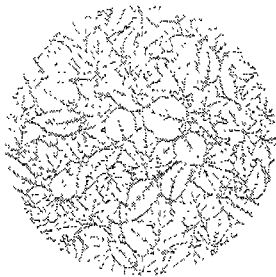
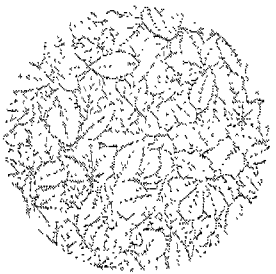


超電導에너지 貯藏裝置



An Energy Storage System
of Super Conductivity



李 承 院

서울대학교工科大學 教授

1. 高效率 新電力貯藏裝置의 必要性

現在 世界的으로 人間이 使用하는 에너지의 約 30%가 電氣에너지이다. 그러나 21世紀에 이르면 40%를 超過할것으로 展望되고 있다. 그리고 이 電氣에너지는 自然的으로는 存在하지 않는다. 自然中에 存在하는 다른 에너지들을 變換시킴으로써 비로서 얻어진다. 이와같이 다른 에너지를 電氣에너지로 바꾸어 가면서까지 電氣에너지가 使用되고 있는 理由로서 첫째는 變換技術의 發達, 둘째는 輸送과 分配의 容易性, 셋째는 無公害性을 들 수 있다. 그리고 制御 계량의 容易性이다.

특히 制御의 容易性은 電子, 通信, 情報處理技術을 現在와 같이 찬란하게 發展하게한 根本 特性이 되고 있다.

그런데 이 電力의 使用狀態는 恒常 一定하지는 않다. 季節, 週 또는 하루中에서도 크게 달라진다. 季節的 使用의 경우 前에는 冬節에 큰 量을 使用한 때가 있었으나 近來에는 冷房需要로 夏節에 負荷가 걸리고 있다. 또 1日中의 變動을 볼때 負荷率을 올리려고 各國마다 努力은 경주하고 있지만 夜間 負荷는 晝間의 半以下가 普通이다. 이는 冬節이나 夜間에는 發電設備가 遊休하게 됨을 意味한다. 이 경우 一部 發電所를 아주 쉬게 하거나 모든 發電所를 定格出力 以下로 運轉하거나 하는 方法이 있을 것으로 생각된다. 쉬게하는 方法중 原子力이나 火力發電所는 起動時間이 오래 걸리기 때문에 困難하다. 또 出力을 減少시키는 경우는 效率이 낮아지며 原子力發電所의 경우는 危險性까지 있어 出力變動은 좋지 않다. 가장 좋은 方法은 低負荷時에 이 電力을 蓄積시키는 方法이다. 또 最近에는 代替에너지源으로서 太陽熱發電, 潮力發電 등이 考慮되고 있는데 이에너지 週期는 우리生活 需要週期와 맞지 않는다. 따라서 貯藏했다가 需要週期에 맞추어서 放出해야 된다.

그래서 電力의 貯藏裝置가 必要하게 되는것이다. 이 에너지貯藏裝置로서는 여러가지 方法이 있겠으나 현재 實用化되고 있는 唯一한 方法은 揚水發電所이다.

揚水發電所에는 上池와 下池가 있어 夜間剩餘 電力으로 下池의 물을 上池로 끌어 올려 물의 位置에너지로 貯藏했다가 運動에너지로 바꾸어 다시 電氣

에너지로 바꾸게 된다. 따라서 效率이 普通 60~70 %밖에 안된다. 數%밖에 안되는 效率低下도 이물 에너지量으로 換算하면 莫大한 量이 된다. 따라서 보다 높은 效率을 갖고 發電所보다 廉價인 에너지貯藏裝置의 開發이 必要한 것이다.

萬一에 거의 損失이 없는 貯藏裝置가 開發되어 既存 發電系統과 有機的으로 結合되고 이에 剩餘電力을 貯藏할 수 있게 되면 發電機의 出力은 變動시키는 일 없이 負荷變動에 應해서 電力을 供給할 수 있게되어 에너지節約은 勿論 投資節約型 發電系統이 될 것이다. 이를 實踐시키고자 考慮되고 있는 것이 近來 世界的인 尖端技術인 超電導體를 使用하는 超電導에너지貯藏裝置(SMES)인 것이다.

2. 超電導現象

1911年 Leiden大學의 Kamerlingh Onnes 教授는 極低溫研究中 水銀의 超電導性을 發見하게 되었다. 卽 水銀의 電氣抵抗이 4.2K에서 完全히 사라져 버린 것이다. 이 같은 現象은 現在 導電用으로 使用되고 있는 常導電체에 있어서와 같은 個個 電子의 自由運動에 依한 電氣電導體와는 本質的으로 다른 集團的 量子效果에 起因하는 完全히 새로운 電導現象으로서 電氣界에 革新을 招來할 現象인 것이다.

