

## 고자장 발생용 초전도 마그네트의 개발현황 및 전망

권영길

한국전기연구원 초전도응용연구그룹

### 1. 서론

초전도기술이 다양하게 응용되어 많은 산업분야에서 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 폭 넓고, 첨단으로 확대되고 있다. 이중 초전도 기술의 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 제 1종, 제 2종 저온 초전도선 및 고온 초전도선의 출현과 더불어 오랜 기간 동안 개발이 진행되어져온 고자장 발생용 초전도 자석의 개발경위와 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 NMR등을 위해서 고성능의 고자장을 발생시킬 수 있는 초전도 마그네트의 개발이 반드시 선행되어야한다.

일반적으로 철심 코아의 전자석으로 발생시킬 수 있는 한계자장인 2T이상을 고자장(High Magnetic Field)라고 부르며, 1960대까지 만해도 전 세계적으로 고자장 발생용 마그네트를 보유한 곳은 몇몇 실험실

에 지나지 않았다. 이 중에서도 1930년대 이후로 Francis Bitter가 개발한 "Bitter" 마그네트라 불리는 10T의 수냉식 동 마그네트가 MIT에 설치되어 가장 활발하게 운용되어 왔다. 1960년대에는 이 10T 마그네트설비는 국가적인 차원으로 활용되게 되었고, 1970년대는 그의 이름을 따서 Francis Bitter National Magnet Laboratory(FBNML)이라 불려지게 되었다. 이렇게 국가적인 차원에서 이 마그네트를 운용하게 된 동기는 마그네트의 운전에 필요한 메가와트급의 전력과 마그네트에서 발생하는 엄청난 열을 냉각하기 위한 냉각설비의 운영 때문이었다.

수냉상전도 방식의 20T급의 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 50mm의 보아내경에서 20T의 자장을 발생시키기 위해서는 약 10MW의 전력이 마그네트를 운전하기 위하여 필요하고, 마그네트를 냉각하기 위해서도 10MW의 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 Nb<sub>3</sub>Sn[1](1954), NbZr[2], V<sub>3</sub>Ga[3], NbTi(1961)등의 대전류를 통전할 수 있는 초전도체가 발견되고[4], 제조기술의 급격한 발전이 뒷받침 되어 고자장 발생용 초전도 마그네트개발의 기틀을 마련하게 되었다. 이러한 헬륨액화기의 개발과 고전류밀도 및 고자장용의 초전도체가 발견됨에 따라 1970년대에는 고자장 발생용 마그네트를 세계 각국의 연구실에서 보유할 수 있는 터전을 마련

하였다.

1911년[5] 초전도현상이 발견된 이후, Onnes는 초전도 마그네트의 개발을 시도하였으나, 실패로 끝났는데, 그 이유는 0.1T에서도 초전도성을 잃게 될 뿐만 아니라, 통전전류도 단면적에 따라 변하는 것이 아니라, 선재의 직경에 따라 변하는 제1종 초전도체(Type I Superconductor)를 사용했기 때문이다. 1930년대 초반에 Haas와 Voogd[6]는 약 2T의 자장하에서도 초전도성을 유지하는 납과 비스무스의 합금을 발견하였다. 이 합금은 후에 제2종 초전도체로 분류되고, 제1종 초전도체에 비하여 높은 임계자장과 전류통전 능력을 갖고 있기 때문에 제1종 초전도체와는 기본적으로 다르게 고자장 발생용 초전도 마그네트를 제작할 수 있는 특성을 지니고 있다. 그러나, Leiden 그룹에서 1930년대에 Pb-Bi를 사용한 초전도 마그네트의 개발노력은 실패로 끝나고, Onnes가 처음으로 마그네트를 개발하기 시작한지 50년이 경과되도록 1T정도의 자장을 발생시킬 수 있는 초전도 마그네트의 개발은 성공하지 못하다가, 1960년에 MIT의 Autler[7]가 중심자장이 약 0.4T인 초전도 마그네트의 개발에 성공하였다.

