

# 바이오인터페이스 기술의 현재와 미래

<https://doi.org/10.5757/vacmac.5.1.18>

김문일

나노, 마이크로 크기의 생체분자, 세포, 조직과 같은 우리 몸의 구성물질들을 다양한 유무기 나노소재 또는 소자에 응용하여 생체 신호를 정성, 정량적으로 측정, 분석 및 제어하는 융복합 기술이 바이오인터페이스 (Biointerface) 기술이다.

## 1. 서론

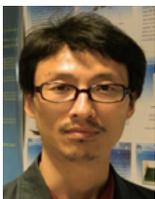
바이오인터페이스 기술은 나노바이오 원천기술 확보를 통한 지속가능 신산업 창출과 나노바이오 기술을 통한 질병의 조기 진단 및 난치병 극복을 통해 보다 건강하고 쾌적한 삶을 구현한다는 비전을 가지고 있다. 이 기술은 NT와 BT 분야의 융합기술인 나노바이오 융합의료 기술의 핵심 기술로서 질병 진단 및 치료 분야에서 나노기술을 적용함으로써 현재 바이오 및 의료 기술이 가지고 있는 기술적 한계를 극복하는데 꼭 필요한 대표적 기술이라고 할 수 있다. 바이오 인터페이스 기술이 적극적으로 응용되고 있는 현 바이오 의료기술 분야는 크게 진단기술과 치료기술로 분류되며, 진단 기술은 나노바이오센서/칩 기술, 나노바이오 감지기술, 나노바이오 전처리 및 시스템화 기술, 나노바이오 진단 이미징 기술 등이 포함되며, 치료기술은 나노 약물전달 기술, 나노 재생의학 기술, 나노바이오 임플란트 기술 등이 해당된다. 또한, 하나의 시스템 안에 진단과 치료를 위한 기능을 동시에 포함하고 있는 나노기술인 테라노시스도 유용한 기술로서 관심을 받고 있다. 바이오인터페이스 기술을 이용한 나노진단 및 나노치료 기술은 증가하는 의료 비용을 절감시킬 수 있을 뿐만 아니라 현대의학의 난제 극복을 통하

여 국민의 보건 복지에 대한 만족도 향상에 크게 기여할 수 있는 긍정적 파급효과의 크기가 큰 공익적인 성격을 가지고 있다. 이에 본고에서는 바이오인터페이스 기술의 기본적인 개념을 정립하고, 대표적인 핵심 기술로서 나노바이오 진단 기술, 나노 약물전달 기술, 나노바이오 테라노시스 기술, 나노바이오 생체영상 기술, 나노 재생의학 기술, 개인 맞춤형 나노진단 기술, 전주기 통합형 진단 플랫폼 기술에 대해 소개하고, 시장동향, 연구방향 및 발전 가능성을 중심으로 논의하고자 한다.

## 2. 바이오인터페이스 기술의 대표적 분야

### 2-1. 나노바이오 진단 기술

나노바이오 진단 분야는 바이오칩 및 바이오센서 기술로 대변되는 체외진단 기술의 연구 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 혈액, 소변, 객담 등 시료 개체를 신체로부터 분리하여 감염질환, 암질환 등 각종 질환을 초고감도 및 다중측정이 가능한 나노바이오센서/칩 기술이 대표적이다. 나노바이오 진단 기술은 와해성이 매우 큰 기술로 개발 성공 시 기존 시장 판도를 뒤엎을 수 있으며, 특히 거의 대부분을 수입에 의존하고 있는 진단시약, 진단키트, 진단시스템 등 의료 진단산업 을 선도할 가능성이 크다. 세계 유수의 Think Tank인 미국 RAND 전략연구소의 '2020년 기술혁명 보고서'는 2020년도에 기술적으로 구현이 가능하고, 시장적 요구가 클 것으로 예측되는 16대 응용분야를 선정하였는데, 이중 'Improved Diagnostic' 분야는 가장 큰 시장적 수요



