

김 완 두 한국기계연구원 나노자연모사연구실 책임연구원 | e-mail : wdKim@kimm.re.kr

정 영 도 한국기계연구원 나노자연모사연구실 선임연구원 | e-mail : yjung@kimm.re.kr

이 글에서는 최근 화두가 되고 있는 지속가능한 성장에 대해 간단히 소개하고 지속가능한 성장에 있어서 자연모사 기술의 중요성 및 자연모사기술의 국내외 동향을 소개하고자 한다.

지구가 약 46억 년 전 생성된 이래 지금까지 수백 만 년 혹은 수억 년 주기의 큰 기후 변화가 존재했다. 지구의 생명체는 약 38억 년 전 출현한 이후 이러한 완만한 지구환경 변화에 적응해 왔으며, 지구 내부로부터의 대규모 지각활동, 우주로부터의 소행성 충돌 등과 같이 급격한 기후변화에 직면한 경우에는 90% 가 넘는 생물종들이 멸종하기도 하였으나, 많은 수의 생명체들이 살아남아 현재까지 진화의 길을 걷고 있다. 자연모사기술은 진화의 과정을 거친 수많은 생물에 아로새겨진 환경에 최적화된 기능, 구조, 행동, 생산 등에서 영감을 얻어 당면한 공학적 문제를 해결할 뿐 아니라, 새로운 개념의 기술 영역을 펼치고 시장을 개척하는 것을 지향한다. 특히, 대규모의 자원소모를 기반으로 각종 환경 문제를 불러일으킬 수밖에 없는 기존 공학기술의 접근법에서 탈피하여 지속가능한 원천기술 개발에 있어 자연모사기술의 중요성이 더욱 커지고 있다. 자연모사 관련 제품 및 서비스 시장규모는 2030년 미국 GDP 기준 약 4,250억 달러, 세계 기준 약 1조 6,000억 달러에 이를 것으

로 예측되고 있으며, 이에 전 세계적으로 자연모사 원천기술을 확보하고 응용제품을 개발하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다.

지속가능 발전

지속가능 발전이란 경제적 성장에 집중하는 기존의 발전 패러다임을 넘어서서 환경 보전 및 사회 발전을 함께 고려하는 발전 패러다임이다. 2012년에 열린 지속가능발전 UN회의에서는 지속가능 발전의 목표 중 지속가능 소비와 지속가능 생산에 특히 주목하였다. 이중 지속가능 생산이란 오염물질 배출을 최소화

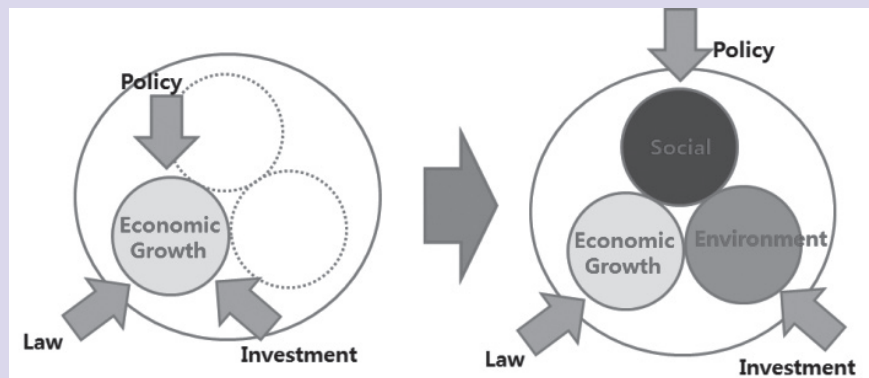


그림 1 지속가능 발전은 기존의 경제적 측면의 발전뿐 아니라, 사회적(Social) 환경적(Environment) 측면을 모두 고려하는 발전 패러다임임

