제4부 한국자기학회
미래 로드맵

목차

1. 서론

2. 스핀트로닉스 분야

3. 그린자기에너지 분야

4. 나노자기 측정분야

5. 바이오자기분야

6. 자성신소재 분야

7. 맺음말

1. 서론

1) 기술로드맵 작성의 필요성과 목적

- 자기학은 정보의 전달 및 저장, 힘과 전기의 변환 등에 관련된 중요한 학문이며, 이를 이용하는 자성재료 및 부품, 기기들은 20세기에 비약적으로 발전한 전기, 전자, 통신 산업에서 매우 중요한 비중을 차지하여 왔다.
- 20세기가 전자의 흐름을 제어하는 기술의 시대였다면 현재는 이 기술의 완성점에 접근하는 상황이다. 21세기는 전자의 스핀을 제어하는 기술이 새로운 산업의 패러다임이 될 것으로 기대된다.
- 한국자기학회는 "자기의 기초 및 응용에 관한 학문발전과 기술의 향상을 통한 산업진흥에 공여함"을 목적으로 하여 1990년 11월 9일에 정식으로 창립되었으며, 창립 후 양적인 면이나 질적인 면에서 꾸준한 발전을 거듭하여 현재 국내의 자성관련 연구를 주도하는 대표적인 학회로 성장하였다.
- 2010년은 한국자기학회 창립 20주년이 되는 해로서 현재 자성관련 연구동향 및 국내외 여건변화와 관련된 정보를 자기학회 회원에게 제공함으로써 국내 자성 관련 전문가들의 상호교류를 확대하고, 차세대 자성관련 연구의 활성화가 요구되고 있는 현실이다.
- 또한 국제 저명 학자들과 국내 관련 전문가들의 교류에 의한 국내 학

술 수준의 제고 및 세계화, 선진화를 촉진하고, 국제적 수준의 연구 동향 분석을 더욱 강화할 필요성이 제기되고 있다.

- 본 기술로드맵 작성을 바탕으로 자성관련 전문가들의 정보 및 인적 교류, 이를 통해 형성된 공감대를 자성관련 공동연구의 활성화와 인적 네트워크를 확장시키는 기회로 활용하고, 차세대 자성관련 연구의 활성화 및 향후 자성 연구 관련 정책을 결정하는 데 활용하고자 한다.

2) 기술로드맵 작성 내용 및 범위

- 본 보고서에서는 자성관련 기술을 기반으로 하여 향후 기술 수요가 확대될 것으로 전망되는 5개 분야를 선정하여 각 분야의 연구동향 및 산업동향과 향후 발전 방향을 제시하고자 한다.

- 스핀트로닉스 기술 분야
- 그린자기에너지 기술 분야
- 나노자기측정 기술 분야
- 바이오자기 기술 분야
- 자성신소재 기술 분야

- 기술로드맵은 상기 선정된 5개 세부 기술 분야별로 각 기술별 연구동향을 파악하고, 국내외의 변화된 여건을 조사 분석하여 작성하고자 한다.
- 5개 세부 기술 분야별 기술로드맵 작성 범위는 아래와 같다.

그림 1 자기학회 전략기술위원회 기술로드맵 작성 범위

3) 위원회 구성

- 자기학회 회장 및 학술부회장을 중심으로 자성관련 전문가들을 전략기술위원회 위원으로 구성하고, 전략기술위원회는 총괄기획위원회, 간사(총무이사 및 정책위원장) 및 5개 세부분과위원회를 구성하여 본 자기학회 로드맵 작업을 진행하였다.
- 총괄기획위원회에서는 전체 보고서의 작성범위 및 작성내용을 기획하고, 각 분과의 세부 기술 분류의 검토 및 결과보고서의 단계별 검토를 실시하였다.
- 각 분야 전문가로 구성된 분과위원회에서는 분과별로 세부분야를 선정토록 하고 선정된 세부 기술별 연구 동향 및 산업 동향을 조사하고

국내외 여건 변화를 분석하여 기술로드맵을 작성하였다.

- 각 세부분과위원회에서 작성된 보고서는 자기학회 회원을 대상으로 하는 공청회를 통하여 다양한 의견을 수렴한 후 총괄기획위원회의 검토를 검쳐 최종 완성토록 하였다.
- 작성된 보고서를 기반으로 향후 자성관련 연구의 활성화 및 자성 연구 관련 정책을 결정하는 데 활용토록 한다.

그림 2 자기학회 전략기술위원회 기술로드맵의 추진 체계

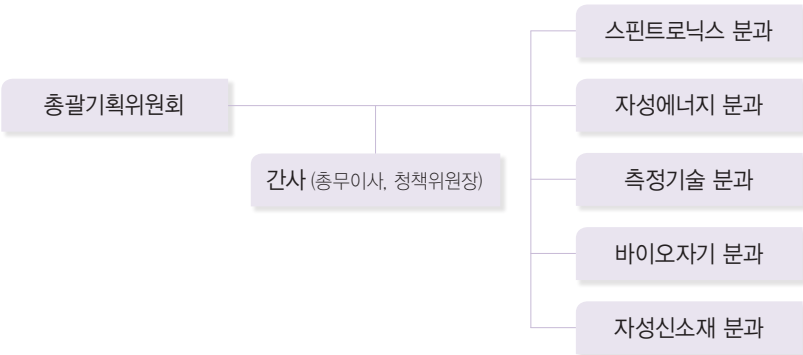


표 4-1 자기학회 전략기술위원회 위원 명단

성명	소속	직위	비고
총괄기획위원회			
신성철	한국자기학회	회장	총괄기획위원장
신경호	한국자기학회	학술부회장	
손대락	한국자기학회	사업부회장	
이재일	한국자기학회	편집부회장	

김철기	한국자기학회	총무이사	간사
이우영	한국자기학회	사업이사(정책위원장)	간사
스핀트로닉스 분과			
이경진	고려대학교	교수	분과위원장
최석봉	서울대학교	교수	
이현우	포항공과대학교	교수	
이정훈	KIST	연구원	
김형준	KIST	연구원	
구현철	KIST	연구원	
조영훈	한국기초과학연구원	연구원	
그린자기에너지 분과			
차상윤	POSCO	연구원	분과위워장
최철진	한국기계연구원	연구원	
유지훈	한국기계연구원	연구원	
김동환	자화전자	연구원	
홍정표	한양대학교	교수	
박관수	부산대학교	교수	
나노자기측정 분과			
최재혁	한국표준과학연구원	연구원	분과위원장
신광호	경성대학교	교수	
김기웅	한국표준과학연구원	연구원	
최석봉	서울대학교	교수	
박기복	울산과학기술대학교	교수	
김영학	부경대학교	교수	

양창섭	국방과학연구원	연구원	
바이오자기 분과			
이상석	상지대학교	교수	분과위원장
윤석수	안동대학교	교수	
김선욱	상지대학교	교수	
김기웅	한국표준과학연구원	연구원	
자성신소재 분과			
김철기	충남대학교	교수	분과위원장
김동영	안동대학교	교수	
송종현	충남대학교	교수	
이계행	한국기초과학연구원	연구원	
정종율	충남대학교	교수	

2. 스핀트로닉스 분야

1) 기술의 정의

- 스핀트로닉스(Spintronics)는 “스핀+일렉트로닉스”의 의미로, 전자의 스핀 특성을 이용하는 물리현상 연구 및 이를 응용한 소자 개발을 포괄한다.
- 관련된 대표적 물리현상으로 자기저항 효과와 스핀토크 등이 있으며, 이를 활용한 응용소자로 HDD 재생헤드, MRAM 등이 있다.

