



자연모사공학의 기술 현황

김완두 | 한국기계연구원

1. 머리말

미래국가유망기술 21은 현재 산업화 및 실용화 되지는 않았으나 향후 10~20년 뒤 새로운 시장(blue ocean)을 창출할 수 있는 미래 원천기술로서, 삶의 질 향상, 경제성, 공공성에 기반을 두고 새로운 가치를 창출하여 기술경쟁력을 확보함으로써 세계적 우위를 점할 수 있는 기술로 21개 분야가 선정된 바 있다. 21개 기술 분야 중 하나인 나노·고기능성 소재기술 분야에는 생체모방기능형 소재·부품이 포함되어 있으며, 이는 자연의 생물체 및 생체물질의 기본 구조, 원리 및 메커니즘을 모방(mimetics)하고 응용(application)하여 공학적으로 활용하는 기술인 자연모사기술(nature inspired technology)의 한 갈래로 볼 수 있다^[1].

자연모사공학은 흔히 생체모방공학(biomimetics)이라는 용어와 유사한 의미로 사용되고 있으며, 바이오닉스(bionics), 바이오그노시스(biognosis), 바이오미미크라이(biomimicry), 바이오창조공학(bionical creativity engineering) 등의 용어도 사용되고 있다. 그리스어로 바이오스($\beta\iota\omicron\varsigma$)는 생명이라는 뜻이며, 바이오닉스는 biomechanics의 축약형의 의미와 biology와 electronic의 합성어의 의미로 사용되며, Jack E Steele에 의해 1960년 Dayton에서 개최된 학술대회에서 최초로 사용되었다. 생체모방공학(biomimetics)이라는 합성어는 1950년대 생체물리학 분야에 혁혁한 과학적 업적을 달성한 미국의 발명가이자 공학자인 Otto Schmitt에 의해 최초로 사용되었다.

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.

이 글에서는 자연의 생물체 및 생체물질의 기본 구조, 원리 및 메커니즘을 모방하고 응용하여 공학적으로 활용하는 기술인 자연모사기술에 대한 대표적인 분류 방법과 사례를 알아보고 최근의 국내외 연구 현황을 살펴보고자 한다. 또한, 최근 과학기술부 사업으로 추진된 자연 생물체 중에 존재하는 나노스케일의 섬모와 돌기에 의한 여러 가지 공학적 현상을 해석하고 모방하는 제작 공정 기술에 대해서도 소개하고자 한다^[2].

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^[3, 4].

2.1 구조와 재료 (Structures and Materials)

세부적으로 a) 새로운 구조, b) 전개, 접음 그리고 포장, c) 복합재료, d) 지능형재료, e) 생체재료이용 복합재료로 나누어진다. 예를 들면, 게코 도마뱀의 나노헤어를 모방한 건식부착 구조물 연구와 토란잎 등의 초발수성 성질을 모방하려는 연구는 “새로운 구조”의 범주에 포함된다. 이외에도 나뭇잎의 새싹이 껍질 안에서는 매우 작은 공간을 차지하고 있다가, 밖으로 나오면서 넓게 퍼지는 것을 모방하여 우주선의 태양전지 등에 활용하려는 연구도 있으며, 이에 관련된 범주는 “전개”에 해당된다.

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

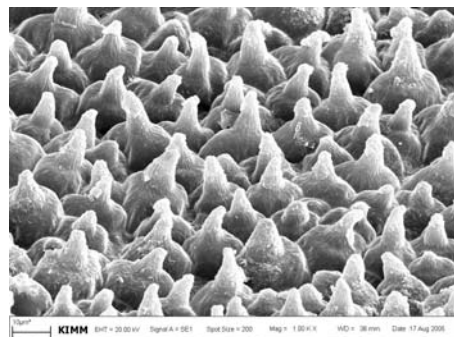
벽과 천정을 자유자재로 기어 다니는 게코도마뱀의 발바닥은 나노스케일의 수많은 섬모들로 인한 반데르발스 힘이 작용한다는 2000년 네이처지의 발표 이후로 나노공정을 통하여 공학적으로 모사하려는 시도가 지속되어 오고 있다.

