

# 감마線 백스캐터링을 이용한 鐵板 두께測定에 關하여

## (Steel Plate Thickness Gauge by means of Gamma-Ray Backscattering)

正會員 金惠鎭\* 正會員 金東勳\*\* 正會員 李昌健\*\*\* 金洪植\*\*\*\*  
(Kim, Duck Jin) (Kim, Dong Hoon) (Lee, Chang Kun) (Kim, Hong Sik)

### 要 約

鋼鐵板으로부터 後方 散亂되는 감마線을 測定하므로써 그의 두께를 測定할 수 있는 두께計의 實用性에 關하여 實驗的인 檢討를 하였다. 本 두께計의 特徵은 線源으로부터 放射되는 1次放射線과 鐵板으로부터 後方 散亂되는 2次放射線을 同時에 同一한 센티레이손 檢出器로 檢出하며 使用되는 線源의 放射線 強度도 20 $\mu$ c 程度로 적으므로 一切의 放射線 遮蔽物이 不必要하므로 可搬型 두께計로서 適當하다. 센티레이손 檢出器로부터의 出力 펄스는 프리암프, 메인암프, 및 單채널 波高分析器를 거쳐 後方 散亂 감마線단을 選別한 다음 計數率計上에서 두께로 直讀하도록 할 수 있다. 鐵板의 두께 變化에 對한 指示感度를 크게 하기 爲한 線源의 位置 波高分析器의 window width, 使用될 線源의 에너지와 強度等의 最適值을 求하기 爲한 實驗을 行하였다. 이 두께計로서 鋼鐵板 또는 파이프의 內壁上的 작은 홈이나 腐蝕處를 容易하게 發見할 수 있다. 實測結果 3~8 mm 두께 範圍에서 約  $\pm 3\%$ 의 精密度를 얻었고 20 mm 두께에서는 約  $\pm 10\%$ 로 低下되었다.

### ABSTRACT

An experimental study of a steel plate thickness gauge by means of the measurements of backscattered gamma-rays has been carried out. The difference between this and other methods is that this method does not include any shielding materials in the detecting probe, because the primary radiations and the backscattered radiations are detected simultaneously by an NaI (Tl) scintillating crystal, and the activity of the Co-60 source used is low enough.

In this thickness gauge, the thickness of the steel plates can be read directly on the counting ratemeter scale. The optimum conditions in the source-to-detector distance, window width of the analyzer, energy and strength of the gamma-ray source were found experimentally. The results have shown that the accuracy of the gauge was about  $\pm 3\%$  in the range of 3 to 8 mm thickness. This gauge can be used to detect the pits or corrossions on the inner walls of the steel pipes.

### 1. 序 論

最近 放射性 同位元素를 利用한 많은 種類의 Thickness Gauge가 實用되고 있다.

一般으로 紙類나 金屬箔等과 같은 얇은 두께나 가벼운 重量의 物質의 두께를 測定하는 데는  $\beta$ 線을 利用한 Thickness Gauge가 使用되며 鐵과 같이 두께가 두껍고 重量이 무거운 物質을 測定하는데는  $\gamma$ 線을 利用한

Thickness Gauge가 使用되고 있다.

本論文에서는 高溫, 高壓의 流體에 使用되는 鐵管과 容器 內壁의 작은 홈집(pit)이나 腐蝕 狀態의 測定을 爲하여 實用的인 携帶用 管壁 두께計의 開發을 爲한 基礎的인 實驗 結果를 記述하려고 한다.

管壁의 外部로부터의 두께 測定에는  $\gamma$ 線의 透過를 利用한 方法<sup>(1)</sup>과 後方 散亂을 利用한 方法이 있는데 여기서 後者의 方法을 擇하여 實驗 하였다.

