

## 생체 고무재료의 특성

- 재활공학용 중심으로 -

이석민

### 1. 서 론

생체재료는 인체 등의 생체조직과 밀접하게 관련되어 사용되는 소재라고 할 수 있으며, 생체적 합성(biocompatibility)과 생체기능성(biofunctionality) 등의 특성을 지녀야한다. 생체적합성이란 생체조직과 접촉시 생리적인 거부반응이 일어나지 않는 특성을 말하며, 생체조직에 대하여 자극을 주거나, 염증, 알레르기, 암을 유발하거나 독성으로 작용해서는 안되고 혈전현상과 혈액성분을 파괴 또는 변형을 일으켜서는 안 된다. 생체기능성은 재료가 생체조직에 접하거나 체내에 존재하는 동안 목표한 기능을 온전히 수행할 수 있는 특성을 의미한다. 재료가 체내에서 초기에는 안정적인 기능을 수행하지만 시간이 오래 지난 후에 변질되거나 분해되어 위해요소로 작용하는 경우가 발생하기도 한다. 또한 화학적 안정성, 기계적 강도, 피로강도 등을 유지하여야 하며, 멸균 또는 소독이 가능하고 재현성이 있어야 한다.<sup>1,4</sup>

재활공학(rehabilitation engineering)이란 재활을 위한 기술과 공학, 학습과 생활편의를 위한 자조용구 또는 보조공학(assistive technology), 그리고 재활기기 및 보조기구 등을 포함한다.<sup>5,6</sup> 재활공학은 “교육, 재활, 취업, 교통, 독립적인 일상생활 그리고 레크리에이션을 포함하는 분야에서 장애인들의 욕구를 충족시키며 장애인이 직면하는 난관에 대처하기 위한 기술공학, 공학방법론, 또는 과학적 원리의 체계적 응용”이라고 할 수 있다. 또한 하나의 체계적이고 과학적인 재활공학이 이루어지기 위해서는 의학, 기계, 전자, 재료공학 등의 공

학과 의학의 협력적으로 체계가 구축되어야 하는 융합학문이다.<sup>7</sup>

재활공학관련 소재 연구는 좁게는 신체의 접촉이 요구되는 의지(prosthesis)나 보조기(orthosis)에서부터 넓게는 체내에 이식되는 생체재료와 인공장기와 같은 방대한 분야에 이르며, 금속, 고분자, 고무, 세라믹 등 생체적합성을 지니면서 다양한 물리적 특성을 보이는 재료 전 분야에서 응용이 가능하다. 재활공학 관점에서 생체적합성이 우수하고 인체조직이나 근육과의 기계적 물성이 비슷하여 많은 관심과 연구가 이루어지고 있는 고무소재의 특성 및 응용에 대하여 간단하게 소개하고자 한다.<sup>8</sup>



이석민

- 1985 서울대 공업화학학과 공학사
- 1987 서울대 대학원 공업화학과 공학석사
- 1992 서울대 대학원 공업화학과 공학박사
- 1992 포항공대 화공과 연구원
- 1992~1994 미국 Univ. of California, Santa Barbara, 재료연구소 박사후 과정
- 1995~2001 금호석유화학(주) 대덕연구소 전임연구원
- 2001~현재 근로복지공단 재활공학연구소 연구위원
- 2002~현재 지식경제부 기술표준원 TC173 재활보조기구 표준화 전문위원
- 2007~현재 지식경제부 기술표준원 TC168 의지·보조기 표준화 전문위원
- 2008~현재 보건복지가족부 식약청 위험관리 자문위원
- 2004~현재 한국산업기술평가원 평가위원

## 2. 본 론

재활공학에서 사용되는 생체소재로서의 고무 부품에 연관되어 특징적으로 나타나는 기능으로서 크게 BMI (body-Machine Interface 신체-장치 접속 기능)의 소재 기능과 생체모방형(Biomimetics) 특성으로서 기능으로 나누어 고찰해 보고자 한다.

### 2.1 BMI 소재로서의 역할

이는 손상된 신체의 일부를 기계적 장치로 복원하여 신체와 장치를 연결하는 개념을 말하여 이때 신체와 장치의 계면에서 작용하는 소재는 신체의 근육 등의 조직과 비슷한 성질을 지니며 생체적합성이 우수한 고무 특성을 가지는 소재를 말한다.

