고체질소를 이용한 이동형 초전도 에너지 저장장치용 냉각 시스템 설계

Design of a Cooling System for a portable HTS Superconducting Magnetic Energy Storage Using a Solid Nitrogen

김광록[1], 송정빈[1], 김경준[1], 이종훈[1], 이해근[2,*], 고득용[3], 김석호[4], 성기철[4]

K. L. Kim[1], J. B. Song[1], K. J. Kim[1], J. H. Lee[1], H. G. Lee[2,*], D. Y. Koh[3], S. H. Kim[4], K. C. Seong[4]

Abstract: In order to cool the SMES coil to the operating temperature, conduction cooling is generally used. However, it often consumes a large amount of electric power because of it's continuous cryocooler operation. This can also lead to poor thermal stability and serious protection problems of the system. Solid nitrogen (SN2) can counter those disadvantages in the conduction cooling system because it has a large heat capacity. Particularly, a large amount of enthalpy with a minimal weight to the cold body of SN2 makes a compact and portable system by increase a recooling to recooling time period (RRTP) value. A conceptual design of the proto-type SN2 cooling system for a portable HTS superconducting magnetic energy storage (SMES) system will be introduced in this paper.

Key Words: HTS SMES, solid nitrogen (SN2), conduction cooling, SN2 cooling system.

1. 서 론

순간적인 정전 및 전력의 품질 저하는 전자/전력기기, 제어장치 및 정보기기 등 이에 민감한 전자제품에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 기존에는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 축전지를 이용한 무정전 전원장치를 사용하였지만 축전지를 이용한 무정전 전원장치는 그 수명이 짧고, 환경오염을 야기하며, 넓은 설치공간이 필요하다는 단점을 지니고 있어 최근에는 초전도체를 이용한 에너지저장(SMES, Superconducting magnetic energy storage)시스템의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 대표적인 고온 초전도체인 BSCCO-2223 선재는 질소의 액체 영역 온도에서 낮은 임계전류 밀도와 자기장하에서 임계전류밀도의 갑작스러운 감소로 인하여 에너지 저장량이 냉각에 소요되는 전력량에 비해 상당히 떨어지기 때문에 최소 30 K이하로 초전도 선재가 냉각되어야 효과적인 에너지 저장장치로서의 역할을 할 수 있게 된다[1].

초전도 에너지저장 시스템을 효과적으로 냉각시켜주기 위한 냉각방식에는 저온의 액체를 이용하여 초전도체를 냉각하는 액체 냉각방식과 극저온 냉동기 헤드에 냉각 대상을 직·간접적으로 접촉시켜 냉각하는 전도냉각 방식이 있다. 현재 이러한 두 가지 냉각 방식 중에서 액체 냉매를 사용할 시에는 헬륨 또는 네온이 주로 이용되며, 이것은 액체냉매를 고온초전도코일 사이로 주입시켜 30 K이하의 온도로 냉각시켜 초전도체가 효과적인 에너지 저장원으로써의 역할을 수행할 수 있게 한다. 그러나 액체냉매 사용 시 동작온도는 냉매 자체의 기화온도로 정해지게 되므로 압력을 조절하지 않고서는 30 K 이하의 온도로 맞추기 힘들고, 또한 약간의 온도 상승에서도 쉽게 기화되므로 갑작스러운 초전도체의 퀜치가 발생할 경우 시스템 내부의 온도상승으로 액체 냉매가 기화되어 시스템 내부가 순간적으로 압력이 상승함으로써 시스템의 안정성에 문제가 생길 수 있다. 또한 외부 열 침입으로 인해 액체냉매가 기화될 경우, 기화된 양 만큼의 액체냉매를 계속적으로 공급해야 하는 번거로움이 있으며 또한 냉각시스템의 사이즈가 커진다는 단점이 있다.

또 다른 냉각방법으로는 극저온냉동기로 초전도체 시스템을 냉각하는 전도냉각 방식이 있다. 이 경우에는 원하는 동작온도로 시스템을 자유롭게 냉각시킬 수는 있으나 극저온냉동기를 항시 작동시켜주어야 하기 때문에 극저온냉동기 자체 진동과 소음 그리고 전력소비 등의 문제가 있으며, 액체 냉각 방식과 마찬가지로 시스템의 이동이 불가능하다.