이 方法에는 또 線源과 計測器 사이에 放射線의 遮蔽

(接受 1965年 12月 15日)

\*\*\*\* 原子力研究所 爐工學研究室  
Reactor Engineering Division,  
Atomic Energy Research Institute

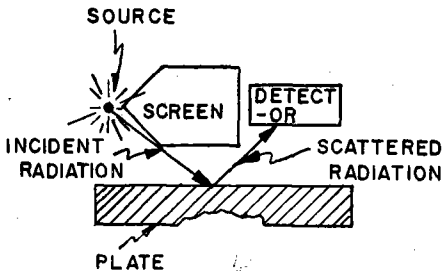


그림 1.  $\gamma$ -ray Backscattering Gauge (Type 1)

體가 있어 線源에서 나오는 1次 放射線을 被射體인 金屬板에 照射시켜 그것으로 부터 後方 散亂되어 나오는 2次 放射線만을 計測하여 두께를 測定하는 方法<sup>(2)</sup>(그림 1)과 線源과 計測器 사이에 이와 같은 遮蔽體가 없이 線源으로 부터 直接 1次 放射線이나 後方 散亂된 放射線을 다같이 計測器에 받아 드려 두께를 測定하는 方法이 있는데 本 實驗에서는 後者의 方法을 採擇하였다. (3), (4) (그림 2)

後者의 方法은 前者에 比하여 線源의 放射能 強度가 數  $10 \mu\text{C}$  單位 程度로 大端히 낮으므로 線源의 放射線 遮蔽에 對한 考慮의 必要가 없으며 따라서 携帶用 計器로서의 計測器部의 重量을 가볍게 하여 測定을 容易하게 한다.

또한 이는 前者에 比하여 大端히 작은 面積을 測定할 수 있기 때문에 微小한 局部的인 腐蝕의 發見이 容易하게 될 수 있다.

2. 金屬板 두께와  $\gamma$  線 後方散亂

그림 2에서와 같이  $\gamma$  線 線源을 金屬板 가까이 가져 가면 檢出器에는 線源에서 直接 나오는 1次 放射線과 被射體인 鐵板에서 散亂된 2次 放射線이 같이 들어 가게

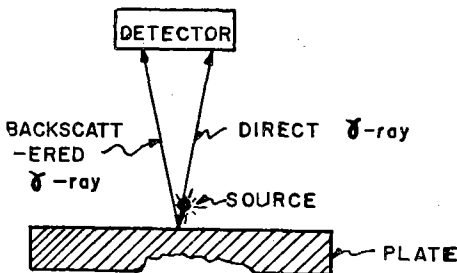


그림 2.  $\gamma$ -ray Backscattering Gauge (Type 2)

되는데 後者는 照射된 光子와 物質과의 Compton 作用에 依하여 入射된 光子의 一部가 入射 方向과 反對 쪽으로 散亂되어 나오는 것으로 이와같이 入射 方向에 對하여  $180^\circ$ 의 散亂角으로 나오는 光子의 波長은 入射 光子의

波長에 比하여 Compton 波長의 2배인  $0.04852 \text{ \AA}$  만큼 增加하게 된다. 이것은 光子가 物質內의 自由電子에 衝突하기 前에 比하여 衝突後 運動量이 減少되므로써 振動數가 減少되어 波長이 길어지게 되는 것이다.

이 때 散亂되는 光子의 Energy의 變化는  $(m_0c^2/E) - (m_0c^2/E_0) = 1 - \cos \theta$ 의 式으로<sup>(5)</sup> 주어지는데 Co-60  $\gamma$  線에 對한 散亂된 放射線의 Energy는 初期의 Energy 1.17 및 1.33 MeV에 比하여 0.209 및 0.214 MeV로 各 變換을 알 수 있다. 또한 Cs<sup>137</sup>에 있어서는, Cs<sup>137</sup>의  $\beta$  崩壞로서 生成된 Ba<sup>137m</sup>에서 나오는 0.662 MeV  $\gamma$  線이 散亂될 때에 나오는 散亂 放射線의 Energy는 0.184 MeV이다. 이와 같이 높은 Energy의  $\gamma$  線에 있어서는 初期 Energy에 比하여 散亂된 放射線의 Energy의 差異가 크다.