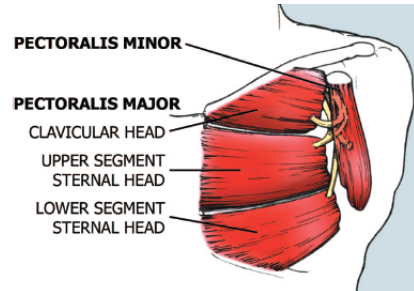
BMI 기능의 소재로서 크게 바이오 피드백(bio feedback) 기능을 가지는 부품과 구조적인 내구성을 요구하는 부품으로 구별될 수 있다. 생체접합은 1997년에 도쿄대의 모야미 이시오 교수 연구팀은 로봇 연결 시스템으로 바퀴벌레의 내장 일부를 빼내고 반도체 칩과 소형 컴퓨터를 붙여 리모컨의 지시에 따라 움직이도록 한 바 있으며, 2002년에는 영국의 리딩 대학의 케빈 워익 교수는 자신의 팔에 반도체 칩을 이식하고 신경과 연결하고 바이오 피드백을 위하여 신경의 신호와 손의 움직임과의 관계 연구를 수행한 바 있다.

이는 신체에서 발생하는 근전도(electromyogram, EMG)나 뇌전도(electroencephalogram, EEG) 등의 생체신호를 이용하거나 신체 밖에서 다른 신호에 의하여 신체와 연결된 장치를 제어하는 기능을 말한다.<sup>9,10</sup> 대표적인 연구 사례로는 미국 국방성의 DARPA (The Defense Advanced Research Projects Agency) 사업을 들 수 있는데 전쟁 등에 참전하여 부상당한 미군병사들의 재활 프로그램으로 신체 기능을 복원하는 장치를 개발하고 재활훈련하는 프로그램을 들 수 있다.(그림 1)

이와 같은 경우는 신체-장치 계면의 연결장치를 통하여 신체에서 발생하는 생체신호를 이용하여 장치를 제어하는 개념은 그림 2와 같다. 사람이 몸을 움직일 때 뇌에서 생성된 활동 전위(action potential)가 척수신경을 통하여 해당부위의 근육을



(a)



(b)

그림 1. (a) 바이오 피드백 기능 팔 의지 착용 미군 병사 (b) BMI 에 연결되는 신체의 부분.

향해 전달된다. 전달된 활동전위는 신경과 접합된 쪽의 근섬유로부터 먼 쪽의 근섬유까지 차례로 자극하면서 근 섬유의 세포막을 통한 이온들의 교환을 발생시키는데, 이때 생성된 전위차로부터 미세 전류가 발생하며, 이 전기적 신호를 근전도신호라고 한다. 이러한 근전도 등의 생체신호를 이용하여 기계장치를 조정과 제어를 통하여 바이오 피드백 기능을 구현하게 된다.

구조적인 내구성을 요구하는 부품으로 분류될 수 있는 사례는 다음과 같다. 그림 3은 다리절단장애인인 달리기 사용되는 다리 의지(의족)를 착용하고 있는 모습이다. 다리의지는 일반적으로 발과 다리의 역할을 하는 의족 부분과 절단된 몸의 일부(stump, 절단부)와 의족을 연결해주는 소켓 부분으로 나뉠 수 있다. 의족부분은 주로 탄소복합소재, 금속합금, 기능성 탄성체 등과 같은 첨단소재를 사용하여 우수한 강도, 내구성과 경량성을 유지해야 한다. 연결부분은 라이너와 소켓부분은

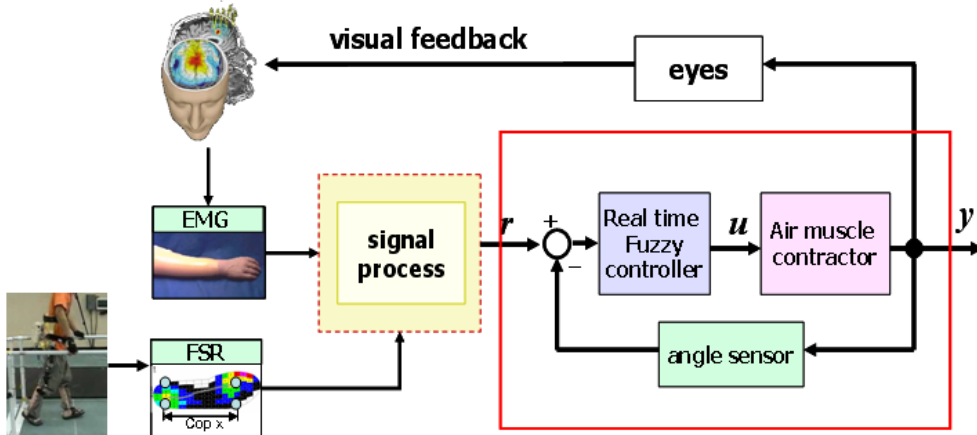


그림 2. BMI에서 생체신호에 의한 바이오피드백 개념도.