인간의 뼈는 다공성의 독특한 구조를 가지고 있으므로 가벼우며, 외부의 누르는 힘에 잘 견디고, 쉽게 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 갉아대도 결코 상하지 않을 정도로 단단한 것으로 알려져 있다. 이와 같은 이빨의 구조를 흉내내 ‘산화티타늄’으로 된 단단한 소재를 개발하고 있다.

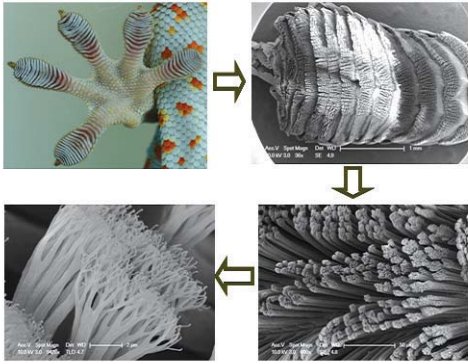
홍합은 바닷가의 바위에 단단하게 붙어 거친 바람과 파도에도 끄떡없이 견뎌낸다. 홍합이 바위에 붙는데 사용하는 생체물질은 10개의 아미노산이 반복돼 있는 단백질로 밝혀졌으며, 이 단백질을 만드는 유전자를 대장균의 DNA에 삽입해 접착제 단백질을 대량생산하는 연구가 발표된 바 있다.



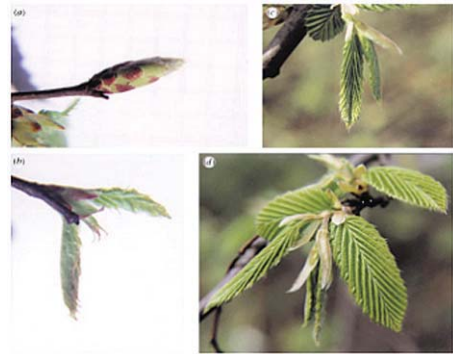
연꽃잎의 물방울



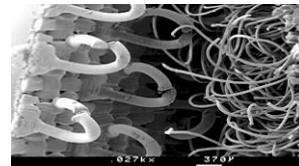
연꽃잎 표면의 돌기



게코도마뱀 발바닥의 나노스케일의 섬모



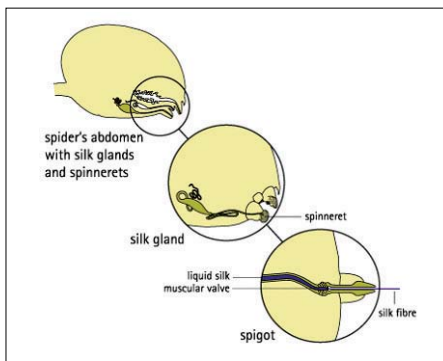
나뭇잎의 전개 모습



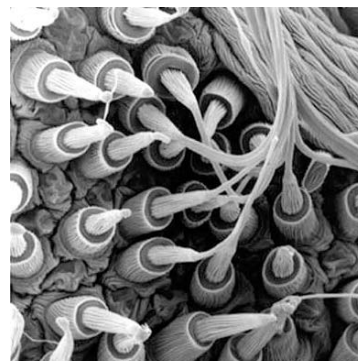
도꼬마리씨를 모사한 벨크로

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 유전자 이식 염소를 이용하여 거미줄의 유전자와 단백질을 추출하고 이를 다시 전기방사공정을 통해 인공거미줄인 바이오스틸(BioSteel)이라는 소재를 만들고자 시도하고 있다. 바이오스틸은 의료용 봉합사로서 활용할 수 있다.

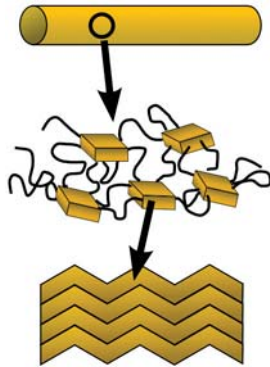
자연 상태의 거미는 거미줄 단백질이 모여 있는 실뿔로부터 긴 관을 거쳐 방적돌기(spinneret)를 통하여 몸 밖으로 고체 상태의 거미줄을 뿜어낸다. 거미줄 생성 과정은 거미줄 성분의 단백질을 합성하는 문제와 함께 아직도 과학자들이 풀어야 할 숙제로 남아 있다.



