

정책연구 2008-17

# 융합기술 전문 인력 양성방안 연구: IT중심 융합기술을 중심으로

이수영 하태정 성양경



## 머 리 말

전 세계적으로 국가경쟁력의 핵심으로서 차세대 기술혁명은 NT, BT, IT 등 신기술 간 또는 이들과 타 분야와의 상승적 결합을 통한 “융합기술”이 주도할 것으로 예측되는 바, 우리나라에서도 국가차원의 「국가융합기술 발전 기본계획」이 수립·추진되고 있다. 선진국 수준으로 원천융합기술의 수준을 향상시키고, 미래 주도형 융합 신산업을 발굴·육성하기 위해서 이를 담당할 융합기술 전문인력의 양성이 그 어느 때보다 중요하다. 그럼에도 불구하고, 융합기술 연구개발을 담당하는 융합기술 전문인력이 갖추어야 할 핵심역량은 무엇인지, 이들을 위한 융합기술 교육의 내용과 구성은 어떠해야 하는지 등, 융합기술 전문인력의 양성에 대한 체계적인 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이와 같은 상황에서 융합기술 전문인력 양성방안 모색을 위한 본 연구의 의의는 크다고 하겠다. 특히, 본 연구에서는 다양한 융합기술 분야 중 BT중심의 바이오 융합기술 R&D 연구의 특성과 관련 산업 동향을 살펴보고, 국내외 바이오 융합기술 관련 학과의 교육 체제를 분석하였다. 더불어 대학, 연구소, 기업의 바이오 융합기술 전문가 대상 설문조사를 통해 현재 융합기술 전문인력 양성의 문제점과 바람직한 양성체계에 대한 전문가들의 의견을 수렴하여, 융합기술 전문인력 양성방안 개발에 실질적인 도움이 되는 기초 자료를 제공하는 데 기여하고 있다.

이 연구는 한국직업능력개발원 2008년 기본연구 2008-18번으로 진행되었으며, 이수영 박사가 책임자로서 하태정, 성양경과 공동으로 연구를 수행하였다. 연구진의 노고를 치하하며, 연구진을 충실하게 지원해 준 이재훈 위촉연구원에게도 감사를 드린다.

2008년 11월

한국직업능력개발원  
원 장 권 대 봉



## 목 차

요 약

### 제1장 서 론

제1절 연구의 필요성 및 목적 · 1

제2절 연구 내용 및 방법 · 3

### 제2장 융합기술의 발전과 융합기술 전문 인력 양성

제1절 융합기술의 개념과 동향 · 7

제2절 융합기술 정책 및 연구 동향 · 13

제3절 융합기술과 인력양성 · 20

### 제3장 바이오산업 및 인력 현황

제1절 세계 바이오산업의 인력 현황 및 전망 · 31

제2절 국내 바이오산업의 인력 현황 및 전망 · 35

제3절 소결 및 시사점 · 40

### 제4장 바이오 융합기술 산업동향

제1절 BIT 융합기술 및 산업 분류 · 43

ii 목차

제2절 생물정보학(Bioinformatics) · 47

제3절 바이오칩(Biochip) · 53

제4절 생체인식기술 · 75

제5절 소결 · 81

제5장 국내 바이오 융합학과 현황 및 사례

제1절 국내 바이오 융합학과의 현황 및 사례 · 83

제2절 국내 바이오 융합학과 사례 조사의 시사점 · 119

제6장 미국의 바이오 융합기술 전문 인력 양성 프로그램 사례

제1절 미국 대학별 바이오 융합학과 현황 및 사례 · 121

제2절 학제적(interdisciplinary) 교육 및 연구지원 정책과 관련 프로그램 사례 · 145

제3절 미국 바이오 융합기술 전문인력 양성 프로그램의 시사점 · 167

제7장 바이오 융합기술 전문인력 양성 방안에 대한 전문가 조사

제1절 조사방법과 설문구성 · 171

제2절 조사결과 · 178

제3절 소결 · 203

제8장 요약 및 결론

제1절 요약 · 207

제2절 결론 및 제언 · 208

SUMMARY · 217

<부록 1> 바이오 융합기술 전문인력 양성에 관한 전문가 설문조사지 · 221

참고문헌 · 235

## <표목차>

- <표 II-1> 기술융합 정의 비교 · 9
- <표 II-2> 주요국의 융합기술 연구개발 활동 비교 · 16
  
- <표 III-1> 세계 생명공학 시장 현황(2006년, 상장기업 기준) · 32
- <표 III-2> 아시아/태평양 시장의 바이오산업 현황(2005~2006) · 33
- <표 III-3> 세계 바이오산업 시장규모 전망 · 33
- <표 III-4> 2020 유망 바이오산업의 세계 및 한국시장의 전망 · 34
- <표 III-5> 국내 생명공학 산업분야 종사 인력 연도별 추이 · 36
- <표 III-6> 바이오산업부문 인력(2005년) · 36
- <표 III-7> 바이오산업의 산업별 인력 구성 · 37
- <표 III-8> 국내 바이오산업 시장규모 전망 · 38
- <표 III-9> 2020 유망 바이오산업의 시장 전망 · 39
  
- <표 IV-1> BIT 기술 분류 · 44
- <표 IV-2> 생물정보학관련 IT 기술의 내용 · 50
- <표 IV-3> BIT 연구기관협의회 운영위원단 · 51
- <표 IV-4> 국내 생물정보학관련 교육실시 기관 목록 · 51
- <표 IV-5> 분야별 생물정보학 활용 동향 · 53
- <표 IV-6> 국내 바이오칩 기술개발 동향 · 60
- <표 IV-7> 선진국 대비 국내 기술개발 수준 · 61
- <표 IV-8> 마이크로어레이 바이오칩의 활용 가능영역 · 63
- <표 IV-9> 세계 우수 전자 기업들의 Bio-MEMS 진출현황 · 70
- <표 IV-10> 생체인식기술의 활용분야 · 78
- <표 IV-11> 국내 생체인식 시장규모 전망 · 79
- <표 IV-12> 생체인식 기술동향 및 발전방향 · 80
  
- <표 V-1> 유형별 학과사례 · 84
- <표 V-2> 숭실대학교 생명정보학과 교과목 구성 · 85
- <표 V-3> 고려대학교 생명정보공학과 교육과정 · 89



- <표 V-4> 부산대학교 바이오정보전자 전공 교육과정 · 92
- <표 V-5> 상명대학교 생명정보공학과 교육과정 · 96
- <표 V-6> 서강대학교 바이오 융합기술 협동과정 교과목 구성 · 99
- <표 V-7> 서울대학교 생물정보학 협동과정 교과목 구성 · 103
- <표 V-8> 건국대학교 신기술융합과 교과목 구성 · 111
- <표 V-9> KAIST 바이오 및 뇌공학과 대학원 교과목 · 116
  
- <표 VI-1> IGERT 프로그램의 분야별 주요 성과 · 147
- <표 VI-2> HILS 프로그램 · 151
- <표 VI-3> BLSC 프로그램의 주요 개념 및 하위 요소 · 156
- <표 VI-4> Sample “Options”: Michigan State University College of Engineering · 160
  
- <표 VII-1> 설문유형별 비율 · 173
- <표 VII-2> 설문 유형별 응답자 직책/직급 분포 · 174
- <표 VII-3> 융합기술 전문 인력 양성 방안 설문 조사 내용 · 174
- <표 VII-4> BIT 융합기술 관련 산업 도식에 대한 응답 · 179
- <표 VII-5> BIT 융합기술 관련 산업 도식의 부적절 이유 · 180
- <표 VII-6> 바이오 융합기술 전공분야 · 181
- <표 VII-7> 우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제 경쟁력 · 182
- <표 VII-8> 바이오 융합기술 발전 저해요인 · 184
- <표 VII-9> 바이오 융합관련 전문성 습득 경로 · 186
- <표 VII-10> 대학 및 대학원 교육의 적절성 · 187
- <표 VII-11> 대학 교육에 있어서 바이오 융합기술 발전의 저해요인 · 188
- <표 VII-12> 대학원 교육에 있어서 바이오 융합기술 발전의 저해요인 · 190
- <표 VII-13> 대학과 대학원 배출 인력의 유용성 · 192
- <표 VII-14> 대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무의 차이 · 193
- <표 VII-15> 융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도 · 194
- <표 VII-16> 바이오 융합기술 관련 교육 체계의 적절성에 대한 의견 · 196
- <표 VII-17> 바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형의 효과성에 대한 인식 · 198
- <표 VII-18> 졸업 후 3년 내 정규직 취직 가능성 · 199
- <표 VII-19> 향후 3년 이내 필요한 인력 수요 · 200

- <표 VII-20> 융합학과(혹은 협동과정) 개설과 운영의 필요성(대학교수) · 201
- <표 VII-21> 바이오 융합분야 신입연구원의 실무적응능력 · 202

## [그림목차]

- [그림 II-1] NBIC 사면체(NBIC tetrahedron) · 11
- [그림 II-2] 기술복합화와 기술융합화의 비교 · 12
- [그림 II-3] 복수학제 연구와 학제 간 연구의 비교 · 13
- [그림 II-4] 세계 NT, BT, IT 관련 SCI 논문 수 추세 · 18
- [그림 II-5] 융합연구 관련 SCI 논문 수 추세 · 19
- [그림 II-6] 한국의 NT, BT, IT 관련 SCI 논문 수 추세 · 20
  
- [그림 III-1] 바이오산업의 산업별 기업 수 변화 추이(2002~2005) · 37
- [그림 III-2] 국내 바이오산업의 시장규모(1994~2005) · 38
  
- [그림 IV-1] BIT기술과 산업과의 연계 · 46
- [그림 IV-2] 생물정보학의 개요 · 47
- [그림 IV-3] 마이크로시스템 내의 조직(Tissue) 배양 및 분석 · 59
- [그림 IV-4] 화학반응 수행에 이용되고 있는 실리콘에 부착된 칩 · 66
- [그림 IV-5] 두뇌칩 · 73
- [그림 IV-6] 미국 USC 그룹의 망막자극 시스템 · 74
- [그림 IV-7] 생체인식기술의 사용자등록 및 인증, 인식 과정 · 77
  
- [그림 VI-1] 올린 트라이앵글 · 163
- [그림 VI-2] 올린 교육과정의 구성 · 165
  
- [그림 VII-1] BIT 융합기술 관련 산업 · 179
- [그림 VII-2] 기관 유형별 융합기술 발전 저해 요인 · 184
- [그림 VII-3] 대학 교육에 있어서 융합기술 발전 저해 요인 · 189
- [그림 VII-4] 대학원 교육에 있어서 융합기술 발전 저해 요인 · 191
- [그림 VII-5] 융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도 · 195
- [그림 VII-6] 바이오 융합기술 관련 교육 체계에 대한 의견 · 197
- [그림 VII-7] 바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형의 효과성에 대한 인식 · 198



## 【요약】

### 1. 연구의 필요성 및 목적

융합기술은 다양한 학제 및 이종기술 간의 결합을 통해 확보되는 혁신기술로(국가융합기술발전 기본방침, 2007), 미래의 경제·사회적 이슈를 해결하고 국가경쟁력을 이끄는 핵심적인 요소로 손꼽히고 있다. 정부의 융합기술중합발전계획(2007. 4. 4)에서 우리나라의 융합기술의 발전을 위한 핵심과제로 「1. 범부처적 조정·지원시스템 구축, 2. 창조적 융합 전문 인력 양성, 3. 개방형 공동협력연구 강화, 4. 원천융합기술의 조기 확보, 5. 첨단 융합 신산업 창출, 6. 윤리적·사회적 수용성 제고」를 선정하였다. 이 중 「2. 창조적 융합 전문 인력 양성」을 위한 권고사항은 융합기술 및 산업 수요를 조사·분석하고, 융합기술 전문 인력의 적정수요를 예측하여 국가차원의 인력양성계획을 수립하는 것이다. 이와 함께 창의적인 인력을 양성할 수 있는 관련 프로그램을 개발·실시하고, 연구주체별 수요에 기반한 맞춤형 교육 프로그램을 개발·확대할 것을 권고하고 있다. 이처럼 융합기술 인력 양성의 중요성과 필요성에는 공감대가 형성되고는 있지만 구체적 양성 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 융합기술 전문 인력 양성에 대한 보다 구체적인 논의 및 계획 설정이 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 이러한 기술의 융합화 추세에 따른 새로운 R&D와 산업의 수요에 부응할 창조적 융합기술 전문 인력 양성 방안 및 전략을 제시하는 데 있다.

본 연구는 새로운 융합기술 학과에 대한 소개 수준에서 더 나아가 융합기술과 융합지식의 성격과 체계의 특성이 무엇인지, 이러한 융합기술과 융합지식의 특성을 반영한 융합기술 교육의 실질적 내용과 과정이

기존 학문 교과와 어떻게 차별화 되는지, 융합기술교육을 위해 필요한 교수들의 역량은 무엇인지 등 보다 미시적인 융합기술 전문 인력 양성 체제를 살펴보고자 한다. 이번 연구에서는 융합기술의 정의와 범위가 광범위한 점을 고려하여, 생명공학기술(Bio-Technology, BT) 중심의 융합기술 전문 인력 양성 체제를 중심으로 연구의 범위를 한정하고, 교육 단계 중에서는 대학원 과정의 양성체제를 중심으로 접근하고자 한다.

## 2. 연구내용

본 연구는 다음과 같은 내용으로 구성된다.

첫째, 융합기술 및 융합지식의 특성과 체계에 대한 이론적 분석 및 선행 연구 분석을 실시한다.

둘째, BT 중심의 융합기술로 연구의 범위를 설정하고 관련 분야 R&D 동향(추세 및 전망)을 분석한다. BT 융합기술 R&D 연구의 특성을 연구의 내용, 수준별 인력에 요구되는 역량, 조직, 인프라 등을 중심으로 살펴본다.

셋째, 국내외 BT 중심 융합기술 학과의 교육체제를 분석한다. 국내외 융합 관련 학과의 교육과정(내용, 방법 및 구성), 시설, 교수진 및 지원 인력 구성, 학위과정운영체제, 산학연 협력체제 등을 교육과정체제와 학사운영체제의 두 가지 측면에서 검토하고자 한다.

넷째, BT 중심 융합기술 교육 내용 및 방식에 대한 학계·산업계·연구계 전문가들의 의견을 조사하였다.

우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제 경쟁력 수준과 발전 저해요인, 바이오 융합기술 인력양성을 위한 대학교육과 대학원 교육의 적절성, 대학과 대학원 배출 인력의 유용성, 산업 현장 직무와의 차이, 융합기술 전문인력이 갖추어야 할 역량별 중요도 등을 살펴본다.

### 3. 바이오산업 및 바이오산업 인력 현황

바이오산업 및 바이오산업 인력의 현황과 전망은 비록 융합기술만으로 한정시킨 통계가 아니라는 점에서는 한계가 있지만, 바이오산업 전반의 성장전망에 따른 전문 인력의 양성이 필요함을 보여주고 있다. 한국 시장의 경우는 아시아 국가들이 그렇듯 바이오산업의 발전단계가 상대적으로 열악한 실정이지만 반면 상대적으로 발전가능성이 높다고 할 수 있다. 또한 세계 여러 나라가 바이오산업에 지속적인 투자를 하고 있고, 이를 통해 높은 부가가치를 창출하고 있는 점을 감안할 때 우리나라의 바이오산업도 지속적인 투자 및 인력양성이 이루어져야할 영역임은 분명하다.

바이오산업의 발전을 통해 얻을 수 있는 혜택과 지속적인 기술 개발 및 인력 양성의 필요성에 대해서는 누누이 강조되고 있지만 정작 바이오산업의 인력 현황에 대한 논의는 부족한 실정이다. 전문 인력 양성의 궁극적인 목표 중 하나는 전공 교육 과정을 마친 학생들이 해당 산업의 발전에 기여할 수 있도록 돕는 것이다. 이를 위해서는 해당 산업의 인력에 대한 현황 파악이 선행되어야 한다. 그래야만 이를 토대로 수요를 예측하고 보다 적절한 전문 인력 양성 방안을 수립할 수 있다.

### 4. 바이오 융합기술의 산업동향

최근 들어 BT와 IT 융합에 대한 관심이 고조되는 것은 IT기술의 급속한 발전이 실제로 BT 분야의 연구에 필요한 기구 및 이를 이용한 의료장비를 생산하는 단계에 이르면서 잠재적이었던 BT 산업의 막대한 부가가치 창출이 가능해졌기 때문일 것이다.

먼저, BT와 IT가 결합되어 출현한 대표적인 융합연구 분야는 생물정보학(Bioinformatics)이다. 생물정보학(Bioinformatics)의 기본 개념은 생명현상의 정보를 수집하고 이를 분석하여 여러 필요한 분야에 응용가능하게 하는 것이다. 생물정보학은 생물학자들이(논문의 형태로 발표한) 실험실에서 얻은 생물학적 정보와 생명체의 유전정보를 직접적으로 연결시켜줌으로써 전체적인 생명현상의 밑그림을 다시 그릴 수 있게 하였고, 이를 통한 산업적 응용(질병 치료를 신약개발의 타겟 발굴, 환자맞춤형 치료법 개발, 인공장기 등)의 길을 열고 있다. 90년대 이후 급속한 발전이 이루어진 분자생물학 분야도 유전자의 염기서열 및 단백질의 1차 구조를 밝히는 기술이 개발되고 이에 대한 자동화 기술이 보급되면서 가능해졌다고 할 수 있다. 예컨대, 휴먼 게놈프로젝트(Human Genome Project) 같은 거대한 연구프로젝트도 막대한 생물학적 정보를 분석할 수 있는 IT기반 생물정보학의 발전이 있었기에 가능하였다고 할 수 있다. 최근에는 생물정보학이 생명체의 세포 및 조직, 개체단위의 물질대사 연구수준을 넘어 집단 또는 사회와의 유기적 관계까지 다루는 시스템 생물학(System Biology)이라는 학문으로 발전하고 있다.

다음으로, DNA 및 단백질칩(Chip) 등의 기술도 BT와 IT가 결합된 대표적인 예로서 매우 높은 고부가가치를 창출할 것이라 기대된다. 단백질칩 제작을 위한 마이크로 어레이 기술은 나노수준의 유전자(cDNA 또는 올리고머) 또는 단백질을 특정 물질의 표면에 부착시키는 것으로, 분자생물학 및 생화학과 유기, 물리, 표면화학의 기술이 융합된 형태로 작용한다. 또한 이를 분석하기 위해서는 단백질에서 나오는 특정 파장의 빛을 측정하는 광물리, 전자광학적 기술과 이렇게 얻은 정보를 분석할 수 있는 선산학적 기술이 필요하므로 진정한 의미의 학제 간 융합기술이라 평가된다. 특히, 단백질칩은 DNA칩에 비해 높은 수준의 기술력을 필요하므로 선진국에서도 아직 개발단계에 머물러 있는 실정이지만, 단



백질 발현 및 기능 분석 수준에서의 연구를 통한 질병의 진단이나 신약 후보물질의 초고속 스크리닝, 식품 및 환경 모니터링 및 기타 바이오센서 등의 개발 등의 측면에서 볼 때 매우 성장 잠재성이 높은 기술 분야이다.

요약하면, 기존의 생물학이 수학, 물리, 화학적 이론에 의존적이었던 이, BT의 발전은 IT의 발전에 필수적으로 의존하고 있다. IT의 발전은 생물학적 연구를 위한 장비의 개발과 주체할 수 없이 쌓이는 생물학적 데이터를 처리하고 분석할 수 있는 바탕이 되므로, 이를 통해 사람에게 유용한 아이টে를 발굴하는 계기가 될 수 있을 것이다. 단백질칩은 단백질의 3차원 구조를 유지하여야 하므로 단순히 상보적인 염기쌍을 이용하는 DNA칩을 만드는 것에 비해 한 단계 높은 기술력을 필요로 한다. 그 만큼 어렵고 개발비용도 많이 드는 분야이면서 상대적으로 미국이 주도권을 쥐고 있는 DNA칩 시장에 비해 경쟁력이 있을 수 있는 분야라 할 수 있다. 특히, DNA 및 단백질칩 등에 대한 시장수요는 이들 칩에 대한 활용도가 생물학 연구 분야엔 필수적이기 때문에 대학 등의 연구기관, 병원 등에서의 잠재적 수요가 매우 높을 것으로 예상되고 있다. 따라서 앞서도 언급한 바와 같이 BIT 융합기술은 생물학을 비롯한 관련 학제 간 연구는 물론 의료, 진단, 생체인식 등의 다양한 산업에 필수적인 핵심기술로 자리 잡아 갈 것으로 전망되고 있어, 이들 융합기술 분야에 대한 체계적인 교육 프로그램 개발 및 전문 인력 육성을 위한 제도적 지원이 요구되고 있다고 하겠다.

## 5. 국내외 바이오 융합학과의 현황 및 시사점

### 가. 국내 바이오 융합학과

국내 바이오 융합학과의 현황 및 사례를 파악하기 위하여 바이오융합 관련 학과의 담당자들을 대상으로 설문조사를 실시하고, 동시에 해당 학과의

홈페이지 자료를 수집하여 유형에 따라 크게 1) 학부중심 학과, 2) 협동 혹은 통합과정, 3) 대학원중심 학과의 세 가지로 분류하여 분석하였다.

국내 바이오융합 관련 학과는 신설된 학과도 있기는 했지만 다수의 학과들은 기존의 학과에서 명칭을 변경하면서 교육과정을 변경한 경우들이 많았다. 융합기술의 발전이라는 과학기술계의 전반적 변화에 대응한다는 측면에서 학과 명칭 변경 등을 통한 유연성 있는 교과과정 개편을 바람직하게 바라볼 수도 있으나, 이는 또한 학과의 수요가 변하면 또 다른 학과로 변할 수 있다는 문제점을 제기하고 있다.

과학기술 발전추세에 대응하기 위한 정부의 인력양성 정책의 일환으로 대학 재정지원 사업들이 이루어져 왔고, 이러한 재정지원을 받기 위해 신설 혹은 개편된 학과들이 바이오 융합 관련 학과의 대부분을 차지하고 있다. 그 결과 초기에 재정 지원이 충분할 때는 장학금 지원을 통해 우수한 학생들을 유치할 수 있었으나, 점차 재정지원이 줄어들면서 우수한 학생의 비율도 줄어드는 사례가 생겨났다. 따라서 시대적 흐름에 따라 일시적으로 구성된 학과가 아닌 보다 지속적이고 체계적으로 융합 기술 인력을 길러낼 수 있는 학과의 설립이 요구 된다. 바이오 융합학과 학생들과 교수들의 면담 결과, 융합학과들이 지속되고, 더욱 발전하기 위해서는 교육 프로그램 못지않게 학생들의 졸업 후 취업 전망이 중요한 역할을 한다는 사실을 확인할 수 있었다. 융합학과는 전통적인 학과에 비해 특성화된 분야인 만큼 산업체의 요구에 민감하게 반응할 수밖에 없다. 그러나 우리나라는 아직 바이오 융합관련 산업이 활성화되지 못한 상황이기 때문에 전통적인 공학이나 생물학 전공이 아닌 바이오융합 분야를 전공함으로써 얻을 수 있는 혜택이 상대적으로 부족한 실정이다.

실제로 몇몇 바이오융합 관련 산업체 담당자들과의 면담조사에서도 채용에서 특정 R&D 분야의 융합기술 전공자를 찾는 것보다 기존 학과 전공자들을 재교육시키는 방법을 주로 택하고 있다고 응답했다. 그 이유는 아직 융합기술 전문 인력이 소수에 불과하고 이들의 업무 능력이 검증되지 못했기 때문이다.

이처럼 현재 우리나라 바이오 융합기술 교육은 학생과 시장의 수요를 충족시켜주지 못하고 있는 실정이다. 관련 산업 전망에 대한 확신 없이 전문 인력 양성 계획을 수립하는 데에는 어려움이 따르지만, 바이오융합 기술의 필요성은 분명하므로 장기적인 관점의 투자가 필요하다. 따라서 먼저 학생들과 산업계의 수요 모두를 만족시킬 수 있는 교육프로그램이 제공되고 그 인력들이 효율적으로 활용된다면 결과적으로 바이오융합 관련 산업 전반의 발전을 이끌 수 있을 것이다.

전문가 조사에서 연구계 및 산업계의 전문가들도 융합의 마인드 셋을 가진 사람이라면 업무를 위한 교육에 투자되는 시간과 비용을 줄일 수 있다는 측면에서 채용의사가 있음을 밝힌 바 있고, 학생들도 기존의 하나의 전공만 하던 때와 달리 융합 전공을 통해 새로운 접근을 시도할 수 있게 됐다는 응답을 하고 있음을 볼 때, 보다 체계적인 융합 교육이 지속적으로 제공될 필요가 있음을 알 수 있다.

따라서 대학 교육을 통해 실제 바이오 융합 산업 현장에 적용할 수 있는 교육 프로그램을 개발하고 양성된 전문 인력이 졸업 후 나아가갈 방향에 대한 비전을 그려주는 것이 우수한 학생들을 융합기술 전문 인력으로 양성하기 위한 필수적인 과제이다.

#### 나. 미국의 바이오융합 학과 및 프로그램

우리나라 사례와 함께 바이오 융합산업과 기술이 가장 발달된 미국의 주요 대학의 바이오 융합관련 학과와 학제적 교육과 연구를 위해 교육과정 개혁을 시도하고 있는 여러 프로그램들을 살펴보았다.

미국 대학의 융합학과의 사례를 통해 미국도 정부의 R&D 재정지원 사업과 밀접하게 연관되어 융합학과 혹은 융합 프로그램이 실행되고 있음을 확인할 수 있었다. 미국의 과학기술경쟁력 제고를 위한 과학기술재단(NSF)

의 NBIC(Nano-Bio-Information-Cognitive Science) 혹은 NNI(National Nanotechnology Initiative) 정책을 기반으로 융합기술 R&D 재정지원이 증가하였고, 이를 담당하기 위한 인력양성, 특히 대학원 단계의 전문 인력 양성이 중요하게 생각되고 있다.

대규모 R&D 지원을 받는 저명한 교수들의 실험실에 다양한 분야의 백그라운드를 가진 대학원생 및 포스트 닥들이 모이면서 새로운 융합기술의 발전이 심화되어 질 수 있다. 이러한 대학원 과정의 융합기술 교육은 모든 학생들이 공통적인 교육과정을 따르기 보다는 해당 실험실에서 수행 중인 프로젝트의 성격과 요구에 따라 커스터마이즈 된 형태로 이루어지는 경우가 많았다.

융합기술이 미국에서도 상대적으로 아직 초기 단계임을 고려할 때, 융합기술 관련 프로젝트에 참여하는 대학원생들은 학부과정에서 기존의 전통적인 학과를 졸업하고, 융합기술 프로젝트를 수행하는 실험실에 참여하면서, 자신의 학부 전공을 심화시키는 동시에 새롭게 요구되는 분야의 학습을 수행하게 된다. 이때 새로운 분야의 학습의 기회를 어떻게 제공할 것인가가 융합기술 교육의 주요 이슈가 되고 있다.

본 연구에서 살펴본 미국의 주요 대학들은 대학원 단계에서 필수공통 과목의 수를 최소로 하면서 단과대학의 경계를 넘어, 필요하다면 심지어 다른 대학이나 연구소에서의 교육 기회를 최대한 보장하고 있다. 학생들의 백그라운드에 따라 지도교수는 각각의 학생들이 필요로 하는 교과목을 추천하고, 개별적 맞춤형 교육과정을 이수할 수 있도록 지원한다. 이러한 학과 선택의 유연성과 함께 지도교수의 개별적 지도가 성공적인 학습경험을 제공할 수 있는 것이다. 이러한 학과 선택의 유연성은 미시건 주립대학(Michigan State University)의 옵션(Options)프로그램 등에서 잘 나타난다. 또한 올린 공대(Olin college)나 로완대학(Rowan college)의 프로젝트 중심 교과 과정도 학문 중심의 교육과정에서 벗어나 현장 문제해결 중심의 교과목 선택을 지원하는 전략이다.

이와 함께 다양한 백그라운드를 가진 학생들이 함께 공동의 융합기술 프로젝트에 참여함으로써 공식적인 교육기회와 함께 학생 상호간 정보 및 학습 교류를 통한 비공식적 교육기회가 주어지는 데 중요한 역할을 하고 있다. 공동의 문제를 해결하기 위해 한 사람의 전공 지식만으로 해결할 수 없는 경우, 서로가 서로의 전문성을 최대한 활용하고 이를 공유함으로써, 자신의 지식으로 내재화시키는 과정이 프로젝트 수행 중에 끊임없이 일어나고 있는 것이다. 이러한 이유로 동일한 물리적 공간, 즉 동일한 실험실에서 공동의 문제해결 상황에 참여하는 것이 주요한 암묵적인(implicit) 교육과정으로 작용하는 것이다.

예를 들어 MIT와 하버드의 HST(MIT-Harvard Health, Science and Technology) 프로그램의 경우 지역적으로 근접해 있는 MIT와 하버드 대학의 관련 학과와 근처 병원까지 파트너십을 구축하여 세계 최고의 전문가들의 지식과 정보의 교류가 지속적으로 이루어질 수 있는 공간과 기회를 제공하고 있다. 물리학과 생물학의 융합을 통해 우주생물학 분야를 개척한 Tufts 대학의 Eric Chaisson 박사도 연구 공간을 공유함으로써 장비나 기기 구입 비용을 줄일 수 있는 실용적인 이점 뿐만 아니라 전문가들이 자연스럽게 만나는 횡수가 많아짐으로써 지식과 정보의 교류가 활성화되기 때문에 전문가 간의 물리적 근접성(physical proximity)이 융합기술 발전에 주요한 요인이라고 강조하였다.

그러나 융합기술 교육에 있어 무엇보다 중요한 요인으로 전문가들이 공통적으로 지적인 사항은 개인의 자기주도적 학습능력과 열정(passion)이다. 융합기술은 내재적인 속성상 정형화되어 있지 않다는 특징을 지니고 있다. 따라서 하나의 정형화된 틀을 갖춘 교육과정이라는 것이 존재하지 않거나, 존재하더라도 최소한의 공통과목 등이 제안되고 있다. 학생 개개인이 수행 중인 프로젝트 혹은 연구주제의 필요에 따라 자신이 이미 알고 있는 분야 외 새로운 학문 분야를 학습하는 것으로 하게 된다. 이러한 학습 필요를 인식하고, 학습을 계획, 수행하는 것

에 개인의 자기주도적 학습능력이 절실히 요구된다. 현재 융합기술 분야의 전문가들은 융합기술 전공학과에서 교육을 받은 것이 아니라 자신의 커리어를 쌓아가는 과정에서 자신의 필요에 따라 새로운 연구 방법, 기술, 관점 등을 독학으로 배워온 경우가 대부분이다. 전통적인 학문의 틀 내에서 통용되는 방법과 관점을 벗어나 다른 학문 분야의 연구방법과 지식의 속성, 관점 등을 재발견하고 새롭게 적용하여 새로운 가치를 생성해 내는 융합기술 분야의 전문가에게 새로운 사물과 사실에 끊임없는 관심과 호기심을 갖고 새로운 것을 배우고 알고자 하는 열정 (passion)이 가장 중요한 역량으로 요구된다.

## 6. 바이오융합 전문가 조사

### 가. 조사개요

대학, 연구소, 기업의 바이오 융합기술 전문가 153명을 대상으로 바이오 융합기술 전문 인력 양성에 대한 설문조사를 실시하고, 응답결과는 바이오 융합기술 전문 인력을 직접적으로 양성하는 대학기관과 양성된 인력들이 실무현장에서 활용되는 연구기관으로 나누어 비교 분석하였다.

### 나. 조사결과

전반적으로 융합기술 전문 인력의 교육은 대학원 단계보다는 대학단계 교육이 적절하지 못하고, 유용성도 떨어진다는 의견이 높게 나타났다. 또한 학부 출신의 3년 후 취업 가능성은 박사나 포스트 닥의 취업 가능성에 비해 상당히 낮게 전망되고 있었다. 대학원 수준 인력에 대한 기업의 만족도도 대학 수준 인력에 대한 만족도보다 높게 나타났다. 종합하면 바이오 융합기술 전문 인력 양성에 있어 대학원 단계의 전공 학과 개설이나 협동 과정의 운영이 보다 적합한 모형으로 인식되고 있었다.

이 중 특히 현재 교육 체제에서의 인력 양성에 있어 가장 큰 저해요인으로 ‘융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족’이 지적된 사실에 주목할 필요가 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 국가의 정책방향에 맞춰 융합기술을 포함하도록 학과명을 변경하는 경우들이 많이 눈에 띄었다. 이 경우 학과명을 변경하고 교육과정을 변경하였으나, 실제 새로운 학과명에 적합한 교수 확보는 제대로 이루어 지지 않은 경우들이 많은 것으로 보인다. 재정 지원 방향에 따라 겉무늬만 바꾸는 것이 아니라 실제 학과명에 적합한 교육이 이루어질 수 있도록 교수진을 구성하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 현재 우리나라의 교수 채용 및 고용 계약 관례에 따라 학과 내 교수의 소속을 변경하는 것이 쉽지 않은 것이 사실이다. 그러나 전문성을 갖춘 교수진 확보를 위한 대학의 노력이 절실히 요구되며, 이는 새로운 학문을 습득한 신진 연구자를 채용하는 것과 함께 실무 현장에서의 융합기술 활용 전문성을 갖춘 경력직 연구자를 채용하는 것도 적극 고려되어야 할 것이다. 또한 아직까지 국내 바이오 융합분야 경쟁력이 그리 높지 않음을 고려할 때 선진국의 인력들을 적극 유치하는 방안도 모색되어야 할 것이다.

반면 인력 양성 저해 요인 중 ‘융합기술 교육에 대한 학생들의 관심과 동기’가 가장 낮은 점수를 나타낸 것은 고무적인 결과로 보인다. 새로운 분야를 개척하고자 하는 학생들의 관심과 동기, 즉 열정이 있다면 이를 적극 활용할 수 있는 교육환경을 지원해 주는 것이 대학이 해야 할 임무이다.

## 7. 융합기술 전문 인력 양성방안 수립을 위한 시사점

본격적인 융합기술 인력양성은 이제 막 시작되었다고 보아야 하며, 기존의 과학기술인력 정책은 융합기술 인력 양성에 초점을 맞춘 것이 아니다.

비록 서울대의 차세대 융합기술원, KAIST의 바이오융용공학과, 포항공대 학제 간 연구센터 등이 새로운 시도에 해당한다고 할 수 있으나, 아직 성과에 대해 논의할만한 시기는 아니다. 특히, 국내 교육 프로그램의 특성상 학제 간 구분이 뚜렷하여 자연스러운 지식 교류를 바탕으로 융합기술 교육 및 연구를 가능케 하는 기반이 미흡하여 융합인력이 양성될 수 있는 토양 자체가 취약한 상태이다. 또한 융합기술 인력에 대한 산업계의 정확한 수요 예측이 이루어지고 있지 않는 상황이라 융합기술 분야에 대한 탐색과 연구기획, 그리고 인력양성 계획 등이 체계적으로 이루어지지 못하고 있다.

이 같은 융합기술 전문 인력 육성의 문제 및 한계들을 해결해 나가기 위해서는 무엇보다 융합기술원 혹은 융합대학원 등의 교육 프로그램을 산학연 연계를 통한 교육과 연구가 일체화 되는 방향으로 유도할 필요가 있다. 이를 위한 방법으로 융합 교육 및 연구 활성화를 위한 R&D 과제와 예산을 대폭 확충하고, 융합기술 R&D과제 선정 시 석사급 이상의 연구전담요원 참여를 필수요건으로 규정하고 이들의 인건비 지원을 의무화 할 필요가 있다. 일례로, 미국 NSF도 R&D자금의 10%를 인력 양성에 투입할 것을 의무화하는 조항을 담고 있다. 또한 대학원 교육프로그램과 사업체를 연계한 융합기술인력 인턴십 프로그램을 확충할 필요가 있다. 즉, 융합기술 분야 졸업생 혹은 졸업예정자를 인턴십 프로그램에 참여시킨 후 취업까지 연계한 방법으로 산학연계 융합기술 R&D 과제 참여자 우대 등을 바탕으로 우수한 인력의 유입을 촉진할 수 있다. 이때 정부에서는 인턴십 비용 지원의 조건으로 융합기술개발이나 사업화 관련 연수 프로그램 실행을 유도할 수도 있을 것이다.



# 제1장 서론

## 제1절 연구의 필요성 및 목적

### 1. 연구의 필요성

융합기술은 다양한 학제 및 이종기술 간의 결합을 통해 확보되는 혁신기술로, 미래의 경제·사회적 이슈를 해결하고 국가경쟁력을 이끌 핵심적인 요소로 손꼽히고 있다(국가융합기술발전 기본방침, 2007).

정부의 융합기술종합발전계획(2007. 4. 4)에서는 우리나라의 융합기술의 발전을 위한 핵심과제로 「1. 범부처적 조정·지원시스템 구축, 2. 창조적 융합 전문 인력 양성, 3. 개방형 공동협력연구 강화, 4. 원천융합기술의 조기 확보, 5. 첨단 융합 신산업 창출, 6. 윤리적·사회적 수용성 제고」를 선정하였다.

이 중 「2. 창조적 융합 전문 인력 양성」을 위한 권고사항은 융합기술 및 산업 수요를 조사·분석하고, 융합기술 전문 인력의 적정수요를 예측하여 국가 차원의 인력양성계획을 수립하는 것이다. 이와 함께 창의적인 인력을 양성할 수 있는 관련 프로그램을 개발·실시하고, 연구 주체별 수요에 기반한 맞춤형 교육 프로그램을 개발·확대할 것을 권고하고 있다.

융합기술 인력과 관련된 기존의 연구를 살펴보면, 일부 해외 연구에서 융합

기술 인력의 양성 및 활용에 대해 부분적으로 다루기는 하였지만, 체계적인 연구는 아직 미흡한 실정이며, 국내의 연구에서 역시 융합기술 인력 양성에 대한 연구가 시도되기는 하였으나 융합기술 인력양성의 당위성, 대학의 관련 실태, 방향성을 개선하는 선에서 다루어졌다(김창경, 2006; KISTEP, 2007; 김준모 외, 2007).

황규희 외(2007)의 연구에서 융합기술 인력양성에 대한 이론적, 실증적 연구가 시도되기는 하였으나 이는 본격적인 연구에 앞선 기초연구로서의 성격이 컸으며, 가설 검증에서도 뚜렷한 결과를 제시하지는 못했다. 또한, 이 연구는 산업계 인력의 지식 습득경로에 관한 조사를 주된 연구방법으로 하고 있어 교육양성체제에 관한 논의는 피상적인 수준에 머물고 있다.

이처럼 융합기술 인력 양성의 중요성과 필요성에는 공감대가 형성되고는 있지만 구체적 양성 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 융합기술 전문 인력 양성에 대한 보다 구체적인 논의 및 계획 설정이 요구되고 있다.

## 2. 연구의 목적

본 연구는 기술의 융합화 추세에 따른 새로운 R&D와 산업의 수요에 부응할 창조적 융합기술 전문 인력 양성 방안 및 전략을 제시하고자 한다.

인력양성에는 미시적으로 개인차원에서 경험하게 되는 교육과정 및 교육프로그램 학습부터 기관차원(대학, 기업, 연구소 포함)의 커리큘럼 및 프로그램 개발·실시, 그리고 거시적인 국가차원의 인력양성계획 및 전략 수립까지 다차원적인 이해와 접근이 필요하다. 그러나 융합기술 인력 양성에 관련한 선행연구들은 국내외 기관(주로 대학 학과 단위)의 전반적 커리큘럼 및 프로그램 소개에 한정되어 있고, 거시적 국가차원의 인력양성계획이나 미시적 관점의 개인의 학습 경험 및 진로 경로에 대한 분석은 거의 부재한 상황이다.

본 연구는 새로운 융합기술 학과에 대한 소개 수준에서 더 나아가 융합기술과 융합지식의 성격과 체계의 특성이 무엇인지(epistemological 접근), 이러한 융합기술과 융합지식의 특성을 반영한 융합기술 교육의 실질적 내용과 과정이

기존 학문 교과와 어떻게 차별화 되는지, 융합기술교육을 위해 필요한 교수들의 역량은 무엇인지, 융합기술학습을 위해 새롭게 요구되는 교수-학습 방법은 무엇인지, 교육과정 중 실험·실습을 포함한 융합기술 연구 활동의 특성은 무엇인지 등 보다 미시적인 융합기술 전문 인력 양성 체제를 살펴보고자 한다.

융합기술이라는 분야의 본질적인 성격상 범주의 모호성과 분야별 다양성, 특수성이 크기 때문에 본 연구 결과를 가지고 모든 융합기술 분야에 대한 일반적인 시사점을 도출하는 데에는 한계가 있을 것으로 사료되기 때문이다. 그러나 사례 분석에 그치지 않고, 맥락에 따른 일반화를 시도하고자 한다.

## 제2절 연구 내용 및 방법

### 1. 연구의 내용

본 연구는 융합기술의 정의와 범위가 광범위한 점을 고려하여, Bio Technology(BT) 중심의 융합기술 전문 인력 양성 체제를 중심으로 연구의 범위를 한정하고, 교육단계 중에서는 대학원 과정의 양성체제를 중심으로 접근하고자 한다.

융합기술의 분야 중 BT 분야를 중심으로 연구를 수행하는 이유는 BT 분야가 미래의 과학기술 경쟁력을 이끌 것으로 주목을 받고 있는 분야이기도 하고, 바이오인포메틱스(Bio Informatics)를 포함한 BT+IT 분야가 국내 융합기술 분야 중 발전단계 및 기술 수준이 높은 분야이기 때문이다.

우리나라의 BT 분야는 선진국 최고수준 대비 80%의 수준으로 대학의 관련 학과의 신설도 다른 융합기술 관련 전공에 비해 활발한 편이며, IT와 융합을 통한 BIT 융합기술의 산업화 가능성도 높은 분야이다. 최근 떠오르는 융합기술 분야로 Nano Technology(NT) 분야도 있기는 하지만 나노바이오센서를 포함한 BT+NT(+IT)는 선진국에서도 아직 개발 초기인 기술 분야로 더욱이

우리나라는 아직 발아기(선진국 최고수준 대비 65%) 단계이다. 따라서 상대적으로 관련 분야의 인력수요 조사도 부족하며, 양성프로그램 개발 역시 초기 단계이기 때문에 연구대상으로 적합하지 않다고 판단되었다.

또한, 본 연구에서는 BT 분야의 전공 교육은 전문성을 살릴 수 있는 대학원 과정에 초점을 두는 것이 보다 적절하다는 전문가들의 의견을 수용하여 학부 과정보다는 대학원 과정에서의 양성 체제 분석으로 연구범위를 한정하기로 하였다.

이와 같은 이유로 본 연구에서는 BT 중심 융합기술에 중점을 둔 전문 인력 양성 방안을 도출하고, 이를 바탕으로 일반적인 융합기술 인력 양성 방안으로 적용될 수 있는 시사점을 도출하고자 한다. 학계, 연구계, 산업계, 전문가들의 의견을 수렴하고 연구진의 충분한 논의를 바탕으로 연구 범위를 한정하기는 하였지만, 이는 연구 기간 및 자원상의 한계에서 비롯된 것이므로 후속 연구에서 다른 융합기술 분야와 교육단계로 연구 범위를 확장할 필요가 있을 것이다.

본 연구는 다음과 같은 내용으로 구성된다.

첫째, 융합기술 및 융합지식의 특성과 체계에 대한 이론적 분석을 실시한다.

둘째, BT 중심의 융합기술로 연구의 범위를 설정하고 관련 분야 R&D 동향(추세 및 전망)을 분석한다. BT 융합기술 R&D 연구의 특성을 연구의 내용, 수준별 인력에 요구되는 역량, 조직, 인프라 등을 중심으로 살펴본다.

셋째, 국내외 BT 중심 융합기술 학과의 교육체제를 분석한다. 국내외 융합 관련 학과의 교육과정(내용, 방법 및 구성), 시설, 교수진 및 지원인력 구성, 학위과정운영체제, 산학연 협력체제 등을 교육과정체제와 학사운영체제의 두 가지 측면에서 검토하고자 한다.

넷째, BT 중심 융합기술 교육 내용 및 방식에 대한 학계·산업계·연구계 전문가들의 의견을 조사하였다.

우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제 경쟁력 수준과 발전 저해요인, 바이오 융합기술 인력양성을 위한 대학교육과 대학원 교육의 적절성, 대학과 대학원 배출 인력의 유용성, 산업 현장 직무와의 차이, 융합기술 전문인력이 갖추어야 할 역량별 중요도 등을 살펴본다.

## 2. 연구의 방법

본 연구에서 사용된 연구 방법은 다음과 같다.

### 가. 선행연구 및 문헌분석

- 융합기술 및 융합지식의 성격과 체계의 특성에 관한 선행연구 문헌분석
- 융합기술(특히 BT중심 융합기술) 연구의 특성에 관한 선행연구 문헌분석
- 국내외 융합기술 연구 및 관련 산업 현황 및 추세에 대한 문헌분석
- 국내외 BT중심 융합기술 학과의 커리큘럼을 포함한 교육체제(교육과정 및 학사운영체제) 분석

### 나. 미국 BT중심 융합기술 인력양성 우수사례 수집 및 전문가, 학생 면담

- 바이오 융합기술 관련 학과가 설치된 대학 및 National Institute for Health(NIH) 방문 및 전문가 면담
- 미국의 BT중심 융합기술 인력양성 우수사례를 수집하고 관련 전문가 및 학생 면담

### 다. 국내 BT중심 융합기술 관련 학과 현황조사

- 국내의 BT중심 융합기술 관련 학과 자료 수집
- 학과장을 대상으로 학과 설립취지, 규모, 연구 활동, 교육과정, 학사운영의 문제점, 지원 요구사항 등에 관한 설문조사를 통해 자료수집
- BT중심 융합기술 관련 학과 재학생의 교육 및 연구경험, 졸업 후 취업전망 등에 대한 면담 실시
- 융합기술 인력양성을 위한 효과적인 방안 제시

라. BT중심 융합기술 분야 전문가 대상 설문조사 실시

- 학계, 산업체, 연구기관의 전문가 150여 명 대상
- BT중심 융합기술 관련 연구 및 산업 발전 추세 및 전망
- BT중심 융합기술 인력수요 예측
- BT중심 융합기술 인력이 갖추어야 할 역량
- BT중심 융합기술 인력양성의 어려움과 문제점
- BT중심 융합기술 인력양성 시 고려사항 및 필요한 지원 체제
- BT중심 융합기술 인력양성을 위한 구체적 방안

마. 전문가 협의회 개최

- 상기 전문가 설문조사 및 심층면담을 근거로 도출된 수준별, 분야별 융합 기술 인력 양성 방안에 대한 전문가 의견 수렴
- 국가차원의 융합기술 전문 인력 양성 기본계획 수립을 위한 전략의 기본 방향 및 고려 사항 제시

## 제 2 장

## 융합기술의 발전과 융합기술 전문인력 양성

## 제1절 융합기술의 개념과 동향

## 1. 융합기술의 개념

현재 융합기술의 정의가 명확히 정립된 상태는 아니다. 미국, 유럽, 일본 등의 지역에서는 유사한 개념으로 converging technologies, fusion 등의 용어가 일반적으로 사용되고 있다. 국내에서 회자되고 있는 용어들은 기술융합, 기술복합, 기술결합, 기술조합, 복수학제 및 다학제 연구 등의 다양한 용어가 융합기술과 연관되어 사용되고 있다. 이들 개념들에 대한 엄밀한 정의를 놓고 보면 용어별로 함축하는 내용과 의미에서 다소 차이가 있는 것은 사실이다. 예컨대, 기술융합은 기술 간 화학적 결합을 통해 개별요소기술들의 특성이 상실되면서 전혀 새로운 특성을 갖는 기술이 창출되는 현상을 의미하며, 기술복합은 개별요소기술들의 물리적인 결합으로 기존산업의 한계를 극복해 나가는 과정에서 일어나는 기술혁신 방식으로 이해되고 있다.

사실 국내외적으로 기술융합 현상에 처음 주목하기 시작한 것은 2,000년대 이후 각 기술영역이 급속도로 발전을 함에 따라, 기술융합에 의한 시너지 창출에 관심을 갖기 시작하면서부터라 할 수 있다. 그러나 실제 기술융합 현상에

대한 관심은 1960년대부터 있어왔다고 할 수 있다. Rosenberg(1963)는 다양한 산업이 각자의 기술적 문제를 해결해 나가는 과정에서 유사한 기술유형을 나타내는 현상을 기술수렴(technological convergence)이라는 개념을 통해 정리하였다. 즉, 로젠버그는 영국의 기계가공 혁신과정에서 나타난 기술융합 현상을 기술혁신의 과정으로 설명, 기술융합 현상이 산업구조의 변화에 중요한 원인이 되었다고 주장하였다.<sup>1)</sup>

이후 일본의 Kodama(1991)는 기계기술과 전자기술의 융합으로부터 생성된 메카트로닉스(mechatronics) 제품, 광학과 전자공학의 융합으로 새롭게 출현한 옵토일렉트로닉스(optoelectronics) 제품 등의 사례연구를 통해 기술융합(technology fusion)이라는 용어를 사용하였다. 이와 함께 그는 기술혁신에는 두 가지 형태가 있는데 하나는 기존 기술의 돌파형(breakthrough)이고 다른 하나는 여러 기술의 돌파가 동시에 일어나면서 융합(fusion)하는 것이라고 하면서 융합형 기술혁신이 점점 더 많은 비중을 차지한다고 주장하였다.<sup>2)</sup>

한편, 이 같은 융합현상은 산업 차원에서 보면 공급측 역동성(supply push) 뿐만 아니라 수요측 견인성(demand pull)에 의해서도 강력하게 지지되고 있다고 할 수 있다. 즉, 기술혁신 전략으로서 기술융합을 다양한 산업 및 사업에서 이미 검증된 기술, 아이디어 등을 창조적으로 재조합하여 새로운 가치를 창출하는 과정으로 이해한다면, 최근의 인구구조, 사회/문화, 라이프스타일, 글로벌화 등 급변하는 소비자 니즈 및 경쟁구조 변화 속에서 기업들은 이에 대한 효율적인 대응전략으로 기술융합에 주목하기 시작하였다고 할 수 있다. 일찍이 Kodmama가 지적한 대로 일반적으로 혁신적 기술이나 제품의 출현은 돌파형(breakthrough)이나 융합형(fusion) 기술혁신 방식에 의해 이루어진다고 보면, 시장에서의 경쟁환경 및 소비자들의 요구가 급변하는 상황 하에서는 기업들이 융합형 기술혁신 방식을 취할 가능성이 높아지게 된다. 이는 빠르게 변화하는 소비자 니즈를 충족시키기 위한 새로운 제품 및 서비스의 생산방식으로 시간이 오래 걸리고 위험부담이 큰 돌파형 기술혁신 대신에 상대적으로 개발기간

1) 하태정 외(2007), NBIT 컨버전스 연구개발조직의 발전방안 연구, 정책연구 2007-04, 과학기술정책연구원. 내용을 보완한 내용임.

2) 이공래(2006), 다분야 기술융합의 이론적 이해와 정책적 시사점, 과학기술정책 Vol. 16, No. 2.



이 짧고 위험부담이 적은 융합형 기술혁신 방식으로 대응하는 것이 보다 안전하고 효율적인 전략이 될 수 있기 때문이다.

그러나, 최근 주목받고 있는 융합기술 관련 개념은 미국과학재단(NSF)이 주도한 NBIC(Nano-Bio-Information-Cognitive Science) 융합기술 연구에 그 기원을 두고 있다고 볼 수 있다. NSF가 주도하는 NBIC 중심의 융합 연구는 2001년부터 컨퍼런스 및 보고서 발간을 통해 구체화 되었는데, 그 첫 번째 보고서에서 Roco & Bainbridge(2002)는 「인간의 능력을 향상시키기 위한 융합 기술(Converging Technologies for Improving Human Performance : Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science)」이라는 제목 하에 과학과 기술, 기술 간의 융합에 따른 사회적 변화와 교육적 변화 방향을 분석하고 있다. 여기서 그들은 융합기술을 ‘NT, BT, IT에 CS(인지과학)가 추가된 4가지 기술 간에 이루어지는 상승적인 결합을 통해 시너지를 창출하는 것’으로 정의하고, NBIC 융합 위주의 한정된 범위를 대상으로 융합기술을 개념화 하고 있다.

#### <표 II-1> 기술융합 정의 비교

문헌 및 연구자	주요 개념	성격
Kodama(1992)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이종기술 간 조합을 통해 발생하는 기술혁신 방식 중의 하나</li> <li>- 돌파형(breakthrough) 기술혁신에 비해 실패 위험성이 낮고 빈도수가 많아 상대적으로 그 비중이 증가하고 있음.</li> </ul>	틈새시장 개척형 기술혁신
Rosenberg(1963)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 산업이 각자의 기술적 문제를 해결해 나가는 과정에서 유사한 기술유형을 나타내는 기술적 수렴현상</li> </ul>	점진적 개선형 기술혁신
Roco & Bainbridge(2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술 간에 이루어지는 상승적인 결합을 통해 시너지를 창출하는 것</li> <li>- NBIC 중심의 한정된 범위를 연구 대상으로 삼음.</li> <li>- 인간의 능력을 향상시키기 위한 수단으로서 융합기술에 주목</li> </ul>	급진적, 와해성 기술혁신 추구

## 2. 융합기술의 특성

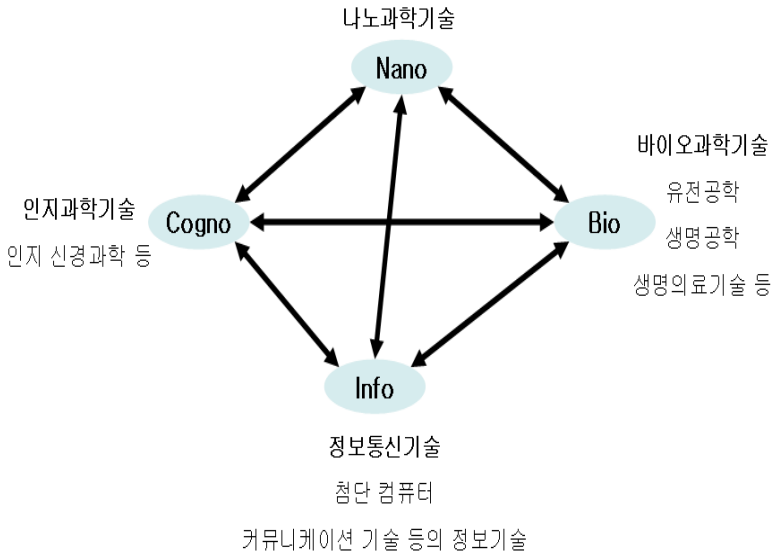
2,000년대 이후 각국이 융합기술에 주목하게 된 가장 중요한 이유는 융합기술이 기존의 단일 학제적 접근 혹은 단일 기술체제(technology regime) 하에서는 해결하기 어려웠던 안전, 건강, 국방, 교육, 성과 향상 등의 문제들에 대한 대안(solution)이 될 수 있다는 데서 비롯되고 있다. 즉, NT, BT, IT 등을 비롯한 기술체제들 간의 상승적 결합을 통해 출현한 융합기술이 인간의 능력, 사회 및 조직 구성원 간 상호작용 방식, 생산양식 등을 변화시킬 수 있다는 잠재적 영향에 주목하고 있는 것이다. 현재 융합기술에 대한 정의, 대상 범위, 그리고 접근방식 등에 있어 국가별로 상당한 차이를 보이고 있는 것은 사실이나, 그럼에도 불구하고 융합기술이 가질 수 있는 속성 그리고 가져야 할 기능적 공통적 특성들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 융합기술은 기존 제품 혹은 산업에 대해 와해적(destructive) 힘을 가질 수 있다. 산업적인 관점에서 융합기술을 보면, 전통적인 기술혁신 방식인 기술복합(technology integration) 혹은 기술조합(technology combination)에 의한 혁신결과가 기존 산업의 확장, 부분적 대체 혹은 틈새시장을 지향하는 것에 비해, 융합기술은 급격하고 강력한 파급효과를 유발하는 와해적 속성을 가지고 있어 기존에는 존재하지 않았던 완전히 새로운 산업을 출현시키고 기존 산업을 완전히 대체해 버릴 수 있기 때문이다.

둘째, 융합기술의 응용가능성에 대한 제한이 없다. 미국의 RAND(2006) 연구소는 미래 기술변화 트렌드의 핵심으로 바이오기술-나노기술-재료기술-정보기술 부문의 융합을 지적하면서, 융합기술의 대상 범위 및 접근방식이 국가별로 다르게 나타날 것을 예상하였다. 미국의 경우에도 NSF가 주도한 NBIC 중심의 융합기술 연구가 최근에는 재료, 에너지, 환경 등 NBIC 이외의 다양한 기술 분야를 포함하면서 점차 융합기술의 범위를 전방위적으로 확장해 나가고 있다. NBIC 중심의 융합기술 체제 내에서도 다양한 차원의 융합기술 연구가 시도되고 있는데, NBIC 사면체를 통해 각각의 두 가지 기술영역을 융합시킨 선의 관계 뿐만이 아니라, 3가지 기술 영역을 융합시킨 면, 그리고 모든 기술

영역을 융합시킨 입체로서의 접근방식이 강조되고 있다.

[그림 II-1] NBIC 사면체(NBIC tetrahedron)



셋째, 융합기술은 기본적으로 인류가 직면하고 있는 문제들에 대한 해결책 (solution) 제공의 역할이 기대되고 있다. 이 같은 융합기술의 역할에 대한 기대는 유럽위원회(EC)가 제시하고 있는 CTEKS(Converging Technologies Shaping the Future of European Societies) 보고서에서 제시된 융합기술의 사례에서도 잘 나타나고 있다. 즉, EC는 융합기술의 대표적인 예로서 자연어 처리를 위한 융합기술, 비만 치료를 위한 융합기술, 지능형 주거환경을 위한 융합기술, 지식사회 실현의 수단으로서 융합기술 등 매우 폭 넓은 범위에서의 융합기술의 역할을 규정하고 있다.

넷째, 융합기술은 과학과 기술의 긴밀한 결합을 통해 가능해진다. 과학과 기술의 관계에 대한 전통적인 시각은 과학이 일방적으로 기술발전에 영향을 미친다는 ‘선형적 기술혁신관’ 혹은 과학과 기술이 기술분야에 따라 상호주도적

으로 영향을 미친다는 ‘로젠버그(Rosenberg)적 관점’ 등으로 대별된다. 최근에 들어서는 과학과 기술 간에는 쌍방향적 상호작용 관계가 있다는 가설이 거의 정설처럼 통용되고 있는 것이 사실이다. 그러나 융합기술의 경우는 보다 근본적인 부분에서 과학과 기술의 통합이 이루어지면서 과학으로부터 유입된 새로운 지식이 기존 기술체제 간의 벽을 허물면서 급진적이고 와해적인 새로운 혁신을 창출해 낸다는 점에서 과학기반 융합기술(science based technology fusion) 혁신을 유도할 가능성이 매우 큰 것으로 보인다.

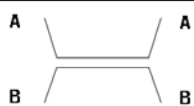
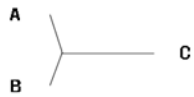
한편, 국가융합기술기본방침(2007)에 따르면 “융합기술은 미래 경제·사회적 이슈 해결을 위해 다양한 학제 및 이종기술 간의 결합을 통해 확보되는 혁신기술”이라고 정의하면서, 융합기술은 미래사회의 수요와 경제 및 시장의 원리에 따라 개별 요소기술들의 물리적 결합에 의한 ‘기술복합화’보다는 화학적 결합에 의한 ‘기술융합화’에 의해 자발적으로 발생하는 현상이라고 그 특성을 설명하고 있다. 또한 융합기술은 서로 다른 분야의 공동연구인 ‘복수학제 연구’보다 진일보한 개념으로, 공통의 목표를 해결하기 위해 성질이 다른 기술들 간의 화학적 결합을 뜻하는 ‘학제 간 연구’를 통해 도출된다는 점을 강조하고 있다.

[그림 II-2] 기술복합화와 기술융합화의 비교

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

출처: 국가융합기술기본방침(2007)

[그림 II-3] 복수학제 연구와 학제 간 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
학제 간 연구	문제해결과정에서 새로운 학문(기술)분야 C가 탄생		

출처: 국가융합기술기본방침(2007)

## 제2절 융합기술 정책 및 연구 동향

### 1. 융합기술 관련 정책 동향

융합기술에 대한 연구는 2,000년대 전후로 주목받아 온 나노, 바이오, 정보통신 기술발전의 증척되는 영역에서 등장하여, 세계적인 차세대 성장 동력으로 그 발전가능성이 무궁무진함을 인정받고 있다. 기술융합에 대한 연구개발은 아직 초기단계 머물러 있지만, 주요 선진 국가들에서는 점차 확대되고 있는 연구계 및 산업계의 지지와 국가 차원의 지원을 바탕으로 적극적인 연구개발 활동이 이루어지고 있다. 특히, 미국, EU, 일본 등의 주요 선진국에서는 NT, BT, IT 등을 중심으로 한 융합기술 분야를 향후 중점적으로 추진해야 할 고부가가치 첨단기술로 인식하고, 국가적 차원에서 본격적인 연구개발 육성 전략을 추진하고 있는 등 전략적인 대응을 본격화 하였다.<sup>3)</sup>

먼저, 미국은 2,000년부터 NT, BT, IT 등에 인지과학기술을 융합한 NBIC(Nano - Bio - Information - Cognitive Science) 융합기술을 인간의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 기술로 인식하고 수억 달러를 투자할 계획을 수립

3) 이하의 내용은 하태정 외(2007)의 내용을 일부 수정보완한 것이다.

