(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0042273
(43) 공개일자 2008년05월15일

(51) Int. Cl.
*H02J 15/00* (2006.01) *H01F 6/06* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0110464
(22) 출원일자 2006년11월09일
심사청구일자 2006년11월09일

(71) 출원인
**경상대학교산학협력단**
경상남도 진주시 가좌동 900
(72) 발명자
**김상현**
경상남도 진주시 신안동 현대아파트 105동 1107호
**최재형**
경남 진주시 금산면 장사리 853-12번지
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**이범일, 이세진**

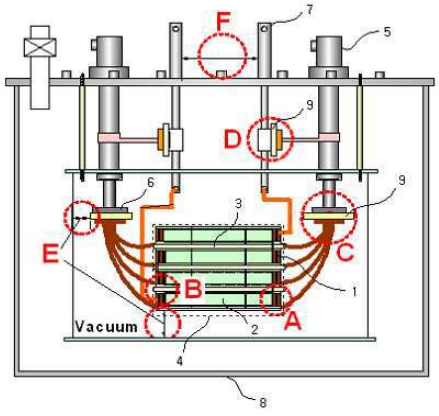
전체 청구항 수 : 총 8 항

# (54) 600kJ급 전도냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치의절연설계 방법

## *(57) 요 약*

본 발명은 냉동기를 사용하여 운전온도를 20K 근처로 하여 마그네트의 특성을 향상시키는 전도냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치(Superconducting Magnetic Energy Storage:SMES)의 절연설계에 관한 것이다. 턴간, 층간, 냉동기의 냉각판-마그네트 간, 냉동기의 냉각판-전류리드 간, 대지간 및 전류리드간 절연 등으로 구성된 각 절연요소에 대한 절연설계를 하고 이를 종합하여 전체 절연설계를 통해 시스템의 신뢰도와 안정성을 극대화 할 수 있도록 설계 제조되어지는 것을 특징으로 한다.

*대표도* - 도1



(72) 발명자

**곽동순**

경남 사천시 사남면 월성리 450번지 진사주공아파트 101동 1303호

**천현권**

경상남도 사천시 서동 311-59번지

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법에 있어서,

고온초전도 코일에 고분자 필름을 권선하여 절연한 턴간 절연, 턴간 절연된 코일을 더블 팬케이크 코일(DPC) 권선방법으로 원통보빈에 권선할 때 각 DPC 사이의 스페이서에 의한 층간 절연, DPC가 반복 적층된 마그네트부와 마그네트부를 냉각하기 위한 냉동기의 냉각판 사이의 절연, 냉동기의 냉각판과 전류리드 간의 절연, 극저온 용기와 기기들 간의 대지간 절연 및 전류리드 간의 절연으로 구성되어 절연설계하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 턴간 절연의 절연재료로 사용한 캡톤 필름은 30% 중권방식으로 2회 권선하여 절연하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 층간 절연은 1 mm 이상의 연면거리로 층간의 절연분담을 할 수 있도록 절연설계하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 냉동기의 냉각판과 마그네트(전류리드) 간은 냉동기를 보호하기 위하여 안전율과 여유치를 고려하여 계산된 값의 5배 이상인 7.6 mm의 연면 절연거리를 확보하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 냉동기의 냉각판과 마그네트(전류리드) 간에서 절연재료로 사용한 질화알루미늄(AIN) 플레이트의 두께는 AIN의 기계적인 특성을 고려하여 1mm 이상의 두께로 절연설계하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 대지간의 극저온 용기 내부의 기기와 극저온 용기 간에는 10mm의 절연 이격거리로 설계하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 대지간에서 절연재료로 사용한 진공은 $10^{-6}$ torr 이상의 고 진공도로 절연하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

**청구항 8**

상기 제 1 항에 있어서,

상기 전류리드간은 10mm로 설계하는 것을 특징으로 하는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법.

# 명 세 서

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<22> 본 발명은 전도냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치(Superconducting Magnetic Energy Storage, 이하 SMES라 칭함)의 절연설계 방법에 관한 것으로, 특히 각 절연요소에 대해 절연재료를 정하고, SMES의 운전 조건인 20K이하의 극저온과 $10^{-6}$ torr이하의 고진공의 환경 하에서 각 절연재료의 절연거리 및 방법을 설정하게 되는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES 절연설계 방법에 관한 것이다.

<23> 종래의 저온 SMES는 상당히 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 운용경비가 과다하여 응용에 한계가 있었으나 최근 장조장의 Bi계, Y계 등 고온 초전도 선재가 개발됨에 따라 고온 SMES의 개발이 활발해지고 있다. 고온 SMES는 저온 SMES에 비해 마그네트의 특성은 떨어지지만, 운용경비가 낮고 저손실화, 고자계화 등에 의한 고밀도 에너지 저장이 가능하기 때문에 실용화 전망이 밝다.

