

携帶用 감마線파이프測厚計의 設計와 試作

(Design and Experiment on the Portable Gamma-Ray Pipe Thickness Gauge)

金 惠 鎮 *
(Kim, Duck Jin)

金 洪 植 **
(Kim, Hong Sik)

要 約

감마線 後方散亂을 利用한 鐵管두께 測定用 測厚計의 設計에 있어서 1/2인치 以下の 얇은 NaI크리스탈을 使用함으로써 計測部에 있어서 1個의 波高選別回路와 Anti-coincidence Circuit를 除去할 수 있다. 이 方式은 從來의 方式에 比하여 훨씬 回路가 經濟的이면서도 거의 비슷한 精密度와 安定度를 維持할 수 있다. 本論文에서는 위와 같은 새로운 方式에 依하여 設計, 試作된 測定器로서 지금까지 他研究者에 依하여 試圖되지 않았던 200°C의 高溫파이프의 管厚測定實驗을 行하였던바 常溫에서의 測定值보다 不過5% 以內的 變化밖에 가져오지 않음을 實驗적으로 確認하였다.

ABSTRACT

In the design of a portable Gamma-ray transistorized steel pipe thickness gauge, a pulse height discriminator and an anti-coincidence circuit could be eliminated by using a thin, less than 1/2inch, NaI(Tl) scintillation crystal in the detecting probe. This method could provide an economic design and fabrication of a gamma-ray back-scattering gauge allowing almost the same accuracy and stability compared with the existing method.

A gauge had been designed and fabricated with the above method and its accuracy was experimentally tested for the 200°C high temperature steel pipes. The result showed that the thermal drift was less than y percent which was acceptable in the practical applications.

1. 序 論

감마線 後方散亂現象을 利用하여 鐵 또는 鋼 製파이프의 管厚를 測定하려는 努力은 일찍부터 試圖되었다. 그러나 初期에는 감마線源과 선티레이손檢出器 사이에 插入한 遮蔽用鉛塊로 因하여 測定用 플로우브(probe)의 重量이 過重하여

實用이 안되었다. 1955년에 Putman과 그의 研究陣^{1), 2)}들은 이 鉛遮蔽物을 除去하고 線源에서 放射되는 1次 放射線과 被射體에서 後方散亂되는 2次放射線을 다같이 同一한 檢出器로 받는다음 이들을 Anti-Coincidence回路를 使用하여 電子工學적으로 除去하도록하는 方法을 考案하였다. 이렇게 함으로써 鉛遮蔽物을 플로우브에서 完全히 除去하게 되므로 플로우브의 重量이 減少하여 携帶用으로서의 實用性을 갖게 되었다.

* ** 原子力研究所 爐工學研究室
(67.7.12 接受)

今日에 이르기까지 Putman의 方法은 그대로

使用되고 있으며 다만 그가 考案했던 電子管回路만이 그대로 트랜지스터로 代置되었을뿐 別다른 改良은 볼 수 없었다. 測定될 파이프의 表面溫度가 100~200°C程度의 高溫일 때에는 上述한 方法에서는 測定誤差가 相當히 커짐을 免치 못하게 된다. 卽, 그림 1의 在來式 트랜지스터 振幅選別回路에서는 周圍溫度上昇에 따라 選別回路 D₁ 및 D₂의 베이스 레벨이 各各 漸次的으로 變動하므로 이들 바로 後段에 接續된 Anti-Coincidence回路로부터의 出力信號는 감마線 後方散亂線의 Photo-Peak인 約 0.2Mev 附近의 振幅을 最適條件下에서 받아들이지 못하게 되므로 Anti-Coincidence 回路뒤에 接續된 計數率計 (Count-Rate Meter)上的 指示는 正確한 두께를 가르키지 못하게 된다.

本論文에서는 100~200°C程度의 高溫파이프의 管厚測定에도 적은 誤差範圍內에서 利用될수 있도록 하기 爲하여 溫度變化에 銳敏한 上記方式을 쓰지 않고 얇은 NaI센티케이션 크리스털을 使用하여 高에너지 감마線(1次放射線)을 透透시켜버림으로서 單一選別回路만을 使用하고 最後段의 Count-Rate Meter部에서 逆方 電流를 두께 指示用 直流 Micro-Ammeter에 흘려 零點調節을 하도록하는 經濟的이고 設計가 簡單하면서도 在來式보다 安定된 새로운 方式을 考案하여 記述하였다.

2. 감마線 後方散亂과 物質 두께와의 關係

Co⁶⁰과 같은 放射性同位元素로부터 放射되는 1Mev內외의 감마線과 物質과의 相互作用中에서 가장 重要한 것은 콤프톤 效果라고 생각할 수 있다. 物質에 照射된 감마線이 콤프톤 效果에 依하여 散亂될 境遇 散亂線의 에너지는 入射된 감마線과 달라지며 그 크기는 다음 式으로부터 求할 수 있다.

$$E_{scat} = \frac{0.511E_{inc}}{E_{inc}(1 - \cos\theta) + 0.511} \dots\dots (1)$$

여기서 E_{inc} 및 E_{scat}는 入射 및 散亂線의 에너지(Mev)이고 θ는 入射線과 散亂線이 이루는 角이다.

(1) 式에서 θ가 180°일때 散亂線과 入射線의 方向은 正反對로 되고 이와같은 散亂을 特別히 後方散亂(Back Scatter)이라고 한다.

實際에 있어서는 θ ≥ 0.8π일 때에는 散亂線의 에너지는 θ = 180°일 때의 그것에 近似한 값을 가지고 있으므로 θ = π ± 0, 2π 範圍에 있는 모든 散亂線의 에너지分佈는 θ = π일 때의 값과 거의 같다고 생각해도 된다.

지금 Co⁶⁰의 감마線의 境遇 入射線의 에너지가 1.17Mev 및 1.33Mev이므로 後方散亂線의

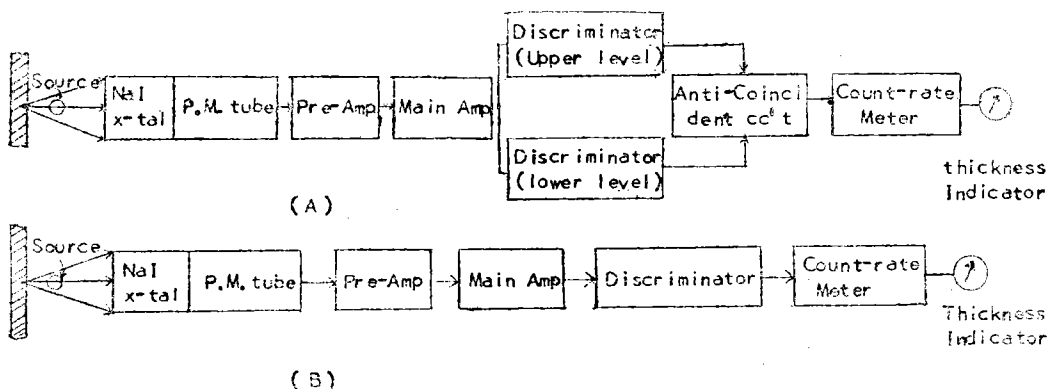


그림1 (A) 在來式 測厚計 및 (B) 單一-Discriminator 測厚計의 Block Diagram

에너지를 (1)式에 依하여 求하면 0.209Mev 및 0.214Mev가 된다.