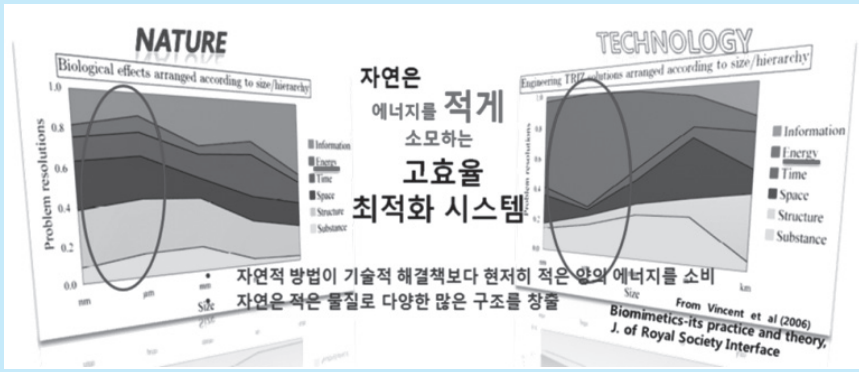


그림 2 자연은 에너지를 적게 소모하는 고효율 최적화 시스템이며 특히 마이크로/나노스케일에 있어서 다양한 설계, 구조를 기반으로 기존기술 대비 높은 효율을 보임

하고 에너지와 자원을 절약하며, 경제성이 있으면서도 근로자, 소비자 모두에게 안전하고 건강한 공정 및 시스템을 사용하여 제품과 서비스를 생산하는 것을 의미한다. 자연모사기술은 자연의 동식물들이 오랜 기간에 걸쳐 지구시스템에 조화롭게 살아오면서 발전시킨 기능, 형태 등을 모사하는 기술로써 지속가능 발전에 중요한 역할을 할 것으로 주목받고 있다.

지속가능 발전과 자연모사기술

빌 클린턴 전 미국 대통령이 세계에서 가장 중요한 책 가운데 하나로 폴 호큰, 에이머리 로빈스, 헌터 로빈스가 저술한 ‘자연자본주의’를 추천했다. 이 책에서는 현재 이용 가능한 기술과 막 떠오르는 신기술을 활용하면 우리가 환경을 망가뜨리지 않고 오히려 깨끗하게 하면서 더 풍요로워질 수 있다는 자연모사기술을 강조하고 있다. 생태학자들이 1997년 네이처지에 발표한 바에 따르면 자연 생태계가 인류에게 베푸는 서비스의 가치가 연간 36~58조 달러에 이르며, 수자원의 공급, 공기 정화, 쓰레기 처리, 홍수 예방 등의 서비스 등 자연 자본 전체의 가치는 400~500조 달러에 이른다고 추산하고 있다. 미국의 우주물리학자 그레그 러플린 교수는 지구의 가치가 300조 파운드에 달한다고 주장했다.

최종 상품에만 관심을 가지는 산업자본주의에 반해 자연자본주의는 네 가지의 원칙으로 환경 보전과 경제 발전을 동시에 이룰 수 있다고 주장한다. 첫째로 자원의 생산성을 확실히 높이는 것, 둘째로 재료와 에너지를 순환하고 재사용하는 자연생태계를 모사하는 것, 셋째로 제품이 아닌 고객이 원하는 서비스를 직접 공급함으로써 물질사용을 줄이는 것, 마지

막으로 파괴된 지구 환경을 살리기 위해 자연 자본에 재투자하는 것 등의 원칙이다.

미국의 생태학자이자 바이옴이미크라이(Biomimicry; 생체모방공학)협회의 회장인 재닌 베니어스는 1997년 ‘바이옴이미크라이’ 책에서 자연을 모델(Model), 척도(Measure) 그리고 조연자(Mentor)로서 설명했다. 또한 그녀는 2009년 7월 영국 옥스퍼드에서 개최된 TED를 통해 자연으로부터 영감을 얻은 지속가능한 혁신기술을 강연했으며 자연의 9가지 원칙을 주장한 바 있다. ▲ 자연은 햇빛으로 움직인다. ▲ 필요한 에너지만 사용한다. ▲ 기능에 형태를 맞춘다. ▲ 모든 것을 재활용한다. ▲ 협동에 보상해준다. ▲ 다양성에 의존한다. ▲ 지역전문가를 요구한다. ▲ 내부로부터 과잉을 억제한다. ▲ 한계에서 힘을 얻는다 등이다. 자연 생태계를 함축적으로 적절하게 잘 표현하는 원칙들이다.

