

특별강연

스트레인 게이지 40년

漢陽大學校 精密機械工學科

名譽教授 韓 應 教

## 1. 머리말

現在 電氣的 應力測定의 核心이 되고 있는 “스트레인 게이지”는 元來에는 構造物 機械類의 強度를 調査하는 것을 主目的으로 測定技術이 發展되어 왔으며, 게이지의 優秀한 特性이 認定되어 이것에 그치지 않고 오늘날에 와서는 높은 精密度와 높은 安定性으로 工業計測上 없어서는 안될 自動化의 檢출 변환기 또는 저울과 같은 産業用 센서로서도 이용되고 있다.

이와 같은 스트레인 게이지는 二次大戰 以後에 紹介된 지 벌써 40年이나 되었으며 各國 先進國의 工業界는 勿論 造船, 航空交通機關 및 建設部門의 發展에 寄與해 왔음을 너무도 잘 알려져 있는 事實이다. 筆者가 1952年 처음으로 大學卒業後 就職을 하게 된 것이 바로 스트레인미터를 製作하기 始作한 會社였으며, 그 當時만 해도 초창기 이라 美國의 G.H.Q에서 나오는 여러 資料 등을 통해서 國産化 試作에 熱中하던 시절이라 하겠다. 이것이 因緣이 되어 오늘날까지 이 方面에서 冥들게 되면서, 30有餘年을 보내고 있다. 그間 스트레인 게이지의 發展을 보면 마치 이웃나라 日本의 産業復興과 成長의 尺度와 같이 느껴지곤 한다.

우리나라에서도 急速度로 發展된 産業界에 高層建物 등 熔接技術과 함께 非破壞檢査의 한 분야로서 스트레인 게이지가 널리 이용되고 있다. 따라서, 지난 60年代부터 大韓機械學會와 80年度에는 새로이 發足된 韓國非破壞檢査學會에서 각기 技術講習을 가진 바가 있어 요즘에는 이에 대한 認識과 關心이 매우 깊어져 가고 있다. 特히 우리나라의 自主國防과 關聯機械工業의 系列化 國産化機械의 品質向上 및 研究開發 등 허다한 問題를 가지고 있는 이 時點에서 스트레인 게이지가 寄與하는 것을 생각할 때, 그間 40年間 이 分野에 몸을 담아온 한사람으로서 熔接分野와 密接한 關係를 지닌 스트레인 게이지에 대해서 大韓熔接學會 秋季學術大會의 講演을 하게 된 것을 매우 뜻깊고 無限한 榮光으로 생각하는 바이다.

## 2. 電氣抵抗 스트레인미터의 發展相

스트레인 게이지가 처음으로 實驗面에서 世上에 나온 것은 1936年경 California 大學 E.E. Simmons, 그리고 MIT A.C. Rudge 教授가 거의 같은 시기에 衝擊試驗과 地震振動試驗을 Wire 스트레인 게이지를 가지고 利用했으며, 1940년에 B.L.H 會社에서 教授로부터 特許를 사 들어서 1950년까지 教授의 머리글자를 따서 SR-4라는 商品名으로 판매되어 왔으며, 特히 MIT 夏期講習은 有名하였다.

日本에서는 2次大戰後 1951년에 船舶技術研究所와 東大 研究陳에서 처음으로 鎔接船의 Static, Dynamic의 應力測定을 개시, 이것에 必要的인 多彩로운 測定技術開發이 進行되었다. 特히 鐵道車輛, 교량 등에 있어 스트레인 게이지로 하여금 應力解析實驗 時代의 先驅的 역할을 하였다.

처음에는 스트레인 게이지가 와이어(금속 細線)였으나, 1953년에 英國에서 感光法으로 호일게이지가 만들어졌으며, 日本에서는 1960년에 와서 國産化가 되어 有限要素法의 適用으로 橫강도와 스트레인 分布도 解析되어 게이지 길이 微小化 및 特性이 좋은 게이지의 生産을 보게 되었다.

材質로서 常溫用은 Cu-Ni 合金, 高溫用은 Ni-Cr 合金이 使用되고, 半導體 게이지, 蒸着 게이지 등이 開發되었다. 蒸着 게이지는 美國에서 開發, 販賣되고 있으나, 特殊한 應力變換器 등 센서 출력부에만 사용하는 實情에 있다.

