

NMR용 고자장 발생용 초전도 마그네트의 개발현황

권영길, 김호민
한국전기연구원

1. 개요

초전도기술이 다양하게 응용되어 많은 산업 분야에서 신제품의 개발과 기존 기기의 성능을 대폭 향상시키는 고성능의 새로운 제품을 생산할 수 있는 기반기술로 자리매김하고 있다.

1911년 초전도현상이 발견된 이래 여러 가지 특성을 나타내는 초전도선의 발견과 더불어 응용분야 및 기술적 파급효과가 더욱 폭넓고, 첨단으로 확대되고 있다. 이중 초전도기술의 가장 대표적인 특징 중의 하나인 고자장 발생기술은 특성을 달리하는 초전도선의 출현과 더불어 기술적 깊이를 배가하여, 그 응용기술이 타 기술 분야에 적용되어 융합기술의 생산성이 기존기술의 한계를 극복할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

본 고에서는 고자장 발생용 초전도 마그네트의 대표적인 응용분야인 NMR(Nuclear Magnetic Resonance)Spectrometer에 사용되는 초고자장 발생용 초전도 마그네트의 개발 동향을 살펴보자한다. 금속계 초전도선의 본격적인 고자장 발생응용과 더불어서 BSCCO와 YBCO로 대표되는 산화물계 초전도선의 실용화로 초고자장 발생기술이 새로운 국면을 맞고 있으며, 오랜 기간 동안 개발이 진행되어 온 고자장 발생용 초전도 자석의 개발현황과 그 응용 분야를 논하고자한다.

2. 초전도 마그네트의 개발경위

초전도응용기술의 발전을 위해서는 가장 핵심적인요소로서 고자장 발생용 초전도 마그네트 기술의 진전이 중심적인 요소로서 작용한다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 고에너지 물리분야에서의 입자가속기, 핵융합, BT분야에서의 GHz급 NMR등의 개발을 위해서 고성능의 고자장을 발생시킬 수 있는 초전도 마그네트의 개발이 반드시 선행되어야한다.

일반적으로 철심 코어의 전자석으로 발생시킬 수 있는 한계자장인 2 T이상을 고자장(High Magnetic Field)라고 부르며, 1960대까지 만해도 전 세계적으로 고자장 발생용 마그네트를 보유한 곳은 몇몇 실험실에 지나지 않았다. 이 중에서도 1930년대 이후로 Francis Bitter가 개발한 "Bitter"마그네트라 불리는 10 T의 수냉식 Copper 마그네트가 MIT에 설치되어 가장 활발하게 운용되어 왔다. 1960년대에는 이 10 T 마그네트설비는 국가적인 차원으로 활용되게 되었고, 1960년대 MIT 국가연구소가 그의 이름을 따서 Francis Bitter National Magnet Laboratory (FBNML)이라 불리게 되었다. 이렇게 국가적인 차원에서 이 마그네트를 운용하게 된 동기는 마그네트의 운전에 필요한 메가와트급의 전력력과 마그네트에서 발생하는 엄청난 열을 냉각하기 위한 냉각설비의 운영 때문이었다.

수냉 상전도 방식의 20 T급 마그네트의 개발이 고려되었으나, 1600기압이라는 엄청난 크기의 압력이 걸릴 뿐만 아니라, 발생하는 열을 냉각해야하는 문제를 해결할 수 없어 Bitter Magnet로는 불가능하게 되었다. FBNML의 분석 자료에 따르면 유용 가능한 50 mm의 보아내경에서 20 T의 자장을 발생시키기 위해서는 약 10 MW의 전력이 마그네트를 운전하기 위하여 필요하고, 마그네트를 냉각하기 위해서도 10 MW의 엄청난 전력이 소요된다.

매우 높은 고자장의 DC필드를 발생시킬 수 있는 두 가지의 혁신적인 발전이 1950년대와 1960년대에 이루어지게 되었다. 먼저 1950년대에는 Collins에 의해 헬륨액화기가 개발되어 액체헬륨을 쉽게 이용할 수 있는 기틀을 마련하게 되었으며, 1960년대에는 Nb₃Sn[1](1954), NbZr[2], V₃Ga[3], NbTi(1961) 등의 대전류를 통전할 수 있는 초전도체가 발견되고[4], 제조기술의 급격한 발전이 뒷받침 되어 고자장 발생용 초전도 마그네트개발

의 기틀을 마련하게 되었다. 이러한 헬륨액화기의 개발과 고전류밀도 및 고자장용의 초전도체가 발견됨에 따라 1970년대에는 고자장 발생용 마그네트를 세계 각국의 연구실에서 보유할 수 있는 터전을 마련하였다.

