

융합기술분야 연구개발 활성화 위한 정책제언

유 경 만

kistep

- 연구 배경 / 1
- 융합기술의 의미 / 3
- IT, BT, NT의 발전전망 / 8
- 14대 유망 융합기술 / 14
- 다학제적 연구의 활성화 / 21
- 정책 제언 / 25
- 참고문헌 / 27

발 간 사

미국, 유럽 등 주요 선진국들은 최근 과학기술의 새로운 패러다임으로 부각되고 있는 융합기술을 고부가가치 창출에 필요한 첨단기술로 인식하고 융합기술 육성을 적극적으로 추진하고 있으며, 우리나라도 아직 발전 초기단계에 있는 융합기술에 의한 국가경쟁력 확충과 미래 성장동력 창출을 위해서 전략적인 융합기술 발전방안을 마련하고 있다.

이에 kistep은 국가차원의 융합기술 발전방안 추진에 있어 정책적 기초를 마련하고자 본 이슈 페이퍼를 통해 과학통합과 기술융합 현상을 진단하고, 융합기술에 대한 정의를 명확히 하였으며 유망한 융합기술들을 도출하였다. 특히, 융합기술을 위한 다학제적 연구의 활성화 방안을 제시함으로써 장기적 관점에서 효과적인 정책 수립을 위한 토대를 구축하고자 하였다.

본 연구의 결과는 향후 융합기술을 육성하고, 국가차원의 융합기술개발성과를 제고하기 위한 정책을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 아무쪼록 본 연구의 결과가 융합기술에 대한 명확한 이해와 효과적인 발전전략 수립에 조금이나마 기여할 수 있기를 기대한다.

마지막으로 본 이슈페이퍼의 내용은 필자의 견해이며, kistep의 공식적인 의견이 아님을 밝힌다.

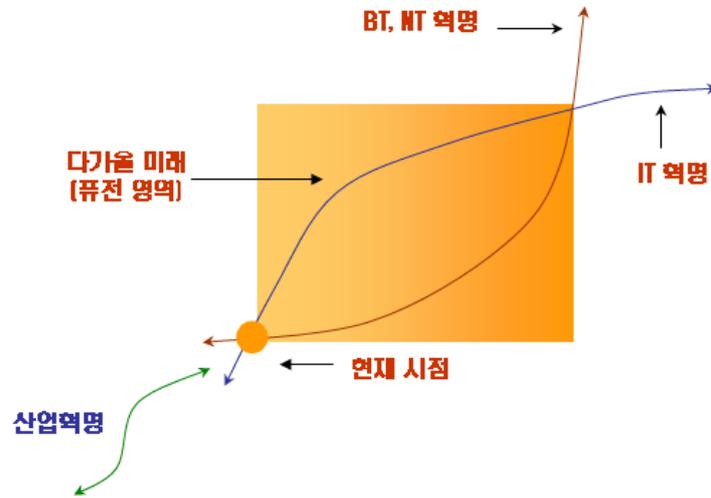
2006년 11월
한국과학기술기획평가원
원장 유희열

1 연구 배경

■ 세계는 현재 과학기술의 새로운 르네상스 시대에 들어서고 있음

- 16세기의 르네상스가 가능하게 하였던 수렴적, 융합적, 총체적 접근이 지금 21세기 인류 문화의 발전을 위하여 다시 절실히 요청되고 있음
 - 제2의 르네상스시대 도래
 - ※ 예시 : 팜페라, 퓨전전자현악, 퓨전레스토랑, 방카슈랑스 등
- 최근 수십년간의 연구를 통해 자연은 근본적으로 하나의 뿌리임을 더욱 깊이 인식하게 되면서 일련의 새로운 원리와 이론을 바탕으로 더욱 고도화된 수준에서 르네상스 정신¹⁾을 다시 살릴 필요성이 부각됨
- 지금까지 세부 영역의 분화 및 전문화 중심으로 발전해온 과학기술이 더이상 독자적으로 진행되어서는 효율적 발전이 이루어질 수 없음을 크게 인식하게 됨
- 그 결과, 21세기에는 동종기술 영역의 한계를 극복하고, 이종기술의 장점과 효용성을 결합하여 새로운 수요 및 시장 창출을 위한 독특한 과학기술의 패러다임이 등장함
 - 1980~1990년대에 시작된 반도체, 컴퓨터, 커뮤니케이션 기술혁명과 2000년대에 시작된 바이오, 나노 기술혁명의 중첩되는 영역에서 기존 과학기술 한계를 극복하려는 유인이 강하게 작용함
 - 지식기반경제의 새로운 혁신 방법론인 융합기술 출현

1) 르네상스 정신 : 르네상스 시대에 예술, 공학, 과학, 문화 등 모든 분야는 동일한 패러다임과 동일한 지적 원리를 공유했음



- 융합기술은 10년~15년 이후 세계 경제를 선도할 신기술로서 미국, 유럽연합(EU)의 주요 선진국들은 이미 수년전부터 미래 기술혁명을 주도하기 위해 국가차원의 융합기술 발전방안을 수립
 - ※ 미국 : 인간의 수행능력 향상을 위한 융합기술 발전방안(NBIC, '02)
 - ※ E U : 지식사회 건설을 위한 융합기술 발전방안(CTEKS, '04)
- 국내에서도 급격히 변화하고 있는 국가 융합기술 경쟁력 제고를 위해서 21세기를 주도할 미래 융합기술 확보 필요성이 제기됨

■ 본 이슈페이퍼는 다음과 같은 이슈를 주로 제기하고자 함

- 과학통합과 기술융합의 의미는 무엇인가?
- 신기술이 어떻게 발전하고 있으며, 어떤 융합적 발전들이 전망되고 있는가?
- 최적의 결과를 얻기 위해 어떤 융합기술을 연구해야 하는가?
- 융합기술에 대한 연구를 활성화하기 위해 어떻게 해야 하는가?

■ 이에 따라 본 이슈페이퍼는 융합기술의 연구 활성화를 촉진할 수 있는 방안을 제시함으로써 국가의 R&D 발전전략 수립에 유용한 기초 자료로 활용되기를 기대함

2

융합기술의 의미

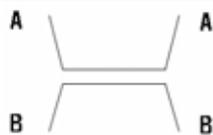
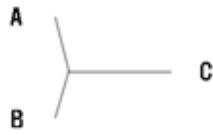
■ 과학기술의 융합은 그 자체로서의 영역이라기보다는 독특한 현상으로 우리나라의 경우 아직까지 명확한 정의 및 범위가 제대로 정립되어 있지 않은 실정임

- 융합, 복합, 조합, 결합, 통합, 접목, 복수학제, 다학제, 컨버전스, 퓨전 등 다양한 용어가 혼동되어 사용되고 있음

■ 융합기술은 서로 다른 분야의 공동연구인 복수학제 연구보다 진일보한 것으로, 공통의 목표를 해결하기 위해 성질이 다른 기술들간의 화학적 결합을 뜻하는 다학제적 연구 분야를 말함

- 복수학제 연구(Multidisciplinary Research) : 개별적인 기여를 하는 2개 이상의 학문 분야를 통해 연구하는 방법
 - 복수학제 연구에서는 연구자들이 각자의 분야에서 개별적으로 연구를 하면서도 연구시설·장비와 연구추진방식을 서로 공유함
- 다학제적 연구(Interdisciplinary Research) : 단일학문 분야로는 풀 수 없는 문제의 해결을 위하여 2개 이상의 학문으로부터 나오는 정보, 데이터, 기술, 도구, 관점, 개념, 이론 등을 결합하여 연구하는 방법