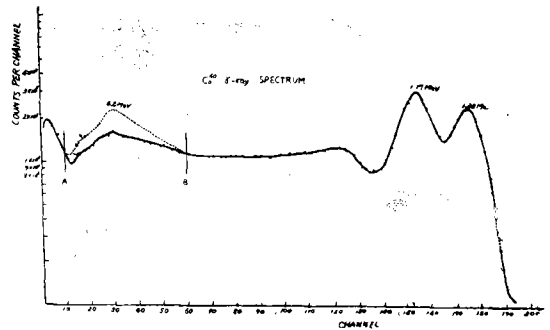


그림 3. Co<sup>60</sup>  $\gamma$ -ray Energy Spectra

한편, 一部 後方 散亂된 放射線은 計測器에서 얻어지기 前에 散亂 物質內에서 吸收될 것이다. 結局  $\gamma$  線의 被射體인 物質은 後方 散亂의 生成 및 吸收를 並行한다. 따라서 어느 두께 以上에서는 飽和되므로 높은 密度나 두터운 物質은 더 높은 初期 Energy가 要求된다<sup>(2)</sup>. 이러한 理由로 長半減期를 가지고 있으며 鐵에 對한 透過線量率의 變化가 同一條件에서의 Cs<sup>137</sup>보다 좋은 Co<sup>60</sup>를  $\gamma$  線線源으로 選擇하게 되었다.

$\gamma$  線의 物質과의 相互作用에 對한 吸收 斷面積은 光電吸收, Compton 散亂 吸收 및 電子 雙生成 吸收의 세 部分 斷面積으로 形成되는데 이 세 斷面積은 被射體의 原子番號와 光子의 Energy에 依하여 相對的으로 左右되는데 Co<sup>60</sup>  $\gamma$  線과 鐵과의 相互作用으로 因한  $\gamma$  線의 Energy 減衰는 大部分 Compton 散亂에 依한다.

Compton 散亂에 對한 Scattering Yield는 Compton 效果에 依한 物質內에서의 散亂이 일어날 確率을 計算한 Klein-Nishina 計算式으로 부터 總 Compton 散亂 斷面積에 對한 Crystal 體積內의 散亂斷面積과의 比로서 定할 수 있다. (2), (6) 그런데 Plesset는<sup>(8)</sup> 散亂角이  $90^\circ$ 보다 클 때는 Co<sup>60</sup>  $\gamma$  線의  $\alpha (=h\nu_0/m_0c^2)$  값에 該當하는  $\alpha=2$ 附近에서의 散亂된  $\gamma$  線의 Energy와 單位 立體角에 對한

散亂斷面積의變化는 大端히 적음을 보여 주었다. 이로써 120° 以上の 보다 큰 散亂角에서는 幾何學的 配置로서 發生되는 散亂角  $\theta$ 의 變化는 Scattering Yield에 큰 差異를 주지 않을 것이라는 것이 明白하다.<sup>(9)</sup> 그러나 Backscattering Yield는 散亂物質內의 電子密度的 直接函數로서, 後方 散亂에 利用되는 電子의 總數가 密度나 或은 두께 增加에 따라 增加되는 것이다.

Co<sup>60</sup>  $\gamma$ 線源을 使用하였을 때 1次  $\gamma$ 線과 後方 散亂된  $\gamma$ 線의 Energy Spectrum 上的 分布는 그림 3과 같이 되는데 여기서 Scintillation Counter의 出力 Pulse 中 振幅이 A와 B 사이에 들어가는 Peak는 後方 散亂에 依하여 생긴 것이며 測定될 物質이 없으면 이 部分의 Peak는 分明히 나타나지 않지만 被測定物의 두께가 두꺼울수록 이 部分의 Peak의 높이가 높아진다. 다시 말하면 이 部分의 Peak의 높이가 測定될 金屬板의 두께에 近似的으로 比例한다는 事實이다. 따라서 이 部分의 計數率만을 積分하여 이것과 試料의 두께와의 關係를 測定하는 것이 이 實驗方法의 原理이다. 이 때 振幅 A, B間의 Peak는 0.2 MeV 附近에서 생긴다.