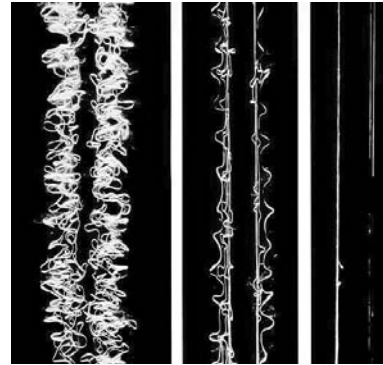
거미줄 생성 과정



거미줄 방적돌기 (Photo courtesy MicroAngela)



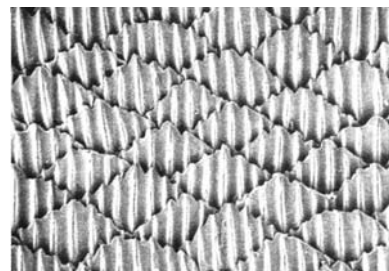
거미줄 분자 구조의 모식도

거미줄의 1, 5, 20배 인장 시 모습
(Image by E. Kullmann and H. Stern)

남아프리카 사막에 사는 ‘스테노카라’라는 딱정벌레는 아침마다 안개에서 생수를 뽑아내는 것으로 알려져 있다. 최근 미국 매사추세츠공과대(MIT)의 과학자들이 딱정벌레를 모방한 물 채취 필름을 개발했다. 영국 옥스퍼드대의 앤드루 파커 교수는 2001년 11월 ‘네이처’지에 스테노카라 딱정벌레가 안개에서 물을 뽑아내는 비법은 등에 1mm 간격으로 촘촘히 돌아나 있는 지름 0.5mm의 돌기라는 연구결과를 발표했다. MIT의 마이클 루브너 박사 연구팀은 딱정벌레의 등처럼 미세한 언덕과 골이 생기도록 고분자 필름을 구겨 유리기판에 붙였으며, 물방울이 골 사이에 갇히지 않도록 물을 밀쳐내는 분자로 코팅한 유리 나노입자를 표면에 발랐다. 연구팀은 딱정벌레처럼 물방울을 흘리지 않고 바로 수집할 수 있도록 고분자 물질로 만든 돌기에 물을 빨아들이는 미세한 구멍을 냈다. 돌기에 생긴 물방울은 스펀지로 물이 스며들듯 미세구멍으로 흡입된다. 루브너 박사는 나노기술 전문저널인 ‘나노 레터스(Nano Letters)’ 최신호에서 “이렇게 만든 고분자 물질은 천에 프린트돼 안개에서 물을 만들어낼 수 있다”고 밝혔다.



스테노카라 딱정벌레



스테노카라 딱정벌레의 미세한 돌기

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 “작동기”에 포함되고, RCM(Reciprocating Chemical Muscle)을 이용한 entomopter 개발 연구는 “이동”의 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 가속력보다는 안정성이 우선이 된다. 또한, 곤충이나, 갑각류 등의 운동을 모사하여 여러 가지 로봇을 개발하려는 연구가 진행되고 있는데, 여기에는 다리로 보행하는 것이 바퀴보다 장애물이나, 복잡한 환경에서 장점을 가지는 것을 이용하기 위한 연구들이다.



코끼리 코를 모사한 OCTARM



거북이를 모사한 Madeleine



게코도마뱀을 모사한 Stickybot

캘리포니아 스탠포드 대학의 Mark Cutkosky 와 그의 연구팀은 Stickybot 이라고 명명한 게코(Gecko) 도마뱀을 모사한 로봇을 개발하였다. 게코 도마뱀의 발바닥에는 직경이 수백 나노미터, 길이는 수 마이크로미터인 섬모(Setae)들이 존재한다. 이 섬모들과 벽면 사이에 발생하는 반델발스 힘(Van der Waals force)에 의해 벽면이나 천장을 자유롭게 기어 다닐 수 있으며, 느린 속도이지만 직각인 유리 벽면을 기어오를 수 있는 로봇을 개발하였다. 미국 펜타곤(Pentagon)에서는 이와 같이 벽면을 자유롭게 기어오를 수 있는 게코-모사 장갑과 신발에 대한 연구가 진행 중이고, Stickybot은 행성을 탐사하거나 구조용 로봇분야에 응용하여 사용될 수 있을 것으로 예상하고 있다. 다양한 형상의 물체를 잡을 수 있는 로봇 촉수(robot tentacle)가 국방 첨단 연구 계획청(DARPA)의 자금을 지원받아 여러 대학들이 참여하는 옥터(OCTOR: sOft robotiC manipulaTOR)라 불리는 프로젝트를 통해 개발되고 있다. 옥터암(Octarm)으로 알려진 이 인공팔은 땅콩이나 나무줄기를 집을 수 있는 코끼리 코를 모사하여 개발되었고, 다양한 크기 및 형상의 물체를 잡을 수 있는 특징을 가지고 있다. 옥터암은 동력은 공압에 의해 공급되며 표면 압력 센서, 위치 센서, 끝단에 설치된 카메라 등이 부착되어 있어 파이프, 터널 등의 좁고 구불구불한 공간을 조사할 수 있다. 이와 같은 옥터암은 정찰과 폭발물 해체 작업 등에 사용될 수 있고, 여러 개의 옥터암을 가지는 로봇 문어로까지 발전될 것으로 예상된다.