〈복수학제 연구와 다학제적 연구의 비교〉

분 류	공통점	차이점	
복수학제 연구	문제해결을 위해 개별 학문(기술)분야 A, B가 사용됨		문제가 해결된 후에 개별 학문(기술)분야 A, B에 변화 없음
다학제적 연구			

- 자연의 복잡성, 과학기술 한계영역에 대한 도전, 미지의 학문간 경계영역을 탐구하고자 하는 연구자들의 호기심, 경제사회문제 해결에 대한 수요, 산업기술적 파급효과가 큰 혁신기술의 출현 등이 다학제적 연구를 수행하도록 하는 원인으로 작용함
 - 나노기술(Nanotechnology), 유전체학(Genomics), 단백질체학(Proteomics), 신경과학(Neuroscience) 등의 연구에서 다학제적 접근이 요구되고 있음
- 과학기술분야간 경계에서 이루어지는 급격한 기술적 진보를 통해 과학적 도구, 분석론, 새로운 물질 등이 만들어지며, 이처럼 다학제적 영역에서의 혁신적인 움직임은 학문간 통합을 가속화하고 있음
- 다양한 분야의 연구자들이 서로의 경계를 넘어 새로운 분야를 형성하면서 과학기술적 큰 성과가 발생됨
 - 실제로 많은 부분의 연구성과가 다학제적 연구를 통해 이루어졌음
 - ※ 예시 : DNA구조 발견, MRI, 레이더, 인간염기서열분석 등

■ 또한, 미래사회의 수요와 경제 및 시장의 원리에 따라 기술의 융복합화가 자발적으로 일어나고 있으며 다음과 같은 차이로 서로 구별이 가능함

- 기술융합화 : 화학적 결합으로 인해 개별요소기술들의 특성이 상실되면서 전혀 새로운 특성을 갖는 기술이 창출되는 현상
- 기술복합화 : 개별요소기술들의 물리적인 결합으로 기존산업의 한계를 극복해나가는 과정에서 일어나는 공동 기술혁신 현상

〈기술융합화와 기술복합화의 비교〉

기술융합화	기술복합화
기술관점 신기술 개발 (A+B=C) 혁신성, 독창성 새로운 시장 형성 태동기술(Emerging Tech.)	산업관점 기존 제품/서비스의 고도화 (A+B=B' 또는 A+B=AB) 향상성 기존시장의 유지 및 확대 개선기술(Improving Tech.)

■ 기술의 융합이 일어나는 형태도 동종기술간 융합과 이종기술간 융합으로 구분할 수 있음

- 동종기술간 융합 : 같은 기술 분야 내에서 일어나는 다기능 위주의 병합성 융합을 말함
 - IT분야에서 융합은 전화, 디스플레이 화면, 컴퓨터, 인터넷 접속, 비디오카메라 모두가 단일기기에 병합되듯이 다기능성을 지칭함
 - ※ 예시 : 디지털 컨버전스(디지털을 매개로 가전기기, 정보, 통신, 콘텐츠, 서비스 등이 서로 유기적으로 합쳐지는 것으로 복합기, 카메라폰, 휴대용PC, IPTV, 휴대폰뱅킹, 텔레메틱스 등이 여기에 속함)

- 이종기술간 융합 : 서로 다른 기술 분야 내에서 일어나는 과학기술적 문제 해결 위주의 결합성 융합을 말함
 - 최근의 융합기술은 바이오인포매틱스, 휴먼인터페이스, 나노바이오센서 등 IT, BT, NT간 화학적 결합을 의미하는 것이 가장 많음
 - ※ 예시 : 나노로봇(혈류를 따라 항해하면서 나노컴퓨터에 저장된 바이오 정보를 토대로 병원균을 판단하고 이를 즉시 박멸하는 나노크기의 로봇 내과의사)



■ **주요 선진국의 융합기술에 대한 정의는 자국의 기술경쟁력 및 사회문화적 특성에 따라 다음과 같이 설정하고 있음**

- 미국 : NT, BT, IT, CS(인지과학)의 4가지 첨단기술간에 이루어지는 상승적 결합으로 정의하며 NBIC융합 위주의 한정된 범위를 설정
 - ※ Nano-Bio-Info-Cogno(NBIC)
- EU : 공통의 목표를 추구하면서 서로에게 가능성을 주는 기술 및 지식체계로 정의하며 미국의 NBIC 이외에 인문사회를 포함한 포괄적인 범위를 설정
 - ※ Nano-Bio-Info-Cogno-Socio-Anthro-Philo-Geo-Eco-Urbo-Orbo-Macro-Micro

■ **우리나라의 융합기술에 대한 정의는 국내 과학기술역량과 경제사회적 관심을 고려하여 IT, BT, NT의 융합위주로 한정하고자 함**

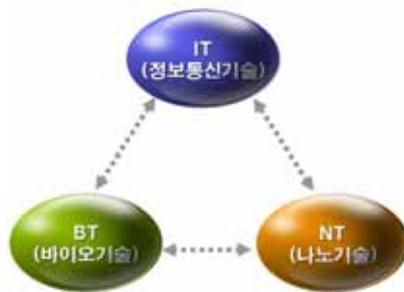
- IT, BT, NT를 중심으로 한 융합기술은 신산업의 경쟁력 있는 제품·서비스가 개발되는 발원지로 무한한 가치창출이 가능함
 - 융합기술에 의해 창출되는 시장은 새로운 Blue Ocean 영역
 - ※ 한국은 IT와 BT의 융합을 바탕으로 신산업/신시장을 창출해야 하며, 한국의 미래는 융합기술에 달려 있다.(앨빈 토플러, '05.9.3)
- 대표적인 사례로 BT의 인간유전체 염기서열 해독을 기반으로 하는 첨단의료기기 활용 등에 초고속·대용량 정보처리와 같은 IT의 접목이 필수적이며 여기에 미래 핵심요소기술인 NT가 가세하여 IT, BT, NT간 활발한 기술융합이 일어나고 있음

■ **융합기술(Converging Technology)의 정의**

IT, BT, NT의 첨단 신기술²⁾간 접목을 통해 그동안 넘지 못했던 과학기술적 한계를 극복함으로써 경제와 사회에 혁명적 변화를 가져오는 기술

2) 여기에서 신기술은 미래유망신기술(6T) 중 정보통신기술(IT), 바이오기술(BT), 나노기술(NT)를 지칭하며, 공동의 목표(수요)를 추구를 위해 서로 가능성을 열어주어 기존산업을 혁신적으로 개선시킬 수 있는 구현기술(Enabling Technology)로 작용함

