

〈기술보고〉  $\gamma$ -선 Radiography 에 있어서의 被寫體  
散亂線에 관한 研究\*

許 楠\*\* · 野尻利明

日本國 神奈川縣 工業試驗所 放射性同位元素研究室  
(1971년 7월 7일 접수)

Abstract

In the radiography, of thick materials the scattered rays from an object are one of major causes to reduce the quality of the radiographic image on the film.

To determine the rate of scattering of incident gamma rays by an objective specimen, film blacknesses are measured for various slit widths.

For each measurement, the changes of a penetrometer's sensitivity are also evaluated. It is observed that the fault-detectability can be improved by reducing the slit width when the fault detectability deteriorates due to the increase in scattered gamma rays by thicker samples.

This experiment has been carried out with the iron specimens and  $^{60}\text{Co}$  source.

요 약

Radiography 에 있어서 피사체로부터의 산란  $\gamma$ 선은 film 상의 상질(像質)을 나쁘게 하는 큰 요소중에 하나이다. 피사체로부터의 산란선량을 조사하기 위하여 여러가지 폭의 slit 에 의한 조사장(照射場)에서의 film 의 흑화농도를 구했다. 또 그때의 투과측정기 검출감도(透過測定器檢出感度)의 양부(良否)도 검토했다. 피사체가 두꺼워지면 산란선량이 증가하여 결함검출도(缺陷檢出度)가 저하하지만, slit 폭을 좁힘으로써 개선할 수가 있었다. 그리고 선원은  $^{60}\text{Co}$ 을 사용했고 시료는 철로서 실험을 했다.

1. 서 론

$\gamma$ 선 Radiography 에 있어서 산란선은 일반적으로 상질을 나쁘게 한다. 이 산란선은 피사체로부터 발생하는 것과 주위의 구조물등으로부터 산란되어 입하하는 것이 있다. 후자는 film 수상계(受像系)를 차폐하여 줌으로써 그 대부분을 제거할 수 있다. 전자의 피사체 산란선의 효과에 대해서는 많은 연구가 되었으며 그 상의 contrast 등에서의 영향도 여러가지로 논의 되어 왔다.<sup>1-5)</sup> 최소의 상식별(像識別) 한계가 결정되면 원리적으로

는 그 결함검출감도는 각각 피사체의 두께에 비례해서 좋아져야만 할텐데 실제로는 상당히 두꺼운 피사체의 경우, 피사체로부터의 산란선 때문에 도리어 나빠진다. 이 피사체산란선은 그 두께가 증가함에 따라 증대하는데 일반적으로 피사체 면적에도 비례하여 증가하여 산란  $\gamma$ 선 에너지는 낮은 부분으로 이동한다. 따라서 조사장을 제한 한다든가 저에너지  $\gamma$ 선을 차단 한다든지 하는 방법에 의해 산란선을 제거할 수 있다. 이보고서에서는  $^{60}\text{Co}$ 을 사용하여 slit 로  $\gamma$ 선 조사장을 가감하여 피사체산란선량을 측정하여 투과측정기 검출감도등

\* 이 技術報告書는 筆者가 1970. 5. 1~1971. 1. 31(9個月間) I. A. E. A. 獎學生으로 日本國 神奈川縣工業試驗所에 派遣되어 野尻利明氏와 共同研究로 얻은 結果를 1970. 11. 28 四國 高松에서 NDI 第1分科會 研究發表會에 發表한 論文임.

\*\*原子力廳 助成課

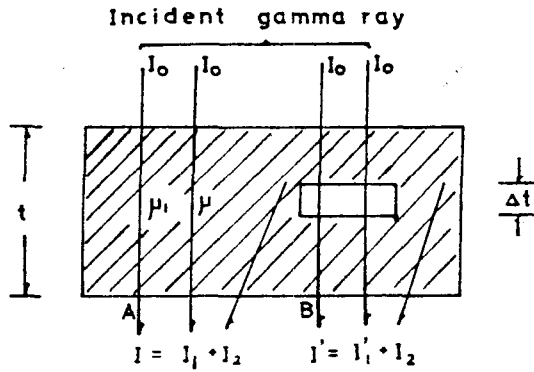


Fig. 1. 어떤 피사체 내부의 투과  $\gamma$ 선 선량의 변화 실험도

을 조사했다. 실용적 장치로서 slit에 의한 narrow beam scanning 촬영법을 검토했다.