고자장 발생용 초전도 마그네트는 크게 세 가지 분야로 나눌 수 있는데, 그 첫번째는 중심자장이 9 T 이하로 NbTi 초전도선으로 만들어 지고, 연구용으로 세계적으로 널리 사용되고 있으며 전 세계적으로 10여개의 제작회사로부터 제작, 공급되고 있다. 이렇게 널리 보급될 수 있는 이유는 NbTi 초전도선을 이용하여 초전도 마그네트를 비교적 쉽게 제작할 수 있고, 운전 온도도 대기압의 액체 헬륨의 비등점인 4.2 K에서 용이하게 운전될 수 있기 때문이다.

두 번째 분야는 20 T까지 자장을 발생시킬 수 있는 마그네트인데, 초전도를 포함한 다양한 연구분야에서 널리 사용되고 있다. 이 마그네트는 NbTi 코일로 4.2 K 이하의 운전 온도에서 12 T 정도의 Back-ground Field를 발생시키고, Nb₃Sn 또는 (NbTi)₃Sn의 금속간 화합물 초전도체를 이용하여 4.2 K 운전 온도에서 15 - 16 T 고자장을 발생시키고, 16 - 20 T의 보다 높은 자장은 운전 온도를 4.2 K 이하로 하여 발생시키는 것이 가능하다. 12 T 이상의 고자장을 발생시키기 위하여 사용되는 금속간 화합물 초전도체는 취성이 매우 강하기 때문에 마그네트를 제작하는데 많은 어려움이 따르고, 금속계 초전도선을 사용한 제1부류의 마그네트에 비하여 가격도 매우 비싸다. 금속간 화합물 초전도선을 사용한 제2부류의 초전도 마그네트는 14 T 이상의 자장을 발생시키기 위해서는 4.2 K 이하로 운전하는 것이 필요하기 때문에 널리 사용되지는 않고 세계적으로도 14 T 이상의 고자장을 발생시키는 초전도 마그네트는 1990년대 후반까지만 해도 10여대에 불과했다.

세 번째로 1986년 이후 고온 초전도체의 발견과 함께 고자장 특성이 뛰어난 Bi2223 고온 초전도선의 실용화와 더불어 고자장 발생용 초전도 마그네트의 개발은 새로운 국면을 맞게 되었다. Bi2223 고온 초전도 선으로 만들어진 초전도 마그네트를 4.2 K 부근에서 운전하면 고자장 특성이 매우 뛰어나므로 NbTi-Nb₃Sn-Bi2223선의 조합으로 이루어지

는 3종류의 마그네트로 구성되어지는 Hybrid Magnet를 개발할 경우 20 T 이상의 초고자장을 비교적 쉽게 얻을 수 있을 것이라는 기대를 모았다. 특히 2000년대에 접어들면서 BT분야에서 새로운 전기를 여는 기술발전과 더불어 GHz급 NMR 개발의 필요성이 절실하게 요구되면서 고자장 발생용 초전도 마그네트 개발의 새로운 국면을 맞게 되었다.

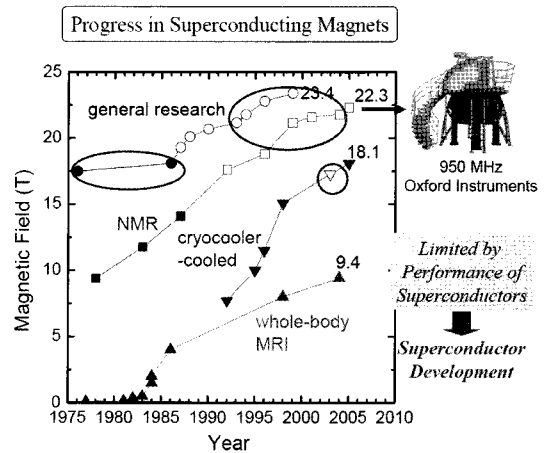


그림2-1. 고자장 발생기술 및 응용기기의 발전추이.

