

# 高温水中에 있어서의 스트레인測定에 관한研究

韓應教\*, 朴光吉\*\*

\* 漢陽大學校 精密機械工學科

\*\* 城東機械工高

(1981年 1月 29日 接受)

## Study on the Strain Measurement in Hot Water

Eung Kyo Han \*, Kwang Kil Park \*\*

\* Dept. of Precision Mechanical Eng, HANYANG University

\*\* Seong Dong High School of Mechanical Ind.

(Received; January 29, 1981)

### Abstract

When we use the strain gauge in the high temperature water, lowering of insulation resistance between test material and gauge is the matter. The lowering makes the measurement unstable and is the primary factor of an error. This study devises the waterproofing method in empirically that has the best insulating property in the hot water(100°C). In this way, we can reach the conclusion that on the condition of a few hours we can measure precisely in the high temperature like normal temperature.

었다.

### 1. 緒論

常溫水中에 있어서 스트레인測定은 文獻에도 많이 나와 있어서 거의 滿足할만한 정도로 活用되고 있으나 高温水中 또는 高温高壓에 對해서는 滿足할 정도가 못되고 있다. 그 주된 理由로서는 防濕이 어렵다는 것이다. 여기서 高温水中에서의 스트레인 게이지의 防濕과 이에 수반되는 여러 問題點을 基礎적인 實驗을 통해서 檢討하였다.

實驗에 사용된 게이지는 普通市販되고 있는 常溫用 게이지와 高温用的 2가지이며 이를 比較 檢討하

### 2. 絶緣抵抗

스트레인 게이지를 水中에서 使用할 때 가장 問題가 되는 것이 電氣的인 絶緣抵抗이며 게이지를 金屬表面에 接着했을 때의 抵抗線과 金屬과의 絶緣抵抗을 500MΩ 또는 100MΩ 以上으로 하도록 되어 있고, 그 以下에서는 게이지의 計測値는 信賴할 수 없다고 생각되고 있다. 그러나 抵抗 120Ω의 게이지에 누설저항을 60MΩ으로 並列로 했을 때의 零點變動은 게이지率이 2일 경우 鋼材( $E=2100\text{km/mm}^2$ )에서

$1 \times 10^{-6}$ 의 스트레인에 대하여  $0.02 \text{kg/mm}^2$ 의應力에 해당한다. 누설저항이  $12 \text{M}\Omega$ 으로 저하했다고 해도應力  $0.1 \text{kg/mm}^2$ 에 해당되는變動에 지나지 않아, 電氣回路만을 가지고 생각하면  $500 \text{M}\Omega$ 의 絶緣抵抗을 要求하는 것은 無意味하다고 보며  $50 \text{M}\Omega$  정도로서 滿足스럽다고 본다.

그러나 이것은 어디까지나 電氣回路만을 생각했을 경우이고, 絶緣抵抗이 낮아지면 게이지의 베이스(Base)와 接着劑가 濕氣가 들어가 있다는 것을 뜻하며 長時間이 지나면 抵抗線의 부식 또는 接着力の 低下 등으로 誤差가 發生하게 되어 때에 따라서는 게이지가 떨어져 나갈 경우도 豫想할 수가 있다. 特히 高温水中의 경우는 더욱 接着力の 低下가 促進될 우려가 크다. 이와 같은 點을 생각할 때 대체적으로  $100 \text{M}\Omega$  정도를 基準으로 하면 一般 應力測定에서는 充分하다고 생각된다.

### 3. 防湿處理

스트레인 게이지의 防湿處理에는 便利上 대체적으로 다음과 같이 3가지로 크게 나눌 수 있다.

(1) 코팅(coating); 게이지 및 게이지와 導線과의 接合部 부근을 皮복해서 물의 浸入을 防止하는 作用을 한다.

(2) 固定(fixing); 接合部 근처의 리이드線이 움직이지 않도록 한다.