고자장 발생용 초전도 마그네트는 크게 세가지 분야로 나눌 수 있는데, 그 첫번째는 중심자장이 9T이하로 NbTi 초전도선으로 만들어 지고, 연구용으로 세계적으로 널리 사용되고 있으며 전 세계적으로 10여개의 제작회사로부터 제작, 공급되고 있다. 이렇게 널리 보급될 수 있는 이유는 NbTi 초전도선으로 초전도 마그네트를 비교적 쉽게 제작할 수 있고, 운전 온도인 4.2K도 대기압의 액체헬륨의 비등점인 4.2K에서 용이하게 운전될 수 있기 때문이다.

두번째 분야는 20T까지 자장을 발생시킬 수 있는 마그네트인데, 초전도를 포함한 다양한 연구분야에서 널리 사용되고 있다. 이 마그네트는 NbTi코일로 4.2K이하의 운전온도에서 12T정도의 Back Field를 발생시키고, Nb<sub>3</sub>Sn 또는 (NbTi)<sub>3</sub>Sn의 금속간 화합물 초전도체를 이용하여 4.2K로 운전하여, 15 - 16T의 고자장을 발생시키고, 16-20T의 보다 높은 자장은 운전온도를 4.2K이하로 하여 발생시키는 것이 가능하다. 12T이상의 고자장을 발생시키기 위하여 사용되는

금속간화합물 초전도체는 취성이 매우 강하기 때문에 마그네트를 제작하는데 많은 어려움이 따르고, 제1부류의 마그네트에 비하여 가격도 매우 비싸다. 제2부류의 초전도 마그네트는 14T이상의 자장을 발생시키기 위해서는 4.2K이하로 운전하는 것이 필요하기 때문에 널리 사용되지는 않고 세계적으로도 14T이상의 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. Bi2223고온 초전도 선으로 만들어진 초전도 마그네트를 4.2K부근에서 운전하면 고자장 특성이 매우 뛰어나므로 NbTi-Nb<sub>3</sub>Sn-Bi2223선의 조합으로 이루어지는 3종류의 마그네트로 구성되어지는 Hybrid Magnet를 개발할 경우 20T이상의 고장을 비교적 쉽게 얻을 수 있을 것이라는 기대를 모았다. 특히 21세기에 접어들면서 BT분야에서 새로운 전기를 여는 기술발전과 더불어 GHz급 NMR 개발의 필요성이 절실하게 요구되면서 고자장 발생용 초전도 마그네트개발의 새로운 국면을 맞게 되었다.

### 3. Group-1 Magnets(Fields up to 9T)

이 부류에 속하는 초전도 마그네트는 여러 분야에서 다양하게 응용되어 널리 설치되어 운전되고 있으며, 대부분의 경우는 4.2K에서 운전되고 있고, 1987년 American Magnetics, Inc.에서 제작된 6-T, 38mm-보아인 마그네트의 대표적인 사양을 표1에 나타내었고, 세계적으로 10여개의 회사에서 생산, 시판되었다.

표 1. 6-T, 38mm Bore NbTi 마그네트 주요 사양

Central Field (T)	6
Current (A)	75
Clear Bore (mm)	38
Length (mm)	100
Outside dia. (mm)	140

4. Group-2 Magnets(Fields up to 20T)

고자장 발생용 초전도 마그네트의 개발 역사중 중요한 기점을 세운 몇몇 마그네트의 예를 들어 소개하면, 20 T이상의 고자장 발생에 도달하는 것을 목표로 세계 각국의 우수연구소에서 활발한 연구를 진행하였는데, 일본의 금속재료기술연구소가 초전도선 기술에서의 우위를 앞세워, 세계최초로 1994년 21T 이상의 자장을 발생시키는데 성공하였고, 이것은 3종류의 초전도체 즉, NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn, V<sub>3</sub>Ga가 다심선재로서 마그네트 제작에 이용 가능하기 때문에 달성될 수 있었다. 10T이상의 고자장을 발생시킬 수 있는 첫번째 마그네트가 1962년에 개발된 10 mm의 클리어 보어에서 10.3 T의 자장을 발생시킨 것인데, 이것은 새롭게 개발된 고자장, 고전류 Nb<sub>3</sub>Sn 테이프를 사용함으로써 가능했다. 10T이상의 고자장을 발생시키는 마그네트중 역사적으로 중요한 마그네트의 일부를 대략 연대순으로 기술한다.

