

국내 고자장 MRI 제작 기술의 현주소

이해근
고려대학교 신소재공학부

1. 서 론

미국은 이미 1990년대를 뇌질환과 공중보건 등 뇌 관련 연구의 중요성을 인식하고 "Decade of the brain"로 지정하였으며, 비슷한 시기에 일본도 1993년에 "Century of the brain"으로 지정하고 뇌 연구에 박차를 가하고 있다. 미국의 NIH, 독일의 Max Plank Institute, 일본의 RIKEN, 중국의 Shanghai Institute, 인도의 National Brain Research Center 등의 뇌 연구소에서는 국가가 적극적으로 주도하여 많은 연구가 진행 중에 있다. 최근 프랑스와 독일이 주도하여 Neurospin 프로젝트를 수행, 11.7 T MRI 시스템 개발을 서두르고 있으며, 일본에서는 동경대학을 중심으로 Super MRI 프로젝트 계획하고 있다. 이외에도 동물용 실험을 위한 고자장(UHF) MRI 개발의 경우, University of Queensland의 16 T MRI 및 스위스 로잔 연방공대(EPFL)의 14.1 T Animal-UHF MRI 연구개발 등 세계 곳곳에서는 이미 많은 연구가 진전을 보이고 있다. 우리나라의 경우는 어떤지 다시금 생각하게 하는 대목이다. 본고에서는 국내 MRI 제작 기술이 어느 정도인지 현주소를 대략적으로 파악하고, 차 후 역점을 두고 집중 개발이 필요한 기술이 무엇인지에 대하여 간략하게나마 제안하고자 한다.

2. MRI 제작을 위한 필요 기술

MRI를 제작하기 위해 필요한 세부기술은 편의상 다음과 같이 10가지로 구분할 수 있다. (그림 1 참조): Superconducting Magnet 제작기술, Permanent Magnet 제작기술, Cooling System 기술, Multi-channel Receive RF Coil 기술, Transmit RF Coil 기술, Gradient Coil 제작기술, Spectrometer 기술, Fusion MRI 기술, 시퀀스 및 영상기법 기술, 대상에 따른 영상획득 및 처리기술. 이 중 MRI 제품 원가의 60~70 % 정도를 차지하는 초전도 마그넷 제작 기술은 아직도 국산화가 이루지 못하고 있으며 대부분 수입에 의존하고 있는 현실이다. 그나마 다행이도 1.5 T 급 전신촬영용 MRI와 3 T 급 MRI 초전도 마그넷을 개발했던 전기연구원의 경험과 기초과학지원연구소에서 초전도 핵융합장치인 K-Srar 프로젝트를 위한 거대 초전도마그넷 제작을 성공적으로 완료했던 경험이 있다.

또한 K-Star 프로젝트에 참여한 경험이 있는 현대중공업, 두산중공업, 삼성, 콤텍스, 한울, 고려제강, 포스콘, 대원, 우신, SFA, S&A 등의 기업들과 현재는 다른 기업에 인수, 도산(메디너스, 카이, 아이솔 등) 또는 명맥만 유지하고 있는 AILAB 및 덕성 같은 중소기업 등에서 초전도마그넷을 제작했던 경험

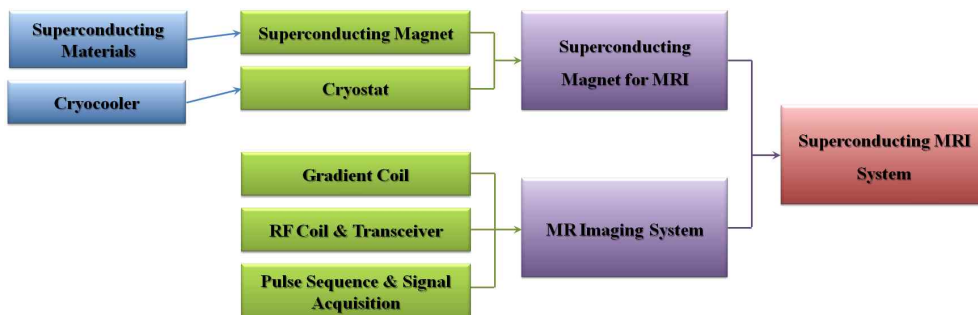


그림 1. Superconducting MRI system 제작을 위해 필요한 세부기술.