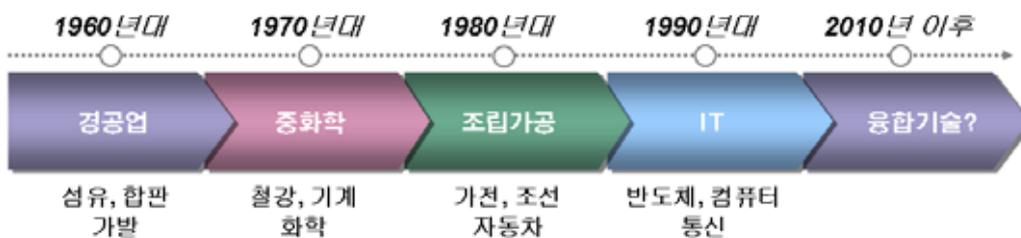
- 융합기술이란 최근 급속히 발전하고 있는 3가지 과학기술분야(IT, BT, NT, 이하 IBN)의 상승적인 결합(Synergistic Combination)을 말함
 - 진보된 컴퓨터기술과 통신을 포함하는 정보통신기술
 - ※ 예시 : 컴퓨터, 반도체, 무선이동통신, 디스플레이, 인터넷 등
 - 유전공학과 의용생명공학을 포함하는 바이오기술
 - ※ 예시 : 유전체학, 단백질학, 분자생물학, 세포공학, 조직공학 등
 - 첨단 재료공학과 나노과학을 포함하는 나노기술
 - ※ 예시 : 나노재료, 나노구조, 나노소자, 나노공정, 나노기계 등



〈IBN의 3가지 축〉

향후 IT(정보통신기술)와 BT(바이오기술), NT(나노기술)가 하나로 융합된 퓨전 시대가 펼쳐질 것이다.(삼성전자 황창규 사장, 서울디지털포럼 '06.5.26)

- 우리나라는 IBN의 2가지 혹은 3가지 신기술을 결합하여 전략적으로 집중 육성함으로써 과학기술적 진보를 크게 앞당길 수 있으며, 기존 경제 및 사회에 새로운 혁명적 변화를 가져와 IT이후에 국가 신성장 동력원이 될 것으로 기대됨



〈국내 주력산업의 변천과정〉

3 IT, BT, NT의 발전전망

■ 미국 RAND 연구소는 최근 2020년까지 세계 기술발전 추세와 전망 및 국가별 과학기술 역량을 평가한 2020년 세계 기술혁명에 관한 보고서³⁾를 발표('06.6)

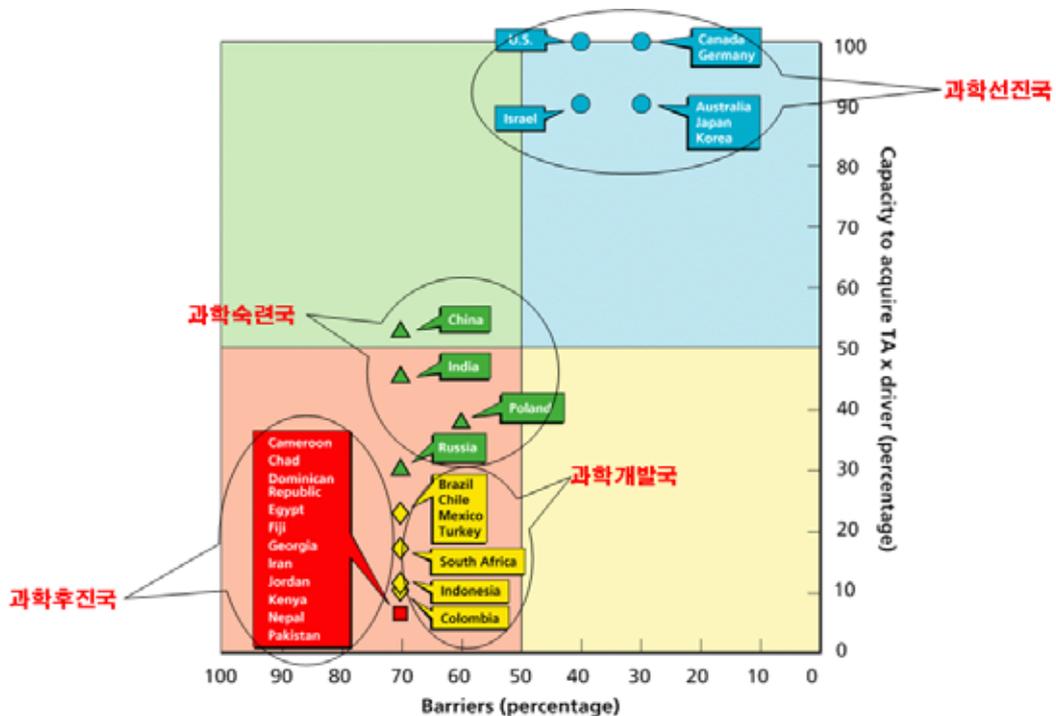
- 세계적인 기술변화 추이와 이에 따른 사회적 영향, 기술성, 시장성을 고려하여 2020년까지 개발되고 실행될 수 있는 16개 기술응용분야를 선정
- 세계의 기술발전은 대부분 IT, BT, NT 등의 기술이 융합되는 기술응용의 형태로 이루어질 것으로 전망

〈선정된 16개 기술응용분야에 포함된 IT, BT, NT〉

16개 기술응용분야	IT	BT	NT
유전자조작작물		○	○
초고속 바이오분석기기	○	○	○
약물전달	○	○	○
새로운 진단·수술	○	○	○
조직공학(Tissue Engineering)		○	○
농어촌지역의 무선통신	○		○
유비쿼터스 RFID	○		
양자암호해독	○		○
유비쿼터스용 정보통신기기	○		○
침투형 센서(Pervasive Sensors)	○	○	○
웨어러블 컴퓨터	○		○
에너지절약 조립식 저가주택	○	○	○
하이브리드자동차(Hybrid Vehicles)	○		○
저가태양에너지(Cheap Solar Energy)		○	○
정수용 필터 & 촉매		○	○
친환경 제조 (Green Manufacturing)	○	○	○

3) 미국 에너지성(DOE)과 CIA 산하 정보기술혁신센터(ITIC)의 후원을 받아 작업을 수행, 국가정보위원회(NIC)에 최종 보고서(제목 : The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses)를 제출

- 세계 29개국⁴⁾을 대상으로 하여 각 나라가 16개 기술응용분야 가운데 향후 몇 개 분야를 확보할 수 있을 지에 대한 분석⁵⁾ 실시
- 그 결과, 과학기술역량 수준에 따라 다음과 같이 4개 그룹⁶⁾으로 구분
 - 과학선진국(7개국) : 미국, 캐나다, 독일, 한국, 일본, 호주, 이스라엘
 - 과학숙련국(4개국) : 폴란드, 러시아, 중국, 인도
 - 과학개발국(7개국) : 터키, 인도네시아, 남아공, 칠레 등
 - 과학후진국(11개국) : 그루지야, 네팔, 파키스탄, 이란 등



〈16개 기술응용분야 추진을 위한 국가의 역량 비교〉

- 4) 지리상 위치와 경제개발 수준, 인구규모, 정부형태, 과학기술역량 등을 고려하여 전세계를 대표할 수 있는 국가들을 선정
- 5) 각국의 자본, 인프라, 법규정책, 사생활 보호, 정치, 자원사용, R&D투자, 교육, 인구규모, 국정관리안정성 등의 요소를 고려
- 6) 16개 기술응용 분야 가운데 향후 14개 이상을 확보할 것으로 전망되는 국가는 선진국, 10개 이상은 숙련국, 6개 이상은 개발국, 5개 이하는 후진국으로 각각 분류