· 15.8 T 급, 26 mm 보아 마그네트 (4.2K) - 옥스포드 Clarendon 연구소

이 15.8 T 급, 26 mm 마그네트는 가장 먼저 15 T를 발생시킨 초전도 자석이라는 점에서 역사적으로 중요하고, Nb<sub>3</sub>Sn 테이프 선재를 사용하여 1973년에 옥스포드 Clarendon 연구소의 요구에 의해 IGC (Intermagnetics General Corporation) 에서 만들어 졌다. 운전온도를 3.2 K로 낮추면 16.5 T의 중심자장이 발생되는데, 마그네트에 작용되는 스트레스에 의해 이상의 자장을 발생시키는 것은 불가능하고, 1985년까지 십년이상 성공적으로 동작되고 있다고 보고되었다. 이 마그네트의 주요사양을 표2에 나타내었다.

표 2. 15.8 T 급, 26 mm 보아 마그네트 (4.2K) - 옥스포드 Clarendon 연구소

중심 자장 (T)	15.8
전 류 (A)	133
클리어 보어 (mm)	26
외 경 (mm)	230
길 이 (mm)	270
초 전 도 체	Nb <sub>3</sub> Sn

· 17.5 T 급, 31 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - Tsukuba, NRIM

1975년에 만들어진 이 마그네트는 4.2K 에서 운전되어 17T이상을 발생시킨 첫번째 마그네트로써, 일본 금속재료기술연구소 (National Research Institute for Metals)의 요구에 의해 ICG에서 만들어졌다. 이 마그네트는 내부에는 V<sub>3</sub>Ga 테이프 로, 외부는 Nb<sub>3</sub>Sn 테이프 로 권선된 두 개의 코일로 이루어져 있으며, 이들 각각의 코일은 별도로 여자 되고 2개의 전원공급장치를 사용한다. 위에서 기술된 옥스포드 마그네트와 같이 V<sub>3</sub>Ga와 Nb<sub>3</sub>Sn 테이프 로 권선된 마그네트의 중요한 단점은 상대적으로 긴 여자 시간(이 마그네트에서 최고 자장에 도달하기 위하여 2시간 이상이 요구됨)이 필요하다는 것이고, 이 마그네트의 개요를 표 3에 나타내었다.

또한 금속재료연구소에서는 1994년에 50mm의 보아내에 21T이상의 최고의 자장을 발생시키는데 최초로 성공하였다.

표 3. 17.5 T 급, 31 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - NRIM

	내부	외부
자 장 분 포 (T)	4.0	13.5
전 류 (A)	163	337
클리어 보어 (mm)	31	160
외 경 (mm)	160	452
길 이 (mm)	226	642
초 전 도 체	V <sub>3</sub> Ga	Nb <sub>3</sub> Sn

· 16.5 T 급, 55 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - Tohoku, HFLSM

일본 쓰쿠바대학 고자장 연구실(High Field Laboratory for Superconducting Materials)에 1985년에 설치된 이 마그네트는 고자장 연구실에서 사용하기 위해 만든 IGC 제품중의 하나이다. 137 A의 전류로 4.2 K에서 동작하는 이 마그네트는 전부 Nb<sub>3</sub>Sn 테이프 로 권선되어 있고, 크기는 외경 300 mm, 길이 300 mm이다.

· 15.6 T 급, 34 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - Tokai, JAERI

일본 원자력 연구소(JAERI)에 의해

1985년에 제작된 본 마그네트는 3개의 코일로 이루어져 있는데 내부 코일은 다심 (NbTi)<sub>3</sub>Sn 선재로 권선되어 있고 중간 코일은 다심 Nb<sub>3</sub>Sn 선재로 그리고 외부 코일은 다심 NbTi 선재로 권선되어 있다. 4.2 K에서 동작하며 2대의 전원공급장치로 여자되는데 그중 하나는 내부와 중간 코일을 위한 것이고 다른 하나는 외부 코일을 여자시키기 위한 것이다. 이 마그네트의 개요를 표 4에 나타내었다.

