

# 자연모사기술의 공학적 응용

김완두, 조영삼

한국기계연구원 미래기술연구부

## 1. 머리말

자연에 존재하는 생체물질은 수많은 나노스케일의 유기분자로 구성되어 상호 연관성을 가지고 오랜 시간동안 진화 발전되어 온 최적화/고효율화 된 고도의 기능 시스템으로서, 특수한 기능을 지닌 자연 생명체의 원리를 규명하고 공학적으로 활용하려는 시도는 많은 과학자와 공학자에 의해 끊임없이 시도되어 오고 있다.

자연모사기술(nature inspired technology)이란 자연의 생물체 및 생체물질의 기본 구조, 원리 및 메커니즘을 모방(bio-mimetics) 및 응용(application)하여 공학적으로 활용하는 기술을 말한다.

흔히 생체모방공학(biomimetics)이라는 용어는 바이오닉스(bionics), 바이오그로시스(biognosis), 바이오미미크라이(biomimicry), 바이오창조공학(bionical creativity engineering) 등의 용어와 동일한 의미로 사용되고 있다.

그리스어로 바이오스(bios)는 생명이라는 뜻이며, 바이오닉스는 biomechanics의 축약형의 의미와 biology와 electronic의 합성어의 의미로 사용되며 Jack E. Steele이 1960년 Dayton에서 개최된 학술대회에서 bionics라는 용어를 최초로 사용하였다. 생체모방공학(biomimetics)이라는 합성어는 1950년대 미국의 발명가이자 공학자인 Otto Schmitt에 의해 최초로 사용되었다. 그는 생체물리학 분야에 혁혁한 과학적 업적을 달성하였으며, 생체의료공학

(biomedical engineering) 분야를 정립하는데 큰 기여를 하였다.

생체모방공학의 사전적 의미는 자연을 모방한 인공 메커니즘을 이용하여 생산물을 만들 목적으로 생물학적으로 생성된 물질과 생물학적 메커니즘/공정의 생성, 구조, 역할을 연구하는 학문으로, 자연으로부터 아이디어나 컨셉을 응용하여 공학적 디자인이나 계산 등에 사용하는 것이다.

이 글에서는 자연의 생물체 및 생체물질의 기본 구조, 원리 및 메커니즘을 모방하고 응용하여 공학적으로 활용하는 기술인 자연모사 또는 생체모방기술에 대한 대표적인 분류 방법을 알아보고 여러 가지 응용 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 자연모사기술의 분류

자연모사기술은 여러가지 분야에 다양하게 공학적으로 활용되고 있으며, 대표적인 분류 방법으로서 Mark Arye가 ESA(European Space Agency)의 ACT(Advanced Concept Team)에서 발표한 다음과 같이 5가지의 분야가 있다 [Ayre, M, Biomimicry - A review, Advanced Concept Team, European Space Agency, 2004].

### 2.1. 구조와 재료(Structures and Materials)

세부적으로 a) 새로운 구조, b) 전개, 접음, 그리고 포장, c) 복합재료, d) 지능형재료, e) 생체재료

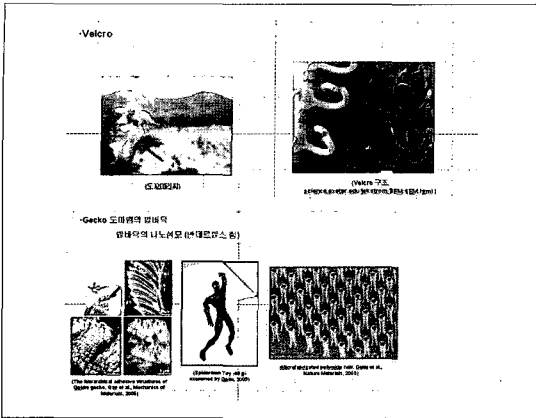


Figure 1. 도꼬마리씨를 모방한 Velcro와 게코 도마뱀을 모방한 건식 부착 나노구조물.