본 논문에서는 한국전기연구원에서 개발하고 있는 2.5 MJ SMES용 냉각시스템으로 고체냉매를 사용하여 기존의 냉각 시스템이 가지고 있는 단점을 개선하고, 큰 열용량을 이용하여 시스템의 안정화, 소형화 및 이동형 시스템 제작을 가능하게 하는 새로운 개념의 냉각 시스템을 소개하고자 한다.

2. 고체냉매

2.1. 고체질소

초전도 전력 저장 시스템에 적용 가능한 고체냉매로서 고체네온과 고체질소는 대표적으로 사용 가능성이 높은 냉매들이다. 고체네온은 동일 온도에서 가장 큰 열용량을 가지고 있고 고체질소와 비교 했을 때 비교우위에 있다[2]. 그러나 고체네온은 고체질소보다 200~300배정도 비싸다는 경제적인 단점과 낮은 녹는 점(25 K)으로 고체냉매로 사용할 경우 시스템의 감

[1]학생회원 : 고려대학교 신소재공학과
[2]정 회 원 : 고려대학교 신소재공학과
[3]정 회 원 : 한국기계연구원
[4]정 회 원 : 한국전기연구원 초전도기기연구그룹
*교신저자 : haigunlee@korea.ac.kr
원고접수 : 2008년 08월 04일
심사완료 : 2008년 09월 11일
게재확정 : 2008년 09월 11일

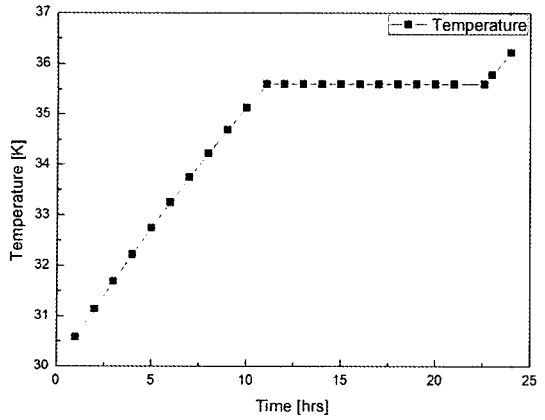

Fig. 1. Temperature profile of solid nitrogen.

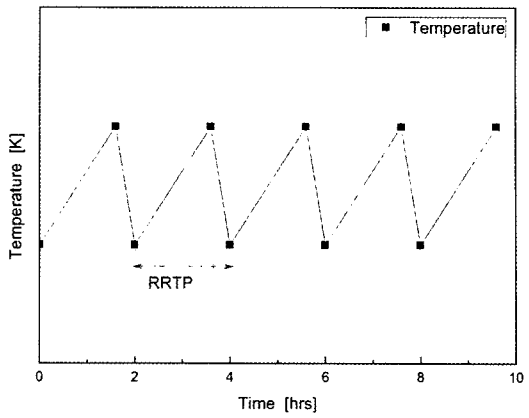

Fig. 2. Recooling to recooling time period.

압장치가 없는 한 운전 온도를 25 K 이하로 낮춰줘야 하는 문제점이 있다. 그에 비해 고체질소의 경우에는 64 K 이하에서 고화되어 운전온도 범위가 넓고, 밀도가 납에 비해 10분에 1 밖에 되지 않아 전체적인 시스템의 무게가 가벼워지고, 전기적 절연성도 아주 우수하다. 또한 효과적인 에너지 저장장치로서의 역할이 가능한 30 K 이하에서 온도증가 시 35.6 K 근처에서 α solid - β solid phase 전이 발생으로 8.3 J/cm^{3}의 추가 에너지 흡수가 가능하게 된다[3-8]. Fig. 1은 고체질소의 부피가 총 200 리터일 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것인데, 그래프로부터 알 수 있듯이, 약 35.6 K에서 α solid - β solid phase 전이 발생으로 온도가 상승하지 않고 유지 되는 것을 확인할 수 있다. 이로 인하여 전체 시스템의 안정성이 대폭 증가 하게 된다.