거북을 모사한 Madeleine 이라는 로봇이 미국의 Vassar 대학의 John Long과 그의 동료들에 의해 개발되었다. 이 로봇은 4개, 또는 2개의 지느러미발(Filpper)을 어떻게 이용해야 가장 빠르게 움직일 수 있는지 등을 연구하는데 사용되고 있다. Madeleine 은 Kemp's Ridley 또는 Olive Ridley 바다거북과 비슷한 크기와 무게로 제작되었다. 또한 폴리우레탄 지느러미발은 실제 거북이의 지느러미발과 비슷한 강도(stiffness)를 가지도록 제작되었고, 각각은 전기모터에 의해 구동되어진다. 이 로봇은 원격제어가 가능하고, 비디오 카메라, 음파탐지기, 수심계, 가속도계 등이 장착되어 있다^[5].

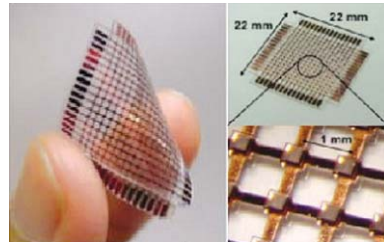
2.3 행동과 제어(Behavior and Control)

세부적으로 a) 고전적 인공지능, b) 행동 인공지능, c) 반사 제어, d) 반복 제어로 나누어진다. 여기서 행동과 제

어의 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.



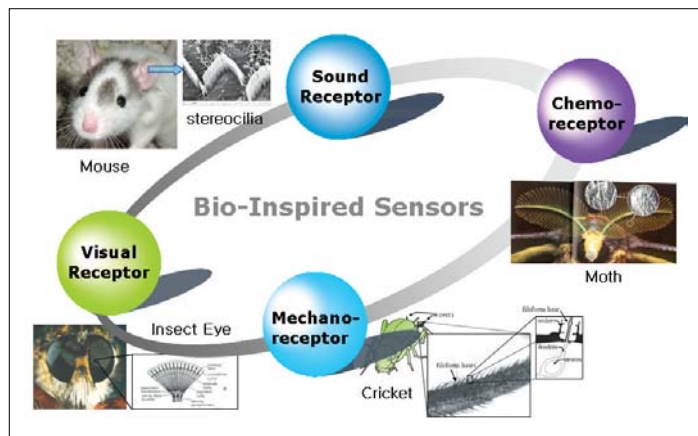
인공지능 청소 로봇



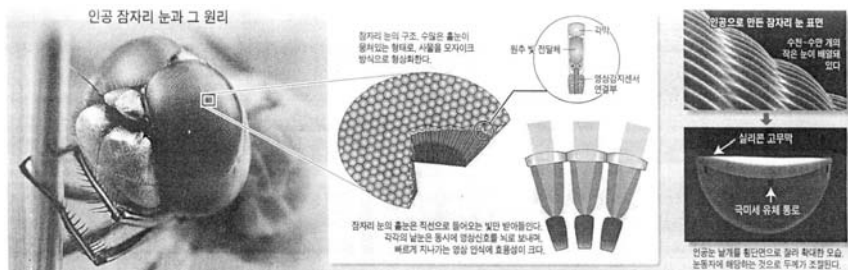
KAIST에서 개발한 촉각센서

2.4 감각기관과 의사소통 (Sensors and Communication)