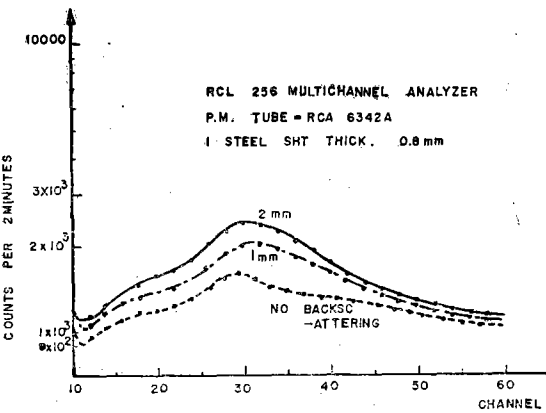


그림 4. Backscattering Spectra of Co<sup>60</sup>  $\gamma$ -ray due to the Different Thickness of Steel

그리고 1.17 Mev Peak의 左側에서부터 낮은 Channel의 範圍에 이르기까지 거의 Channel數에 關係 없이 均一한 計數率을 보이는 것은 Scintillation Counter 內에서의

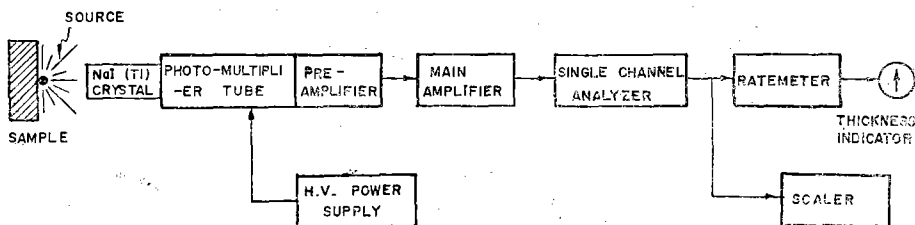


그림 5. Block Diagram of the System

Compton 反跳電子와 Counter 自體의 雜音 때문에 생기는 것으로 線源의 壽命만 길면 이 影響은 試料의 두께에 無關係하게 一定하므로 별로 問題되지 않는다.

그림 4는 線源에 試料을 가져가지 않았을 때의 1 mm 및 2 mm 두께의 試料(鐵板)를 가져갔을 때의 Co<sup>60</sup>  $\gamma$ 線 Spectrum 上的 後方 散亂에 依한 Peak의 달라지는 모양을 보인 것이다.

### 3. 實驗結果

實驗製置는 그림 5와 같은 裝置로 線源은 20  $\mu$ c의 Co<sup>60</sup>를 使用하였으며, Crystal은 1" dia.  $\times$  2"의 NaI(Tl)를, Amplifier 및 Analyzer는 Baird Atomic Model 250을, Ratemeter는 Tracer Lab. SC-79를, Scaler는 Nuclear-Chicago Model 186을, 指示計로는 Full Scale 100  $\mu$ A인 D. C. Microammeter를, 그리고 H.V. Power 供給은 乾電池로서 하였다. Thickness Standard는 그림 6과 같이 直徑 76 mm, 두께 0.5 mm에서 10 mm까지는 0.5 mm의 두께 差異로, 10 mm乃至 50 mm까지는 10 mm 差異로 切斷한 補正用 Thickness Standard를 使用하였다. 이 補正用 Thickness Standard는 두께 2 mm 以上에서는  $\pm 1\%$ 의 精度를 가지나 그 以下에서는  $\pm 2.5\%$ 의 誤差를 갖는다.

이 實驗裝置들의 全景이 그림 7의 사진이다.

本 實驗에서 Scintillation Counter는 線源으로부터 나온 放射線과 周圍 物質과의 後方 散亂을 最少로 하기 爲하여 Crystal과 Photomultiplier Tube 近處에는 可及의 鐵과 같은 原子番號가 큰 材料가 가까이 가지 않도록 하였다.

實驗을 爲한 最適條件의 決定에 있어, Scintillation Counter 高電壓을 可能한 限 낮게 하여 雜音을 最少가 되게 하였으며 試料에 依한 Compton 散亂의 變化가 크게 計測되는 最適電壓을 實驗적으로 찾아 940 V로 定하였다. 그리고 Pulse Height Analyzer의 Upper Level과 Lower Level을 各各 6.3 V 및 4.3 V로 定하였다. 그림 8은 Pulse Height Analyzer의 Level 決定을 爲한 實驗에 對한 Graph이다. 이를 보면 5.3 V를 中心으로 0.5 V씩

Discriminator의 電壓을 增加시키에 따라 計數率이 增加되며 Window Width가 2 V, Base Level이 4.3 V일 때 最大値를 보이며, 그 以上の 電壓 增加에서는 減少한다. 그리고 計器들의 電子回路의 安定性을 높이며 統計的 誤差를 最少가 되게 하기 爲하여 計器들을 動作시킨 뒤 30分 後에 恒常 實驗을 行하였다.