고자장 MRI 개발 특집

및 각 대학에서 국소적으로 연구하고 있는 MRI 관련 연구진의 노하우가 하나로 결집된다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 본다. 이외에도 호재는 또 있다. 삼성전자 헬스케어 사업은 독립팀 성격의 HME(Healthcare and Medical Equipment) 사업팀이 주관해 오다가 최근 국내 1위 초음파 진단기기 제조업체인 메디슨을 인수하여 헬스케어 사업을 본격화하게 되어 차 후 국내 MRI 개발 및 관련 사업에 큰 몫을 담당할 것으로 기대한다.

MR Imaging 분야의 경우 그 기술력은 7 T 급의 MRI 및 양전자 방출 단층촬영기(PET: Positron Emission Tomography) 구축한 가천의대 뇌과학연구소를 필두로 고자장 동물용 MRI를 다 수 보유하고 활발한 연구를 진행 하고 있는 기초과학연구소 및 조장

희박사의 제자들이 학교를 포함한 각계에서의 활발한 연구를 바탕으로 이미 세계적으로 전혀 뒤지지 않고 있다고 평한다. 특히 Multi-channel Receive RF Coil 기술, Transmit RF Coil 기술, Gradient Coil 제작기술, Spectrometer 기술, 시퀀스 및 영상 기법 기술, 대상에 따른 영상획득 및 처리기술 등은 세계최고 기술 대비 이미 80~90 % 이상의 기술력을 보유하고 있다고 본다. 결과적으로 MRI 생산원가의 60 %를 차지하는 초전도 자석의 국산화가 시급하다고 볼수 있을 것이며, 이는 차 후 국내 MRI 제조업체들이 외국의 대형 MRI 제조업체들과의 가격경쟁력에 밀려 어려움을 겪는 상황을 막을 수 있을 것으로 본다.

표 1. 고자장 MRI system 개발에 필요한 주요 기술 내용

기술 분류	주요 기술 내용	비고 (세계최고대비 %)
Superconducting Magnet 제작기술	초전도 마그넷 설계 및 제작기술, 마그넷구조 설계 및 제작기술 (Active Shielding 포함), Shimming Coil (Field Uniformity) 제작기술, 초전도체 Wire 제작기술, 특수목적 자석제작기술, 초전도선재 접합기술 (영구전류모드 운전)	50 %
Permanent Magnet 제작기술	Block 제조기술, 구조설계기술, 자장/온도유지/ 제작기술, 특수 목적 자석제작기술	65 %
Cooling System 기술	냉동기술, 복사차폐, 전류인입선, 극저온절연	60 %
Multi-channel Receive RF Coil 기술	소형, High NF, Low input Imp. RX Amp 제작기술, 모양 및 구조 최적화기술	85 %
Multi-channel Transmit RF Coil 기술	코일 detuning/isolation 기술, Drive pattern 제작기술, B1 mapping 및 shimming 기술	90 %
Gradient Coil 제작기술	설계 및 구조제작기술, Acoustic Noise 저감기술	80 %
Spectrometer 기술	RF 및 Gradient 파형 Generation 기술, Digital RF Mod/Demod 기술, 고속 Signal Processing 기술	85 %
Fusion MRI 기술	MR-PET, MR-HIFU, 과분극 MRI 기술	70 %
시퀀스 및 영상기법 기술	영상처리, Diffusion, Perfusion, MRA, MRS, 등	85 %
대상에 따른 영상획득 및 처리기술	Breast, Cardiac, fMRI, CSI, 등	80 %

3. MRI 연구개발의 필요성

MRI 분야의 경우, 현재 의료전자기술 중 단일분야 최대 시장크기를 가지고 있는 의료 영상분야(MRI, 엑스선, 초음파, PET, SPECT 등) 중에서도 가장 활발하고도 많은 연구개발이 진행되고 있는 분야이다. 이러한 MRI의 개발은 초전도 마그넷(Superconducting Magnet) 뿐만 아니라 자장 차폐(Shielding)/자장 균일화(Shimming)/경사 자장(Gradient)/영상화 코일(Imaging Coil) 등의 다양한 하드웨어 설계/제작을 필요로 하는데, 이는 전자/기계/물리/재료/생물학의 종합적인 기술과 이를 컨트롤하기 위한 알고리즘, 컴퓨팅의 소프트웨어 공학을 필요로 하게 된다.