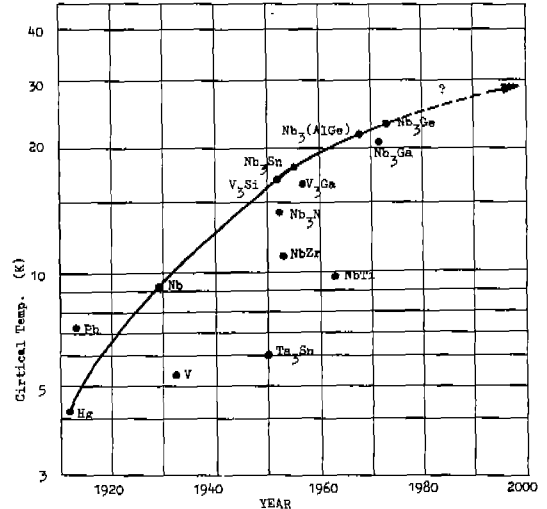
Onnes教授가 이러한 奇異한 現象을 發見하자 많은 科學者들이 이에 關한 研究를 거듭하여 超電導現象을 나타내는 많은 物質 들을 발견하게 되었다. 그리고 이 現象에 對한 여러가지 制約條件도 알아 내게 되었다. 卽 超電導性은 物質의 種類에 따라 各已 相異한 磁界 및 溫度에 限界가 있는 것도 알게 되었다(그림 1).

起電導體는 以上과 같은 特徵以外에도 여러가지가 있는데 이들을 要約하면 다음과 같다.

- ① 電氣抵抗이 없다.
- ② 大電流를 흘릴 수 있다 (銅線의 10³倍)
- ③ 強磁界를 發生시킬 수 있다 (20T)
- ④ 永久電流를 흘릴 수 있다 (10만년 이상)

電氣抵抗이 없다는 것은 電氣抵抗이 낮다는 것과는 本質的으로 다르다. 超電導性이라는 것은 原理的으로 電氣抵抗이 없다는 것이다. 이것은 믿기 어려운 奇異한 사실이다. 만일 現在 使用되고 있는 에너지關係機器를 超電導體로 만들었다고 생각해 보

〈그림-1〉 超電導體와 그 特性



자. 于先 抵抗이 없으니까 일과 關係없이 周圍에 發散되는 Joule熱이 發生하지 않을 것이다. 이는 省 에너지面에서 볼때 革期的인 事實이라 아니할 수 없다. 또 大電流를 흘릴 수 있다는 特徵은 機器를 小形化 할 수 있음을 말하는 것으로서 省資源面으로 보아 아주 바람직한 現象이다. 또 高磁界를 만들 수 있다는 事實도 大電流를 흘릴 수 있다는 事實과 더불어 各種 電磁石을 必要로 하는 電氣에너지 變換機器를 小形化하는데 寄與하게 될 것이다.

다음에 超電導의 永久電流特徵인데 이亦是 神秘스럽고 理解하기 어려운 性質이다. 常導體로 製作된 코일에 電壓을 加해서 電流를 흘리다가 電壓을 除去할 경우 그 電流는 아무리 큰 코일이라 할지라도 1/10秒內에 사라져 버리는데 起電體로 만들면 10萬年 아니 永久히 繼續 電流가 흐른다는 것이다. 바로 超電導體의 이性質을 利用해서 超電導 코일을 만들어 이에 電氣에너지를 貯藏하자는 것이 超電導에너지貯藏裝置인 것이다.

3. 超電導에너지貯藏裝置의 原理와 그 特徵

超電導코일에 永久電流를 흘릴 수 있다는 것은 超電導體의 無抵抗性에 起因하는 것으로서 抵抗이 없으므로 코일의 時定數가 無限대가 되기 때문이다. 卽 電壓을 加했다가 除去하더라도 그 電流는 永久히 흐르는 것이다. 따라서 永久히 電磁에너지로서

電氣에너지를 貯藏할 수 있는 것이다.

이 경우 그 平均磁束密度가 B라고 하면 $W = \frac{1}{2} \frac{1}{\mu_0} B^2$ [J/m³]의 密度로 에너지를 貯藏할 수 있게 되는 것이다. 여기서 μ_0 는 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m이며 超電導 코일로 B=5 T가 되게하면 m³당 10⁷J의 에너지를 저장할 수 있게 된다. 따라서 直徑 200m 높이 100m의 超電導코일을 만들고 그 平均 磁界가 5 T가 되게하면 3×10^{13} J의 에너지 即 10,000M Wh의 에너지를 貯藏할 수 있다. 이것은 大型揚水發電所와 맞먹는 容量이다.

여기서 10,000M Wh의 揚水發電所의 規模를 한번 생각해 보기로 하자. 揚水發電所에 있어서 貯水量을 M [m³], 落差를 h[m]라고 할 것 같으면 그 貯藏 에너지量 W [J]은 $W = M \cdot g \cdot h \times 10^9$ [J]이므로 h=300 [m]라고 하면 貯水量이 1.22×10^7 m³이 되어야 한다. 이것은 直徑이 1km가 되고 깊이가 15m가 되는 上池 下池가 있어야 함을 뜻한다. 勿論 그間의 落差는 300m가 되어야 한다. 이 例로 보아 超電導 코일의 경우에 그 施設規模가 훨씬 작다는 것을 알 수 있으며 또 超電導貯藏裝置에 있어 超電導코일 自体의 效率는 100%이고 그 附帶施設에서만 損失이 發生하기 때문에 現揚水發電所보다 그 效率가 25%나 좋다. 即 10,000M Wh의 揚水發電所의 경우보다 하루 2,500M Wh의 電力이 節約된다.