스트레인 게이지는 처음에는 單純한 一軸만의 應力測定用에서 1957年경에는 Rosette 게이지 및 複列의 게이지가 製作되었다. 그 後 여러가지 目的에 使用되는 게이지들이 나와서 靜的, 動的 應力解析 및 衝擊振動測定 등에도 좋은 데이터를 구할 수가 있어 現在까지도 그 眞價는 認定되고 있다. 1965년에 와서 大 스트레인 測定用的 塑性 스트레인 게이지도 製作 使用되었다. 이 時代에 美國 Budd 社에서 開發된 굽힘

(bending) 게이지가 나와서 裏面의 應力測定이 不可能할 때, 적당한 두께를 지닌 베이스 上下 면에 스트레인 게이지를 붙여서 中立面 스트레인과 굽힘 스트레인을 同時에 測定함으로써 裏面 스트레인도 측정할 수 있게 되었다. 그 후 게이지의 發展은 特性 向上과 더불어 또하나의 半導體게이지의 開發이 있었으나, 半導體 게이지는 여러가지 단점이 있어 종래 게이지와 같은 應力解析用보다는 應力變換器와 같은 것에 局限되어 使用되고 있으며, 게이지의 피로시험을 통해서 NAS 規格에 근거를 두고 裝置開發을 하여 實驗을 하는 등 常溫뿐만 아니라 高溫 분위기 속에서도 게이지의 피로, 안전성을 檢討하게 되었다. 1970년에 와서 自己溫度補償 게이지가 開發되었다. 初期의 것은 열전대 出力에 따른 겉보기 스트레인 消去形과, 또는 加熱된 白金과 常溫의 抵抗體를 直列接續한 더미게이지에 의한 액티브 게이지와 回路內에서 熱出力을 消去시키는 모듬 형식 등이었다. 그 후에 素材의 線膨脹係數에 맞는 抵抗의 溫度係數를 조정하는 形式이 現在의 自己溫度補償 게이지로 개발된 것이다.

이와 같은 溫度補償用 게이지의 開發에 時를 같이하여 高溫게이지의 研究가 進行되어 이 目的을 위한 高溫게이지가 考案되었으나, 베이스와 接着材에 어려운 점이 있고, 美國의 Baldwin社製 熔接型 게이지가 開發되어 300 °C~400 °C까지 측정이 可能하게 되었으며, Microdot 社(現 AIL TECH社)製 熔接型 게이지가 熱應力測定에 應用되었다. 1971~2년에는 約 600 °C까지 可能하게 되고 日本에서도 1980年代에 와서야 겨우 應用 段階로 접어들 수 있었다. 實用上은 이보다 훨씬 높은 溫度가 必要하나, 測定精密正 確度면에서 現在로서는 쉬운 일이 아니다. 溫度 變動이 없는 高溫(400 °C까지)에서의 振動을 Baldwin社製 熔射型 스트레인 게이지와 Rokide社製 熔融알미나 熔着 시스템에 의해 측정할 예가 있다.

L.P.G, L.N.G 탱크 製造 및 超傳導 磁石의 開發研究가 進行되고 있는 時點에서 低溫 構造物의 應力測定이 요망되며, 이 分野에 게이지 適用이 研究되어 왔으며, 스트레인 게이지의 特性試驗 및 Ni-Cr 게이지의 低溫場에서 有效性 與否의 확인 등이 이루어졌다. 그밖에 海洋工學的인 면에서의 高壓에 견디는 게이지, 壓力效果 스트레인 발생 억제에 관한 研究 등, 耐水 처리, 電氣 絶緣, 접착제 등 그리고 高溫用 게이지 접착 (Ceramic)을 용접을 하는 등 많은 用途에 대한 어려운 問題를 지니고 있는 상태이다.