2) 범위 및 분류

■ 본 보고서에서는 스핀트로닉스를 연관효과의 종류 및 응용 범위에 따라 아래와 같이 크게 두 개의 핵심분야로 분류하였다.

● 스핀전류 기반 소자

- 자기저항 및 스핀토크 응용 소자
  - STT-MRAM, 자벽 저장 소자, 스핀토크나노발진기 등
- 반도체 기반 스핀 소자
  - 스핀트랜지스터(Spin-FET), 강자성 반도체 등

● 스핀-전하/스핀-열 전환 기술

- 스핀기전력(Spin Motive Force), 역 스핀-홀 효과(Inverse Spin-Hall Effect), 스핀 지벡 효과(Spin Seebeck Effect)

3) 기술의 중요성

■ 스핀전류 기반 소자 관련

● 자기저항/스핀토크 기반 소자의 경우, 기초 학문적 문제는 어느 정도 이해되었으며 현재 응용화에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 MRAM의 경우 국내 반도체 업계에서 개발 연구가 진행 중이다.

● 스핀전류 기반 소자의 대표적 응용 예는 정보저장 소자인 MRAM이다.

● MRAM은 비휘발성, 고속 읽기/쓰기, 적은 전력소모, 높은 내구성 등의 탁월한 특성으로 차세대 메모리로 주목받고 있다.

● 특히 스핀전달토크를 이용하는 STT-MRAM이 실용화될 경우, 고밀도/고용량의 메모리로서 〈표 4-2〉와 같이 산업에 널리 기여할 것으로 기대된다.

표 4-2 MRAM의 응용 및 기여

소자	부품	제품 / 시스템	산업
MRAM	고성능 디지털 메모리	컴퓨터, 네트워크	정보저장 산업
	임베디드 칩	휴대폰, GPS, 단말기	정보저장 산업
	임베디드 칩	스마트카드, RFID	유비쿼터스 산업
	방사능 내성 메모리	미사일, 우주선	국방산업
	마이크로컨트롤러	자동화 센서, 로봇	자동화 산업

- 반도체 기반 메모리 소자인 스핀트랜지스터와 강자성 반도체의 경우 새로운 공정 기술의 개발이 필요 없고 기존에 구축된 반도체 공정 기술을 그대로 이용할 수 있기 때문에 이 소자들이 실용화될 경우 금속 기반 소자보다 산업적 파급 효과가 크다.
- 스핀 트랜지스터를 비롯한 스핀 주입소자를 이용하면 논리소자에 응용할 수 있으며 메모리와 통합을 통해 융합소자가 가능하여 다기능을 요구하는 미래소자를 구현하기 위한 연구가 필요하다.
- 고주파 발진기인 스핀토크나노발진기의 경우 수~수십 GHz 대역의 주파수 대역의 신호를 발진시킬 수 있는 가변 소자로서 주목받고 있다.

■ 스핀-전하/스핀-열 전환 기술 관련

- 전 세계적으로 시작 단계에 있는 분야로서 스핀-전하/스핀-열 사이의 연관관계에 대한 기초 법칙에 대한 연구가 진행되어야 하는 단계이다.
- 전형적인 기초 원천 성격의 장기적인 투자를 통해 원천 기술 확보가 필요하다.

4) 결론 및 제언

■ 스핀전류 기반 소자 관련 결론 및 제언

● 메모리, 논리 소자로의 응용 가능성이 매우 높으며, 스핀트로닉스 분야의 발전에 주축 역할을 할 것으로 기대된다.

■ 스핀-전하/스핀-열 전환 기술 관련 결론 및 제언

● 현재의 응용 가능성보다는 기초 학문적 측면에서 연구를 수행할 시점으로 판단된다.

3. 그린자기에너지 분야

1) 기술의 정의

■ 본 기술지도에서 다루는 그린자기에너지 기술은 고효율 에너지 변환소재용 나노자성소재 및 에너지 변환 부품(발전기, 모터 등)을 포함하는 모터 기술을 포함한다.

■ 21세기 환경오염 및 에너지 고갈 문제에 능동적으로 대처하기 위해 자동차, 로봇, 정보전자산업 등 전 산업분야에서 사용되는 각종 모터가 소형화, 고성능화, 고에너지 효율화됨에 따라, 이에 필수적인 고성능 분말자성소재의 수요가 급증하고 있다(전세계 모터용 분말자성소재시장 : 30조원, 2017년).

■ 그린 마그넷 자성소재는 기존 분말자성소재의 성능을 혁신적으로 향

상시키기 위해, 분말입자를 극미세 제어하여 기존 자성분말로는 구현할 수 없는 초특성을 발현하고, 분말입자의 다상 합금화, 복합화, 이방화에 의한 복합기능화를 통해 미래 수요 산업에서 요구되는 고성능 자성소재를 의미한다.

2) 범위 및 분류

■ 그린 마그넷 자성소재의 종류 및 응용 범위에 따라 아래와 같이 크게 3개의 핵심분야로 분류하였다.

- 소결자석소재
- 본드자석소재
- 연자성 자성분말 소재

■ 소형모터의 경우 모터의 종류 및 응용에 따라 아래와 같이 크게 4개의 핵심분야로 분류하였다.

- PM 모터
- 브러시 타입 DC 모터
- Coreless 모터
- Brushless 모터

3) 기술의 중요성

■ 소결자석소재

- 현재의 기술로 생산되는 분말자성소재(Nd-Fe-B)의 최대자기에너지적((BH)max)은 이론값의 70~80% 수준이다.

- 기술 선진국에서는 잔류자속밀도와 보자력 향상을 위하여 미세결정립 이방화, 분말 표면 개질, 개량형 자장중 성형 기술 등의 개발에 연구력을 집중하고 있으나, 국내의 경우 이에 대한 연구가 미비한 실정이다.
- 최근 극미세 입자 기술의 발달로 core-shell 입자 제어 기술과 저융점 공정상 제어에 의한 capsulation 기술이 진척을 이루면서 이를 고성능 Nd-Fe-B계 자성소재의 제조에 접목하려는 시도가 진행 중이다.
- 영구자석 분말소재의 자기특성을 획기적으로 개선하기 위해서는 core-shell 간 원자 확산 제어 기술, 결정립 정밀 제어 기술, 자구 정렬 제어 기술, 저온 치밀화 공정 기술 등을 체계적으로 개발해야 한다.

그림 3 잔류자속밀도 극대화 기술

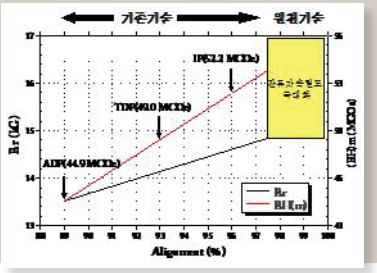
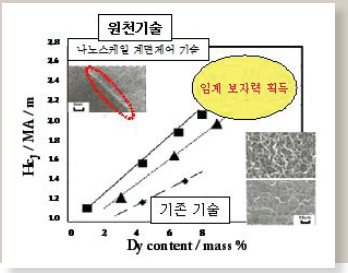


그림 4 임계 보자력 획득 기술



■ 본드자석소재

- 현재 상용되고 있는 희토류 분말자성소재는 결정립 미세화를 통하여 보자력을 향상시킨 분말이 주로 사용되고 있다.
- 그러나 이들 분말의 결정립은 대부분 등방성 배열 상태를 유지하기 때문에 잔류자화가 낮아 소재 자체가 보유한 임계 성능에 크게 못 미치는 성능을 보이고 있다.

