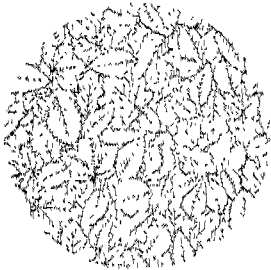
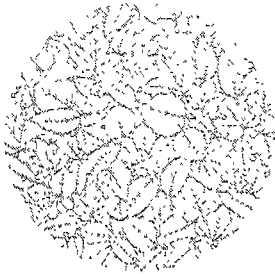


耐熱알루미늄 電導線 開發

Development of Thermo-Resistant Aluminium Conductor



姜 日 求

韓國科學技術院 非鐵材料研究室長

金 喜 中

同 研究員

1. 머리말

電導材料로서 알루미늄 및 알루미늄 합금은 처음에는 銅의 代替品으로써 쓰이기 始作하였으며 이미 百年 가까운 歷史를 지니고 있다. 現在 架空送電線은 全部 鋼芯알루미늄電導送電線(ACSR)이 쓰이고 있는 것은 周知의 事實이고 軟鋼線의 알루미늄化도 심각히 檢討되고 있으며 이를 위한 研究開發 努力도 많이 이루어지고 있다.

電導材料로서의 알루미늄은 高純度化함으로써 65.5% IACS 程度까지 얻을 수 있다. 그러나 이러한 99.99% 以上の 高純度는 特殊한 精製法을 거쳐야 하는데 價格 上昇 要因에 比해서는 電導率의 增加가 적을 뿐 아니라 機械的 強度가 아주 弱해서 實用材料로서는 극히 적은 特殊用途에 限定된다. 普通 쓰이는 알루미늄電線은 99.65%純度로써 導電率 61%를 IACS를 가진다. 導電알루미늄합금은 大別해서 高力알루미늄합금, 耐熱알루미늄합금 및 軟鋼線알루미늄化用合금으로 나누어지는데 여기에서는 耐熱알루미늄電導線 중 가장 代表的인 60%導電率 耐熱알루미늄電導線에 關하여 記述하고자 한다.

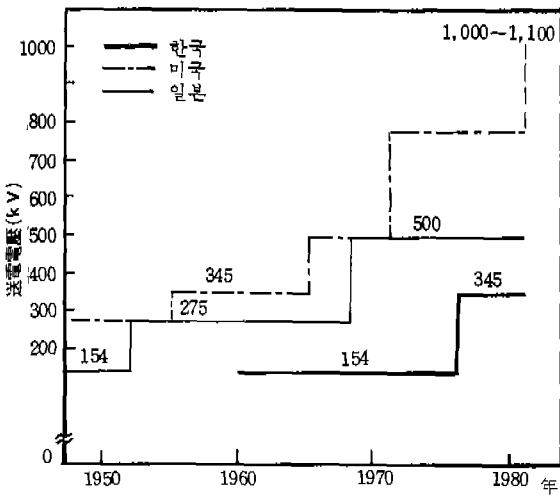
우리나라 電線工業界에서는 지금까지 純銅 및 純알루미늄電線만을 만들어 왔으며 合金電線은 生産하지 않는 實情이었다. 最近 韓國科學技術院 非鐵材料研究室에서 우리나라에서는 最初의 合金電導線인 60%導電率 耐熱알루미늄電導線을 研究開發하여 그 結果로써 金星電線(株)과 大韓電線(株)의 共同 研究費 支援으로 工場規模 製造技術까지를 確立하여 滿足스러운 試製品을 내놓았다. 이 (60% 電導率 耐熱알루미늄電導線은 日本에서 大容量送電線인 T ACSR (Thermo-resistant ACSR)을 可能케한 電導線이다). 이것이 契機가 되어 世界的 趨勢인 合金電導線 分野에 우리나라도 參與하게 되는 것이다.

本 原稿에서는 大容量 架空送電線 材料의 개략과 60%導電率 耐熱알루미늄電導線의 開發背景 및 特性을 간단히 소개하고자 한다.

