



바이오·나노·재료기술 트렌드



산업기기표준과장 윤종구
(02)509-7286 jkyoon@mocie.go.kr

최근 황우석교수의 파문에서 알 수 있듯이 기술 발전이 사회에 끼치는 영향은 막대하다. 특히, 바이오기술 분야는 더욱 심하다고 할 수 있다. 현재 많은 기술개발은 다학제연구(multi-disciplinary research)로 또 대형연구과제로 추진되고 있다. 이러한 때에 과학기술자들은 자신의 전공이 아닌 분야의 트렌드도 파악하는 것이 중요하게 되었다. 그러나, 다양한 분야의 트렌드를 파악하는 것은 어려운 일이 아닐 수 없다.

다행히 저자는 다양한 분야의 기술 트렌드에 대한 자료를 분석할 수 있는 기회가 있어 이를 토대로 기술 트렌드에 대해 소개를 하고자 한다. 본 자료는 미국의 RAND연구소가 2000년도를 기준으로 2015년까지의 기술 트렌드 예측으로 원문의 제목은 Global Technology Revolution이다. 본문에 나와 있는 내용을 임의대로 발췌하여 소개하였으므로 의문사항이 있으신 분은 원문을 참조할 수 있을 것이다. 또한, 한민족과학기술자네트워크(www.kosen21.org)의

Expert review에 글로벌기술혁명이라는 제목으로 요약본이 있으니 이를 참고하셔도 될 것으로 생각된다.

21 세기는 다학제연구의 시대

현재 많은 기술 분야의 발전은 복수 기술의 결합에 의해 가능하다. MEMS 기반의 분자 진단기법, 바이오 재료, 생물학기반의 컴퓨팅, 생체의태적(Biomimetic) 로봇 등이 그 예가 될 것이다. 과거의 세충적인 접근보다는 동일한 지위의 학제간 팀구성을 하는 것이 증가할 것이다.

예를 들면, 재료과학자는 인공조직을 위한 생체 재료, 능동형 시스템 제어형 표면을 구현하는 반응성 재료 스마트구조를 위한 내장형 센서와 액츄에이터용 재료를 개발하기 위해서는 컴퓨터과학자나 응용 엔지니어와 같이 일하는 경우가 증가하고 있다. 또, 많은 엔지니어가 생명체가 자연환경에서 문제를 해결하는 방법을



이해하기 위하여 생물학자로 변신하고 있다.

바이오기술의 트렌드

□지노믹스(Genomics)분야

2015년까지 바이오기술은 유전자를 프로파일링, 복사, 조작하여 생명체를 이해하고 새로운 성질을 갖도록 생명체를 조절하는 능력이 향상될 것이다.

○ 유전자 프로파일링과 DNA분석

유전자 기능이 밝혀지고, 건강진단, 개인별 맞춤형 의약품, 개인별 질병감수성에 대한 연구가 활발하다. 유전자 프로파일링은 보안, 경책, 법률 등에 많은 영향을 미쳐, DNA감식은 지문인식과 같은 생체인식 보안, 범인식별, 예술품의 감성 등에 활용될 것이다. 바이오센서는 생물학무기의 검출, 식품 및 물의 검사, 건강 모니터링, 의학분석 등에 사용될 수 있다.

○ 복제(Cloning)

유전자 복제는 곡물, 가축 등의 분야에서는 실용화에 성공할 것이지만, 인간복제는 도덕적 문제, 클론의 의학적 결합, 양질 유전자의 소유권 문제, 우생학 등의 문제로 세계적인 논란이 되고 있다. 인간복제는 수정체 단계에서의 높은 치사율, 기형출산 등의 위험요소를 극복한다면 곧 성공할 수 있다는 의견도 있다.

○ 유전자변형 생물체(GMO, Genetically Modified Organisms)

유전자조작의 전통적 방법은 실험실에서 유전자를 직접 삽입, 삭제, 변형하는 방법으로 발전되고 있다. 주로 맛의 향상, 지지방, 지염, 지화학물질의 쇠고기, 질병저항능력의 증대, 영양소강화 등을 위하여 식품을 유전자공학으로 처리하고 있다. 살초제 성분을 함유한 GMO는 살충제의 생산, 규제정책 등에 영향을

미칠 것이다.

GMO 식품의 안전성은 국제적인 우려를 일으키고 있다. 유전자공학이 기존 기술과 같이 안전하다는 주장도 있으나 각국 정부는 식품 라벨링 제도를 도입하고 있다.