표 4 15.6 T 급, 34 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - JAERI

	내 부	중 간	외 부
자장 분포 (T)	2.1	5.3	13.5
전 류 (A)	850	850	337
클리어 보어 (mm)	34	82	160
외 경 (mm)	76	225	452
길 이 (mm)	160	304	642
초 전 도 체	(NbTi) <sub>3</sub> Sn	Nb <sub>3</sub> S	NbTi

· 15 T 급, 48 mm 보아 마그네트

Cryogenic Consultants사에 의해 1985년에 제작된 이 마그네트는 상업적으로 이용 가능한 첫 15 T급 마그네트중의 하나인데, 운전온도가 2K이고 비교적 소형으로 제작되었고, 하나의 전원공급장치를 사용하였다. 다심 Nb<sub>3</sub>Sn 선재로 권선된 2개의 내부 코일과 NbTi 선재로 권선된 2개의 외부 코일로 이루어져 있는데, 마그네트의 크기는 외경 245 mm 길이 315 mm이며 112 A의 전류로 15 T의 자장을 발생시킨다.

· 18.1 T 급, 30 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - Tsukuba, NRIM

국립금속연구소(NRIM)의 요구에 의해 1986년 히다치 제작소에서 제작되었고, 마그네트는 3개의 코일로 이루어져 있는데, 내부 팬케익형 코일은 2가지 형태의 V<sub>3</sub>Sn 테이프를 권선되어 있고 중간 팬케익형 코일은 3겹의 다심 (NbTi)<sub>3</sub>Sn 선재로, 그리고 외부 코일은 다심 NbTi 선재로 권선되어 있다. 4.2 K에서 18.1T의 자장을 발생시키는데 성공하였고, 표 5에 마그네트의 주요사양을 나타내었다.

표 5 18.1 T 급, 30 mm 보아 마그네트 (4.2 K) - NRIM

	내 부	중 간	외 부
자장 분포 (T)	3.9	7.3	6.9
전 류 (A)	130	1180	1180
클리어 보어 (mm)	30	180	455
외 경 (mm)	150	422	630
길 이 (mm)	231	885	680
초 전 도 체	V <sub>3</sub> Ga	(NbTi) <sub>3</sub> Sn	NbTi

· 19.3 T 급, 24 mm보아 마그네트 (1.8 K) - Karlsruhe

1987년에 제작된 이 마그네트는 4개의 코일로 이루어져 있는데, 11T를 발생시키는 NbTi background 코일이 3개의 내부 코일들을 감싸고 있고, 이 각각의 코일은 금속간 화합물 초전도선재-3겹의 (NbTi)<sub>3</sub>Sn와 (NbTa)<sub>3</sub>Sn 그리고 2겹의 Nb<sub>3</sub>Sn으로 권선되어 있다.[8] 1.8 K에서 동작하는 이 마그네트는 4대의 독립된 전원공급장치로 여자되고, 1994년 금속재료연구소에서 21T의 초전도 마그네트가 개발되기 이전까지 세계최고 자장을 발생시키는 마그네트였는데, 주요 사양을 표 6에 나타내었다.

표 6 19.3 T 급, 24 mm 보아 마그네트 - Karlsruhe

	내 부	중 간	외 부	Back
자장 분포(T)	2.2	2.6	3.5	11.0
전 류(A)	178	120	800	1200
클리어보어(mm)	24	107	169	290
외 경(mm)	70	156	252	720
길 이(mm)	70	200	300	60
초 전 도 체	(NbTi) <sub>3</sub> Sn	(NbTi) <sub>3</sub> Sn	Nb <sub>3</sub> Sn	NbTi

· 15.5 T 급, 38 mm 보아 마그네트 (4.2 K)

1987년 Toshiba에 의해 제작된 이 마그네트는 다심 Nb<sub>3</sub>Sn과 NbTi 선재로 권선되었으며 4.2 K에서 동작되고, 비교적 소형으로 하나의 전원공급장치를 사용한다는 점에서 15 T 이상급에서는 유일하다.[9] 이런 형태의 마그네트는 향후 연구설비로 널리 보급될 수 있었으며, 고자장 연구나 기술을

## 자장이용 초전도 응용 기기 특집

전공으로 하는 사람들 뿐만아니라, 고자장 분위기를 필요로 연구분야에 종사하는 많은 대학과 연구소에 설치될 수 있을 것이다. 표 7에 이 마그네트의 주요 사양을 나타내었다.