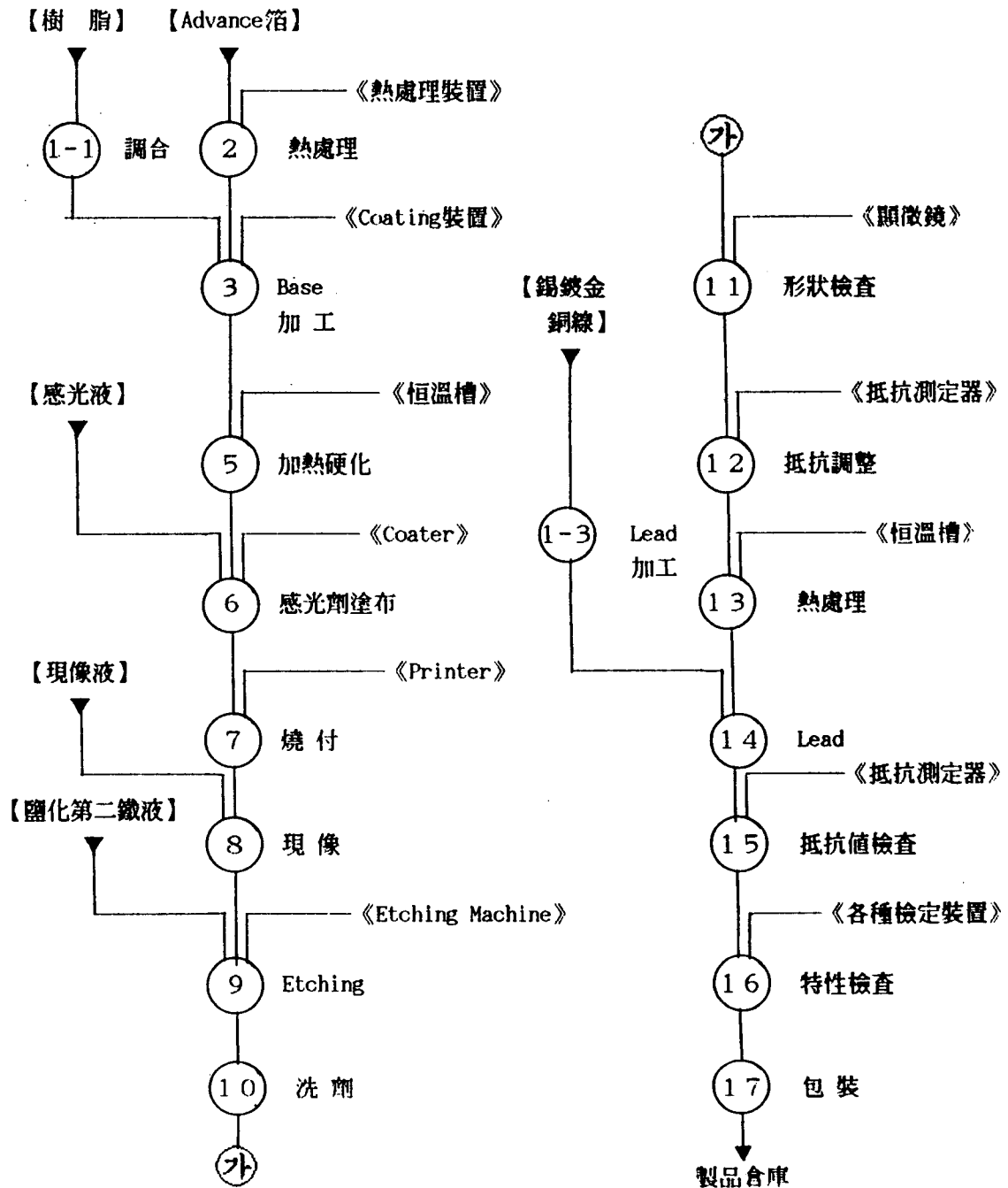
### 3. 우리나라의 스트레인 게이지 現況

우리나라도 스트레인 게이지가 使用되기 始作한 것은 오래된 것으로 안다. 서울工大 葉英哈 博士와 梁相全 博士 등이 MIT 夏期講習會를 1960年代에 받아 實驗 研究에 活用하고, 筆者도 1952년부터 1956年 歸國할 때까지 約 3年間 Shinkoh, TOYO 計測會社에 勤務하여 습득한 技術을 토대로 1960年 초반에 서울工大에서 葉英哈 教授와 함께 스트레인 技術講習會를 처음으로 開催하고 이어서 2~3年마다 約 7~8回 정도의 技術講習會를 가진 바 있다. 그리하여 各 大學, 自動車 메이커, 工高 實驗室 등에 普及이 擴大되었다. 그러나 이 分野에 使用되는 測定기기 및 게이지는 國産化가 안되고 있었고, 1980년에 들어와서야 産業의 高度成長으로 차츰 工場의 自動化 및 電子式 저울이 普及되기 시작하여 저울용 로우드셀 國産化 및 産業用 로우드셀이 市販되고 있으나 스트레인 게이지는 아직 完全히 使用할 만한 것은 生産이 안되고 있는 實情이다 (CAS 저울 전문 메이커에서 始製品 제작중). 現在로서는 스트레인 게이지 專門메이커가 하나도 없다는 것이 매우 안타까운 일이라 생각된다. 電子式 저울메이커는 5~6個 정도 있으나 그 基本이 되는 變換素子인 스트레인 게이지의 國産化가 매우 時急하다고 본다.

우리 研究室에서는 호일게이지 ( $120\Omega$ ,  $350\Omega$ )를 日本 OPTNICS精密에서 주어진 형태로 1次 半製品(코팅, 얼처리, 옛징)을 하여 보내줌으로써 2次 完成品(抵抗 調整, 리드線 부착 및 게이지를 檢定試驗 등)을 낸 바 있다 (1990年). 새로운 접착형 게이지 開發을 위해 OPTNICS精密 會社와 共同으로 스파터식 및 호도사진부식식의 두가지 方式에 의한 研究를 計劃中에 있다.

# Strain - Gauge 標準製造工程圖

( Foil - Gauge )



日本 OPTINICS 精密

國內