(3) 保護(protecting); 게이지 部分을 機械的損傷으로부터 保護한다.

가장 간단한 경우에는 왁스와 같은 軟質의 防湿劑로서 코팅만 해도 充分할 때가 많으나 不注意로 導線을 움직이기만 해도 皮복이 無效가 될 때가 잘 發生하여 움직이지 않는 경우에도 固定시킬 必要가 있다. 이 方法으로서의 導線끝을 被測定物에 떠같은 것으로 잡아매든가 또는 硬質注射用樹脂 등으로 接着시켜 두면 된다. 最近에는 市販되는 端子 등을 利用하거나 또는 電子回路프린트板을 活用하여 端子를 만들어서 接着劑로 接着하여 利用하는 것도 可能하다. 特히 움직이는 物体의 計測, 流水中 또는 強風下의 計測 등에서는 特別히 固定에 對한 注意가 必要하다.

現場에서의 實比計測에는 各種 機械的損傷의 豫防을 爲한 強力한 保護具를 必要로 한다. 硬質의 注射

用樹脂(例로 Epoxy)로 全体를 直接 皮복해서 1개로 서 코팅, 固定 및 保護의 3가지를 兼하도록 하는 것도 좋은 方法의 하나이다. 그러나 長期間의 水中 計測 및 相當히 높은 應力반복을 하는 경우 등에는 一般적으로 코팅은 軟質의 것으로 하고 固定과 保護用은 硬質樹脂를 使用하는 등 別途의 方法을 講究하는 것이 좋은 效果를 期待할 수가 있다. 韓應教 教授陣에서 玉浦防波堤 매트法 시공시험에 있어서도 效果를 내고 있다.

#### 1) 防湿劑와 接着劑

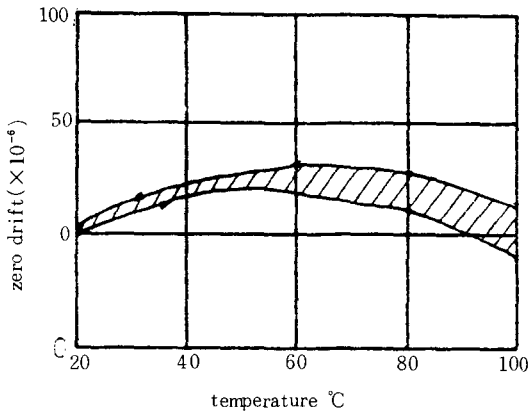
防湿處理라 해도 大氣中の 計測과 같은 간단한 처리부터 水中 또는 高温水中과 流水 속의 計測과 같은 嚴重한 處理方法까지 있으며 더욱 測定期間의 長期 또는 短期間 등에 따라서도 要求되는 條件을 달리하고 있다. 이와 같은 要求條件을 滿足시킬 수 있을 정도로 充分한 處理方法으로서 處理가 손쉽고 材料가 싸게 들며 測定코자 하는 應力狀態에 대한 影響을 주지 않고 거기에 防湿效果의 信賴度가 높은 것이 要望되고 있다.

防湿劑의 比較에 關해서는 Palermo의 報告(3) 등이 있으나 外國의 것은 材料의 이름만으로는 詳細하게 알 수 없는 것이 있고 또한 國內에서 入手困難한 것이 허다하다.