최근 주력 MRI 상용화 시스템은 1.5 T 에서 3 T Whole-Body 시스템으로 변하는 추세이다. 예를 들어 이미 설치된 MRI 시스템 개수로 볼 경우, 2004년 0.5 T:1.5 T:3 T:이하(Permanent) 비율이 22:68:5(%)에서 2009년에는 15:64:19(%)로 변화였으며, 현재 0.5~1 T 시장은 1% 이내로서 거의 미미하다. 따라서 상용화를 위한 시장 진입을 위해서는 장기적으로는 추후 주력이 되는 3 T 급 Whole-Body MRI 시스템으로 진입하는 것을 집중 개발목표로 하되 단기적으로는 최근 개발 trend인 전문화(Breast, Cardiac 등) 및 융합(MR-PET, MR-HIFU 등)의 추세를 고려해서 전문화 또는 융합 시스템을 개발하는 것이 합리적이라고 본다. 이를 위해 세부적인 연구 단계를 살펴 볼 경우 단기적으로는 선택된 시스템을 위한 시스템설계 및 integration 기술을 포함하는 Spectrometer, 영상처리, 응용기술 및 영상기법(Sequence) 등을, 중기적으로는 Shimming/Gradient/Imaging/RF 코일 기술 등을, 그리고 장기적으로는 Whole Body용 Superconducting Magnet 등을 집중적으로 개발 할 필요가 있다고 본다.

또한 MRI 활용의 다양성 확대라는 측면을 볼 경우 국내 MRI 제조업체가 GE, 지멘스, 필립스, 히다치 등과 같은 거대 외국기업과의 경쟁에서 생존하기 위해서는 외국 기업과 동일 사양의 제품을 가지고는 경쟁에서 이길 수 없다. 따라서 외국 기업들의 관심이 상대적으로 적은 피부과, 정형외과 등의 특정목적에 부합하는 환자 맞춤형 MRI나 수입 과일이나 야

채의 내부품질 검사용 MRI 등의 제품의 다양화 및 차별화가 요구되는 기술들을 중심으로 집중적으로 연구개발을 할 필요가 있다고 본다. 특히 MRI는 부가가치가 높고, 기술 난이도가 높기 때문에 GE, 지멘스, 필립스, 히다치, 도시바 등 일부 몇 개 거대 해외 업체에서 기술력과 자본을 무기로 거의 독점하고 있다고 봐도 과언이 아니다. 그러므로 향후 국내에서도 독자적으로 한국형 MRI 장치 개발에 역점을 두고 집중 개발을 소홀히 할 경우 차 후 국익에 막대한 손실을 보게 될 것이라는 자명하다.

그러나 성공 시 부가가치는 높으나 초기 투자비용이 높고, 기술 개발에 다양한 공동 연구가 필요하고, 기술적 난이도가 타 기술에 비해 높아 국내 중소/중견기업이 뛰어들기에는 무리가 따르며 그렇다고 대기업은 관심이 미비한 실정이어서 국내 MRI 연구 개발 및 사업화는 많은 어려움이 있다는 것이 국내 현실이다. 따라서 무역수지 개선, 수입 단가 절감, MRI 촬영 수가 절감 및 수출 증대를 위해서 MRI의 핵심 부품인 초전도 자석의 국산화가 하루 속히 이루어질 수 있도록 국가적인 지원과 정책이 뒤따라야 할 것이다.

4. MRI 기술 개발 전략

MRI는 종합적인 의료진단 기기로서 여러 가지 목표를 종합적으로 지향해야만 하는 분야이다. 즉 영상획득 고속화, 분해능 및 대조도 증대, High SNR NMR 시그널획득, 인공물저감, Patient Comfort 향상, 안전도 향상, Cost Effective, System 확장성 증대(새로운 융합 및 전문화기기개발) 등을 세부화 하여 분야 별로 집중적인 연구 개발을 목표로 장단기 계획을 수립하는 것이 최우선 과제라고 본다. 이 중 특히 중요한 것은 SNR 향상을 통한 고해상도 MRI 마그넷 개발이다. 이는 초전도 마그넷의 고자장화로 해결 할 수 있다. 예를 들어 1980년대 초반: 0.1~0.15 T, 1980년대 중반: 1.5~2 T(1 T이하), 1990년대 초반: 4 T(1.5 T이하), 2000년대 중반: 7 T(1.5 T이하), 2000년대 말: 9.4 T(1.5 T/3 T), 2010년대 초반: 11.7 T(여기서 괄호 속은 의료용임)로의 MRI의 고자장화가 가속됨으로 인한 화상도 증가라는 결실

을 보게 되었다. 따라서 9.4 T 이상의 초고자장(EHF) MRI용 초전도 마그넷 개발은 시기와 장소와 이유를 막론하고 집중적으로 연구개발이 필요한 당면한 과제일 것이다.

또한 Whole Body 시스템의 Gradient 크기의 증가로 얻을 수 있는 영상획득고속화(1990년 이전: 1.0~15 mT/m, 2000년 경: ~25 mT/m, 2010년 경: ~40 mT/m) 및 고분해능화(1990년 경: 256x256, 2000년 경: 512x512, 2010년 경: 1024x1024 이상, 보통 25 cm Diameter ROI기준)를 목표로 하는 연구개발을 집중적으로 시행해야 할 것이다.