2.2. 재 냉각기간

고체질소의 온도가 열 침입 및 열 접촉 등으로 상승하여 동작 온도를 넘어서게 되면 주기적인 재 냉각이 필요하게 된다. 이때의 주기를 시스템 동작기간 또는 재 냉각기간(Recooling-to-Recooling Time Period, RRTP)이라 하며 이것은 고체질소 냉각기술에 있어서 매우 중요한 파라미터이며, 이동형 시스템 제작이 가능하게 하는 특징이기도 하다. Fig. 2는 재 냉각기간에 대한 정의를 설명하기 위한 개략적인 그래프이다. 이 그래프에서 RRTP(Δt) 값은 2 시간, 즉 7200 초이다. RRTP값은 다양한 변수에 의해 원하는 값을 얻을 수 있다. 동작 온도 범위 내에서 온도 상승 시 순수한 고체질소의 열용량에 의하여 RRTP가 변하게 되는데 이는 사용되는 냉매의 종류에 의하여 그 값이 결정된다. 따라서, 첫째로 고려되는 사항은 냉매의 종류이고, 둘째로 그 냉매의 총 열용량이 RRTP값을 변하게 한다. 또한 극저온냉동기의 재가동 시간과 관계되는 동작온도 범위와 시스템 내부에서의 총 열손실 역시 RRTP에 영향을 주게 된다.

냉매의 열용량를 C_{cb}, 시스템 외부로부터 들어오는 총 열 유입을 Q_{in}라 하면 냉각체 안에서의 power balance equation은 다음과 같다.

$$C_{cb}(T)\frac{dT_{op}}{dt} = Q_{in}(T) \qquad (1)$$

여기서 dT_{op}는 동작온도범위이므로 초기 동작온도, T_{op}(min)로 부터 시작하여 상부 동작온도, T_{op}(max)까지 식 (1)의 양변을 적분하여 식 (2)를 유도하면 동작기간(Δt_{op}) 즉 재 냉각기간(RRTP)을 예측할 수 있다[9].

$$RRTP = \int_{T_{op_{min}}}^{T_{op_{max}}} \frac{C_{cb}(T)}{Q_{\in}(T)} dT_{op} = \frac{\Delta H_{cb}(T_{op_{min}}, T_{op_{max}})}{< Q_{\in} >} \qquad (2)$$

식 (2)에서 $< Q_{\in} >$는 동작온도범위에서의 평균 열 유입 값이며 $\Delta H_{cb}(T_{op_{min}}, T_{op_{max}})$는 냉매의 초기 동작온도와 상부 동작온도에서의 엔탈피 차이를 의미하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta H_{cb}(T_{op_{min}}, T_{op_{max}}) = H_{cb}(T_{op_{max}}) - H_{cb}(T_{op_{min}}) \qquad (3)$$

그러므로 식 (2)에서 보이는 바와 같이 시스템의 동작기간을 늘리기 위한 방법으로 동작온도범위 즉ΔT_{op}을 가능하면 크게 만들거나 $\Delta H_{cb}(T_{op_{min}}, T_{op_{max}})$가 큰 냉매를 사용한다. 그리고 열 침입을 최소화 할 수 있는 냉각시스템을 디자인한다. 즉 위 요인들을 고려하면 원하고자 하는 기간의 이동형 시스템 제작이 가능하다.

3. 시스템 설계

3.1. 고체질소조의 최적화 부피 결정

고온 초전도 에너지저장장치 시스템에 국부적인 열 발생으로 인한 초전도 퀜치가 일어날 수도 있기 때문에 최적화된 고체질소의 부피는 시스템의 안정성과 소형화에 있어서 매우 중요하다. 원하는 재 냉각기간을 정하여 전체 열 침입 및 엔탈피 값을 고려하면 다음의 식으로 나타내어진다.

Table 1. Design parameters of SMES system using a solid nitrogen.