특히 4.2 K에서도 비교적 큰 냉각용량을 가지면서 효율이 비교적 높은 극저온 냉동기가 개발, 보급되고, Bi계 및 YBCO 초전도선을 실제 코일제작에 사용할 수 있는 특성(전류밀도, 길이등)을 가지는 Bi계 및 YBCO 초전도선이 개발 공급됨에 따라 액체헬륨을 사용하지 않고 전도냉각방식의 초전도 마그네트가 개발되고 있고, 고온초전도체는 고자장 발생용 초전도 마그네트인 NMR, MRI등에 응용되고 있고, 그림 2-1과 같은 개발추이를 보이고 있다.

3. 자기공명장치(NMR)기술의 개요

3.1 NMR의 개요

NMR의 특성향상을 위하여 고자장 발생용 초전도 마그네트의 필요성을 이해하고 NMR장치의 기술적 개요를 간단히 살펴보기로 한다.

Spin의 성질과 자기 모멘트를 가지는 특정 원자핵이 자기장 내에 놓이면 에너지 준

위가 분리된다는 가정을 1942년 W. Pauli가 주창한 이후 1946년 Stanford의 Felix Bloch와 Harvard대의 Edward M. Purcell에 의해 고전적인 핵자기공명현상이 각각 독립적으로 실험에 성공하였다. 이 두 물리학자는 그 공로를 인정받아 1952년 노벨상을 수상하였다.

Pauli가 가정했던 것과 같이, 원자핵은 정자기장 내에서 정자기장과 동일한 방향으로 세차운동을 하는 낮은 에너지 준위와 반대 방향으로 세차운동하는 높은 에너지 준위로 양자화되어 분리된다. 이때 정자기장과 직각 방향의 평면에서 Larmor Frequency로 진동하는 radio frequency 영역의 자기장을 걸어주면 양자화된 핵자기 에너지 준위의 차이에 해당하는 고유주파수만이 선택적으로 흡수되어 낮은 에너지 준위에 있는 핵자기가 높은 에너지 준위로 여기가 된다. 이런 현상을 핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance)이라고 한다. 그림 3-1은 정자기장 내에서 핵자의 공명 현상 과정을 나타낸다.

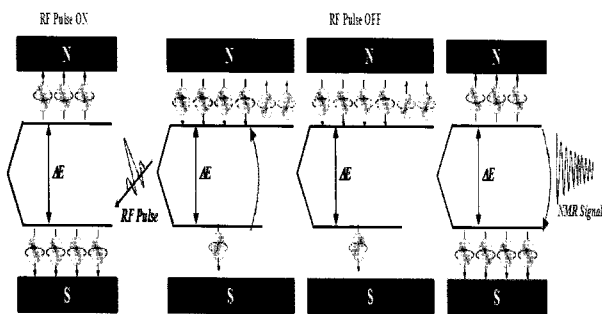


그림 3-1. 정자기장 내에서의 핵자기공명 과정.

이러한 핵의 공명은 특정 원자핵이 존재하는 주변의 환경에 대한 직접적인 정보로써 분자의 세부 구조에 따라 다르게 나타나게 되어 분자의 구조를 규명할 수 있다. NMR에서 정보를 얻는 핵 스핀에 미치는 4가지 내부 작용으로는 핵스핀간의 작용(dipolar interaction), 핵스핀과 주변 전자와의 작용(chemical shift), 전기 사중극자와 주위 전자와의 작용(quadrupolar interaction), 전자를 매개로 한 핵 스핀과의 작용(J coupling)으로 이로부터 분자의 구조 및 운동 상태까지도 추론해 낼 수 있다.

핵자기공명분광기는 이 핵자기공명 현상을 이용하여 고유진동수에 따라 공명 흡수된 에

너지 peak값의 크기를 핵자기공명 스펙트럼이라 불리는 주파수 배열로 얻을 수 있다. 이는 유기물이나 무기물의 구조를 밝히는데 있어서 가장 좋은 장치로 인정받고 있으며, 현재 구조 분석을 위한 핵심적인 분석 장비의 하나로 자리 잡고 있다.