ZERI(Zero Emissions Research Institut) 재단의 설립자인 군터파울리는 동경에서 개최된 TEDx 컨퍼런스에서 청색경제(Blue Economy)를 소개했다. 청색경제는 자연 생태계로부터 수많은 정보와 영감을 얻어 인간 생활에 활용함으로써 환경 문제 해결은 물론이고 경제 성장이 동반된 지속가능한 미래 사회 구현이 가능하다고 주장했다. 그에 따르면 녹색경제는 환경 보호라는 목표 달성을 위해 기업과 소비자에게

많은 비용을 요구하는 문제점을 갖는 반면에, 청색경제에서는 환경을 보호하면서 더 큰 물질적 풍요를 누릴 수 있으며, 청색경제의 핵심은 생태계의 지혜를 활용하는 데 있다고 주장하고 있다. 자연생태계는 우리의 파괴적인 생산과 소비 모형을 좀더 생산적인 것으로 바꾸어나가는 데 필요한 영감을 제공한다는 것이다.

지속가능 자연모사기술

지속가능 자연모사기술은 에너지 효율 향상, 환경 오염 저감 등 다양한 분야에의 적용이 가능하다. 이중 이 글에서는 자연모사기술을 이용하여 에너지 효율을 높이는 사례를 소개하고자 한다.

자연모사기술을 이용하여 에너지 효율을 높인 대표적인 사례로는 흰개미집의 통풍원리를 빌딩의 환기시스템에 적용하여 획기적으로 에너지를 절감한 사례, 혹등고래 지느러미의 불규칙한 돌기를 풍력발전 터빈 블레이드 설계에 응용하여 효율을 높인 사례, 물총새의 부리 모양을 고속열차의 선두부의 형상에 적용하여 운전효율을 높인 사례, 상어 피부 표면을 모사하여 물의 저항을 줄여 주는 기술 등이 널리 알려져 있다.

반사경을 이용한 태양열 발전 시스템에도 자연의 원리를 이용한 기술이 응용되고 있다. 해바라기 꽃의 바깥쪽 꽃잎이 아닌 안쪽의 작은 꽃봉오리의 배열은 정확히 페르마 나선 모양에 따르고 있으며, 각 꽃은 서로 소위 ‘황금각’이라고 불리는 137.5도를 유지하고 있다. 집중 태양발전시스템 (CSP 시스템: concentrated solar power system)에 사용되는 햇빛반사장치(heliostat)의 배치 면적을 최소화하고 에너지 효율을 극대화하기 위하여 나선형 모양의 배치를 이용하고 있다. 독일 아헨공대와 미국MIT의 공동 연구진은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존의 원형 모양의 배열을 페르마 나선 모양의 배열로 바꿈으로써 CSP의 효율을 향상시켰다.

미국 캘리포니아 공대 연구진은 물고기가 떼를 지어 이동하는 원리를 밝혀 풍력발전단지 배치에 응용하였다. 물고기 떼는 와류가 발생하는 일정한 패턴으로 우두머리 물고기의 뒤를 따라 움직임으로써, 적은 에너지로 최적의 추진력을 얻고 있다. 물고기의 이동 경로를 수식화하여 최적의 조합을 얻어 풍력 발전기의 배치에 적용하여 10배 이상으로 효율을 올릴 수 있을 것으로 기대하고 있다.