- 전체 29개국 중 한국의 과학기술 혁신역량은 4위(지식경제지수는 호주, 미국, 캐나다, 독일, 일본, 이스라엘에 이어 한국이 7위를 차지)
- 한국의 장점으로서는 비용·자본, 인프라, 자원사용·환경, R&D투자, 교육·문자해독율, 인구규모와 구조 등을 들고 있으며, 단점으로는 법규·정책, 사회가치·여론·정치, 국정관리·안정성 등을 지적하였음

〈국가별 과학기술 혁신역량 순위〉

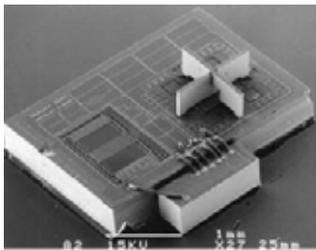
순위	국가명	지식경제지수 ¹	혁신역량	경제유인체제 ²	교육	정보인프라
1	United States	8.81 (2)	9.91	7.97	8.28	9.09
2	Japan	8.41 (5)	9.78	7.42	8.09	8.35
3	Canada	8.67 (3)	9.19	8.21	8.53	8.73
4	South Korea	7.84 (7)	9.13	5.39	7.86	9.00
5	China	4.95 (18)	9.00	2.55	3.74	4.50
6	Germany	8.47 (4)	8.88	8.10	7.88	9.01
7	Russia	6.26 (10)	8.88	3.34	7.88	4.91
8	Australia	8.78 (1)	8.82	8.31	9.11	8.87
9	India	3.97 (23)	8.59	2.91	2.33	2.06
10	Brazil	5.82 (13)	8.08	3.94	5.75	5.50
11	Israel	7.44 (6)	7.44	7.31	6.78	8.21
12	Poland	7.05 (8)	7.55	5.84	8.22	6.59
13	Mexico	5.77 (12)	7.37	5.79	4.43	5.51
14	Turkey	5.46 (15)	7.19	4.79	4.42	5.44
15	South Africa	5.21 (14)	6.54	4.55	4.47	5.26
16	Chile	6.53 (9)	5.67	7.73	6.13	6.59
17	Indonesia	3.68 (21)	5.68	2.66	3.54	2.86
18	Kenya	2.62 (24)	5.31	1.29	2.07	1.83
19	Jordan	4.81 (11)	4.64	4.23	5.55	4.80
20	Colombia	4.10 (19)	4.61	2.79	4.40	4.60
21	Iran	4.18 (20)	4.73	3.27	4.00	4.69
22	Pakistan	2.05 (25)	4.46	1.29	1.05	1.43
23	Georgia	3.88(16)	4.09	1.32	6.37	3.37
24	Egypt	3.84(17)	3.98	3.34	4.47	3.56
25	Nepal	1.65(26)	2.52	1.97	1.60	0.53
26	Cameroon	1.41(27)	1.78	0.55	1.91	1.38
27	The Dominican Republic	2.96(22)	0.35	2.65	3.93	4.92

¹ ()안은 숫자는 국가별 지식경제지수에 대한 순위를 의미함

² Economic Incentive Regime

■ 2020년까지의 IT기반 트렌드

- 유기체 메모리
 - 저장 용량의 향상, 제작의 용이성, 저비용, 저전력 양상으로 발전될 것임
- 데이터베이스
 - 센서가 도처에 존재하여 인체의 건강 정보를 감지하여 내과의사에게 전달하고 내과의사는 데이터베이스로부터 추가 정보를 추출하여 진료하게 될 것임
- 스마트 더스트
 - 전자장치는 점점 소형화·경량화 되어지고 무선·모바일화 될 것임
- 로봇
 - 전동폴리머 및 생체의공학의 발달로 인간과 매우 흡사해질 것임
 - 인공지능기술은 지속적인 발전이 이루어지나, 최종 목적지까지는 도달하지는 못할 것으로 예측됨
- 신체적 장애 극복
 - 신경공학의 발달로 환자나 장애자의 삶의 질을 향상 시킬것임
 - 뇌에 대한 연구는 정보통신기기를 이용한 신체 작용과 인공보철물의 조절 기능을 향상시킬 것임



〈스마트 더스트〉



〈생체모방의 전동폴리머〉

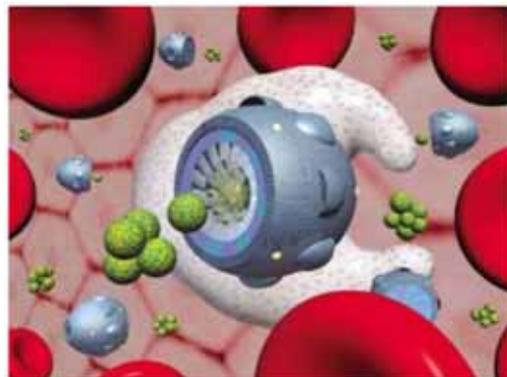
■ 2020년까지의 BT기반 트렌드

- 생물정보
 - 맞춤형의학, 의료영상, 신약개발 등에 응용이 가능하게 됨
 - 의학적 진보가 예상되나 개인 프라이버시 문제가 중요한 사회적 문제가 될 것임

- 유전자변형체
 - 작물뿐만 아니라 축산분야에서도 급격한 진보가 예상됨
 - 의약품, 이종장기, 생체재료, 웰빙식품 등의 생산에 응용이 가능하게 될 전망
- 의용생체공학
 - 영상기술, 로봇을 이용한 의료행위 등의 분야에 기술적 진보가 이루어질 것임
 - 인공 조직·기관이 각광을 받을 전망이다
 - 생체칩기술로 인해 정신의 기능이 크게 증가될 것으로 보임
- 생체모방기술 및 응용생명과학
 - IT를 활용하여 생물공학 및 생체모방기술의 디자인이 가능해질 것임
 - 합성생물학을 통한 새로운 개체의 디자인이 가능해질 것임
- 나노약물전달시스템
 - 용해성 증가, 독성 감소 및 특정 세포로의 전달이 증가할 것으로 보임
 - 효능, 투여경로, 정확한 전달, 안정성, 환자의 편이성 등의 개선이 가속화될 것임
- 바이오소재
 - 생체적합성이 뛰어난 하이드로겔, 폴리헴(인공혈액) 등의 바이오소재 개발이 조직공학에서 유망하게 될 것임
 - 초분자적 바이오소재인 덴드리머가 태양에너지의 포집에 막대한 잠재력을 보유하게 될 것임



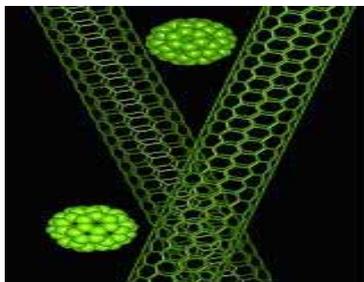
〈인공장기〉



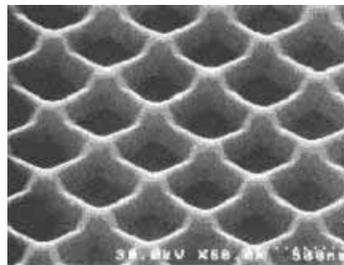
〈나노약물전달시스템〉

■ 2020년까지의 NT기반 트렌드

- 나노바이오센서
 - 국가안보와 통신을 위한 화학적·생물학적 센서가 활발히 개발될 것임
 - 나노센서의 발전으로 건강과 비상시를 대비한 생체신호 모니터링 장치가 개발될 것임
- 전력
 - 고성능 전지 또는 전력장치가 개발되고, MEMS·NEMS 또는 전기 및 하이브리드자동차 등과 결합된 상품이 상용화될 것임
 - 나노물질을 이용한 고효율 태양전지가 개발될 전망이다
- 전자장치
 - 고전적 CMOS회로는 물리적 한계에 도달하므로 16나노미터의 기술적 한계를 뛰어넘기 위하여 탄소 나노튜브, 분자스위치 등의 첨단 CMOS기술이 개발될 것임
 - 경제적 제약에 의하여 첨단 CMOS의 대량생산은 아직 이루어지지 못하지만, 집적회로, 프로세서, 전력, 메모리, 저장장치 등의 성능향상이 이루어질 것임
- 나노바이오소재
 - 인공신체기관의 생체적합성이 증가하고 거부반응은 감소될 것임
 - 나노바이오소재는 정확한 약물전달시스템 개발에 중요한 역할을 담당하며 적절한 약물 배출 속도를 조절하게 될 것임



