한국물리학회 선도분야육성 방안

DOI: 10.3938/PhiT.21.029

한국물리학회 비전정책특별위원회 선도분야육성 소위원회*

- 목 차 -

들어가는 말

I. 우주와 물질의 기원에 관한 연구

II. 새로운 물리 상태 연구

III. 포스트 실리콘 물질 연구

IV. 미래 에너지 및 의료 분야 응용 연구

맺음말

저자약력

이범훈 교수는 컬럼비아 대학교 박사(1988년)로서 North Carolina 대학교와 미네소타 대학교 연구원, 한양대학교 교수를 거쳐 현재 서강대학교 교수로 재직 중이다. 양자시공간연구센터(<http://cquest.sogang.ac.kr>) 소장을 맡고 있으며 장물리와 끈이론에 관한 연구를 수행 중이다. (bhl@sogang.ac.kr)

박형규 교수는 University of Washington 박사(1988년)로서, Carnegie Mellon University, Boston University 박사후 연구원(1988년~1992년), 인하대학교 물리학과 교수(1992년~2002년)를 거쳐, 2002년부터 현재까지 고등과학원 물리학과 교수로 재직 중이다. (hgpark@kias.re.kr)

오정근 박사는 서강대학교 이학박사(2004년)로서 University of Waterloo와 연세대학교 연구원을 거쳐, 2008년부터 국가수리과학연구소에 재직 중이다. (johnoh@nims.re.kr)

유인권 교수는 독일 마부르크대학교 이학박사(2001년)로서 2001년부터 2년 간 독일중이온연구소(GSI)에서 초빙연구원을 역임하고, 2003년부터 부산대학교 물리학과 교수로 재직 중이다. (yoo@pusan.ac.kr)

정기태 상무는 서울대학교 이학박사(1995년)로서, 1995년부터 삼성전자 반도체연구소에 재직 중이다. (gjeong@samsung.com)

정중용 교수는 2002년 KAIST 물리학과를 졸업하고, 케임브리지 대학 방문연구원을 거쳐, 2008년부터 충남대학교 녹색에너지기술전문대학원 및 재료공학과에 부교수로 재직 중이다. (jrjeong@cnu.ac.kr)

정현식 교수는 Harvard University 이학박사(1993년)로서 1995년부터 4년간 미국 National Renewable Energy Laboratory 연구원으로 재직하였으며, 1999년부터 서강대학교 물리학과 교수로 재직 중이다. (hcheong@sogang.ac.kr, <http://opto.sogang.ac.kr>)

최형준 교수는 서울대학교 이학박사(2000년)로서 2003년부터 2년간 고등과학원 계산과학부 교수로 재직하였으며, 2005년부터 연세대학교 물리학과 교수로 재직 중이다. (h.j.choi@yonsei.ac.kr, <http://web.yonsei.ac.kr/choi>)

황보창권 교수는 이리조나 대학교 이학박사(1988년)로서 1989년부터 인하대학교 교수로 재직 중이며, 광기술교육센터(<http://otec.inha.ac.kr>) 소장을 맡고 있다. (hwangbo@inha.ac.kr)

들어가는 말

기초과학 중의 기초과학인 물리학은 현대 과학과 기술 발전의 중요한 토대이다. 대한민국의 물리학은 1950년대 이후 60년 동안 비약적인 발전을 거듭하여 2010년 이후 세계 10위 이내로 성장하였고, 기초과학을 교육받은 많은 고급 인력이 대한민국의 경제 사회 발전을 견인하였다. 그러나 1990년대 말의 외환 위기와 2008년 전후의 세계 금융 위기를 겪으면서 대한민국은 경제 성장을 둔화, 에너지 부족, 환경 오염 등 여러 문제에 직면하게 되었다.

한국물리학회는 대한민국이 당면한 각종 생산산업, 정보통신, 에너지, 환경, 의료, 경제 사회의 문제를 극복하고 국가 경쟁력을 지속적으로 강화하기 위하여 이제까지 모방적 추격형으로 수행되어온 과학기술연구를 세계 선도적 창조형으로 발전시켜야 하며, 이를 위한 기반이 기초과학 중의 기초과학인 물리학의 학문적 성취 및 연구력을 세계 5위권으로 발전 시킴으로써 마련될 수 있다고 확신한다. 대한민국 물리학의 발전을 위해서는 대규모의 연구투자가 체계적이고 지속적으로 필요하며, 이를 위한 물리학 선도분야 육성방안 작성을 위하여 신성철 한국물리학회 회장의 위촉으로 2011년 초에 한국물리학회 비전정책특별위원회(공동 위원장: 오세정 교수, 박영아 교수)를 구성하고 비전정책특별위원회 안에 선도분야육성 소위원회(위원장: 이범훈 교수)를 구성하였다.

1년 6개월에 걸친 선도분야육성 소위원회 활동을 통하여, 국내 정책 자료와 미국, 일본, 유럽의 정책 자료와 로드맵을 검토하였으며, 로드맵의 시간 축을 현재부터 2017년까지의 단기(5년), 현재부터 2022년까지의 중기(10년), 현재부터 2042년까지의 장기(30년)로 구분하고, 한국물리학회의 10개 분과회의의 도움을 받아, 단기 연구 분야는 현재 국제 경쟁력을 갖춘 연구 분야를, 중기 연구 분야는 국제 경쟁력을 위해 시급

*위원장: 이범훈

위 원: 박형규, 오정근, 유인권, 정기태, 정중용, 정현식, 최형준, 황보창권

히 추진해야 할 필요성이 있는 연구 분야를, 장기 연구 분야는 미래 사회의 발전을 위해 추진해야 하는 연구 분야를 발

굴하였다. 한국물리학회와 10개 분과회로부터 송부받은 연구 계획과 로드맵 그림을 취합하여 160여 쪽의 “한국물리학회

표 1. 한국물리학회 선도분야육성 방안 요약표: 우주와 물질의 기원에 관한 연구.

대주제	시기	연구분야	필요사항 (자원, 인력 등)
I. 우주와 물질의 기원에 관한 연구	단기	1. 대형 충돌 가속기를 이용한 입자 실험	150억원/년 규모의 자원
		2. 원자로 중성미자의 변환상수 측정 실험	약 350억원
		3. 지하실험에 의한 암흑물질 및 이중 베타 붕괴 탐색 연구	지하시설 확충, 시설 및 인적인프라 확보
		4. 거대강입자충돌기에서의 입자물리학 연구 및 관련 이론 연구	선도연구센터(SRC)/입자이론물리연구소 설립
		5. 끈 이론과 수리 물리	대규모 연구단/연구소 설립
		6. 원소의 기원과 별의 진화과정을 밝힐 천체핵물리 연구	연구단(100억원/6년간)
		7. 핵구조 및 핵반응 이론 연구	선도연구센터(SRC) 90억원(9년)
		8. 핵자구조 및 쿼크 자유도 연구	90억원(9년)
		9. 고에너지 중이온 충돌을 통한 초기 우주 핵물질 상태 연구	120억원(6년)
		10. 감마선 폭발 연구	발사체정부지원
	중기	1. 업그레이드된 거대강입자충돌기와 벨2 실험에서의 정밀 측정 및 새로운 현상 탐색	MOU 협력 등을 위한 안정적 자원
		2. 이중베타붕괴 탐색의 중성미자 질량 측정	경쟁실험지원
		3. 격자 양자 색역학 전산 계산	인력채용 지원(교수 1인당 박사급 연구원 1~2명)
		4. 천체 핵합성 재현과 새로운 원소 발견을 위한 중이온가속기에서의 연구	연구단(500억원/5년), 가속기 업그레이드(50억원/5년)
		5. 핵구조 및 핵반응에 대한 이론 연구	중이온가속기 이론연구(50억원/5년)
		6. 강입자 연구	50억원(5년)
		7. 고온/고밀도에서의 핵물질 연구	100억원(5년)
		8. 중력파 천체 물리학	글로벌연구실, 기초과학연구원 연구단(100억원 규모)
		9. 고에너지 우주선 연구	탐재체검출기 제작 지원 요구됨
	장기	1. 차세대 가속기를 이용한 입자 실험	고에너지연구소 설립
		2. 대형 중성미자 지하 검출시설 건설	약 2,000억원 검출시설
		3. 입자물리학 이론	인력수급/입자이론연구소
		4. 중이온가속기 2단계 시설을 이용한 핵구조 및 천체핵물리학 실험 연구	중이온가속기수준 인프라(2,000억원)
		5. 핵물리학 이론 연구	연구단 구성(50억/년)
		6. 차세대 강입자 충돌 및 초기 우주 연구를 위한 실험	검출기제작(700억) 및 연구지원(110억/년)
		7. 암흑우주론 및 양자중력이론	인력(20억/년), 실험(500억/년)

표 2. 한국물리학회 선도분야육성 방안 요약표: 새로운 물리 상태 연구.

대주제	시기	연구분야	필요사항 (자원, 인력 등)
II. 새로운 물리 상태 연구	단기	1. 시간, 길이 및 주파수 표준 연구	10년 이상의 장기간 투자, 학연공동연구.
		2. 극초단 초강도 전자기장 물리 연구	장기적 협동연구체계 및 협동연구 지원체계 수립, 펄스초 펄타 와트 레이저 시설 운영 및 향상.
		3. 비평형 통계 물리 연구	선도연구센터(SRC) 이상의 대형 연구사업단
		4. 복잡계 네트워크 연구	선도연구센터(SRC)/기초과학연구원 연구단
		5. 고체 내에서의 양자적 결맞음과 상관 효과 연구	국가주도 대형 프로젝트, 중규모 집단연구 (5~10억원/년).
	중기	1. 초정밀 분광학 연구	공동 협력 연구 및 인력 양성에 필요한 연구비 지원
		2. 빛과 원자의 양자 제어 연구	선도연구센터, 중견연구자 핵심 개인/공동 연구 지원.
		3. 초강력 레이저장 물리 연구	펄스초 초강력 레이저 운영 및 공동연구 지원, 이론/계산 전문가 양성 및 대형 시뮬레이션 프로그램 개발 지원.
		4. 경제 및 사회 물리학 연구	글로벌핵심연구센터(GCRC), 선도연구센터(SRC), 기초과학연구원 연구단.
	장기	1. 복잡계 연구소 설립을 통한 복잡계 통계 물리학 연구	복잡계 연구소 설립.

표 3. 한국물리학회 선도분야육성 방안 요약표: 포스트 실리콘 물질 연구.

대주제	시기	연구분야	필요사항 (자원, 인력 등)
Ⅲ. 포스트 실리콘 물질 연구	단기	1. 양자 물질 연구	대형 사업단 1개 (50억원/년), 선도연구센터(SRC) 2~4개(센터당 10~20억원/년)
		2. 그래핀 기반 광전자 소자 응용 연구	기업과 대학의 긴밀한 연구를 위한 국가의 장기 투자.
		3. 광정보 기술 - 디스플레이 연구	원천기술 및 특허, 핵심부품 및 장비, 재료분야 연구개발 집중 투자.
		4. 중시계 양자 정보 소자 연구	핵심 연구센터 설립.
		5. 스핀 과학 및 응용 연구	산학연 연계 대형 사업, 차세대 원천기술 기초연구 지원 사업.
		6. 고집적 비휘발성 메모리 연구	새로운 기술적 패러다임 제공을 위한 기초분야 연구지원.
		7. 3차원 실리콘 반도체 집적 회로 연구	연구 인력 확충, 산학 협력 연구 시스템 구축.
	중기	1. 응집물질 분야 공동이용 연구시설 확충	고자기장시설 핵심 연구센터 (70억원/년), 초저온 주사전자 현미경(STM) 핵심 연구센터 (70억원/년), 초고전압 투과전자현미경(TEM) 성능개선 (20억원/년), 중성자 이용 시설 및 기술 개발 센터 (20억원/년), 초고속 고전자이동도 트랜지스터(HEMT) 기반 성장 시설 (20억원/년), 방사광 및 자유전자 레이저 이용기술 개발 센터 (50억원/년)
		2. 테라헤르츠 초격자 반도체 광원 및 이미징 시스템 개발 연구	광도파로, 방열구조, 티-레이 이미징 시스템 기술 개발 투자.
		3. 유기-무기물 하이브리드 소재 연구	기반시설 확립과 소재 라이브러리 확립 및 원천기술 획득을 위한 장기적 투자.
	장기	1. 메타구조 및 다기능 양자메타물질의 물성 이해 및 응용 연구	지역별 기자재 지원 센터 설립, 산학연 협력연구 추진을 위한 장기적 투자 필요.
		2. 그래핀을 이용한 통합형 스핀양자전자소자 연구	산학연 협력연구 강화를 위한 장기적 투자 필요.

표 4. 한국물리학회 선도분야육성 방안 요약표: 미래 에너지 및 의료 분야 응용 연구.

대주제	시기	연구분야	필요사항 (자원, 인력 등)
Ⅳ. 미래 에너지 및 의료 분야 응용 연구	단기	1. 신물질 개발 연구: 에너지 물질	융합연구지원시스템
		2. 신물질 개발 연구: 바이오의료 물질	바이오의료 연구주제별 통합연구 체계
		3. 핵과 방사선의 응용 연구	30억/년 (6년) 규모의 방사선 융합연구 센터
	중기	1. 차세대 태양 전지 연구	기술상용화를 목표로 한 장기 연구지원체계 및 인력양성 필요
		2. 안전한 차세대 핵에너지 개발 연구	6000억/년 (8년) 규모의 시제품(prototype) 가속기 구동 방식 원자로
		3. 생물 물리학 연구	대규모 기초기술 연구지원 체계 및 융합연구인력 필요
		4. 레이저 및 신광원 연구	레이저-플라즈마 융합연구 체계 및 레이저가공 상용화 지원
	장기	1. 핵융합에너지 연구	KSTAR/ITER 지속적인 지원 및 레이저핵융합 장기기초연구 지원
		2. 미래 나노바이오 신물질 연구	나노바이오 기초연구 지원체계 및 나노바이오기술의 사회 문화적 영향 연구 필요
		3. 미래 에너지 신물질 연구	장기적 안목의 기반연구 지원 체계 및 고가의 연구 인프라 공동 이용 체계
		4. 첨단 산업과 환경 보전을 위한 핵과학과 핵기술 응용 연구	핵물리학과 바이오, 의학, 재료 등의 융합연구 체계 지원

로드맵”을 작성하였고, 2011년 한국물리학회 가을학술논문발표회에서 “선도분야육성” 정책세션을 개최하여 한국물리학회 로드맵을 설명하고 이에 대한 의견을 수렴하였으며, “한국물리학회 로드맵”을 바탕으로 본 “한국물리학회 선도분야육성 방안”을 작성하였다.

본 “한국물리학회 선도분야육성 방안”은 연구 목적과 내용에 의해 4개의 대주제로 구성되었다. 제1주제는 “우주와 물질의 기원에 관한 연구”로서 원자핵 및 소립자에 대한 이해와 거시적인 스케일의 천체를 다루는 연구이다. 제2주제는 “새로

운 물리 상태 연구”로서 초정밀 측정과 양자 상태, 복잡계 상태를 다루는 연구이다. 제3주제는 “포스트 실리콘 물질 연구”로서 정보 통신 및 디스플레이 장치 등의 물질 기반이 될 수 있는 물질에 대한 연구이다. 제4주제는 “미래 에너지 및 의료 분야 응용 연구”로서 미래 에너지를 탐구하고 바이오 물질의 근원적인 현상을 규명하는 연구이다. 4개의 대주제 별로 현황과 전망, 로드맵 그림, 국제적 경쟁력이 있는 선도 연구 분야, 시급히 추진해야 하는 연구 분야, 미래 사회를 위해 추진해야 하는 연구 분야를 기술하였다.

의 물리학의 연구는 입자물리학, 원자핵물리학, 천체물리학의 연구분야의 집합체로서 “우주의 기원과 물질의 본질”을 탐구하기 위한 인간의 지적노력이 담긴 학문이다.

1. 개요: 현황과 전망

- 가속기 기반 입자 물리학 실험 분야는 우주의 기원, 물질을 이루는 궁극적 기본 입자에 대한 기본 성질에 대한 순수 물리 분야로 이해된다.
- 유럽핵·입자물리연구소(CERN)의 거대강입자충돌기(Large Hadron Collider: LHC)는 인류 최대의 과학 실험장치로서 현재 전 세계 물리학계의 초미의 관심을 받고 있다. 거대강입자충돌기(LHC) 관련 연구에 대한 정책적 지원을 통해 국내 연구를 세계적 수준으로 높일 좋은 기회이다.
- 국내 입자물리이론 연구는 가속기 실험결과 이해 및 새로운 입자 현상론, 암흑물질 입자이론, 초대칭의 깨어짐, 초

끈/M이론을 통한 강상호작용계 이해, D-브레인/M-브레인(D-brane/M-brane) 이론 등의 일부 분야에서 세계를 선도하는 수준의 연구결과를 내고 있다. 이를 바탕으로 상대적 소규모 지원만으로도 국내 연구수준을 선진국과 대등한 수준으로 높이는 정책적 효과를 볼 수 있다.

- 오랫동안 미지의 입자로 알려져 왔던 중성미자의 성질이 최근 하나씩 밝혀지면서 이 입자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 1998년 중성미자 진동변환의 발견으로 이 입자의 질량 존재가 확인되었으며 변환상수 측정의 새로운 학문 분야를 열었다.
- 지하시설을 기반으로 하는 실험들은 자연에서 탐지 가능한 극히 희귀한 현상을 탐색하기 위한 것으로 자연 방사능이 적은 환경을 요구하며, 가속기를 기반으로 하는 실험에서 발견 또는 측정하기 어려운 연구가 지하 실험에서 가능한 경우가 많아 가속기 실험과 상호 보완적 관계이다.
- 또한 지하시설을 이용한 원자간섭계 검출기(Atom Interfero-

그림 1-2. 우주와 물질의 기원에 관한 연구 로드맵 2: 미시세계/거시적 우주 구조의 이론적 탐구와 거시적 우주 구조의 실험적 탐구 로드맵.

meter Detector)는 새로운 주파수 영역의 과학적 성취가 가능한 중력과 검출을 위한 시설로서, 국내에서 선도하여 세계적인 성과를 창출할 수 있는 아이템으로 고려될 수 있다.