하여 추진해오고 있다. 미국 융합기술 연구의 근간이 되는 정책은 ‘NNI(National Nanotechnology Initiative)’라는 나노에 기반을 둔 국가 융합 신산업 발전정책이다. 이것은 미국국립과학재단(NSF)이 1996년부터 연구한 결과를 바탕으로 1998년에 12개 연방정부기관이 참여, 국가나노기술개발제안을 대통령에게 보고한 것이 시초가 되었다.

그 이후 NSF의 Roco 등이 NBIC 융합기술 개념을 설정, 2002년 6월에 NBIC 융합기술 발전 전략을 수립하여 세계적인 첨단 융합기술 연구의 시초를 마련하였다. 이는 단기적인 구상이 아닌 대략 2020년까지를 전망한 장기적인 계획으로, 미국은 현재 이를 기반으로 세계적인 수준의 연구 유지를 위해 융합기술 연구개발에 집중 지원하고 있다. 특히 나노기술 연구기반 시설, 인재육성 등의 인프라 구축과 연구개발 결과의 기술사업화 촉진 등을 추진하는 등 탄탄한 정책적 지원을 바탕으로 전세계적으로 가장 활발한 연구 활동을 실시하고 있다.

미국 정부는 NNI를 선언한 이후, R&D 계획에 NBIC 관련 예산을 매년 중점적으로 편성하였는데, 실제 2006년 R&D 총 투자액인 1,337억 달러 중에서 21.5%에 해당하는 288억 달러가 NBIC 관련 예산인 Health & Human Service에 편성되어 국방부문을 제외하고 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 또한, 융합 관련 분야를 다루는 NNI의 투자액은 초기 설립당시인 2001년에는 4.2억 달러에 불과했으나, 2004년에 8.5억 달러로 두 배에 해당하는 금액을 투자하면서 집중 육성하게 된다. 2005년부터 2007년의 3년간 투자한 액수만 해도 약 37억 달러로 최근 미국의 융합기술에 대한 적극적인 R&D 활동을 확인할 수 있다. 이러한 융합기술에 대한 미국의 R&D 투자 활동은 향후 더욱 적극적으로 이루어질 것으로 예측된다.

미국이 NBIC 융합기술 연구를 국가 정책에도 적극 반영하기 시작하면서 유럽, 캐나다, 일본, 한국 등에서도 이에 영향을 받아 관련 연구가 나타나기 시작했다.

유럽에서는 NBIC 이외에 인문사회 영역까지 포괄한 폭넓은 의미의 융합기술을 다루고 있으며, 공통의 목표를 추구하며 서로에게 가능성을 주는 구형기

술(Enabling Technology) 및 지식체계로서의 융합기술을 정의한다. 그 결과 유럽의 융합기술 연구는 미국, 일본, 우리나라 등에서 이루어지는 융합기술 연구보다 훨씬 폭넓은 범위의 융합기술 연구가 이루어지고 있는 만큼 추구하는 바 역시 포괄적이다. 유럽은 21세기 유럽 사회의 미래상 정립과 경쟁력 확보를 위해 포괄적인 융합기술을 제안, 유럽 고유의 융합기술의 접근 방법을 마련하였으며, 유럽 경제의 경쟁력 강화를 통해 경제성장과 고용을 향상시키고자 하는 유럽의 리스본 전략에도 기여하고 있다.

또한, 유럽의 융합기술 연구는 연구 초기 단계부터 신기술 융합의 긍정적인 측면 뿐만 아니라, 부정적인 파급효과에도 큰 관심을 기울이고 있다. 즉, 융합기술은 생산적인 동시에 위험성을 내포하고 있음을 강조하며 기술의 한계, 염려 등을 지적함과 동시에, 윤리원칙 및 실행 가능한 규제 준비를 위한 건강, 안전, 환경위험에 대한 과학적인 연구 필요성을 강조하고, 융합기술 발전에 따른 윤리와 사회적인 책임을 중요한 사항으로 지적하고 있다.

일본의 경우를 살펴보면, 일본 과학기술정책 내에는 명확하게 기술개발하고자 하는 융합기술의 범위를 범국가적인 차원에서 명시한 예는 없다. 대신 그동안 추진 되어온 과학기술에 대한 국가 시책에 융합기술의 개념을 추가한 형태로 연구개발이 이루어지고 있다. 특히, 융합의 핵심 분야로 다루어지고 있는 분야는, 라이프사이언스(BT), 정보통신(IT), 나노소재(NT), 환경(ET) 분야이다. 이 분야는 일본의 제3기 과학기술기본계획의 중점 추진 4대 분야로 선정되어 있으며, 일본 과학기술정책연구소 연구는 이들의 융합·연대 관계에 대한 분야에서 적극적으로 전개되고 있으며, 이들 관계는 향후 과학기술 발전에 큰 영향을 미칠 것임을 강조하고 있다.

일본은 지금까지는 별도의 융합기술 육성 정책 및 계획을 발표하지는 않았으나, 2,000년대 초반부터는 4년마다 실시되고 있는 과학기술기본 계획에 융합 부문에 대한 내용을 포함시켜 지속적으로 연구개발 활동을 추진해 오고 있다. 그러나 최근에는 문부과학성에서 “C-Plan(Convergence Plan)”을 추진할 것으로 발표한 바 있다. 일본의 융합기술 관련 정책의 특징은 주로 부품소재를 기반으로 한 융합연구 활동이 이루어지고 있다는 점이다. 즉, IT, BT, NT 등의

경계가 허물어진 융합신산업은 부품소재산업이 핵심임을 강조하면서, 기존에 갖추고 있던 특유의 부품소재 기술력을 바탕으로 융합신산업을 육성하기 위한 계획에 기초하여 융합기술 연구개발 활동을 지원하고 있다.

한편, 우리나라는 IT, BT, NT 등의 첨단 신기술간 상승적 결합을 통해 미래사회 및 국가 공통의 목표 달성을 위한 과학기술적 한계를 극복함으로써 경제와 사회의 변화를 주도하는 기술로 융합기술을 정의하고 있으며, 우리나라의 융합기술에 대한 범위는 국내 과학기술 역량과 경제·사회적 관심을 고려하여 IT, BT, NT의 융합위주로 설정하고 있다. 융합기술의 주요 대상이 되는 것은 NBIT이지만, 최근에는 그것을 중심으로 ET, ST, CT를 적용하는 범위까지 확대하고 있는 추세이다.<sup>4)</sup> 우리나라는 현재 IT, BT, NT를 포함한 이들 6T 분야를 차세대 핵심 분야로 설정하고 총 연구개발비의 45% 이상을 투자하여 이들 분야를 집중 육성하고 있다. 이러한 정책방향에 힘입어 IT, BT, NT 등을 중심으로 한 기술간 컨버전스 관련한 연구를 지원하기 위한 연구개발 예산도 점차로 증가하는 추세에 있다. 비록 아직은 직접적으로 융합기술 연구개발 활동에만 초점을 맞춘 연구개발프로그램의 규모가 전체 국가연구개발사업비의 1.5%에 불과하여 절대적, 상대적으로 미미한 단계라 할 수 있지만, 융합연구가 국내외적으로 아직은 초기단계임을 감안하면 결코 작은 수준만은 아니라고 하겠다.

<표 II ~2> 주요국의 융합기술 연구개발 활동 비교

국가	접근 방법	중점산업분야	중점기술분야
미국	인지과학을 융합의 범위에 포함시켜 인간의 삶의 질을 향상시키기 위한 필요성을 제창, 국가 차원의 적극적인 R&D 활동 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건강·의료분야</li> <li>- 정보통신분야</li> <li>- 로봇분야</li> <li>- 사회·커뮤니케이션 분야</li> <li>- 방위·안전보장 분야</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 일렉트로닉스</li> <li>- 나노 바이오</li> <li>디바이스</li> <li>- 바이오센서</li> </ul>

<표 계속>

4) ET:에너지·환경기술, ST:우주기술, CT:문화콘텐츠기술 등을 각각 의미한다.



국가	접근 방법	중점산업분야	중점기술분야
유럽	NBIT 융합에 인문사회과학적인 범위를 대상으로, R&D 전략은 일본과 미국만큼 명확하지는 않지만, 관련 테마에 대한 EU 독자의 R&D 활동 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건강·의료분야</li> <li>- 정보통신분야</li> <li>- 신기능재료분야</li> <li>- 환경 분야</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오센서</li> <li>- 바이오 칩</li> <li>- 나노바이오 디바이스</li> <li>- 자기조직화 기술</li> </ul>
일본	NBIT 융합을 산업진흥, 신산업창출의 관점에서 바라보고 있으며, 국가 차원의 프로젝트 등, 그에 대한 지속적인 계획을 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건강</li> <li>- 의료분야(장수 등 고령화 서비스 관련)</li> <li>- 환경유지·복구분야</li> <li>- 정보통신분야</li> <li>- 신기능 재료분야</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오-정보통신 융합 기구</li> <li>- 나노 바이오 디바이스</li> <li>- 바이오센서</li> </ul>
한국	사회경제적 관심을 고려하여 NBIT를 융합기술 연구 대상으로 하여, 최근 범부처적인 R&D 계획을 마련	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건강·의료분야</li> <li>- 정보통신분야</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노อิเล็กทรอนิกส์</li> <li>- 바이오 인포매틱스</li> <li>- 생체인식/보호</li> <li>- 나노·바이오 센서</li> </ul>

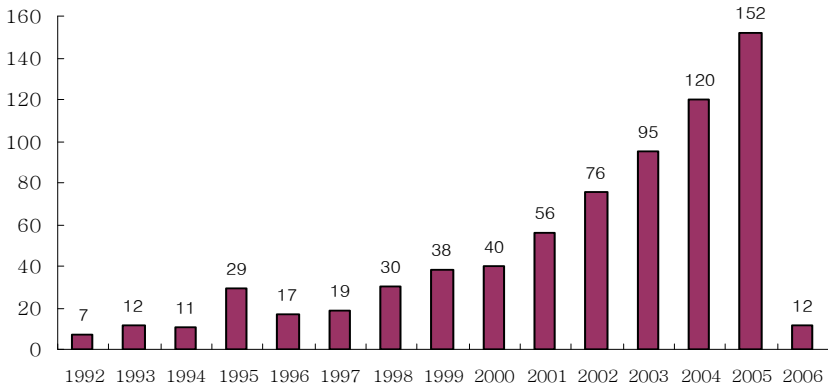
## 2. 융합기술 연구 동향

그렇다면 다양한 융합기술 영역 가운데서도 실제로 융합연구가 가장 활발히 일어나고 있는 분야는 어디일까? 이러한 질문에 답하기 위한 하나의 방법으로 융합기술 실태 파악을 위해 SCI(E)논문들을 대상으로 다음과 같은 서지계량분석(bibliometric analysis)을 수행하였다.<sup>5)</sup> 분석결과 NT, BT, IT 등 3개 기술영역과 동시에 관련된 논문들의 숫자는 2006년 현재 총 713편으로 밝혀졌으며 이들의 각 연도별 숫자는 다음 그래프와 같다. 아래 [그림 II-3]은 융합기술 관

5) www.webofscience.com에 있는 1992년 이후에 출판된 SCI(E) 논문들을 대상으로 Nano 와 Bio, Information에 관련된 논문의 숫자를 조사하여 그들의 특징을 분석하였다.

런 논문들의 숫자가 매년 매우 빠르게 증가하고 있음을 보여주고 있다. 국가별 논문 분포를 살펴보면 미국이 총 713편 중 303편을 차지하고 있어 미국의 절대적인 지위를 알 수 있으며, 다음으로 독일이 102편, 프랑스 56편, 이태리 49편, 영국 48편, 일본 31편, 캐나다 28편의 순이며 우리나라는 9편으로 18위에 랭크되어 있다.

[그림 II-3] 세계 NT, BT, IT 관련 SCI 논문 수 추세

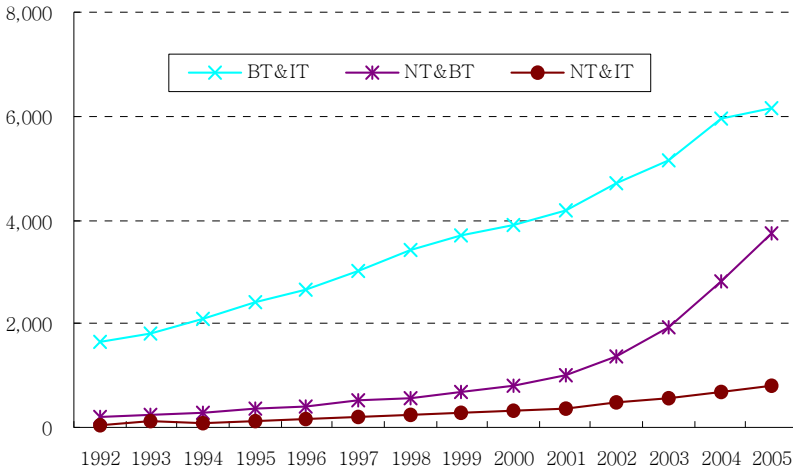


한편 이들 융합기술 관련된 논문들의 주제들을 살펴보면 Biochemistry & Molecular Biology, Multidisciplinary Material Science, Analytical Chemistry, Physical Chemistry, Multidisciplinary Chemistry, Biophysics, Applied Physics, Biochemical Research Methods 등의 순으로 화학과 물리분야가 강세를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이들 논문이 출판된 학술지들을 살펴봐도 Analytical Chemistry, Langmuir, Biophysical Journal, Biochemistry 등 역시 화학과 물리분야의 저널들이 가장 많은 수의 기술융합 논문들을 출판하고 있는 것으로 분석되었다. NT, BT, IT 각 분야의 논문 수도 조사하였는데 BT의 논문이 2004년 이후부터 이미 매년 10만 건 이상으로 가장 많은 수의 논문이 출판된 것에 비해 IT 관련 논문은 2005년의 경우 약 5만 건 정도, NT의 경우는 약 4만 건에 이르는 논문이 출판되었다.

다음으로 융합연구의 특징을 살펴보기 위해 교집합을 살펴보았는데, BIT분

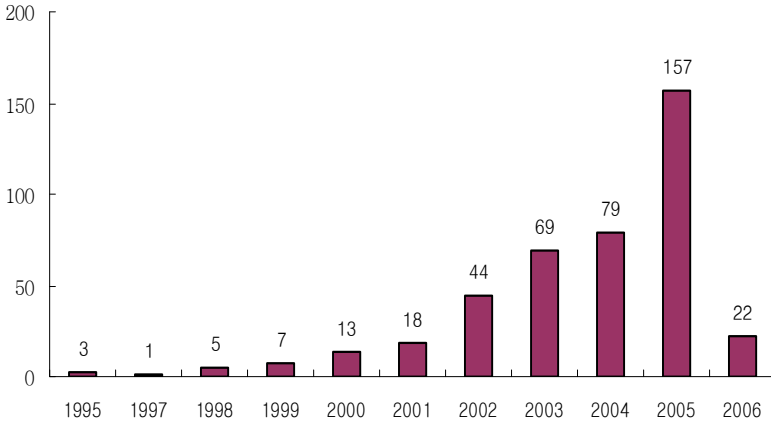
야가 가장 많아서 2005년 기준으로 6,000건 이상, NBT 분야는 약 4,000건, NIT 분야는 약 1,000건으로 집계되었다. 두드러지는 특징은 NBT 분야의 논문 수가 2002년 이후 급격한 증가세를 보였는데 이는 연구비의 NBT 분야의 집중과 어느 정도 연관성이 있으리라 생각된다.

[그림 II-4] 융합연구 관련 SCI 논문 수 추세



이들 논문 중 한국과 관련된 논문들을 따로 분리하여 그 숫자를 분석하여 보았는데, BIT의 경우 한국 논문의 점유율은 2005년의 경우 약 1.5% 정도로 전 세계가 중 22위 정도를 나타냈다. 특징적인 것은 NBT의 경우인데 NBT의 경우 우리나라의 점유율이 꾸준한 상승을 보이며 2005년 4%(2006년의 경우 현재 6% 추정), 전 세계적으로 7위(2006년 6위 추정)를 나타내고 있어서 NBT의 융합연구가 활발히 이루어짐을 알 수 있었다.

[그림 II-5] 한국의 NT, BT, IT 관련 SCI 논문 수 추세



이러한 연구논문의 특징들을 정부에서 지원된 연구비와 관련시켜 생각해보기 위하여 2004년 총 연구비의 6T 분야 표준기술분류별 분포표를 살펴보았는데 NT 분야의 연구를 기본으로 하는 물리, 화학, 기계, 재료 분야에서 BT 쪽으로의 연구가 활발하게 이루어지는 것이 관측되었다. 반면 BT 분야에서는 NT 쪽으로의 연구비가 그리 많지 않은 것으로 미루어볼 때 NBT에서는 NT를 기본적으로 연구하는 쪽에서 BT쪽으로 융합연구를 하는 경우가 BT에서 NT쪽으로 연구를 하는 것보다 좀 더 나은 성과를 나타내는 것을 관측할 수 있었다.

### 제3절 융합기술과 인력양성

융합기술 인력 양성의 중요성과 필요성에는 일반적인 공감대가 형성되어 있으나, 그 구체적 방안에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. 해외의 경우, 융합기술 인력 양성에 대한 연구가 미흡한 가운데, 다만 융합기술에 대한 일부 연구에서

융합기술인력 양성 및 활용에 대한 사항이 부분적으로 다루어지고 있는 실정이다. 이 절에서는 우선 각 문헌의 융합기술 인력 양성 방안의 결과, 융합기술 인력이 갖추어야 할 특성들에 대해서 우선적으로 살펴보고, 이후 그러한 특성들을 양성하기 위한 다양한 프로그램들이 갖는 상대적인 특징들에 대해서 살펴 보도록 하겠다.

### 1. 융합기술 전문 인력 양성의 주요 개념

융합기술은 그것이 어떻게 정의되든지, 서로 다른 기술적 속성 및 체계를 가진 두 가지 이상 영역의 상호작용을 포함하고 있다. 융합기술 인력 양성에 대한 연구들에서 교역지대(trading zone)와 혼합언어(creole)의 생성, 지식의 넓이와 깊이, 소프트스킬(soft skill) 등의 개념들이 자주 거론되는 것은 융합기술의 이러한 간학문적 특징에서 기인한 것으로 보인다. 융합기술의 특성에서 발생한 이러한 개념들은 서로 독립되었다기보다는 상호 보완, 연결된 개념으로 파악할 수 있다.

#### 가. 교역지대(trading zone)와 혼합언어(creoles)

교역지대(trading zone)의 개념은 Peter Galison(1997)이 레이더와 입자 탐지기를 개발하기 위한 공학자들과 과학자들의 상호협력의 장을 설명하기 위해서 사용한 은유적 개념이다. Galison에 따르면, 두 집단이 교환되는 두 물품에 대해서 서로 다른 중요성을 부여하며, 교환 과정의 의미에 대해서도 동의하지 않는다 하더라도, 이들은 교환의 역할에 대해서 합의에 이를 수 있으며 그 결과 교역지대가 나타난다(Galison, 1997, p. 783; Gorman 2002에서 재인용). 따라서 교역지대의 개념 자체는 융합기술 인력 자체의 특성이라기보다는 융합기술이 형성되거나 상호작용하고 있는 그 자체를 말한다고 할 수 있다.

그러나 서로 다른 두 집단이 함께 일하는 것만으로 교역지대가 효율적으로 작동할 수는 없다. Gorman and Groves(2005)는 Kuhn의 통약불가능성

(incommensurability)의 개념을 빌어 서로 다른 두 집단이 협력하는 것에 대한 어려움에 대해서 설명하고 있다. 이 개념에 따르면, 각 학문은 고유의 실천 영역과 특정한 문제를 해결하는 데 성공적이었던 전통적 사고방식을 갖고 있는 문화(culture)이다. 따라서 전통적인 학문 영역으로 분류되지 않는 새로운 문제나 기회에 대해서, 서로 다른 영역의 사람들은 그 문제나 기회 자체가 존재하는 지 여부에서부터, 그것의 특성들에 대해서 서로 다른 입장을 갖게 된다. 따라서 서로 다른 학문 문화를 갖고 있는 과학자나 공학자들이 통약불가능성을 극복하여 협력할 수 있기 위해서는, 이들이 효율적으로 상호작용하기 위해 필요한 공통의 혼합언어(creoles<sup>6)</sup>)를 발달시켜야만 한다(Gorman and Groves, 2005).

혼합언어는 특정 기능과 관련된 전문용어에서부터, 중간 수준의 복잡한 혼합어, 그리고 시나 초언어적 반성(metalinguistic reflection)과 같이 복잡한 활동들을 지원할 수 있을 정도로 완전히 발달한 언어에 이르기까지 다양한 수준으로 형성된다(Galison, 1997, p. 783). 그러나 이러한 혼합언어를 형성하기 위해서 반드시 새로운 언어를 창출해야하는 것은 아니다. 새로운 용어를 개발하는 대신에, 각자의 영역에서 사용되는 용어에 공통의 의미를 찾는 것도 혼합언어를 형성할 수 있는 방법이다(Gorman and Groves, 2005).

교육과정의 측면에서 혼합언어(creole)는 융합기술에서 공통으로 사용하는 지식들을 제공하는 과목으로 생각할 수 있다. 그러나 융합기술의 형태가 다양하기 때문에 어떠한 과목을 공통과목으로 설정할 지에 대해서 명확하게 제시한 논문은 많지 않다. Akins(2002)는 *Converging Technologies for Improving Human Performance*라는 보고서의 교육에 대한 장에서, 수학적 학문 내부와 학문 간에 있어서 대표적인 공통의 언어이기 때문에, 매우 깊이 있게 교육되어야 한다고 주장하고 있다. 이 보고서는 특정 융합기술보다는 NBIC 전반을 다루고 있으므로, 수학적 융합기술의 형태와 상관없이 공통적으로 강조되어야 할 과목으로 생각할 수 있다.

6) Creole 언어는 서로 다른 언어가 혼합되어 생성된 언어로 예를 들어 영국의 식민지 지역의 영어에서 유래되어 만들어진 English Creole, 하티티 지역의 프랑스 언어에서 유래되어진 French Creole 등이 있음.

그러나 각 융합기술의 형태에 따라서 공통적으로 포함하고 있는 과목은 다를 수 있다. 예를 들어 BIT 융합기술에 중점을 두어 'Biotechnology and Bioengineering' 코스를 개발한 UNC Charlotte의 경우에는 그들의 교육과정을 조직하는 데 있어서, 이 프로그램에 참여하고 있는 공학, 물리학, 생물학과의 교육과정에 있어서 공통적인 기초 물리학과 무기화학 교육과정을 필수 선수 과목으로 선정하였다(Coger and Silva, 1999).

동일하게 BIT에 중점을 두어 교육과정을 개발한 University of Wisconsin-La Crosse(UW-L)의 Bioinformatics across the Life Science Curriculum(BLSC)의 경우 지정된 필수 과목은 없었지만, 이 교육과정의 모든 학생들은 그들의 필요에 따라서 일반 생물학을 수강하였으며, 생물학과 생화학 과 사이에서는 유전학이, 미생물학과 학생들에게 있어서는 기초 미생물학 강좌가 주요 공통부분으로 나타났다(Miskowski et al, 2007).

#### 나. 지식의 넓이와 깊이

지식의 넓이와 깊이는 흔히 제너럴리스트(generalist)와 스페셜리스트(specialist)에 비유되어 설명된다. 일반적으로 generalist는 광범위한 영역에서 우수하게 능력이 있는 반면에, 깊이와 통찰력은 부족한 것으로 인식되며, specialist의 경우에는 한 분야에 정통하나, 타인과의 협력이 어려운 것으로 인식되고 있다. 실제적으로 지금까지의 학문 분야별 교육과정은 학문의 넓이보다는 깊이를 추구하고 있다고 볼 수 있다(Cohen, 2002; Gorman and Groves, 2005).

그러나 융합기술의 경우에는 제너럴리스트(generalist)와 스페셜리스트(specialist) 중의 하나로 분류할 수 없는 특성이 있다. 우선 융합기술은 그것의 간학문적 특성으로 인하여, 필연적으로 지식의 넓이의 확장을 포함하게 된다. 다른 한편으로 융합기술은 각 학문의 깊이가 깊어짐에 따라서 나타난 측면 또한 있다. 예를 들어, 생물정보학의 경우에는 유전자 분석을 통해 생물에 대한 근본적인 지식을 획득하는 과정에서 발달하였으며, 나노공학은 생물, 물리 등

의 각 학문 영역에서 아주 미세한 부분에서의 지식을 획득하는 과정에서 발달하였다.

실제로 나노공학에 대한 기술과 교육훈련에 대한 영국의 Nanotechnology: Skills and Training Survey 조사에서, 57.5%의 응답자들은 제너럴리스트(generalist)와 스페셜리스트(specialist)가 모두 고용주에 의해서 가치 있는 것으로 여겨지는 반면에, 23.5%는 제너럴리스트(generalist) 기술, 12.5%는 스페셜리스트(specialist) 기술이 가치 있는 것으로 여겨진다고 응답하였다(Singh, 2007). 따라서 융합기술 분야에서는 제너럴리스트(generalist)와 스페셜리스트(specialist)가 모두 중요하게 여겨지며, 융합기술 전문 인력들이 이 두 속성을 모두 갖춘 것은 큰 장점이 될 수 있다. 그러나 지식의 넓이와 깊이를 동시에 추구하는 것은 융합기술 전문 인력 양성의 어려움 중의 하나이다.

지식의 넓이와 깊이의 추구에 있어서 가장 먼저 고려할 사항은 넓이와 깊이에 있어서의 우선순위에 있다. Gorman(2002)은 개별 학문 없이는 다학문적 연구도 불가능하다는 것을 지적하였으며, 넓이는 여러 학문에서 공통적인 연구대상을 추구하고, 하나 이상의 학문과 연계함으로써 개발될 것으로 보았다. Akins(2002) 역시 대학원생들에게 있어서 깊이는 필수적이며 타협될 수 없는 속성이며, 넓이는 자신들에게 비슷한 도구와 모델을 사용하는 다른 학문 분야와 지속적으로 연계하는 과정 속에서 획득할 것으로 보았다.

그러나 개인의 차원에서 학생이 넓이를 추구하는 것은 자신의 시간 투자를 확대함으로써 가능하지만, 이것은 비용이 과도하게 들며, 학문 본연의 목적을 위해서도 바람직하지 못하다. 따라서 교육과정에서의 이상적인 모습은 깊이를 유지하면서도 넓이를 도입하는 것이다(Gorman, 2002). 융합기술 전문 인력 양성의 문제도 지식의 넓이와 깊이를 어떠한 방식으로 동시에 추구할 것인가의 문제와 연관된다.

또 다른 쟁점은 각 융합기술에 포함된 분야 중 어떠한 것의 학습에 우선순위를 두는가이다. Akins(2002)는 Telluride Workshop on Neuromorphic Engineering의 경험을 통해서, 공학자에게 생물학을 이해하도록 하는 것이, 생물학자가 공학을 이해하도록 훈련하는 것보다 더 쉬운 접근법이었다는 것을



밝히고 있다. 그러나 예외적인 사례도 많다는 것을 또한 밝히고 있다.

한편 Gorman(2004)은 NBIC 전문가가 되기 위해 습득해야할 지식의 네 가지 유형을 어떤 것에 대해서 아는 정보(Information(the What)), 지식의 적용에 대한 과정적 지식인 기술(Skills(the How)), 지식의 유용한 시점과 영역, 기술과 정보의 혼합 필요에 대해서 아는 판단(Judgement(the When)), 기술의 사회적 차원과 관련된 지혜(Wisdom(the Why))로 구분하였다. 정보와 기술은 지식의 깊이와, 판단과 지혜는 지식의 넓이와 관련된다고 볼 수 있다.

#### 다. 소프트스킬(Soft Skill)

앞서 살펴 본 바와 같이 융합기술은 기존에 서로 독립적으로 인식되었던 두 개의 학문 사이의 상호작용을 통하여 발생한다. 그러나 Kuhn의 통약불가능성(incommensurability)에서 알 수 있듯이, 각 학문은 고유의 실천 영역과 특정한 문제를 해결하는 데 성공적이었던 사고방식을 갖고 있는 문화이기 때문에, 문제에 대한 인식, 그것에 대한 접근 방법에 있어서도 상이하다(Gorman and Groves, 2005). 이러한 서로 다른 전통의 두 학문이 협동 연구를 하는 데 있어서 어려움을 극복하기 위해서, 앞서 살펴본 공통의 혼합언어와 함께 강조되고 있는 것이 소프트스킬(soft skill)이다.

소프트스킬(soft skill)이 융합기술에 있어서 강조되는 다른 이유는, 그것이 과학 분야의 학문 간의 협력 뿐만 아니라, 융합기술이 상업화되고 사회에서 활용되는 데 있어서 산업이나 다른 인문학과와의 협력을 필요로 하기 때문이다. Allenby(2001)에 따르면, 융합기술을 위한 새로운 교수법은 다학문적 훈련을 포함하며, 또한 과학자, 공학자, 사회학자를 포함한다. 비록 우리가 상아탑 속의 학자를 필요로 하고 있지만, 동시에 서로 다른 연구 도구를 사용할 뿐만 아니라, 다른 방식으로 연구 결과를 추구하는 학생, 연구자, 조사자들을 연결할 필요가 있다. 더 나아가, 융합기술이 사회에 이익을 가져오는 것은, 지구 시스템 관점을 취함으로써 증가될 수 있으며, 이러한 관점을 취하기 위해서, 과학자, 공학자, 윤리가 그리고 사회과학자들은 협력해야만 할 것이다.

그렇다면 융합기술에 있어서 필요한 소프트스킬(soft skill)은 어떠한 것이 있는가? Huxley(2006)에 따르면, 모든 생명공학의 스킬은 전문기술(technical skill)과 소프트스킬(soft skill)을 포함하는데, 고용주에 의해서 더 중요하게 여겨지는 것은 소프트스킬(soft skill)이다. 여기서 예를 든 소프트스킬(soft skill)은 팀에서 일하는 것, 의사소통하는 것, 정시에 일을 시작하는 것, 하루 종일 일에 몰입하는 것, 컴퓨터를 사용하는 능력 등이다(Koehler and Koehler-Jones, 2006; Huxley, 2006에서 재인용). 이러한 기술들은 또한 직업역량 기술(workplace competency skills)이라고도 불린다.

한편, 융합기술 분야의 기업을 대상으로 한 Nanotechnology skill and training survey에 대한 Singh(2007)의 분석에 따르면, 소프트스킬(soft skill)과 언어 기술은 전 세계적으로 통용되고, 문화적으로 다양한 세계에서 매우 중요한 것으로 여겨진다. 나노기술 분야의 회사들의 응답자의 32.7%는 팀 워킹이 가장 중요한 소프트스킬(soft skill)로 응답하였으며, 23.8%는 의사소통이 중요하다고 응답하였다. 그 외 사용되는 언어의 중요성에 대한 응답은 영어(41.2%), 독일어(15.7%), 프랑스어(13%) 순으로 나타났다.

## 2. 융합기술 전문 인력 양성: 국가, 기업, 대학 별 특징

초기의 융합기술 전문 인력들은 자신들의 필요에 따라 융합기술을 발전시켰다. 예를 들어, 생물정보학의 첫 세대는 주로 생물학적 데이터의 분석을 촉진시키기 위해서 컴퓨터의 사용이 필요하다는 것을 깨달은 생물학자들이었으며, 이들은 필요에 의해서 스스로 이러한 것들은 터득해 왔다(Hack and Kendall, 2005). 그러나 사회적 차원에서 융합기술 전문 인력에 대한 수요가 증가함에 따라, 이들을 체계적으로 양성하고자 하는 시도가 정부, 기업, 대학 사이에서 적극적으로 나타나고 있다. 그러나 융합기술 전문 인력 양성에 있어서, 정부, 기업, 대학에서의 역할과 추구하는 방식이 다르기 때문에 다양한 형태의 융합기술 전문 인력 양성의 시도가 나타나고 있다.

### 가. 국가적 차원의 융합기술 전문 인력 양성

2001년 미국의 클린턴 대통령은 NNI(National Nanotechnology Initiative)라는 미국의 신과학기술정책을 발표하였으며, 그 결과 미국국립과학재단(NSF)이 주도한 NBIC 융합기술 연구가 본격적으로 시작되었다. 이들 연구는 나노-바이오-정보통신-인지과학 기술 간의 융합을 통해 인간의 정신적·신체적·사회적 능력을 향상시키고 국제 경쟁력과 삶의 질 향상에 기여하는 것을 최종목적으로 하고 있다. 미국의 사례가 말해 주듯이, 국가적 차원의 융합기술 전문 인력 양성은 거시적 차원의 사회문제 해결과 국가 경쟁력 확보에 우선순위가 있다. 따라서 국가적 차원에서의 융합기술 전문 인력 양성은 장기적인 차원의 인력양성 정책으로 볼 수 있다.

NBIC 융합 연구는 미국 국립과학재단(NSF)을 중심으로 2001년부터 컨퍼런스 및 보고서 발간을 통해 구체화되었으며, 그 첫 번째 보고서는 Roco and Bainbridge(2002)에 의해서 발간된 “인간의 능력을 향상시키기 위한 융합기술(Converging Technology for Improving Human Performance)”이다. 이 보고서는 Visionary projects라는 장에서 미국의 K-12에서 융합기술 교육의 중요성에 대해서 서술하고 있다. 미국의 경우 국가표준의 교육과정이 없으며, 교육과정 개발에 다양한 이익집단이 관여한다는 점을 고려할 때, 융합기술을 K-12 안에 도입하기 위해서는 융합기술 교육과정을 제도화해야 하며, 이를 위해 전체 공동체의 참여와 지원이 필요하다는 것이 역설하고 있다(Batterson and Pope, 2002). 이 보고서에서 교육과정에 융합기술을 도입하기 위한 전략은 다음과 같다.

- 국가 과학 교육 표준(National Science Education Standards)에 반영
- 융합기술 과학교과 내용의 표준 개발
- 융합기술 표준을 충족시키는 K-12 융합기술 교육과정 개발
- 주(states)의 과학교육 표준과 평가 도구 개발에 반영
- 사범대학과 대학의 다음 세대에 대한 일반 교육(비이공계 대학생)을 위한

### 융합기술 과정의 개발

- 아동 도서의 작가와의 협력을 통해 “유아기 독자(1~5살)”용 책에 포함되는 융합기술 개념의 개발

이렇게 K-12 또는 K-16에서부터 융합기술을 교육과정에 포함하고자 노력하는 이유는, 이것이 장기적인 차원에서 국가적 융합기술 인력 확보에 도움이 되기 때문이다. 나노기술인력의 확보에 대한 장기적인 시각을 제시한 Foley and Hersam(2006)은 지난 20년 동안 미국 교육에서의 과학, 기술, 공학 그리고 수학(Science, Technology, Engineering, and Math; "STEM")의 침체가 미국이 현재 나노공학 영역에서의 세계적인 경제적 주도권을 확보하는 데 있어서 심각한 위협으로 작용하고 있다는 것을 주장한다. 이들은 K-12 또는 K-16에서의 STEM 과목의 교육을 첨단과학기술 인력을 배출하는 파이프라인(pipeline)에 비유한다. 이러한 비유는 STEM 분야에 대한 지원이나 유입이 적으면 배출되는 인력 또한 감소할 수밖에 없다는 것을 의미한다. Foley and Hersam(2006)의 STEM 교육의 약화와 파이프라인(pipeline)의 비유는 이공계 기피의 문제가 사회적으로 심각하게 제기되고 있는 한국사회에도 많은 시사점을 제공한다.

### 나. 기업 차원의 융합기술 전문 인력 양성

기본적으로 기업은 융합기술 전문 인력을 양성하는 곳이기 보다는 수요처로서의 성격이 크다. 그러나 기업이 필요로 하는 융합기술 인력의 양상은 대학의 융합기술 교육과정에 많은 영향을 주기 때문에, 기업은 융합기술 인력양성에 많은 영향을 주고 있다. 또한 현실적으로 기업은 대학의 프로젝트를 위한 자금을 지원하고 있으며, 많은 융합기술이 산업과 학계의 산학 협동 기반 위에서 개발되고 있다.

산업체가 바라는 융합기술 인력의 지적 수준은 Nanotechnology skill and training survey에 대한 Singh(2007)의 분석에서 찾아볼 수 있다. 나노공학 분

야의 기업들은 자신들이 필요로 하는 인력의 바람직한 학위 수준에 대해서 33.8%는 박사 학위라고 응답하였으며, 21%는 단일학문의 석사학위, 18.3%는 간학문의 석사 학위라고 응답하였다(Singh, 2007).

한편, 융합기술 인력에 대한 교육훈련 방법에 대해 조사 기업의 25.9%가 OJT 방식을 가장 선호한다고 하였으며, 22.4%의 지속적인 전문성 개발, 14.8%의 한 주 또는 더 짧은 기간의 교육과정을 선호한다고 응답하였다. 그러나 기업들이 OJT 프로그램을 선호하는 데 반하여, 기업의 관리자들은 OJT가 학생 수준에서 습득한 우수한 기초 지식을 대체할 수 없다는 것을 인식하고 있다(Singh, 2007).

기업 차원의 융합기술 인력양성이 갖는 다른 중요한 측면은 융합기술 인력에 대한 교육훈련 측면이다. 생명공학에 있어서의 새로운 기술의 개발은 재직자들을 빠르게 재교육시켜야할 필요성을 증가 시킨다. 이에 더해, 산업에서의 기술적용은 매우 빠르게 변화하기 때문에, 기초적인 것들에 대해서도 지속적이고 더 많은 교육훈련이 요구된다. 예를 들어, 생명공학 재직 인력에 있어서 가장 요구되는 기술은 생화학, 분자 생물학, 클로닝(cloning)과 세포배양에 대한 지식이다(Huxley, 2006).

#### 다. 대학 차원의 융합기술 전문 인력 양성

대학은 융합기술 전문 인력 양성을 위한 가장 직접적인 기관이다. 대학이 융합기술 전문 인력 양성에 있어 실질적인 역할을 할 수 밖에 없는 이유는 우선, 융합기술에 포함된 개별 학문들에 대한 전문지식을 제공해 왔던 실질적인 고등교육기관이기 때문이다. 대학에는 융합기술을 구성하는 다양한 과학 분야의 학자들 뿐만 아니라, 융합기술의 사회적, 윤리적 측면에 대해서 협력할 수 있는 다양한 분야의 학자들이 밀집해 있다. 따라서 대학은 융합기술 인력 양성을 위해 필요한 인적 네트워크 구성에서 그 어느 기관보다 강점을 갖고 있다.

다음으로 대학은 국가나 산업체의 요구를 수용할 수 있는 유연성이 있다. Gorman and Groves(2005)가 밝혔듯이, 융합기술은 근본적으로 학생들의 간

학문적 교역지대에서의 협력을 촉진하는 데 있어 필요한 상호작용적 전문지식을 획득하는 것을 필요로 하는데, 이것은 기존의 표준화된 교육과정에서는 이루어지기 어렵다. 이것은 융합기술의 개발이 학문 외적 요구에 부응하기 위한 유연성을 요구하기 때문이다. 이러한 맥락에서 Akins(2002)는 과학에서의 교역지대, 즉 융합기술은 대학 기반 연구 센터나 산학 협동에 기반을 두고 만들어져야 하는 것으로 보았다.

그러나 대학이 융합기술 전문 인력 양성에 있어 강점을 갖는다 하더라도, 구체적으로 융합기술 전문 인력 양성을 교육 과정화 하는 것에는 어려움이 또한 존재한다. 근본적으로 이러한 어려움은 융합기술이 다양한 협력을 필요로 하기 때문이다. Akins(2002)는 융합기술 전문 인력 양성을 위해서 대학과 대학원 수준에서 학생들이 NBIC 관련 교수와 학과들 사이를 이동할 수 있도록 하는 다학문적인 협력이 필요할 것으로 보았다. 그러나 이러한 유연한 교육과정은 그 결과의 검증이나 질 관리에 있어서 어려움을 가져온다.

다음으로 대학이 융합기술 전문 인력을 양성하는 데 있어서 수반되는 산업과의 협력관계에도 어려움이 따른다. 산업은 기술의 변화가 매우 빠르기 때문에, 새로운 산업체에서의 요구와 그것에 맞는 교육과정을 개발하고 시행하는 것에는 시간차와 속력의 차이가 있다. 따라서 산업에서 추구하는 경제적 이익이나 실용적인 가치와 대학 본연의 교육적 가치를 조화시켜야 하는 어려움이 남게 된다.

융합기술 전문 인력 양성과정을 위한 대학교육과정에 대한 사례들이 보고되어 있으며 본 보고서 제6장에 구체적인 사례를 소개하도록 한다.

## 제 3 장 바이오산업 및 인력 현황

### 제1절 세계 바이오산업의 현황 및 전망

점차 모든 산업이 국내에 국한해서 진행할 수 없는 환경이 되어가고는 있지만, 특히 첨단 지식과 기술을 기반으로 하는 바이오산업은 세계적으로도 국가 경쟁력을 이끄는 분야로 주목받고 있는 글로벌 산업이다. 이처럼 국내 시장을 넘어서 세계 여러 나라와 경쟁하는 분야인 바이오산업의 전문 인력 양성방안을 수립하기 위해서는 먼저 세계 바이오산업의 현황 및 전망에 대한 논의가 필요하다.

따라서 이 절에서는 먼저 세계 바이오산업의 현황 및 전망을 파악하고, 이어지는 절에서 국내 바이오산업의 현황 및 전망에 대해 인력 현황을 중심으로 살펴봄으로써 이를 통해 한국 바이오산업의 나아갈 방향과 인력수요에 대한 시사점을 얻고자 한다.

#### 1. 세계 바이오산업의 현황

세계 바이오산업의 현황을 보면 2006년 상장기업을 기준으로 총 73,478백만 달러의 수익을 보이며, 27,782백만 달러의 R&D 비용을 투자하고 있는 것으로

나타났다. 인력 현황을 보면 총 190,500명이 종사하고 있는 것으로 나타났으며, 이 중 미국이 130,600명으로 전체 종사자의 68.6%를 차지하고 있다.

아시아/태평양의 경우는 미국이나 유럽에 비해 시장 규모나 인력, 투자 등이 매우 작은 것으로 나타났다. 미국과 아시아/태평양을 비교해보면 인력은 약 10 배, R&D 투자비용은 무려 57배나 차이를 보인다.

<표 III-1> 세계 생명공학 시장 현황(2006년, 상장기업 기준)

	세계	미국	유럽	캐나다	아시아/ 태평양
<b>&lt;상장기업&gt;</b>					
수익(백만\$)	73,478	55,458	11,489	3,242	3,289
R&D비용(백만\$)	27,782	22,865	3,631	885	401
순손실(백만\$)	5,446	3,466	1,125	524	331
고용인력(명)	190,500	130,600	39,740	7,190	12,970
<b>&lt;총 기업 수&gt;</b>					
기업 수(개)	4,275	1,452	1,621	465	737
- 상장	710	336	156	82	136
- 비상장	3,565	1,116	1,465	383	601

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

## 2. 아시아/태평양 시장의 현황

아시아/태평양의 생명공학 시장은 미국, 유럽 등에 비해서 열악한 실정이다. 2005년과 비교했을 때 2006년에는 수익이 10% 증가하였으나 순이익 측면에서는 마이너스 성장을 보였다. 하지만 R&D비용은 28%가 증가했고, 종사자 수는 4%, 기업 수는 3%가 증가한 것으로 나타났다.

<표 III-2> 아시아/태평양 시장의 바이오산업 현황(2005~2006)

구분	2005	2006	증감률(%)
수익(백만\$)	3,002	3,289	10
R&D비용(백만\$)	312	401	28

<표 계속>



구분	2005	2006	증감률(%)
종업원 수(명)	12,490	12,970	4
기업 수(개)	716	737	3
- 상장	139	136	~2
- 비상장	577	601	4

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

### 3. 세계 바이오산업의 전망

세계 바이오산업의 시장규모 전망을 보면 연평균 증가율은 2006~2010년 11.1%, 2011~2015년에는 15.0%로 지속적으로 시장규모가 성장할 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 세계 바이오산업 시장의 시장 규모는 2015년에는 3,090억 달러에 달할 것으로 전망되고 있다.

<표 III-3> 세계 바이오산업 시장규모 전망

세계 시장규모(억 달러)				연평균 증가율(%)		
2,000년	2005년	2010년	2015년	2,000~2005	2006~2010	2011~2015
540	910	1,540	3,090	11.0	11.1	15.0

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

미래 사회 생명공학 분야를 주도할 유망 바이오산업으로 꼽히고 있는 바이오신약, 바이오장기, 바이오칩 분야의 세계시장 전망을 보면 2020년까지 세계 시장의 경우는 7.2배, 한국 시장의 경우는 9.5배의 시장 규모의 성장이 예측되고 있고, 이에 따른 생산 및 부가가치의 성장이 전망되고 있다.

현재 한국 시장이 전 세계 바이오산업에서 차지하는 비중은 1.7%이며, 2020년에는 2.2%의 규모로 확대될 것으로 예측되고 있다. 부가가치는 보다 상승폭이 클 것으로 전망돼 2005년 전 세계의 1.9%에서 2020년에는 3.8%를 차지할 것으로 전망된다.

&lt;표 III-4&gt; 2020 유망 바이오산업의 세계 및 한국시장의 전망

(단위: 백만 달러, %)

		2005	2010	2015	2020
시장규모	세계	72,060.4	164,214.2	371,438.3	517,946.1
	한국	1,224.0	3,137.6	7,463.0	11,594.5
	비중(%)	1.7	1.9	2.0	2.2
생산	세계	72,060.4	164,214.2	371,438.3	517,946.1
	한국	1,040.0	2,964.5	7,816.4	13,967.9
	비중(%)	1.4	1.8	2.1	2.7
부가가치	세계	33,060.7	74,433.2	166,767.4	230,468.3
	한국	628.9	1,825.4	4,885.3	8,792.7
	비중(%)	1.9	2.5	2.9	3.8

주: 세계 전체의 경우 시장규모=생산규모, 수출=수입

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

#### 4. 세계 바이오산업의 현황 및 전망으로부터의 시사점

학계와 연구계 및 산업계 전문가를 대상으로 한 전문가 면담조사 결과에 따르면 국내 바이오산업의 전망에 대해서는 다소 의견이 엇갈리게 나타난 반면, 세계시장의 전망은 긍정적인 것으로 나타났다. 미국 등 바이오산업 분야에서 선도적인 위치에 있는 나라의 경우는 바이오산업의 중요성을 여전히 높게 인식하고 있고, 정부나 민간 차원의 투자가 지속적으로 이루어지고 있기 때문에 국내 전망에 대해서는 다소 부정적인 견해를 보이는 전문가들도 세계 바이오산업의 전망은 여전히 밝은 것으로 보았다.

이와 같이 전문가 일각의 국내 바이오산업에 대한 비관적인 전망에도 불구하고 관련 통계자료에 따르면 세계시장에서 바이오산업은 지속적인 성장세를 보일 것이라는 전망이 나오고 있다. 특히 미국 등 선진국을 중심으로 지속적인 증가세가 전망되는 점은 주목할 만하다. 반면, 아시아/태평양의 바이오산업은 다소 뒤쳐져 있는 실정으로 지속적인 투자가 요구된다.

바이오산업은 앞으로도 세계적으로 지속적인 성장을 이어갈 것으로 전망되며, 이에 따라 인력 수요 역시 증가세가 지속될 것이다. 아시아/태평양의 경우 현재의 발전 상태는 낮으나, 선진국에 비해 개척할 분야가 많다는 측면에서 보면 향후 투자 및 지원의 정도에 따라서 인력 수요는 더욱 큰 폭으로 증가할 수 있을 것이다. 특히 바이오산업의 특성이라 할 수 있는 융합기술 전문 인력에 대한 수요는 점차 증가할 것으로 예측된다.

## 제2절 국내 바이오산업의 인력 현황 및 전망

이 절에서는 국내 바이오산업의 현황 및 전망을 인력 현황을 중심으로 살펴보고자 한다. 단, 세부적인 바이오 융합분야의 인력현황에 대한 자료가 존재하지 않기 때문에 전반적인 바이오산업 인력 현황을 살펴봄으로써 바이오 융합기술 전문 인력에 대한 시사점을 얻고자 한다.

### 1. 국내 바이오산업의 인력 현황

국내 바이오산업에 종사하고 있는 인력 현황을 보면, 1997년부터 꾸준히 증가세를 보이고 있으며, 2005년에는 총 13,867명이 종사하고 있는 것으로 나타났다. 전체 바이오산업 종사 인력 중 연구 인력이 53.6%로 생산인력보다 다소 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

<표 III-5> 국내 생명공학 산업분야 종사 인력 연도별 추이

(단위: 명)

	1997	1998	1999	2,000	2001	2002	2003	2004	2005
연구인력	1,889	1,982	2,969	3,371	4,445	5,082	5,808	6,608	7,430

<표 계속>

	1997	1998	1999	2,000	2001	2002	2003	2004	2005
생산인력	1,411	1,372	1,715	1,815	2,662	3,625	5,205	5,530	6,437
총 인력	3,300	3,354	4,684	5,186	7,107	8,707	11,013	12,138	13,867

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

## 2. 바이오산업의 학위별 인력 현황

2005년 기준 학위별 바이오산업부문 종사자를 학위별로 살펴보면 연구 인력의 경우 석사(48.1%), 학사(25.9%), 박사(15.9%), 기타(10.1%)의 순으로 나타났다. 생산인력의 경우는 기타와 학사의 비중이 86.6%를 차지하는 것으로 나타났다.

<표 III-6> 바이오산업부문 인력(2005년)

(단위: 명)

구분	박사	석사	학사	기타	합계
연구인력	1,181(15.9)	3,576(48.1)	1,925(25.9)	748(10.1)	7,430(100)
생산인력	97(1.5)	762(11.8)	2,249(34.9)	3,329(51.7)	6,437(100)
총 인력	1,278(9.2)	4,338(31.3)	4,174(30.1)	4,077(29.4)	13,867(100)

주: 1) 연구 인력은 생명공학부문 연구개발 인력 + 연구 관리직(생명공학 전공자) 해당

2) 생산인력은 연구소 이외의 바이오산업 관련부문 생산직 해당

3) 기타는 테크니션 및 연구보조원 해당

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

## 3. 국내 바이오산업의 세부 분야별 인력 구성

바이오산업의 세부 분야별 인력 구성을 살펴보면, 생물의약품이 37.9%로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 바이오식품이 25.6%, 생물화학이 13.2%로 세 분야가 전체의 76.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

&lt;표 III-7&gt; 바이오산업의 산업별 인력 구성

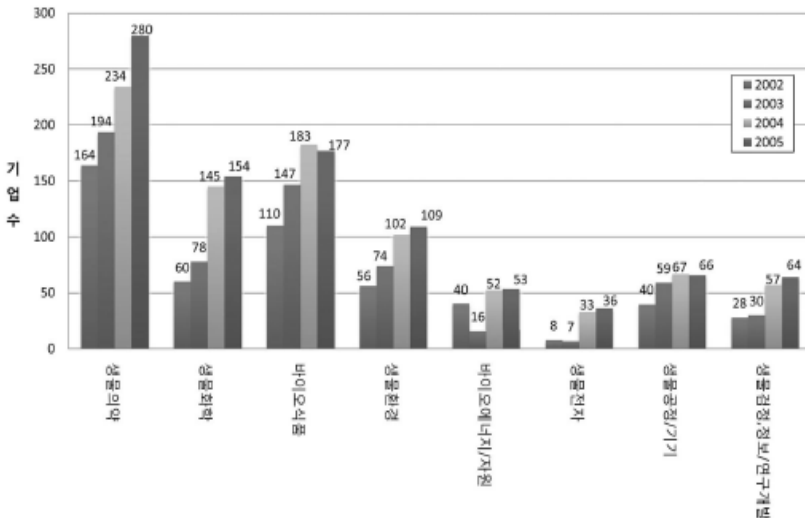
(단위: 명, %)

생물의약	생물화학	바이오식품	생물환경
5,262(37.9)	1,826(13.2)	3,550(25.6)	1,189(8.6)
생물전자	생물공정 및 기기	바이오에너지 및 자원	생물검정 및 기타
180(1.3)	692(5.0)	457(3.3)	711(5.1)

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

바이오산업의 세부 분야별 기업 수 추이를 보면 2002년 대비 2005년에는 전 분야에서 증가추세를 보이며, 특히 생물의약 분야의 기업 수 증가가 눈에 띈다.

[그림 III-1] 바이오산업의 산업별 기업 수 변화 추이(2002~2005)

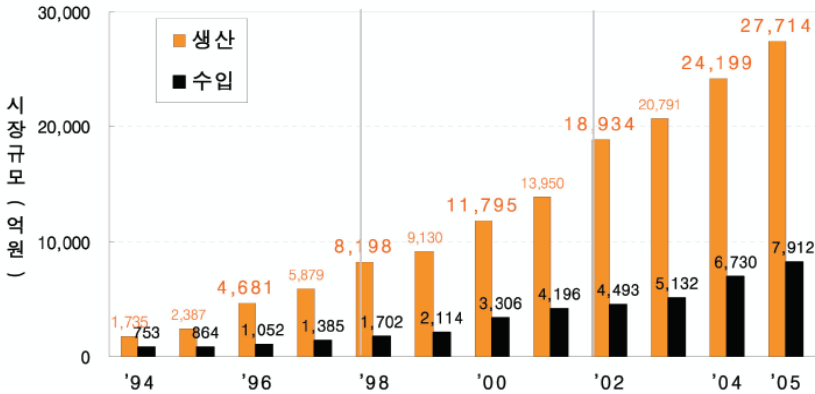


출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

#### 4. 국내 바이오산업의 현황 및 전망

국내 바이오산업의 시장규모는 꾸준히 증가해왔으며, 특히 수입규모보다 생산규모의 증가폭이 높은 점이 주목할 만하다. 생산규모는 1994년 1,735억 원에서 2005년에는 27,714억 원으로 연평균 28.7%의 높은 증가율 기록했다.

[그림 III-2] 국내 바이오산업의 시장규모(1994~2005)



출처: 생명공학정책연구센터(2008). 2008년 생명공학기초통계.

국내 바이오산업의 시장규모는 2,000년 9,000억 원에서 연평균 23.5% 성장하여 2015년에는 21.4조 원에 달할 것으로 전망된다(동 기간 세계 바이오산업 연평균 성장률은 12.3%). 또한, 우리나라 바이오산업의 세계시장 점유율은 2015년에 세계시장의 6.9%를 차지할 것으로 전망된다.

<표 III-8> 국내 바이오산업 시장규모 전망

국내 시장규모(억 원)				연평균 증가율(%)		
2,000년	2005년	2010년	2015년	2,000~2005	2005~2010	2,000~2010
9,000	23,315	70,548	213,688	21.0	24.8	23.5

출처: 생명공학정책연구센터(2007). 생명공학 시장현황 및 전망 분석 보고서.

유망 바이오산업(바이오신약, 바이오장기, 바이오칩)의 한국 시장전망을 살펴보면, 2005~2020년의 국내시장 규모 연평균 증가율은 16.2%에 달할 것으로 나타났으며, 전반적으로 2005~2010년 사이의 성장률이 높을 것으로 전망되었다. 특히 고용의 경우는 2005~2020년의 연평균 증가율이 9.2%로 예측됐다.

<표 III-9> 2020 유망 바이오산업의 시장 전망

(단위: 백만 달러, %)

		2005	2010	2015	2020	연평균 증가율		
						2005 ~2010	2010 ~2020	2005 ~2020
국내시 장 규모	바이오신약	1206.9	3071.6	7218.7	11099.9	20.5	13.7	15.9
	바이오장기	6.3	19.3	59.1	132.4	25.1	21.3	22.5
	바이오칩	10.8	46.7	185.5	362.2	34	22.7	26.4
	전체	1224	3137.6	7463.3	11594.5	20.7	14	16.2
생산	바이오신약	1015.7	2859.4	7416.5	13070.4	23	16.4	18.6
	바이오장기	5.3	19.6	70.1	174.5	30	24.4	26.3
	바이오칩	19.1	85.5	329.8	723.1	35	23.8	27.4
	전체	1040.1	2964.5	7816.4	13968.0	23.3	16.8	18.9
부가가 치	바이오신약	616	1769.9	4686.2	8370	23.5	16.8	19.
	바이오장기	3.2	12.1	44	110.9	30.5	24.8	26.7
	바이오칩	9.7	43.4	155	311.8	35	21.8	26.1
	전체	628.9	1825.4	4885.2	8792.7	23.8	17	19.2
고용	바이오신약	4853.5	8553.5	13160.6	17611.8	12	7.5	9
	바이오장기	25.3	57.8	116.2	187.2	18	12.5	14.3
	바이오칩	177	404.9	814.5	1196.7	18	11.5	13.6
	전체	5055.8	9016.2	14091.3	18995.7	12.3	7.7	9.2
수출	바이오신약	295	900.2	2534.2	5097.2	25	18.9	20.9
	바이오장기	1.5	6.4	23.7	59	33	24.9	27.5
	바이오칩	8.4	39.2	145.6	362.2	36	24.9	28.5
	전체	304.9	945.8	2703.5	5518.4	25.4	19.3	32.1
수입	바이오신약	186.3	1112.4	2336.5	3126.7	18	10.9	13.2
	바이오장기	2.5	6	12.7	17	19	10.9	13.5
	바이오칩	0.2	0.5	1	1.4	20	11.9	14.5
	전체	489	1118.9	2350.1	3145.1	18	10.9	13.2

주: 환율은 2004년도 환율 1143.74원 기준

출처: 생명공학정책연구센터(2008. 3.). 2008년 생명공학 주요 통계자료 모음.

#### 4. 국내 바이오산업의 인력 현황으로부터의 시사점

전문가 조사에서는 국내 바이오산업의 시장 전망을 불투명하게 보는 견해가 있었다. 이러한 차이에는 여러 가지 근거가 있겠지만 우리나라의 바이오산업이 아직 발전 단계에 있는 것도 하나의 원인이 될 수 있을 것이다. 때문에 현장에서의 체감 전망은 부정적으로 나타났을 수 있다. 실제로 벤처기업 창업 추이를 보면 2,000년에 급격한 증가를 보였을 뿐 그 이후에는 주목할 만한 증가세를 보이지는 않고 있다.

하지만 앞서 살펴본 것처럼 국내 바이오산업 역시 세계 바이오산업 시장과 더불어 성장세가 이어질 것이라는 전망이 보고되고 있다. 아울러 국내 바이오산업 종사 인력의 비율이 꾸준히 증가하고 있다는 점과, 그 중에서도 연구 인력의 수요가 증가하고 있다는 점은 고등교육을 담당하는 대학의 바이오 융합 학과를 통한 전문 인력 양성의 지속적인 필요성을 보여준다.

### 제3절 소결 및 시사점

바이오 융합기술 분야의 전문 인력 양성에 있어서 제기되는 가장 큰 문제 중 하나는 대학에서 융합 학과를 졸업한 학생들의 진로에 관한 문제이다. 본 연구의 전문가 협의회와 학생 면담 결과에서도 학교나 학생 측 모두 융합 학과를 졸업 한 후에 전공을 살릴 수 있는 산업 분야로의 취직 전망을 불투명하게 보는 것으로 나타났다.

바이오산업의 발전을 통해 얻을 수 있는 혜택과 지속적인 기술 개발 및 인력 양성의 필요성에 대해서는 누누히 강조되고 있지만 정작 바이오산업의 인력 현황에 대한 논의는 부족한 실정이다.

전문 인력 양성의 궁극적인 목표 중 하나는 전공 교육 과정을 마친 학생들이 해당 산업의 발전에 기여할 수 있도록 돕는 것이다. 이를 위해서는 해당 산



업의 인력에 대한 현황 파악이 선행되어야 한다. 그래야만 이를 토대로 수요를 예측하고 보다 적절한 전문 인력 양성 방안을 수립할 수 있다. 이에 본 장에서는 세계 바이오산업 시장의 현황 및 전망과 국내 바이오산업의 인력 현황을 살펴보았다.

본 장에서 살펴본 바이오산업 및 인력의 현황과 전망은 비록 융합기술만으로 한정시킨 통계가 아니라는 점에서는 한계가 있지만, 바이오산업 전반의 성장전망에 따른 전문 인력의 양성이 필요함을 보여주고 있다. 한국 시장의 경우는 아시아 국가들이 그렇듯 바이오산업의 발전단계가 상대적으로 열악한 실정 이지만 반면 상대적으로 발전 가능성이 높다고 할 수 있다. 또한 세계 여러 나라가 바이오산업에 지속적인 투자를 하고 있고, 이를 통해 높은 부가가치를 창출하고 있는 점을 감안할 때 우리나라의 바이오산업도 지속적인 투자 및 인력 양성이 이루어져야할 영역임은 분명하다.



## 제 4 장

## 바이오 융합기술 산업동향

## 제1절 BIT 융합기술 및 산업 분류

BIT의 대표적인 기술은 융합되는 기술의 특성에 따라 다음과 같이 크게 세 가지로 분류 할 수 있다.

첫째, 생명현상과 관련한 다양한 데이터를 디지털화하여 활용하는 생물정보학(bioinformatics)이다. 생물정보학은 대용량 바이오 데이터 분석 및 가공, 생체 기능 예측 등 생명공학 관련 연구 방법론 변화에 기본적으로 적용이 되는 기술을 의미한다.

둘째, 생체 유기물과 반도체와 같은 무기물의 조합으로 이루어진 하이브리드 디바이스(hybrid device)로 진단 및 분석에 이용되는 바이오칩(Biochip)이다. 바이오칩은 다시 마이크로어레이칩(Microarray Chip)과 마이크로유체칩(Microfluidic Chip)으로 나눌 수 있으며, 바이오칩을 개발하는 데 필수적인 기술로는 Bio-MEMS(Biotechnology Micro Electro Mechanical System)가 있다. 이때 마이크로어레이(microarray)는 화학적·생물학적 시료 등을 실리콘, 금속, 유리, 플라스틱 등과 같은 고체 표면에 고밀도로 집적화하고 조합하는 기술로 기관에 부착되는 시료의 종류에 따라, 유전자칩(DNA칩), 단백질칩, 세포칩 등으로 나뉜다. 마이크로유체칩은 마이크로유체기술(microfluidics)을 이

용하여 극소량의 유체를 제어할 수 있는 생물학적 분석기기로 랩온어칩(LOC, Lab-on-a-Chip), 마이크로반응기(Microreactor) 또는  $\mu$ -TAS(Micrometre-scale total analysis systems)라고도 한다. 마이크로어레이칩이나 마이크로유체칩을 제작하기 위해서는 반도체 집적회로의 구조기술을 기본으로 전자, 기계, 광, 재료 등 다양한 기술을 융합한 미세가공기술을 필요로 하는데 이를 Bio-MEMS(Bio-Micro Electro Mechanical Systems)기술이라고 한다. 최근에는 진단·분석기기를 넘어서 바이오칩기술을 이용하여 생체이식용칩을 만드는 연구가 진행되고 있다.

