

# 超 電 導 回 轉 機

기술자료
22~6~2

편 집 실

## 1. 에너지 공급기술내의 回轉機의 역할

電流와 磁界間의 관계가 여러가지 모양으로 인식되기 시작한 것이 1820년이며, 그로부터 10年餘를 경과한 1831년에는 Farady의 電磁誘導(변화하는 磁界와 起電力의 관계가 발견되었다. 그로부터 약 150년, 電磁誘導의 법칙에 따라 發電되는 電氣의 量은 막대한바 있다.

특히 최근에 와서 에너지 수요의 증대는 눈부신바 있으며, 선진국의 경우, 10년간에 2~3배의 신장률을 보이고 있다. 이만큼의 電力을 우리들에게 제공하여 주는 것은 주로 發電機이며, 이 電力을 이용하는데에 電動機가 사용된다. 이들은 모두 동일한 장소에 있으면서 무제한의 變位를 行하여 變化하는 磁場을 사용하여 發電하고 運動하고 있는 回轉機이다.

發電機 1대가 만들어 내는 電力은 한정되어 있기 때문에 수요의 증대에 대응하기 위하여 發電所의 수를 증가시키거나 규모를 크게 하거나, 發電所 效率을 높이는 방법이 채택되어 왔다. 이 중에서 發電所의 규모를 크게 하는 데에 發電機 單機의 용량을 크게 하는 방법으로는 현재 135만 kW의 것이 發注되고 있는 것이 세계 最大이다. 發電所를 건설하는 장소의 制限이 앞으로 더 극심해 질 것이라는 점을 생각하면, 發電所에게 허용되는 장소는 不便한 곳이 되게 되겠는데, 이와같은 장소에서의 수송방법 문제와 發電機 자체의 문제, 遠心力에 재료가 견딜 수 있는 범위의 회전자 크기의 제한 때문에 200만kW 정도가 현용 기술에 의한 터빈 發電機 유닛의 限度가 될 것 같다.

한편, 發電한 大電力을 낮은 損失로 소비지에 운반하는 방법도 검토되고 있으며, 여러가지 제안중에는 極低溫 導體의 低損失性을 사용하는 極低溫 送電, 超電導法의 無損失性을 사용코자 하는 超電導 送電도 포함되고 있다.

여기까지 오면, 發電機에도 超電導性의 여러가지 특질을 살려 보자는 연구 개발활동이 당연히 일어나게 되는데, 다행히도 “超電導” 쪽도 기술영역에서 사용할 수 있도록 成熟하고 있는 단계에 있다고 생각되게 되었다.

본고에서는 이상 기술한 현재의 인식을 바탕으로, 현재로 부터 미래의 에너지 문제를 담당하는 回轉機, 특히 發電機에 대해서 “超電導”가 어떠한 역할을 할 수 있는가, 그와같은 超電導 回轉機의 연구개발의 방향, 그 안에서의 문제점에 대해서 생각해 보기로 한다.

## 2. 超電導 技術

超電導 技術의 기본이 되는 超電導性의 특질은 超電導 電線의 無損失性과 이를 이용한 高磁界의 발생이다. 이만큼의 것을 특질로서 實現시키기 위해서는 니오브·티탄(Nb-Ti), 니오브 3석(Nb<sub>3</sub>Sn)으로 대표되는 제 2종의 超電導體의 발견과, 電線으로서의 안정화 기술의 확보가 있어야만 하였다.

그러나 이 특질을 발휘하기 위하여서는 超電導線으로 감은 코일(超電導 코일)을 一氣壓 아래에서 온도 4.2°K에 있는 液體 헬륨 안에서 超電導 상태로 유지해 두어야 한다. 이를 위해서는 헬륨의 液化作業과 冷却裝置가 필요한데, 이에 소비되는 에너지와 코일을 超電導로 하여 얻은 에너지의 비교가 언제나 문제가 된다. 항공기·로켓이나 특수한 합선에서 경제성 보다는 크기나 무게의 가치가 의의를 갖는 때에만 동일한 出力이면 磁場이 센 만큼 작게 만들 수 있는 超電導 發電機는 그대로의 의의를 갖는다고 할 수 있다. 물론 이때에도 부속의 液化 冷却 시스템은 相應한 사용을 하고 있다고 전제하고서이다.

