

講 演

材料科學에서 본 日本에 있어서의 電氣工學의 進步

成 田 賢 仁*

1. 緩 論

電氣機器의 性能向上에는 우수한 材料의 開發과 그 의 적절한 利用이 決定的인 要因이다. 日本에 있어서의 電氣材料의 개발과 그의 利用에 관한 研究努力은 充分하지는 않으나 主要한 전기재료를 例로 들어 우리들의 先輩가 노력한 자취를 더듬으면서 日本에 있어서의 電氣工學의 進步에 關해서 設述하고져 하며 나아가서 材料科學의 重要性을 역설하고자 한다.

2. 導電材料의 進步

1800年 Volta가 鐵線을 導線으로서 사용한 以來 電氣技術에는 電線이 필요하게 되었다. 日本에서는 1849年 Sakuma Shouzan(佐久間象山)이 電信機를 제작하는데 있어 처음으로 銅線을 使用하였다. 佛敎建築등의 要求로 예로부터 존재하고 있었던 製銅技術에 依하여 裸銅線은 용이하게 제작되었다고 생각된다. 1881年 國內博覽會에서 絹卷銅線, 고무被覆銅線이 展示된 것으로부터 推測하면 당시 이미 電線工業이 이루어 지고 있었을 것이다. 이 進步의 過程을 表 1에 나타낸다.

電線에는 情報傳送用과 電力傳送用이 있다. 前者는 電流容量이 적어도 되므로 용이하게 製作되었다. 後者에는 1880年代에 溶融電氣銅으로부터 만들어진 棹銅을 機械加工한 硬銅線이 送電線에 使用되었다. 이어서 硬銅線을 熱處理로 軟化시킨 軟銅線이 전기기계의 제조에 使用되었다. 1885年 Miyoshi(三吉)氏는 東京大學 Fujioka(藤岡)助教授의 設計로 日本에서 처음으로 白熱電燈用 15kW 直流發電機의 제조에 成功하였다. 2年後에 同氏는 전동기, 전차용기계, 各種電線, 電氣計器 變압기, 전신기, 전화기, 電鈴, 피뢰침, 水車, 水管, 보일러등의 제조를 시작하였다. 이 當時 電線은 모두 수입되고 있었으며 同氏는 이 상태를 개탄하여 苦心努力한 結果 被覆銅線의 제조에 成功하였다. 架空電線에

依한 電燈에의 電力供給事業은 1887년에 시작되어 1899年에는 10kV送電線이 건설되었다.

導電材料用銅에는 최근까지 精鍊銅(Tough Pitch Copper)이 使用되어 왔으나 少量의 酸素를 含有하기 때문에 水素中에서 加熱되면 소위 말하는 水素脆性을 보이며 또 眞空中에서 使用되면 가스를 放出하여 眞空度를 떨어트리는 등의 缺點이 있으므로 無酸素銅이 要 望되었다. 美國에서는 1942년에 融解銅은 脫酸處理한 無酸素銅이 제조되기 시작하였다. 이것은 산소가 0.005%以下로 化學的으로 安定하고 伸張하기 쉽고 또 屈曲性등에 우수하여 同軸海底케이블의 外部導體등에 많이 利用되었다. 日本에서는 1955年頃부터 眞空溶解爐가 工業的으로 導入되기 시작하여 이것에 依하여 酸素含有量이 0.01%程度의 無酸素銅이 제조되기 시작하였다 이 無酸素銅의 開發은 日本의 電子管製造技術의 支柱가 되었으며 이것은 高純度化가 材料開發의 하나의 有力한 手段이며 從來에는 제조하기 어려웠던 材料도 周邊技術의 向上으로 製造가 可能하게 된다는 것을 시사하고 있다.