감다線이 物質에 照射될 때 各 電子에 依하여 散亂되는 散亂線의 角分布는 Klein-Nishina-Tamm에 依하면

$$J_{scat} = J_{inc} \frac{e^4 \varphi(\zeta, \theta)}{m^2 C^2} d\Omega \dots\dots\dots (2)$$

로 表示된다. 여기서

J_{inc} 및 J_{scat} : 入射線 및 散亂線의 強度

e : 電子의 荷電

m : 電子 1個의 質量

C : 光速

$d\Omega$: 立體角

(2)式에서 $\varphi(\zeta, \theta)$ 는 다음과 같이 入射 감다線의 波長과 散亂角에 依하여 定해지는 函數이다.

$$\varphi(\zeta, \theta) = \frac{1 + \text{Cos}^2 \theta}{2} + \frac{1 + \frac{\zeta^2(1 - \text{Cos} \theta)^2}{(1 + \text{Cos}^2 \theta)(1 + \zeta(1 - \text{Cos} \theta))}}{(1 + \zeta(1 - \text{Cos} \theta))^2} \dots\dots\dots (3)$$

但, $\zeta = \frac{24.265}{\lambda_{inc}}$ 또는 $\lambda_{inc} = \frac{12.38}{E_{inc}}$

여기서 λ_{inc} 는 X-單位($1X - Unit = 10^{-11}cm$)로 表示한 入射線의 波長이며 ζ 는 波長에 依하여 定해지는 係數이고, E_{inc} 는 Mev로 表示한 入射線의 에너지이다.

(2)式에 依하면 散亂線量은 散亂體內에 들어 있는 電子數의 4乘에 比例하므로 散亂體의 體積이 一定할 때에는 原子番號가 클수록 많아진다. 그러나 實際에는 散亂線의 光電吸收(Photo-Absorption)가 原子番號의 4乘에 比例하므로 J_{scat} 와 原子番號와의 關係는 簡單하게 表示될 수 없다. 그러나 原子番號가 적은 範圍에서는 光電吸收를 無視할 수 있으므로 J_{scat} 는 原子番號가 增加할수록 같이 增加한다. 따라서 原子番號 30近處에서 最大散亂이 일어나고 있음이 說明되고 있다. 이보다 原子番號가 커지면 光電吸收가 甚하게 되어 散亂量은 減小하기 始作한다. 이 때문에 散亂體의 두께와 散亂量의 強度와의 關係를 正確히 理論의으로 求한다는 것은 어려운 일이다. 그러나 다음과 같은 近似的인 方法이 알려져 있다. 어떤 散亂體의 콤프톤 效果

에 對한 線型係數 μ_{sc} 과 그 散亂體內에 있어서의 1次 감다線에 對한 全吸收線型係數 μ_1 을 알면 表面으로부터 x 깊이에 있는 얇은層 dx 로부터 散亂되는 後方散亂線의 強度 dJ_{scat} 를 近似的의으로 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\frac{dJ_{scat}}{dx} = \mu_{sc} J_0 e^{-\mu_1 x} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 J_0 는 照射되는 1次 감다線의 強度이다. dx 層으로부터 後方散亂된 放射線은 一部分이 그 自體內에서 吸收되고 一部分이 表面까지 放射되어 나온다. 이때 表面에 到達하는 部分을 $J_{scat, sur}$ 라 하면

$$\frac{dJ_{scat, sur}}{dx} = \frac{dJ_{scat}}{dx} \cdot \exp(-\mu_{scat} x) = J_0 \exp[-(\mu_1 + \mu_{scat})x] \dots\dots\dots (6)$$

여기서 μ_{scat} 는 散亂線에 對한 線型減衰係數이다.

(6)式을 x 에 關하여 0부터 두께 d 까지 積分하면 두께 d 인 散亂體로부터 散亂되는 後方散亂線($\theta = \pi$)의 強度를 求할 수 있다. 即,

$$J_{scat, d} = \int_0^d \mu_{sc} J_0 \exp[-(\mu_1 + \mu_{scat})x] dx = \frac{\mu_{sc} J_0}{\mu_1 + \mu_{scat}} \{1 - \exp[-(\mu_1 + \mu_{scat})d]\} \dots\dots\dots (7)$$

(7)式에서 알 수 있는 바와 같이 散亂線의 照度는 散亂體의 두께가 얇은 範圍에서는 두께가 增加함에 따라 急히 增加하지만 어느程度 두꺼워지면 飽和狀態에 到達하게 된다. (7)式으로부터 $J_{scat, d}$ 가 飽和되기 始作하는 두께 $d(90\%)$ 를 求하면 大略 다음과 같이 된다.

$$d(90\%) = \frac{2.3}{\mu_1 + \mu_{scat}} \dots\dots\dots (8)$$

(8)式的 $d(90\%)$ 는 後方散亂을 利用하여 測定할 수 있는 두께의 限界인데 이 값은 使用될 放射線의 種類와 測定될 物體의 種類에 依하여 定해지는 값이다. 實際에 있어서는 두께가 $d(90\%)$ 에 到達하기 前부터 漸次的의으로 두께에 對한 散亂線強度의 變化가 적어지므로 적은 誤差로서 測定할 수 있는 두께는 $d(90\%)$ 의 半程度로 取하는 것이 좋다.

(7)式的 散亂線強度 $J_{scat, d}$ 는 모든 方向으로 散亂되는 것이므로 檢出器에 依해서 檢出되는 部分은 檢出器의 幾何學的 形狀에 따라서 이것

이 이루는 立體角內에 들어가는 部分만이 測定에 使用될 것이므로 이 部分을 J_a 라고 하면

$$J_a \doteq \frac{S_a \varphi(\zeta, \theta)}{4\pi \ell_a^2} \cdot J_{scat} \cdot d \dots\dots\dots (9)$$

여기서 S_a : 檢出器의 有效面積

ℓ_a^2 : 檢出器와 散亂體間的 距離

(7)式的 J_0 를 線源強度 a 로서 表示하면

$$I_0 = 3.7 \times 10^7 n_k \frac{S_{scat}}{4\pi \ell_{ss}^2} \cdot a \dots\dots\dots (10)$$

여기서 n_k : 1個의 核 崩壞時에 放出되는 r -Quanta數

S_{scat} : 實効散亂面積

ℓ_{ss} : 線源과 散亂體間的 距離

a : 線源強度

(7)式과 (10)式을 (9)式에 代入하면

$$J_a = J_{sat} \{1 - \exp[-(\mu_2 + \mu_{sscat})d]\} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{但 } J_{sat} = \frac{2.3 \times 10^5 \mu_{sc} \cdot n_k \cdot S_{scat} \cdot S_a \cdot \varphi(\zeta, \theta) a}{(\mu_2 + \mu_{sscat}) \ell_{ss}^2 \ell_a^2} \dots\dots\dots (12)$$

(12)式的 J_{sat} 는 d 가 d_{sat} 로 될 때의 J_a 의 값이다.