현재 상용되고 있는 NMR/MRI는 주로 저온초전도 선재를 사용한다. 저온초전도체는 초고자장 MRI 개발에 있어서 낮은 임계자장의 한계로 인하여 많은 제약이 따르며, 따라서 조만간에 고온초전도 선재를 이용한 마그넷 제작이 필수 불가결하게 될 것이다. 높은 자장이 요구되는 고자장 NMR의 경우에는 좀 더 심각하다. 아직 저렴한 가격의 고온초전도 선재의 수급에 문제가 있기는 하지만 곧 해결되어야 할 당면과제 임에는 틀림없다. 따라서 뛰어난 전기적/기계적 특성을 갖는 2세대 고온초전도 개발 및 고온초전도 마그넷 기술 개발 관련 연구가 집중적으로 되어야 할 것이다.

이에 따라 고온초전도 NMR/MRI 마그넷의 영구전류모드 운전을 위해서 2세대 ReBCO 고온초전도 선재의 초전도 접합 기술 및 장치 개발은 선결되어야 할 과제이다. 다행이도 최근 국내 연구진(고려대학교와 케이조인스)에 의해 세계 최초로 2세대 고온초전도 선재의 접합 기술 개발에 성공하였으며, 이 기술로 고자장 NMR/MRI 등 의료장비 뿐만 아니라 초전도 에너지저장장치, 초전도 자기 분리 장치, 초전도 풍력발전기와 같은 친환경 차세대 전력기기 개발에 적용이 가능하게 되어 고온초전도 응용에 지대한 공헌을 할 것으로 본다.

그러나 고온초전도체는 장선화의 어려움이 있어 고자장 마그넷 제작을 위한 최소 선재길이 확보되지 못하고 있다. 따라서 저온초전도에 비해 동작온도가 높고, 고온초전도에 비해 장선재 제작의 용이성 및 저렴하다는 장점을 지닌 MgB₂ 초전도 선재를 이용하여 MRI 마그넷 제작을 위한 집중적인 연구 및 개발이 필요할 것이다. 즉 MgB₂ 초전도는 Bi2223

표 2. 고자장 MRI 기술 개발 전략.

기술분류	주요기술내용	집중개발 방향
시스템설계/integration	시스템 구성	단기목표 개발
Hardware	고자장 Superconducting Magnet, Shielding/Shimming/Gradient/Imaging/R F Coils, Cooling System, Spectrometer, Superconducting joint	중장기목표 개발
Software 및 영상시퀀스	영상 시퀀스 및 영상처리, 응용기술	단기목표 개발

초전도보다 90 %이상 제조비용을 줄일 수 있으며, 저온초전도체인 NbTi와 비교하여 제조비용은 비슷하나, 유지 및 운영비용(액체헬륨(NbTi) 대신 냉동기(MgB₂) 사용 가능)은 크게 낮출 수 있어 MgB₂ 초전도 선재는 미래 초전도 응용기술의 핵심 소재로서 NMR/MRI 등의 초전도 의료기기와 초전도 케이블, 모터, 발전기, 한류기 등 초전도 전력기기 산업에 있어 큰 변혁을 가져올 것으로 예상된다.

5. 초고자장 14 T MRI 개발의 필요성

MRI에 있어서 마그넷 자기장의 세기는 영상의 해상도와 품질을 좌우하는 가장 큰 요인으로 일반적으로 자장세기가 커지면 MRI 장비의 신호 대 잡음비(SNR)의 증가로 공간 분해능 및 시간 분해능이 획기적으로 향상된다. 따라서 전 세계적으로 높은 자기장의 세기를 갖는 MRI의 개발에 박차를 가하고 있는 상황이다. 지난 2010년도 봄, 가천의대 뇌과학연구소 조장희 박사 연구진이 세상에서 가장 세밀한 뇌지도인 “7 테슬라 MRI 뇌지도(7 Tesla MRI Brain Atlas)” 발간하였다. 이는 7 T MRI가 이뤄낸 해상도 0.3 mm 초정밀 뇌세계로의 여행을 의미하는 것으로, 바로 우리나라에서 노벨상에 가장 근접한 연구라는 진수를 보여준 쾌거라고 할 수 있겠다.

