

1950년 W. Kuhn 와 A. Katchalsky는 pH상태의 변화에 따라 수축현상을 일으키는 섬유를 만들었다. 이는 선형 구동기[actuator] 재료를 합성해낼 수도 있다는 신호였으나 분단위로 너무 느린 반응시간이 문제였다. 그러나, 회전 모터에 의한 물체의 운동보다는 선형 구동기가 가질 수 있는 이득은 명확하다. 이후로 관심이 있는 학자들이 이의 실현을 위해 노력하였으며 그 결과로 De Rossi [1987]와 Suzuki[1989]는 더욱 빨라진 초 단위의 수축 반응시간을 갖는 섬유를 개발했다. 의용 공학에서도 이러한 선형 구동재료의 출현이 유용하리라는 것은 자명하다.

따라서 여기서는 이를 적용시킬 근육의 해부, 생리학적인 고찰을 하고 이러한 인공 근육재료의 시도를 개괄적으로 정리해보며 나아가 미래에 출현할 재료에 관한 고찰을 해보도록 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 근육의 생리 및 구조

우리 몸의 운동은 근육이 수축하는 힘에 의해서 이루어진다. 신체를 움직여서 위치를 이동하거나 자세를 변동하거나 또는 중력에 대항하여 체중을 지탱하게 하는 등 어떤 자세를 유지하게 하는 모든 근육을 골격근이라 한다. 이들 근육은 모두 골격에 부

착되어 있다. 이와 같이 근육 계는 능동적인 운동장치인 근 계통을 취급하는 생리, 해부학의 한 부분으로 근은 조직학적으로 근 조직으로 구성되며 수축과 이완에 따라 특유한 운동을 하게 된다. 이러한 인체의 운동은 아무리 단순한 것이라도 실제로는 하나의 근에 대해서 이루어질 수 있고, 여러 개의 협동근이 필요하다. 동일한 운동방향으로 작용하는 근군을 협력근, 그 반대방향으로 작용하는 근군을 길항근이라고 한다. 근조직은 형태와 기능에 따라 세 가지로 구분한다. 즉 주로 골격근을 이루고 있는 수의 근과 횡문근, 횡문이 없는 평활근인 불수의근 및 심근으로 분류된다. 불수의근은 의지와 관계없이 독립적으로 수축한다. 골격근은 인체에서 체중의 약 40%를 차지한다. (전신의 골격근은 약 650개나 된다.)

골격근은 근의 기본 단위인 근 섬유와 이를 결합하는 결합조직으로 구성되어 있다. 근세포의 특징은 그 속에 있는 매우 섬세한 근원섬유(myofibrils)와 이를 수용하고 있는 미분화 원형질인 근형질(sarcoplasm)과 이들을 싸고 있는 근초(sarcolemma)의 바로 밑에 다수의 핵이 있다는 점이다. 골격근도 신경섬유와 마찬가지로 불응기를 나타내는데 그 기간은 하나의 유효자극이 가해진 후 약 0.005초 동안이다. 이 기간동안 근육은 화학적, 물리적 회복이 이루어져서 다음의 자극에 대해 반응을 나타낼 수 있다.

일반적으로 근육은 액틴 세사와 미오신 세사로 구성되어 있으며 액틴과 미오신 세사 사이에 결합이 형성되면 액틴 세사는 A띠

중앙으로 당겨지고 미오신의 수축을 일으킨다.[그림 3.]

근육조직의 특수한 성질을 세가지로 요약한다면, ①근육조직은 흥분성을 갖는다. : 흥분성은 중추신경으로부터의 자극에 대해서 반응을 일으키는 성질로 근육운동기능의 시초이다. ②근육조직은 수축성을 갖는다. : 이것은 근육운동의 기본적인 기능으로서 근조직이 짧고 두꺼워 지는 성질이다. 근육의 생명은 바로 이 수축성에 있는 것이다. 이런 근육의 수축은 칼슘(Ca) 방출에 의해서 이루어지고 칼슘(Ca)이온의 제거에 의해 이완된다. ③근육은 신장성을 갖는다. : 근조직은 탄력성을 갖는다. 근육의 탄력성은 운동을 일으키기 위해 수축된 근육이 운동이 끝 난 다음 원래의 길이로 돌아가는 성질을 말한다.