이 方法으로 두께를 測定할 때의 相對誤差 δd 는 (11)式으로부터

$$\delta d = \frac{\delta J \{1 - \exp[-(\mu_2 + \mu_{sscat})d]\}}{(\mu_2 + \mu_{sscat}) \cdot d \cdot \exp[-(\mu_2 + \mu_{sscat})d]} \dots\dots\dots (13)$$

精密度가 線源의 統計的誤差에만 起因한다고 假定하면

$$\delta J = \delta J_{stat} = \frac{\eta}{\sqrt{(t_{meas} \cdot \nu \cdot J_a)}} \dots\dots\dots (14)$$

여기서 ν : 檢出器能率

t_{meas} : 測定時間

J_a : 檢出器에 照射되는 強度

$\eta = \sqrt{(\Delta q)^2} / \Delta q$: 荷電増分の root-mean-square值의 平均値와의 比로 表示되므로

이를 代入하면 (13)式은

$$\delta d = \frac{\eta}{\sqrt{(t_{meas} \cdot \nu \cdot J_{sat})}} \cdot \frac{\exp[-(\mu_2 + \mu_{sscat})d]}{(\mu_2 + \mu_{sscat})d} \cdot \sqrt{1 - \exp[-(\mu_2 + \mu_{sscat})d]} \dots\dots\dots (15)$$

(15)式에서 最小誤差의 條件을 求하면

$$(\mu_2 + \mu_{sscat})d = 0.7 \dots\dots\dots (16)$$

여기서 두께가 $d_0 = 0.7 / (\mu_2 + \mu_{sscat})$ 로서 定해

지는 最適 두께의 값보다 多少틀려도 誤差는 그다지 甚하게 變하지 않는다.

어떤 주어진 誤差로 두께를 測定하는데 必要한 線源強度를 求하면 (12)式을 (15)式에 넣어

$$a = \frac{4.3 \times 10^{-6} \eta^2 \cdot \ell_{ss}^2 \cdot \ell_a^2 \cdot \exp[2(\mu_2 + \mu_{sscat})d]}{n_k \cdot S_{scat} S_a \varphi(\zeta, \theta) \mu_{sc} (\mu_2 + \mu_{sscat}) d^2 \cdot (\delta d)^2 \cdot t_{meas} \cdot \nu} \dots\dots (17)$$

을 얻는다.

위의 式들에서 η 는 使用된 放射線과 檢出器의 種類에 依存하는 값이며 例로서 G-M Counter의 境遇에는 Δq 의 分布가 적으므로 η 는 1보다 數%以上 크지 않으나, Scintillation Counter, Ionization Chamber等에 있어서는 이보다 若干 큰 값을 갖는다. 萬一 使用될 감마線이 單一 에너지 스펙트럼을 갖는다면 η 는 1.2程度이고 많은 에너지 스펙트럼을 갖는 境遇에는 大概 1.2~1.4程度로 된다. Co^{60} 線源을 使用할 때에는 一般的으로 $\mu_{sc} \doteq \mu_2$, $\varphi(\zeta, \theta) \doteq 0.05$ 程度라고 볼 수 있다. 그리고 ℓ_{ss} 는 可能한 限 적게하는 것이 좋고 ℓ_a 는 檢出器의 實効面積 S_a 에 依한 立體角內에 들어오는 散亂線이 $\theta \geq 0.8\pi$ 範圍內의 에너지와 같도록 定해 준다.

3. 감마線 파이프測厚計의 設計

(1) 設計條件

가. 測定範圍: 鐵 또는 銅管 두께 1~15mm 內徑 10cm以上

나. 파이프表面溫度: 最高 200°C

다. 工場內에서 携帶可能할것

라. 測定時間: 1個所當 1分以內

마. 電源: 電池 또는 A.C 220V

바. 測定誤差: 5%以內

(2) 線源 및 檢出器

鐵鋼材의 두께를 測定하기 爲해서 散亂線 強度가 飽和值의 約 90%가 되는 두께를 1.5cm로 하고 이러한 條件에 맞는 放射線源을 다음과 같이 求할 수 있다. 即, (8)式을 改쳐서

$$\mu_2 + \mu_{sscat} = \frac{2.3}{d(90\%)} = \frac{2.3}{1.5} = 1.53(\text{cm}^{-1})$$

를 滿足시키는 線源을 選擇하면 된다.

Co⁶⁰의境遇 $\mu_s \approx 0.4\text{cm}^{-1}$, $\mu_{scat} \approx 1.1\text{cm}^{-1}$ 이므로 $\mu_s + \mu_{scat} \approx 1.5$ 로서 위의計算値에 가까운뿐만 아니라 半減期도 5.3年이나 되어 자주計器를 補正할 必要가 없어서 適當하다. 다음線源의強度는 (17)式에 依하여 近似的으로 求할 수 있는데 이 式을 使用하기 爲하여 먼저 몇가지 常數를 다음과 같이 假定한다. Scintillation Counter를 使用하므로 $\eta \approx 1$, $\mu_s \approx \mu_s \approx 0.4\text{cm}^{-1}$, $\mu_{scat} \approx 1.1\text{cm}^{-1}$, $\varphi(\zeta, \theta) \approx 0.05$, 線源과 散亂體間의 距離 l_{ss} 는 可能한 限 적은 것이 좋으므로 $l_{ss} \approx 0.1\text{cm}$, 檢出器와 散亂體間의 距離는 檢出器의 實効面積 S_d 上的 立體角內에 들어오는 散亂線의 에너지가 $\theta = \pi$ 일 때의 에너지와 거의 같은 값이 되도록 取하는데 計器의 分解能(Resolution)을 좋게 하기 爲하여 1/2inch 直徑의 NaI x-tal을 使用한다던 $l_s \approx 5\text{cm}$,가 適當하다. 線源은 散亂體에 接近시켜 $l_{ss} \approx 0.25\text{cm}$, 또 $d = 2\text{cm}$, 許容誤差 $\delta d \approx 2\%$, 實効散亂面積 $S_{scat} \approx 0.5\text{cm}^2$, 檢出器의 實効面積 $S_d \approx 1\text{cm}^2$, 測定時間 即, Integrating Time $t_{meas} \approx 2\text{RC} \approx 6\text{sec}$, 檢出器能率 $\nu = 0.5$, 原子核 1個 崩壞時에 放出되는 γ -quanta數 $n_k = 2$ 를 (17)式에 代入하여 所要線源強度를 計算하면 約 $40\mu\text{C}$ 가 된다.