表 1. 裸銅導線의 進步

1800	Volta導線을 使用하여 電氣의 搬送에 成功
1849	佐久間象山：絹卷銅線을 사용한 電信機를 發明
1881	工業博覽會開催, 絹卷銅線, 고무 皮覆銅線을 展示
.....	碩銅線의 配電線 트롤리線, 通信線等에 適用
1889	10kV送電線의 建設 抗張力이 높은 硬銅線(黃銅, 珪銅, 磷青銅 Cd-Cu等)의 開發
1926	銅皮覆銅線의 生産
1929	Cu-Ni-Si合金의 開發, 生産
1938	中空導線을 使用한 250kV送電線의 建設
1948	250mm ² 珪銅線의 關門橫斷送電線에 使用
1960	銅鍍金銅線：架空導線으로서 여러가지 用途에 使用

* 日本九州大學教授(工博)(日本電氣學會電氣材料技術委員會委員長)이 內容은 大韓電氣學會 電氣材料 研究會發表會에 (1976. 10. 23)서 발표된 것임(번역은 宋振泰會員담당)

세계의 동자원은 미국, 칠레, 캐나다등에 偏在하고 있기 때문에 日本에서는 그 供給의 制限을 받고 가격도 不安定하여, 資源적으로 풍부한 Al의 利用을 促하려는 技術이 끊임없이 研究되어 왔다. 表 2는 Al 電線開發의 過程을 나타내고 있다. 1920年代에는 精鍊 技術이 유치하였기 때문에 Al電線은 不純物이 많아 耐蝕性導電性이 떨어지고 酸化하기 쉬운 接續이 곤란하

表 2. Al導線의 進步
導線의 發展

1920	Al導線의 國內製造 開始
1924	鋼心 Al換(ACSR)線의 國內製造 開始
1929	國產 Al導線의 長時間試驗 開始
1950	250—275kV鋼心 Al換線(ACSR)의 新北陸幹線에 適用

純度の 改善

	成 分 (%)				
	Al	Fe	Si	Cu	Ti
1920's	~99.6	0.2	0.15	0.003	—
1935	~99.6	0.2	0.15 ~0.20	0.006	0.003 ~0.006
1955	~99.75	0.15	0.06 ~0.08	0.002	0.001 ~0.006

었다. 1955年代에는 不純物의 除去技術이 발전하여 美國의 水準을 능가하는 高純度の Al을 製作하기에 이르렀으나 美國에 있어서와 같이 配電線의 Al化는 일어나지 않았다. 그러나 高電壓에 있어서의 코로나損失을 낮게 하기 위하여 線徑이 굵은 導線을 要望하게된 特別高壓架空送電線用鋼心Al線에 Al가 使用되게 되었다 이것은 技術者가 材料를 사용하는데 있어서의 그 特性을 미리, 充分히 理解하고 그 長點을 적절하게 利用하여야 한다는 것을 보여주는 一例이라 말할 수 있겠다. Al의 開發利用은 困難은 하지만 今後에도 계속 研究가 必要한 課題일 것이다.

3. 絕緣材料의 進步

無機絕緣材料의 一例로서 磁器磁器의 發展過程을 表 3에 나타낸다. 陶磁器製造에 있어서는 韓國, 中國으로부터 導入한 技術을 育成시켜 오래 前부터 獨自의 技術을 가지고 있었기 때문에 磁器의 製造는 容易하여 電信用磁器는 1880年代에 九州의 香蘭社를 비롯하여 燒物로 有名한 各地의 工場에서 제작되었다. 電氣事業이 시작된 1887年頃은 電力用磁器는 모두 外國으로부터 수입되고 있었으나, 얼마 안되어 低電壓用이 國產化되었고, 이어서 3,500V以下의 高電壓用이 國產化되

表 3. 磁器絕緣材料의 國產化的 推移

1921	特別高壓用 圓形磁器의 製造
1923	懸垂磁器의 國產化
1940	年間生産量 18,000톤
.....	生産量低下
1955	年間生産量 45,000톤
1961	年間生産量 84,000톤