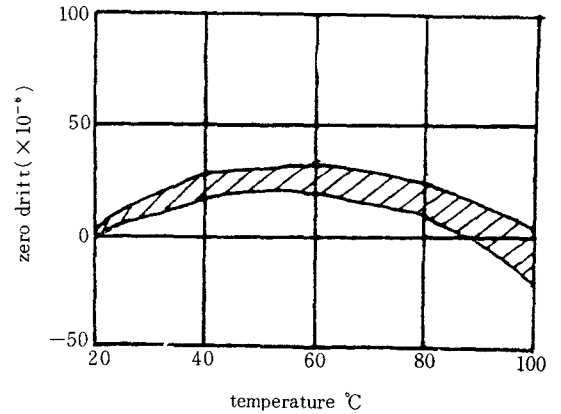
게이지를 被測定物에 接着하는 接着劑는 應力을 正確하게 傳達하기 爲하여는 金屬에 對하여 페닐수지, 폴리에스테르수지, 에폭시수지, 염산비닐수지 등의 硬質樹脂가 一般적으로 使用된다. 그러나 이들은 耐水效果는 별로 우수하다고는 볼 수 없다. 卽 前述한 바와 같이 이와 같은 接着劑는 코팅作業도 兼하고 있으므로 完全한 耐水效果를 期待하기는 매우 어렵다. 耐水效果가 가장 우수한 것은 弗素樹脂이며 이는 金屬 또는 다른 種類의 樹脂와 接着性이 매우 나쁘다. 마이크로크리스탈링 왁스도 耐熱性이 나빠서 雨水와 日光直射를 받는 露出되는 곳에서의 夏期 計測 등에는 그대로는 測定이 不可能하다. 따라서 各 計測目的에 따라 各各 그 特徵을 十分 發揮할 수 있도록 適當한 配合를 구상할 必要가 있다.

#### 2) 코우팅 方法

특히 嚴重히 防水를 必要로 할 경우에는 前記와 같은 약간의 實例도 있으나 경우에 따라 各各



a) Four hours after fixing the gauge



b) 24 hours after Fixing the gauge

Fig 1. Zero-drift corresponding to the temperature

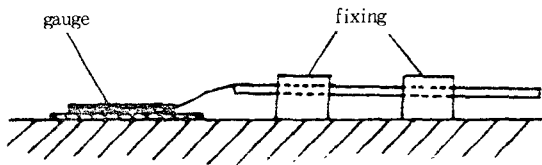


Fig 2. fixing method

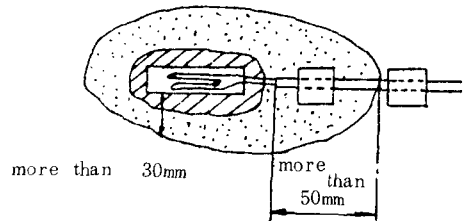
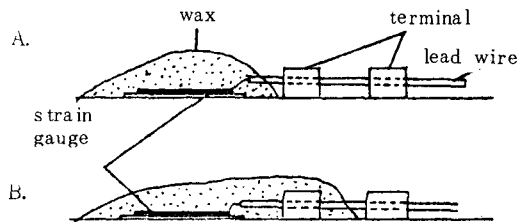


Fig 3. Coating technique

그에 부합되는 對策을 달리 取할 必要가 있다. 一般的인 耐水處理의 要領으로는 다음과 같은 手法을 쓴다.

가) 測定面을 되도록 廣範圍하게 研磨清掃한다. 測定點을 中心으로 반지름 30~50mm 정도로 녹을 除去하여 素地가 나오도록 完全하게 研磨한다. 導線引出部까지 研磨하는 것이 좋으며 研磨後 아세톤 또는 四塩化炭素 등으로 油脂分을 完全하게 清掃해 둔다.

나) 接着劑는 시아노-아크릴레이트(Cyano-acrylate)系를 使用하고 接着技術은 常溫에서 施行하는 方法과 같다. 大氣中에서 接着한 게이지의 溫度特性은 그림 1과 같다.