2. 실험 방법

2.1.  $\gamma$ 선의 겉보기 흡수계수와 film의 농도

$\gamma$ 선 Radiography에 있어서 그 film수상계는 주위로부터의 산란선을 받지 않고 피사체를 투과하는 직접  $\gamma$ 선 및 피사체로부터의 산란  $\gamma$ 선만으로 흑화한다고 한다.

Fig. 1에서 보여 주는 바와 같이 충분한 면적을 갖는 두께  $t$ 라는 피사체 속에 어떤 작은 두께  $\Delta t$ 의 결합부에 의한 투과  $\gamma$ 선 선량의 변화  $\Delta I$ 를 생각하자. 이것은 입사하는  $\gamma$ 선의 강도  $I_0$ 와  $\gamma$ 선의 결합부의 투과강도  $I'$ 와의 차이이다. 즉 Fig. 1에서의 A와 B점의 강도차이다. 직접  $\gamma$ 선의 선흡수계수를  $\mu$ 라고 하면 두께  $t$ 의 피사체에 의하여 감쇠된 1차선의 강도  $I_1$ 은

$$I_1 = I_0 \exp(-\mu t) \tag{1}$$

가 되는데 산란  $\gamma$ 선을 포함하여 고려한 film수상계에 도달하는  $\gamma$ 선 강도  $I$ 를

$$I = I_0 \exp(-\mu_1 t) \tag{2}$$

라고 계산할 수 있다고 하면 흡수계수  $\mu_1$ 은 산란선이 원인이 되는 겉보기흡수계수라고 생각할 수 있다. 이경우에 산란선의 강도  $I_2$ 는 (2)와 (1)식의 차로써

$$I_2 = I - I_1 = I_0 \{ \exp(-\mu_1 t) - \exp(-\mu t) \} \tag{3}$$

을 얻을 수 있다.  $\gamma$ 선의 차폐계산등에서 사용되고 있는 축적인자(Build-up Factor)  $B$ 는<sup>9)</sup>

$$I = I_0 B \exp(-\mu t) \tag{4}$$

로 정의되므로 (2)와 (4)식으로부터

$$B = \exp\{(\mu - \mu_1)t\} \tag{5}$$

라는 관계식을 얻을 수 있다. 또한 산란선선량이  $K_*$ 와

\* 직접선량과 산란선량과의 비로서 X선 Radiography에서 많이 쓰여지고 있다<sup>9)</sup>.

는 다음식과 같은 관계가 성립한다.

$$B = 1 + K_* \tag{6}$$

다음에 결합부 점 B에서는 산란선의 강도는 A점과 다르지 않지만 직접선은 결합부에서 흡수되지 않은 선량만큼 강하므로 두께  $\Delta t$ 의 결합부를 투과하는 직접선의 양  $I_1'$ 는

$$I_1' = I_0 \exp\{-\mu(t - \Delta t)\} \tag{7}$$

이다. 산란선을 포함한 결합부의  $\gamma$ 선 강도  $I'$ 는

$$\begin{aligned} I' &= I_1' + I_2 \\ &= I_0 \exp\{-\mu(t - \Delta t)\} + I_0 \{ \exp(-\mu_1 t) - \exp(-\mu t) \} \\ &= I_0 \{ \exp(-\mu t) [ \exp(\mu \Delta t) - 1 ] + \exp(-\mu_1 t) \} \\ &\approx I_0 \{ \exp(-\mu t) \cdot \mu \Delta t + \exp(\mu_1 t) \} \end{aligned} \tag{8}$$

이 된다. 따라서 결합부에 의한 강도변화  $\Delta I$ 는

$$\begin{aligned} \Delta I &= I' - I \\ &= I_0 \exp(-\mu t) \cdot \mu \Delta t \end{aligned} \tag{9}$$

이다.