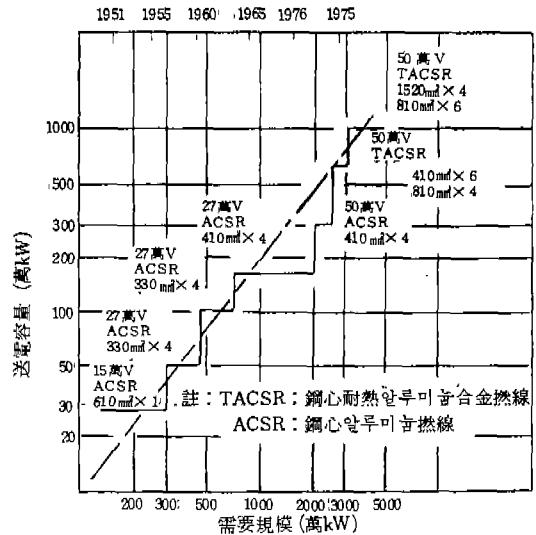
2. 大容量架空送電材料

60%導電率 耐熱알루미늄電導線은 産業의 高度化에 수반하여 급격히 伸張하는 電力需要를 충당하기 위해 送電容量을 크게 하는 方案으로 알루미늄電導

선의 耐熱性を 向上시킴으로써 電流容量을 增大시킨 架空送電線材料이다. 架空送電線의 大容量化는 電力需要의 增大, 電源플랜트의 巨大化, 電源立地의 遠隔化 등에 따라 필연적으로 요청되는 것이며, 近來에는 送電線路 建設에 따르는 建設備, 用地問題, 環境問題의 심각화에 따라 그 必要性은 增大하고 있다. 送電線의 大容量化를 도모하기 위해서는 送電電壓을 格上하는 方法과 電流容量을 增大시키는 方法이 있겠는데, 送電電壓은 送電設備, 變電設備의 經濟性 및 電力系統의 特性등을 綜合的으로 考慮하여 各國 實情에 맞는 適正電壓이 채택되고 있으며 현재 歐美는 750~765kV, 日本은 500kV 가 最高送電電壓이지만 가까운 장래에 1,000kV의 昇壓이 계획되고 있다. 우리나라는 1976년에 345kV 가 布設되기 시작하였고 장차 500 또는 800kV로 昇壓이 檢討되고 있는 단계이다. 한편 電流容量의 增大는 導體의 大사이즈化, 多導體化와 더불어 알루미늄 導線의 耐熱化로써 이루어질 수 있다. 다음의 그림 1에는 國內外 送電電壓 推移를 나타내었는데 우리나라는 美國보다 345hV級이 약 20年 늦게 布線되었음을 알 수 있다. 한나 나라의 主幹線 送電容量은 需要規模와 밀접한 관계가 있으며 그 사항을 日本의 예를 들어 그림 2에 도시하였다. 日本의 경우 送電容量 300萬kW에서 50萬V昇壓을 하였으며 500萬kW에서 TACSR을 사용하기 시작하고 있다.



(그림 - 1) 國內外送電電壓의 推移 (交流)



(그림 - 2) 需要의 規模와 主幹線送電容量 및 使用電線 (日本의 例)

大容量이란 表現은 ACSR 410mm² × 4 導體의 送電容量 300만kW보다 큰 容量의 送電線이란 의미로 주로 사용된다. 이 大容量 架空送電線은 送電容量, 電壓, 最大使用張力, 最高使用溫度, 분위기, 架線工法, 經濟性등을 고려하여 채택되며, ACSR 외에 歐美에서는 ACAR (알루미늄 合金 芯 알루미늄 導線), AAC (硬알루미늄 導線), AAAC (알루미늄 合金 導線)의 형태로, 日本에서는 TACSR, 60TACSR의 형태로 架設되고 있다. 歐美와 日本이 다른 電線을 채용하는 이유는 國土의 面積, 地形, 環境이 다른데 있다. AAC, ACAR, AAAC등의 電力케이블은 鋼芯을 사용치 않고 高力알루미늄 合金 (6201, 5005 合金)을 芯으로 사용하거나, 全体를 同一한 高力알루미늄 合金으로 構成하여 가볍고 耐食성이 우수하며 기존 ACSR에 비하여 送電電力損失을 10~15% 감소시킨 케이블이다. TACSR은 硬알루미늄 線 代身 약 0.1%Zr을 첨가시켜 耐熱性을 향상시킨 TAL素線을 사용했던 것이나 60年代末 같은 耐熱性을 가지고 導電率이 2%나 상승된 60TACSR이 개발되자 현재는 거의 사용치 않고 있다. 表 1에 高力 및 耐熱알루미늄 素線의 性能을 개략적으로 나타내었다. 1974年경 日本의 경우 TACSR 수요는 大容量 架空送電線의 約 35%정도였으나 1979년에는 60TACSR이 80% 이상으로 알루미늄 導線需要의 約 45% (약 6 萬톤)를 차지하고 있다.