또한 이 특질을 발휘하기 위해서는 超電導 코일은 直流通로 사용되어야 한다.

이 두 페널티 하에서 전술한 特質을 大電力 發電機가 필요로 하는 모양으로 정말 살릴 수 있는가를 다음에 검토해 볼 필요가 있다.

大電力 發電機 單機容量의 증대에 있어서의 문제점은 發電機 로우터의 直徑의 遠心力·材料에 관한 제한이고 重量의 제한이었다. 로우터 직경을 現用の 크기 그대로 하여 두더라도 이용할 수 있는 磁界가 超電導에 의해 커지면 그에 對應한 分 만큼 큰 出力이 얻어진다.

구체적으로는 發電機 出力은 發生磁界(空隙磁束密度)와 암페어 導體數에 비례하므로 超電導를 사용함으로써 發生磁界가 현재의 1.2 테슬러 정도로 부터 5배인 6 테슬러가 되고 암페어 導體數도 鐵心の 突出이 감소한

\* 本稿는 OHM誌(197. 7)에서 발췌한 것이다.

만큼으로 2배가 됐다고 하면, 현재의 發電機와 동일한 크기로 10배의 出力을 얻게되는 셈이 된다. 실제로는 이렇게 잘 되어나가지는 못하지만, 예를들면 웨스팅하우스사의 Hulm이 제시한 예(그림 1)와 같이 동일한 성격이면 크기는 대략반이 된다. IRD사의 Appleton이 제시한 예에서는 130만kW의 現用 發電機의 길이 18미터, 중량 700톤이 동출력의 초전도 발전기에서 10미터, 280톤으로 되어 있다.(표 1).

이와 같은 개념설계정도의 案에 대해서 이물 지지하는 超電導 코일의 제작기술이 어떻게 되어 있는가. 그림 2는 이제까지 만들어진 超電導 코일의 크기와 發生磁界를 구획하여 그 실현 범위의 境界를 그려 본 것이다. 超電導 回轉機가 필요로 하는 크기 (最大 3~5 m), 磁界의 세기(6테라스 정도)의 값은 境界線 보다 훨씬 내부에 있다. 그러므로 코일은 만드는 노력에 비하여 그 電力技術에의 응용에 노력이 부족하다. 등과 같은 말이 나오는 것이다.

한편, 이같이 해서 만들어지는 超電導 發電機도 전술한 바와 같이 冷却 파워라는 損失을 수반한다. 이때문에 最小出力에 現用 技術을 비교하였을 때, 限界가 생기게 된다. 이 限界는 현재로, 왜냐하면 液化·冷凍 機開發도 더욱 진보되게 될 것이므로 50만kW 정도가 될 것이라고 예상하고 있다.