檢出器는 能率이 가장 높은 NaI(Tl) Scintillation檢出器를 擇하였고 그 크기를 決定함에 있어서 다음 두가지 條件을 滿足하도록 하여야 한다.

i) Co⁶⁰의 Photo-Peak인 1.17MeV, 1.33MeV의 두 에너지의 光子를 大部分 그대로 透過시키고 0.3MeV이하의 低에너지 光子만을 吸收하도록 얇은 크리스털을 使用하여야 한다.

ii) NaI(Tl) 크리스털의 厚이는 後方散亂放射線中에서 $\theta \geq 0.8\pi$ 範圍內에 있는 散亂線만을 檢出하도록 작은 것을 使用한다.

이런 設計에 있어서는 NaI(Tl) 크리스털의 線型全吸收係數가 1.25MeV에서 約 0.2cm^{-1} 이고, 0.2MeV에서 約 1.5cm^{-1} 이므로 이 두 에너지에 對한 半價두께(Half-Value Thickness)는 各各 3.5cm 및 0.46cm이다. 여기서 商用크리스털中에서 이 條件에 가장 適合한 것은 1/2inch 두께의 크리스털임을 알 수 있다. 그리고 크리스

스털의 直徑은 熱的隔離을 爲하여 散亂體 表面-檢出器間 距離를 5cm로 하였으므로 이 點에서 $\theta \geq 0.8\pi$ 인 範圍內의 散亂線을 檢出하도록 하면 表1에서 約 0.23MeV이하의 것만을 檢出하게 되며 그림2와 같이 $\theta = \pi$ 인 垂直軸으로부터 左右로 約 18° 되는 곳에 이 境界線이 있으므로 크리스털의 크기가 直徑 1inch程度가 된다.

$\theta(^{\circ})$	Escat ^o (MeV)
180	0.213
170	0.214
160	0.218
150	0.225
140	0.235
130	0.250
120	0.268
110	0.292
100	0.323
90	0.363

Escat

$$= \frac{0.511E_{inc}}{E_{inc}(1 - \cos\theta) + 0.511} \quad E_{inc} \approx 1.25 \text{ Mev}$$

表1. 散亂角과 에너지와의 關係

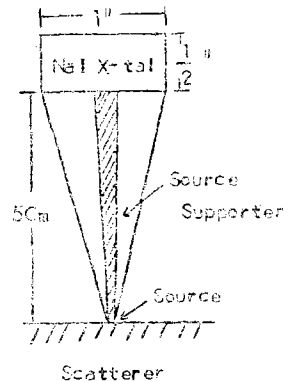


그림2. NaI크리스털의 크기 決定

(3) 探觸部(Probe)

本測厚計는 探觸部와 計測 및 指示部(Counting and Indication)로 區分되어 있으며 探觸部の 構造는 그림3과 같다.

여기에 包含된 重要한 部分은 $40\mu\text{C}$ Co⁶⁰線源, NaI(Tl)크리스털, 光電增倍管(P.M. tube) 트랜지스터 前置增幅器이며 앞미늄圓筒內에 그림과 같이 配列되어 있다. P.M. tube 및 Pre-Amplifier의 細部配線圖는 그림4에 圖示된 바와 같다.

前置增幅器는 Emitter Follower 2段으로 하여

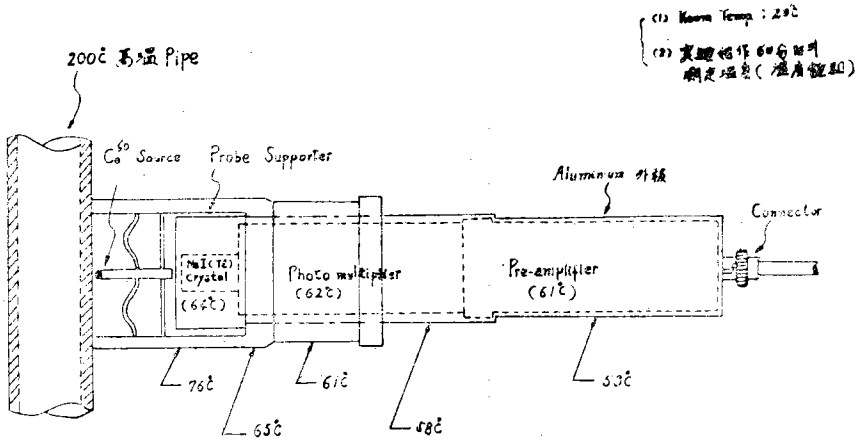


그림3. Probe構造 및 200°C 高溫파이프 測定時의 Probe 各部 溫度 分布

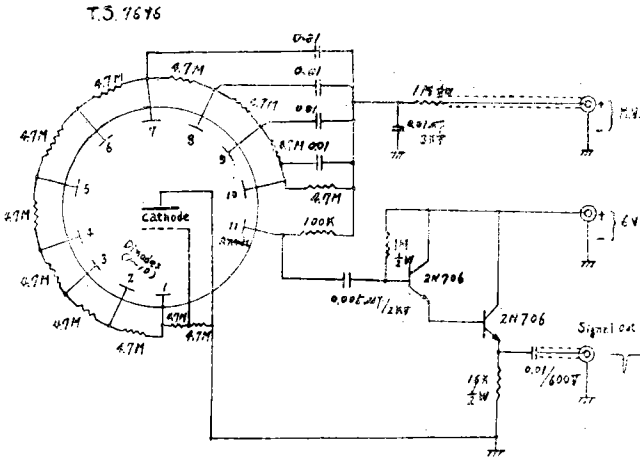


그림4. P. M. tube 및 Pre-Amplifier Circuit

入力 임피던스를 높이고 出力 임피던스는 10m 길이의 50Ω 同軸케이블을 使用할때 임피던스整合이 잘 이루어지도록 하였다. 使用된 트랜지스터는 溫度特性을 좋게하기 爲하여 모두 Silicon Planer Transistor를 擇하였다.

(4) 計測 및 指示部

여기에는 探觸部의 前置增幅器에서 들어온 Pulse信號를 增幅하기 爲한 利得 200程度의 트랜지스터增幅器, 雜音과 一定 레벨以下를 除去하기 爲한 Pulse Height Discriminator를 같은 프린트基板위에 組立하도록 하였고, 또하나의 프린트基板에는 獨立된 Transistor Count-Rate Meter를 組立하도록 設計하였다. 이렇게 두部分을 各各 獨立시켜 設計한 理由는 使用中 試驗 및 補修가 容易하도록 하기 爲한 것이다. 이

밖에 P.M. tube를 爲한 D.C 600V電源回路, 또 計測回路를 爲한 D.C. 18V, 12V, 6V의 整流 및 電源安定回路를 包含하고 있다. 本機器는 A.C. 100V/220V 또는 乾電池를 使用할 수 있도록 하기 爲하여 電源回路는 5V의 倍數로 擇한 것이다.