<24> 한편, 전도냉각형 고온 SMES는 냉동기를 사용하여 운전온도를 20K 근처로 하여 마그네트의 특성을 향상시키는 차세대의 SMES이다. 전도냉각형 고온 SMES의 중요한 요소 기술로서는 초전도 선재기술, 코일 보호기술, 전류도입선, 냉각기술, 크라이오스태트(Cryostat) 기술, 입·출력 변환장치기술, 극저온 및 진공 중의 전기절연기술 등이 있다.

#### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<25> 이에 본 발명은 고온초전도 마그네트에 저장된 에너지를 부하에 공급하거나 펄스출력을 얻기 위한 경우 또는 켄치(Quench) 발생시에 단시간 내에 에너지를 방출시킬 경우에 코일 양단에 고전압이 발생하므로 상용화를 위해서 이들 고전압을 고려한 최적 절연설계 방법과 SMES의 소형화, 안정성, 경제성 및 전력공급에 대한 신뢰성 확보를 위한 절연설계 방법을 제공하기 위한 것으로 진공과 공기, 고분자 필름 또는 절연지 그리고 유리섬유 강화플라스틱(Glass Fiber-Reinforced Plastic, 이하 GFRP라 칭함) 스페이서 등의 절연재료와 턴간, 층간, 코일과 냉동기간, 코일과 전류리드간, 대지간 및 전류리드간 절연 등의 절연구성을 사용하여 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES 절연설계 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

<26> 초전도체를 이용한 초전도 기기를 제작하기 위해서는 각종 고체 절연물을 사용하게 되는데 이때 그 표면을 통한 연면방전은 고체절연물이나 주위 매질의 절연파괴 전압보다 매우 낮아 큰 문제가 된다. 연면방전은 고체절연물의 형상, 전극의 표면처리, 절연물의 재료, 인가되는 전압의 형태 등에 의해 다양한 특성을 나타낸다. 따라서 초전도 기기의 실용화 개발을 위하여, 초전도 전력 시스템에 사용되는 고체절연물의 연면방전 특성에 대한 연구는 대단히 중요하다.

<27> 또한, 절연재료의 두께에 따른 관통파괴도 함께 고려하지 않으면 기기의 안정성 및 신뢰성에 치명적인 결과를 초래할 수 있으므로 연면방전 특성과 함께 관통파괴 특성도 연구되어야 한다. 이와 같은 관점에서 본 발명에서는 각 절연요소에 대한 절연재료를 대상으로 실험적 데이터를 통한 연면방전 및 관통파괴 특성을 연구하고 그 결과를 바탕으로 절연설계를 하였다.

### 발명의 구성 및 작용

<28> 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 절연설계 방법은 고온초전도 코일에 고분자 필름을 권선하여 절연한 턴간 절연, 턴간 절연된 코일을 더블 팬케이크 코일(Duble Pancake Coil, 이하 DPC라 칭함) 권선방법으로 원통보빈에 권선할 때 각 DPC 사이의 스페이서에 의한 층간 절연, DPC가 반복 적층된 마그네트와 마그네트를 냉각하기 위한 냉동기의 냉각판 사이의 절연, 냉동기의 냉각판과 전류리드 간의 절연, 극저온 용기와 기기들 간의 대지간 절연 및 전류리드 간의 절연으로 구성되어 절연설계하는 것을 특징으로 한다.

<29> 또한, 상기 턴간 절연의 절연재료로 사용한 캡톤 필름은 30% 중권방식으로 2회 권선하여 절연하며, 상기 층간 절연은 1 ㎜ 이상의 연면거리로 층간의 절연분담을 할 수 있도록 절연설계하는 것을 특징으로 한다.

<30> 또한, 상기 냉동기의 냉각판과 마그네트(또는 전류리드) 간은 냉동기를 보호하기 위하여 안전율과 여유치를 고려하여 계산된 값의 5배 이상인 7.6 ㎜의 연면 절연거리를 확보하며, 상기 냉동기의 냉각판과 마그네트(또는 전류리드) 간에서 절연재료로 사용한 질화알루미늄(AlN) 플레이트의 두께는 AlN의 기계적인 특성을 고려하여 1㎜ 이상의 두께로 절연설계하는 것을 특징으로 한다.

<31> 또한, 상기 대지간의 극저온 용기 내부의 기기와 극저온 용기 간에는 10㎜의 절연 이격거리로 설계하며, 상기 대지간에서 전연재료로 사용한 진공은 $10^{-6}$ torr 이상의 고 진공도로 절연하는 것을 특징으로 한다.

<32> 또한, 상기 전류리드간은 10㎜로 설계하는 것을 특징으로 한다.