3.2 NMR의 분류

핵자기공명분광기는 일반적으로 수소에 대한 공진주파수에 따라 또는 어떤 시료를 분석하느냐에 따라 분류할 수 있다. 수소의 공진주파수에 따른 분류는 사용되는 마그네트의 성능에 좌우되므로 구성 하드웨어적인 분류라 할 수 있고, 분석 시료에 따른 분류는 이용되는 물리적 현상이 서로 차이를 보이므로 사용 기법에 따른 기술적 분류라고 할 수 있다.

3.2.1 공진주파수에 따른 분류

수소의 공진주파수에 따른 분류는 가장 일반적인 분류 방법으로 이는 NMR 장치의 주자기장의 세기에 의존하기 때문에 달리 말하면 주자기장의 세기에 따른 분류라고도 할 수 있다. 1 Tesla(=10,000 Gauss)의 주자기장 하에서 수소(1H)의 공진주파수는 42.57 MHz이고, 주자기장과 공진주파수는 비례관계에 있다. 1 GHz의 경우 23.49 T의 강한 자기장을 발생시킬 수 있는 초전도 마그네트가 필요하게 된다. 일반적으로 현재 초전도 마그네트를 사용하여 100 MHz, 200 MHz, 300 MHz, 400 MHz, 500 MHz, 600 MHz, 750 MHz, 800 MHz NMR이 상용화되어 판매되고 있고, 현재 900 MHz 장치도 판매가 시작되었다. 다음 표 3-1은 공진주파수에 따른 주자기장의 세기를 나타낸다. 그러므로 마그네트의 성능 특히, 초전도 마그네트 성능의 발전이 핵자기공명분광기의 발전으로 이어졌다고 할 수 있다.

표 3-1 공진주파수에 따른 주자기장의 세기.

공진주파수	100 MHz	300 MHz	500 MHz	600 MHz	900 MHz	1 GHz
자장세기 (Tesla)	2.35	7.05	11.75	14.09	21.14	23.49

고주파수의 핵자기공명분광기는 높은 분해능을 가지는 고성능 핵자기공명장치이며, 이는 곧 고자장을 의미하므로 그 만큼 기기의

가격이 높아진다. 각각의 기종들은 가격 대 성능의 대비와 응용 분야와 관련하여 선택되어 사용 된다.

자장이 높아짐에 따라 NMR 신호의 크기가 기하급수적으로 증가하게 되고, Chemical shift에 의한 효과가 증폭되므로 낮은 자장에서는 알 수 없었던 정보를 얻을 수 있는 분해능을 갖게 되어 구조 분석이 용이해 진다. 특히 500 MHz 이상의 기종은 단백질 구조 연구에 쓰일 수 있는 장비로 평가 받고 있다.

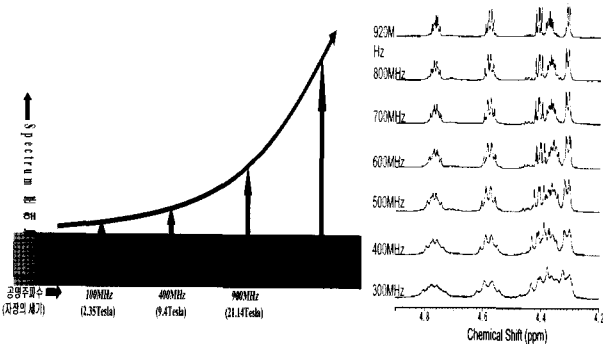


그림 3-2. 주자기장의 세기에 대한 NMR의 분해능.

3.2.2 분석 시료의 종류에 따른 분류

분석 시료의 종류에 따른 분류는 고체 NMR과 solution을 시료로 쓰는 액체 NMR인 High resolution NMR로 나눌 수 있다. 액체 NMR은 액체 분자의 구조 및 물성 분석에 쓰인다. 액체는 내부적으로 분자들이 매우 빠른 속도로 회전과 섞이는 활동을 한다. 이런 분자들의 운동은 Dipolar interaction과 Quadrupolar interaction을 제거하는 역할을 하게 되어 이용되는 interaction은 J coupling과 Chemical Shift이다. 액체 NMR에서는 액체를 구성하는 분자의 3차원적 구조분석이 주된 적용 분야가 된다.