이용 복합재료로 나누어진다. 예를 들면, 게코 도마뱀의 나노헤어를 모방한 건식부착 구조물 연구와 토란잎 등의 초발수성 성질을 모방하려는 연구는 새로운 구조의 범주에 포함된다. 이 외에도 나뭇잎의 새싹이 껍질 안에서는 매우 작은 공간을 차지하고 있다가 밖으로 나오면서 넓게 퍼지는 것을 모방하여 우주선의 태양전지 등에 활용하려는 연구도 있으며, 이에 관련된 범주는 전개에 해당된다.

## 2.2. 기구와 공정(Mechanisms and Processes)

세부적으로 a) 작동기, b) 이동, c) 동력 생성 및 저장, d) 에너지관리, e) 제작으로 나누어지며, 예를 들면, EAP(electro-active polymer)를 이용한 인공근육의 개발연구는 작동기에 포함되고, RCM(reciprocating cemical muscle)을 이용한 entomopter 개발 연구는



Figure 2. 곤충과 동물을 모방한 보행 로봇들.

이동의 범주에 포함된다. 이동과 관련하여 자연계를 살펴보면, 자연계의 종들의 이동성은 그 종들이 필요로 하는 목적에 따라 이동 속도, 가속력, 안정성 등이 다름을 알 수 있다. 예를 들면, 사자는 먹이를 잡기 위해 가속력이 필요하고, 거북이는 포식자를 회피하지 않고 장갑으로 방어하므로, 속도나 가속력 보다는 안정성이 우선이 된다. 또한, 곤충이나, 갑각류 등의 운동을 모사하여 여러 가지 로봇 등의 개발연구가 진행되고 있는데, 여기에는 다리로 보행하는 것이 바퀴보다 장애물이나, 복잡한 환경에서 장점을 가지는 것을 이용하기 위한 연구들이다.

## 2.3. 행동과 제어(Behavior and Control)

세부적으로 a) 고전적 인공지능, b) 행동 인공지능, c) 반사 제어, d) 반복 제어로 나누어진다. 여기서 행동과 제어의 용어 정의를 먼저 하면, 행동이란 동물의 결정에 따른 결과를 말한다. 예를 들면, 어떤 먹이를 쫓을지, 언제 잠을 잘지 등을 결정하는 것을 말한다. 제어란 행동 결정에 따른 운동을 말한다. 예를 들면, 먹이를 쫓을 때 다리가 인지하지 않아도 움직이는 것을 말한다. Irobot사의 Rodney Brooks는 단순한 행동들을 building block으로 사용한 포용구조(subsumption architecture)를 사용하여 roomba를 제작하였다.

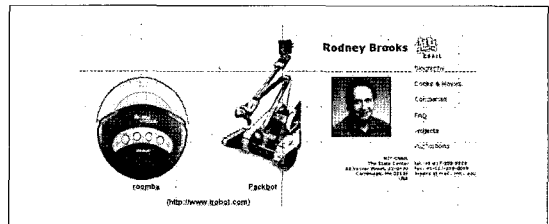


Figure 3. Rodney Brooks가 설립한 irobot사의 roomba-포용구조를 사용한 알고리즘으로 작동.

## 2.4. 감각기관과 의사소통(Sensors and Communication)

세부적으로 a)시각, b)청각, c)촉각, d)미각과 후각, e)의사소통으로 나뉜다. 카메라의 렌즈가 가장 대포

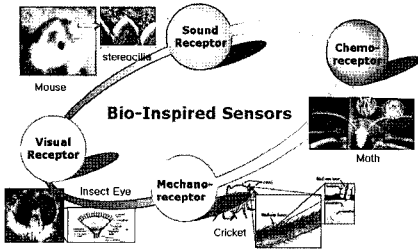


Figure 4. 생체 감각기관.

적인 모사 예가 될 수 있으며, 곤충에게 존재하는 표피의 응력을 측정하는 cup-shaped sensilla를 모사하려는 연구도 진행되고 있고, 맛과 냄새를 구별하는 인공 혀, 인공 코에 관한 연구들도 진행되고 있다.