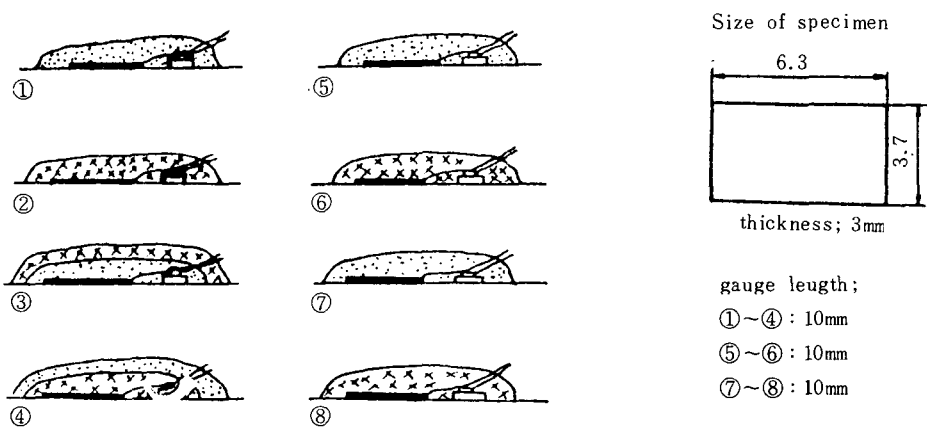
그림 1.

다) 接着劑로 接着하여 큐어링(Curing)한 後 그 위에 코-팅을 한다. 폴리에스테르(Polyester)樹脂, 에폭시(Epoxy)樹脂 등에서는 이에 所要되는 時間을 常溫에서 1週日, 100°C에서 2~3時間으로 잡는다.

라) 導線과 接合시켜서 固定(fixing)시킨다. 게이지와 導線과의 接合을 되도록 게이지에 가깝게 하고

裸線引出部와 導線의 皮복을 벗긴 부분을 가능한 한 짧게 한다. 그림 2는 固定方法이다.

마) 왁스(wax)로 코-팅한다. 바르는 왁스의 두께는 5mm 정도로 充分하다. 게이지로부터의 높이를 5mm 이상 두껍게 발라도 導線과의 接合部 부분에서 極히 얇아지는 경우가 생기므로 注意를 해야 한다. 바르는 넓이는 되도록 넓게 하는 것이 效果的이다. 왁스의 層을 통해서 물이 浸入하는 경우는 거의 없고 金屬과의 境界面에서 들어가는 경우가 많다. 그림 3은 코-팅方法의 한 例이다.

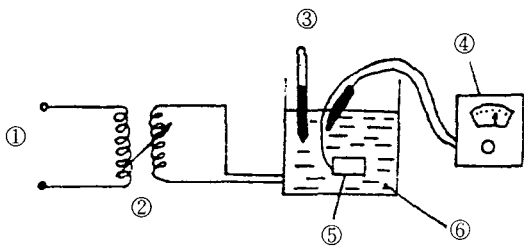


- ①~④ : foil gauge (F'LA-10-11); gauge factor  $F'=2.01$   
 ⑤, ⑥ : polyester gauge (PB-10);  $F'=2.01$   
 ⑦, ⑧ : high temperature gauge (KA-A8-11);  $F'=2.04$

Barrier E (B. L. H. Co. Ltd.; U. S. A)

Silicone (Shin Etsu Chemistry Co.; Japan)

Fig 4. Coating method of specimens



1. Power source 100V 60c/s
2. Slide transformer
3. Thermometer
4. Vacuumtube
5. Specimen with the strain gauge coated
6. Electric vessel

Fig 5. Insulation Testing

#### 4. 実験方法

보통 와이어게이지(폴리에스테일게이지; polyester gauge)와 포일게이지(foil gauge), 高温게이지 등 3 종류로서 여러 코-팅方法을 한 試片으로

- 1) 高温水中의 溫度 100℃ 까지의 絶緣抵抗試驗
- 2) 같은 高温水中에서의 零點移動量 測定



사진 1. Coated specimens

을 하였다. 그림 4는 實驗한 試片들의 코-팅方法이다.

