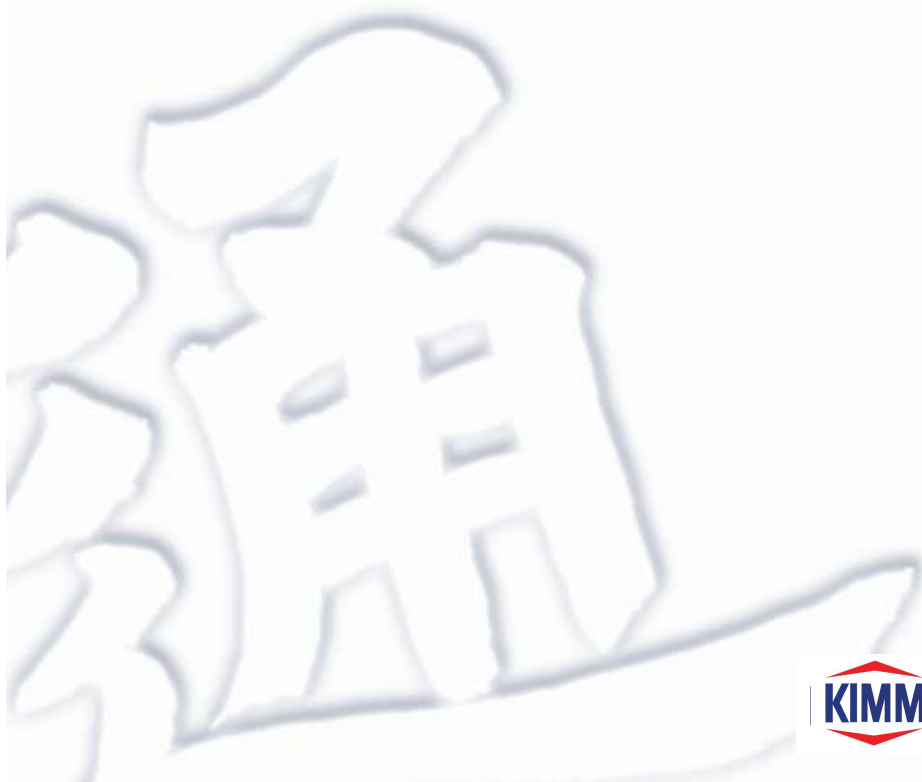


Vol.6 No.08
2012.07

기계기술정책

KIMM Technology Policy

자연모사 기술과 산업경제



한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

1. 자연모사 기술(Nature Inspired Tech.)

□ 정의 및 분류

- 오랜 기간 진화를 통해 최적화된 자연¹⁾의 기본 구조 · 원리 · 메커니즘, 시스템을 모방 · 응용하여 지속 가능 발전에 기여하는 기술
 - 자연에는 생명체(동식물) 뿐 아니라 생태계, 자연 현상을 포함
 - 매크로 수준 뿐 아니라 나노스케일 수준에서 모방 · 응용을 시도
 - Biomimicry, Biomimetics, Bionics, Biognosis, Bionical Creativity Engineering, Bio Inspiration 등의 유사 개념 존재

〈표 1〉 자연모사 기술의 유사 개념에 대한 정의²⁾

개념	정의 및 유래
Bionics	<ul style="list-style-type: none"> • 1960년 정신과 의사이자 엔지니어인 Jack Steele, 자연으로부터 복제한 특정 기능을 보유한 시스템 학문으로 정의 • 1960년 Webster 사전에서의 Bionics 정의: 생물학적 시스템의 기능에 대한 데이터를 공학적 문제 해결에 적용하는 학문 <ul style="list-style-type: none"> - 이후 Cyborg, 600만 불의 사나이 등 초자연적인 힘을 의미하게 되면서 점차적으로 본래의 의미가 퇴색 - 영어권에서는 Bionics라는 표현 대신 Biomimetics가 확산
Biomimetics	<ul style="list-style-type: none"> • Bios(그리스어로 생명) + Mimesis(그리스어로 복제)의 합성어 • 1974년 Webster 사전에서의 Biomimetics의 정의: 자연을 모방한 인공 메커니즘에 의한 제품 생산을 위해 생물학적으로 생산된 물질이나 재료 또는 생물학적 메커니즘과 프로세스의 형태, 구조, 기능을 연구하는 학문 <ul style="list-style-type: none"> - 미국의 Otto Schmitt에 의해 최초 사용, 관련 개념의 Origin
Biomimicry	<ul style="list-style-type: none"> • 1982년 등장 • 1997년 Janine Benyus의 정의: 자연을 연구하는 새로운 학문으로 자연의 설계와 프로세스로부터 모방하거나 영감을 얻어 인류의 문제를 해결 <ul style="list-style-type: none"> - 자연을 모범(Model), 측정, 멘토의 대상으로 인식하고, Biomimicry의 목적으로서 지속 가능성(Sustainability)를 제시
Biognosis (Biognosys)	<ul style="list-style-type: none"> • 인간, 동물 등의 질병 치료용 시약, 키트 등을 생산하는 바이오 기업의 社命으로 종종 쓰임
Bionical Creativity Engineering	<ul style="list-style-type: none"> • 자연의 진화 원리를 활용해서 기술적 문제를 창의적으로 해결하는 연구개발 활동을 지칭 • 논문 등 학술 활동에서 일부 활용되는 것으로 파악

1) 자연은 높은 에너지 소비 효율, 낮은 폐기물 배출, 자체 정화 능력, 폐쇄 시스템 내에서도 높은 지속 능력을 보유

2) 위키피디아 'Biomimicry' 외 참고

○ 2004년 8월 ESTEC³⁾ 'Biomimicry A Review'에서는 공학적 이슈에 따라 자연모사 기술 분야를 5가지로 분류

- 구조와 재료, 메커니즘과 공정, 행위와 제어, 센서와 통신, 세대 간 모사(시간에 따른 종의 진화)
- 영감을 줄 수 있는 생물학적 체계가 매우 광범위하며, 기술 자체가 다기능(Multi Functionality)적 성격을 띠고 있어 분류에 어려움 지적
 - * 분류의 어려움으로 인해 대분류 기술 간의 일부 중복 가능

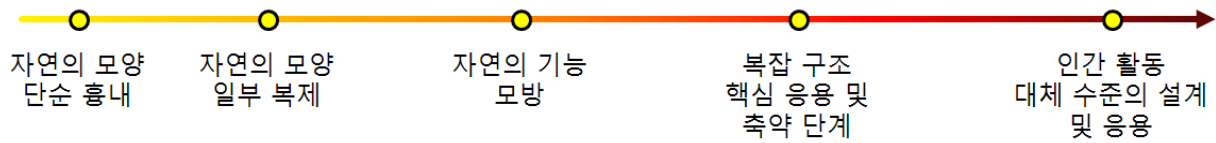
〈표 2〉 ESTEC에 따른 자연모사 기술 트리⁴⁾

대분류	중분류	소분류
Structures & Materials	Sutstructures	Novel Structures
		Deployment, folding and packing
	Materials	Composites
		Smart Materials
		Bio-incorporated Composites
Mechanism & Processes	Mechanics	Muscles and Actuators (Shape Memory Alloys (SMAs)/Electro Active Polymers and Ceramics/Micro and nano-scale actuation/Other Actuator Types)
		Locomotion (Ambulation/Flight/Swimming & Undulation)
	Processes	Power Generation and Storage
		Energetics and Thermal Management
		Fabrication
Behavior & Control	Behavior	Classical Artificial Intelligence - "top-down" AI
		Behavioural Artificial Intelligence - "bottom-up" AI (Engineering Approaches/Learning Approaches)
		Hierarchical Architectures
		Multi-Agent Systems and Distributed Artificial Intelligence (Behavioural 'Swarm' Intelligence/Distributed Artificial Intelligence)
	Control	Reflexive and Environmentally driven Control Rhythmic Movement and Central pattern generators
Sensors & Communication	Sensors	Sight
		Hearing
		Touch, Balance and Somatovisceral Sensibility
		Taste & Smell
Generational Biomimicry	Communication	
	Ecological Mechanisms	
	Genetic Mechanisms	Genetic Algorithms and Genetic Programming
		Evolutionary Programming
	Behavioural/Cultural Mechanisms	
	Genetic Engineering & Human Alteration	

3) European Space Research & Technology Centre

4) ESTEC(2004), "Biomimicry - A Review" 참고하여 재구성

- 영국 Univ. of Bath의 Vincent는 생물과 공학 간의 연관관계 정도에 5단계로 구분



〈그림 1〉 Vincent가 제시한 생물과 공학 간 연관관계의 도식화⁵⁾

- 2010년 독일 BMBF의 'Potentials and Trend in Biomimetics'에서는 기능적 형태학, 신호 · 정보처리, 나노생체 모방 기술로 분류

① 기능적 형태학(Functional Morphology)

- 생물학적인 형태·구조와 기능 사이의 관계를 연구하는 것으로, 세 가지 기술 중 최초이자 가장 오래된 기술
- 근대 이전부터 기술적 해결책으로 활용되었으며, 낙하산, 비행기 날개, 유선형, 벨크로 등이 대표적인 예
- 거시적인 관점에서의 관찰에 의해서도 기술 개발이 가능하며 구현코자 하는 기능이 형태 또는 재료와 밀접하게 관련되어 있을 때 효과적
- 유체역학 분야에서의 성공 사례를 많이 발견할 수 있는 것은 자연모사를 통해 수리 · 물리적인 실험 없이도 기능 구현이 가능하기 때문
 - * 다만 미시 분석의 심화 등에 따라 기술적 문제 또는 양산성 문제에 봉착 우려
- 생물학적 형성 및 진화 과정에 대한 학습 등 Self-Org. Process에 대한 연구를 통해 계층적으로 구조화된 스마트 재료* 생산 가능 전망
 - * Hierarchically Structured Materials