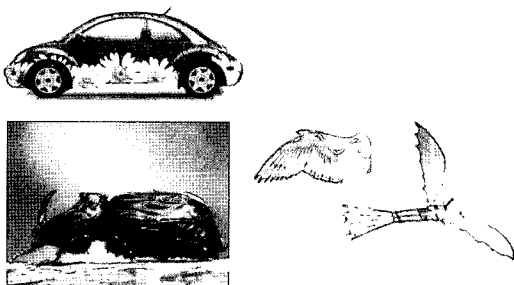
### 2.5. 세대 간의 모방(Generational Biomimicry)

세부적으로 a) 생태학적 기구, b) 유전학적 기구, c) 행동/문화 기구, d) 전공학으로 나뉜다. 가장 대표적인 예는 최적화 문제를 풀기위해 유전자 진화를 응용한 유전자 알고리즘 개발이 될 수 있다.

## 3. 자연모사기술의 사례

### 3.1. 수송기계 (비행기, 자동차)

15세기에 레오나르도 다빈치는 새가 하늘을 나는 원리로부터 새의 날개를 모방하는 것으로 인간도 날 수 있다는 생각을 착안했다. 그 당시 비록 하늘을 나는 데에는 실패했지만, 다빈치의 시도는 1903년 라이트 형제에 의해 세계 최초로 사람이 탑승하고 이



딱정벌레와 폭스바겐 자동차 새의 날개를 모사한 비행체

Figure 5. 동물을 형상을 모방한 사례들.

륙에 성공한 플라이어 1호기의 모델이 되고 있다.

이놀드 히틀러의 명령에 의해 설립된 독일 국민차 회사의 명설계자 페르디난트 포르세는 딱정벌레를 모사하여 만든 차량 원형을 1936년에 발표하였으며, 지금까지도 자동차 애호가들의 많은 사랑을 받아 오고 있다.

### 3.2. 로봇

살아 움직이는 생명체를 모방한 로봇은 그야말로 자연 및 생체모방 기술의 결정체로 볼 수 있다. 인간의 움직임과 사고를 모방하려는 인간형 휴먼 로봇, 강아지의 흉내를 낸 로봇, 잠자리나 파리의 날개 짓을 모방한 날 수 있는 로봇, 상어나 돌고래의 움직임을 모사하여 만든 물속을 유영하는 로봇, 물 위를 걷는 소금쟁이 로봇 등 다양한 로봇이 선보이고 있다.

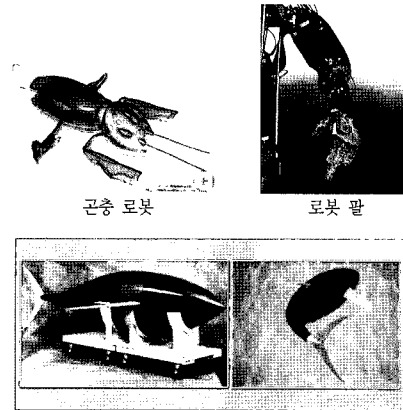


Figure 6. 동물을 모방한 여러가지 로봇들.

### 3.3. 자연모사 소재

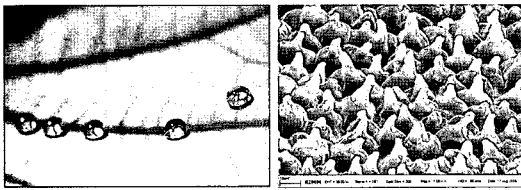
움직이는 생명체를 모사하는 경우 외에도 재료적인 측면의 다양한 자연모사 사례를 살펴볼 수 있다.

자연계에 존재하는 생체물질의 표면은 현존하는 엔지니어링 소재를 이용해 제작한 표면에 비해 매우 뛰어난 성능을 가지고 있다. 표면 자체의 마찰을 줄이는 것과 같은 기본적인 성능뿐 아니라 자기 조립(self-assembly), 자기 세정(self-cleaning), 자기 회복(self-healing), 외부 환경에 대한 지능적 특성

조절 기능(예: 인체의 온도 습도를 조절하는 피부 조직, 빛을 흡수하여 광합성 반응을 하는 식물의 잎사귀 등)과 같은 다양한 기능을 가지는 표면을 형성하고 있다. 또한 이러한 표면을 형성하는 방법이 있어서도 기존의 공학적인 접근방법에 비해 훨씬 효율적이며, 반복적이고, 환경 및 인간 친화적인 구조물로 제작되고 있다.