차후에는 고자장(UHF)을 뛰어넘는 whole

Body용 차세대 14 T 급 초고자장(EHF) 마그넷 개발이 필요할 것이며, 이는 곧 MRI 시스템 개발에 있어서 가장 최고의 극한 목표이며 궁극적으로 추구해야 할 Holy Grail이라고 할 수 있겠다. 만약 14 T MRI가 개발된다면 치매를 일으키는 독성 단백질인 베타 아밀로이드나, 치매로 막히는 미세 혈관 등을 훤히 들여다 보는 것이 가능한 0.05 mm 이라는 엄청난 해상도를 이용하여 기존의 어떤 검사로도 불가능했던 치매 등 퇴행성 뇌질환, 뇌졸중 등 혈관성 뇌질환, 선천성 대사 질환 등을 조기에 진단 및 치료가 가능하게 되며, 우울증의 진행과정도 영상으로 확인할 수 있게 되는 등 헬스/의료 분야에 있어 새로운 패러다임을 구축하게 될 것이며, 이는 우리나라에서 최초로 노벨상에 탈 수 있는 가장 근접한 연구가 가능해 진다는 것을 의미한다. 이외에도 14 T MRI 시스템은 향후 10여 년간 최고의 성능을 가진 연구 장비가 될 것이며 전 세계 우수 연구자들을 모이게 하는 세계적인 뇌연구의 허브역할을 할 것이며, 이는 유럽의 “CERN” 같은 역할 수행이 가능하게 되어 국가과학기술 및 국가 브랜드가 한층 업그레이드 될 것으로 본다. 또한 14 T MRI 시스템 개발 과정에서 습득된 지식과 노하우는 논문, 특허 등의 지적권리를 통한 부가가치를 창출할 수 있으며, 이를 국내 기업을 통해 산업화할 경우 막대한 국부를 창출할 수 있을 것이다.

최근 전 세계적으로 국가 프로젝트화를 통한 14 T급 초고자장 MRI 조기 확보를 위해 조심스런 움직임이 포착되고 있는 가운데 국내에서도 초전도 관련 모든 산·학·연 기관들이 보유 기술을 공유하고 다양한 융합 연구 등의 사전 준비 작업을 해야 한다고 본다. 이를 위해 마그넷설계/제작 기술 개발 뿐 만 아니라 14 T 자장 세기에 이용 가능한 초전도 자기장 차폐 (Shield)/자장 균일화 (Shimming)/경사 자장 (Gradient)/ 영상화 코일 (Imaging Coil) 등의 하드웨어 설계/제작 기술 및 14 T 용 자기공명 영상 시스템 오퍼레이션을 위한 Imaging 기술, 고해상도, 고화질의 자기공명 영상 데이터 획득 및 재구성법 개발 등에 많은 국내 연구자들의 역량을 집약시키는 것이 필요하리라 본다.

6. 맺음말

초전도 응용기기 산업은 에너지 고갈과 환경오염 문제를 해결할 수 있는 대안으로 전 세계적인 관심이 급증하고 있는 가운데, 초전도 응용시스템 관련 시장 선점을 위해서는 고효율 및 고자장용 저가의 초전도 장선재 개발 및 확보도 필요할 것이다. 그러나 연구개발에서 사업화단계에 이르기까지 고비용과 장시간이 요구되며, 민간주도 개발이 어려운 초전도 응용시스템의 상용화는 선진국과 경쟁하기 위해서는 적극적인 정부의 지원이 절실한 상황이다. 특히 MRI 시스템은 연구 및 제작비용이 크고 기술 진입 장벽이 높을 뿐만 아니라 GE healthcare 및 SIEMENS AG 등 글로벌 선도 기업들의 견제 또한 매우 크기 때문에 시장 진입에 어려움이 따른다. 따라서 우리만의 독창적인 기술 확보로 기술적 우위를 점하도록 하기 위해 관련 국내외 주요학술대회 및 세미나에 활발히 참가하여 다양한 자료를 수집, 이를 조사 분석하고 정기적인 미팅을 통하여 최신 정보를 교류하도록 하며, 또한 비정기적인 밀접한 상호교류를 통해 각 기관의 연구결과에 대한 의견을 상시적으로 교류하는 “고자장 MRI 연구교류회(가칭)” 등이 초전도저온공학회 또는 초전도산업협회가 주관되어 조직하는 것이 필요하리라 본다.

저자이력



이해근 (李海根)

1986년 고려대 공대 재료공학과 졸업, 1987~1995년 미국 일리노이(시카고)대 재료공학과 졸업 (공학석사, 공학박사), 1995~1997년 MIT, FBML, 박사후과정, 1997~2006년 MIT, FBML 연구교수, 2006~현재 고려대학교 신소재공학부 교수