또 이 에너지貯藏裝置는 揚水發電所를 훨씬 능가하는 長點이 있는데 그것은 高應答度(10msec內)로서 發電機故障時 遲滯없이 저장에너지를 系統에 放出시킬 수가 있어 連鎖反應에 依한 系統事故 波及을 막을 수 있어 大型 停電 等の 事故가 發生하지 않게 할 수 있는 特徵이다. 이런點을 考慮할때 超電導에너지貯藏裝置는 揚水發電所가 아니라도 다른 어떤 貯藏裝置보다도 우수한 貯藏裝置임을 짐작할 수 있을 것이다.

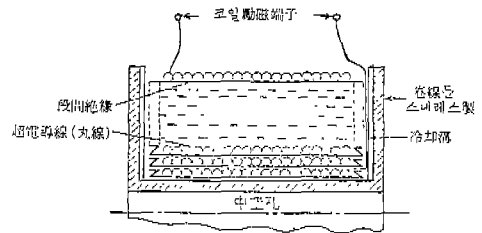
4. 超電導에너지貯藏裝置의 構成

가. 一般에너지저장 超電導磁石의 構成과 安定化方案

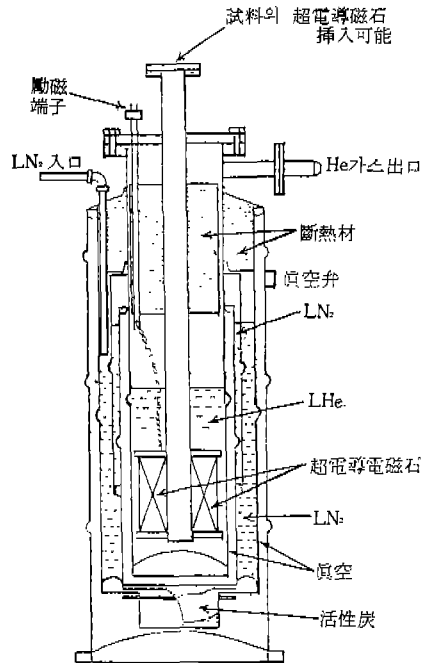
超電導에너지 저장장치는 그 主體는 勿論 超電導 코일이다. 小型의 경우는 單心丸線을 使用한다. 이

경우는 常電導로의 轉移現象이 別로 일어나지 않으므로 그 防止策은 쓰지 않으며 그 構造는 大略 그림 2와 같다. 코일은 스테레스 또는 알루미늄의 円筒 상에 纒말 등으로 皮복한 것을 多段多列로 密着시켜야 한다. 이 경우 金屬円筒을 使用한것 外에는 一般變壓器의 卷線法과 다를 것이 없다. 그리고 電線 相互間 코일과 円筒間을 固着시키기 爲해서 變壓器에서는 바니쉬 處理를 하는데 起電導코일의 경우는 그리스를 浸込시킨다. 그리스는 低溫에서 굳어져서 코일의 耐電磁力性을 向上시키기 때문이다.

이렇게 만들어진 超電導 코일을 그림 3과 같이 크라이오스타드내에 收納 液体He에 침적狀態에서 使用한다.



(그림 2) 小型 超電導磁石



(그림- 3) 磁石과 크라이오스타드

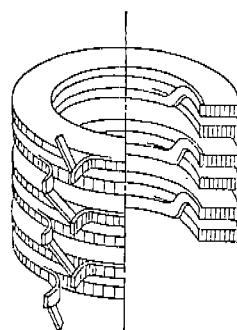
以上은 小型의 경우이고 大型超電導코일의 경우는 安定化에 對한 配慮를 해야 한다. 超電導코일의 不安定現象이란 (1)電流劣化現象(Current degradation effect) (2)低磁界 不安定性(low field instability) (3) 트레이닝 現象(training effect)으로서 大型超電導코일 製作時 留意해야할 點이다. 이 3가지 不安定現象은 超電導체가 원래 지니고 있는것으로서 이것을 完全히 理解하고 있어야 超電導코일을 設計할 수 가 있다. 그러나 여기에서는 생략하고 이에 對한 對策으로서 製作上 留意해야할 點에 對해서만 考慮해 보기로 하겠다. 超電導코일이 常電導體로 轉移하지 않게 하기 爲해서는 磁束浸入速度를 抑制해서 溫度上昇을 적게하는 動的 安定化法과 磁束이 侵入하더라도 溫度上昇이 커지지 않게 하는 斷熱的 安定化法이 있는데 動的安定化를 期하기 爲해서는 超電導線 周圍를 電氣抵抗이 낮은 金屬 即 銅이나 알루미늄 또는 銀을 被覆시키든가 銅시트를 超電導卷線層間에 挿入해서 急速한 磁束移動이 있을 경우 銅에 誘導電流가 흘러 磁束移動을 抑制함으로써 動的安定性을 向上시킬 수 가 있다. 이 경우 動的安定性을 더욱 높이기 爲해서는 超電導層을 可能한限 얇게하고 銅을 많이 써야 한다. 그러나 超電導체와 銅의 熱的 接觸이 나쁘고 銅의 冷却이 充分하지 않으면 溫度가 上昇하게 되어 極히 小型의 경우 以外는 이 方法만 가지고는 安定을 期할 수 가 없다.