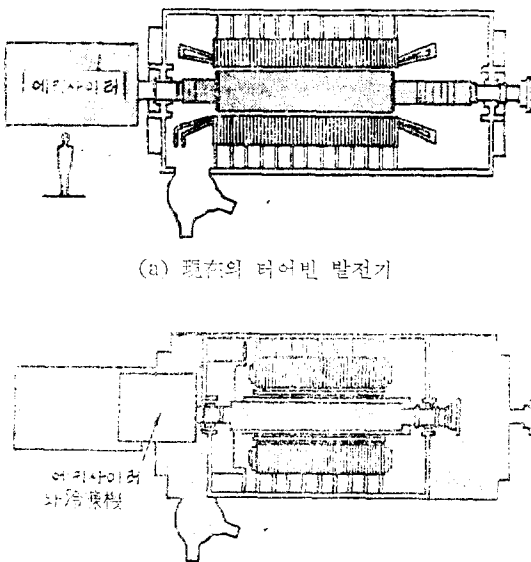


그림 1. 동일定格의 現用發電機와 超電導 發電機의 비교

표 1. IRD의 500MW 超電導 交流發電機

回轉子の 最高磁界의 세기	3.2T
스테이터의 곳의 最高磁界의 세기	0.8T
回轉子 암페어 回數	$5 \times 10^6$

蓄積 에너지	20MJ
發電機 全長	8.5m
軸반이 베어링의 간격	6.4m
스테이터 齒線幅	3.7m
스테이터 直徑	2.7m
回轉子 直徑	1.05m
磁氣시일드直徑	4.2m
發電機 全重量	210톤
回轉子 重量	29톤
內部 스테이터 重量	40톤
外部 스테이터 重量	120톤
銅 主물損	1.8MW
渦電流損	0.5MW
外部 磁氣 시일드損	1.5MW
漏洩損 및 冷凍器의 損失	1.0MW
摩擦 損	1.0MW
	5.8MW
總合效率	98.8%

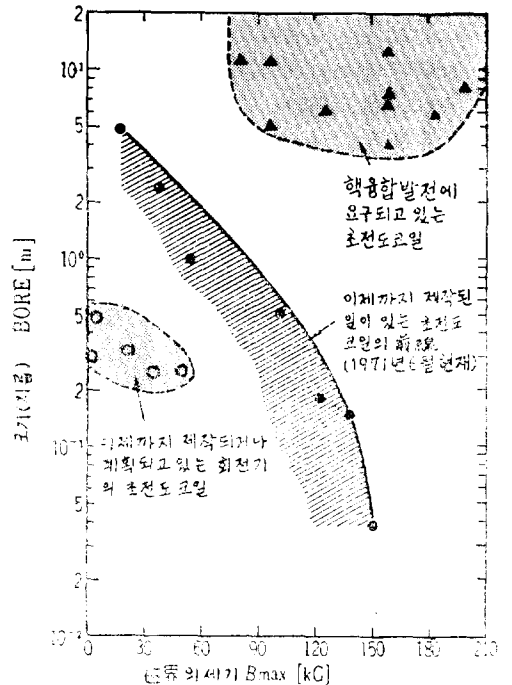


그림 2. 超電導 코일製作 現況

### 3. 超電導 回轉機

超電導를 電力機器로서의 回轉機에 사용한 최초의

시도는 IRD社의 50마력의 超電導 單極電動機였다. 거의 같은 시기에 AVCO가 8kW의 超電導 同期發電機를 보고 하였다. 이것들은 모두 界磁側을 超電導捲線으로 하고 電機子는 常電導로 사용하는 半超電導方式의 것이다.

界磁와 電機子 公히 超電導인 全超電導方式은 1968년에 Dynateck社에서 시도되었는데, 定格 50kW의 出力에 대해서 약 6kW의 出力이 얻어졌다는 보고가 있었을 뿐이다.

그 후, 1970년이 되어 MIT가 80KVA의 超電導 回轉界磁를 사용한 半超電導方式 同期發電機를 試作하여 현재 이를 기초로 2MVA의 것을 제작하고 있다. 또한 WH(웨스팅 하우스)社, GE社 公히 수 MVA인 것의 시험결과를 보고하고 있다.

앞에서 말한 單極機에 있어서는 IRD社가 Fawley 揚水 發電所用으로 3,000 HP의 超電導 電動機를 製作·納品하여 시험중에 있으며, 일본에서는 도시바가 3,000kW 電氣出力의 超電導 發電機를 제작중에 있다.

超電導 回轉機의 形式은 單極機와 同期機이며, 半超電導 方式으로 될 것이라는 것이 大勢로 되고 있다.

單極機는 그림 3과 같이 超電導 코일이 만드는 靜止한 直流界磁內를 導體圓板이 회전하고 있으며, 圓板의 徑방향의 起電力을 이용하여 電流를 끄집어 내는 것이다. 超電導로 磁界는 크게 되더라도 (IRD 3.5테스라, 도시바 5테스라), 圓板의 크기와 回轉數에 한도가 있기 때문에 圓板구조에 다소의 欠缺을 강구하더라도 얻어지는 電壓은 낮다. (100V 정도). 그러나, 圓板은 金屬으로서 比抵抗이 낮으므로 低電壓이라도 數萬A의 大電流가 얻어진다. 이에 수반하여 集電 브러시의 電流容量에 문제가 있다. 이 發電機의 용도는 電解工業 등 비교적 특수한 것에 국한되고 있는게 現狀이다.