상을 식별하는 능력은 두께의 차  $\Delta t$ 에 의해 생기는 film의 농도차  $\Delta D$ 의 대소에 따라 표시된다. Film특성곡선의 직접부분을 생각하면 농도( $D$ )와 선량( $I$ )과의 대수(對數)가 비례한다. 그 비례상수는  $G$ 이고 다음식으로 이관계가 표시된다.

$$D = G \log_{10} I + C \tag{10}$$

여기서  $C$ 는 선원의 에너지등에 의해 결정되는 상수이다. 여기 결합부  $\Delta t$ 에 의한 film의 흑화도  $\Delta D$ 를 계산하면 (2) 및 (8)식을 사용해서

$$\begin{aligned} \Delta D &= G (\log_{10} I' - \log_{10} I) \\ &= G \log_{10} \frac{I_0 \{ \exp(-\mu t) \cdot \mu \Delta t + \exp(-\mu_1 t) \}}{I_0 \exp(-\mu_1 t)} \\ &= G \log \{ 1 + \exp[(\mu_1 - \mu)t] \cdot \mu \Delta t \} \\ &\approx 0.434 G \exp\{(\mu_1 - \mu)t\} \cdot \mu \Delta t \end{aligned}$$

그러나  $\exp\{(\mu_1 - \mu)t\} \cdot \mu \Delta t \ll 1$ 이므로

$$\Delta D = 0.434 \cdot G \cdot \mu \cdot \Delta t \tag{11}$$

(11)식에서  $\mu$ 는 선원( $\gamma$ 선 에너지)과 피사체 재질에 따라 결정된다. 다시 말하면 narrow beam에 의한 흡수계수이다. 따라서 (11)식의  $\Delta D$ 를 크게 하기 위해서는 film  $G$  또는 산란선을 고려한 겉보기흡수계수  $\mu_1$ 이 커야한다는 조건이 필요하다. 이것은 또 (5), (6)식에서 알 수 있는 바와 같이 축적인자  $B$ 나 산란선량비  $K_*$ 을 적게하여 주는 것이다.

2.2. Slit에 의한 조사장과 산란선의 효과

피사체 산란선은  $^{60}\text{Co}$ 에서의  $\gamma$ 선이 피사체 중에서 주는 Compton effect에 의해 발생하며 film수상계에 입사한다. 따라서 입사선에 대한 방향이 변하며 또한 그 에너지도 낮아지며 에너지 범위는 집적선의 에너지부터 0까지의 광범위한 영역을 갖는다. 여기서 mask에 의해 조사장을 제한하여 방향을 바꾼 산란선을 차폐하여,

즉 slit에 의한 조사장의 크기와 거기에 포함되는 산란선의 관계를 조사하였다.

Fig. 2에서 보여주는 배치에 의해 50 mm 이상의 두께에 남의 이중 slit에 의해 조사장의 크기에 따른 피사체에 의한 투과  $\gamma$ 선과 피사체 산란선에 의한 film의 흑화도 및 FO4, FO8\* 투과특정기(Image Quality Indicator)에 의한 검출감도를 구했다. 사용한 선원은  $^{60}\text{Co}$  약 10 Ci 이고 피사체와 film 수상계 전체를 50 mm 이상의 lead brick로 차폐하여 주위로부터의 산란선을 막았다. 선원과 film 간의 거리는 100 cm로 했으며 예비실험에 의해 얻은 노출시간의 조정에 의해 film 농도를 각각 2.0이