이러한 경우에는 斷熱的安定化도 追加實施해야한다. 斷熱狀態의 超電導체에 磁束 跳躍이 일어나지 않게 하기 爲해서는 超電導체의 比熱을 크게 해서 熱發生으로 因한 溫度上昇을 적게하는 方法이 있을 수 있는데 이를 爲해서는 前記한 銅($0.9 \times 10^3 \text{ T/m}^3$)보다 鉛($1.1 \times 10^4 \text{ T/m}^3$)과 같이 比熱이 큰 것을 使用하는 것이 좋으나 超電導체와의 熱的接觸이 困難하기 때문에 實現시키기가 어렵다.

그래서 現在로는 超電導線材의 直徑을 가늘게 해서 磁界의 侵入으로 因한 熱發生을 적게 하는 方法을 採擇하고 있다. 이 方法에 依할 경우 電流密度도 크게 할 수 있고 磁界變化로 因한 損失도 적기 때문에 特히 交流用에 適合하다. 이 경우 細狀은 필라멘트狀이 된다. 이 경우 필라멘트狀의 單線으로 코일을 만들기는 機械的 強度도 弱하고 電流量도 적어서 卷回數가 많아지기 때문에 인덕턴스가 커져서 困難하게 된다. 그래서 필라멘트를 다발로 만들

어 使用한다. 이 경우 이것을 極細多心線이라고 부르는데 이것은 製作上和 機械的인 強度문제 때문에 銅이나 니켈 같은 常電導體母材에 超電導 필라멘트를 埋込해서 만든다.

그리고 코일을 成形할때는 液体헤름에 對한 放熱面積을 充分히 갖도록함과 同時에 電磁力에 對해서 充分한 機械的 強度를 갖게 하기 爲해서 大概是 變壓器에서 가장 많이 쓰이는 円板構造로 한다. 그림 4는 이것을 表示한 것으로서 円板形 2枚를 한쌍으로해서 여러 짝을 쌓아놓고 外部에서 차례로 接續해서 코일로 製作한다. 그리고 銅帶의 側面이 液体헤름과 接續케 해서 冷却도록한다. 코일이 커져서

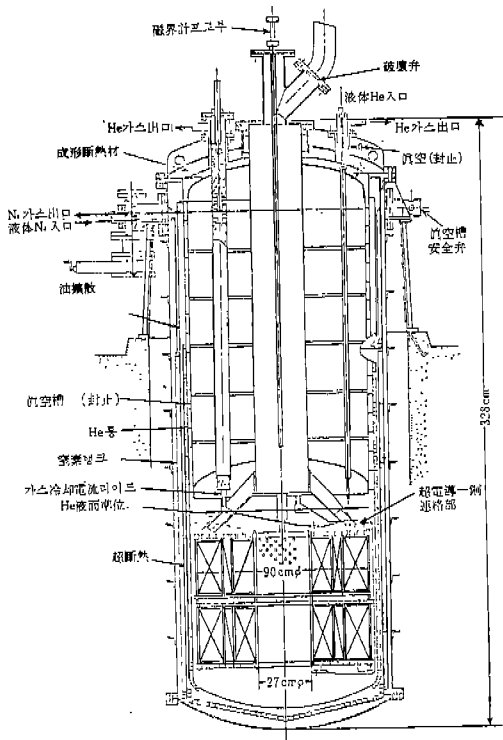


〈그림-4〉 円板코일

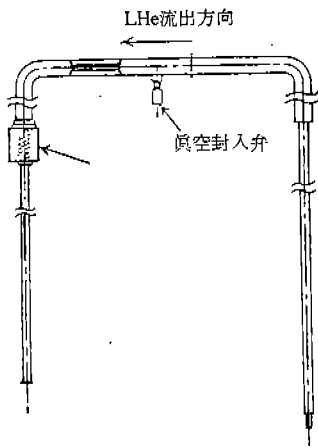
側面面積만 가지고는 不足할 경우는 卷回數間에도 간격편을 두어서 冷却面積을 크게 해야한다. 이렇게 製作된 코일은 스프링으로 製作된 卷線통에 絶緣레이를 이용해서 積層한다음 그림 5와 같은 크라이오스타트에 收納液体헤름을 注入해서 冷却使用한다. 크라이오스타드의무경은 幅射對流에 依한 熱侵入을 抑制하는 構造로 되어 있고 이에 電流를 供給하기爲한 電流리이드가 있다. 電流리이드로부터의 熱侵入을 最小限으로 줄이기 爲해서 蒸發한 헤름가스를 電流리이드가 들어 있는 파이프를 通하게 함으로써 冷却시킬 수 있게 되어 있다. 其他 이에는 冷却체의 注入口 蒸發가스의 出口 安全弁 磁界測定用 푸로부等の 附屬品이 부착되어 있다.

液体헤름을 貯液容器로부터 크라이오스파트로 移送하기 爲해서는 移送管이 필요한데 이것은 2重眞空파이프로서 그림 6에 表示한바와 같으며 途中에 停止弁이 붙어있다.