Parameters	Value
Total heat input, Q_{in} (80K) [W]	55.81
Total heat input, Q_{in} (20K) [W]	0.057
Initial temperature, T_i [K]	20
Final temperature, T_f [K]	60
Enthalpy changes, ΔH [J/cm^3]	61.38
Outer diameter of the coil [mm]	730

$$V_{sol} = \frac{Q_{in}}{\Delta H} \times \Delta t \quad (4)$$

$$\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} C_p(T)\rho(T)dT \quad (5)$$

여기서 Δt는 원하고자 하는 재 냉각기간(RRTP), ΔH는 작동온도 범위에서의 엔탈피 변화량이다. 단, 이 식에서의 C_p와 ρ는 각각 고체질소의 비열과 밀도를 의미하며, 온도에 따라 그 값이 변하게 되므로 엔탈피 변화량(ΔH) 은 컴퓨터를 이용하여 그 계산치를 정확히 구하였다. Q_{in}은 고체질소 냉각시스템으로 들어오는 전체 열 침입 의미하고 Q_{in}은 다음의 식으로 표현된다.

$$Q_{in} = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad} \quad (6)$$

Q_{cond}, Q_{conv}, Q_{rad}는 각각 시스템으로 유입되는 전도열, 대류열, 복사열을 의미한다.

고체질소의 부피 결정에 있어 요구되는 각종 파라미터는 Table 1에 나타내었으며, 중요한 설계 변수 중 하나인 코일은 한국 전기연구원에서 1단계 때 사용한 코일을 기준으로 하였다[10]. 전체 열침입(Q_{in}) 값인 55.81 W(80 K) 와 0.057 W(20 K)는 전기연구원에서 1단계 때 제작한 저온용기(cryostat)에 대한 자료를 참조하여 가정하였다[11]. 식 (4)와 Table 1로부터 전체 열침입 값과 RRTP값의 변화에 따른 고체질소의 부피를 계산 할 수 있으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3은 동작온도 범위가 20 K에서 60 K일 때, RRTP값을 24 시간, 즉 86,400 초로 예상하였을 때 시스템으로 유입되는 전체 열침입에 의한 부피 변화를 나타낸 것이다. 24 시간의 RRTP를 만족하려면 열침입이 약 1 W라 가정했을 때 1.4 리터의 고체질소가 필요하고, 열침입이 55.81 W일 때, 이론상 77.42 리터의 고체질소가 필요 하다는 결론을 얻을 수 있다.

이동형 SMES 시스템을 디자인함에 있어 고려되어야 할 사항 중 하나는 원하는 RRTP를 유지하며 갑작스런 열을 충분히 흡수할 수 있는 적절한 부피의 고체질소를 선정하는 것이다. 사용하는 코일의 외경이 730 mm이므로 코일에 부착되는 전도대와 열전대등을 고려할 때 고체질소조는 약 지름 800 mm, 높이 280 mm의 원통형으로서 약 120 리터의 부피를 예상할 수 있으며 이 부피는 Q_{in}이 55.81 W일 때 RRTP가 131,976초, 즉 약 36 시간에 해당하는데, 코일이 퀜치등에 의한 갑작스런 온도변화 없이 동작온도를 유지한다면 극저온냉동기의 전원이 꺼진 후 36 시간내에 단 한번의 극저온냉동기 재가동이 요구됨을 의미하며, 따라서 이동이 가능한 SMES 시스템의 구현이 가능함을 의미한다.

식 (7)은 열이 고체질소 내부에서 확산되는 속도, τ_{sd}에 관한 식이며 Table 2은 온도에 따른 고체질소의 열확산 계수이다[2].

$$\tau_{sd} = \frac{1}{D_{th}}\left(\frac{\delta_{sd}}{\pi}\right)^2 \quad (7)$$

고체질소는 액체질소에 비해 열확산 계수가 작기 때문에 코일에 국부적인 열 발생시 충분한 열흡수 가능성 여부에 대한 판단은 고체질소조 부피의 최적화 설계에 있어서 반드시 고려되어야 할 중요한 요소이다. 만약 운전온도를 20 K이라 가정 했을 때, D_{th}는 Table 2로부터 5.6×10^{-3} cm^2/s임을 알 수 있다. δ_{sd}는 특정 위치에서 다른 위치까지의 거리를 의미하며 예상한 코일의 반지름은 400 mm이므로 식 (7)에 의해 중심으로부터 열확산이 이루어지는 시간 τ_{sd}는 약 67,616 초가 걸림을 알 수 있다. 이 시간은 고체질소 내부에서 충분한 열확산이 일어나기에는 너무 긴 시간이기 때문에 고체질소 내부에서의 확산은 거의 일어나지 않는다고 볼 수 있다. 만약 코일에서 퀜치등에 의한 갑작스런 열이 발생한다면 짧은 시간안에 국소적 부분의 고체질소는 충분한 상변화 시간을 갖지 못하게 된다. 그러므로 고체질소가 기화 되었을 경우에는 질소가스가 고체질소 내부에 갇혀 있게 되어 압력을 상승시키게 되고, 압력상승에 따른 끓는점 오름 현상으로 기화온도가 상승하여, 다시 액화되고 고화가 되게 된다. 이러한 사실은 결과적으로 냉매가 기화되지도 않으며 코일에 국부적인 열 발생시 빠르게 열을 흡수하여 열적 안정성 증가에 크게 기여할 수 있음을 보여준다고 할 수 있겠다.