이상 서술한 근육의 구조, 기능 등을 요약하면,

#### 뼈대근육(skeletal muscle)

- 600개 이상 / 체중의 40%
- 수축에 의해 운동을 생산
- 액틴과 미오신의 상호작용
- 협력근과 길항근 군으로 구성
- 일부는 긴 힘줄을 형성함
- 뼈대근육의 부착 : 최소한 2곳에 부착
- 기타근육의 종류 : 얼굴근육 혀 근육 등

## 2.2 인공근육의 시도

### 2.2.1 McKibben Artificial Muscle

인간의 팔의 유사조직과 중추신경계를 모방한 갖가지 하부조직들로 구성되어 있다. 골격의 구성요소는 해부용 사람의 시체의 뼈로 만들어진 틀을 사용한 유리섬유로 되어있다. 외과적인 교체 관절은(스테인레스로 만든 강철) 팔꿈치와 어깨 관절에 사용된다. 인대의 조직은 해부학적으로 정확한 위치에 있는 관절의 양쪽에 붙여진다. 압축공기를 넣은 McKibben 인공근육 작동기 [actuator]는 팔의 근육에 사용된다.

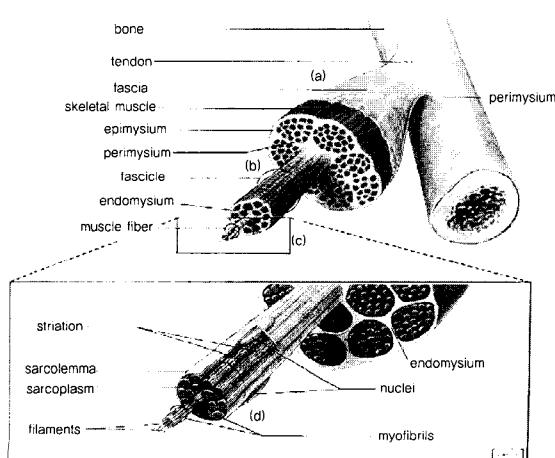


그림1. 골격근의 구조.

### 2.2.2 Artificial Muscle Spindles

스핀들 방식의 인공근육은 1993년부터 개발이 시작되었다. 근육수축기구로서 월등한 기능을 수행할 수 있으나 크기 등의 제약점이 눈에 띠인다 인공근육 제작의 시도를 위해 구체적인 목표를 제시하는 산물이라 할 수 있다.

## 2.3 Polymer 재료

### 2.3.1 PVA-PAA artificial muscle

PVA-PAA 인공근육은 화학에너지를 사용하는 인공근육이다. PAA는 poly acrylic acid이고 PVA는 poly vinylalcohol이다. PVA-PAA 인공근육은 이 섬유가 담겨진 용액의 pH변화에 의해 움직인다. PAA/PVA 근육의 수축은 0.01 M HCl용액에 의해 일어나고 이완은 0.01 M NaOH 용액에서 일어난다.

### 2.3.2 IPMC artificial muscle

이온으로 된 중합체의 사용은 인공근육, 엑튜에이터, 센서 등

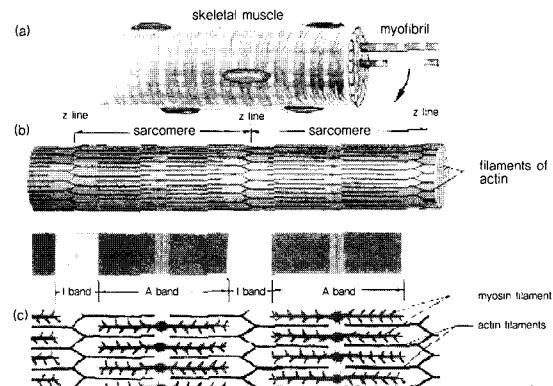


그림 2. 근육의 계층구조.

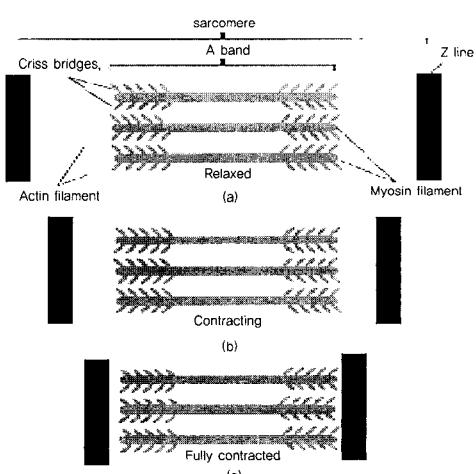


그림 3. 근육의 수축.

으로도 유망한 영역이다. 전형적인 IPMC 인공근육은 화학적인 가공을 거친 백금으로 표면이 구성된 perfluorinated ion-exchange 막으로 구성된다. 다음 표 1. 표 2.는 그 동안 축적된 인공근육기술과 기존 기술에서 얻어진 재료들의 특성표이다.