- 원자핵물리학은 원자핵을 이루는 핵자의 구조로부터 시작하여 원자핵의 생성과 핵물질 연구, 그리고 이들을 이용한 별의 탄생과 진화에 이르기까지 아주 광범위한 영역을 연구하며, 연구 영역에 따라 크게 고에너지 핵물리학, 강입자 물리학, 저에너지 핵물리학, 응용 핵물리학의 네 가지로 나뉜다.
- 현대 핵물리학은 표준 모형의 기본 이론인 양자 색소 역학(QCD)을 이해하고 이를 이용하여 핵자에서부터 원자핵, 그리고 그 응용에 이르기까지 하나의 기본적인 이론으로 핵에 관련된 현상을 이해하고 이를 응용하는 것을 목표로 하고 있다.
- 천체물리학의 궁극적인 목표는 “우주의 구조와 진화(Structure and Evolution of the Universe: SEU)”의 규명이며 이것은 물리학의 가장 근본적이고 통일된 자연법칙으로 설명될 수 있을 것으로 믿고 있다.
- 초기우주와 암흑우주 그리고 극한우주에 대한 연구는, 전 세계적으로 추진되는 대형 국제공동 관측 실험들과 함께 우주에 대한 이해를 넓히고 미해결된 이론을 선도하는데 중요한 목표를 설정하고 있다.

2. 단기(~2017년): 현재 국제적 경쟁력이 있는 선도 연구 분야

대형 충돌 가속기를 이용한 입자 실험

- 유럽 핵·입자물리연구소(CERN), 일본 고에너지연구소(KEK), 미국 페르미(Fermi) 연구소 등에서 진행 중인 가속기 실험으로 표준 모형 입자 물리 현상에 대한 실험적인 검증 및 힉스 입자 또는 표준 모형 이외의 새로운 현상에 대한 직·간접적인 증거를 소립자 충돌 데이터에서 이끌어내는 분야로 새로운 물리 패러다임을 제공할 가능성이 큰 분야이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 한국-유럽핵·입자물리연구소(CERN), 한국-일본양성자가속기 연구단(J-PARC)간의 상호양해각서(MOU)를 모델로 하여 장기적인 관점에서 연구를 할 수 있도록 안정적인 연구 재원이 우선 형성되어야 한다.
- 현재 우리 연구 인력 규모 및 경제 규모에 적절한 연구비 규모는 150억원/년 수준이다.

원자로 중성미자의 변환상수 측정 실험

- 입자 가속기가 없는 우리의 현실에서 원자로에서 방출되는

중성미자를 관측하는 실험을 통하여 미측정된 변환상수(θ_{13})의 규명과 이미 측정된 변환상수(θ_{12})의 정밀 측정을 통해 입자 변환의 원리를 규명한다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 이 분야에서 국제적 경쟁력을 계속 유지하고 강화하기 위해서는 이 연구가 끝나는 2015년 경에 검출기의 규모를 더 크게 확장하고 효율을 개선하는데 약 350억원의 투자가 요구된다.

지하실험에 의한 암흑물질 및 이중베타 붕괴 탐색 연구

- 암흑물질은 우주의 대부분을 차지하고 있지만 천체관측에 의한 중력효과에 의해서만 그 존재가 알려져 있으며 그 정체규명은 21세기 최대의 연구주제로서 (중성미자 미방출)이 이중베타붕괴는 중성미자가 자체 반입자인 마요라나(Majorana) 입자인지를 밝힐 수 있으며 중성미자의 질량의 절대치에 대한 정보를 주어 중성미자의 기본 성질을 연구하는데 꼭 필요한 연구주제이다.
- 이들은 매우 희귀한 반응이며 우주선 배경에 매우 민감하기 때문에 지하 깊은 곳에서 실험을 수행해야 한다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 지하실험실을 확충한다.
- 시설 인프라를 구축하고 장기적인 연구비를 확보한다.
- 인적 인프라를 구축하고 국제 네트워크를 확장한다.

거대강입자충돌기(LHC)에서의 입자물리학 연구 및 관련이론 연구

- 유럽핵·입자물리연구소(CERN)의 거대강입자충돌기(LHC)는 인류 최대의 과학 실험장치로서 현재 전 세계 물리학계의 초미의 관심을 받고 있다. 거대강입자충돌기(LHC) 실험 결과에 따라 입자물리학은 큰 변화와 발전을 이루리라 예측되며, 지난 30년 이상 입자물리학을 지배했던 표준모형을 넘어서며 우주암흑물질까지 설명해줄 수 있는 새로운 물리 이론이 대두되리라 크게 기대되고 있다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 관련 연구자들이 공동연구를 통하여 시너지 효과를 극대화할 수 있는 연구지원 체계가 필요한 시점이다. 이를 위해서 선도연구센터(SRC)와 3~4인의 공동연구자가 참여할 수 있는 전략연구 지원이 필수적이며, 입자이론물리연구소의 설립이 시급하다.

끈 이론과 수리물리

- 우주의 탄생에 이르기까지 수많은 물리학적 질문을 하나의 체계 안에서 설명하고자 하는 인류 최초의 학문 분야라고 할 수 있다. 특이한 점은, 끈이론의 연구를 통해서 이전에

는 존재하지 않던 수리물리학적 주제와 방법론들이 다수 만들어졌는데, 입자 현상론적인 응용으로부터 파생되어 나타난 거울대칭이라는 개념이 새로운 기하학 분야를 만들어 내기도 하였고, 양자적 블랙홀의 연구로부터 파생된 홀로그래피라는 개념은 강한 양자적 상호작용을 하는 이론들을 고전적인 중력이론의 틀로서 재구성하는 AdS/CFT 대응원리라는 새로운 소 패러다임을 만들어내기도 하였다. 이런 의미에서 끈이론은 매우 특이하고 일반적인 개념의 수리물리학이기도 하다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 다수의 젊은 연구자가 안정적으로 연구에 전념할 수 있는 대규모 연구단과 연구소 설립이 요구된다.

원소의 기원과 별의 진화과정을 밝힐 천체핵물리 연구

- 중이온가속기 시설이 구축되면, 세계적인 경쟁력을 갖춘 시설이 될 것이다. 국내 연구진들이 향후 이 시설을 주도적으로 활용할 수 있도록 인적, 물적 인프라의 신속한 구축이 요구된다. 중이온가속기를 이용한 핵심 연구 중 하나는, 원소의 기원과 별의 진화 과정을 밝힐 천체핵물리연구로서, 방사성 동위원소 빔을 이용하여 새로운 핵종 합성 및 반응 단면적 측정을 통해 우주에 현존하는 원소와 그 합성경로를 파악하는 것이다. 이를 위해 이 분야의 신진 연구자 양성 및 검출기 시설 구축 등의 국내 인프라 구축이 절실히 필요한 시점이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 한국형 중이온 가속기 건설에 7년간 약 5,000억 원의 투자가 계획되고 있는데, 이 계획은 지속적이고 안정적으로 지원되어야 한다. 이와 함께 전국의 관련 학자들이 중이온가속기를 잘 활용하도록 뒷받침되어야 효과적 활용이 가능하다. 신진 인력을 양성하고 실험을 준비하는 활용 연구단 구성이 필요하고 연 100억 원의 지원이 최소 6년간 이루어져야 한다.

핵구조 및 핵반응 이론 연구

- 일본의 이화학연구소(RIKEN), 유럽핵·입자물리연구소(CERN)의 동위원소분리시설(Isotope Separator On Line-Detector, ISOLDE), 독일 중이온연구소(Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI), 프랑스 국립대형가속기연구소(Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, GANIL) 등에서 새로운 핵과 희귀동위원소가 발견됨에 따라 핵물리학에서 정설로 여겨졌던 각껍질 모형(shell model)과 집단 모형(collective model)에 대한 새로운 이론적 조명이 필요한 시점이다. 기존 이론을 수정하고 다양한 동위원소에 적

용 가능한 새로운 다체계 이론 개발이 필요하다. 핵물리 이론은 몇 개의 입자만을 다루는 작은 시스템(few-body system)에서 많은 자유도의 다체계(many-body system)에 이르기까지 다루는 범위가 방대하며 기본적인 입자의 자유도와 단체 행동의 자유도를 연계시키는 아주 특이하고 도전적인 중요한 분야이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 이 분야의 신진 연구자를 양성하고, 핵구조, 핵반응뿐만 아니라 핵력에 대한 전반적인 국제 공동 연구를 수행할 핵물리 이론 연구 센터 설립이 필수적으로 요구된다.
- 선도연구센터(SRC)와 같은 장기 사업이 적당하며, 예산 10억원/년으로 총 9년간 90억원 수준의 지원이 요구된다.

핵자구조 및 쿼크 자유도 연구

- 자연계를 구성하는 물질의 질량에 관한 문제는 물리학의 오랜 문제로 우리가 보는 물질의 대부분의 질량은 강한 상호작용에 기인한다. 강한 상호작용이 만들어내는 핵자의 구조와 핵자 내부에서의 쿼크 자유도 연구는 아원자 세계를 이해하는 데에 필수적이다. 이를 위해 일본양성자가속기연구단(J-PARC), 일본이화학연구소(RIKEN), 토마스페르슨 국립가속기연구소(JLab) 등 세계유수의 가속기 연구시설을 활용하는 연구 기반을 구축하고 중요 실험프로젝트에 참여하여 검출기 건설과 데이터 획득 및 분석에 집중한다.
- 국내 핵물리 분야 연구가 보다 체계적이고 안정적인 연구 기반을 갖추기 위해서는 핵반응과 구조론에 대한 각껍질모형(shell model), 집단모형(collective model) 수치계산, 고에너지 현상론에서 양자색소역학에 기초한 격자(lattice) 계산, 그리고 단일 강입자 반응을 시뮬레이션할 수 있는 동중핵 모델(isobar model) 등과 같은 대형 수치해석 프로그램을 수행할 수 있는 전문 인력의 양성이 요구된다. 장기간 해외연수나 전문가 초청을 통하여 국내에서도 이러한 분야를 구축하고 활용할 장기적인 계획이 필요하다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 이 분야의 연구를 위한 가속기 시설은 국내에 중간에너지 가속기 시설이 없기 때문에 해외의 시설을 이용해야 하며 따라서 국제공동연구지원이 집중적으로 요구된다. 매년 10억원씩, 9년간 총 90억원 수준의 예산이 필요하다.

고에너지 중이온 충돌을 통한 초기 우주 핵물질 상태 연구

- 고에너지의 원자핵-원자핵 충돌실험을 통하여 초기 우주 상태를 재현하고 극한상태의 쿼크 물질연구를 위하여 유럽핵·입자물리연구소(CERN), 독일 중이온연구소(GSI) 등 세계 유수의 중이온 가속기 연구 시설을 활용하는 연구에 국

제 공동 연구로 참여한다. 특히 거대강입자충돌기(LHC)의 앨리스(A Large Ion Collider Experiment, ALICE) 검출기 업그레이드에 참여하여 국내에 검출기 제작 인프라 시설을 구축하고, 독일 중이온연구소(GSI) 반양성자-이온연구시설(Facility for Antiproton and Ion Research, FAIR)에 예정된 압축바리온물질 실험(The Compressed Baryonic Matter experiment, CBM)을 위한 검출기 연구개발을 본격화하는 등 국제공동연구의 기여도를 획기적으로 향상시킨다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 해외의 연구 시설이용을 위한 국제 협동연구가 필수적이다. 매년 20억원씩, 6년간 총 120억원 수준의 예산이 필요하다.

감마선폭발 연구

- 감마선폭발(Gamma Ray Burst: GRB)은 빅뱅 이후 우주에서 일어나는 가장 강력한 폭발로 태양이 수십억 년에 걸쳐 방출하는 에너지를 단지 수초에서 수 시간 동안에 분출해 버리는 우주 최대의 섬광 현상이다. 이 연구를 통해 로렌츠 불변성의 검증, 조력붕괴의 발견, 블랙홀의 사상의 지평면 발견 등 근본적인 자연법칙 규명에 있어서 가장 이상적인 분야라 할 수 있다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 한국주도의 초고속섬광검출기(Ultra Fast Flash Observatory: UFFO)는 차질없는 연구 수행과 추진이 중요하다. 2012년 검출기의 시험체(UFFO-Pathfinder)는 예상대로 발사될 예정이나, 검출기의 차기버전(UFFO-100)의 2015년 발사가 이 분야에서 가장 중요한 전환점을 제공할 것으로 보인다. 따라서 이 발사를 위한 정부의 지원이 매우 중요하며, 적어도 러시아의 위성체 및 발사에 대한 한국의 주도적 부담을 조기에 명시함으로써, 최첨단 우주실험 국제공동연구의 주체 및 선도국의 입지를 분명하게 할 필요가 있다.

3. 중기(~2022년): 시급히 추진해야 하는 연구 분야

업그레이드된 거대강입자충돌기와 벨2 실험에서의 정밀 측정 및 새로운 현상 탐색

- 현재 가동되는 실험들은 곧 성능 향상을 위한 업그레이드에 돌입하게 된다. 입자 실험 분야에서 두각을 나타내기 위해서 효율적인 자원의 투자를 통해 우리나라가 거대강입자충돌기(LHC)와 벨2(Belle2) 업그레이드 연구개발에서 우리의 규모에 알맞게 기여하는 것이 필요하다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 입자실험분야 연구개발에서도 경쟁의 원리가 중요하여 다른

나라보다 성능이 뛰어난 차세대 검출기를 만들어야 한다. 벨2(Belle2)의 건설은 2012년에, 거대강입자충돌기(LHC) 업그레이드는 2015년에 시작될 것으로 예상되기 때문에 지금 준비하면 세계적인 수준의 연구가 가능하다. 특히 벨2 실험은 미국이 총 50억원을 투자할 예정이어서 우리나라도 적은 금액으로 중요한 기여를 할 수 있는 절호의 기회이다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 한국-유럽핵·입자물리연구소(CERN)간의 국제협력력을 모델로 하여 한국-일본 고에너지연구소(KEK)간의 국제협력 상호양해각서(MOU)를 체결하는 등 안정적 재원 마련이 필요하다.

이중베타붕괴 탐색의 중성미자 질량 측정

- 세계적 수준의 입자 가속기가 없는 한국에서 비교적 지하 검출시설을 구축하기 용이하므로 중성미자의 질량을 측정하는 이중베타붕괴를 탐색하는 실험을 추진하여 세계적 수준의 연구결과를 산출할 수 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 이중베타붕괴 탐색 분야는 선진국과의 격차가 작고 현재 외국에서 여러 실험들이 추진 중에 있으므로 적절한 연구비 투자가 신속히 이루어지면 국제적으로 경쟁할 수 있다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 선진국에서 추진 중인 실험들과 경쟁할 수 있는 실험 개발을 추진해야 할 것이다.

격자양자색역학 - 전산계산

- 강한 상호작용은 양자색소역학에 의해 기술된다. 하지만 이 이론은 결합상수가 크기 때문에 섭동론만으로는 해결할 수 없는 많은 문제들이 존재한다. 이를 위해 고안된 것이 격자게이지 이론으로서 이는 고체물리에서의 제일원리 계산(first-principles calculation)에 해당하는 중요한 분야이다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 선진국에서는 격자게이지 이론 분야가 매우 발달해 있지만 국내의 연구 인력은 매우 미미한 실정이다. 국내 연구 분야 분포를 살펴볼 때에 선진국에 비하여 이 분야의 연구자 수가 절대적으로 부족하므로 이 분야를 지원할 필요가 있다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 교수 1인당 박사후 연구원을 1~2명 지속적으로 채용할 수 있는 연구비 지원 체계가 필요하다.

천체 핵합성 재현과 새로운 원소 발견을 위한 중이온가속기에서의 연구

- 현재 중이온가속기에 대한 개념설계가 마무리되고 상세설

제가 곧 시작되는 단계에 있다. 중이온가속기와 그 기본 인프라 시설이 완성되어 본격적인 연구가 차질 없이 진행될 수 있도록 국제적인 공동 실험 연구 그룹과 함께 선행 연구가 진행되어야 한다. 중이온가속기의 본격적인 가동과 함께 천체 핵합성 과정에 대한 실험 및 이론적 규명이 이루어지고, 새로운 원소(코리아늄, Koreanium)를 발견하기 위해서는 이에 대한 대비가 있어야 한다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 중이온가속기의 본격적인 가동과 함께 이를 이용한 실험을 계획대로 수행하기 위해 먼저 중이온가속기 이용연구단을 설립/운영해야 하고 이에 대한 투자가 요구된다. 또한 중이온가속기의 제2단계 계획과 업그레이드를 위한 사전 연구는 시일이 많이 요구되는 사업이므로 1단계 설계 및 건설 과정에서 함께 고려되어야 한다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 중이온가속기를 이용한 실험 연구단을 설립하여, 매년 100억원씩, 5년간 500억원의 연구비 지원이 필요하다.
- 중이온가속기 제2단계 계획과 업그레이드 계획 및 실험 설비 설계에 대한 선행 연구 수행을 위하여 매년 10억원씩, 5년간 50억원이 필요하다.

핵구조 및 핵반응에 대한 이론 연구

- 중이온가속기에서 본격적으로 실험연구가 진행되기 전에 선도적인 연구 주제를 발굴하고 앞으로 획득될 실험 데이터 분석을 위한 컴퓨팅 시설 및 결과의 해석을 위한 이론 실험의 다양한 공동연구가 요구된다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 중이온가속기 건설 중에는 해외에서 선행 실험 연구를 하여, 건설 후의 실험 계획을 세우고 그로부터 얻게 될 데이터 분석을 위한 이론 연구 기반을 시급히 갖추어야 한다. 새로운 다체계 모형과 이론이 정립되고 새로운 핵반응 메커니즘이 정립되도록 연구를 수행해야 한다. 이는 또한 제2단계 업그레이드 설계에 다양한 정보를 제공하게 된다.
- 이 분야의 이론 연구 전문가 대부분이 이미 은퇴하였거나 은퇴를 앞둔 상태로 신진 인력 양성이 아주 시급하다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 중이온가속기 관련 이론 연구를 위한 연구단을 설립하여 인력 양성과 선행 연구를 수행한다. 매년 10억원씩, 5년간 50억원 수준의 연구비 지원이 필요하다.

강입자 연구

- 토마스제퍼슨가속기연구소(JLab), 일본양성자가속기연구소(J-PARC) 등 세계 유수의 가속기 연구 시설에서 이루어지

는 H-이중바리온(h-dibaryon) 탐색, 초핵자분광학(hypernuclear spectroscopy), 강입자 구조에서 스트레인지 쿼크(strange quark)의 역할 등에 대한 연구에서 한국 연구자의 기여도를 높여, 검출기 건설 및 데이터 분석에 주도적으로 참여하고, 뛰어난 학문 후속세대를 양성할 수 있도록 한다. 국제 공동 연구에 대한 적극적인 지원이 요구된다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 해외 유수의 가속기 시설을 이용하는 국제 공동연구는 협력 연구의 연속성이 중요하다. 또한 강입자 연구에서 얻은 결과는 중이온가속기 관련 연구에 미시적 관점에서 중요한 기초 정보를 제공해 준다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 국제 및 국내 공동연구에 대한 지속적인 지원과 인력 양성을 위하여 매년 10억원씩, 5년간 총 50억원 수준의 재원이 필요하다.