고체 NMR의 경우 결정, 분말의 구조 및 물성 분석에 쓰이고, Dipolar interaction과 Quadrupolar interaction이 상존하므로 액체 NMR에 비하여 구조 분석이 어렵다. 따라서 이 둘을 제거하는 기법이 이 분야의 주요 연구 분야 중의 하나가 된다. 고체 NMR은 액체 NMR 보다 큰 Power를 사용하므로 약 1 KW 정도의 Pulse에 내성을 갖는 코일과 커패시터의 High Power용 Probe를 필요로 한다.

3.3 NMR의 구성도 및 활용분야

3.3.1 NMR의 구성도

NMR 기기는 크게 고자기장을 공간적으로 균일하게 만들 수 있는 초전도 마그네트와 이 자기장 내에서 발생할 스핀계의 자성화에 따른 신호를 측정하기 위한 전자제어장치인 분광기(Spectroscopy), 그리고 핵의 스핀에너지계와 분광기 제어기와 RF 통신용 안테나 역할로 특정 원자핵을 공진주파수로 동조시키고 이로부터의 NMR 신호를 획득하게 하는 RF Probe를 비롯한 주변기기들로 구성 된다.

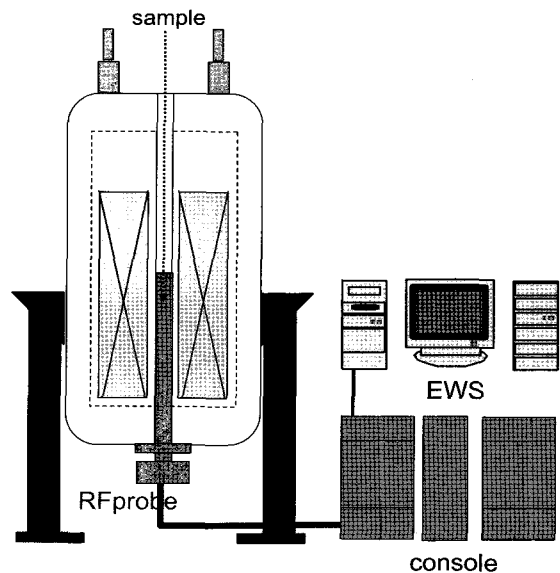


그림 3-3. 초전도 마그네트 기반의 핵자기공명 분광기의 구성도

위 그림은 초전도 마그네트를 사용하는 핵자기공명 분광기의 기본적인 장치에 대한 구성도이다. 먼저 시료관을 초전도 마그네트의 강자기장 내에 장착시킨 후, 보정코일(Shim Coil)의 전류를 조정하여 균일한 자기장을 얻는다. 이어서 Transmitter로부터 공진 세차 주파수에 맞는 Radio Frequency 영역의 주파수를 시료관 주위를 감싸고 있는 RF probe를 통해 시료에 조사시키면, 고유 주파수만이 선택적으로 흡수되어 핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance; NMR) 현상을 일으킨다. 이때 발생하는 공명 흡수 신호는 시간(t) 함수인 자유감쇠(Free Induction Decay: FID) 신호로써 이 또한 RF probe로 수신하여 Receiver에 전달되고 A/D Converter에서 Analog신호를 Digital신호로 바꿔서 Computer에 입력된다. 이 신호를 Computer는

Fourier Transform을 통해서 진동수(ν) 함수인 스펙트럼으로 변환시키게 된다. 이 스펙트럼을 분석함으로써 우리가 알고자하는 분자의 구조 및 운동 상태 등의 정보를 알아낼 수 있다.

3.3.2 NMR의 활용 및 응용분야

NMR 분광기가 갖는 특징적인 성능을 보면, 구조연구에 있어서 NMR 분광기는 X선 회절분광기와 상대적으로 시료를 파괴하지 않고 핵자기공명 현상을 이용하여 액체 상태인 시료 분자의 구조를 연구할 수 있는 최적의 장비이다. 저분자량에서부터 약 2만까지의 고분자량을 가지는 분자까지도 구조를 연구할 수 있고, 특히 자기장의 세기가 클수록 분해능과 감도가 좋아지므로 약 14 Tesla (600 MHz) 이상의 고자장 분광기는 분해능과 감도면에서 뛰어난 성능을 갖게 되어 생체고분자, 합성고분자 등의 분석에 유리하다. 또한 매우 안정적인 실험장비로서, 미세한 온도 조절 기능과 수일간 계속되는 실험이 가능하며 다양한 종류의 RF Probe를 이용하여 다종의 핵에 대한 실험이 가능하다. 첨단 기법을 이용하여 여러 가지 종류의 1D, 2D, 3D의 다차원 실험과 Gradient pulse 실험 및 Triple resonance 같은 다 채널 실험이 가능하다.