흰개미집 모사 건축물	혹등고래 모사 fan구조	청각기관모사 감응시스템	새부리모사 고속철도	상어모사 수영복
 <p>Zimbabwe Eastgate Center</p>	 	  <p>tube umbo</p>	 	 
	소음 2dB 감소 소비전력 10% 저감	소비전력 87.5% 저감	비대기 저감 15%	물 저항 저감 : 5%

그림 3 에너지 저감 자연모사기술 대표 사례

나방과 나비의 눈은 규칙적인 미세 구조를 가져 빛을 반사하지 않고 흡수하는 특성을 나타낸다. 이를 반사방지필름에 적용하여 밝기를 향상시켜 디스플레이의 에너지 효율을 높이는 제품이 개발된 바 있다. 최근 중국의 연구자들은 나비로부터 영감을 얻어 에너지 효율을 높일 수 있는 기술을 발표하였다. 나비 날개의 아주 작은 길쭉한 사각형의 비늘들은 촘촘히 적층되어 있어 태양열을 잘 받아들이고 또 열을 잘 보유하는 특성을 지니고 있어, 이 구조를 에너지 장치에 적용하여 효율을 높일 수 있을 것으로 기대하고 있다.

아름다운 빛깔을 띠는 모포나비는 색소에 의한 것이 아니고 나노 크기의 규칙적인 격자구조(광결정; Photonic crystal)에 의해 특정 색상이 발현되는 것으로 알려져 있다. 이를 구조색(Structural Color)이라 부르며, 이를 이용한 반사형 디스플레이 원천기술이 국내 연구진에 의해 개발되었다.

모포나비가 다양한 각도에서 똑같은 빛깔을 띠는 것

지속가능 자연모사기술은 현재의 경제적 이익을 넘어서 미래 세대의 생존까지 고려하는 발전 패러다임의 핵심 기술로서 적극적인 관심과 연구개발 및 사회적 인식 확산이 중요하다

은 날개의 독특한 구조, 즉 마이크로미터 수준에서는 규칙적인 구조를 보이지만 나노미터 수준에서는 무질서한 구조를 가지기 때문이다. 연구진은 수백나노미터 크기의 유리구슬을 임의로 배열하여 무질서함을 구현하였고, 반도체 증착방법을 이용하여 넓은 면적의 모포나비 구조를 만드는데 성공한 것이다.

자연모사 국제표준화 활동

자연모사기술 분야에서 현재 독일, 일본 등 제조산업 선진국을 중심으로 국제표준화 활동이 진행되고 있다. 독일 공학자 협회의 주도로 2012년 국제표준화 기구에서 생체모방 기술위원회(TC) (ISO/TC 266 “Biomimetics”)가 설립되었으며 2012년 1차 총회를 독일에서 개최한 이후 프랑스, 체코, 벨기에, 일본에서 각각 2~5차 총회가 개최되었으며, 금년 9월 독일 베를린에서 6차 총회까지 개최되었다.

국내에서는 한국기계연구원을 중심으로 국내 내부 전문가 mirror committee 활동과 함께 1차 총회부터 국제표준화 회의에 참석하여 왔으며, 작업 그룹 전문가 활동을 통해 국내 자연모사기술 현황 등이 기술위원회 사업 계획서에 포함되고 국제표준에 반영되도록 하였다.

현재, 생체모방 기술위원회에서 발행한 국제표준은 ISO 18458:2015 “Biomimetics - Terminology, concepts and methodology”, ISO 18457:2016 “Biomimetics - Biomimetics materials, structures and components”, ISO 18459:2015 “Biomimetics - Biomimetic structural optimization”