- 이러한 성능 한계를 극복하기 위해서는 원료분말 결정립의 미세화 및 이방화도 개선, 분말입자 표면의 순도 및 상 제어, 미세조직 균일도 제어, 충진율 및 컴파운딩 제어 기술 등, 아직 세계적으로 도입단계에 있는 기술들을 체계적으로 개발하여 자성분말의 이방성을 극대화하고 열적특성을 향상시키는 것이 필수적이다.
- 이와 같은 연구개발을 통하여, 장차 차세대 자동차 및 로봇 산업에 핵심적으로 적용될 고성능 정밀모터용 이방성 분말자성소재에 대한 원천기술을 조기에 확보할 필요가 있다.

■ 연자성 자성분말 소재 기술

- 자동차, 정보통신, 가전산업용 구동모터의 소형화, 경량화 및 에너지효율 극대화의 추이에 따라 고투자율과 고포화자화밀도를 동시에 구현하면서 자기손실을 최소화한 고특성 magnetic circuit용 자성분말 소재의 수요에 부응하기 위해서는 자기이방성, 자기변형, 순도, 결함, 자벽이동, 전기저항 등의 인자를 최적화해야 한다.
- 고투자율 자성분말 소재의 새로운 조성설계 방안으로는 자기이방성 및 자기변형을 최소화하고, 고순도화하며, 결정결함 및 내부결함을 최소로 제어하고, 자벽이동이 자유롭게 일어날 수 있는 성분제어 및 공정제어를 수행해야 한다.
- 저에너지 손실 자성분말 소재의 개발 방안으로는 자기이방성 및 자기변형을 최소화하고, 미량의 불순원소를 정밀하게 제어하며, 입자간 절연층의 두께 및 절연저항을 제어할 수 있는 성분제어 및 진밀도에 가까운 고화성형 공정제어를 수행해야 한다.

■ 모터 기술

- 모터는 전기 에너지를 기계적 운동에너지로 변환시켜주는 구동부품으로서, 소형정밀 OA기기로부터 산업설비에 이르기까지 산업 각 분야에서 다양하게 사용되고 있으며, 디지털화, 자동화, 소형정밀화 추세에 따라 각종 응용제품의 정밀 구동부품으로서 수요가 지속적으로 증대되고 있으며 고 집적화·고 신뢰성·고 응답성의 초정밀 기술이 요구되고 있다.
- 하지만, 국내의 모터 산업은 일부 대기업 및 중견기업을 제외하고는 대부분 영세한 제조 전문업체로 구성되어 있어 전문개발인력의 부족, 신제품 개발을 위한 제반 장비 및 선진기술 등의 정보부족으로 시장의 요구에 적극적으로 대응하지 못하여 대외 경쟁력의 우위를 확보하지 못하고 있는 실정이다.
- 이에 모터산업의 중요성을 인식하여 전자부품연구원을 비롯한 중소기업진흥공단을 중심으로 소형정밀모터의 업체를 실태 조사하여 산업정책의 기본 통계로 활용하고 국내외 소형모터산업의 기술동향 및 발전의 추이를 분석한 바 있으며 이를 바탕으로 모터의 용도별 기술적 특성과 국내외 모터 산업의 발전방안에 대해 기술하고자 한다.

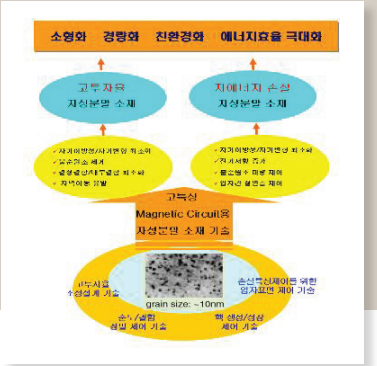


그림 5
고특성 연자성 자성분말 소재 기술 개발의 개념도

4) 결론 및 제언

■ 그린에너지분야 : 최근 하이브리드/전기자동차 보급의 필요성 때문에 고성능 모터소재 개발이 일본을 중심으로 매우 빠르게 진행되고 있다. 한편 고성능 모터소재에 필수적인 희토류 원소재 생산의 중국 편중에 따른 가격급등과 수급 문제 등이 제기되고 있다. 하지만 최근 미국을 중심으로 한 전세계 희토류 광산의 재개발이 진행 중이고 희토류 사용량을 줄여도 기존의 특성을 능가하는 소재기술이 개발됨에 따라 이러한 문제들은 장기적으로 해결될 것으로 보인다.

■ 현재 이 분야의 기술 종주국인 일본에서도 정부주도의 산·학·연 컨소시움 형태의 연구개발과제가 진행중이며 이미 가시적인 성과를 얻고 있다. 이 분야에서 일본과 경쟁관계에 있는 국내에서도 하이브리드/전기자동차용 고성능 모터소재 개발에 보다 집중적인 투자를 하지 않으면 지금까지 우리나라가 쌓아온 자동차 강국의 역사도 그리 오래 가지 않을 수 있다.

■ 국내의 소형 모터 산업 현황 및 문제점

● 모터 생산 수량의 증가로 외형적인 면에서는 시장 확대를 이루었지만 하이드로다이나믹(Hydrodynamic) 베어링 등 고정밀 원부자재의 수입 의존도가 매우 높아 일본을 비롯한 선진국에 기술적으로 예속되어 있어 큰 문제가 되는 현실이다. 국외 의존도가 높을수록 핵심부품의 공급에 많은 견제를 받기 때문이다.

● 범용 모터의 경우 가격과 기술면에서 상당 부분 경쟁력을 확보한 상황이지만, 높은 설계력과 고정밀의 생산력을 필요로 하는 분야에서는 선진국과의 기술력 격차가 여전하다. 그 밖에 벤처 기업들의 신규 개발

제품에 대한 브랜드 인지도 미약, 공인된 성능 평가 부재로 인한 마케팅으로의 연결 부족 등도 문제로 지적됐다.

- 모터 산업의 향후 과제
  - 모터 설계 고급인력의 양성
  - 소재(자성, 기계)의 개발 및 국산화 추진
  - 신제품 개발 및 국산화를 위한 기반 구축 사업 활성화
  - 기술 정보 및 고급인력의 인프라 구축
- 우선 해외 생산 공장에 대한 지원을 통해 생산 체제의 특성화 추진 및 국내 모터 산업 공동화에 대한 대책을 구축해야 할 것이다. 또한 중국과 동남아 등지의 해외 진출 기업에 대한 생산 지원도 시급하다.
- 국내 모터 업체들이 가장 큰 애로 사항으로 기술 인력 부족을 지적한 만큼, R&D 센터나 모터 시험 센터 등의 공동 운영에 대한 방안 역시 필요하다. 고정밀 모터와 같은 고부가가치 제품의 개발을 유도해 국내 모터 산업을 활성화시키는 한편, 설계 및 생산 기술력 강화를 통한 품질 향상으로 국가 산업 경쟁력 확립에도 주력해야 할 것이다.

4. 나노자기측정 분야

1) 기술의 정의

- 본 기술지도에서 다루는 나노자기 측정 및 센서 기술은 자성 나노소재·소자 분석 및 차세대 의료, 국방, 식품 안전 분야 적용을 목적으로

공간·시간분해능 및 미세신호 측정 성능을 근본적으로 향상시킨 자기 이미징 및 검출 기술, 또는 이를 위한 센서 제작기술을 의미한다.