□ 치료법 및 신약 개발

바이오기술을 응용하여 병원균의 침입 억제 및 취약점 규명, 새로운 약물투입방법의 개발되고 있으며, 이는 내성이 증가한 병원균과 감염에 대한 해결책이 될 수 있을 것이다. 새로운 분자영상기술과 컴퓨터 시뮬레이션이 결합되어 특정부위에 대한 치료능력을 갖는 분자를 설계하거나 적절한 약을 찾는 능력을 향상시킬 것이다.

신약 1 품목을 개발하기 위해서는 6억불 정도가 소요되는 기존방식에 비해, 유전자 프로파일링과 화학적 및 테스트 시뮬레이션 기술은 저가로 맞춤형 약의 개발이 가능할 것이다.

□ 생체의료공학(Biomedical engineering)

○ 유기질 인공조직과 기관

인공조직, 기관의 발전으로 인간장기에 대해 인공적인 대체가 가능하게 되었다. 치료용 인공피부는 상업화 되었고, 연골대체 기술은 임상시험단계이다. 줄기세포 치료법은 뇌의 기능강화나 심장, 간 등의 인체 기관의 대체를 위해 계속되고 있다. 줄기세포는 초기의 배아조직으로부터 추출되기 때문에 윤리적 논란을 야기하고 있어, 성체줄기세포나 줄기세포의 배양기술 등의 대체수단이 연구되고 있다.

異種間移植(Xenotransplantation)기술은 돼지 등의 장기를 인간이식에 적합하도록 유전자 조작되고 복제될 수 있을 것이나, 동물로부터 인간으로의 바이



러스 진파에 우려가 있으며, 동물학대, 도덕성, 특허권에 대한 논란 등이 주요 문제점이다.

○ 인공생체 재료, 기관, 바이오닉스

다기능재료가 개발되어 구조와 기능을 제공하고 용도에 따른 다른 특성을 보이고, 새로운 응용을 가능하게 할 것이다. 약물전달용 폴리머는 약의 흡수시간을 조절하며, 유선자치료나 이동성이 없는 효소의 전달체나 인공조직으로 활용될 수 있다.

제조기술과 IT기술은 맞춤형 생의학구조물을 생산할 수 있게 하고, 컴퓨터 단층촬영 기술과 rapid prototyping 기술을 결합하여 부상당한 손, 발, 두개골 부분에 대한 맞춤형 세라믹대체물을 제조할 수 있게 될 것이다. 신경, 지각세포의 대체재도 개발되어 시각 청각장애인의 발생을 감소시킬 수 있을 것이다

○ 생체의태 기술과 응용생물학 (Biomimetics and Applied Biology)

뇌 영상촬영 기술등으로 지능에 대한 이해를 향상시켜 잘못된 기억, 주의, 지각과 정보처리 등의 원리를 밝혀내어 지능형 로봇이나 정보시스템과 같은 인공시스템의 설계 및 인터페이스의 개발에 활용될 것이다. 신경(Neuromorphic) 공학은 정교한 제어 알고리즘, 미진 칩, head-eye 시스템, 생체의태적 자동로봇의 개발에 활용되고 있으며 청소, 지뢰탐지, 자동 수색 등 분야에서 실용화될 것이다.

○ 외과 및 진단 바이오 기술

레이저와 같은 새로운 외과 도구와 기술, 신소재, 기포와 조직설계능력은 외과수술을 간편하게 하고 있다. 복합 영상기술은 진단능력을 향상하고 로봇에 의한 수술을 가능하게 하고 인체와 두뇌기능의 이해를 돕는다. IT는 원격진료를 통하여 세계 어디서나 양질의 진료를 받을 수 있게 할 것이다.

인간지능과 인식에 대한 이해의 증가는 범격, 사회적 영향을 일으킬 수 있다. 이러한 문제는 선천적 능력이 없는 사람을 차별하는 윤리적인 문제를 일으킬 수 있다. 신경계나 지각기관에 대한 인식은 인간이 감지하고 반응하는 방식과 자연 및 인공적 환경에 반응하는 방식을 변하게 할 수 있다.

재료공학의 트렌드

□ 재료설계 및 가공

생체의태학을 활용하여 전복겹질의 높은 강도를 흉내내어 재료를 석충하거나 거미줄이 강철보다 강도가 큰 이유를 이해하기 위해 노력중이다. 촉매, 의약, 광학재료 등 특정응용분야에서의 특성을 최적화하기 위하여 슈퍼컴퓨터를 활용한다.