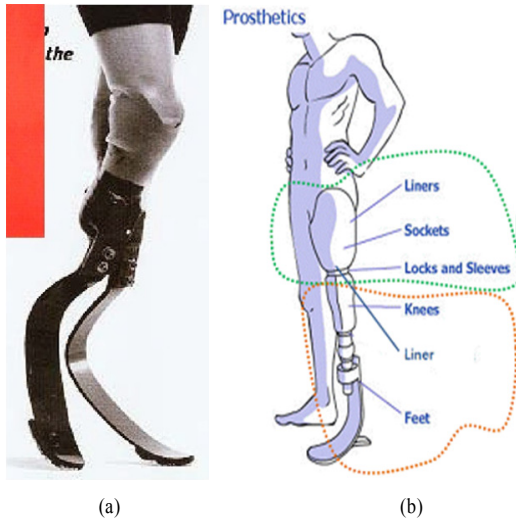


그림 3. 달리기용 의족을 착용한 모습(a)과 의지의 주요구성품 (구조부인 의족부와 연결부인 소켓으로 나뉜다).

로 나뉘는데 라이너가 단단한 의족 장치와 신체의 부드러운 근육의 계면에서 연결장치로 BMI의 기능을 한다고 할 수 있다. 장애인 달리기 선수로 유명한 남아공화국의 피스토리우스는 2011년 대구 세계육상선수권대회에도 참여하여 1600m 계주에서 은메달을 획득하여 우리에게도 낯설지 않지만, 장애인으로서 일반인과의 경주에서도 기량이 뒤지지 않음을 보였다.<sup>11</sup> 기술적으로는 이는 허벅지

와 엉덩이에 드는 힘이 일반인의 2배에 이르며 이러한 하중을 적절하게 지탱할 수 있는 BMI로서의 의족의 연결 기능이 매우 중요하다고 할 수 있다.<sup>12-15</sup>

그림 4에는 라이너로 사용되는 주요 소재로 실리콘고무, 우레탄 탄성체, 및 TPE (thermoplastic elastomer, 열가소성탄성체) 등을 있으며, 이들 고무 특성을 지니는 소재 들은 인체의 생체근육과 비슷한 기계적 물성의 형태를 보여준다.<sup>16</sup> 이들은 절단부에 뼈의 돌출부분과 혈액순환이 용이하지 않다든지 등의 이유로 정상적인 경우보다 환부상태가 취약하기 때문에 이를 보호하고 의지 착용시 발생하는 압력에 의한 통증을 방지해 준다. 현재 실리콘탄성체가 주로 사용되고 있으며, 라이너의 경우 당뇨병에 기인하는 말초신경변증에 의한 절단의 경우 체압분산의 효과가 뛰어난 우레탄탄성체가 사용되고 있다.<sup>5</sup> 이밖에도 열가소성탄성체(TPE)를 이용한 소켓라이너도 이용되고 있다.

우레탄소재는 신체의 연부조직, 즉 근육 또는 피부와 비슷한 압축강도 및 연신율을 보이기 때문에 착용시 절단부에 가해지는 압력분산에 효과적이다. 동일한 압축강도에 대하여 변형의 정도를 비교할 때 우레탄고무와 인체의 생체조직이 가장 작은 수준이며, 다음이 실리콘과 열가소성 탄성체의 순서이다.

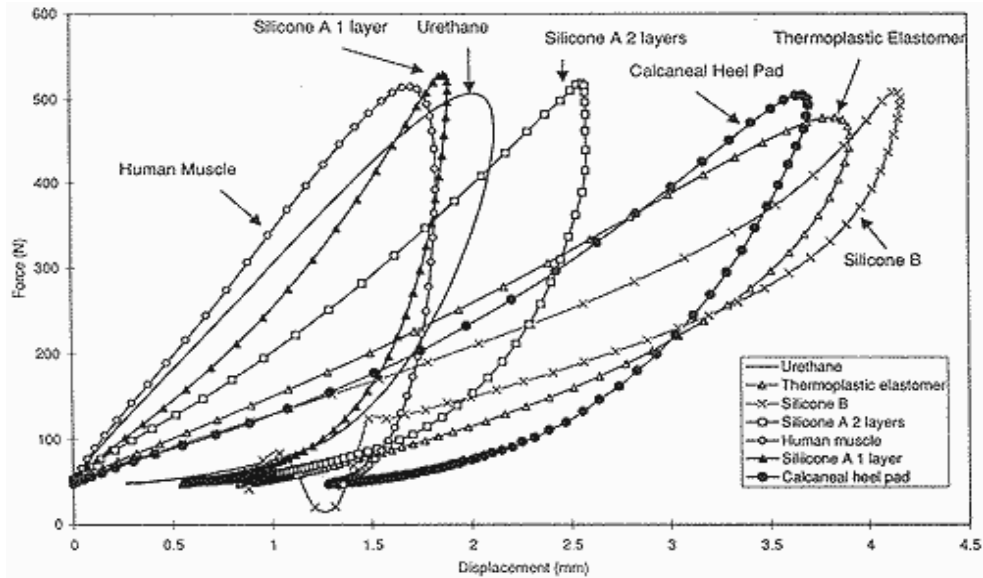


그림 4. 소켓라이너로 사용되는 여러 가지 탄성체재료의 압축시의 기계적 물성.