가. Main Amplifier 및 Pulse Height Discriminator

Main Amplifier 및 Pulse Height Discriminator回路는 그림5와 같이 全部 Silicon Transistor를 使用하였다. 이 그림에서 트랜지스터 T₁은 Emitter Follower이고 T₂는 增幅段이며 電壓利得은 10, T₃는 다음 增幅段에 依한 T₂에의 Loading Effect를 적게하기 爲한 Emitter Follower이고 T₄에서 또 增幅를 하였는데 亦是 電

壓利得은 10程度로 全利得은 100程度이다. T_5 의 隔離用 Emitter Follower를 다시 거쳐 T_6, T_7, T_8 로 構成되는 Pulse Height Discriminator에 接續되어 있다. 이 回路는 좀 變形된 Schmitt Circuit인데 이 Discriminator에서는 모든 入力 펄스中에서 0.2Mev以下의 雜音펄스를 除去하여 10V_{p-p}의 矩形波를 發生시킨다. 여기에는 全部 Silicon트랜지스터를 使用하여 約 40°C까지는 特別한 溫度補償없이도 安定하게 使用할 수 있다.

나. Count-Rate Meter

Count-Rate Meter의 Schematic Diagram은 그림6과 같다. 入力回路에는 微分回路를 넣어 計數率計만을 單獨으로 試驗 또는 調整할때 正, 負 任意의 極性을 갖는 펄스를 使用할 수 있을 뿐만 아니라 T_1, T_2 로 形成되는 Monostable Multivibrator를 트리거하는데 適合한 波形으로 만들어 준다. Monostable Multivibrator(T_1, T_2)의 時定數는 主로 R_1C_1 에 依하여 決定되므로 計數率計 指示計(100 μ A F.S)의 Full Range Deflection을 爲한 計數率을 이것으로 調節한다.

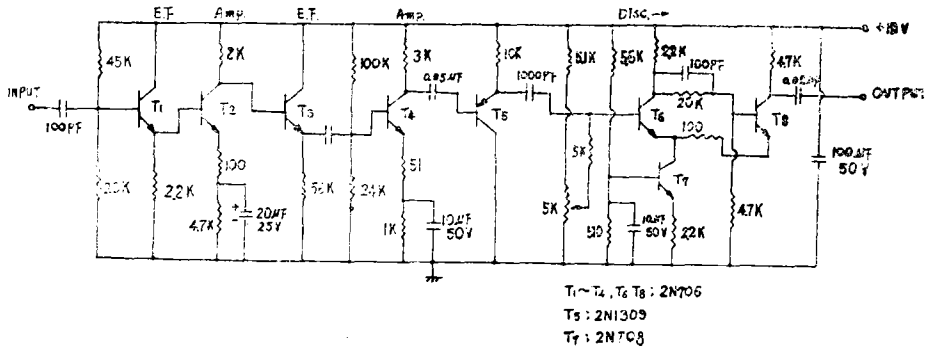


그림5. Main Amplifier 및 Pulse Height Discriminator Circuit

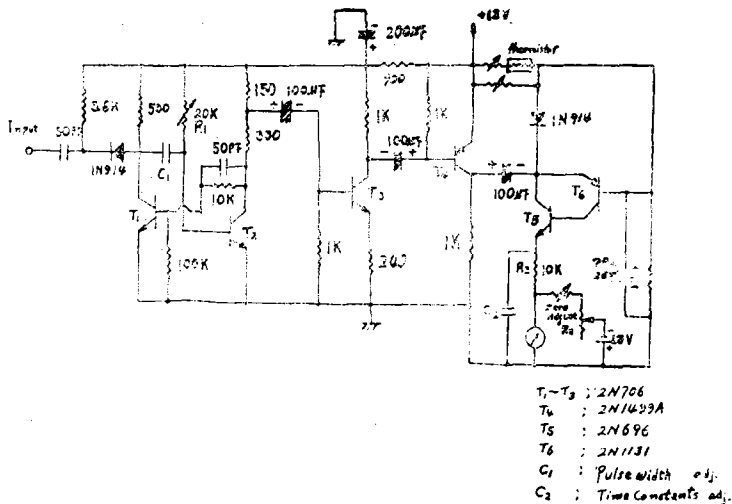


그림6. Count-Rate Meter의 Schematic Diagram

實際의 測厚計에서는 鐵管두께의 測定範圍로 하였으며 이들을 爲하여 2組의 R_1C_1 의 값을 定하고 各 範圍의 最大値에서 Full Deflection을 하도록 設計한다. T_3, T_4 는 單純한 增幅段이고 T_5, T_6 는 所謂 補償型 Darlington의 定電流源⁴⁾을 利用한 펄핑回路이다. 周圍溫度에 對한 補償을

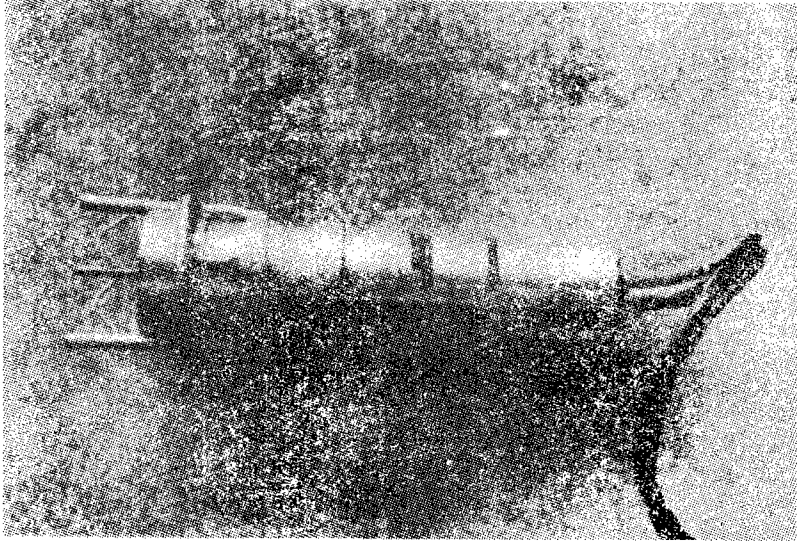
爲해서 T_5, T_6 는 各各 npn 및 pnp트랜지스터를 使用하였고 또 T_6 의 베이스 電壓變動을 Thermistor를 插入하여 減少시켰다. R_2C_2 는 펄핑回路의 時定數를 決定하게 되므로 1, 3, 6 및 8秒의 時定數를 外部에서 任意選擇할 수 있도록 定하였다. 指示用 電流計에 並列로 接續된 抵抗 R_2 와

1. 3V 電源은 零點 調節을 爲한 水銀電池와 trimpot 抵抗器이며 測厚計 Calibration 時에 零點 調節用으로 使用된다.