표 7 15.5 T 급, 38 mm 보아 마그네트 (4.2K)

	Nb <sub>3</sub> Sn 코일	NbTi 코일
자장 분포 (T)	7.0	8.5
전 류 (A)	478	478
클리어보어 (mm)	38	150
외 경 (mm)	138	276
길 이 (mm)	223	295

### 5. GHz급 NMR을 위한 초고자장 마그네트 개발 동향

2000년, 새천년을 맞으면서 기술적 패러다임을 뒤바꾸는 신기술로서 유전공학분야가 새롭게 등장했으며, 인류의 불치병 치료를 위한 신약개발과 장기복제 등의 새로운 개념의 치료기법과 신 생물산업이 등장하게 되었다. 이와 같은 유전공학의 신기원을 열기 위한 핵심 장비로서 GHz급 NMR이 반드시 필요하며, 이를 위해서는 25T급의 고자장을 영구전류모드(persistent current mode)로 운전할 수 있는 초전도 마그네트의 개발이 절실히 요구되고 있다.

이 하에서는 이와 같이 BT분야에서 요구되는 있는 GHz급 NMR 마그네트 개발을 위한 세계 각국의 연구 개발 활동을 소개하고자 하는데, 이러한 BT분야에서 요구되는 초전도 마그네트의 개발을 위하여, 앞장에서 설명한 세계유수의 연구진이 오랜 기간동안 꾸준한 연구를 지속하여온 우수한 연구진만이 탁월한 성과를 내고 있다는 것을 쉽게 알 수 있다.

#### 5.1 일본

일본에서는 앞에서 언급한 것과 같이 고자장 발생용 초전도 마그네트 기술 개발을 주도해온 National Institute for Materials Science(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, 공명주파수로는 920 MHz가 되는 초고자장 NMR마그네트를 개발하였다고 공식 발표하였다.

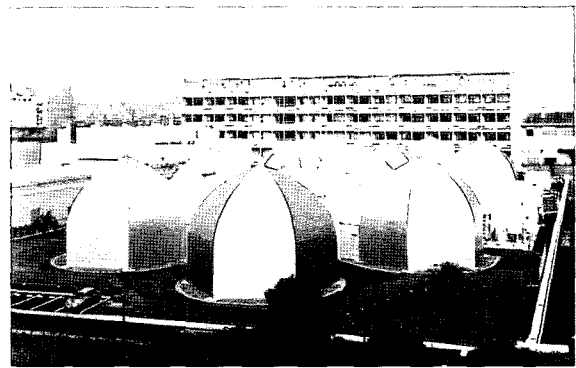


그림 1. 일본 이화학연구소(RIKEN)에서 설치예정인 NMR park 전경

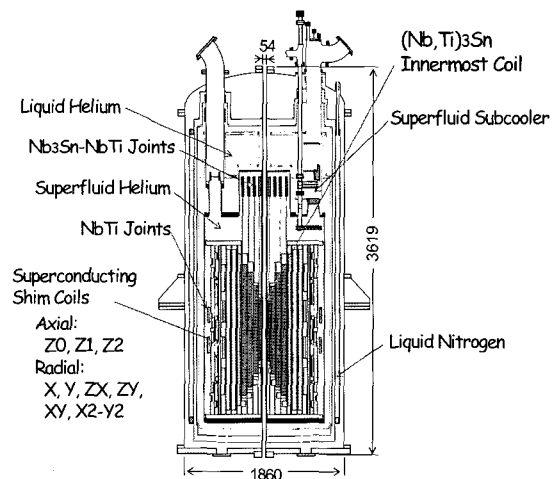


그림 2. NIMS에서 개발중인 초고자장 NMR마그네트 시스템의 개략도

이 프로젝트에서 개발된 마그네트 시스템은 Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)에 공급되어 단백질의 3차원 구조 분석에 사용될 것이다. 그림 1은 초고자장 NMR시스템을 여러 대 동시에 설치할 장소인 일본 이화학연구소(RIKEN)

NMR park를 보여 주고 있고, 그림 2는 초고자장용 마그네트의 구조를 나타내고 있다.