<33> 이하, 본 발명을 첨부된 예시 도면에 의거 상세히 설명한다.

<34> 도 1은 본 발명의 600kJ급 전동냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치의 전기절연 구성을 보여주기 위한 측면도로서 크게 6부분으로 나뉘어진다. 고온초전도 코일(1)에 고분자 필름을 권선하여 절연한 턴간 절연(A), 턴간 절연된 코일을 DPC 권선방법으로 원통보빈(2)에 권선할 때 각 DPC 사이의 스페이서(3)에 의한 층간 절연(B), DPC가 반복 적층된 마그네트(4)와 마그네트(4)를 냉각하기 위한 냉동기(5)의 냉각판(6) 사이의 절연(C), 냉동기(5)의 냉각판(6)과 전류리드(7) 간의 절연(D), 극저온 용기(8)와 기기들 간의 대지간 절연(E) 및 전류리드 간의 절연(F)으로 구성된다.

<35> 도 2는 절연재료인 캡톤(Kapton)의 턴간 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프이다.

<36> 턴간 절연(A)은 초전도 도체를 감싸는 캡톤 필름의 두께와 겹 수에 의존한다. 캡톤 필름을 30% 중권방식으로 1~3회 권선하였을 때의 최대 관통절연파괴 전압은 각각 2.48, 6.54, 11.48kV이다. 따라서 도 10에 도시한 바와 같이 한 턴에 인가되는 턴간 전압인 0.025kV에 대하여 1회의 권선만으로도 충분한 절연분담을 가진다. 그러나 기계적·물리적 특성을 고려하여 2회 권선하여 절연한다.

<37> 도 3은 절연재료인 유리섬유 강화플라스틱의 층간 연면방전 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프이다. GFRP는 극저온에서도 수축율이 낮으며 기계적 특성과 전기 절연 특성이 양호하여 극저온 절연재료 및 구조물로 널리 사용되어지고 있다. GFRP의 연면길이를 1~30 ㎜까지 변화하였을 때의 최대 절연파괴 전압은 연면길이의 증가함에 따라서 증가하다가 점점 포화함을 알 수 있다.

<38> 600kJ급 SMES의 층간에 유기되는 전압은 1.5kV이므로 1 ㎜ 이상의 연면거리로 층간의 절연분담을 할 수 있다. 그러나 본 발명에서는 600kJ급 SMES의 층간의 전압에 대하여 상기 캡톤 필름에 의한 턴간 절연(A)이 층간 절연(B)까지 같이 분담할 수 있으므로 열전도율이 낮은 GFRP 절연재료는 생략하여 설계하였다. 그러나 대용량 SMES에서 층간의 전압이 커지면 상기의 층간 절연(B)을 해야 한다.

<39> 또한, 냉동기(5)의 냉각판과 마그네트(4) 간의 절연과 냉동기(5)의 냉각판과 전류리드(7) 간의 절연은 서로 동일한 구조로 되어있다. 냉동기(5)의 냉각판으로부터 마그네트(4) 및 전류리드(7)를 전도냉각함에 있어 냉각효과를 극대화함과 동시에 전기적으로 우수한 절연특성을 위하여 열전도도가 우수한 무기절연재료인 질화알루미늄(9)을 사용한다.

<40> 도 4는 절연재료인 질화알루미늄(Aluminum Nitride, 이하 AlN이라 칭함)의 냉각판과 마그네트(4)(전류리드:7) 간 연면방전 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프이다. 전극간의 연면거리가 6㎜이고, 도시된 AC 및 DC 내전압의 0.1% 와이블 최대 연면방전 전압이 각각 8.26, 27.34 kV이다. SMES의 마그네트(4) 내부에 직류전압이 인가되는 점을 고려할 때 600 kJ급 에너지 용량의 운전 전압인 3kV에 대한 연면 절연거리는 1.52㎜이다. 그러나 일반적인 운전 중과 달리 이상전압이나 켄치(Quench)가 발생하였을 경우 마그네트(4) 코일에는 저항이 급격하게 증가하게 되고 이로 인하여 매우 높은 전압이 유기되므로 전도냉각 SMES의 가장 고가의 장비 중 하나인 냉동기를 보호하기 위하여 안전율과 여유치를 고려하여 계산된 값의 5배 이상인 7.6 ㎜의 연면 절연거리를 확보한다.