복합재료는 다기능을 구현하기 위하여 금속, 세라믹, 폴리머 및 생체 재료를 복합적으로 사용하는 것이다. 세라믹의 취약성을 보강하고 경량으로 하기 위하여 세라믹 파이버와 보강 폴리머나 세라믹을 사용하는 것이 일반적인 예이고, 인체활용을 위해 생체와 구조기능을 조합한 재료를 사용한다. 카본나노튜브, 양자점, 생물학적 분자와 같은 나노 크기 재료에 대한 연구가 활발하다.

□ 스마트 재료

강유전체, 형상기억합금, 자왜재료 등의 재료가 센서나 액츄에이터로 사용된다. 강유전체인 PZT는 스마트카드용 비휘발성 메모리, 응력에 따라 형상이 변화하는 스마트 스키 등에서 사용되고 있다. 스마트 폴리머는 인공근육의 재료와 우주탐사, 위험환경용 로봇에 응용하기 위해 연구가 진행되고 있다.

기상변화에 반응하고 정보시스템과의 접촉이 가능하고 생체신호를 감지하여 자동으로 부상을 방지하는



기능을 갖는 의복, 공기흐름에 반응하는 비행기날개, 기상예에 따라 조절되는 빌딩, 스스로 균열을 감지·수리하는 교량과 도로, 부선지시에 따라 요리하는 부엌, 가상현실 진화와 오락실, 개인용 의료진단 시스템 등이 실용화될 것이다. 로봇에도 이용되어 폭발물이나 위험물질의 탐지, 유해환경에서의 작업에 활용될 것이다.

□ 자기배열(Self-assembly)

메조스케일(50-500nm)의 격자상수를 갖는 콜로이드 결정배열은 열, 화학적변화에 따라 배열구조가 변하여 색깔이 변하게 된다. 분자인식 능력이 있는 결합기를 포함하는 하이드로 겔은 화학센서로 사용될 수 있다. 자기배열 콜로이드 현탁액은 발광다이오드 다공질 금속, 분자컴퓨터스위치등에 활용된다. DNA격자에 금속나노입자를 부착하여 바이오 센서나 나노리소그래피에 활용하는 연구도 진행중이다

□ 래피드 프로토타이핑(Rapid prototyping)

CAD와 신속가공 기술을 결합하여 시작품을 신속하게 제조하는 기술로 초기에는 플라스틱등을 활용하여 기능이 없는 시작품을 만들었으나, 지금은 티다눔 등으로 기능부품을 제조할 수 있다. 민첩생산기술(Agile Manufacturing)과 결합하여 주문과 함께 CAD로 설계가 되며, 모델, 스타일, 색상 및 옵션 등의 주문자요구사항에 적합하도록 실시간으로 제조시스템이 배치되며, 원재료와 부품이 적기에 공급되어 제조된다. 글로벌 네트워크가 가능하기 때문에 각 사업장은 가장 경쟁력이 있는 지역에 설립되고 사업의 세계화가 가능하게 된다.

□ 신소재

SiC, GaN등의 반도체가 고진력전자용 재료로 개발중이다. 경사기능재료(Functionally graded materials)는 다른 부품의 중간층으로 활용될 수 있다. 진지와 연료진지의 양극, 음극 및 전해질은 고용량 및 장수명화가 연구중임, 고온초전도체는 전선, 변압기, 저장장치, 모터, 단락기 등의 시작품은 나왔으며, 진기시스템에서의 활용은 2015년부터 시작될 것이다. 나노결정 코팅과 다이아몬드와 같은 고경도재료는 디스크드라이브와 석유,가스탐사용 드릴 비트에 활용하기 위하여 연구중이다. 금속간화합물과 세라믹 지지복합재료 등은 우주항공,고효율 에너지, 석유화학시스템에 활용하기 위해 개발 중이다.

나노기술의 트렌드

□ 나노재료

수나노미터크기의 양자점(Quantum dots) 반도체를 생성하는 기술을 연구 중이다. 양자점은 암세포 부위를 빛으로 검출할 수 있는 생물학적 라벨링 기술에 응용되고 있다. 나노튜브는 전계방사형 디스플레이, 전지용 나노와이어, 리튬수소의 저장, 히트파이프 등과 복합재료의 강화재로 연구되고 있다. 합금의 결정립을 나노크기로 하여 인성과 강도를 증가시키고, 플라스틱을 나노복합재화하여 난연성을 증가시키는 연구가 진행 중이다.

□ 나노가공 연산소자(Nanofabricated computation device)

○ 나노가공 연산칩 : 2015년도까지 35nm의 게이트 폭과 초당 43억번의 연산기능을 갖는 마이크로프로세서가 대량생산되고, 고성능프르세서는 초당 200억 번 연산기능을 갖고, D램은 64기가바이트까지 생산될 것으로 예상되었다(1999년도, SEMATECH). 이



러한 칩은 결합밀도가 장애로 작용할 수 있어, 결합을 수용할 수 있는 컴퓨터 구조가 연구 중에 있다. 반도체의 접속부 특성 때문에 소자의 연산속도 증가가 한계에 도달할 가능성이 있다.