② 신호 · 정보 처리, 바이오 Cybernetics, 센서 기술 및 로봇틱스

- Steele이 제시한 바이오닉스와 센서 기술, 로봇틱스 등을 포함
- 바이오 Cybernetics, 감각 생리학, 신경 생리학 등은 전기공학*으로부터 진화 발전해 왔으며, 이는 생물학의 진전에 큰 역할을 함과 동시에 센서 기술, 정보 처리, 로봇틱스, 인공 지능(AI) 등에 파급
 - * 공진 회로, 피드백 효과, 제어 회로, 센서 액츄에이터 등

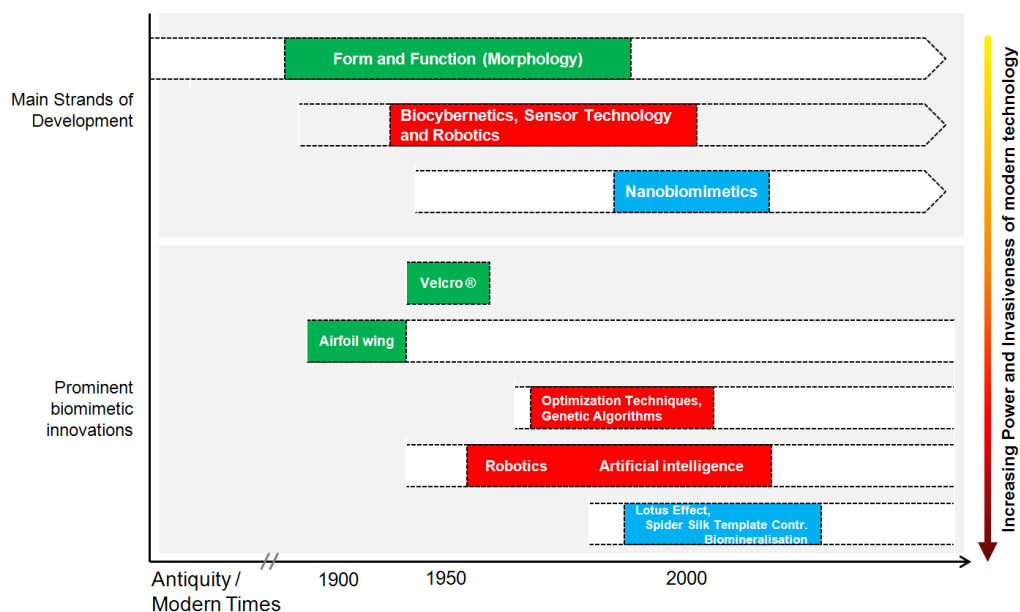
5) 제1회 ISNIT, 2006에서 참고 · 재구성

- 인공 지능 기술이 축적됨에 따라 분산 제어(Decentralized Control), 병렬 컴퓨팅(Parallel Computing), 자기조직 SW, 신경망 네트워크(Neuron Network) 등과의 융합을 통해 자연모사 제품 개발이 가속화될 것으로 기대
- 자연모사적 접근을 통해 신호 및 정보 처리, 로봇틱스 기술의 한계 극복이 가능한 만큼 바이오 Cybernetics는 축적된 인공 지능 기술과 로봇틱스, 센서 기술, 보철학 등을 융합, 진화할 전망

③ 나노생체 모방(Nanobiomimetics, molecular self-org. and nanotech.)

- 실크 거미줄, Biomineralization⁶⁾, 기능성 표면, Nanobiomimetics, Template Controlled Crystalization 등의 한계돌파(Breakthrough) 시도 중
- Nanobiomimetics는 분자의 자기조직 프로세스와 분자 · 세포 · 조직의 발생 및 재정렬, 자기 치유 개발에 초점
- Nanobiomimetics와 Template Controlled Crystalization은 ‘기능적 형태학’적 접근의 한계로 지적되었던 스마트 재료* 양산 문제 극복 가능
* 환경 적응 능력, 자기 치료, 저항 및 마찰 감소, 마찰 증가, 접착 특성, 자기 세정, 생체 적합성, 해충 박멸 기능 등 보유

※ 본 고에서는 자연으로부터의 학습 단계를 ① 진화 결과로부터의 학습, ② 진화 과정으로부터의 학습 ③ 진화 원리로부터의 학습으로 구분

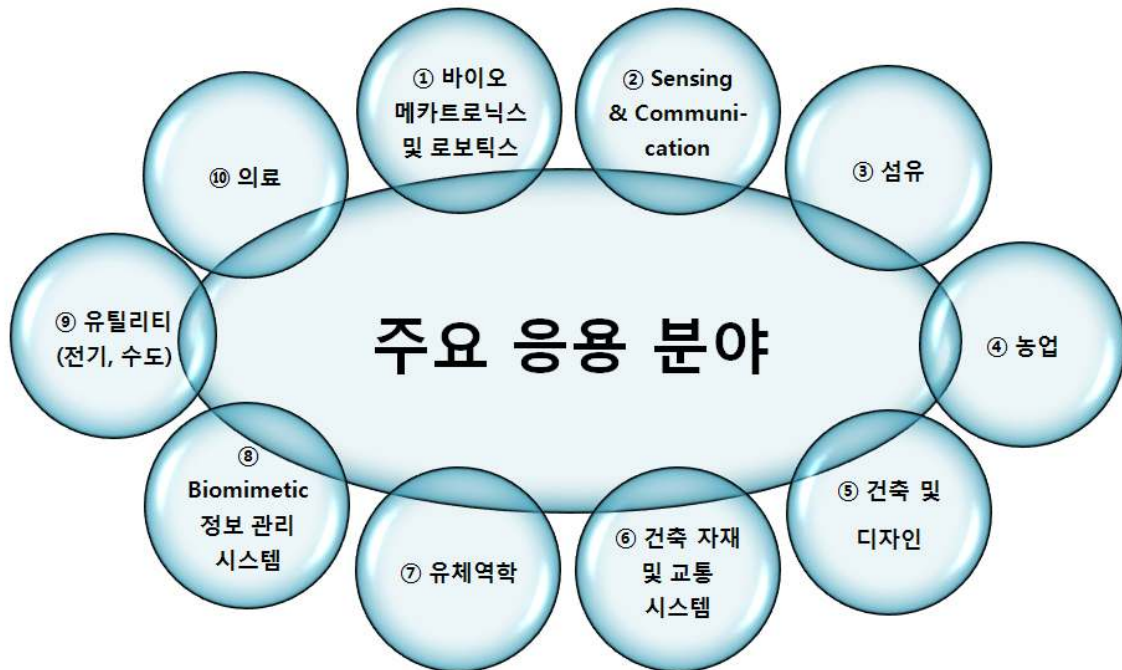


〈그림 2〉 자연모사기술의 주요 기술군(독일 BMBF(2010) 'Potentials and Trend in Biomimetics')

6) 생물이 그들의 골격이나 내부 조직에 광물을 형성하는 작용

2. 자연모사 기술 응용 제품 및 서비스 사례

- 자연모사 기술은 기계, 섬유, 정보통신, 농업, 건축, 의료, Utility 등 인류 생활 전반에서 적용되고 있으며, 적용 심화도는 각 섹터별로 상이



<그림 3> 자연모사 기술 주요 응용 분야

○ 바이오메카트로닉스(Biomechatronics) 및 로보틱스(Robotics)

- 비구조화 환경⁸⁾에서도 고신뢰 · 강건 성능을 낼 수 있는 로봇 개발을 위한 자연모사 기술 적용
- 파충류 모방 로봇 등이 정찰, 지뢰 제거 등에 활용 가능하며, 이는 재료, 합성 기술, 센서 및 액츄에이터 등의 기술 진보에도 상당한 기여
- 게코 도마뱀, 거미줄, 무릎 관절 모사, 종 모양 감각기 변형 센서, 식물 뿌리 모사 로봇 등의 기술 · 개념은 우주 탐사 활동에도 활용 가능
- 동 분야는 아직까지 인간을 포함한 자연의 움직임에 완벽하게 모사하기에는 넘어야 할 장벽이 큰 상태로 평가

* University of Plymouth의 로보틱스·신경시스템 센터의 Dr. Christopher M Harris는 현재 로봇연구의 주요 응용은 의족(artificial limbs)에 머물러 있음을 밝힘

7) Frost & Sullivan, 'BIOMIMETICS-TRENDS INSPIRED BY NATURE(2009)'에서 인용·재구성

8) 험지, 장애물, 협소, 은닉지역 등을 의미





- 스위스의 AntOptima는 개미의 집단 움직임을 프로그램화하여 물류, 생산 스케줄링, 데이터 마이닝 등의 업무에 적용, 효율성을 극대화할 수 있는 소프트웨어 개발

* AntOptima는 스위스의 인공지능 연구소 IDSIA의 Spin-off 기업

- 개미, 벌, 물고기, 새의 군집 지능(Swarm Intelligence)을 로봇 등에 적용하는 연구가 활발히 진행

* 군집 지능(Swarm Intelligence) : 무리 속의 개체의 독립적인 사고 능력은 없으나 공동의 목표 달성을 위해 협력함으로써 집단 전체가 지능을 갖게 되는 현상을 의미. 특정 리더가 없더라도 조직화 가능하며, 상호 간 정보 교환을 위한 의사 소통이 이루어지는 것이 특징