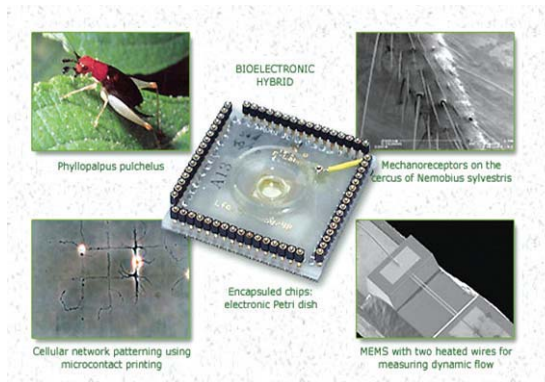
세부적으로 a) 시각, b) 청각, c) 촉각, d) 미각과 후각, e) 의사소통으로 나뉜다. 카메라의 렌즈가 가장 대표적인 모사 예가 될 수 있으며, 곤충에게 존재하는 표피의 응력을 측정하는 cup-shaped sensilla를 모사하려는 연구도 진행되고 있고, 맛과 냄새를 구별하는 인공 혀, 인공 코에 관한 연구들도 진행되고 있다.



생체감각기관



버클리대학에서 개발한 인공 눈



귀뚜라미 뒷다리 섬모를 모사한 감각센서

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.

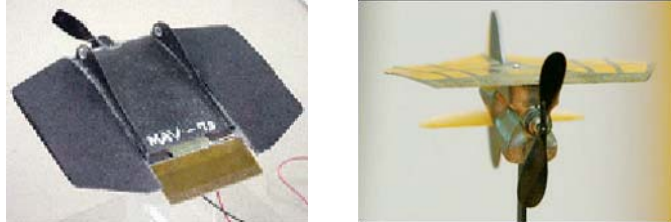
3. 국내외 최근 연구동향

올 5월 영국에서 개최된 「Design & Nature 2006」 학술대회에서는 자연과 공학에서의 모양과 형태, 바이오미메틱스, 자연과 건축 설계, 바이오공학, 자연 재료공학, 자연으로부터의 해법, 유지지속성 (sustainability) 연구 등의 세션에서 논문 발표가 있었으며, 자연과 공학에서의 플래핑-윙의 공기역학적 특성 연구, 생명체의 기능적 정보와 엔트로피, 거미줄의 스피닝 공정의 분자동력학적 바이오미메틱, 자연과 공학에서의 자기치유(self-healing) 공정, 설계 사고 개발을 위한 동물의 모사 등의 초청강연이 있었다. 나무의 노치 형상을 모사한 최적 설계 방안, 주철 표면의 생체모방 나노-알루미늄 나 표면 개질, 자연을 이용한 건축물 설계, 생분해성 건축물, 생체모방을 통한 새로운 유허계 설계, 계란 속껍질을 이용한 전기방사 스캐폴드 제작 등의 논문이 발표되었으며, WIT 출판사의 Design & Nature III 책자에 해당 논문이 수록되었다^[6].

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. 건국대 인공근육연구센터에서는 곤충의 날개짓을 모사한 초소형 비행체(MAV ; Micro Air Vehicle)를 개발하고 있다.

6월에 개최된 기계학회 춘계학술대회에 자연모사에 관련된 많은 논문이 발표되었다. 내이섬모세포의 증폭 메커니즘 모델링 및 분석, 부동 섬모 번들의 역학적 모델링과 응용, Bio AFM을 이용한 기니어피그 와우 내의 나노섬모 측정, 인공 섬모 모사를 위한 금속 나노패터닝 및 CNT 성장 등 나노섬모에 관한 논문들과 플라즈마처리를 통한 초소수성 표면 제작 및 특성 평가, 초소수성 표면의 바이오미메틱스 등의 논문이 발표되었다. 이 밖에도 나노헤어

의 성형과 부착 특성에 관한 연구, 대칭형 탐침을 이용한 자연모사 나노구조물의 점착력 측정, 나노헤어의 기계적 특성이 부착에 미치는 영향, 물 위에 사는 곤충의 부양과 가라앉음에 관한 연구, 날개의 모서리 형상이 플라잉 운동의 공기역학적 특성에 미치는 영향 등의 논문이 발표되었다^[7].