었다. 그러나 그 以上의 高電壓用은 수입에 依存할 수밖에 없었다. 우수한 陶磁器製品을 만들어 내고 있는 日本이 他國으로부터 磁器의 供給을 받고 있는 것을 羨하게 여긴 先覺者는 여러가지 開發에 努力을 경주하였다. 이 무렵 Toshiba(東芝)의 前身인 Shibaura(芝浦)製作所는 日本磁器의 前身인 日本陶磁器와 共同研究하여 特別高壓用磁器의 製造에 성공하였다. 當初는 形狀, 品質등이 不完全하여 失敗한 例도 있었으나 外國製品과의 比較研究를 거듭하여 1910年代에는 外國製品에 뒤떨어 지지 않는 製品을 生産하기에 이르렀다. 이들은 모두 圓形磁器였다. 懸垂磁器도 1910年代에 처음으로 輸入되어 1923년에는 國產化되었다. 今日에는 外國製의 磁器에 比하여 特性도 우수하기 때문에 海外 60餘國에게로 輸出이 活潑히 하여지게 되었다. 以上과 같은 進步는 國內技術의 水準이 높으면 外國技術의 導入消化와 그 水準의 능가가 比較的 容易하게 이루어질 수 있다는 것을 보여주고 있다.

프라스틱材料는, 高分子化學과 合成化學의 進步와 더불어 현저히 發達하여 有機絕緣材料및 構造材料로서 널리 電氣機器등에 利用되어 왔다. 프라스틱材料에 對한 要求는 漸漸高度化하여 새로운 材料는 곧 電氣機器등에 도입되어 그들의 特性改善에 도움이되고 있다. 한편 또 전기재료로서의 要求가 프라스틱材料의 進步를 촉진하고 있다. 日本에서는 1930年代에 熱硬化性의 페놀樹脂, 尿素樹脂, グリ프탈樹脂, 熱可塑性의 메타그릴, 酢酸纖維素가 若干 사용되고 있었다. 熱可塑性의 鹽化비닐은 1938年頃에 外國技術이 紹介되어 1940년에는 國內에서 生産이 개시되었다. 이 무렵은 外國으로부터의 情報가 별로 없었으나 페놀樹脂의 技術을 가지고 있었기 때문에 比較的 容易하게 國產化되었다. 그러나 特性을 向上시키는데 불과하였다. 1949年 美國으로부터 우수한 混合物이 수입된 것에 자극되어 樹脂의 重合法, 可塑劑 또는 安定劑의 效果등이 積極적으로 연구되어 同年에는 생산이 시작되어 1952년에는 높은 性能이 要求되는 電線에 있어서도 國產의 鹽化비닐이 供給되기에 이르렀다. 포리스치론은 高周波絕緣材料를 개발하는 必要性에서 연구가 시작되었고 1939년에는

中間規模의 설비를 가지고 생산이 개시되었다. 그 생산량은 근소하였으나 特性은 外國의 製品에 뒤떨어지지 않는 우수한 것이었다.

表 4. 第2次 世界大戰後에 등장한 日本에 있어서의 電線用 合成絶緣材料

品名	개발년	개발자	개발국	개발사
폴리염화비닐	1936	W. R. Kenyon	USA	ICI
폴리에치렌	1940	W. R. Kenyon	USA	ICI
나일론	1935	W. H. Carothers	USA	DuPont
아크릴아미드	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리이소프렌	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리부틸렌	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리우레탄	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리메틸아크릴아미드	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
합성 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
스티렌 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
부틸 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
아크릴 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리이소프렌 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리부틸렌 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리우레탄 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont
폴리메틸아크릴아미드 고무	1930	W. H. Carothers	USA	DuPont

1948년부터 새로운 합성材料가急速히 實用化되었으며 그 상황을 表 4에 나타낸다. 폴리에치렌은 軍用의 高周波케이블용을 목표로 1940年 英國에서 1,000氣壓, 200°C前後에서 重合시키는 高壓法으로 實用化되었다. 이에 對하여 美國에서는 1943년에 量産이 시작되었다. 日本에서도 工業化研究가 추진되고 있었으나 實用化에는 이르지 못하였고 1951年 美國으로부터 수입되어 電線 및 케이블의 被覆材料로서 바로 應用되었다 그後急速히 그 用途가 넓혀졌으며 이것의 國産化는 1958年 外國技術의 導入으로 시작되었다. 불소樹脂의 하나인 테프론은 1950年 美國의 Du Pont社에서 生産이 개시되어 日本에서는 1957년에 製造하게 되었다. 耐熱性, 安定性, 誘電性이 뛰어나 各種成形品, 絶緣電線등에 널리 利用되고 있다. 이들 合成材料는 1955年 頃으로부터 시작된 國內의 家庭電化製品의 急増에 따라서 多量으로 利用하게 되었다. 今日의 電化製品의 一部는 1915년에 製作販賣되었으나 國民의 大部分이 低所得이어서 一般으로 普及되지 못하고 技術의 進步를 促進시키지 못했다. 이러한 것은, 새로운 技術은 그 時代에 있어서의 國民經濟 또는 技術水準과 調和를 이루었을 때 크게 發展한다는 것을 말하여 주고 있다. 프라스틱材料의 大量使用은 우리에게 그 廢棄法의 개발 또는 製造에 있어서의 低公害化對策의 確立이라 하는 새로운 問題를 提起하여 주고 있다.