實驗은 두께를 測定한 試料 即 補正用 標準 두께의 鐵板이 없을 때 線源의 後方 散亂에 對한 Background를 測

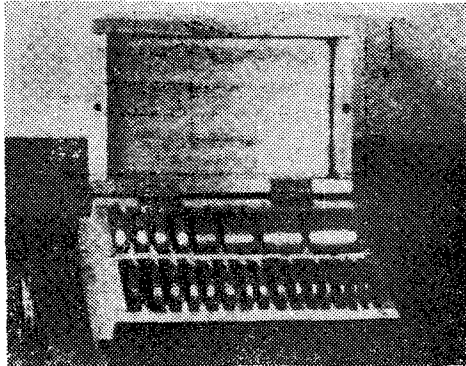


그림 6. Photograph of Thickness Standard

定하고 各 두께의 標準 鐵板을 線源에 接近시켰을 때 鐵板에 依하여 생긴 後方 散亂을 測定하였다.

實驗은 먼저 可能한 限 後方 散亂이 各 標準 두께의 鐵板에 對하여 그 差의 變化가 最大로 되게 하기 爲하여 線源과 試料는 可能한 限 最大로 接近시켰으며 또한 주어진 線源으로부터 檢出器間의 最適距離에 對한 關係를 알아 보았다. 그림 9는 이 關係를 實測한 것이다. 여기서 距離에 對한 別다른 臨界가 없음을 보여 준다.

本 實驗에서는 便宜上 線源과 檢出器間의 距離를 1 cm로 하여 補正曲線을 求하였다. 이와 같이 線源과 檢出器間의 距離를 1 cm로 決定한 것은 10 cm 以上の 두



그림 7. Lay-out of the Apparatus

께에 對한 後方 散亂 放射線의 變化率의 差異가 크고 또 Full Scale 100  $\mu$ A인 指示計의 Range 變更에 따른 零點 較正으로 인한 誤差를 除去하고 指示計의 눈금全體를

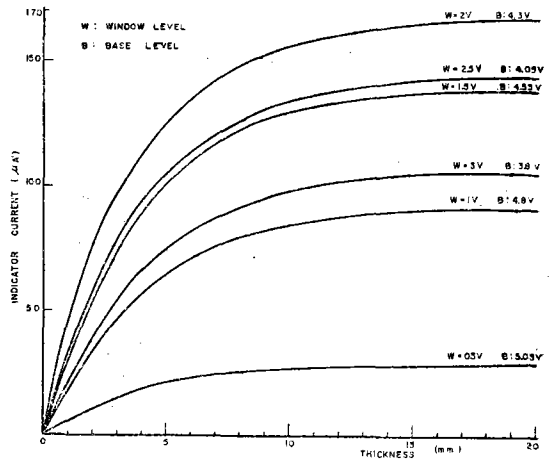


그림 8. Determination of Discriminator Level

읽을 수 있기 때문이다.

그림 10은 두께에 따른 計數率의 變化를 試料로부터 檢出器間의 距離에 對하여 求한 것이다. 線源과 檢出器間의 距離가 1 cm일 때 두께 零에서의 1分間의 計數率이 32,200 cpm이었으며 20 mm 두께에서는 71,900 cpm이었다.