2) 범위 및 분류

■ 본 보고서에서는 측정 및 센서를 공간분해능, 시간분해능, 센서 응용에 따라 아래와 같이 크게 3개의 핵심분야로 분류하였다.

● 극미세 스핀 이미징

- 주사터널링현미경 기반 기술
  - 스핀 분극 주사터널링현미경(SP-STM), 스핀분극 탄동전자방출현미경(SP-BEMM) 등
- 원자힘현미경 기반 기술
  - 자기힘현미경(MFM), 자기공명힘현미경(MRFM) 등

● 고속 스핀동역학 측정

- 광학기반 기술
  - 펨토초-광자기현미경(fs-MOKE), 펨토초-광전자현미경(fs-PEEM), 펨토초-투과엑스선현미경(fs-TXM), 펨토초-주사엑스선현미경(fs-STXM)
- 자기저항기반 기술
  - 유도자기자력계(PIMM), 자기저항-네트워크어날라이저(MR-VNA), 자기저항-오실로스코프(MR-SO)
- 자기공명기반 기술
  - 강자기공명(FMR), 브릴루앙산란(BLS)

● 자기 센서

- 고체 자기 센서
  - 플럭스게이트센서, 자기임피던스센서
- 원자자력계 센서
  - 광펌핑 원자자력계, 스핀교환이완 없는(SERF) 원자자력계

3) 기술의 중요성

■ 극미세 스핀 이미징 관련

● 자기정보의 저장밀도가 지속적으로 향상되고 있으며 향후 자구의 크기가 수 나노미터 수준이 될 것으로 예상되므로, 이러한 미소 자구의 자성 연구를 위해서는 고분해능 고감도 자기측정 기술이 요구된다.

● 현재의 전하 기반 전자소자의 한계를 극복할 미래 기술로 각광받는 스핀기반 전자소자 연구에서 소자의 동작특성 및 신뢰성에 영향을 주는 인자들을 미시적 관점에서 정확히 파악하는 것은 기술의 상용화를 위한 핵심요건이므로 이를 측정하는 실험적 방법들을 개발하는 것이 필요하다.

● 자성 및 스핀의존 전하수송 현상을 나노미터 또는 원자 수준에서 실험적으로 탐색하는 데 주사탐침현미경 기반 측정이 측정원리상 최적의 실험방법이 될 수 있다.

● 주사탐침현미경 기법을 활용해 측정 가능한 구체적 물리적 대상과 관련 소자 및 기술분야는 〈표 4-3〉과 같으며 현재의 정보기술의 고도화와 새로운 패러다임의 정보기술 창출에 기여할 것으로 기대된다.

표 4-3 주사탐침현미경 기반 측정의 응용분야

측정 방법	측정대상	소자/부품	기술
SP-STM/BEEM	나노미터 분해능의 스핀 전류 이미징	Spintronic Devices	정보저장, 컴퓨팅
MFM	원자단위 자기구조 측정 및 분석	Magnetic Data Storage Device	정보저장
MRFM	나노미터 분해능의 강자성공명 이미징, 단일 전자스핀 3차원 이미징 및 제어	Magnetic Data Storage Device, Quantum Computing Device	정보저장, 컴퓨팅

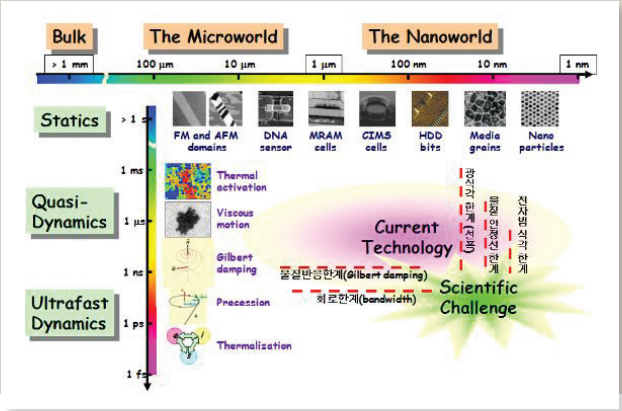
■ 고속 스핀동역학 측정 관련

- 디지털 전자 장비의 성능이 극대화됨에 따라, 고속 정보처리기술이 사회적으로 요구되고 있다.
- 고속 정보처리기술 개발을 위해, 현재 GHz 대역에서 동작하고 있는 나노소자의 동작특성을 해당 주파수 대역에서 진단 및 분석할 수 있는 측정 기술이 필요하다.
- 자성 나노소자로서 스핀토크-자기메모리(STT-MRAM) 및 레이스트랙-메모리(racetrack memory) 등의 개발에 적용함으로써 성능을 높일 수 있는 원천기술을 확보할 수 있으며, 미래 초고속 정보저장기술 산업의 국제적 경쟁력 확보에 활약할 것으로 예상된다.

■ 자기센서 관련

- 미래 정보통신기술 및 융합기술을 구현하기 위한 핵심부품의 하나로 전망되고 있는 자기 센서와 관련한 원천기술을 확보함과 동시에 바이

그림 6 시공간 측면에서의 기술의 현주소 및 도전 영역



오/의료, 국방 분야 등 신규 응용에 적합한 센서를 개발하기 위한 폭넓은 연구가 필요하다.

- 모바일 기기 등의 센서로 적극 채택되기 시작하였으며, 앞으로 활용이 더욱 확대될 것으로 예상된다.
- 새로운 재료 및 새로운 구동기구를 적용함으로써 성능을 높일 수 있는 원천기술을 확보할 수 있으며, 미래 정보통신 및 전자부품 산업뿐만 아니라 다양한 융합산업의 핵심소자로서 활약할 것으로 예상된다.

표 4-4 고체 자기센서의 응용분야 및 관련산업

소자	산업분야	응용
고체자기센서	비파괴검사	원자력발전소설비, 강선 및 철구조물
	정밀계측분야	지진파측정, 지구자기변동측정
	전력전자 및 전기기기	전류측정, 로타리엔코더, 리니어엔코더, 근접센서, 자성잉크검출

	자동차분야	자동운전, 네비게이션
	의용생체분야	나노파티클검출용, 진단/치료캡슐내시경용
고체자기센서	식품/안전 분야	식품불순물검사, 무기/위험물검사
	국방 분야	능동형 Degaussing용 센서, 육상/수상/수중이동체관측, 수상/육상 Deperm용, 방위측정
	이동통신 분야	LBS 및 증강현실구현용 센서

- 현재 개발된 자기센서 중 가장 민감도가 높은 SQUID 센서의 경우, 생체자기측정(뇌자도, 심자도)을 비롯한 많은 정밀측정 분야에서 매우 유용함이 밝혀져 있으나, 극저온 냉각에 소요되는 비용이 매우 커서 널리 보급되지 못하는 실정이다.
- 최근에 연구된 스핀교환이완 없는 원자자력계(Spin exchange relaxation free; SERF)는 SQUID 센서에 필적하는 감도를 보여주면서도 상온에서 냉매 없이 사용할 수 있으므로, 기존에 오랜 기간 연구되어온 SQUID 정밀 계측 분야 모두에 대체 활용이 가능하다.
- 결과적으로 원자자력계 기술의 개발은 우수한 자기측정응용기술을 더욱 널리 심화하여 발전시킬 수 있는 계기가 될 것이 기대된다.
- 원자자력계 센서기술이 실용화될 경우, 응용분야는 〈표 4-5〉와 같이 넓은 산업으로 확장, 기여할 것으로 기대된다.