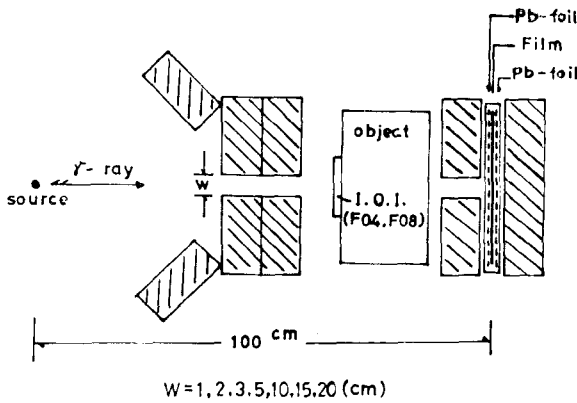


Fig. 2. 피사체 산란선을 구명하기 위한 slit 변화에 따른 기본실험 배치도

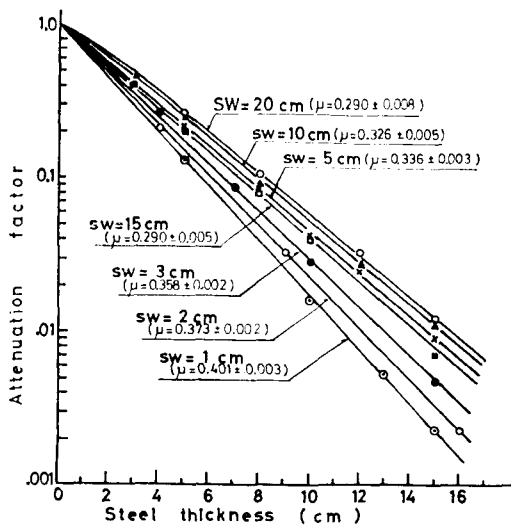


Fig. 3. 피사체 두께와 slit 폭의 변화에 따른 감쇄곡선

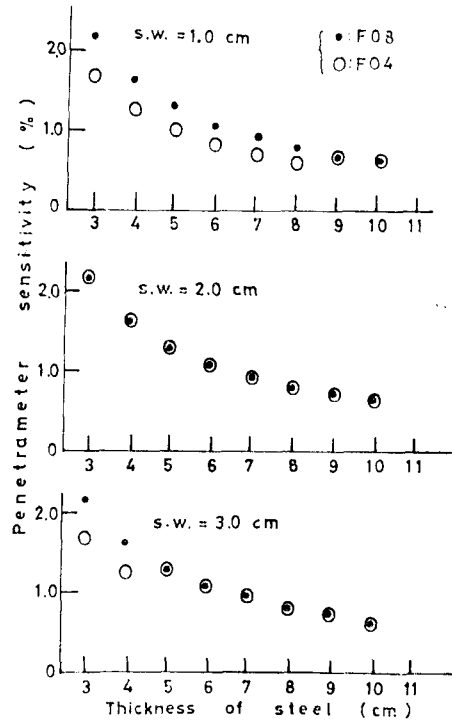


Fig. 4. 피사체 두께와 slit 폭의 변화에 따른 penetrator sensitivity

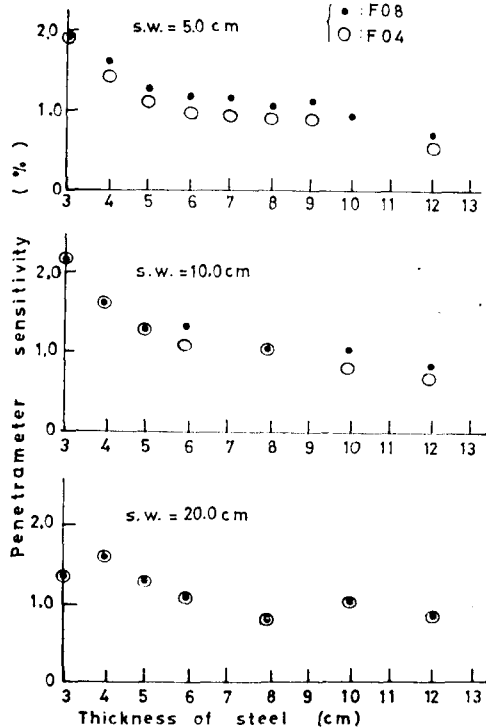


Fig. 5. 피사체 두께와 slit 폭의 변화에 따른 penetrator sensitivity

Table 1. 조사장을 제한한 경우 겹보기 철의 <sup>60</sup>Co  $\gamma$ 선에 대한 흡수계수

Slit 폭*	겹보기 선흡수계수**	오 차
20 cm	0.290 cm <sup>-1</sup>	0.008 cm <sup>-1</sup>
15 cm	0.290 cm <sup>-1</sup>	0.005 cm <sup>-1</sup>
10 cm	0.326 cm <sup>-1</sup>	0.005 cm <sup>-1</sup>
5 cm	0.336 cm <sup>-1</sup>	0.003 cm <sup>-1</sup>
3 cm	0.358 cm <sup>-1</sup>	0.002 cm <sup>-1</sup>
2 cm	0.373 cm <sup>-1</sup>	0.002 cm <sup>-1</sup>
1 cm	0.401 cm <sup>-1</sup>	0.003 cm <sup>-1</sup>

\* 길이 30 cm

\*\* 좁은선속(narrow beam)에 의한 값