#### <저자 약력>

김문일 박사는 2003년 고려대학교에서 박사학위를 받았으며, 피츠버그 의대 Postdoctoral, 터스키기 수의대 Research Associate Professor를 역임했으며, 현재 KAIST 겸직교수, UST 전임교수, 한국생명공학연구원 책임연구원으로 재직 중이다. (kimm@kribb.re.kr)

가 예상되는 6대 분야에 속하며, 나노바이오 진단기술과 직결되는 기술 분야로 국가적인 연구개발의 의의가 매우 크다. 또한 농수산식품 유해물질 검출 시스템 개발, 나노기술 응용 식품 개발, 나노 포장재 개발, 나노 농약/비료 개발 분야 등에서의 나노바이오 감지기술은 빠른 성장세를 보이고 있으며, 2025년까지 식품산업의 40%에 달하는 파급효과가 예상된다.

나노바이오 체외진단 산업의 경우 우리나라가 다른 국가와 비교해 우위에 있는 IT 기술과 진단기술과의 융합을 통해 경쟁력 있는 산업을 육성할 수 있을 것이다. POCT 현장 검출용 체외진단 기술의 경우 사업화 가능성 지표로는 초고감도 실현, 동시 다중 검지, 간편성, 저가, 현장에서 사용 가능 여부, 신뢰성 등이 있는데, 국내 주요 체외진단 업체들은 로슈 등 글로벌 업체보다 20~30% 저렴한 가격을 내세워 국제적 경쟁력을 확보하는 전략으로 인도 등 신흥국 시장을 공략할 수 있을 것으로 보인다. 한편, 나노바이오 이미징 분야는 다중 영상 조영제 개발 및 응용 관련 연구가 활발히 이루어져 일부는 제품화 단계에 있으며, 바이오 이미징 시약을 활용한 응용 연구의 경우는 초기 단계로 제품화가 미흡한 실정이다. 바이오 이미징 기술에서 시장을 극대화할 수 있는 핵심 기술인 나노입자 기술은 많은 국내 연구 성과에도 불구하고 뚜렷한 핵심제품이 아직 개발되고 있지 않은데, 앞으로 나노 안전성 및 유효성 이슈가 해결되면 많은 제품이 출시될 수 있을 것이라 판단된다. 향후 나노바이오 진단기술은 자동화, 소형화 기술과 함께 무선기술 및 정보통신 기술과의 융합기술 형태로 함께 발전할 것으로 전망된다.

## 2-2. 나노 약물전달 기술

약물전달 시스템 (Drug Delivery System, DDS) 기술이란 약리학적 활성을 갖는 물질을 다양한 물리화학적 기술을 이용하여 최적의 효력을 발휘하도록 세포, 조직, 장기 및 기관으로의 전달 및 방출을 제어하는 일련의 기술을 총칭한다. 현재 DDS 기술은 치료물질을 효과적으로 전달할 수 있는 기구를 개발하거나 공정 등을 사용하는 방법으로 생체이용률, 치료효과, 환자의 순응도 향상과 부작용 감소를 목적으로 약물전달 분야의 연구개발이 추진 중이다. 나노미터 수준을 제어하는 나노기술을 이용하여 개발된 나노 의약품은 특정 질병부위에 대한 선택적 미사일 치료요법이 가능하기 때문에 질병 치료의 새로운 수단으로서 각광을 받고 있

다. 특히, 고령화, 복지 사회로의 진입에 따라 각종 질병의 효과적이고 경제적인 치료가 요구되고 있어 나노의약을 이용한 개인(환자)의 상태에 따라 필요한 양을, 필요한 시기에, 필요한 곳에 투여하는 '맞춤형 투약시대'가 도래할 전망이다. 또한, 고분자량을 가지는 단백질, 펩타이드, 핵산 치료제 등을 포함하는 바이오 의약품의 중요성이 점점 부각됨에 따라 이들 바이오 의약품들을 실제 치료제로 개발하기 위한 DDS 기술 개발이 필요하다.