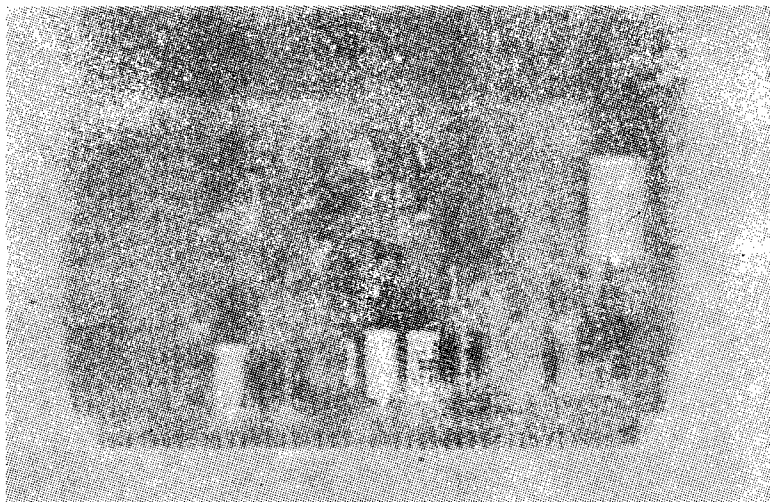
4. 試作 및 實驗結果

前節의 設計에 依하여 試作된 測厚計의 各部와 實測光景을 寫眞1~6에 보여주고 있다. 寫眞

1은 線源, 檢出器 및 前置增幅器를 包含하는 探觸部이고 寫眞2는 프린트基板위에 配線된 主增幅回路 및 波高選別回路 (Pulse Height Discriminator Circuit)의 實物인데 (A)는 前面, (B)는 裏面 寫眞이다. 寫眞3 (A), (B)는 各各 計數率計回路의 表面 및 裏面을 보여준다. 寫眞4는 電源回路와 함께 主增幅器, 計數率計基板等을