표 4-5 원자자력계 응용 및 기여

소자	제품/시스템	산업
원자자력계 센서	비냉각 뇌자도	의료 산업, 뇌과학 관련 산업
	비냉각 심자도	의료 산업, 유비쿼터스 산업
	Table-top 생체자기 system	반려동물(pet) 산업
	인공위성 탑재 계측기	우주 개발 산업
	어뢰/ 잠수함 탐지 센서	국방 산업
	지자기 센서	재해감지, 유전 및 광물탐사 산업
	극저자장 NMR/MRI 센서	신의료기/화학분석 시장창출

4) 결론 및 제언

- 극미세 스핀 이미징 관련 : 자기정보처리 소자 및 저장단위의 나노크기 극미세화에 따라 새로운 자기적 성질의 출현이 예측되며, 이를 정확히 측정, 분석, 조작하는 기술 개발이 미래 정보저장기술의 지속적인 발전을 위해 필수적으로 선행되어야 한다.
- 고속 스핀동역학 측정 관련 : 실제 자성 나노소자가 동작하는 시간 대역에서의 자기반응을 직접 측정할 수 있는 기술로서, 소자 동작 특성 진단을 통해 최적의 소자 개발에 활용함으로써, 현재 50조원의 시장 규모를 가지는 디지털 정보저장 시장에서의 기술 경쟁력 및 시장 선점에 기여하리라 예상한다.
- 자기센서 관련 : 고체 자기센서의 경우 정보통신산업, 전자/전기산업 등 기존의 산업분야뿐 아니라 국방산업, 의료/바이오산업 등 신규산업기술의 핵심부품이 될 것으로 기대되며, 소재 및 구동메카니즘과 관

련한 원천기술의 확보가 시급하다.

- 원자자력계 센서의 경우 광펌핑 원자자력계의 소형화 연구와 초고감도 스핀교환이완 없는(SERF) 자력계의 개발 및 응용 연구가 차세대 정밀 자기센서 연구로서 큰 잠재력을 보일 것이며, 그 응용분야의 확대로 의료, 국방, 안전, 재해감지, 자원탐사, 우주개발 산업 등의 발달이 기대된다.

5. 바이오자기 분야

1) 기술의 정의

- 바이오자기 기술이라 함은 자성 및 자성재료를 바이오기술과 접목하여 생물, 국가방위, 환경모니터링, 생활바이오 등에 적용하고자 하는 스핀-바이오 융합 기술을 의미한다.

2) 범위 및 분류

- 바이오자기 분야는 바이오 및 의료에 응용할 목적으로, 자성재료를 기반으로 한 생체 응용 기술, 생체신호의 측정 및 분석을 위한 고감도 자기장 측정 기술, 생체 반응을 조작하는 자기적 자극 기술 등을 포함한다.
- 본 보고서에서는 기술의 종류 및 응용 범위에 따라 아래와 같이 크게 3개의 핵심분야로 분류하였다.

- 생체자기 측정기술 개발
  - 초고감도 자기장 센서 원천기술인, 초전도 이중이완진동 SQUID 및 광펌핑 원자자력계 기술에 기반한, 심자도/뇌자도 등의 생체자기 측정장치 개발 및 측정/분석기술, 극저자장 NMR/MRI 시스템 개발 및 응용기술
- 생체 자기장 자극 효능 분석 기술 개발
  - 교류 및 펄스 자기장 발생 기술과 마이크로 코일 어레이 설계 기술을 기반으로 생체 자기장 자극을 통한 인체 효능을 분석하는 기술
- 차세대 자기바이오 진단 기술 개발
  - 자기적 방법을 기반으로 하여 특정 질병 관련 바이오 분자를 높은 정확도와 분해능으로 즉석에서 감지하는 기술

3) 기술의 중요성

■ 생체자기 측정기술

- 21세기 메가트랜드의 정점에 뇌연구가 있으며, 뇌기능 및 뇌질환을 비침습적으로 연구할 수 있는 뇌자도, 뇌자기공명 등의 자기적 측정 방법이 주목받고 있다. 생체자기 측정은 증가일로에 있는 정신질환에 의한 자살, 고령화 사회에서의 치매 등 노인성 뇌질환, 평균수명 증가에 의한 외상후스트레스증후군 빈발의 조기진단 및 처치에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

- 식생활의 서구화로 심혈관계 질병이 급격하게 증가추세에 있으며, 국민의 삶의 질 향상으로 인해, 환자에게 비침습적이며 안전한 심질환 조

기 진단 방법으로서 심자도가 주목 받고 있다. 특히, 사회적 저출산율에 의해 중요시되고 있는 태아의 발생기적 문제를 안전하게 조기진단 및 처치하는 것을 가능토록 한다.

- 극저자장 NMR/MRI 기술의 개발은 새로운 뇌기능 연구수단의 개발에 의해, 기존에 선진국에 선점되어 있는 의료영상기기 시장에서 경쟁력을 가질 수 있도록 한다.

■ 차세대 자기 바이오진단 기술

- 안전한 사회, 건강한 삶을 추구하는 유헬스 시대가 확대됨에 따라 대형의 임상실험용 진단기기를 소형으로 구현한 초고감도의 즉석 진단시스템에 대한 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.
- 2006년 바이오센서 세계시장 규모는 약 50억 달러였으며 꾸준히 성장률이 증가하여 2013년에는 성장률 13%, 105억 달러의 시장규모에 이를 것으로 예측되는 고성장 산업이다.
- 세계적으로도 절대강자가 없는 신생기술 분야로 개발 성공 시 기존의

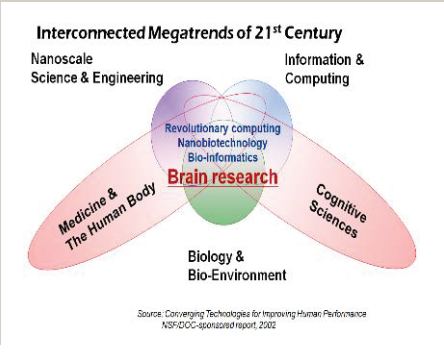


그림 7
21세기 메가트랜드 체계도

시장 판도를 뒤엎을 수 있는 와해성이 매우 크다.

- 바이오 진단기술 중 자성기반 기술은 독보적 장점을 지니고 있기 때문에 차세대 기술로 가장 유망하며 이에 대한 연구를 통해 원천기술 및 응용기술 개발이 필요하다.

4) 결론 및 제언

- 바이오자기 기술 분야는 미래 신성장 동력 중 하나가 될 것이라는 것에 대부분 동의한다.
- 이 분야는 우리나라의 IT기술 강점을 살릴 수 있는 분야이다.
- 이 분야는 BT, IT, NT 등 여러 분야의 융합이 필요하기 때문에 정부의 강력한 지원을 통해 적극적으로 융합을 유도하고 부족한 전문 인력을 양성할 필요가 있다.
- Green 자성 센서로서 생체자기장 영향 평가에 근간을 이루며, BT, IT, NT 융합 원천기술을 창출하고 생물/자성/의생명/물리분야를 아우르는 새로운 개척을 해야 한다.