이러한 NMR 분광기만이 갖는 성능을 이용하여 거대분자나 생체 고분자의 구조와 기능간의 관계 규명 및 분자의 운동성 연구, 신약개발이나 유전자 연구 분야에서의 물질 분석 연구에 활용 및 응용되어 BT분야의 연구를 이끄는 핵심 장비로 이용되고 있다. 또한 유기, 무기, 신소재 합성물질의 구조 연구, 신물질의 구조 분석 연구 등에도 쓰이고 있다.

최근에는 생체고분자의 생물학적 기능과 형태를 연구하는 분야, MRI와 생체내의 핵자기공명 분광법(In-Vivo NMR)을 이용하는 진단방사선학 분야, 고분자 복합체와 초전도 물질 등의 물리적, 화학적 특성을 연구하는 재료과학분야 등에서도 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

4. GHz급 NMR을 위한 초고자장 마그네트 개발 동향

여기서는 이와 같이 BT분야와 신물질 개발 및 분석을 위하여 반드시 필요한 GHz급 NMR 마그네트 개발을 위한 세계 각국의 연구 개발 활동을 소개하고자 하는데, 이러한 GHz급 NMR 및 초전도 마그네트의 개발에 오랜 기간 동안 꾸준한 연구를 지속하여 탁월한 성과를 내고 있는 일본의 NIMS (National Institute for Materials Science) 연구팀과 유럽의 Oxford Instruments사와 Bruker사를 중심으로 기술하고자 한다.

4.1 일본

일본에서는 고자장 발생용 초전도 마그네트 기술 개발을 주도해온 NIMS(금속재료기술연구소가 전신)가 주관하여, 문부과학성의 Multi-core프로젝트 예산으로 초고자장 NMR프로젝트 개발을 수행하고 있다. 단백질의 구조를 3차원적으로 규명하기 위하여 마이크로적 분석과 매크로적 분석이 필요한데, NMR spectrometer를 이용한 미세구조를 분석하기 위하여 초고자장 NMR 시스템을 개발 중에 있다. 최근에 중심자장이 21.6 T, 21.85 T 공명주파수로는 920 MHz, 930 MHz가 되는 초고자장 NMR마그네트를 개발하였고, 중심자장 24 T, 공명주파수 10.5 GHz의 GHz급 NMR를 개발하고 있다.

이 프로젝트에서 개발된 마그네트 시스템은 Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)에 공급되어 단백질의 3차원 구조 분석에 사용될 예정이며, 그림 4-1은 초고자장 NMR시스템을 여러 대 동시에 설치할 장소인 일본 이화학연구소 (RIKEN) NMR park를 보여 주고 있다.

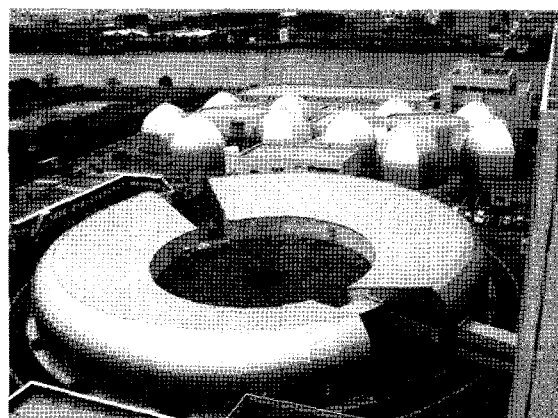
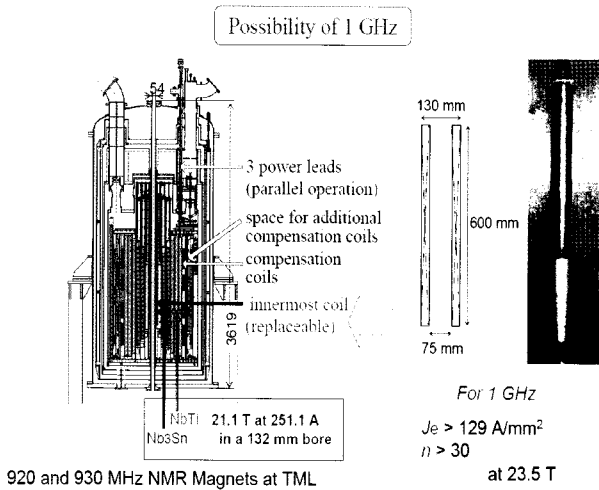


그림 4-1. 일본 이화학연구소(RIKEN) NMR park 전경.