신약 합성의 기반이 선진국에 비해 상대적으로 약한 기반을 가지고 있는 우리나라의 여건상 나노 약물전달 기술은 신약 창출에 버금가는 효과를 나타낼 수가 있어서 경쟁력을 발휘할 수 있는 적합한 분야라고 볼 수 있다. 나노 약물전달 기술의 성공을 위해서는 연구자와 의학자, 약학자 및 임상 적용 허가를 관리하는 식약처 실무자들과의 면밀하고 교류가 필수적이므로 다학제간의 체계적인 연구와 교류 네트워크를 통해 기존의 치료법을 뛰어 넘는 국제적 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 본다. 특히 의료진단과 약물전달은 이러한 발전의 핵으로 의료진단 분야는 나노 마커, 진단 칩 등이 새로운 시장을 개척하고 있으며 약물전달분야는 나노입자 혹은 나노캡슐로 표적지향성 전달체, Pharmacy-on-a-chip 등이 개발되고 있다. 기존 의약품의 제형 변경, 치료율을 높이기 위한 전달체 개발, 복용의 편리성 향상 등 치료의 질을 높이기 위한 약물전달 기술을 활용한 의약품 시장은 급속도로 확대될 전망으로 관련 특허는 매년 더욱 증가할 전망이다. 조기진단 키트나 맞춤형치료용 나노 약물전달체 등 상업적인 가치나 임상적인 의의가 큰 산물을 도출하려면 더 많은 임상연구가 요구되나 아직 저조한 상태이다. 임상 의료적 적용을 위해서는 임상적 필요성을 충족하고, 사용하기에 편리하며 경제적인 가격과 안전성, 유효성 확보가 우선되어야 하는데, 현재는 미비한 상태이다. 이에 여러 부처에서의 기 개발된 나노 원천기술을 임상으로 연계하여 적용하는 임상주도형 나노의학기술 연구사업의 추진이 필요한 시점이다.

## 2-3. 나노바이오 테라노시스 기술

테라노시스 기술은 하나의 시스템 안에 진단과 치료를 위한 기능을 동시에 포함하기 때문에, 진단, 치료, 치료효과 모니터링을 동시에 진행하는 기술이다. 최근 종양치료에 있어서 나노 의약품은 치료뿐만 아니라 진단까지 가능한 테라노시스의 개념으로 발전하고 있는데 임상에서 사용되고

있는 영상장비의 개발에 맞추어 다양한 연구가 진행되고 있다. 테라그노시스 나노입자가 약물의 최적 투여량을 정하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 보이며, 테라그노시스 나노입자가 특정약물을 필요로 하는 사람에게, 필요량만큼만 투약할 수 있는 방법을 제공하여 개인별 맞춤의학에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 고령화와 맞춤치료의 출현으로 신의료 기술 개발에 대한 수요가 증가하고 기술 선진국의 나노 진단 및 치료 기술의 실용화가 급진전 되는 시점에서 국내 출연연이 중심이 되어 임상적용 가능한 단백질 나노입자 기반 테라노시스 원천기술 개발이 성공적으로 수행된 사례가 있으므로 국제적 경쟁력이 충분히 있다고 판단된다. 특히, 테라노시스 기술이 임상에서 사용되기 위해서는 인체 면역반응을 일으키지 않아야 하는데 면역원성이 없는 식물 바이러스 입자를 이용한 그린나노메디컬 융합모델을 구축함으로써 인체 적용이 가능한 실용성 원천기술을 확보하여 국제 경쟁력을 갖출 수 있다.

테라노시스 연구에 주로 이용되는 나노입자는 생체적합성 고분자와 리포솜이 있으며, 이밖에 나노결정, 나노튜브와 단백질 나노입자 등이 활용되고 있다. 생분해 성고분자 기반 테라노시스 나노입자는 인체에 무해한 생체적합성, 생분해성이 특징으로 테라노시스 분야의 선두 주자로 활발하게 연구가 진행되고 있다. 최근 약물전달 디바이스가 스마트 약물전달 시스템으로 많은 각광을 받고 있으며 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 체내 이식이 가능한 약물을 탑재한 임플란트 디바이스와 마이크로니들을 이용한 피부를 통해 약물을 전달하는 패치가 대표적인 약물전달 디바이스이다. 이러한 약물전달 디바이스는 외부에서 무선통신을 통해 약물방출을 조절하거나 생체 내에서 일정한 비율로 약물이 방출되게 할 수 있는 장점이 있다. 이러한 스마트 약물전달 디바이스 기술은 그 어떤 기술보다도 학제 간 융합을 통한 새로운 원천기술의 확보가 절실한 분야이다.