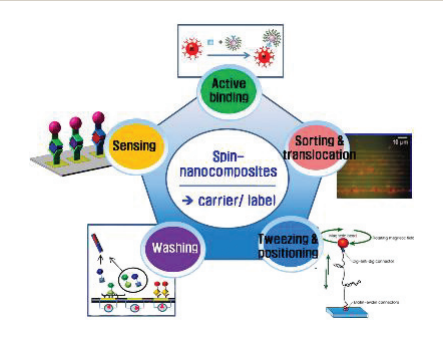


그림 8
자성기반 바이오진단 기술의 장점
(그림 : 충남대 nBEST 제공)

- 자성과 생체의용의 융합 연구 분야로 발전하여 획기적인 바이오센서 분야의 시발점 역할을 감당하고, 생체분자의 기능과 함께 세포 안의 물질의 역할에 대해 다양한 연구가 기대된다.
- 고감도 및 고분해능을 갖는 바이오 소자의 측정기술을 확립하여 생체 자성 분자의 자기적 기초와 물리적 특성을 규명한다.
- 전기자동차의 초고주파 무선 전류 송신장치에 근접한 인체에 장기 피복되는 자기장 차폐 산업을 모색하여 고밀도 자성박막에 연관되는 자기정보기술 산업체 기술력 심화, Seeds 기술 발굴 여건 조성, 피교육자의 산업계·학계 활용 및 기술 협력을 지원하게 된다.
- DNA 칩, 바이오센서 및 바이오 MEMS 융합의 기본 요소기술을 제공하여 나노 바이오센서 개발을 통해 미래 산업이 되고 있는 융합의학 분야에 바이오 관련 기술개발의 원천기술을 확보함으로써 바이오센서 및 DNA 바이오 칩 기술을 의료기기 관련 업체 및 임상 연구기관으로 이전한다.
- 금속소재 원천기술을 확보하여 심화단계 및 상용화단계로 가는 신기능 창출 바이오자기 제어기술을 구현함으로써 차세대 첨단기술력을 파급시킬 것으로 예상한다.
- 국내·외 우수집단의 연구진과 교류함으로써 연구개발의 선진화를 유도하며, 인프라 향상 수준 등 특허 출원 및 관리와 기술이전을 통한 사업화의 목적을 달성하여 원천소재 기술 정보 및 know-how를 갖는 중추로서의 역할을 한다.
- 생체자성 분자에 대한 물성 특성 연구결과가 국내 의료 진단 및 치료 분야에 종사하는 인력양성의 계기가 되어, 보건 건강산업에 대한 철저

한 과학적 접근을 통하여 의료용 센서, 측정 및 진단 기술 산업에 대한 전문연구 기초인력양성에 기여할 것을 예상한다.

6. 자성신소재 분야

1) 기술의 정의

- 자성신소재(magnetic novel materials)는 자성재료를 기반으로 하여 금속, 무기·유기 원료 및 이들을 조합한 소재를 새로운 제조 기술로 제조하거나, 이들 소재를 기반으로 전자정보, 바이오, 에너지, 환경 등 미래 기술 분야에 응용 가능한 소재를 의미한다.
- 차세대 자성신소재는 NT, IT, BT 등 서로 다른 이종 기술 간의 화학적 결합을 통해 기존 소재에 비하여 응용성이 광범위하고, 신산업 창출이 가능한 소재로 부각된다.
- 미래 정보통신 및 전자부품의 핵심기술로 전망되는 자성신소재에 대한 핵심 원천 기술 확보로 미래 국가 산업 경쟁력 제고 및 IT-BT-NT-ET 융합을 통한 신개념 자성신소재 개발 및 체계적인 응용 연구의 필요성이 제기되고 있다.
- 자성신소재관련 국내의 연구 수준은 선진국에 비하여 미진한 실정이며, 미래산업 육성을 위하여 자성신소재기술에 대한 원천 기술의 확보가 시급한 실정이다.

2) 범위 및 분류

■ 본 보고서에서는 자성신소재를 소재의 종류 및 응용 범위에 따라 아래와 같이 크게 3개의 핵심분야로 분류하였다.

● 메타소재

- 마이크로파 부품 응용 : 음의 굴절 소자, 전파통신 부품의 소형화 및 고성능화, 안테나 및 레이더, 전자파 차폐 및 스텔스용 흡수체 등
- THz 부품 응용 : 음의 굴절 소자, 환경 및 바이오센서, 감시 센서, 전파 통신 부품 등
- 광학 부품 응용 : 음의 굴절 소자, 완전 렌즈, 리소그래프 식각기술, 투명망토 등

● 나노입자소재

- 정보전자용 나노입자 소재 : 정보 저장 및 처리를 위해 전자의 전하만을 활용한 현재의 반도체 성능 한계를 극복하기 위한 차세대 소재로서 나노크기의 물질로 전자의 스핀을 기반으로 한 고집적/대용량/초고속 정보 처리 가능한 소재 개발.
- 바이오 응용 나노입자 소재 : 생체 안에서 자유자재 이동이 가능하며 단백질/DNA/항체 등 생체 구성요소와 상호작용을 할 수 있는 나노입자를 통해 진단학과 치료학의 혁명을 가능하게 하는 이미징 분석 기술/약물전달 시스템/나노센싱 시스템 구축.
- 에너지·환경 나노입자 소재 : 화석에너지 고갈에 따른 에너지 가격의 상승과 국제적인 환경규제 심화 및 미래 첨단산업을 위해 차세대 전자 저장체인 고용량/고출력 전극 소재 및 에너지 저장 시스템 개

발과 기존에 처리를 하지 못하거나 세밀한 정제가 필요한 시스템에서 미세오염물질 제거 및 정화와 청정 공기를 생산하기 위한 친환경 나노소재 개발.

- 다강성소재
  - 단일 물질 : 하나의 단일 물질에서 자기적 특성과 전기적 특성이 동시에 발현되는 물질
  - 복합 물질 : 각각의 고유한 특성을 가진 두 가지 물질을 혼합하여 인위적인 구조를 설계한 후 각 물질의 계면과 계면 사이에서 발현되는 효과에 의한 다강성 물질

3) 기술의 중요성

■ 메타소재

- 메타소재는 광대역(GHz~광학)에서 완전렌즈 및 초소형/고효율 안테나의 기초 소재로서 중요할 뿐 아니라 무선/전자/광 등 차세대 정보통신용 소자 응용 기술의 개발을 가능하게 한다.
- 메타소재는 IT-BT-NT-ET 융합기술로 차세대 산업용, 의료용 및 군사용 소자에 적용 가능한 나노기술의 새로운 패러다임이 될 만한 소재이므로 신속한 개발이 요구된다.
- 메타소재는 광부품, 마이크로파 소자 및 RF 부품의 초소형화를 통한 소재 집적화의 필수 요소로 관심이 높아지고 있다.
- 현재 전자파환경의 오염이 매우 심각하며, 오염된 환경 하에서 오동작 없이 전자기기 또는 통신기기들이 작동하기 위해서는 운용주파수를 제외한 불요전자파를 차폐하는 주파수 선택적 차폐를 위하여 메타소

재의 개발이 필요하다.

- 국내 생산 메모리반도체의 선폭이 약 45nm가 되고 있고, 선폭 간 간격 감소로 인한 신호선들 간의 cross-talk의 증가가 고용량 메모리소자 개발의 걸림돌로 부각되고 있으며, 메타소재 등의 신소재를 이용하여 cross-talk을 흡수 또는 차단함으로써 반도체 소자의 선폭 한계를 극복하는 기술이 절실히 요구된다.
- 메타소재는 현재 마이크로파 대역에서 안테나의 이득을 높이는 데 주로 응용되고 있으나, 물질 분광분석에 필요한 수 THz 대역의 광원을 이용하여 식품·의약품의 품질 및 성분 검사를 실시간·비파괴적으로 신속히 수행하기 위하여 광원의 이득과 검출기의 감도 향상을 위하여 메타소재 개발이 필요하다.
- 수 THz 대역의 분광분석 시스템은 식품·의약품의 품질 및 성분 검사를 실시간·비파괴적으로 수행할 수 있어 차세대 물질 검사·분석시스템으로 사용이 유력하며, 초정밀 환경오염도 측정기술 및 보안기술 등에 획기적인 발전을 선도할 수 있다.
- 은닉물 탐지를 위한 THz 영상 시스템에서는 수백 GHz 대역에서의 충분한 출력을 가지는 광원을 이용할 수 있는 반면, 물질 분광분석에 필요한 수 THz 대역의 광원은 세기가 약하여 다량의 검사 수행에 충분하지 않으므로 광원의 세기를 향상시킬 필요가 있다.