나. 大型電力貯藏用 에너지貯藏裝置의 構成



〈그림-5〉 磁石과 크라이오스타드



〈그림 6〉 트린스와 튜브

(1) 設計時 考慮해야할 要件

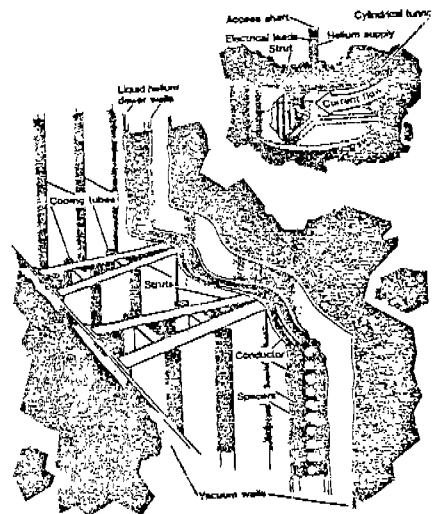
一般에 너지 貯藏用 電磁石의 構成에 對한 基本要素는 이미 說明한바 있는데 揚水發電所를 代身 할 수 있는 大型電力貯藏裝置는 아직 建設된 바 없어

實存하는 裝置에 對해 그의 裝置의 構成을 寫實의 으로 說明할 수는 없다. 우선 構成上 考慮해야할 點을 記述해 보기로 한다.

設計上 考慮해야할 條件을 들어보면 可能한限 高磁界, 高電流密度가 되게 하고 펄스作動이 可能해야 하며 效率의 으로 冷却이 되는 構造이어야 하며 充分한 絶緣耐力를 가지고 電磁力에 對한 耐力構造가 經濟的이 되도록 해야한다.

이를 위해서 最近까지 設計上 考慮되고 있는 가장 合理의 方法을 本誌 같은 電磁力에 견디기 爲해서는 岩盤內에 設置를 하며 D.C貯藏方式으로 하고 系統과는 3中 다이리스터 부리지로 連結하고 코일은 單層소레노이드로 해서 이의 岩盤에의 支持는 에폭시수거로 하고 導體로서는 Al-NbTi.을 使用하고 形態는 波狀形으로 하여 冷却劑로서는 1.8 K液体He을 使用하는 것이 가장 合理의 方法으로 생각되고 있다.

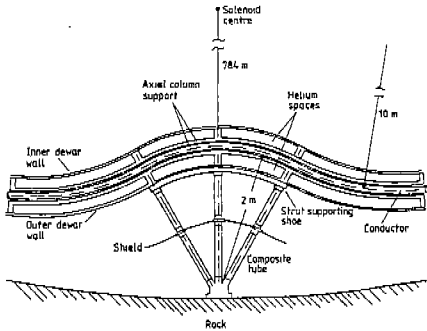
D.C磁石으로 하는 理由로서는 Ac로할 경우에 發生하는 펄스影響 低電流密度, 高損失, 不安定性, 冷却에 미치는 惡影響 때문이다. 그리고 이의 A.C 시스템과의 연결을 다이리스터 부리지로된 인터케이스로서 充分히 解決되기 때문이다. 그리고 耐電磁力구조로서 岩盤內 플라스틱 支持로 하는 理由는 이를 스테레스틸로 할 경우 그 비용이 엄청나기 때문이다. 또 코일을 單層소레노이드로 하는 것은 卷回數를 줄이고 또 冷却媒의 流通을 良好하게 하기



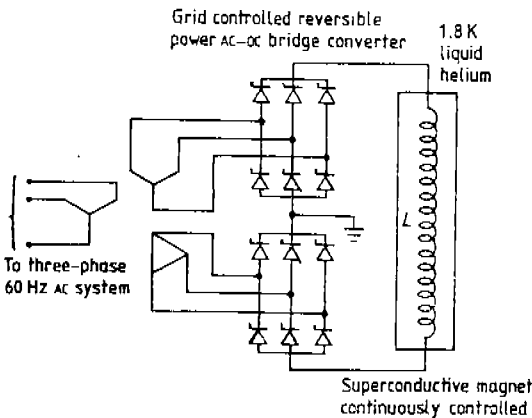
〈그림-7〉 大型電力貯藏裝置

爲해서이다. 또 導體를 波狀形으로 하는것은 磁場 張力を 줄이기 爲해서이다. NbTi 導體의 使用에 있어서는 그安定化를 爲한 特別한 措置가 考慮되어야 한다. 또 冷却體로서 1.8k HeII가 考慮되고 있는 것은 熱傳導를 좋게 하기 爲해서이다.

以上과 같은 考慮下에 大形超電導에너지貯藏裝置를 圖示한것이 그림 7 및 그림 8이고 AC-DC 電力變換裝置가 그림 9이며 이의 系統과의 連結을 表示한 것이 그림 10이다.



〈그림- 8〉 코일과 지지법

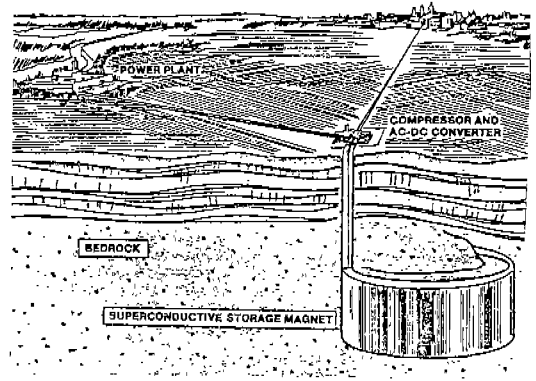


〈그림- 9〉 AC-DC 變換裝置

현재까지 연구된 結果에 따라 設計可能한 起電導 電力貯藏裝置의 仕樣의 例를 表 1에 表示하였다.