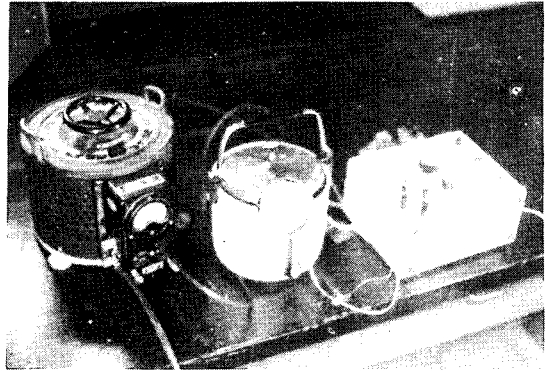
##### 1) 絶緣試驗

電氣술의 물을 20℃에서 100℃까지 上昇시키면서 絶緣抵抗이 低下되는 것을 測定하였다. 그림 5에 實驗裝置를 나타내었다.

사진 1은 試片이고 사진 2는 實驗裝置(絶緣抵抗 測定 및 零點移動)이다.



a) Insulation testing



b) Zero-drift testing

Photo 2.

Table 1. Relation of insulation resistance vs temperature in hot water

Temp- (°C)	Resistance (Ω)							
	① 31' 25"	② 31' 35"	③ 34' 25"	④ 33' 40"	⑤ 34' 0"	⑥ 36' 55"	⑦ 36' 10"	⑧ 34' 20"
20	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
30	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
40	800M	∞	800M	∞	900M	∞	∞	∞
50	390M	∞	300M	∞	320M	1000M	∞	∞
60	110M	∞	95M	∞	100M	500M	∞	∞
70	45M	∞	43M	∞	41M	180M	1000M	∞
80	17M	∞	20M	∞	19M	67M	380M	∞
90	8M	800M	12.5M	∞	11.5M	32M	160M	1000M
100	3.4M	170M	2.2M	1000M	5.8M	6.8M	38M	280M

### 零点移動

사진 2 (b)와 같이, 卽 그림 5의 絶緣抵抗計 대신 스트레인 인디케이터(strain indicator)를 연결하고 그림 5와 같이 試驗片에 두 線을 모두 연결하여 서서히 電氣浴의 水温을 높여가면서 10°C마다 零点移動量을 測定하였다.

### 5. 實驗結果 및 考察

前述한 바와 같이 各 供試驗에 對한 絶緣抵抗値와

水中溫度와의 關係와, 水中溫度에 對한 게이지의 零点指示値의 變動을 測定한 結果를 表1과 表2에 나타냈으며 表3은 100°C에서 계속 60분간 끓였을 때의 絶緣抵抗을 나타내었다.

그림 6과 그림 7은 表1과 表2를 圖表로 나타낸 것이며 그림 8은 表3을 圖式化한 것이다.

### 〈考察〉

考察로서 外國에서 實驗한 結果와 比較 檢討하면 다음 그림 9, 그림 10과 같다. 100°C水中에서 게이지의 絶緣抵抗이 어느 정도 時間에 견딜 수 있는가

를 實驗한 結果와 比較하도록 外國의 例를 그림 9에 表示하였다. 여기서 보면 一般의 50M $\Omega$ 까지는 2時間 정도이고 特殊하게 良好한 코-팅을 한 것은 4時間까지 가고 있다. 그리고 25 $^{\circ}\text{C}$ 와 75 $^{\circ}\text{C}$ 에 있어서 長時間에 걸친 實驗結果(그림 10)를 보면 溫度上昇에 따라 絶緣抵抗이 견디지 못함을 알 수 있으며 그 限界가 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 300~400日 정도이고 75 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 不過 2週정도이다. 이는 合成樹脂의 고무合成物質이 高温水中에서 溶解現象 및 試片 表面과의 接着力弱화를 促進시켜서 水分이 介在되므로써 絶緣이 低下된다고 생각된다.