## 4. 熔接분야에서 사용되는 高溫 게이지

熔接분야에서 材料強度 또는 構造設計에 있어서 一般게이지를 흔히 사용하고 있으나 여기에서는 熔接을 한 後— 발생하는 殘留應力을 측정 또는 熔接시 高溫에서의 應力變化를 測定하는 特殊 게이지의 두 가지만을 說明하고자 한다.

### 4.1 殘留應力測定用 게이지

國際熔接會議에서 1952년에 國際標準殘留應力測定法을 채용하였다. 그나아트(gunart)法에 의한 殘留應力測定으로서 部材의 일부분에 슬릿 또는 작은 구멍을 뚫어서 그 깊이에 대한 구멍 주변부에서 解放된 應力을 누적하여 깊이방향 殘留應力을 측정한다.

이 방법은 非破壞的으로는 할 수는 없으며, 보통 試驗片을 가지고 熔接비드 부분의 殘留應力測定에 잘 쓰여지고 있다. 그러나 스트레인 게이지를 드릴링하는 구멍 주변에 접촉시킬 경우 스트레인 게이지가 극히 소형이면 구멍의 지름도 작게 할 수가 있어 殘留應力測定이 가능하게 된다.

殘留應力測定用 패턴은 중앙에 드릴링하기 위한 구멍이 있으며 素子の 배열은  $45^\circ$  3軸로젯트(rosette) 게이지로 되어 있다. 게이지 패턴의 한 예를 그림4-1에서 보여주고 있다.



그림4-1 殘留應力測定用게이지

### 4.2 高溫게이지

現在 시판되고 있는 高溫게이지는 접촉시키는 방법에 따라서 접촉형, 용접형, 그리고 용사형의 세가지로 크게 분류된다.

(1) 접착형은 一般게이지와 같은 方法이며, 抵抗材料 및 베이스는 耐熱性的의 材質을 사용해야 만 한다. 曲面에 부착이 쉬우며, Ni-Cr계 合金과 아스베스트 베이스를 사용한 特殊게이지인 이 스트레인 게이지는 걸보기 게이지이며, 300°C까지 自己溫度補償게이지로 사용할 수가 있다.

(2) Capsule형 高溫게이지

熔接과 같은 高溫에 있어서 部材에 發生되는 應力, 스트레인과 같은 것을 測定할 때 사용하는 게이지로서 最高使用溫度는 550°C이며 500°C까지 溫度補償이 가능하다. 게이지의 부착은 스폿트 (spot)熔接으로 한다. 그림4-2는 capsule형 게이지의 구조이다.