〈표 3〉 군집 지능을 활용한 로봇틱스 연구

기관 및 연구자	연구 내용
Free Univ. of Brussel의 Dorigo	<ul style="list-style-type: none"> • eye-bot, hand-bot, foot-bot으로 이루어진 Swarmanoid 프로젝트 수행 (2006년 10월 ~ 2010년 9월) <ul style="list-style-type: none"> - USI 대(스위스), EPFL(스위스), CNR(이태리) 등과 공동 개발 • 이들 로봇은 상호 간 협력을 통해 물건 운반 등의 임무 수행 • 협지, 재난 지역 등에 인간을 대신한 투입이 가능할 전망 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> Hand-bot Foot-bot Eyebot </div>
Uni. of Penn.의 Vijay Kumar	<ul style="list-style-type: none"> • 4개의 회전날개(Quadrotor)를 장착한 자율 항공 로봇을 조직적으로 움직일 수 있는 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 사막 개미의 협업 행동을 모사, 로봇에 대한 분산 제어 기술, 주변 로봇이 제공하는 정보를 기반으로 한 움직임 및 주변 로봇으로부터의 자유로운 움직임 확보가 핵심 - 2012년 TED.com을 통해 기술 소개 

○ Sensing & Communication

- 자연의 센싱 능력은 현재 기술보다 훨씬 우수하며, 일례로 적외선 감지 기능이 발달한 딱정벌레는 50km 떨어진 곳의 화재·연기 감지가 가능
- 적외선 감지 기능 작동 메커니즘과 생물학적 프로세스에 대한 규명이 가능하다면 보다 감응력이 뛰어난 센서 개발이 가능할 것으로 기대
- 이러한 자연 센싱 기능은 자동차 야간 Vision System, 열화상시스템, 광전도, 태양광 발전, 전자기파 감지 등에도 적용 가능
- 자연의 광학구조는 뛰어난 방식으로 빛을 반사, 흡수, 전송하는 복잡한 패턴과 막을 지니고 있어 이를 모방하기 위한 노력 또한 증가

Qualcomm의 Mirasol Display

- Qualcomm은 나비 날개가 햇빛에 아름답게 비치는 현상을 응용, IMOD 기술에 기반한 Mirasol Display를 개발
- Mirasol Display 기술은 제작 시 안료, 잉크 등이 사용되지 않아 색감이나 밝기 성능이 감소하지 않는 장점
- 뿐만 아니라 LCD 등 기존 디스플레이와 비교했을 때 배터리를 3배 정도 더 오래 사용할 수 있으며, 밝은 빛 아래서도 선명한 색상의 유지가 가능
- 휴대폰, 전자책, Tablet PC, 노트북, GPS 장치, 카메라 등 디스플레이가 필요한 모바일 장치에서 사용 가능
- 다만 대량생산까지는 다소 시일이 걸릴 전망



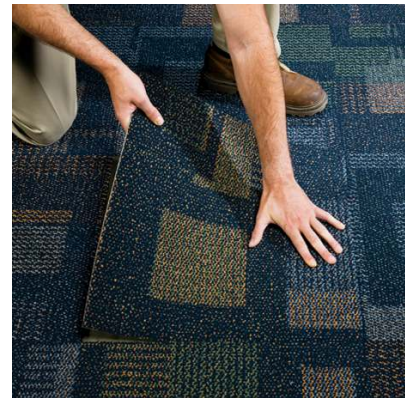
<Qualcomm의 Mirasol Display>

○ 섬유(Textile)

- 뼈, 식물 줄기, 나무 등 자연의 최적화된 중량 부하 원리를 활용하여 저생산 비용, 경량 구조 구축, 신기능 부여 가능한 섬유 복합 재료 개발
- 거미줄을 활용하여 고기능성 운동복이나 초경량의 신체 보호 장비, 강력한 로프 등을 만들기 위한 연구 진행
- 산업용 섬유 뿐 아니라 자연의 무작위 색상을 모방한 무패턴 카펫 개발 등 생활 섬유 생산 비용 절감에 자연모사 기술 응용

InterfaceFLOOR의 i2 카펫

- 미국의 InterfaceFLOOR는 2000년 자연스럽게 무작위 색으로 형성된 숲의 바닥을 모방하여 특정 패턴을 따르지 않는 i2 카펫 라인을 출시
- i2카펫은 각 카펫마다 정확하게 같은 패턴 및 색상으로 제작할 필요가 없어 Dye lot 배치 타임 감소에 따른 생산 비용 절감은 물론 카펫 Tile 보관 및 수송의 용이성에도 유리하여 재고 비용 감소에도 기여
- i2카펫이 InterfaceFLOOR 매출에서 차지하는 비중은 2002년 4.3%에서 2009년 39.5%까지 증가하였으며, 2009년 1.2억 달러의 매출 달성



<Interface의 i2 카펫>

○ 농업(Agriculture)

- 비평탄 표면(Non-smooth surface)이 토양 저항(Soil Resistance)에 미치는 영향력을 주로 연구
 - * 토양저항(soil resistance) : 토양에 가압, 관압 등의 외력을 가했을 경우 그 힘에 저항하는 토양 성질로 포장 도로의 주행성이나 지력에 밀접한 관계
- 토양에 대한 비부착성, 비마찰성 등의 특성을 보유하고 있는 천공동물의 피부를 연구, 점토 속에서 움직이거나 점토를 통과할 시 피부에 흠이 묻지 않는 원리를 파악
- 이러한 특성을 기반으로 토양에 대해 비부착성, 비마찰성, 비마모성을 가진 농기계 및 공구 등에 대한 연구가 진행 중

○ 건축(Architecture) 및 디자인(Design)

- 자연 기반의 건축은 오랜 시간에 걸쳐 최적화되었으며, 그 중 일부는 에너지 절약, 디자인, 내구성, 기능성 등 여러 측면의 모든 기술이 완벽
- 자연의 특성을 건축 디자인에 적용하기 위해서는 높은 수준의 공학 기술 지식이 요구
- 견고한 지붕 설계를 위한 굴 꺾질 모사, 수련 · 방산충 · 규조류 · 벌집 등을 모방하여 내진설계, 거미집 디자인을 시도

○ 건축 자재(Construction Materials)

- 세포골격(Cytoskeleton), 생물 분자 운동기(Molecular motor), 신호 변환 등 고분자·초분자 아키텍처로 이루어진 세포는 건축 자재로서 우수한 특성 보유
- 끓는 물, 산성 환경, 극저온, 심해 등 다양한 환경에 적응해 온 세포의 특성을 건축 자재 등에 활용 가능할 것으로 기대
- 이 밖에 연꽃잎의 초발수 특성을 활용한 페인트 개발(독일 STO) 등 다양한 건축 자재로의 응용 시도

STO의 Stocat Lotusan

- Stocat Lotusan 기술은 표면의 물방울 접촉각을 최소화하고 자기 세정 기능을 보유한 코팅 기술
- Rolling 또는 Spraying 방식으로 코팅 및 마감 처리가 가능하며, 비가 많이 내리는 지역 또는 정기적으로 건물 외벽 청소가 필요한 환경에서 활용 가능
- 생산 비용은 일반 코팅에 비해 10~15% 비싸나, 평균 수명이 일반 코팅(3~4년)의 2배에 이르기 때문에 충분한 경제성을 확보한 것으로 평가
- 2005년 미국 재건축용 페인트 시장에 진출, 매년 2배에 달하는 매출 신장세 기록
 - 20년 내 페인트 시장 점유율 50% 점유를 목표로 함
 - 시장 내 STO의 낮은 브랜드 인지도, 비싼 가격에 대한 고객의 낮은 구매 의지 및 Churning Cost 등이 장애로 작용 가능
- 건조한 상태로 유지하거나, 자기 세정이 필요한 표면을 적용할 수 있는 분야 (페인트, 섬유, 유리코팅)에 활용 전망
 - 세계 페인트 시장 규모는 2005년 기준 857억 달러로 2010년까지 약 5.5% 전망⁹⁾



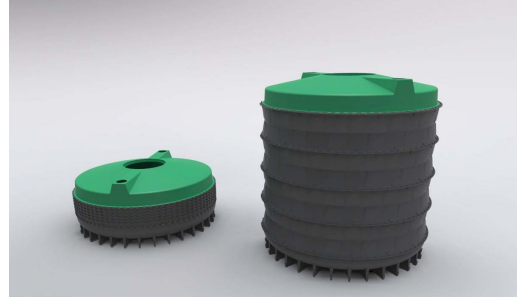
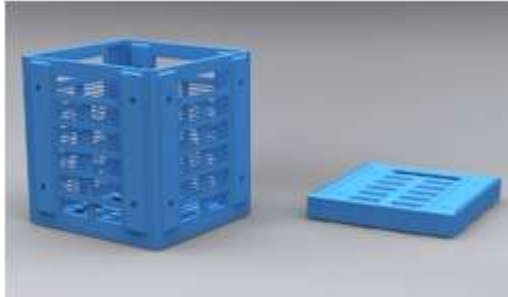
<초발수 페인트를 사용한 독일 슈트트가르트의 포르쉐 박물관>