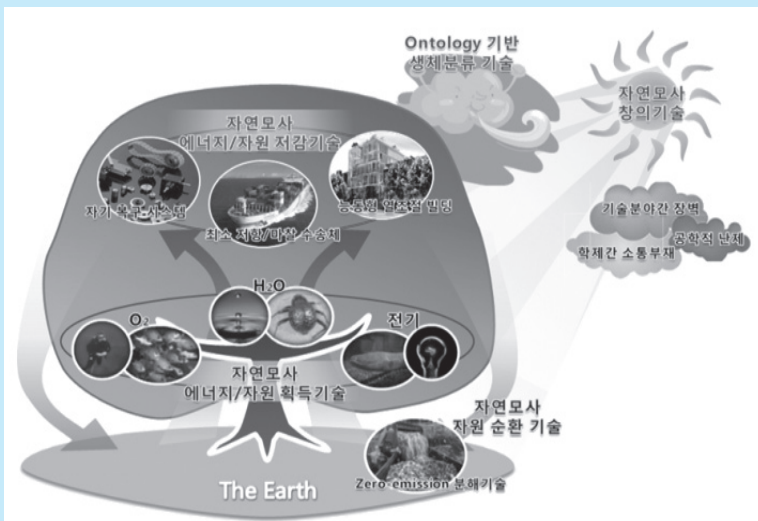


그림 4 지속가능 자연모사기술



그림 5 국제표준화기구 생체모방 기술위원회 1차 총회 참석자 (독일 베를린, 2012)

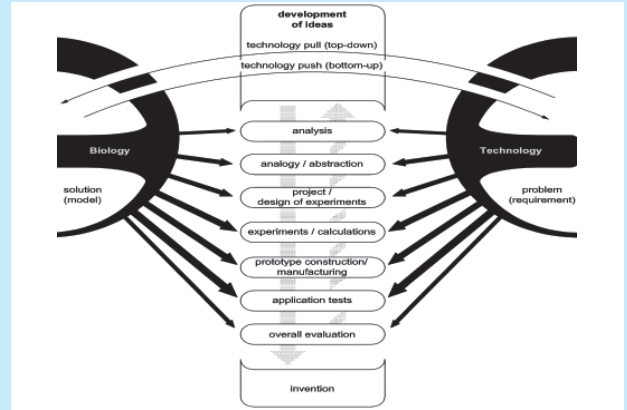


그림 6 간략화된 자연모사 개발 흐름도(출처: Fraunhofer UMSICHT/BIOKON, 2010; VDI 6220)

3가지로 생체모방 관련 용어의 정의, 개념, 방법론을 위주로 다루고 있다.

자연모사 기술에 대한 국제표준화 활동의 대표적인 의미는 최근 들어 소비자들이 제품의 환경친화성, 지속가능성 등에 관심을 두고 구매활동을 하고 있으며 많은 수의 제품 제조사에서 자연모사/생체모방 키워드를 제품의 환경친화성, 지속가능성을 드러내기 위해 사용하고 있다는 점과, 제조 선진국들을 중심으로 자연모사/생체모방 기술의 확산과 더불어 진정한 자연모사기술이 적용된 제품을 향후 인증할 것이라 예상되는 점에 있다.

자연모사기술에 대한 국제표준화 활동이 제조 선진국을 중심으로 진행되고 있으며, 이는 향후 자연모사기술의 상용화를 촉진함과 동시에 제품의 인증에 사용될 것으로 예상되므로, 국내 연구자들의 활발한 참여가 필요하다

현재 생체모방 기술위원회 활동은 다양한 기술들 및 생물자원에 대한 데이터베이스를 구축하고 이를 활용하는 방안에 대한 작업 그룹이 일본을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 국내에서는 다수의 연구자들이 자연모사기술에 대한 연구를 수행하고 있으나, 아직 국제표준화에 대한 인식 부족으로 적극적인 참여가 부족한 상황이나 아직 초기 상태인 생체모방 기술위원회에 새로운 작업 그룹 설치 및 국제표준 제안 등을 통한 향후 자연모사 원천기술이 국제시장 경쟁력을 갖도록 노력할 필요성이 있다.

국제표준 제안 등을 통한 향후 자연모사 원천기술이 국제시장 경쟁력을 갖도록 노력할 필요성이 있다.