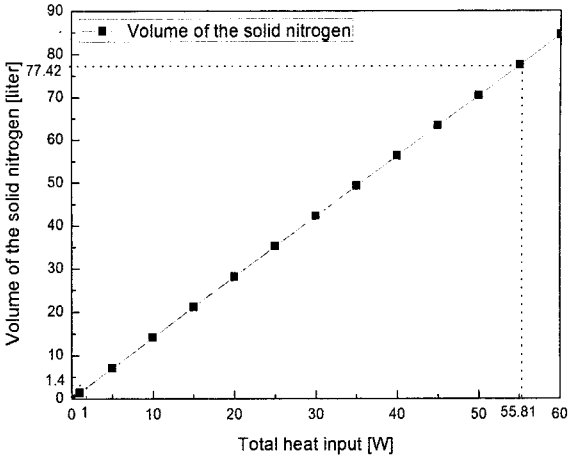

Fig. 3. Volume of a solid nitrogen with changing in total heat input.

Table 2. Thermal diffusivity of a solid nitrogen.

Temperature [K]	Thermal diffusivity [cm^2/s]
10	9.3×10^{2}
20	5.6×10^{3}
30	2.4×10^{3}
40	1.6×10^{3}
50	1.5×10^{3}
60	1.2×10^{-3}

3.2. 저온용기

Fig. 4는 앞서 설명한 모든 파라미터를 감안하여 설계한 고체질소를 이용한 SMES 시스템의 개략도이다. 내부 고체질소 용기(1)와 고온 초전도 코일(2), 그리고 액체 냉매의 주입구(3)와 배출구(4), 고화를 위한 냉동기(5), 전류리드(current leads)(6), 고체질소 용기 내부의 압력을 확인할 수 있는 디지털 압력게이지(7), 열전대가 통과할 수 있는 feedthrough(8) 및 복사열침입을 줄이기 위한 복사차폐막(radiation shield)(9)로 구성된다.

내부 고체질소 용기(1)는 고온 초전도 코일의 형태에 따라 폐쇄형 원통형으로 구성하고, 액체 냉매 주입

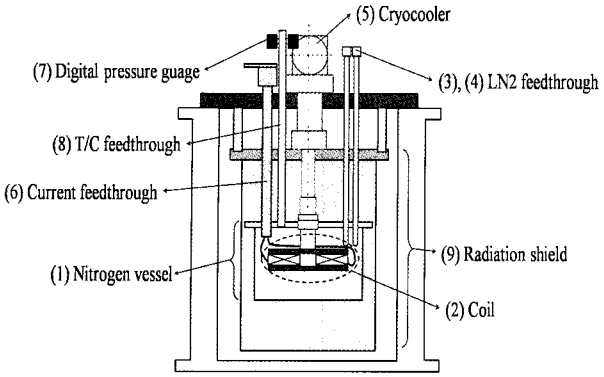

Fig. 4. Schematic drawing of SMES system using a solid nitrogen.