Joinlox Technology

- Joinlox는 조개류가 바위에 붙어있는 모습에서 영감을 얻어 배관, 이음새, 벽, 박스 등을 저비용으로 생산·조립·운송·서비스할 수 있는 Joinlox Solution 개발
 - 기존의 사출 성형, 프레스, 레이저 가공 등에 비해 생산 비용 절감, 재료 소비 절감을 통해 저비용 생산 구조 구현
 - 물류 비용의 경우 선적, 하역, 재조립의 용이성으로 인해 플라스틱 드럼의 경우 말레이시아에서 호주까지 플라스틱 탱크의 배송비는 개 당 약 35달러에서 4.5달러로 감소
 - Joinlox에서 생산하는 제품은 포장, 저장, 수송, 물류의 활용 빈도가 높은 식품 가공, 수도, 자동차 및 물류 비용 절감에 민감한 해운(컨테이너) 등에 활용 가능

9) KISTI(2007) '도료/코팅제' 시장 동향 보고서

- 2008년 Xstrata社와 글로벌 라이선스 계약을 체결하며 판매망을 확장하였으며 향후에도 기술 라이선싱을 전세계적으로 확대 할 예정



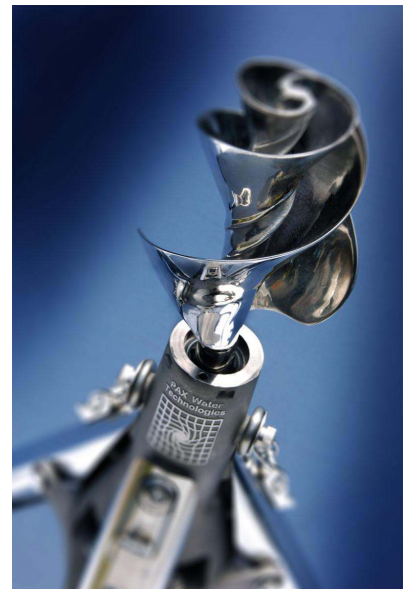
<Joinlox Solution을 응용한 포장·저장 탱크 솔루션>

○ 유체 역학(Fluid Dynamics) - 물과 공기의 이동

- 운동마찰 감소, 비행기 · 선박 · 자동차 등의 내구성 증대, 충격 강도 증가 등의 연구에 초점
- 난류 경계층에서 돌고래는 ‘몸체 직경/몸체 길이’의 비율을 4.5배로 만듦으로서 물의 마찰력을 약 65% 감소
 - * 이는 상어, 경골어, 부비새류(Gannet) 등에서도 유사 특성 확인

PAX의 Water mixer

- 1997년 설립된 PAX는 팬, 믹서, 터빈, 프로펠러 등 유체 기계를 설계하는 엔지니어링 기업으로, 바다 속에서 나선형을 띤 해초에서 영감을 얻어 ‘Water mixer’ 개발
- Water mixer는 최대 2,000만 갤런의 대도시 물 저장 탱크에 사용되는데, 임펠러의 경우 질화 · 층화 및 결빙을 방지하여 오염을 최소화하는 역할
- Water mixer의 독특한 디자인은 원료의 사용을 줄여 중량 감소 및 이에 따른 전력 소비가 절감되며, 물의 정화를 유지하기 위해 필요한 화학 물질 투입량 감소에도 기여
- 또한 수조 상단에 위치한 태양광 발전 장치에 의해 Water Mixer가 작동될 경우 Self Sustaining 및 유지보수 비용 감소도 가능할 전망
- 본 기술은 생산 원가 감소, 고효율 등의 경쟁우위를 통해 팬, 믹서, 터빈, 펌프, 열 교환기, 덕트, 프로펠러에 적용 가능
- Pax는 미국 에너지성으로부터 800만 달러의 R&D 자금을 수령
- 제품 생산 역량 및 시설 투자 여력을 보유한 OEM 파트너 발굴에 어려움을 겪으면서 Pax는 Customized 제품에 대한 설계 뿐 아니라, 생산, 판매를 직접 수행하기로 결정



<PAX의 Water mixer>

○ Biomimetic 정보 관리 시스템

- 인간의 커뮤니케이션 활동 및 언어가 'Fuzzy'*함을 고려할 때, 정확한 의미를 찾기 위한 Fuzzy Tool 개발이 필요하다는 발상에서 출발
 - * 낮은 일관성, 애매한 표현, 같은 아이디어에 대한 다양한 표현 등
- 일반적인 표준 단어 기반의 검색 엔진은 사람들이 흔히 커뮤니케이션에서 사용하는 용어의 검색에는 한계가 존재
- Biomimetic 정보 관리 시스템은 신경망과 생물학적 두뇌 기능을 모방한 소프트웨어 컴퓨팅 기법을 이용하여 Fuzzy Tool 제공 가능
- 이러한 Fuzzy Tool은 단어의 의미 학습 역량이 있으며, 단어 간 관련성에 기반한 결과 제공이 가능할 것으로 기대

○ 유틸리티(전기, 수도)

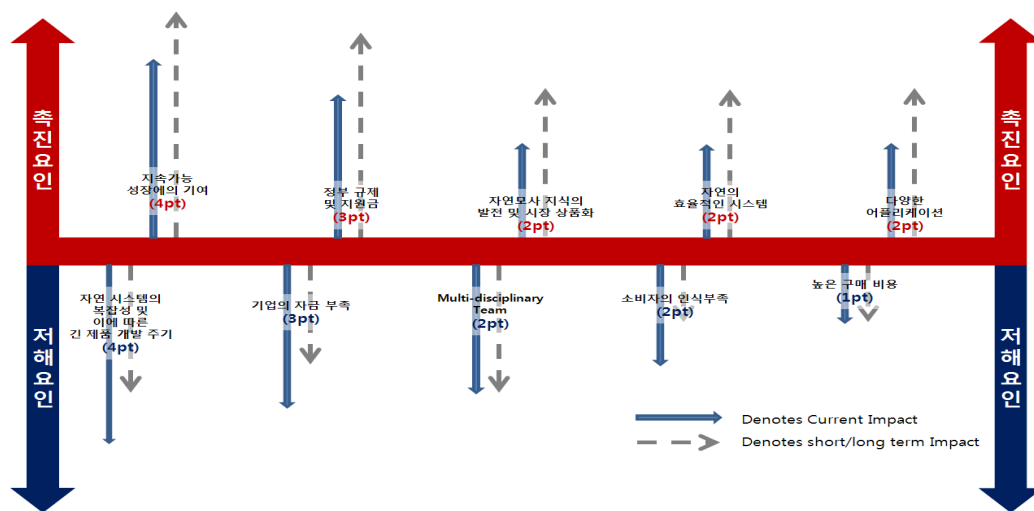
- 하천 상류의 반습토(Moist Soil)가 보유한 오염 물질 분해 및 수질 정화 역량을 폐수의 관개 용수(Irrigation Water) 전환에 활용
 - * 전통 하수·폐수 시설은 강물 기반의 정화 시스템이 가장 효율적인 것으로 인식
- 호주의 Biolytix는 고체 폐기물 분해 능력을 보유한 벌레 또는 미생물을 담은 탱크(BioPad)를 활용하여 관개용수 필터링 용 부식토를 생산
- BioPad는 미생물을 활용한 분해 기법을 통해 90%에 달하는 에너지 절감이 가능하며 가동 시간도 하루 16시간에 달할 정도로 효율적
- 이 밖에 낮은 서비스 제공 주기, 부산물 배출 과정의 생략, 악취 최소화 등의 장점을 보유하고 있어 주택용 및 상업용으로 모두 활용 가능
- 이미 호주 South Australia 주 Point Boston의 1,100가구는 Biolytix의 시스템을 채용했으며, 설치 비용은 기존 시스템의 절반 수준
- 기존 하수처리시스템에 익숙한 고객들의 저항, 관련 서비스 엔지니어의 저항 등이 시장 확대의 제약으로 작용할 것으로 예상
- 미국의 벤처기업 Green Wavelength는 원격지 전기 생산용 소규모 풍력 발전기를 개발하는 기업으로 호박벌이나 벌새의 날갯짓을 모방
 - * 블레이드 지름은 약 20feet 규모

- 발전효율 35% 이상, 월 1KW의 전력 생산용 풍력 발전기 개발이 목표이며, 제품 가격은 5,000~15,000달러 선에서 책정될 전망
- 풍력 자원이 매우 풍부하나, 효율성의 관점에서 전력 Grid가 닿기 힘든 지역에 설치하는 것이 가장 유망할 것으로 판단
- 글로벌 금융위기로 인한 신재생에너지 보조금 감축, 정부의 R&D 투자 감소 등의 요인이 잠재적인 사업 리스크 요인으로 부각

○ 의료

- Biomatrica는 연구, 임상, 진단 분석용 생물학적 샘플을 보존하는 데 Anhydrobiosis 원리를 활용
- Anhydrobiosis는 수분을 완전하게 상실한 상태에서도 생물체가 수년 동안 생존하는 메커니즘으로 일부 미생물에서 발견
- Anhydrobiosis 원리를 활용하면 열적으로 안정된 경계층 내에서 샘플을 완벽하게 격리 가능하며, 기존 냉각 시스템 설치 및 유지보수 비용 절감
* 기존 냉각 시스템 대비 연간 운영 비용 50% 감축 가능
- Biomatrica는 실험실, 과학 수사, 제약회사, 진단 랩 등을 대상으로 에너지 소비량 감소, 운영 비용 절감의 장점을 부각하기 위해 노력