〈탄소나노튜브〉

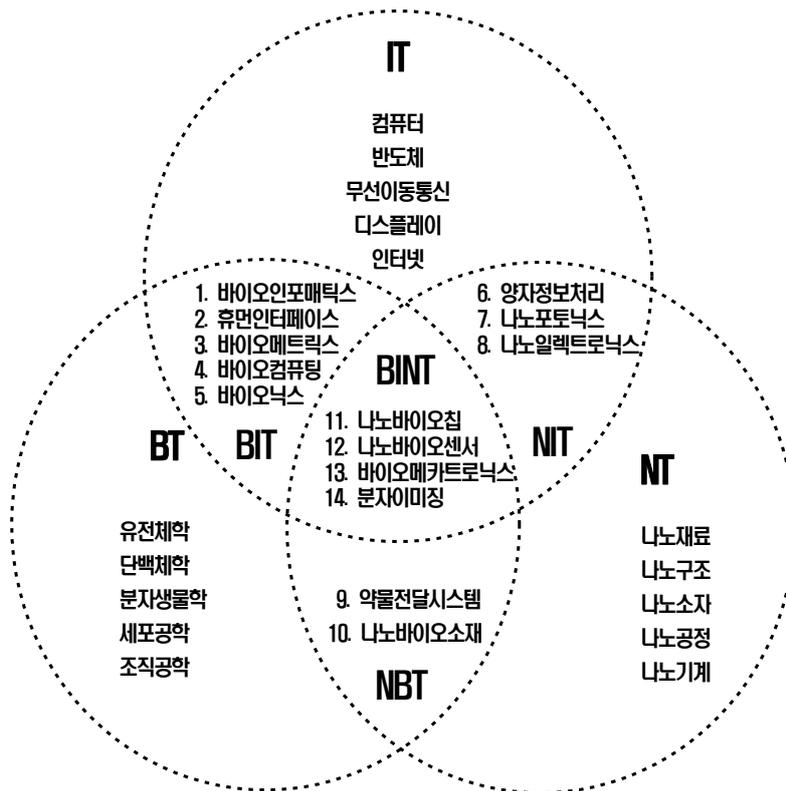


〈양자점 네트워크〉

4 14대 유망 융합기술

■ IT, BT, NT 세 기술이 융합된 기술은 어느 기술의 입장에서 보고 어느 기술을 중시하느냐에 따라 IBT, BIT, INT, NIT 등으로 달리 불림

- 기술발전의 수준, 국가의 전략적 투자, 경제적 활용성을 염두에 둘 때는, IT, BT, NT 순서이고, 이를 중시하는 시각이 강조될 수도 있음
- 기술적인 기회와 차세대 응용이라는 관점에서 본다면 IT, NT의 BT활용이라는 전략도 선택 가능할 것임



〈IT-NT-BT의 융합기술〉

■ 성장성과 수익성의 측면에서의 유망한 14개 융합기술은 다음과 같음

- (1) 바이오인포매틱스(Bioinformatics) : 생명현상 관련 연구에서 나오는 다양한 정보를 수집, 관리, 분석하는 데 필요한 기술
- (2) 휴먼인터페이스(Human Interface) : 생체정보를 이용하여 인체정보의 획득하고 처리하며, 감성을 인식하고 표현하며, 뇌파를 이용하여 컴퓨터와 의사소통하기 위한 기술
- (3) 바이오메트릭스(Biometrics) : 지문, 성문(Voice print), 홍채(Iris), 근육 등 바이오데이터를 활용하여 암호 추출·처리 및 유출 방지를 위해 정보 관리, 암호화, 인증 등을 수행하는 기술
- (4) 바이오컴퓨팅(Bio Computing) : 디지털 전자회로 대신에 DNA와 효소를 이용하여 연산을 수행하거나 분자를 직접 취급하여 DNA데이터의 입출력이 가능하고 에너지 소비가 극히 적은 신개념의 생물학적 분자컴퓨터 기술
- (5) 바이오닉스(Bionics) : 인체를 인공적으로 만든 재료나 장기로 대체하거나 인간의 마음이나 정서를 컴퓨터의 정보로 바꿔주는 기술
- (6) 양자정보처리(Quantum Information Processing) : 디지털 기술의 한계를 극복하고, 양자현상을 정보전달의 기본단위로 활용하는 양자비트(Qubit, 큐비트)를 이용하여 현재의 디지털컴퓨터로는 계산이 어렵거나 불가능한 연산을 수행하고 대용량의 정보를 처리하는 기술
- (7) 나노포토닉스(Nanophotonics) : 수십에서 수백 나노크기의 구조에서 나타나는 양자역학적인 특성과 광학적 특성을 이용하여 기존 광소자의 한계를 극복하고 신기능 광소자를 개발하는 기술
- (8) 나노일렉트로닉스(Nanoelectronics) : 나노기술의 진보에 의해 만들어진 수십에서 수백 나노크기의 전자소자를 포함하여 다루는 전자공학 기술
- (9) 약물전달시스템(Drug Delivery System) : 치료부위에 질병 치료용 약물을 효율적으로 전달함으로써 약물의 부작용을 줄이고, 약물에 대한 환자의

순응도를 높이며, 효능 및 효과를 극대화할 수 있도록 제형을 설계하고 약물치료를 최적화하는 기술

- (10) 나노바이오소재(Nano Bio Material) : 생체활용을 목적으로 하는 나노소재 및 나노 크기의 바이오소재의 개발 및 활용을 가능하게 하는 기술
- (11) 나노바이오칩(Nano Bio Chip) : 나노기술을 이용하여 DNA, 단백질, 항체, 당체 또는 세포 등의 생체물질들을 유리, 실리콘, 고분자 등의 고체기질 위에 고밀도로 집적화하여 반도체칩 형태로 만드는 기술
- (12) 나노바이오센서(Nano Bio Sensor) : 나노기술을 이용한 생체감지물질 (Bioreceptor)과 신호변환기(Signal transducer)로 구성되어 분석하고자 하는 물질을 선택적으로 감지하는 장치를 만드는 기술
- (13) 바이오메카트로닉스(Biomechatronics) : 인체치료와 기능 회복 또는 강화를 위해 인체와 첨단 메카트로닉스와의 상호작용을 연구하여 최적의 장비 및 시스템을 개발하는 기술
- (14) 분자이미징(Molecular Imaging) : 세포내에서 일어나는 유전자 발현, 생화학적 변화, 생물학적 변화 등 여러 분자수준의 변화를 영상으로 분석·평가하여 이로부터 진단이나 치료에 사용되는 임상정보를 추출하고 처리하는 기술