구로 액체 질소를 공급할 때 내부 고체질소 용기(1)에 액체질소를 가득 채우기 위해서 배출구(4)로 액체 질소가 배출될 때까지 공급하는 것을 감안하여 설계하였다. 전류인입선은 황동이 열침입의 관점에서 구리보다 훨씬 우수하므로 전류인입선으로 인한 열침입을 최소화하기 위해 황동(commercial brass, 10% Zn)을 사용하는 것이 바람직하다[12]. 그리고 초전도체의 갑작스러운 퀜치나 외부 열 침입에 의해 고체질소가 동작온도 범위를 초과했을 경우 동작온도로의 재 냉각이 필요하게 되는데, 이를 위하여 냉각시스템 용기 바깥으로 복사차폐막을 제작하여 열침입을 최대한 방지하여 냉매를 보다 효과적으로 빠르게 냉각시킬 수 있도록 하였다. 고체질소 용기는 상판과 분리되는 것을 전재 하였으며, 이때 상판은 스테인리스강으로 결정하였다. 고체질소 용기 바깥 부분은 진공을 유지하기 때문에 고체질소조는 상판과 알루미늄 가스킷을 이용하여 밀폐하도록 하였다.

마지막으로 고온 초전도 코일의 수평방향과 수직 아래 방향으로 G10소재의 열전대 홀더와 E-type 열전대를 설치하여 고온 초전도 코일을 기준으로 코일로부터의 거리에 따른 고체질소의 온도변화를 측정하여 코일과 고체질소간의 열 접촉이나 냉매의 상변화 여부를 확인하도록 설계하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 고체질소를 이용한 새로운 개념의 냉각 시스템을 설계하였으며, 이에 따른 설계 파라미터 및 실제 고체질소가 갖는 특성에 대하여 논하였다. 전기연구원에서 주관하는 2.5 MJ SMES시스템 개발은 기존 1단계 목표인 600 kJ급 SMES과 비교할 때 시스템에 통전되는 전류는 최소 350A 이상일 것으로 예상된다. 또한 시스템의 규모가 더 커짐에 따라 기존의 냉각 방식은 동작온도로의 진입과 유지가 더욱 어려워지며 시스템의 안정성 문제가 야기 될 수 있다. 따라서 적절한 냉각 시스템의 설계 및 도입은 앞으로 2.5 MJ SMES 시스템이 실제 적용됨에 있어 더 큰 결정사항으로 부각될 것이다. 고체질소의 큰 열용량을 이용하면 높은 전류가 통전되는 2.5 MJ SMES 냉각 시스템의 안정성 향상을 도모할 수 있으며, 소형화된 이동이 가능한 시스템의 제작도 가능하다. 하지만 순간적인 열적 교란이 있을 경우, 고체질소와 코일사이에 열접촉 문제가 발생할 소지가 있다[13]. 따라서 유동성 있고 열교환에 도움을 줄 수 있는 액체 네온과의 혼합냉매 개념의 추가 연구도 필요하다. 고려대학교 초전도재료 및 응용 연구실에서는 추후 본 논문에서 다루어진 설계과정 및 각 파라미터등을 바탕으로 실제 SMES 시스템을 제작하여 고체질소의 특성 파악 및 실제 시스템에 있어 적용가능성 여부에 대한 실증실험 및 고체질소와 코일 간의 열적 접촉을 증가시키도록 고체질소와 액체네온의 혼합냉매를 이용한 냉각시스템에 대한 연구도 함께 진행 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단과 전력산업연구개발 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 또한 산업자원부 전력기반조성사업센터의 고급인력양성 사업을 통한 연세대학교 계통적용 신 전력기기 연구센터의 부분적인 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] A. Friedman, N. Shaked, E. Perel, M. Sinvani, Y. Wolfus, Y. Yeshurun, "Superconducting magnetic energy storage device operating at liquid nitrogen temperatures", Cryogenics 39, 53-58, 1999.

[2] Y. Iwasa, Case Studies in Superconducting Magnets, New York: Plenum Press, 2nd edition (will be published in 2008), ch.4.

[3] B. Haid, H. G. Lee, Y. Iwasa, S. Oh, H. Ha, Y. Kwon, K. Ryu, "Stand-Alone Solid Nitrogen Cooled "Permanent" High-Temperature Superconducting Magnet System", IEEE Transaction on applied superconductivity, Vol. 11, No. 1, 2244-2247, 2001.

[4] B. J. Haid, H. G. Lee, Y. Iwasa, S. Oh, Y. Kwon, K. Ryu, "A "Permanent" high-temperature superconducting magnet operated in thermal communication with a mass of solid nitrogen", Cryogenics 42, 229-244, 2002.