#### 2-4. 나노바이오 생체영상 기술

나노바이오 생체영상 기술은 신체의 질병검측을 위한 체외진단, 체내진단 기술, 대기/토양/수자원/음식물 등 인간과 밀접한 환경의 유해인자 검측기술, 인간 질병을 치료하기 위한 각종 기술과 나노기술을 융합하여, 측정/진단 수준을 혁신하고, 치료의 효율을 극대화하는 기술을 의미한다. 나노바이오 생체영상 기술은 암/치매/심혈관질환/관절염 등 난치성 질환의 조기진단 및 치료의 난제를 극복할 수 있

는 돌파기술로 부상하고 있다. 산업기술 로드맵의 의료기기 산업분류에 따르면 치료기기, 진단기기, 고령친화 재활/복지 의료기기, 한방 의료기기, IT헬스로 분류되며 이중 NT와의 융합 정도가 높을 것으로 예상되는 치료기기, 진단기기가 나노 의료기술과의 연관성이 높을 것으로 판단된다. 생체 영상기술은 IT, BT 및 NT 등 융합형 기술로써, 기존의 기술로는 정확히 진단하기 힘든 질병들의 진단 및 질병이 완전히 발현되기 이전의 조기진단을 가능하게 하는 차세대 핵심기술 중의 하나이며 또한, 비침습적인 영상에 의한 검사는 현대 진단의학에서 없어서는 안되는 중요한 위치를 차지하고 있다.

나노/바이오 기술을 응용한 생체-기계 인터페이스 기술 확산은 고령친화 재활복지 의료기기 분야에도 새로운 가능성을 제시하고 있다. 특히, IT 의료 융합기술의 경우 노인 복지 및 건강관리를 위한 실버산업, 바이오센서 및 광-IT 기기 등 첨단 의료기기산업, 라이프 스타일 산업 등으로 구분하여 기술개발 및 산업화가 진행되고 있는 추세이다. BT+IT+NT 융합기술은 바이오분석 소프트웨어 및 DB/바이오센서/바이오칩/광-IT 기기 등의 기술개발을 기반으로 u-Health 시스템 영역으로 확대 추진 중이다. 나노바이오 생체영상 분야에서 레이저 의료기기 기술의 경우 새로운 광원들의 출현으로 진화를 계속하고 있으며, 방사선 치료기기는 진단-치료 융합화, 다기능화가 급속히 진행 중에 있다. 이 밖에도 영상 유도시스템을 기반으로 하는 정밀로봇 미세수술 시스템 개발이 활발히 연구되고 있으며, 약물방출 스텐트는 소수 메이저 글로벌 회사들이 장악하여 독점 체제를 구축한 실정으므로 조속히 기술개발에 박차를 가해야 할 것으로 보인다. 이식형 의료기술의 경우 체외 장치로 진단 및 치료가 어려웠던 질병에 대처하기 위한 체내이식형 의료기기 기술이 급속히 발전할 것으로 예상된다. 의료기기 분야의 기술 및 R&D 동향은 기술의 융복합화 진행, 나노바이오 기술 확산 및 체내 이식형 의료기기 기술의 급속한 발전, 고부가가치 치료기기 개발 가속화 등이 주요 이슈이다.