○ 양자스위치기반 연산(Quantum-Switch-Based Computing) : 양자스위치기반의 컴퓨팅기술은 기존 반도체에서 많은 전자의 마크로한 성질을 활용한 마이크로전자와는 다른 방식이다. 양자컴퓨터의 개념은 연산시 대량의 병렬처리가 가능하다. 암호, 대형DB 검색, 패턴매칭, 분자·양자현상의 시뮬레이션 등의 분야에서 활용이 가능하다.

○ 타이오-분자 소자와 분자 전자공학 : 분자전자소자는 합성유기화합물을 이용하여 화학적 방법으로 스위치를 작동하는 것이다. 전력소모가 매우 적은 컴퓨터를 제조할 수 있다. 현재, 나노튜브 배선, 작동은도 상층 문제, 가역소위칭, 스위칭 진류량의 증가등에 대한 연구가 진행중이다.

□ 집적마이크로시스템과 MEMS(Integrated Microsystems and MEMS)

○ 스마트 System-on-a-Chip (SoC)과 광학, 전자부품의 집적

간단한 전기광학센서와 화학센서 부품은 실험실 수준에서 논리칩과 메모리칩에 집적하였다. 무선소자에 고주파부품을 탑재한 것은 생산 중이고 기본적인 DNA시험을 할 수 있는 제품도 있다. 저가격과 마이크로-패키징을 통하여 기능이 향상되어 많은 응용분야가 유니쿼토스(ubiquitous)화할 것이다.

○ 마이크로/나노스케일 계속기술

집적시스템에 나노기술을 적용하는 것은 반도체기술을 활용할 수 있어 대량생산을 할 수 있다. 고속의 병렬처리연산으로 DNA와 같은 복잡한 샘플에 대한 신속한 분석, 다량 샘플의 분석, 독물과 같은 위험한

물질의 인식등이 가능해진다.

집적시스템으로 부품, 시스템의 소형화가 되면 새로운 응용분야가 생겨날 수 있다. 바이오기술, 재료, 나노기술 등과 결합되어, SoC에 연산능력과 생물학, 화학, 광학 부품을 집적할 수 있을 것이다. 체내삽입 및 자기이동형 센서 나노 진공청소기 및 나노촉매, 저가의 "나노인공위성(nanosatellite)" 등이다. 나노인공위성은 집적마이크로시스템으로 10kg 정도로 축소한 것으로 통신, GPS, 과학, 군사 분야에서 새로운 임무를 수행할 수 있게 된다.

□ 분자 제조 및 나노로봇(Molecular manufacturing and nanorobots)

Bottom-up 방식의 분자제조기술은 원자를 배열하여 제조하는 방식이다. 분자제조기술이 실용화되려면 내구성, 안정성, 조작성, 다기능구현 가능성이 있는 분자구축블록(molecular building block)을 개발하고 복잡한 구조를 조립할 수 있는 능력이 필요하다. 대량의 병렬 나노로봇이나 주사 나노탐침을 사용하여 100~10,000개의 분자로 구성된 구조를 조립할 수 있을 것이다.

분자제조기술연구는 매우 유망한데 많은 핵심기술이 개발되고 있고, top-down 마이크로전자 제조기술의 발전으로 나노크기의 작업이 용이해지고 있고, 분석기술, 컴퓨터분석기술의 발전에 의해 나노구조에 대한 이해 수준이 높아졌기 때문이다.

향후 기술발전의 특징

바이오·나노·재료기술과 IT기술은 각각의 고성장미래, 지성장 미래, 영향, 촉진요인, 장애요인에 의해 서로 영향을 미치게 된다. IT와 바이오기술도 서로 촉진요인으로 작용한다. 상호 관계는 다른 기술에의 의존성을 나타내지만, 중심적인 촉진요인이 존재한다



면 결합된 영향은 기술의 발전을 촉진할 것이다.

기술동향 검토에 의해 많은 메타트렌드(meta-trend)가 관찰되었다. 주요 메타트렌드는 다음과 같다.