<41> 도 5는 절연재료인 질화알루미늄의 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프이다. AlN(9)의 관통절연파괴 특성은 연면방전 특성과 함께 매우 중요하게 고려되어야 할 특성으로서 AlN(9) 플레이트의 두께를 결정하기 위해 반드시 필요한 요소이다. AlN(9) 플레이트의 두께는 1㎜이고, 0.1% 와이블 최대 관통절연파괴전압은 39.4kV이다. 따라서 3kV의 운전 내전압에 대한 AlN(9) 플레이트의 절연두께는 0.08㎜이다. 그러나 냉각을 위해 냉동기(5)의 냉각판(6)과 마그네트(4) 및 전류리드(7) 간의 접촉은 강하게 압착해야 하므로 AlN(9)의 기계적인 특성을 고려하여 1㎜ 이상의 두께로 절연설계하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 도 4와

도 5의 결과로부터 SMES 시스템의 켄치(Quench) 발생 시 관통파괴에 의한 절연파괴보다는 연면방전에 의한 절연파괴가 더 취약하므로 AlN(9) 플레이트의 두께와 연면거리를 설계함에 있어 두께보다는 연면거리에 대하여 충분한 여유를 고려하여야 한다.

<42> 고온 SMES의 극저온용기(8)는 접지전위이고 마그네트(4) 코일, 냉동기(5) 및 전류리드(7) 등과 같은 극저온용기(8) 내부의 기기들은 전압이 유기되므로 이들 간(대지간)의 절연 설계가 고려되어야 한다. 극저온용기(8) 내부는 고진공으로 되어 있으므로 고진공 조건에서 직류전압을 인가하였을 때 진공도에 따른 관통절연파괴 전압의 변화를 도 6에 나타낸다. 진공도에 따른 관통절연파괴 특성은 U자형의 곡선을 나타내며, 관통절연파괴 전압은 대기 중 환경으로부터 약 100 torr의 저 진공도까지 급격히 저하되다가 $1.0\times10^{-5}$ torr 부근까지는 진공도가 상승하여도 관통절연파괴전압의 변화폭은 매우 적은 포화상태가 된다. 그러나 진공도가 $1.5\times10^{-6}$ torr 부근에서 급격히 상승하며 이때의 관통절연파괴 전압은 대기압의 2~2.5배 수준에 이른다. 그러므로 전도냉각형 고온 SMES의 운전 진공도는 $10^{-6}$ torr 정도의 고진공도를 유지하여야 하며, 진공도의 저하에 따른 관통절연파괴에 특히 주의를 요해야 한다.

<43> 도 7은 절연재료인 진공의 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프이다. 이때 진공은 $1.5\times10^{-6}$ torr에서 관통절연파괴 전압에 대한 0.1% 와이블 통계처리한 결과를 나타낸다. 전극간격이 각각 3mm, 5mm 일 때, 0.1% 최대 관통절연파괴 전압은 각각 15.5kV, 21.94kV 이다. 그러므로 극저온 용기(8) 내부의 기기와 극저온 용기(8) 간에는 1mm의 절연 이격만으로도 600kJ급 SMES의 대지간 내전압 3kV에 대하여 충분히 높은 절연분담을 할 수 있다. 그러나 극저온 용기(8) 외부의 충격이나 진동 등의 기계적 특성과 내부기기들의 불평등 전계의 형상 등을 고려하여 10mm의 절연 이격거리로 설계한다.

<44> 도 8은 절연재료인 공기의 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프이며, 외부 전류리드(7) 간의 절연설계를 위해서 공기 중에서 직류내전압을 인가한 경우 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블 확률분포도를 나타낸 것이다. 전극간의 거리는 각각 1mm, 3mm, 5mm이고 0.1% 최대 관통절연파괴 전계값은 각각 3.9kV/mm, 2.8kV/mm, 2.3kV/mm이다. 3kV의 운전 전압을 고려하여 절연설계를 하는 경우 전류리드(7) 양단의 이격거리는 2mm이나 우천 시의 습도와 온도 등의 환경과 여유치 등을 고려하여 외부 전류리드(7) 양단의 이격거리는 10mm로 설계한다.

<45> 도 9는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 각 절연요소의 절연특성 및 내전압을 나타낸 표이다. 내전압 특성은 교류/직류 전력변환기의 전압레벨에 따라 달라지게 되며, 600kJ급 SMES에 사용되는 전력변환기는 일반적으로 3kV의 직류전압이 인가된다. 따라서 SMES 전체 시스템에 유기되는 최고 전압은 3kV 정도이다. 이 값을 참조하여 각 절연요소에 유기되는 전압레벨은 도 9에 도시된 바와 같다.

<46> 도 10은 이상의 각 절연요소에 대한 절연특성에 대한 결과를 종합하여 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 전기절연설계 사양을 나타낸 표이다.

## *발명의 효과*

<47> 이상에서 상세히 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 절연설계는 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 열적으로 뛰어난 전도냉각과 전기적으로 우수한 전기절연의 효과를 동시에 만족시킨다.