셋째, 사람마다 다른 생물학적 또는 행동특성을 측정하여 개인을 식별하는 기술인 생체인식기술이다. 생체인식기술은 사람의 고유한 신체적 특징을 분석하는 BIT융합기술로 출입통제, 근태관리, 범죄수사용, ATM 현금인출, PC 데이터관리, 미아 찾기, 국제공항의 출입국심사 등 일반 생활 속에 널리 활용되고 있다.

위에서 논의한 BIT기술 분야를 간략히 정리하면 다음 <표 IV-1>과 같다.

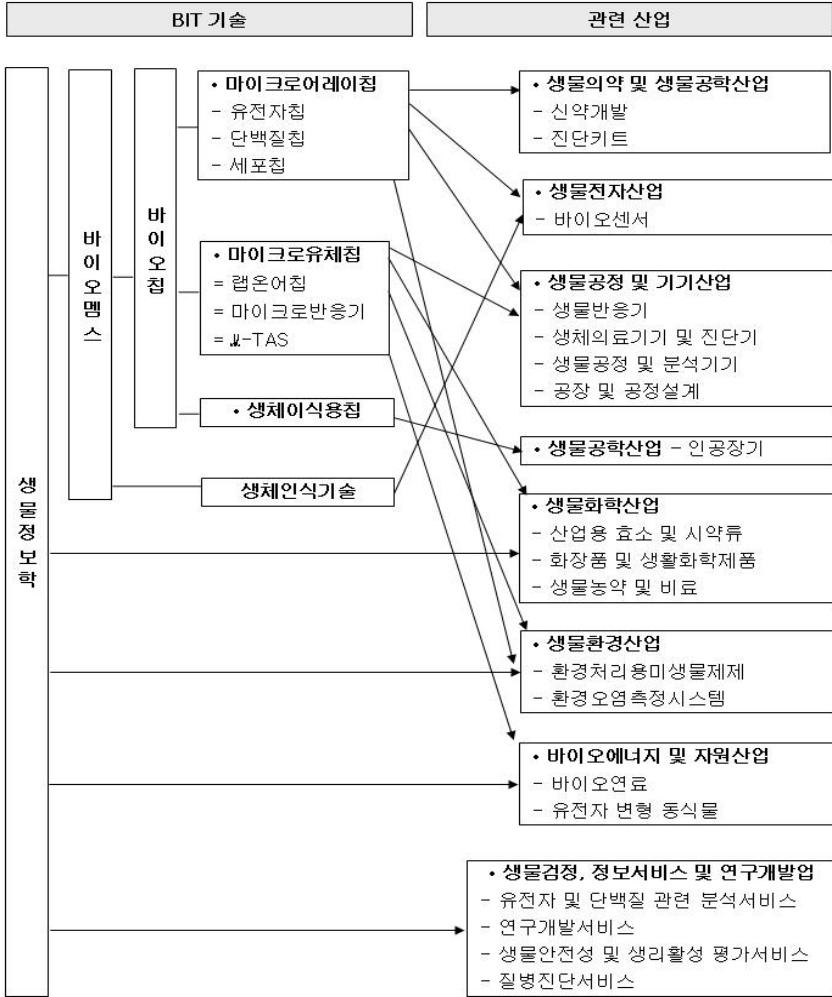
<표 IV-1> BIT 기술 분류

생물정보학 (Bioinformatics)	유전체학(Genomics) 전사체학(Transcriptomics) 단백질체학(Proteomics) 대사체학(Metabolomics)	신경체학(Neuromics) 시냅스체학(Synapsomics) 생리체학(Physiomics) 시스템 생물학(System biology)
바이오칩 (Biochip)	마이크로어레이 (Microarray)	유전자칩(DNA칩)
		단백질칩
		세포칩
	마이크로유체기술 (Microfluidics)	= 랩온어칩(Lab-on-a-chip) = 마이크로반응기(Microreactor) = $\mu$ -TAS
	Bio-MEMS	
	생체이식용칩	
생체인식기술	물리적 생체인식	지문, 홍채·망막, 얼굴, 정맥 등
	생리적 생체인식	서명, 음성, 키 두드리기 등

국내 BIT 산업은 아직 시장 도입기에 머물러 있으며 선진국과 비교하면 기술경쟁력이 취약하다. 최근 양적 질적으로 기술 수준이 개선되고는 있으나, 민간 기업에 의한 투자가 활발한 선진국에 비해 대학 등의 연구기관 중심의 개발로는 한계점을 드러내고 있다. 따라서 BIT 산업의 성장을 위해서는 산학연의 협력을 통한 신기술 사업화 기반 구축, 관련 규제 완화, 전문 인력 양성 등 범국가적인 지원 체계 마련이 필요하다고 하겠다. 다음의 [그림 IV-1]은 BIT 융합기술 분야와 적용 및 응용이 가능한 산업 간의 연관관계를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 BIT기술은 서로 관련하여 복합적으로 산업에 영향을 미치며, 생물정보학은 모든 BIT산업에 있어서 기반기술이 되며 바이오 MEMS기술은 바이오칩과 생체인식기술개발에 필수적인 기술이 되고 있음을 보여주고 있다.

이하에서는 상기 분류에 따라 관련 기술 및 산업 동향을 살펴보고 관련 기술 및 산업에 대한 전망을 살펴보기로 한다.

[그림 IV-1] BIT기술과 산업과의 연계



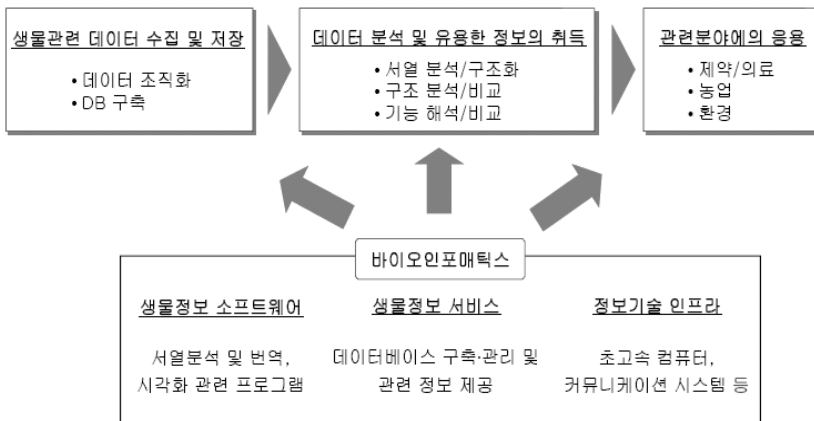
출처: LG경제연구원, 국내 Bio-IT 산업의 현황과 과제, 2005.9

## 제2절 생물정보학(Bioinformatics)

### 1. 생물정보학의 개념 및 특성

생물정보학은 생명현상과 관련된 다양한 정보를 디지털화하여 통계적, 전산적인 방법으로 저장하고 분석하여 이를 활용하는 기술을 말한다. 생물정보학은 연구대상에 따라 유전자의 기능과 역할을 분석하는 유전체학(Genomics), DNA에서 RNA로 전사되는 과정을 연구 분석하는 전사체학(Transcriptomics), 단백질의 기능이나 역할을 분석하는 단백질체학(Proteomics), 신진대사의 메커니즘을 연구하는 대사체학(Metabolomics), 신경시스템의 기능과 역할을 연구하는 신경체학(Neuromics), 시냅스의 기능과 역할을 연구하는 시냅스체학(Synapsomics) 등으로 확장되고 있다.

[그림 IV~2] 생물정보학의 개요



현재 생명현상과 관련한 서술적 데이터(descriptive data)의 홍수를 이루고 있고, 미래에는 대규모의 분석방법을 통해 이러한 데이터들이 더욱 정교해지고

풍부해질 전망이다. 이미 DNA 배열순서(DNA sequencing), 마이크로어레이(microarrays), 마이크로반응기(microreactors), 랩온어칩(LOC) 및 자동화된 유전자 기능 연구 등을 통해 새로운 데이터가 넘쳐나고 있다. 이러한 엄청난 양의 생물정보 데이터를 다루려면 IT 시스템이나 통신 인프라가 융합되어야 한다. 따라서 IT 분야를 이용하여 가상분자(in silico)<sup>7)</sup>를 만들어 시뮬레이션을 통해 생명현상을 규명하고 환경·의지·행동 등 외부환경에 따라 유전자와 단백질의 기능이 다르게 나타나는 현상까지도 포괄적으로 연구하는 생리체학(physiomics)과 몸을 이루는 수많은 구성요소를 컴퓨터의 정보기술 시스템을 이용하여 연구하고 비교 분석하고자 하는 시스템생물학(system biology)이 부상하고 있다. 이러한 새로운 신기술 영역들은 IT 기술의 도움 없이는 불가능한 분야이다.<sup>8)</sup>

먼저, 생리체학(physiomics)이란 유전자와 단백질 등이 어떻게 상호작용해 생명현상을 유지하고 질병을 일으키는지를 종합적으로 연구하는 학문이다. 생명을 뜻하는 접두사 ‘physio-’와 전체를 뜻하는 접미사 ‘-ome’의 합성어인 ‘physiome’을 연구하는 분야이다. 이는 게놈(genome)과 프로테옴(proteome) 연구만으로는 유전자와 단백질의 상호작용으로 나타나는 복잡한 생명현상을 이해하기 어렵다는 데서 출발하였다. 생리체학은 유전체학(Genomics), 프로테오믹스(Proteomics), 대사체학(Metabolomics) 등에 이어 등장한 학문으로, 1995년 미국에서 처음 제창되었다. 1990년부터 시작되어 2001년 초 인간게놈 지도가 완성됨으로써 최종 단계에 도달한 인간게놈프로젝트는 물리법칙과 화학법칙만으로 유전자와 단백질의 구조를 밝혀내는 것을 목적으로 하였다. 그러나 인체 내에서 수행되는 수천 만 개에 달하는 생명현상은 인간게놈프로젝트로 밝혀진 33,300여 개의 유전자나 단백질의 구조만 가지고는 해명할 수 없을

7) 생체분자들의 상호작용이나 생명현상을 연구하는 방법에는 4가지가 있는데 그 용어는 모두 라틴어로, (1) 실제 살아있는 세포분자에서 실험하는 방법인 in vivo, (2) 글라스나 테스트 튜브 등 실험실에서 세포를 배양하고 살아있는 세포분자에서 성장시켜 연구하는 in vitro, (3) 컴퓨터 시뮬레이션 등 시스템 생물학(System biology)이나 생물정보학(Bioinformatics)으로 연구하는 in silico, 그리고 in vivo와 in vitro의 중간 단계인 실제 조직기관에 인공혈액을 넣기 등이 in situ 방법이 있음.

8) Pennisi, Elizabeth, "How Will Big Pictures Emerge From a Sea of Biological Data?", Science, Vol. 309, No. 5731, 2005, p.94.



만큼 복잡한 작용이다. 이에 생리체학은 이러한 문제점을 극복하고 유전자와 단백질 등이 어떻게 상호작용을 해서 생명현상을 유지하고, 또 질병을 일으키는지를 종합적으로 연구하는 학문으로 자리 잡게 된 것이다.

생리체학에서는 고도의 컴퓨터 정보기술을 활용한 가상장기, 가상세포(in silico) 등을 만들어 시뮬레이션을 통해 생명현상을 규명하는 한편, 외부환경에 따라 유전자와 단백질의 기능이 다르게 나타나는 현상까지도 포괄적으로 연구하고 있다. 피지옴(physiome) 기술이 현실화되어 살아있는 것과 같은 세포 모델이 만들어지면, 신약 개발 때 세포에 약물정보를 넣어 어떠한 반응이 나타나는가를 알 수 있고, 동물실험과 임상시험의 기간과 비용을 크게 줄일 수 있다. 한국에서도 2002년 말 한국피지옴연구회가 발족되었다.

다음으로, 시스템생물학(system biology)이란 그 동안 개별적으로 진행해 온 유전자와 단백질 연구 결과를 바탕으로 이들의 상호작용 구조를 파악하여 몸을 이루는 수많은 구성요소를 총체적으로 바라보고자하는 학문 영역이다. 시스템생물학은 이처럼 유전자나 단백질의 성질을 개별적으로 아는 차원에서는 질병 치료에 완벽하게 접근하기 어렵다는 시각에서 출발하였다. 수백~수만 개의 정보를 비교 분석하는 일인 만큼 이들 연구에는 컴퓨터 등 정보기술이 꼭 필요하며, 개별 연구를 하는 연구자와 이를 통합하는 연구자들의 국제적인 협업도 필수적이다.

## 2. 관련 기술 및 산업동향

생물정보학 연구과정은 크게 생물체에서 생명현상과 관련한 데이터를 추출하는 과정과 이를 IT기술과 연계하여 디지털화하는 과정으로 나눌 수 있다. 이 중 관련 정보를 디지털화하는 IT기술은 <표 IV~2>와 같이 구분할 수 있다.

&lt;표 IV-2&gt; 생물정보학관련 IT 기술의 내용

기술 분야	내용
바이오 데이터 처리 기술	다양한 형태의 바이오 데이터를 처리하여 분석이 용이한 형태로 변환하고 시각화하는 기술
바이오 데이터 마이닝 기술	바이오 데이터를 분석하여 내재된 패턴을 찾아내어 유용한 지식을 생성하는 기술
바이오 데이터 통합관리 기술	분산되어 있는 다양한 형태의 대용량 바이오 데이터를 저장, 관리하고 통합 검색하는 기술
바이오 데이터 응용서비스 지원기술	통합관리된 바이오 데이터를 각종 응용분야에 활용하는 기술

출처: 한국행정학회, 융합연구 활성화를 위한 교육혁신 및 제도적 개선방안 -이공계 대학을 중심으로-, 국가과학기술자문회의, 2007.8

IT기반의 회사인 IBM사는, 매초 당 1 quadrillion 회의 연산을 가능하게 하는 슈퍼컴퓨터인 Blue Gene/L 등을 갖추고 생물정보학 분야에서 단백질구조분석 및 다양한 서비스를 제공하고 있다. 최근 IBM의 알마덴 연구소(Almaden) 및 네바다 대학(Univ of Nevada)의 연구원들이 IBM의 슈퍼 컴퓨터인 Blue Gene/L을 이용해 쥐의 뇌를 시뮬레이션 하여 실제 쥐의 뇌에서 일어나는 생각의 패턴(thought pattern)을 관찰하는데 성공했다. 이들은 지금 실제 쥐와 같은 뇌의 뉴런과 시냅스의 상호작용을 만들기 위해 더욱 빠르고 정확한 시뮬레이션에 도전하고 있다.<sup>9)</sup> 국내에서는 2005년 BT자원의 효율적인 활용을 위해 초고속통신망과 슈퍼컴퓨터를 기반으로 하는 H/W, IMT2,000 지원 사업과 각 부처의 지원으로 개발된 S/W 등의 공동 활용을 통한 BT관련 기관, 연구소, 학계를 지원하기 위한 필요성에 의해 BIT 연구기관협의회를 창립하였다. BIT 연구기관협의회는 생물정보학 연구기반을 공동으로 구축하고 연구자원을 효율적으로 창출함으로써 각 기관과 국가 연구개발 능력의 극대화를 목적으로 하고 있다.

9) BBC UK, Mouse brain simulated on computer, 27. Apr. 2007.  
<http://news.bbc.co.uk/1/hi/technology/6600965.stm?1s> 참조.

&lt;표 IV-3&gt; BIT 연구기관협의회 운영위원회

기관	소속 부서
국립독성연구원	대사 약리팀
국립보건연구원	유전체센터 바이오과학정보팀
기술표준원	바이오환경표준과
농업생명공학연구원	생물정보분석실
축산연구소	동물유전체과
한국과학기술정보연구원	바이오인포매틱스팀
한국기초과학지원연구원	질량분석기기개발팀
한국생명공학연구원	국가생물자원정보관리센터
한국생물정보학회	부산대학교 의과대학
한국식품연구원	식품기능연구본부
한국전자통신연구원	바이오인포매틱스팀
한국한의학연구원	한의학정보화사업단

출처: 생물학연구정보센터, 2006 한국의 생물정보학 백서

&lt;표 IV-4&gt; 국내 생물정보학관련 교육실시 기관 목록

구 분	기관명
국가기관	국가생물자원정보관리센터
	국립보건연구원 유전체연구부
	한국해양연구원
대학	경희대학교 의과대학 의공학실
	서울대학교 생물정보통계연구실
	서강대학교 생물전자공학기술 인력사업단

&lt;표 계속&gt;

구 분	기관명
연구센터	마이크로바이오칩센터
	미세절제유전체학연구소
	분자설계기술혁신센터
	연세프로테옴연구센터
학회	한국정보과학회 데이터베이스연구회
기타	생물정보연구소

출처: 생물학연구정보센터, 2006 한국의 생물정보학 백서

### 3. 전망

바이오 데이터베이스는 현재 각기 다른 형식으로 전 세계에 산재해 있으며, 데이터의 폭증으로 빠른 속도로 변화하는 상황이다. 저장장치를 활용하여 대용량 정보를 관리하는 기술과 정보의 접근성을 높이기 위해 데이터베이스를 통합하는 기술이 요구되고 있다. 향후 바이오 정보 통합기술은 단순한 정보의 저장과 검색 수단이 아니라, 기존 정보를 활용하여 각종 분석 도구들이 효율적으로 운용되는 시스템으로 발전될 것으로 예상된다.

바이오 데이터를 처리, 가공하여 고부가가치의 정보를 생성하는 바이오 분석기술은 유전자 서열, 칩 발현, 단백질 구조 및 상호작용 등을 분석한다. 이는 유전자와 단백질 간의 관계 정보 생성 및 각종 정보의 연결 통로가 되어 생체 기능 네트워크 예측 기술이 핵심 기술로 부각되고 있다.<sup>10)</sup> 3차원 단백질 구조 결정 및 폴딩(folding) 메커니즘 분석 등 대규모 컴퓨팅 작업을 위해서는 IBM Blue Gene과 같은 대규모 병렬처리 컴퓨터 시스템이 필요하다. 인터넷의 발전으로 Grid Computing이 고성능 컴퓨팅 모델로 활용될 것으로 예상된다. 질병 진단은 현재의 대증적 치료단계에서 유전정보를 통한 개인별 건강기록의 데이터베이스화가 진행됨에 따라, 임상유전학(clinical genetics)과 개인별 질병감수

10) LG경제연구원, 국내 Bio-IT 산업의 현황과 과제, 2005.9, 16쪽.

성 등 프로파일을 확인하는 단계에 도달하게 될 것으로 보인다. 즉, 데이터베이스를 기반으로 객관화된 정보 분석과 판단을 내리는 전자화된 시뮬레이션에 의해 맞춤형의약, 예방적인 처치, 건강관리 및 수명연장프로그램 등이 수행될 것으로 예상된다. 생물정보학은 의약, 농업 등 생명과학산업과 관련한 연구개발에 필수적인 역량으로 자리 잡고 있으며, 향후 그 중요성이 더욱 커질 전망이다.

<표 IV-5> 분야별 생물정보학 활용 동향

의약	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제약 관련 분야의 정보에 대해 효과적인 통합기술(데이터 마이닝, 온라인상의 분석기술 등)이 필요하게 됨.</li> <li>→ 제약기업들은 내부 개발이나 아웃소싱을 통해 생물정보학 관련 역량의 확보에 주력</li> </ul>
농업	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제약 분야에 비해 생물정보학의 적용이 느린 편이나 향후 그 속도는 빠르게 증가할 것으로 예상됨.</li> <li>· 작물의 생산성 및 품질 향상 등을 도모하기 위해 식물 관련 게놈 프로젝트나 작물 데이터베이스의 구축을 위한 연구가 진행 중.</li> </ul>
환경 및 기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 환경, 화학(산업용 효소), 생물소재 등의 분야에서도 생물정보기술이 적용되고 있음.</li> <li>· 산업적으로 유용한 미생물이 유전자나 단백질에 대한 데이터베이스 구축이 활발히 진행되고 있으며, 이로부터 얻은 정보를 통하여 새로운 제품의 개발·개선이 가능할 것으로 예상됨.</li> </ul>

출처: LG경제연구원, 국내 Bio-IT 산업의 현황과 과제, 2005.9.

### 제3절 바이오칩(Biochip)

바이오칩은 DNA, 단백질, 효소, 기타 리간드(ligand, 배위자, 配位子), 질병 염기배열의 패턴, 기타 화학적·생물학적 시료 등을 실리콘, 금속, 유리, 플라스틱 등과 같은 고체 표면에 고밀도로 집적화하고 조합하여 마이크로어레이화(미세집적배열, microarray) 또는 미세유체화(microfluidics) 시킨 칩을 말한다.

이러한 칩의 표면 물질들과 특이적으로 상호작용하는 생체분자들의 존재·기능 및 역할 등을 다양한 분석방법을 이용하여 대량으로 신속하게 분석하여 유전자 발현 및 결합 또는 단백질 분포 등의 생물학적 정보를 얻거나 생화학적 공정 및 반응속도 또는 정보처리속도를 높일 수 있는 도구나 장치를 총괄하여 바이오칩 또는 바이오칩 시스템이라고 한다. 바이오칩은 크게 병이나 유전자를 검사하는 마이크로어레이(microarray)칩과 혈액이나 세포 등의 유체를 마이크로채널(micro channel)로 흘러 넣어 인식/반응/조합/합성/진단/분석하는 마이크로유체칩(Microfluidic chip)으로 나눌 수 있다. 2005년 3월 17일 X-염색체가 완전 해독되면서 인간은 3,199가지의 질병과 암을 갖고 있다는 사실이 밝혀졌다. 바이오칩은 이러한 질병의 진단(Diagnostic), 분석(Analysis), 치료(Treatment), 예방(Prevention), 예후(Prognostic)에 이용된다.

바이오칩은 사용되는 생체물질의 용도 및 시스템화 정도에 따라 크게 마이크로어레이칩(미세집적배열칩, Microarray chip), 마이크로유체칩(Microfluidics chip), 랩온어칩(Lab-on-a-chip), 마이크로반응기(Microreactor), 또는 마이크로-타스(Micrometre-scale total analysis systems,  $\mu$ -TAS)로 분류된다. 때에 따라 마이크로유체칩과 랩온어칩, 마이크로반응기,  $\mu$ -TAS를 구분하기도 하지만 랩온어칩, 마이크로반응기,  $\mu$ -TAS는 모두 마이크로유체기술을 이용한 것으로 모두 마이크로유체칩에 포함된다고 볼 수 있다. 최근에는 광학(optics)을 이용한 광학유체기술(optofluidics)이 등장하여 기존의 마이크로유체칩과 융합하는 광학유체칩(Optofluidics chips) 방향으로 발전할 것으로 전망되고 있다. 마이크로어레이칩은 이미 상용화되고 있으나, 마이크로유체칩은 아직 초보단계에 머물고 있는 상황이다.<sup>11)</sup>

그런데, 이러한 바이오칩 디바이스(device)를 만드는데는 체내 혹은 체외에서 생체신호를 분석할 수 있는 초소형 소자인 Bio-MEMS가 필수적이다. 그 결과 최근에는 초소형 미세가공기술과 생체적합성 물질을 이용한 공정 기술이 결합하여 생체이식용칩이 등장하고 있다.

11) Jenny Hogan, A litte goes a long way, Nature, Vol 442, 27 July 2006, p.351~352.

## 1. 마이크로어레이칩

### 가. 마이크로어레이의 개념 및 특성

마이크로어레이(microarrays, 미세직접배열)는 화학적·생물학적 시료를 실리콘, 금속, 유리, 플라스틱 등과 같은 고체 표면에 고밀도로 집적화하고 조합시키는 기술로 고체표면에 유전자가 부착되면 유전자칩(DNA칩), 단백질이 부착되면 단백질칩, 세포가 부착되면 세포칩이 된다. 유전자칩(DNA칩)은 생물의 유전정보가 어떻게 발현되고 있는가를 대규모로 검토하기 위한 유전공학기술이다. 유전자칩은 1cm<sup>2</sup> 정도의 고체표면에 수백에서 수만 종류의 DNA 배열을 배치함으로써 만들어지고, 마이크로어레이는 유전자칩을 만드는 기술적인 방법을 말한다. 유전자칩 표면에 배치되는 DNA 배열은 유전정보의 데이터베이스를 이용하여 정해진다. 즉, 유전자칩 기술은 방대한 계층을 하나의 칩에 담은 반도체 칩의 DNA 버전으로, 분자학적 지식에 기계 및 전자공학의 기술을 접목시킨 것이다.

단백질칩(Protein chip)은 항체를 칩 위에 반응시켜 고정한 후, 대상 시료를 통해 항원-항체 반응을 유도하고 특정 항원에 반응하는 염색약을 이용하여 검사하는 방식을 활용한다. 즉, 칩의 표면과 단백질 간의 결합을 이용하여 단백질을 고정하고, 특정 단백질을 검사하기 위해서 단백질과 단백질간의 반응을 유도하고 이를 형광 물질을 이용하여 관측하는 것이다. 단백질(protein)은 생물체를 구성하는 수많은 아미노산의 연결체인 고분자 유기물로 동식물 세포 원형질의 주성분으로서 3차원적인 열쇠구조를 가지고 있다.

세포칩(Cell chip)은 세포를 하나의 칩 상에서 배양하고 원하는 형상으로 패터닝하여 제작된 다양한 미세 구조물로, 이를 이용하여 세포의 행태를 관측하고 보다 정확하고 빠르게 생체정보를 얻을 수 있다.<sup>12)</sup> 세포는 생물의 몸을 구성하는 가장 최소의 단위로서, 면역학, 종양 생물학을 비롯한 다양한 분야에서

12) 손종구, 김재우, 박창걸, Bio-MEMS, 국내의 동향분석을 통한 시장기회 분석, 2004년 차세대 유망아이템 분석보고서, KISTI, 17쪽.

혈액세포, 신경세포, 진핵세포, 박테리아, 바이러스 등의 세포를 이용하여 광학적인 방법을 통하여 세포의 구조, 외부 자극에 대한 반응 등의 생체정보를 획득할 수 있다.

마이크로어레이기술은 DNA 단편, 단백질 또는 세포 등을 기판 위에 고밀도로 정렬하는 장치제작기술과 이들을 DNA 염기, 항원 등의 시료와 반응시키는 기술 등을 필요로 한다. 또한, 데이터를 해석하기 위한 고부가가치의 데이터베이스 및 고급 정보분석 소프트웨어와 연결하는 기술이 필수기술이다. 즉, 마이크로어레이칩은 분자생물학적 지식과 기계전자기술 및 컴퓨터 기술이 접목돼 적게는 수백 개 많게는 수십만 개의 DNA, 단백질 및 세포 등을 반도체와 같이 작은 공간에 집어넣고 컴퓨터를 이용해 이를 분석하는 기술을 말한다.

#### 나. 관련 기술 및 산업동향

마이크로어레이칩은 유전자의 기초연구는 물론 암, 유전자병, 당뇨병, 고혈압 등 각종 질환의 유전자 진단, 세균, 바이러스 등 병원체의 신속한 검출, 개인의 유전적 형태에 따른 최적 약제의 선택 등에 널리 응용될 수 있는 새로운 차원의 분석 시스템이다. 현대의 유전학과 분자생물학 분야의 연구방향은 과거 DNA의 구조적 해석에서 기능적 해석과 유전자들의 상호 연관성·자명성을 규명하는 방향으로 연구방향이 바뀌고 있다. 이때 마이크로어레이칩은 여러 게놈 프로젝트로부터 축적된 방대한 양의 유전정보를 이용하여 시료를 효율적으로 진단·분석할 수 있는 가장 주목 받고 있는 방법이다.

DNA 마이크로어레이는 유전자 활동을 연구하는데 필수적인 도구이나 가격이 비싸고 해석하기가 어려워 대학의 학생들이 접근하기가 어려운 실정이다. 미국 노스캐롤라이나의 A. Malcolm Campbell of Davidson College는 이러한 문제해결을 위하여 교육을 위한 게놈 컨소시엄(GCAT, Genome Consortium for Active Teaching)을 추진한 바 있다.<sup>13)</sup> 학부생들에게 수천 개의 DNA 염기배열을 집적한 도구를 제공하여 학습과 연구를 지원하는 것이다. 유전자칩을

13) GCAT, <http://www.bio.davidson.edu/projects/GCAT/gcat.html> 참조.



읽는 소프트웨어와 샘플이미지를 무료로 제공하고 교수들에게는 아주 저렴한 가격의 마이크로어레이칩을 제공하고 있다. 교수와 학생들은 이를 통해 실험을 하고 그 결과를 다시 컨소시엄 웹으로 보내면 웹은 이를 스캐너로 분석하여 그 결과를 웹에 올리고 학생들은 그 결과를 다운받으면 된다. GCAT는 이미 미국 내 100여개의 대학에 칩을 제공하고 있고, 최근에는 콘테스트도 열고 있다.<sup>14)</sup>

유전자칩은 그 이용방법에 따라 그 적용대상이 매우 넓기 때문에 응용분야 또한 광범위하다. 특히 이 기술은 유전자 발현, 변이(variation)나 다형성(SNP : Single Nucleotide Polymorphism) 등을 단시간에 대량으로 고속처리검색(High-Throughput Screening, HTS)함으로써 유전자의 기능을 밝히는 데 매우 유용하여 짧은 시간에 많은 양의 정보를 분석할 수 있으며 자동화가 용이하다. 탐침 및 시료 DNA간의 결합을 정량적으로 검출하기 위해서는 시료 DNA를 형광표시해서 처리하고, 칩 위에 펼쳐진 형광강도를 스캐너로 판독하는 것이 일반적인 방법이나, 최근에는 형광보다 더 감도가 우수한 전자적 검출법도 개발되고 있는데 아직 일반화되지는 않았다. 현재 DNA칩의 주 응용분야는 유전자 발현 모니터링(gene expression monitoring)으로서 이는 여러 게놈 프로젝트로부터 밝혀진 DNA 염기서열을 바탕으로 하여 칩을 제작, 이를 이용하여 세포 내의 신진대사(metabolism)나 생리학(physiology), 그리고 각 유전자간의 상호 연관성을 규명하려는 시도이다. 즉, 유전자칩 디바이스에 혈액 한방울을 흘려 넣으면 기존의 여러 병이나 암들의 패턴에 따라 유전자 분석기(Analyzer)가 자동으로 분석된다. 여기에 중요한 난제는 바로 여러 병이나 암 유전자들의 샘플을 수집하는 것인데, 한국 사람들의 위암을 분석한다고 가정하면, 적어도 7,000명 정도의 위암환자들의 샘플을 만들고 암유전자의 특성에 따라 각각 패턴닝해야 한다. 이처럼 샘플링이 많아야 진단하기 쉽고, 만약 샘플이 적으면 그만큼 상관성이 떨어지고 각종 노이즈(noise)로 인해 정확한 매칭 진단을 할 수 없다. 그러므로 의학계는 이를 해결하기 위해 유전자 증폭기(DNA Amplifier)를 사용하고 있다.

2004년 11월 30일 일본의 도시바는 샘플 DNA 수가 적고 유전자 증폭기가

14) Leslie, Mitch(Ed.), Education: Gene Chips for all, Science 305, 2004, p.925.

없어도 정확한 매칭 진단을 할 수 있는 새로운 유전자 테스트 DNA칩을 개발하였다. 이는 기존의 DNA칩보다 더욱 민감도가 높은 고감지 전기화학적 DNA칩(a highly sensitive electrochemical DNA chip)으로 이 DNA칩을 이용하여 개인 환자들의 처방을 위한 유전자 검출 및 유전자 분석, 그리고 어떤 특정 병에 걸리기 쉬운 소질을 가진 개인들의 건강을 모니터링 할 수 있다. 이는 반도체 회로 기술에 널리 사용되고 있는 보상성금속산화반도체(CMOS, Complementary Metal Oxide Semiconductor) 회로에 센서를 통합한 것으로 이의 응용 영역으로 항암제(anticancer drugs)에 대한 민감도 분석(analysis of susceptibility)이나 병 발생의 사전 발견 등으로 건강을 모니터링 할 수 있다.

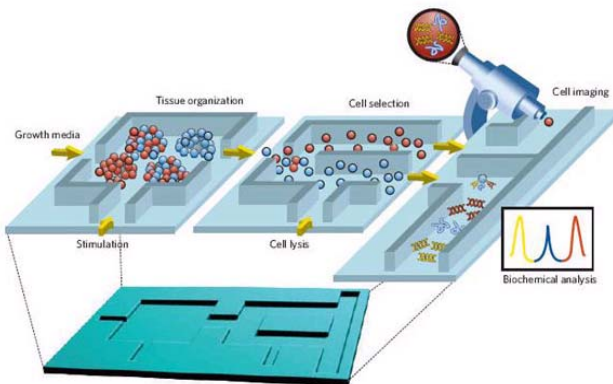
단백질칩은 질병진단에 핵심이 되는 표적 단백질의 확인 및 이를 마커로서 사용하는 것인데 질병진단에 유용한 도구로서 인식되고 있으며, 질병의 원격진단에 핵심적으로 이용될 것으로 기대된다. 단백질칩의 완성적인 개발은 단백질 및 항체 라이브러리 구축, 기관상에 단백질을 고밀도로 고정화하는 기술, 단백질칩 분석기술 및 응용기술, 질병 원격진단기술의 개발에 대한 병행연구가 요구된다. 단백질칩은 수십 내지 수만 개의 단백질을 작은 기관상에 고정하고 단백질의 결합을 동시에 분석하고자 하는 것으로 인체질병진단과 가장 밀접한 관계가 있으며, 단백질칩과 분석시스템이 단백질칩 시스템을 구성하며, 생명공학, 유기화학, 표면화학, 재료공학 등 다양한 분야가 접목된다. 또한 칩 분석장치는 광물리학, 전산학, 유체역학, 기계공학, 전자공학, 나노공학 등이 융합되는 분야이다. 이때 단백질칩 분석장치는 형광분석, 전기화학분석, SPR(Surface Plasmon Resonance) 분석, 질량분석 등이 핵심기술이 되고 있다.<sup>15)</sup> 단백질은 DNA와 달리 특이성(specificity)이 매우 높기 때문에 이를 기반으로 한 바이오칩의 활용 폭은 DNA를 기반으로 하는 바이오칩에 비해 매우 높다. 따라서 단백질을 기반으로 한 바이오칩은 많은 학자들로부터 큰 관심을 모으고 있다.

세포칩은 칩 위에 세포를 올려놓고 분석하는 기술로 마이크로조립 시스템을 이용하여 이러한 세포들을 배양하여 조직(tissue)배양까지 분석하게 해준다. 최근에는 세포칩을 이용하여 원하는 세포로부터 생체 신호를 얻어내고 분석하

15) 한국산업기술재단, 5차 산업기술로드맵 바이오융합분야, 2007.4, 73쪽.

는 것이 많은 연구자들로부터 관심을 얻고 있으나, 아직까지는 기초연구 단계로 보아 많은 투자와 연구개발이 필요한 실정이다.<sup>16)</sup> 여러 기능들을 하나의 시스템으로 통합하고 패키징하는 것은 아주 복잡한 작업으로 현재까지 나와 있는 세포기반(cell-based) 마이크로시스템들은 개념증명단계(proof-of-concept phase)라 할 수 있다. 세포칩 기술은 동질성과 이질성을 띤 세포쌍들을 통합한 마이크로시스템에서 최첨단의 조직의 구조와 배양을 가능하게 한다. 세포칩은 3차원 구조를 가지고 있어 세포의 성장을 유도하며, 마이크로유체시스템으로 영양분과 기타 성장에 필요한 성분을 시간과 공간을 통제하여 정확하게 세포에 공급해 준다. 이러한 기술을 이용하여 세포 내의 바이오화학 반응, 이미지 베이스 분석, 유전자와 단백질 분석 기술 등을 마이크로시스템으로 통합시킬 수 있다. 따라서 세포 배양 응용기술이나 세포생물학의 기본기술로 떠오를 것으로 보인다. 아래 [그림 IV-3] 상의 화살표는 하나의 통합시스템을 구성하기 위해 서로 다른 마이크로유체시스템의 구성요소들을 연결하는 것을 의미하며 다양한 기능을 가진 요소들을 하나의 칩에 올려놓게 된다.<sup>17)</sup>

[그림 IV-3] 마이크로시스템 내의 조직(Tissue) 배양 및 분석



출처: El-Ali, J., Sorger, P.K. & Jensen, K.F., Cells on chips. Nature, 442, 2006

16) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 17쪽.

17) El-Ali, J., Sorger, P.K. & Jensen, K.F., Cells on chips. Nature 442, 2006, p. 443-411.

세포칩은 현재 약 2,000억 규모의 세계시장을 형성하고 있는 독성 스크리닝과 관련된 동물실험 시장을 대체할 수 있는 잠재력이 있다.<sup>18)</sup> 국내 바이오칩 시장은 마크로젠을 비롯하여 디지털지노믹스, 제노텍, 지노믹트리, 마이진 등의 업체가 다양한 콘텐츠를 심어서 시장에 뛰어 들고 있다.

<표 IV-6> 국내 바이오칩 기술개발 동향

주요 업체명	기술 개발 동향
마크로젠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CCD 카메라를 이용한 스캐너 자체 개발로 시장 진입</li> <li>- 질병진단 BAC chip 식약청 인허가 획득</li> <li>- 산전 진단 Chip 제작을 위해 연구 개발 중</li> <li>- Bioscanner를 자체 연구 개발하여 DNA Chip의 생산 - 실험</li> <li>- 스캐너 - 실험분석 - 생물정보분석의 모든 기술력을 갖추어 가고 있음.</li> </ul>
마이진	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자궁경부암 진단용 '마이HPV바이오 칩'에 대해 식약청의 품목허가를 획득</li> </ul>
LG Elite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조기 사업화를 위해 관련 IT, BT 벤처기업 등과 연계된 LG BITNET(Bio and Information Technology Network)구축</li> </ul>
SAIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5개 분야 중 바이오를 선정하여 차세대 중점사업으로 육성</li> <li>- 고분자 광발산제를 이용한 고체 기질위에서의 염기 함유 올리고 합성법 및 탐침 제조 방법</li> </ul>
바이오니아	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 합성DNA 해외 매출이 2003년 월 2억2,000만 원으로 급증, 2004년 월 10억 원 이상 매출 예상</li> </ul>
디지털 바이오 테크놀로지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CCD 카메라를 이용한 스캐너 자체 개발로 시장 진입</li> </ul>

출처: 2005년 네트워크 기반 적응생존형 바이오프로세스 및 응용기술 개발에 관한 기획보고서, 한국산업기술재단, 5차 산업기술로드맵 바이오융합분야, 2007.4.

국내에서는 연구개발용, 임상 진단용 바이오칩이 일부 개발되고 있으나 아직 상업화되지는 못한 상태이다. 특히 국내 관련 기업들은 바이오칩 관련 원천 기술을 보유하고 있지 못한 것으로 평가되고 있다. 바이오융합산업 제품 중 큰 부분을 차지하고 있는 바이오칩의 경우, 그 종류 및 콘텐츠도 다양화되고 있는

18) 한국산업기술재단, 앞의 글, 2007.4, 73쪽.

데, 더욱 다양한 생물학적 분석을 수행하기 위해, 발현양상을 보던 칩에서부터, 단백질 분석, 유전체 결실 분석, SNP(다형성, Single Nucleotide Polymorphism) 분석, 나아가 발현조절과 관련 있는 메틸화 분석 칩까지 나타나고 있다. 그러나 이러한 다양한 칩을 기간이 되는 생물 정보와 연계하여 유기적으로 분석하는 분석 시스템은 아직 개발되고 있지 못하여, 통합적인 실험 결과와 생물정보 데이터 마이닝을 지원해주는 분석 도구 또한 파악되지 않고 있다.<sup>19)</sup> 현재 외국기업에 의한 독점 상황에서 국내의 몇몇 기업에서 국산화 개발 노력으로 일부 제품화 단계에 있으나, 성능적인 측면에서 경쟁력이 뒤지는 실정이며, 주요 기술이 외국 몇 개 기업에 의해 특허로 보호받고 있는 실정으로서 국내기술에 의한 보급형 바이오칩 분석 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.<sup>20)</sup>

<표 IV-7> 선진국 대비 국내 기술개발 수준

내 용	선진국	국 내	선진국 수준 대비
바이오칩 제조기술	DNA칩 및 Protein 칩의 원천기술 개발, 활용	DNA칩 제조 기반 기술은 선진국수준으로 구축, Protein 칩은 미비	60%
유전자 발현 분석기술	DNA칩을 이용, 암 등의 주요질환에 적용, 일부 바이오마커 발굴	DNA칩을 이용, 암 등의 주요질환에 적용, 일부 바이오마커 발굴	80%
SNP 발굴기술	개놈 수준에서의 전체 SNP의 발굴 및 지도 작성	일부 질환 관련 SNP 발굴에 소규모 진행	20%
표지자 검색 시스템	고속 및 대량화 기술을 바탕으로 신기술 개발에 주력	이미 개발된 기술 활용, 자체 개발은 미미한 수준, 특정 질환에 관련된 유전자/단백질 발굴연구	50%

출처: 한국산업기술재단, 5차 산업기술로드맵 바이오융합분야, 2007.4.

19) 한국산업기술재단, 앞의 글, 2007.4, 65~66쪽.

20) 한국산업기술재단, 앞의 글, 2007.4, 66쪽.

## 다. 전망

DNA칩은 질환 예방, 진단, 의약품 개발에 적용이 가능하다. 또한, 질병 관련 유전자의 스크리닝(screening)과 함께 약제 독성, 감수성, 약효 등의 연구에 이용되고, 친자확인, 범인검거 등 법의학적 활용이 가능하며, DNA 족보, 유사성 검출 등을 이용하여 고고학에서도 응용이 가능하다. 즉, DNA칩은 조작이 단순하고 자동화하기에 적합하여 유전자 발현 검출의 대량화, 고속화, 저비용화에도 크게 기여할 것으로 기대된다. DNA칩은 돌연변이(mutation)와 다형(polymorphism)의 확인, 게노타입(genotype, 유전자가 결정=유전자형)나 피노타입(phenotype, 환경이 결정=표현형) 분석에도 이용될 수 있으며, 신약개발 실험에 이용될 경우 개발비용도 크게 절감할 수 있다. 앞으로의 DNA칩의 가장 큰 응용분야는 유전병리학과 접목한 의약품 개발과 유전자 질병을 진단하는데 이용될 것으로 보이는데, 이 분야에는 수십 조 달러의 시장이 예상되고 있다.

단백질칩의 주된 응용분야로는 특정 질병을 진단하고 약물 치료의 효능을 평가하는 등 의학적 응용 뿐만 아니라, 신약 개발 과정 및 약학에서도 응용 가능하다. 그러나 환경이 조금만 바뀌어도 쉽게 성질이 바뀌고 화학적 증폭이 불가능하다는 단백질의 특성을 극복해야 할 것으로 생각되고 있다. 세포칩은 통합적인 마이크로시스템 기술을 필요로 하는데, 유체, 광학, 전자, 바이오 요소들을 하나의 시스템에 동시에 패키징하는 것이 상당히 어렵기 때문에, 유체와 샘플간의 정확한 매칭이라는 관점에서 이러한 통합 기술은 차세대 도전기술로 떠오를 것으로 예상된다.

현재 BIT를 이용한 제품 중 가장 대표적이고 또한 다양한 영역에서 응용이 시도되고 있는 분야는 마이크로어레이 기술을 이용한 바이오칩이라고 할 수 있다. 현재 마이크로어레이 바이오칩은 보건·의료 분야, 그 중에서도 다양한 데이터를 발굴 분석하는 제약 연구용으로 가장 많이 활용되고 있다. 시장성이 높은 것으로 예상되는 진단용 칩의 경우 아직 시장 형성이 부진한 상황이다. 그러나 향후 마이크로어레이 바이오칩이 응용될 수 있는 분야는 매우 다양하

기 때문에 특화된 시장을 선점하면 비교 우위를 확보할 가능성이 높다. 특히, 반도체, 전자 등의 국내 강점 기술 분야의 역량을 생명공학, 나노기술 등과 접목하여 독자적인 차세대 바이오어레이칩기술 개발에 집중 투자할 경우 타 분야에 비해 바이오칩 분야의 국가 경쟁력 확보가 수월할 것으로 예상된다.

<표 IV-8> 마이크로어레이 바이오칩의 활용 가능영역

산업분야	구성제품
보건·의료	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자가진단(혈당, HIV)</li> <li>· 임상용 진단키트, 유전자 진단</li> <li>· 실험동물 대체용 독성시험</li> </ul>
환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수질 및 해양오염 감시</li> <li>· 중금속/독성폐기물 검출</li> </ul>
정밀화학	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생리활성 의약 원료 개발</li> <li>· 효소 및 생화학 시약 개발</li> </ul>
식품·생물공정	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 식품/안전성 검사</li> <li>· 육류/농산물의 품질 관리</li> </ul>
정보·전자	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개인 식별 시스템</li> <li>· 생물전자소자, 바이오컴퓨터</li> </ul>

## 2. 마이크로유체칩

### 가. 마이크로유체기술의 개념 및 특성

마이크로유체기술(microfluidics)은 10<sup>-9</sup>인 Nano에서 10<sup>-18</sup>인 Atto 리터량의 극미량 유체(분자, 혈액, DNA 등)들을 10<sup>-6</sup>m(10 $\mu$ m)에서 100<sup>-6</sup>m(100 $\mu$ m) 크기의 채널을 이용해 프로세스하거나 조작하는 과학기술시스템인 랩온어칩(LOC)을 의미한다.<sup>21)</sup> 즉, 마이크로유체기술은 혈액이나 세포 등의 유체를 마이크로채널로 흘려 넣어 반응/조합/합성/진단/분석하는 기술이다.

21) Whitesides, G.M. The origins and the future of microfluidics, Nature 442, 2006, 368-373.

매크로관점(macroscopic)의 유체들은 교류(turbulence, 환류성)의 성질을 띠어 잘 혼합되는 특성을 가지고 있어 관성(inertia)이 점성(viscosity)보다 중요하다. 그러나 마이크로시스템의 미시세계에서는 그 반대 현상이 일어난다. 즉, 유체들은 교류적으로 혼합되지 않아 두 가지의 액체를 마이크로채널로 흘려보내면 소용돌이 없이 나란히(parallel) 흐르다가(laminar flow) 두 액체 사이에 상호작용이 일어나 분자들이 확산될 때만 혼합된다. 따라서 특별한 디바이스 및 요소기술들이 필요하고, 그만큼 시장성이나 잠재성이 많은 분야라 할 수 있다.

한편, 마이크로유체기술을 이용한 시스템을 랩온어칩(LOC, Lab-on a Chip), 마이크로반응기(Microreactor) 또는 마이크로-타스(Micrometre-scale total analysis systems,  $\mu$ -TAS)라고도 한다. LOC는 화학·의학·제약 산업에 주로 이용되는 BT 기술로 반응(reaction) 및 분석(analysis) 실험실(lab)이 NT기술과 IT기술과 융합되어 하나의 칩위에 올려지는 ‘칩 안의 실험실’을 의미한다. 지난 20년간 발전해온 LOC 기술은 1) 화학의 미세화기술(miniaturization of chemical), 2) 생물학적 분석 기술(biological analysis techniques), 그리고 3) 컴퓨터 칩 공학(engineering of computer chips) 기술 등의 융합기술이다.<sup>22)</sup> 실험실의 기본 반응기는 플라스크(flask)였으나 IT와 NT가 융합된 마이크로 크기의 반응기로 대체되고 있는데, 마이크로채널+실리콘+시료(reagents)+채널+흐름속도조절기(밸브)+압력조절기(펌프)+온도조절기(센서)+반응기+분석기 등의 구성요소들이 부착된 실험기기이다. LOC은 대체로 크기가 몇 센티미터에 불과하며, 아주 작은 채널들이 실리콘에 부착되어 있으며, 채널의 휘는 부분(벤드, bends)에는 시료(시약)가 있어 화학물질들이 이 디바이스에 주입되어 벤드에서 만나면 반응토록 되어 있다. 채널의 길이와 흐름 속도가 반응 시간을 결정하며, 반응량은 몇 마이크로리터에 불과하고 압력과 온도 등의 조건들이 정확하게 컨트롤되어야 한다.

마이크로유체기술의 주요활용영역은 분석(analysis) 영역이며, 소량의 샘플(시료, samples)이나 시약(reagents)을 사용하여, 고선명(resolutions), 고감도

22) Hogan, J., supra, p. 351-352.



(sensitivity)의 분리(separations) 및 감지(detentions)가 가능하다. 저렴한 비용으로 빠른 분석속도를 가지며, 소형의 디바이스의 얇은 층에 흐르는 것이 특징으로 분자들의 응집, 융합과 분열 등을 시공간적으로 컨트롤할 수 있는 새로운 기능을 가진다는 것이 특징이다. 보다 깨끗하고 안전한 마이크로반응기는 물질의 조합에도 사용되고 있는데, 약을 포함하여 찌꺼기(retirement)까지 조합하고 분석하며 궁극적으로 이러한 디바이스는 신약을 개발하고 발견하는데 지대한 공헌을 하게 될 전망이다.<sup>23)</sup>

#### 나. 관련 기술 및 산업동향

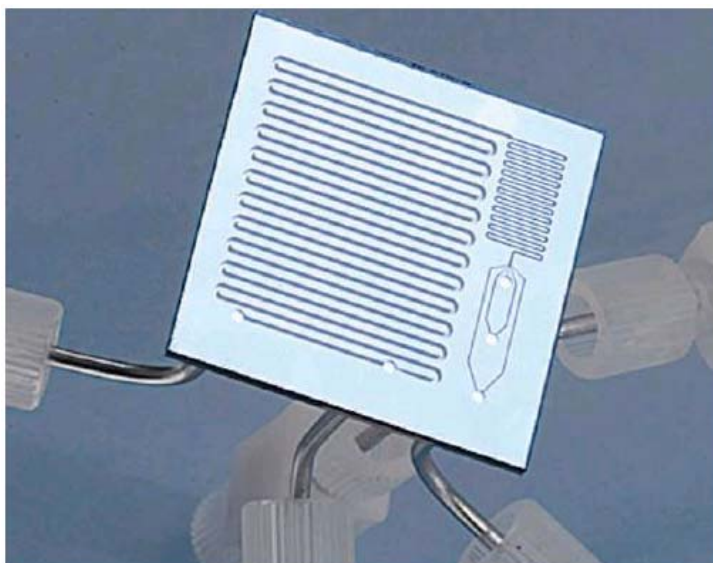
마이크로유체기술이 중요한 이유는 미세유체의 경우, 관성력보다 점성력에 대한 영향이 크고, 부피에 대한 표면적 비율(surface-to-volume ratio)이 크기 때문에, 일반적인 유체가 보이는 현상과 다른 경향을 보이게 된다. 따라서, 미세유체(microfluidics)를 기반으로 하는 미세 소자에서는 많은 물리적 이론 및 특성들이 새로 정립되어야 한다. 미세유체의 경우, 서로 다른 두 유체의 경계면에서 두 유체가 혼합되지 않는 현상을 보이므로, 시료의 혼합을 위해서 많은 연구진이 미세유동에서의 유체혼합에 대한 연구를 수행하고 있다. 또한, 전기장이나 자기장을 통해서 유체 입자의 진로를 바꿀 수 있고, 미세유체 시료가 구조물에 흡착되어 떨어지지 않는 등 전혀 새로운 현상들이 있어 이를 이용하기도 하고 때로는 극복해야 할 과제이기도 하다. 극미세 유체에서 나타나는 현상들을 조절할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지면서 많은 연구그룹에서 연구를 수행하고 있다.

플라스크를 대체하는 LOC의 경우, LOC을 이용하여 화학반응(chemical reactions)을 빠르고 안전하게 그리고 쉽게 컨트롤하는 실험은 이미 시작되었다. 스위스 주리(Zurich) 소재 스위스연방과학기술원(Swiss Federal Institute of Technology)의 Peter Seeberger 연구소의 화학실험실에서는 몇 년 전만 해도 하루에 고작 3~4번의 실험 밖에 할 수 없었으나, 지금은 하루에 그 전보다

23) Dittrich, P.S. & Manz, A. Nature Rev. Drug Discov. 5, 2006, p.210~218.

10배 이상의 실험을 하고 있다. 최근 발표된 논문<sup>24)</sup>에 의하면 Seeberger 연구소의 학생들은 하나의 기본물질을 합성하기 위해 아주 작은 LOC들이인 마이크로반응기를 이용하여 120번의 반응실험을 3일 만에 끝낼 수 있었다. Seeberger 박사는 이 LOC의 마이크로반응기가 20세기의 플라스크(flasks)를 대체할 것이라고 전망하고 있다.

[그림 IV-4] 화학반응 수행에 이용되고 있는 실리콘에 부착된 칩



출처: Hogan, J. A little goes a long way, Nature, 442, 2006.

LOC 기술은 이미 제약 산업 등 산업계에 침투하고 있는데, 산업계에서 고부가가치 제품은 주로 조그만 배치(batches) 작업들이 제약이나 순수 화학 실험을 통해 만들어지지만, LOC인 마이크로반응기에 의해 이보다 더욱 유연성 있는 제품생산 시스템을 구축할 수 있다. 아날로그적 배치 작업을 대규모화하기 위해서는 랩을 확대하고 전체를 재디자인해야 하지만, 이 마이크로반응기에

24) Ratner, D.M., et al, Chem. Commun., 2005, p. 578-580.

의한 유체세계(flow world)에서는 반응 시간을 좀 더 늘리는 것으로 해결할 수 있다. 화이자(Pfizer)사는 이러한 마이크로반응기 기술의 가능성에 도전하기 시작했는데, 이 기술이 도입되면 현존하는 방법으로는 불가능한 대량의 실험이 가능해져 전체 화학의 룰이 변하게 될 것으로 예상된다. 유전자칩은 이미 상용화되고 있으나 랩온어칩은 아직 초보단계로 갈 길이 멀어, 실제 존재하는 랩온어칩의 사례는 드물고 아직 다양한 시장을 형성하지 못하고 있는 상황이다.

#### 다. 전망

아날로그적인 배치 작업에서 유체작업으로의 전환은 그저 플랜트나 랩을 재구축하는 문제는 아니며, 제일 중요한 것은 조직원들이나 연구자들의 인식의 변화라 할 수 있다. 과거 100년 전에 셋업된 실험실에서 작업을 해오던 기업의 룰과 경험을 고려할 때, 변화를 하는 것은 기술의 한계를 뛰어넘는 장애가 있을 수 있다. 최근 LOC에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며 그 결과가 논문으로 발표되고 있으나, 아직은 초기 단계라 부정적인 측면도 있다. 그러나 앞으로 LOC를 이용하여 생산성의 향상과 실험에 사용되는 원자재 물질의 감소를 이루어낸다면 분명 미래는 LOC인 마이크로반응기에 있다. 더욱 빠르고 깨끗하게 더욱 순수한 제품을 만들 수 있어 과거에는 불가능했던 물질의 생산 및 대규모 화학반응과 폭발 등의 위험이 있는 물질의 조합에도 사용될 것으로 보인다.

생체분자의 인식과 상호작용분석, 손 안의 작은 실험실 랩온어칩(Lab on a chip) 및 나노바이오정보(NBIT)의 융합으로 화학적 민감도·정확도가 향상된 제약공정의 전환, 맞춤형 약물 개발이 이루어질 것으로 전망되고 있다.

### 3. 바이오멤스

#### 가. 바이오멤스의 개념 및 특성

Bio-MEMS는 Biotechnology와 MEMS(Micro Electro Mechanical System)의 합성어로서 체내 혹은 체외에서 생체신호를 분석할 수 있는 초소형 소자를 말한다. MEMS는 입체적인 미세구조와 회로, 센서와 액추에이터(actuator)를 실리콘 기판 위에 집적화시킨 것으로, 소형이면서도 복잡하여 고도의 동작을 하며, 마이크로시스템이나 마이크로머신 등으로 불리기도 한다. MEMS는 반도체 집적회로의 구조 기술을 기본으로 하고, 전자, 기계, 광, 재료 등 다양한 기술을 융합한 미세가공 기술로 제작되어, 소형화는 물론 집적화, 저전력 및 저가격 등 대부분의 전자, 기계 및 부품들이 궁극적으로 추구하는 목표를 모두 만족시킬 수 있는 장점이 있다. 반도체 제조공정기술을 이용한 실리콘 미세가공기술 및 집적회로 공정기술을 접목하여 탄생한 MEMS 기술은 미세기계요소 제작 및 전자회로와의 집적화를 가능하게 하는 기술로서 21세기를 주도할 첨단 핵심기술이며, 선진국에서는 국가적 차원에서 관련 기술개발을 위해 90년대 초반부터 대형 연구프로그램을 추진해오고 있다. 이러한 MEMS 기술은 바이오칩 기술에 필수적인 기술로 MEMS 산업내에서 생명공학 관련 분야를 Bio-MEMS로 분류하고 있다.

일반적으로 Bio-MEMS는 언제 어디서나 간편하게 질병·건강을 진단할 수 있는 여러 기능이 내장되고 휴대가 가능한 소형의 기기로 정의되고 있으나,<sup>25)</sup> LOC와 같은 마이크로반응기 기술에 있어서도 MEMS기술은 필수적 요소가 되고 있다. Bio-MEMS는 소형화 집적화기술을 이용하여 특정 공간에 국한되지 않고 원하는 장소에서 검사하고 그 결과를 네트워크를 통하여 피드백 받을 수 있는 제품(예: 재택진료, point of care, e-health care service 등), 유전자 검사를 통하여 질병을 진단·예측하여 미리 예방할 수 있는 기기(암, 감염성질

25) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 2쪽.

병, 선천성 기형, 유전적 결함 등) 등을 개발할 수 있으며, 빠른 속도로 보다 정확도가 높게 물질을 분석·합석할 수 있는 LOC, 마이크로반응기를 개발할 수 있다.

#### 나. 관련 기술 및 산업동향

1980년대 초반 시작된 MEMS 기술은 1980년대 후반 센서기술을 중심으로 발전하기 시작하였고, 1990년대 후반 통신분야 적용에 대한 관심을 거쳐, 현재는 Bio-MEMS를 중심으로 발전하고 있는 추세이다. Bio-MEMS에 대한 관심은 삶의 질 향상에 대한 대중의 욕구와 다른 분야에 비해 상품화가 가시적으로 예상된다는 매력에 의해 조화된 결과이다. Bio-MEMS는 의료, 생물학 분야에서 다양하게 활용될 수 있을 뿐만 아니라 고부가가치를 창출할 수 있어 특정 목적에 맞는 소량의 제품 생산이 가능하다.

Bio-MEMS의 주요 응용분야로는 의료공학(biomedical engineering) 분야, 유전자칩, 단백질칩, 세포칩 등을 포함하는 바이오칩 분야, 마이크로유체기술(microfluidics)을 기반으로 한 랩온어칩(lab-on-a-chip) 분야 등이 있다. 바이오칩의 궁극적인 목표는 완전히 통합된 시스템인 랩온어칩을 구현하는 것이라 할 수 있으며, 이를 구현하기 위해서는 Bio-MEMS, 마이크로유체기술, 반도체 기술 등이 요구되고 있다. MEMS 기술은 바이오칩의 소형화와 다기능칩의 개발에 필수적으로 요구되는 것이라 할 수 있다.<sup>26)</sup> MEMS 산업은 기술과 경험이 집약된 산업으로 시설 및 인력 등에 많은 자본투자가 필요하고 대부분의 기술이 특허에 걸려있어 높은 연구개발 비용과 응용제품의 시스템 노하우까지 알아야 하는 등 사실상 진입장벽이 높다고 할 수 있다. 그러나 대부분의 MEMS 시장은 새롭게 형성되는 단계에 있어 진입하는 업체들이 많으나, MEMS 산업 내 기존 업체 간 경쟁은 그렇게 심한 편이 아니다.

한편, Bio-MEMS 시장은 세계적으로 계속 확산 추세에 있고, 적용범위도 점차 확대되고 있어, 어디까지 MEMS가 이용될지 지금으로서는 그 한계까지

26) 한국산업기술재단, 앞의 글, 2007.4, 129쪽.

불분명한 상황이다. 특히, 국내 시장의 경우 아직 초보적인 단계로서 국가차원의 지원 폭에 따라 그 시장규모가 유동적이라고 할 수 있다. 우리나라의 Bio-MEMS 산업은, 현재 일부 벤처기업과 국가연구소나 대학의 실험실 등으로 극히 일부분에 국한되어 소규모로 연구하는 수준이고 그나마 매우 적은 분야에 집중되어 있어 기술개발 및 상업화 초기 상태에 있다.<sup>27)</sup>

<표 IV-9> 세계 우수 전자 기업들의 Bio-MEMS 진출현황

기업	사업내용
Motorola	- DNA Chip 사업('99), CMS 인수, Oligo Chip 매출예상('01) - Glass Chip 및 BioMEMS를 이용한 Silicon based Chip 개발 - Compugen 사와 제휴, -SNP Consortium에 참여
HP (Agilent)	- Affymetrix, Rosetta 와 전략적 제휴 - DNA Chip *Scanner 개발('97) - Healthcare 부문: DNA Chip, Lab Chip - Bioanalyser 포함(10억 달러 매출)
Hitachi	- Life Science 사업부 설립, Bio-MEMS 및 Nano 기술 연구와 DNA Chip 연구소 운영(지분 1/3 소유) - Aginomoto 사와 게놈 창약에 공동대처하기 위해 제휴
NEC	- Bio-molecular simulation system, Computer-aided protein design)
HP (Compaq)	- 단백질 구조해석을 위해 초당 100 조회 연산처리가 가능한 초고속 컴퓨터 완성예정 - Celera Genomics 사와 제휴
Corning	- 소재, 표면과학, 광학기술을 결합하여 DNA Chip 시장진입('00) - 여러 Contents 기업과 협력 모색중 - Massively parallel manner 로 고속, 고용량의 슬라이드 글라스 칩 개발 중

출처: 손종구 외 2인, Bio-MEMS, 국내의 동향분석을 통한 시장기회 분석, 2004년 차세대 유망아이템 분석보고서, KISTI.

27) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 30쪽.

## 다. 전망

Bio-MEMS 기술을 이용한 바이오칩 및 센서 기술의 개발은 현재의 단순한 질병진단에 국한되지 않고 정보통신 기술과의 융합으로 의료서비스를 환자 친화형으로 변화시키는 견인차 역할을 할 수 있을 뿐만 아니라, 보건의료, 제약 및 타 산업에도 커다란 파급 효과를 미칠 것으로 예상되고 있다. 즉, Bio-MEMS는 생명과학의 욕구를 IT 기술을 통해 실현하며 NT 기술을 통해 진보되는, 지금의 시대가 요구하는 전형적인 특징을 보여주고 있는 유망 분야라 할 수 있다. 현재는 더 빨리, 더 많이, 더 다양하게, 더 경제적인 초고속 진단 및 치료 시스템 기술개발이 요구되고 있어, 나노기술을 이용한 마이크로유체 및 바이오칩 기술을 접목한 새로운 진단 및 치료 기술의 도래가 예상되고 있다. Bio-MEMS 분야 중에서도 특히 의학공학, 바이오칩, 마이크로어레이, 랩온어칩 등의 기술이 중심이 되어 상호 경쟁하면서 발전해 나갈 것으로 예상되고 있다.<sup>28)</sup>

## 4. 생체이식용칩

### 가. 생체이식용칩의 개념 및 특성

21세기에 들어 의학의 생체 모델링 지식과 공학적 의료 진단 및 분석 시스템이 결합한 생체이식용칩이 등장하게 되었다. 이는 생체정보를 포함하고 있는 생체물질과 이러한 정보를 분석, 진단하는 시스템을 연결하는 매개체로서의 역할을 수행하기 위하여 초소형 미세 가공 기술과 생체적합성 물질을 이용한 공정 기술이 결합되어 발전하였다고 할 수 있다. 이러한 시스템에는 생체 신호를 증폭하기 위한 집적기술 뿐만 아니라 생체 신호의 특성을 파악할 수 있는 의학적 지식이 동시에 수반되어야 한다. 생체이식용칩은 인공뇌, 인공망막, 청각보조용, 인공피부, 인공근육 등 다양한 분야에 활용이 가능하나, 아래에서는 이

28) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 8쪽.

중 대표적인 예로서 두뇌칩(신경전극, Neural Probe Chip)과 인공망막칩(Retina Chip)에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

두뇌칩, 즉 신경전극칩(Neural Probe Chip)은 뇌질환 및 뇌의 기능연구를 위하여 직접 뇌파를 측정할 수 있도록 고안된 소자로서, 뇌의 기본적 특성을 이해하고 그에 적합한 특성을 갖도록 하는 것이 관건이다.<sup>29)</sup> 이는 두뇌칩(Neural Probe Chip)을 생물체의 뇌조직 또는 신경 조직에 삽입하여 생물체의 신경 신호를 전기 신호로 바꾸어 생체 신호를 기록하거나 외부의 전기 자극을 생물체 내부로 전달하여 신경 세포를 하는 기술을 말한다. 뇌로부터 직접 뇌파를 측정하기 위해서는 소자의 센서부분이 뇌와 직접 접촉하여야 하는데, 뇌는 항상 움직이고 있는 물질이므로 이 부분의 유연성(flexibility)이 보장되어야 한다. 또한, 뇌파의 적은 전압과 전류를 측정하기 위해 소자는 높은 민감도(high sensitivity)를 보장할 수 있어야 하고 신호의 손실을 줄이고 효율을 높여야 하기 때문에 신호처리(signal processing) 부분을 집적화하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.<sup>30)</sup>

인공망막칩(Retina Chip)은 망막이 손상되어 앞을 볼 수 없는 사람에게 인공망막을 이식하고, 인공망막에서 받아들인 신호를 생체신호로 변환하여 뇌의 시각 중추에 전달하는 역할을 수행한다. 인공망막칩의 경우에도 신호전달을 위해 프로브(probe)가 필수적인데, MEMS기술을 바탕으로 연성을 가지면서도 신호의 정확한 전달을 위해 고전도의 프로브(probe) 제작이 중요하다.<sup>31)</sup> 또한, 망막자체에는 손상이 없더라도 질병이나 사고로 인하여 망막의 광 수용체로부터 대뇌피질까지의 시각 경로 중 어떠한 부분이라도 파괴되거나 손상을 입게 되면 시력이 상실되며, 현재까지는 어떠한 약물이나 수술 방법으로도 치료가 불가능한 상태이다. 이러한 환자들을 대상으로 나머지 살아 있는 신경 부분에 대한 적합한 전기 자극을 통하여 외부의 시각 정보를 시피질(visual cortex)에 전달하여 시각 기능을 회복시켜 주는 인공시각장치에 대한 연구도 진행되고 있다.

29) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 9쪽.

30) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 10~11쪽.

31) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 11~12쪽.



## 나. 관련 기술 및 산업동향

실리콘칩으로 뇌를 만들어 뇌의 뉴런들이 어떻게 작동하는지를 알아내는 새로운 학문을 뉴로모핑(neuromorphing)이라고 한다. 미국 스탠포드대학 신경과학 랩(neuroscience labs)의 Kwabena Boahen 박사팀에서 인실리코(in silico) 방식의 실리콘 뇌(Silicon Brains)를 개발하였다. 지금은 32×32 어레이칩이지만 향후 256×256 어레이칩에 도전할 예정이다.<sup>32)</sup> 최근에는 심각한 외상성 뇌손상(severe traumatic brain injury)을 입어 6년 동안 거의 최소한의 의식상태만을 가지고 있던 39살의 남자에게 전극을 이식하여 전기과동으로 뇌를 자극함으로써 말을 하고 제스처어도 보이며 밥도 씹고 삼키며 물도 마셨다는 임상결과가 발표된 바 있다.<sup>33)</sup>

[그림 IV-5] 두뇌칩



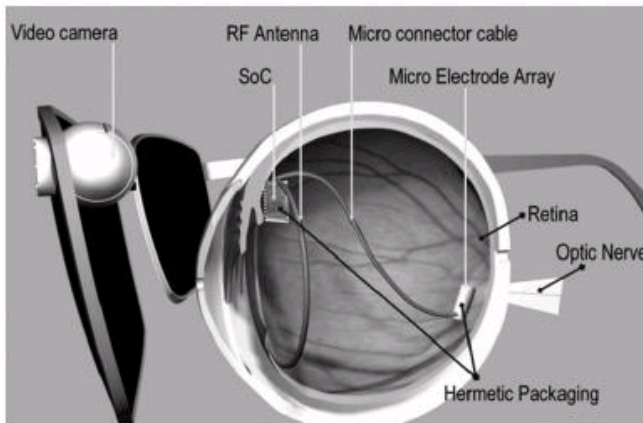
출처: Emily Nathan, Silicon Brains, Technology Review, MIT, 14 Jul 2007

32) Emily Singer, Silicon Brains, Computer chip designed to mimic how the brain works could shed light on our cognitive abilities, Technology Review, MIT, 14 Jul 2007.

33) N. D. Schiff. et. al., Behavioural improvements with thalamic stimulation after severe traumatic brain injury, Nature 448, 2 August 2007, p. 600-603.

현재 인공망막은 부작용이 나타날 수 있어, 생체분자로 인공망막을 구성하는 연구가 진행되고 있다. 빛을 인식하는 생체소자에는 로돕신과 플라빈이 있는데, 최근, 빛을 전기신호를 바꾸는 효율을 증대하기 위해 로돕신과 플라빈을 짝아 올리는 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 생체 분자들의 밀도 분포가 9개/inch<sup>2</sup>로 낮을 뿐만 아니라 각 생체 분자의 생존 확률이 낮다는 것이 해결 되어야할 당면 과제라 할 수 있다.<sup>34)</sup> 전자공학 및 반도체 기술의 발전과 인공 청각장치의 성공적인 사용에 힘입어 현재 인공시각 장치에 대한 연구는 미국, 독일, 벨기에, 한국, 일본, 호주 등 연구팀들에 의해 기술들이 점차 심화되고 있다. 2004년도 미국 시각화 학회에 발표된 논문에 따르면 망막 상부 자극의 경우 소량의 자극전극을 이용하여 시력상실환자가 앞에 놓인 물체나 글자를 알아보는 긍정적인 결과를 제시되기도 하였다.

[그림 IV-6] 미국 USC 그룹의 망막자극 시스템



출처: M. Sivaprakasam, W. Liu, M. S. Humayun, J. D. Weiland, 'A variable Range Bi-Phasic Current Stimulus Driver Circuitry for an Implantable Retinal Prosthetic Device', IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 40, NO. 3, Mar. 2005

34) 손종구 외 2인, 앞의 글, KISTI, 12쪽.

## 다. 전망

지금까지 바이오칩 시장은 질병진단기기로서 마이크로어레이칩 위주로 형성되어 있으나, 생체이식용칩의 개발이 활성화되어 상용화된다면, 신경마비, 치매, 시력상실 등으로 고통을 받는 이들에게는 획기적인 치료방법이 될 수 있다. 이외에도 생체이식용칩의 활용도는 다양하여, 의료용으로 사용할 경우 인공장기 뿐만 아니라, 무선 송수신 장치를 통해 혈압, 혈당, 맥박, 체온 등 필요한 정보를 손목이나 팔의 피부에 이식한 칩에 저장해 전송할 수 있어 모바일의 료시스템의 구축이 가능하다. 환자가 의식불명 상태일 때 의료진은 칩에서 전송된 데이터를 컴퓨터 단말기를 통해 확인함으로써 신속하게 대응할 수 있다. 또한 공황이나 교도소 등 보안유지가 필요한 기관에서의 신원 확인용, 유아 납치 방지용, 치매 노인의 신분증 등 생체인식시스템으로 활용될 수 있다.

## 제4절 생체인식기술

### 1. 생체인식기술의 개념 및 특성

생체인식(Biometrics)이란 사람마다 다른 신체의 특정 부위, 행동적 특성을 이용하여 보안을 강화한 기술분야로 컴퓨터 범죄, 각종 테러 등에 대비하여 접속 또는 접근을 제한하는 것을 의미한다. 생체인식기술은 IT 분야에서 BT 콘텐츠를 응용한 대표적 영역이며, 온라인화·자동화 시대를 맞아 보안의 중요성이 높아지면서 활용에 대한 요구가 급팽창하고 있다. 개인의 신분확인을 위해 현재까지 일반적으로 사용되고 있는 방법은 크게 주민등록증, 여권, ID카드와 같은 신분증과 패스워드로 나눌 수 있다. 신분증은 비교적 쉽게 위조가 가능하고 항상 소지해야 하며 분실의 위험이 있다는 단점이 있고, 패스워드는 항상 기억해야 하고 타인에게 유출될 수 있다는 단점이 있다. 이러한 기존의 개인

신분확인 방법의 문제점을 극복하기 위해 최근에는 개인의 고유한 신체적, 행동적 특징을 이용하여 신분을 확인하는 생체인식기술이 각광을 받고 있는 상황이다.

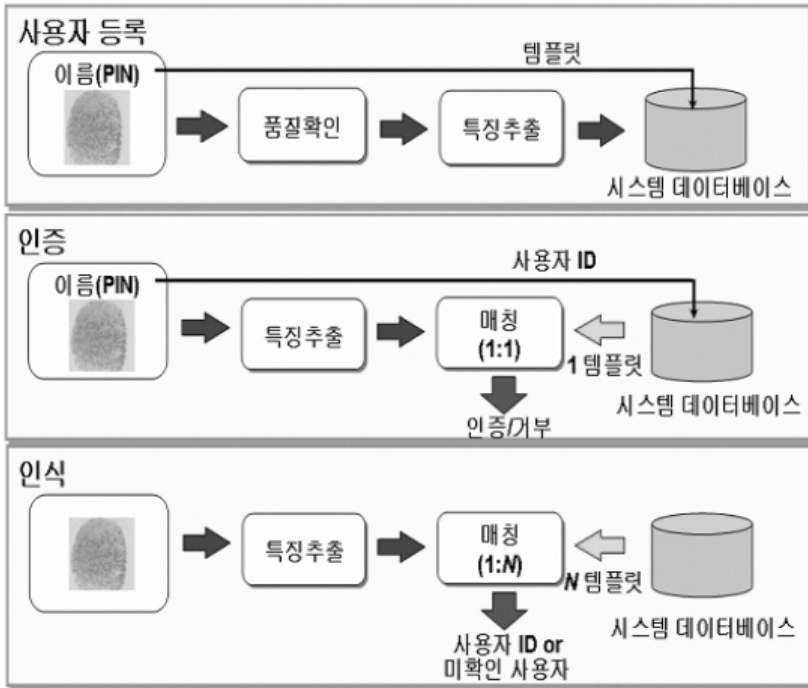
생체인식기술은 영상신호나 음성신호 등의 형태로 입력된 개인의 신체적 특징을 분석하여 본인 여부를 확인하는 패턴 인식분야의 기술이다. 대표적인 예로는 지문, 얼굴, 홍채, 망막, 장문, 정맥, 화자, 서명인식 등이 있다. 사람의 고유한 신체적 특징을 이용한 개인신분 확인기술인 생체인식시스템은 출입통제, 근태관리, 범죄수사용, ATM 현금인출, PC 데이터관리, 미아찾기, 국제공항의 출입국심사 등 일반 생활 속에 널리 사용되고 있다. 이러한 생체인식기술이 널리 응용됨에 따라 관련 법제도 정비, 생체인식기술 표준화 및 정확성·안정성 확보를 위한 평가기술확보 등 제반 여건 마련이 시급한 문제라 할 수 있다.

생체인식방법은 얼굴모양, 홍채, 망막, 정맥, 지문, DNA 등의 신체적 특성을 이용한 방법과 서명, 음성, 걸음걸이 등의 행동학적 특성을 이용하는 방법으로 분류할 수 있다. 생체인식 시스템은 많은 응용 분야에 다양하게 사용되고 있지만, 기본적으로는 [그림 IV-7]과 같이 사용자를 등록하는 과정과 사용자 자신이 자신임을 확인받는 인증(verification, 1:1), 데이터베이스에서 사용자를 찾아내는 인식(identification, 1:N)으로 나누어진다.<sup>35)</sup>

---

35) 김재성, 생체인식기술, 현재와 미래 그리고 우리의 전략, 2005년 11월 전자공학회지 제32권 제 11호, 1372쪽.

[그림 IV-7] 생체인식기술의 사용자등록 및 인증, 인식 과정



출처: 김재성, 생체인식기술, 현재와 미래 그리고 우리의 전략, 2005년 11월 전자공학회지 제32권 제11호.

## 2. 관련 기술 및 산업동향

생체인식기술은 단지 생체기능을 이해하는 것에서 벗어나 생체의 기능을 IT 기기 및 서비스에 직접 활용되고 있다. 또한 9.11 이후 미국은 생체인식이 궁극적인 신원확인 수단임을 인식하고 US-VISIT 프로그램에서 입국자의 신원확인에 생체인식기술을 활용하고 있다. 신원확인 수단을 생체인식기술로 대체하는 움직임은 미국 뿐 아니라 캐나다, 유럽 등지에서도 활발하다. 캐나다 정부는 CANPASS(Canadian Passenger Accelerated Service System)를 개발하여 미국을 자주 방문하는 여행객의 경우 인터뷰나 심사를 거치지 않고 지문인식을 통해 신원을 확인한다. 유럽연합(EU)에서는 외국인 망명 신청자들의

중복신청을 막기 위하여 지문을 이용한 정보검색 시스템인 EuroDAC(European Dactyloscopie, European fingerprint database)을 도입하였다. 호주는 2002년 11월부터 시스니 국제공항에서 얼굴인식방식을 이용한 스마트게이트(SmartGate) 출입국심사시스템을 운영하고 있다. 이 외에도 국제민간항공기구(ICAO)에서는 2002년 범세계적으로 출입국 관리에 생체인식기술을 사용토록 결의하고 이에 대한 표준을 제정 중에 있으며, 국제노동기구(ILO)는 2003년 선원의 신분증에 해당하는 선원수첩에 지문인식 기술을 적용하도록 개정하였다.<sup>36)</sup>

<표 IV-10> 생체인식기술의 활용분야

법률집행 및 범죄수사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DNA 지문채취를 통해 범인 검거에 활용</li> <li>- 법무부 산하 연구소에서는 Smart gun, DNA chip/card 기기개발에 한 해 수 천만 불씩 투자</li> </ul>
출입관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공항, 놀이공원, 숙박 시설 출입에 생체인식 활용</li> <li>- 미국 CIA, FBI 등 정부 요체, 주요 연구소 등은 이미 오래 전부터 출입에 생체인식 활용</li> </ul>
네트워크 및 기기보안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 은행 ATM 사용시 홍채 인식 등을 통해 사용자 판별</li> <li>- Sensar(현 Iridian) 등 생체인식업체가 Bank United of Texas의 생체인식 ATM 기기 개발 주도</li> <li>- 컴퓨터, 핸드폰 등 커뮤니케이션 기기에 생체인식 보안 시스템 적용</li> <li>- Sony, NEC, IBM 등에서 지문 인식 핸드폰, 키보드, 마우스 등 개발</li> </ul>
소비자 맞춤 제품개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저장된 생체인식 데이터를 이용, 맞춤 장갑이나 속옷, 청바지 등을 만드는 데 참고</li> <li>- 아직 신체의 dynamism을 올바르게 적용시킨 맞춤 제품 제조는 어려운 실정</li> </ul>

국내에도 한국바이오인식포럼(KBA, Korea Biometrics Association)이 2001년 2월 생체인식협회라는 이름으로 결성되어, 2008년 1월 현재 35개 바이오인식 업체, 33명의 전문가를 보유한 생체인식연구센터(BERC, Biometric

36) 김재성, 앞의 글, 1373쪽.

Engineering Research Center), 한국정보보호진흥원 바이오인식정보시험센터(KISA K-NBTC, Korea National Biometrics Test Center), 한국전자통신연구원(ETRI), 한국전자통신진흥원 부설 정보통신교육원(AIIT) 등이 활동하는 바이오인식기술 및 산업발전을 위한 전문포럼으로 발전하고 있다.<sup>37)</sup> KISA에서 생체인식시스템의 성능·표준적합성·보안성 평가기술을 개발하였고, 한국전자통신연구원(ETRI)에서 스마트카드기반의 생체인식 알고리즘 및 실시간 다중검색시스템 개발하였다. 특히, 국내 지문 인식업체는 지문인식 국제 성능평가경진대회(FVC)에서 세계 10위권 내에 진입하여 한국의 지문인식 알고리즘 등 S/W 의 우수성을 입증받은 바 있다.<sup>38)</sup> 그러나 국내 생체인식업체는 대부분이 벤처기업 형태로 영세하여 대부분 내수 30%, 동남아지역에 편중된 수출 70% (일본 32.1%, 미국 16%, 중국 14.2%, 유럽 10%) 등의 매출구조를 갖고 있다. 국내 시장규모는 <표 IV-11>에서 보는 바와 같이, '04년 630억 원에서 '08년에는 3,000억 원으로 연평균 47%의 높은 성장률을 기록할 전망이다.<sup>39)</sup>

<표 IV-11> 국내 생체인식 시장규모 전망

(단위: 억 원)

연도	2004	2005	2006	2007	2008	성장률
시장규모	630	950	1,310	1,970	3,000	47%

출처: 국내 생체인식 산업현황 조사보고서, KBA, 2005.

### 3. 전망

현재 전 세계 생체인식 시장은 지문인식이 가장 각광을 받고 있으나, 최근에는 생체여권 도입에 따라 얼굴인식 및 홍채인식기술의 보급이 확대되고 있는 추세이다. 특히 해외에서는 지문센서, 카메라 등 생체정보 입력장비 및 칩셋

37) <http://www.biometrics.or.kr>

38) 김제성, 앞의 글, 1374쪽.

39) 김제성, 문기영, 배영훈, TTA 저널 제98호, Special Report-Biometrics, 2005.3, 32-56쪽.

등 하드웨어 제조기술과 실시간 다중검색을 위한 서버기술 등이 상용화단계에 이르고 있다. 일본에서는 한국이 기술특허를 갖고 있는 정맥인식기술을 활용한 손가락 정맥 또는 손등정맥기술을 특화하여 금융권에 급속히 확산되고 있는 추세이며, 향후에는 영상정보·DNA·다중생체인식 등과 같은 첨단 신기술로 발전할 것으로 예상되고 있다.

<표 IV-12> 생체인식 기술동향 및 발전방향

구분	내용	참여기업
지문 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>가장 대중적인 생체인식기술, 범인 탐지와 관련되어 폭넓게 활용</li> <li>향후 공항 세관이나 보안 검역 구역 등 높은 보안성을 요구하는 환경에서 많이 이용될 것으로 전망</li> </ul>	Infineon, Motorola, ST Microelectronics 등
홍채·망막 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>정확하고 신속하나 고가임</li> <li>금융서비스, 의료, 전자상거래 부문에서 활용</li> <li>지금까지 정부 또는 군사시설의 접근제어 제품에 제한되었으나 향후 네트워크 보안시장으로 확대 예상</li> </ul>	Iridian이 전체 시장의 50% 이상 점유
얼굴 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>인식 정보를 담아서 전달해 주는 가장 자연스러운 도구</li> <li>추후 성장 가능성이 가장 높은 분야</li> </ul>	Visionics와 Viisage가 90% 점유
음성 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>주로 물리적 접근 제어 애플리케이션에 사용</li> <li>TV를 토대로 한 쇼핑 프로그램에서 활용</li> </ul>	Nuance, Veritel 두 업체가 80% 이상 점유
서명 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>변화 가능성 높지만 나름대로 일관성 보유</li> <li>최종 서명의 형태 뿐만 아니라 손의 움직임에 의한 일종의 궤도에 의해서도 식별 가능</li> </ul>	CIC가 80%이상 점유

출처: LG경제연구원, 국내 Bio-IT 산업의 현황과 과제, 2005.9.



## 제5절 소 결

최근 들어 BT와 IT 융합에 대한 관심이 고조되는 것은 IT기술의 급속한 발전이 실제로 BT 분야의 연구에 필요한 기구 및 이를 이용한 의료장비를 생산하는 단계에 이르면서 잠재적이었던 BT 산업의 막대한 부가가치 창출이 가능해졌기 때문일 것이다.

먼저, BT와 IT가 결합되어 출현한 대표적인 융합연구 분야는 생물정보학(bioinformatics)이다. 생물정보학(bioinformatics)의 기본 개념은 생명현상의 정보를 수집하고 이를 분석하여 여러 필요한 분야에 응용가능하게 하는 것이다. 생물정보학은 생물학자들이(논문의 형태로 발표한) 실험실에서 얻은 생물학적 정보와 생명체의 유전정보를 직접적으로 연결시켜줌으로써 전체적인 생명현상의 밑그림을 다시 그릴 수 있게 하였고, 이를 통한 산업적 응용(질병 치료를 신약개발의 타깃 발굴, 환자맞춤형 치료법 개발, 인공장기 등)의 길을 열고 있다. 90년대 이후 급속한 발전이 이루어진 분자생물학 분야도 유전자의 염기서열 및 단백질의 1차 구조를 밝히는 기술이 개발되고 이에 대한 자동화 기술이 보급되면서 가능해졌다고 할 수 있다. 예컨대, 휴먼 게놈프로젝트(Human Genome Project) 같은 거대한 연구프로젝트도 막대한 생물학적 정보를 분석할 수 있는 IT 기반 생물정보학의 발전이 있었기에 가능하였다고 할 수 있다. 최근에는 생물정보학이 생명체의 세포 및 조직, 개체단위의 물질대사 연구수준을 넘어 집단 또는 사회와의 유기적 관계까지 다루는 시스템바이올로지라는 학문으로 발전하고 있다.

다음으로, DNA 및 단백질칩(Chip) 등의 기술도 BT와 IT가 결합된 대표적인 예로서 매우 높은 고부가가치를 창출할 것이라 기대된다. 단백질칩 제작을 위한 마이크로 어레이 기술은 나노수준의 유전자(cDNA 또는 올리고머) 또는 단백질을 특정 물질의 표면에 부착시키는 것으로, 분자생물학 및 생화학과 유기, 물리, 표면화학의 기술이 융합된 형태로 작용한다. 또한 이를 분석하기 위해서는 단백질에서 나오는 특정 파장의 빛을 측정하는 광물리, 전자광학적 기

술과 이렇게 얻은 정보를 분석할 수 있는 진산학적 기술이 필요하므로 진정한 의미의 학제 간 융합기술이라 평가된다. 특히, 단백질칩은 DNA칩에 비해 높은 수준의 기술력을 필요로 하므로 선진국에서도 아직 개발단계에 머물러 있는 실정이지만, 단백질 발현 및 기능 분석 수준에서의 연구를 통한 질병의 진단이나 신약 후보물질의 초고속 스크리닝, 식품 및 환경 모니터링 및 기타 바이오센서로의 개발 등의 측면에서 볼 때 매우 성장 잠재성이 높은 기술 분야이다.

요약하면, 기존의 생물학이 수학, 물리, 화학적 이론에 의존적이었듯이, BT의 발전은 IT의 발전에 필수적으로 의존하고 있다. IT의 발전은 생물학적 연구를 위한 장비의 개발과 주체할 수 없이 쌓이는 생물학적 데이터를 처리하고 분석할 수 있는 바탕이 되므로, 이를 통해 사람에게 유용한 아이템을 발굴하는 계기가 될 수 있을 것이다. 단백질칩은 단백질의 3차원 구조를 유지하여야 하므로 단순히 상보적인 염기쌍을 이용하는 DNA칩을 만드는 것에 비해 한 단계 높은 기술력을 필요로 한다. 그 만큼 어렵고 개발비용도 많이 드는 분야이면서 상대적으로 미국이 주도권을 쥐고 있는 DNA칩 시장에 비해 경쟁력이 있을 수 있는 분야라 할 수 있다. 특히, DNA 및 단백질칩 등에 대한 시장수요는 이들 칩에 대한 활용도가 생물학 연구 분야엔 필수적이기 때문에 대학 등의 연구기관, 병원 등에서의 잠재적 수요가 매우 높을 것으로 예상되고 있다. 따라서 앞서도 언급한 바와 같이 BIT 융합기술은 생물학을 비롯한 관련 학제 간 연구는 물론 의료, 진단, 생체인식 등의 다양한 산업에 필수적인 핵심기술로 자리 잡아 갈 것으로 전망되고 있어, 이들 융합기술 분야에 대한 체계적인 교육 프로그램 개발 및 전문 인력 육성을 위한 제도적 지원이 요구되고 있다고 하겠다.

## 제 5 장

# 국내 바이오 융합학과 현황 및 사례

## 제1절 국내 바이오 융합학과의 현황 및 사례

### 1. 개요

국내 바이오 융합학과의 현황 및 사례를 파악하기 위하여 바이오 융합 관련 학과의 담당자들을 대상으로 설문조사를 실시하고, 동시에 해당 학과의 홈페이지 자료를 분석하였다.

바이오 융합학과의 현황파악을 위한 설문조사는 해당 학과가 개설된 주요 대학의 학과장 앞으로 학과 현황조사 설문지를 송부하였고, 그 중 8개 학교로부터 응답을 받았다(고려대, 부산대, 상명대, 서강대, 성균관대, 숭실대, 전북대, KAIST).

바이오 융합학과의 사례 분석은 유형에 따라 크게 1) 학부중심 학과, 2) 협동과정 혹은 통합과정, 3) 대학원중심 학과의 세 가지로 분류하여 제시하였다. 학교별로 학과의 설립배경, 교육 목적 및 목표, 교육과정, 인적구성, 학생지원 현황을 살펴보았다.

## &lt;표 V-1&gt; 유형별 학과사례

유형	해당 대학
학부중심 학과	송실대학교, 고려대학교, 부산대학교, 상명대학교
협동과정 혹은 통합과정	서강대학교, 서울대학교
대학원 중심 학과	건국대학교, KAIST

## 2. 학부중심 학과

## 가. 송실대학교 생명정보학과 사례

## 1) 설립 배경

송실대학교 생명정보학과는 생명정보 분야의 인재를 양성하기 위해 교육부(現 교육과학기술부)와 협의를 거쳐 2,000년 11월에 설립되었다. 송실대학교 생명정보학과 이전에도 국내 일부 대학원에서 협동과정 또는 일부 과목이 개설되기는 했지만, 학부 과정에 생명정보학과가 생긴 것은 송실대학교가 최초였다. 이후, 2003년 10월에는 생명정보학과 대학원 석사 과정이 신설되었으며, 2005년 5월에는 생명정보학과 박사 과정이 개설되었다.

## 2) 교육목적 및 목표

송실대학교 생명정보학과에서는 생명과학의 이론과 실기교육, 계산 및 통계를 통한 생물정보의 분석 및 활용, 데이터베이스 구축, 신약설계 등 관련분야의 교육을 통해 국가발전과 인류복지 증진에 이바지할 인재를 양성하는 데 그 목적을 두고 있으며, 구체적으로는 다음의 네 가지를 교육 목표로 설정하여 교육과정을 운영하고 있다.

- 생명공학의 이론 및 실기교육

- 계산 및 통계를 통한 생물정보의 분석 및 활용 교육
- 데이터베이스 구축, 신약설계 등 관련분야의 교육
- 생명공학-정보기술 융합분야를 선도하는 인재양성

### 3) 교육과정

숭실대학교 생명정보학과의 교육과정은 총 6개의 전공기초 과목과 25개의 전공 선택과목, 4개의 전공 필수과목으로 구성되어 있다. 각 학년 및 학기 별로 재학생이 수강해야하는 전공필수 과목과 전공 기초 과목이 지정되어 있어 1학년에는 전공 기초에 해당하는 과목을 수강하며, 2학년과 3학년에는 전공필수 과목 및 전공 선택과목, 4학년에서는 전공 선택과목을 수강하게 된다. 구체적인 학년 및 학기별 수강 과목은 <표 V~2>과 같다.

<표 V~2> 숭실대학교 생명정보학과 교과목 구성

	이수구분	과목명	시간	학점
1학년 1학기	교필	채플	3시간	3학점
	교필	현대인과	3시간	1학점
	교필	영어회화1	1시간	1학점
	교필	컴퓨터활용(Excel)		
	교선	(교양영역별선택)		
	전공기초	미적분학1	3시간	3학점
	전공기초	일반생물1	4시간	3학점
	전공기초	화학 및 실험	4시간	3학점
1학년 2학기	교필	채플		
	교필	읽기와 쓰기	3시간	2학점
	교필	영어회화2	3시간	1학점
	교필	컴퓨터활용2(PowerPoint)	1시간	1학점
	교필	섬김의 리더십(봉사)	32시간	1학점
	교선	(교양영역별 선택)		
	전공기초	미적분학2	3시간	3학점
	전공기초	일반생물2 및 실험	4시간	3학점
	전공기초	물리 및 실험	4시간	3학점

<표 계속>

	이수구분	과목명	시간	학점
2학년 1학기	교필	채플		
	교필	TOEIC800	3시간	2학점
	교선	(교양영역별선택)		
	전필	미생물학 및 실험	4시간	3학점
	전필	컴퓨터언어 및 실습1	4시간	3학점
	전선	생물정보개론	3시간	3학점
	전선	유기화학 및 실험	4시간	3학점
2학년 2학기	교필	채플		
	교필	Practical Reading & Writing	3시간	2학점
	교선	(교양영역별선택)		
	전필	생화학실험	4시간	2학점
	전선	생화학1	3시간	3학점
	전선	물리화학 및 실험	4시간	3학점
	전선	컴퓨터언어 및 실습2	4시간	3학점
3학년 1학기	교필	채플		
	전선	분자생물학 실험	4시간	2학점
	전선	화학정보개론	3시간	3학점
	전선	생물통계	3시간	3학점
	전선	구조생물학	3시간	3학점
	전선	생화학2	3시간	3학점
	전선	분자생물학	3시간	3학점
3학년 2학기	교필	채플		
	전필	기기분석실험	4시간	2학점
	전필	계산분자생물학 및 실습1	4시간	3학점
	전선	세포생물학	3시간	3학점
	전선	생물물리학	3시간	3학점
	전선	유전체학개론	3시간	3학점
4학년 1학기	전선	논문연구 I	4시간	2학점
	전선	계산분자생물학 및 실습2	4시간	3학점
	전선	약물학	3시간	3학점
	전선	데이터베이스 설계	3시간	3학점
	전선	분자유전학	3시간	3학점
4학년 2학기	전선	논문연구2	4시간	2학점
	전선	화학정보 및 실습	4시간	3학점
	전선	기능유전체학	3시간	3학점
	전선	생물정보특론	3시간	3학점

#### 4) 인적 구성

현재 학과에는 여섯 명의 전담 교수와 두 명의 겸임 교수가 소속되어 있으며, 학부생과 대학원생, 전임 연구원은 모두 합하여 100여 명이다. 2008년 5월 현재, 학부과정에는 1학년 14명, 2학년 22명, 3학년 21명, 4학년 31명의 학생이 재학 중에 있으며, 대학원에는 석사 5명, 박사 2명, 포스트닥터 과정 1명이 소속되어 있다.

#### 5) 학생 지원

##### 가) 시설 및 설비

승실대학교 생명정보학과는 분자생물학, 미생물학, 생화학 등 생명과학 기초 분야의 실험 실습실, 분광학을 이용한 단백질 구조분석 장비, 생명정보 실습실 등을 갖추고 있으며, 분자설계연구센터가 보유하고 있는 첨단 컴퓨터 장비를 생명정보, 화학정보, 분자설계 실습에 이용하고 있다. 이러한 시설 및 장비에는 구체적으로 SGI Origin server, O2 RI2,000 Workstation, NT320, R5,000, Compaq α-chip server 등의 컴퓨터와 Cerius2, Insight, Discover, Quanta, Charmm, Catalyst, Sybyl base, QSAR pioneer 등의 소프트웨어가 포함되며, 이들은 주로 학교 지원, LG화학, 삼성전자, 동화약품, 종근당 등의 국내 기업, 정부의 지원금을 통하여 구축되었다.

##### 나) 장학금 지원

현재 학과에 지원되고 있는 장학금의 출처는 학부과정, 대학원과정, 포스트닥터 과정이 서로 다르다. 학부과정의 경우 모두 학교에서 지원하고 있으며, 그 수혜율은 2008년 5월 현재 학부 1학년 11%, 2학년 23%, 3학년 29%, 4학년 0%이다. 대학원 과정의 경우에는 BK 사업(교육부)에서 장학금을 지원하고 있으며, 석사과정과 박사 과정에서 각각 1명씩 장학금을 수혜하고 있다. 포스트닥터의 장학금은 과학재단에서 지원되고 있다.

## 나. 고려대학교 생명정보공학과(세종캠퍼스) 사례

### 1) 설립배경

고려대학교 생명공학과는 1986년, 문리대학의 생물공학과로 신설되었다. 다음 해인 1987년 3월에 첫 신입생을 선발하였으며, 같은 해 자연과학대학으로 소속을 변경하였다. 1991년에 처음으로 학부졸업생이 배출되었으며, 1994년에는 대학원 박사 과정이 신설되었다. 1996년에는 교육부 지정 국책대학원으로, 1999년 교육부 BK21 사업단에 선정되어, 다년간 국가 지원을 받을 수 있게 되었다. 계속해서 생물공학과로 유지되던 학과는 학부과정은 2002년, 대학원 과정은 2004년에 생명정보공학과로 학과명을 변경하여 지금에 이르고 있다.

### 2) 교육목적 및 목표

고려대학교 생명정보공학과는 교육 목적을 첫째, 생명현상의 원리를 규명하고 동시에 이를 인간생활에 적용할 수 있는 기초와 응용분야의 인재양성, 둘째, 과학적인 탐구성과 창의력의 배양과 더불어 인간의 존엄성에 대한 인식을 통하여 사회에서 선도적인 역할을 할 수 있는 인재의 배출로 설정하고 있다.

교육목표 역시 각각의 교육목적에 따라 크게 두 가지 설정되어 있다. 우선 기초학문연구 능력 배양의 교육목적을 위한 교육목표는 생명과학, 생명공학 및 생물정보학 분야의 전문 지식과 선진이론을 습득함으로써 연구능력 배양으로 설정하였다. 다음으로 생명과학활용 능력 배양 교육목적을 위해서는 미래지향적이고 창조적인 교육을 바탕으로 기술 집약적인 생명공학 첨단산업을 이끌어 갈 수 있고 사회발전에 기여할 수 있는 전문 인력의 양성을 교육목표로 하고 있다.



## 3) 교육과정

고려대학교 생명정보공학과와 학부 교과목은 교육목표에 따라 설정되어 있다. 전공수업은 2학년부턴 본격적으로 시작되며, 주요과목으로는 미생물학, 세포생물학, 생화학, 분자생물학, 생물화학공학, 생물물리학 등이 있고 3학년에 진입하면 응용미생물학, 세포공학, 유전공학, 효소학, 반응 및 공정공학, 생물정보학 등이 있다. 이후, 시대의 흐름에 맞춰 향후에는 생물전자공학, 바이오나노공학, 대사공학, 세포재설계학, 유전체학, 단백질체학 등의 과목이 개설될 예정이다. 학부 교육과정은 다음의 표와 같다.

&lt;표 V-3&gt; 고려대학교 생명정보공학과 교육과정

구분	2/1	2/2	3/1	3/2	4/1	4/2
생물체의 기본기능	분자세포 생물학 I	분자세포 생물학 II	유전체학 분자세포 생물학실험	단백질체학		
생명현상의 분자적 이해			분자생물학I	분자생물학II	유전공학	분자유전학
생체고분자의 구조와 기능	기초 유기화학	미생물-생화학실험	생화학 I	생화학 II	생화학 III	현장실습
분자의 과학				면역학		의약화학
생물정보학		기기분석	생물물리학I	생물물리학 II, 생물물리학실험	생물정보학	생물구조학
세포공학과 미생물 공학	미생물학I	미생물학II, 미생물-생화학실험	세포공학I	세포공학 II	생물 화학공학 I, 생물화학공학실험	생물 화학공학 II
단백질과 유전자공학			응용 미생물학	발효공학	효소화학	분자 생명공학
바이오나노 공학				생물반응 및 공정공학	나노 생물공학	생물 전자공학

※ 굵은 이탤릭체: 기초학문연구 능력 배양, 일반 글꼴: 생명과학활용 능력의 배양

#### 4) 인적 구성

현재 학과는 9명의 교수와 195명의 학생으로 구성되어 있다. 교수진은 8명의 학과전담교수와 1명의 겸임교수로 구성되어 있으며, 이외 6명의 시간 강사가 강의에 참여하고 있다. 학부학생은 1학년 7명, 2학년 35명, 3학년 44명, 4학년 45명으로 학년이 낮을수록 학과의 학생 수가 감소하고 있다. 대학원생의 경우에는 석사와 박사에 각각 4명이 소속되어 있다.

#### 5) 학생지원

##### 가) 시설 및 설비

고려대학교 생명정보학과에는 현재 6명의 전임교수에 의해서 운영되는 세포공학연구실, 생화학 연구실, 유전공학 연구실, 생물화학공학 연구실, 미생물공학 연구실, 생물물리학 연구실이 운용되고 있다.

##### 나) 장학금 지원

고려대학교 생명정보학과는 전체 187명의 학부생 중 24.6%인 46명의 학생에게 장학금을 지급하고 있다. 학년별로는 1학년의 경우 장학금 수혜자가 없으며, 2학년 28.89%, 3학년 37.29%, 4학년 7.69%의 장학금 수혜율을 보였다. 석사 과정생의 경우 4명 모두 장학금을 수혜하였으며, 박사의 경우에는 장학금 수혜자는 없었다.

#### 다. 부산대학교 바이오정보전자 전공 사례

##### 1) 설립배경

부산대학교 바이오정보전자전공 학과는 2005년 4월 바이오정보전자공학전공 설립추진위원회가 구성되어, 교육부로부터 같은 해 10월 학부와 대학원에 설립 인가를 받으면서 설립되었다. 첫 신입생은 2006년 3월에 입학하였다.

## 2) 교육목적 및 목표

바이오정보전자 학과는 Bio-IT 전문기술 인력을 양성하는 것을 교육목적으로 하고 있다. 이를 위한 교육목표는 두 개 분야로 나뉜다. 우선 전자공학 분야에서는 전자회로, 바이오정보전자개론, 디지털공학, 로봇공학, 센서네트워크 등을 배우고, 생명공학 융합분야는 생체구조 및 기능, 인간감성공학, 휴먼인터페이스 등을 학습하여 학문의 폭넓은 이해와 Bio-IT 분야의 창의적이고, 프론티어적인 전문기술의 습득에 교육목적으로 하고 있다.

## 3) 교육과정

부산대학교 바이오정보전자전공 학과의 학부 교육과정에서 1학년은 교양 필수 및 선택이 주로 편성되어 있으며, 이와 함께 전공기초를 수강하도록 구성되었다. 전공 필수 및 전공 선택과목을 2학년부터 본격적으로 시작되며, 전공 필수는 총 16개 과목, 전공 선택과목은 총 29개로 구성되어 있다.

대학원 교육과정은 6개의 공통기본과 12개의 전공 선택으로 구성되어 있다. 공통기본은 다시 2개의 지도 능력과목(택1)과 4개의 전공공통과목으로 구성되어 있다.

&lt;표 V-4&gt; 부산대학교 바이오정보전자 전공 교육과정

구분		과목명	학점-이론-실습	대상	
교양	필수	실용영어(I)	1~2-0	1-1	
		실용컴퓨터(I)	1~2-0	1-1	
		실용영어(II)	1~2-0	1~2	
		실용컴퓨터(II)	1~2-0	1~2	
		실용영어(III)	1~2-0	2-1	
		실용컴퓨터(III)	1~2-0	2-1	
		실용영어(IV)	1~2-0	2~2	
		실용컴퓨터(IV)	1~2-0	2~2	
		공학작문 및 발표	3~2~2	2-1	
	선택	I. '사상과 가치' 영역 - 공학윤리	3-3-0	1-1	
		II. '사회와 문화' 영역 - 경영/경제 관련교과	3-3-0	1~2	
		IV. '생명과 물질' 영역	3-3-0	2~2	
		VII. '제2외국어' 영역	3-3-0	1-1	
		V. '문학과 예술' 영역	3-3-0	1~2	
		VI. '건강과 여가' 영역	3-3-0	1~2	
	전공	기초	일반물리학(I)	3-3-0	1-1
			일반물리학실험(I)	1-0~2	1-1
			일반물리학(II)	3-3-0	1~2
일반물리학실험(II)			1-0~2	1~2	
일반화학(I)			3-3-0	1-1	
일반화학(II)			2~2-0	1~2	
일반생물학			3-3-0	1~2	
통계학			3-3-0	1-1	
공학미적분학			3-3-0	1-1	
공업수학			3-3-0	1~2	
전공	필수	기초회로실습	2-0-4	2-1	
		회로이론	3-3-0	2-1	
		바이오정보전자개론	3-3-0	2-1	
		전자기학	3-3-0	2-1	
		전자회로(I)	3-3-0	2~2	
		데이터통신	3-3-0	2~2	
		디지털공학 및 실습	3~2~2	2~2	
		제어공학	3-3-0	2~2	
		전자회로(II)	3-3-0	3-1	
		통신공학	3-3-0	3-1	
		전자회로실습	2-0-4	3-1	

&lt;표 계속&gt;

구분	과목명	학점-이론-실습	대상	
전공	필수	전자회로실습	2-0-4	3-1
		마이크로프로세서	3-3-0	3-1
		임베디드시스템	3-3-0	3~2
		로봇공학	3-3-0	3~2
		디지털통신공학	3-3-3	3~2
		창의공학설계(I)	2-0-4	4-1
	선택	선형대수학	3-3-0	2-1
		생체구조 및 기능	3-3-0	2-1
		컴퓨터프로그래밍실습	2-0-4	2~2
		인간 감성공학	3-3-0	2~2
		확률과정론	3-3-0	3-1
		바이오신호처리	3-3-0	3-1
		자료구조 및 알고리즘	3-3-0	3-1
		네트워크시스템	3-3-0	3~2
		마이크로프로세서 설계	3~2~2	3~2
		시스템소프트웨어	3-3-0	3~2
		바이오센서응용실습	2-0-4	3~2
		비주얼프로그래밍	3~2~2	3~2
		의료영상처리	3-3-0	4-1
		바이오단말공학	3-3-0	4-1
		의료정보시스템 및 실습	3~2~2	4-1
		실시간시스템제어	3-3-0	4-1
		통신시스템설계	3~2~2	4-1
		바이오계측공학	3-3-0	4-1
		휴먼 인터페이스	3-3-0	4-1
		의학용어	3-3-0	4-1
		창의공학설계(II)	3-0-6	4~2
		네트워크프로그래밍	3~2~2	4~2
광전자공학	3-3-0	4~2		
전공	선택	마이크로웨이브실습	2-0-4	4~2
		무선통신	3-3-0	4~2
		시스템모니터링	3-3-0	4~2
		텔레메틱스	3-3-0	4~2
		의료기기공학	3-3-0	4~2
		에너지공학	3-3-0	4~2

&lt;표 계속&gt;

구분		과목명	학점-이론-실습	대상
지도 능력		리더십과 조직관리	3-3-0	대학원 택1필수
		프리젠테이션과 토론기법	3-3-0	
공통 기본	전공 기본	바이오일렉트로닉스	3-3-0	대학원
		의료기기공학특론	3-3-0	
		통신프로토콜	3-3-0	
		고급시스템프로그래밍	3-3-0	
전공선택		통신공학특론	3-3-0	석사전용 교과목군
		바이오메카트로닉스	3-3-0	
		유비쿼터스네트워크	3-3-0	
		의료영상처리특론	3-3-0	
		생체신호처리특론	3-3-0	
		신경회로망	3-3-0	
		헬스케어시스템	3-3-0	
		지능형 홈 응용	3-3-0	
		바이오텔레메터링	3-3-0	
		전과환경공학	3-3-0	
		실시간제어특론	3-3-0	
		논문연구	3-3-0	

#### 4) 인적 구성

부산대학교 바이오정보전자전공 학과는 현재, 8명의 학과 교수와 161명의 학생으로 구성되어 있다. 학부 학생은 총 153명으로, 1학년 105명, 2학년 33명, 3학년 15명이며, 아직 4학년에 재학 중인 학생은 없다. 대학원생의 경우 7명의 석사과정생과 1명의 박사과정생으로 구성되어 있다.

#### 5) 시설 및 설비

부산대학교 바이오정보전자전공에는 현재, 학과 교수에 의해서 전자회로 실습실, U-healthcare, 소프트웨어 실습실, 디지털공학 실습실, 바이오응용 실습

실의 총 6개의 전공 실험실이 운영되고 있다.

라. 상명대학교 생명정보학과

1) 설립 배경

상명대학교 생명정보공학과는 2002년도에 설립되었다.

2) 교육목적 및 목표

상명대학교 생명정보공학과는 21세기 국가 경쟁력 향상 및 고부가 가치 창출의 핵심인 생명정보산업에서 생명공학과 컴퓨터정보학의 중추적인 역할을 할 수 있는 생명정보공학 전문인 양성을 학과의 목표로 하고 있다. 구체적인 교육과정의 목표는 첫째, 창의성과 실무능력을 갖춘 BT·IT 신융합 분야의 전문 공학도 양성, 둘째, 생명현상 연구의 새로운 패러다임에 부합하는 창의적인 전문인 양성이다. 이러한 교육목표를 달성하기 해서, BT와 IT 상호간의 유기적 관계 강화 및 상호 시너지 효과 창출, 산학연 협동을 통한 현장 맞춤형 교육 강화, 실습 및 실기 위주의 교육 강화를 학과의 운영 방안으로 제시하고 있다.

3) 교육과정

상명대학교 생명정보공학과에서 1·2학년 과정은 기초생명공학과 세계의 생명공학의 중요한 이슈를 다루는 과목들을 배우며, 본격적인 전공과목은 3학년년부터 시작된다. 3학년 과정은 생명공학의 핵심과목에 컴퓨터 정보학을 자유롭게 접목할 수 있도록 학습하여, 4학년에는 앞으로 나아갈 지침이 되는 논문 연구와 인터뷰 및 프레젠테이션 과목을 학습한다.

&lt;표 V-5&gt; 상명대학교 생명정보공학과 교육과정

구분	교 과 목 명	학점	시간	대상
필수	독서와 토론	2	2	1-1
선택	기초생명공학	2	2	1~2
	일반화학I 및 연습	2	4	
	일반화학II 및 실험	2	4(6)	
필수	영어회화 및 독해	2	3	
	수학과 문명	2	2	
	special Topics in Biotechnology	1	2	
	Current Topics in Biology	1	2	
선택	천연물 생명공학	3	3	2-1
	유기화학I	3	3	
	프로그래밍 언어 및 실습	3	4	
필수	생리학 I	3	3	2~2
선택	미생물학	3	3	
	천연물제조공학 및 실습	3	4(6)	
	유기화학II	3	3	
	데이터베이스설계	3	4	
필수	생화학 I 및 실험	3	4(6)	3-1
선택	생물통계학	3	3	
	유전생화학	3	3	
	화학정보학	3	3	
	생물정보공학 및 실습	3	4	
	생리학II 및 실험	3	4(6)	
선택	고급생화학	3	3	3~2
	면역학	3	3	
	세포생물학	3	3	
	생물화학 기기분석	3	3	
	Biodata분석	3	4	
필수	분자생물학 I	3	3	4
	생명정보공학 특론 I	1	2	
선택	논문연구 I	1	2	4-1
	인턴십 I	1	2	
	약리학	3	3	
필수	생명정보공학 특론II	1	2	4~2
선택	분자생물학II 및 실험	3	4(6)	
	향료학	3	3	



#### 4) 인적 구성

상명대학교 생명정보공학과는 3명의 학과전담 교수와 1명의 겸임 교수로 구성되어 있으며, 이외에 6명의 시간강사가 강의에 참여하고 있다. 학부 과정에는 총 110명이며, 대학원 과정에는 석사 3명이 재학 중이다. 학부 학생은 구체적으로 1학년 34명, 2학년 31명, 3학년 22명, 4학년 23명으로 구성되어 있다.

#### 5) 학생지원

##### 가) 시설 및 설비

상명대학교 생명정보공학과에는 현재 천연물 실험실과 DATA Mining 실험실이 운영되고 있다. 천연물 실험실은 “천연 생리활성물질 탐색” 연구와 “미생물의 2차대사물질 탐색” 연구가 진행 중에 있으며, DATA Mining 실험실은 생물 시스템의 성격을 수학이나 물리학적 모델로 바꾸고 그 데이터를 분석하기 위해 새로운 알고리즘으로 데이터베이스를 개발하며, 그 데이터베이스를 이용할 수 있는 접근 도구를 만드는 것을 목적으로 연구를 진행하며, 각 학생들이 하나의 컴퓨터를 배정받아 Project를 수행중이다.

##### 나) 장학금 지원

상명대학교 생명정보공학과는 전체 110명의 학부 재학생 중, 약 23%에 해당하는 25명의 학생에게 장학금을 지원하고 있다. 학년 별로 장학금 수혜율을 살펴보면, 1학년 30%이며, 2학년부터 4학년까지는 모두 20%이다. 학과에서는 장학금과 함께 기숙사를 제공하고 있다. 대학원의 석사 과정생에 대한 장학금의 지원은 현재 없는 것으로 나타났다.

### 3. 협동과정, 통합과정

#### 가. 서강대학교 바이오융합기술 협동과정 사례

##### 1) 설립 배경

서강대학교 바이오 융합기술 협동과정은 2004년 8월 서강대학교가 특성화 우수대학 사업 신청서를 제출하고, 2004년 10월 교육부 특성화지원대학으로 선정되어, 2004년 11월에 바이오융합기술 협동과정(대학원)을 개설하고 신입생을 모집하면서 시작되었다.

##### 2) 교육목적 및 목표

구체적으로 서강대학교 바이오 융합기술 협동과정은 연구·정보·교육을 통합한 학제적 연구 체제를 구축하고 이와 결합된 대학원 협동과정 및 학부 연계전공 등의 교육 시스템을 갖춘 바이오 융합기술 연구단을 설립하여 바이오 융합기술 관련 첨단 연구를 통한 기술개발과 인재 양성을 목적으로 하고 있다.

##### 3) 교육과정

석사과정의 학생은 연구학점 6학점을 포함하여 총 24학점 이상을 이수해야만 하며, 이중 필수교과목군 중 6학점이 포함되어 있다. 박사과정의 경우 연구학점 12학점을 포함하여, 총 52학점을 이수해야 하며, 심사를 거쳐 석사학위과정에서 이수한 학점을 24학점까지 인정받을 수 있다. 박사과정 중에는 본 바이오 융합기술 협동 과정에서 개설한 과목을 6학점 이상 이수해야만 한다. 바이오 융합기술 협동과정은 바이오 나노기술, 바이오 정보기술, 바이오 의공학 기술의 세 가지 세부 과정으로 나뉜다. 구체적인 교과목 편성은 <표 V-6>와 같다.

&lt;표 V-6&gt; 서강대학교 바이오 융합기술 협동과정 교과목 구성

이수구분	과목명	학점
전공필수	바이오기술	3
	나노기술	3
	현대생명과학개론	3
	바이오나노물리학개론	3
	바이오측정·기기	3
	바이오정보·전자	3
	바이오경영공학	3
전공선택	지식재산권과 특허	3
	의공학개론	3
	바이오분자들의 화학	3
	생명분자물리화학	3
	생명현상과 정보	3
	생체분자질량 분석학	3
	구조유전체학 및 단백질체학	3
	마이크로바이오칩제작기술	3
	나노재료과학	3
	나노기술을 위한 기기분석	3
	전자현미경의 원리와 응용	3
	바이오정보시스템 아키텍처	3
전공필수	나노바이오공학	3
	바이오전기화학	3
	나노·바이오표면분석	3
	바이오신호처리	3
	바이오·의료영상	3
	나노바이오시스템의 설계 및 제어	3
	바이오멤스 및 의료용마이크로소자	3
	분자정보다바이스공학	3
	나노 및 바이오물질의 마이크로파포토닉스	3
확률적생명시스템해석	3	

&lt;표 계속&gt;

이수구분	과목명	학점
전공선택	단백질의 역할, 기능 및 설계	3
	광생물리학	3
	나노분광학	3
	계면공학	3
	나노공학	3
	생명현상과 무기화합물	3
	DNA 마이크로에러이론 및 실습	3
	바이오재료결정화	3
	수리생물학	3
	생물대사분석개론	3
	기능성고분자개론	3
	이론신경과학	3
	신경망	3
	표면구조분석	3
	마이크로시스템디자인	3
	미소유체역학	3
	주사탐침현미경	3
	투과전자현미경의 실제	3
	광전변환공학개론	3
	나노물질의전자기반응특성 및 전자기진단기술	3
	신호해석과역문제의수학적기초	3
	재료결정학	3
	바이오융합특론 I	3
	바이오융합특론 II	3
	세미나 I	1
	세미나 II	1
	세미나 III	1
	세미나 IV	1
	연구 I	3
	연구 II	3
연구 III	3	
연구 IV	3	

<표 계속>

이수구분	과목명	학점
전공선택	세미나Ⅰ	1
	세미나Ⅱ	1
	세미나Ⅲ	1
	세미나Ⅳ	1
	세미나Ⅴ	1
	세미나Ⅵ	1
	연구Ⅰ	3
	연구Ⅱ	3
	연구Ⅲ	3
	연구Ⅳ	3
	연구Ⅴ	3
	연구Ⅵ	3

#### 4) 인적 구성

서강대학교 바이오 융합기술 협동과정은 각 학과에서 참여한 32명의 교수들이 강의하고 있으며, 전임연구원은 8명이다. 2008년 봄학기 대학원생에는 박사 과정에는 총 5명, 석·박사통합과정에 2명, 석사과정에는 7명이 포함되어 있다.

#### 5) 시설 및 기기

바이오 융합기술 협동과정에는 2004년의 경우, Nano-imprinting system, 2-D Electrophoresis system, 진공증착기, 연료전지 성능 측정 장비, Workstation, 플라즈마 질량 분석기, MMM형 초음파 발생장치 및 변환기, 광분광 제어 측정 장비, 칼라 영상 취득 시스템, 워크스테이션, Signal Source Analyzer, Logic Analyzer, 광디스크 픽업 평가 시스템, 연료전지 실험 장치 FCT-TS, 파형 생성기, Infotainment Mobile Platform, 서버 클러스터 시스템, 자동원소분석기, 글로브 박스, MPLC System, 아르곤 이온 레이저 장치, Nano-flow Liquid Chromatography System, 레이저 플래시 분광계, 광합성

세균 혐기 배양장치, 수리계산용 서버 패키지, XYZ 시료대, 8753ES network analyzer, Q-switched Nd:YAG Laser/Bright, RF 주파수 특성분석기의 기기가 갖추어졌다.

2005년에는 SPM nanomanipulation, DNA 및 생물분자 검출용 마이크로웨이브 측정장치, Modified Olis RSM 1,000F-Spectrofluorimeter, Study on Crystallization of Biomolecules on Molecularly Engineered Surfaces, Microplate Luminometer, Fluorescence Correlation Spectroscopy(FCS) 실험 장치, Ultrasound Test Tanks, SUN Fire V40z, 광변환 물리적 특성 분석 장비, 매트릭스 보조 레이저 이온 탈착 이온화 질량분석기 소스 모듈, 고풍력용 펨토초 레이저 증폭 장치, Mask Aligner Q4,000, 입도분석기(Particle size analyzer), 나노해상도 레이저 측정 시스템, 형광분광계, Inverted Microscope equipped with a FRET system, Confocal Microscopy, 초고해상도 광학검사 장비, Apertureless NSOM을 이용한 나노 분광학 및 표면조작 장치가 포함되었다.

#### 나. 서울대학교 생물정보학 협동과정

##### 1) 설립배경

서울대학교 생물정보학 협동과정은 생물정보학의 중요성이 부각되는 가운데, 생물정보학이 필연적으로 생물학 뿐만 아니라 전산학과 통계학, 의학, 약학 등의 다양한 학문 간의 종합적인 노력이 필요하다는 인식 아래, 서울대학교의 8개 단과대학에서 90여명의 교수가 모여 강좌를 개설함으로써 시작되었다. 실제적으로 이 협동과정에서는 2002년 전기에 석사 과정 학생 11명, 후기에 9명을 선발되었다.

## 2) 교육목적 및 목표

서울대학교 생물정보학 협동과정은 생물정보학에 필요한 다양한 학문을 두루 섭렵할 수 있도록 참여대학의 학부과정 및 대학원 과정의 과목을 수강할 수 있도록 하였으며, 필수과목으로 생물정보학 및 실습 1과 2를 개설하여, 생물정보학과 분야에 최소한의 필수적인 지식을 얻도록 하고 있다.

구체적인 이수규정을 살펴보면, 석사과정의 경우 24학점이고 총 평점 3.0이상이어야 하며, 논문연구 교과목을 이하여 취득하는 논문연구학점은 석사 “대학원 논문연구”의 교과목에 대하여 부여하고 있다. 박사과정의 경우 전공필수 교과목인 생물정보학 및 실습 1, 생물정보학 및 실습 2, 생물정보학 및 실습과 본 협동 과정에서 개설한 교과목 중에서 논문연구과목을 제외하고 14학점 이상을 필수로 이수하도록 하고 있다. 본 과정에서 신설한 교과목 외 참여대학원의 기존 설치 교과목을 수강하였을 시 전공 선택 교과목으로 인정하고 있다.