이리하여 얻은 資料를 土臺로 指示計로서 그림 11에서 보여 주는 두께, 補正用 標準曲線을 얻었다. 여기서 Ratemeter의 時定數가 10 sec일 때 두께 3 mm 以上 18 mm 以下の 範圍에서는 精度가  $\pm 3\%$  程度였으며 그 外の 範圍에서도 利用할 만한 精度를 가졌다. 이 補正

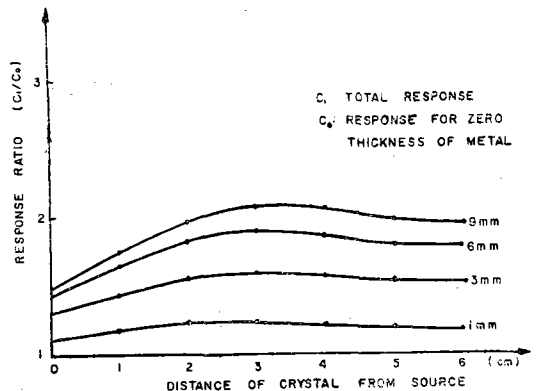


그림 9. Dependence of Response on the Distance of Detector from Source

用 曲線을 가지고, 두께 5.2 mm 鐵板에 直徑 22 mm, 長이 各各 1 mm, 2 mm, 4 mm인 구멍을 Drill로 뚫고 比較 測定하였는데 그림 12와 같은 結果를 얻었다. 그림 13은 위의 試料를 보여 주는 사진이다.

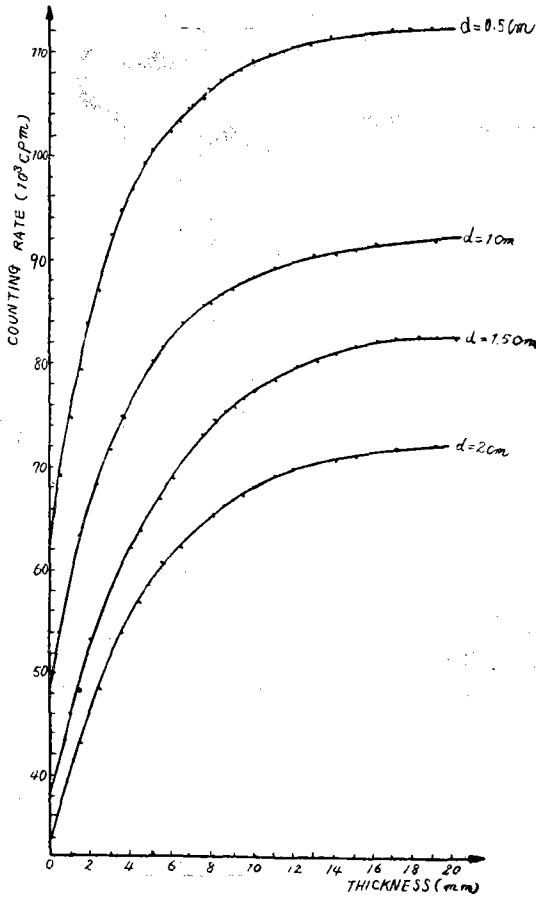


그림 10. Thickness vs. Counting Rate

또한 그림 14는 두께 7.4 mm 鐵板에 直徑 22 mm, 길이 2 mm, 3 mm, 4.5 mm 되게 圓形으로 파내고 測定을 行한 結果이다.

그림 12 와 14 를 보면 指示計가 補正用 標準曲線에 一致하는 두께를 보이고 있지 않는데 이것은 放射線 線源이 直徑 2 cm 의 Disk 型 線源으로서 이 線源과 凹部

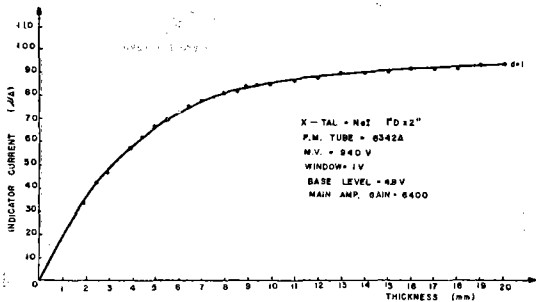


그림 11. Thickness vs. Indicator Current

完全히 맞지 않아重複된 部分에서의 後方 散亂이 있기 때문이라고 생각되는데 이것은 Point 線源을 使用함으로써 더욱 精確하게 測定할 수 있다고 생각된다.

그림 15 및 16 은 本 實驗을 土臺로 現在 試作中인 管壁 두계計의 計測部를 除外한 指示計와 電子回路로 構成된 本體를 보여주는 사진이다.