920 and 930 MHz NMR Magnets at TML
 그림 4-2. NIMS에서 개발한 초고자장용 마그네트의 구조.

그림 4-2에 NIMS에서 개발하고 있는 초고자장 발생용 초전도 마그네트의 구조를 보여주고 있다. 920 MHz와 930 MHz용 마그네트에서는 최외각에 NbTi코일, 중간부에 Nb₃Sn코일을 사용하였으며, 최내층코일에는 920 MHz의 경우는 초전도선의 매트릭스가 Cu-15wt%Sn-0.3wt%Ti인 (Nb,Ti)₃Sn 초전도선을 사용하였고, 930 MHz의 경우는 초전도선의 매트릭스가 Cu-16wt%Sn-0.3wt%Ti인 (Nb,Ti)₃Sn 초전도선을 사용하였다. 이 두 마그네트 시스템은 모두 금소계 또는 금속간 화합물계 초전도 선을 사용하여, 영구전류 모드 운전이 가능하다. 그러나 GHz급의 NMR에 필요한 23.5 T 이상을 발생시키기 위해서는 금속계 초전도선만으로는 여러 가지 한계가 있으며, Bi계와 YBCO 고온 초전도선을 사용하여 초전도 코일을 만들 수 있을 정도로 고온초전도선의 성능이 향상되어 최내층 코일에 자장특성이 우수한 고온초전도코일을 사용할 경우 30 T(1.3 GHz)이상을 발생시킬 수 있다. 그러나 고온초전도선의 경우 본질적으로 저항성분이 존재하여 손실이 발생하고, 코일간, 초전도선간 영구전류접속이 불가능하여 공간적으로 뿐만 아니라 시간적으로도 자장감소가 없는 균일도가 유지되기 어렵다. 이러한 문제가 NMR Magnet에 23 T이상의 초고자장화를 달성하는 방해요인으로 작용하였으며, 이를 해결하기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있다. NIMS에서는 기존 500 MHz NMR 마그네트의 최내층 코일을

Bronze-reinforced Bi-2223 도체를 사용한 코일로 대체하고, 일반적으로 사용되는 전원공급장치보다 20배이상 안정성이 뛰어난 전원장치를 사용하여 구성된 NMR 장치가 기존의 NMR장치에서 얻어진 것과 동일하게 안정적으로 작동되는 것을 확인하고, 920 MHz에서 사용되는 마그네트에 Bi2223 초전도선으로 만들어진 최내각 insert coil를 장착하여 1.05 GHz NMR 마그네트를 개발하는 계획을 추진하고 있다.

4.2 유럽

유럽에서의 고자장 초전도 핵자기공명장치의 연구 및 개발은 기업을 중심으로 이루어지고 있다. 가장 오랫동안 초전도 마그네트에 대한 연구를 수행하여 왔고, 제품의 상용화를 목적으로 하고 있기 때문에 최고 수준의 핵심 기술과 안정성을 보유하고 있다.

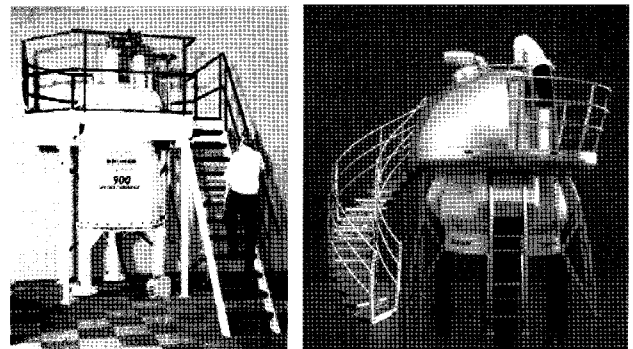


그림 4-3. 유럽의 900 MHz급 NMR.