구체적인 교과목의 구성은 <표 V-7>과 같다

<표 V-7> 서울대학교 생물정보학 협동과정 교과목 구성

이수구분	교과명	비고
전공선택	대학원논문연구	
	바이오칩정보학	
	유전체 환경 상호작용	
	화학유전체학	
	생리네트워크 분석	
	생물정보통계학	
	화학정보학	
	약물유전체학	
	바이오메이커 마이닝	
	단백질 구조분석	
	비교 유전체학	
	서열분석 알고리즘	
	단백질체학	
	기능유전체학	

<표 계속>

이수구분	교과명	비고
전공선택 2군	생물정보학 특론2	
	생물정보학 특론1	
	생물정보학 콜로퀴움	
	생물정보학 세미나	
전공필수	생물정보학 및 실습 3	
	생물정보학 및 실습 2	
	생물정보학 및 실습 1	
전공선택	대학원논문연구	
	바이오칩정보학	
	유전체 환경 상호작용	
	화학유전체학	
	생리네트워크 분석	
	생물정보통계학	
	화학정보학	
	약물유전체학	
	바이오데이터 마이닝	
	단백질 구조분석	
	비교 유전체학	
	서열분석 알고리즘	
	단백질체학	
	기능유전체학	
전공선택 2군	생물정보학 특론2	
	생물정보학 특론1	
	생물정보학 콜로퀴움	
	생물정보학 세미나	
전공필수	생물정보학 및 실습 3	
	생물정보학 및 실습 2	
	생물정보학 및 실습 1	

<표 계속>



이수구분	교과명	비고
전공선택과목 으로 인정되는 참여대학원 개설과목	유전학	생명과학부 학부과목
	생화학1	
	생화학2	
	분자생물학	
	생물정보학	생명과학부 대학원과목
	분자생물물리학	
	분자유전학특론	
	신경생물학특론	
	분자진화학특론	
	분자미생물학	
	식물분자생물학특론	
	분자세포생물학	
	유전공학특론	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	고급분석화학	
	통계역학	물리학부 대학원과목
	상전이와 임계현상	
	응용전산물리	
	대수적 코딩이론	수리과학부 학부과목
	정수론과 암호	
	카오스와 동력학계	
수리논리학 및 계산이론	수리과학부 대학원과목	
고급이산수학		
비결정론수학		
계산수치해석 1		
계산수치해석 2		
병렬수치계산		

&lt;표 계속&gt;

이수구분	교과명	비고
전공선택과목 으로 인정되는 참여대학원 개설과목	베이지안통계	통계학과 학부과목
	이산자료분석 및 실습	
	실험계획 및 실습	
	수리통계1	
	회귀분석 및 실습	
	확률의 개념 및 응용	
	이론통계학	통계학과 대학원과목
	응용통계학	
	확률론 1	
	회귀분석특강1	
	선형모형특강1	
	실험계획법특강1	
	표본론특강1	
	반복측정자료분석특강	
	비모수통계학특강	의학과 학부과목
	생화학 및 실습	
	의학유전학	의학과 대학원과목
	의학통계론	
	상급인체생화학	
	인체분자생물학연습	
	암의 분자생물학	
	분자약리학	
	환경성돌연변이원 및 발암기전	
	유전약리학	
	분자진화와 비교생물학	
	단백질의 구조와 기능	
	유전자의 구조와 기능	
	미생물유전학	
	종양바이러스학	
	물리약학1	
물리약학2		
생명약학		
약학컴퓨터개론		
생화학1		
생화학2		

<표 계속>

이수구분	교과명	비고
전공선택과목 으로 인정되는 참여대학원 개설과목	생화학특강	약학과 대학원과목
	의약분자생물학특강	
	신약 유전체정보학	
	약물역학특론	
	분자약물학	
	의약품정보학 특강	
	미생물약품화학 1	제약학과 학부과목
	미생물약품화학 2	
	약품미생물학 특론	제약학과 대학원과목
	생물물리약학	
	입체화학 1	
	입체화학 2	
	약품분자구조론	
	의약품화학특론	
	신약합성화학	
	분자생물학	
	컴퓨터프로그래밍개론	농업생명과학대학 공동학부과목
	생화학 1(Biochemistry 1)	
	생화학 2	
	유전생화학	농업생명과학대학 공동대학원과목
	세포생물학특강	
	분자유전학	
	분자생물학특강	
	유전자조작론	
	식물세포공학	
	농생명공학	농생명공학부 대학원과목
	구조생물학	
	단백질 및 효소화학	
대사공학		
농업미생물유전학		
생화학특강		
동물유전정보학특론		
유전공학		
유전체 및 생물정보학		
유전학특강		
농생명공학콜로퀴엄 1		

&lt;표 계속&gt;

이수구분	교과명	비고	
전공선택과목 으로 인정되는 참여대학원 개설과목	작물유전학특론	식물생산과학부	
	계량유전육종학	대학원과목	
	유전자재조합	수의학과 대학원과목	
	수정란의 미세조작법		
	수정란의 보존 및 이식특론		
	복제동물 생산특론		
	수의내분비계병학		
	동물혈액 및 조혈장기병학		
	산업동물 배아발생 유전학		
	수의생물공학특강		
	컴퓨터프로그래밍		컴퓨터공학부 학부과목
	자료구조		
	데이터베이스		
	알고리즘		
	오토마타이론		
	인공지능		
	프로그래밍언어특론	컴퓨터공학부 대학원과목	
	알고리즘특론		
	데이터베이스특론		
	인공지능특론		
	기계학습		
	패턴인식		
	인공신경망	응용화학부 학부과목	
	공학생물		
	생물화학공학		
	분자생물공학		
	분자열역학		응용화학부 대학원과목
	생화학공학		
생물화학공학특론			
생물화학공정공학특론			
효소공학			
유전공학특론			
생물제어공학특론			
응용단백질공학특론			
생물공학 및 유기화학특수연구			

<표 계속>

이수구분	교과명	비고
전공선택과목 으로 인정되는 참여대학원 개설과목	보건통계학개론	보건대학원 대학원과목
	표본연구론	
	현대적통계분석론	
	계량역학	
	보건통계자료처리론	
	분자역학	
	통계적 추정 및 검정론	
	역학통계분석론	
	환경보건통계	
	보건유전학특론	
	범주형자료분석	생활과학대학 학부과목
	생존분석	
	분자유양학	생활과학대학 대학원과목
	단백질 화학	
	단백질 대사	
	지질대사	
	에너지 및 탄수화물	
	식품효소화학	
영양생리학		
영양역학		
영양과 유전		

#### 4) 인적구성

서울대학교 생물정보학 협동과정에는 보건대학원, 치과대학, 농업생명과학대학, 수의학과, 제약학과, 약학과, 의과대학, 컴퓨터공학부, 물리학부, 화학부, 통계학과, 생명과학부의 12개 영역에서 34명의 교수가 참여하고 있다.

## 5) 시설 및 설비

서울대학교 생물정보학 협동과정에는 각 참여교수가 운영하는 34개의 실험실이 구성되어 있다.

### 4. 대학원중심학과

#### 가. 건국대학교 신기술융합과

##### 1) 설립 배경

건국대학교 신기술융합과는 2003년에 처음으로 설립되어, BT, IT, NT, ST, ET, CT의 전공분야들 사이의 다학문적인 전공을 제공하였다. 2006년에 신기술융합과는 주요한 전공을 교육인적자원부의 BK21 제 2 단계 사업 프로젝트 선정을 위해 전략적으로 주요 전공프로그램을 재정립하여, 지금에 이르고 있다. 현재 신기술융합과는 IMS(Intelligent Microsystem), IBT(Intelligent Bio Technology), IIT(Interdisciplinary Information Technology), 그리고 IET(Informative Environment)의 네 가지 구분되는 전공 프로그램으로 구성되어 있다.

##### 2) 교육목적 및 목표

건국대학교 신기술융합학과는 IT(Information Technology)와 BT(BioTechnology), ET(Environmental Technology), NST(Nano-System Technology) 등의 학문분야를 융합한 IT기반 융합 전공이다. 본 학과는 IT를 인프라로 하여 환경과학(ET), 화학 및 생명과학(BT), 물리학(NT) 등의 자연 과학 분야와 차세대 청정에너지, 차세대디스플레이, 반도체 소자 및 마이크로 시스템 소자 등과 같은 공학 분야가 협력하여 전문화된 융합전공 프로그램을 운영한다. 이를 통해

IT 인프라의 역량을 자연과학 및 공학에 적용할 수 있는 기회를 제공하고 활용능력을 개발하여 여러 분야의 학문이 융합되어 표출되는 21세기 첨단과학과 공학을 이끌어 갈 대학원 석사·박사 인력을 양성함을 교육 목표로 하고 있다.

### 3) 교육과정

건국대학교 신기술융합학과는 다섯 개의 교육 방향에 따라 교육과정을 구성하고 있다.

- 첫째, 이공계 인력양성을 위한 IT기반 기술 융합 교육으로 IT기초 및 IT와 타전공과의 융합 필수과목과 ET, BT, NST 등의 자연과학 및 공학 분야에서의 전공과목으로 구성된 교과과정을 운영
  - 둘째, 신기술 학제 간에 융합 전공을 갖는 창의적이고 국제 경쟁력 있는 미래의 과학 기술을 주도할 수 있는 인력을 양성
  - 셋째, 학제 간 전공 학생과 교수간의 세미나식 참여수업 진행으로 종합적 사고를 가지고 새로운 융합기술을 창조할 수 있는 과정으로 구성
  - 넷째, 차세대 디스플레이 및 차세대 청정에너지 소재의 이해를 위한 기초 기반 교과목 및 차세대 성장동력 산업 연구 및 산업화 창출을 위한 융합적 교과목을 완전히 이해한 인력의 양성
  - 다섯째, 지능형 마이크로 시스템 분야의 6T 융합 맞춤형 인력 양성
- 구체적인 교과목의 구성은 <표 V-8>와 같다.

<표 V-8> 건국대학교 신기술융합과 교과목 구성

개설학기	이수구분	교과목명(국문)	학점	시간	비고
1,2	전공	고급프로그래밍	3	3	
1,2	전공	과학데이터베이스	3	3	융합기초
1,2	전공	과학응용시스템분석 및 설계	3	3	
1,2	전공	과학응용시스템통합	3	3	

<표 계속>

개설학기	이수구분	교과목명(국문)	학점	시간	비고
1,2	전공	그리드컴퓨터응용	3	3	
1,2	전공	멀티미디어무선네트워크	3	3	
1,2	전공	멀티미디어시스템특강	3	3	
1,2	전공	모바일컴퓨팅특론	3	3	
1,2	전공	분산컴퓨팅특론	3	3	
1,2	전공	알고리즘특론	3	3	
1,2	전공	운영체제특론	3	3	
1,2	전공	유비쿼터스멀티미디어	3	3	
1,2	전공	임베디드소프트웨어공학특론	3	3	
1,2	전공	임베디드시스템특론	3	3	
1,2	전공	정보검색특론	3	3	
1,2	전공	진화프로그래밍	3	3	
1,2	전공	컴퓨터비전특론	3	3	
1,2	전공	프로그래밍 및 자료구조	3	3	융합기초
1,2	전공	AI개론	3	3	융합기초
1,2	전공	e-Science분산컴퓨팅	3	3	융합기초
1,2	전공	HCI특론	3	3	
1,2	전공	데이터마이닝	3	3	
1,2	전공	패턴인식	3	3	
1,2	전공	시맨틱웹	3	3	
1,2	전공	계산이론특론	3	3	
1,2	전공	가상현실특론	3	3	
1,2	전공	과학데이터시각화개론	3	3	융합기초
1,2	전공	과학데이터시각화특론	3	3	
1,2	전공	기술마케팅	3	3	
1,2	전공	기술경영	3	3	
1,2	전공	기계학습	3	3	
1,2	전공	암호학특론	3	3	
1,2	전공	건설유비쿼터스기술연구	3	3	
1,2	전공	대기오염모델링1	3	3	
1,2	전공	대기오염모델링2	3	3	
1,2	전공	대기오염모델링2-GRID-BASED모델링	3	3	
1,2	전공	대기오염특별연구1	3	3	
1,2	전공	수자원관리	3	3	
1,2	전공	수질공학특별연구1	3	3	
1,2	전공	수질관리모델링1	3	3	
1,2	전공	수질관리모델링2	3	3	
1,2	전공	수질오염환경정보시스템공학	3	3	
1,2	전공	전략적환경영향평가	3	3	

&lt;표 계속&gt;



개설학기	이수구분	교과목명(국문)	학점	시간	비고
1,2	전공	토양내오염물질거동	3	3	
1,2	전공	환경원격탐사개론	3	3	융합기초
1,2	전공	환경자료분석 및 통합정보관리	3	3	
1,2	전공	GIS개론	3	3	
1,2	전공	GIS세미나	3	3	
1,2	전공	GPS응용시스템연구	3	3	
1,2	전공	환경 정보 시스템 공학 개론	3	3	융합기초
1,2	전공	지반 환경 공학 정보 연구	3	3	
1,2	전공	고도정수처리1	3	3	
1,2	전공	대기악취 오염론	3	3	
1,2	전공	대기에어로졸 오염론	3	3	
1,2	전공	실내공기오염 특론	3	3	
1,2	전공	환경정책-기술 세미나	3	3	
1,2	전공	도시정보시스템	3	3	
1,2	전공	원격탐사 특론	3	3	
1,2	전공	고체물리학	3	3	
1,2	전공	나노공학개론	3	3	
1,2	전공	박막공학	3	3	
1,2	전공	반도체재료과학1	3	3	
1,2	전공	반도체재료과학2	3	3	
1,2	전공	신소재과학1	3	3	
1,2	전공	신소재과학2	3	3	
1,2	전공	응용소재공학	3	3	
1,2	전공	표면화학	3	3	
1,2	전공	MEMS	3	3	
1,2	전공	BT/IT/NT세미나3	3	3	
1,2	전공	BT/IT/NT세미나4	3	3	
1,2	전공	재료공학 특론	3	3	융합기초
1,2	전공	전기 화학	3	3	
1,2	전공	열역학 및 상변태 개론	3	3	
1,2	전공	에너지 소재 공학	3	3	
1,2	전공	전자광학 재료 및 소자	3	3	
1,2	전공	나노소자 특론 I	3	3	
1,2	전공	나노소자 특론 II	3	3	
1,2	전공	나노소자 공정	3	3	
1,2	전공	공력탄성학	3	3	
1,2	전공	구조동역학	3	3	
1,2	전공	로봇기구학	3	3	
1,2	전공	복합재료역학1	3	3	

&lt;표 계속&gt;

개설학기	이수구분	교과목명(국문)	학점	시간	비고
1,2	전공	생체모사	3	3	
1,2	전공	생체역학	3	3	
1,2	전공	선형시스템론	3	3	
1,2	전공	유한요소법1	3	3	
1,2	전공	유한요소법2	3	3	
1,2	전공	지능구조물특론1	3	3	
1,2	전공	비선형구조해석	3	3	
1,2	전공	탄성론	3	3	
1,2	전공	구조특론	3	3	
1,2	전공	실험역학	3	3	
1,2	전공	마이크로/나노 시스템	3	3	
1,2	전공	생체모델링 및 응용특론	3	3	
1,2	전공	지능형마이크로시스템세미나	3	3	
1,2	전공	응용 의공학	3	3	
1,2	전공	마이크로시스템입문	3	3	융합기초
1,2	전공	고급분자생물학	3	3	
1,2	전공	고급생화학	3	3	
1,2	전공	고급효소학	3	3	
1,2	전공	구조유전체학	3	3	
1,2	전공	기능유전체학	3	3	
1,2	전공	단백질공학	3	3	
1,2	전공	단백질체학	3	3	
1,2	전공	결정학	3	3	
1,2	전공	생명분자정보학특론	3	3	
1,2	전공	생물공정공학	3	3	
1,2	전공	생물네트워크	3	3	
1,2	전공	생물정보학	3	3	
1,2	전공	생체분자모델링	3	3	
1,2	전공	세포신호전달	3	3	
1,2	전공	BT/IT/NT세미나1	3	3	
1,2	전공	BT/IT/NT세미나2	3	3	
1,2	전공	Biotechnology	3	3	
1,2	전공	생명과학기술개론	3	3	융합기초
1,2	전공	iIT-iET-iMS 융합프로젝트1	3	3	프로젝트
1,2	전공	iIT-iET-iMS 융합프로젝트2	3	3	

#### 4) 인적 구성

건국대학교 신기술융합학과의 교수는 총 19명으로 구성되어 있다.

##### 나. KAIST 바이오 및 뇌공학과

###### 1) 설립배경

KAIST 바이오 및 뇌공학과는 정문술 전 미래산업 회장이 기부한 사재 300억 원과 정부 지원금(200억 원)을 재원으로 2002년 봄 바이오시스템학과(Department of BioSystems)로 출발하였다. 바이오시스템은 바이오정보시스템, 바이오전자시스템, 바이오나노시스템을 포괄하는 표현으로서 생물학/의학과 공학의 유기적 연계를 의미하는데, 바이오 및 뇌공학과는 바이오시스템의 넓은 분야 중 특히, 세계적으로 부각되고 있는 바이오공학(Bioengineering)과 뇌공학(Brain Engineering)에 그동안 연구를 집중하고 있다. 학과는 출범 5주년을 맞이한 2007년 봄에, 기존에 집중해오던 분야를 더욱 선명하게 하기 위하여 학과 명칭을 바이오 및 뇌공학과로 변경하였다.

###### 2) 교육목적 및 목표

KAIST 바이오 및 뇌공학과는 생명과학 및 의학과 공학간의 연계를 통해 미래사회를 선도할 바이오공학(Bioengineering)과 뇌공학(Brain Engineering) 분야에서 새로운 지식과 부가가치를 창출할 수 있는 전문 인력 양성을 목표로 하고 있다. 이를 위해, 학부 과정에서는 생명과학 및 의학과 공학을 연계하는 바이오공학 및 뇌공학의 기초지식을 교육하고 있다. 또한 학부과정은 다양한 주제의 개별연구를 통해 학제적 연구 소양과 능력을 기르도록 하며, 보다 효과적인 과정이수 및 교육기간 단축을 위해 학·석사 연계과정을 권장한다.

석·박사 과정에서는 다양한 전공배경을 가진 학생의 학제적 교육 및 연구

를 통하여 창의적인 인력양성을 목표로 한다. 해외겸직교수와의 공동연구에 의한 해외과건 교육, 국제학술회의 참여기회 등을 통해 국제적 감각과 연구 능력을 갖춘 전문연구인력을 육성하고자 하며, 석·박사 연계과정의 권장을 통한, 효과적인 교육과 연구를 지향하고 있다.

### 3) 교육과정

KAIST 바이오 및 뇌공학과와 의 전공과목은 전공필수 18학점(바이오정보전자개론, 바이오데이터구조, 바이오토폴공학, 시스템생명공학, 바이오컴퓨터공학, 바이오계측실험 등 총 6과목), 전공선택 24학점 이상으로 구성되어, 총 42학점이다. 또한 총 7학점 이상의 연구 과목을 수강해야 하며, 연구과목은 졸업연구 3학점, 개별연구 2학점, 세미나 2학점으로 구성된다.

석사과정은 공통필수 3학점, 전공필수 3학점, 선택 18학점, 연구 12학점으로 구성되어 총 36학점 이상을 이수해야만 한다. 석사과정은 총 12학점의 연구과목을 수강해야 하며, 여기에는 세미나 2학점, 바이오융합세미나 2학점이 포함된다.

박사과정은 공통필수 3학점, 전공필수 3학점, 선택 36학점, 연구 총 30학점으로 구성되어, 총 72학점 이상을 이수해야만 한다. 박사과정은 총 30학점 이상의 연구과목을 수강해야 하는데, 여기에는 세미나 2학점, 바이오 융합세미나 2학점이 포함된다.

석·박사 교육과정의 구체적인 교육과정은 <표 V-9>와 같다.

<표 V-9> KAIST 바이오 및 뇌공학과 대학원 교과목

과목 구분	교과목명	강의:실험:학점(과제)	개설학기
공통 필수	리더십 강좌	1:0:0(0)	
	영어논문작성법	3:0:3(4)	
	전산응용개론	2:3:3(10)	

<표 계속>

과목 구분	교과목명	강의:실험:학점(과제)	개설학기
공통 필수	신소재과학개론	3:0:3(3)	
	공업경제 및 원가분석학	3:0:3(6)	
	계측개론	2:3:3(8)	
	기업가정신과 경영전략	3:0:3(3)	
	특허분석과 발명출원	3:0:3(6)	봄, 가을
전공 필수	바이오정보전자	3:0:3(3)	봄
선택	기술산업화와 벤처창업	3:0:3(6)	가을
	공학도를 위한 생물학	3:0:3(6)	봄
	유전체 및 단백질체학	3:0:3(4)	가을
	과학도를 위한 정보전자	3:0:3(6)	봄
	신경동역학	3:0:3(6)	봄
	바이오정보학	3:0:3(6)	봄, 가을
	바이오정보학실험	2:3:3(6)	가을
	컴퓨팅기술	3:0:3(6)	봄, 가을
	시스템생물학	3:0:3(6)	봄
	의료영상처리	3:0:3(3)	봄
	디지털바이오신호처리	3:0:3(6)	가을
	신경회로망	3:0:3(6)	가을
	바이오기전공학	3:0:3(6)	봄
	마이크로트랜스듀서 및 실험	2:3:3(6)	가을
	바이오포토닉스	3:0:3(6)	봄
	대사공학	3:0:3(3)	가을
	생물전자소자	3:0:3(3)	봄, 가을
	데이터마이닝	3:0:3(6)	봄
	바이오통계	3:0:3(6)	봄, 가을
	선택	데이터베이스구축론	3:0:3(6)
음향 및 청각모델		3:0:3(6)	봄
인간시각모델		3:0:3(6)	가을
의료영상시스템		3:0:3(6)	봄
나노물질공정 및 특성		3:0:3(4)	봄
나노기전복합시스템(NEMS)		3:0:3(4)	가을
계산세포생물학		3:0:3(6)	봄
세포신호전달네트워크		3:0:3(6)	가을
바이오패턴인식		3:0:3(6)	봄
바이오네트워크		3:0:3(6)	봄, 가을
바이오지능		3:0:3(6)	봄

&lt;표 계속&gt;

과목 구분	교과목명	강의:실험:학점(과제)	개설학기
선택	유전체 및 단백질정보처리	3:0:3(6)	가을
	컴퓨터그래픽스 및 바이오응용	2:3:3(6)	봄
	신경공학	3:0:3(6)	봄
	나노바이오공학	3:0:3(4)	봄
	나노/마이크로가공공정실습	2:3:3(4)	가을
	바이오정보전자특강	3:0:3(6)	봄, 가을
	리더십과 커뮤니케이션	3:0:3(6)	가을
연구	논문연구(석사)		
	개별연구(석사)		
	세미나(석사)	1:00:01	
	논문연구(박사)		
	세미나(박사)	1:00:01	
	바이오융합세미나	1:00:01	봄, 가을

#### 4) 인적 구성

KAIST 바이오 및 뇌공학과는 전임교수 13명, 겸임교수 6명, 겸직교수 7명, 초빙특훈교수 2명, 외부협력교수 14명으로 총 42명이며, 그 외에 3명의 국제자문단이 있다. 학생은 2008년 봄학기에 학부 46명, 대학원 127명으로 구성되어 있다. 대학원생의 경우 석사과정 42명, 박사과정 85명이며, 박사과정에는 석·박사 21명이 포함되어 있다.

#### 5) 시설 및 설비

KAIST 바이오 및 뇌공학과에는 계산세포생물학 연구실, 계산신경시스템 연구실, 나노감응시스템 연구실, 나노바이오공학 연구실, 단백질생물정보학 연구실, 바이오영상신호처리 연구실, 바이오정보시스템 연구실, 바이오포토닉스 연구실, 시스템생물정보학 및 바이오영감공학 연구실, 신경기계인터페이스 연구실, 신경물리학 연구실, 신경공학 연구실, 인지/행동 신경과학 연구실의 총 13개의 실험실이 구성되어 있다.

## 제2절 국내 바이오 융합학과 사례 조사의 시사점

본 장에서는 우리나라의 주요 바이오 융합관련 학과 현황을 살펴보았다. 바이오 융합학과의 사례 분석은 유형에 따라 크게 1) 학부중심 학과, 2) 협동 혹은 통합과정, 3) 대학원중심 학과의 세 가지로 분류하여 제시하였다.

국내 바이오 융합관련 학과는 신설된 학과도 있기는 했지만 다수의 학과들은 기존의 학과에서 명칭을 변경하면서 교육과정을 변경한 경우들이 많았다. 융합기술의 발전이라는 과학기술계의 전반적 변화에 대응한다는 측면에서 학과 명칭 변경 등을 통한 유연성 있는 교과과정 개편을 바람직하게 바라볼 수도 있으나, 이는 또한 학과의 수요가 변하면 또 다른 학과로 변할 수 있다는 문제점을 노정하고 있다.

과학기술 발전추세에 대응하기 위한 정부의 인력양성 정책의 일환으로 대학 재정지원 사업들이 이루어져 왔고, 이러한 재정지원을 받기 위해 신설 혹은 개편된 학과들이 대부분을 차지하고 있다. 그 결과 초기에 재정 지원이 충분할 때는 장학금 지원을 통해 우수한 학생들을 유치할 수 있었으나, 점차 재정지원이 줄어들면서 우수한 학생의 비율도 줄어드는 사례도 생겨났다. 따라서 시대적 흐름에 따라 일시적으로 구성된 학과가 아닌 보다 지속적이고 체계적으로 융합기술 인력을 길러낼 수 있는 학과의 설립이 요구 된다.

바이오 융합학과 학생들과 교수들의 면담 결과, 융합학과들이 지속되고, 더욱 발전하기 위해서는 교육 프로그램 못지않게 학생들이 생각하는 졸업 후 취업 전망이 중요한 역할을 한다는 사실을 확인할 수 있었다. 융합학과는 전통적인 학과에 비해 특성화된 분야인 만큼 산업체의 요구에 민감하게 반응할 수밖에 없다. 그러나 우리나라는 아직 바이오 융합관련 산업이 활성화되지 못한 상황이기 때문에 전통적인 공학이나 생물학 전공이 아닌 바이오 융합 분야를 전공함으로써 얻을 수 있는 혜택이 상대적으로 부족한 실정이다.

실제로 몇몇 바이오 융합관련 산업체 담당자들과의 면담조사에서도 채용에서 특정 R&D 분야의 융합기술 전공자를 찾는 것보다 기존 학과 전공자들을

재교육시키는 방법을 주로 택하고 있다고 응답했다. 그 이유는 아직 융합기술 전문 인력이 소수에 불과하고 이들의 업무 능력이 검증되지 못했기 때문이다.

이처럼 현재 우리나라 바이오 융합기술 교육은 학생과 시장의 수요를 충족 시켜주지 못하고 있는 실정이다. 관련 산업의 전망에 대한 확신 없이 전문 인력 양성 계획을 수립하는 데에는 어려움이 따르지만, 바이오 융합기술의 필요성은 분명하므로 장기적인 관점의 투자가 필요하다. 따라서 먼저 학생들과 산업계의 수요 모두를 만족시킬 수 있는 교육프로그램이 제공되고 그 인력들이 효율적으로 활용된다면 결과적으로 바이오 융합 관련 산업 전반의 발전을 이끌 수 있을 것이다.

전문가 조사에서 연구계 및 산업계의 전문가도 융합의 마인드 셋을 가진 사람이라면 업무를 위한 교육에 투자되는 시간과 비용을 줄일 수 있다는 측면에서 채용의사가 있음을 밝힌바 있고, 학생들도 기존의 하나의 전공만 하던 때와 달리 융합 전공을 통해 새로운 접근을 시도할 수 있게 됐다는 응답을 하고 있음을 볼 때, 보다 체계적인 융합 교육이 지속적으로 제공될 필요가 있음을 알 수 있다. 따라서 대학 교육을 통해 실제 바이오 융합 산업 현장에 적용할 수 있는 교육 프로그램을 개발하고 양성된 전문 인력이 졸업 후 나아갈 방향에 대한 비전을 그려주는 것이 우수한 학생들을 융합기술 전문 인력으로 양성하기 위한 필수적인 과제이다.



## 제6장

# 미국의 바이오 융합기술 전문인력 양성 프로그램 사례

## 제1절 미국 대학별 바이오 융합학과 현황 및 사례

본 절에서는 바이오 융합 분야의 선두주자인 미국의 주요 대학에서 운영하고 있는 바이오 융합 관련 학과 및 대학 부설 센터의 현황을 살펴보고자 한다. 나아가 앞 절에서 제시한 우리나라 대학의 사례와 비교를 통해 바이오 융합 관련 대학교육의 나아갈 방향에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

코넬(Cornell), 스탠포드(Stanford), 펜실베이니아(University of Pennsylvania), 캘리포니아-버클리(UC Berkeley), 매사추세츠 공대(MIT), 보스턴(Boston University) 대학 등 6개 대학의 대표적인 바이오 융합 관련 학과 및 연구센터를 각각 설립취지, 학과 특징, 구성, 필수 전공 교과 및 주요 연구 분야를 중심으로 살펴보았다.

### 1. 코넬 대학교(Cornell University)

코넬 대학의 대표적인 바이오 융합 관련 학과로는 생물학과 의학, 공학 및 계량분야를 접목시킨 Biomedical Engineering과 Computational Biology 전공이 있다. 대표적인 연구센터는 Nano BioTechnology Center로, 대학생 뿐 아

나라 초중고생 및 일반인 등 다양한 대상을 위한 생명공학 관련 교육 및 연구 기회를 제공하고 있다.

### 가. Biomedical Engineering 전공

#### 1) 설립취지

Biomedical Engineering(BME) 전공은 인체를 하나의 시스템으로 보고, 의학과 생물학적 지식을 바탕으로 공학과 물리학을 연결시켜 인간의 건강에 도움이 되는 장비 또는 의약품을 개발 및 활용에 기여하는 학문이 되고자 설립되었다.

#### 2) 학과 특징

BME 전공은 약 45년 전통의 코넬의 생명공학 연구 및 교육에 기반을 두고 있으며, 공식적으로는 1994년에 생명공학 과정이 설립되었고, 1997년 생물의공학 분야의 대학원 과정이 정부의 인가를 받아 2004년에 Biomedical Engineering 학과로 설립되었다.

BME 전공은 학부 및 대학원 과정을 두고 있으며, 학사, 전문석사 및 연구중심의 석·박사 학위 과정이 있다.

학부 과정의 대표적인 과목으로는 Biomaterials & Drug Delivery, Biomedical Mechanics, Imaging & Instrumentation, Nanobiotechnology, Tissue Engineering 등이 있다. 하지만 학부수준에서는 BME 전공을 심도 있게 다루는 데는 한계가 있다고 보고, 학부 과정에서는 부전공의 형태로 공대에 기반을 둔 관련 수업을 수강하는 것을 권장하고 있다.

대학원 과정 중 석사 과정은 공학실습과 디자인에 초점을 두며, BME에 기반을 둔 디자인 프로젝트를 포함한 30학점을 이수해야 한다. 석사학위 과정과는 별도로 최소 9학점을 수강하면 되는 수료 프로그램을 운영하고 있다.

박사 과정의 경우 세부 전공 분야로는 Biomaterials, Biomedical instrumentation and diagnostics, Systems biology, Drug delivery, design, production, and metabolism, Biomedical mechanics를 두고 있다.

### 3) 학과 구성

대학원 과정의 교수진은 약 50명으로 12개의 서로 다른 전공 출신으로 구성되어 학생들이 더 넓은 시각으로 전공에 접근할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 교수진 중에는 National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, American Institute of Medical and Biological Engineers의 구성원들이 포함되어 있다.

학생은 대학원 과정과 포스트 닥 과정으로 구성되며 다양한 전공 출신의 학부 BME 부전공 학생들과 기술자, 교환교수 등이 연구에 참여하고 있다.

### 4) 필수 전공 교과

학부 과정의 경우 필수 전공교과로는 Introductory Biology, Advanced Biology, Molecular & Cellular Biomedical Engineering, Biomedical Engineering Analysis of Physiological Systems, Biomedical Engineering Applications가 있으며, 학부 BME 부전공의 경우는 위 필수 과목 중 최소 18 학점을 이수해야 한다.

### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야는 Biomaterials & Drug Delivery, Biomedical Mechanics, Biomedical Imaging & Instrumentation, Micro- and Nano-biotechnology, Molecular, Cellular and Tissue Engineering 이다.

※ 웹주소: <http://www.bme.cornell.edu>

## 나. Computational Biology 전공

### 1) 설립취지

Computational Biology(CB) 전공은 생물학 분야에서 수량적 예측과 해석의 중요성이 점차 증가함에 따라 수학과 통계학적 접근을 통해 보다 정교한 생물학적 데이터의 분석과 예측을 가능하게 하고자 설립되었다.

### 2) 학과 특징

CB 전공은 컴퓨터 정보과학의 전공분야로 컴퓨터와 수학을 생명공학과 연계시킨 분야로 박사학위 과정만을 제공하고 있다.

기본적으로 생물, 컴퓨터, 수학의 다학제적 지식이 요구되며, 커리큘럼은 생물학의 세부 분야(genetics, macromolecular biology, cellular biology, organismal biology, behavioral biology or ecology) 중 전공을 선택하고, 이와 관련된 컴퓨터와 수학 지식을 발전시키도록 구성되어 있다.

박사학위 과정을 통해 CB 분야의 발전에 기여할 수 있는 역량을 갖추고, 컴퓨터와 생물 분야에서 적어도 하나씩 깊이 있는 지식을 갖추는 것, 그리고 컴퓨터 생물학 분야를 주제로 하나 이상의 연구를 수행하는 것을 박사학위 과정의 목표로 하고 있다.

### 3) 학과 구성

교수진은 컴퓨터, 생물리학, 응용수학, 생물통계학 등 16개의 다양한 전공 출신으로 구성되어 있다. 교수진은 생물학의 Ithaca 캠퍼스 교수진과 의학의 Weill Medical College의 교수진이 있으며, 컴퓨터, 생물 및 의학 전공의 겸임

교수로 구성되어 있다.

학생의 구성은 대체로 학부에서 생물학 또는 컴퓨터의 한 분야만 전공한 학생이 많으나 두 가지를 모두 다룰 수 있는 잠재력이 있는 학생이 학과의 취지에 보다 적합하다고 본다.

#### 4) 필수 전공 교과

박사과정의 필수전공 교과로는 Genetics, Macromolecular Biology, Cell Biology, Organismal Biology, Behavioral Biology, Ecology, Mathematical Science, Computational Science, Programming을 두고 있다.

#### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Computational biology, Computational genetics, Computational macromolecular biology, Computational cell biology, Computational organismal biology, Computational behavioral biology, Computational ecology가 있다.

※ 웹주소: <http://www.cb.cornell.edu>

다. Nanobiotechnology Center

#### 1) 설립취지

Nanobiotechnology Center(NBTC)는 미래 과학기술 분야에서 발전 잠재력이 높고 평가되고 있는 Nanobiotechnology 분야의 발전에 기여하고, 대학의 학생들 뿐만 아니라 초·중·고등학생, 교사 및 일반인을 대상으로 나노·바이오 과학기술에 대한 교육 프로그램을 제공함으로써 보다 많은 사람들이 과학과

기술에 대한 흥미를 가질 수 있도록 돕고자 설립되었다.

## 2) 특징

NBTC는 미국국립과학재단(National Science Foundation, NSF)의 지원을 받아 2,000년에 Science & Technology Center로 설립되었다. 이후 과학에 대한 다학제적인 접근을 표방하며 생명과학, 물리학 및 공학 전공자들 간의 밀접한 협력을 강조하는 NBTC로 변화되었다.

NBTC는 대학교육과 Nanobiotechnology(NBT) 분야의 연구 활동 뿐만 아니라 지역 사회 시민들의 과학적 소양 함양을 목표로 일반인을 대상으로 한 내실 있는 프로그램을 제공하고 있다.

## 3) 구성

교수진 및 연구진은 코넬 대학교(Cornell University), 와즈워스 센터(Wadsworth Center, New York State Health Department in Albany), 프린스턴 대학교(Princeton University), 오레곤 헬스-과학 대학교(Oregon Health & Science University), 클락 아틀란타 대학교(Clark Atlanta University), 하워드 대학교(Howard University), 초·중·고등학교 교사, 사이언스센터 뮤지엄(Sciencenter Museum, Ithaca, NY), 산업 및 정부의 전문가 등 다양한 분야의 전문가들로 구성된다.

## 4) 교육 프로그램

NBTC에서는 초·중·고등학생을 위한 교육부터 포스트 닥 프로그램까지 다양한 대상에게 NBT 교육 및 연구 기회를 제공하고 있다.

대표적인 교육 프로그램으로 “Main Street Science”라는 학습공동체를 운영하여 초·중·고등학생, 교사 및 일반인들의 과학, 기술, 공학 및 수학적 소양

개발을 지원하고 있다. 이 학습 공동체는 일반인 및 학생들과 과학자 및 교사들 간의 상호작용을 촉진시킬 수 있는 활동으로 구성되어 운영되고 있다. 효율적인 학습공동체를 구성할 수 있도록 숙련된 담당자가 배치되며, 효과적으로 운영될 수 있도록 다양한 시설을 제공하고 있다. 기본적으로는 나노과학에 초점을 두고 있지만 보다 다양한 분야에 대한 접근을 권장하고 있다.

이 학습 공동체의 목표는 창의적인 사람들이 서로 협동할 수 있도록 돕고, 학생들의 과학, 기술, 공학 및 수학에 대한 흥미를 유발시킬 수 있는 학습법을 개발하며, 이러한 학습활동을 아이들 및 어른들을 대상으로 적용하여 궁극적으로는 지역사회 구성원에게 이러한 과학 학습 활동을 공유하는 것을 목표로 한다.

대상별 대표적인 프로그램을 살펴보면, 먼저 일반인 및 초등학생들을 위한 프로그램으로 “It’s A Nano World”를 운영하고 있다. 여기서는 뉴욕 Ithaca 주정부의 Sciencenter와 Painted Universe와 공동으로 운영하는 과학 전시관 관람 및 참여의 기회를 제공한다. 주 대상은 5~8세의 아동과 가족들이며 나노세계의 생물학적 궁금증들을 체험을 통해 쉽게 이해할 수 있도록 기회를 제공하고 있다.

중학생을 대상으로 하는 과학 클럽을 운영하고 있으며, 고등학생을 대상으로 여름방학에 4주간의 NBT를 경험할 수 있는 인턴십 프로그램을 운영하고 있다.

교사들을 위해서는 과학 교육과 관련된 다양한 정보 및 자료를 얻을 수 있는 도서관을 운영하고 있는데, 소장 자료에는 학습 활동의 구체적인 계획 및 제반사항까지 자세한 정보가 수록되어 있다. 또한, 관심 있는 교사 및 학생들을 위한 NBT관련 분야의 커리어에 대한 정보도 제공하고 있다.

학부 및 대학원생을 대상으로 하는 “Nano U” 프로그램에서는 NBT 분야의 연구에 직접 참여할 수 있도록 지원하고 있으며, 세미나, 여름방학 연구 참여 프로그램 등을 제공하여 다양한 사람들과 네트워크를 형성하고 팀워크를 통해 NBT 연구를 수행해 볼 수 있는 기회를 제공하고 있다. 박사과정 진학 예정인 학생들을 위해서는 연구 조교 지원, 포스트 닥 프로그램 제공을 하고 있다.

또한 홈페이지를 통해서도 다양한 대상을 위한 NBT 교육프로그램 및 행사 관련 정보를 제공하고 있다.

## 5) 주요 연구 분야

NBTC의 연구 활동에 있어서의 주요 연구 분야는 Biomolecular Devices & Analysis, Cellular Microdynamics, Cell-Surface Interactions, Nanoscale Cell Biology가 있다.

※ 웹주소: <http://www.nbtc.cornell.edu>

## 2. 스탠포드 대학교(Stanford University)

스탠포드 대학교의 대표적인 바이오 융합 관련 전공으로는 Bioengineering 전공과 Biomedical Informatics 전공이 있다.

### 가. Bioengineering 전공

#### 1) 설립취지

Bioengineering(BE) 전공은 공학과 생명공학을 융합시킨 연구와 교육을 통해 새로운 생물의학 기술 및 치료법을 개발하고자 설립되었다.

#### 2) 학과 특징

스탠포드는 지난 40여 년간 BE 관련 학과의 교수진들의 연구와 교육을 기반으로 Medical imaging, Biomechanics, Biomedical informatics,



Biochemical engineering, Medical devices에서 우수한 성과를 보여 왔으나 BE에 대한 시대적 요구에 부응하고 보다 체계적이고 깊이 있는 연구와 교육을 제공할 필요성에서 2002에 BE 전공 학과를 개설하였다.

BE 전공에서는 생물학과 공학 분야에 전문적인 지식을 갖출 수 있는 교육 프로그램을 제공하며, 학위과정은 학부연계전공(석사), 석·박사과정으로 구성되며, 의학 및 공학의 공동 박사학위 프로그램에도 지원할 수 있다.

Bioengineering 석사과정은 총 45학점을 이수해야 하며, 커리큘럼은 필수 과목, 기술 선택과목, 세미나, 자유선택과목으로 구성된다. 필수과목은 계량생물, 생물시스템 분석이고, 고급 필수과목은 학사관리 지도교수와 상담하여 결정할 수 있으며, 수학, 통계학, 공학, 물리과학, 생명과학, 의학과에서 제공되는 수업을 수강할 수 있다. 그 밖에도 세미나를 통해 바이오공학의 최신 연구 주제와 리서치 윤리에 대한 훈련을 제공하며, 자유 선택과목을 두어 지도교수와 상담 후 자유롭게 선택, 수강할 수 있다.

학생들은 지도교수와 상담을 통해 BE의 세부 전공인 Biomedical Computation, Biomedical Devices, Biomedical Imaging, Molecular and Cell Bioengineering, Tissue Engineering/Regenerative Medicine 중 특화시킬 분야를 결정 할 수 있다.

### 3) 학과 구성

다양한 전공(Biomedical Computation, Biotechnology, Neural Systems in Silicon, Biophysics, Molecular Engineering, Systems Biology 등)의 교수진 18명과 기타 전공의 겸임교수들로 구성되어 있다.

### 4) 필수 전공 교과

필수 전공교과는 Molecular and Cellular Bioengineering, Quantitative Mammalian Physiology and Tissue Engineering, Molecular and Cellular

Bioengineering Lab, Clinical Needs and Technology가 있다.

## 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야는 Biomedical Computation, Biomedical Devices, Biomedical Imaging, Cell & Molecular Engineering, Regenerative Medicine 이다.

※ 웹주소: <http://bioengineering.stanford.edu>

## 나. Biomedical Informatics 전공

### 1) 설립취지

Biomedical Informatics(BMI) 전공은 생물학과 정보학, 의학을 접목시켜 생물정보학을 발전시킬 수 있는 새로운 계량 방법을 개발하고 적용하고자 설립되었다.

### 2) 학과 특징

생물정보학과 의학정보학의 통합된 과정에 대한 교육을 제공하며, 석·박사, 학부연계전공(석사) 과정이 있다.

생물의학 자료 및 지식의 획득, 표현, 수정, 분석에 일반적으로 적용될 수 있는 새로운 방법을 디자인하고 연구를 수행하는데 필요한 교육을 제공한다.

BMI 전공은 학생들의 관심에 맞게 컴퓨터과학, 유전학 등의 분야에서 생물정보학에 초점을 두도록 수업을 구성할 수 있다. 모든 학생들에게 학사관리 지도교수가 배정되어 커리큘럼을 구성하고 수업을 계획하는 데 도움을 제공한다.

Biomedical Informatics, Computer Science, Probability, Statistics and Decision Science, Biomedical Domain Knowledge, Ethics and Social Policy 의 다섯 분야의 과목을 필수로 이수해야 한다.

### 3) 학과 구성

담당교수진 8명 외에도 50명이 넘는 협동 및 자문 교수진으로 구성되며 전공은 의학, 생물학, 컴퓨터 공학 등 BMI와 관련된 모든 전공의 전문가들이다. 50명 이상의 학생으로 구성되어 있다.

### 4) 필수 전공 교과

필수 전공과목으로는 Introduction to Biomedical Informatics: Fundamental Methods, Introduction to Biomedical Informatics: System Design, Introduction to Biomedical Informatics Research Methodology, Representations and Algorithms for Computational Molecular Biology, Translational Bioinformatics가 있다.

### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야는 기초 생물학, 물리학, 치료학, 공중위생학 등 생명과학의 모든 분야가 될 수 있다. 또한, BMI 전공의 학생들은 전공을 막론하고 정보학의 혁신과 관련된 연구주제에 관심을 가지고 있는 스탠포드 대학의 어느 교수와도 함께 연구할 수 있도록 지원하고 있다.

대표적 연구 주제로는 BioInformatics, Medical Informatics, Clinical Informatics, Genomics, Decision Support, Biomedical Imaging 등이 있다.

※ 웹주소: <http://bmi.stanford.edu>

### 3. 펜실베이니아 대학교(University of Pennsylvania)

펜실베이니아 대학교(University of Pennsylvania, UPenn)의 대표적인 바이오 융합 관련 학과는 Bioengineering 전공이, 대표적인 리서치 센터는 Nano Bio Interface Center(NBIC)가 있다.

#### 가. Bioengineering 전공

##### 1) 설립취지

Bioengineering(BE) 전공은 의학과 생물학의 문제들을 공학의 분석 원리와 디자인을 사용하여 풀기 위하여 설립되었다.

##### 2) 학과 특징

UPenn에는 1920년대부터 BE 분야의 프로그램이 있었고, 1973년 공식 인가를 받았으며, 1996년에 Institute for Medicine and Engineering이 신설되었다. BE 전공에는 학사, 석·박사 과정이 있다.

BE 전공에서는 공과대학, 의과대학, 의학 및 공학 센터, 수의학, 치의학, 간호학, 대학 병원의 자원을 활용하여 바이오공학의 광범위한 연구 분야를 개척하고 있다.

현재 단과대학 수준의 규모로 다양한 학위를 수여하고 있다. 학사의 경우 공학, 응용과학 학사를 받을 수 있으며 복수 전공 학위도 수여가 가능하다. 부전공과 의학부 예과 과정도 있으며, 박사의 경우는 의학박사 학위와 연계 프로그램도 있다.

경력개발을 위한 관련 분야의 인턴십과 취업정보를 제공하며, 교수진의 면담 시간을 지정하여 학생들이 부담 없이 커리큘럼, 학사관리, 장학금, 인턴십, 취직 등과 관련된 상담을 받을 수 있도록 장려하고 있다.

### 3) 학과 구성

21명의 교수진과 50명 이상의 겸임교수, 300명의 학부생과 65명의 대학원생으로 구성되어 있다.

### 4) 필수 전공 교과

학부 수업의 경우, 1·2학년 전공, 고학년 전공, 연구와 공학디자인 과정, 고급 및 특별 주제의 범주로 구분되어 제공된다.

박사과정의 필수교과로는 Biomedical Science 2과목, Bioengineering 필수 5과목, 수학 2과목, Bioengineering 연구, BE 세미나 2과목 이상, 논문 연구를 이수해야 한다.

### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Molecular Engineering, Cellular Engineering, Tissue Engineering, Drug and Gene Delivery, Cardiovascular and Pulmonary Cell and Tissue Mechanics, Orthopaedic Bioengineering, Injury Biomechanics, Biomaterials, Computational Neuroscience, Experimental Neuroscience, Medical Imaging and Imaging Instrumentation, Imaging Theory and Analysis, Cellular and Molecular Imaging, Theoretical and Computational Bioengineering, Bioinformatics가 있다.

※ 웹주소: <http://www.seas.upenn.edu/be/index.html>

## 나. Nano Bio Interface Center

### 1) 설립취지

Nano Bio Interface Center(NBIC)는 중·고등학생, 교사, 학부생, 대학원생 및 일반인을 대상으로 나노 바이오 과학에 대한 교육 및 연구프로그램을 제공하고자 설립되었다.

### 2) 특징

초점을 맞추고 있는 분야는 공학과 응용과학, 자연과학, 의학 분야를 접목시킨 Nanoscale Science and Engineering Center(NSEC)이며, NT 부전공 수료 및 연구 기회를 제공한다. 또한, NBIC의 연구에서는 UPenn이 강점을 가지고 있는 분자기능 디자인 및 개별분자 수량화를 활용하고 있다.

10개 전공분야의 연구자들을 통합하여 생명과학에 새로운 방향을 제시하고, 공학 분야에 NT 활용을 통한 효과를 깨닫게 해준다.

이밖에도 지역사회를 위한 다양한 교육 및 연구 프로그램을 제공하며, 학부생, 대학원생, 중고등학생, 과학교사, 고등학생이나 일반인을 대상으로 하는 NT 교육 및 연구 프로그램을 제공한다.

### 3) 구성

공학 및 응용과학 대학, 자연과학대학, 의학대학, 경영대학, 지역사회 센터, Drexel University의 전문가들로 구성된다.

### 4) 교육 프로그램

학부생들을 대상으로 NT 부전공, 여름 연구 참여 기회를 제공하며, 대학원

학생들을 위한 프로그램으로는 NT 수료과정이 있다.

과학교사들에게도 연구에 참여할 수 있는 기회를 제공하고 있으며, 중·고등학교 학생들을 위한 응용과학기술 여름학교와 나노바이오 융합분야에 관심을 가지고 있는 학생들이나 일반인들을 대상으로 전시관 및 실험실 관람 기회를 제공하는 “Nano Day” 프로그램 등을 운영하고 있다.

#### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Biomolecular Optoelectronic Function, Molecular Motions, Single molecule Probe, Engaging Globally and Locally가 있다.

※ 웹주소: <http://www.nanotech.upenn.edu>

### 4. 캘리포니아-버클리 대학교(University of California, Berkeley)

캘리포니아-버클리 대학교 University of California, Berkeley(Berkeley)의 바이오 융합관련 학과는 Bioengineering 전공이 있으며, 대표적인 리서치 센터로는 Berkeley Nanosciences and Nanoengineering Institute가 있다.

#### 가. Bioengineering 전공

##### 1) 설립취지

공학적 원리와 기술을 생물학 및 의학과 결합, 생명체에 적용하여 인류가 안고 있는 과제인 건강과 생명연장의 문제를 해결하는데 기여하기 위해 설립되었다.

## 2) 학과 특징

1998년에 설립되었으며 생명공학대학 소속이다. 의학과 공학의 결합을 통해 진단 및 치료에서의 획기적인 기술을 개발하여 인간의 건강 및 생명 연장에 기여하는 것을 목표로 한다. 학사, 석·박사과정을 운영하고 있으며, 1928년부터 캘리포니아-샌프란시스코 대학교(University of California, San Francisco) 의과대학과 공동으로 대학원과정을 운영하고 있다.

## 3) 학과 구성

30여명의 다양한 전공분야의 교수 및 겸임 교수진으로 구성되며, 대학원 과정의 경우 UC San Francisco와 공동으로 운영하여 140여명의 교수진으로 구성된다.

## 4) 필수 전공 교과

학부에서는 Biomaterials, Biomechanics, Biomedical Devices, Cell & Tissue Engineering, Computational Bioengineering, Imaging, Premed 등 7개 분야의 교육을 제공하고 있다.

## 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Biomaterials, Biomechanics, Biomedical Imaging, Biomedical Instrumentation, BioMEMS, Nanotech, Robotics, Computational Biology, Bioinformatics and Genomics, Drug Delivery Systems, Neural Systems Analysis, Tissue Engineering, Vision이 있다.

※ 웹주소: <http://bioeng.berkeley.edu>



## 나. Berkeley Nanosciences and Nanoengineering Institute(BNNI)

### 1) 설립취지

Berkeley Nanosciences and Nanoengineering Institute(BNNI)는 Berkeley의 나노스케일 과학 및 공학 분야의 교육과 연구 활동을 총괄하기 위한 연구기관의 필요성에서 설립되었다.

### 2) 특징

90명이 넘는 교수진과 나노스케일 과학 및 공학에 대한 활발한 연구 프로그램이 수행되고 있으며, Lawrence Berkeley National Laboratory와 협력하여 나노과학연구를 위한 시설을 공유하고 있다. 또한, Silicon Valley의 흐름에 맞춰서 시장의 수요에 부응할 수 있는 연구를 수행하고 있다.

### 3) 구성

기계공학, 재료공학, 화학, 전자공학, 컴퓨터 과학, 물리학 등 다양한 전공의 교수진이 위원회를 구성하고 있다. 90명 이상의 교수진이 참여하여 다양한 관련 기업체와 협동으로 연구를 수행하고 있다.

### 4) 교육 프로그램

나노스케일 과학 및 공학에 대한 초·중·고등학생을 위한 교육부터 대학, 대학원, 일반인을 대상으로 한 다양한 교육 및 활동을 제공한다.

초·중·고등학생을 대상으로 하는 나노과학 체험 프로그램인 “nanoZone exhibit”은 Berkeley 캠퍼스에 있는 공립 과학 센터인 Lawrence Hall of Science의 관람을 통해 나노과학에 대한 이해를 돕는다.

고등학생들을 대상으로 하는 4주간의 여름방학 연구 프로그램인 “SHARP”를 통해 실험실 연구에 직접 참여할 수 있으며 토론, 훈련 및 워크숍을 진행할 수 있는 기회를 제공한다.

학부생들을 위한 여름학기 공학연구 프로그램인 “SUPERB”와 도제 형식으로 교수와 연구를 함께 수행할 수 있도록 하는 “URAP”, 다학제적 접근의 연구를 지원하는 훈련프로그램인 “IGERT”, 박사과정을 위한 연구지원 프로그램인 “DE-NSE Grad Group” 등의 다양한 프로그램을 제공하고 있다.

이 밖에도 경영대와 연결하여 진행되는 “Management of Technology Program(MOT)”와 주 의회 등 지역사회를 대상으로 하는 다양한 공학 교육프로그램을 운영하고 있다.

#### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야는 quantum information and computation, nanomechanical systems, nanoelectronics, nanomedicine, nanomanufacturing, bionanotechnology 이다.

※ 웹주소: <http://nano.berkeley.edu/welcome/welcome.html>

#### 5. 매사추세츠 공대(Massachusetts Institute of Technology)

매사추세츠 공대(Massachusetts Institute of Technology, MIT)의 바이오 융합관련 학과는 Biological Engineering 전공이 있으며, 대표적인 리서치 센터로는 Center for Biomedical Engineering이 있으며, Harvard와 공동으로 Harvard-MIT Health Science Technology 프로그램을 운영하고 있다.

## 가. Bioengineering 전공

### 1) 설립취지

Bioengineering(BE) 전공은 분자 생명과학과 공학을 융합시킨 새로운 학문을 만들자는 취지에서 설립되었다.

### 2) 학과 특징

1997년에 설립되어 2005년에 최초로 학사 학위를 수여하였으며, 학사 및 석·박사 과정을 두고 있다.

생물 시스템이 어떻게 작동하는지에 대한 근본적인 이해를 향상시키고 진단, 치료, 질병 예방, 신물질 디자인 등에 대한 사회적 수요를 생물학에 기반을 둔 기술을 통해 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

분자와 세포 생물과학을 계량, 시스템 기반 공학적 분석을 통해 접근하는 방법에 대한 교육을 제공한다.

학부 과정에서는 Biological Engineering, 박사학위 과정에서는 Applied Biosciences 또는 Bioengineering에 대한 교육 및 연구 기회를 제공하며, Bioengineering과 Applied Biosciences의 두 세부 전공분야에 대한 박사학위 프로그램이 있다. 생물학과와 전기 컴퓨터, 환경공학과가 공동으로 박사 학위를 수여한다(Computational & Systems Biology, Microbiology).

Bio-Instrumentation Laboratory, Bio-Micro Center, Biophysical Instrumentation Facility, Biotechnology Process Engineering Center, Center for Biomedical Engineering, Center for Environmental Health Sciences, Division of Comparative Medicine, ICMIT(Database & computational analysis for biological & medical systems), Mass Spectrometry Lab 등 다양한 연구실과 센터 등을 통해 연구기회를 제공 하고 있다.

### 3) 학과 구성

다양한 전공에 기반을 둔 40명이 넘는 교수진으로 구성되어 있다.

### 4) 필수 전공 교과

학부 수업의 경우, 1·2학년 전공, 고학년 전공, 연구와 공학디자인 과정, 고급 및 특별 주제로 구분하여 제공하고 있다.

박사과정의 필수교과는 Biomedical Science 2과목, Bioengineering 필수 5과목, 수학 2과목, Bioengineering 연구, BE 세미나 2과목 이상, 논문 연구로 구성되어 있다.

### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Biological and Physiological Transport Phenomena, Biological Imaging and Functional Measurement, Biomaterials, Biomolecular Engineering, Cell and Tissue Engineering, Computational Modeling of Biological and Physiological Systems, Macromolecular Biochemistry & Biophysics 등이 있다.

※ 웹주소: <http://web.mit.edu/be/index.htm>

#### 나. Center for Biomedical Engineering

##### 1) 설립취지

Center for Biomedical Engineering(CBE)는 공학을 분자, 세포 생물학과 결합시켜 바이오의학 기술에 새롭게 접근하고, 빠르게 발전하는 Biological

Engineering 분야의 연구를 촉진하는 것을 목표로 설립되었다.

## 2) 특징

Biomedical Engineering(BE) 관련 연구 수행을 주목적으로 하는 센터이다. 공학과 분자 및 세포 생물학을 연결하여 바이오의학기술 분야에 새로운 접근을 시도하고 빠르게 변화하는 BE 분야에 새로운 관점의 연구를 촉진시키는 것을 목표로 한다.

## 3) 구성

MIT, Whitehead Institute, Harvard 의과대학, Boston 의과대학, Harvard-MIT Health Sciences and Technology 전공 출신의 45명의 교수진으로 구성되어 있다.

## 4) 교육 프로그램

BE 관련 연구 수행을 주목적으로 하는 센터로 지역사회의 일반인 또는 학생들을 대상으로 하는 교육 프로그램을 제공하지는 않는다.

## 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Molecular Engineering, Cell and Tissue Engineering, Physiological Systems Engineering이 있다.

※ 웹주소: <http://web.mit.edu/afs/athena.mit.edu/org/c/cbe/www>

## 다. Harvard-MIT Health Science Technology 프로그램

### 1) 설립취지

Harvard-MIT Health Science Technology(HST)는 과학, 공학, 의학의 통합적 접근을 통해 인간의 건강과 관련된 문제를 해결하기 위한 R&D를 수행하고, 해당 전문 인력을 양성하기 위해 설립된 프로그램이다.

### 2) 특징

MIT, 하버드 대학, 하버드 의대, 보스턴 지역 병원, 관련 연구소들의 컨소시엄으로 구성되어 있다. 보스턴(캠브리지)이라는 동일 지역 내 몇 개의 연구동에 걸쳐 물리적으로 저명한 교수들의 연구소들이 인접해 있음으로 인해, 값비싼 장비와 기기 공유의 이점 뿐 아니라 공식·비공식적(formal and nonformal) 인적교류 기회가 많아지는 것이 큰 이점으로 작용한다. 교수들의 경우 여러 기관에 겸임으로 재직하고 있는 경우가 많다.

학부생들에게는 HST 과목 수강과 연구 참여 기회를 제공하고 있으며, 석·박사학위 과정 및 의학박사 학위 연계 과정을 운영하고 있다.

박사과정 혹은 포스트 닥을 선발함에 있어 융합분야 연구를 잘 수행하기 위한 역량으로 다양한 배경을 가진 사람들과 어울려 일할 수 있는 성향과 자신의 전공 분야 이외의 다른 분야에 대해 스스로 학습하는 자기주도적 학습능력, 주어진 일 뿐만아니라 스스로 새로운 문제를 파악하고 해결방안을 모색하는 창의적 사고력 등을 갖춘 인재를 선호한다.

### 3) 구성

60명이 넘는 교수진과 200명 이상의 관련 전문가들로 구성되며, 학생은 400여 명으로 이공계, 의학, 경영학 대학원생들로 구성된다.

#### 4) 주요 연구 분야

과학, 공학, 의학이 결합된 다학제적 접근을 강조하며, 특히 Biomedical Imaging, Biomedical Informatics and Integrative Biology, Functional and Regenerative Biomedical Technologies 세 분야의 연구에 초점을 두고 있다.

※ 웹주소: <http://hst.mit.edu>

#### 6. 보스턴 대학교(Boston University)

보스턴 대학교(Boston University)의 바이오 융합관련 학과는 Bioinformatics 전공이 있다.

##### 가. Bioinformatics 전공

##### 1) 설립취지

Boston University의 Bioinformatics 전공은 포스트게놈(post-genome) 시대의 재능 있는 생물정보학 분야의 지도자 양성을 목표로 설립되었다.

##### 2) 학과특징

Bioinformatics 전공은 1999년에 설립되었으며, 생물학, 공학, 의학을 결합한 다학제적 교육훈련을 제공하며, 석사 및 박사학위 과정을 두고 있다.

교육프로그램은 생물학 및 정보과학을 공학과 통합하는 교육과정을 기본으로, 산업 분야와 새로운 기술 개발에 따른 윤리적이고 법적인 측면에 대한 교육도 포함한다.

2007년 7월에 미국국립과학재단(NSF)으로부터 5년 기간의 Integrative

Graduate Education and Research Traineeship(IGERT) 보조금 대상 기관으로 선정되어 학생들의 학업 및 연구를 지원하고 있다(IGERT는 간학문적이고 혁신적인 대학원 교육과 교육훈련 그리고 협력 연구를 위한 국제 학생 교류 등을 위하여, 대학원생들에게 연간 \$30,000 수준의 장학금을 지급하는 제도이다. 다음 절 참조).

### 3) 학과 구성

교수진은 The College of Arts and Science, The School of Dental Medicine, The College of Engineering, The School of Law, and the School of Medicine의 5개 단과대학과 기타 학과의 60명이 넘는 교수들로 구성된다. 학생들은 20여명의 석사학위 과정 학생들과 50여명의 박사학위 과정 학생들로 구성되어 있다.

### 4) 필수 전공 교과

전공교과는 학생들이 원하는 과목을 선택할 수 있도록 유연하게 운영되고 있으며, IGERT 장학금 수여자의 경우는 Biological Networks, Biological Systems, Probability Statistics, Data Mining의 분야 중 최소한 두 개의 선택 과목을 수강해야한다.

### 5) 주요 연구 분야

주요 연구 분야로는 Systems biology, Computational modeling of regulatory and metabolic networks, docking, comparative genomics, Protein design, Genomic and proteomic biotechnology, Microarray engineering and analysis, Pharmacogenomics, structural biology, Large scale modeling of biological systems, RNA, Computational studies of



cancer and neurological disorders and functional genomics, Synthetic gene networks and molecular computing and genetics 등이 있다.

※ 웹주소: <http://www.bu.edu/bioinformatics>

## 제2절 학제적(interdisciplinary) 교육 및 연구지원 정책과 관련 프로그램 사례

본 절에서는 앞서 살펴본 학과(department)의 개념이 아닌 학제적 융합 교육 및 연구 프로그램으로 운영되는 사례들에 대해 살펴보기로 한다.

### 1. NSF IGERT 프로그램

학제적 교육 및 연구 활성화를 위한 국가적 차원의 지원 정책으로 NSF의 IGERT(Integrative Graduate Education and Research Traineeship Program) 프로그램이 있다. IGERT는 학제적 분야를 연구하는 대학원생 대상의 연구비 지원이 주목적이지만, 관련하여 IGERT프로그램 성과의 확산과 K-12 및 일반 대상의 아웃리치(outreach) 내용도 포함하고 있다.

#### 가. 프로그램 목적

IGERT(Integrative Graduate Education and Research Traineeship Program) 프로그램은 NSF의 간학문적 대학원 교육프로그램으로 지난 10년 동안 대학원 교육에 있어서 새로운 프로그램의 개발 및 실시를 선도해 왔다.