고온/고밀도에서의 핵물질 연구

- 2020년 전후는 거대강입자충돌기(LHC)의 고에너지 중이온 충돌 실험에 대한 국내 연구 인력의 검출기 기여가 완료되고, 데이터가 충분히 축적되어 소정의 결론에 도달할 시기이다. 이어서 독일 중이온연구소(GSI) 반양성자-이온연구시설(FAIR)의 건설이 시작되고, 압축바리온물질실험(CBM)에 대한 준비가 필요한 단계이다. 고에너지 중이온충돌에서 고밀도 중이온충돌 실험으로 연구의 패러다임이 바뀌는 시기에 경쟁력 있는 연구주제에 대한 약진이 요구되며, 지속적인 국제공동연구지원이 필요하다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 고온/고밀도의 핵물질에 대한 연구는 현재 우리나라 연구진이 많은 기여를 하고 있는 분야로 지속적인 지원이 요구된다. 또한 이 연구에서의 경험은 중이온가속기 이용 연구에 많은 도움이 될 것이다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 거대강입자충돌기(LHC)와 독일 중이온연구소(GSI)와의 공동 연구를 위하여 매년 20억원씩, 5년간 100억원 수준의 연구비 지원이 요구된다.

중력과 천체물리학

- 아인슈타인의 상대론에서 예측하는 중력파의 존재가 간접적으로 확인되었으나 10여 년의 중력과 검출 프로젝트(Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory, LIGO)가 시작된 이래 아직 직접검출에는 성공하지 못하고 있다.
- 중력과 직접검출을 위해 현재 전 지구적 프로젝트가 진행

되고 있으며 이 검출의 성공은 중력과 망원경을 이용한 새로운 천문학의 시작을 의미한다.

- 레이저간섭계, 원자간섭계 등을 이용한 중력과 검출을 통해 초기우주의 모습, 별의 구성, 블랙홀 등의 비밀을 밝혀주는 천체물리학적 성취를 이룰 수 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 차세대 중력과 검출기(Advanced LIGO)가 가동될 2015년 이후에는 예상되는 중력파원의 검출률이 현재의 100년당 1개 비율에서 2~3일당 1개 비율로 대폭 향상될 것으로 예상된다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 글로벌 연구실(GLOBAL LAB)의 설립: 국내 분산되어 있는 연구인력의 집약을 위하여 국제 실험실(LIGO LAB KOREA)을 국내에 유치하여 국제적 규모의 연구실로 육성하는 것이 필요하다.
- 연구투자규모 및 시기: 대략 2015년경 이전까지 핵심연구를 수행할 기관으로서 투자가 되는 것이 바람직하다.
- 한 가지 방안으로 기초과학연구원 연구단 규모의 글로벌 실험실 유치를 통한 차세대 중력과 검출기의 연구가 필요하다.

고에너지 우주선 연구

- 고에너지 우주선의 연구는 그 기원과 전파 과정의 규명이 우주 대폭발(Big Bang) 당시의 초기우주 연구와 근원적인 자연법칙의 탐구와 밀접히 관련되어 있어 매우 중요한 연구 주제이다.
- 우주선(cosmic Ray)의 최초 발견 후 100년이 지났음에도 불구하고 고에너지 우주선의 기원과 전파 및 가속 과정은 정확히 알려져 있지 않다. 그러나 검출기술의 혁신적 발달로 인하여 앞으로 정밀한 우주선의 성분 및 에너지 측정이 기대되어, 조만간 고에너지 우주선의 기원과 전파 및 가속 과정의 규명이 가능할 것으로 보인다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 현재 고에너지 우주선 관측 분야는 기존의 실험의 예상과는 다른 매우 흥미로운 우주선 에너지 스펙트럼의 관측 결과로 인해 학문적으로 전 세계 천체물리학자, 천문학자들의 주목을 받고 있다.
- 이러한 약동적 시기에 한국이 주도적으로 이루어온 그간의 성과와 경험을 바탕으로 이 기회를 놓치지 않고, 기존 데이터의 정밀 분석 외에도, 더 정확하고 더 많은 데이터의 수집이 가능한 우주용 검출기를 자체적으로 설계 제작하거나, 국제 공동의 대형 실험에 주도적으로 참여하여, 우주선의 기원과 가속과정의 규명에 기여하는 것은 반드시 필요하다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 상시로 우주선을 직접 관측하는 우주 탑재용 검출기의 제작에 필요한 재원이 필요하다.
- 현재의 극한에너지 우주선 관측은 대형 우주망원경과 같은 규모의 실험이 요구되어 개별 국가가 단독으로 수행하기 어려우며 국제적 공동 연구가 필요하다.

4. 장기(~2042년): 미래 사회를 위해 추진해야 하는 연구 분야

차세대 가속기를 이용한 입자 실험

- 거대강입자충돌기(LHC)에서의 실험 결과는 힉스 입자, 암흑 입자 및 새로운 입자 현상에 대한 증거를 제시할 것이며, 따라서 다음 단계의 연구 방향을 제시할 것이다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 2020년경에 거대강입자충돌기(LHC) 실험 결과가 모두 다 해석된 후에 그 방향이 결정될 것이며, 차세대 가속기 실험 설계는 그전에 미리 수행될 것이다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 효과적인 자원의 투자, 입자 검출기 개발을 위한 개별 연구실 수준이 아닌 공동 인프라 구축, 조직적인 대형 입자 실험 연구 수행, 그리고 장기 계획 수립을 위해서 고에너지 분야의 연구소 설립이 필요하다.

대형 중성미자 지하 검출시설 건설

- 중성미자 분야에서 세계를 선도하기 위해서는 대형 중성미자 검출기를 건설하여 중성미자 성질의 규명은 물론, 대통일 이론이 예측하는 양성자 붕괴 탐색, 우주 중성미자를 관측하는 망원경이 필요하다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 대형 중성미자 검출기의 건설은 지하시설의 구축과 검출장비의 제작으로 비교적 장기간에 걸친 기획, 설계, 제작, 설치 등이 요구된다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 약 2,000억원의 비용과 건설 기간이 5~10년이 걸리는 대형 연구사업이 되므로 기획 과정에서 철저한 계획 수립이 필요하다.

입자물리학이론

- 입자물리학은 기본적으로 장기적으로 추진해야 하는 연구 분야이다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 인간이 우주에 대해 과학적으로 이해하기 시작한 것은 기껏해야 지난 100년 남짓하다. 아직도 우주가 어떻게 만들

어졌는가 하는 근본적인 질문에 대한 대답은 하지 못하고 있다. 수백 년 전에 행해지던 초자연적인 존재 등에 아직도 호소하고 있는 지경이다. 이 또한 과학적인 규명이 반드시 필요한 분야이나, 단기적으로 쉽게 풀리지는 않을 것이다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 연구진들이 문제를 찾고 안정적으로 새로운 아이디어를 가진 신진인력이 더 들어올 수 있는 메커니즘이 필요하다. 현재와 같은 인력수급으로는 이런 것이 전혀 불가능하다.

중이온가속기 2단계 시설을 이용한 핵구조 및 천체핵물리학 실험 연구

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 2030년대는 중이온가속기 제2단계 업그레이드가 본격적으로 추진되고, 세계적으로 독보적인 방사성동위원소 가속시설 및 천체 핵물리 및 핵구조 실험 연구의 메카로 자리 잡는 시기이다. 해외 유명 연구소와 동등한 위치에서 이 분야의 연구를 선도하고 국제 공동 연구를 수행한다.
- 중이온가속기 제2단계 사업 실시 및 실험 장치 개발을 통하여 2단계 가속기가 핵물리 분야뿐 아니라, 입자물리학, 천체물리학 분야에서도 활발히 이용되는 시설이 되도록 구축한다. 그 외 응집물리, 바이오, 의학 분야에서의 융합 연구가 지속적으로 세계 최고의 연구 성과를 낼 수 있도록 2단계 구축을 한다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 중이온가속기와 같은 수준의 인프라 시설 확충과 2단계 사업 실시 및 실험 장치 개발을 위하여 총 2,000억원 수준의 연구 투자가 요구된다.

핵물리학 이론 연구

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 핵물리학 이론의 궁극적인 목표는 미시적으로는 쿼크와 글루온에서부터 거시적으로는 중성자 별과 초신성 등 천체에 이르기까지, 핵자와 핵물질의 특성을 하나의 일관된 이론으로 설명하는 것이다. 이는 결코 단기간에 완성될 성질의 것이 아니며 물리학의 오랜 숙원이기도 하다.
- 이 목표를 달성하기 위해 해외 유명 연구소와 공동 연구단을 구성한다. 코리아늄(Koreanium) 발견 이후에 새로운 원소를 지속적으로 발견하여 우리나라의 위상을 높인다. 각 궤적 모형과 집단 모형을 모두 아우르는 정밀한 다체계 계산이 가능한 이론을 개발하고, 핵력에 대한 재규격화 모델들에 대한 깊이 있는 이해와 양자색소역학(QCD) 기반 유효장론들의 이해를 통합하여 핵력과 핵의 구조에 대한 종합적인 이해를 이루는 장기적인 연구가 필요하다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 이론 분야에서 세계 선도적인 위치에 오르기 위해서는 우수한 차세대 인력 양성이 무엇보다 필요하다. 이를 위해서는 우선 국내 연구 인력의 기반 구축이 필요하며 충분한 연구 인력이 공급된 후에 노벨상 수준의 리더 과학자가 국내에서 탄생하기를 기대할 수 있다.
- 해외 유명 연구소와의 공동 연구단 구성을 위해 50억원/년 정도의 예산이 요구된다.

차세대 강입자 충돌 및 초기 우주 연구를 위한 실험

- 단기, 중기에 걸쳐 해외에서 본격적으로 이루어지던 실험연구가 중이온가속기 2단계 시설과 다른 해외의 시설을 이용하여 수행되도록, 축적된 노하우를 집중하여 강입자 충돌과 고온/고밀도의 핵물질에 대한 실험을 계획하고 추진한다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 토마스제퍼슨가속기연구소(JLab)와 브룩헤이븐 중이온충돌기(Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC) 이후 전자-이온충돌기(Electron-Ion Collider, EIC) 등의 새로운 차세대 가속기 시설이 완성될 것이므로 이에 대한 선행 연구를 장기적으로 추진할 필요가 있다.
- 앨리스(ALICE) 실험 및 암흑바리온물질실험(CBM)의 실험 결과가 결합되어 초기우주의 핵물질 상태에 대한 새로운 패러다임이 정립될 시기이며, 새로운 문제 및 이에 대한 검증실험이 요구되는 시기이다. 이때 중이온가속기에서 결정적인 검증을 할 수 있도록 새로운 실험과 검출기 및 이론적 연구가 결합할 시기이다. 축적된 노하우를 통해 국내외 대형연구시설에서 국제적인 기여를 하고, 노벨상급의 연구가 결실을 맺도록 본격적인 지원이 요구된다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 새로운 강입자 충돌 실험을 위해 검출기 제작(200억원)과 꾸준한 연구 지원(연 10억원)이 필요하다.
- 초기 우주 상태 연구를 위한 고온/고밀도 실험을 위한 검출기 제작(500억원 규모)과 공동 연구지원(100억원)이 요구된다.

암흑우주론과 양자중력이론

- 우주론 이론 연구는 크게 우주의 기원, 우주의 시공간 구조 그리고 우주 구성물질의 기원과 성질을 연구하는 것으로 나눌 수 있다. 현재 우주는 암흑에너지와 암흑물질이 대부분을 차지하고 있다. 암흑에너지와 암흑물질을 규명하는 것은 21세기 중요한 10대 난제로 간주되고 있다.
- 우주의 기원은 우주의 시공간의 기원과 초기 물질의 생성 과정을 설명하는 것이다. 우주의 기원을 이해하기 위해서는

반드시 양자적인 시공간 구조, 즉 양자 중력을 이해해야 한다. 그러나 아직까지 완전한 양자 중력이론은 제시되고 있지 않다. 양자 중력은 통일장의 정점에 해당하는 이론으로 이론물리학의 최종적이며 최후인 과제이다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 이 분야의 연구는 단기적으로 그 결과를 얻을 수 있는 것이 아니고 장기적인 실험을 통한 많은 자료의 확충과 이의 정밀한 분석을 통하여 결과를 도출할 수 있다. 또한 근본적인 물리문제를 해결하고자 하는 것으로 기존의 이론을 수정하는 것으로 이를 검증받기 위해서는 많은 실험과 재확인이 필요하다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 장기적으로 이 분야의 연구는 우주를 실험대상으로 해야 하므로 과학위성의 개발과 탑재체 개발에 대한 연구 투자가 이루어져야 하며, 나아가 정밀한 측정을 위한 검출기 개발에도 투자되어야 한다. 투자의 방향은 중, 소 규모의 실험은 자체적인 기술 개발을 유도하고, 대형과제는 국제 협력을 통한 주도적 사업 참여를 독려해야 한다. 투자의 규모는 이론 연구 분야는 연구 인력 확충에 필요한 연 20억 정도, 실험 분야는 연 500억 또는 그 이상이 필요하다. 상대적으로 뒤쳐져 있는 위성 기술을 조속히 확충하여 이를 적극적으로 이 연구에 활용할 수 있어야 한다.

II. 새로운 물리 상태 연구

물리 상태에 대한 조정밀 측정 능력은 한 국가의 과학 수준 전체를 가늠하는 지표가 되며, 양자 상태를 제어함으로써 양자 정보 분야의 미래 신기술을 선점하고 국가 안보에 기여할 수 있다. 또한, 복잡계의 상태에 대한 물리적 이해를 통하여 비평형 물질계, 네트워크, 생물리학, 사회 및 경제 물리학의 발전을 이루고 이를 통하여 사회 발전과 경제 발전을 견인할 수 있다. 이 분야의 물리학 연구는 원자 및 분자 물리학, 통계 물리학, 광학 및 양자전자학, 응집물질 물리학 분야에서 진행되고 있으며, 국가 차원의 과감한 투자를 필요로 한다.

1. 개요: 현황과 전망

- 국제단위계로 대표되는 도량형의 표준이나, 물리학의 기본 상수 혹은 자연법칙의 대칭성에 관한 정밀측정분야는 한 나라의 기초과학의 수준을 가늠하는 분야이며, 원자물리, 광학 등 전통적인 학문의 바탕 위에 양자전기동역학과 같은 기초이론과 실험결과를 직접 비교하여 기초이론을 검증할 수 있는 강력한 방법을 제공한다.
- 정밀 측정 분야는 장기적인 투자와 연구가 필요하며, 정밀

그림 2-1. 새로운 물리 상태 연구 로드맵.

측정 전문 연구그룹의 형성을 통해서, 도량형의 국제표준이나 자연법칙의 대칭성 등의 분야에서 우리나라의 위상에 맞는 국제적 강자로 자리매김해야 한다.

- 양자 정보(quantum information) 분야는 양자 상태에 대한 근본적인 이해를 바탕으로 전반적인 정보통신 분야에 혁신적인 패러다임을 제시하고, 전자 공학 및 고전 광학에 기반을 둔 기존의 정보통신 기술의 한계를 근본적으로 뛰어넘는 차세대 정보처리 기술을 가능하게 할 수 있다.
- 양자 컴퓨터는 기존의 컴퓨터로 감당할 수 없는 복잡한 문제(재료구조분석, 약물작용분석, 인터넷 검색 등)를 효율적으로 처리할 수 있으며 현재의 암호체계를 무용지물로 만들 수 있다. 양자 통신과 양자 암호 체계는 절대적인 정보보안을 가능하게 하여, 미래의 정보보안과 국가안보에 필수적 연구 분야이다.
- 양자 정보 연구는 광자, 이온, 원자, 초전도체, 반도체 등의 단일 및 다중 큐비트 구현과 응용, 양자 게이트와 양자 증폭기의 구현 및 응용, 거대양자중첩 상태의 생성과 측정, 양자 통신 알고리즘 및 양자 암호 체계의 개발, 양자 통신을 위한 단일 광자 생성, 양자 메모리, 양자 다체계 연구를 위한 양자 시뮬레이터 개발, 양자다체계에서의 얽힘에 대한 이론 개발 등을 포함한다.
- 복잡계에서는 계를 구성하는 거대한 자유도와 비선형적인 특성으로 인해 환원주의적 접근방법으로 예측할 수 없는 현상들이 발현(emergence)된다. 복잡계 과학은 물리학을 넘어 생명과학, 사회과학 및 문화에 광범위하게 적용되고 있으며, 비교적 짧은 학문역사에도 불구하고 세계적으로 매우 활발하게 연구되고 있다.
- 국내의 연구역량은 복잡계 분야에서 세계적 수준의 개별적 연구 성과를 산출하는 상태이며, 통계 및 복잡계 물리분야 대규모 연구 사업단 설치 등의 연구 투자를 통하여 비평형 통계물리학, 비선형동역학, 네트워크 이론 등을 기반으로 한 복잡계 물리학을 정립하고, 생물물리 연구, 사회 및 경제 물리학 연구를 중장기적으로 추진해야 한다.
- 복잡계 상태 이해는 인류 지성사의 커다란 이정표가 될 것이며, 의학, 정보 통신, 경제 분야에서 신약 개발, 질병 진단, 합성 생물학(synthetic biology), 미래 인터넷, 비밀 통신, 경제 변동성 예측 등 큰 파급효과를 가져올 것이다.
- 1960년에 발명된 레이저는 발전을 거듭하며 새로운 학문을 개척하는 기초 도구로 활용되어 왔다. 2000년대 들어와서 펨토초(10^{-15} s) 초강력 레이저 제작 기술의 발달은 실험실 수준에서 10^9 V/cm 이상의 전기장 세기(기존의 가속기 기술로 형성 가능한 전기장 세기의 1000배 이상)를 발생시키는 것을 가능하게 하여 극한환경 하에서 물질의 동

역학을 연구하고 이해할 수 있는 기틀을 마련하였다.

- 펨토초 초강력 레이저가 제공하는 극한환경 하에서는 전자와 이온 등의 하전입자가 레이저의 전기장에 의해서 수 펨토초 만에 빛의 속도에 가까운 속도로 가속된다. 고속의 하전입자가 다른 물질과 충돌하면 극초단 엑스선 혹은 극초단 감마선이 발생하며, 이들 극초단파 광원은 현재까지 미지의 영역으로 남아있는 원자핵의 동역학 연구에 중요한 도구로 활용될 것이다.
- 상대론적인 운동을 하는 전자와 이온으로 이루어진 상대론적 플라즈마 연구를 통해서 우주 플라즈마 물리, 핵융합 물리 현상 등을 이해하여, 인류의 지식 지평선을 넓히고 에너지 문제 해결에 기여할 것이다. 또한, 펨토초 초강력 레이저 기술의 지속적인 발전은 향후에 소형 입자(전자, 양성자, 이온) 가속기 개발을 가능하게 하는 등 기초 학문 발전에 크게 이바지할 것으로 예상된다.