〈表-1〉 架空送電線材料의 개략性能

線材 特性	ACSR 用	耐熱送電線用		高力送電線用	
	HAL	TAL	60 TAL	6201	5005
導電率(% IACS)	61.0	58.0	60.0	52.0	53.0
引張強度(kg/mm ²)	16.17	16.17	16.17	32.0	24.6
伸率(%)	3.7	3.6	3.6	3.0	1.7
使用溫度: 連續 (°C)	90	150	150	90	90
	短時間	120	180	180	120
用 途	一般電力用	高溫用	高溫高導電用	高强度用	高强度用
使用國	世界	日本	日本	歐美	美國

3. 60%導電率 耐熱알루미늄電導線의 長短點

60TAL線은 硬알루미늄線의 軟化特性, 크립(Creep)特性을 현저히 높인 電線材料로써 連續使用溫度가 硬알루미늄線의 90°C에 비하여 150°C가 된다. 따라서 同一面積의 硬알루미늄線보다 약 50%의 許容電流가 증가하며 다음과 같은 長點이 있게 된다. ① 導體사이즈 및 부속품의 축소 및 소형화에 의한 導體, 부속품비의 節減 ② 導體사이즈 축소에 따라 電線張力 및 電線風壓이 低減되고 鐵塔費 및 鐵塔工事費가 低減 ③ 一回線 정지시의 緊急送電容量이 증대 ④ ACSR과 거의 同一한 建設費로 약 50%送電容量이 큰 線路의 建設이 可能 ⑤ 多導體線路에 있어서는 素線導體數를 감소하고 送電線의 延線工事를 비롯한 종합적인 線路建設費가 低減 ⑥ 경우에 따라 送電線의 루트(route)수를 줄이는 것이 可能. 反面 다음과 같은 短點이 있다. ① 導電率 低下(약 1%)에 수반하는 送電損失의 증가 ② 高溫運轉에 의한 弛度의 증가 및 電力損失의 증가. 이상의 60TAL長短點을 볼 때 결국 耐熱 알루미늄線의 採用은 電力損失費와 送電線 建設費用과의 經濟性 評價에 따라 決定되나 日本의 경우 이런 考慮後에 TACSR가 採擇되고 있다.

4. 60TAL의 開發 背景

電線材料의 耐熱性을 向上시키면 許容電流容量이 증가된다는 것은 잘 알려진 사실이다. 알루미늄중

에 지르코늄(Zr)을 첨가하면 내열성이 증가된다는 것을 R. H. Harrington이 발견한 이래 電線用 알루미늄에의 응용은 주로 日本에서 이루어졌다. 그 理由는 歐美의 경우는 平野가 많은 大陸國이므로 送電線의 用地 구입 및 設치에 큰 어려움이 없고, 長距離送電方式이므로 電力損失이 큰 耐熱알루미늄線의 유리한 점이 적은 반면 日本의 경우는 人口密度가 높고 平野地帶가 적으므로 電力輸送의 量 및 그 設치의 平均面積密度가 특히 높아 鐵塔用地의 확보가 어렵고 用地가 비싼 점과 短距離 送電方式이므로 電流容量이 큰 耐熱電線의 必要性이 커졌기 때문이었다. 수년간의 研究 結果 1957年 古河電工이 TACSR의 開發에 成功하였다. 이것은 알루미늄에 0.1%Zr을 첨가시켜 製造工程을 조절하여 Al₃Zr析出物을 미세하게 析出分布시킨 것이었다. 이 TACSR은 變電所 母線 및 基幹送電線에 1970年代 초반까지 사용되었으나 60년대 말경 TAL과 같은 耐熱性을 유지하면서 導電率을 58%에서 60%로 向上시킨 60TAL이 古河電工(60TAL), 日立(CTAL) 住友(STAL), 藤倉(FTAL)등 여러 電線會社에서 속속 開發되자 이에 代替되었다. 이제 60TAL의 金屬學的인 製造原理를 간단히 소개하면 電氣用 알루미늄地金에 微量의 Zr을 첨가할 경우 耐熱性에 영향을 주는 것은 Al₃Zr析出物보다도 固溶Zr 자체가 轉位의 미시적인 운동에 장애가 되므로 耐熱效果가 생긴다고 알려졌다. 그러나 固溶Zr은 Ti, V와 함께 알루미늄의 導電率을 저하하며 그 값은 0.1%當 4.1%IACS로 크다. 따라서 導電率을 증가시키기 위해서는 Zr함량을 낮게하는 것이 필수적이며, 이