그 대표적인 기업으로 영국에 본사가 있는 Oxford Instruments는 전 세계를 상대로 상용화된 초전도 마그네트를 판매하는 회사이다. Oxford Instruments는 전 세계 초전도 핵자기공명장치의 시장을 석권하고 있는 독일의 Bruker, 미국의 Varian, 일본의 Jeol의 핵자기공명장치에 초전도 마그네트를 공급하고 있고 특히, 900 MHz 이상의 고자장 핵자기공명장치의 개발을 이들과 함께 주도 하고 있다.

그림 4-3은 Oxford Instruments사와 Bruker사에서 개발 시판하고 있는 900 MHz 급 NMR Magnet의 외관을 보여주는 사진이다. Oxford Instruments의 900 MHz 초전도 마그네트는 Cryostat의 상온 bore가 54 mm이고, 상온 보정코일의 bore는 45

mm로 2.2 K의 초유동 헬륨을 냉매로 이용한다. 현재 900 MHz 대역에서 매우 안정적으로 작동되고 있는 몇 안되는 장치중의 하나이고, 최근에는 Oxford사에서 950 MHz NMR을 개발, 시판하고 있으며, 2009년 6월에 Bruker사에서 세계최초로 1 GHz NMR system인 AVANCE 1000모델을 개발하였다.

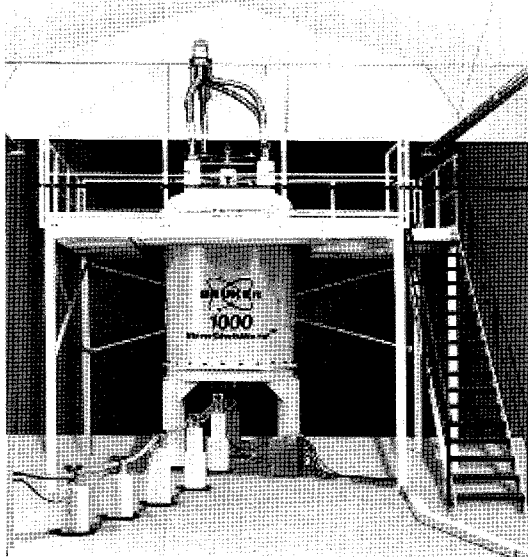


그림 4-4. Bruker사에서 개발한 1 GHz NMR.

그림 4-4에 Bruker사의 1 GHz NMR 사진을 보이고 있으며, 마그네트의 특징으로는 영구전류모드로 운전되며, 중심자장의 세기는 23.5 T이고, Proton NMR 주파수는 1000 MHz, 상온보아의 크기는 54 mm 이다.

5. 결 언

초전도 기술의 성숙도가 점점 깊어지고 있고, 그 응용분야도 더욱더 폭넓어지고 있으며, 그 기술적 파급효과가 배가될 것으로 예측되고 있다. 그 중 고자장 응용분야는 침두에 선 분야로서 인간 생명의 비밀을 풀 수 있는 열쇠와 같은 도구로 등장하게 되었고, GHz급 NMR이 개발되었으며, 산화물계 초전도선을 사용한 Insert coil의 사용으로 1.3 GHz급 NMR 개발은 세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있다.

따라서 우리나라에서도 국가적 개발의 필

요성이 강조되고 있고, 지금까지 개발하여온 고자장 발생용 초전도 마그네트 관련 연구역량을 바탕으로 BT분야 뿐 만 아니라 초전도 기술이 응용 가능한 새로운 차원에서의 기술 개발 및 응용분야를 모색해야할 시기가 도래하였다.

저자이력



권영길 (權永吉)

1982년 부산대학교 공대 기계공학과 졸업, 1984 동 대학원 기계공학과 졸업 (공학석사), 1990 동 대학원 기계공학전공(공학박사), 현재 한국전기연구원 초전도연구센터, 책임연구원.



김호민 (金鎬民)

1970년 8월 23일생, 2002년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사), 2002년~2004년 M.I.T. Francis Bitter Magnet Lab. Post-Doctoral Research Associate, 2004년~2007년 LG산전(주) 전력연구원 선임연구원, 현재 한국전기연구원 초전도연구센터 선임연구원.