<48> 또한, 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 경우만이 아니라 교류/직류 전력 변환기의 전압레벨을 참조하여 다른 에너지 용량의 전도냉각형 고온 SMES에 대하여도 적용할 수 있으며, 본 발명의 기초 데이터는 다른 초전도 응용기기의 절연설계를 위한 자료로서 활용할 수 있는 매우 유용한 발명이다.

<49> 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 한정하여 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않고 다양한 변화와 변경 및 균등물을 사용할 수 있다. 따라서 본 발명은 상기 실시예를 적절히 변경하여 응용할 수 있고, 이러한 응용도 하기 특허청구범위에 기재된 기술적 사상을 바탕으로 하는 한 본 발명의 권리범위에 속하게 됨은 당연하다 할 것이다.

## *도면의 간단한 설명*

<1> 도 1은 본 발명의 600kJ급 전동냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치의 전기절연 구성을 보여주기 위한 측면도,

<2> 도 2는 절연재료인 캡톤(Kapton)의 턴간 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그

래프,

<3> 도 3은 절연재료인 유리섬유 강화플라스틱(Glass Fiber-Reinforced Plastic:GFRP)의 층간 연면방전 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프,

<4> 도 4는 절연재료인 질화알루미늄(Aluminum Nitride : AIN)의 냉동기의 냉각판과 마그네트(전류리드) 간 연면방전 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프,

<5> 도 5는 절연재료인 질화알루미늄(AIN)의 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프,

<6> 도 6은 진공도에 따른 관통절연파괴 전압을 나타낸 그래프,

<7> 도 7은 절연재료인 진공의 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프,

<8> 도 8은 절연재료인 공기의 관통절연파괴 특성에 대한 0.1% 와이블(Weibull) 확률분포를 나타낸 그래프,

<9> 도 9는 600kJ급 전도냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치의 각 절연요소의 절연특성 및 내전압을 나타낸 표,

<10> 도 10은 600kJ급 전도냉각형 고온 초전도 에너지 저장장치의 전기 절연설계 사양을 나타낸 표이다.

<11> *도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명*

<12> 1 : 고온초전도 코일 2 : 원통 보빈

<13> 3 : 스페이서 4 : 마그네트

<14> 5 : 냉동기 6 : 냉각판

<15> 7 : 전류리드 8 : 극저온 용기

<16> 9 : 질화알루미늄(AIN)

