

Energy處理 過程에서의

電氣機器의 高効率化

1. 緒 言

1840년대 T. Young에 의하여 「Energy」라는 말이 쓰여지게 되기 훨씬 이전부터 energy는 널리 이용되어 왔다. 직접으로는 太陽 energy를 받아서 간접으로는 이런 energy가 지구상의 動植物의 生成 및 이의 장기간의 潛在變換過程을 거친 化石燃料를 통하여 이용되어 왔다.

그리하여 이러한 energy가 蓄積, 變換 및 發散이라는 過程을 거치는 가운데 地球상의 모든 生體가 生氣를 갖게 된다는 것은 다 아는 사실이며, 이를 W. Thomson은 energy의 散逸이라는 개념으로 표시하였다. 이런 가운데는 energy의 保存法則이 엄격히 적용된다는 것을 H. Helmholtz가 말하고 있으며, 우리들은 다만 이러한 energy變換過程을 교묘히 이용하여 필요한 energy를 취득하고 있는 데 불과하다.

energy變換過程에서 電氣機器의 役割이 脚光을 받기 시작한 것은 M. Farady의 誘導電流의 발견과 이를 체계화시킨 C. Maxwell의 電磁理論의 확립으로 他 energy의 電氣 energy로의 變換이 용이하고 그리고 效率의 高으로 이루어짐을 알게 됨으로 부터이다. 그러나 초창기에는 電氣機器의 利用의 便利性만이 주된 關心事였고 經濟性과 그 副作用에 대한 문제는 훨씬 뒤에 수요가 增大함에 따라 考慮하기 시작하였다.

電氣機器의 便利性은 1930년대에 와서 경제성점을 거친 나머지 점차 정돈되어 電磁機構學의 면에서는 더 이상 修正을 가할 필요성을 느끼지 못하게 되었고, 다만 導電材料, 磁氣材料 및 絕緣材料 중 絕緣材料의 開發만이 보다 효율적이고 經濟성이 있는 電氣機器를 낳게 될 것이라고 보아왔다. 그러나, 현재 高分子材料의 급속한 개발로 經濟性面에서는 어느 정도 進展이 있으나 括目할만한 번진은 없고, 電力用 導體材料의 開發로 여러가지 電氣機器 중 效率과 經濟性이 낮은 것의

應用이 經濟성이 좋은 것의 應用으로 應用上의 代替가 활발해져 종합적인 經濟성이 높아졌다.

이의 좋은 예가 thyristor에 의한 水銀整流器 및 回轉變流器의 代替, S.C.R에 의한 速度制御特性改善으로 誘導電動機의 直流機에 대한 代替應用등이다.

한편, energy變換過程에서의 發電方式의 改善이 있어서는 人口의 急増과 energy消費의 幾何級數의인 수요증가는 종래의 방식으로는 얼마 안가서 極限狀態에 이르게 될 것이라고 말하고 있다. 여기서 電氣 energy도 그 便利性과 經濟性을 論할 時期는 이미 지났다. energy源泉으로 지금까지 대부분을 의존하여 왔던 化石燃料도 石炭, 石油위기를 맞아 絕對消費量의 억제 절대손실의 감소와 新種 energy源의 개발이 요청되고 效率이 30%미만인 熱力學的變換을 거쳐야하는 종래의 火力發電方式과 같은 Electromechanical energy conversion方式은 再檢討되어야 할 단계에 이르게 되었다. 한편, 新種 energy로서 核分裂反應에 의한 原子力發電所의 增設과 energy의 절대손실을 줄이기 위한 石油의 直接利用이 經濟的인 면에서 유리하다는 것은 요즘 우리나라에서도 石油波動이 일어남을 계기로 사람들의 입에 오르내리게 되었다. 그러나 이들은 人類自滅을 가져올 지 모를 環境汚染(公害)이라는 문제를 낳게 된다. 公害의 規制가 엄격한 미국에서는 環境오염의 제거를 위하여 현재 全 energy消費量의 7.3%의 energy가 필요하며, 1980년에는 이 量이 10%를 상회할 것이라고 한다. 이는 다만 經濟性만을 강조하여 公害를 일으키고 이 公害를 제거하기 위하여 막대한 量의 energy가 다시 쓰여지므로 전체적으로 도리혀 經濟性을 낮게 하는 결과를 낳게 함은 바람직하지 못하므로 公害없는 energy開發과 公害없는 energy소비를 위하여 自然環境과 같이 個個의 變換을 green energy化 하자는 案이 대두하기에 이르렀다. 여기서 green energy의 變換器인 電氣機器의 역할은 보다 더 중요성을 띄게 되었고, 이것의 高効率化가 그 必須要件임을 말할 나이다 없다.