2. 단기(~2017년): 현재 국제적 경쟁력이 있는 선도 연구 분야

시간, 길이 및 주파수 표준 연구

- 시간, 길이 및 주파수 표준 연구는 기초물리학의 측정 기준을 제시하고, 통신 및 군사, 산업적인 기준을 제시하는 연구 분야이다.
- 시간, 길이 및 주파수 표준과 관련된 초정밀 측정 기술 연구는 정밀 측정과 관련된 제반 기반 기술 및 장치에 관한 기초를 확립하는 계기가 될 수 있다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 물리량의 표준 관련 기술은 국가적인 사업임과 동시에, 10년 이상의 장기간에 걸친 투자를 필요로 하는 분야이다.
- 일본의 동경대학과 국가표준연구소의 공동연구처럼, 정밀측정에 기반한 국가 측정표준 확립을 위한 대학의 기초연구와 이의 구현을 담당하는 국가연구소 간의 학연공동연구가 필요하다.

극초단 초강도 전자기장 물리 연구

- 분자간 화학 반응에서 핵의 움직임은 펨토초(10^{-15} s) 영역에서 일어나며 원자 내 전자의 움직임은 이보다 빠른 아토초(10^{-18} s) 영역 현상으로 현재까지 과학적으로 규명되지 않고 있다.
- 극초단 광펄스 등 혁신적 광학기술을 기반으로 기존의 물리적 측정의 시간한계를 극복하여 아토초 영역의 초고속 현상을 규명하고 원자물리학의 정밀측정 방법을 이용해서 기본물리상수와 대칭성을 정밀측정하는 연구가 전세계적으로 추진되고 있다.

○미지의 연구 분야로 남아 있는 분자 동역학, 원자 내 전자 동역학을 탐구할 수 있는 원천 과학 도구로서 아토초 펄스 레이저 기술이 선진국을 중심으로 활발히 연구되고 있으며, 국내에서도 가시적인 성과가 나오기 시작하고 있다. 아토초 영역의 물리는 그동안 연구가 불가능하였던 영역을 새로운 광학적 방법으로 탐구하는 물리-화학-재료과학이 서로 연관된 융합 과학의 블루 오션(blue ocean)이다.

○초강력 레이저장 물리 분야는 선진 각국을 중심으로 국가 차원에서 집중 육성하는 연구 분야로 펨토초 초강력 레이저장을 이용한 극한 물리 조건 형성과 이를 이용한 고에너지 입자(전자, 양성자, 중이온 등) 가속, 극한 광원(극초단 엑스선 및 감마선) 발생, 우주 물리 현상 재현 등의 연구가 추진되고 있다.

○국내에서는 9년간에 걸친 정부지원으로 2012년 세계 최초로 30 펨토초 1.5 페타와트 레이저 시설을 개발하는 등, 초강력 레이저장 물리 분야에서 세계와 경쟁할 수 있는 기반이 마련되고 있다. 이런 기반 시설을 활용하여 펨토초 페타와트 레이저를 이용한 연구가 집중적으로 이루어지면, 세계적인 우수 연구 결과가 창출될 것이다.

■국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

○원자를 이용한 측정은 유효숫자 10개 이상의 정밀 측정이 가능하여 물리량의 표준, 물리상수 그리고 자연법칙의 대칭성 연구에 활용되고 있으며 기존의 한계를 넘어서는 초정밀 측정에 관한 원천 기술의 연구가 장기간 추진되어야 한다.

○물리상수의 측정 및 자연법칙의 대칭성에 관한 연구는 물리, 천문, 화학, 생물 과학의 기초를 제공하는 분야로서 미국, 유럽, 일본 등 과학 선진국에서는 정밀측정 분야에 국가차원의 투자를 하고 있으며, 원자물리학 및 광학분야 노벨상은 대부분 이 분야에서 나오고 있다. 이러한 정밀 측정은 장기간의 협동 연구가 필요하며, 이에 대한 지원체계 수립이 요구된다.

○초강력 레이저장 물리 분야는 국내에서 연구진이 형성되기 시작하는 단계이므로 세계 최고의 펨토초 초강력 레이저 연구시설을 적극적으로 활용할 수 있도록 국내외 최우수 연구 그룹 사이에 연구 협력을 강화해야 한다. 국내에 건설된 세계 최고의 펨토초 페타와트 레이저 시설을 지속적으로 운영하면서 성능을 향상해 나간다면 이를 바탕으로 선진 각국과의 연구 협력 네트워크를 구성할 수 있으며, 창의적인 후속 세대 육성에도 크게 기여할 수 있다. 특히, 유럽의 극한 광기반 시설(European Extreme Light Infrastructure, ELI) 프로젝트 수행팀과의 긴밀한 연구 협력은 단기간에 탁월한 연구 성과를 창출하고 국제적인 경쟁력을 확보할 수 있는 좋은 기회를 제공할 것이다.

비평형 통계물리 연구

○실제 생활에서 일어나는 흥미로운 현상의 대부분은 평형상태가 아닌 매우 역동적인 변화에 의해서 도달한 비평형 정상상태이다. 비평형 다체계 상태의 본질적 이해를 가능하게 할 새로운 이론 체계 개발이 절실히 요구되며, 이에 대한 시발점으로 요동정리가 연구되고 있다.

○요동정리는 전형적인 비평형 물리량인 일과 전형적인 평형 물리량인 자유에너지를 직접 연계하는 것이다. 요동정리의 적용가능 범위 (유효성 문제)와 타당성을 체계적으로 연구하고, 비평형계에서 나타나는 창발현상의 보편성과 그 근본적인 기작, 동역학적 비평형 현상을 연구한다.

○비평형 상태의 복잡성은 대부분 주변 환경과의 활발한 접촉에 기인하며, 이를 이해하기 위해서 예측불가능성을 인정하고 전체론적 관점을 고려하여, 해석에서 정보의 중요성과 함께 통계역학, 비선형동역학, 전산물리 등의 방법을 사용하여야 한다.

○비평형 통계물리학 분야에서 한국의 위상은 세계적으로 매우 높다. 피지컬 리뷰 레터즈(Physical Review Letters) 등 물리학 분야 최상위 저널에 많은 논문을 발표하여 많이 인용되고 있다. 국제학회에도 초청 연사로 많은 활동을 하고 있으며, 통계물리학 분야에서 가장 권위 있는 순수 및 응용 물리학 국제연합(International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP) 주관의 STATPHYS 25 국제 학술행사를 2013년에 국내에서 개최한다.

■국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

○석학급 연구원, 전임연구원, 박사후 연구원, 연구원가 교수, 방문 학자, 석박사과정 학생이 모여 연구할 수 있도록 체계적인 지원이 필요하다. 구체적 지원형태는 한국연구재단의 선도연구센터(Science Research Center, SRC)급 이상의 대형 연구사업단 구성이 바람직하다.

복잡계 네트워크 연구

○복잡계 네트워크 연구는 순수 이론 통계물리학의 지평을 확장하며, 사회학, 경제학, 생물학, 컴퓨터공학 등 다양한 학문 분야와 연계된 학제간 연구의 이론적 분석틀을 제공한다. 복잡계 연구에서 산출되는 전체론적, 시스템적 분석틀은 다양한 분야에 응용가능성이 매우 크고, 광범위한 학문적, 사회적 파급효과가 기대된다.

○최근 사회적인 이슈가 되고 있는 웹(Web) 2.0과 소셜 네트워크 서비스(social network service, SNS)로 인한 사회 동역학의 변화에 대한 이해, 분자생물학과 이를 기반으로 한 분자적 치료법의 한계를 극복하는 통합적 생물학과 네트워크 의학의 구현 등 새로운 학문 조류와 사회적 요구에

대응할 수 있는 연구 체계를 제공한다.

- 국제적으로 초기 단계에 머물러 있는 다양한 학제간 복잡계 연구의 주도적 역할을 선점함으로써 기초학문과 응용분야 모두에 걸친 국가경쟁력 제고에 이바지한다. 국내 복잡계 네트워크 연구 그룹은 탄탄한 연구기반을 바탕으로 복잡계 네트워크 이론의 태동기부터 현재까지 이 분야의 주요한 연구 집단으로 자리매김해왔다.

■국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 국내의 다양한 연구 그룹의 개개 역량을 유지하고 나아가 그룹 간의 유기적이고 활발한 상호작용을 복돋기 위해 선도연구센터(SRC) 또는 과학벨트 산하 기초과학연구원의 연구단 형태 등의 집단 연구 사업을 통해 복잡계 네트워크 연구단/연구소를 조직, 운영하고 국제 교류 및 국제 학술 활동을 지원할 수 있도록 한다.

고체 내에서의 양자적 결맞음과 상관효과 연구

- 물질의 크기가 작아진 상황에서는 양자 효과, 특히 양자 결맞음 효과가 물질의 특성에 미치는 효과가 커진다. 고체 내에서는 전자와 스핀의 결맞음 효과, 불순물 효과, 강한 상호작용 효과가 미치는 영향을 근본적으로 이해해야 한다.
- 전자 소자들의 크기가 작아지면 양자효과가 크게 발현되어, 양자현상이 뚜렷한 나노세계에서는 지금까지의 소자 제작 및 측정 기술을 적용하기 어렵다. 나노기술에 바탕을 둔 새로운 단위기술을 개발 및 확립하고 나노기술 응용분야에서의 측정 정확도를 향상하여, 21세기의 소자제작 및 측정 경쟁에 대비하고, 나노 양자 기술에 기반한 미래 신산업 혁명을 주도한다.

■국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 미국과 유럽의 각국에서와 마찬가지로 양자기반 계측 및 소자 관련 대형 프로젝트를 국가주도로 꾸준히 추진한다.
- 연구수준의 국제적인 경쟁력 우위확보와 핵심 인력 집중 및 시너지 효과의 창출을 위해 1~2개의 중규모 집단연구(5~10억원/년)가 적합하다. 또한 이 분야는 기술 확립에 상당한 기간이 소요되므로, 지속적 추진이 요구된다.

3. 중기(~2022년): 시급히 추진해야 하는 연구 분야

초정밀 분광학 연구

- 이 분야는 물리학 교과서에 나오는 기본물리상수의 확립 및 자연법칙의 대칭성 깨짐과 같이 많은 유효숫자를 갖거나 극히 미세한 현상을 측정하는 초정밀 측정 분야이다.
- 아직 우리나라는 이 분야에서 국제적으로 공인받는 측정결

과를 발표한 적이 없다. 우리나라 기초과학이 한 단계 도약하기 위해서 반드시 필요한 연구들이다.

- 원자와 분자 구조 및 충돌 현상에 대한 정밀 측정 및 분광학 연구를 통하여 원자의 에너지 준위, 동위 원소 이동 값, 상대론적 효과에 의한 원자의 에너지의 초미세 구조, 에너지 준위 사이의 전이 확률, 원자 분자 및 그 이온의 전자/광자/중이온/반물질의 충돌 과정을 탐구한다. 이러한 연구는 양자 정보 및 측정 기술을 구현하기 위한 기초적 자료를 제공할 뿐만 아니라, 반도체 공정을 위한 플라즈마 프로세싱 및 생물, 화학, 천체, 핵융합 에너지 분야에서 없어서는 안 될 자료를 생산하는 원자 분자 물리의 정통 연구 분야이다.

■시급히 추진해야 하는 이유

- 초정밀 측정 연구는 물리학 연구의 기초 기술로, 우리나라 기초과학 수준의 도약을 위해 필수적인 연구 분야이다. 특히, 초정밀 측정을 위해서는 여러 분야의 극한기술이 필요하며, 이들 노하우(know-how)는 인접분야의 측정기술에 큰 파급효과를 가진다.
- 계획 중인 중이온가속기가 완성되면, 특수한 동위원소를 이용한 정밀측정의 기회가 열릴 것이며, 이에 대비하여 이 분야의 저변과 연구기반의 확보가 필요하다.

■시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 원자와 분자 구조 및 충돌 현상에 대한 국내 연구는 그 중요성에도 불구하고 연구 인력과 연구비를 확보하기 어려운 상황에서 소규모로 연구가 이루어지고 있다. 국내 연구자들의 공동 협력 연구 및 인력 양성을 위한 연구비 지원이 시급하다.

빛과 원자의 양자제어 연구

- 최근의 원자/분자물리학 및 광학 연구는 원자와 빛의 양자적 성질을 근본적인 수준에서 이해하고, 이들을 더욱 정밀하게 제어하는 방향으로 가고 있다. 원자의 경우 기존 연구에서는 그 내부구조의 양자적 특성이 강조되었으나, 최근에는 냉각과 포획을 통해서 외부 자유도까지 양자화된 상태의 연구가 행해지고 있다.
- 광학의 경우 비고전적 광원인 레이저에서 한발 더 나아간 양자화된 광선의 비고전적 특성이 강조되고 있다. 이런 연구는 양자역학의 여러 근본적인 질문에 대한 새로운 연구로 이어지고 있으며, 양자정보학 분야의 응용 가능성을 열어가고 있다.
- 광자에 저장된 양자정보를 저장하는 양자메모리는 양자전산 및 양자통신의 실용화에 핵심적인 요소이지만 양자상태를 효율적으로 오랜 시간 저장해주는 양자메모리 관련 기

술은 아직까지 기초연구단계이다. 원자와 광자의 결맞음 상호작용을 이용해 광자의 양자상태를 원자로 저장한 후 다시 광자로 재생하는 양자메모리에 대한 기초연구가 수행되고 있다.

- 양자기체로 불리는 극저온 원자기체는 현재 양자 다체계 현상 연구를 위한 새로운 실험물리 시스템으로 발전하고 있으며, 양자정보기술을 구현할 결맞음성이 좋은 양자시료로서 주목을 받고 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 빛과 원자의 양자적 제어기술은 현대사회의 근간인 트랜지스터에 기반한 컴퓨터와 레이저를 이용한 광통신 등의 기술이 21세기에 나아갈 방향을 제시하고 있다. 양자적 얽힘 상태와 비고전적 광원을 적극적으로 이용하는 양자정보 및 측정기술은 19세기 전자기학이나 20세기 양자물리학이 당시 과학과 산업에 가져온 변혁에 해당하는 큰 변화를 가져올 것으로 예상된다.
- 양자정보기술은 21세기 과학 및 산업분야의 혁신을 가져올 만한 것으로, 우리나라가 과학과 기술을 선도하는 국가로 발전하기 위해서는 이 분야에서 적정 수준의 연구 인력과 연구역량을 확보하는 것이 중요하다. 최근의 세계적인 연구 진행에 비추어 보았을 때, 그 중요성에 비해 국내의 연구 상황이 매우 열악한 상황이다. 시급하게 연구를 진행하여 기반기술을 확보하여 기술 독립성을 확보해야 한다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 빛과 원자의 양자적 제어 연구는 실험에 관련된 모든 변수에 대한 구체적인 이해와 철저한 제어를 필요로 한다. 대개 5~10년 동안 한 가지 목표를 가지고 실험을 수행해야 하며, 그 결과가 실패로 돌아갈 위험도 높다. 따라서 이 분야의 지원은 장기적이고, 안정적이어야 하며, 세계적인 수준을 따라잡기 위해 지속적이고 적합한 연구 주제를 선정하고 연구 역량을 집중할 수 있는 체계 구축이 시급히 필요하다.
- 국내에 산재해 있는 연구그룹이 원자/광 및 실험/이론 분야에서 시너지 효과를 낼 수 있도록 연구센터 형태의 지원이 필요하다. 또한, 중견연구자 핵심 개인/공동 연구 형태의 지원이 요구된다.

초강력 레이저장 물리 연구

- 초강력 레이저장 물리는 극한 물리 조건 형성을 바탕으로 물질의 근본 현상을 탐구하는 순수 기초 학문 분야로 국내에서 국제적인 경쟁력을 보유했기 시작한 분야이다.
- 초강력 레이저장 물리 연구는 광학, 원자/분자물리, 플라스마 물리, 핵물리, 입자물리, 우주물리의 지식이 동시에 요

구되는 학제적 연구이므로, 개별 세부 분야에서는 다루지 않았던 새로운 학문 영역이 개척되어 자연 현상을 이해하는 새로운 패러다임이 형성될 수 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 초강력 레이저장 물리 분야는 연구 성과에서 국제적인 경쟁이 치열하고 선진 각국이 집중 육성하고 있는 분야이며, 국내에서도 경쟁력을 갖춘 분야이므로 시급한 투자와 육성이 필요하다.
- 초강력 레이저장이 만들어 내는 극한 상태의 물리 조건은 기존 기술로는 얻을 수 없는 조건이므로, 이를 활용하여 기존 기술의 한계를 뛰어넘는 신기술을 산출할 수 있다. 이러한 극한기술은 첨단산업의 원천기술이 되어 국가 경쟁력 강화에 크게 기여할 것이다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 세계 최고의 펄스초 초강력 레이저 시스템을 안정적으로 운영하고 세계적인 연구 그룹과 긴밀한 연구 네트워크를 구성하면서 첨단 연구를 수행할 수 있는 환경을 정부 차원에서 조성해 주는 것이 필요하다.
- 세계 최초의 연구성과를 이루어 내기 위해서는 독자적으로 실험을 기획하고 해석할 수 있는 이론/계산 전문가가 반드시 필요하다. 국내의 이론/계산 전문가가 극히 소수임을 고려하면, 이들 사이의 연구 네트워크 형성을 정부에서 지원하여 공동연구를 통한 시너지 효과를 도모하고 더 나아가 전문인력 양성과 독자적인 대형 시뮬레이션 프로그램 개발을 수행할 수 있도록 해야 한다.

경제 및 사회물리학 연구

- 경제 및 사회물리학은 물질이나 자연 현상에서 나타나는 보편성을 사회 현상으로 확장하여 현상에 대한 이해와 해석을 시도하는 분야이다. 경제 및 사회물리학은 대용량 자료를 수집, 가공, 해석할 수 있는 연구 인프라가 구축되기 시작한 1990년대 이후 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 최근에는 시장의 미시구조와 매커니즘을 탐구하며 사회 시스템을 구성하는 요소들의 상호작용을 통한 창발(emergence) 현상에 대한 연구가 왕성하다.
- 경제 및 사회물리학은 학문분야의 경계가 허물어진 융합·학제간 연구가 일반적인 형태이며, 그 근간을 이루는 물리 분야의 세계적인 경쟁력을 조기에 확보해야 한다.
- 사회물리학의 대표적인 연구 분야 중 하나인 소셜 네트워크 분석의 경우 몇몇 회사의 수익 창출을 위한 서비스 수준을 넘어서 세계적인 문화로 자리 잡았으며, 인간이 할 수 있는 모든 것에 대한 정보가 수집·분석되고 있다. 앞으로 우리나라의 산업 구조가 단순한 생산 공장 중심의 추격형

모델을 벗어나 창의성에 기반한 선도형 혁신을 이루기 위해서는 사회물리학의 연구가 필수적이다.