5. 冷却法

超電導는 極低溫에서 일어나는 現象이기 때문에 超電導性을 發揮하게 할려면 이를 冷却 시켜야하는



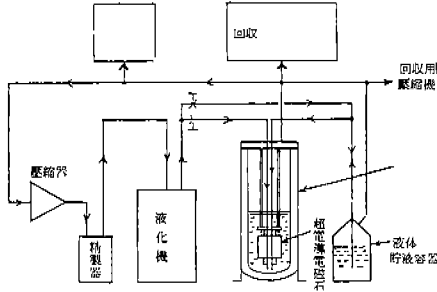
〈그림- 10〉 超電導貯藏裝置가 連結된 電力系統圖

〈表- 1〉 SMES의 大略仕樣

	1,000MWH	10,000MWH
지속밀도	5 T	5 T
도체온도	1.8° K	1.8° K
코일직경	96 m	206 m
코일높이	48 m	103 m
도체직경	8 cm	8 cm
도체재료	NbTi Cu Al	
코일권수	1,968	3,660
인덕탄스	157,000 H	157,000 H
사용Al 량	8,000 t	36,000 t
액체He량	1.25 10 ⁴	6 10 ⁶
총반경 방향응력	1.15 10 ¹¹ N	5.32 10 ¹¹ N
총축방향 응력	1.10 10 ¹¹ N	5.10 10 ¹¹ N
Nb-Ti 중력	160 t	710 t

데 現在까지 發見된 超電導는 그림 1에 表示한바와 같이 水銀의 4.2K로 시작해서 Nb₃Ge의 23K까지 分布되어 있다. 이는 極低溫級溫度로서 現在로서는 液体He에 依해서만이 實現될 수 없는 溫度인 것이다. 따라서 保溫容器내에 起電導코일을 놓고 이에 液体He을 注入해야 하는데 大形인 경우에는 그 蒸發分을 補充繼續使用하기 爲해서 液化機 液体He貯藏容器, 에너지貯藏코일容器를 連結하는 그림 11에 表示한바와 같은 循環回路를 構成하는 冷却系統이 必要하게 된다. 이系統의 運轉順序를 說明해 보기로 하겠다. 于先 液化機의 壓縮機를 運轉 He가스를 液体窒素 熱交換器를 통해서 貯液容器內로 흘려 80K 정도까지 冷却시킨다. 그다음 膨脹機

6. 超電導에너지 貯藏裝置의 效率

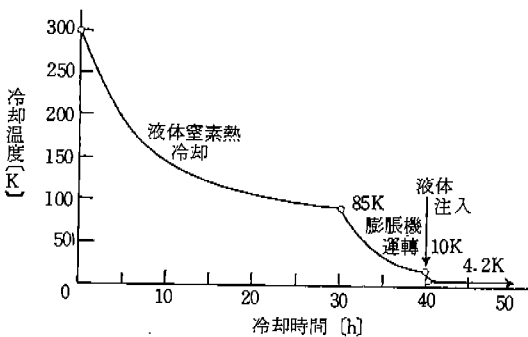


(그림-11) 冷却系統圖

(液化機 내장)를 돌려 貯液容器에 液体He을 貯液한다. 다음에 液化機를 冷凍機로 運轉 寒冷He을 크라이오스타드에 흘려 그内部를 10K 程度로 冷却시킨다. 이경우 急冷이 되어 電磁石과 크라이오스타드相互間 또는 電磁石内部에 溫度差로 인한 歪曲이 생겨 局部的으로 破損되는 일이 없도록 注意해야 한다.

内部電磁石이 10K 程度까지 冷却된후 液体He을 貯藏容器에 注入한다. 注入量은 蒸發되는 He 가스를 回收系에서 處理할 수 있는 程度로 한다. 이경의 液体He의 注入은 電磁石의 下部로부터 해야 한다. 그리고 液体He는 電磁石 上部가 다 채워질때 까지 한다. 以上の 過程을 表示한것이 그림12이다. 注入後는 크라이오스타드로부터 蒸發하는 He을 補充할 수 있을만큼 液化機를 運轉한다. 以上の 冷却方法이 그대로 電力貯藏用裝置에 適用되는 것은 아니지만 一般的인 冷却機能의 必要過程을 理解할 수 있을것으로 생각된다.

(a) 大形超電導磁石冷却



(그림-12) 冷却過程

前記한바와 같이 現在 電力貯藏裝置로서 唯一하게 使用되고 있는 揚水發電所의 效率는 아주 낮아 (65%~70%), 高效率裝置가 必要하게 되어 考案되고 있는 것이 바로 이 SMES인것이다. 勿論 이런 것이 에너지放出의 速應性 때문에 系統安全에 크게 奇與할 수 있는 能力도 가지고 있지만 主된 目的은 高效率는 高效率에너지 貯藏裝置로서 使用하자는 것이다. 따라서 이의 效率에 關한 論議를 해볼 必要가 있다. 에너지 貯藏裝置의 效率이라면 貯藏에너지 (E_s)에 對한 損失(ΔE)를 除外한 것과의 比를 말한다.