#### 2-5. 나노 재생의학 기술

재생의학은 분실 또는 손상된 살아있는 조직을 복원하거나 시도를 하는 것으로 정의되며, 이는 고도의 학제적 분야이며 줄기세포 치료, 생체 공학 및 나노기술 같은 최근 진보 기술의 교차에 의해 가능하게 되었다. 재생의료의 핵심 기술로는 줄기세포, 생체소재, 조직공학을 들 수 있으며, 줄

기세포/재생의료 분야는 배양 줄기세포를 이용한 세포치료제 기술 외에도 내재성 줄기세포 활성화 기술, 세포 유전자 치료, 이종 이식 등 훨씬 다양하고 복잡한 기술 분야들을 포괄하고 있다. Nanofabrication 기술은 재생 치료에 대한 nanofibre scaffolds를 창조할 수 있도록 해주었으며, 이 과정의 정확한 방법은 조직 성격과 밀접한 관련이 있으나 일반적인 Scaffolds는 줄기세포를 사용하여 새로운 조직의 성장을 안내하는데 사용된다. 재생의료는 질병, 사고, 노령화 등으로 손상된 세포, 조직 및 장기의 형태 및 기능을 근본적으로 복원하는 기술이며, 기존의 약물 치료 또는 수술적 치료에서 불가능했던 손상된 조직과 장기의 복원을 가능하게 하며, 약물치료의 부작용을 줄인다는 점에서 의료의 새로운 패러다임을 제시한다. 인공적으로 조직을 만들어 기능을 상실하거나 손상된 기존의 조직을 대체하는 나노 재생 의학 기술이 생체조직 재생 및 생체모사를 통한 치료제 개발 등의 효과를 극대화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

나노 조직공학은 미국, 일본, 유럽 등 선진 각국에서 21세기 핵심 첨단산업으로 지정하여 지원을 강화하면서 국가 경쟁력 강화는 물론이고 장래 산업 주도권 확보를 위해 경쟁이 치열해지고 있으며, 기술 집약 및 에너지 절약 산업으로서 의료 산업 고도화를 위한 가장 핵심적인 분야 중 하나이다. 현재 사용되고 있는 세포 및 조직 배양용 지지체, 창상 피복재, 인공혈관 등의 고부가가치 의료용 소재 관련 제품 대부분이 외국으로부터의 수입에 의존하고 있어 자체 연구 개발 및 원천기술 확보를 통한 국산화 및 국가 경쟁력 확보가 필요하다고 본다. 현재 우리나라의 나노 의료기술 수준은 최고기술 보유국인 미국과의 기술 격차가 4.5년으로 타 기술 분야와 비교 시 투자를 통해 기술력 향상이 가능하므로 기 개발된 나노 원천기술을 임상으로 연계하여 적용하는 임상주도형 나노의학 연구가 추진되어야 할 것이다.

## 2-6. 전주기 통합형 진단 플랫폼 기술

전주기 통합형 진단 플랫폼 기술은 유전자/단백질/종양세포의 복합 생체물질의 특성을 동시에 측정할 수 있는 바이오나노센서 핵심 요소 기술로서, 생체 복합신호 분자에 대해 전처리/분리/검출을 하나의 칩에서 구현할 수 있는 3차원 바이오나노 기술이다. 현재까지 예측-진단-치료-예후 모니터링을 위한 단일 시스템은 전무한 실정인데, 암 진단 산업은 BT에 의해 주도되고 있어 성장과 경쟁력에 한계가 있으므로, NT, IT가 융합되면 세계적으로 경쟁력있는 산업

을 육성할 수 있다. 따라서 유전체, 단백질, 세포체 수준의 모니터링을 모두 통합시킨 전주기 통합형 플랫폼 기술의 개발을 바이오인터페이스 융합 기반 통합형 진단 플랫폼 원천 특허 및 나노기술 관련 원천기술 확보가 필요하다고 본다.