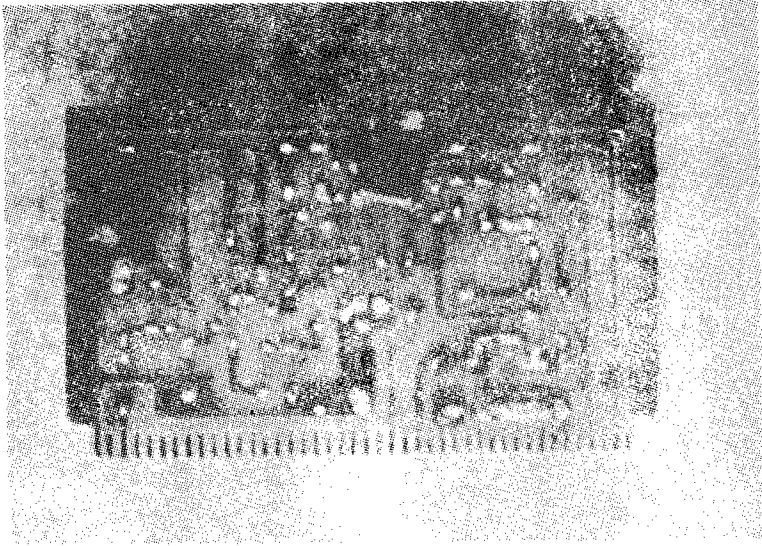


寫眞 1 探觸部の 實物寫眞



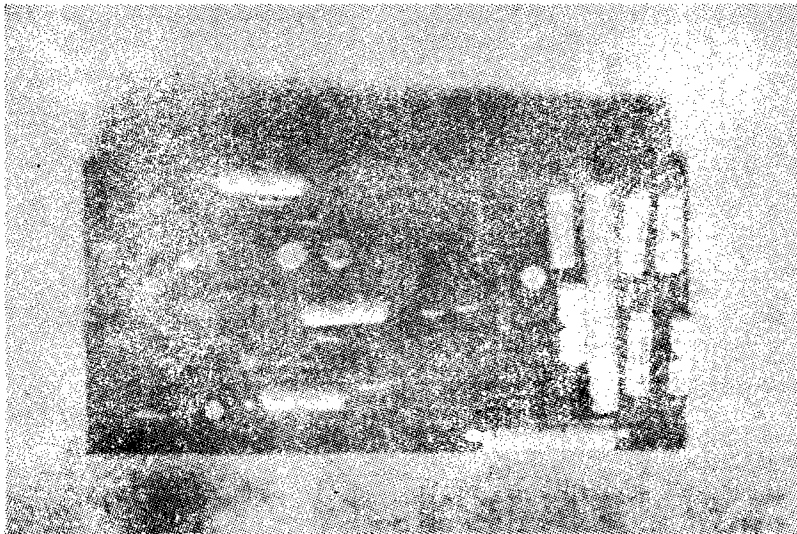
(A) 表 面

寫眞 2 主增幅回路 및 波高選別回路



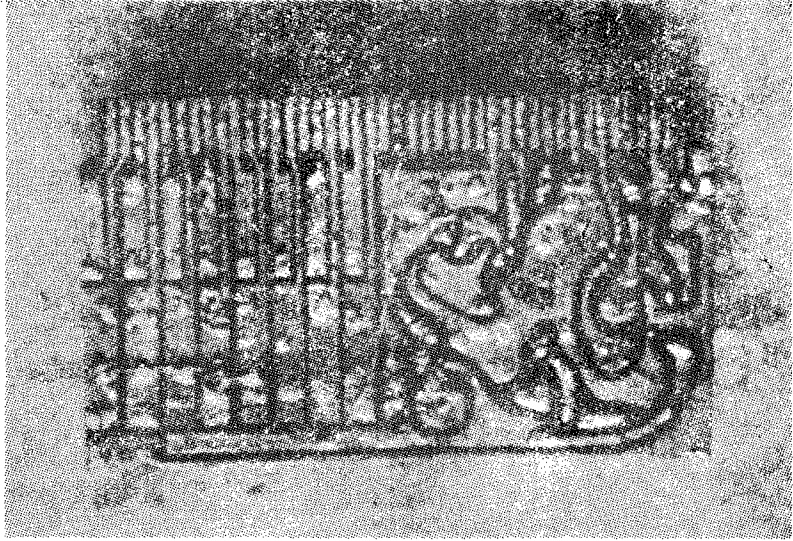
(B) 裏 面

寫真 2 主增幅回路 及 波高選別回路

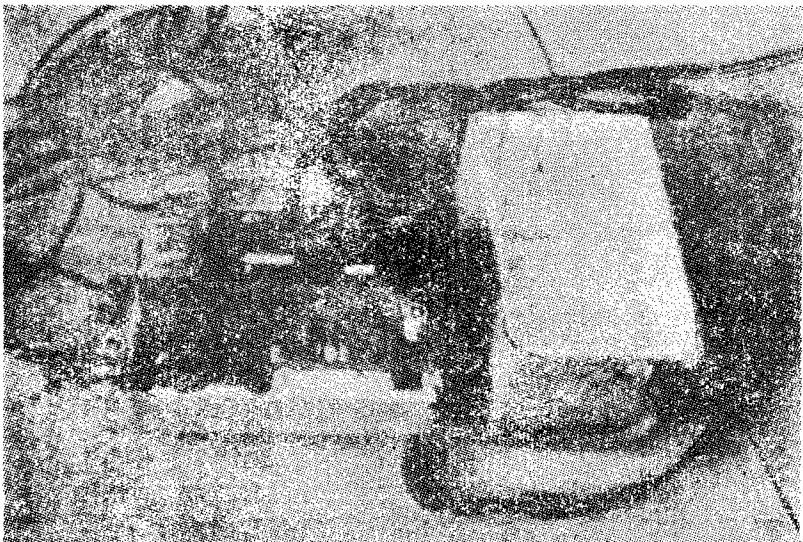


(A) 表 面

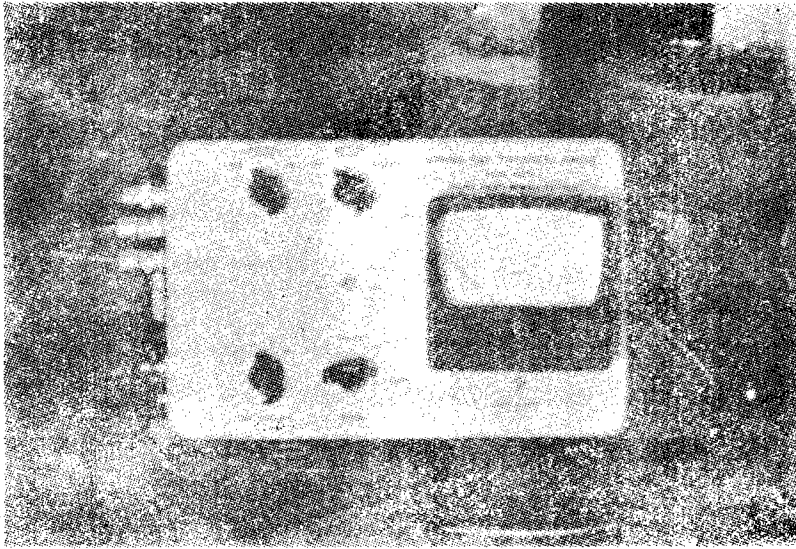
寫真 3 計數率計 回路



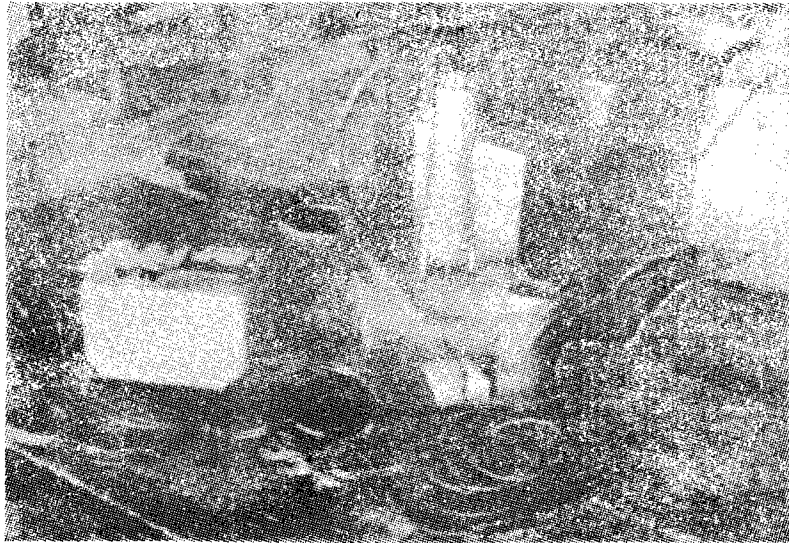
(B) 裏 面
寫眞 3 計數率計回路



寫眞 4 測厚計의 內部



寫眞 5 測厚計의 本體



寫眞 6 파이프 管厚 實測光景

제 위치에 挿入했을 때의 內部의 寫眞이고 完成品의 外觀은 寫眞5와 같다. 그리고 寫眞6은 試作된 測厚計로서 外徑 15cm, 管厚 3mm의 鐵파이프의 管厚測定의 한 光景이다. 이 寫眞에서 보는 바와 같이 探觸部와 本體間에는 10m나 되는 긴 케이블을 使用하여도 使用에 支障이 없다. 計器의 눈금은 標準鐵板에 依하여 計數率計의 指示를 直接 mm로 表示하도록 하였으므로 換算表가 必要하지 않다.

標準吸收板(鐵板)에 依하여 두께 變化에 依한

指示計의 D.C. 電流變化曲線을 實測한 結果는 그림7과 같은 指數曲線을 얻으므로 이에 依하여 눈금을 Calibration하였다.

本測厚計의 高溫파이프에 對한 實用性을 調査하기 爲하여 表面溫度가 200°C인 鐵管에 探觸部를 대고 繼續적으로 1時間동안의 探觸部內 各部의 溫度變化를 熱電計를 使用하여 測定한 結果 그림8과 같은 曲線을 얻었다. 여기서 보는 바와 같이 20~40分後에는 約 60°C의 平衡溫度에 到達함을 볼 수 있으므로 探觸部內의 各部가 60°C

에 견딜수만 있으면 數時間 測定에도 支障이 없 時間동안 繼續하여 接觸시켜도 特性에 큰 差가
 을 것 같다. 探觸部가 200°C의 高溫파이프에 1 없음을 그림9에 依하여 確認할 수 있다.