■ 2005년 정보통신부는 융합기술 각 분야에 대한 국내외 경쟁력을 검토한 바 있으며, 과학기술부는 융합성이 강한 미래국가유망기술 21개에 대한 기술수준평가를 실시한 바 있음

- 국내 융합기술은 발전 초기단계로 선진국의 최고기술 수준 대비 50~80% 수준으로 전반적으로 낮은 편임
 - 바이오인포매틱스, 바이오메트릭스, 나노일렉트로닉스는 세계수준의 80% 정도로 비교적 높은 수준임
 - 휴먼인터페이스는 세계수준의 75% 정도이며, 바이오닉스, 나노포토닉스,

나노바이오소재, 나노바이오칩, 바이오메카트로닉스, 분자이미징은 세계수준의 70% 정도임

- 바이오컴퓨팅, 약물전달시스템, 나노바이오센서는 세계수준의 60~65% 정도로 저조하며, 특히 양자정보처리는 50%의 기술수준으로 선진국에 비해 크게 낙후되어 있음

〈14개 융합기술의 국내외 경쟁력 분석〉

융합기술명	단계	기술수준
1. 바이오인포메틱스	도입기	80%
2. 휴먼인터페이스	도입기	75%
3. 바이오메트릭스	도입기	80%
4. 바이오컴퓨팅	발아기	65%
5. 바이오닉스	도입기	70%
6. 양자정보처리	발아기	50%
7. 나노포토닉스	도입기	70%
8. 나노일렉트로닉스	성장기(메모리), 도입기(SoC)	80%
9. 약물전달시스템	발아기	60%
10. 나노바이오소재	도입기	70%
11. 나노바이오칩	도입기	70%
12. 나노바이오센서	발아기	65%
13. 바이오메카트로닉스	도입기	70%
14. 분자이미징	도입기	70%

※ 출처 : 정부통신부 IT-BT-NT 융합기술기획위원회 분석 자료, 과학기술부 2005년 기술수준평가 보고서를 토대로 재구성

■ 14개 융합기술에 대하여 세계 각국의 SCI게재 논문수에 따른 우리나라의 과학기술 역량을 분석한 결과 전체적으로 세계 10위를 차지하였음

- 우리나라 논문수는 1,826건으로 세계 1위인 미국의 논문수(22,774건)에 비해 상당한 격차를 보임
- 그러나, 세계 20위권 국가 중 2001년 이후 논문의 연평균 증가율이 중국 (35.3%) 다음으로 가장 높은 31.9%로 향후 성장가능성이 높음

〈세계 각국의 14개 융합기술에 대한 전체 SCI논문 게재 현황〉

(단위 : 건)

순위	국가명	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	합계	연평균 증가율(%)
1	미국	2,487	3,209	3,583	4,384	4,981	4,130	22,774	11.9
2	독일	677	840	949	1,119	1,304	1,096	5,985	11.1
3	일본	574	729	875	1,014	1,088	939	5,219	11.3
4	중국	310	471	609	922	1,272	1,350	4,934	35.3
5	영국	507	627	669	815	907	778	4,303	9.9
6	프랑스	399	505	549	672	798	656	3,579	11.7
7	이탈리아	303	347	473	539	692	535	2,889	14.1
8	캐나다	229	310	337	480	554	489	2,399	18.0
9	스페인	206	241	282	391	470	454	2,044	17.9
10	한국	131	140	255	367	471	462	1,826	31.9
11	인도	191	199	225	327	400	402	1,744	17.1
12	스위스	172	199	209	258	336	287	1,461	12.0
13	스웨덴	179	208	201	265	280	235	1,368	6.9
14	네덜란드	163	173	200	276	291	252	1,355	10.4
15	호주	162	143	205	248	276	282	1,316	13.2
16	러시아	132	186	198	229	275	202	1,222	11.3
17	브라질	102	136	172	183	241	219	1,053	17.8
18	대만	88	87	144	187	246	248	1,000	25.3
19	이스라엘	121	145	132	169	194	160	921	7.2
20	벨기에	94	131	147	167	193	163	895	13.0

※ 자료 출처 : 한국과학기술정보연구원 제공. 2001년부터 현재까지('06.11.7) SCI 게재논문 6,476,762개를 대상으로 14개 융합기술 관련 논문을 Web of Science를 활용하여 분야별 주제어(논문 Title, 논문 Abstract, 논문 Keywords)를 통해 검색

■ 또한 융합기술별 SCI게재 논문수에 따른 우리나라의 논문 비중과 순위는 다음과 같음

- 전체 순위에서 최고의 위치를 차지한 미국이 역시 14개 모든 융합기술에서 1위를 차지하였음
- 우리나라의 경우, 14개 융합기술 중 총 7개 융합기술(휴먼인터페이스, 바이오메트릭스, 나노포토닉스, 나노일렉트로닉스, 약물전달시스템, 나노바이오소재,

나노바이오칩이 세계 10위권에 포함되었음

- 그러나, 나노바이오센서(11위)를 제외하고 바이오인포매틱스, 바이오컴퓨팅, 바이오닉스, 양자정보처리, 분자이미징은 20위권에 머물고 있으며, 특히 바이오메카트로닉스는 36위로 최하위권에 머물러 있음

〈14개 융합기술별 SCI 논문 비중 및 순위〉

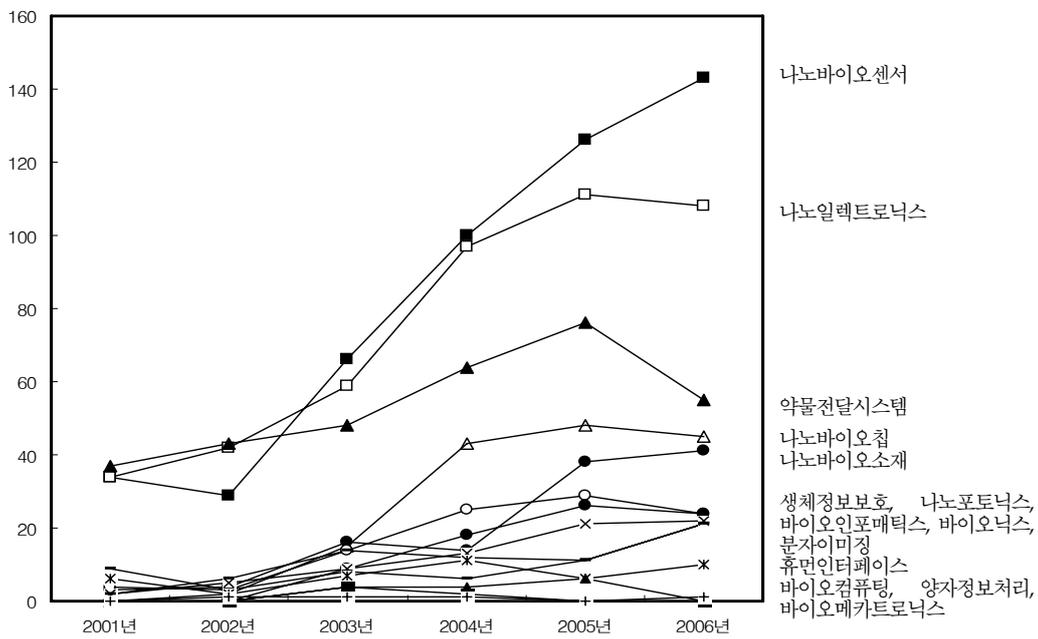
(단위 : 건, %)