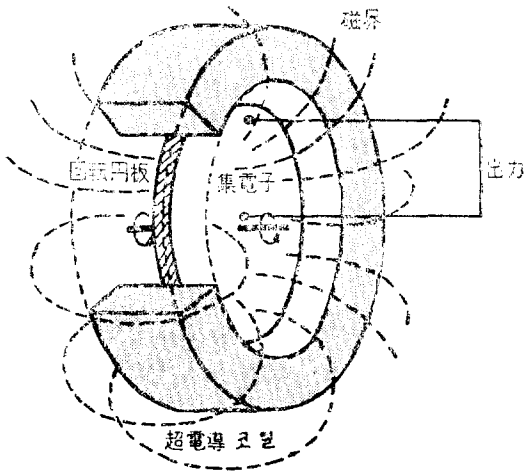


그림 3. 單極機의 원리도

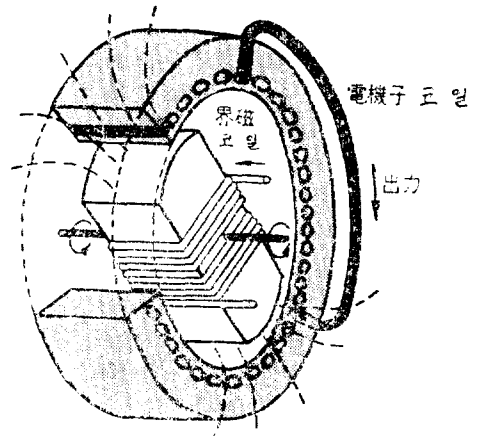


그림 4. 同期機의 원리도

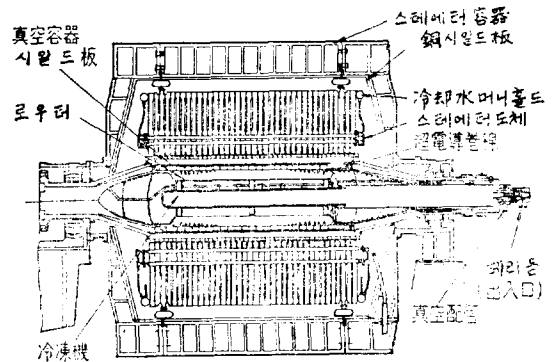


그림 5. IRD의 500MW 超電導 交流發電機

同期機는 그림 4와 같이 超電導 코일이 만드는 直流界磁가 電機子 捲線內에서 회전하고 있으며, 電機子 捲線에 발생하는 誘電起電力을 이용하여 交流電流를 끄집어 내는 것이다. 이 구성과는 반대로 超電導 界磁가 靜止하고 있고 그 外側에서 電機子가 회전하거나, 超電導 界磁가 外側으로 와서 靜止 또는 회전하는 구성도 생각할 수 있으나, 여러모의 검토 결과, 현재로서는 그림 3과 같은 구성이 일반적으로 채용되고 있다. 回轉界磁는 超電導 코일이 되므로 鐵心이 필요 없다. 그 대신 高速으로 회전하는 眞空 容器內의 超電導 코일을 냉각시키기 위한 새로운 기술이 필요해진다.

回轉數는 回轉子의 極數와 發電하는 주파수에 따르지만 3,000부터 12,000rpm이 된다. 예를들면 WH社의 連續定格 1,000KVA의 400Hz 交流發電機에서는 4極, 25cm 직경의 回轉子가 12,000회전(rpm)한다. 그리고 구체적인 디자인이 발표되고 있으며, 그림 5와 같은 IRD의 50만 kW 超電導 發電機에서는 回轉子 직경은 약 1m이다. 超電導 코일이 만드는 磁界는 回轉子 捲線

에서 3.2테슬라, 스테이터에서 0.8테슬라이다. 이밖의 諸 定數를 表로 들어 둔다.