3.4. 연잎 효과

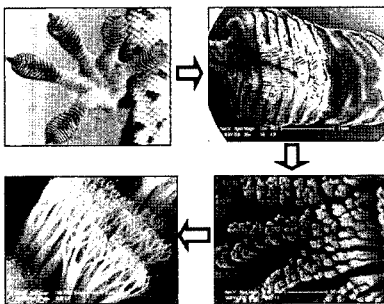
자연계에서 흔히 볼 수 있는 연(lotus) 잎과 토란 잎의 표면은 나노스케일의 미세한 돌기들로 인해 초소수성과 자기세정 효과를 보이고 있다. 이러한 연잎 효과 (lotus effect)를 낼 수 있는 페인트가 개발되어 시판되고 있으나 실용성에는 아직 여러가지 문제가 남아있는 상황이다.



연잎의 물방울 연잎 표면의 돌기  
Figure 7. 연잎의 물방울과 연잎 표면의 돌기.

3.5. 게코도마뱀 발바닥 접촉

벽과 천정을 자유자재로 기어 다니는 게코도마뱀의 발바닥은 나노스케일의 수많은 섬모들로 인한 반데르발스힘이 작용한다는 2000년도의 네이처지



게코도마뱀 Nano Seta

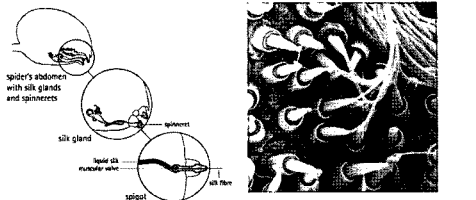
Figure 8. 게코도마뱀의 발가락에 존재하는 seta와 spatula.

의 발표 이후로 나노공정을 통하여 공학적으로 모사하려는 시도가 지속되어 오고 있다.

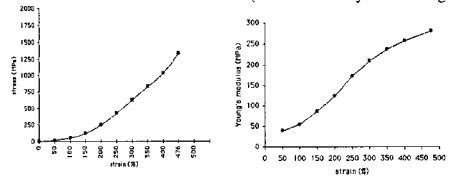
3.6. 거미줄 (spider silk)

후미진 곳에 하얗게 보이는 거미줄이 강철보다 5~10배 강하다는 사실은 잘 알려져 있지만, 인공거미줄을 대량 생산하기 위한 기술적인 어려움으로 실용화를 달성하지 못하고 있는 실정이다. 캐나다의 Nexia사에서는 유전자이식 염소를 이용하여 거미줄의 유전자와 단백질을 추출하고 이를 다시 전기방사공정을 통해 인공거미줄인 바이오스틸(BioSteel)이라는 소재를 만들고자 시도하고 있다. 바이오스틸은 의료용 봉합사로서 활용할 수 있다.

자연 상태의 거미는 거미줄 단백질이 모여 있는 실샘으로부터 긴 관을 거쳐 방적돌기(spinneret)를 통하여 몸 밖으로 고체 상태의 거미줄을 뿜어낸다. 거미줄 생성 과정은 거미줄 성분의 단백질을 합성하는 문제와 함께 아직도 과학자들이 풀어야 할 숙제로 남아 있다.



거미줄 생성 과정 거미줄 방적돌기 (Photo courtesy MicroAngela)



거미줄의 응력-변형률 선도 (1999 M. Beals, L. Gross, S. Harrell) 거미줄의 탄성계수 (1999 M. Beals, L. Gross, S. Harrell)

Figure 9. 거미줄의 생성과 물성.