IGERT 프로그램은 전통적인 학문의 경계를 뛰어 넘은 협력적인 연구환경 속에서, 대학원 교육과 교육훈련에서 새로운 혁신적인 모델을 확립함으로써,

학생, 교수 그리고 기관에 있어서 대학원 교육 문화의 변화를 촉진시키고자 한다. 또한 IGERT 프로그램은 학생 참여와 준비에 있어서 다양성을 촉진하고자 하며, 세계적 수준의 매우 포괄적인 과학과 공학 노동력(workforce)의 국제적 협력에 기여하고자 한다.

#### 나. 프로그램 특징

IGERT 프로그램은 1998년에 시작되어, 현재까지 총 195개 프로젝트를 통해 약 4,232명의 학생들이 지원을 받았다. IGERT 프로그램은 Biological Sciences(BIO), Computer and Information Science and Engineering(CISE), Education and Human Resources(EHR), Engineering(ENG), Geosciences(GEO), Mathematical and Physical Sciences(MPS), Social, Behavioral, and Economic Sciences(SBE), the Office of Polar Programs(OPP), and the Office of International Science and Engineering(INT) 등을 포함하는 NSF 차원의 노력이다.

#### 다. 프로그램 구성

IGERT 프로그램은 1) 연구 프로젝트, 2) 대학원 교육, 3) 일반대중 및 K-12 대상 프로그램에 대한 정보제공, 4) STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics) 교육의 확장 등 네 가지 영역의 지원으로 구성된다. 첫째, IGERT의 연구 프로젝트는 첨단 학문적 STEM 분야에 기반을 둔 변화를 가져오는 연구 성과와 발견을 지원하며, 2006~2007년 동안에 연간 보고서를 제출한 136개의 IGERT 프로젝트는 총 335개의 개별적인 연구 성과들을 보고하고 있다.

둘째, IGERT의 대학원 교육지원은 136개의 IGERT 프로젝트 중 새로운 학위와 교육과정, 훈련생과 다른 대학 학생들을 위한 워크숍과 세미나를 개발하는 것을 직접적으로 담당하는 122개의 IGERT 프로젝트에서 실시되었으며,

328개의 교육적 성취가 보고되었다.

셋째, 일반 대중, 대학원생, 그리고 K-12 학생들에게 IGERT에서의 혁신적인 과학에 대한 정보를 제공하는 것은 궁극적으로 STEM 분야 지식 발전 및 공유에 영향을 주기 위한 노력에 해당한다. 구체적으로 아웃리치(outreach) 활동들을 보고한 114개의 IGERT(59.6%) 중에서 68개의 IGERT는 K-12 학생과 교사들이 참여하는 175개의 활동을 보고하였다. 또한 114개의 IGERT 중 20개는 학부생들과의 상호작용을 포함하는 44개의 활동들을 보고하였다.

마지막으로, STEM 교육의 확장 부분에서 2006~2007년 기간 동안 실행 중인 136개의 IGERT 전반에 걸친 1,519명의 훈련생들은 IGERT 프로그램에 의해서 자금을 지원받았으며, 154명의 훈련생들이 현재 실행되고 있는 136개의 IGERT를 통해서 그들의 박사학위를 받았다. 소수자(minority) 참여의 확대와 관련하여 IGERT의 프로젝트의 52%에서 소수 인종/민족의 참여율이 국가 평균을 넘어섰으며, 38%의 프로젝트에서는 국가 데이터와 동등하며, 10%의 영역에서는 국가 데이터보다 단지 약간 뒤쳐진다. 여성 참여에 있어서는 IGERT 프로젝트의 79%는 국가 평균을 초과하며, 21개에서는 약간 낮다. <표 VI-1>는 2006~2007년 동안 진행된 IGERT 프로그램 성과의 주요 분야를 나타낸다.

<표 VI-1> IGERT 프로그램의 분야별 주요 성과

TOPICS	# IGERTS	% IGERTS	# Journal Articles	#Conference Publications	#Conference Presentations	#Book Chapters	#Books
Sustainability: ecology and the environment	38	28	211	58	313	7	4
Computational science and engineering	48	35	188	110	252	18	1
Human and social dimensions of new knowledge and technology	44	32	188	72	403	26	6
Nanoscience: engineering and technology	23	17	188	87	254	6	4

<표 계속>

TOPICS	# IGERTS	% IGERTS	# Journal Articles	#Conference Publications	#Conference Presentations	#Book Chapters	#Books
Energy: alternate and renewable resources and conservation	4	3	21	6	12	0	1
Materials science and engineering	27	20	219	101	200	4	3
Bioinformatics	11	8	62	3	57	0	1
Civil infrastructure monitoring and improvement	2	1	36	2	45	2	0
Entrepreneurialism	17	13	109	93	181	5	3
Neuroscience: biology and psychology	10	7	24	14	55	2	0
Climate change: impacts and factors	6	4	55	27	116	2	0
Biological evolution and development	11	8	58	33	88	7	0
Diverse device development	24	17	123	56	108	8	3
Sensing, signals, imaging and signal processing	14	10	83	55	107	9	2

#### 라. 바이오인포메틱스 관련 프로젝트 사례

2006~2007년에 보고서를 제출한 136개의 IGERT에서 11개 프로젝트가 생물정보학에서의 간학문적인 영역과 관련된다. 훈련생들과 IGERT 교수들이 알고리즘 개발과 활용의 제한을 없애도록 노력하는 가운데, 컴퓨터 IT 기술을 데이터 분석과 혼합함으로써, IGERT 훈련생들은 우리가 지구에서 지속적으로 살기 위해서 필요한 것에서부터 근본적인 연산 컴퓨터 과학에 이르는 모든 것에 영향을 줄 수 있는 독특한 기술을 개발하고 있다. 이 분야의 IGERT 연구 성과의 예는 다음과 같다.

- IGERT 훈련생(대학원생)들과 교수, 연구진으로 이루어진 간학문적인 팀은 코끼리의 개체수의 역학과 이것이 Okavango Delta 지역의 환경적, 사회적 구성에 미치는 영향에 관련된, 야생 관리의 쟁점에 대한 종합적인 이해를 아프리카에서의 여름 프로그램 동안에 개발하였다. 학생들은 증가된 코끼리 개체수의 원인과 영향에 대한 가정(hypothesis)을 시험할 수 있는 일련의 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 이러한 모델은 이전에는 지역 야생과 천연 자원 관리자가 단지 추측할 수밖에 없었지만, 모델을 통해 증가된 코끼리 개체수와 그것의 지역 경제에 대한 영향력에 내재하고 있는 원인들에 대해서 지역 인구들과 의사소통할 수 있도록 하고 있다. 간학문적인 접근법을 통해 코끼리 개체수의 급격한 증가로 인한 다양한 측면들, 예를 들어 관광과 경제적 효과, 코끼리가 나무에 입히는 피해로 인해 증가된 염화(salinization) 문제, 다른 방목 가축(grazier)과의 경쟁, 그리고 가축 살림 시스템(livelihood system)과의 상호작용 등을 탐구하였다(Brown, University of Florida).
- 무작위 에러의 배제는 모델의 추정에 영향을 주는가? Greater Yellowstone Ecosystem(GYE)의 회색곰(grizzly bears, *Ursus arctos*)을 사용한 사례연구는 모델 선택과 개체군(population) 역학에 대한 추론에 error source terms 포함 효과에 대한 연구를 수행하였다. 연구팀은 개체군(population) 데이터로부터 만들어진 추정에 대한 에러의 효과를 조사하기 위해서 frequentist와 Bayesian model의 모델 선택 접근법을 사용하였다. 분석 결과 에러를 포함하도록 모델을 확장하는 것이 멸종위기 동물목록(Endangered Species list)에서 엘로우스톤 지역의 회색곰(GYE grizzly bears)을 제외시키는 것에 대해 보다 확고한 결정을 가능하게 해 주었다(Davis, Colorado State University).
- IGERT 교수와 공동연구를 수행한 IGERT 훈련생은 세 가지 감염(influenza, *Streptococcus pneumoniae*, influenza followed by *S. pneumoniae*)의 숙주 내 역학을 위한 수학적 모델을 개발하였다. 실험 데이터를 이용하여, 연구팀은 감염 변수(infection parameters)를 수량화하고, 처치 방법을 조사하고, influenza와 *S. pneumoniae*의 상호작용 메커니즘과 그들 각각의 면역체계와의 상호작용을 조사하였다(Keener, University of Utah).
- 세 개의 다른 학과(Ecology and Evolutionary Biology, Plant Sciences, and Computer Science)의 학생들이 함께 연구팀을 구성하여 초파리의 단백질 진화율과 유전자 발현과의 진화의 관계를 탐구하는 협력 연구프로젝트를 수행하였다. 이들은 단백질 진화와 발현 발산(expression divergence) 비율 사이의 양적(+) 상관관계를 발견하였다. Positive selection의 증거를 실험함으로써, 그들은 발현(expression)과 단백질 발산(divergence) 사이의 상관관계가 선택적 제약 수준의 내제된 변화 때문일 가능성이 있다는 것을 보

여주어 기존 견해를 반박하였다(Nachman, University of Arizona).

- Development and Release of Garli: 최대우도기준(Maximum likelihood criteria)을 이용한 계통발생학적 추정의 유전적 알고리즘이 IGERT의 생물학자와 컴퓨터 과학자들 사이의 협동 연구의 결과로 나타났다. 이 프로그램은 예를 들어 최대우도법에 기초를 두는 모델을 통한 수천의 DNA 서열 트리(tree)의 계통 발생적 분석과 같이 많은 생물학자들이 흥미를 갖고 있는 어려운 컴퓨터 프로그램을 해결하기 위해서 유전적 알고리즘을 사용하였다. 이 프로그램은 이전의 프로그램에 비해서 분석 시간을 최소 1/10로 줄였다. 최종 프로그램은 IGERT 교수단과 다른 훈련생들의 도움으로 한 IGERT 훈련생에 의해서 개발되었으며, 전 세계적으로 최대 우도법을 통한 계통발생적 분석을 위해 가장 많이 사용되는 프로그램이 되었다(Hillis, University of Texas Austin).

## 2. Harvard Integrated Life Sciences(HILS) 프로그램

### 가. 프로그램 목적

하버드대학의 HILS는 학문들 사이의 협력이 생명과학 분야에서의 최신 연구들의 핵심이며, 연구주제가 더 이상 전통 학문 영역으로 국한되지 않는 현실에 대응하기 위해, 2004년에 개설되었다.

### 나. 프로그램의 특징

HILS는 네 개의 하버드 단과대학(the Faculty of Arts and Sciences, the Dental School, the Medical School, and the School of Public Health)에 있는 11개의 대학원 프로그램을 통합하며, 몇 가지 주제 'clusters'로 구성된다. 이러한 새로운 구조는 새로운 학위 프로그램에 대한 필요를 포함해서, 생명과학 분야에서 새롭게 출현하고 있는 경향에 대한 실험을 가능하게 한다. 한편, HILS의 협력 위원회는 몇 개의 하버드 단과대학에 속한 25명의 생명과학자들로 구성되며, 프로그램 감독에 대한 책임을 갖는다.

### 다. 프로그램의 교육과정 구성

HILS는 하버드 생명과학 Ph.D. 프로그램, 학과, 그리고 주제 영역의 연합으로, 간학문적인 학문과 연구 협동을 촉진하고, 학생들의 이동을 지원하며, 학생, 교수, 그리고 스태프들의 교과외적인 참여를 장려한다. HILS의 개별 프로그램들은 자체의 입학허가, 교육과정, 그리고 지도교수를 갖고 있다. 학생들은 단지 하나의 프로그램에만 참여하도록 허락된다. 등록한 이후에 학생들은 일반적으로 그들이 입학할 허가 받은 프로그램에 지속적으로 소속된다(“home program”). 홈 프로그램은 학생들의 교육과정 요구사항, 초기 논문자격시험(qualifying examination), 교수 요구조건, 그리고 이 기간 동안에 감독과 조언을 관리하며 또한 최종 학위명을 결정한다.

학생들이 로테이션(rotation)하도록 요구되는 프로그램들 안에서, 학생들의 첫 로테이션은 자신들의 홈 프로그램 내에서 이루어지며, HILS내 다른 프로그램에서의 로테이션은 학생의 홈 프로그램과의 상담 결과에 따라서 이루어진다.

### 라. HILS 프로그램의 주요 분야

HILS 프로그램은 기초 생명과학에서의 연구 기회를 제공한다. HILS가 제공하는 Ph.D 프로그램은 다음과 같다.

<표 VI-2> HILS 프로그램

과정	주요 분야
Biological and Biomedical Sciences	Biological and Biomedical Sciences(BBS)의 박사과정은 the fundamentals of cell and molecular biology, microbiology, genetics, developmental biology, translational medicine, computational biology, and the biochemistry of prokaryotic and eukaryotic organisms에 대한 심화과정을 제공한다.
Biological Science in Dental Medicine	The Biological Sciences in Dental Medicine(BSDM) Program은 Harvard School of Dental Medicine에 위치하고 있으며, Arts and Sciences of Harvard University의 교수들에 의해서 학위를 제공한다.

<표 계속>

과정	주요 분야
Biological Sciences in Public Health	<p>세포 생물학과 분자 생물학을 강조하는 가운데, 다음 영역에 있어서의 연구과학자들을 훈련시킨다: nutritional biochemistry; cardiovascular biology; gene regulation; cell-environment interactions; radiobiology; genetic toxicology; carcinogenesis; pulmonary inflammation; immunology; infectious diseases: protozoa, helminths, viruses and bacteria; genetic approaches to disease mechanisms.</p>
Biophysics	<p>물리학의 개념을 생물학적 문제에 적용하는 독립적인 다양한 연구 경력을 추구하는 연구자들을 위한 준비를 제공한다. 프로그램의 간학문적인 특성으로 인해서, 연구자들은 the Departments of Molecular and Cellular Biology, Chemistry and Chemical Biology, and Physics, and in the Division of Engineering and Applied Sciences, or the Boston campus, including the Harvard Medical School, Division of Medical Sciences, and the 11 Harvard-affiliated teaching hospitals, including the Dana-Farber Cancer Institute, Children's Hospital을 포함한 캠퍼스에서 생활하게 된다.</p>
Chemical Biology	<p>Chemical Biology 프로그램의 목표는 생물학적 발견에 있으며, 접근법은 화학과 생물학으로부터의 원리와 실험 기술들을 매끄럽게 연결하는 것이다. 이 프로그램의 중점은 생물학에 있으며, 화학적 도구를 사용한다. 또한 의학이나 약학과도 깊이 연관된다.</p>
Chemistry & Chemical Biology	<p>Chemistry &amp; Chemical Biology(CCB)는 화학에서의 Ph.D 학위를 제공한다. 이 프로그램에서는 화학에서의 간학문적인 프로그램을 추구하는 것이 가능하며, 대부분의 CCB의 교수들은 하버드의 다양한 학과 간 프로그램과 연구센터에 참여하고 있으며, 또한 MIT나 보스턴의 다른 연구기관들과 협력할 기회를 갖는다.</p>

<표 계속>



과정	주요 분야
Immunology	Immunology 프로그램은 molecular genetics, cell activation, immunochemistry, cellular immunology, tumor immunology, allergic inflammation, immunogenetics, immunoparasitology, and immune deficiency을 포함한 광범위한 영역에서의 교육과 연구를 제공한다.
Molecular and Cellular Biology	Department of Molecular and Cellular Biology(MCB)는 두 개의 간학문적인 교육과정이다: Molecules, Cells and Organisms(MCO) and Engineering and Physical Biology(EPB).
Neuroscience	Neuroscience의 프로그램은 신경 기초와 발달의 토대 위에서의 세포와 분자 과정에서부터, 중추 신경 체계와 인간 신경 질환의 메커니즘과 처방에 이르는 다양한 범주의 신경과학에서의 광범위한 훈련을 제공한다.
Organismic and Evolutionary Biology	Department of Organismic and Evolutionary Biology(OEB)의 구성원들은 생물학적 시스템의 구조, 기능, 변형의 이해에 대한 흥미를 공유하고 있다. OEB의 교수들의 연구 주제는 the flow of energy and material through ecosystems, the development and structure of communities and populations, the diversity of plant, animal, and microbial groups, and 진화의 다양성을 가능하게 하는 the mechanisms 등을 포함한다.
Systems Biology	Systems Biology의 목표는 이론적, 경험적 접근법들이 생물학적 문제를 해결하기 위해서 사용되는 독립적인 연구에 필요한 다양한 배경을 가진 연구자들을 준비시키는 데 있다. 이 프로그램은 the Committee on Higher Degrees in Systems Biology, which comprises senior representatives from the Departments of Systems Biology(DSB), Biological Chemistry and Molecular Pharmacology(BCMP), Molecular and Cellular Biology(MCB), Chemistry and Chemical Biology(CCB), and the Division of Engineering and Applied Sciences(DEAS)에 의해서 감독된다.
Virology	Virology 프로그램은 molecular cell biology, molecular genetics, structural biology, virology, and immunology에서의 연구를 포함한다. 프로그램의 핵심은 mentored laboratory research이다. 하버드에서의 50개의 독립적인 virology 실험실이 다양한 범위의 연구를 제공한다.

### 3. 프랑스 소르본의 루이 파스퇴르 대학교(University Louis Pasteur, ULP)

#### 가. ULP의 설립 목적

ULP는 생물학과 화학을 물리학, 의학, 컴퓨터 과학 등에 접목 시키는 활동을 통해서 새로운 과학 분야를 탐구하며, 이를 위해서 프로젝트 리더, 연구자 그리고 학생들을 지원하고자 한다.

#### 나. ULP의 특징

프랑스 소르본의 ULP는 역사적으로 연구 중심 대학으로, 19세기에서부터 연구의 우수성과 국제적인 개방성을 강조해 왔다. ULP는 학생 규모(2,000년 기준 16,500명)에서는 중간 크기의 대학이지만, 의학과 환경 분석 연구에 있어서 대규모 센터의 역할을 함으로 인해서, 프랑스에서 가장 많은 예산을 받고 있는 대학이다. 또한 ULP는 국제적인 개방성이 높은 학교로서, 학생의 27%가 대학원생이며, 이들 중 30%가 외국인이다. 또한 ULP의 연구 예산은 연간 3천 500백만 프랑이며, 이 중 50%는 공적/사적 계약에 의해서 외부로부터 충당된다. 이러한 연구에 대한 강조와 개방성은 ULP를 프랑스 대학 시스템에서 가장 활동적인 연구소 중 하나로 만들었다.

#### 다. ULP의 구성

ULP의 학부 교육은 전통적으로 수업은 교수단에서 조직된다. 교수단은 근본적으로 학과중심이며, 특별한 직업 훈련이나 밀접한 학문들 사이에서의 경우를 제외하고, 서로 다른 학문이 한 교육과정에 속하는 것은 매우 제한적으로 이루어진다. 그러나 ULP의 대학원 과정, 특히 박사과정은 학부와 상당 부분 다르게 조직된다. 조직은 여러 교수단에 걸쳐 구성되며, 박사과정학교(doctoral school)에서 구성된다.

ULP는 총 84개의 연구 단위(또는 실험실)로 구성되어 있으며, 이러한 연구

단위들은 특정한 교수단에 직접적으로 속해있지 않다. 1990년에 ULP는 연구 센터(research centre) 또는 연구 연맹(research federation)을 만들기로 결정하여, 2,000년 현재 ULP에는 17개의 연구 연맹이 있다. 연구 연맹은 공통의 연구활동들(세미나, 학술대회, 기술 이전)을 조직하고, 공통의 서비스(도서관, 장비)를 관리하며, 특정한 연맹에서의 주 영역 안에서 프로젝트를 개발한다. ULP에서 대부분의 연구 연맹은 간학문적인 연구 프로그램의 개발에 적합한 조직 구조이다.

라. ULP의 연구 분야: The Molecules and Innovative Therapeutics Federation을 중심으로

MIT 연맹은 ULP, CNRS, INSERM, ULP, CNRS로부터의 여섯 개의 연구 단위로 구성되어 있다. 이러한 연구 단위들은 화학, 단백질 공학, 선별 그리고 상호작용 생물학 및 세포 형태학의 네 학문을 중심으로 구성되어 있다. 이 연구 연맹은 HMR, Eli Lilly 그리고 Synthelabo 등과 같은 회사와 함께 대부분 장기기간이며, 박사과정을 후원하는 강력한 협력을 개발해 왔다. 이 연맹의 주된 목적은 컴퓨터 공학자, 생물학자, 약학자 및 화학자를 포함하는 간학문적인 연구 공동체를 설립하는 것이며, 국가 공공시설이나 대학 연구 실험실에서 또는 새로운 시설을 만들어, 신약에서의 기초 및 토대 연구로부터의 응용 연구를 개발해 왔다.

4. 위스콘신-라 크로스 대학교(University of Wisconsin-La Crosse, UW-L)의 Bioinformatics across the life Science Curriculum(BLSC) 프로그램<sup>40)</sup>

가. 프로그램의 목적

위스콘신-라 크로스 대학교(University of Wisconsin-La Crosse, UW-L)

40) Biochemistry AND Molecular Biology Education, 35(1)

의 Bioinformatics across the life Science Curriculum(BLSC) 프로그램은 생물학, 생리학, 생태학, 진화론, 유기체학 등의 많은 학문분야의 연구지형을 변화시키며 급속도로 발전하고 있는 생물정보학을 대학의 학부교육과정에 포함시키기 위해서 개발되었다. 구체적으로 UW-L은 BLSC의 프로그램의 개발에 네 가지 목적을 달성하고자 한다. 첫째, 학생들이 생물정보학을 학습할 수 있도록 생물정보학을 학생들에게 노출시키는 기회를 제공하는 것이다. 둘째, 학생들에게 생물학 개념에 대한 학습을 촉진시키는 것이다. 셋째, 교수개발을 지원하는 것이다. 마지막은 다양한 학과의 교수들 사이에서 협력을 촉진하는 것이다.

#### 나. 프로그램의 특징

일반적으로 전문 프로그램이 일정한 교육과정을 이수하며, 졸업시험이나 자격증 등을 취득하도록 하는 데 반해, BLSC 프로그램의 특징은 생물학, 화학, 그리고 미생물학의 세 개 학과의 교육과정에 생물정보학의 내용을 포함시키는 형식으로 이루어진다는 것이다. 이를 위해 교수들은 학생들이 반드시 이해해야만 하는 생물정보학의 핵심 개념과 기술을 정하였으며, 이는 다음의 <표 VI-3>과 같다. 따라서 학생들은 명확히 이수해야 하는 교육과정이나 취득해야 할 자격증을 갖고 있는 것이 아니라, 각자가 선택한 학습과정 속에서 서로 다른 수준의 생물정보학을 접하게 된다.

<표 VI-3> BLSC 프로그램의 주요 개념 및 하위 요소

Concepts	Subconcepts
Central Dogma	DNA replication: antiparallelism, semi conservation, Coding and noncoding strands Transcription: structural RNA(tRNA and rRNA) Processing: intron/exon splicing, polyA Translation ORG/reading frame

<표 계속>

Concepts	Subconcepts
Definition of a gene/operation	Gene organization: promoter, intron/exon, polyA, CpG islands Operon organization: promoter, operator, terminator DNA binding proteins Restriction mapping
Regulation of gene expression	Transcription-promoters, enhancers, operator, repressor Translation Promoters-consensus: strong/weak DNA binding proteins
Mutations	Types/Effects and DNA/Proteins
Evolutionary conservation	Gene/protein families Domains/exons/motifs Gene duplication/exon shuffling Selection(coding, noncoding, active sites) New motifs/proteins
Gene Organization	Viruses, prokaryotes, eukaryotes: composition, size, structure, RNA/DNA, % of GC HOX: gene duplication Centromeres/telomeres/Autonomous Replicating Sequence Repetitive(Alu)
Phylogeny/ Taxonomy	Three domains Accumulation of mutations over time Generation of tree & evaluate the tree Applications to other courses Rates of mutations in different areas of DNA
Model Organisms/Comparative Genomics	Use to identify disease genes Use to identify biochemical pathways Use to model human disease Identify new important genes Minimal model of life Gene organization
Protein Structure/ Function	Active site/binding site Structures(primary to quaternary): globular and fibrous Oligomers Surfaces Motifs/domains
Properties of Macromolecules	Proteins: amino acid properties, pI, molecular weight, Km, slab view, S-S bonds, H bonds DNA

Concepts	Subconcepts
Properties of Macromolecules	H Bonding, binding proteins Relative size of macromolecules Ribosome DNA packaging: chromatin Lipid structure
Development	HOX genes Evolution Gene regulation Positional/Timing/Regulation Virus life cycle/sporulation
Genomics/ Proteomics	Applications of bioinformatics: drug design, vaccines, arrays, yeast two-hybrid, phage display, two-dimensional gels

#### 다. 프로그램의 성과

BLSC를 평가한 결과 학생들의 생물정보공학을 이해하고 이것을 적용하는 것에 대한 자신감은 생물정보학 내용이 포함된 수업을 이수한 수가 증가함에 따라서 함께 증가한다는 것을 보여 주었다. 또한 학생의 자기 보고 데이터는 다수의 생물정보학 강좌에 노출된 학생의 생물정보학에 대한 이해가 증가하는 것을 보여 주었다. 전체적으로 분자생물학 보다는 생물정보학의 주요개념에 대한 이해에 더 큰 증가(약 2.07배)가 있었다. 또한 가장 경험이 많은 학생들조차 단지 63%만이 생물정보학 관련 질문에 정확히 응답하였다는 것을 고려할 때, 추가적인 향상의 여지가 있다는 것을 예상할 수 있다.

교수들의 경우에도 생물정보학 프로그램이 동료 교수들의 기술과 전문지식에 더 친숙하도록 하였다는 데 강하게 동의하고 있다. 더 나아가, 교수들은 생물정보학 프로그램이 교수의 상호작용과 학과들 사이의 협력관계를 증가시켰다는 것에 강하게 동의하였다.

## 5. 미시건 주립대학교(Michigan State University)의 Options 프로그램<sup>41)</sup>

### 가. 프로그램의 목적

미시건 주립대학교는 생물정보학을 교육과정에 도입하는 방식으로써, 실험적인 시도를 장려하고, 교육과정의 유연성과 수용성을 강화하며, 전공 교육과정 변화에 있어서의 장벽을 낮추기 위해 Options 프로그램을 개발하였다.

### 나. 프로그램의 특징

Options는 이미 대학 내에서 이용 가능한 강좌나 학습 기회들로 구성된다. 때때로 Options 영역에서의 보충적 강좌가 기존 학문적 요소를 완전히 통합하기 위해서 추가된다. 그러나 Options는 전통적인 전공이나 부전공보다 더 빨리 설계되고 구성될 수 있다는 점에서 협동과정이나 부전공과 다르다. 고정된 교육과정이나 학점 이수 시간 요구가 없으며, 주(state) 수준에서의 검토 없이, 관련 단대나 학과의 검토만으로 실행될 수 있으며, 본질적으로, Options는 개별적인 대상영역의 속성이나 Options이 설계되는 특정한 목적에 맞추어 조정될 수 있다. 또한 Options의 또 다른 장점은 기초 학문 프로그램을 보충하기 위해서 사용될 수 있으며, 따라서 Options는 지식의 첨예한 분절화를 극복할 수단을 제공한다.

---

41) Innovative Higher Education, 30(2)

다. 교육프로그램: Options 예시

<표 VI-4> Sample "Options": Michigan State University College of Engineering

---

Chemical engineering: Environmental option(18 credits)

Required courses

Introduction to Environmental Engineering

Biochemical Engineering

Fundamentals of Microbiology

Complete three of the following courses:

Environmental Engineering Chemistry

Water and Wastewater Treatment

Solid and Hazardous Waste Management

Microbiology for Environmental Health Engineering

Materials science and engineering: Biomaterials engineering options(27 Credits)

Required courses

Human Gross Anatomy & Structural Biology

Quantitative Human Biology

Organic Chemistry I

Tissue Mechanics

Biomaterials & Biocompatibility

Complete one of the following courses

Ceramics and Refractory Materials

Fracture and Failure Analysis

Physical Metallurgy of Ferrous & Aluminum Alloys

Technical electives

Nine credits from an approved list of technical electives

---

6. 노스캐롤라이나-샤롯데 대학교(University of North Carolina-Charlotte)  
의 Biotechnology와 Bioengineering 융합프로그램<sup>42)</sup>

가. 프로그램의 목적

노스캐롤라이나-샤롯데 대학교(NC Charlotte)는 Biotechnology와 Bioengineering  
의 간학문적 특성을 접하고자 하는 학생들이 욕구를 충족시키기 위해서, 비전

---

42) Int. J. Engng Ed. 15(4)



통적인 형식의 Biotechnology와 Bioengineering 융합프로그램을 개발하였다. 프로그램의 주요한 목표는 학생들에게 생물학과 공학에 있어서의 기초적인 원리들을 제공하고, Biotechnology와 Bioengineering 적용에서의 실용적인 지식을 전달하고, 공학자, 생물학자, 물리학자 그리고 화학자들이 서로를 학습할 수 있는 풍토를 확립하는 것이다.

#### 나. 프로그램의 구성

Biotechnology와 Bioengineering 융합프로그램에 교육과정은 공학과 생물학을 통합하도록, 생물학과 공학과 교수들에 의해서 공동·개발되었으며, 양측 학과의 교수들은 모든 강의에 참석한다(team-teaching). 이것은 강의의 연속성을 보장하며, 학생들이 각각의 교수들에게 그들의 전문지식에 맞추어 질문할 수 있도록 하고, 교육 자료가 다양한 수강생들에게 분명하고 효율적으로 제시되는 것을 보장한다.

#### 다. Biotechnology와 Bioengineering 융합프로그램의 교육과정

Biotechnology와 Bioengineering 융합프로그램에 대한 공식적인 선수과목은 공학, 생물학 그리고 물리학의 수강자에게 공통적인 물리학, 무기화학의 개론과목이다. 이 교육과정의 프레임워크는 학생들이 이미 그들 각자의 학부 과정에서 충분히 숙달되어 있다는 것을 전제로 설계되어 있기 때문에, 대학원생이나 최소한 학부생 이상을 대상으로 하고 있다. 교육과정은 16주 교육과정으로 이루어져 있으며, 학기 동안 지속적으로 평가되는 몇 가지 학습 주제들을 성취하기 위해서 설계되었다.

16주의 교육과정은 80분 동안 지속되는 두 개의 강의 모임으로 이루어진다. 기초 과학과 공학의 주제에 대한 강좌를 이수하기 위해서, 적용 강의들이 학기 내내 제공된다. 또한 대학, Carolinas Medical Center 그리고 Whitaker Foundation으로부터의 연구전문가가 초청 강좌를 통해 일반강좌를 보충함

로써, 학생들이 실제 연구 개발을 접하도록 한다. 그리고 교수들에 의해서 운영되고 있는 교육과정 웹 사이트가 학생들의 교육 자료로서 활용된다. 교육과정에는 필수적인 교과서가 없지만, 대신에 Hoaglan and Dodson의 The Way Life Works와 Carr and Brown의 Biomedical Equipment and Technology가 권장된다.

## 7. 올린 공대(Olin college)의 프로젝트 중심적 접근

### 가. 설립 목적

올린 공대(Olin College)는 F.W Olin Foundation에 의해서 설립되고, 자금이 지원되는 사립교육기관이다. 의학공학, 전자 및 컴퓨터 공학, 공학 분야에서의 B.S 학위를 제공하도록 1997년 Massachusetts Board of Higher Education에 설립 법안이 제출됨으로써 설립되었다.

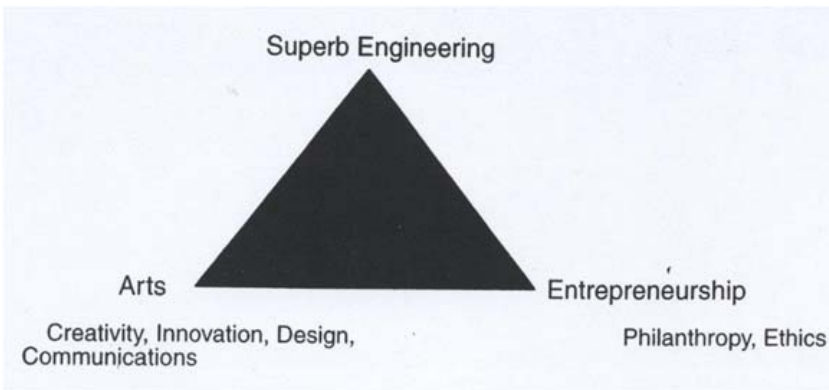
### 나. 올린 공대의 특징

공학교육에 초점을 둔 기숙형 학부 교육을 위해 설립되었기 때문에, 올린 공대는 공학교육을 탐구, 실험, 실행함과 동시에 공학교육에 있어서 시스템적인 문제를 해결하는 것을 임무로 하였다. 총 300~320여 명의 모든 학생들은 단지 초기의 몇 년이 아닌, 4년 동안의 성과에 기반을 두어 전액 장학금 지원을 받는다. 따라서 대학의 입학에 대한 경쟁은 매우 높으며, 학생-교수 비율은 10:1을 유지하고 있다.

올린 공대는 전통적인 학과 방식으로 조직되어 있지 않다. 대신 교수들은 하나의 간학문적인 집단을 구성하며, 교수단은 학과에 상관없이 할당되기 때문에, 모든 방식에서 간학문적인 사고방식을 촉진하는 교수들의 집합이다. 교수들의 계약관계는 전통적인 종신재직권 시스템이 아니라, 갱신이 가능한 계약에 따른다.

올린 공대의 최우선 목적은 혁신적이고 지속적으로 향상되는 문화를 개발하는 것으로 이를 위해 2,000년 가을, Invention 2,000이라는 2년의 전략을 수립하였다. Miller 학장에 의해서 제안된 Invention 2,000은(1) 공학 사회에서의 다음 세대 지도자를 준비시키기 위한 혁신적인 교육과정,(2) 지속적인 향상과 혁신을 위한 기관 차원의 정책을 포함하고 있다. 이러한 “전인 교육”과 “학생의 가능성에 대한 개방성”을 포함하는 올린 공대의 교육 목표는 “Olin Triangle”로 제시되었다([그림 VI-1]). 이 트라이앵글은 올린 교육의(1) 뛰어난 공학교육(superb engineering),(2) 예술, 설계, 창조성과 혁신에 대한 강조,(2) 경영, 사업, 윤리 그리고 박애 정신에 대한 기본 토대 개발의 세 가지 주요한 측면을 나타낸다.

[그림 VI-1] 올린 트라이앵글



올린 공대의 보다 구체적인 교육목표는 다음과 같다.

- hands-on design projects in every year
- authentic, ambitious capstone senior/advanced-student projects
- experience working independently, as a member of a team, and as a leader of a team
- performance before an audience that includes experts

- international/intercultural immersion experience
- substantial constructive contribution to society
- ability to communicate logically and persuasively in spoken, written, numerical, and visual forms
- development of self-sufficient individuals able to articulate and activate a vision and bring it to fruition
- demonstrate significant creative artistic expression
- acquire significant work experience in a corporate or business culture
- show ability to apply basic business practices necessary to bring a product to the marketplace

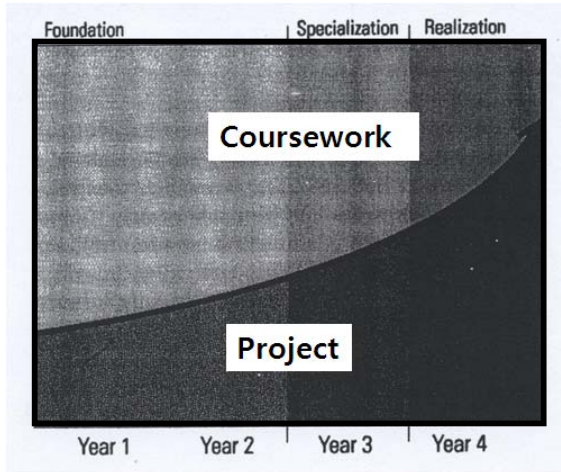
#### 다. 교육과정 구성

올린 공대의 설립 원칙은 미래의 공학을 예상하고, 창조하고, 관리하는 리더를 준비시키는 것으로 그러한 리더의 특성을 다음과 같이 제시하였다.

- a superb command of engineering fundamentals
- a broad perspective on the role of engineering in society
- the creativity to envision new solution to problems
- the entrepreneurial skills to bring these visions to reality

올린 교육과정은 학생들에게 이러한 능력을 개발시킬 수 있도록 지원하기 위해서 개발되었으며, 이를 위한 교육과정은 foundation - specialization - realization의 세 단계로 이루어진다([그림 VI~2]).

[그림 VI-2] 올린 교육과정의 구성: 학년이 높아질수록 프로젝트 수행 비율이 높아짐



(1) foundation 단계는 공학의 근본원리들을 숙달하고 이것을 실제 공학 프로젝트에 적용시키는 것을 강조하고, (2) specialization 단계는 학생들의 선택 분야에서 심도 있는 지식을 개발하고 적용하는 단계이며, (3) realization 단계는 학생들이 자신이 배워 온 것의 문제를 해결하기 위해서 사용하는 단계이다. 이 모든 단계에서 학생은 이론을 실천으로 옮기고, 공학을 큰 맥락 내에서 이해하며, 팀워크와 관리 기술을 발달시키는 간학문적인 공학 프로젝트에 참여하게 된다. 학년이 올라가면서 프로젝트는 더 오픈형으로 되며, 현실성 (authenticity)이 증가하게 된다. 학생들은 교육과정은 선택하는 데 있어서 상당한 자율성을 갖지만, 모든 학생들은 반드시 시험에서 요구되는 자료들을 숙달했다는 것을 증명해야 한다.

### 1) 기초 교양

교육과정의 처음 2년의 기간은 foundation에 해당한다. foundation의 중심

은 간학문적 교수 팀에 의해서 가르쳐지는 코호트에 있다. 코호트는 두 가지 학문을 더 큰 간학문적인 프로젝트로 통합하며, 따라서 토대가 되는 학문들에 대한 이해와 이러한 지식의 실제 공학적 문제에 대한 적용 사이의 밀접한 조화가 요구된다. 코호트는 또한 학생이 기회 측정과 팀워크와 같은 entrepreneurial skill을 개발하는 데 있어서 이상적인 환경을 제공한다. 매 학기에 학생들은 세계의 선호 코호트를 선택할 수 있다. Foundation의 또 다른 주된 특징은 2학년의 두 번째 학기에 있는 Sophomore Design Project이다. Sophomore Design Project는 학생들이 자기 자신의 아이디어를 개발하고, 프로젝트 실행 계획을 수립하고, 프로젝트가 결실을 맺도록 관리할 수 있는 중요한 기회를 제공한다.

공학학습에 대한 맥락을 제공하기 위해서, 학생들은 또한 예술, 인문학, 사회과학에서의 강좌를 수강해야 한다. 또한 각 foundation 학기에 학생들은 프로젝트, 실습(practica), 그리고 그들이 경영과 기업 활동에서의 탄탄한 기반을 갖도록 하는 기초 경영학 필수 강좌를 수강한다. 이를 통해 모든 학생들은 경영과 인문학에 있어서 일정정도의 배경 지식을 갖고 졸업하게 된다.

학생들의 이론과 실천의 구사력은 각 해 말의 Gate 기간 동안에 평가된다. Gate는 1주일 정도의 대학의 전체적인 평가 기간이며, 필기 평가, 구술 평가, 팀 실행, 그리고 기타 다른 형태의 평가를 포함한다. Gate는 개별 교수자가 설정한 목표보다는 기관에서 정한 학습 목표를 측정하기 위해서 설계된 것으로, 목표 달성을 위한 수단은 정의하지 않고, 요구되는 목표를 정의함으로써, Gate는 교수단이 강좌를 설계하는 데 있어서 매우 큰 유동성을 갖도록 해준다.

올린 공대는 학생들의 창조성과 독창성을 강조하기 위해 학생들의 열정 추구(passionate pursuit)를 적극 장려하고 있다. 올린 공대는 개인적, 직업적 교육과 개발에 있어서 중요한 학생의 열정(passion)을 인정하기 위해서 이러한 프로그램을 실시하고 있으며 이 프로그램을 통해서 사업을 시작한 학생들도 나오고 있다. 올린 대학은 자원과 공식적인 비학위 학점을 제공함으로써, 학생들이 그들의 열정(passion)을 독립적으로 추구할 수 있는 기회를 제공하며, 학생들은 또한 올린 교육과정의 일부분으로 독립적인 학습이나 연구를 할 수 있으며, 이러한 활동들을 위한 공간이 제공된다.

## 2) 전공 교과

교육과정의 3~4학년 기간은 Specialization and Realization에 해당한다. Specialization 코호트는 서로 다른 응용 분야에서 로테이션하며, 각 코호트는 한 강좌를 프로젝트에 연결하고, 추가적인 선택 강좌는 프로젝트에 “flavor”를 추가하게 된다. 프로젝트는 학생과 예비 교수에게 있어서 강제적인 것이며, 협력적 참여를 위한 기회를 제공한다. 3학년은 국제 연구와 회사 경험에, 4학년은 학생들의 시간에서 반 이상을 차지하는 Capstone Project에 초점이 맞추어져 있다. 또한 마지막 해에 학생들은 Culminating Project in Humanities를 완성해야 하며, 많은 경우에 있어서 이러한 프로젝트들은 캡스톤(capstone) 프로젝트와 연결된다.

## 제3절 미국 바이오 융합기술 전문 인력 양성 프로그램의 시사점

본 장에서는 바이오 융합산업과 기술이 가장 발달된 미국의 바이오 융합관련 학과와 프로그램 사례를 살펴보았다. 주요 대학의 바이오 융합관련 학과와 학제적 교육과 연구를 위해 교육과정 개혁을 시도하고 있는 여러 프로그램들을 나누어 제시하였다.

미국 대학의 융합학과의 사례를 통해 미국도 정부의 R&D 재정지원 사업과 밀접하게 연관되어 융합학과 혹은 프로그램이 실행되고 있음을 확인할 수 있었다. 미국의 과학기술경쟁력 제고를 위한 과학기술재단(NSF)의 NBIC 혹은 NNI(National Nanotechnology Initiative) 정책을 기반으로 융합기술 R&D 재정지원이 증가하였고, 이를 담당하기 위한 인력양성, 특히 대학원 단계의 전문 인력 양성이 중요하게 생각되고 있다.

대규모 R&D 지원을 받는 저명한 교수들의 실험실에 다양한 분야의 백그라운드를 가진 대학원생 및 포스트 닥들이 모이면서 새로운 융합기술의 발전이

심화되어 질 수 있었다. 이러한 대학원 과정의 융합기술 교육은 모든 학생들이 공통적인 교육과정을 따르기 보다는 해당 실험실에서 수행중인 프로젝트의 성격과 요구에 따라 고도로 커스터마이즈(highly customized) 되어진 형태로 이루어지는 경우가 많았다.

융합기술이 미국에서도 상대적으로 아직 초기 단계임을 고려할 때, 융합기술 관련 프로젝트에 참여하는 대학원생들은 학부과정에서 기존의 전통적인 학과를 졸업하고, 융합기술 프로젝트를 수행하는 실험실에 참여하면서, 자신의 학부 전공을 심화시키는 동시에 새롭게 요구되는 분야의 학습을 수행하게 된다. 이때 새로운 분야 학습 기회를 어떻게 제공할 것인가가 융합기술 교육의 주요 이슈가 되고 있다.

본 장에서 살펴본 미국의 주요 대학들은 대학원 단계에서 필수공통과목의 수를 최소로 하면서 단과대학의 경계를 넘어, 필요하다면 심지어 다른 대학이나 연구소에서의 교육 기회를 최대한 보장하고 있다. 학생들의 백그라운드에 따라 지도교수는 각각의 학생들이 필요로 하는 교과목을 추천하고, 개별적 맞춤형 교육과정을 이수할 수 있도록 지원한다. 이러한 학과 선택의 유연성과 함께 지도교수의 개별적 지도가 성공적인 학습경험을 제공할 수 있는 것이다. 이러한 학과 선택의 유연성은 미시건 주립대학교(Michigan State University)의 Options프로그램 등에서 잘 나타난다. 또한 올린 공대의 프로젝트 중심 교과과정도 학문 중심의 교육과정에서 벗어나 현장 문제해결 중심의 교과목 선택을 지원하는 전략이다.

이와 함께 다양한 백그라운드를 가진 학생들이 함께 공동의 융합기술 프로젝트에 참여함으로써 공식적인 교육기회와 함께 학생 상호간 정보 및 학습 교류를 통한 비공식적 교육기회의 중요한 역할을 하고 있다. 공동의 문제를 해결하기 위해 한 사람의 전공 지식만으로 해결할 수 없는 경우, 서로가 서로의 전문성을 최대한 활용하여, 자신의 지식으로 내재화시키는 과정이 프로젝트 수행 중에 끊임없이 일어나고 있는 것이다. 이러한 이유로 동일한 공간, 즉 동일한 실험실에서 공동의 문제해결 상황에 참여하는 것이 주요한 암묵적인(implicit) 교육과정으로 작용하는 것이다.



예를 들어 매사추세츠 공대(MIT)와 하버드의 HST(Health Science Technology) 프로그램의 경우 지역적으로 근접해 있는 MIT와 하버드 대학의 관련 학과와 근처 병원까지 파트너십을 구축하여 세계 최고의 전문가들의 지식과 정보의 교류가 지속적으로 이루어질 수 있는 공간과 기회를 제공하고 있다. 물리학과 생물학의 융합을 통해 우주생물학 분야를 개척한 Tufts 대학의 Eric Chaisson 박사도 연구 공간을 공유함으로써 장비나 기기 구입 비용을 줄일 수 있는 실용적인 이점 뿐만 아니라 전문가들이 자연스럽게 만나는 횟수가 많아짐으로써 지식과 정보의 교류가 활성화되기 때문에 전문가 간의 물리적 근접성(physical proximity)이 융합기술 발전에 주요한 요인이라고 강조하였다.

그러나 융합기술 교육에 있어 무엇보다 중요한 요인으로 전문가들이 공통적으로 지적하는 사항은 학생 개인의 자기주도적 학습능력과 열정(passion)이다. 융합기술은 내재적인 속성상 정형화되어 있지 않다는 특징을 지니고 있다. 따라서 하나의 정형화된 틀을 갖춘 교육과정이라는 것이 존재하지 않거나, 존재 하더라도 최소한의 공통과목 등으로 제안되고 있다. 학생 개개인이 수행 중인 프로젝트 혹은 연구주제의 필요에 따라 자신이 이미 알고 있는 분야 외 새로운 학문 분야를 학습하는 것을 필요로 하게 되는 것이다. 이러한 학습 필요를 인식하고, 학습을 계획·수행하는 것에 개인의 자기주도적 학습능력이 절실히 요구된다.

현재 융합기술 분야의 전문가들은 융합기술 전공학과에서 교육을 받은 것이 아니라 자신의 커리어를 쌓아가는 과정에서 자신의 필요에 따라 새로운 연구 방법, 기술, 관점 등을 독학으로 배워온 경우가 대부분이다. 전통적인 학문의 틀 내에서 통용되는 방법과 관점을 벗어나 다른 학문 분야의 연구방법과 지식의 속성, 관점 등을 재발견하고 새롭게 적용하여 새로운 가치를 생성해 내는 융합기술 분야의 전문가에게는 새로운 사물과 사실에 끊임없는 관심과 호기심을 갖고 새로운 것을 배우고 알고자 하는 열정(passion)이 가장 중요한 역량으로 요구되는 것이다.



## 제 7 장

# 바이오 융합기술 전문인력 양성 방안에 대한 전문가 조사

## 제1절 조사방법과 설문구성

### 1. 조사개요

본 조사는 BIT 융합기술과 관련된 4년제 대학, 정부출연연구소, 대학연구소, 민간기업체연구소, 대기업(300인 이상), 중소기업, 벤처기업, 자영업에 속한 전문가들에 대한 이메일 웹 설문조사의 형태로 수행되었다. 조사대상 기관이나 조직의 선정에는 생물학연구정보센터에서 발간하는 「2006 한국의 생물정보학 백서」, 한국바이오벤처협의회에서 발행하는 「바이오벤처 총람 2007」에 제시된 조직 및 기관을 우선적으로 포함하였으며, 한국생물정보학회, 한국바이오칩학회의 개인회원 및 기관회원도 포함하였다. 대학의 경우 전국 대학의 홈페이지에서 학과의 명칭, 설립 목적, 교육과정을 검토 후 적합하다고 판단되는 경우에 포함하였다.

위의 절차를 통해 선정된 기관에서 BIT 융합기술 전문가라고 판단되는 사람들의 인력의 리스트를 작성하고, 이 중 532명을 대상으로 1차적으로 개별적 전화연락을 통하여, 설문 참여 여부에 대한 의사를 확인 후 e-mail을 통해서 웹 설문을 실시하였으며, 이 중 실제 응답한 사람은 153명으로 전체 응답률은

28.8%였다.<sup>43)</sup>

최종적으로 응답자의 분포는 <표 VII-1>과 같다. 구체적으로 살펴보면, 설문  
에 대한 전체 응답자 수는 153명이며, 이 중 4년제 대학 소속이 73명(47.7%)으  
로 가장 많았고, 그 다음으로는 정부출연연구소 소속이 64명(41.8%)으로 높은  
비율을 보였다. 나머지 대학연구소, 민간기업체연구소, 대기업, 중소기업, 벤처  
기업, 자영업의 경우 소수의 응답자만이 응답하여, 이들 모두를 합하여 10.4%  
의 비율을 보이고 있다. 이렇게 분포가 대학과 정부출연연구소에 집중된 것은  
BIT 융합기술이 최선의 학문 분야로서, 대학과 정부 연구소에서 활발히 연구  
되고 있는 측면과, 민간 부분의 정보에 대한 접근이 상대적으로 제한적이라는  
사실에 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 융합기술 전문 인력 양성을 위  
한 교육에 초점을 두고 있는 대학과 양성된 인력에 대한 수요자의 성격을 갖는  
연구기관이 갖는 차이를 분석에 반영하기 위해 전체 집단을 대학과 기업체 및  
연구소의 2개 대분류로 구분하여 분석을 실시하였다.

민간 기업(대기업, 중소기업, 벤처기업 모두) 응답율이 부진한 본 조사의 한  
계는 향후 연구에서 다루어져야 할 주요한 이슈라 할 수 있다. 바이오 융합관  
련 산업의 부진이 융합기술 전문 인력이 느끼는 해당 분야의 전망과 직접적인  
상관관계가 있는 만큼 인력양성을 책임지는 대학을 중심으로 이루어진 본 연  
구의 후속 연구로 관련 산업체를 보다 심층적으로 살펴보는 연구가 요구된다.

응답자의 직책별 분포를 보면, 대학의 경우 정교수가 36명(49.3%)으로 가장  
많았으며, 그 다음으로는 부교수 18명(24.7%), 조교수 17명(23.3%)의 순이었  
다. 기업체 및 연구소의 경우에는 연구원이 38명(47.5%)으로 가장 많았으며,  
그 다음으로는 선임연구원 19명(23.8%), 책임연구원 10명(12.5%), 이사 3명  
(3.8%)(2.5%), 팀장 2명(2.5%), 과장 2명(2.5%) 등이 설문에 응답하였다.

43) 최초 구성한 전문 인력의 리스트에서 분류한 전문가들의 소속과 실제 설문지에서의 소속과는  
차이가 있기 때문에 개별적인 응답률은 제시하지 않았으며, 설문의 분석은 응답자가 실제 응  
답한 소속을 중심으로 실시하였다.

&lt;표 VII-1&gt; 설문유형별 비율

		Frequency	Percent
소속	4년제 대학	73	47.7
	정부출연연구소	64	41.8
	대학연구소	4	2.6
	민간기업체연구소	2	1.3
	대기업(300인 이상)	2	1.3
	중소기업	1	0.7
	벤처기업	6	3.9
	자영업	1	0.7
성별	남성	134	87.6
	여성	19	12.4
Total		153	100.0

성별 구성은 남성이 134명으로 전체의 87.6%였으며, 여성은 19명으로 12.4%였다. 성별에 따른 직책의 분포를 보면, 남성은 모든 직책에 위치하고 있었지만, 여성의 경우에는 연구조원, 연구원, 선임연구원, 책임연구자의 한정된 직책에만 위치하고 있었으며, 이들은 모두 대학이 아닌 기업체 및 연구소에 소속되어 있었다. 본 조사의 표집과 이메일을 통한 웹 설문조사라는 방법의 제한점으로 인하여, 본 조사의 분포를 융합기술 전문 인력 전체에 일반화 할 수는 없지만, 과학 분야에서 여성의 소수자적 위치에 대한 선행 연구를 참조했을 때 (여성과학기술인력 실태조사 보고서, 2008), 융합기술 전문 인력에서도 성별 분포가 불균등하게 이루어졌다는 것을 예상할 수 있다.

특히 대학에 재직 중인 여성 응답자가 한 명도 없다는 사실은 바이오 융합 관련 학과의 여성 교수비율이 절대적으로 적다는 문제를 재확인하게 해주는 결과이다.

<표 VII-2> 설문 유형별 응답자 직책/직급 분포

직책/직급	설문유형		성별		전체
	대학	기업체 및 연구소	남성	여성	
조교수	17(23.3)	0(0.0)	17(12.7)	0(0.0)	17(11.1)
부교수	18(24.7)	0(0.0)	18(13.4)	0(0.0)	18(11.8)
정교수	36(49.3)	0(0.0)	36(26.9)	0(0.0)	36(23.5)
연구교수	2(2.7)	0(0.0)	2(1.5)	0(0.0)	2(1.3)
연구조원	0(0.0)	4(5.0)	2(1.5)	2(10.5)	4(2.6)
연구원	0(0.0)	38(47.5)	27(20.1)	11(57.9)	38(24.8)
선임연구원	0(0.0)	19(23.8)	16(11.9)	3(15.8)	19(12.4)
책임연구원	0(0.0)	10(12.5)	7(5.2)	3(15.8)	10(6.5)
연구책임자	0(0.0)	2(2.5)	2(1.5)	0(0.0)	2(1.3)
팀장	0(0.0)	2(2.5)	2(1.5)	0(0.0)	2(1.3)
과장	0(0.0)	2(2.5)	2(1.5)	0(0.0)	2(1.3)
이사	0(0.0)	3(3.8)	3(2.2)	0(0.0)	3(2.0)
전체	73(47.7)	80(52.3)	134(87.6)	19(12.4)	153(100.0)

주. 괄호는 퍼센트임.

본 연구의 조사지의 구성은 다음과 같다.

<표 VII-3> 융합기술 전문 인력 양성 방안 설문 조사 내용

영역		구분
기본정보		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 응답자 성명 및 연락처</li> <li>· 소속 기관명 및 기관 유형</li> <li>· 소속 부서 및 직급/직책</li> </ul>
BIT 융합기술 분류		<ul style="list-style-type: none"> <li>· BIT 융합기술 분류도의 적절성 여부</li> <li>· BIT 융합기술 분류도의 수정될 사항</li> </ul>
바이오 융합기술 연구 및 산업전반	응답자 전공	· 응답자 전공분야 및 국제 경쟁력
	바이오 융합기술 발전 저해요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 융합기술 분야 연구비 부족 정도</li> <li>· 융합기술 프로젝트 연구책임자급 전문 인력 부족 정도</li> <li>· 융합기술 프로젝트 수행을 위한 연구원들의 융합기술 전문성 부족 정도</li> <li>· 융합기술 프로젝트 수행을 위한 서로 다른 분야 전공자들과의 공동프로젝트 수행의 어려움 정도</li> </ul>

<표 계속>

영역	구분
<p>바이오 융합기술 연구 및 산업전반</p>	<p>· 정부의 관심 및 지원 부족 정도</p> <p>· 바이오 융합기술관련 산업의 취약성 정도</p> <p>· 바이오 융합기술을 상업화할 수 있는 산업체의 인식 및 의지 부족 정도</p> <p>· 전통적인 학문간 대립, 협력의 어려움 정도</p> <p>· 대학과 산업계 간의 협력 부재 정도</p> <p>· 특허, 자격 등 공인 인증 체제의 부재 정도</p> <p>· 융합기술 관련 협의체(협회, 학회 등) 부족 정도</p>
	<p>· 융합학과 전공교과 이수를 통해 융합분야 학위 취득의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 전공이외의 부전공 학과 교과 이수의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 연구주제에 필요한 개인별 맞춤형 교과이수의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 포스트 닥 단계 교육 및 연구의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규학위과정 외 교육·학습의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 관련 학회, 소모임 등의 기여비율 및 만족도</p> <p>· 개인 독학의 기여비율 및 만족도</p>
<p>바이오 융합기술 인력양성</p>	<p>대학 및 대학원의 적절성</p> <p>· 바이오 융합기술 연구 및 산업에 필요한 인력 양성에 있어 대학 및 대학원의 적절성</p> <p>대학 및 대학원의 장애요인</p> <p>· 융합기술 학습을 위한 학생들의 기초학문 학업능력 부족 정도</p> <p>· 융합기술 학습을 위한 학생들의 공동프로젝트 수행능력 부족 정도</p> <p>· 융합기술 교육에 대한 학생들의 관심과 동기 부족 정도</p> <p>· 학생들의 학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준을 맞추기 어려움 정도</p> <p>· 융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족 정도</p> <p>· 융합기술 교육을 위한 새로운 교육과정 개설 혹은 개편의 어려움 정도</p> <p>· 융합기술 전공교과 운영 교수에 대한 인센티브 부족 정도</p> <p>· 융합기술 개념과 범위가 너무 광범위하고 다양함 정도</p> <p>· 전통 학과 간 폐쇄성과 경쟁 정도</p> <p>· 학교와 학과의 융합기술 교육의 중요성 인식 부족 정도</p> <p>· 융합기술학과 운영을 위한 정부의 지원 부족 정도</p>

<표 계속>

영역	구분
<p>대학 및 대학원 배출 인력의 유용성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대학 및 대학원에서 배출한 인력의 능력이 바이오 융합기술 연구 및 산업발전에 어느 정도 유용도</li> </ul>
<p>대학 및 대학원과 산업현장 직무의 차이</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바이오 융합분야의 대학 혹은 대학원과 관련 산업 현장의 직무 사이에 차이</li> </ul>
<p>바이오 융합기술 인력양성</p> <p>융합기술 전문 인력이 갖추어야 할 역량의 중요도</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기초 개별 학문분야의 지식과 이해의 중요도</li> <li>· 해당 융합기술 학문분야의 지식과 이해의 중요도</li> <li>· 다양한 분야의 사람들과 함께 팀 프로젝트 수행능력의 중요도</li> <li>· 자기 주도적으로 학습할 수 있는 능력의 중요도</li> <li>· 과학, 공학지식의 응용능력의 중요도</li> <li>· 창의력, 분석적, 비판적 사고력의 중요도</li> <li>· 문제해결력(문제를 정의하고 해결하는 능력)의 중요도</li> <li>· 쓰기, 발표력 등 의사소통능력의 중요도</li> <li>· 팀 프로젝트 시 다른 사람과 갈등 조정 능력의 중요도</li> <li>· 프로젝트 관리능력의 중요도</li> <li>· 융합기술 관련 정보처리, s/w 사용법의 중요도</li> <li>· 융합기술 관련 연구프로젝트 참여 경험의 중요도</li> <li>· 외국어 쓰기, 말하기, 읽기, 듣기 능력의 중요도</li> <li>· 융합기술에 관한 트렌드 분석 능력의 중요도</li> <li>· 역량 획득을 위한 가장 적절한 방법</li> </ul>
<p>대학의 바이오 융합기술 관련 교육 체계의 적절성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 학생선발제도</li> <li>· 학교의 특성화</li> <li>· 프로그램(학과)의 특성화</li> <li>· 학과 간 연계체제</li> <li>· 교육과정의 다양성과 특성화</li> <li>· 산학연 간의 협력체제 구축 및 운영 정도</li> <li>· 실험실습 설비 및 기자재 확보 정도</li> <li>· 실험실습 설비 및 기자재 활용 정도</li> <li>· 교수들에 대한 지원</li> <li>· 국내 타학교와의 연계 정도</li> <li>· 선진국 주요학교 및 연구소와의 교류정도</li> <li>· 취업 및 진학 지도</li> <li>· 졸업생에 대한 재교육 실시</li> </ul>



영역	구분	
바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형에 대한 의견	바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형에 대한 의견	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 학부 수준의 융합기술 전공학과 신설의 효과성과 반대이유</li> <li>· 대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설의 효과성과 반대이유</li> <li>· 융합기술 관련 협동 학위과정 신설의 효과성과 반대이유</li> <li>· 융합기술 연구프로젝트 참여를 통한 교육의 효과성과 반대이유</li> <li>· 전통 학문분야 학위 취득 후 재교육의 효과성과 반대이유</li> <li>· 융합기술 관련 전문가 교육과정 운영의 효과성과 반대이유</li> <li>· 융합기술 자격취득 과정 신설의 효과성과 반대이유</li> </ul>
	학위 취득 후 3년 내 정규직 취직 가능성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 학사 취득자의 3년 내 정규직 취직 가능성</li> <li>· 석사 취득자의 3년 내 정규직 취직 가능성</li> <li>· 박사 취득자의 3년 내 정규직 취직 가능성</li> <li>· 포스트 닥 취득자의 3년 내 정규직 취직 가능성</li> </ul>
	3년 내 수요 인력 정도	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 학사 취득자의 3년 내 수요 정도</li> <li>· 석사 취득자의 3년 내 수요 정도</li> <li>· 박사 취득자의 3년 내 수요 정도</li> <li>· 포스트 닥 취득자의 3년 내 수요 정도</li> </ul>
	융합기술 전문 인력 양성을 위해 반드시 고려되어야 할 사항과 필요한 지원책	
대학 교수 대상 질문	융합학과 개설 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 필요성 또는 필요하지 않은 이유</li> <li>· 기존학과와의 가장 큰 차이점</li> </ul>
	융합학과 학사 운영에 있어 문제점 및 애로사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 교육과정 측면</li> <li>· 교육내용 측면</li> <li>· 학사운영 측면</li> <li>· 연구개발 측면</li> <li>· 타학과(교수)와의 협력 측면</li> <li>· 학교차원의 지원 측면</li> <li>· 정부의 지원 측면</li> <li>· 산업체와의 협력/지원 측면</li> </ul>
기업 및 연구원 대상 질문	신입 연구원 실무적용 능력	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신입연구원의 실무적용 능력 정도</li> <li>· 실무에 필요로 하는 인재를 확보하기 위해 채택하고 있는(또는 고려하고 있는) 대안</li> </ul>
	신입 연구원 적용 교육	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신입 연구원 적용 교육의 필요성</li> <li>· 신입 연구원 적용 교육의 내용</li> <li>· 신입 연구원 적용 교육의 기간</li> </ul>
배경변인	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성별, 출생년도</li> <li>· 학부, 석사, 박사, 포스트 닥 등 전공한 모든 과정 및 세부 전공</li> <li>· 현재 직무와 최종 학위 전공과의 관련성 정도</li> </ul>	

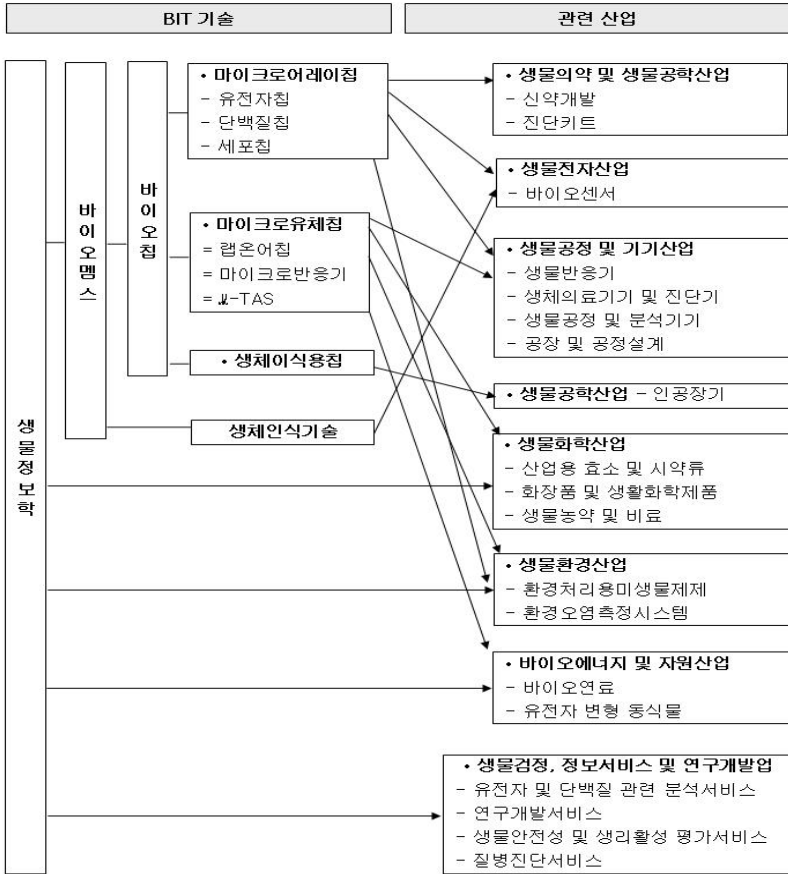
## 제2절 조사결과

### 1. BIT 융합기술의 범위에 대한 이해

본 연구에서는 생물학 중심의 융합기술 전문 인력 양성에 대한 전문가 의견을 수렴하고자 하였으며, 그 첫 번째 단계에서 전문가들의 BIT 융합기술 분야와 관련 산업의 관계에 대한 인식을 조사하였다. 전문가들에 대한 인식 조사는 선행연구의 검토를 통해서 [그림 VII-1]과 같이 BIT 융합기술 분야에 대한 도식을 도출하였으며, 이에 대해서 전문가들이 적절하다고 판단하는지 여부와 부적절하다고 응답할 시 그 이유에 대해서 조사하였다. [그림 VII-1]의 도식에 대해서 설문에 응답한 전문가들의 81.7%인 125명이 적절하다고 판단하였으며, 18.3%인 28명은 부적절하다고 판단하였다. 이러한 응답에는 대학과 기업체 및 연구소 사이에 차이가 있었는데, 부적절하다는 응답은 대학보다 기업체 및 연구소에서 보다 더 높게 나타났다. 이러한 차이는  $\chi^2=3.773(p=.061)$ 로 비록 통계적 유의성은 없었지만, 현재의 데이터보다 더 많은 응답자를 확보하여 충분한 조사가 이루어질 경우, 응답자의 유형에 따라 BIT 융합기술의 범위에 대한 이해에 존재하는 차이를 구체적으로 밝힐 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 부적절한 이유는 <표 VII-5>에 제시된 바와 같다.