4. 磁性材料의 進步

日本의 磁氣學이 世界의 永久磁石材料의 進步에 중요한 기여를 하여왔다는 것은 잘 알려진 것으로 생각되므로 여기서는 表 5에 의거하여 珪素鋼板의 進步에 對해서 간단히 記述하고자 한다.

表 5. 珪素鋼板의 進步

1889	珪素-鐵合金의 發明(Hadfield)
1903	工業的生産法確立(UK)
1904	" (USA)
1917	國營의 八幡製鐵에서 製造에 成功
1922	日東製鐵川崎工場에서 製造에 成功
1925	Si量 1.0~1.5%級鋼板이 八幡製鐵로부터 市場에 나옴
1929	Si量 3.5~4%級鋼板이 八幡製鐵로부터 市場에 나옴
	川崎製鐵, 珪素鋼板 製造法의 研究開始
1931	B級珪素鋼板이 川崎製鐵로부터 市場에 나옴
1932	T級 "
	國內年間生産量 9,700톤, 年間輸入量 2,500톤
1934	方向性珪素鋼板의 發明(GOSS)
1937	日本電氣學會 珪素鋼板에 관한 特別委員會를 設置
1942	方向性珪素鋼板의 試作開始
1951	八幡製鐵 Armc社로 부터 高級熱延珪素鋼板에 관한 技術導入
1953	八幡川崎製鐵에서 T90級 珪素鋼板의 製造開始
1954	八幡製鐵 溶接熱間壓延珪素鋼帶의 製造開始 川崎製鐵 無方向性冷延珪素鋼帶의 製造開始
1958	八幡製鐵 Armc社로부터 方向性 冷延珪素鋼帶에 관한 技術導入 川崎製鐵 Westing House社로부터 方向性 冷延珪素鋼帶에 관한 特許導入
1968	八幡製鐵 高配向性 珪素鋼帶(Hi-B)의 開發에 成功 川崎製鐵高配向性 珪素鋼帶의 開發

珪素鋼板의 개발은 Hadfield가 Fe에 Si를 添加하여 그 機械的性質을 조사하였을 때 交流磁氣特性이 우수하다는 것을 發見한데서 시작된다. 이 利用은 當時 막대형의 둥근 鐵心을 사용하여 試作되었던 變壓器鐵心の 能率을 높히게 되어 그後의 電氣機器發達의 決定的인 要因이 되었다.