* 正會員 : 釜山工大 教授(工學博士)

2. 發電機器의 起電導化 및 大容量化

核融合反應에 의한 energy變換이 21世紀의 energy供給源이 될 것이라는 말을 흔히 하고 있다. 또한 이때의 發電方式은 M.H.D直接發電方式 등이 논의되고 있음이 사실이다. 이의 근거로서 이것의 energy資源이 아직 未開發分野인 海洋의 바닷물중에 全水素, 0.015% 포함되고 있는 重水素임으로 核融合反應이 이루어졌을 때 무한정한 energy源이 될 것으로 보고 있다. 물론 公害없는 green energy源이라고 한다. 그러나 여기에 다시 다른 公害가 존재함을 제거하는 학자가 있다. 즉, 環境問題에 있어서 人類가 소비하는 energy需給量과 地球가 太陽에서 받는 energy量과의 사이에 平衡이 地球規模에서 다루어져야 하는데, 이것이 energy의 大量消費로 특히 長期間에 걸쳐 축적되었던 化石燃料과 核分裂資源 및 重水素에 포함되었던 energy의 短期間동안의 급격한 放出 및 消費는 energy平衡條件을 깨뜨리는 결과가 된다는 것이다. 다시 말하면 地球에 내려 쏘이는 太陽 energy가 1年間에 5.5×10^{24} joules이라고 하는데, 이 중 34%가 직접 大氣圈밖으로 反射되고 나머지 3.8×10^{24} joule이 大氣圈內에 도달하는데, 지금 全人類가 消費하고 있는 energy總量은 1年間에 2.0×10^{20} joule로서 후자의 0.005%이다. 그런데, 地球規模에서의 energy平衡條件에서 생각하면, 그 비가 0.3%가 되면 自然環境이 파괴된다고 보고 있는데, 原子力이라든가 化石燃料등에 의하여 현재의 60배의 energy消費 및 放出이 短期間 동안에 일어난다면 위험하다고 한다. 그러므로 太陽 energy가 地球상에 내려쬐어 蒸發, 降雨, 降雪, 風力등의 여러가지 變換過程을 거쳐 大氣圈밖으로 빠져 나가는 동안의 過程에서 그 과정을 變化시켜 이용되 自然環境의 energy平衡을 해치지 않는 범위에서의 energy變換利用이 가능하다는 것이다. 지금과 같은 추세로 經濟性만을 고려한 energy利用은 결국에 가서 環境破壞를 防止하여 새로운 energy가 필요하며 도리어 이는 經濟性을 잃게 되는 결과를 갖는다. energy의 開發은 처음부터 環境破壞가 없는 green energy로서의 개발이 이루어져야 하며, 이르기 위하여는 經濟性을 초월한 高効率의 發電機器 및 方式이 또한 大型화된 형태로 이루어져야 할 것이다.

아직 國內에서는 energy資源의 絕對量의 부족으로 이러한 추세의 구체적인 조치는 보이지 않지만 發電方式에서는 大單位發電所의 建立, 古里의 原子力發電所의 設置등이면 한편 傳送方式으로는 서울地方과 蔚山地方사이의 起高壓 345kV送電線建設등이 눈에 띈 뿐이다.

經濟性으로 볼 때 妥當성이 없다고들 하는 분도 있지만 외국에서는 1980년대 1000kV送電線이 필요하다고들 하는 점은 차지하고라도 앞서 말한 관점에서 이러한 試圖는 妥當성이 없는 것도 아니다. 다만 여기에서도 開閉器의 倍率(1.5정도가 희망조건임)의 감소에 의한 變電機器의 絕緣設計改善, 制限電壓이 낮은 避雷器의 開發, 耐汚損碼子의 開發, 靜電誘導電壓, corona損失 通信線의 障害에 대한 對策의 問題解決등이 선결문제이다.