3. 자연모사 기술 응용 시장 환경 분석



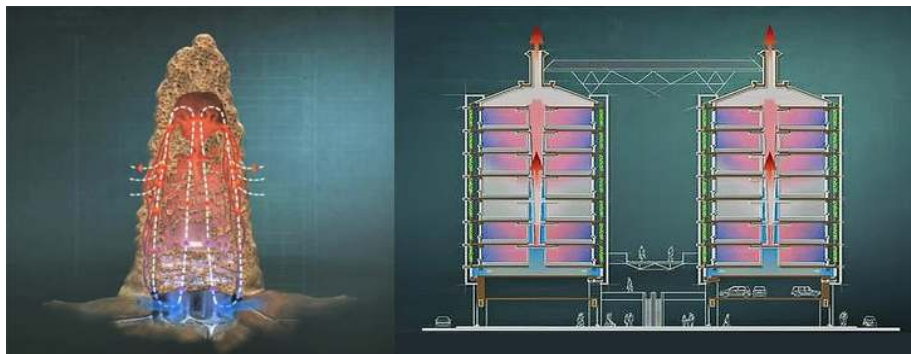
* 주요 항목 아래 ()는 각 요인별 영향력의 크기를 나타냄

<그림 4> 자연모사 기술 응용 시장 성장 촉진 요인 및 시장 저해 요인¹⁰⁾

□ 자연모사 기술 응용 시장 성장 촉진 요인

① 지속가능 성장에의 기여 (4pt)¹¹⁾

- 미래 세대를 위한 지속가능한 성장 추구는 자연모사 기술의 구현을 촉진하는 매우 중요한 요인이며, 향후 영향력이 증가할 것으로 기대
- 상향식(Bottom Up) 진화, Self-assemble, 최적화, 에너지 재생, 환경 친화적 자재, 프로세스 활용·채택·진화 등 자연의 원칙을 적용
- 짐바브웨 하라레의 쇼핑센터·사무실 지구 Eastgate Center는 자체적으로 통풍과 냉동공조가 가능한 흰개미 집을 모사하여 건축
 - * 시원한 공기가 건물의 아래쪽으로 들어오는 동시에 뜨거운 공기는 건물 위쪽의 굴뚝으로 나가는 인공 공기 조절 시스템을 모방하여 비슷한 크기 건물의 에너지 사용량의 10%만 사용



<그림 5> 흰개미집 고분(좌) 및 Eastgate Center 건물(우) 내부 구조¹²⁾

② 정부 규제 및 지원금 (3pt)

- 자연모사 연구는 대부분 정부 및 국가 기관을 중심으로 투자가 이루어지고 있으며, 기업은 니치 및 집중 연구 활동에 제한적으로 투자
 - * 자연모사 연구에 대한 공공의 투자는 녹색성장 정책 추진의 일환으로 자연모사 기술개발 투자가 이루어지기 때문
- 이러한 투자 포트폴리오 구성은 아직은 자연모사 기술을 응용한 제품 사업화가 즉각적으로 이루어지기 어려움을 시사
 - * 벨크로, 게코 도마뱀의 접착 특성, 연꽃잎 효과 등을 제외하고는 가시권에 들어온 제품 사업화 사례를 찾기가 어려움

10) Biomimetics-Trends Inspired by Nature, D1D3, 2009

11) 성장 촉진·저해 요인별 영향력의 크기를 5점 만점으로 표기, 숫자가 클수록 영향력이 큼 의미

12) KBS, 동물의 건축술(2010) 방송 자료 이용

- 민간 기업 중에서는 Siemens, 3M, 독일의 EvoLogics 등이 활발한 R&D 활동 수행

〈표 5〉 주요 민간기업의 자연모사 기술 개발 사례

기업	기술개발 활동
Siemens	<ul style="list-style-type: none"> • 광합성의 원리를 빌딩 코팅에 적용하여 이산화탄소를 메탄올과 같은 탄소 화합물로 전환 시키는 기술 개발 중
3M	<ul style="list-style-type: none"> • Riblet Effect(표면의 돌기가 마찰항력을 감소시킨다는 원리)를 적용한 필름을 개발, 최대 9%까지 공기 저항 감소에 성공 <ul style="list-style-type: none"> - 케세이 퍼시픽에서 최초로 항공기에 적용, 연료비용 2% 절감
EvoLogics	<ul style="list-style-type: none"> • 돌고래 소리에너지를 모방한 수중 음향 모뎀, 물고기 지느러미의 움직임을 모방한 물고기 로봇 Manta Ray 등을 개발

- 향후에도 정부의 규제 완화 및 R&D 투자 지원이 자연모사 연구 진행에 결정적인 역할을 할 것으로 예상

③ 자연모사 지식의 발전 및 시장 상품화 (2pt)

- 유기농 제품의 확산 사례와 같이 자연모사 지식의 축적은 소비자의 제품 수용성을 높여줄 것으로 기대

<표 4> 미국 유기농 식품 시장 성장 추이(백만 달러)¹³⁾

1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
3,594	4,286	5,039	6,100	7,360	8,625	10,381	11,902	13,831	16,718	20,150	23,600

- 자연모사를 위한 생물학에 관련된 지식은 매 5년 마다 두 배씩 증가하고 있으며, 이는 상품화 및 시장 형성을 촉진할 전망

④ 자연의 효율적인 시스템 (2pt)

- 자연은 환경에 따라 지속적으로 진화하면서, 자연 시스템은 인간이 제작한 시스템보다 더욱 우수하고 효율성을 확보
- 일례로 상당한 에너지를 소요하며 고온·고압으로 제작하는 강철에 비해 거미줄은 방수 기능 뿐 아니라 상온에서 화학 제품 사용 없이 제작 가능
 - * 거미줄은 동일 지름 수준에서 5~10배의 강도를 가지고 있으며 거미 몸무게보다 4,000배 무거운 물체에도 견딤
- 이와 같이 자연의 효율적인 시스템을 응용한다면 기존 제품의 생산 비용을 낮추는 데에도 기여할 수 있을 것으로 기대

13) Organic Trade Association Survey, 2008

⑤ 다양한 어플리케이션 (2pt)

- 자연모사 기술은 생물학과 공학의 융합으로서, 추상적인 개념을 기술적으로 구현하는 관점에서 광범위한 적용이 가능
- 이러한 자연모사의 활용 분야는 의료, 자재, 건축, 농업, 섬유 산업 등 다양하며, 이는 자연모사 연구 및 제품 개발에 큰 동기 부여로 작용

□ 자연모사 기술 응용 시장 성장 저해 요인

① 자연 시스템의 복잡성 및 이에 따른 긴 제품 개발 주기 (4pt)

- 자연모사 기술의 상업화를 위해서는 자연의 형태 모방을 넘어 진화 과정, 생태계에 대한 성공적인 모방이 필요¹⁴⁾
 - * 올빼미의 깃털 내의 갈고리와 수염을 모방하여 섬유를 만들 수 있으나, 올빼미의 Silent Flight는 깃털 모사만으로는 불가능하며 깃털의 보호색은 생태계에 대한 적응이기 때문에 인간이 모방하기에 매우 복잡한 구조
- 지난 수십년간 로봇 개발에도 불구하고, Nano Level의 움직임 모사는 이루어지지 못한 상태이며, 이는 제품 개발에 긴 시간이 소요됨을 시사
- 이처럼 연구의 불확실성·제품 개발 주기의 장기화는 자연모사의 발전에 제약 요인으로 작용할 우려
- 한편 자연모사 기술은 이미 자연에서 구현 중인 기술로서, 진화 과정 원리만 파악한다면 제품 개발 주기를 단축하는 것도 가능
 - * 1999년 Bell Labs의 연구원들은 생물학적 구조 응용을 통해 마이크로 렌즈 시제품을 4년 만에 개발

② 기업의 자금 부족 (3pt)

- 2007년 이후 지속되고 있는 글로벌 금융위기는 정부의 기초연구 투자에 대한 여력에 부정적인 영향
- 특히 자연모사 기술은 사업화 보다는 사회·경제에 미치는 파급력이 크다는 점에서 투자의 주체가 정부에 편중되어 있다는 단점
 - * 특히 뼈, 무릎, 연골 등의 치료·재생을 위한 의료 자연모사는 정부 지원에 의존

14) BMBF(2010)의 'Potentials and Trend in Biomimetics' 에서 제안한 자연으로부터의 학습 단계 참고

- 경기 침체는 기업으로 하여금 R&D 투자 감소 및 기초 분야에 대한 자원 배분을 줄이는 가장 강력한 요인
- 신생기업 또한 정부 지원 감소에 따른 혁신 활동 둔화, 특허 등 지식 재산권 유지 비용 등에 있어 어려움을 겪을 가능성
- Lab. Scale에서 양산이 가능한 규모로의 시설 투자, 공급 사슬 개발, 협력 파트너 확보에 요구되는 대규모 자본 소요는 부정적인 역할

③ Multi-Disciplinary Team (2pt)

- 공학자, 생물학자, 생리학자 등 자연모사 연구에 관련된 집단 간 이해도의 차이, 관점의 차이로 인해 협력 연구에 차질 발생
 - * 예를 들어, 과학자들은 자연모사의 생물학적 시스템 연구에 생물학자들이 미치는 영향력에 대한 인지가 부족
- 조지아텍의 CBID(Center for Biologically Inspired Design)을 구성, 자연모사 기술 개발을 위한 다학제 조직을 운영
- CBID는 2005년 8월 조직되었으며, 생리학, 생명화학공학, 심리, 생물, 컴퓨터, 기계, 재료, 환경, 섬유, 건축, 문화 등의 다학제 교원으로 구성
 - * 연구분야는 바이오 센서, 바이오 재료, Locomotory, Cognitive 등
- Bioneer와 같은 자발적 시민 네트워크에서도 자연모사를 통한 솔루션 발굴 및 솔루션의 환경 · 경제 · 사회적 문제 적용을 모색 중