## 6. 結論

簡單한 防水處理에 대해서 各種 게이지와 各種 防濕劑를 써서 比較하고, 또 그 處理要領에 對하여 試

Table 2. Relation of zero-drift vs. temperature in hot water

Temp- ( $^{\circ}\text{C}$ )	Zero drift $\times 10^{-6}$			
	1 27' 15"	4 27' 35"	7 24' 15"	8 26' 35"
20	0	0	0	0
30	11	6	43	42
40	16	8	88	78
50	12	5	144	105
60	4	- 4	196	139
70	- 7	-14	246	182
80	-18	-27	296	227
90	-18	-34	343	280
100	- 2	-22	404	355

Table 3. Zero-drift in 100 $^{\circ}\text{C}$  water during 60 minutes

Sample	Time	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'
④		1000	1000	900	800	750	700	650	600	570	530	500	480
⑦		28.5	17.3	12.8	10.5	10	9.5	9	8.5	8.2	8	7.7	7.5
⑧		150	85	45	33	22	16	12	9	7.5	7	6.6	6.4

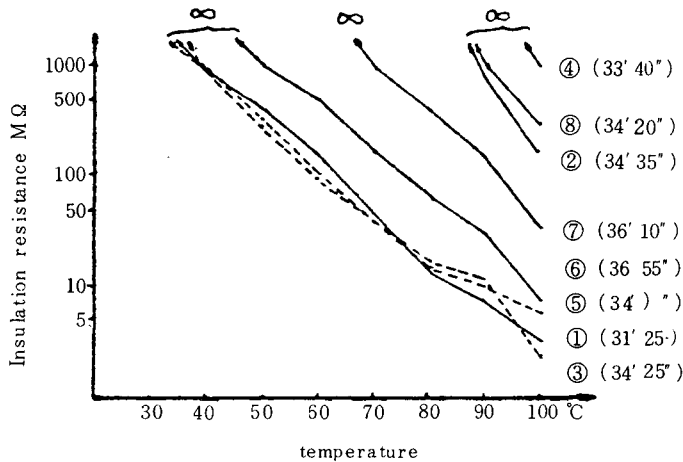


Fig 6. Relation of insulation resistance vs. temperature in hot water

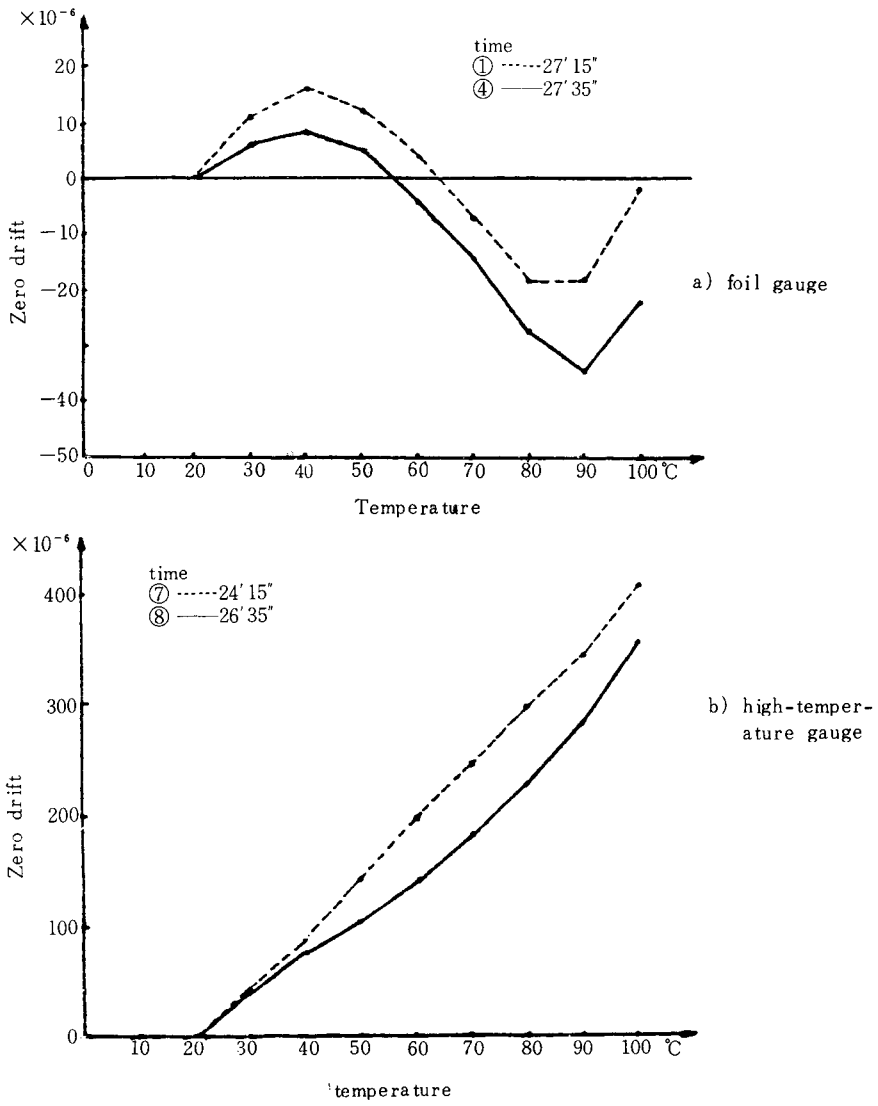


Fig 7. Relation of zero drift vs. temperature in hot water

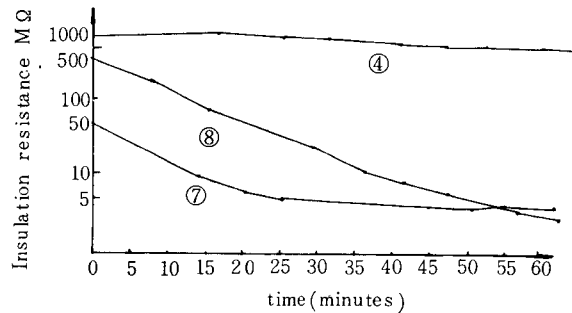


Fig 8. Zero drift in 100 $^{\circ}\text{C}$  water during 60 minutes

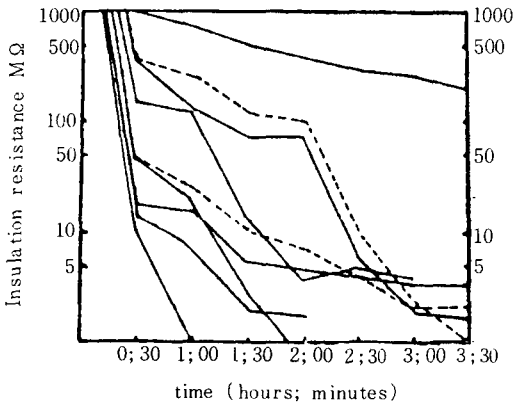


Fig 9. Relation of insulation resistance vs, time in 100°C water (foreign data)

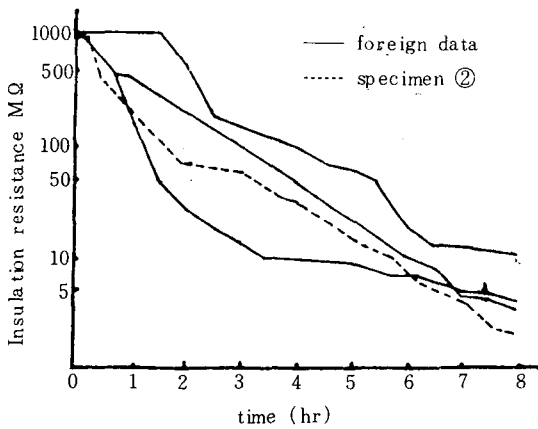


Fig 11. Relation of insulation resistance vs, time in 100°C water

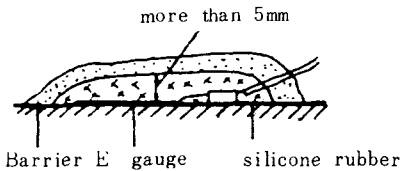


Fig 13. Successful coating method

驗한 結果는 다음과 같다.