한편, 超電導現象의 發電機器에의 適用은 電氣機器自體의 高効率化를 위하여는 劃期的인 사실이다. 1911년 K. Onnes에 의하여 발견된 이 現象은 10°K 근처의 極低溫에서 어떤 金屬 및 合金의 電氣抵抗이 零이 되어 完全導體의 性質과 內部磁界를 배제한다는 完全反磁性體의 性質(Meissner效果)에 의하여 표현할 수 있는데, 電氣工學에서 1世紀에 걸쳐, 電氣抵抗에 인하여 發生하는 損失과 發熱에 起因하는 問題등을 起電導現象이 해결하여 줄 수 있는 可能性만으로도 電氣技術에의 革新은 대단한 것이 될 것으로 보고 있다. 1957년 13CS理論에 의한(Bardeen, Cooper, Schrieffer에 의한 理論)에 의한 量子論의 解析의 成功은 性能이 좋은 起電導材料의 開發을 가능하게 하여, 현재 Nb₃Ge 등은 23°K에서 起電導物質이 된다는 사실을 알게 되었다. 더욱이(TTF)(TCNGe) 같은 化合物은 30°K 이상에서도 可能性을 보인다는 理論的 究明의 成功은 大容量 magnet의 製作을 가까운 장래 可能케 하였고, 이로 인하여 10⁹ [joule]에 달하는 電力用蓄積 energy coil로도 이용할 수 있게 될 것이다. 이는 MHD發電과 核融合發電을 위한 大型起電導 magnet의 製作上的 문제점이 해결되는 동시에 電力系統運營에 있어서 經濟性이 인정되고 있는 揚水發電方式에 비하여도 그 損失이 대단히 적어서 장래 電力貯藏方式으로 매력적인 것이다.

한편, 電磁誘導法則에 의한 發電方式으로 현재 많이 이용되고 있는 直流機 및 交流機에 있어서 界磁卷線의 起電導化는 터빈發電機가 效率向上을 위하여 大容量化시킬 필요가 있으나 界磁部分의 機械的強度에 의한 限界와 冷却技術에 의한 出力限界 때문에 不可能하다고 생각하였던 문제를 해결해 줄 것으로 보고 있다. 다시 말하면, 現用大容量터빈發電機는 회전하는 界磁部分의 機械的強度에 의하여 概略의 치수가 정하여 지는데 大容量化에 대하여는 이 치수의 증대가 限界性을 나타낸다. 그러나, 이를 起電導化하면, 界磁鐵心이 없어도 3배에 달하는 磁束을 얻을 수 있게 되므로 鐵心除去로 인한 輕量化와 磁束의 增加로 算價機械의 許容強度가 커져서 2,000MVA 정도의 大容量機의 製作이 가능하다는 것이다. 여기서 相對的인 定態 및 過渡리액턴스

가 커져서 安定도가 낮아지나, 이것은 電機子鐵心の 齒輪 없는 형태로 하면 過渡리액턴스는 감소시킬 수 있는데 電機자와 界磁回轉子와의 空隙을 크게 하되 여기에 충분한 磁束을 통하도록 할려면 普通的 銅코일로는 불가능하고 起電導코일만이 가능하다는 것이다. 한편, 直流機나 交流機간에 大容量化는 冷却技術에 의한 界磁코일 및 電機子코일의 發熱이 문제로 되어 있다. 그러나, 起電導技術의 利用으로 冷却效果의 向上과 界磁束의 增大는 高電壓의 發生이 가능하며, 한편 絶緣問題에서 界磁鐵心の 除去와 電機子鐵心스롯의 生략으로 段絶緣등 絶緣이 수월하게 되어 직접 系統에 접속할 수 있는 높은 端子電壓을 얻어 高效率의인 直流送電도 가능하다는 것이다.

變壓器에서는 交流損問題가 있어 직접 起電導코일의 適用은 어려우나, 冷却方式에 이용함으로 冷凍機의 入力를 고려한 效率는 99.86%로 추정하며, 종래 보다 0.3%정도 高效率化시킬 수 있다는 것이다.

3. 電動機器의 細密化

電動裝置로서의 電氣機器는 電磁誘導法則에 따른 Electromechanical energy conversion의 理論에 立脚한 應用技術이 아직도 가장 效率의이다. 이것에 의하면 最終需要動力裝置의 여러가지 要求條件을 電動力變換裝置가 직접 충족시켜 주도록함이 가장 效率의인데, 이러한 要求條件중에는 速應性이 가장 중요하나 여기에는 豫備 energy의 蓄積이 前提가 된다. 이를 field energy라고 말하는데, 이러한 field energy의 蓄積形態는 變換過程과 잘 整合(matching)되어야만 가장 高效率인 變換이 이루어진다. 예를 들면 3相에 의한 圓回轉磁界를 가진 field energy의 蓄積은 가진 電動機와 單相機에서와 같이 隨圓回轉磁界를 가진 電動機에서의 機械的 出力이 판이하게 달라 전자가 잘 整合되어 있어 高效率을 가짐은 그 좋은 예이다. 速度 및 回轉力등 機械的 出力의 要求形態가 여러가지여서 여기에 맞는 電動機選定技術은 모두 이상과 같은 原理에 의한 것으로 현재까지 가장 널리 이용되어 왔던 것이 誘導電動機, 直流機 및 交流整流子電動機였다. 製作費와 保守管理면에서 誘導電動機가 速度制御와 回轉力등 機械的 出力면에서는 置流機가 電力供給과 機械的 出力면에서는 小型인 交流整流子電動機가 效率 및 經濟性으로 보아 우수한 機械로 인정되어 온 것은 사실이다. 그런데 후자의 두 경우 速度 및 回轉力면에서 전자보다 우수한데 이러한 特性은 모두 on-off 裝置에 起因한 것으로, 誘導電動機에 이러한 on-off裝置를 附加시키면 여러가지 면에서 高效率을 얻을 수 있게 될