■ 나노입자소재 관련

- 나노입자 응용기술은 정보·전자산업, 에너지·환경산업, 바이오 산업 등 다양한 첨단 부품 및 소재의 생산에 활용되는 기반기술이다.

- 나노크기의 나노입자소재는 IT, BT 등과 융합하여 부품·모듈·시스템의 고성능화, 소형화, 저에너지화, 이동성 등을 획기적으로 향상시킬 수 있는 미래 신성장동력 산업의 근간이 되는 핵심소재이다.
- 나노입자소재는 기존물질의 변형개조는 물론 유용한 재료, 소자 및 시스템을 창출하고 나노크기에서 새로운 특성이나 현상의 탐구가 가능한 기술이다.
- 자성나노입자는 일반적인 나노입자의 특성 외에, 화학적 안정성 및 자기장에 의한 제어가 가능하여 바이오, 환경, 전자정보 등 광범위한 응용범위를 가진다.

■ 다강성소재 관련

- 점점 다양하고 복잡해지고 있는 현대산업은 새로운 다양한 전자기적, 광학적, 역학적 소자의 개발을 요구하고 있다. 따라서, 최근 재료물리학은 자성반도체, 다강체와 같은 2가지 이상의 기능이 한 물질에 내재하는 물질에 관심이 급증하고 있다.
- 강유전성과 자성과의 상호결합이 강하게 있을 때, 전기장에 의해 자기적 상태의 조절이 가능하고, 그 반대상태도 가능하여 스핀공학 등 응용으로서의 잠재성이 매우 큰 물질이다.
- 다강체의 특성이 메모리로 응용된다면 전기로 쓰고 자기로 읽거나, 반대로 자기로 쓰고 전기로 읽는 식의 다양한 기능의 구현뿐만 아니라 4개의 상태를 갖게 되어 기존 메모리 소자에 비해 집적도를 2배 이상 높일 수 있다. 또한 다양한 새로운 기능성 소자의 개발이 가능하다. 따라서 다강체내 강한 전기-자기 결합효과(자기장에 의해 전기분극의 유도 또

는 전기장에 의한 자성의 유도) 구현에 대한 연구가 최근 크게 주목받고 있으며 이는 차세대 메모리 분야의 중요한 기술이다.

- 한 물질 안에서 강유전성과 자성의 두 가지 성질이 공존하는 현상은 자연계에서 매우 드물다. 따라서 다강체 물질의 전기적·자기적 성질을 규명하고, 다강성이 발현되는 메커니즘을 정확하게 밝히는 것은 학문적으로 중요하며, 그 메커니즘에 대한 심도있는 이해가 요망되고 있다.
- 양자역학적 이해를 바탕으로 보면 다강체 내에서 강유전성과 강자성이 발현되는 메커니즘이 매우 다르다. 강유전체에서는 물질의 최외곽전자의 d 궤도가 비어 있을 때, 페로브스카이트 구조의 산화물에서 꽉 찬 산소이온의 2p 궤도와 텅 빈 전이금속이온의 d 궤도간 혼성결합에 의한 "리간드장 안정화" 원리에 의해 금속이온이 비대칭적인 위치로 움직이는 현상으로 자발분극이 만들어지는 반면, 강자성은 d 궤도가 부분적으로 차 있는 상태에서 d-전자의 스핀간 훈트결합으로 자성이 발현되는 물질이다. 이와 같이 두 계는 근본적으로 다른 메커니즘을 가지고 있어 한 물질 내에서 이 두 성질이 공존하여 나타난다는 것은 흥미로운 사실로서 기존의 물리학적인 모델로는 설명이 어려우며 새로운 이해가 필요하고, 이를 바탕으로 관련 학문의 연구가 증대될 수 있다.

4) 결론 및 제언

- 본 보고서에서는 자성신소재분야를 크게 메타소재, 나노입자소재, 다강성소재 분야로 분류하여 국내외 연구추진 동향을 기반으로 각각의 기술에 대한 기술로드맵을 작성한다.
- 메타소재의 경우 RF소자 응용을 위한 마이크로파 대역 자성 소재 및

THz, 가시광 영역의 나노소재를 포함한다.

- 나노입자소재의 경우 바이오응용 및 에너지, 환경 응용을 위한 나노입자소재를 포함한다.
- 다강성소재의 경우 강자성, 강유전, 강탄성의 단일물질 및 복합물질에서의 다강성 소재를 포함한다.

■ 다강성, 메타, 나노입자 등의 자성신소재는 차세대 신소재로 각광 받고 있으며, NT, IT, BT 등 서로 다른 이종 기술 간의 화학적 결합을 통해 기존 제품 대비 성능이 우수한 미래의 전자정보, 에너지, 환경, 바이오, 보안, 군수 산업 전반에 걸쳐 응용분야가 광범위하고, 신산업 창출이 가능한 소재로 부각되고 있다.

■ 자성신소재관련 국내의 연구 수준은 선진국에 비하여 미진한 실정이며, 미래산업 육성을 위하여 자성신소재기술에 대한 원천 기술의 확보가 요구된다.

■ 메타소재 관련 결론 및 제언

- 전자기 메타 재료는 마이크로파(GHz) 대역, 테라헤르쯔(THz) 대역 및 가시광선 영역 등 광범위한 주파수 영역에 걸쳐 산업용 및 군사용으로 사용되는 부품 및 장비들에 적용이 가능하다.
- 따라서 메타재료의 개발, 특성 향상 및 응용을 위한 연구를 수행함으로써 현재 선진국에 비해 뒤쳐져 있는 기술수준을 높여 새로운 마이크로파, 테라헤르쯔, 광학 소자 개발 경쟁에서 기술 우위 및 원천 특허의 확보가 시급히 요구되고 있다.

■ 나노입자소재 관련 결론 및 제언

- 자성나노입자 소재는 최근 단일 소재보다는 입자 내에 다성분이 화학

적 물리적으로 결합한 형태의 복합 구조 및 자성, 광학적 특성, 반도체 특성 등 다양한 물성을 가지는 복합 물성 나노 입자 연구가 활발히 진행 중이다.

- 국내의 경우 자성나노입자 등의 원천소재를 만드는 기술은 세계 정상급의 수준이나, 기능성 나노입자를 에너지, 환경, 질병 바이오마커 검지 및 진단 등에 응용하는 연구는 아직 미약한 상태이다.
- 향후 자성나노입자의 응용가능성 및 스케일 확대를 통한 대량생산 여부가 중요하게 부각될 것으로 예상된다.