## 2.2 생체모방형의 기능

생체모방형이란 자연에 존재하는 생명체의 구조와 기능 또는 그것들이 생성되는 메카니즘을 연구하고 최대한 유사하게 제조하여 기능적으로 편리하고 매우 효율적인 소재나 장치를 만들고자 하는 것을 말한다.<sup>17</sup> 우리 주변에 생체모방을 이용하는 예는 많이 볼 수 있으며, 곤충이나 물고기의 구조와 기능을 연구하여 비행체와 수중에서 응용되는 물체들이 대표적인 사례이다. 재활공학용 고무 소재로서 생체모방형의 기능을 지니는 응용분야로는 인공근육과 인공피부를 들 수 있다.

인공근육으로 사용될 수 있는 전기활성고분자 구동체의 종류와 기능에 대하여 소개하고 손상되거나 망실된 신체의 피부를 복구하기 위한 방안으로서 인공피부에 대하여 소개하고자 한다.

### 2.2.1 인공 근육 (Artificial Muscle)

사고나 질병으로 인하여 망실된 신체의 근골격계 근육을 재건하기 위하여 생체모방형의 고분자 구동체를 이용하여 근골격계 인공근육을 개발하려는 연구는 최근 미국 등의 선진국을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다.<sup>8</sup> 근육은 대뇌로부터 신경신호에 의하여 명령이 전달되어 체내의 화학

적 환경을 변화시킴으로써, 즉 체액의 수소, 칼슘, 칼륨의 이온농도의 변화에 의하여 ATP(아데노신3인산, adenosine triphosphate)를 ADP(아데노신2인산, adenosine diphosphate)로 분해되면서 발생하는 에너지를 이용하여 운동을 하게 되는 일종의 점탄성을 지니는 생체재료라고 할 수 있다. 신체의 근육은 크게 수의근(voluntary muscle)에 해당되며 근골격을 구성하는 골격근(skeletal striated muscle)과 비수의근(involutary muscle)에 속하는 심장근(cardiac striated muscle)이나 내장근(smooth muscle) 등이 있다. 관입의 대상인 근골격을 구성하는 골격근의 주요한 특징으로는 등장성 및 등척성의 운동 특징을 들 수 있다. 등장성이란 동일한 힘을 유지하면서 수축과 이완을 통하여 변형을 변화시킬 수 있는 특성이며, 등척성이란 동일한 변형을 유지하면서 힘을 변화시킬 수 있는 특성이다. 가령 아령으로 팔운동을 하는 경우가 근육의 등장성에 해당되며, 잠긴 문의 손잡이를 당기는 운동이 근육의 등척성에 해당되는 예이다.

인공근육은 인체의 근육과 비슷한 구동특성과 물리적 성질을 지니는 구동물질로 궁극적으로는 생체근육을 대체하는 것을 목표로 한다. 따라서

생체모방형 인공근육이라 하면 인체의 근육을 대신하여 사용할 수 있는 유연성을 가지는 구동체 물질이나 장치를 가리킨다.

현재 인공근육으로 이용될 수 있는 구동 수단으로는 크게 세 가지로 나뉘며, 공압실린더와 McKibben 형의 공기근육 등과 같은 기계적 기구나 장치, 그리고 형상기억합금(shape memory alloy), 수소금속합금, 전기활성세라믹과 탄소나노튜브와 같은 금속 또는 무기재료계 구동체, 셋째로는 유전성 탄성체와 같은 전기활성고분자(electro active polymer, EAP)를 이용한 구동체가 있다.<sup>8</sup>

전기활성고분자의 종류에는 고분자겔(polymeric gel), 전도성고분자(conducting polymer), 유전성고분자 (dielectric polymer), 압전성고분자(piezoelectric polymer)와 이온성고분자-금속복합체(IPMC 또는 Ionic Polymer Metal Composite) 등이 있으며, 물리적인 구동원리에 따라, 이온성 고분자와 비-이온성 고분자 구동체로 분류된다.<sup>18</sup> 이들은 공통적으로 전기적 에너지를 기계적으로 변환시키는 기능을 가지며, 젖음(wet) 상태에서 이온의 움직임에 의해 수축과 팽창의 차이로 구동되는 이온성고분자에는 고분자겔, 전도성고분자와 이온성고분자금속복합체 등이 있고, 건조(dry) 상태에서 전압이 인가됨에 따라 전자의 이동에 의하여 변형이 발생하는 비-이온성고분자에는 유전성 탄성체와 압전성고분자 등이 속한다.<sup>19-21</sup>