超電導 同期發電機의 개발에 관한 보고는 작년부터 증가하고 내용도 구체적이 되기 시작하였다. 특히 미국에서는 MIT, GE社, WH社가 MW급의 試作品을 소개하고 있으며, NBS도 유우저를 編入한 개발계획을 가지고 있다고 한다. 영국에서는 IRD가 열심히 계획을 세우고 있다고 한다.

#### 4. 超轉導 回轉機 개발상의 문제점

超電導性, 超電導線, 超電導 코일 등의 고유한 문제는 일반적인 超電導 應用技術에 관한 것과 동일하다. 예를들면, 더욱 空間 利用率이 좋은 發電機로 하려고 磁界를 높여 나가면, 그림 2의 경계를 초과하는 데 즉한 코일安定化 技術이 더욱 臨界磁界가 높은 超電導線이 필요해진다. 이 문제는 생략하기로 하고, 여기서는 超電導 回轉機이기 때문의 기술상의 문제점을 들어 보기로 한다.

설명의 도음을 위하여 그림 6과 같은 모델 超電導 回轉機를 생각해 보기로 한다.

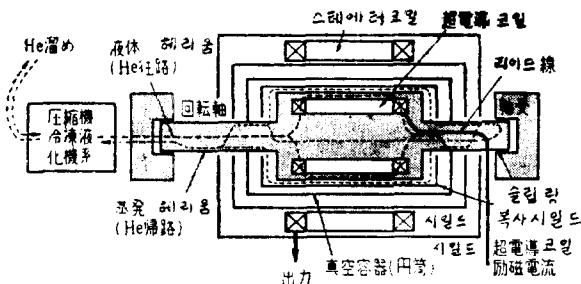


그림 6. 모델 超電導 回轉機

眞空容器는 超電導 界磁 코일 6을 수납하는 回轉 듀위이며, 液體 헬륨槽과의 사이는 蒸發 氣에 의해서 냉각된 시일드板이나 多層 斷熱層이 넣어져 있는데 적어도  $10^{-4}$  torr의 眞空은 확보되어 있어야 한다. 眞空에 대해서는 外氣에 대한 氣密 보다도 液體 헬륨槽로부터의 누설이나 시일드層으로부터의 出氣가 문제가 된다. 眞空斷熱의 다음의 문제가 되는 것은 回轉軸으로부터의 熱 傳導를 감소시키는 것이다. 鐵心이 없다고는 하더라도 重量물을 엄밀한 밸런스를 취하여 高速 回轉시키는 軸은 견고한 것이 아닐 수 없다. 면밀한 強度 설계와 재료를 선택한 후에 또한 軸을 연하는 熱傳導를 감소시키는 특수한 기술이 필요하다. 그림과 같이 軸의 內壁을 증발 氣로 냉각시키는 방법이 이용된다. 이 설계는 逆流 熱 交換器의 그것과

동일하다.

마지막으로 이 가스를 회전 듀위로부터 빼 내는 데에 液體 헬륨 注入과 동일한 기술이 필요하다. 회전 듀위에 도입된 액체 헬륨은 원심력으로 액체 헬륨槽의 벽에 밀려져 그곳에 있는 超電導 코일을 냉각시키는데, 超電導 코일의 확산에 매치된 액체 헬륨의 작용이 얻어지는 냉각 채널의 설계가 필요하다. 액체 헬륨에 작용하는 원심력은 回轉數와 回轉子 直徑으로 결정되며, 액체 헬륨에는 압력이 되어 작용한다. 이 압력은 액체 헬륨의 물리적 상태를 바꾸며 듀위내의 온도가 상승한다. 온도상승이 超電導體의 臨界온도에 근접하는 일도 있다. 예를들면 12,000rpm의 직경 30cm의 듀위내에는 7k 가까이 된다는 계산이 있다. 스테이터에 교류가 흐르면 운전중에 과도적 현상이 들어감으로써 생기는 交流磁界에서 超電導 코일을 보호하는 시일드 7이나 듀위내 시일드의 渦電流損의 제거도 필요하다.