- 우리나라는 경제 및 사회물리학 연구 경쟁력의 근간이 되는 ‘복잡계’ 분야에서 세계적인 수준의 연구 역량을 자랑하고 있다. 특히 복잡계 네트워크 연구의 문을 연 네이처(Nature), 사이언스(Science)의 논문은 한국인 학자가 주도한 연구였으며, 2009년 개최한 경제물리학 학교(School on Econophysics)에는 80여 명의 학자가 참석하였고, 최근에는 경제사회물리연구회가 발족되어 정기적인 모임을 가지고 있다. 풍부한 신진인력에게 적절한 지원이 이어진다면 단기간에 세계적인 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 국내에서 이 분야의 세계적인 인지도와 학문적 탁월성을 가진 석학 및 중견급 교수·연구원은 5명 내외이며, 박사후 연구원 등 선임급 이상 연구인력의 규모는 15~20명 규모이다. 따라서 글로벌핵심연구센터(Global Core Research Center, GCRC) 또는 선도연구센터(SRC), 기초과학연구원 연구단 등 대형사업단의 세부연구분야 형태로 연구진을 집적하며, 다수의 소규모의 개인 연구과제 등을 통해 대형사업단에 참여하지 않는 연구자를 개별 지원하여 핵심 그룹과 연구 네트워크를 형성하는 형태로 육성하는 것이 바람직하다. 또한 학문분야가 태동한지 얼마 되지 않았다는 점을 감안하여 연구투자를 조속히 시작하는 것이 세계를 선도하는 연구 그룹을 구성하는 전략이다.

4. 장기(~2042년): 미래 사회를 위해 추진해야 하는 연구 분야

복잡계 연구소

- 물리학은 자연계의 구성성분에 대한 미시적 이해의 추구에 서 구성요소 사이의 상호작용 결과로 나타나는 거시계의 발현현상에 대한 이해를 추구하는 방향으로 발전하고 있다. 또한 개별적 학문분야 내에서의 연구에서 다른 학문 분야 사이의 융합 연구의 방향으로 발전하고 있다.
- 미래의 학문 발전을 선도하기 위해서 통계물리학을 주축으로 생물학 분야, 정보통신 공학 분야, 사회학 분야, 경제학 분야와의 융합 연구를 수행할 수 있는 연구소의 설립이 필요하다. 이 연구소는 물리학 분야의 연구자뿐만 아니라 타 분야의 연구자가 공동으로 참여하는 융합 연구를 조직하여 궁극적으로는 21세기 물리학을 창출하게 할 것이다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 통계물리학 분야의 연구 인력을 지속적으로 양성한다.
- 융합 연구를 위한 인프라를 구축한다.
- 학문 발전을 위해 지속적으로 지원한다.

III. 포스트 실리콘 물질 연구

현대 정보 사회는 전기에 의해 동작하는 전자 소자에 기반하고 있다. 지금까지의 전자 소자는 반도체의 일종인 실리콘에 기반하고 있으며, 이에 대한 기술은 20세기 중반에 이루어진 기초 물리학 연구에 기반하고 있다. 21세기에 지속적으로 확대될 정보화 사회에서 사회에 필요한 물적 기반을 제공하고 국가 경쟁력을 유지하기 위해서는 실리콘을 넘어서는 신소재 개발이 필수 불가결하다. 이를 위해서는 물질의 근본적 성질을 파악하고 가능한 물성의 한계를 지속적으로 연구하는 물리학의 역할이 매우 중요하다. 이 분야의 물리학 연구는 응집물질물리학, 응용물리학, 반도체 물리학, 광학 및 양자 전자학 등 다양한 물리학 분야에서 진행되고 있다.

1. 개요: 현황과 전망

- 물리학은 자연을 이해하고 이를 기술, 해석하는 학문으로 그 어떤 학문보다 원천기술 확보에 기여하며, 산업의 고도화와 과학의 발전 속에 그 중요성이 더욱 커지고 있다.
- 정보의 처리, 저장, 전달, 표시 기술은 현대 정보 사회의 필수 기술이며, 경제적인 부가가치 창출과 직결된다. 현재의 정보통신소자와 디스플레이를 뛰어넘는 기술의 개발은 향후 우리나라의 경제 성장에 매우 중요하다.
- 21세기의 기술 경쟁 시대에서 국가의 경제적 주도권 확보 차원에서도 응집물질 분야에서 전략적 이니셔티브를 확보하여 신물질들의 물성 이해에 대한 새로운 학문적 패러다임을 제시하고 차세대 산업 기술개발을 위한 연구기반을 구축하는 것이 시급히 요구된다.
- 응집물질 분야의 연구결과들은 반도체, 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD), 에너지, 항공우주 기술개발에 있어 핵심소자소재의 원천기술로 활용되어 왔으며 재료공학, 화공, 화학, 기계공학의 기반이 되고 있다. 응집물질 분야에서 국제적인 경쟁력을 갖기 위해서는 연구자 개인의 창조성 발현과 이를 뒷받침할 최고 수준 연구 시설의 전략적 지원이 요구된다.
- 반도체 물리학은 최첨단 정보통신시대의 기반이 되는 반도체를 연구하는 학문으로써, 나노기술의 융합과 함께 미래의 의료, 통신, 교육, 방위, 환경, 에너지, 우주산업 등 인류생활의 전반에 걸쳐서 큰 파급효과를 가져오고 있으며, 미래의 국가경쟁력 확보에 매우 중요한 분야이다.
- 반도체 분야에서는 단기적으로는 기존의 반도체 물질과 함께, 그래핀, 탄소나노튜브 등 차세대 물질과의 융합을 통해 새로운 물질의 특성을 연구하며, 장기적으로 이러한 물질을

응용한 고성능의 반도체 메모리, 에너지, 디스플레이, 통신 소자 등을 개발한다.

- 광기술은 물리학을 바탕으로 하는 첨단 기술로 이는 20세기 후반 정보통신 혁명과 모바일 기기의 핵심이 된 디스플레이로 대표된다. 광기술을 바탕으로 삼는 광산업은 차세대 선진국형 유망산업으로 물리학, 화학, 전자, 기계, 컴퓨터, 정보통신 등 고도의 응용기술 분야에 기반을 둔 복합기술이며, 아이디어 및 기술력의 비중이 큰 지식 기반형 산업이다. 광기술의 핵심이 되는 원천기술을 확보함으로써 우리나라의 산업구조를 고부가가치 산업으로 도약시킬 수 있다.
- 한편, 자연에 존재하는 원자가 아닌 인위적으로 제조된 원자를 기반으로 하는 신개념 메타물질 연구는 기존에 제시된 소재, 소자의 한계를 뛰어넘는 차세대 에너지, 바이오,

정보통신 소자의 개발을 가능하게 할 것이다.

- 또한, 거시계와 미시계의 사이에 존재하는 중시계는 통계역학적 개념이 필요한 많은 수의 입자를 포함하면서도 미시계의 지배원리인 양자역학적 현상이 발현되는 미개척 영역이다. 이에 대한 연구 개발을 통해 새로운 물리 현상에 기반한 신개념 소자 개발이 가능할 것으로 예상된다.

2. 단기(~2017년): 현재 국제적 경쟁력이 있는 선도 연구 분야

양자물질연구

- 그래핀, 나노튜브, 나노선, 위상절연체, 고온초전도, 초거대 자기저항 물질, 다강체 등과 같은 신물질 탐색 연구 분야에 있어 미국, 일본, 유럽 등과 같은 과학 선진국들과의 격차

그림 3-1. 포스트 실리콘 물질 연구 로드맵 (반도체 이외).

를 해소하고 과학 선진국으로서의 위상을 정립하며, 차세대 성장 동력의 근간이 될 수 있는 신물질 연구의 기반을 확보한다.

- 본 연구 분야는 미래형 메모리 소자 및 센서, 고 기능성 소재, 에너지 저장 및 변환 매체 등에 필요한 신물질 신소재 개발과 직결되는 기초연구로서 ‘국가미래과학기술 전략’의 핵심 분야일 뿐만 아니라 응집물질 물리학의 학문적 패러다임의 전환이 요구되는 분야이다.
- 양자물질 연구는 아래의 5분야를 포함한다.
 - 1) 강상관계 현상과 새로운 초전도체 연구
 - 2) 신기능성 복합물질 탐색 및 양자물성 연구
 - 3) 원자수준 물질제어와 신물질 탐색 연구
 - 4) 그래핀과 위상절연체 양자물성 연구
 - 5) 신물질 양자물성 이론 연구
- 주요 연구장비로는 포항방사광가속기, 하나로의 중성자 산란시설, 초고전압 투과전자현미경 등의 거대시설들과 함께 주사터널링 현미경 등 국제 수준의 연구장비가 가동 또는 개발 중이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 양자물질 연구 분야에서 국제적인 허브의 역할을 하며 인프라를 공동으로 활용하고 국내 연구인력을 효율적으로 양성하고 지원하기 위해 대표 사업(Flagship Project)으로 “양자물질연구 이니셔티브(Quantum Materials Research Initiative: QMRI) 글로벌 리더십 사업단”이 필요하며, 이와 병행하여 핵심 분야별 글로벌 연구 경쟁력 확보를 위해 2~4개의 선도연구센터(SRC)가 필요하다. 양자물질연구 이니셔티브 글로벌리더십 사업단은 50억원/년의 지원이 필요

하며, 선도연구센터는 센터당 10~20억원/년의 지원이 필요하다.

그래핀 기반 광전자 소자 응용 연구

- 전 세계적으로 그래핀의 제조방법 및 응용에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있으며, 그래핀 기반의 광소자 기술개발도 보고되고 있다. 최근에는 넓은 대역에서 응답 속도가 빠른 그래핀 광 검출기의 가능성이 제시되었으며, 발광 다이오드(Light Emitting Diode, LED)나 유기물태양전지에도 응용되었다.
- 현재 대부분의 광전자 및 태양광소자에서 사용되고 있는 투명전도막은 산화인듐주석(ITO)이 주로 사용되고 있지만, 투명 전도막을 그래핀이 대체하게 되면, 모바일 디스플레이, 터치스크린, 태양전지, 자외선 센서 시장에서 경제적 가치는 매우 클 것으로 전망되고 있다. 한국생산기술연구원의 조사결과는 2030년 투명전극의 시장 규모를 약 71조원으로 추정하고 있다.
- 국내에서의 그래핀 제조 및 대량화 기술개발은 세계적 수준이며, 그래핀 제조 및 대량생산과 관련하여 국내기업들이 높은 매출을 올리고 있다. 하지만, 그래핀 기반 광소자구조의 설계 및 연구에 대해서는 아직 미진한 상태이다.
- 그래핀을 활용한 투명전극, 반도체, 에너지 전극재료, 복합재, 방열소재 및 인쇄전자용 소재 시장규모는 2015년 약 32조원 정도로 추정하고 있으며, 전체의 약 35% 정도가 광전자 소자에 응용될 것으로 추정하고 있다. 그래핀에 대한 특허출원은 2005년에서 2009년 사이에 약 2550건 정도이며 해마다 증가하고 있으며, 국제 특허 점유율을 보면

2017 년	2022 년	2042년
4족 반도체 3차원 집적회로 연구, 10 nm 공정 기술 연구	4족 반도체 3차원 집적회로 연구, 5 nm 공정 기술 연구	4족 반도체 신개념 집적회로 연구, 2 nm 공정 기술 연구,
화합물 반도체 이중 접합물질 연구, 투명 전도성 산화물 연구, 태양전지 연구, 형광체 연구	AlGeN, AlGaInP, InGaN, InGaNp 화합물 반도체, 2-6족 화합물 반도체 기반 초고속 소자 및 광소자 연구	화합물 반도체 기반 광 소자, 스핀트로닉스 소자, 광전자 집적소자 연구
그래핀 기반 광전자 소자 응용 연구	탄소나노튜브와 그래핀의 융합기술	그래핀을 이용한 통합형 스핀양자 전자 소자 개발 연구, 탄소나노튜브 기반 전자소자 연구
진공장비기술 및 공정 최적화 연구, 자성반도체, 금속-절연체 하이브리드 구조의 고품위 성장	테라헤르츠 초격자 광원 및 이미징 시스템 개발	다기능 양자 메타물질 활용 연구
유기 결정, 탄소 나노물질, 나노입자 등의 결정 성장 연구	유기-무기물 하이브리드 소재 연구 태양전지, 발광소자, 전자소자	고효율, 고수명 유연 소자 연구, 유기물 분자 소자 연구

그림 3-2. 포스트 실리콘 물질 연구 로드맵 (반도체 기반).

미국이 51%, 우리나라가 11%를 차지하고 있다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 그래핀 기반 광전자 소자 분야의 경쟁력을 위해서는 다양한 광소자 응용개발에 앞서서 원천적인 기술을 선점하는데 집중하여야 한다.
- 이를 위해 광소자 관련 기업과 대학간의 긴밀한 연구가 이루어 질 수 있도록 국가의 장기적인 투자가 요구된다.

광정보 기술 - 디스플레이 연구

- 디스플레이란 전기적으로 처리된 정보를 시각적 정보로 바꾸어주는 장치로서 정보통신기기의 중요 부품이며 동작 형태에 따라서 액정 디스플레이(LCD), 플라즈마 디스플레이(PDP), 유기 발광 다이오드(OLED), 유연한 디스플레이(Flexible Display) 및 입체 영상 디스플레이(3D) 등으로 분류할 수 있다.
- 디스플레이 기술 및 산업은 반도체, 자동차와 더불어 국내 산업성장을 이끌고 있는 국가 주력 산업이다. 또한 평판 디스플레이와 더불어 유연한 디스플레이는 차세대 미래 디스플레이로 모든 정보 기술 제품에 적용이 가능하여 디스플레이 시장 규모를 폭발적으로 확대시킬 것으로 예상된다.
- 국내 기업들이 액정 디스플레이 패널 생산에 있어서 세계 1, 2위를 다투고 있으나, 장비 및 부품소재는 여전히 수입에 의존하고 있다. 액정 디스플레이 등의 제조장비 국산화율은 현재 약 50%이며 노광기, 현상기 등 핵심 장비를 국산화하기 위해 노력 중이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 평판디스플레이의 전력소비를 획기적으로 낮출 수 있는 저소비 전력기술 개발이 요구된다.
- 액정 디스플레이 패널의 경우 후방 산업인 부품소재, 장비 등에서 매우 취약하여 제조 장비의 경우에 국산화율이 24%에 불과하다. 장비 해외 의존율을 줄이기 위해 신기능 부품과 차세대 장비를 개발하여야 한다.
- 대형 유기 발광 다이오드 디스플레이의 양산에 대비하여 장비 및 재료의 원천기술을 확보하여야 한다.
- 유연한 디스플레이 관련 기술을 확보하기 위해 원천기술 및 특허, 핵심부품 및 장비, 재료분야 연구 개발에 집중 투자해야 한다.

중시계 양자정보소자 연구

- 자연에 대한 탐구는 고전적인 거시계로부터 출발하여, 원자 수준의 미시계를 거쳐, 그 중간 영역인 중시계에 이르렀다. 일반적으로 양자역학적 특성이 지배하는 물질계를 나노계로 인식하고 있지만 나노계에서도 10 나노미터 이하의 원

자, 분자 영역과 100 나노미터 이상의 거대분자 영역은 그 물리적 성질이 많이 다르다. 중시계는 원자분자 영역과 거대분자 영역 사이의 중간계에 해당하며, 고전적인 물성과 양자 현상이 같이 발현될 수 있다는 독특한 특징을 갖는다.

- 중시계는 크기, 모양, 대칭성, 입자수, 공간적인 차원, 입자간 상호작용 등의 다양한 특성이 인위적으로 제어될 수 있어서, 자연의 근본 원리를 체계적으로 예측, 검증, 재현하는 “테스트 플랫폼” 역할을 하여 현대 응집물질 물리학의 핵심 분야로 자리매김하고 있다. 양자역학의 모든 현상을 중시계에서 재현해 낼 수 있을 뿐만 아니라 전혀 새로운 물리현상을 중시계에서 발견할 수 있을 것으로 예상된다.
- 중시계 물리의 주 관심사인 고체기반의 양자물리 현상은 원자나, 양자광학 등에서 구현하는 것과는 다른 차원의 물리현상을 구현 가능하게 한다. 양자정보소자 연구는 미래 기반 산업의 토대를 구축할 뿐만 아니라 미래의 국가 안보 및 사회 안전망과 직결된다.
- 우리나라의 경우 중시계 물리학 연구가 중시계 연구회를 중심으로 시작되어, 이론 분야를 중심으로 깊이 있는 세계적인 수준의 연구가 진행되고 있으며, 실험 분야에서도 괄목한 진전과 성과가 산출되고 있다. 연구 인력의 수적 열세에도 불구하고 개별적으로 탁월한 연구 성과를 보이며 세계적인 연구 경쟁력을 갖추고 있다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 유럽과 미국, 일본의 선도 연구 그룹들은 각각 유럽 연합, 미국 국방부 및 과학재단, 일본 문부성 등의 전략적이고도 집중적인 지원을 지속적으로 받고 있다. 연구의 특성상 초정밀 시료 제작과 극저온 및 초고감도 측정 환경이 필수적으로 요구되며, 이를 운용할 최고급의 인력 양성에 장기간의 투자가 필요하다.
- 현재 국내의 중시계 물리 인력은 학문 특성상 여러 대학에 소수의 인원으로 산재하여 있어, 연구 인력의 네트워킹 및 조직 체계화가 절실하다. 따라서, 우수한 개별 역량을 갖춘 국내 중시계 물리 연구인력을 조직/체계화하고 연구 네트워크를 유지할 핵심 연구센터의 설립이 요구된다. 이러한 연구센터가 국내 연구 역량의 국제적 연구 경쟁력 강화에 크게 이바지하고 국내 연구진이 주도적으로 개척하는 새로운 단계의 연구 수행과 독자적인 연구 분야를 창출할 것으로 예상된다.

스핀 과학 및 응용 연구

- 스핀 과학은 전자 및 핵의 스핀 특성이 관계된 물리현상 연구 및 이를 응용한 소자 개발을 포괄한다. 기존의 전자공학이 전자들의 전하의 흐름을 이용한 소자들인데 비해, 최

근 스핀의 이동을 이용한 새로운 방식의 다양한 물리적 현상들이 제안되고 실험적으로 검증되어 기존의 소자에 없는 기능이 예측되고 있다.