[5] J. Bascuñán, H. G. Lee, E. S. Bobrov, S. Hahn, Y. Iwasa, M. Tomsic, M. Rindfleisch, "A 0.6 T/650 mm RT Bore Solid Nitrogen Cooled MgB2 Demonstration Coil for MRI - a Status Report", IEEE Transaction on applied superconductivity, Vol. 16, No. 2, 1427-1430, 2006.

[6] 이해근, "고온초전도 전자기 마그넷을 위한 새로운 개념의 냉각 시스템", 초전도와 저온공학, 2권 2호, 27-36, 2000.

[7] W. Yao, J. Bascuñán, W. Kim, S. Hahn, H. Lee, Y. Iwasa, "A Solid Nitrogen Cooled MgB2 "Demonstration" Coil for MRI Applications", IEEE Transaction on applied superconductivity, Vol. 18, No. 2, 912-915, 2008.

[8] T. Nakamura, K. Higashikawa, I. Muta, T. Hoshino, "Performance of conduction-cooled HTS tape with the aid of solid nitrogen-liquid neon mixture", Physica C, part 2, 1221-1224, 2004.

[9] Y. Iwasa, R. Wheatley, J. Bascuñán, B. Haid, H. G. Lee, "A Solid-Nitrogen Cooled Nb_3Sn Magnet

Operating in the Range 8-10K", IEEE Transaction on applied superconductivity, Vol. 13, No. 2, 1636-1639, 2003.
[10] M. Park, S. Kwak, W. Kim, S. Lee, J. Lee, K. Choi, H. Jung, K. Seong, S. Hahn, "Analysis of magnetic field distribution and AC losses of a 600KJ SMES", Cryogenics 47, 391-396, 2007.
[11] H. Yeom, "Test of the Conduction Cooling System for HTS SMES", 한국초전도·저온공학회 논문지, 10권 1호, 62-66, 2008.
[12] J. B. Song, J. H. Kim, N. Y. Kwon, Y. W. Kim, H. M. Kim, J. Sim, B. W. Lee, H-R Kim, O. B. Hyun, H. G. Lee, "Fabrication and Characteristic Test of Conduction-Cooled Brass Current Leads for a 22.9kV/630A Resistive Superconducting Fault Current Limiter System", 한국초전도·저온공학회논문지, 9권 3호, 46-51, 2007.
[13] T. Nakamura, I. Muta, K. Okude, A. Fujio, T. Hoshino, "Solidification of nitrogen refrigerant and its effect on thermal stability of HTSC tape", Physica C, part 3, 372-376, 2002.

저 자 소 개

김광록(金撗祿)
1982년 8월 18일생, 2008년 고려대 공대 신소재공학부 졸업, 현재 동대학원 신소재공학과 석사과정.

송정빈(宋廷彬)
1978년 11월 12일생, 2005년 고려대 공대 신소재공학부 졸업, 2007년 동대학원 신소재공학과 졸업(공학석사), 현재 동대학원 신소재공학과 박사과정.

김경준(金景準)
1983년 9월 8일생, 현재 고려대 공대 신소재공학부 학사과정.

이종훈(李鐘訓)
1985년 8월 20일생, 현재 고려대 공대 신소재공학부 학사과정.

고득용(高得龍)
1959년 2월 12일생, 1982년 한양대 기계공학과 졸업, 1985년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2008년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 1985~현재 한국기계연구원근무, 책임연구원.

김석호(金錫鎬)
1975년 3월 2일생, 1997년 KAIST 기계공학과 졸업, 1999년 동대학원 졸업공학석사), 2005년 동대학원 졸업(공학박사), 2005년~현재 한국전기연구원 초전도기기연구그룹 선임연구원.

성기철(成耆哲)
1956년 2월 20일생, 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2002년 창원대학교 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 초전도기기연구그룹 책임연구원.

이해근(李海根)
1963년 9월 26일생, 1987년 고려대 공대 재료공학과 졸업, 1990년 미 일리노이대 대학원 재료공학과 졸업(공학석사), 1995년 동 대학원 재료공학과 졸업(공학박사), 1995~1997년 MIT, FBML, 박사 후 과정, 1997~2006년 MIT, FBML, 연구교수, 2006~현재 고려대학교 신소재공학부 부교수.