되도록 하였다. 피사체는 30 cm×30 cm×1 cm의 첼판을 겹쳐서 사용했다. 그 두께는 3 cm부터 15 cm까지를 선택하였고 slit 폭을 1 cm부터 20 cm까지 바꾸었다. 각 피사체 두께에 대해서 단위시간에 film을 흑화시키는 농도를 대비시켜 줌으로서 Fig. 3와 같이 감쇠곡선을 얻을 수 있다. 실험치는 다소 random 하지만 각조건에 따라 각각 적선이 되므로 최소자승법에 의해 그 기울기를 구한결과 Table 1을 얻었으며 이것이 산란선을 포함한 각 조사장에서의 겹보기 선흡수계수이다.

$$\text{투과측정기 식별도} = \frac{\text{판별가능한 투과 측정기 선의 최하직경}}{\text{피사체의 두께}} \times 100(\%) \quad (12)$$

다음에 각 조사장에서의 FO4, FO8 투과측정기에 의한 검출감도는 (12)식에 의하여 얻어진 값을 정리하면 Fig. 4, Fig. 5와 같이 되며 당연히 slit 폭이 적은쪽이 좋은 감도를 얻을 수 있음을 보여 준다.

2.3. 산란선의 에너지분포측정<sup>8)</sup>

Fig. 2에서 보여준 film의 위치에 직경 75 mm, 길이 75 mm의 NaI(Tl) Scintillator를 놓고 packard Co.의 4096 channel 파고분석기로서 첼피사체를 투과하는 <sup>60</sup>Co  $\gamma$ 선과 그 산란선의 에너지 spectrum를 측정했다.

실험은 1m×1m×1m 크기의 lead shield box속에서 했으며 <sup>60</sup>Co 선원은 약 0.23 mCi를 사용했다. <sup>60</sup>Co의 1.33 MeV의  $\gamma$ 선 peak를 합쳐서 각 slit 폭에서의 spectrum을 規定化시켰는데 그 결과가 Fig. 6에서부터 Fig. 8까지에 도시(圖示)하였다. 이것에 의해 피사체의 두께가 증가하면 낮은 에너지 부분의 계수치가 상대적으로 많아지는 것을 알 수 있다. 측정시간은 10<sup>3</sup>sec 이고 정량적인 해석은 하지 않았다.