- 스핀 관련 대표적 물리현상으로는 양자전산, 스핀전류, 스핀-전하, 스핀-열 상호작용 현상이 있으며, 스핀-전하/스핀-열 사이의 상호작용 물리현상은 물리적으로 근본적인 이해가 요구되고 있다.
- 전하(charge)에 대한 이해를 토대로 현재의 전자공학이 태동했듯이, 스핀에 대한 물리학적 연구는 스핀을 응용한 차세대 전자통신, 에너지소자 등의 개발을 가능하게 할 것으로 예상된다. 전 세계적으로 새로운 물리현상을 찾고 규명하는 학문적인 연구가 진행 중이며 원천기술 확보에 주력하고 있다. 이 분야의 물리적 현상에 대한 선제적인 연구를 통해 향후 스핀소자 실용화에 필요한 원천기술을 확보할 수 있다.
- 특히 스핀논리소자, 스핀열전효과, 마그네트 스위칭 효과, 마그네트 배터리 효과, 스핀 홀 효과 등 새로운 물리적 원리가 최근 발견되어, 이러한 효과를 극대화하고 효과간의 상호 작용에 대한 원리를 규명하기 위한 새로운 소재와 소자의 개발이 요구된다. 또한, 각 효과의 정밀한 측정기술 개발이 요구된다.
- 스핀과학 분야 연구는 다양한 응용성이 기대되는 분야로서 산/학/연 협동 응용연구가 요구되는 분야이며, 특히 국제적 수준의 나노제작기술을 보유한 기업과의 협동연구가 매우 중요하다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 스핀과학 분야의 물리적 현상 연구는 다양한 전문성을 가진 연구그룹(이론, 계산, 소자측정, 재료)의 공동 연구수행이 필수적이며 다양한 응용성이 기대되는 분야이기 때문에 산/학/연 협동의 응용연구가 요구된다. 특히 국제적 수준의 나노제작기술을 보유한 기업과의 협동 연구 체계 구성이 매우 중요하다.
- 기초적인 성격이 매우 강하지만 실용화에 필수적인 원천기술을 확립할 수 있는 절호의 기회로 체계적인 연구수행을 위한 산/학/연 연계 대형 사업이 요구되며 차세대 원천 기술 연구를 위한 기초연구 지원 사업이 요구된다.

고집적 비휘발성 메모리 연구

- 플래시 메모리로 대표되는 비휘발성 메모리 소자는 개인용 휴대 전자기기 시장의 폭발적 증가로 말미암아 반도체 산업에서의 중요성이 더욱 커지고 있다. 특히, 메모리 소자 위주의 반도체 전자산업 구조를 가진 우리나라의 경우에, 세계 시장 지배력을 유지하기 위한 차세대 기술 개발이 매

우 필요하다.

- 각 대학의 연구진들은 플래시 메모리, 강유전체 메모리, 자기 메모리, 상전이 메모리, 저항 변화 메모리 등 다양한 미래 소자 분야에서 기초 연구와 인력 양성에 매진하고 있다.
- 기초 연구에 있어서는 국내 연구진들이 자체 역량으로 사이언스(Science), 네이처(Nature), 네이처 머티리얼즈(Nature Materials), 나노 레터(Nano Letter), 어드밴스트 머티리얼즈(Advanced Materials) 등 세계 최고 수준의 학술지에 논문을 게재할 수 있는 수준에 도달하였으며, 주요 국제학회에의 조직위와 초청 연사진 구성에 있어서도 주도적 역할을 맡고 있다.
- 대학과 국내 산업체와의 교류도 활발히 이루어지고 있으나, 기술 애로점을 해결하기 위한 단기적 협력이 다수이므로, 획기적 기술 혁신을 위한 원천 기술 연구가 수행될 수 있도록 정부 주도의 중장기 프로그램이 마련되어야 한다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 현재까지 국내 산업체들이 반도체 메모리 사업에서 시장 점유율을 지탱해온 바탕은 성숙된 공정 기술에 기인한 가격적 우위이다.
- 스핀 전달 토크 자기 메모리(Spin Transfer Torque MRAM), 메모리 저항기(memristor) 등 비휘발성 메모리와 관련된 물리학 연구분야에서 국내 기초과학 연구진들이 세계를 주도할 수 있는 경쟁력을 확보해야만 관련 분야의 원천 기술을 확보하여 산업 경쟁력을 지속적으로 유지할 수 있다 새로운 기술적 패러다임을 제공할 수 있는 기초분야의 연구 투자가 국내산업체의 역량을 뒷받침하는 든든한 버팀목이 될 것이다.

3차원 실리콘 반도체 집적회로 연구

- 기존 반도체 소자의 성능을 뛰어넘으며 상보형 금속산화물 반도체(CMOS) 제조 기술과 친화적인 집적기술개발 연구가 필요하며, 그중 실리콘 관통전극(Through Silicon Via, TSV) 개념을 이용한 3차원 집적 회로(3D IC)가 각광받고 있다. 이러한 기술개발은 미래 유비쿼터스 시대에서 국가성장의 핵심기술이 될 것으로 전망하고 있다.
- 3차원 집적회로의 기술은 급속하게 성장하는 시장을 예상하여 미국을 중심으로 표준화가 논의되고 있는데 매년 실리콘 집적 구상 협회(Silicon Integration Initiative)와 세계 반도체 협회(Global Semiconductor Association)는 3차원 집적회로와 관련된 설계 및 제조, 인터페이스를 논의하며, 3차원 집적회로 동맹(3D-IC Alliance)에서는 삼차원적층구조에서의 인터페이스에 대한 표준화 문서를 발행하였다. 이와 같은 표준화 작업과 함께 인텔(Intel)사와 아스

트리(ASTRI)사는 고성능 전자 소자를 개발하였다.

- 국내에서는 3차원적 칩 배치를 위해서 실리콘 관통전극 기술의 설계 및 제조 방법에 대한 기초적인 연구가 산업체와 나노랩을 중심으로 진행되고 있다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 3차원 집적회로의 제조 기술 및 설계 기술 연구는 국내 기업과 대학간의 긴밀한 협력을 통해 국제 3차원 집적회로 표준화에 발맞춰 진행될 수 있도록 정부의 적극적인 투자를 통해서 관련 연구인력의 확충과 체계적인 시스템을 갖추어야 될 것이다.

3. 중기(~2022년): 시급히 추진해야 하는 연구 분야

응집물질 분야 공동이용 연구시설 확충

- 국가별 과학 기술 수준은 연구자 개인들의 창의성과 이를 발현하게 할 수 있는 최첨단 연구시설의 수준에 의해 결정된다. 첨단 수준의 분해능을 지닌 분석장비 등은 대규모 연구투자자만이 마련될 수 있는 고가의 장비들이기 때문에 국가 지원의 연구소나 핵심 연구센터에서 공동 이용시설로서 운영되고 있다.
- 이러한 시설을 미보유한 국가는 해당 분야의 연구자들이 외국의 시설을 이용할 수밖에 없으므로, 국제적으로 주도적인 연구를 수행하지 못하고 개별적으로 따라하는 추격형 연구 수준에 머무를 수밖에 없다. 이러한 이유 때문에 선진국들뿐만 아니라 신생 산업국들도 공동 연구시설의 확충에 대규모 투자를 하고 있다.
- 국내의 연구진들이 응집물질 분야에서 국제적인 리더쉽을 확보하기 위해서는 국가 단위의 전략적 차원에서 방사광, 중성자, 초고전압 전자현미경, 고자기장, 초저온 주사전자현미경, 초고속 고전자이동도 트랜지스터(High Electron Mobility Transistor, HEMT) 기관성장시설 등의 공동이용시설을 확보하고 운영하여야 한다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 중요 연구시설 중에 포함 방사광 시설, 한국원자력연구소 하나로 중성자 시설, 한국기초과학지원연구원 초고전압 전자현미경은 국내에서 운영되고 있으나, 고자기장 시설, 초고속 고전자이동도 트랜지스터(HEMT) 기관 성장시설, 초저온 주사현미경은 아직 국내 공동 연구 시설로 보유하고 있지 못하다. 국가 차원의 응집물질물리 분야 연구력에 이들 시설이 결정적 영향을 미치므로 이러한 시설을 시급히 확보하여야 한다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 다음과 같은 우선 순위로 추진이 필요하다.

- 1) 고자기장시설: 핵심 연구센터, 70억원/년
- 2) 초저온 주사전자현미경(STM): 핵심연구센터, 70억원/년
- 3) 초고전압 투과전자현미경(TEM) 성능개선: 20억원/년
- 4) 중성자 이용 시설 및 기술 개발 센터: 20억원/년
- 5) 초고속 고전자이동도 트랜지스터(HEMT) 기관 성장 시설: 20억원/년
- 6) 방사광 및 자유전자 레이저 이용기술 개발 센터: 50억원/년

테라헤르츠 초격자 반도체 광원 및 이미징 시스템 개발 연구

- 티-레이(T-ray)라고 칭하는 테라헤르츠파는 그 응용범위가 매우 큰 광원으로서, 1 meV ~ 100 meV의 매우 낮은 에너지로 물질을 분석할 수 있다. 기존의 엑스선 촬영에 비해 정교하고 안전하여 차세대 의료영상기술자원에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 각종 통신, 정보, 보안, 의료, 우주, 군수, 환경 산업분야 등 다양한 분야로 널리 이용될 수 있어, 세계 시장의 잠재력과 파급효과가 매우 크다.
- 90년대 후반부터 테라헤르츠파의 응용 및 광원개발의 국내 연구가 시작되어 정부출연연구소를 중심으로 테라헤르츠파 자유전자 레이저 개발에 힘쓰고 있으며, 주요 선진국과 기술적인 격차를 줄이기 위해서는 적극적인 투자가 필요하다. 또한 최근까지 테라헤르츠파를 응용한 안테나, 광결정 섬유, 분광 기술 등의 연구는 비교적 활발히 진행되고 있으나, 실제 광원 개발에 대해서는 미비한 상태이다.
- 초격자간 서브밴드간 광천이를 이용한 기술은 고성능, 고효율, 소자단위로써 티-레이를 실현시킬 수 있기 때문에 가장 유망한 기술로써 평가되고 있어 연구가 시도되고 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 테라헤르츠파의 광원기술개발은 시장이 매우 넓어 국가성장에 큰 동력원이 될 수 있다. 한 가지 예로서, 의료, 보안, 국방산업에 쓰이는 엑스선을 대체할 경우, 이에 대한 경제적 이익은 매우 크다. 현재 세계적으로 테라헤르츠파의 응용 및 광원 개발 연구가 매우 활발히 진행되고 있으며, 이미 미국, 일본, 유럽을 중심으로 산업화 계획이 이루어지고 있다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 테라헤르츠 초격자 반도체 소자구조를 위한 광도파로 설계 및 제작, 효율적인 방열 구조 기술의 특화 및 기반 기술 개발, 그리고 티-레이를 이용한 이미징 시스템 최적화 기술개발을 선점해야 한다. 이러한 기술개발은 반도체 레이저 및 광전자소자의 기술 개발 선례가 있기 때문에 가능할 것이다.

유기·무기물 하이브리드 소재 연구

- 유기성분과 무기성분을 원자 또는 분자단위로 결합하여 새로운 물성을 갖는 유기·무기물 하이브리드 소재를 제조함으로써, 이를 이용한 전자소자, 디스플레이, 자동차, 태양광 소자 및 연료전지, 바이오, 환경 분야 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.
- 유기·무기물 하이브리드 소재는 기계적, 광학적, 전기적, 생리의학적, 촉매적 특성을 이용한 자동차 부품 소재 분야, 생체재료 분야 등 잠재적 시장규모가 매우 크다. 신소재의 원천기술은 국가적으로 가장 중요한 핵심기반사업 중 하나이며, 유기·무기물 하이브리드 소재에 관한 연구개발에 장기적이고 집중적인 투자가 필요하다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 신소재의 원천적인 기술의 확보는 매우 시급히 추진해야 할 사항이다. 일본 등 주요 선진국의 사례를 보면, 특허와 표준화로 신소재 개발에 독과점적 지배력을 행사하며, 이러한 연구개발을 원천적으로 봉쇄하고 있다. 현재 유기·무기물 하이브리드 소재에 관한 개발은 선점할 수 있는 무궁한 분야가 있으므로 전자, 화학, 바이오-의료 등 다양한 분야에서 활용 가능한 기술을 선점해야 한다.
- 유기·무기물 하이브리드 소재 분야에서 유럽, 미국, 일본은 나노입자를 이용한 전극재료, 고분자 투명전극 필름, 전도성 잉크 등을 이미 상용화하는 단계에 있으며, 최근 디스플레이 표시 소자와 유기박막 태양전지 기술개발에 집중하고 있다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 유기·무기물 하이브리드 소재 개발에 필요한 기존의 줄-겔 방법, 랑미어-블로젯(Langmuir-Blodgett), 원자층 및 분자층 증착 기술을 최적화하기 위해서는 기반시설을 체계적으로 확립하고 다양한 화학적 재료의 결합에 대한 라이브러리를 확립하여야 한다. 원천기술을 획득하기 위한 장기적이고 충분한 인력과 투자가 필요하다.

4. 장기(~2042년): 미래 사회를 위해 추진해야 하는 연구 분야

메타구조 및 다기능 양자메타물질의 물성 이해 및 응용 연구

- 메타물질(metamaterials)은 나노 혹은 마이크로 크기의 주기적 구조를 통하여 인위적으로 발현되는 새로운 물성을 갖는 구조를 통칭한다.
- 지금까지는 광원의 파장보다 짧은 배열 구조를 통하여 에너지-운동량의 분산 의존성을 제어함으로써 다양한 광특성을 보이는 광메타물질 분야가 가장 활발히 연구되고 있다. ‘음의 굴절률’, ‘투명망토’, ‘느린 빛’ 등이 광메타 물질에서

발현되는 물성의 대표적 예이며, 광메타물질을 포함한 일부 메타물질 연구는 완숙한 단계에 접어들어 본격적인 응용단계로 넘어가고 있다.

- 또한, 나노기술의 발전에 힘입어 스위치 가능한(switchable) 메타물질, 메모리 메타물질, 센서 메타물질, 초전도 메타물질 등과 같은 신개념(emerging) 메타물질이 속속 대두되고 있다. 새로운 메타물질은 능동적이고, 제어 가능하며, 비선형적 특징을 지니고 있어 광학 및 양자 신호 처리 등에 이용 가능할 것이다.
- 신개념 메타물질 연구는 아직 태동 단계이며 연구가 본격화되면 관련 연구의 파생 주제와 응용 가능성이 다양한 학문 분야와 기술 분야를 넘나들 것이다.
- 나노구조를 주기적으로 배열하거나 집합시킨 메타물질에서는 개별 나노구조가 가지는 물성과는 다른 새로운 물성이 발현되며 이를 활용하면 개별 나노구조에서는 구현될 수 없는 신개념 메타소자의 창출이 가능하다. 한 예로서 다양한 메타물질을 이종구조로 적층하거나 집적하려는 노력은, 정보 인지, 변환, 저장 등 일련의 기능을 수행하는 신개념 나노소자 개발을 가능하게 할 것이다.
- 메타물질 연구는 대학의 연구진들에 의해 개념 정립을 위한 학술적 연구 위주로 이루어지고 있으며, 산업체에서는 차세대 소자 개념 탐색을 위해 자체 연구를 수행하고 있다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 메타물질 연구는 21세기 초고집적 초고속 정보소자 산업을 선도할 미래기술의 핵심이 되는 기반연구로 여러 가지 흥미로운 물리현상을 내포할 뿐만 아니라 산업적으로도 무한한 가능성을 가지고 있다. 현재 연구 단계가 새로운 개념 정립을 위한 원천기술 연구와 이를 검증하기 위한 고위험(high-risk) 연구이므로 기반 연구 역량을 키우고 학문후속세대를 양성하기 위한 연구투자가 장기적 안목으로 이루어져야 한다.
- 양자메타물질을 이용한 다기능 신소재를 개발하는 연구는 그 범위가 매우 넓어 각 분야의 긴밀한 연구협력이 필요하다. 또한 기초과학분야를 중심으로 신념을 갖고 장기간 투자해야 한다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 장기적 연구 주제인 만큼, 역량 있는 개인의 개별 연구를 계속 지원하고 또 관련된 고가의 기자재를 확보하여 다양한 연구집단이 공유할 수 있는 인프라를 구축하여야 한다. 한 예로서 기존의 나노랩 시설에서 소외된 지역에 소규모의 특화된 기자재 지원 센터를 설치하여야 한다.
- 다기능 메타물질의 개발연구는 국가적 미래 핵심과제이며 산업체와 각 연구기관의 협력연구가 추진될 수 있도록 장

기적인 투자 계획이 필요하다.

그래핀을 이용한 통합형 스핀양자전자소자 연구

- 스핀트로닉스 공학은 전자의 스핀을 이용하여 정보를 전달하며, 이는 에너지 소모가 매우 적을 뿐만 아니라, 비휘발성이 강한 장점을 갖고 있다. 이러한 스핀트로닉스 공학을 차세대 물질인 그래핀에 적용하면 그 효율을 극대화할 수 있으며, 이러한 기술은 고성능 초절전 자기센서, 자기저항 메모리, 그리고 양자컴퓨터에 적용되어 미래사회를 이끌어갈 기술 분야의 하나로 주목받고 있다. 전기와 자기 그리고 광소자를 그래핀을 기반으로 통합한 스핀양자전자소자는 미래의 국가성장의 원동력으로 기대를 모으고 있다.
- 양자 스핀트로닉스는 미국 국방성과 아이비엠(IBM), 모토로라(Motorola) 등에서 미래의 최첨단 기술로 평가하고 집중적으로 투자하고 있다. 미국 국방성은 스핀트로닉스 연구 분야에 수년간 1억 달러를 투자하고 있으며, 세계적으로 많은 관심이 집중되고 있다.
- 스핀트로닉스, 양자소자, 그래핀은 국내 대학과 기관에서 매우 활발히 연구되고 있어 많은 성과가 이루어지고 있으나, 이러한 통합형 스핀양자전자소자의 연구개발의 협력은 아직 미진한 수준이다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 스핀트로닉스, 양자소자, 그래핀은 각각의 분야에서 기술 연구개발이 활발하게 이루어져 좋은 성과가 발표되고 있으나, 그래핀을 이용한 스핀양자전자소자를 연구개발하기 위해서는 각 분야의 연구협력이 장기적으로 추진되어야 한다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 산업체, 국내 대학, 연구소가 스핀양자전자소자의 연구개발에 대한 협력연구를 강화할 수 있도록 장기적인 투자계획이 필요하다.