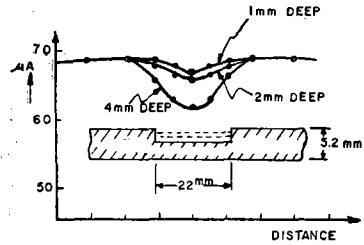


그림 12. Measurement of Pits on the 5.2 mm Thickness Steel Plate



그림 13. Photograph of Sample

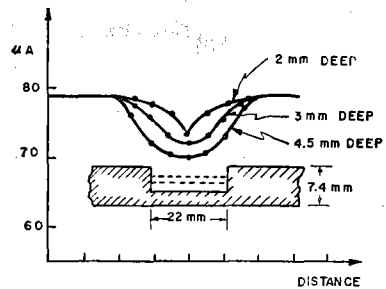


그림 14. Measurement of Pits on the 7.4 mm Thickness Steel Plate

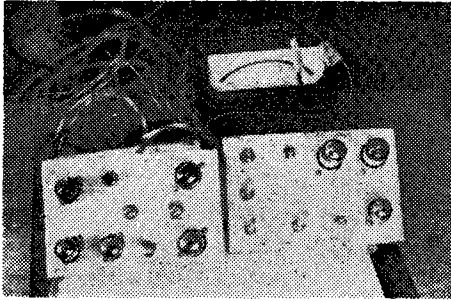


그림 15. Thickness Gauge Control Unit  
(Front View)

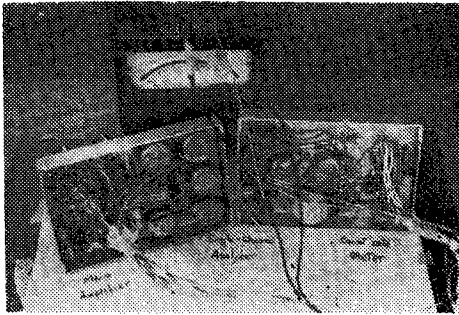


그림 16. Thickness Gauge Control Unit  
(Backward View)

#### 4. 結 論

本實驗結果에 依하면 이의 實用性이 充分히 證明되 었다. 따라서 이 後方 散亂 方法에 依하여서 現在 試作 中인 두께計가 完成되면 이의 電子回路를 消耗 電力도

적고 무게도 적어져 携帶하기에 簡便한 Transistor 回路 로 代替하여 보다 簡便한 携帶用 두께 計를 製作할 수 있다.

또한 本 實驗에서는 金屬板에 關하여서만 論하였으나 파이프일 때에는 直徑이 充分히 크면 金屬板과 別차 없 으리라고 생각되나 적은 直徑의 파이프의 境遇에 있어 서도 따로 補正만 해 놓는다면 反對使 파이프壁에 依한 影響이 그다지 問題 안 될 것으로 생각한다.

#### 參 考 文 獻

1. E.G. Kardash, "A Scintillation Thickness Gauge for Pipes" AEC-tr-4492 P. 246 (1958)
2. Investigation of Applications of Compton Backscatter, NYO-2779 July (1960)
3. British Patent Application, No. 17448/53
4. Putmann J.L., and *et al.*, "Tube Wall Thickness Gauge with Selection of Back-Scattered  $\gamma$  radiations AERE Report No. I/R 1369 (1955).
5. Joseph.L.Rabinowitz, and Grafton D.Chaste, Principle of Radioisotope Methodology Burgess Publishing Company (1963)
6. Irving Kaplan, Nuclear Physics, Addison-Wesley Publishing Company, (1963).
7. Nuclear Engineering Hand Book, McGraw-Hill Book Company, Sec. 4-61 (1958)  
(R.D. Evans, Ref. 16, Fig. 1.1 on P. 712)
8. Plesset. MoS., "Scattering of Gamma Rays and Neutrons., RAD-196, Project Rand, Douglas Aircraft Company Inc., August (1947)
9. Evans Haywell and John H. Hubbell, "The Back-Scattering of the  $Co^{60}$  Gamma Rays from Infinite Media" Journal of Applied Physics, Vol. 25, 4 (1954)