#### 2.4 Carbon nano tube

Ray Baughman이 이끄는 국제적인 팀이 자동차나 의료 분야, 우주 항공 분야에 다양하게 사용되는 탄소 나노튜브 인공근육을 개발했다고 Allied Signal Inc.가 발표했다. 이 연구는 5월 21자 기술 보고서([www.sciencemag.com](http://www.sciencemag.com))에 수록되어 있으며, 많은 사람의 주목을 끈바가 있다고 한다. 이 연구팀은 두 개의 전해질로 채워

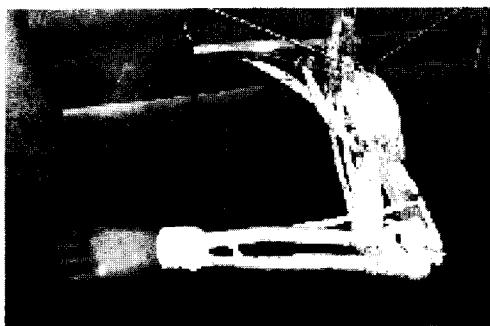


그림 4. 팔꿈치 내전.



그림 5. 스판들 방식의 인공근육.

표 1. 기본기술.

종류	Stress (MPa)	Strain	Efficiency	Band width (Hz)	Work J/cm <sup>2</sup>	Power W/cm <sup>3</sup>
E M	0.02	0.5	90%	20	0.005	0.1
Hydraulic	20	0.5	80%	4	5	20
Pneumatic	0.7	0.5	90%	20	0.175	3.5
Muscle	0.35	0.2	30%	10	0.035	0.35

표 2. 고체재료기술.

	Stress (MPa)	Strain	Efficiency	Band width (Hz)	Work J/cm <sup>2</sup>	Power W/cm <sup>3</sup>
Shape Memory	200	0.1	3%	3	10	30
Electrostrictive	50	0.002	50%	5000	0.05	250
*Piezoelectric	35	0.002	50%	5000	0.035	175
Magnetostriuctive	35	0.02	80%	2000	0.035	70
*Single Crystal PZN:PT	35	0.017	90%	5800	2.55	15000
Contractile polymer	0.3	0.5	30%	10	0.075	0.75

진 나노튜브 시트가 배터리에 연결되어질 때 이들이 천연의 근육과 유사한 기계적 운동을 수행할 수 있는지를 입증하였다고 한다.

#### 2.5 Bi-metal

바이메탈은 굴절운동이 쉽게 일어나므로 수축현상은 아니지만 인공근육의 구조에 적용시킬 수 있다. 그러나 이 경우 인공근육과 관련한 연구결과가 없는 것은 흥미로운 일이다 이에 대하여 정리하여보면 팽창계수가 매우 다른 두 종류의 얇은 금속판을 맞붙인 것으로 온도의 변화에 따라 현저하게 구부러지는 성질을 이용하여, 온도변화의 검출, 온도조정 등의 목적으로 널리 사용되고 있다 재료는 팽창이 적은 쪽에는 니켈과 철의 합금, 팽창이 큰 쪽에는 구리와 아연의 합금, 니켈·망간·철의 합금, 니켈·몰리브덴·철의 합금, 망간·니켈·구리의 합금 등 여러 가지가 있다. 가장 간단한 바이메탈은, 저온(低溫) 때에는 수평이던 것이 고온이 되면 니켈·철 합금 쪽으로 구부러지게 된다. 이와 같은 기구를 보온밥통 내에 장치하면 밥통 안의 온도가 오르내림에 따라 점점이 떨어졌다.

붙었다 하여 온도를 어느 범위 내에서 유지할 수가 있다. 바이메탈의 온도상승을 위해서는 자기발열을 이용하는 것과 주변 온도상승을 통한 가열효과를 이용하는 것이 보편적이다 그러므로 연구의 시발점은 온도 상승시의 에너지를 이용하는 것으로 단순화하고 이 재료의 구조적 단순성을 이용한다면 굴절에서 얻어지는 수축현상의 모델화가 용이하고 제어도 단순하여서 인공근육의 구조적인 응용예의 제시가 손쉬우며 이는 위에 열거한 여러 가지 재료들의 개발결과와 병합하여 연구의 시너지효과를 누릴 수 있을 것이다.