④ 소비자의 인식 부족 (2pt)

- 자연모사 기술을 응용한 제품이 시장에서 성공적으로 보급된 사례는 벨크로와 고양이 눈을 모사한 반사경 등에 불과
- 그러나 이들 제품도 기존 시장에 대체 제품으로 진입하기 보다는 제품 자체가 새로운 시장을 창출한 형태로 정확한 시장 규모 파악이 어려우며 소비자의 인식이 낮은 상태
- 현재 블로그나 웹 커뮤니티 등을 통한 Early Adopter 공략 등 구전 마케팅을 중심으로 한 홍보가 전개되고 있으며, 대중매체 활용은 낮은 수준
- Early Adopter를 활용한 사용자 혁신(User Innovation) 시도도 발견

⑤ 높은 구매 비용 (1pt)

- 자연의 모사 정도가 높아질수록 특수 기능 확보 등의 이유로 인해 제품 개발 비용이 상승하며, 이는 제품 가격 상승으로 연결
 - * 자기치료, 자정(self cleaning), 초소수성(super-hydrophobic) 등의 특정 기능을 제공하는 제품의 비용은 더욱 증가
- 긴 제품 수명, 강성, 내구성, 유연성 등의 장점으로 인해 가격 프리미엄이 발생할 수 있으나 소비자의 합리적인 인식 및 지불 의사 확보가 어려움
- 소비자들은 제품 구매에 있어 환경 친화성을 적극 고려한다고 응답했지만 이중 절반 정도만 가격 프리미엄을 수용할 의사가 있음
- 자연모사 기술을 고부가가치 제품에만 적용할 것이 아니라 Interface의 i2 카펫과 같이 기존 제품군의 저비용 비즈니스 모델*에 대한 고려도 필요
 - * Low end Disruptive Innovation: 크리스텐슨 교수가 제시한 Disruptive Innovation의 한 종류로 저가 제품을 통해 성능 개선에 대해 더 많은 돈을 지불하고 싶어하지 않는 소비자 그룹을 공략하여 시장에 침투하는 혁신 전략

4. 자연모사 기술 별 시장 매력도 · 상용화 가능성 분석 예시

- Frost & Sullivan에서 제시¹⁵⁾한 자연모사 분야 주요 기술의 상용화 가능성과 시장 매력도 분석 결과를 요약하고, 타 분야 적용 기회를 제공
- 뼈 재생기술, 자기 치료, 세정 등 표면 코팅 기술, 접착 기술, 로봇 및 메카트로닉스, Nanomimetics, Sensing & Communication System, 광학 이미징 시스템 등 7대 분야
- 상용화 가능성을 X축, 시장 매력도를 Y축에 배치하였으며, 각 지표의 최대값은 10점, High는 6~10점, Medium은 4~6점, Low는 0~4점
 - 상용화 가능성 평가는 시장 진출에 대한 어려움 및 다양한 수요에 대한 응용을 위한 기술 활용 및 설계의 복잡성을 반영
 - 시장 매력도 평가는 신소재 및 신기술에 대한 특정 분야의 수요 및 기업 간 경쟁 강도 관점에서 수행

15) Biomimetics-Trends Inspired by Nature, D1D3, 2009

- 상용화 가능성 세부 지표는 연구 활동 집약도(Intensity), 기술적 도전에 대한 해결 능력, 특허 공개 추이 및 R&D 투자 확보 용이성 등으로 구성
- 시장 매력도 세부 지표는 R&D에 필요한 매몰 비용의 규모, 시장 확대 (응용처 수요), 정부 규제 우호도 및 법적 진입 장벽 등으로 구성

○ 상용화 가능성 세부 지표 평가

① 연구 활동 집약도

- (High) 뼈 재생기술은 최근 특허 출원 증가와 함께 유망 기술을 보유한 벤처 기업 창업*도 활발
* 영국의 Orthox Limited의 FibroFix 메니스커스 및 FibroFix연골 등
- (Medium) Sensing & Communication 및 광학 이미지 시스템 분야는 DARPA 등의 연구기관에서 보조금을 지원받으며 연구 진행
- (Low) 로봇 및 메카트로닉스 분야의 연구 활동 집약도는 다른 분야에 비해 상대적으로 뒤처져 있는 실정

② 기술적 도전에 대한 해결 능력

- (High) 뼈 재생 기술, 표면 코팅 기술, 접착 기술 등은 특허 공개, 제품 출시 등의 가시적인 성과 창출 중
- (Medium) Nanomimetics 분야의 경우 최근 유의미한 혁신 및 지식의 축적이 이루어졌으며, 전자 · 의료 · 화학 · 식품 등에 상당한 잠재력 보유
- (Low) 로봇틱스, 메카트로닉스 분야는 기술적 도전에 대한 해결이 미흡하며, Sensing & Communication, 광학 이미징 시스템 등에서도 기술 한계 돌파 진전이 더딘 상태

③ 특허 공개 추이¹⁶⁾

- (Medium) Richard H.C. Bonser*에 따르면 1985~2005년의 자연모사 관련 특허 공개 증가 속도는 전 분야의 그것에 비해 높은 추세

* Bonser(2006), "Patented Biologically-inspired Technological Innovations: A Twenty Year View", *Journal of Bionic Engineering*, 3(1), pp. 39-41

16) 특허 공개 추이는 과학기술 분야의 혁신 및 생산성에 대해 유용한 척도로 사용 가능

④ R&D 투자 확보 용이성

- (High) 뼈 재생기술은 정부의 지원 뿐 아니라 헬스케어 산업 투자 관점에서 상대적으로 민간투자율이 높은 추세
- (Medium) 5개 기술 분야, 대부분 정부 펀드를 통해 연구개발 자금 조달
- (Low) 로봇틱스, 메카트로닉스 분야는 투자 우선순위에서 낮은 평가

○ 시장 매력도 세부 지표 평가

① 매몰비용 규모

- (High) 표면 코팅 기술의 경우 Sto의 페인트 개발과 같이 구체적인 응용 사례가 있다는 점에서 낮은 매몰 비용 평가
- (Low) 로봇 및 메카트로닉스 분야는 제품 개발을 위한 R&D 노력이 상대적으로 많이 요구되는 만큼 매몰비용 증가

② 시장 확대

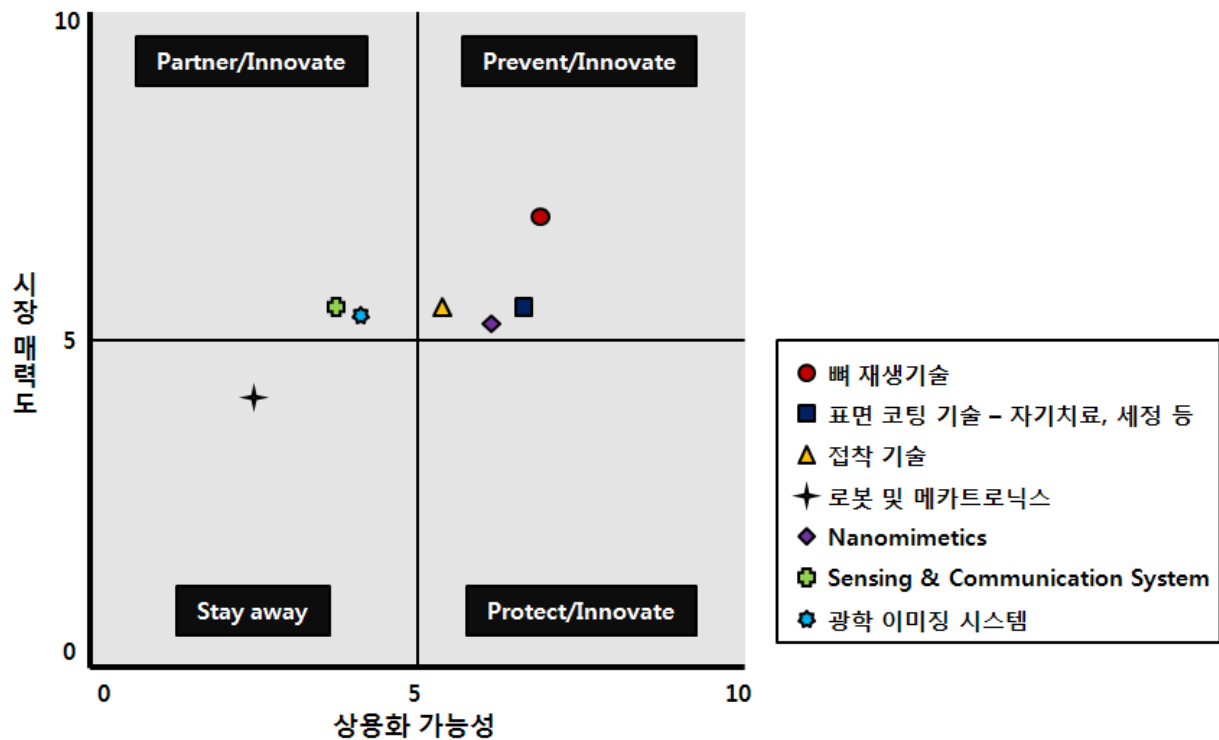
- (High) 뼈 재생 기술의 경우 연골 골절을 앓고 있는 환자들로 인해 엄청난 수요가 존재
- (Medium) 표면 코팅, 접착 기술은 이미 수요가 존재하며 광학 이미징 시스템은 광학 디퓨저, 광통신 시스템, 초소형 카메라 및 광학 센서 등 주로 고급 어플리케이션에 적용될 전망
- (Low) Sensing & Communication의 경우 Tech. Push에 의한 수요 발생, 보안 등에 민감한 High-end 제품을 중심으로 한 시장 확대에 의해 낮은 평가
- (Low) 자연모사 로봇 · 메카트로닉스는 높은 정밀도와 이에 따른 비용을 수반한다는 점에서 소수의 Premium Demand를 중심으로 시장 형성