것이다. 1962년 電力用 thyristor의 개발로 우수한 on-off 特性을 얻을 수 있게 되자 電動裝置에의 應用에 括目할 만한 變化를 가져왔다. 즉, 電動裝置의 負荷인 機械力의 傳達置는 齒車 및 벨트등의 生략으로 단조로와 겹고 기계적 出力을 分割分配하던 방식은 損失이 적은 電力側의 分割 分配方式으로 바뀐에 따라 電力需給系統上 高效率化되었다. 더욱이 앞서 말한 最終要求機械의 出力이 직접 電動機軸에서 공급됨에 따라 速應性도 좋아졌다. 또한 기계설치 장소의 狹窄, 制御系統의 간소화 및 遠隔操作能力이 向上되었으며 산업 시설의 自動化와 工場公害의 減소를 가져와 시설의 대형화를 촉진케 되었다. 이러한 결과는 다시 電動裝置의 다양화와 高效率化를 요구하게 되었고, 종래에도 행하여 왔던, 전동기의 質的 向上을 圖謀하게 되었다. 絶緣材料의 向上으로 B種 및 E種電動機의 開發 誘導電動機의 嚴格한 規格化는 현재 우리나라에서 추진하고 있으며, 分數馬力의 最適設計技術의 發達, 單相電動機의 精密特性解析과 高調波回轉力의 分析의 必要性 認定등은 모두 이러한 이유에서 이다.

최근 I.E.E.E의 研究報告에 의하면 종래 등한시하였던 小型電動機의 精密特性 解析과 新種電動機의 開發 研究가 현저하게 많다. Hysteresis motor, Reluctance motor, Pulse motor 및 Step motor의 開發과 特性 解析, 分相電動機의 精密等價回路, 空間高調波에 의한 回轉力特性, 非對稱軸卷線電動機에 의한 起動特性改善 策등이 모두 이에 속한다. 이들에 대한 解析은 모두 初期에는 kron의 D-Q軸 Matrix에 의한 Primitive machine에 의하였던 것이 차차 電動裝置에서의 Field energy에 해당하는 空隙蓄積 energy의 變換現象을 基準으로 하여 解析하게 되었는데, 이는 앞서 말한 所 要動力의 速應性을 좋게하고 이를 效率化하기 위한 field energy의 變換過程의 精密解析이 필요한 때문이다.

1960년 初, 磁氣增巾器의 開發者 Storm에 의하여 Solid State Power electronics라고 일컬어지게 된 電力用 thyristor의 應用은 電動力應用技術에 革新을 가져왔다. silicon制御整流器라고 불리는 S.C.R은 名稱에서 보는 바와 같이 制御可能한 整流器로서 交流와 置流의 變換이 자유롭다는 의미를 가진 것으로 하나의 電動裝置가 置流 및 交流의 特性을 모두 가질 수 있는 素地를 마련하였다고 볼 수 있다. 그리하여 速度 및 回轉力의 廣範圍한 應用能力이 向上되었음은 사실이나, 불행하게도 energy의 蓄積能力이 없다는 것이 큰 결점으로 되어 있다. 즉, reactive電力의 處理能力이 부족하여 이를 직접 電源에 의존함으로써 電波公害를 유발할 수 있는 高調波雜音을 일으키게 한다