IV. 미래 에너지 및 의료 분야 응용 연구

21세기 이후 인류 사회는 화석연료의 고갈 및 이로 인한 환경파괴로 인해 전 지구적인 위협에 직면해 있다. 이와 같은 에너지 및 환경 문제와 함께 생명연장 및 건강한 삶을 추구하고자 하는 인류의 근본적인 소망으로 최근 신재생에너지와 같은 미래 대체에너지 및 질병의 진단, 치료와 같은 바이오·의료 분야 연구가 주목받고 있다. 미래에너지 및 바이오·의료 분야에서 물리학의 역할은 새로운 미래에너지원에 대한 탐구 및 바이오물질의 근원적인 현상을 이해하고자 하는 것으로 이를 통해 인류의 지속가능한 성장을 위한 기반 연구를 제공하는 것이다. 이 분야의 물리학 연구는 응집물질물리학, 광학

및 양자전자물리학, 플라즈마물리학, 통계물리학, 응용물리학, 핵물리학 등 다양한 물리학 분야의 연구들의 융합을 통해 진행되고 있다.

1. 개요: 현황과 전망

- 우리 주변의 자연을 이해하고 이를 기술, 해석하는 학문으로서 물리학은 그 어떤 학문보다 원천기술 확보에 기여하며, 이를 기반으로 다양한 응용기술이 개발되어 왔다. 최근 들어 화석연료의 고갈과 환경변화 문제가 대두되면서 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 물리학은 이러한 문제들의 근본적인 해결책을 제시할 수 있는 학문으로서 더욱더 강조되고 있다.
- 다양한 물리학의 응용 분야 중에서 특히 화석연료를 대체할 미래에너지 및 인류의 건강한 삶을 위한 바이오·의료 관련 기술은 물리학을 바탕으로 하는 첨단 기술로 이는 인류의 생존과 번영에 직결된 핵심 연구주제이다.
- 인류의 지속적 생존을 위한 청정에너지 및 재생 가능한 에너지원의 개발은 인류가 현재 해결해야 할 가장 큰 근본적인 문제로 물리학을 기반으로 새로운 패러다임의 제시가 요구되고 있다.
- 에너지를 태양에너지로부터 변환하여 얻어낼 수 있는 태양 전지 및 인공광합성 기술은 공해가 적고, 반영구적인 수명을 가지고 있어 미래 에너지 문제를 해결할 수 있는 에너지원으로 각광받고 있으며, 이에 따라 고효율 광에너지변환 기술 연구 필요성이 증대되고 있다.
- 원자력발전의 위험성이 대두되고 있는 상황에서 플라즈마 핵융합, 레이저핵융합을 이용한 핵융합 기술은 원자력발전과 비교하여 상대적으로 작은 위험성으로 향후 원자력 발전을 대체할 대체에너지원으로 기대되고 있다.
- 2011년 동일본 대지진으로 인한 후쿠시마 원전 방사능 누출 사고가 보여준 원자력발전의 위험성을 극복할 수 있는 새로운 원자력 발전 기술 연구 개발이 요구되고 있다. 아직 재생에너지 발전 단가는 원자력 발전 단가에 비해 최소 다섯 배 이상 비싸다. 따라서 신재생에너지 발전 단가가 가격경쟁력을 갖추기까지 안전한 핵에너지 개발 필요성이 증대되고 있다.
- 기존의 에너지 저장 및 변환 기술을 대체할 차세대 초고효율/저비용 에너지 저장 및 변환 기술 연구는 대체에너지 기술 개발과 함께 인류의 지속적인 성장을 담보할 중요한 연구 분야이다.
- 바이오·의료 기술은 생명현상의 이해와 질병의 조기진단 및 치료를 위한 기술로서, 그 필요성에 대한 인식이 전 세

계적으로 확산되고 있는 연구 분야이다. 특히 산업적인 측면에서 바이오·의료 산업은 향후 급속한 성장이 예상되는 분야로, 미래의 국가 경쟁력에 막대한 영향을 줄 수 있는 연구주제이다.

- 대표적인 복잡계인 생물계에서 생체 분자의 작용에 대한 물리학적 이해, 생물분자와 분자복합체의 생화학적 반응에 대한 실험 연구, 생체분자 및 복합체가 작용하는 분자 수준의 원리에 대한 체계적인 이해는 생명과학의 발전에 기여하고 신약개발, 질병진단 등에 활용이 가능한 연구이다.
- 나노바이오소재를 기반으로 하는 나노바이오 기술은 질병의 진단, 치료, 검사에 필요한 핵심 소재, 소자 및 이미징 시스템 기술의 원천기술 개발에 중요한 연구 분야이며, 향후 급속히 발전할 의료 융합 과학 분야에 이용이 가능한 연구 분야이다.
- 핵과 방사선을 이용하는 기술은 핵에너지의 효율적이고도 안전한 이용 외에도, 비파괴 검사 및 물성변화를 통한 신소

재개발, 암의 진단 및 치료를 비롯한 유전학, 분자생물학, 면역학 등 다양한 생물학분야의 원천기술 개발에 중요하게 이용되고 있고, 향후 의료 융합 과학 분야에 반드시 필요한 응용연구 분야이다.

2. 단기(~2017년): 현재 국제적 경쟁력이 있는 선도 연구 분야

신물질 개발 연구: 에너지 물질

- 그래핀, 나노튜브, 나노선, 나노입자와 같은 신물질 탐색 연구 분야는 미국, 일본, 유럽 등과 같은 과학 선진국들과의 격차를 단기간에 해소하고 과학 선진국으로서의 위상을 정립하여, 차세대 성장 동력의 근간이 될 수 있는 연구 분야이다.
- 본 연구 분야는 에너지 저장 및 변환 기술 등에 필요한 신물질 개발과 직결되는 연구로서 국가미래과학기술 전략의 핵심 분야이다.

그림 4-1. 미래에너지 분야 응용 연구 로드맵.

○태양전지, 인공광합성 응용을 위한 초고효율 에너지 변환 물질, 수소전지, 이차전지, 연료전지 응용을 위한 에너지 저장 물질 등의 연구분야는 연구인력 측면에서 현재 국제적으로 경쟁이 가능한 연구 분야이다.

○회소원소를 기반으로 하는 기존의 에너지 저장 및 변환 기술을 대체할 차세대 초고효율 에너지 저장 및 변환 기술 연구는 국제적으로 연구가 미진한 상태로 향후 연구의 성패에 따라 국제적인 선도가 가능한 분야이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

○에너지 변환, 에너지 저장 등 응용 분야별 신물질 탐색에 대한 물리, 재료, 기계 등의 분야의 융합연구가 가능한 체계적인 지원이 요구된다.

○특히 새로운 물질의 개발을 위한 이론, 제조, 분석, 응용 연구가 유기적으로 연결된 연구체계의 형성이 중요하며, 신물질 탐색을 위한 기초연구의 경우 장기간에 걸친 기초연구 활성화 대책이 요구된다.

신물질 개발 연구: 바이오·의료 물질

○형광나노소재, 양자점, 표면증강라만/플라즈모닉 나노소재 등 바이오·의료 기술에 사용되는 다양한 물질의 탐색 및 이를 이용한 바이오센서, 바이오이미징 기술 등은 현재 바이

오·의료 기술의 한계를 극복하고 이 분야의 도약에 큰 기여가 예상되는 연구 분야이다.

○본 연구 분야는 나노바이오 광센서, 진단 및 치료 분야 등 산업 경제적으로 새로운 패러다임을 제시할 수 있다는 점에서 매우 중요한 연구 주제이다.

○나노바이오 물질은 바이오메디컬 진단이나 치료에 이용될 수 있는 나노기반의 기능성 바이오 물질로, 특히 나노기술은 분자 수준에서 유용한 성질을 가진 신물질을 창출하고 기능을 통제할 수 있다는 점에서 바이오·의료 기술을 뒷받침할 수 있는 핵심 기술로 그 중요성이 부각되고 있다.

○국내 바이오·의료 소재 분야의 연구경쟁력은 국제적으로 우수하나 이를 뒷받침할 관련 산업 및 기초연구는 상대적으로 미흡한 상태이다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

○한국의 경우 바이오·의료 융합 분야 연구는 반도체, 정보통신 기술에 기반을 둔 나노재료 및 시스템 분야에 비하여 관련 산업의 발달이 미비한 상태로, 바이오·의료 분야의 기초연구를 토대로 한 관련 산업의 연계 대책이 요구된다.

○바이오·의료 분야 연구주제별 이론, 물질, 시스템의 통합적인 연구가 가능한 연구지원체계의 구축이 요구된다.

그림 4-2. 바이오·의료 분야 응용 연구 로드맵.

핵과 방사선의 응용 연구

- 원자핵에서 나오는 방사선의 종류는 매우 다양하며 여러 종류의 방사선을 이용한 응용 연구가 현재 세계적으로 많이 이루어지고 있다. 방사선을 이용한 신소재 개발은 방사선에 의한 화학 반응, 가교/분해, 구조 변화 등을 통해 가능하며, 다른 화학적 방법과 비교하여 유해한 첨가제가 필요 없는 친환경적인 방법이다. 예를 들어, 고분자 재료에 감마선이나 전자선 등의 방사선을 조사하면 고분자의 연성 강도 등 물성 변화를 가져와 산업에 이용되고 있다. 한편 이런 물성 변화는 아직 선행적인 연구 단계에 그치고 있고, 이론적인 체계가 미비한 상태로 방사선 응용 관련 이론적 연구가 시급히 필요한 상황이다
- 방사선의 생물학적 응용은 유전학, 분자생물학, 면역학 등 다양한 생명과학 분야의 발전에 이용되고 있다. 방사선을 이용한 세포사멸 및 암치료 방법이 계속 고도화되고 있고, 작은 양의 방사선으로 정확하고 정밀하게 진단하는 방법이 개발되고 있다. 현재 국내에서도 방사성 동위원소를 일부 생산하기도 하지만, 상당부분은 해외에 의존하고 있으므로, 동위원소 생산 기술 개발 또한 중요하다.

■ 국제적 경쟁력 유지 강화를 위해 필요한 사항

- 이런 연구는 융합연구인 관계로 관련 분야의 전문가들이 융합연구를 할 수 있는 환경이 필요하여, 매년 30억원의 예산 지원을 받는 방사선 융합 연구 센터 설립이 필요하다. 방사선 응용 연구는 국방 과학 연구와도 밀접하게 관련되어 국가 차원에서 매우 중요한 분야이다. (예산: 30억원/년, 총 6년간 180억원 수준)

3. 중기(~2022년): 시급히 추진해야 하는 연구 분야

차세대 태양전지 연구

- 태양광 발전 기술은 반도체의 광기전력 효과를 이용하여 태양빛을 직접 전력으로 전환시키고, 이를 수효환경에 맞도록 변환·계통·설치시켜주는 기술로, 화석연료 연소와 달리 이산화탄소 발생과 같은 온난화 문제를 전혀 발생하지 않는 청정 기술이다.
- 차세대 태양전지 관련 연구에서는 기존의 실리콘 벌크 위주 태양전지의 효율 및 소재 한계를 극복하기 위해 다양한 나노 구조 및 유, 무기 박막 소재를 이용한 초고효율/저가형 태양전지 개발 및 새로운 개념의 태양전지 개발 등이 이루어지고 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 세계적인 고유가 행진과 화석연료 고갈에 대응하기 위해 신재생 에너지와 같은 대체 에너지원 발굴에 대한 필요성

이 높아지고 있다. 태양광 발전은 아직 화석 에너지에 비하여 전력생산 단가가 약 6~7배 이상의 고가에 머무르고 있지만 고유가와 지구 온난화 방지에 대한 관심이 높아지고 관련분야의 산업화가 급속히 이루어지고 있기 때문에 태양광 발전도 경제성 확보시기가 앞당겨질 전망이다.

- 태양전지 분야는 우리나라 입장에서 차세대 성장동력산업 양성의 차원에서도 범정부적 대책이 요구되고 있다.
- 친환경 관련 에너지 산업은 향후 고속성장이 전망된다. 1세대 결정형 실리콘 태양광발전은 성숙단계로 시장 확보가 어렵지만, 2세대 박막형 태양광발전은 기술개발 초기단계여서 우리나라의 시장진입 가능성이 높다. 이는 우리나라 경제의 차세대 먹거리가 될 반도체, 디스플레이 등 IT에 이은 국가 신성장 동력으로 발전할 것으로 예상된다.
- 국내 반도체 및 디스플레이 분야 대기업들이 세계 최고 수준의 역량을 갖추고 있으므로, 국내 연구진들이 세계적 경쟁력을 확보한 '반도체 소자 공정과 기초 연구'의 장점을 결집하여 시너지를 이룬다면, 차세대 태양전지 분야의 원천기술 확보와 산업 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 전망되는 분야이다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 전 세계적으로 차세대 태양전지 관련 연구는 활발하게 이루어지고 있으나, 기술 수준은 아직 태동단계에 있는 분야이므로, 체계적 연구를 통한 인력 양성과 새로운 연구영역 창출 및 이를 통한 기술적 주도권 선점이 시급히 요구된다.
- 상대적으로 취약한 기초 학문의 양적, 질적 수준을 높이는 일이 선행되어야 하며, 대학 및 연구소 연구진들이 주축이 되어 원천 기술을 확보하고 인력을 양성하는 기반 구축이 필요하다. 이를 위해 대규모 사업단 외에도 개인 및 소규모 집단 연구, 연구 주제의 범위와 단계적 추진 체계에 맞추어 3~10년 등 다양한 기간의 연구지원 프로그램 구축이 요구된다.
- 기초분야의 학문적 성취와 원천 기술은 이후 관련 기업 주관 하에, 원천적 제안 개념을 대면적-저가 공정으로 상용화하는 연구로 체계적으로 승화되어야 할 것으로 판단된다. 대학의 인력이 주체가 되어 '기초 이론/실험을 통한 개념 정립 및 특허 확보의 1단계(3-4년) + 2단계(3-4년)' 연구가 수행되고, '3단계(3-4년)'에는 소자 공정 및 상용화 기술의 경쟁력을 갖춘 연구소·산업체의 참여를 적극 유도하여 시제품 제작 및 평가 그리고 사업화의 목표가 단계적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

안전한 차세대 핵에너지 개발 연구

- 현재 이용되고 있는 상업용 원자로의 대표적인 단점은, 후

쿠시마 재난에서 보듯이 유사시에 대비한 안전성 문제이다. 그 외에도, 부산물로 만들어지는 플루토늄의 생성, 기타 핵 폐기물의 발생, 우라늄의 고갈 등이 풀어야 할 숙제이다. 이런 점들을 해결할 수 있는 방법으로 제시되고 있는 것이 가속기 구동 방식(Accelerator Driven System) 토륨 원자로이다.

- 가속기 구동 방식 토륨 원자로는 가속기를 이용해 핵분열을 일으키기 때문에, 유사시에는 가속기가 꺼지면서 핵분열이 멈추게 되므로 안전성이 확보된다. 또한, 핵폐기물 발생을 최소화하고, 플루토늄은 거의 생성되지 않으며, 기존의 핵폐기물을 연료로 태울 수 있는 장점을 가지고 있다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 최근, 중국과 인도 정부가 가속기 구동 방식 원자로 개발에 투자를 하고 있고, 일본도 후쿠시마 재난 후에 이 방식에 투자하려는 계획을 수립하고 있어 우리나라도 이 분야의 연구 개발에 뒤지지 않도록 정부 투자가 필요한 시점이다.
- 가속기 구동 방식 원자로의 핵자료, 핵반응, 핵연료, 타겟, 가속기 등 핵물리학 연구와 밀접한 기초연구가 필요한 상태이다. 즉, 물리적 연구를 필요로 하는 기초 연구와 공학적 응용 연구가 함께 필요한 상태이고, 이와 관련한 핵기술을 선점함으로써 우리나라가 세계적으로 앞서 나갈 수 있는 기회를 가질 수 있을 것으로 예상된다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 가속기 구동 방식 원자로 개발은 각 부분에 대한 기초 실험과 개념 연구는 되어 있으나, 시스템 전체에 대한 실증 연구가 이루어지지 않고 있다. 200~300 MeV, 2~3 mA 정도의 양성자 가속기 개발, 중성자 발생 타겟 개발, 핵자료 및 핵연료 주기 연구, 미임계로 구축 등을 통한 시제형(prototype) 인프라 구축이 필요하고, 이를 위해서는 7~8년 간 약 6,000억원의 예산 투자가 필요하다.

생물물리학 연구

- 생물물리학 분야는 생명 현상의 물리적 원리를 밝히는 학문으로 생명현상의 이질성(heterogeneity)으로 단분자 생물학적인 분자 수준의 접근이 매우 중요하고 다체계, 복잡계적인 특성으로 복잡계를 기술하는 이론적 접근이 매우 중요하다.
- 생명 현상을 연구하는 생명과학은 의학과 밀접하여 큰 학문적, 실용적 가치를 갖는다. 생명 과학은 크게 발전했지만 아직도 해야 할 일, 해결할 일이 너무 많다. 생명현상이라는 미시적 영역, 복잡계의 현상을 연구하여 생명 과학의 발전에 이바지할 수 있는 분야가 생물물리학 분야라고 할 수 있다.

- 생물물리학은 생명에 대한 학문이므로 다양한 분야에 매우 큰 파급효과를 갖는다. 학문적으로는 생명에 대한 지식과 이해의 패러다임을 바꿀 수 있으며, 이를 통해 생명과 관련된 인접 학문들, 화학, 생물학, 의학의 발전을 촉진할 것이다. 생물학, 의학의 발전은 신약 개발, 새로운 치료법 개발로 이어져 큰 경제적 파급효과가 예상된다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 생물물리학 분야는 생물학, 의학과 관련이 깊어 우리의 생명을 이해하는 데 매우 중요하지만 아직 발전 초기 단계이므로 많은 연구력을 투자할 필요가 있다.
- 이 분야는 특히 의학적 응용 가능성으로 학문뿐 아니라 경제적, 사회적으로 매우 큰 파급효과가 있다. 또한 생체분자 및 생체시스템을 공학적으로 활용할 가치도 매우 높아 산업 발전에도 이바지할 기초 연구 분야라고 할 수 있다. 특히, 바이오 네트워크 분석을 통한 신약후보물질 발굴 및 질병진단 기법 개발, 바이오 네트워크와 의료 정보의 통합을 통해 신약, 치료법 개발 응용 연구 등은 산업적 파급 효과가 매우 큰 연구 분야이다.
- 현재 국내 연구 규모나 여건은 세계 수준에 비해 매우 낮은 상황이므로 세계적 수준에 도달하기 위해서 적극적인 연구비 및 제도적 지원이 필요하다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 이 분야의 연구가 고도의 기술 개발과 연구 경험의 축적을 요하므로 다년간의 지속적인 지원이 필요하며 그 규모도 초정밀 고감도 실험 기법을 적용해야 하는 점을 고려할 때, 중-대 규모의 연구 지원이 필요하다.
- 교육기관에서 융합적 성격의 학문 발전을 이루기 위해서 융합 학과를 설치하게 하고, 미국 등 선진국에서처럼 학생들이 학과의 경계에 얽매이지 말고 원하는 분야를 연구할 수 있는 개방적 제도가 요구된다.