건국대에서 개발한 초소형 비행체

4. 나노스케일 섬모 및 돌기의 자연모사 기술

KIMM에서는 과기부 사업으로 자연 생명체 중에 존재하는 나노 스케일의 섬모 및 돌기 등을 모사하여 공학적으로 활용할 수 있는 원천기술을 개발하는 연구를 수행하였다.

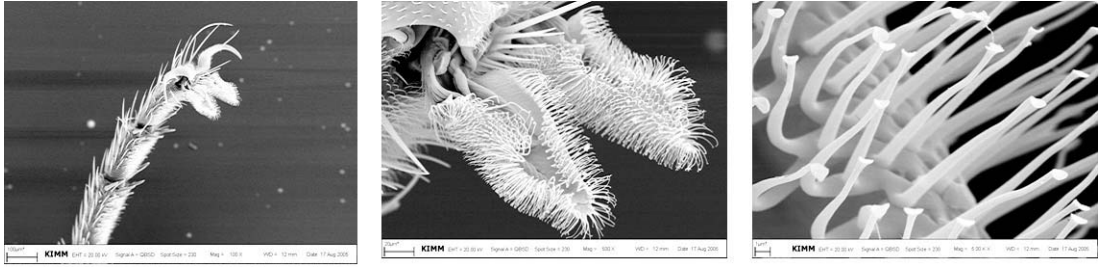
본 연구는 크게 나노 섬모 자연 구조물 현상 해석 및 자연 모사의 공학적 원리 분석, 나노 섬모 자연 구조물의 역학 물성 및 상호작용력 측정/분석 기반 기술 개발, 그리고 나노 스케일 자연 섬모 모사 제작 공정 기반 기술 개발로 나누어 수행되었다.

나노스케일 자연구조물의 현상을 해석하기 위한 Multi scale/Multi physics 해석 기반을 구축하였고, 나노헤어의 멀티스케일 해석 모델, 표면 부착력에 관한 분자스케일 해석 모델, 부동섬모에 대한 유체-구조연성 해석 모델을 제안하였다. 부동섬모의 고감도의 광대역 다이내믹 레인지 특성을 구현하는 응용모델을 최초로 제안하였고, 부동섬모의 단순 기전변환 모델에 대해 동특성을 해석, 모사하였다. 기존의 연구가 나노 섬모의 물리적 구조와 부착력의 관계에 초점을 맞춘 반면, 본 연구에서는 나노 섬모의 화학적 구조와 부착력의 관계도 고찰하였다.

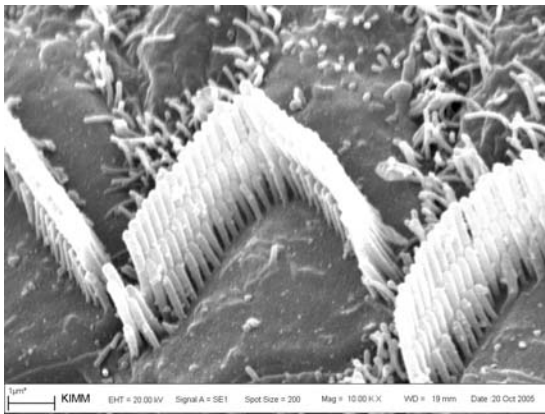
역학 물성 및 상호작용력 측정/분석 기반 기술 개발 분야에서는 대칭형 AFM 탐침을 이용하여 독자적인 정량적 의미를 갖는 역학물성 측정기술을 구현하였고 형상 및 물성 측정기술을 개발하여 나노섬모 및 나노강모의 형상 및 물성측정 기반구축을 하였다.

나노 스케일 자연 섬모 모사 제작 공정 기반 기술분야에서는 고세장비 나노 헤어 구조물 성형 및 이형 기술을 개발하였고, 재사용 가능한 템플레이트 제작 및 급속 가열 기술을 개발하였다. 또한, 이를 이용하여 나노 헤어 이용 건식 부착 시편을 제작하였다. 집속이온빔, Positive UV Imprint, Negative Thermal Imprint를 이용한 금속 촉매 패터ンを 제작하였고, Optical lithography 및 E-beam lithography로 제작된 금속 패터너에서의 Thermal CVD 및 Plasma Enhanced CVD를 이용한 탄소나노튜브 성장 실험 및 최적 수직 성장 조건을 수립하고 양팔지지형태의 탄소나노튜브 센서를 이용한 유동 계측 실험 및 자연모사 센서에의 적용 가능성을 검증하였다.