현재 우리나라는 초고령화 사회, 고령화에 따른 의료비 증가, 낮은 건강기대 수명, 부족한 건강상태 인지도, 미흡한 조기진단 실천률 등의 헬스케어 과제를 안고 있으며, 암의 경우 특정 바이오마커를 이용한 예후/맞춤 진단기술을 통해 치료계획을 수립하려는 의료계의 요구가 매우 크다. 이를 위해 바이오센서 어레이 단일플랫폼을 이용한 신뢰성 높은 통합 체외진단 시스템의 개발을 통해 바이오센서, 어레이, 모듈통합, 바이오마커 검출, 생체시료 처리, 바이오인포매틱스 등 다양한 요소기술의 발전을 가속시키고, 이들 기술 간의 통합으로 인해 고 부가가치를 창출할 수 있도록 향후 연구개발의 방향이 맞춰져야 할 것이다. 특히, 바이오인터페이스 기반 진단 시스템이 상품화되기까지는 많은 임상실험과 검증을 거쳐야 하므로 장기적 안목에서의 추진이 필요할 것이다. 무엇보다도, BT-IT-NT의 원활한 융합이 가능할 때에 시스템화 된 플랫폼을 갖춘 상품화가 가능하므로 여러 분야의 협력을 지속적으로 강화 및 유지하는 것이 관건이다.

## 2-7. 개인 맞춤형 나노진단 기술

개인 맞춤형 나노진단 기술은 NT와 BT분야의 융합기술인 개인 맞춤형 나노진단 기술은 질병의 진단 분야에서 나노기술을 적용함으로써 현재의 의료기술이 가지고 있는 기술적 한계를 극복하는 대표적 융합기술이다. 개인 맞춤형 나노진단 기술이 적극적으로 응용되고 있는 현 바이오의료기술은 시료를 인체로부터 분리하여 나노바이오센서/칩 기술, 나노 분석 기술 등을 이용하여 질병을 진단하는 체외진단/분석 기술이 주류를 이루고 있다. 체외진단 시스템용 나노기술은 나노시료 전처리 기술, 나노센싱 기술, 시스템 구현 기술 등을 포함하고 있다. 최근 생물정보학 분야의 기반 확대로 이러한 축적된 정보들을 통합분석과정이 가능하게 되었고 다중진단 핵심인자들의 인체시료에 대한 검증 및 정보의 최적화를 바탕으로 효과적인 개인 맞춤형 질병진단 플랫폼 기술이 도출될 가능성이 크다. 시장경쟁력 분석으로 보면 통합 복합진단기의 경우, 기술 경제적 수명은 20년 이상으로 세계 5%이상 또는 국내 30% 이상의 시장점유가 가능할 것으로 분석되며, 6천억 원 이상의 총매출액 예상으로

프로젝트 투자비용 대비 10배 이상의 경제적 파급효과가 기대된다.

또한, 개인 맞춤형 나노진단 기술은 다기능성 나노 플랫폼 제조를 위한 원천기술 개발부터 제조공정기술, 나노복합체의 응용 기술을 통합적, 연속적으로 개발함으로써 장기적 차원에서 나노융합 기술의 새로운 산업화 모델이 될 수 있다. 기존 연구는 주로 고감도 센싱 기술 등 주로 원천기술 개발에 치중되었지만, 상용화를 위하여 센서의 신뢰도 확보, 유용성 확보, 예방을 위한 초고감도 기술, 편의성 제고 등의 기술 개발이 요구된다. 개인 맞춤형 나노진단 시스템의 경우, 중소병원을 대상으로 하는 현장 중심의 마케팅 채널을 구축할 수 있고, 이러한 현장진단 POCT 개념은 세계 각국의 차세대 유망 바이오 분야로 경쟁적, 정책적 투자가 수반되는 시장이므로 향후 복합기 형태의 진단기기 시장은 활성화 되어 수요가 급격히 늘어날 것으로 보인다. 현재 BINT 융합기술 기반 개인 맞춤형 나노진단 기술은 아직 새로운 기술을 발굴하고, 이를 생명과학/의학 산업에 접근을 시작하고 있는 단계라고 할 수 있으며, 현재까지 측정센서(칩) 위주의 기술 개발이 이루어져 왔지만 바이오 마커, 샘플링, 전처리, 고감도, 정밀측정 등 정밀/정확/단순/편리성 향상 기술 관련 원천기술을 확보하는 것이 필요하다고 본다.