이 중에 생체근육과의 물리적 성질이 유사하며 큰 관심을 가지고 연구되고 있는 전기활성고분자의 대표적인 소재가 유전성 탄성체에 해당되는 고무 소재를 들 수 있다. 이는 강유전성과 낮은 탄성율을 지니는 탄성체가 이에 적합하다. 전위를 인가하면 유도쌍극자 모멘트에 의하여 변형을 하는 특성을 보인다. 미국의 SRI International사에서는 실리콘, 우레탄, 아크릴탄성체를 이용하여 전기반응고분자(electrostrictive polymer)로 제조하여 전기신호변화에 수축과 팽창을 반복하는 연구결과를 보고한 바 있다. 고분자 겔은 전기장 하에서 전해질의 움직임에 따라 굽힘 작동이 가능하나 전기적으로 부도체이므로 전기적인 에너지를 기계적

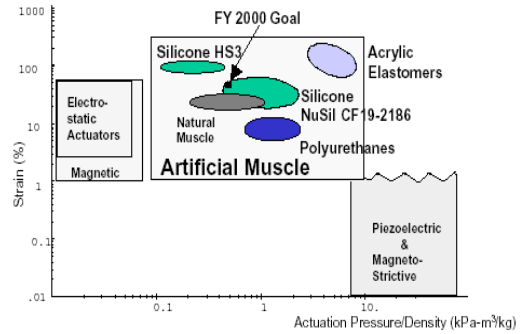


그림 5. 인공근육용 소재의 기계적 물성 특성.

인 에너지로 변환하는 데에 있어서 높은 작동전압이 필요하며 작동 속도가 낮은 단점이 있다. 압전성 고분자를 이용한 구동소자는 빠르고 가역적인 전하의 양극화에 의하여 작동하나 이들은 부피의 변화가 너무 작은 단점이 있어서 실제 응용이 매우 제한적이다.

그림 5에서 보듯이 고무특성을 지니는 전기활성고분자는 전기적인 자극에 의해 구동되는 고분자재료를 구동수단으로 하며, 기존의 모터 등과 같은 구동수단에 비하여 높은 출력비(power/weight ratio)와 효율, 인체근육과 비슷한 탄성율과 강도를 지니는 유연성, 그리고 가볍고 비교적 제조공정이 간단해서 싼 가격에 만들 수 있다는 장점 때문에 새로운 구동수단으로 활발하게 연구되고 있다.

표 1에서 나타내 바와 같이 여러 가지 종류의 전기활성고분자를 비롯하여 인공근육으로 응용될 수 있는 여러 가지 소재들은 각각 특성이 있다. 이온성 전기활성고분자는 낮은 구동전압에 큰 변위가 나오고 근육과 같은 유연성을 지니는 장점이 있지만, 응답속도가 늦고 수분상태가 유지하여야 하는 단점이 있다. 유전성 탄성체와 같은 비-이온성 전기활성고분자들은 빠른 응답과 비교적 큰 변위가 장점이지만, 구동전압이 매우 높다는 단점이 있다. 이들은 공통적으로 구동력의 증가, 적절한 제어기술, 물리·화학적으로 안정적인 내구성을 획득하여야 하며, 필요에 따라 원하는 응용분야에 적합한 소재 및 장치를 설계하는 것이 새로운 구동체의 성공적인 개발에 매우 중요한 요소들이다.

표 1. 인공근육용으로 사용되는 구동체와 인체의 근육의 물리적 성질 비교

Actuator Type (specific example)	Maximum Strain (%)	Maximum Pressure (MPa)	Specific Elastic Energy Density (J/g)	Maximum Efficiency (%)	Relative Speed (full cycle)	
Dielectric Elastomer (Acrylic)	380	7.2	3.4	60-80	Medium	
	63	3.0	0.75	90	Fast	
Electrostrictive Polymer (P(VDF-TrFE))	4.3	43	0.49	-80 est.	Fast	
Carbon Nanotube	>2.5	>1.0	>0.013	<10?	Medium	
Liquid Crystal Elastomer	>35	>0.3	>0.10	<10?	Slow	
IPMC (Nafion)	10	1.0	0.025	<10?	Medium	
Conducting Polymer (Polyaniline)	10	450	23	<10?	Slow	
Responsive Gels (Polyelectrolyte)	>40	0.3	0.06	30	Slow	
Electrostatic Devices (Integrated Force Array)	50	0.03	0.0015	>90	Fast	
Electromagnetic (Voice Coil)	50	0.10	0.003	>90	Fast	
Piezoelectric Ceramic(PZT)	0.2	110	0.013	90	Fast	
	Single Crystal(PZN-PT)	1.7	131	0.13	90	Fast
	Polymer(PVDF)	0.1	4.8	0.0013	-80 est.	Fast
Shape Memory Alloy (TiNi)	>5	>200	>15	<10	Slow	
Shape Memory Polymer (Polyurethane)	100	4	2	<10	Slow	
Thermal (Metallic expansion)	1	78	0.15	<10	Slow	
Magnetostrictive (Terfenol-D)	0.2	70	0.0027	60	Fast	
Natural Muscle Peaks in nature	100	0.80	0.04	-	Slow-Fast	
	Human Skeletal	>40	0.35	-	Medium	