- 1) 高温水中에서의 應力測定에 대한 가장 適合한

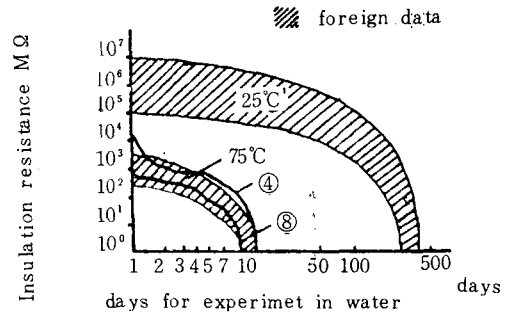


Fig 10. Relation of insulation resistance vs, days for experiment in hot water

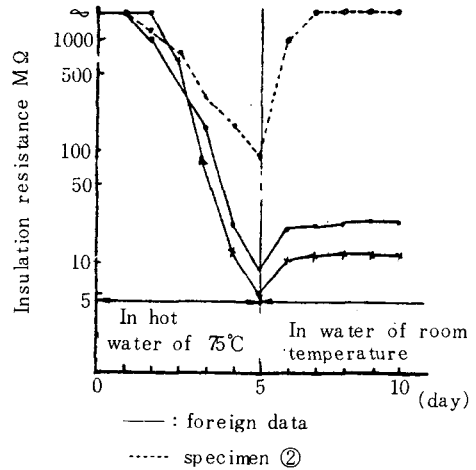


Fig 12. Comparison with foreign data (1973)

方法으로서는 그림 13 과 같은 處理方法이 좋다.

2) 防濕劑에 있어서는 B. L. H. 社의 Barrier E와 흔히 使用되고 있는 Silicon rubber로서 充分하다.

3) 外國에서 實驗한 Data는 數年前의 것이라 그간 防濕劑도 많은 發展을 가져온 結果 外國에서의 實驗值보다 훨씬 良好하다.

4) 高温水中에서의 100°C까지는 짧은 時間 卽, 5~6時間 정도는 應力測定이 可能하다. 그 以上の 溫度 또는 時日에 對해서는 各別한 手法을 必要로 하며 測定이 매우 困難하다고 생각된다.

以上과 같은 結論으로서 高温水中의 特殊環境下에서 的 스투레인 게이지의 使用에 對해서는 앞으로 研



究에 더욱 많은 時日과 努力이 所要되어야겠다고 본다.

## 7. 参考文献

- 1) H. O. Meyer; Proc. SESA(Soc. Exp. Stress Amaly.) 10-2, 1953
- 2) R. G. Boiten; Proc, Nat.Council for inst. R Res, 1974 54
- 3) P. M. Palermo; Proc SESA, 13-2, 1956
- 4) R. S. Barker & J. B. Murtland; Proc SESA, 14-2, 1957
- 5) F. E. Wells; Proc SESA, 15-2, 1958
- 6) 富田; 非破壞檢査; Vol. 7, No. 3, 1958
- 7) 山口; 非破壞檢査; Vol. 7, No. 5, 1958
- 8) M. Dean; Proc, SESA. Vol. 16, No. 1, 1958
- 9) 高橋, 内山; 生産研究 Vol. 10, No. 12, 1958
- 10) 青柳; “ワイヤ ストレンゲイジ” 日刊工業新聞社, 1959
- 11) 安藤; 生産研究 13-4, 1961
- 12) 高橋; 非破壞檢査 Vol. 10, No. 3, 1961
- 13) 松井; 非破壞檢査 Vol. 22, No. 10, 1973
- 14) 韓應教; 스트레인 게이지-理論과 應用, 普成文化社, 1976
- 15) B. L. H. “防水劑資料”, 1979