③ 정부 규제 우호도

- (High) 뼈 재생기술은 전 세계적으로 장애에 대한 솔루션 개발이 국가 경제 성장에도 기여할 것으로 전망됨에 따라 우호적인 규제 환경 조성

④ 법적 진입 장벽

- (High) 뼈 재생기술은 초기 제품 개발 R&D 투자 외에 제품 상용화를 위한 임상연구 병행이 필요
- 타 분야는 중간 정도의 법적 진입 장벽이 있는 것으로 평가



<그림 6> 자연모사 7대 응용분야의 전략적 기회 평가 매트릭스¹⁷⁾

□ 7대 응용 분야에 대한 상용화 가능성 및 시장 매력도 평가 결과에 따른 대응 전략 예시

<표 6> 7대 응용분야의 전략적 기회 평가 매트릭스 결과에 따른 대응 전략 방안¹⁸⁾

구분	내용
방지/혁신 (1사분면)	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 상용화 가능성·높은 시장 매력도 • 해당 응용분야의 기술 솔루션을 제공하는 연구자 및 기업은 R&D에 대한 투자를 증가시켜 경쟁자들의 시장 진출을 방지 • 해당 분면에 진입하기 위해서 기업은 보다 혁신적·진보적인 솔루션 제공 노력 필요 • 뼈 재생기술, Nanomimetics, 표면 코팅 기술 분야가 1사분면에 해당되며, 그 중 뼈 재생기술이 가장 매력적인 분야로 분석

17) Biomimetics-Trends Inspired by Nature, D1D3, 2009

18) Biomimetics-Trends Inspired by Nature, D1D3, 2009

파트너/혁신 (2사분면)	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 상용화 가능성·높은 시장 매력도 • 2사분면은 협력 및 혁신 전략이 요구 • 1사분면에 위치했지만 상용화 가능성이 낮은 접착기술 분야는 제한된 잠재력 및 비교적 낮은 수준의 기술 복잡성의 특징을 가져 경쟁이 심화될 가능성 <ul style="list-style-type: none"> - 협력 및 자본지출의 초기 위험 공유 등 리스크를 최소화하여 경쟁우위 유지 • Sensing & Communication System, 광학 이미징 시스템 분야는 비교적 높은 시장 매력도를 보이지만, 이들 분야의 수요는 군대나 고도로 전문화된 엔지니어링 시스템에 집중 <ul style="list-style-type: none"> - 일부 분야에 집중되어 있는 수요는 리스크를 증가시키는 요인으로, 협력을 통해 초기 리스크를 공유하고, R&D투자를 통해 수익 창출
Stay away (3사분면)	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 상용화 가능성·낮은 시장 매력도 • 아직 극복하지 못한 도전 과제 및 상대적으로 낮은 수요(혹은 특정 산업분야에 국한) 등 제한된 성공 요소

5. 자연모사 기술의 경제적 파급효과

□ San Diego Zoological Society와 FBEI(美)에 따르면 2025년까지 미국 내 자연모사 기술 응용 경제 활동은 2025년 약 3,500억 달러에 달할 전망이다¹⁹⁾

○ 자연모사 제품 및 서비스 시장(3,000억 달러)과 천연 자원 고갈·온실가스 배출·폐기물 처리 비용 저감 효과(500억 달러) 포함

- 자연의 효율적인 진화·적응 능력의 모사·응용은 에너지 소비 효율 증대, 환경 오염 최소화 및 정화, 물·에너지·식량 확보에 기여

- 온실가스·폐기물 처리 비용 저감 효과는 의료 비용, 근무 시간 감소, 작물 손실 및 토양 오염 등을 포함

* 자연모사 기술은 미국 내 자원 고갈 및 온실가스 배출에 따른 피해 규모(5,140억 달러, 2025년)의 약 10% 감소에 기여 전망

○ 2025년까지 미국 내 160만 개의 일자리 창출 기대, 환경 보존과 성장을 동시에 달성할 수 있는 강력한 동인이 될 전망

○ 2025년 전 세계적으로 약 1조 달러의 경제 활동 형성 기대

- 전 세계 총 생산액의 약 1% 수준(미국은 약 1.4% 적용)

19) 2010년 물가 기준, San Diego Zoo(2010) 'Global Biomimicry Efforts - An Economic Game Changer'

□ 자연모사 기술은 제지에서부터 의류, 수송장비, IT, 음식료품, 건설, 유틸리티, 섬유, 등 다양한 분야에 적용 가능²⁰⁾

○ 광업, 유틸리티²¹⁾, 건설업

- (광산) 시추, 탐사, 채굴 시장에서의 약 3%가 자연모사 기술 응용 제품으로 대체 가능할 것으로 기대
- (유틸리티) 에너지, 수처리 등에서 총 시장 규모의 10% 차지 전망
- (건설) 흰개미 언덕 구조 연구를 통한 냉난방 시스템 효율성 개선 등 약 5%의 시장 점유 전망

○ 제조업

- 자연모사 기술 적용을 통해 원자재 및 에너지 사용 절감, 폐기물 발생 저감, 제품 독성 절감 등의 효과 달성 기대
- 자연모사 기술을 적용한 원자재 사용은 섬유 산업의 10%, 화학·제약 산업의 15%를 차지할 전망
- 수송장비는 공기역학·에너지 효율적인 설계 적용 등 시장의 10% 가량이 자연모사 기술로 대체될 것으로 기대

○ 보관·운수, 폐기물 처리

- 자연모사 기술 적용 보관·물류 제품(냉동공조 포함)은 전체 시장의 10%를 차지할 것으로 전망
- 높은 효율성을 기반으로 운송 서비스 시장의 3%가 자연모사 기술 적용 제품으로 대체될 전망
- 폐기물 처리는 시장의 15% 가량이 자연모사 기술 응용으로 전환 예상

○ IT

- 개미와 벌의 군집 지능(Swarm Intelligence)이 로봇, 무인 비행기, 전화망·전력망 등에 적용될 경우 IT 시장의 5% 가량 점유 기대

20) 분야별 자연모사 기술 점유 비중은 2025년 기준으로 산출

21) 수도, 가스, 전기 등

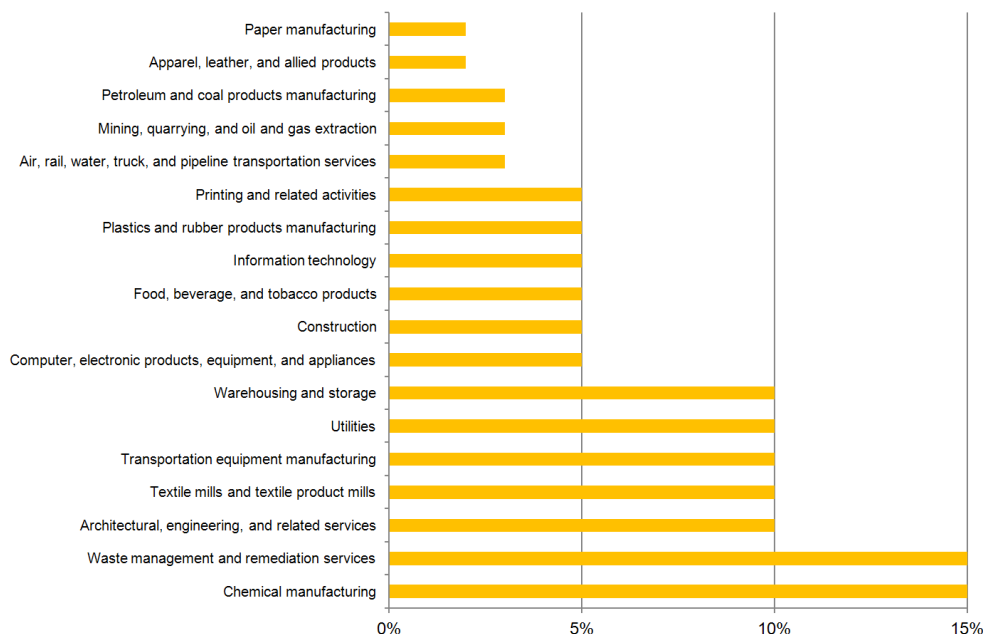
- Qualcomm의 IMOD 기술에 기반한 저전력 · 고해상도 디스플레이 기술이 전자 디바이스에 확산될 경우 그 파급효과는 더욱 확대될 전망

○ 건축 설계 및 관련 서비스

- 15년 내에 건축 설계 · 엔지니어링 시장의 약 10%를 차지할 것으로 기대
- 국방 역량 강화 목적의 자연모사 기술 응용도 향후 확대될 전망