한편 대표적인 기계적 구동수단의 하나인 공기 근육(air muscle)은 작고 가볍고 사용하기 쉬운 강력한 구동장치로서 0 ~ 6 bar 범위의 압축공기에 의하여 동작한다. 공기근육은 고무튜브를 고강성의 플라스틱 그물망이 감싸고 있는 구조로 공기의 압력을 높이면 근육이 수축(길이가 짧아짐)되고 공기의 압력을 낮추면 이완(원래의 상태로 늘어남)되어 인간의 근육 운동형태와 유사하게 동작한다. 공기 근육은 중량대 파워비가 400:1 로 일반 공압 실린더나 DC 모터의 16:1 에 비하여 매우 크다.<sup>22</sup> 그림 6은 공기근육의 형태와 인공 팔로 제작된 형태를 보여준다.

### 2.2.2 인공 미용피부 (artificial cosmetic skin)

피부는 해부학적으로 표피, 진피, 피하조직 등으로 구성되며 기능적으로 (1) 체외 방어 및 체내 보호 (2) 지각 작용 및 체온 조절 (3) 분비 배설 작



(a)



(b)

그림 6. (a) 공기근육 (b) McKibben 타입의 공기근육을 이용한 인공 팔.

용 및 호흡 작용 등의 특성을 지니고 있다. 신체의 피부가 사고, 질병 등으로 손상되거나 망실되었을 때 인공피부로 시각적으로나 기능적으로 복원할 수 있다. 손상된 피부를 외관적이나 생리학적으로 복원하려는 연구는 다양한 방법으로 진행되고 있으며 주요 접근방법은 표 2 에서 나타난 바와 같다.<sup>23,24</sup>

절단장애인의 경우는 인공고분자소재를 이용하여 미관형 의수를 통하여 일차적으로 심미적인 복구에 중점을 두고 있으며, 화상이나 상처가 난 경우에는 창상피복제나 배양피부와 같은 피부조직 재생 방법 등이 있다. 피부가 손상된 장애인의 입장에서서는 육체적인 불편함뿐만 아니라 심리적인 어려움도 겪게 된다. 신체적인 기능회복의 목표를 구현하면서 심리적 어려움을 극복하기 위한 방안으로 재활공학적인 접근방법으로 인공고분자소재를 활용한 미관형 의수를 사용하며 PVC 나 실리콘고무를 이용하여 제조된 인공 미용피부를 사용한다. 단순한 미용소재뿐만 아니라 잔존하는 피부와 접촉하는 부분에서 공기의 투과성을 부과하는 고기능성을 지니면서 외양적인 면에서 실제의 피부와 유사하게 보여서 심리적인 치료 및 재활에 최대의 효과를 기대할 수 있다. PVC은 내

구성이 우수하지만 젖음성(wettability)이 크기 때문에 실생활에서 빨리 더러워지고, 세척 등에도 잘 씻기지 않는 불편한 점이 있다. 실리콘 고무를 사용한 소재는 미관상으로는 우수하나 찢김성(tear property)이 좋지 않아 사소한 굽힘에도 잘 찢어지는 단점이 있다. 따라서 이를 개선하기 위해 내구성이 우수한 변성실리콘소재가 개발된 바 있다. 비닐기를 QM 레진(실리콘레진)수소기를 함유한 액상실리콘, 보강성 충전제, 백금촉매, 경화지연제의 함유량을 적절히 조절하여 이액형 부가경화형 조성물을 가지면서 저경도, 고인윤, 고인열성을 지니는 소재가 개발되어 임상적으로 성공적으로 적용되고 있다.<sup>25</sup>

미관형 의수는 손실된 신체의 심미적인 복구가 우선적으로 중요하기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다. 소재의 감성적 느낌에 대한 정성적인 표시로 ‘태’를 들 수 있다. 소재의 ‘태’는 인간의 감각에 의한 주관적인 평가특성으로 넓은 의미로는 촉각과 시각에 의한 소재의 평가를 말하나, 좁은 의미로는 촉각을 중심으로 한 주관적인 평가로 볼 수 있다. 소재에 대한 감성 연구는 Pierce가 물성치 계측으로 감성을 정량화를 시도하면서 시작되었고, Kawabata에 의해 ‘태’에 관한 본격적인 연구