- 기술의 다학제화 특성
- 변화속도의 가속 : 컴퓨터기술의 발전으로 컴퓨터 제품은 2-3년 만에 쓸모 없게 된다. 의료장비는 시작품이 제작되는 순간 쓸모없게 되기도 한다.
- 사회적, 윤리적 우려의 가속 : 신기술이 환경과 생명체를 조작하는 능력이 커질수록 프라이버시, 지적재산권, 환경보전 등 사회적, 윤리적 우려는 급증한다.
- 교육의 폭과 깊이에 대한 요구 증가 : 기술의 빠른 변화속도는 계속교육에 대한 필요성을 증대하고, 기술의 학제적 특성은 R&D뿐 아니라 노동인력에 요구

되는 기능도 변하게 한다.

- 수명연장 : 인구의 증가, 노인에 대한 복지, 퇴직자 문제 등 많은 이슈가 나오게 한다.
- 침해되는 프라이버시 : 인체내장형 센서, DNA 정보, 질병감수성을 나타내는 유전자 프로파일, 인터넷으로 접속이 가능한 개인정보 데이터베이스, 기타 IT 기술 등에 의해 개인의 프라이버시는 침해될 수 있다.
- 계속되는 세계화 : 세계화는 인터넷, 등에 의해 가속될 뿐 아니라 민첩생산과 같은 기술은 개발도상국이 글로벌한 제조기지가 될 수 있는 가능성을 제공한다.
- 국제적 경쟁 : 개발중인 첨단기술에 대한 국제경쟁을 고려하면, 가능성은 모든 지역에 존재한다. 국제적 저작권보호 체계, 세계화, R&D 지원 등은 강화될 것이다.

표. 기술혁명: 트렌드 분야, 메타-트렌드, 그리고 "ticket"

과거 기술	현재 기술	미래 기술
트렌드 분야		
금속 및 세라믹 공학과 생물학의 분리 선택적 품종개량 소규모 집적 미크론 리소그라피 메인프레임 스탠드얼론 컴퓨터	복합재료와 고분자 바이오재료 유전자 삽입 VLSI 서브미크론 리소그라피 PC 인터넷접속 기계	스마트재료 바이오/유전 공학 유전공학 Ultra/기가스케일 집적 나노-조립 마이크로 가전 네트워크 가전
메타-트렌드		
단일학제 마이크로시스템 국가적 물리적	복수/계층적 학제 마이크로시스템 지역적 정보	다학제(multi-disciplinary) 나노시스템 글로벌 지식
기술혁명 진입 "Tickets"		
무역학교 일반대학 국내 조달 제품 자본(\$)	고도의 특수 훈련 특정 학위 국내 조달 부품 대자본(\$\$)	다학제적 교육 다학제 학위 국내 자원 맞춤형 제품 혼합



학제 기술혁명은 기술간의 시너지와 상호협조에 의해 획기적인 진보와 새로운 응용분야와 개념이 발전하는 것을 가능하게 한다. 메타트렌드는 기술트렌드의 성격을 규정하고 기술혁명을 탄생하는 프레임워크를 제공한다.

맺는말

매우 광범위한 분야의 기술트렌드에 대해 주마간산식으로 살펴보았다. 현재와 같은 시대에는 다분야의 발전상황을 알기가 예전보다 어려워졌지만, 복합적인 지식을 보유할 필요성은 더욱 높다고 할 수 있다.

산업혁명을 넘어서 광범위하고 다학제 기술혁명은 세계를 변화시키고 있다. 정보기술은 이미 우리와 생활을 변화시켰고 재료와 나노기술의 도움으로 계속된 것이다. 바이오기술은 생명체를 혁신시키고, 재료와 나노기술은 예측하지 못했던 능력을 갖는 새로운

기기를 개발할 것이다. 이 기술들은 서로 인편이 깊고 기술혁명을 다학제적인 성격을 갖게 하고, 각 분야의 발전을 가속시킬 것이다.

오늘날 기술의 발전은 전세계에 걸쳐 광범위한 영향을 미칠 것이다. 세계 각국의 수용태세, 투자, 정책결정에 의해 다른 영향을 미칠 것이다. 혁명을 받아들인 사회는 변화될 것이고 세계화로 바로 다른 사회의 삶의 환경도 변하게 하여 결국에는 세계적인 영향을 미칠 것이다. 이러한 진보가 세계부대에서 역할을 하게 되면서 세계는 큰 변화를 겪게 될 것이다.

앞으로의 미래는 BT, NT, 재료기술 IT 분야 만이 아니고 더 다양한 분야의 학문들이 영역이 부너지고 통합화가 될 것이다. 특히, 학제간 연구(multidisciplinary)가 주도하는 기술혁명의 시대가 도래했다고 보여져 우리나라의 과학기술자, 정부관료, 회사 및 일반 개인들은 기술분야에 대해 보다 넓은 시야를 가지고 미래를 대비할 필요가 있다. **표준**