3.7. 인공 뼈/이빨

인간의 뼈는 다공성의 독특한 구조를 가지고 있으므로 가벼우며, 외부의 누르는 힘에 잘 견디고, 쉽

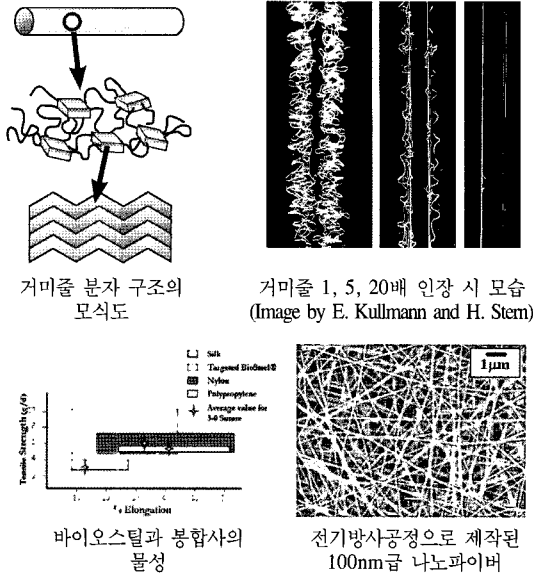


Figure 10. 거미줄과 전기방사된 바이오텔.

게 깨지거나 부러지지 않는 우수한 기계적 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 모방하여 로켓 절연체를 위해 티타늄으로 코팅된 다공성 탄소재료가 만들어졌으며, 실제 인간의 뼈와 호환성도 뛰어나 수술실에서 뼈의 대체재료로 사용되고 있다.

뼈와 비슷한 이빨도 모방의 대상이 되고 있으며, 쥐의 이빨은 심지어 철선을 잡아대도 결코 상하지 않을 정도로 단단한 것으로 알려져 있다. 이와 같은 이빨의 구조를 흉내내 '산화티타늄'으로 된 단단한 소재를 개발하고 있다.

저자 프로필



김완두

1980. 서울대학교 기계설계 졸업  
 1984. 서울대학교 기계설계(석사)  
 1993. 서울대학교 기계설계(박사)  
 1980-1982. 서울대학교 공대 조교  
 1982-현재. 한국기계연구원 부장  
 1989. 한국직업훈련관리공단 기계기술사  
 1995-1996. 미국 Purdue University 기계공학과 방문연구원  
 e-mail: wdkim@kimm.re.kr



조영삼

1997. 한국과학기술원 기계공학 졸업  
 1999. 한국과학기술원 기계공학(석사)  
 2004. 한국과학기술원 기계공학(박사)  
 2005-현재. 한국기계연구원 선임연구원  
 2004-2005. 한국과학기술원 기계기술연구소 박사후연구원  
 1999-2001. 한국과학기술원 기계공학과 조교

3.8. 홍합의 접착 단백질

홍합은 바닷가의 바위에 단단하게 붙어 거친 바람과 파도에도 끄떡없이 견뎌낸다. 홍합이 바위에 붙는데 사용하는 생체물질은 10개의 아미노산이 반복되어 있는 단백질로 밝혀졌으며, 이 단백질을 만드는 유전자를 대장균의 DNA에 삽입해 접착제 단백질을 대량생산하는 연구가 발표된 바 있다.

4. 맺음말

자연계에 존재하는 생물체는 35억년이라는 오랜 시간동안 지구의 가혹한 환경에 적응하면서 끊임없이 다듬어져 온 최적화된 작품이라고 할 수 있다. 이러한 최적화된 자연을 모사하여 공학적으로 개발 응용하려는 시도는 새로운 기능과 새로운 소자, 새로운 시스템을 개발하는데 획기적인 전기를 마련할 수 있는 한 방안으로 대두되고 있다.

자연모사 또는 생체 모방이라 불리는 분야는 오늘날 과학과 공학의 한 흐름을 형성해 나가고 있으며, 국내외적으로 아직도 탐색 연구 단계에 있는 분야로서 자연에 대한 호기심과 관찰력, 그리고 새로운 아이디어의 요구 및 연구개발 등을 통하여 무한히 발전해 나갈 수 있을 것이며, 최근 관심이 고조되고 있는 다학제간 융합기술 분야로서 발전이 기대되고 있다.