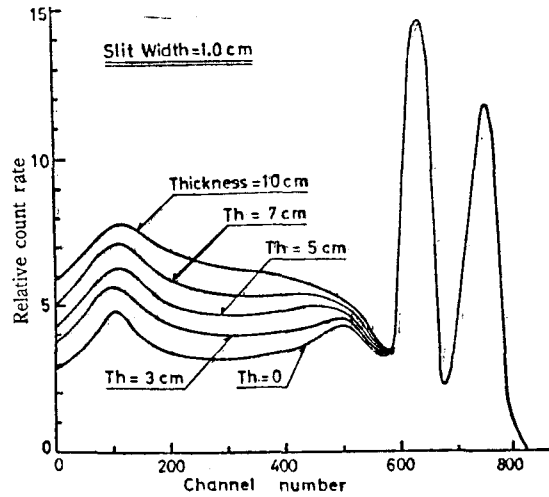


Fig. 6. Multichannel analyzer를 사용해서 얻은 산란선 에너지 spectrum 분포

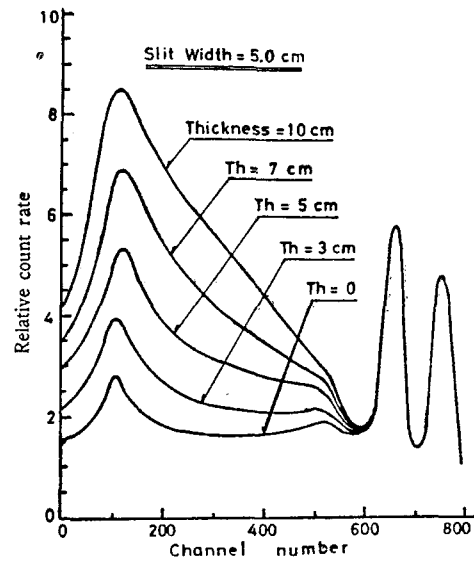


Fig. 7. Multichannel analyzer를 사용해서 얻은 산란선 에너지 spectrum 분포

2.4. Scanning 촬영법

Slit로 조사장을 적게 하여 줌으로서 겹보기  $\gamma$ 선 흡수계수를 크게 하여 투과측정기의 검출감도를 향상시키는 것이 가능하다. 실제의 Radiography에서도 용접부동 bead에 적용되는데 기술적으로 문제가 많으며 다른 형상의 피사체에서는 불가능하다. 여기서 Fig. 10과 같은 narrow beam 조사장에서 피사체 전면을 scanning하는 것을 시도했다.

Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 1~3 cm 폭인 slit에 의한 검출감도는 각각 그폭의 영향을 주지 않으므로 예

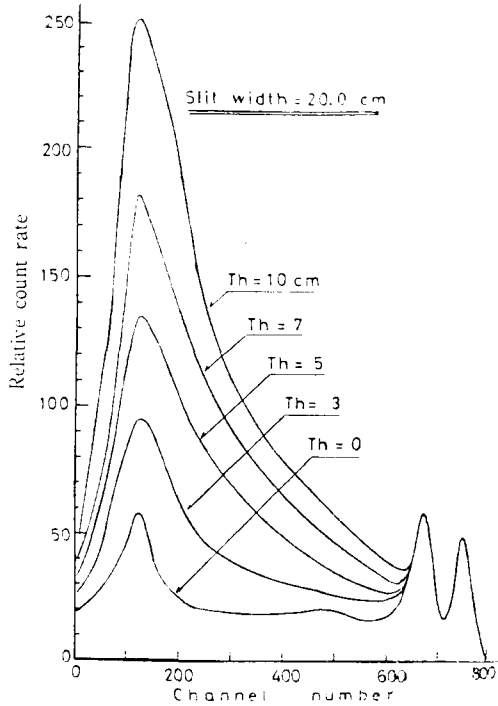


Fig 8. Multichannel analyzer를 사용해서 얻은 산란선 에너지 spectrum 분포

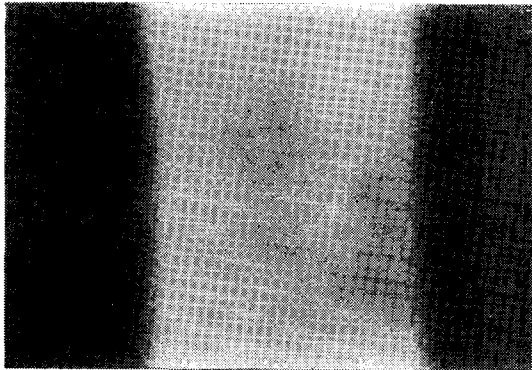


Fig. 9. 10 cm 두께의 철 피사체에서 0.6%의 검출감도를 얻은 사진에

를들면 2 cm의 slit를 써서 피사체와 film수상계를 바꾸면서 한쪽 방향으로 이동시켜 넓은 면적의 검사를 했다. 시작품(試作品)임으로 이동속도가 최저 0.06 mm/min임으로 그렇게 두꺼운 피사체는 사용처 않았으나 예를들면 10 Ci로 철피사체의 10 cm 폭의 면적검사를 28시간에 했다. 물론 검출감도는 0.6% 이상이 얻어져 충분히 실용 가능성이 있다. Fig. 9는 10 cm 두께의 철 피사체를 scanning 해서 얻은 사진이다.