레이저 및 신광원 연구

- 고출력 레이저 및 신광원 연구는 레이저 핵융합을 위한 기반 기술이며, 특히 핵융합 분야뿐만 아니라 다양한 산업적 응용성을 가진 연구 분야이다.
- 레이저 관련 연구는 응용 분야에 따라 고출력화, 소형 경량화, 출력 안정화, 초고속화, 파장변환, 고품질화에 집중하고 있다.
- 레이저 응용 기술 중 레이저 가공 기술은 레이저를 이용해 절단, 드릴링, 용접, 솔더링, 담금질, 폴리싱 등의 가공을 시행하는 기술로 산업적 응용성이 큰 연구 주제이다. 국내의 경우, 국가 주력 산업인 전자, 반도체, 디스플레이 산업에서 주로 사용되는 예칭 공정은 심각한 환경문제를 야기하

기 때문에 이에 대한 대체 공정 기술로써 연구 개발이 가장 활발하게 진행되고 있는 기술이 레이저 가공기술이다.

■ 시급히 추진해야 하는 이유

- 국내의 레이저 핵융합을 위한 고출력 레이저 및 관련 기술 연구는 미국, 일본 등의 선진국과 비교할 때 기초 연구 수준에 머물고 있어, 향후 레이저 핵융합 연구에 뒤처질 수 있는 상황이다.
- 국내 레이저 관련 부품 및 소재 기술은 미국, 일본 등에 비해 기술 격차가 큰 분야이며, 관련 핵심공정기술 및 장비기술 개발이 필요한 상황이다. 일례로 레이저 발전기, 광학기기 등 핵심장비 및 부품은 대부분 수입에 의존하고 있다.
- 새로운 소재의 출현과 함께 이들 소재의 가공을 위해 새로운 가공 기술 개발이 요구되고 있다. 특히 렌즈와 같은 정밀 광학부품 제작을 위해서는 3차원 레이저 가공 및 유체연막 기술의 접목이 필요하며, 관련 연구를 통해 기술 확보가 절실한 상황이다.

■ 시급한 추진을 위해 필요한 사항

- 레이저 핵융합 연구를 위해서는 레이저 및 레이저-플라즈마 융합 관련 기반 연구의 수행이 중요하며, 특히 광학, 플라즈마 물리학과 같은 다양한 분야의 융합 연구의 수행이 필요하다.
- 레이저 응용 기술의 경우 국내의 경우 최종 사용 업체별로 레이저 응용시스템 제작업체가 잘 짜여 있고 특히 레이저 응용시스템 제작업체의 산업이해도가 매우 높아 최종 사용업체의 산업경쟁력과 더해진다면 큰 시너지를 기대할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 핵심 기술인 레이저 시스템 자체에 대한 집중적인 기술개발이 요구되며, 이를 통한 세계적 경쟁력 확보방안이 필요하다

4. 장기(~2042년): 미래 사회를 위해 추진해야 하는 연구 분야

핵융합에너지 연구

- 핵융합 기술은 화석연료를 대체하고, 위험성이 큰 원자력 발전을 대체할 수 있는 원천적으로 청정에너지를 얻을 수 있는 연구 분야이다.
- 핵융합에너지를 얻기 위해서는 지구상에 존재하지 않는 1억도 이상의 초고온 플라즈마를 생성하고 제어하는 기술이 요구된다.
- 자기구속 핵융합의 경우 국내연구진이 한국형핵융합연구장치(KSTAR, Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)의 운영과 함께 국제핵융합실험로(ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor) 공동연구를 진행하고 있어 향후 국제적으로 연구를 선도할 가능성을

을 가지고 있다.

- 관성핵융합의 경우 레이저기술의 발전으로 인해 다른 방법의 핵융합보다 발전 가능성이 매우 높은 원천 연구 분야이다.
- 관성핵융합을 위한 고에너지 레이저 기술, 레이저-플라즈마 융합 기술은 산업적으로도 초미세, 고효율 레이저 가공 등 다양한 분야에서 파급효과가 큰 연구 주제이다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 미래에너지원의 조건으로는 저환경 파괴 및 저 폐기물량 배출, 풍부한 자원량 그리고 자원의 지역적 편중이 적은 친환경적인 녹색에너지원이어야 한다. 또한 합리적인 에너지 가격으로 충분한 에너지를 안정적으로 공급해 줄 수 있는 대용량 에너지원이 필요하다. 핵융합에너지는 이러한 21세기 에너지원이 가져야 할 주요 요건을 모두 충족시키는 최적의 대체에너지로 에너지 부족 문제와 지구 온난화 문제를 함께 해결할 수 있는 차세대 에너지원이다.
- 에너지 자원의 해외 의존도가 높은 우리나라의 경우 안정적인 국가 운영과 발전을 위해 미래 에너지원의 확보가 필수적이다.
- 핵융합 연구는 단기간에 실용화 수준까지 이루어지긴 힘들 것으로 예상하고 있으나, 실용화가 될 경우 전 세계적인 파급효과가 예상되는 만큼 국제적으로 진행되고 있는 대형 연구 프로젝트에 지속적인 지원과 참여가 요구된다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 핵융합 에너지의 실용화를 위한 국가적 추진전략이 요구되며, 특히 고유의 원천기술의 확보에 대한 지원 대책이 필요하다.
- 자기구속 핵융합 연구는 KSTAR, ITER와 같은 대형 연구 시설이 요구되는 연구 분야이며, 국내에서 단독으로 추진하기에는 한계가 있는 연구분야이다. ITER는 핵융합에너지 상용화의 최종 과학적·기술적 실증을 위해 우리나라를 비롯하여 EU, 일본, 러시아, 미국, 중국, 인도 등 7개국이 공동으로 건설하고 운영하는 국제협력 프로젝트이다. 따라서 기존에 추진된 국내의 KSTAR 외에도 ITER와 같은 국제협력 프로젝트에 대한 지속적인 지원이 요구된다.
- 관성핵융합의 경우 자기구속 핵융합과 마찬가지로 초고에너지 레이저 시스템과 같은 초대형 연구 시설이 요구되는 분야이며, 실용화를 위해서는 다양한 분야의 연구자들의 공동연구가 요구된다. 따라서 고에너지 레이저 기술, 레이저-플라즈마 융합 기술 등 관성핵융합 기술과 관련된 다양한 연구에 대한 장기적인 국가차원의 연구지원 체계가 요구된다.

미래 나노바이오 신물질 연구

- 나노바이오 물질이란 바이오메디컬 진단이나 치료에 이용될 수 있는 나노기반의 기능성 바이오 물질을 의미한다. 특히 나노기술은 분자 수준에서 유용한 성질을 가진 신물질을 창출하고 기능을 통제할 수 있다는 점에서 바이오·의료 기술을 뒷받침할 수 있는 핵심 기술로 그 중요성이 부각되고 있다.
- 미래 나노바이오 융합 산업에서 기능성 나노입자, 나노튜브 및 와이어와 같은 나노기술을 기반으로 하는 신물질 및 소재 시장이 가장 큰 점유를 나타낼 것으로 예상된다. 특히, 나노재료 및 랩온어칩, 광학 센싱 등의 기술이 융합된 나노바이오 센서 기술은 소형화에 따른 민감도의 한계성 등을 극복할 수 있다면 산업적으로도 큰 파급효과가 예상된다.
- 나노바이오 관련 연구가 현재까지 미국 주도의 시장이 형성된 이유에는 관련 산업의 발달과 관련 기술 분야의 활발한 기술 이전 등에 기인한 것으로 분석된다. 반면 한국의 경우에는 2001년부터 10개년 계획으로 지속적인 정부 투자가 이루어지고 있지만 주로 반도체, 정보통신 기술에 기반을 둔 나노재료 및 시스템에 관한 분야에 국한되어 바이오산업이 취약하며, 이로 인해 아직 나노바이오 융합 분야에는 효율적인 투자가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

장기적으로 추진해야 하는 이유

- 나노바이오 물질 기술은 이미 헬스케어 산업, 나노의학, 약물전달 분야에 큰 영향력을 끼치고 있다. 바이오시스템에 대한 나노 스케일의 연구는 물리학, 분자공학, 생물학, 생물공학, 의학 등이 서로 융합된 새로운 학문 분야의 창출이 가능하며, 특히 신약개발과 약물전달 시스템 등에 큰 파급효과가 예상된다.
- 바이오 산업 분야에서는 신약 개발 분야와 약물 전달 분야에 나노 기술이 도입되어 세포/유전체 치료 분야나 나노바이오 의학 분야에 기여할 것으로 예상되며, 나노 기술의 경우에는 생명공학기술 및 바이오마커 진단 분야 등에서 마커진단 기술 및 분자진단 분야와 융합되어 나노 의료 분야에 기여할 것으로 예상된다. 궁극적으로 이러한 나노바이오 융합 기술은 신약 개발이나 맞춤형 진단 분야의 개발과 밀접한 연관관계가 있을 것으로 판단되므로 향후 지속적인 국가 성장에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 국내의 나노 바이오 광소재 분야는 아직 생명관련 기업이 약한 우리나라의 산업계 구조상 정부주도의 집중적 투자가 요구되며 특히 초기에 집중적인 투자가 반드시 필요하다
- 나노바이오 관련 기술 영역은 매우 다양한 만큼, 국내 연구의 수준과 미래 전략에 맞추어 전략기술의 선정 및 지원체

계의 수립이 우선적으로 요구된다.

- 나노수준의 신물질을 연구하고 개발하는 일만큼이나 그것의 잠재적 위험성에 대한 연구의 진행이 요구된다. 특히 나노 스케일의 연구는 현재까지 자연에 존재하지 않았던 특징을 갖는 새로운 물질의 생성이라는 연구주제의 특수성을 고려할 때 더욱 높은 수준의 연구 투명성 확보 방안이 요구된다.
- 나노바이오 기술의 개발에 대한 정책적 지원과 동시에 산업, 사회, 정치에 대한 영향에 관해서도 고려해야 하며, 이 과정에서 과학자뿐만 아니라 비전문가의 참여가 보장되는 연구체계의 수립이 요구된다.

미래 에너지 신물질 연구

- 화석연료의 고갈 및 원자력 에너지의 위험성 대두에 따른 차세대 에너지원의 개발은 인류의 생존과 번영에 직결되는 문제이며, 나노구조를 이용한 초고효율 태양전지, 신개념 에너지 하비스팅, 신개념 에너지 저장 기술 개발은 학문적, 기술적 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다.
- 미래 에너지 신물질의 한 후보로 각광받고 있는 메타물질의 경우 자연에 존재하는 원자가 아닌 인위적으로 제조된 원자를 기반으로 하는 새로운 개념의 물질로 기존에 제시된 소재, 소자의 한계를 뛰어넘는 차세대 에너지, 바이오, 정보통신 소자의 개발을 가능하게 할 것으로 예상된다.

장기적으로 추진해야 하는 이유

- 미래 에너지 신물질 탐색 연구는 선진국과의 기술 격차를 단기간에 해소하고 과학 선진국으로 도약할 수 있는 차세대 성장 동력의 근간이 되는 연구이다.
- 신 물질 탐색 연구는 미래 에너지 분야뿐만 아니라, 정보통신, 바이오·의료 등 다양한 응용이 예상되어지는 바 국가의 핵심 성장 동력이 될 수 있는 연구 분야이다.
- 메타물질과 같은 신물질 연구는 21세기 초고집적도 및 초고속 차세대 정보소자 산업을 선도할 미래기술의 핵심이 되는 기반연구로 여러 가지 흥미로운 물리현상을 내포할 뿐만 아니라 산업적으로도 무한한 가능성을 내포하고 있다.

장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 신물질 개발 연구는 대표적인 고위험 고수익형 연구 분야이다. 특히 미래 에너지 신물질 연구 분야는 현재 새로운 개념 정립을 위한 원천기술 연구와 이를 검증하기 위한 검증 단계임을 감안하면 장기적 안목으로 기반 연구 역량 강화와 학문후속 세대 양성이 요구되어진다.
- 장기적 연구 주제인 만큼, 역량 있는 개인의 개별 연구를 계속 지원하고 또 관련 인프라 구축을 위한 고가의 기자재를 확보하여 다양한 연구집단이 공유할 수 있는 연구 체계의 수립이 요구된다.

첨단 산업과 환경 보존을 위한 핵과학과 핵기술 응용 연구

- 방사선 및 핵기술은 의료, 환경, 반도체 및 산업용 소재, 우주항공, 국방, 식품, 농업 등 다양한 산업 전 분야에서 고부가가치를 창조할 수 있는 연구 분야이다. 2010년 기준 국내 방사선 기술 시장의 규모는 약 5조 7천억 원으로 2016년까지 10조 원 이상의 규모로 확대될 것으로 전망된다.
- 환경 보존 분야에서도 방사선 기술은 하폐수, 배기가스, 폐기물, 토양 및 지하수 등 다양한 분야에 응용이 가능하여 인류의 지속가능한 성장에 필수적인 연구 분야이다.

■ 장기적으로 추진해야 하는 이유

- 의료, 환경, 정보통신 산업 등 다양한 분야에 응용이 가능한 핵기술은 미래 사회에 필수적인 연구 분야이며, 장기적인 핵과학과 핵기술에 대한 투자를 통해 관련 분야 국가 경쟁력 제고 및 산업적 응용 연구가 요구되는 분야이다.
- 국내의 방사선 기기 국산화 및 성능개선, 의료 서비스 기술 신장 등으로 방사선 기술 분야는 장기적으로 급격하게 성장, 확대될 것으로 예상된다.

■ 장기적 추진을 위해 필요한 사항

- 다양한 분야에 응용이 가능한 핵기술 이용분야의 중요성을 인식하여 지속적인 연구 지원 체계 구축이 필요하다.
- 핵기술 연구를 위해서는 연구시설 인프라 구축이 필수적이다. 예를 들어, 백색 중성자 스펙트럼을 낼 수 있는 중성자 발생 시설, 다양한 종류의 동위원소 생성 시설이 필요하다. 현재 부산의 기장군에 건설 계획 중인 중입자 치료 시설 같은 것이 구축되면 핵과학 연구 시설로도 많이 활용될 수 있을 것이다.
- 첨단 산업, 의학, 농업 등에 이용 가능한 다양한 규모의 방사선 발생 시설 및 동위원소 생산 시설 건설이 요구된다. 이런 기반 시설을 중심으로 핵물리학과 바이오, 의학, 재료 및 첨단 산업 등의 융합 연구가 가능한 연구 체계와 환경이 필요하다.

맺음말

본 “한국물리학회 선도분야육성 방안”은 2011년과 2012년의 현황과 전망에 근거하여 2017년까지를 단기, 2022년까지를 중기, 2042년까지를 장기로 구분하여 현재와 미래 사회의 발전과 국가 경쟁력 제고를 위한 4대 연구주제를 선정하였다. 이를 달성하기 위해서는 국가 차원의 체계적이고 지속적인 연구 투자와 지원을 필요로 하며, 이에 대해 각 연구주제별로 정리하면 아래와 같다.

제1주제인 “우주와 물질의 기원에 관한 연구”는 우주의 기

원과 구조, 물질의 궁극적 기본 입자와 기본 성질을 탐구하는 연구이며, 입자물리, 핵물리, 천체물리 등의 여러 물리학분야와 매우 밀접하게 관계되어 있다. 대규모 시설을 필요로 하는 경우가 많아, 국가의 대규모 투자가 필요하며, 특정 목적의 과학 프로젝트를 수행함에 있어서 관련분야와의 공조 및 협력을 통해 시너지효과를 극대화하는 것이 필요하다.

제2주제인 “새로운 물리 상태 연구”는 측정 한계, 양자 상태 구현 및 제어 한계, 복잡계의 이해 한계를 극복하여 물질에 대한 이해를 혁신적으로 확대하려는 연구이며, 새로운 물질 상태에 대한 물리학적 이해를 통하여 관련 학문을 포함한 인류의 지식이 확대되고 국가와 사회의 물질 기반이 발전할 수 있다. 기존의 한계를 뛰어넘는 새로운 물리 상태에 대한 연구를 위해서는 국가적인 연구 기반을 바탕으로 많은 수의 개별 연구자가 창의적 능력을 발휘해야 한다. 이를 위해 국가 차원의 연구 기반과 우수한 인력 배출을 위한 장기적 투자가 요청된다.

제3주제인 “포스트 실리콘 물질 연구”는 21세기에 더 나은 정보화 사회로 발전하기 위해 필수불가결한 연구분야이다. 정보의 생성과 교환, 저장에 있어서 혁신적인 발전은 우리 사회를 경제적으로 문화적으로 더욱 풍요로운 사회로 이끌 것이며, 이는 관련 물리학 분야의 발전을 통해서만 성취 가능하다. 이 분야의 연구는 연구 인력 측면에서는 학연산의 유기적 공동연구가 요구되며, 연구 시설 측면에서는 개별 연구자가 갖추 수 없는 고가의 연구장비가 필요하다. 따라서 개별 연구자에 대한 연구 지원을 과감히 확대할 뿐만 아니라 공동연구 시설의 확보를 위해 국가 전략적 접근을 통한 과감한 투자가 요청된다.

제4주제인 “미래 에너지 및 의료 분야 응용 연구”는 현재 인류가 가장 시급하게 풀어야 할 숙제임과 동시에 인류의 소망을 담고 있는 분야이다. 전 세계적으로 많은 연구가 현재 진행되고 있지만 확실한 돌파구를 마련할 수 있는 기술의 개발은 물리학 연구자들의 사명이며 동시에 기회가 될 수 있는 분야이다. 이 분야의 연구는 연구 시설 측면에서는 고가의 연구장비가 요구되어지는 만큼, 국가적으로 전략적인 접근을 통해 공동연구시설의 확보가 필요하며, 또한 연구 인력 측면에서는 다양한 분야의 연구자들의 공동연구 및 융, 복합적인 연구능력을 가진 차세대 연구인력의 배양이 요구되어진다.

본 “한국물리학회 선도분야육성 방안”은 국가 발전과 인류 사회 발전을 위한 물리학의 당면 과제와 향후 연구 주제를 담고 있으며, 본 로드맵이 각 연구자의 연구력을 효과적으로 결집하고, 국가의 연구 투자 계획과 연구 지원 방안 마련에 기여할 수 있길 희망한다.