는 것이다. 현재 thyristor 變換器는 McMurray Bridge 회로에서 改良된 여러가지 Bridge inverter와 chopper 회로의 개량형과 cycloconverter 등이 있어 대부분 電壓制御型이 보통이다. 이는 thyristor의 點弧가 電壓에 의하여 이루어지는데서 起因하는 것으로 여기서는 位相轉移 및 補償役割도 겸할 수 있다. 그러나 消弧는 Latching 電流를 基準으로 하여 일어나고, 원래 thyristor가 電流制御特性임으로 해서 電壓制御型으로 할 때, 轉流作用의 能力이 부족하여 이를 위한 reactive 要素가 補償되어야 함으로 複雜性を 더게 된다는 것이다. 이것의 解決方法의 하나로 이러한 reactive 電力을 억제하거나 빼돌리기 위하여 直列 및 並列의 feedback diode를 보충하게 하나 완전한 것이 못되며, 다른 하나의 方法으로는 斷續電源의 供給으로 reactive 電力을 줄이거나 상쇄하여 轉流回數를 줄이는 pulse-width 電壓制御方式이 있는데 여기서는 高調波發生이 많이 감소되고, 變換效率도 좋아진다. 최근에 와서는 thyristor素子와 feedback diode를 集積化한 逆歸環性 thyristor의 開發, 磁性體特質의 thyristor併用에 의한 機能化가 고려되기 시작하였다. 原則적으로 電流制御素子인 thyristor를 이용하는 이상 制御方法도 電流制御方式이 妥當할 것이라고 보고 있으며, 그 實用性도 점차 입증되어 가고 있다.

大容量電動裝置에서는 發電機器에서와 마찬가지로 絕緣材料의 改善과 高壓化, 冷却方式의 起電導現象의 應用으로 高効率化가 추진되고 있으며 또한 傳動裝置의 생략에 의한 高速化장치로서 Linear motor의 개발이 추진되고 있는데, 起電導 magnet에 의한 浮上 能力의 효과적인 해결로 가장 가까운 장래에 실현이 될 것으로 보고 있다.

4. 電氣機器의 高効率化

經濟成長이 高度化됨에 따라 環境汚染問題가 심각하

게 되었고, 그 解決에 많은 努力을 기울이게 되었음은 어제 오늘의 일이 아니다. 便利性和 經濟性만을 따지던 時代는 이미 지나 갔고, energy의 絕對需要를 充足시켜야 하는 문제와 地球上的 熱交換平衡을 위하여 energy開發의 green energy化를 중요시하게 되었다. green energy란 自然環境을 파괴시키지 않는 範圍내에서의 energy變換을 달하는 것으로 退化하지 않고 남아 있는 自然現象의 變化過程에서의 energy交換은 거의 高効率化되어 있음은 green energy의 重要性을 뒷받침함이다. energy開發을 電力化에 의존하고, 海洋 energy開發을 學者가 地球表面의 71%에 해당하는 海面에 흡수된 太陽 energy가 그중 60%가 蒸發의 潛熱로 나머지는 赤外線放射 및 對流作用에 의하여 大氣에 방출하는 등 熱平衡을 이루는 가운데의 熱變換過程 중에서 취하여야 할 것이라는 主張은 green energy의 開發의 妥當性を 강조한 것이라고 볼 수 있다. energy 變換裝置로서 重要한 役割을 하고 있는 電氣機器는 비록 그 自體가 green energy의 變換器이기는 하나, 점차 막대한 量의 energy變換이 電力化될 현재의 추세하에서는 經濟的 立場에서 보나 極限技術의 觀點에서 보나 高効率化는 必須的인 事項이다. 다행히 發電機器는 起電導現象의 應用으로 種래의 限界性を 탈피하여 더욱 大型化되고, 電動機器는 細分化 精密化 및 自動化됨에 있어서 power electronics에 힘입어 汎用化(universalization)하여 신뢰성도 아울러 높아지게 되었다.

끝으로, 起電導蓄電池에다 pulse width thyristor 制御電動機를 이용한 公害없는 高効率化한 電氣自動車가 달리게 될 가까운 장래를 기대하면서 이 글을 끝맺고저 한다.

<p. 32에서 계속>

準때문에 이들은 적어도 2年~8年 程度의 專門訓練(Post Graduate Training)을 끝마친 뒤야야 自己 專門分野에서 效果的인 任務遂行을 期待할 수 있는 것으로 이들 技術要員의 適期確保 및 適切한 訓練이야말로 우리나라 原子力發電 開發計劃의 또 다른 關鍵이라 할 수 있다. 事實 오늘날 先進國에서 生産되는 大部分 産業製品은 生産原價의 切半 以上은 人件費가 차지한다는 점을 考慮할 때 技術要員의 體系的 訓練을 통한 設計 및 製作技術의 涵養이야말로 原子力發電所 建設技術의 土着化 및 機器國產化의 지름길이라 할 것이다.

參 考 資 料

- (1) Uranium Resources, Production and Demand, L. W. Boxer et. al., Fourth UN International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, September 1971.
- (2) Nuclear Engineering International, July 1974
- (3) Power Reactors 1974, Nuclear Engineering International, April 1974.
- (4) 長期에너지 綜合對策 1974~1981, 商工部