표 2. 인공 피부의 연구개발 접근 방법

분 류	기 능	특 성	적용 소재
인공피부 (Artificial Skin)/ 인공고분자소재 (Polymer Skin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·손실된 근골격의 외부표피 역할</li> <li>·내구성, 강도 등 소재적 특성 중요</li> <li>·질감 및 촉감 등 생체감성 특성요구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·적정 고분자 소재의 조성 및 특성이 중요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·실리콘 탄성체</li> <li>·PVC</li> <li>·합성공중합체</li> </ul>
창상피복제 (Wound dressing)/ 인공피부(Artificial skin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·일시적으로 환부를 보호</li> <li>·체내로부터 수분누출 방지</li> <li>·잡균침입 및 감염 방지</li> <li>·넓은 면적의 피부결손이</li> <li>·있는 창상에 적용</li> <li>·새로운 혈관과 결합 조직재생 유도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·대부분 제한적인 용도에만 적용</li> <li>·값이 비쌈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·PHEMA (poly(hydroxy ethylmethacrylacid)</li> <li>·PEG (poly ethylenglycol)</li> </ul>
배양피부(Cultured skin)/ 생인공피부 (Bioartificial skin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·피부 궤양 또는 손상에 사용피부세포증식 후 영구생착을 목적으로 이식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·거부반응이 없다</li> <li>·피부의 크기 임의로 조절 가능</li> <li>·낮은 생착률</li> <li>·복잡한 제조 과정</li> <li>·사용의 불편성</li> <li>·세균감염우려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·콜라겐과 키틴, 키토산, 피브린, Hyaluronic acid,</li> <li>·Gelatin, Dextran</li> </ul>

방법과 성과 활성화되는 계기가 되었다.<sup>26-28</sup> 주로 섬유라던지 피혁 등에서 고급스럽다 촌스럽다 등의 감각의 감성적인 측면에 대한 평가 형태로 볼 수 있다. 표 3에 인체의 피부에 대한 ‘태’ 특성에 대하여 나타내었다.<sup>29-31</sup>

‘태’의 특성을 소재의 물리적 성질과 연관 지어 고찰하는 것은 상당히 의미 있는 작업이라 할 수 있다. 고무특성을 지니는 고분자소재로서 고찰할 수 있는 인공피부의 요소들은 그림 7과 같다. 인체의 피부와 유사한 경도, 촉감, 색상을 구현하기 위하여 표면경도, 표면조도, 접촉각, 피부색상에 대한 정량적인 분석이 필요한 것으로 보인다. 인공 피부 소재의 표면경도: 인체 피부와 유사한 Shore A 3-6정도 유지하는 것이 요구되며, 표면조도: 피부의 땀구멍이나 모공의 굴곡을 표현하는 표면 패턴 표현이나, 표면의 끈적임 느낌으로 적절한 것

표 3. 인체 피부의 “태” 특성

피부의 태		주요 관련 물리적 성질
개 념	반대개념	
부드럽다 (Soft)	딱딱하다 (Hard)	표면경도 (hardness) 강도 (strength)
매끄럽다 (Smooth)	울퉁불퉁하다 (Rough)	표면조도 (surface roughness)
유연하다 (Pliable)	뻣뻣하다 (Stiff)	강도 (strength) 탄성율 (Y modulus)
따뜻하다 (Warm)	차다 (Cool)	열전도도 (thermal conductivity)
촉촉하다 (Wet)	건조하다 (Dry)	접촉각 (surface contact angle)

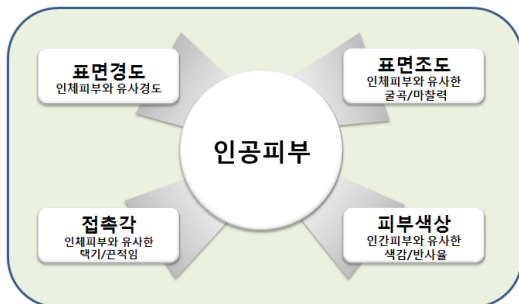


그림 7. 인공피부용 탄성체 소재 관련 특성.

음성을 유지하는 것(접촉각(θ) 90-100도)이 필요하며, 생동감 있는 피부색상 표현 등이 필요하다.

### 3. 맺음말

고무소재의 특성은 다양한 물성과 인체 특성과 조화를 이룰 수 있는 신체적합성을 구현할 수 있다는 측면에서 생체재료로서 공학적인 소재로 많은 연구가 진행되고 있다. 지금까지는 재활의료용 융합기술적에 대하여 우리나라는 아직 선진국과의 기술격차가 크게 나고 있으며, 소재 및 제품 개발 면과 시장성 측면에서 열악한 환경에 있었다. 우리나라도 고령사회로의 진입이 가속화되고 있으며, 각종 사고와 성인병에 의한 후천적 절단 및 마비장애자의 수가 급증하고 있으며 이에 따라 첨단 소재기술과 공학기술이 접목이 되어 큰 부가 가치를 창출하는 신 융합기술로 주목받고 있다.