■ 다강체소재 관련 결론 및 제언

- 최근 활발히 연구되고 있는 다강체 물질은 현대사회에 대두된 다기능 첨단 소재의 필요성에 의해 재부각된 연구 주제임에도 불구하고 지난 몇 년 간 50년 동안 인류가 알아낸 것보다 많은 새로운 물질 발견 및 이론적 이해를 바탕으로 눈부신 발전을 달성하였다.
- 아직 이 발전의 흐름은 계속되고 있으며 고체의 대칭성, 자성, 유전성, 역학적 효과를 포괄하는 근본적인 물리를 공부하기에 적절한 연구 주제임과 동시에 근래에는 보다 구체적인 응용 제품을 목표로 연구가 이루어지고 있다.
- 따라서 향후 계속적인 신 다강체 물질의 발견과 응용성에 대한 활발한 연구가 기대되며 이러한 연구를 바탕으로 실생활에 응용될 수 있는 소자를 제작할 수 있을 것으로 기대되며 이는 차세대 메모리 분야에 신동력이 될 수 있을 것이라 사료된다.

7. 맺음말

- 한국자기학회 전략기술위원회에서는 한국자기학회 창립 20주년을 맞이하여 자성관련 연구동향 및 국내외 여건변화와 관련된 정보를 자기학회 회원에게 제공하고 국내 자성 관련 전문가들의 상호교류와 차세대 자성관련 연구의 활성화를 도모하고자 자기학 관련 기술로드맵을 작성하였다.
- 본 보고서에서는 자성관련 기술을 기반으로 하여 향후 기술 수요가 확대될 것으로 전망되는 스핀트로닉스 기술, 그린자기에너지 기술, 나노자기측정 기술, 바이오자기 기술, 자성신소재 기술 등의 5개 분야를 선정하여 각 분야의 연구동향 및 산업동향과 차세대 자성 관련 연구 방향을 작성하였다.

- 스핀트로닉스 분야의 주요 내용은 아래와 같다.
  - 스핀전류 기반 소자 기술 : 메모리, 논리 소자로의 응용 가능성이 매우 높으며, 스핀트로닉스 분야의 발전에 주축 역할을 할 것으로 판단된다.
  - 스핀-전하/스핀-열 전환 기술 : 현재 응용 가능성보다는 기초 학문적 측면에서 연구를 수행할 시점으로 판단된다.

- 그린자기에너지 분야의 주요 내용은 아래와 같다.

- 현재 그린자기에너지 분야의 기술 종주국인 일본에서도 정부주도의 산·학·연 컨소시움 형태의 연구개발과제가 진행중이며 이미 가시적인 성과를 얻고 있다. 이 분야에서 일본과 경쟁관계에 있는 국내에서도 하이브리드/전기자동차용 고성능 모터소재 개발에 보다 집중적인 투자를 하지 않으면 지금까지 우리나라가 쌓아온 자동차 강국의 역사도 그리 오래 가지 않을 수 있다.
- 모터 생산 수량의 증가로 외형적인 면에서는 시장 확대를 이루었지만 하이드로다이나믹(Hydrodynamic) 베어링 등 고정밀 원부자재의 수입 의존도가 매우 높아 일본을 비롯한 선진국에 기술적으로 예속되어 있어 큰 문제가 되고 있다.
- 범용 모터의 경우 가격과 기술면에서 상당 부분 경쟁력을 확보한 상황이지만, 높은 설계력과 고정밀의 생산력을 필요로 하는 분야에서는 선진국과의 기술력 격차가 여전하다.

■ 나노자기측정 분야의 주요 내용은 아래와 같다.

- 자기정보처리 소자 및 저장단위의 나노크기 극미세화에 따라 새로운 자기적 성질의 출현이 예측되며, 이를 정확히 측정, 분석, 조작하는 기술 개발이 미래 정보저장기술의 지속적인 발전을 위해 필수적으로 선행되어야 한다.
- 실제 자성 나노소자가 동작하는 시간 대역에서의 자기반응을 직접 측정할 수 있는 기술로서, 소자 동작 특성 진단을 통해 최적의 소자 개발에 활용함으로써, 현재 50조원의 시장 규모를 가지는 디지털 정보저장 시장에서의 기술 경쟁력 및 시장 선점에 기여하리라 예상한다.

- 고체 자기센서의 경우 정보통신산업, 전자/전기산업 등 기존의 산업분야뿐 아니라 국방산업, 의료/바이오산업 등 신규산업기술의 핵심부품이 될 것으로 기대되며, 소재 및 구동메커니즘과 관련한 원천기술의 확보가 시급하다.
- 원자자력계 센서의 경우 광펌핑 원자자력계의 소형화 연구와 초고감도 스핀교환이완 없는(SERF) 자력계의 개발 및 응용 연구가 차세대 정밀 자기센서 연구로서 큰 잠재력을 보일 것이며, 그 응용분야의 확대로 의료, 국방, 안전, 재해감지, 자원탐사, 우주개발 산업 등의 발달이 기대된다.

■ 바이오자기 분야의 주요 내용은 아래와 같다.

- 바이오자기 분야는 BT, IT, NT 등 여러 분야의 융합이 필요하기 때문에 정부의 강력한 지원을 통해 적극적으로 융합을 유도하고 부족한 전문 인력을 양성할 필요가 있다.
- 자성과 생체의용의 융합 연구 분야로 발전하여 획기적인 바이오센서 분야의 시발점 역할을 감당하고, 생체분자의 기능과 함께 세포 안의 물질의 역할에 대해 다양한 연구가 기대된다.
- DNA 칩, 바이오센서 및 바이오 MEMS 융합의 기본 요소기술 제공하여 나노 바이오센서 개발을 통해 미래 산업이 되고 있는 융합의학 분야에 바이오 관련 기술개발의 원천기술을 확보하여 바이오센서 및 DNA 바이오 칩 기술의 의료기기 관련 업체 및 임상 연구기관으로 이전이 필요하다.
- 금속소재 원천기술 확보로 심화단계 및 상용화단계로 가는 신기능 창

출 바이오자기 제어기술을 구현함으로써 차세대 첨단기술력을 파급시킬 것을 예상한다.

- 생체자성 분자에 대한 물성 특성 연구결과가 국내 의료 진단 및 치료 분야에 종사하는 인력양성의 계기가 되어, 보건 건강산업에 대한 철저한 과학적 접근을 통하여 의료용 센서, 측정 및 진단 기술 산업에 대한 전문연구의 기초인력양성에 기여할 것을 예상한다.

■ 자성신소재 분야의 주요 내용은 아래와 같다.

- 본 보고서에서는 자성신소재분야를 크게 메타소재, 다강성소재, 나노입자소재 분야로 분류하여 국내외 연구추진 동향을 기반으로 각각의 기술에 대한 기술로드맵을 작성하였다.
- 메타소재의 경우 RF소자 응용을 위한 마이크로파 대역 자성 소재 및 THz, 가시광 영역의 나노소재를 포함한다.
- 나노입자소재의 경우 바이오응용 및 에너지, 환경 응용을 위한 나노입자소재를 포함한다.
- 다강성소재의 경우 강자성, 강유전, 강탄성의 단일물질 및 복합물질에서의 다강성 소재를 포함한다.
- 다강성, 메타, 나노입자 등의 자성신소재는 차세대 신소재로 각광 받고 있으며, NT, IT, BT 등 서로 다른 이종 기술 간의 화학적 결합을 통해 기존 제품 대비, 성능이 우수한 미래의 전자정보, 에너지, 환경, 바이오, 보안, 군수 산업 전반에 걸쳐 응용분야가 광범위하고, 신산업 창출이 가능한 소재로 부각되고 있다.
- 자성신소재관련 국내의 연구 수준은 선진국에 비하여 미진한 실정이

며, 미래산업 육성을 위하여 자성신소재기술에 대한 원천 기술의 확보가 요구된다.