이렇게 보면 超電導 回轉機의 문제점의 대부분이 냉각이나 斷熱에 관련되고 있는 것을 알 수 있다. 실제로 헬륨液化·冷凍 시스템을 어떻게 超電導 回轉機와 결합시키려는가는 超電導 回轉機의 斷熱기술의 레벨에 따르기도 하지만, 液化 冷凍系의 개발에 의존하는 면이 크며, 이에 의해서 超電導 回轉機의 가능성, 경제성 그리고 규모가 결정되어 버린다. 이 밖에 超電導 코일의 異常에 따라 超電導 回轉機의 보호를 도모하는 시인크스, 系의 동작 등도 기술적으로 확립시켜 두어야 한다. 이 문제의 기본은 이미 대형 물리실험용 超電導 電磁石운전을 위해서 개발되고 있다.

이상, 超電導 回轉機의 개발 현상, 기술적 문제를 살펴 보았다. 장래의 電力공급에 참여하는 本命이라고 할 수 있는 超電導 同期機의 개발은 國外에서는 MW급 까지 진행되고 있는데 반하여 우리나라의 活動은 볼 수가 없는 형편이다. 에너지 사정, 諸 外國의 정세를 감안할때 이에 대한 관심이 요구되는바 크다.

그러면 이와같은 현상 아래서 우리들이 超電導 同期發電機 개발의 스타아트를 끊고자 할때 어떻게 개발 활동을 전개해 나가야 할 것인가.

우리나라에서는 경제성을 무시한 특수 사명의 기가 개발을 강인하게 수행한다는 기회는 우선 얻을 수가 없다. 어떠한 소규모 試作이나 追試 공히 모두 大電力의 경제성이 있는 공급을 목표로 하여 진행되지 않으면 안된다.

그리고 國外라고는 하지만, 既製의 기술이 있고, 경험이 끝난 규모가 존재하는 이상은 그만큼의 현상을 발판으로 한 개발 활동의 방법론이 있을 것이며, 개발 목표의 규모도 있다고 생각된다.

超電導發電機 특히 大電力發電所用의 그것은 MHD  
發電과 같은 직접發電이 완성 하더라도, 核융합과 같  
은 무진장에 가까운 熱源이 얻어지게 되더라도 필요한  
기기이다.

그러므로 新超電導材料의 개발에 의한 냉각온도의  
상승(液體水素溫度 이상)이나, 超臨界 銜륨에 의한

新冷却기술의 발전이 장래, 어떤가에서 이루어지게 될  
것이다. 따라서 現有 기술을 구사한 超電導 同期發電  
機의 개발작업과 더불어 새로 개발되는 要素기술을 도  
입하기 위한 연구 활동이 부단히 계속되게 될 것이  
다.

### 1974年度 定期總會 및 全國大會 開催案内

會員 여러분의 偉勝하심을 仰祝 합니다.

本學會에서는 1974年度 定期總會 및 全國大會(發表會)를 開催하오니 會員 여러분의  
많은 參席 있으시기 바라며 本行事에서 發表코저 하는 會員은 아래 要領에 따라 本學會  
로 送付하시기 바랍니다.

#### 아 래

日 時 : 1974年 1月 25日(金)~26日(土)(2日間)

場 所 : 韓電 講堂

發表種目 : 學術論文, 技術情報, 技術開發報告

發表時間 : 20分 內外

抄 錄 : 200字 原稿紙 10枚 內外

제출마감 : 1974年 1月 10日까지 必着

送 付 處 : 大韓電氣學會(서울 中區 水標洞 11-4 Tel: 27-0213)

슬라이드 準備 : 35mm, 發表者가 準備(모든 發表者는 슬라이드로 發表키로 하  
였으니 各者 持參하시기 바랍니다)

大韓電氣學會長白