이러한 분야는 경제적 또는 산업적 측면 뿐만 아니라 장애인과 노인들의 복지란 측면에서 사회적 관심이 요구된다. 앞으로 관련 산학연 전문가들이 관련 고무를 비롯한 소재, 제품개발 및 산업 육성을 통하여 새로운 가치를 창출하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 정동준, 박용순 역 “생체재료학(Biomaterials)” 성균관대학교 출판부 2004.
2. B. D. Ratner “Biomaterials Science- An introduction to materials in medicine” Academic Press, 1996.
3. F. H. Silver “Biomaterials Science and Biocompatibility” Springer 1999.
4. M. Szycher “Biocompatible polymers, metals, and composites” Technomic Pub. Co. Lancaster, 1983.
5. 김진호, 한태륜 “재활의학” 군자출판사 2002.
6. 박윤기, 이재학, 황현교 “보조기 및 의수족” 고문사1986.
7. 김남균 외 “의공학개론” 여문각 2000.
8. Y. Bar-Cohen “Electroactive Polymer Actuators as Artificial Muscles” SPIE Press 2001.
9. T. Moritani and Y. Yoshitake, “The Use of Electromyography in Applied Physiology”, *Journal of*



- Electromyography and Kinesiology*, **8**, 363 (1998).
10. C. J. De Luca, "The use of surface electromyography in biomechanics", *Journal of Applied biomechanics*, **13**, 135 (1997).
  11. 이석민 "장애인 스포츠용품의 현재와 미래" "스포츠 과학과 기술" 100권 73p 2007.
  12. D. Rihs, I. Polizzi, "Prosthetic foot", REHAB Tech, 1998.
  13. B. J. Hafner, J. E. Sanders, J. M. Czerniecki, J. Ferguson, "Transtibial energy-storage-and-return prosthetic devices: A review of energy concepts and a proposed nomenclature", *J. of Rehabilitation Research and Development*, **39**, 1 (2002).
  14. 한국산업표준 KSPISO10328-1~8, 의지 - 의족의 구조 강도 시험.
  15. 국제표준화기구 규격 ISO/TR 22676:2006, Prosthetics -- Testing of ankle-foot devices and foot units -- Guidance on the application of the test loading conditions of ISO 22675 and on the design of appropriate test equipment.
  16. S. J. Covey, Flow Constraint and Loading Rate Effects on Prosthetic Liner Material and Human Tissue Mechanical Response, *Journal of Prosthetics & Orthotics*, **12**, 15 (2000).
  17. 이석민 "생체모방형 인공근육의 구동" 기계저널 63p 4월호 2006년.
  18. U. S. Patent 7,211,937 (2007).
  19. M. Watanabe, N. Wakimoto, H. Shirai, T. Hirai, Bending electrostriction and space-charge distribution in polyurethane films, *Journal of Applied Physics*, **94**, 2494 (2003).
  20. M. Watanabe, N. Wakimoto, H. Shirai, T. Hirai, Bending electrostriction in polyurethane using in situ ultraviolet and visible spectroscopies, *Journal of Applied Physics*, **88**, 5328 (2000).
  21. T. Hirai, M. H. Islam, M. Takasaki, M. Watanabe, Behavior of bending motion of polyurethane film with carbon nanofiber as electrode, *Journal of Applied Physics*, **101**, 5353 (2007).
  22. B. Tondu and P. Lopez, "The McKibben muscle and its use in actuating robot-arms showing similarities with human arm behaviour", *Industrial Robot: An International Journal*, **24**, 432 (1997).
  23. 박영오, 민경원, 허준평, Medifoam을 이용한 부분층 피부이식 공여부 치료에 대한 임상적 경험, *대한성형외과학회지 J Korean Soc Plast Reconstr Surg*, **29** 297 (2002).
  24. 장성수, 민경원, 새로운드레싱재료 대한미용성형외과학회지, **8** 149 (2002).
  25. 대한민국 특허 공고 10-0805744.
  26. F.T. Pierce, The Handle of cloth as a Measurable Quantity, *J. Text. Inst.*, **21**, 377 (1930).
  27. S. Kawabata, "The Standardization and Analysis of Hand Evaluation", 2nd Ed. The Text. Mach. Soc. of Japan, Osaka, 1980.
  28. 이재곤, 직물의 태 평가방법의 표준화, 한국섬유공학회 제직분과 심포지움, 1988.
  29. 신혜원, 이정순 "인조피혁의 촉감 및 선호도-주관적 평가-", *한국의류학회지*, 541-550, 1999.
  30. 이선영 등 "환경에 따른 여성외의용 신태합섬 폴리에스테르직물의 접촉감성", *한국의류학회지*, **24**, 77 (2000).
  31. 이정순, 신혜원 "인조피혁의 촉감평가", *한국의류학회지*, **24**, 277 (2000).