분야	전체 SCI 논문수	1위 국가	1위 국가 SCI 논문비중	한국 순위	한국 SCI 논문비중
1. 바이오인포매틱스	5,813	미국	41.29	21위	1.24
2. 휴먼인터페이스	827	미국	39.66	6위	5.08
3. 바이오메트릭스	1,923	미국	26.89	7위	5.15
4. 바이오컴퓨팅	1,361	미국	40.71	21위	1.03
5. 바이오닉스	4,422	미국	34.69	19위	1.49
6. 양자정보처리	787	미국	35.96	20위	0.76
7. 나노포토닉스	1,853	미국	35.35	8위	4.16
8. 나노일렉트로닉스	11,506	미국	32.34	9위	3.92
9. 약물전달시스템	9,073	미국	33.67	10위	3.56
10. 나노바이오소재	2,947	미국	37.87	8위	3.94
11. 나노바이오칩	4,052	미국	37.04	9위	3.78
12. 나노바이오센서	17,675	미국	33.87	11위	2.82
13. 바이오메카트로닉스	860	미국	37.09	36위	0.47
14. 분자이미징	5,792	미국	51.90	19위	1.00

■ 한국의 14개 융합기술에 대한 SCI논문 게재 추이를 보면 다음과 같음

- 2001년 이후 나노바이오센서와 나노일렉트로닉스의 논문이 크게 증가하고 있음
- 약물전달시스템은 2001년부터 2005년까지 꾸준한 증가세를 보이다가 2006년에는 논문수가 다소 감소하는 경향을 보임

- 2001년 이후 나노바이오칩과 나노바이오소재의 논문이 비교적 높은 증가 추세에 있으나, 생체정보보호, 나노포토닉스, 바이오인포매틱스, 바이오닉스, 분자이미징, 휴먼인터페이스가 2001년 이후 조금씩 증가 추세를 보임
- 그밖에 바이오컴퓨팅, 양자정보처리, 바이오메카트로닉스는 논문수가 거의 없는 정체현상을 보이고 있음



〈한국의 14개 융합기술분야에 대한 SCI논문 게재 추이〉

5

다학제적 연구의 활성화

■ 최근 과학기술은 빠른 발전을 위해 서로 결합해야 하는 시기에 놓여 있으며, 융합기술의 특성상 다학제적 연구의 활성화가 무엇보다 중요함

- 혁신적인 아이디어를 위한 노력이 다학제적 연구에 대한 동기를 부여하는 데 필요하며, 다학제적 연구를 독려하는 것이 우리나라 과학기술 발전에 중요한 결과를 낳게 될 것임
 - 이를 위해 대학을 중심으로 융합기술 인력양성을 위해 혁신적 변화가 요구되며 전문학회 및 전문관리기관도 다가오는 도전에 능동적으로 대비하여야 할 것임

■ 다학제적 연구에서 지식을 창출하는 방법

- 대화(Conversation), 연계(Connection) 및 결합(Combination) 강화를 통해 새로운 지식을 창출 → 다학제적 연구의 3C !!

■ 대학생들의 다학제적 연구 경험 증진이 필요함

- 학문분야의 경계에 있는 다양한 교육과정, 사회적 문제를 다루는 다학제 교육과정을 이수할 필요가 있음
- 특정 학문분야를 주로 습득하여 연구의 토대로 하고, 필요한 타 학문분야를 부로 습득하는 방식으로 다학제적 연구에 접근하여야 함
 - 타 학문분야를 습득하는 것은 타 학문분야의 문화를 이해하고 새로운 기법과 기술을 습득하며 다른 연구자와의 네트워크를 구축하는 데 도움을 줄 것임

■ **대학원생들은 전공분야 외에 한가지 이상의 타 분야에 대한 필수지식을 습득하여 경험의 폭을 넓혀야함**

- 다른 분야의 대학원생들과 연구실을 공유하며, 타 분야의 학회나 복수 학문 분야를 대표하는 포스터 세션에 참가함으로써 다학제적 연구의 전문성을 높임
- 이는 신진 연구자들이 타 분야 동료에게 그들의 연구를 소개하는 좋은 기회를 제공하게 될 것임

■ **박사후연구원들은 기업연구소, 국공립연구소 및 정부출연연구소등의 다학제적 연구관련 이벤트나 인턴십에 참여하는 방식으로 다학제적 연구 경험의 폭을 넓혀야함**

- 다학제적 연구에 관심이 있는 박사후연구원들은 다학제적 연구에 호의적인 기관이나 멘토들(Mentors)을 파악할 필요가 있음

■ **다학제적 연구에 호의적인 연구기관의 사례**

- 주요 다학제적 프로그램이나 연구소를 가지고 있는 연구기관
- 부서간 멘토링 관계를 적극적으로 유도하는 연구기관
- 다학제적 연구를 위한 기술, 시설, 장비의 제공에 적극적인 연구기관
- 다학제적 연구 활동에서 상당히 알려진 연구원이나 교수진을 보유하고 있으며 상호교류가 활발한 연구기관

■ **다학제적 연구 분야에서 일하고자 하는 대학교수들은 타 분야 동료들과 네트워크를 강화하며, 다학제적 연구 프로젝트에 적극 참여함으로써 타 분야의 지식과 문화를 다양하게 배우도록 함**

- 타 분야의 수업을 가르치고, 타 분야의 학회에서 활발히 활동할 필요가 있음
- 다학제적 연구를 수행 하고자 하는 대학생, 대학원생, 박사후연구원들의 멘토가 되어주도록 함

■ **대학행정기관은 다학제적 연구와 이에 따른 제도에 대한 장벽을 낮추거나 제거하도록 현재의 정책을 새롭게 개선해야함**

- 승진과 재임용 절차에서 유연성을 더욱 강화하고, 다학제적 연구에 참여한 인력의 기여도를 높게 평가하도록 함
- 전공과목들이 타 학문분야와 어떻게 연관되어 있는 지를 알려주는 내용을 기초교육과정에 포함시키도록 함
- 다학제적 연구자를 강연자로 초빙하여 그동안의 주요 발견들과 최근 연구동향을 소개시킴으로써 다학제적 연구의 가능성을 홍보함
- 다양한 학과 및 단과대학의 교수들이 팀이 되어 가르치는 다학제적 교육과정을 지원하는 정책과 실행방안을 마련함
- 다학제적 연구기법, 다학제적 팀관리기술, 비전공교육을 위한 방법론 등에 대한 교육·훈련을 지원 함
- 다학제적 연구를 지원하기 위한 유연한 자원(시드머니, 지원인력, 연구장비, 연구공간)의 실질적 배정이 이루어지도록 함

■ **전문학회는 개별 연구자가 학제를 넘나들며 탐구하는 것을 권장하고 학회 활동에서 융합기술을 습득하기 위한 기회를 적극 제공해야함**

- 정기학술대회에 다학제적 연구의 발표와 세션을 포함시키고 다학제적 연구자들을 인정하는 특별 포상제도를 마련함
- 학회지 편집자는 다학제적 연구 결과의 출판을 적극 장려하여 새로운 학문을 배우려는 다른 분야의 과학자를 돕기 위한 용어집, 입문서, 지침서, 기타 교재를 제작·배포함
- 또한, 새로운 다학제적 연구분야를 소개하는 연구논문을 많이 허용하고 특정한 다학제적 연구방향에 대한 특별 이슈와 분과를 신설함