비록 모든 응답자들이 적절하다고 생각하지는 않지만, 기술의 변화 속도가 빠르고 범위를 규정하기 어려운 속성을 가진 바이오 융합기술 관련 산업 체계에 대해 80% 이상이 동의한 것은 상당한 합의 정도를 나타내며, 이를 바탕으로 하는 후속 질문들의 타당성도 확인할 수 있다.

[그림 VII-1] BIT 융합기술 관련 산업



<표 VII-4> BIT 융합기술 관련 산업 도식에 대한 응답

	응답		전체	χ <sup>2</sup> 검증
	예	아니오		
대학	55(75.3%)	18(24.7%)	73(100.0%)	χ <sup>2</sup> =3.773 (p=.061)
기업체 및 연구소	70(87.5%)	10(12.5%)	80(100.0%)	
전체	125(81.7%)	28(18.3%)	153(100.0%)	

주. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

<표 VII-5> BIT 융합기술 관련 산업 도식의 부적절 이유

- 
- BNT 및 BIT기술의 핵심 중 약물전달시스템(DDS)기술이 필수
  - 컴퓨터유전자 및 생물학적 데이터를 첨단IT인프라 통해 진화패턴 찾기
  - 생물정보학은 바이오멤스나 바이오칩과 동일한 레벨로 분류되어야 함
  - 생물정보학 자리는 바이오의료시스템을 하드와 소프트웨어가 결합된 기술적합
  - 관련 산업에 원격진료들의 E-헬스분야 추가
  - BIT기술에 바이오칩, 바이오멤스 등의 IT기반기술 추가
  - BIT기술에 임베디드 기술, 네트워크,D/B 등의 IT기반기술 추가
  - 생물화학산업에 기능성식품을 추가
  - 바이오칩 및 마이크로유체칩 등은 적합하지 않고 단백질학이 적합
  - Multiple Paraliel Signature Sequencing
  - Personal genome and medicine industry
  - Metagenomics
  - 생물정보학은 Bioinformatic로서 대표항목이 될 수 없다
  - BIT융합기술 분야를 바이오멤스나 바이오멤스로 분류한다
  - BIT융합기술 분야를 생체조직공학이나 바이오 이미징으로 분류
  - 생체의료기기 및 진단기 인공장기는 동일한 그룹으로 분류
  - 기능성 식품분야 및 시품안정성분야가 추가되어야 함
  - 생물정보학의 컴퓨터 네트워킹분야가 구체적이지 않다
  - 가족경제형질개량으로 경제형질 관련 유전자탐색 해질병모델 동물개발
  - 마이크로 유체칩은 생물의 약 개발에 활용이 가능하다
  - 랩온칩은 신약개발에 매우 유용하다
  - 생물정보학의 하위개념으로 바이오멤스나 바이오칩이 존재하지 않는다
  - 바이오칩과 바이오멤스 이외에 바이오마커분석플랫폼추가필요
  - 의료영상장비 및 의료계측 장비 관련 연구가 빠짐
  - 바이오칩은 생물공정기기산업에 직접 영향을 주고 다른 산업은 관련성 낮다
  - 바이오이미지와 해석은 독립된 분야인데 빠져 있다
  - 병원진단에 미치는 영향이 큰 의료기기산업이 없음
  - 의약품의 DDS분야 생체 이미징 기술 나노물질치료제 기준치료제에 포함
  - BIT는 생물학적데이터관리 및 분석을 위해 DB구축과 향상이 필요
  - 생물정보학은 알고리즘, 전산통계기법 및 이론의 개발 등이 포함되어야 한다
  - 생물정보학이 아닌 시스템생물학으로 고쳐야 함
  - 동, 식물미생물로 농림축산수산식품산업 생산성에 기여하는 생물을 소재로 함
  - 분자유전학, 육종학으로 연계되는 다양한 생물자원과 변이종을 기반으로 함
  - 구조유전체기능 유전체단백질체대사체가 융합된 총체생물학체계 구축
  - BIT기술의 핵심인 시스템생물학을 바이오멤스 등과 소분류해야 한다
  - BIT기술의 핵심인 systems metadolic engineering이 바이오멤스 등과 소분류
  - 현재의 주요마이크로어레이기술은 바이오 멤스기술을 사용하지 않는 점
  - 생체인식기술이 바이오멤스에 속한다는 분류는 잘못된 해석
  - 생물정보학의 가장 중요한 응용분야인의 학적응용과 생명과학 추가
  - 칩 기술이 새로이 이용될 바이오기술의 전부는 아님
-

## 2. 바이오 융합기술 전공 분포

설문에 참여한 BIT 융합기술 전문가들이 세부 전공분야를 살펴본 결과, 기타 분야를 제외하고 가장 높은 비율을 보이는 것은 45명(29.4%)이 응답한 생물정보학 분야이며, 그 다음으로는 31명(20.3%)이 응답한 바이오칩-마이크로어레이가 높은 비율을 보였다. 그 외의 부분은 모두 5% 미만의 낮은 응답비율을 보이고 있다. 이러한 응답은 대학과 기업체 및 연구소에 있어서 차이가 있는데, 대학에서는 기타 분야에 대한 응답이 상대적으로 높은 반면, 기업체 및 연구소의 경우 기타 분야의 비율을 낮고, 생물정보학과 바이오칩-마이크로어레이 부분의 비율이 높다. 이러한 분포는 대학에서 상대적으로 다양한 분야의 전문가들이 소속해 있는 반면, 기업체 및 연구소는 특히 생물정보학과 바이오칩-마이크로어레이 부분에 집중되어 있다는 것을 의미한다. 이러한 차이에 대한 교차 검증의 결과는  $\chi^2=18.890$ 로  $p=.01$  수준에서 통계적으로도 유의하였다.

<표 VII-6> 바이오 융합기술 전공분야

전공분야	설문유형		Total	$\chi^2$ 검증
	대학	기업체 및 연구소		
생물정보학	15(20.5%)	30(37.5%)	45(29.4%)	$\chi^2=18.890^{**}$
바이오멤스	1(1.4%)	1(1.3%)	2(1.3%)	
바이오칩-마이크로어레이	9(12.3%)	22(27.5%)	31(20.3%)	
바이오칩-마이크로유체기술	2(2.7%)	4(5.0%)	6(3.9%)	
생체인식기술-물리적 생체인식	4(5.5%)	1(1.3%)	5(3.3%)	
생체인식기술-생리적 생체인식	4(5.5%)	2(2.5%)	6(3.9%)	
기타	38(52.1%)	20(25.0%)	58(37.9%)	
전체	73(100.0%)	80(100.0%)	153(100.0%)	

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

### 3. 우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제 경쟁력

전문가들에게 자기 분야의 국제경쟁력은 어느 정도인지에 대해 매우 높다(90% 이상), 높다(상위 70-90%), 중간(50% 내외), 낮다(30-50% 정도), 매우 낮다(30% 미만)의 5점 척도로 질문한 결과, 전체적 응답자의 평균은 3.00으로 중간 수준의 경쟁력을 갖고 있는 것으로 응답하였다. 이러한 응답에 대한 대학 및 기업체 및 연구소 사이에서의 차이는 없었다. 바이오 융합기술 분야별로는 바이오멤스 분야의 응답이 3.50로 가장 높았으며, 생물정보학 분야가 2.62로 가장 낮았다. 이러한 차이에 대한 분산분석의 결과는 통계적 유의성을 갖고 있었으나, 사례 수나 바이오 융합기술 분야의 분류에 있어서의 한계로 인하여, 구체적인 해석은 하지 않았다. 앞서 제시한 바이오 융합기술의 세부분야 분포에서 살펴보면 일부 분야의 경우, 해당 전문가가 매우 작은 수여서 그 분야에 대한 전반적인 평가라고 보기는 어렵다. 다만, 생물정보학과 바이오칩-마이크로어레이 분야는 가장 많은 전문가들이 속한 분야임에도 불구하고, 경쟁력에 대한 응답이 상대적으로 낮다는 것에는 관심을 가질 필요가 있다.

<표 VII-7> 우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제 경쟁력

구분		사례 수	평균	표준편차	차이검증
설문 유형	대학	73	3.04	.807	t=.555 (p=.580)
	기업체 및 연구소	80	2.96	.934	
바이오 융합 기술 분야	생물정보학	45	2.62	0.960	F=2.439* (사후검증 생물정보 학-기타)
	바이오칩-마이크로어레이	31	3.07	0.629	
	바이오칩-마이크로유체기술	6	3.33	1.211	
	생체인식기술-물리적 생체인식	5	3.20	0.837	
	생체인식기술-생리적 생체인식	6	2.83	0.408	
	바이오멤스	2	3.50	0.707	
	기타	58	3.21	0.853	
전체		153	3.00	0.874	-

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

#### 4. 바이오 융합기술 발전 저해요인

우리나라의 바이오 융합기술 발전에 대한 저해 요인에 대한 전문가들의 의견을 묻은 결과, 전문가들이 4.01점으로 응답한 ‘바이오 융합기술관련 산업의 취약성’이 가장 심각한 저해요인으로 나타났다. 다음으로는 ‘바이오 융합기술 상업화에 대한 산업체의 인식 및 의지 부족(3.86점)’, ‘융합기술 연구비 부족(3.78점)’, ‘연구 책임자급 전문 인력 부족(3.76점)’, ‘다른 분야 전공자들과의 공동프로젝트 수행의 어려움(3.71점)’ 순으로 높은 응답이 나타났다. 가장 낮은 점수를 보인 것은 ‘특허, 자격 등 공인 인증 체제의 부재(2.93점)’, ‘융합기술관련 협의체(협회, 학회) 부족(3.06점)’이었다.

한편 이러한 바이오 융합기술 발전의 저해요인에 대한 기관유형별 차이를 살펴보면, 통계적으로 유의한 차이를 보인 것은 ‘정부의 관심 및 지원 부족’으로, 기업체 및 연구소가 대학보다 정부의 관심 및 지원 부족이 더 심각한 저해요인으로 응답한 것을 알 수 있다. 이러한 응답은 80명의 기업체 및 연구소 분류의 전문가 들 중 69명이 정부출연연구기관으로 이루어져 있다는 것을 고려할 때, 다소 의외의 결과라고 할 수 있다. 이러한 현상에는 다수의 설명이 가능하지만, 가장 유력한 것은 다음의 두 가지인 것으로 생각된다.

첫째, 대학과 기업체 및 연구소는 그 역할이 다르다. 대학에서는 학생들에 대한 교육과 함께 연구가 이루어지지만, 연구의 규모가 크지 않다. 반면 기업체 및 정부출연연구기관은 국가적 차원에서의 전략적인 연구나 상품화를 목적으로 한 연구가 진행이 되기 때문에, 연구에 있어서 더 많은 자원을 필요로 하며, 따라서 정부의 지원에 대한 필요성도 더 많이 느낄 수 있다.

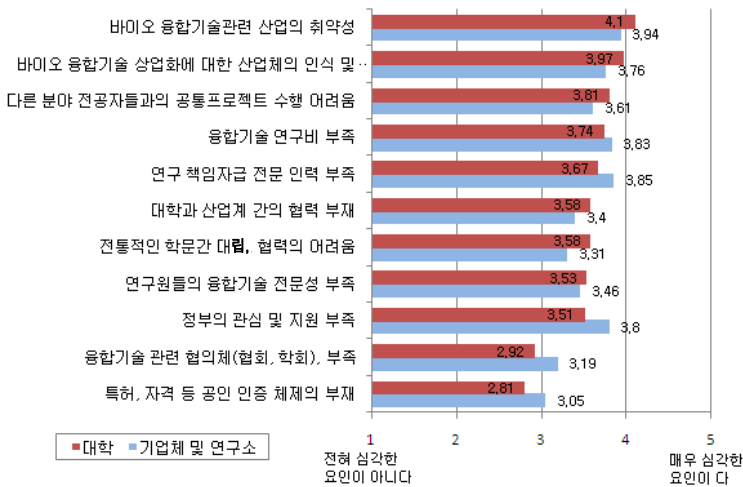
둘째, 앞서 언급한 바와 같이, 각 조직이나 기관에 속한 전문가들의 세부분야가 다르며, 특히 기업체 및 연구소의 경우 현재 생물정보학과 바이오칩-마이크로어레이 분야의 전문가들이 다수 속해 있다. 따라서 단순히 기관의 소속이나 특성만이 아니라, 각 기관들이 수행하고 있는 주된 연구 분야에 대한 이해에 대한 심층 분석이 필요한 부분으로 판단된다.

<표 VII-8> 융합기술 발전 저해 요인

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
1 바이오 융합기술관련 산업의 취약성	4.10	3.94	4.01	1.020
2 바이오 융합기술 상업화에 대한 산업체의 인식 및 의지 부족	3.97	3.76	3.86	1.380
3 다른 분야 전공자들과의 공동프로젝트 수행 어려움	3.81	3.61	3.71	1.390
4 융합기술 연구비 부족	3.74	3.83	3.78	-.578
5 연구 책임자급 전문 인력 부족	3.67	3.85	3.76	-1.258
6 대학과 산업계 간의 협력 부재	3.58	3.40	3.48	1.154
7 전통적인 학문간 대립, 협력의 어려움	3.58	3.31	3.44	1.646
8 연구원들의 융합기술 전문성 부족	3.53	3.46	3.50	.515
9 정부의 관심 및 지원 부족	3.51	3.80	3.66	-2.040*
10 융합기술 관련 협의체(협회, 학회), 부족	2.92	3.19	3.06	-1.826
11 특허, 자격 등 공인 인증 체제의 부재	2.81	3.05	2.93	-1.545

주. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

[그림 VII-2] 기관 유형별 융합기술 발전 저해 요인





## 5. 바이오 융합관련 전문성 습득 경로

바이오 융합기술 전문가들이 그들의 전문성을 획득한 경로에 대하여 조사한 결과는 <표 VII-9>과 같다.<sup>44)</sup> 전문가들이 전문성을 획득한 경로로 가장 많이 응답한 것은 112명(73.20%)이 선택한 ‘워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규 학위과정 외 교육·학습을 통해’서였으며, 다음으로는 107명(69.93%)이 선택한 ‘타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험을 통해(107명)’이었다. 반면 ‘융합학과 전공교과 이수를 통해 융합분야 학위 취득’, ‘전공 이외 부전공 학과 교과 이수를 통해’, ‘협동과정 교과이수를 통해’와 같은 교육과정 내의 교과 이수를 통한 전문성의 획득에는 각각 63명(41.18%), 18명(11.76%), 11명(7.19%)이 선택하여, 응답비율이 상대적으로 낮았다. 따라서 현재 바이오 융합관련 전문성을 획득하는 데에는 공식교육과정 내의 교과보다는 교육과정 외의 워크숍, 학술대회, 공동프로젝트 참여 등과 같은 다양한 교육기회와 연구자간 협력이 더 중요하다고 할 수 있다.

한편, 각 선택 항에 대한 평균만족도를 살펴보면, 가장 높은 만족도를 나타내는 것은 ‘포스트 닥 단계 교육 및 연구’와 ‘타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험’이 모두 3.89로 가장 높았으며, 다음으로는 ‘융합학과 전공교과 이수를 통해 융합분야 학위 취득’과 ‘워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규학위과정 외 교육·학습’이 모두 3.60으로 나타났다. 가장 낮은 만족도는 ‘협동과정 교과이수’로, 3.27의 만족도를 보였다.

종합적으로 보았을 때, 융합기술 관련 전문성의 습득에 있어서 ‘타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험’은 해당하는 사례도 많았으며, 만족도 또한 높았으며, ‘워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규학위과정 외 교육·학습’의

44) <표 7>에 제시된 평균기여율과 평균만족도는 그 의미가 다르므로 해석에 주의해야만 한다. 기여비율의 경우 해당사항이 없을 경우에는 ‘0’으로, 해당이 있을 때에는 자신이 생각하는 기여도를 %로 표시하게 되어 있어, 기여도의 사례수는 153명으로 응답자 수와 같다. 그러나 만족도의 경우 해당이 있는 사람의 경우에만 응답하도록 되어 있어, 만족도의 사례수는 153명보다 작다. 즉, 평균 기여율의 경우 해당 없음으로 응답한 사람들의 경우도 기여율이 ‘0’으로 계산되므로, 평균 기여율은 전체 응답자에 대한 평균 기여율을 의미하는 반면, 평균만족도는 기여율에 대해서 ‘0’이 아닌 값으로 응답한 사람들에 대한 평균만족도이다.

경우도 상대적으로 높은 빈도와 만족도를 보이는 것으로 분석된다.

<표 VII-9> 바이오 융합관련 전문성 습득 경로

문항	사례수	평균 기여율 (153명 기준)	평균 만족도 (해당 사례수 기준)
워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규학위과정 외 교육·학습을 통해	112	14.99 (15.495)	3.60 (.729)
타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험을 통해	107	21.11 (22.141)	3.89 (.805)
개인 독학으로	92	15.88 (21.045)	3.38 (.823)
관련 학회, 소모임 등을 통해	86	9.28 (13.330)	3.41 (.757)
융합학과 전공교과 이수를 통해 융합분야 학위 취득	63	16.44 (24.229)	3.60 (.890)
포스트 닥 단계 교육 및 연구를 통해	54	9.87 (15.956)	3.89 (.839)
연구주제에 필요한 개인별 맞춤형 교과이수를 통해	32	4.74 (12.784)	3.44 (1.134)
전공이외 부전공 학과 교과 이수를 통해	18	2.12 (6.947)	3.44 (.856)
협동과정 교과이수를 통해	11	1.63 (7.797)	3.27 (1.009)

주. 괄호 안은 표준편차

## 6. 대학교육과 대학원 교육의 적절성

현재의 대학교육과 대학원 교육이 바이오 융합기술 연구 및 산업에 필요한 인력을 양성하는 데 어느 정도 적절한가에 대한 전문가들의 의견을 질문하였다. 응답자들의 대학교육과 대학원 교육에 대한 응답의 평균은 각각 2.57과 3.06으로, 대학교육보다는 대학원교육이 조금 더 바람직하다고 판단하였지만, 두 경우 모두에 있어서 ‘보통이다’의 응답에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 대학교육과 대학원교육이 융합기술 연구 및 산업의 인력 양성에 더 많은 기여를 하기 위해서는 많은 개선이 필요한 것으로 보인다.

한편, 대학과 기업체 및 연구소의 응답에는 대학교육에 있어서는 차이가 없었지만, 대학원교육에 있어서는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 대학소속의 전문가들의 경우에는 ‘보통이다’의 응답이 전체의 42.50%로 매우 높고, ‘적절하지 않다’의 응답이 24.70%이며, ‘적절하다’의 응답이 16.40%이었던 것에 비하여, 기업체 및 연구소의 경우에는 ‘보통이다’, ‘적절하지 않다’, ‘적절하다’의 응답이 각각 33.80%, 32.50%, 31.30%로 고르게 분포하고 있었다.

<표 VII-10> 대학 및 대학원 교육의 적절성

	매우 적절하지 않다	적절하지 않다	보통 이다	적절 하다	매우 적절 하다	총계	$\chi^2$ 검증
대학	7 (9.60)	30 (41.10)	29 (39.70)	6 (8.20)	1 (1.40)	73 (100.00)	$\chi^2=.940$
기업체 및 연구소	6 (7.50)	29 (36.30)	36 (45.00)	7 (8.80)	2 (2.50)	80 (100.00)	
총계	13 (8.50)	59 (38.60)	65 (42.50)	13 (8.50)	3 (2.00)	153 (100.00)	
대학	3 (4.10)	18 (24.70)	31 (42.50)	12 (16.40)	9 (12.30)	73 (100.00)	$\chi^2=13.460^{**}$
기업체 및 연구소	0 (0.00)	26 (32.50)	27 (33.80)	25 (31.30)	2 (2.50)	80 (100.00)	
총계	3 (2.00)	44 (28.80)	58 (37.90)	37 (24.20)	11 (7.20)	153 (100.00)	

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

## 7. 대학교육 및 대학원교육에 있어서의 장애요인

### 가. 대학교육에 있어서의 장애요인

바이오 융합기술 전문 인력을 양성함에 있어서 대학교육 내에서의 장애요인을 살펴본 결과, 심각성이 가장 낮은 것으로 응답된 것은 ‘관심과 동기 부족 (3.35점)’이었으며, 심각성이 가장 높은 것으로 응답된 것은 ‘융합기술 전공 교

과를 가르칠 교수 부족(3.78점)’이었다. 그러나 응답자들을 전체 문항에 대해서 전반적으로 ‘그저 그렇다(3)’와 ‘심각한 요인이다(4)’의 중간에 위치하였다. 따라서 설문에 제시한 13개의 모든 요인들이 바이오 융합기술 전문 인력 양성에 있어서 전반적으로 문제가 되고 있지만, 그 정도가 심하지 않은 것으로 판단된다.

<표 VII-11> 대학 교육에 있어서 융합기술 발전 저해 요인

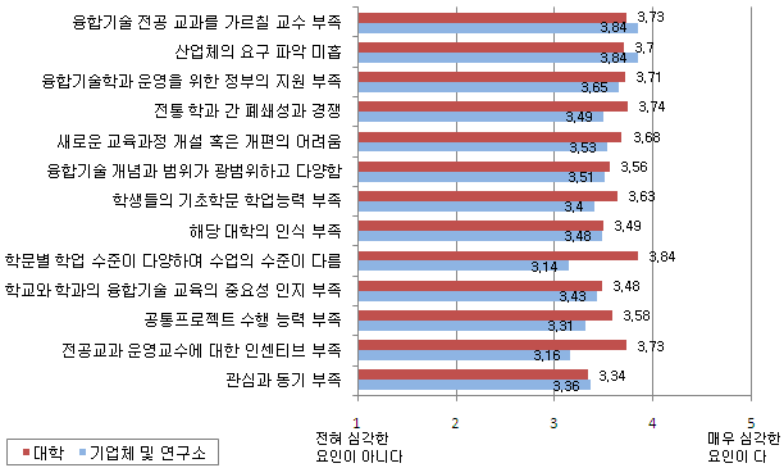
질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
1 융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족	3.73	3.84	3.78	-.77
2 산업체의 요구 파악 미흡	3.70	3.84	3.77	.53
3 융합기술학과 운영을 위한 정부의 지원 부족	3.71	3.65	3.68	.49
4 전통 학과 간 폐쇄성과 경쟁	3.74	3.49	3.61	1.65
5 새로운 교육과정 개설 혹은 개편의 어려움	3.68	3.53	3.60	1.07
6 융합기술 개념과 범위가 광범위하고 다양함	3.56	3.51	3.54	.34
7 학생들의 기초학문 학습능력 부족	3.63	3.40	3.51	1.71
8 해당 대학의 인식 부족	3.49	3.48	3.48	.65
9 학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준이 다름	3.84	3.14	3.47	5.26***
10 학교와 학과의 융합기술 교육의 중요성 인지 부족	3.48	3.43	3.45	.38
11 공통프로젝트 수행 능력 부족	3.58	3.31	3.44	2.27*
12 전공교과 운영교수에 대한 인센티브 부족	3.73	3.16	3.43	4.05***
13 관심과 동기 부족	3.34	3.36	3.35	-.15

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

한편, 각 항목에 대한 응답에 대학과 기업체 및 연구소 사이에 차이가 있는지 살펴본 결과, ‘공통프로젝트 수행 능력 부족’, ‘학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준이 다름’, ‘전공교과 운영교수에 대한 인센티브 부족’의 문항에 있어서, 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 응답에 있어서 가장

큰 차이를 보인 것은 ‘학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준이 다름’으로, 대학 소속 전문가들은 3.84로 응답한 반면, 기업체 및 연구소의 경우에는 3.14로 응답하였다. 이 세 항목 모두에서 대학 소속 전문가들은 기업체 및 연구소 소속의 전문가들보다 심각한 것으로 판단하고 있었다.

[그림 VII-3] 대학 교육에 있어서 융합기술 발전 저해 요인



#### 나. 대학원 교육에 있어서의 장애요인

바이오 융합기술 전문 인력을 양성함에 있어서 대학원교육에서의 장애요인을 살펴보면, 가장 문제가 되지 않은 것으로 응답한 것은 3.16로 나타난 ‘관심과 동기부족’이며, 가장 큰 문제로 응답한 것은 3.78로 나타난 ‘융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족’이었다. 또한 대학교육에 있어서와 마찬가지로 전반적인 응답은 ‘그저 그렇다(3)’와 ‘심각한 요인이다(4)’의 사이에 있었으며, 모든 요인이 문제가 되고 있는 것으로 판단된다.

이러한 응답에 있어서 대학과 기업체 및 연구소 사이에서 차이가 있는지 살펴본 결과, ‘학생들의 기초학문 학업능력 부족’, ‘공동프로젝트 수행 능력 부족’, ‘학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준이 다름’, ‘전공교과 운영교수에 대

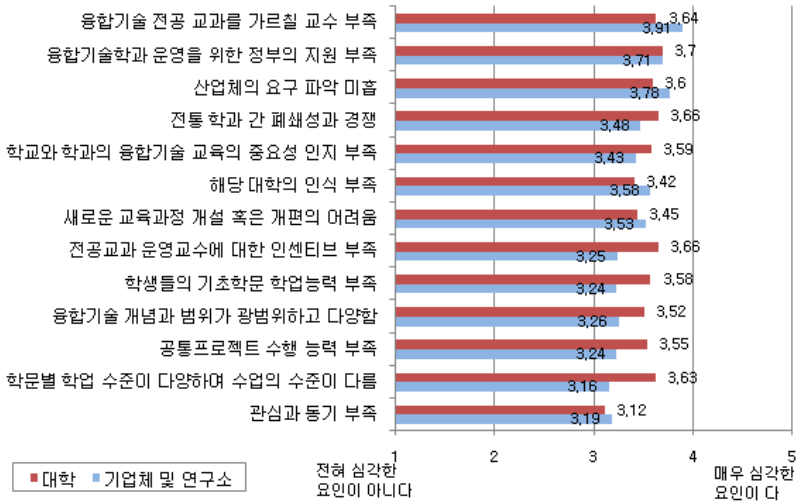
한 인센티브 부족'에 있어서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 대학교육에 대한 인식에서 보다 더 많은 항목에 있어서 차이가 있는 것이다. 가장 큰 차이는 대학교육의 문제와 마찬가지로 '학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준이 다름'이며, 가장 작은 차이는 '공통프로젝트 수행 능력 부족'으로 모두 기업체 및 연구소보다 대학 교수들이 보다 심각한 문제로 인식하고 있었다.

<표 VII-12> 대학원 교육에 있어서 융합기술 발전 저해 요인

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
1 융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족	3.64	3.91	3.78	-1.729
2 융합기술학과 운영을 위한 정부의 지원 부족	3.70	3.71	3.71	-.102
3 산업체의 요구 파악 미흡	3.60	3.78	3.69	-1.228
4 전통 학과 간 폐쇄성과 경쟁	3.66	3.48	3.56	1.153
5 해당 대학의 인식 부족	3.42	3.58	3.50	-1.112
6 학교와 학과의 융합기술 교육의 중요성 인지 부족	3.59	3.43	3.50	1.079
7 새로운 교육과정 개설 혹은 개편의 어려움	3.45	3.53	3.49	-.478
8 전공교과 운영교수에 대한 인센티브 부족	3.66	3.25	3.44	2.741* *
9 학생들의 기초학문 학업능력 부족	3.58	3.24	3.40	2.442* *
10 학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준이 다름	3.63	3.16	3.39	3.298* *
11 공통프로젝트 수행 능력 부족	3.55	3.24	3.39	2.095* *
12 융합기술 개념과 범위가 광범위하고 다양함	3.52	3.26	3.39	1.747
13 관심과 동기 부족	3.12	3.19	3.16	-.415

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

[그림 VII-4] 대학원 교육에 있어서 융합기술 발전 저해 요인



## 8. 대학과 대학원 배출 인력의 유용성

우리나라의 대학과 대학원에서 배출하는 인력이 바이오 융합기술 연구 및 산업발전에 유용한 정도에 대해서, 전문가들은 대학 인력의 경우 ‘보통이다’에 가까운 3.14로 응답하였으며, 대학원 인력의 경우에는 ‘유용하다’에 가까운 3.86으로 응답하였다. 따라서 전문가들은 대학교육보다는 대학원교육에서 양성된 인력의 유용성이 더 크다고 판단하고 있다는 것을 알 수 있으며, 이것은 대학원교육이 대학교육보다 심화된 교육을 제공한다는 것을 고려할 때, 어느 정도 예상할 수 있는 결과이며, 융합기술 관련 연구 및 산업에 필요한 인력은 대학원 수준의 전문성이 필요함을 나타낸다.

한편, 대학과 대학원에서 배출하는 인력의 유용성에 대해서 대학 소속 전문가들과 기업체 및 연구소 소속의 전문가들은 서로 다른 평가를 내리고 있는 것으로 나타났다. 대학교육과 대학원교육에서 모두 대학 소속의 전문가들이 기업체 및 연구소 소속의 전문가들보다 인력의 유용성을 더 높게 평가하고 있는 것

으로 나타났으며, 이러한 차이는 대학교육보다는 대학원교육에서 더 크게 나타났다. 대학교육과 대학원교육에서 배출된 인력에 대한 실수요자들은 기업체 및 연구소인 경우가 더 많으므로, 기업체 및 연구소의 인력 유용성 평가가 낮게 나타난 사실에 주목할 필요가 있다.

<표 VII-13> 대학과 대학원 배출 인력의 유용성

질문	설문유형	사례 수	평균	표준 편차	차이 검증	전체	
						평균	표준 편차
대학과 대학원 출신 인력의 융합기술 연구 및 산업 유용성-대학 배출	대학	73	3.30	.794	t= 2.229*	3.14	.846
	기업체 및 연구소	80	3.00	.871			
대학과 대학원 출신 인력의 융합기술 연구 및 산업 유용성-대학원 배출	대학	73	4.11	.698	t= 3.881***	3.86	.806
	기업체 및 연구소	80	3.63	.832			

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

## 9. 대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무의 차이

대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무 차이에 대해서 관련 전문가들은 대학과 대학원 모두에서 ‘보통이다’(3점)와 ‘차이가 많은 편이다’(2점) 사이의 응답을 보였다. 대학교육과 대학원교육의 평균은 각각 2.26과 2.82로, 대학원교육보다는 대학교육이 산업 현장의 직무와 더 큰 차이를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 결과에 대한 원인은 배출 인력의 유용성에서와 마찬가지로 맥락에서 생각할 수 있다. 대학교육은 이론 및 강의의 비중이 더 큰 반면, 대학원교육은 실험의 비중이 커진다는 사실을 반영하므로, 대학원교육이 산업현장의 직무와 더 많은 관련성을 갖고 있다고 파악할 수 있다. 또한 산업현장에서 요구되는 인력은 대학원 수준의 전문성이 요구된다고 볼 수 있다.

대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무 차이에 대한 인식에 있어서 대학 소속 전문가와 기업체 및 연구소 소속 전문가는 통계적으로 유의한 차이



를 보이고 있었다. 특히 대학교육에 대해서 기업체 및 연구소는 2.09점을 부여하였는데, 이것은 ‘차이가 많이 나는 편이다’에 가까운 점수이므로, 대학교육이 융합기술 전문가로서의 현장 실무능력의 획득에 크게 기여하지 못하고 있다고 판단된다. 대학원교육에 대해서도 기업체 및 연구소의 평가는 2.66으로 높지 않다. 대학 소속 전문가 보다 기업체 및 연구소 소속 전문가들의 평가가 낮게 나타난 사실에 비추어 볼 때 대학교육 및 대학원교육에 있어서 산업 현장 직무와의 연관성에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

<표 VII-14> 대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무의 차이

질문	설문유형	사례수	평균	표준 편차	차 이 검 증	전체	
						평균	표준 편차
대학과 대학원 교육 과 현장 직무의 차 이 -대학 배출	대학	73	2.45	.817	t= 2.818**	2.26	.817
	기업체 및 연구소	80	2.09	.783			
대학과 대학원 교육 과 현장 직무의 차 이 -대학 배출	대학	73	3.00	.986	t= 2.205*	2.82	.954
	기업체 및 연구소	80	2.66	.899			

주. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

## 10. 융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도

융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도에서 조사한 결과, 전문가들은 ‘문제해결력(문제를 정의하고 해결하는 능력)’에 평균 4.39를 부여함으로써 가장 중요한 것으로 응답하였다. 이는 ‘매우 중요’(5점)와 ‘약간 중요’(4점) 사이에 위치한다. 다음으로는 ‘기초 개별 학문분야의 지식과 이해’(4.37점), ‘해당 융합기술 학문분야의 지식과 이해’(4.35점), ‘창의력, 분석적, 비판적 사고력’(4.32점), ‘다양한 분야의 사람들과 함께 팀 프로젝트 수행능력’(4.25점), ‘과학, 공학지식의 응용능력’(4.16점), ‘자기주도적으로 학습할 수 있는 능력’(4.13점)에 대해서 중요성이 큰 것으로 응답하였다.

반면 가장 중요성이 낮은 것은 ‘융합기술 관련 연구프로젝트 참여 경험’(3.46 점)이었으며, 다음으로는 ‘외국어 쓰기, 말하기, 읽기, 듣기 능력’(3.49점), ‘융합 기술 관련 정보처리, s/w 사용법’(3.52점) 등의 순으로 낮은 중요도를 부여하였다.

한편, 각 역량들에 대한 전문가의 중요도 판단에 있어서 통계적으로 유의한 차이는 ‘창의력, 분석적, 비판적 사고력’, ‘외국어 쓰기, 말하기, 읽기, 듣기 능력’에서 나타났다. 두 역량 모두에서 대학 소속 전문가들은 기업체 및 연구소 소속 전문가들보다 더 높게 응답하였으나, 실제적으로 그 차이의 정도는 크지 않았다.

또 다른 특징은 모든 역량들에 대해서, 기업체 및 연구소 소속의 전문가들보다는 대학 소속 전문가들이 더 많은 중요성을 부여한 가운데, ‘해당 융합기술 학문분야의 지식과 이해’, ‘프로젝트 관리능력’, ‘융합기술 관련 정보처리, s/w 사용법’, ‘융합기술에 관한 트렌드 분석 능력’의 네 개 역량에서만 기업체 및 연구소 소속 전문가들이 더 많은 중요성을 부여하였다. 비록 이러한 차이가 모두 통계적으로 유의성을 갖는 것은 아니었지만, 대학과 기업체 및 연구소 소속의 전문가들이 중요시하는 역량의 유형에도 차이가 있음을 확인할 수 있었고 이를 교육과정에 반영할 필요성을 제기한다.

<표 VII-15> 융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도

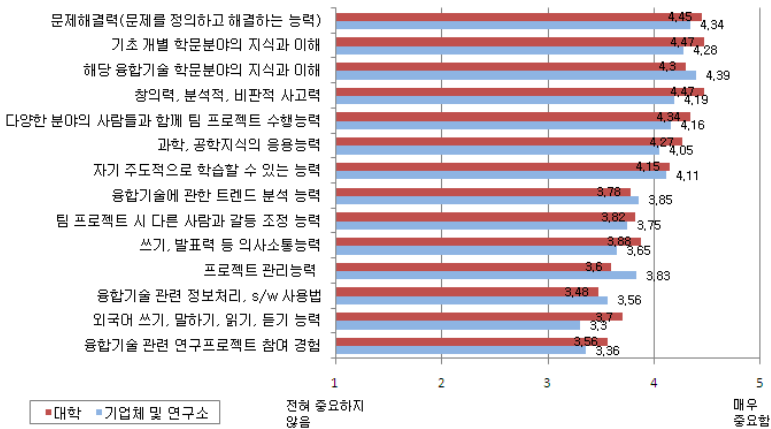
질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
1 문제해결력(문제를 정의하고 해결하는 능력)	4.45	4.34	4.39	.973
2 기초 개별 학문분야의 지식과 이해	4.47	4.28	4.37	1.618
3 해당 융합기술 학문분야의 지식과 이해	4.30	4.39	4.35	-.780
4 창의력, 분석적, 비판적 사고력	4.47	4.19	4.32	2.130*
5 다양한 분야의 사람들과 함께 팀 프로젝트 수행 능력	4.34	4.16	4.25	1.385

<표 계속>

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
6 과학, 공학지식의 응용능력	4.27	4.05	4.16	1.789
7 자기 주도적으로 학습할 수 있는 능력	4.15	4.11	4.13	.288
8 융합기술에 관한 트렌드 분석 능력	3.78	3.85	3.82	-.482
9 팀 프로젝트 시 다른 사람과 갈등 조정 능력	3.82	3.75	3.78	.487
10 쓰기, 발표력 등 의사소통능력	3.88	3.65	3.76	1.738
11 프로젝트 관리능력	3.60	3.83	3.72	-1.616
12 융합기술 관련 정보처리, s/w 사용법	3.48	3.56	3.52	-.571
13 외국어 쓰기, 말하기, 읽기, 듣기 능력	3.70	3.30	3.49	-2.761**
14 융합기술 관련 연구프로젝트 참여 경험	3.56	3.36	3.46	-1.451

주. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

[그림 VII-5] 융합기술 전문 인력이 갖추어야 할 역량별 중요도



### 11. 바이오 융합기술 관련 교육 체계의 적절성에 대한 의견

우리나라 대학의 바이오 융합기술 관련 교육 체계의 적절성에 대한 전문가의 의견을 묻은 결과, 모든 문항이 ‘보통이다’(3점)와 ‘적절하지 않은 편이다’(2점)의 사이에 위치하는 2점대의 점수를 갖고 있어, 전반적으로 바이오 융합기

술 관련 교육 체계의 적절성이 낮은 것으로 조사되었다. 가장 낮은 적절성을 보이고 있는 것은 2.41점의 ‘융합기술 학과 졸업생에 대한 재교육 실시’였으며, 가장 높은 적절성을 보인 것은 2.85점의 ‘학생선발제도의 적절성’이었지만, 모두 보통이하의 적절성을 보이고 있다.

바이오 융합기술 교육 체계의 적절성에 대한 의견에 있어 대학과 기업체 및 연구소에 소속된 전문가들 사이에 응답에 차이가 있는지 살펴본 결과, 응답에 있어 통계적으로 유의한 차이를 보인 것은 ‘산학연 간의 협력체제 구축 및 운영 정도’, ‘융합기술 연구 및 교육 교수들에 대한 지원’, ‘국내 타 학교와의 연계 정도’, ‘선진국 주요학교 및 연구소와의 교류정도’의 네 가지 문항이었다. 가장 큰 차이를 보인 문항은 ‘국내 타 학교와의 연계정도’로 대학 소속 전문가들이 기업체 및 연구소 소속 전문가들보다 더 낮은 적절성을 부여했다. 모든 문항에 있어서 ‘보통이다’와 ‘적절하지 않은 편이다’라는 응답 내에 작은 차이만이 존재하였다.

<표 VII-16> 바이오 융합기술 관련 교육 체계의 적절성에 대한 의견

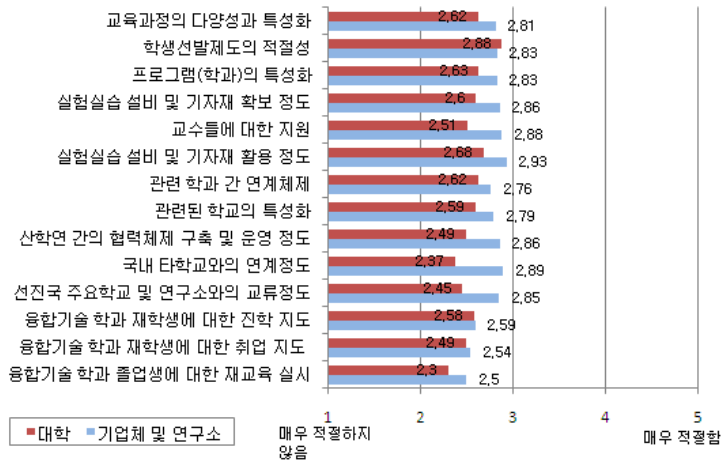
질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
1 학생선발제도의 적절성	2.88	2.83	2.85	.458
2 교육과정의 다양성과 특성화	2.62	2.81	2.85	-1.557
3 실험실습 설비 및 기자재 확보 정도	2.60	2.86	2.73	-1.808
4 프로그램(학과)의 특성화	2.63	2.83	2.73	-1.465
5 교수들에 대한 지원	2.51	2.88	2.72	-2.754**
6 국내 타학교와의 연계정도	2.37	2.89	2.69	-3.790***
7 산학연 간의 협력체제 구축 및 운영 정도	2.49	2.86	2.69	-2.677**
8 관련된 학교의 특성화	2.59	2.79	2.69	-1.514
9 관련 학과 간 연계체제	2.62	2.76	2.69	-1.022
10 실험실습 설비 및 기자재 활용 정도	2.68	2.93	2.69	-1.650
11 선진국 주요학교 및 연구소와의 교류정도	2.45	2.85	2.66	-2.583*

<표 계속>

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
12 융합기술 학과 재학생에 대한 진학 지도	2.58	2.59	2.58	-.093
13 융합기술 학과 재학생에 대한 취업 지도	2.49	2.54	2.52	-.327
14 융합기술 학과 졸업생에 대한 재교육 실시	2.30	2.50	2.41	-1.416

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

### [그림 VII-6] 바이오 융합기술 관련 교육 체계에 대한 의견



### 12. 바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형의 효과성에 대한 인식

바이오 융합기술 전문 인력 양성을 위해 제시된 모형 중, 가장 효과적일 것으로 응답된 것은 ‘대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설(4.16)’과 ‘융합기술 연구프로젝트 참여를 통한 교육(4.07)’이었다. 제시된 문항들을 고려했을 때, 전문가들은 학위 과정과 관련해서, 학부 수준의 융합기술 학과(3.01점)나 융합기술 관련 협동과정(3.92)보다 대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설(4.16점)을 더 바람직한 것으로 응답한 것으로 해석할 수 있다. 또한 학부 수준의 융합

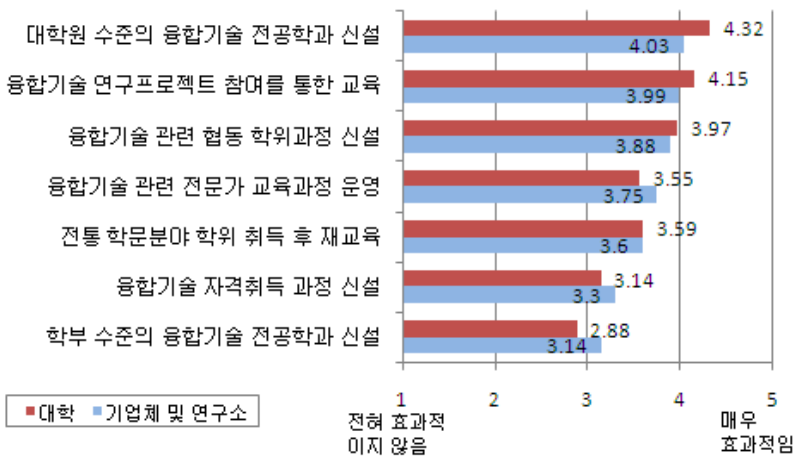
기술 전공학과 신설이 실질적으로 가장 효과성이 없는 것으로 응답되었다는 것을 고려한다면, 융합기술 전문 인력 양성은 대학원 수준의 학과나 협동과정에서 이루어져야 한다고 판단된다. 또한 ‘융합기술 자격취득 과정 신설’의 효과성도 3.22로 낮았다.

<표 VII-17> 바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형의 효과성에 대한 인식

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
1 대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설	4.32	4.03	4.16	-2.300*
2 융합기술 연구프로젝트 참여를 통한 교육	4.15	3.99	4.07	1.365
3 융합기술 관련 협동 학위과정 신설	3.97	3.88	3.92	.754
4 융합기술 관련 전문가 교육과정 운영	3.55	3.75	3.65	-1.511
5 전통 학문분야 학위 취득 후 재교육	3.59	3.60	3.59	-.087
6 융합기술 자격취득 과정 신설	3.14	3.30	3.22	-1.162
7 학부 수준의 융합기술 전공학과 신설	2.88	3.14	3.01	-1.603

주. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

[그림 VII-7] 바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형의 효과성에 대한 인식



## 13. 졸업 후 3년 내 정규직 취직 가능성

전문가들에게 자신의 분야에서 배출된 각 학위 과정이 3년 내에 정규직으로 취직할 수 있는 가능성에 대해서 질문한 결과, 정규직 취직의 가능성은 학위 수준이 증가함에 따라서 함께 증가하여, 학사 취득자의 경우 2.27점으로 ‘낮다’와 ‘보통이다’의 사이에 위치하고 있는 반면에, ‘포스트 닥 취득자’의 경우에는 3.61점으로 ‘보통이다’와 ‘높다’ 사이에 위치하고 있었다. 따라서 정규직 취직을 위해서는 높은 수준의 학위를 취득하는 것이 더 유리하다고 하겠다.

한편, 이러한 응답에는 대학 소속 전문가와 기업체 및 연구소 소속 전문가 사이에 통계적으로 유의한 차이가 존재했다. 모든 학위 수준에 있어서 대학 소속 전문가는 기업체 및 연구소 소속 전문가보다 더 높은 가능성을 부여했다. 가장 큰 차이는 석사 학위 취득자에 대한 것으로 대학 소속 전문가는 3.56점으로 높은 정규직 취업 가능성을 부여한 반면, 기업체 및 연구소 소속 전문가는 2.39점으로 낮은 취업 가능성을 부여했다. 또한 기업체 및 연구소 소속 전문가는 학사 취득자가 3년 내에 정규직으로 취직할 가능성에 대해서 1.93점을 부여하여, 정규직 취직 가능성을 매우 낮게 보고 있었다. 이러한 차이는 모두  $p=.001$  수준에서의 매우 강한 통계적 유의성을 보였다.

&lt;표 VII-18&gt; 졸업 후 3년 내 정규직 취직 가능성

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	전체	
학사 취득자	2.61	1.93	2.27	4.560***
석사 취득자	3.56	2.39	2.95	7.453***
박사 취득자	3.73	2.86	3.27	4.977***
포스트닥 취득자	4.01	3.26	3.61	4.327***

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

## 14. 향후 3년 이내 필요한 인력 수요

각 전문가가 자신의 분야에서 향후 3년 간 각 학위 수준의 인력의 수요에 대해서 응답한 결과, 3년 내 정규직 취직 가능성과 마찬가지로 학위 수준이 증가할수록 수요가 증가하는 것으로 나타났다. 가장 많은 수요를 보인 것은 3.87점으로 응답된 포스트 닥 취득자이며, 가장 낮은 수요를 보이는 것은 2.54점의 학사 취득자였다. 또한 학사 취득자는 2.54점으로 수요도가 낮은 편이었으나, 석사 취득자, 박사 취득자, 포스트 닥 취득자는 모두 3점대의 점수를 갖고 있어, 융합기술 전문 인력에 대한 수요에 있어서 학사 취득자와 나머지 학위 취득자 사이에는 명확한 차이가 있는 것으로 파악된다.

한편 수요에 대한 인식에서도 대학 소속 전문가와 기업체 및 연구소 소속 전문가 사이에는 차이가 있었다. 모든 학위에 있어서 대학 소속 전문가는 기업체 및 연구소 소속 전문가보다 더 높은 수요를 예상하고 있었으며, 석사 취득자에 대한 수요 예상에서 가장 큰 차이가 있었다. 이러한 차이는 가장 높은 수요를 예상한 포스트 닥 취득자를 제외한 모든 학위 수준에서 통계적 유의성을 갖고 있었다.

&lt;표 VII-19&gt; 향후 3년 내 필요한 인력 수요

질문	평균			차이 검증
	대학	기업체 및 연구소	표준 편차	
학사 취득자	2.78	2.32	2.54	2.897**
석사 취득자	3.65	3.19	3.41	3.060**
박사 취득자	3.96	3.58	3.76	2.661**
포스트닥 취득자	4.00	3.76	3.87	1.670

주. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

## 15. 융합학과(혹은 협동과정) 개설과 운영의 필요성(대학교수)

대학교수들만을 대상으로 한 질문에서 융합학과(혹은 협동과정)의 개설과



운영의 필요성에 대해서 질문한 결과, 전체 73명의 교수 중 64명(87.7%)은 필요성이 있다고 응답하였으며, 반대는 9명(12.3%)이었다. 개설에 찬성하는 이유로 가장 많이 언급된 것은, ‘전문적이고 체계적인 교육, 공동 연구 활성화를 위해’, ‘다양한 전공의 강의 및 연구를 학생들이 함께 직접적으로 접할 수 있어서’, ‘학제 간 연구의 필요’, ‘대학원 학과 개설을 통해 전문가를 체계적으로 양성할 수 있어서’, ‘새 기술은 기존 기술의 융합과 개선을 통해 이루어지므로 이 분야는 경쟁력 향상에 기여’, ‘학문 발달이 개별과목 보다 융합학문의 성과가 중요해서’ 등이었다.

반면 융합학과(혹은 협동과정)의 개설과 운영을 반대하는 주된 이유는 ‘기초를 습득 후 융합에 의한 학문이 필요’, ‘현재의 학제로는 진정한 의미의 융합이 불가능해서’, ‘학부과정은 필요성이 없어서’, ‘융합은 연구자가 함으로 학부 개설은 부적합한 비전공자만을 양산할 뿐’, ‘융합학과는 행정적인 측면에서 필요한 것이 아니며, 교육을 공유할 수 있는 체계가 더 필요해서’, ‘대학원에서 융합 학과라는 말이 필요 없이, 융합된 교육을 받을 수 있어서’, ‘기본학과로도 충분’ 등이 있었다.

<표 VII-20> 융합학과(혹은 협동과정) 개설과 운영의 필요성(대학교수)

	빈도	퍼센트
예	64	87.7
아니오	9	12.3
총계	73	100.0

#### 16. 바이오 융합분야 신입연구원의 실무적응능력(기업 및 연구원 대상)

바이오 융합분야의 기업 및 연구원 대상으로 신입 연구원의 실무적응능력은 어느 정도인지에 대해서 질문한 결과, 전체 80명 중 ‘보통이다’라는 응답이 52명(65.0%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로는 ‘대체로 잘하고 있다’는 응답이 21명(26.3%)으로 많았다.

신입 연구원이 ‘매우 잘못하고 있다’ 또는 ‘대체로 잘못하고 있다’라고 응답한 경우, 실무에 필요로 하는 인재를 확보하기 위해서 소속한 기관에서 실시 또는 고려하고 있는 대안에 대해서 질문한 결과 ‘사내 교육을 통해 필요한 인재로 육성’과 ‘경력자 채용’에 각각 2명이 응답하였고, 1명은 ‘부족한 학습을 위한 추가 교육지원’으로 응답하였다.

다음으로 신입 연구원이 실무에 적응하려면 별도의 교육이 필요한가에 대해서 질문한 결과 54명(67.5%)이 ‘그렇다’라고 응답하였으며, 26명(32.5%)은 ‘필요하지 않다’고 응답하였다. 별도의 교육이 필요한 분야에 대해서는 ‘기초 이론 연구 분야’, ‘타 전공에 따른 기초 지식(생물, 화학 등)’, ‘융합에 필요한 융합 관련 기술’, ‘실무경험’, ‘적용되는 여러 분야에 대한 실무적 이해도를 높일 수 있는 교육’ 등을 포함하여, 70여 개의 항목이 제시되었다.

<표 VII-21> 바이오 융합분야 신입연구원의 실무적응능력

		빈도	퍼센트
신입연구원 실무적응능력	매우 잘못하고 있다	0	0.0
	대체로 잘못하고 있다	5	6.3
	보통이다	52	65.0
	대체로 잘하고 있다	21	26.3
	매우 잘하고 있다	2	2.5
	총계	80	100.0
별도 적응 교육 필요여부	예	54	67.5
	아니오	26	32.5

### 제3절 소 결

본 장에서는 바이오 융합기술 전문가 153명을 대상으로 바이오 융합기술 전문 인력 양성에 대한 설문조사를 결과를 제시하였다. 바이오 융합기술 학과와 관련 프로젝트 수행 연구소, 산업체 등을 대상으로 조사지를 배포하였으나 산업체의 응답률이 상대적으로 저조하였다. 본 조사의 응답결과는 바이오 융합기술 전문 인력을 직접적으로 양성하는 대학기관과 양성된 인력들이 실무현장에서 활용되는 연구기관으로 나뉘어 비교 분석되었다.

#### □ 우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제 경쟁력 및 발전 저해요인

전문가들에게 자신의 분야의 국제경쟁력은 어느 정도인지에 대해서, 매우 높다(90%이상), 높다(상위 70-90%), 중간(50% 내외), 낮다(30-50% 정도), 매우 낮다(30% 미만)의 5점 척도로 질문한 결과, 전체적 응답자의 평균은 3.00으로 중간 수준의 경쟁력을 갖고 있는 것으로 응답하였다. 이러한 응답에 대한 대학 및 기업체, 연구소 사이에서의 차이는 없었다.

우리나라의 바이오 융합기술 발전에 대한 저해 요인에 대해 전문가들은 ‘바이오 융합기술관련 산업의 취약성(4.01)’을 가장 심각한 저해요인이라고 응답하였고, 다음으로는 ‘바이오 융합기술 상업화에 대한 산업체의 인식 및 의지 부족(3.86점)’, ‘융합기술 연구비 부족(3.78점)’, ‘연구 책임자급 전문 인력 부족(3.76점)’, ‘다른 분야 전공자들과의 공동프로젝트 수행의 어려움(3.71점)’ 순으로 높은 응답이 나타났다.

#### □ 전문성 획득 경로 및 만족도

바이오 융합기술 전문가들이 전문성을 획득한 경로로 가장 많이 응답한 것은 ‘워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규학위과정 외 교육·학습을 통해(73.20%)’였으며, 다음으로는 ‘타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험을 통해(69.93)’이었다. 반면 ‘융합학과 전공교과 이수를 통해 융합분야 학위 취득’,

‘전공이외 부전공 학과 교과 이수를 통해’, ‘협동과정 교과이수를 통해’와 같은 교육과정 내의 교과 이수를 통한 전문성의 획득에는 각각 63명(41.18%), 18명(11.76%), 11명(7.19%)이 선택하여, 응답비율이 상대적으로 낮았다. 따라서 현재 바이오 융합관련 전문성을 획득하는 데에는 교육과정 내의 교과보다는 교육과정 외의 워크숍, 학술대회, 공동프로젝트 참여 등과 같은 다양한 교육기회와 연구자간 협력이 더 중요하다고 할 수 있다.

#### □ 대학교육과 대학원 교육의 적절성

현재의 대학교육과 대학원 교육이 바이오 융합기술 연구 및 산업에 필요한 인력을 양성하는 데 어느 정도 적절한가에 대한 질문에 전문가들은 대학교육(2.57)보다는 대학원교육(3.06)이 조금 더 바람직하다고 판단하였지만, 두 경우 모두에 있어서 ‘보통이다’의 응답에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 대학교육과 대학원교육이 융합기술 연구 및 산업의 인력 양성에 더 많은 기여하기 위해서는 많은 개선이 필요한 것으로 보인다.

#### □ 대학교육과 대학원 교육의 장애요인

바이오 융합기술 전문 인력을 양성함에 있어서 대학교육 내에서의 장애요인을 살펴본 결과, ‘융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족(3.78점)’이 가장 심각하고, ‘관심과 동기 부족(3.35점)’이 가장 덜 심각한 것으로 나타났다.

반면, 바이오 융합기술 전문 인력을 양성함에 있어서 대학원교육 내에서의 장애요인을 살펴보면, 가장 큰 문제로 응답한 것은 ‘융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족(3.78)’이었으며, 가장 문제가 되지 않은 것으로 응답한 것은 ‘관심과 동기부족(3.19)’이었다.

#### □ 대학과 대학원 배출 인력의 유용성

우리나라의 대학과 대학원에서 배출하는 인력이 바이오 융합기술 연구 및 산업발전에 유용한 정도에 대해서, 전문가들은 대학의 경우 ‘보통이다’에 가까운 3.14로 응답하였으며, 대학원의 경우에는 ‘유용하다’에 가까운 3.86으로 응

답하였다. 따라서 전문가들은 대학교육보다는 대학원교육에서 양성된 인력의 유용성이 더 크다고 판단하고 있다는 것을 알 수 있으며, 이것은 대학원교육이 대학교육보다 심화된 교육을 제공한다는 것을 고려할 때, 어느 정도 예상할 수 있는 결과이다. 한편, 대학교육과 대학원교육에서 모두 대학 소속의 전문가들이 기업체 및 연구소 소속의 전문가들보다 인력의 유용성을 더 높게 평가하고 있는 것으로 나타났으며, 이러한 차이는 대학교육보다는 대학원교육에서 더 크게 나타났다. 대학교육과 대학원교육에서 배출된 인력에 대한 실수요자들은 기업체 및 연구소인 경우가 더 많으므로, 기업체 및 연구소의 인력 유용성 평가가 낮게 나타난 사실에 주목할 필요가 있다.

#### □ 대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무의 차이

대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무 차이에 대해서 관련 전문가들은 대학과 대학원 모두에서 ‘보통이다’(3점)와 ‘차이가 많은 편이다’(2점) 사이의 응답을 보였다. 대학교육과 대학원교육의 평균은 각각 2.26과 2.82로, 대학원교육보다는 대학교육이 산업 현장의 직무와 더 큰 차이를 갖는 것으로 나타났다.