### 5.2 미국

미국은 국립강자장연구소(National High Magnetic Field Laboratory: NHMFL)와 MIT(Massachusetts Institute of Technology)를 중심으로 앞에서 언급한 것과 같이 축적되어온 기술을 바탕으로 차세대 바이오 연구의 필수장비인 1GHz급 NMR 개발에 10여년부터 꾸준히 연구 개발이 활발히 진행되어, 현재 자장균일도(field homogeneity) 및 자장안정도(field stability) 등의 성능향상 연구들을 수행하고 있다.

- NHMFL의 GHz급 NMR 개발동향

앞에서도 언급한 것과 같이 FBHML의 연구진들이 주축이 된 미국의 Florida에 있는 NHMFL(Florida State University, Tallahassee)에서는 초고자장 Magnet 연구 개발을 추진하여 25-T electromagnet 개발과 45-T resistive-superconducting hybrid magnet 개발 등을 성공적으로 완수하였으며, 현재 이를 초고자장 NMR magnet 응용을 위한 자장의 spatial homogeneity 및 temporal stability 향상을 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이와 더불어 10여년부터 초고자장 고-분해능 NMR Spectrometer를 위한 Magnet의 개발을, 위의 25-T 및 45-T 초고자장 Magnet 개발과 동행하여, "ΔB Program"이라는 Project를 통하여 1GHz급 NMR 개발을 추진하고 있다.

그리고 최근의 연구결과에서 25-T magnet를 이용한 1GHz 이상의 고-분해능 NMR spectrometer 가능성을 처음으로 보여줬으며, 또한 45-T hybrid-magnet을 이용하여  $9Al_2O_3 + 2B_2O_3$  시료에 이와 더불어 현재 중점적으로 고-분해능 900MHz 급 NMR을 연구 개발하여 시험 중인데, 그림 3과 4는 현재까지 진행 중인 연구개발 진행상황 등을 보여주고 있다. 이는 세계에서 최초로 시도하는 대구경 100mm 상온 보이크기를 갖는 Magnet 개발이 핵심이고, NbTi 코일들과 superconducting shim

set등을 공급하는 IGC(Intermagnetic General Corp.)와 공동연구 등을 통하여 개발을 거의 완료하고 시험 평가 중에 있다.

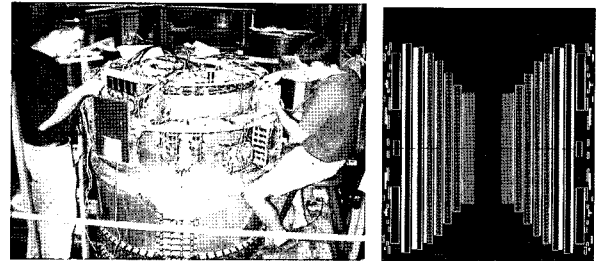


그림 3. 조립중인 900MHz NMR용 마그네트 및 단면도.

### 5.3 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 있으나, 국책연구소에서의 R&D가 아니므로 기술적인 정보를 얻기가 매우 어렵다고 할 수 있다.

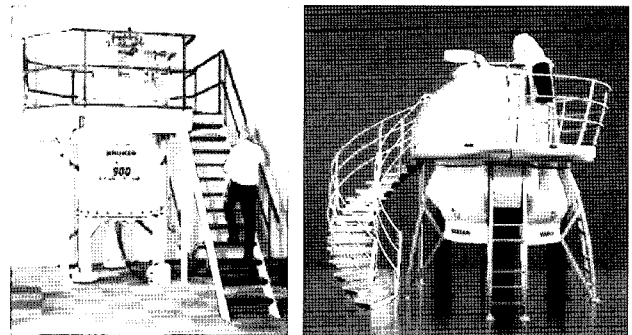


그림 4. 유럽의 900MHz급 NMR

그 대표적인 기업으로 독일에 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, 900MHz 이상의 고자장 핵자기공명장치의 개발을 이들과 함께 주도 하고 있다.