지금 效率를 $Y(\%)$ 라고 하면

$$Y = (E_s - \Delta E) / E_s \times 100$$

損失의 發生時期를 分割해 보면

- ① 充電時
- ② 에너지 貯藏時
- ③ 發電時
- ④ 休止時

로 나눌 수 있는데 大概의 경우는 ④항은 必要치 않으나 SMES는 運轉休止中에도 起電導코일은 冷却해둘 必要가 있어 冷凍機系를 運轉시키고 있어야 하므로 ④항의 경우에도 損失은 計算에 들어야 한다. 或者是 이 損失은 運營費로 看做 SMES 效率計算에 考慮하지 않으므로서 SMES의 效率를 97%나 되게 생각하기도 하나 여기에서는 이것도 SMES效率에 反映시키기로 하겠다. SMES의 損失은

① 다이리스터變換器損失: 變換器, 다이리스터 및 配線損失

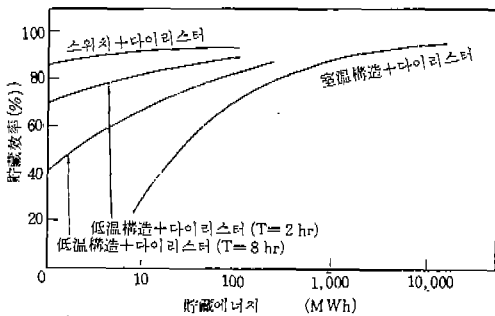
② 冷却系의 損失: 磁石의 熱負荷, 뉴어의 熱負荷.

로서 이중 ①항의 損失은 各部의 손실은 그 部分의 抵抗損으로서 充放電時間과 系統電壓에 關係되며 變壓器 및 配線損失은 $E_{TR} = \frac{V^2}{3L^2} R_T T^2$, SCR損失은 $E_{SR} = \frac{V}{2L} V_R T^2$ 으로 表示되며 冷却系의 損失은 表2와 같다.

以上の 것을 綜合하여 圖示하면 그림13과 같다. 이 그림을 보면 揚水發電所를 代身할 수 있는 1000 MWh以上的의 것으로서 그 效率이 90% 以上이 되려

〈表- 2〉 SMES의 損失

손 실 · 용량		10 (MWH)	1000 (MWH)	10,000 (MWH)
코 일 발 열	히스테리시스손	0.231	5.15	23,94
	와전류손	0.084	0.90	0,96
	Twist 손	0.455	4.93	5,20
	기계적히스테리시스	0.004	0.08	0,39
	FRP지지대			
열 침 입	1.8°K에서 손실	1.649	35.00	164,90
	20°K에서 손실	1.759	37.34	175,90
	70°K에서 손실	1.745	37.04	174,50
	부 사	0.515	1.09	5,15
	Lead 선	0.90	0.90	0,90



〈그림- 13〉 SMES의 效率

면 室温構造로서 適合한 方式은 岩盤構造가 가장 適合함을 알 수 있다. 그리고 現在로서는 90% 이상의 效率이 經濟性을 띠게 함으로써 얻을 수 있는 것으로 展望되고 있다.

7. 技術的信賴性

信賴性으로서 檢討되어야 할 對象은 첫째로, 켈칭에 對한 技術的 問題, 둘째는 人体와 環境에 對한 磁氣의 影響問題, 셋째는 出力端短絡時의 電氣의 安全性問題를 들 수 있다. 이 경우 貯水池냄이 무너지는 것과 같은 現象이 絶對로 있어서는 안된다.

超電導에 對한 技術的 問題點이라는 것은 原因에 依해서 超電導의 局所에 常電導가 發生하더라도 그것이 山沙汰처럼 擴散되는 일이 없도록 하는 것이다. 이에 對해서는 이미 그 對策으로서 線材의 形態 코일의 製作法 등에 對해서 이미 言及한바 있다. 即 完全安全化한 超電導體를 使用해야하며 그 電流容量은 安全率을 考慮해서 定해야 한다. 또 퀸치(Q_u

ench)가 發生하더라도 貯藏에너지를 外部保護 抵抗에서 消費되도록 하던가 다른 貯藏裝置로 옮기도록 해야 한다.

다음 또하나의 問題點은 磁氣의 人体에 미치는 影響이다. 이것은 大端히 複雜하며 또 科學的 判斷에 依해서만 그 安全性을 保障하기는 어렵다. SME S의 경우 大體的으로 市街地에 建設하지 않는 限 一般人에 對해서는 別問題가 없을 것으로 思料된다. 그 裝置를 運轉하는 사람에 對해서는 問題가 있을 것으로 생각된다. 磁氣의 生物學的 效果에 對해서는 明白한 醫學的 資料가 없다. 다만 美國의 스텐포드 大學의 加速器센터에서 採用하고 있는 허용 자기 피폭량을 보면 표 3과 같으며 이것은 10,000MWh 급장치의 코일中心에서 半徑 530m이내에 있어서의 磁速密度 (200G)에 該當한다.