Zr減量에 의한 耐熱性的 저하를 보상하기 위해 제 3元素(주로 稀土類元素)를 微量 첨가하고 Zr과 第3元素의 作用을 최대한 이용하는 製造法을 사용하여 60%導電率 耐熱알루미늄 합금線(60TAL)이 제조되는 것이다. 이 사항을 그림3에 Al-Zr平衡狀態圖를 이용하여 나타내었다. 韓國科學技術院(KAIST) 研究팀에서는 低濃度 Al-Zr系에서 添加Zr 및 塑性變形이 耐熱성에 미치는 影響과 冷間加工된 Al-Zr合金의 低溫燒鈍硬化에 관한 基礎研究를 수행하여 60TAL의 제조에 관한 基礎的 事項들을 이론적으로 檢討하였다. 그 후 金星電線(株)과 大韓電線(株)의 工場生産設備인 Properzi 工程

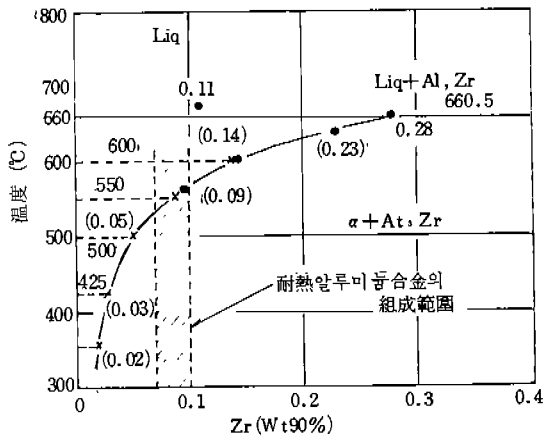
에서 電氣用 高純度알루미늄地金에 微量의 Zr을 첨가한 후 溶解, 連續鑄造, 壓延, 伸線등 제반 工程에서 60TAL의 必要特性을 만족하는 適正條件을 檢討하여 生産化하는데 成功하였다.

5. 60%導電率 耐熱알루미늄電導線의 特性

보통 電線用 알루미늄素線에 요구되는 特性은 導電率, 機械的性質, 軟化特性, 振動疲勞特性, 耐食性등이다. 다음의 表2에 機械的性質과 電氣抵抗 그림4에 軟化特性, 그림5에 振動疲勞特性, 그림6에 耐食성을 기존의 硬알루미늄線(HAL)과 비교하여 나타내었다. 60TAL은 HAL에 비해 導電率은 60%로 1%IACS정도 낮으나 耐熱성이 150℃常用溫度(HAL은 90℃)로 높으며 기계적성질, 피로특성, 내식성은 거의 비슷함을 알 수 있다.

6. 經濟性

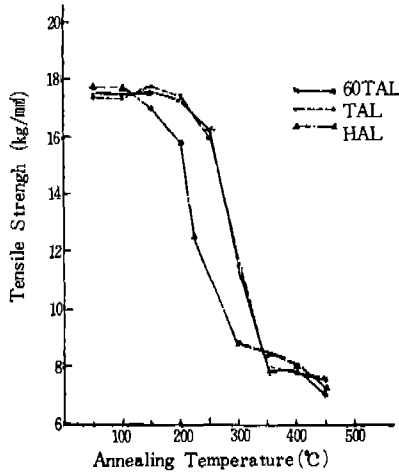
大容量送電線으로써 어떤 線種, 사이즈, 導體數를 채용하는가에 관해서는 工事費, 送電損失, 負荷率등의 經濟性 評價方法에 따라 달라지므로 간단히 계산할 수 없으며 60TAL의 경우 국내 使用實績이 없으므로 日本의 예를 들어 간단히 언급하고자 한다. 이 문제는 후후 韓電(株)에서 면밀히 檢