<17> A : 턴간 절연 B : 층간 절연

<18> C : 냉동기의 냉각판과 마그네트간의 절연

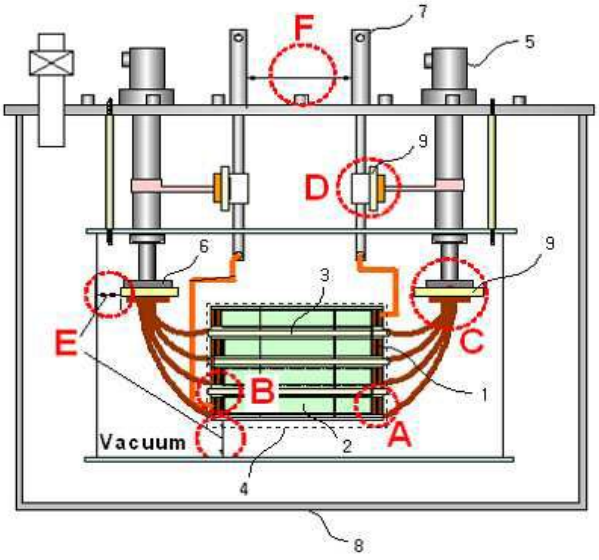
<19> D : 냉동기의 냉각판과 전류리드간의 절연

<20> E : 대지간 절연

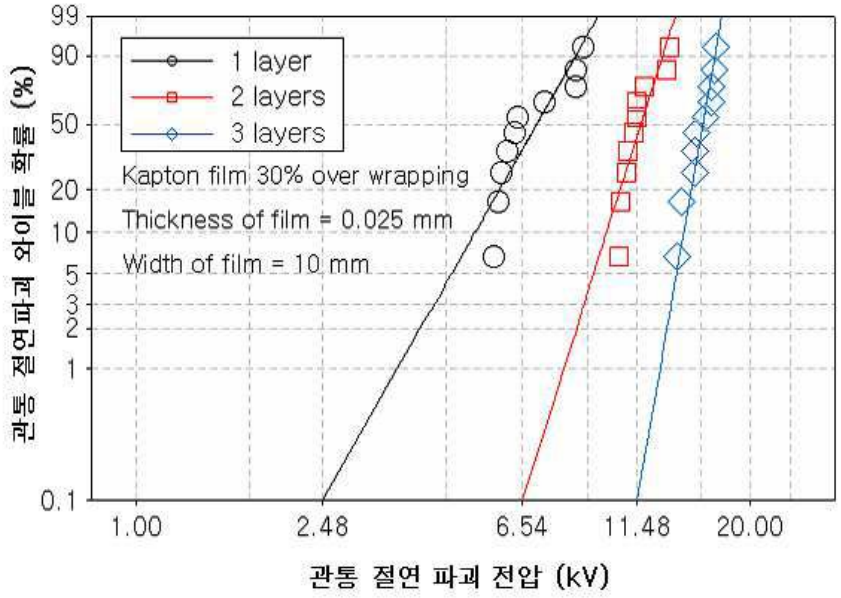
<21> F : 전류리드간의 절연

## 도면

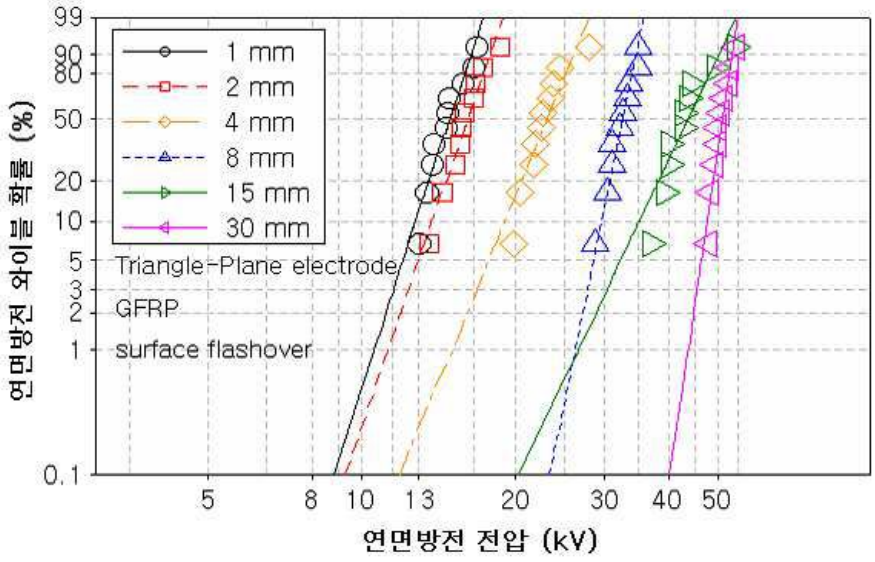
### 도면1



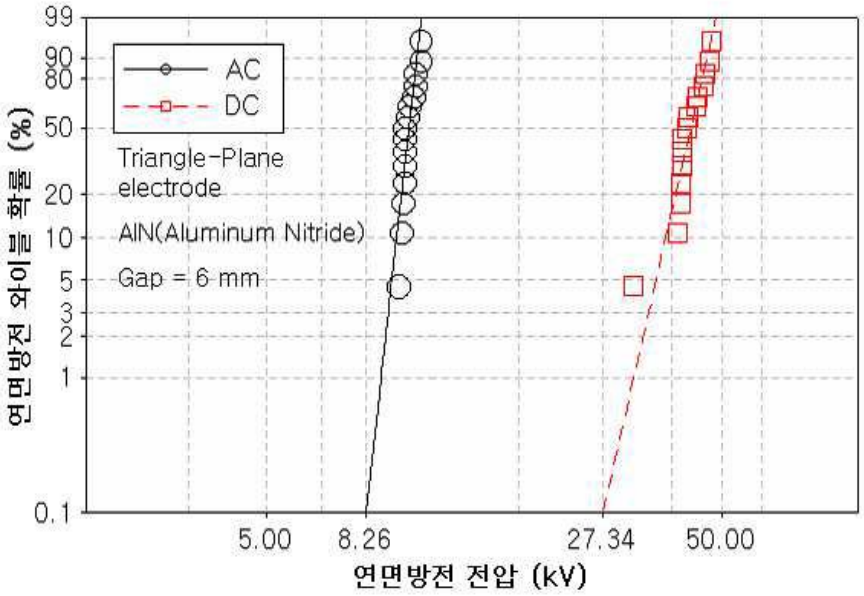
도면2


99
90
50
20
10
5
3
2
1
0.1
관통 절연파괴 와이블 확률 (%)
1 layer
2 layers
3 layers
Kapton film 30% over wrapping
Thickness of film = 0.025 mm
Width of film = 10 mm
1.00
2.48
6.54
11.48
20.00
관통 절연 파괴 전압 (kV)