#### □ 융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도

융합기술 전문 인력이 갖추어야할 역량별 중요도에서 조사한 결과, 전문가들은 ‘문제해결력(문제를 정의하고 해결하는 능력, 4.39)’이 가장 중요한 것으로 응답하였다. 다음으로는 ‘기초 개별 학문분야의 지식과 이해’(4.37점), ‘해당 융합기술 학문분야의 지식과 이해’(4.35점), ‘창의력, 분석적, 비판적 사고력’(4.32점), ‘다양한 분야의 사람들과 함께 팀 프로젝트 수행능력’(4.25점), ‘과학, 공학지식의 응용능력’(4.16점), ‘자기 주도적으로 학습할 수 있는 능력’(4.13점)에 대해서 중요성이 큰 것으로 나타났다.

#### □ 바이오 융합기술 전문 인력 양성 모형의 효과성에 대한 인식

바이오 융합기술 전문 인력 양성을 위해 제시된 모형 중, 가장 효과적인 것

으로 응답된 것은 ‘대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설(4.16)’과 ‘융합기술 연구프로젝트 참여를 통한 교육(4.07)’이었다. 제시된 문항들을 고려했을 때, 전문가들은 학위 과정과 관련해서, 학부 수준의 융합기술 학과(3.01점)나 융합기술 관련 협동과정(3.92)보다 대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설(4.16점)을 더 바람직한 것으로 응답한 것으로 해석할 수 있다. 또한 학부 수준의 융합기술 전공학과 신설이 실질적으로 가장 효과성이 없는 것으로 응답되었다는 것을 고려한다면, 융합기술 전문 인력 양성은 대학원 수준의 학과나 협동과정에서 이루어져야 한다고 판단된다. 또한 ‘융합기술 자격취득 과정 신설’의 효과성도 3.22로 낮았다.

#### □ 졸업 후 3년 내 정규직 취직 가능성

전문가들에게 자신의 분야에서 배출된 각 학위 과정의 3년 내에 정규직으로 취직할 수 있는 가능성에 대해서 질문한 결과, 정규직 취직의 가능성은 학위 수준이 증가함에 따라서 함께 증가하여, 학사 취득자의 경우 2.27점으로 ‘낮다’와 ‘보통이다’의 사이에 위치하고 있는 반면에, ‘포스트 닥 취득자’의 경우에는 3.61점으로 ‘보통이다’와 ‘높다’ 사이에 위치하고 있었다. 따라서 정규직 취직을 위해서는 높은 수준의 학위를 취득하는 것이 더 유리하다고 하겠다. 각 전문가가 자신의 분야에서 향후 3년 간 각 학위 수준의 인력의 수요에 대해서 응답한 결과, 3년 내 정규직 취직 가능성과 마찬가지로 학위 수준이 증가할수록 수요가 증가하는 것으로 나타났다. 가장 많은 수요를 보인 것은 3.87점으로 응답된 포스트 닥 취득자이며, 가장 낮은 수요를 보이는 것은 2.54점의 학사 취득자였다. 바이오 융합기술 전문 인력에 대한 수요에 있어서 학사 취득자와 상위 학위 취득자 사이에는 명확한 차이가 있는 것으로 파악된다.

## 제 8 장 요약 및 결론

### 제1절 요약

본 연구에서는 실시한 바이오 융합기술 전문가 설문조사의 분석 결과 전반적으로 융합기술 전문 인력의 교육은 대학원 단계보다는 대학단계 교육이 적절하지 못하고, 유용성도 떨어진다는 의견이 높게 나타났다. 또한 학부 출신의 3년 후 취업 가능성은 박사나 포스트 닥의 취업 가능성에 비해 상당히 낮게 전망되고 있었다. 대학원 수준 인력에 대한 기업의 만족도도 대학 수준 인력에 대한 만족도보다 높게 나타났다. 종합하면 바이오 융합기술 전문 인력 양성에 있어 대학원 단계의 전공 학과 개설이나 협동 과정의 운영이 보다 적합한 모형으로 인식되고 있었다.

현재 교육 체제에서의 인력 양성에 있어 가장 큰 저해요인으로 ‘융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족’이 지적된 사실에 주목할 필요가 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 국가의 정책방향에 맞춰 융합기술을 포함하도록 학과명을 변경하는 경우들이 많이 눈에 띄었다. 이 경우 학과명을 변경하고 교육과정을 변경하였으나, 실제 새로운 학과명에 적합한 교수 확보는 제대로 이루어 지지 않는 경우들이 많은 것으로 보인다. 재정 지원 방향에 따라 겉무늬만 바꾸는 것이

아니라 실제 학과명에 적합한 교육이 이루어질 수 있도록 교수진을 구성하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 현재 우리나라의 교수 채용 및 고용 계약 관례에 따라 학과 내 교수의 소속을 변경하는 것이 쉽지 않은 것이 사실이다. 그러나 전문성을 갖춘 교수진 확보를 위한 대학의 노력이 절실히 요구되며, 이는 새로운 학문을 습득한 신진 연구자를 채용하는 것과 함께 실무 현장에서의 융합기술 활용 전문성을 갖춘 경력직 연구자를 채용하는 것도 적극 고려되어야 할 것이다. 또한 아직까지 국내 바이오 융합분야 경쟁력이 그리 높지 않음을 고려할 때 선진국의 인력들을 적극 유치하는 방안도 모색되어야 할 것이다.

반면 인력 양성 저해 요인 중 ‘융합기술 교육에 대한 학생들의 관심과 동기’가 가장 낮은 점수를 나타낸 것은 고무적인 결과로 보인다. 새로운 분야를 개척하고자 하는 학생들의 관심과 동기, 즉 열정이 있다면 이를 적극 활용할 수 있는 교육환경을 지원해 주는 것이 대학이 해야 할 임무일 것이다.

## 제2절 결론 및 제언

### 1. 바이오융합 교과과정 개선을 위한 제언

현대 생물학은 자연과학(화학, 물리학)과 공학 및 수학에 점점 더 많은 부분을 의존하고 있다. 그 이유는 첫째, 생물학적 시스템의 분석이 세포 및 분자 수준 아래로 더 진행되면서 자연과학과 생물과학 사이의 차이점은 모호해졌고, 필수적인 생물학적 방법은 물리학적 특징에 의하여 효과적인 것으로 취급되었다. 둘째, 생물학자들이 시스템을 매우 복잡한 수준에서 다루게 되면서, 다른 분야에서 사용되는 이론적 도구들(tools)도 동시에 상호작용하는 복잡계(complex systems)의 많은 구성요소를 이해하고 다룰 수 있는 능력이 요구된다. 예를 들어 새로운 발생 메커니즘을 이해하는 데 생물학적 지식 뿐만 아니



라 나타나는 패턴이 어떻게 형성되는가에 대한 이론에 대한 이해를 요구하며, 물리학, 수학, 공학은 이러한 이론을 테스트하고 명확히 하는데 보다 효율적이고 향상된 연구 방법을 제공해 줄 수 있다.

한편 과학자들이 소통하고 상호작용하는 방법 역시 빠르게 변화하고 있다. 다양하고 방대한 양의 정보, 데이터 및 소프트웨어는 인터넷을 통해 광범위하게 공유되며, 전 세계의 연구자들은 실험을 계획하고, 해석하는데 있어 이러한 방대한 데이터베이스를 활용하고 있다.

미국의 ‘The Role of the Private Sector in Training the Next Generation of Biomedical Scientist’ 라는 보고서는 포스트게놈 시대에는 계산수학에서 임상과학에 이르는 다양한 분야에서 개인 협력 및 팀 접근이 요구되기 때문에, 복수학제 및 학제연구가 더욱 중요해 질 것이라는 전망을 내놓았다(American Cancer Society et al., 2000). 또한 이 보고서는 연구 패러다임의 변화가 K-12 및 대학·대학원의 교육에서의 혁신과 변화를 요구하고 있다고 주장하고 있다.

이러한 추세는 미국의 복수학제 프로젝트에 대한 연구 보조금 요청이 증가하고 있는 데서 확인할 수 있다. 미국 NSF와 NIH는 수리생물학 연구와 관련된 수학 및 통계 조사와 계산신경과학을 포함하여, 여러 분야의 협동 연구를 지원해 주는 공동이니셔티브에 협력하고 있다. National Institute of General Medical Sciences는 생물의학(biomedicine)의 중요성 문제에 대해 양적, 학제적 접근을 장려하는 여러 이니셔티브에 참여하고 있다. 예를 들어, 캘리포니아-버클리 대학, 스탠포드 대학, 노스캐롤라이나-채플힐(Chapel Hill)대학과 협력하여, 로렌스 버클리 연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory)에 의해 운영되는 PBI(Protein Structure Initiative)는 Berkely Structural Genomics Center와의 파트너십 구축을 지원한다. 또 다른 이니셔티브인 Biomedical Information Science and Technology Initiative는 아직 초기 단계에 있지만, 생물학 및 의학에서의 문제점을 해결하기 위하여 컴퓨터 과학 및 기술에 대해 최적의 이용이 가능하도록 구축되었다. NIDA(National Institute on Drug Abuse)는 컴퓨터 및 이론의 모델링 접근에 대해 개발을 지원하고 있으며, NIDA가 투자한 연구자들은 행동과정, 인식과정, 신경생물학 과정을 연

구하며, 약물 남용 및 중독에 관한 세포와 분자의 매커니즘을 연구하고 있다.

이렇듯 대학과 대학원 생물학 교육에서 학제적 접근이 요구되고 있으며, 이를 실행하기 위한 구체적인 학제적 생물학 교과과정 개편과 관련된 제언은 다음과 같다.

첫째, 융합기술의 발전은 융합학과 커리큘럼의 변화 뿐 아니라 기존 전통학 과들의 변화도 함께 요구하고 있다. 학제적 교육과 연구를 위해서는 관련 학과 상호 간의 협력이 필요하다. 예를 들어 수학, 물리학, IT의 개념 및 기술(techniques)은 생물학 교과과정에 포함되어야 하고, 생물학의 개념과 사례들이 다른 과학 및 공학 교과과정에 포함되어야 한다. 생물학, 수학, 물리학 학부들은 수학과 물리학을 생명과학 교과과정으로 통합하는 방법을 공동으로 모색해야 하며, 또한 생명과학 사례들을 물리학, 공학, 수학 교과과정에 통합시키는 방법을 모색하는 것에도 협력해야 한다.

둘째, 성공적인 학제적 교육을 위해서는 새로운 교수자료와 교수학습법의 개발이 요구된다. 이를 위해 대학과 정부는 학제적 교육개선을 위한 교수학습 기법 개발 및 적용을 위한 재정적 지원을 제공해야 할 것이다. 이와 함께 학제적 교육이 성공하기 위해서는 행정적, 재정적 장벽이 제거되어야만 한다. 예를 들어 생물학 시간의 컴퓨터와 컴퓨터 그래픽 기능의 활용은 화학, 물리학, 수학의 개념을 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 반면 화학, 물리학, 컴퓨터학 및 수학 교과과정의 모듈로서 생물학 관련 사례를 이용함으로써 이러한 과정을 이수한 학생들이 미래에 생물학 관련 산업분야로 나갈 수 있는 기반을 마련하게 해 준다. 이러한 학제적 학습에 있어 적절한 사례 선정이 필수적으로 중요하며 다양한 학과의 교수들이 일련의 학제 간 모듈과 결합된 교재(컴퓨터 시뮬레이션 및 애니메이션의 결합 등)를 공동으로 개발해야 할 것이다.

이를 위해 다양한 교수학습 자료를 개발, 수집, 공유, 활용할 필요가 있다. 예를 들어 NSF의 과학 교육 자료를 모아놓은 National Science Digital Library(<http://nsdl.org/>)는 실질적인 온라인 교수학습 자료의 집합소이며, K-16 STEM 교육에 관한 전문가 대상의 도서관이고, 과학 및 공학 교육과 연구에 필요한 검증된 자원을 제공하는 곳이다. NSDL은 과학자들이 연구에 사

용하는 혹은 연구결과 생성된 다양한 데이터, 이미지, 시물레이션, 애니메이션, 소프트웨어 등 실제(authentic) 자료들을 K-16 혹은 그 이후 교육현장에서 활용할 수 있도록 하기 위한 목적으로 시작되었다. 분야별, 주제별, 수준별, 자료 유형별 등 다양한 방식으로 활용이 가능하다. 그러나 실제 연구 자료는 가장 효율적이고 효과적인 학습을 지원하기 위해 학습자 특성에 맞게 재가공되어야 한다. 즉, 실제 연구 자료를 교육 자료로 활용하기 위해서는 전공 교수와 교수 학습 전문가 등의 협력이 필요하다.

셋째, 학제적 내용의 강의와 세미나 강좌를 활용할 수 있다. 이러한 학제적 과정은 우선 상대적으로 내용이 덜 자세하고, 특별한 선수학습 요구가 필요 없는 1학년 세미나 입문에서 사용될 수 있다. 예를 들어 1학년 학생들에게 다양한 학문을 소개하고, 생물학을 시작하기 전에 선행과목을 들으려 하는 1학년 생들의 흥미를 끌기 위해 유전학, 환경과학, 전염병학, 의학 통계학, 컴퓨터 생명공학, 수리 생물학, 독성학, 위해성 평가 등의 개념이 포함된 현안이 되고 있는 다양한 주제와 관련한 사례 연구를 제시해 주는 과목이 가능할 것이다. 실제 사례 연구 제시를 통해 생물학 전공 학생들은 수학과 컴퓨터 사용(computation)이 앞으로의 생물학 연구에 중요한 역할을 함을 알 수 있고, 수학 및 컴퓨터학과 학생들은 정량적 방법(통계, 응용 수학, 컴퓨터 과학)이 생물학 및 의학에서 어떻게 응용되는지를 알 수 있을 것이다.

한편 다양한 학문에서 상당한 교육적 경험을 가진 상급자를 위한 캡스톤 코스(capstone course)도 학제적 접근이 가능할 것이다. 예를 들어 Mechanics of Organisms라는 버클리 대학의 상급 수준 과정은 생물학과 공학을 효율적으로 접목시켰다. 이외에도 많은 상위수준의 교과과정도 생물학과 물리학, 수학, 공학의 학제적 접근을 통해 이루어질 수 있다. Three-dimensional Structure Determination(X선 회절, 핵자기공명, 분광법), Sensory Signaling Systems(시각, 후각, 미각, 청각, 촉각), Biological Imaging(형광 현미경법, 공초점 영상화, 소멸파 현미경법, 이광자 영상화), Medical Imaging(기능적 자기공명 영상, 양전자방출 단층촬영기, 초음파)

넷째, 대학교육의 현장 적합도를 제고하기 위해서 현재 실시되는 실습·실

험수업들도 보다 학제적으로 개선되어야 한다. 왜냐하면, 실제 사회가 전통적인 학문의 칸막이로 구분되어져 있지 않다는 것을 실험실 혹은 현장에서의 실습을 통해 학생들이 직접 경험할 수 있기 때문이다.

뿐만 아니라 실험·실습은 학생들이 독창적으로 생각할 수 있는 능력과 문제해결력을 향상시키며, 이는 산업현장에서 가장 높게 요구되는 역량이다. 잘 설계된 실험·실습을 통해 학생들이 실제(authentic)의 과학 문제를 접할 수 있게 해주며, 학제의 본질적 측면을 경험하게 해 줄 수 있다. 또한 학생들이 그룹 안에서 협력하여 일하는 것을 배울 기회를 제공한다. 그러나 실험·실습이 요리책 안내서를 따르는 것으로 전락할 가능성이 있음을 명심하고, 프로젝트 중심 실습이 학생들의 문제해결력, 자기주도성, 팀워크와 학제적 이해 능력을 개발시킬 수 있도록 유의해야 한다. 또한 프로젝트 중심 실습은 학생들이 과학적으로 쓰고, 말하고, 프리젠테이션하는 실무적 기술을 향상시킬 수도 있다. 이러한 프로젝트 중심 실험·실습은 학생들의 독자적인 연구 형태로 추진될 수 있으며, 학생들은 교내 또는 캠퍼스 밖의 연구원들과의 협력을 통해 행한 독자 연구에서 학점을 받을 수 있도록 할 수 있다.

다섯째, 학제적 교과과정 개편을 위해서는 무엇보다 교수들 간의 협력이 요구된다. 학과 간, 전공 간 장벽을 허물고, 공동 교재개발, 팀티칭(team-teaching) 등의 협력을 통해 의미있는 교과과정이 개발·실행되어질 수 있다. 그러나 현재 이루어지는 팀티칭의 경우 이름뿐인 경우가 대부분이다. 실질적인 팀티칭은 단순히 강의시간을 나누어 전담하는 것이 아니라 교과과정 설계 및 개발과정을 공동 참여하고, 참여한 교수들이 모든 강좌에 참여하여 공동 강의를 이루어져야 하는 것이다.

뿐만 아니라 소속 학과 외 다른 학과, 혹은 다른 학부, 학교의 교과과정에 대한 충분한 이해를 바탕으로 학생을 지도할 수 있어야 한다. 아무리 융합학과를 신설한다고 해도 기술발전을 속도를 따라가지는 못할 것이다. 그러므로 개별 학생의 관심과 필요에 맞게 과목을 선택할 수 있는 학사운영의 유연성이 요구되며, 이를 위해 학과 간 교수들, 교수와 교직원들 간의 협력이 증대되어야 할 것이다.

본격적인 융합기술 인력양성은 이제 막 시작되었다고 보아야 하며, 기존의

과학기술인력 정책은 융합기술 인력 양성에 초점을 맞춘 것은 아니었다. 비록 서울대의 차세대 융합기술원, KAIST의 바이오응용공학과, 포항공대 학제 간 연구센터 등이 새로운 시도에 해당한다고 할 수 있으나, 아직 성과에 대해 논 의할만한 시기는 아니다. 특히, 국내 교육 프로그램의 특성상 학제 간 구분이 뚜렷하여 자연스러운 지식 교류를 바탕으로 기술융합 교육 및 연구를 가능케 하는 기반이 미흡하여 융합인력이 양성될 수 토양 자체가 취약한 상태이다. 또한 융합기술 인력에 대한 산업계의 정확한 수요 예측이 이루어지고 있지 않는 상황이라 융합기술 분야에 대한 탐색과 연구기획, 그리고 인력양성 계획 등이 체계적으로 이루어지지 못하고 있다.

이 같은 융합기술 전문 인력 육성의 문제 및 한계들을 해결해 나가기 위해서는 무엇보다 융합기술원 혹은 융합대학원 등의 교육 프로그램을 산학연 연계 를 통한 교육과 연구가 일체화 되는 방향으로 유도할 필요가 있다. 이를 위 한 방법으로 융합 교육 및 연구 활성화를 위한 R&D 과제와 예산을 대폭 확충 하고, 융합기술 R&D과제 선정 시 석사급 이상의 연구전담요원 참여를 필수요 건으로 규정하고 이들의 인건비 지원을 의무화 할 필요가 있다. 일례로, 미국 NSF도 R&D자금의 10%를 인력 양성에 투입할 것을 의무화하는 조항을 담고 있다. 또한 대학원 교육프로그램과 사업체를 연계한 융합기술인력 인턴십 프 로그램 확충할 필요가 있다. 즉, 융합기술 분야 졸업생 혹은 졸업예정자를 인턴 십 프로그램에 참여시킨 후 취업까지 연계한 방법으로 산학연계 융합기술 R&D 과제 참여자 우대 등을 바탕으로 우수한 인력의 유입을 촉진할 수 있다. 이때 정부에서는 인턴십 비용 지원의 조건으로 융합기술개발이나 사업화 관련 연수 프로그램 실행을 유도할 수도 있을 것이다.

융합기술 개발이 고부가가치의 최첨단 성장 동력분야이며, 이러한 융합기술 개발을 위한 인력양성이 필요한 것은 사실이다. 하지만 융합기술 분야를 새로 운 하나의 독립적 학문 분야로 설정하여 새로운 인력양성 체계(예를 들어 새로 운 학과 신설 등)를 어떻게 구축할 것인가를 논의하기에 앞서 우리나라가 급속 하게 발전하는 과학기술 분야에서 경쟁력을 갖출 수 있는 보다 근본적인 방안 을 모색하여야 할 것이다(예. 탈추격형 기술개발(송위진 외 2006)).

미국의 기술혁신근원지에서는 소위 정보통신 분, 생명공학 분, 나노 분이 일어나기 약 십 수 년 전부터 이에 대해 매우 체계적인 준비를 해왔고 이들 학문이 붐을 이루었을 때 그간 축적된 역량으로 이들 과학기술을 선도하였다. 따라서 미래의 기술발전을 선도할 핵심인력의 양성은 무조건적인 새로운 학문분야로의 확대·개척보다는 보다 내실 있는 연구역량 확보와 안정적이고 창의적인 연구 분위기와 연구기반 지원에 초점이 맞춰져야 할 것이다.

창의적이고 개방적인 교육·연구 환경 조성을 위해서는 기존 학문의 틀을 뛰어 넘어 새로운 분야를 개척하고, 탈추격형 기술개발에 기여할 수 있는 인재는 창의적, 개방적 사고방식이 필요하며, 이를 지원할 수 있는 교육·연구 환경 조성에 혁신경영기법이 도입되어야 할 것이다. 또한, 개인 연구보다는 여러 분야 전문가로 이루어진 팀 단위의 연구조직의 중요성이 증대됨에 따라 연구 팀 조직 운영에 대한 새로운 이해가 필요하다.

이와 함께 다분야 기술융합 분야의 학부 및 대학원 교육 혁신이 필요하다. 학부 및 대학원 과정에서 창조성 함양 교육의 중요성이 증대되며, 학생들이 호기심을 갖고 연구주제를 스스로 찾고 직접 연구를 수행할 수 있는 능력제고가 요구된다. 기존 학과 중심의 교육과정 개편하여 다분야 학과 선택이 가능한 학제적 교육 기회의 확대를 고려할 수 있을 것이다. 동일 학과, 동일 지도 교수가 아닌 서로 다른 학과, 교수와 일하는 대학원생들 간의 다분야 기술융합 연구팀 구성을 통한 연구 프로젝트 수행을 추진하도록 하고 있다. 특히 다분야 기초과 학과 공학의 융합의 확대가 예상됨에 따라 기초과학과 공학의 융합을 위한 환경조성이 요구된다.

기술융합 인력 활용을 위한 산업수요 창출 및 연구기관 설립할 필요성도 제기되고 있다. 대학과 대학원에서 양성된 기술융합 전문 인력이 진출할 수 있는 신기술 산업의 지원 확대 및 세계 수준의 첨단기술융합 분야의 종합연구센터 설립을 고려할 수 있다. 빠르게 변화하는 기술융합 분야의 특성을 고려한 핵심 인력의 재교육 활성화 정책이 수립되어야 할 것이다.

세계 융합기술 관련 연구동향을 살펴보면, 융합기술 연구는 기초·원천기술 연구 단계에 집중되고 있으며 광범위하고 본격적인 산업화까지는 어느 정도

시간이 걸릴 전망이다. 이에 따라 우리나라도 산학연의 역할 관계를 구별하여 정책을 수립하고, 정부에서는 학문 영역에서의 자연스러운 융합 현상을 산업적 기회로 이어나갈 수 있는 '길을 터주는 방향'으로의 접근이 이루어져야 할 것으로 보인다. 아직까지는 산업계의 관심과 학계의 관심이 많이 다른 상황이어서 융합 연구에 대해 목표 지향적으로 정책 드라이브를 거는 것은 현 단계에서는 정책효과성이 높지 않을 것으로 판단되기 때문이다.

법·제도적인 차원에서 볼 때, 한국의 경우 각 부처별로 다양한 융합기술 관련 연구개발사업이 시행되고 있으나 융합기술개발에 관한 전문 평가 및 관리 기관이 없고 통일된 비전의 부재로 인해 자원과 목표가 분산되어 있는 상황이다. 또한 타 부처의 융합연구개발 지원현황을 파악할 수 있는 기회가 적어 중북투자가능성이 높으며 국가 차원의 융합기술 로드맵이 확고하지 않은 상태여서 융합기술 연구개발의 연계성 약화 및 전략적 육성 분야 선정의 어려움으로 인해 향후 경제적 가치 실현에 어려움이 있을 가능성이 있다. 따라서 융합기술 관련 부처는 전략적 융합기술 분야 선정 및 관련 전문 인력 육성을 위한 정책 수립 시 기술의 융복합화 현상의 사회적 수요, 융합기술의 산업화 메커니즘이 기존산업과 신산업에서 어떻게 일어나는가, 융합에 대한 선진국의 접근 방법과 정책은 무엇인가 등에 대한 지속적인 모니터링을 통해 재원, 인력 등 정부 자원의 배분의 효율성을 제고할 필요가 있다.

한편, 산업차원에서 보면 BIT를 비롯한 기술의 융합화가 미래 핵심적인 기술발전 트렌드로 자리잡아 가면서 기초·원천 성격의 융합기술을 개발한 기업이 First Mover Advantage(선발자 이점)를 누릴 가능성이 보다 증대할 것으로 보인다. 즉, 향후 고객 니즈의 구체화 및 명확화, 기술/제품의 완성도 증대 등으로 최초 시장에 진입한 선발 제품이 겪는 시행착오와 실패 가능성이 크게 줄어들면서 Fast Follower(빠른 추종자) 전략의 유효성이 크게 약화될 가능성이 높다. 또한 융합기술의 경우 다양한 기업들과 이해관계가 얽혀 있어 독자적인 시장 개척에 대한 어려움이 증가할 것으로 보여, 새로운 융합기술의 상용화를 위해서는 전후방 관련 기업과의 적절한 협력 관계 형성이 무엇보다 중요할 것으로 보인다. 특히, IT와 BT의 융합 분야 등 Interdisciplinary(둘 이상의 전

문 분야를 융합) 분야의 전문 인력 육성 및 확보 여부가 기업 경쟁력에 결정적 요소로 작용할 것으로 전망된다.

향후 우리나라가 'IT 강국' 기반 위에 융합기술 강국으로 도약하기 위한 정책방향을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 지금도 물론 강조되고 있지만 성공적인 융합기술 연구개발 및 산업화를 위해서는 무엇보다도 산·학·연 협력 네트워크 강화와 이를 통한 관련 주체들의 학습역량 강화가 중요하다. 둘째, 성공적인 기술융합과 기술혁신을 위해서는 다학제 간 기술을 이해하고 통합하고 혁신을 주도하고 관리할 수 있는 다학제 간 프로젝트 리더들이 준비되어야 한다. 셋째, 우리나라의 경직적인 연구환경이 창의적이고 개방적인 환경으로 전환하기 위한 연구문화의 혁신이 필요하다. 넷째, 학제 간 벽을 뛰어넘는 대학 및 대학원 교육의 혁신을 통해 제대로 된 기술융합 전문가들을 육성해야 한다.



## SUMMARY

**Strategies for the Development of  
Converging Technology Scientists and Engineers  
- Focusing on Biotechnology-based  
Converging Technologies -**

Lee Soo-Young, Ha Teajung, Sung Yangkyung

Converging technologies refers to the synergistic combination of different science and technology areas including nano-bio-info-congo. Converging technologies are the results of not just a physical combination but a chemical combination of element technologies, which create unique characteristics that are different from the original elements. In spite of the increasing importance of converging technologies in enhancing nation's competitiveness, it is rare to find studies on the development of emerging scientists, engineers and workforce in converging technologies. To this end, the purpose of this report is to provide strategies to develop scientists and engineers in converging technologies that will meet the demands of new R&D trends and industrial needs.

Through this report, we tried to answer the following questions; What are the implications of unifying sciences and converging technologies? How will scientific knowledge and current technologies evolve and what emerging development are envisioned? What are the most pressing education issues that require immediate attention? How can we develop a transforming national strategy to enhance individual capabilities and R&D

competitiveness?

In order to meet the challenges of converging technologies, most of all, science education at all levels needs radical transformation from elementary school through post-doctoral training. Furthermore, new forms of educational institutions will be necessary. The creative development of converging technologies requires people who understand multiple fields in depth and can intelligently work to integrate them. The current educational system that is based on separate scientific disciplines and fields of engineering can not provide adequate learning environments for the future scientists and engineers of converging technologies.

The followings are recommendations to enhance the development of scientists and engineers of converging technologies.

First, scientists and engineers at every career level should gain in-depth knowledge and skills in one scientific discipline or a field of engineering and in neighboring disciplines to broaden their understanding and perspectives. Scientists and engineers should have opportunities to collaborate and cooperate with colleagues in diverse fields to share their understandings and learn from each other. Scientists and engineers of converging technologies should be risk-takers who are not afraid of trying new approaches, and should have creative and open mind to go beyond the conventional understandings.

Second, in order to educate scientists and engineers of converging technologies and to train the technical labor force for the future, the current discipline-based curricular and departmental organizations of schools at all levels should call for a major reform. The walls between disciplines and departments need to be removed to promote a better flow of knowledge, skills and people.

Third, government should establish a national research and development priority on converging technologies and provide financial supports for

scientists and engineers of converging technologies. In particular, government should provide support in establishing infrastructure for converging technologies and coordinating the work of various research institutions and universities, which can enhance multidisciplinary scientific and engineering efforts.

Last but not least, a new cultural norm should be accepted throughout the professional communities of scientists and engineers. Opportunities of working across disciplines and interdisciplinary training and communication need to be further encouraged.



## <부 록>

<부록 1> 바이오 융합기술 전문인력 양성에 관한 전문가  
설문조사지



## &lt;부록 1&gt; 바이오 융합기술 전문인력 양성에 관한 전문가 설문조사지

**바이오 융합기술 전문 인력 양성에 관한 전문가 설문조사**ID 

안녕하십니까?

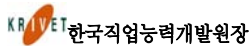
한국직업능력개발원은 국가의 인적자원 개발 정책과 전 국민의 평생 직업능력 개발을 지원하는 연구와 사업을 수행하기 위해 설립된 국무총리실 산하 정부출연 연구기관입니다.

국가경쟁력제고와 선진국가로 진입하기 위해서 과학기술분야의 고급인력의 확보가 중요한 국가 정책적 과제로 대두되고 있습니다. 최근 급변하는 기술혁신의 추세는 학문간, 기술간 융합을 촉진시키고 있으며, 이러한 기술융합의 패러다임을 주도하는 연구개발 역량이 국가경쟁력 제고에 큰 영향을 미치고 있습니다. 특히 우리나라가 융합기술 분야에서 앞서 나가기 위해서는 무엇보다 융합기술 전문 인력 양성이 가장 중요하고도 시급한 문제로 지적되고 있습니다.

이에 한국직업능력개발원은 전통적인 학과중심 교육의 한계를 벗어나 새로운 기술융합 패러다임에 부합되는 융합기술 전문 인력 양성방안에 대한 전문가 설문조사를 실시하고 있습니다. 설문을 통해 융합기술 연구동향, 발전전망, 인력수요, 융합기술 전문 인력이 갖춰야 할 역량, 인력양성의 어려움 및 문제점, 인력양성 방안에 대한 전문가 의견을 듣고자 합니다. 바쁘시겠지만 전문가 여러분의 견해가 우리나라 과학기술분야 고급인력 양성과 활용을 위한 중요한 정책 수립에 귀중한 자료로 활용될 수 있도록 협조를 부탁드립니다.

귀하의 응답은 익명으로 처리될 것이며, 연구이외에 어떤 용도로도 쓰이지 않을 것입니다. 설문지 응답을 위하여 귀중한 시간을 할애하여 주셔서 진심으로 감사드립니다.

2008년 10월



※ 본 조사와 관련하여 문의사항이 있으시면 아래로 연락하여 주시기 바랍니다.

- ▶ 조사 대상 : 바이오 융합기술관련 학과 및 업체 전문가
- ▶ 조사 사례 : 선착순 150명 휴대폰통화상품권 3만원권 증정
- ▶ 조사대행기관 : (주)아이알씨
- ▶ 문의(회신)처 : 김서균 팀장, sgkim@irc.ne.kr(☎)02-761-8720(Fax)02-783-0110, 02-6008~2144

- 본 조사의 결과는 통계법 제13조에 의거하여 비밀이 보장되며, 설문에 대한 모든 응답과 개인적인 사항은 철저히 비밀과 무기명으로 처리되고 통계분석 목적 이외에는 절대 사용되지 않습니다.
- 작성자의 경우 회신내용 확인을 위한 연락시 필요한 사항이며, 외부에 공개되지 않습니다.

응답자 관 련	■ 소속 기업명(기관명)		■ 소속 부서	
	■ 작성자 성명		■ 직통 전화번호	
	■ 작성자 e-mail			

**SQ1. 현재 귀하께서 현재 일하고 계신 기관의 유형은?**

대학	① 4년제 대학
연구원	② 정부출연연구소      ③ 대학연구소   ④ 민간기업체연구소
기업	⑤ 대기업(300인 이상)    ⑥ 중소기업    ⑦ 벤처기업      ⑧ 자영업
기타	⑨ 기타[ _____ ]

**SQ2. 직책/직급 :**


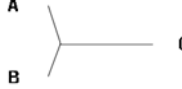
대학	① 조교수   ② 부교수   ③ 정교수    ④ 연구교수   ⑤ 포스트닥
연구원	⑥ 연구조원   ⑦ 연구원   ⑧ 선임연구원   ⑨ 책임연구원   ⑩ 연구책임자
기업	⑪ 팀원    ⑫ 팀장    ⑬ 대리    ⑭ 과장    ⑮ 차장    ⑯ 부장    ⑰ 이사
	⑱ 기타[ _____ ]



## 융합기술의 개념

- 다분야 융합기술은 2개 이상의 기술요소가 유기적으로 결합하여 기존의 기술이 갖지 않는 새로운 기능을 발휘하는 기술혁신의 한 현상으로 정의됨(fusion of technology, Kodama, 1991).
- 융합기술은 미래 경제·사회적 이슈 해결을 위해 다양한 학제 및 이종기술 간의 결합을 통해 확보되는 혁신기술을 말함(국가융합기술발전 기본방침, 2007)
- 융합기술은 서로 다른 분야의 공동연구인 『복수학제 연구』보다 진일보한 개념으로, 공통의 목표를 해결하기 위해 성질이 다른 기술들 간의 화학적 결합을 뜻하는 『학제 간 연구』를 통해 도출

<표 1> 복수학제 연구와 학제 간 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
학제 간 연구			문제해결과정에서 새로운 학문(기술)분야 C가 탄생

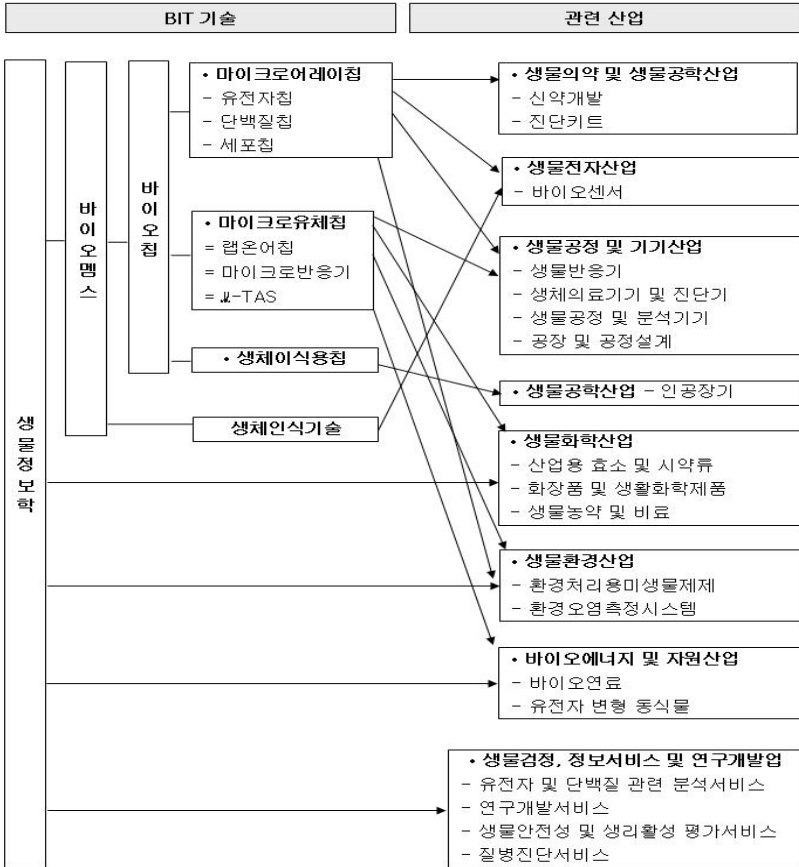
- 융합기술은 미래사회의 수요와 경제 및 시장의 원리에 따라 개별 요소기술들의 물리적 결합에 의한 '기술복합화'보다는 화학적 결합에 의한 '기술융합화'에 의해 자발적으로 발생

<표 2> 기술복합화와 기술융합화의 비교

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

**BIT 융합기술의 범위**

- 본 연구에서는 특히 생물학 중심의 융합기술 전문 인력 양성에 대한 전문가의 견을 수렴하고자 함
- 아래 [그림 1]은 BIT 융합기술 분야와 관련 산업을 간략히 요약하여 나타낸 것임



**1. 위 [그림 1]의 BIT 융합기술의 분류가 적절하다고 생각하십니까?**

- ① 예 → Part1. 1로 가시오      ② 아니오 → 1-1로 가시오

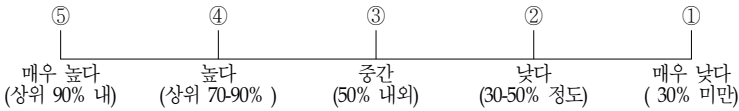
**1-1. 추가 혹은 수정되어야 할 사항이 있으면 적어주십시오.**

**1. 바이오 융합기술 연구 및 산업 전반**

**1. 귀하가 바이오 융합기술과 관련하여 귀하가 연구하고 계신 혹은 전공하신 분야는 무엇입니까? 주요 분야를 1개만 선택해 주십시오. Q1**

- ① 생물정보학 ② 바이오멤스 ③ 바이오칩 - 마이크로어레이
- ④ 바이오칩 - 마이크로유체기술 ⑤ 생체이식용칩 ⑥ 생체인식기술-물리적 생체인식
- ⑦ 생체인식기술-생리적 생체인식 ⑧ 기타( 예: 바이오나노 소재 개발 등)[\_\_\_\_\_]
- ⑨ 해당 사항 없음 → 조사 종료 !

**2. 위에서 답하신 우리나라 바이오 융합기술 분야의 국제경쟁력은 어느 정도라고 생각하십니까? Q2**



**3. 다음은 우리나라 바이오 융합기술 발전의 저해요인으로 지적되는 사항들입니다. 각 항목이 어느 정도 심각한 저해요인이라고 생각하십니까?**

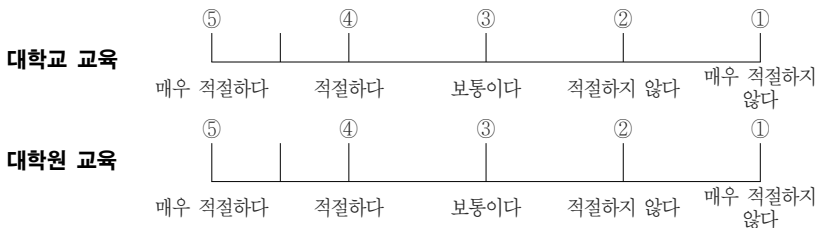
설 문 문 항	매우 심각한 요인이다	심각한 요인이다	그저 그렇다	별로 심각한 요인이 아니다	전혀 심각한 요인이 아니다
① 융합기술 분야 연구비 부족	5	4	3	2	1
② 융합기술 프로젝트 연구책임자급 전문 인력 부족	5	4	3	2	1
③ 융합기술 프로젝트 수행을 위한 연구원들의 융합기술 전문성 부족	5	4	3	2	1
④ 융합기술 프로젝트 수행을 위한 서로 다른 분야 전공자들과의 공동프로젝트 수행의 어려움(커뮤니케이션의 어려움 등)	5	4	3	2	1
⑤ 정부의 관심 및 지원 부족	5	4	3	2	1
⑥ 바이오 융합기술관련 산업의 취약성	5	4	3	2	1
⑦ 바이오 융합기술을 상업화할 수 있는 산업체의 인식 및 의지 부족	5	4	3	2	1
⑧ 전통적인 학문간 대립, 협력의 어려움	5	4	3	2	1
⑨ 대학과 산업계 간의 협력 부재	5	4	3	2	1
⑩ 특허, 자격 등 공인 인증 체제의 부재	5	4	3	2	1
⑪ 융합기술 관련 협의체(협회, 학회 등) 부족	5	4	3	2	1
⑫ 기타[_____]	5	4	3	2	1

## II. 바이오 융합기술 인력 양성

4. 아래의 각 교육과정 혹은 학습경험을 통해 귀하가 바이오 융합관련 전문성을 습득한 비율은 어느 정도이며(해당사항이 없을 경우 0%로 기입), 각 과정이나 학습 및 연구 경험의 교육적 효과에 대해 만족하시는 정도를 제시하여 주십시오.

	기여비율 (%) :합 100%	교육효과 만족도					
		매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족	해당사항없음
① 융합학과 전공교과 이수를 통해 융합분야 학위 취득 ▶ 전공학과명: [ _____ ] ▶ 졸업장 명시 학위명: [ _____ ]		5	4	3	2	1	0
② 전공외 부전공 학과 교과 이수를 통해 ▶ 부전공: [ _____ ]		5	4	3	2	1	0
③ 협동과정 교과이수를 통해 ▶ 협동과정 이름: [ _____ ]		5	4	3	2	1	0
④ 연구주제에 필요한 개인별 맞춤형 교과이수를 통해(지도교수와의 협의를 통해 필요한 교과를 선택)		5	4	3	2	1	0
⑤ 포스트 닥 단계 교육 및 연구를 통해		5	4	3	2	1	0
⑥ 타 전공 연구자와의 공동프로젝트 수행 경험을 통해		5	4	3	2	1	0
⑦ 워크숍, 학술대회, mini-course 등 정규학위과정 외 교육·학습을 통해		5	4	3	2	1	0
⑧ 관련 학회, 소모임 등을 통해		5	4	3	2	1	0
⑨ 개인 독학으로		5	4	3	2	1	0
⑩ 기타 1(구체적으로 기술) [ _____ ]		5	4	3	2	1	0
⑪ 기타 2(구체적으로 기술) [ _____ ]		5	4	3	2	1	0
⑫ 기타 3(구체적으로 기술) [ _____ ]		5	4	3	2	1	0
합계							

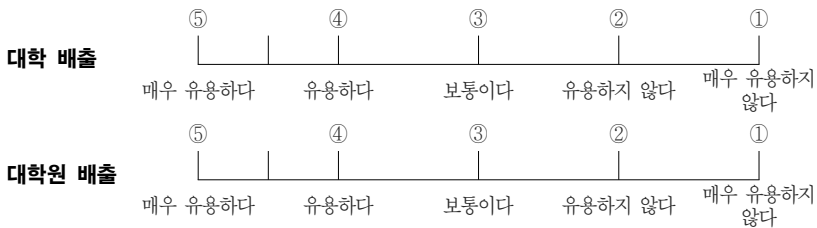
5. 현재의 대학교육과 대학원 교육이 바이오 융합기술 연구 및 산업에 필요한 인력을 양성하는데 어느 정도 적절하다고 생각하십니까?



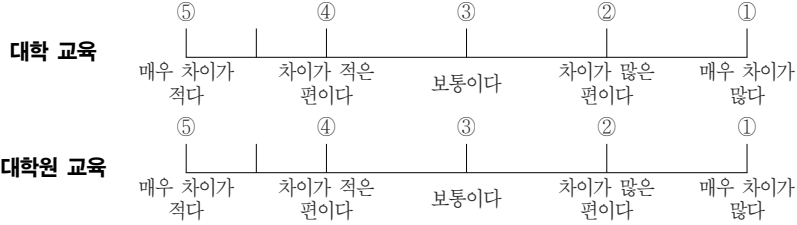
**6. 현재 대학과 대학원에서 바이오 융합기술 전문 인력을 양성함에 있어서 다음과 같은 요인들이 어느 정도 장애요인이라고 생각하십니까? 대학과 대학원 교육별로 해당되는 곳에 √ 표시해 주십시오.**

설문문항	대학교육					대학원교육				
	매우 심각한 요인이다	심각한 요인이다	그저 그렇다	별로 심각한 요인이 아니다	전혀 심각한 요인이 아니다	매우 심각한 요인이다	심각한 요인이다	그저 그렇다	별로 심각한 요인이 아니다	전혀 심각한 요인이 아니다
① 융합기술 학습을 위한 학생들의 기초학문 학습능력 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
② 융합기술 학습을 위한 학생들의 공동프로젝트 수행능력 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
③ 융합기술 교육에 대한 학생들의 관심과 동기 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
④ 학생들의 학문별 학업 수준이 다양하여 수업의 수준을 맞추기 어려움	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑤ 융합기술 전공 교과를 가르칠 교수 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑥ 융합기술 교육을 위한 새로운 교육과정 개설 혹은 개편의 어려움	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑦ 융합기술 전공교과 운영 교수에 대한 인센티브 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑧ 융합기술 개념과 범위가 너무 광범위하고 다양함	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑨ 전통 학과 간 폐쇄성과 경쟁	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑩ 학교와 학과의 융합기술 교육의 중요성 인식 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑪ 융합기술학과 운영을 위한 정부의 지원 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑫ 융합기술학과 운영을 위한 해당 대학의 인식 부족	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑬ 융합기술학과에 대한 산업체의 요구 파악 미흡	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
⑭ 기타 [ _____ ]	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1

**7. 귀하는 우리나라의 대학과 대학원에서 배출한 인력의 능력이 바이오 융합기술 연구 및 산업발전에 어느 정도 유용하다고 생각하십니까?**



**8. 귀하는 바이오 융합분야의 대학과 대학원 교육과 관련 산업 현장의 직무 사이에 차이가 얼마나 있다고 생각하십니까?**



**9. 기술이 발전함에 따라 새로운 융합기술이 계속 만들어 지고 있습니다. 전통적인 학문 분야와 달리 특히 융합기술 전문 인력이 갖추어야 할 역량의 중요도를 기입하여 주십시오.**

항 목	중요도				
	매우 중요	약간 중요	보통	별로 중요하지 않음	전혀 중요하지 않음
① 기초 개별 학문분야의 지식과 이해	5	4	3	2	1
② 해당 융합기술 학문분야의 지식과 이해	5	4	3	2	1
③ 다양한 분야의 사람들과 함께 팀 프로젝트 수행 능력	5	4	3	2	1
④ 자기 주도적으로 학습할 수 있는 능력	5	4	3	2	1
⑤ 과학, 공학지식의 응용능력	5	4	3	2	1
⑥ 창의력, 분석적, 비판적 사고력	5	4	3	2	1
⑦ 문제해결력(문제를 정의하고 해결하는 능력)	5	4	3	2	1
⑧ 쓰기, 발표력 등 의사소통능력	5	4	3	2	1
⑨ 팀 프로젝트 시 다른 사람과 갈등 조정 능력	5	4	3	2	1
⑩ 프로젝트 관리능력	5	4	3	2	1
⑪ 융합기술 관련 정보처리, s/w 사용법	5	4	3	2	1
⑫ 융합기술 관련 연구프로젝트 참여 경험	5	4	3	2	1
⑬ 외국어 쓰기, 말하기, 읽기, 듣기 능력	5	4	3	2	1
⑭ 융합기술에 관한 트렌드 분석 능력	5	4	3	2	1
⑮ 기타(구체적으로 기술)[_____]	5	4	3	2	1

**10. 위의 역량을 갖춘 전문 인력을 양성하기 위해 가장 적합한 방법은 무엇이라고 생각하십니까?**

**11. 현재 우리나라 대학의 바이오 융합기술 관련 교육 체계에 대해 다음사항들에 의견을 제시하여 주십시오.**

설 문 문 항	매우 적절하다	적절 한 편이다	보통 이다	적 절 하 지 않 은 편 이다	전 혀 적 절 하 지 않 다
① 융합기술 연구 및 교육에 필요한 학생선발체도의 적절성	5	4	3	2	1
② 융합기술 연구 및 교육과 관련된 학교의 특성화	5	4	3	2	1
③ 융합기술 연구 및 교육과 관련된 프로그램(학과)의 특성화	5	4	3	2	1
④ 융합기술 연구 및 교육을 위한 관련 학과 간 연계체제	5	4	3	2	1
⑤ 융합기술 연구 및 교육을 위한 교육과정의 다양성과 특성화	5	4	3	2	1
⑥ 산학연 간의 협력체제 구축 및 운영 정도	5	4	3	2	1
⑦ 융합기술 연구 및 교육용 실험실습 설비 및 기자재 확보 정도	5	4	3	2	1
⑧ 융합기술 연구 및 교육용 실험실습 설비 및 기자재 활용 정도	5	4	3	2	1
⑨ 융합기술 연구 및 교육 교수들에 대한 지원	5	4	3	2	1
⑩ 국내 타학교와의 연계(학점교류인정, 공동교과목 개발, 공동실험 실습실 운영 등)정도	5	4	3	2	1
⑪ 융합기술 연구 및 교육과 관련된 선진국 주요학교 및 연구소와의 교류정도	5	4	3	2	1
⑫ 융합기술 학과 재학생에 대한 취업 지도	5	4	3	2	1
⑬ 융합기술 학과 재학생에 대한 진학 지도	5	4	3	2	1
⑭ 융합기술 학과 졸업생에 대한 재교육 실시	5	4	3	2	1
⑯ 기타(구체적으로 기술)[_____]	5	4	3	2	1

**12. 다음은 바이오 융합기술 전문 인력 양성을 위해 제안된 모형입니다. 각 모형이 어느 정도 효과적인 것으로 생각하십니까?**

	매우 효과 적 이 다	효 과 적 이 다	보 통 이 다	효 과 적 이 지 않 다	전 혀 효 과 적 이 지 않 다	효과적이 지 않 다 고 응 답 하 신 경 우 이 유 를 주 세 요.
① 학부 수준의 융합기술 전공학과 신설	5	4	3	2	1	
② 대학원 수준의 융합기술 전공학과 신설	5	4	3	2	1	
③ 융합기술 관련 협동 학위과정 신설	5	4	3	2	1	
④ 융합기술 연구프로젝트 참여를 통한 교육	5	4	3	2	1	
⑤ 전통 학문분야 학위 취득 후 재교육	5	4	3	2	1	
⑥ 융합기술 관련 전문가 교육과정 운영	5	4	3	2	1	
⑦ 융합기술 자격취득 과정 신설	5	4	3	2	1	
⑧ 기타(구체적으로 기술)[_____]	5	4	3	2	1	



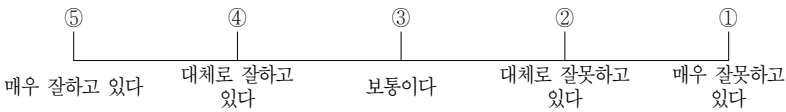


**A3. 융합학과 학사 운영에 있어 문제점 및 애로사항은 무엇입니까? 각각의 측면별로 적어주십시오.**

1) 교육과정 측면	
2) 교육내용 측면	
3) 학사운영 측면	
4) 연구개발 측면	
5) 타학과(교수)와의 협력 측면	
6) 학교차원의 지원 측면	
7) 정부의 지원 측면	
8) 산업체와의 협력/지원 측면	

**IV. 기업 및 연구원 대상 질문**

**B1. 바이오 융합분야 신입 연구원의 실무적응능력은 어느 정도입니까?**



**B1\_1.(B1에서 ②또는 ① ‘잘못하고 있는 편’ 으로 응답한 경우) 실무에 필요로 하는 인재를 확보하기 위해 귀사가 채택하고 있는(또는 고려하고 있는) 대안은 무엇입니까? QB1\_1**

- ① 신입연구원에 대한 사내 교육을 통해 기업 혹은 연구소에서 필요한 인재로 육성
- ② 부족 분야 학습을 위한 추가 교육(대학원 등) 지원
- ③ 신입연구원 대신 경력자를 채용
- ④ 고학력자를 채용
- ⑤ 해외 인력 채용
- ⑥ 기타[\_\_\_\_\_]

**B2. 신입 연구원이 실무에 적응하려면 별도의 교육이 필요합니까?**

- ① 예→B2-1로 가시오!      ② 아니오→일반사항으로 가시오!

**B2-1. 만약 별도의 교육이 필요하다면 어떤 내용의 교육이 필요합니까?**

**B2-2. 만약 별도의 교육이 필요하다면, 어느 정도의 기간이 필요합니까?**

[\_\_\_\_\_]일



## 참고문헌

- 과학기술부·전국여성과학기술인지원센터(2007). 『여성과학기술인력 실태조사 보고서』, 과학기술정책연구원.
- 김재성(2005). 「생체인식기술, 현재와 미래 그리고 우리의 전략」, 『전자공학회지』, 제32권 제11호, 1372쪽.
- 김재성·문기영·배영훈(2005. 3.). 「Special Report-Biometrics」, 『TTA저널』, 제98호.
- 김준모(2007). 『융합연구 활성화를 위한 교육 혁신 및 제도적 개선 방안 - 이공계 대학을 중심으로』.
- 김현철(2006). 『국가연구개발사업의 주요 융합기술별 조사연구』, 한국과학기술기획평가원.
- 박기범·황정태(2007. 11.). 『융합 연구의 형성과 발전 과정의 고찰을 통한 국내 연구 현황 분석』.
- 생명공학정책연구센터(2005. 7.). 『단백질칩』.
- \_\_\_\_\_ (2007). 『생명공학 시장현황 및 전망 분석 보고서』.
- \_\_\_\_\_ (2008. 3.). 『2008년 생명공학 주요 통계자료 모음』.
- 생물학연구정보센터(2006). 『2006 한국의 생물정보학 백서』.
- 서울시정개발연구원(2007. 5.). 『서울시 산업분류 개편방안 - 첨단기술제조업을 중심으로』.
- 손종구·김재우·박창결(2004). 『Bio-MEMS, 국내외 동향분석을 통한 시장 기회 분석』, 2004년 차세대 유망아이템 분석보고서, KISTI.
- 이공래(2006). 「다분야 기술융합의 이론적 이해와 정책적 시사점」, 『과학기술정책』, 제16권 제2호.
- 정부부처 합동(2007). 『국가융합기술기본방침』.
- 정재용 외(2008). 『새로운 기술경제패러다임에 대응하는 융합기술 혁신정책』.

- 연구』, 지식경제부.
- 정진화 외(2004). 『신기술 융합화에 따른 산업패러다임 변화와 우리의 대응』, 산업연구원.
- 하태정(2006). 「미래 기술 트렌드의 핵심: 컨버전스」, 『과학기술정책』, 제16권 제2호.
- 하태정 외(2007). 『NBIT 컨버전스 연구개발조직의 발전방안 연구』, 정책연구 2007-04, 과학기술정책연구원.
- 한국산업기술재단(2007. 4.). 「5차 산업기술로드맵 바이오융합분야」.
- 한국행정학회(2007. 8.). 「융합연구 활성화를 위한 교육혁신 및 제도적 개선방안 - 이공계 대학을 중심으로」, 국가과학기술자문회의.
- 황규희(2007). 『융합기술 확산과 인력개발전략 기초연구』, 한국직업능력개발원.
- LG경제연구원(2005. 9.). 「국내 Bio-IT 산업의 현황과 과제」.
- Akins, D. L.(2002). "Mind Over Matter in an Era of Convergent Technologies", In Roco, M. C. & Bainbridge, W. S.(eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 410-416.
- Allenby, B.(2001). "Earth Systems Engineering and Management", *IEEE Technology and Society*, Vol.19 No.4, pp. 10-21.
- Baldwin, R. G. & Baumann, M. J.(2006). "Options for Change: A Flexible Vehicle for Curriculum Evolution and Reform", *Innovative Higher Education*, Vol.30 No.2, pp. 89-98.
- Batterson, J. G. & Pope, A. T.(2002). "Converging Technologies : A K-12 Education Vision", In Roco, M. C. & Bainbridge, W. S.(eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 367-373.
- BBC(2007). *UK, Mouse Brain Simulated on Computer*, 27, Apr. 2007.
- Boyle, J. A.(2004). "Bioinformatics in Undergraduate Education",

- Biochemistry and Molecular Biology Education*, Vol.32 No.4, pp. 236-238.
- Coger, R. N. & Silva, H. V.(1999). "An Integrated Approach to Teaching Biotechnology and Bioengineering to an Interdisciplinary Audience", *Int. J. Engng Ed*, Vol.15 No.4, pp. 256-264.
- Cohen, A. H.(2002). "Converging Technology and Education for Improving Human Performance", In Roco, M. C. & Bainbridge, W. S.(eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 412-416.
- Dittrich, P. S. & Manz, A.(2006). "Nature Rev", *Drug Discov*. Vol.5.
- El-Ali, J., Sorger, P. K. & Jensen, K. F.(2006). "Cells on Chips", *Nature*, Vol.442.
- Foley, E. T. & Hersam, M. C.(2006). "Assessing the Need for Nanotechnology Education Reform in the United States", *Nanotechnology Law & Business*. Vol.3 No.4, pp. 467-484.
- Galison, P.(1997). *Image and Logic*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Gorman, M. E.(2002). "Combining the Social and the Nanotech: A Model for Converging Technologies", In Roco, M. C. & Bainbridge, W. S.(eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 367-373.
- \_\_\_\_\_ (2002). "Expanding the Trading Zones for Convergent Technologies", In Roco, M. C. & Bainbridge, W. S.(eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 424-428.
- \_\_\_\_\_ (2004). "Collaboration on Convergent Technologies: Education and Practice", *Ann N Y Acad. Sci*. Vol.1,013, pp. 25-37.

- Gorman, M. E & Groves, J.(2005). "Collaborating on Convergent echnologies: Education and Practice", In Bainbridge, W. S. & Roco, M. C.(eds.), *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations*, pp. 71-87, Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Hack, C. & Kendall, G.(2005). "Bioinformatics: Current Practice and Future Challenges for Life Science Education", *Biochemistry and Molecular Biology Education*, Vol.33 No.2, pp. 251-252.
- Hogan, Jenny(2006). "A Little Goes a Long Way", *Nature*, Vol.442 No.27, July 2006.
- Howardt, D. R., Miskowski, J. A., Grunwald, S. K. & Abler, M. L.(2007). "Assessment of a Bioinformatics across Life Science Curricula Initiative", *Biochemistry and Molecular Biology Education*, Vol.35 No.1, pp. 16-23.
- Huxley, M. P.(2006). "Thoughts about the Twenty-First Century Biotechnology Workforce", *Agricultural Biotechnology: Economic Growth Through New Products, Partnerships and Workforce Development*.
- Kodama, F.(1991). *Analyzing Japanese High Technologies: The Techno Paradigm Shift*, London: Printer Publishers.
- Koehler, G. & Koehler-Jones, V.(2006). "California's Biotechnology Workforce Training Needs for the 21st Century", In *Applied Biological Technologies Initiative of the California Community Colleges Economic and Workforce Development Program*, Report Prepared for Mary Pat Huxley, State Director, Sacramento: California Community College Chancellor's Office.
- Miskowski, J. A., Howard, D. R., Abler, M. L. & Grunwald, S. K.(2007). "Design and Implementation of an Interdepartmental Bioinformatics Program across Life Science Curricula",

- Biochemistry and Molecular Biology Education*, Vol.35 No.1, pp. 9-15.
- Nathan, Emily(2007). "Silicon Brains", *Technology Review*, Vol.14, MIT, Jul 2007.
- Pennisi, Elizabeth(2005). "How Will Big Pictures Emerge From a Sea of Biological Data?", *Science*, Vol.309 No.5,731, 2005.
- Ratner, D. M. et al.(2005). *Chem. Commun.*
- Roco, M. & Bainbridge, W.(2002). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, US National Science Foundation.
- Rosenberg, N.(1982). *Inside the Black Box - Technology and Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Schiff, N. D. et al.(2007). "Behavioural Improvements with Thalamic Stimulation after Severe Traumatic Brain Injury", *Nature*, Vol.448 No.2, August 2007.
- Silbergliitt, R. et al.(2006). *The Global Technology 2020, In-depth Analysis*, RAND.
- Singer, Emily(2007). "Silicon Brains, Computer Chip Designed to Mimic How the Brain Works Could Shed Light on Our Cognitive Abilities", *Technology Review*, Vol.14, MIT, Jul 2007.
- Singh, K. A.(2007). *Nanotechnology: Skills and Training Survey*, Bedfordshire, UK: Institute of Nanotechnology.
- Sivaprakasam, M., Liu, W., Humayun, M. S. & Weiland, J. D.(2005). "A Variable Range Bi-Phasic Current Stimulus Driver Circuitry for an Implantable Retinal Prosthetic Device", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol.40 No.3, Mar. 2005.
- Tolles, W.(2002). "Breadth, Depth and Academic Nano-Niches", In Roco,

M. C. & Bainbridge, W. S.(eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, pp. 373-379.

Whitesides, G. M.(2006). "The Origins and the Future of Microfluidics", *Nature*, Vol.442.

<http://www.meti.go.jp> (일본 경제산업성)

<http://www.webofscience.com>



■ 저자 약력

- 이수영
  - 한국직업능력개발원 부연구위원
- 하태정
  - 과학기술정책연구원 부연구위원
- 성양경
  - 한국직업능력개발원 연구원

융합기술 전문인력 양성 방안 연구:  
BT중심 융합기술을 중심으로

- |           |  |
|-----------|--|
| · 발행연월일   | 2008년 11월 29일 인쇄<br>2008년 11월 30일 발행   |
| · 발행인     | 권대봉  |
| · 발행처     | 한국직업능력개발원<br>135-949, 서울특별시 강남구 청담2동 15-1<br>홈페이지: <a href="http://www.krivet.re.kr">http://www.krivet.re.kr</a><br>전화: (02)3485-5000, 5100<br>팩스: (02)3485-5200 |
| · 인쇄처     | 선우정보인쇄 (02)2272-6105, 6106   |
| · 등록일자    | 1998년 6월 11일   |
| · 등록번호    | 제16-1681호  |
| · I S B N | 978-89-6355-005-3 93370  |