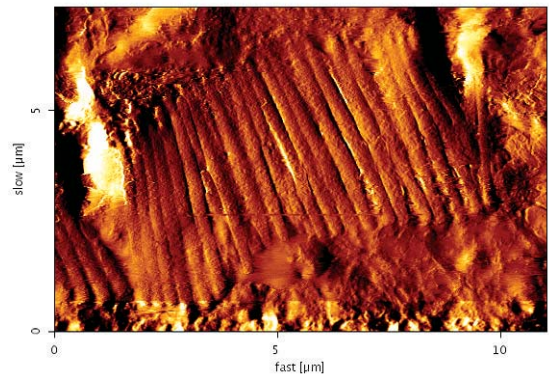
자연을 모사한 고정형 접착기구, 고기능 자기세정 표면 구조, 신개념의 유동센서 등은 국내의 연구진에 의해 기 확보된 원천기술과 구축된 Infra를 바탕으로 단기간 내에 연구투자 효율을 극대화할 수 있는 분야로서 후속 연구 사업의 연계가 요망되고 있다.



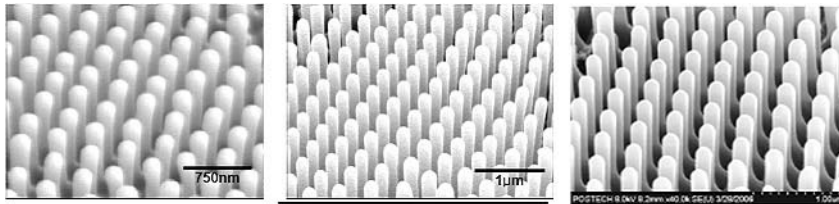
파리 발바닥의 섬모



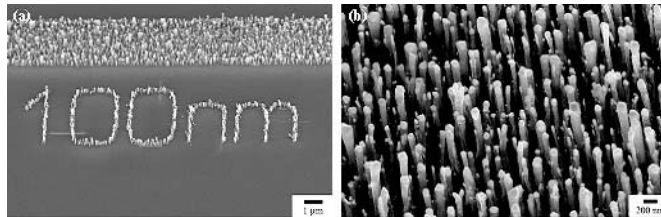
Guinea Pig의 Stereocilia (SEM)



Guinea Pig의 Stereocilia (Bio-AFM)



Capillary Moulding을 이용하게 제작된 Nano Hair (소재 : PDMS/PU/COC)