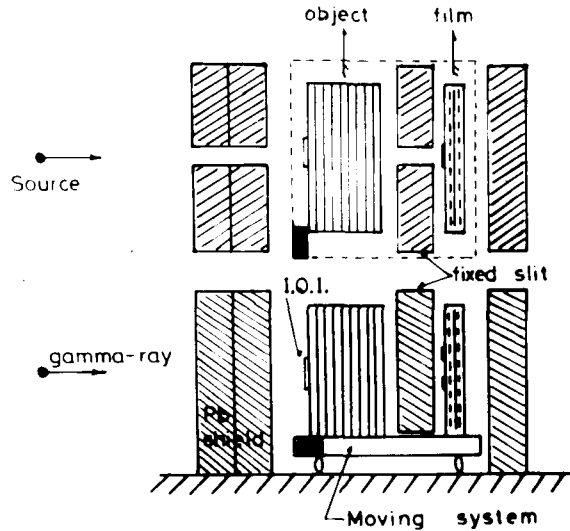


Fig. 10. 조사장에서 피사체 전면을 走査하는 試驗裝置圖

### 3. 결 론

Radiography의 상질을 나쁘게 하는 큰 요인중에 하나로서의 피사체 산란선량을 측정했다. 이산란선을 감쇄시키려면 산란에 의해 생긴 저에너지 영역을 어떤 수단에 의해서든 차단할 필요가 있다. 사진 film을 그 검출기로 한 radiography에서는 filter 등에 의해 저에너지 영역의 절단도 가능하지만 그 효과는 그렇게 기대할 수 없다. 에너지 선택이 가능한 검출기(예를 들면 NaI(Tl)를 사용한 scintillation camera로서 전기적으로 파고선별함)가 이상적인데 radiography에서는 실용상 어떠한 방법으로도 film 감광재료 보다 우수한 것은 없다.

우리들은 산란선의 방향의 random성을 이용하여 slit상 조사장으로 직접선을 많이 이용하는 방법에 대해 검토했다. 어느정도 좁은 slit를 사용하면 상당히 두꺼운 피사체도 투과측정기검출감도의 향상이 가능하다는 것을 알았다. 이것은 γ선의 걸보기 흡수계수에 관련하며 이것이 클수록 contrast가 높다는 것을 보여 준다.

수 cm의 slit상 조사장에서 피사체를 scanning하여 산란선의 방해가 적은 사진상을 얻는 간단한 장치를 시작(始作)했다. 선원의 크기등에 의해 실험적인 영역을 벗어날 수 없지만, 만약 300 Ci 정도의 <sup>60</sup>Co를 사용한다면 수시간의 order로서 두꺼운 물건의 검사가 가능하다고 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 辻井, 平岡, 古田, “ $^{60}\text{Co}$  10 Ci 線源による厚い鋼の識別度” NDI 資料 1465 (1970)
- 2) 小林, “前方散亂線の影響について” NDI 資料 1259
- 3) 小林, 前田, “ラジオグラフィにおける散亂線の像質におよぼす影響について” NDI 資料 1351
- 4) 一色, 片岡, 高, 山澤, “被寫體散亂線と缺陷像について” 非破壊検査 12(3)121 (1963)
- 5) 神尾, 榎, “散亂線のコントラストにおよぼす影響” 非破壊検査 16(7) 279 (1967)
- 6) 笹倉, “遮蔽計算における Build-up Factorの非破壊検査への適用” NDI 資料 1365
- 7) 赤井, “ベータートロンおよび  $^{60}\text{Co}$ に對する鐵の散亂比の測定” NDI 資料 1427
- 8) 辻本, 桂山, 刈谷, 山口, “シンチレーションカウンタを用いて鐵板の中で散亂した  $^{192}\text{Ir}$ の線エネルギーの測定” NDI 資料 1467 (1970)