日本에서는 電氣機械工業發足以來, 1903年 珪素鋼板

(註): "日本에 있어서의 珪素鋼板의 進步"에 對한 詳細한 것은 大國金屬學會誌 15권 1호에 掲載

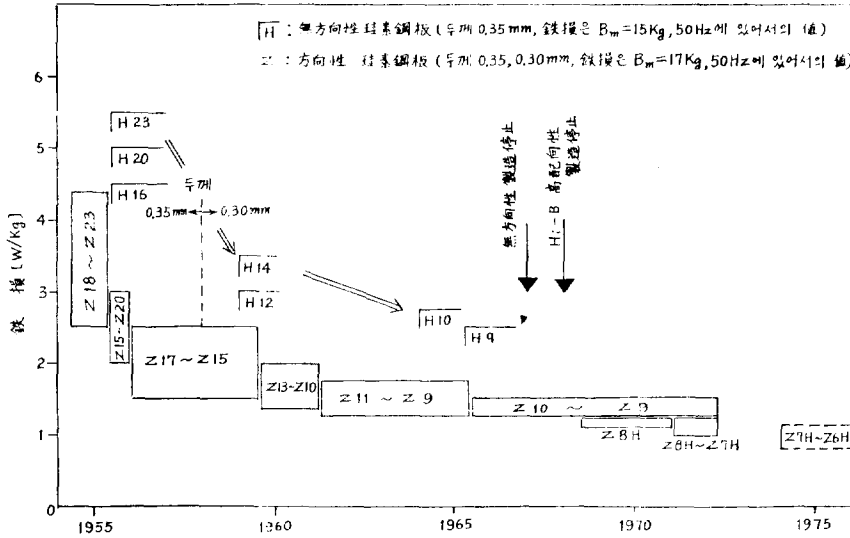


그림 1. 日本에 있어서의 珪素鋼板의 鐵損低減過程

의 實用化에 成功하고 있는 英國으로부터 全部 輸入하고 있었다. 여기에서도 Ootsuka(大塚)이라 하는 日東製鋼社長인 先覺者가 나타나 同社의 Kawasaki(川崎) 工場에서 苦心한 結果 1922年 珪素鋼板의 試作에 成功하였다. 이 技術은 다소의 迂餘曲折을 거쳐 國營의 Yahata(八幡)製鐵所(現日本製鐵)에 移轉되었다. 第一次世界大戰當時 珪素鋼板의 輸入이 곤란하게 되어 電氣機器의 製作에 支障을 초래하였기 때문에 그 國產化가 要望되어 Yahata(八幡)製鐵에서 製造研究가 行하여졌다. 그 結果 1917年에 珪素鋼板의 製造가 成功하여 1925년에는 Si 1.0~1.5% B級鋼板이, 1927年에 Si 2.5~4% T級鋼板이 市場에 나오게 되었다. 그때까지 外國으로부터 珪素鋼板을 輸入하고 있었던 電氣機械製造業者는 바로 國產品을 採用하였고 이것은 國內의 珪素鋼板製造工業을 發展시키는데 크게 도움이 되었다. 한편 Kawasaki(川崎)造船所(現川崎製鐵)에 있어서도 獨自의 技術로서 製造研究하여 1931年에 B級鋼板을 1932年에 T級鋼板을 市場에 내놓게 되었다. 當時 美國 독일에 있어서는 T級鋼板의 研究가 進行하여 그 磁氣特性이 急速히 改善되고 있었다. 이것에 對處하기 위하여 1939年 電氣學會內에 電氣機器用材料調査委員會 第三特別委員會가 設置되어 國產品과 外國製品과의 特性의 比較, 검토가 大學, 國立研究所, 珪素鋼板製造業者 및 電氣機器製造業者로부터 參加한 各委員의 협력으로 進지하게 行하여졌다. 이 委員會活動은 約 10年間 계속되었으며 日本의 珪素鋼板發展에 매우 重要한 功헌을 하였다. 第二次世界大戰中 美國에서는 高級鋼板