〈表- 3〉 허용자기피폭량

	장기 (시간단위)	단기 (분단위)
전신 혹은 머리	200 G	2,000 G
손 및 팔	2,000 G	20,000 G

8. 經濟性

揚水發電所規模 (1000~10,000MWh) 로서는 現在에 있어서 SMES가 가장 經濟的인 것으로 判斷되고 있다. 日本에 있어서의 電力貯藏裝置別 1977年度 建設單價를 表示한 것이 표 4이다. 勿論 SMES를 實際로 建設해보지 않는 現時點에서 이 data는 絶對的信憑性이 있는 것은 아니나 SMES에 關聯技術의 開發과 더불어 SMES側이 漸次有利해질 것으로 判斷된다. 그 증거로서 Wisconsin大學의 4차례

〈表- 4〉 SMES發電費用 評價推移

	單位千円/kW	注
揚水發電所	76	1
地下水力	25~33	1
壓縮空氣	47~67	2
從來蓄電池	13~20	"
將來蓄電池	13~20	"
超電導 에너지 貯藏	13~18	"

(表-5) 貯藏裝置別 發電單價

機別設計 및 評價의 年代	發電費用 (Mill/kWh)*	
	年間 365 日稼動	年間 260 日稼動
1970	101	
1974	22.1	
1976	18.7	
1978	19.2	24.8

에 걸친 SMES의 發電單價算出結果를 보더라도 짐작이 간다. 即 評價時點에 있어서의 設計方針과 方法의 進步 新材料의 開發等에 따라 그 經濟性이 向上된 것이다. 此外에 SMES는 스펙메리트가 있다. 即 그 規模를 크게 하면 할수록 建設單價가 싸진다.

9. SMES의 展望

現在는 電力會社가 巨大投資에 依해 集約形 發電形態를 取하고 있으나 將來의 에너지源은 再生系의 에너지로 移行될 조짐을 보이고 있다. 이 경우 現在와 같은 集約型으로서는 增殖爐 發電이 有望하며 分配型으로서는 太陽에너지가 考慮對象이 될 것으로 짐작이 된다. 이 두가지만을 比較해서 集約型이 될것이나 分散型이 될것이나를 論하는것은 妥當性이 稀薄하겠지만 思考의 한 方式이 될 수 있다고 생각한다. 이 두가지 경우를 놓고 볼 경우 增殖爐에 依한 電力料과 太陽熱素子の 生産費의 節減으로 이에 依한 電力料를 比較해서 有利하게 되는 쪽으로 기울게 될것이다. 따라서 이런 경우를 合해서 現在 莫重한 投資에 依해 集約的 發電事業체로서 運營되고 있는 電力會社는 發電費用의 低減을 爲해서 恒常 留意하고 이의 關聯技術開發과 投資에 인식해서 는 안될것으로 믿는다. 이의 低減을 爲한 具體的 問題로서는 發電 및 供給系의 效率向上이라고 볼 수 있다. 이에 對한 努力은 꾸준히 持續시킴으로써 다가오는 여러가지 問題에 對處해 나갈 수 밖에 없을것이다. 이에 關聯된 問題로서 주로 에너지 變換效率과 그 經濟效果로서의 單價에 對한 部門에만 神經을 썼지 負荷週期와의 關聯性에 關해서는 많은 神經을 쓰지 않는 傾向이 있으며 특히 새로 開發되는 에너지에 對해서 그러하다. 이미 記述한바와 같이 이러한 경우를 爲해서 現在까지 對處해온 方式이

揚水發電所에 依한 電力貯藏이었는데 이에 對한 認識이 過去와는 달라져야 한다. 即 原子力發電所의 占有率이 높아져 가고 있고 太陽熱, 潮力發電等이 考慮되고 있는 이때 尖頭負荷에 對한 對應策이 아니라 純雜한 意味에서 貯藏發電所 次元에서 다루어져야 한다. 그런데 前記한바와 같이 揚水發電所는 그 效率이 60~70%로서 아주 效率이 나쁘다. 이것을 發電所 次元으로 볼때 이렇게 效率이 낮은 發電所의 運營을 계속 許容할 수 있을까 특히 揚水發電所의 경우 그 入力이 電力임을 감안할때 最低히 容納될 수 없을것으로 思料된다. 本稿에서 取扱하고 있는 SMES는 그 貯藏率이 90%以上 充放電 所要 時間 $\frac{5}{100}$ sec이라는 놀랄만한 特性을 가지고 있을 뿐 아니라 運轉이 全部電氣의이어서 便利하며 高效率인 關係로 技術開發趨勢에 따라 小形分散型도 可能할 것으로 생각되는바 電力界에서의 採擇은 絕對的으로 이루어져야 한다고 믿어진다.

이미 各國에서 現在 많은 研究가 進行되고 있어 10數年내에 電力界에 革新的 貢獻을 할 超電導에너지 貯藏時代가 到來할 것으로 展望되고 있다. 따라서 우리나라에서도 이 超電導에너지貯藏裝置開發에 着手하지 않으면 前記한 바와 같이 不遠到來할 超電導에너지 貯藏에 對處할 수 없어 이 惠擇을 입을 수가 없을 것이므로 時間을 다투어 이 技術習得의 技術者 養成 및 研究開發에 着手해야 할 것으로 믿는다.

그리고 그 效果가 큰 만큼 開發單位도 커서 1個人이나 1個團體의 힘만으로서는 力不足일 것이므로 國家를 비롯해서 各關聯 社會團體 企業체가 協心努力하지 않으면 안될 것이다. 또 關聯技術도 電氣, 電子, 機械, 金屬, 土木等 廣範圍하므로 이 分野關聯 科學技術者의 協力으로 基礎로부터의 着實한 技術蓄積에 依해 비로서 이룰 수 있다고 생각된다.