그림 4는 Oxford Instruments사와 Bruker사에서 개발 시판하고 있는 900MHz급 NMR Magnet의 외관을 보여주는 사진이다. OXFORD Instruments의 900MHz 초전도 마그네트는 Cryostat의 상온 bore가 54mm이고, 상온 보정코일의 bore는 45mm로 2.2K의 초유동 헬륨을 냉매로 이용한다. 현재 900MHz 대역에서 매우 안정적으로 작동되고 있는 몇 안되는 장치중의 하나이다.

#### 5.4 한국

국내에서는 한국전기연구원에서 『고자장 발생용 초전도 자석 개발연구』를 1992년부터 러시아와 공동연구를 추진하여 8T급의 고자장을 발생시킬 수 있는 NbTi코일의 설계 및 제작기술을 확립하였으며, 10T급이상의 고자장을 발생시킬 수 있는 Nb<sub>3</sub>Sn 코일의 설계.제작기술도 개발하여, 13T급의 고자장을 발생시키는 데도 성공하였으며, 17T를 발생시킬 수 있는 고자장 발생용 초전도 마그네트를 개발하였다. 그림 5에는 한국전기연구원에서 개발한 고자장 발생용 초전도 마그네트 관련 중요 연구성과들을 나타내고 있다.

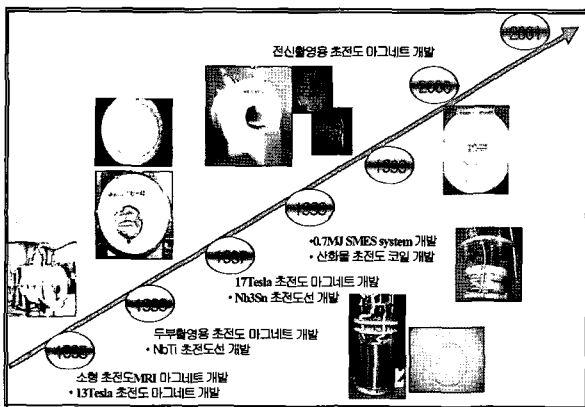


그림 5. 한국전기연구원의 고자장 Magnet 관련 주요 기술개발 내역

### 6. 결 론

초전도 기술의 성숙도가 점점 깊어지고 있고, 그 응용분야도 더욱더 폭넓어지고 있으며, 그 기술적 파급효과가 배가될 것으로 예측되고 있다. 그 중 고자장 응용분야는 첨단 분야로서 인간 생명의 비밀을 풀 수

있는 열쇠와 같은 도구로 등장하게 되었고, 국내에서도 그 개발의 필요성이 인정되어, 국가적으로 개발의 당위성이 강조되고 있다.

따라서 우리나라에서도 지금까지 개발하여온 고자장 발생용 초전도 마그네트 관련 연구역량을 바탕으로 BT분야 뿐만 아니라 초전도 기술이 응용 가능한 새로운 차원에서 기술개발 및 응용분야를 모색해야 할 시기가 도래하였다.

### 참고문헌

- [1] B.T. Matthias, Phys. Rev., 92, 874, 1953
- [2] B.T. Matthias, et al., Phys. Rev., 95, 1435, 1954
- [3] E.A. Wood, et al., Acta Cryst., 11, 604, 1958
- [4] J.K. Hulm and R.D. Blaugher, Phys. Rev., 123, 1569, 1961
- [5] R. de Bruyn Ouboter, IEEE Trans. Magn., MAG-23, 355, 1987
- [6] W.J. de Haas and J. Voogd, Commun. Phys. Lab., Univ. Leiden, 199c, 1929 ; 208b, 1930 ; 214b, 1931
- [7] S.H. Autler, Rev. Sci. Instrum., 31, 369, 1960
- [8] P. Turowski, et al., Proc. 9th Intl. Conf. Magnet Tech. (MT-9) (SIN, Villigen, Switzerland), 394, 1986
- [9] H. Maeda, et al., IEEE Trans. Magn., MAG-24, 1988

### 저자이력



권영길 (權永吉)

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