국방 분야의 자연모사 기술 응용 사례

- 미국 DARPA에서는 포유류의 시각 경로에 대한 이해를 바탕으로 마이크로일렉트로닉스 접목을 통해 전투 병력의 상황 인지 능력 향상을 목적으로 한 Neovision2 개발 중
- 또한 DARPA에서는 물고기나 물새의 수영 시의 Oscillating Foil Approach에 기반 한 수영 추진 기법 개발을 위한 Power Swim 프로그램 운영 중



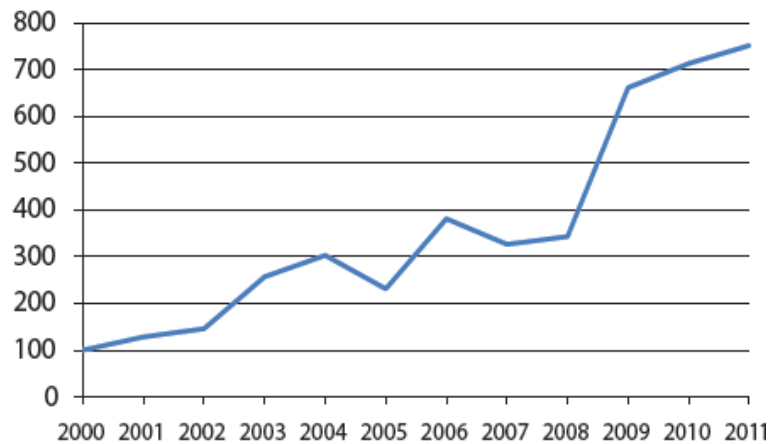
<그림 7> 2025년 주요 산업에서의 자연모사 기술 응용 비중²²⁾

- San Diego Zoological Society와 FBEI에서는 자연모사 분야 R&D 및 상업화 진행을 측정하기 위해 2000년 이후 Da Vinci Index를 측정

- 새의 비행 관찰과 해부학 연구를 통해 비행체 설계를 처음으로 시도한 레오나르도 다빈치(1452-1519)로부터 지수 명명

22) San Diego Zoo(2010) 'Global Biomimicry Efforts - An Economic Game Changer'

- 지수는 자연모사 분야 논문, USPTO 특허 수, 미국 NSF·NIH 지원 정부 R&D 건수 및 규모 등을 합성하여 최종 산출
- Da Vinci Index는 2000년 100에서 2011년 반기 752로 7배 이상 증가
 - 연평균 22% 이상 증가하였으며, 2011년 3분기에는 1,000을 돌파 추정



<그림 8> 연도별 Da Vinci Index 추이(2000=100)²³⁾

- Da Vinci Index 상승은 USPTO 특허와 논문에 의해 주도
 - 2000년 3건에 불과했던 특허 공개는 2010년 41개로 나타났으며(14배 증가), 논문은 2000년 285건에서 2010년 1,507건으로 5.3배 증가
 - 미국 NSF·NIH 지원 정부 R&D 과제 수·규모는 3~4배 증가, 상대적으로 느린 성장세
 - * R&D 과제 수는 2000년 71건에서 2010년 224건으로, 투자 규모는 2,400만 달러에서 9,300만 달러로 증가



<그림> Da Vinci Index 구성 세부 Index 추이(2000=100)²⁴⁾

23) FBEI(2011) 'Biomimicry and Economics: The Da Vinci Index'

24) FBEI(2011) 'Biomimicry and Economics: The Da Vinci Index'

6. 결론 및 시사점

- 자연모사 기술이란 오랜 진화를 통해 최적화된 생명체 및 자연 현상 등의 기본 구조·원리 및 시스템을 모방·응용하여 지속 가능 발전에 기여하는 기술
 - Biomimicry, Biomimetics, Bionics, Biognosis, Bionical Creativity Engineering, Bio Inspiration 등의 유사 개념 존재
 - 매크로 수준 뿐 아니라 나노스케일 수준에서 모방·응용 시도
- 자연모사 기술은 기계, 섬유, 정보통신, 농업, 건축, 의료, Utility(전기·수도) 등 생활 전반에서 적용

<표 7> 자연모사 기술 응용 분야 및 주 내용

분야	내용
바이오메카트로닉스 및 로보틱스	<ul style="list-style-type: none"> 비구조화 환경에서도 고신뢰·강건한 성능을 낼 수 있는 로봇 개발을 위해 자연모사 기술 적용 개미, 벌, 물고기, 새 등의 군집 지능(Swarm Intelligence)를 로봇 등에 적용하는 연구가 활발히 진행
Sensing & Communication	<ul style="list-style-type: none"> 자연의 뛰어난 센싱 능력을 모사하여 야간 Vision System, 열화상 시스템, 태양광 발전 등에 적용 가능
섬유	<ul style="list-style-type: none"> 뽕, 나무 등 자연의 최적화된 중량 부하 원리를 활용하여 섬유 복합 재료 개발 자연의 무작위한 색상을 모방하여 무패턴 카펫 개발을 통해 생활 섬유 생산 비용 절감
농업	<ul style="list-style-type: none"> 토양에 대한 비부착성, 비마찰성의 특징을 가진 천공동물의 피부를 연구하여 농기계 및 공구에 적용하기 위한 연구 진행 중
건축 및 디자인	<ul style="list-style-type: none"> 견고한 지붕 설계를 위한 굴 껍질, 수련·방산출·벌집 등 자연 기반의 건축을 통해 내진설계 등 자연 기반의 건축 설계에 응용
건축 자재	<ul style="list-style-type: none"> 세포의 끓는 물, 산성 환경, 극저온, 심해 등 다양한 환경에 적응해 온 세포 특성을 연구하여 건축 자재 등으로 활용
유체역학	<ul style="list-style-type: none"> 운동마찰 감소, 비행기·선박·자동차 등의 내구성 증대, 충격 강도 증가 등의 연구 진행
Biomimetic 정보관리 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 신경망과 생물학적 두뇌 기능을 모방한 소프트웨어 기법을 이용하여 Fuzzy Tool 제공
유틸리티 (전기, 수도)	<ul style="list-style-type: none"> 하천 상류의 반습토(Moist Soil)가 보유한 오염 물질 분해 및 수질 정화 역량을 폐수의 관개 용수(Irrigation Water) 전환에 활용
의료	<ul style="list-style-type: none"> 미생물에서 발견된 메커니즘인 Anhydrobiosis를 활용하여 연구, 임상, 진단 분석용 생물학적 샘플 보존에 활용 * Anhydrobiosis : 수분을 완전하게 상실한 상태에서도 생물체가 수년 동안 생존 가능함

- San Diego Zoological Society와 FBEI(美)에 따르면 2025년까지 미국 내 자연모사 기술 응용 경제 활동은 2025년 약 3,500억 달러에 달할 전망
 - 자연모사 기술 응용을 통해 2025년까지 미국 내 160만개의 일자리 창출 및 전 세계적으로 약 1조 달러의 경제 활동 형성이 기대
 - 자연모사 기술이 향후 지속적인 성장 및 다양한 분야에 기술 적용 가능할 것으로 기대되는 만큼 자연모사 기술에 대한 적극적인 관심 필요
 - 자연모사 분야 R&D 및 상업화 진행 측정을 위해 2000년 이후 Da Vinci Index를 측정한 결과, 2011년 반기 752로 7배 이상 증가(2000=100)
 - * 지수는 자연모사 분야 논문, USPTO 특허 수, 미국 NSF·NIH 지원 정부 R&D 건수 및 규모 등을 합성하여 최종 산출
- 자연모사 기술 응용 시장은 시장 성장 촉진 요인과 저해 요인이 공존
 - 성장 촉진 요인에는 지속가능 성장에 기여, 정부 규제 및 지원금, 자연모사 지식의 발전 및 시장 상품화, 자연의 효율적 시스템 등의 요인 존재
 - 자연모사 기술개발에 대한 타당성 제안 시, 지속가능한 성장을 위한 사회적 요구와의 적합성 근거로 활용 가능
 - 성장 저해 요인에는 자연 시스템의 복잡성 및 이에 따른 긴 제품 개발 주기, 기업의 자금 부족, Multy-Disciplinary Team 등의 요인이 존재
 - 자연모사 연구의 상업적 성공을 위해 국가차원의 중·장기적인 융합 연구 사업 신설 및 체계적인 기술 사업화 프로세스 필요
- 자연모사 기술 별 시장 매력도 및 상용화 가능성 분석을 통해 도출된 전략적 기회 평가 매트릭스를 활용하여 분야 별 대응 전략 수립 가능
 - 매트릭스는 자연모사 기술 활용·설계의 복잡성을 반영한 상용화 가능성(X축), 특정 분야의 수요·기업 간 경쟁 강도를 반영한 시장 매력도(Y축)로 구성
 - * 상용화 가능성의 세부 지표는 연구 활동 집약도·기술적 도전에 대한 해결 능력·특허 공개 추이·R&D 투자 확보 용이성으로 구성되었으며, 시장 매력도의 세부 지표는 매출비용 규모·시장 확대·정부 규제 우호도·법적 진입 장벽으로 구성
 - 연구자들이 관심을 가진 자연모사 기술 분야와 매트릭스의 매칭을 통해 효과적인 기술개발 전략을 수립하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대

:: Vol.6, No.8 2012

기계기술정책
KIMM Technology Policy

| 발행처 | 한국기계연구원 전략기획본부 전략연구실

| 발행일 | 2012. 07

| 기획·편집 | 곽기호, 박효주, 정연호

정성균, 김재윤, 오승훈, 정준호

| 주소 | 대전광역시 유성구 가정북로 156번지

| 전화 | (042) 868 - 7682 (전략연구실)