의 特性이 보다 改善됨과 동시에 方向性珪素鋼板도 製造販賣되고 있었다. 이러한 技術의 뒤떨어짐을 免히하

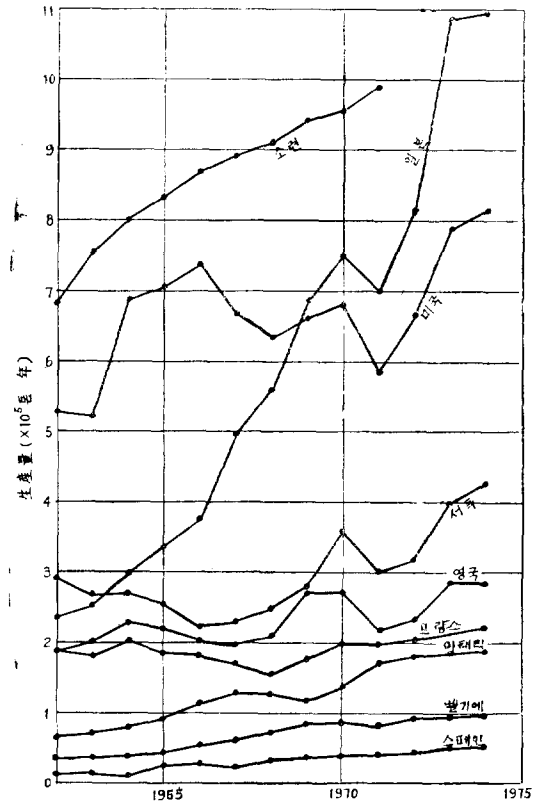


그림 2. 各國에 있어서의 電氣鐵板의 生産量의 推移

기 위하여 Yahata(八幡)製鐵, Kawasaki(川崎)製鐵은 外國技術을 수입하였다. Yahata(八幡)製鐵은 이러한 技術의 수입중에도 독자적인 技術의 개발에 노력하였으며 그 結果 마침내는 高配向性鋼板(商品名 HI-B)을 생산하였었다. 이 特性은 世界에 자랑할만한 것이다. 이것에 자극되어 Kawasaki(川崎)製鐵에서도 高配向性珪素鋼板의 試作研究를 추진시켜 그 製造에 成功하였다. 이와 같이 하여 日本의 二大製鐵會社는 創業以來 約 50년이 지나 世界의 主要製鋼會社에 珪素鋼板의 新製造技術을 수출할 수 있게 되었다. 以上과 같이 발전하여온 日本에 있어서의 珪素鋼板의 鐵損減少의 過程과 그 生産量의 推移를 보면 그림 1 및 그림 2와 같다. 이들의 成果는 技術者, 學者의 多年間에 걸친 努力의 덕택이다. 筆者는 珪素鋼板의 特性은 極限에 도달하였다고는 생각하지 않으며 한층 보다 더한 研鑽이 必要하다고 믿고 있다.

5. 結 論

日本은 1880年代로 부터 外國의 電氣製品을 수입하여

製造技術을 습득하는 努力을 하였다. 電氣機械는 外國의 기계를 기준으로 하여 設計하고 수입한 工作機械를 가지고 製作하였다. 그러나 必要한 材料는 간단히는 國産化되지 않았으며 輸入에 依存하였다. 이러한 方式으로 日本에서는 電氣機器製造가 軌道에 올랐고 外國製品의 성능에 가까운 製品이 제조하게 되었다. 그러나 이러한 方式은 오랜 時日동안 日本의 機械工業界속에 材料技術을 周邊技術로 보는 習性을 깊숙히 침투시켰다. 筆者는 日本의 產業界가 材料開發을 輕視하는 限日本은 投術의 後進性으로부터 탈피할 수 없을 것이라 믿고 있다. 이 때문에 機會있을 때마다 材料開發의 重要性을 關係方面 特히 將來를 질머지고 있는 學生에 강력히 呼訴하여 왔다. 材料開發에는 오랜 時日에 걸치는 꾸준한 研究가 必要하다. 우리들은 우리들의 손으로 材料開發에 열심히 努力하여 우수한 技術을 擡げ하고 協助하면서 人類의 幸福에 조금이라도 寄與를 하여야 할 것이다.

會員에게 알리는 말씀

會員여러분의 健勝하심을 仰祝합니다.

빛나는 祖國의 繁榮과 보다 잘살기 위한 근면, 자조, 협동의 새마을정신으로 힘찬 전진의 노래가 메아리치고 있는 이때 우리는 더욱 總和團結로서 健全한 社會氣風 造成으로 庶政刷新推進에 더욱 앞장서서 근면, 검소한 生活로 職場에서나 家庭에서나 自己일에 充實하여야 할 것입니다.

따라서 政府의 庶政刷新推進對策(自體監査嚴正實施, 不合理한 制度改善, 생활주변정화운동, 自體教育強化, 對民啓導活動展開等)을 會員 여러분께서는 가족, 친지, 동료직원 및 모든 사람에게 이같은 사상을 주지 시키시어 밝은 社會建設을 위한 健全한 社會紀風 造成에 勳勞를 하시어 주시기 바랍니다.

1977年 3月 日

大韓電氣學會長 白

庶政刷新은 좋은 나라를 建設하겠다는

우리社會의 “조용한 精神革命”입니다