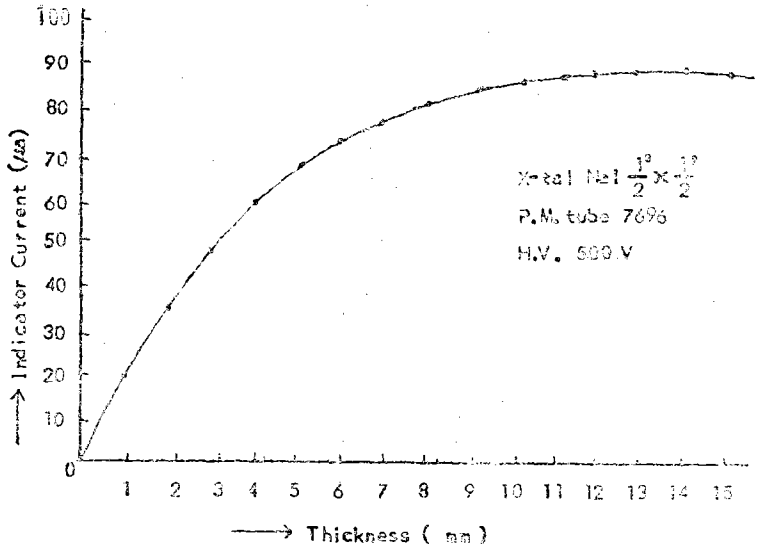


그림 7 鉛線厚計와 實測된 指示計電流와의 關係

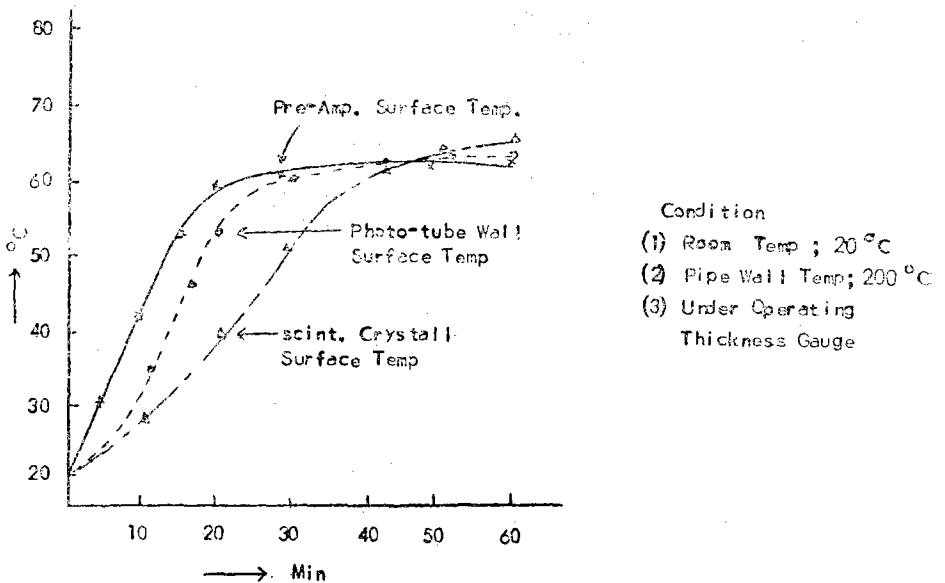


그림 8 高溫(200°C)파이프 測定時의 探觸部內 各部의 溫度變化

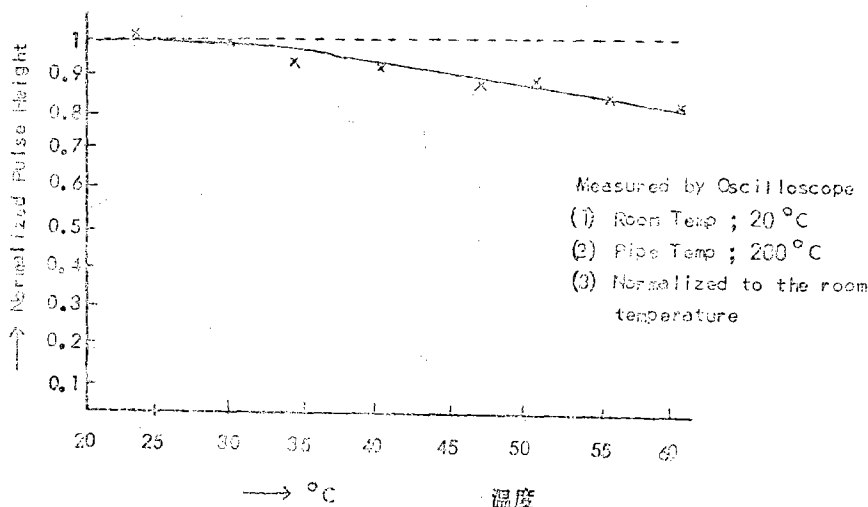


그림 9. 溫度에 對한 探觸部의 電氣의 特性變化

即, 이 曲線은 探觸部의 平均溫度가 常溫에서 60°C까지 上昇할때 前置增幅器의 出力펄스의 振幅 變化를 오실로스코프로 測定한 것인데 여기서 보는 바와 같이 常溫에서의 振幅보다 約 20%밖에 減少하지 않으므로 波高選別回路에서 이를 考慮하여 散亂피크보다 좀 낮은 位置에 베이스 레벨을 定하면 이에 對한 誤差를 輕減시킬 수 있다.

파이프의 表面溫度가 20°C에서 60°C까지 上昇할때 指示計의 溫度變化는 5%以內로 나타났 다.

5. 結 論

감마線 後方散亂을 利用한 鐵管 두께 測定用 測厚計의 設計에 있어서 1/2inch以下의 얇은 NaI크리스탈을 使用함으로써 計測部에 있어서 1個의 波高選別回路와 Anti Coincidence Circuit를 除去할 수 있다. 이 方法은 從來의 方式에 比하여 훨씬 經濟적이면서도 거의 비슷한 精密度와 安定度を 維持할 수 있다. 本論文에서는 위와 같은 새로운 方式에 依하여 設計, 試作된 測定器로서 지금까지 他研究者에 依하여 한번도 試圖되지 않았던 203°C의 高溫파이프의 管厚測定을 行하였던바 常溫에서의 測定值보다 不過 5%以內의 變化밖에 가져오지 않음을 實驗적으로 確認하였다.

6. Acknowledgement

本研究의 遂行을 爲하여 뒤에서 積極적인 後援을 아끼지 않은 金裕善博士와 湖南肥料株式會社 羅州工場에서의 現場實驗을 도와주신 宣洋來 研究開發部長 以下 여러분, 그리고 많은 資料를 提供하여 주신 金東勳研究官 및 計數率計의 設計와 製作을 맡아주신 朴桂永氏에게 깊은 感謝를 드리는 바이다.

參 考 文 獻

1. Putman, J.L., Jefferson, S., Cameron, J.R., Kerry, J.P., Pulsford, E.W. "Tube wall Thickness Gauge with Selection of Backscattered γ -Radiation." Journal of Scientific Instruments, October, 1955.
2. Putman, J.L. "Development of Thickness Gauges and Allied Instruments." International Conf. on the Peaceful Uses of Atomit Energy, Vol. 15, 1956.
3. 鄭萬永, 朴桂永 "트랜지스터 計數率計" 大韓電氣學會誌 Vol. 15, No. 4, pp.51~54, October, 1966
4. 金惠鎭, 金東勳, 李昌健, 金洪植 "감마線 백스캐터링을 利用한 鐵板두께 測定에 關하여" 大韓電子工學會誌 Vol. 3, No. 1, pp.18~23, January, 1966.