■ **전문관리기관은 프로그램과 절차에 있어 다학제적 연구의 특수성을 충분히 인식하고 고려하여 학문 보다는 문제해결을 위한 명확한 연구과제를 지원하는 맞춤형 프로그램을 개발해야 함**

- 다학제적 연구를 촉진하기 위하여 대학, 기업, 연구소간의 행정적인 장벽을 제거하고 협력관계를 증진시키도록 하며 연구동, 대형 장비, 전문인력을 공유하도록 대학을 지원함
- 타 분야에 종사하는 연구자간의 상호 교류를 촉진할 수 있는 다학제적 활동, 회의, 네트워크에 대하여 적극 지원함
- 다학제 학문에 집중하는 연구를 위한 연구년을 지원함
- 단순히 다른 학문 참여자를 추가하는 것이 아니라 진정한 다학제적 연구과제가 되도록 기준을 개발함
- 다른 학문에 대한 연구에 지대한 공헌(성과의 수평적 확산)을 한 연구자에 대하여 포상을 하고 지원함

■ **지금까지의 방안들을 중심으로 다학제적 연구 활성화를 적극 추진하여 융합기술 강국이 될 수 있도록 폭넓은 기회를 개척해 나가야 할 것임**

6

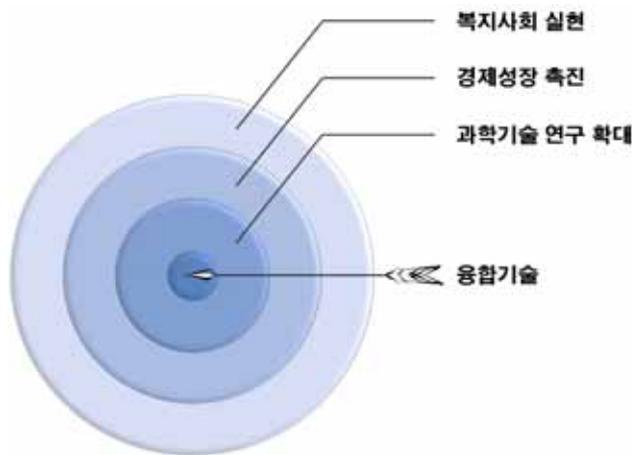
정책 제언

■ 융합기술의 무한한 가능성과 경제사회적 이익을 최대한 창출하기 위하여 각 영역간 경계를 허물고 융합기술 연구의 활성화를 극대화하기 위해 주체별로 적극 노력해야 할것임

- 개인은 적어도 IBN 영역 중 하나의 기술과 다른 인접 영역의 기술을 익혀야 하고, 다른 분야의 연구자들과 협동연구를 수행할 줄 알아야 하며, IBN을 향상시키는 혁신적 프로젝트를 추진하는데 수반되는 위험성을 스스로 감당할 수 있어야 함
- 학계는 기존의 분리되었던 과학 영역들을 수렴하여 IBN 공통의 원칙 하에서 미래 융합기술 인력을 양성할 수 있도록 과학 및 공학 교육과 연구의 틀을 재구성하기 위한 교과과정 개편과 조직개혁을 이루어야 함
- 연구계는 과학기술의 융합으로부터 파생되는 엄청난 가능성의 기회를 최대한 이용하기 위하여, 다른 연구기관들과의 파트너십을 활발히 구축하도록 함
 - 광범위의 개방, 연구자들의 유연성과 이동성 강화, 국제협력, 연구과정에 대한 객관적인 평가를 주요 운영 방침으로 함
- 산업계는 글로벌 경쟁, 더욱 짧아진 제품주기, 빠르게 변하는 고객의 수요 등에 대응하기 위하여 수요지향적인 융합기술을 개발해야 함
 - 기업은 시장의 논리에 따라 비교적 초기부터 다학제 연구를 수행하여 왔으나, 생산, 마케팅과 통합하여 연구개발을 추진하는 것이 더욱 필요하며, 나아가 고객을 프로젝트 개발에 참여시키도록 함
- 정부는 IBN 인프라를 새로 구축하고, 연구기관간 협력연구에 선도적 역할을 담당하며, IBN 융합기술의 성공에 필수적인 기존 신기술분야를 꾸준히 지원하는 동시에 새로운 융합기술 육성에 적극 지원하여야 함

- 융합기술의 발전과 관련된 윤리적, 법적, 도덕적, 경제적, 환경적 요소들을 처음부터 고려하여 관련 IBN 과학자와 공학자, 인문사회과학자들과 다른 전문가 집단 및 시민조직과의 광범한 협동을 이끌어내도록 함
- 기타 비정부조직, 시민운동단체들은 다양한 구성원들의 이익을 극대화하기 위하여 융합기술의 설계와 테스트에 의견을 개진해야 함
 - 법인이나 재단은 그들 특성에 부합되는 영역 내에서 IBN 연구개발에 적극 투자하도록 함
 - 언론은 새로운 융합기술 패러다임의 틀에서 과학기술에 대한 높은 수준의 취재와 보도를 하도록 함

■ **끝으로, 융합기술혁명시대를 맞이하여 실질적으로 뿌리가 같은 과학의 통합 및 기술의 융합 관점에서의 연구활성화는 더 효율적인 경제사회구조를 낳게 될 것임**



- 특히, 앞서 언급한 14대 유망 융합기술은 기존 과학기술의 확장, 국가생산성 촉진, 그리고 국민의 삶의 질 향상에 상당한 기여를 하게 될 것으로 판단되며, 산·학·연·관이 혼연일체가 되어 융합기술의 연구 활성화를 위해 적극 협력해야 할 것임

참 고 문 헌

- 과학기술부·한국과학기술기획평가원(2006), 『2005년도 기술수준평가 보고서』
- 삼성경제연구소(2003), 『산업판도를 바꿀 10대 미래기술』
- 설성수 (2006), 『STRM 기획을 위한 사업화 전략 연구』 기초기술연구회
- 전황수 등(2006), 『IT-BT-NT 기술 융합에 따른 산업육성 전략』, ETRI
- 정진화 등(2004), 『신기술융합화에 따른 산업패러다임 변화와 우리의 대응』, 산업연구원
- Rapporteur (2004), 『Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies』
- Roco 등 (2002), 『Converging Technologies for Improving Human Performance』
- The National Academies (2004), 『Facilitating Interdisciplinary Research』

■ 저 자 프 로 필

■ 유 경 만

- (現) 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 부연구위원
- 미국 코넬대학교 박사후연구원 ('00-'02)
- 고려대학교 이학박사 ('99)
- 연락처 : 02) 589-2808, kmyou@kistep.re.kr

kistep Issue Paper 2006-09

2006년 11월 인쇄

2006년 11월 발행

발행인 유 희 열

발행처 한국과학기술기획평가원

서울시 서초구 양재동 275 동원산업빌딩 8~12층

전화 : 02) 589-2200, 팩스 : 02) 589-2222

<http://www.kistep.re.kr>

組版 및 미래미디어

印刷 TEL : 02)572-4047 / FAX : 02)2057-8445