### 3. 결론 및 전망

바이오인터페이스 기술은 다 학제간 연계를 통해 다기능성 나노 플랫폼 제조를 위한 원천기술 개발부터 제조공정기술, 나노복합체 응용 기술을 통합적, 연속적으로 개발함으로써 나노융합 기술의 새로운 산업화 모델을 제시함은 물론 전략기술개발 추진의 모델을 제시할 수 있다. 특히, 나노진단 및 치료 기술은 그 특성상 학제 간 통합연구 체제를 필요로 하는 BT와 NT 간의 융합기술로, 나노바이오 의료기기의 개발을 용이하게 할 수 있다. 이처럼 바이오인터페이스 기술은 기초분야에서 개발된 다양한 나노바이오 기술의 성과를 인체에 적용할 수 있는 기회를 제공함으로써 기 개발된 기초원천 연구의 성과물을 적극 활용하여 현대 의학의 난제를 극복할 수 있는 신의료 기술을 발굴하고, 나아가서 나노의학 상업화와 의료 산업화 발전을 촉진시키는데 기여할 수 있을 것이다.

현실적으로, 국내 바이오인터페이스 기술은 기초 및 원천 위주로 연구가 편중되어 있는 상황으로 학문적 다양성 측면

에서 폭넓게 연구되어 기술의 수월성은 뛰어나지만 실제 임상적 적용을 위한 의료적 요구나 시장성을 적극적으로 검토하지 않아 산업화 진입이 어려운 실정이다. 이를 극복하기 위해서는 나노기술의 바이오 및 의료 분야에 대한 응용성 및 임상적 유효성을 높이는 쪽으로 R&D에 초점을 맞추어야 할 것이다. 인력 양성의 경우, 현재 국내에 바이오인터페이스 분야의 전문 산업인력이 절대적으로 부족한 실정므로, 장기적 관점에서 나노의학 중개 및 임상연구 또는 바이오 기반 나노 융합기술 분야의 전문 인력을 적극적으로 양성해야 할 것이다. 특히, 향후 나노진단 및 치료 기술이 세계적 수준으로 발전하기 위해서는 나노 안전성 분석 기술개발 및 연구 인력에 대한 양성 또한 시급한 시점이라고 할 수 있다.

### References

- [1] 일본문부과학성 델파이조사 2035년의 과학기술, KISTI (BA564)
- [2] 제4기 나노기술종합발전계획 대한민국 나노혁신 2050, 관계부처 합동 (2016)
- [3] 중소중견기업 기술로드맵 2017-2019-의료기기, 중소기업청 (2017)
- [4] 나노기술 상용화 현황 진단과 혁신과제, KISTEP (2014)
- [5] 유럽의 분자진단 시장 “새로운 진단을 위한 분자기술 개발” BiolIndustry No.46
- [6] 나노의학-현대의학의 난제 극복을 위한 새로운 실마리-HT R&D 이슈리포트 (2013)
- [7] 바이오칩 연구 동향 BiolIndustry No.69
- [8] 세계 체외진단 (In Vitro Diagnostics) 시장 BiolIndustry No.75
- [9] 글로벌 체외진단 시장 (In Vitro Diagnostics) 시장 BiolIndustry No.21
- [10] 1,000 달러 게놈 시대, 우리의 준비. 김태형, 분자세포생물학뉴스레터 (2014)
- [11] 맞춤형료(Personalized+Medicine), R&D 조사분석 보고서 (2013)
- [12] 개인맞춤 약물치료의 최신 동향, Medical Review (2014)
- [13] 개인 맞춤형 암유전체 연구 동향 및 전망, KEIT (2013)
- [14] 나노기업의 기술혁신역량 조사분석 결과, 한국산업기술평가관리원 (2013)
- [15] 개인 맞춤 약물치료의 최신 동향, 메디칼리뷰 (2014)
- [16] 나노센싱기술 기반 고위험병원체 탐지 기술 현황, 주간건강과질병 (2013)
- [17] 나노융합 2020 신산업 발전전략 수립연구, 지식경제부 (2011)
- [18] 미래성장동력 발굴 정책의 변화와 시사점, 한국과학기술기획평가원 (2013)
- [19] 나노기술의 경제적 영향분석과 시사점, 산업연구원 (2012)