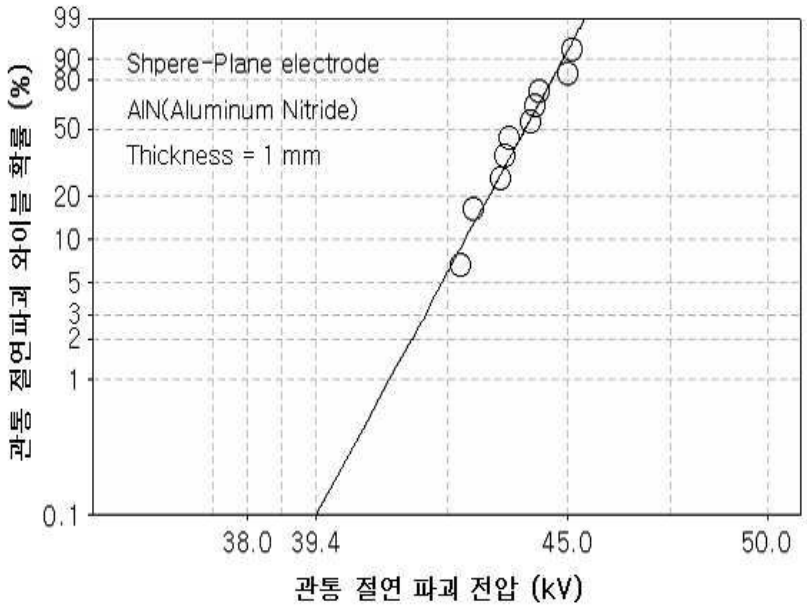
도면3


99
90
80
50
20
10
5
3
2
1
0.1
연면방전 와이블 확률 (%)
1 mm
2 mm
4 mm
8 mm
15 mm
30 mm
Triangle-Plane electrode
GFRP
surface flashover
5
8
10
13
20
30
40
50
연면방전 전압 (kV)

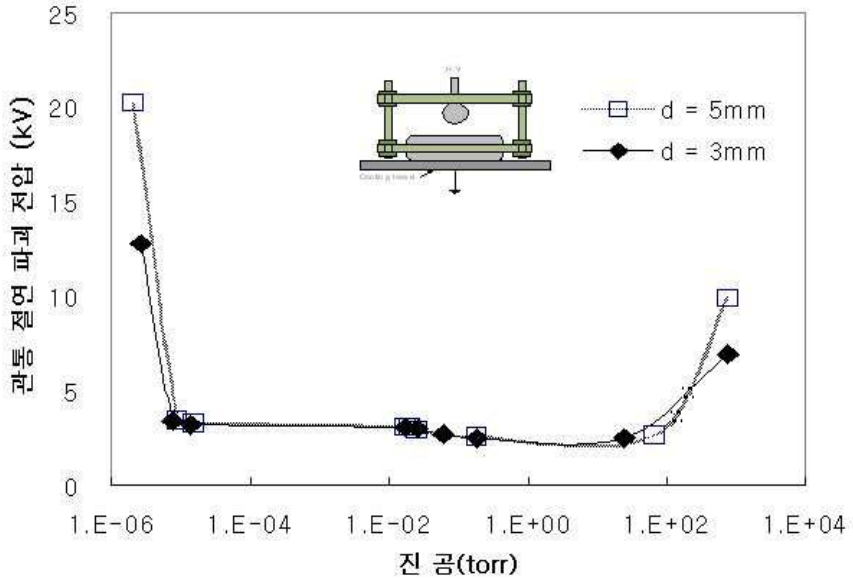
도면4


99
90
80
50
20
10
5
3
2
1
0.1
AC
DC
Triangle-Plane electrode
AlN(Aluminum Nitride)
Gap = 6 mm
연면방전 와이블 확률 (%)
5.00
8.26
27.34
50.00
연면방전 전압 (kV)