#### 3. 응용 예

응용의 예들을 열거하자면 위성 착륙용 차량의 window wiper나 스텔스 잠수함 등 인공근육 메카니즘을 이용한 것은 많다 하지만 지면상 간략히 성균관대학 기계공학 연구실의 업적인 “대장 내

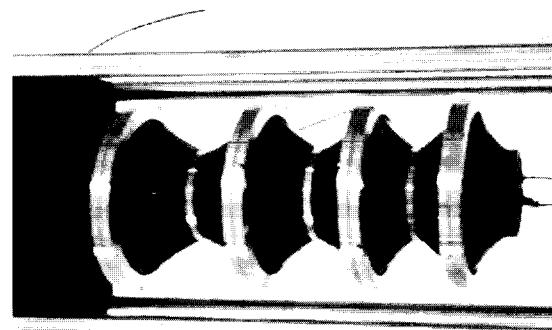


그림 6. 마이크로 로봇의 기본구조.

시경에 적용 가능한 micro worm robot [EP: electro-strictive polymer 이용]”의 구조만을 제시한다 그림 6. 과 같은 구조의 구동 메카니즘은 전기자극에 의한 폴리머 막의 이완현상을 이용한다.

#### 4. 결 론

이상 제시한 바와 같이 1990년 경 선형 구동기의 필요성이 인식되고 연구 및 개발결과가 나오기 시작했다 이 연구들의 목표는 생체근육의 구조와 기능을 뛰어넘는, 새로운 개념의 인공근육의 제시이다 현재로서는 polymer에서의 혁혁한 연구 결과가 기계적인 특성 등이 뛰어난 carbon nano-tube actuator에 게로 흘러 들어가는 양상이다 전혀 통하지 않을 것 같은 학문 분야의 세계가 화음을 이루는 멋진 세상이 또 한번 열리는 통쾌한 세상에 우리가 존재하는 것이 즐거울 따름이다.

#### 후 기

본 원고는 과학기술부 한국과학재단 지정 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

This work was (partly) supported by RRC Program of MOST and KOSEF.

#### 참고 문헌

- [1] Kuhn, W., et. al., Reversible dilation and contraction by changing the state of ionization of high-polymer acid networks, " Nature, Vol. 165, p. 514, 1950.
- [2] Tanaka, T., Soda, K. and Wada, A., Dynamical aspects of helix-coil transitions in biopolymers I, " J. of Chemical Physics, Vol. 58, p. 5707, 1973.
- [3] De Rossi and Chiarelli, P., Determination of mechanical parameters related to the kinetics of swelling in an electrochemically actuated contractile gel, " Abstract 5th. International Seminar on Polymer Physics, High Tatras, 1987.
- [4] Suzuki, M., et. al., An artificial muscle by polyvinyl alcohol hydrogel composites, " Proc. of IUPAC-CHEMRAWN VI, Tokyo, 1987.
- [5] Chiarelli, P. and De Rossi, D., Determination of mechanical parameters related to the kinetics of swelling in an electrically activated contractile gel, " Progress in Colloid and Polymer Science, Vol. 48, 1988.
- [6] Tondu, B., Boitier, V., and Lopez, P., "Naturally compliant robot-arms actuated by McKibben artificial muscles", Proceedings, 1994 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, San Antonio, TX, Vol. 3, p. 2635. 1994.
- [7] Chou, C. P. and Hannaford, B., "Measurement and modeling of artificial muscles", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 12, p. 90, 1996.
- [8] <http://ndeaa.jpl.nasa.gov/>
- [9] <http://www.unm.edu/~amri/>

#### 저 자 약력

##### 성명 : 이윤선

###### ❖ 학력

- 1976년 연세대 전자공학 학사
- 1980년 연세대 대학원 전자공학 석사
- 1988년 연세대 대학원 의용공학 박사

###### ❖ 경력

- 1992년 9월~1994년 8월 연세대 보건과학대학 교학과장
- 1995년 3월~1997년 2월 연세대 보건과학대학 의용전자공학과 학과장
- 1996년 2월~1998년 8월 대한의용생체공학회 학술위원
- 1997년 4월~2001년 2월 연세대 의공학연구소 기획총무부장
- 1997년 9월~1999년 12월 보건복지부보건의료기술연구기획평가단 선도기술의료공학분과전문위원
- 1997년 12월~1999년 1월 대한의용생체공학회 종부지부장
- 1999년 3월~2001년 2월 지역협력연구센터[RRC], 기술혁신센터 [TIC] 기획부장
- 2000년 3월~2002년 2월 연세대 교수평의회 원주연락간사
- 2001년 10월~현재 연세대 원주캠퍼스 독수리상 건립 추진 위원회 위원