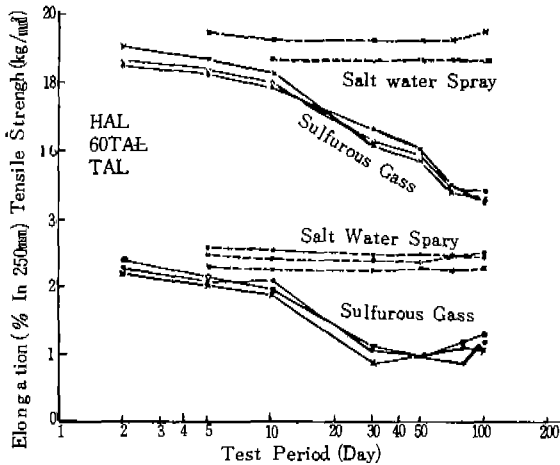
〈그림-3〉 Al-Zr 2元系平衡狀態圖

〈表-2〉 Cechk Technical data for 60TAL

Diameter mm	Diameter Variation (±mm)	Tensile Strength		Elongation 250 mm (%)	Reference Value			
		kg / mm ²			Breaking Load (kg)	Electrical Resistance 20℃ 80/km	Electrical Conductivity (20℃ %IACS)	
		min	average					min
4.5	0.04	16.17	16.87以上	2.0以上	257	268以上	1.81	60.0以上
4.2	"	"	"	"	224	234	2.07	"
4.0	"	"	"	1.9	203	212	2.29	"
3.8	"	"	"	"	183	191	2.53	"
3.7	"	16.52	17.23	1.8	178	185	2.67	"
3.5	"	"	17.58	1.7	159	169	2.99	"
3.2	"	"	"	"	133	141	3.57	"
2.9	0.03	16.87	17.93	1.6	111	118	4.35	"
2.69	"	17.23	18.28	1.5	97.9	105	5.06	"
2.6	"	"	"	"	91.5	97.0	5.41	"
2.3	"	17.93	18.98	"	74.5	78.9	6.92	"



〈그림-4〉 4.0mm線材의 軟化特性

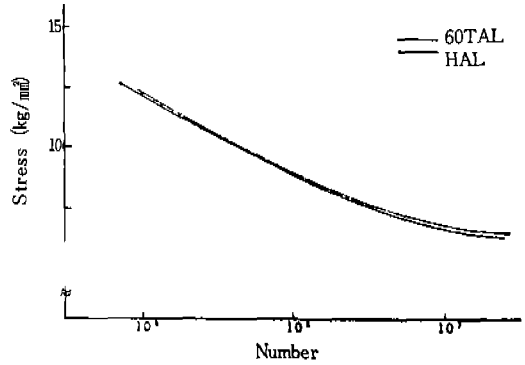


〈그림-6〉 耐食性試驗 結果

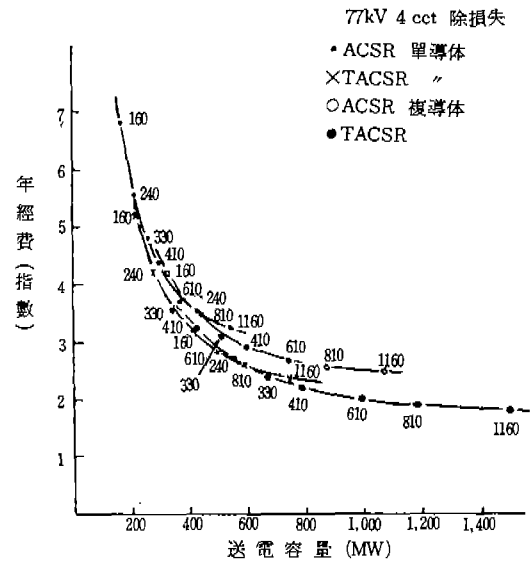
討되기를 期待한다. 그림 7에 日本에서 검토한 送電容量과 年經費와의 관계가 제시되어 있으며, 送電容量이 커질수록 TACSR편이 經濟的으로 有利할것으로 나타나고 있다.

7. 맺는말

電源에서 消費地까지가 먼 거리가거나 送電電力의 단위가 大容量일 경우에는 送電電壓을 높이거나 電流容量을 크게 하는 것이 經濟的으로나 技術的인 面으로 必要하게 된다. 우리나라의 경우 종래 154kV系統에서 345kV系統으로 格上한지 7년이 경과하였고 앞으로 10年 후에는 현재의 345kV幹線이 全國의인 系統網을 형성하고, 原子力發電所나 大規



〈그림-5〉 4.0mm線材의 振動疲勞特性 (S-N 曲線)



〈그림-7〉 送電容量과 年經費

模 水火力發電所가 계속 건설될 경우 그이상 500또는 800kV超高壓送電이 必要하게 될것이다. 그것은 電源立地의 遠隔化, 電源構成의 變化 (原子力發電中心), 國土의 制限등의 面으로 보아 필연적 이라고 할 수 있다. 이런 大容量送電에 必要한 基幹送電線의 構成에 있어 山地가 많고, 電力輸送의 量 및 시설의 平均面적密度가 높아 送電무우트의 확보가 곤란한 우리나라의 경우 이웃 日本과 비슷한 여건에 있다. 따라서 345kV이상의 超高壓送電에 있어서는 電流容量이 기존 ACSR보다 50%정도 增大된 耐熱60 TACSR과 같은 線路의 設置가 效果的이라 생각된다.