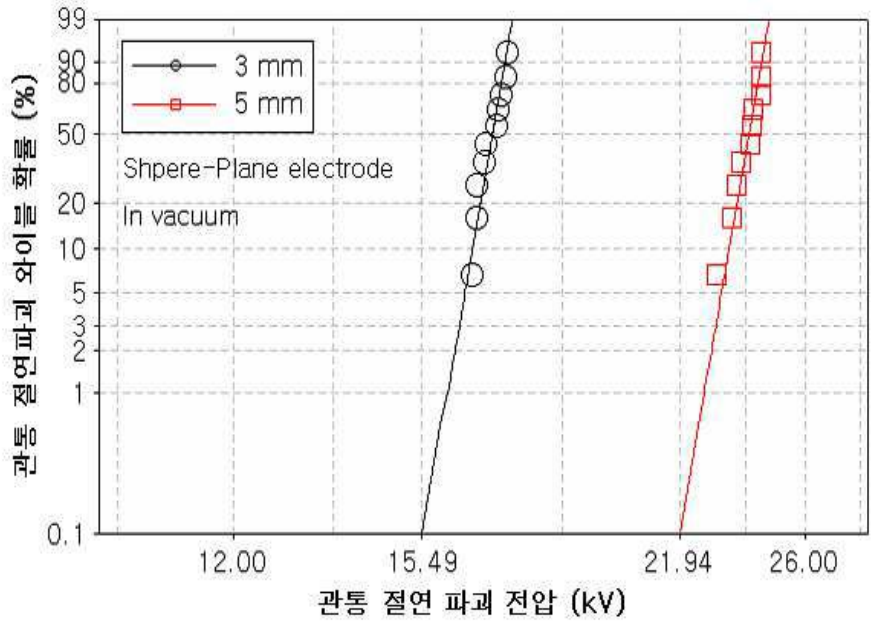
도면5


99
90
80
50
20
10
5
3
2
1
0.1
Shpere-Plane electrode
AlN(Aluminum Nitride)
Thickness = 1 mm
관통 절연파괴 와이블 확률 (%)
38.0
39.4
45.0
50.0
관통 절연 파괴 전압 (kV)

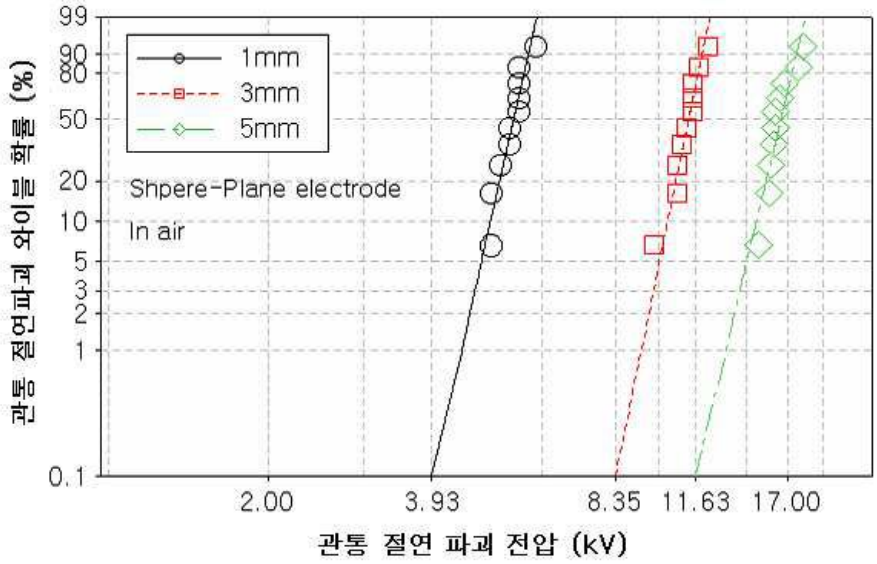
도면6


25
20
15
10
5
0
관통 절연 파괴 전압 (kV)
d = 5mm
d = 3mm
1.E-06
1.E-04
1.E-02
1.E+00
1.E+02
1.E+04
진 공(torr)

도면7


99
90
80
50
20
10
5
3
2
1
0.1
관통 절연파괴 와이블 확률 (%)
3 mm
5 mm
Shpere-Plane electrode
In vacuum
12.00
15.49
21.94
26.00
관통 절연 파괴 전압 (kV)

도면8




도면9

| 구 분 | 절 연 요 소 | 절 연 특 성 | 내전압(kV) |
|---|---|---|---|
| A | 턴 간 | 관통파괴 | 0.025 |
| B | 층 간 | 연면방전 | 1.5 |
| C | 냉동기-마그네트 간 | 관통파괴, 연면방전 | 3 |
| D | 냉동기-전류리드 간 | 관통파괴, 연면방전 | 3 |
| E | 대지 간 | 관통파괴 | 3 |
| F | 전류리드 간 | 관통파괴 | 3 |

< 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 각 절연요소의 절연특성 및 내전압 >

도면10

| 구분 | 절 연 요 소 | 절연재료 | 절연설계 사양 | 운전환경 |
|---|---|---|---|---|
| A | 턴 간 | Kapton | 2층, 중권<br>(두께 0.025 mm, 폭 10 mm) | $10^{-6}$ torr<br>40K |
| B | 층 간 | - | 턴간절연이 층간절연을 겸함 | |
| C | 냉동기-마그네트 간 | AlN | 두께 1 mm이상<br>연면거리 7.6mm이상 | |
| D | 냉동기-전류리드 간 | AlN | 상동 | |
| E | 대지 간 | 진공 | 절연이격거리 10mm 이상 | |
| F | 전류리드 간 | 공기 | 절연이격거리 10mm 이상 | 대기중 |

< 600kJ급 전도냉각형 고온 SMES의 전기절연설계 사양 >