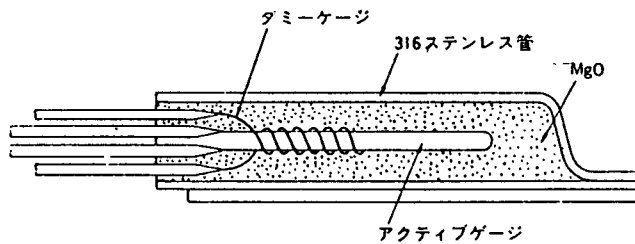


그림4-2 Capsule형 高溫게이지



(3) 용사형 高溫게이지

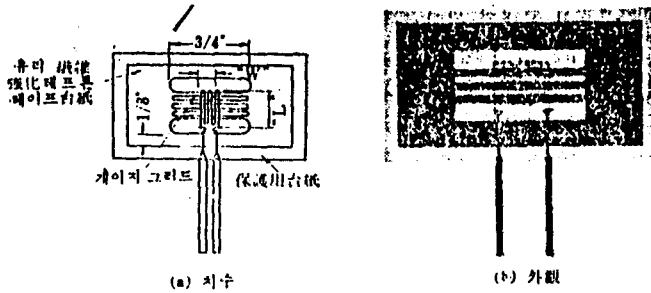


그림4-3 용사형 高溫게이지

그림4-3은 美國 B.L.H 會社의 용射用 高溫게이지이다. 이 게이지는 특수하게 세라믹의 용射法에 따라서 接着用으로 개발된 것이며, 이 게이지 素子는 니크롬 V, 카루마, 플레티너 등의 細線을 사용하고, 이는 리이드線(導線)과 熔接한 것이며, 테프론선에 에폭시를 滲透시킨 粘着테이프 위에 임시로 고정되어 있다. 粘着側에는 테프론선으로 보호되어 있고, 사용 직전에 이것을 제거해서 미리 세라믹을 塗布한 측정점에 압착시킨다. 다음에 세라믹을 에폭시, 테프론의 창살형의 구멍에 용射하면서 게이지 1/2 이상의 부분과 리이드線이 고정된다. 여기서 에폭시, 테프론 糊紙를 핀셋으로써 잘 제거시킨 後 전체를 또다시 세라믹으로 용射한다. 게이지의 使用溫度는  $-230^{\circ}\text{C} \sim 980^{\circ}\text{C}$ 의 넓은 범위까지 사용할 수가 있다. 카루마, 콘스탄탄으로 제작한 것은 自己溫度 補償이 가능하다.

여기서 기술된 바와 같이 內.外에서 研究가 계속되고 있으며, 특히 外國에서는 이 研究가 活潑하며 스트레인 게이지에 의한 高溫測定에는 아직 많은 문제점이 남아 있다. 현상황하에서는 日本非破壞檢査協會(NDI)의 高溫 및 低溫의 應力測定심포지움(8回, 1976.1.29) : “機械の研究” 第23卷3號(1971), 江川 : “熔接學會” 第40卷3號(1971)의 解説, 한응교 韓國機械工業振興會誌 “機械工業” 第5卷2號(1975), Strain gauge ⑤ : 한응교 스트레인게이지 -理論과 應用 普成文化社.

## 5. 맺음말

偶然하게도 日本에서 유학을 마치고 취직을 한다는 것이 스트레인 게이지를 日本에서 처음으로 國産化시킨 메이커이고, 또한 그 당시의 日本은 敗戰에서 일어나고자 하는 時代이었으므로 苦生도 많았으나 實務에 있어서 얻은 것도 많았다. 그래서 歸國 後에도 철도청 철교, 조선공사의 차량 블루스터 製造, 신조차량의 강도 측정 및 동대문 문화재 보호를 위한 측정 등에 스트레인 게이지를 이용해 왔으나, 아직도 우리나라에서는 스트레인 게이지에 관한 측정기와 이에 관련된 센서 등이 國産化 및 開發이 잘 안되고 있는 점이 매우 안타깝기만 하다. 하루 빨리 이 분야의 메이커가 생기기를 바라며, 또한 이 스트레인 게이지가 熔接時代를 맞이함에 있어 널리 有用되기를 바라면서, 끝으로 熔接學會의 無窮한 發展있기를 기원하면서 講演을 가름하고자 한다.

” ? + think = strain gauge !! ”