E-Beam Lithography로 만든 패턴에서 성장시킨 Nano 스케일의 CNT

표 1. 나노섬모 자연모사 원천기술 및 기반 구축사업의 주요 연구 결과

| 세부연구목표 | 주요 연구 결과 |
|--|--|
| - 공학적 응용 가능한 나노 스케일 자연구조물 현상 해석 | - 달팽이관 내의 Stereocilia 메커니즘 분석 - 게코도마뱀 발바닥의 Nano seta의 부착 현상 해석 - 연꽃잎 표면 나노돌기의 자기 세정 효과 분석 |
| - 나노스케일 자연 구조물의 Multi Scale 해석 기반 구축 | - Nano hair의 탈부착 원리 규명을 위한 multi scale 해석 모델 제시 - Nano hair의 표면 부착력에 관한 분자스케일 해석 모델 개발 |
| - 나노섬모 작동 메커니즘 해석 | - Nano cilia 번들의 변형 해석 모델 제시 및 특성 파악 - Nano cilia의 기전현상 규명 및 공학적 응용모델 제안 - Nano hair의 부착력 극대화 구조 제안 |
| - 나노돌기 (Nano-Turf) 자연 구조물의 기능성 현상 분석 | - 표면의 마이크로/나노 구조 영향 분석 및 접촉각과 자기세정 효과 관계 분석 - 접촉각 PTFE, PMMA : 150° ~ 160°, CNT : 150° - AAO template를 이용한 300 ~ 500nm직경의 돌기 제작 - 플라즈마처리를 통한 거칠기 제어 및 불소화 공정 확립 및 투명 필름의 초발수 표면처리 가능성 확인 - PMMA 시편 일주일 후 접촉각 150° 이상 유지 확인 |
| - 섬모형 센서의 감도해석 | - CNT 섬모의 감도 Simulation (0.1Pa, 0.1 nm 센서 설계) |
| - Nano Hair, Stereocilia의 현상관찰, 형상 측정 및 분석 | - 분해능: 0.1 nm의 Bio-AFM 도입 및 이를 활용한 부동섬모 이미지 측정 |
| - 나노섬모 구조물의 정렬 및 조작기술 | - 분해능 2nm인 nano-manipulator시험 장치 구성 및 CNT 및 AFM 탐침 측정결과 보유 |
| - 나노스케일 자연구조물 역학 물성 측정 기술 및 기반 구축 | - 부동섬모, 나노강모를 위한 시험 장치구성, 시험 방법 및 측정결과 보유 |
| - 나노 구조물 상호작용력, 계면특성 측정/분석 기반 구축 | - COC, PP재질의 나노섬모 그리고 CNT를 위한 시험 장치구성, 시험 방법 및 측정결과 보유 |
| - 기능성 나노 섬모 구조의 형상 기능 정의 및 설계 기술 개발 | - 연속체 역학을 기반으로 한 이론 해석을 통하여 모델 정립 및 나노 헤어 부착 원리 분석 |
| - 나노 스케일에서의 고 증황비 섬모 구조물의 제작 기술 조사 분석 | - 나노 헤어 형상 및 배열 설계, AAO 제작 기술 조사/분석 - 리소그래피 및 소프트 리소그래피 방법에 의한 고세장비 구조물 제작 기술 파악 |
| - 나노 몰딩 기술을 이용한 고증황비 고분자 섬모 제작 기술 | - 템플레이트 급속 가열/냉각기술, 고세장비 나노 구조물 이형기술, capillary molding기술 개발 - 사출 및 압축 성형에 의한 나노 헤어 성형 기술개발 (직경 : 200nm 이하, 길이 1~60 μ m) - 성형 나노 헤어를 이용한 부착 특성시험 및 문제 분석 |
| - Soft lithography기술에 기반한 CNT의 섬모 형상 형성 모사기술 | - 다양한 패터닝 방법을 통한 촉매 생성 및 CNT 성장 실험, 성장된 나노 섬모를 이용한 유동 센서 제작 및 실험 수행 |
| - 모사용 섬모 구조물의 기능화를 위한 기계화학적 조작 기술 | - 자기 조립 박막을 이용하여 나노 구조물의 형태를 그대로 유지하면서 다양한 표면 에너지를 가지는 고분자 나노 섬모 제조 |

5. 맺음말

자연의 생물체 및 생체물질의 기본 구조, 원리 및 메커니즘을 모방하고 응용하여 공학적으로 활용하는 기술인 자연모사기술에 대한 대표적인 분류 방법과 사례를 알아보고 최근의 국내외 연구 현황을 살펴보았다.

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.

자연에 존재하는 생체 시스템의 구조나 기능을 모사하는 것은 효율 대비 성능을 최대로 하는 신기능의 소자 및 부품 개발을 위한 원천기술로서, 나노기술과 자연모사기술의 접목은 새로운 제품과 신용합 산업을 창출하는 원동력이 될 수 있으며 선진국과의 기술 격차가 적어 기술 선점이 가능한 분야로 기대된다.

❁ 참고 문헌

- [1] 미래국가유망기술분야 선정결과 및 후속조치 계획, 2005. 과학기술혁신본부, 미래국가유망기술위원회
- [2] 나노섬모 자연모사 원천기술 및 기반구축사업 최종보고서, 2006, KIMM
- [3] Ayre, M., *Biomimicry - A review*, Advanced Concept Team, European Space Agency, 2004.
- [4] 김완두, 조영삼, 자연모사기술의 공학적 응용, 섬유기술과 산업, 2006, June.
- [5] 이준희, 해외신기술 동향 - 자연모사공학 응용 로봇의 세계, KIMM 웹진 2006/6.
- [6] C. A. Brebbia, *Design & Nature III*, WIT Press, 2006.
- [7] 김완두, 기계공학연감-자연모사공학, 기계저널, 2006/8.



김 완 두

· 한국기계연구원 미래기술연구부 부장
· 관심분야 : 자연모사, 바이오기계, 융합기술
· E-mail : wdkim@kimm.re.kr