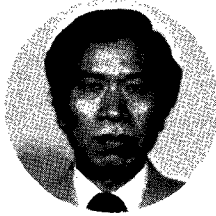


放射線 및 放射性同位元素

— 生産, 利用과 防禦 ④ —



金 載 祿

(韓國에너지研 · 同位元素室長)

《承 前》

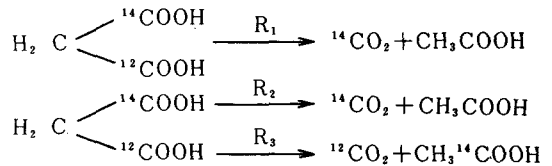
나. 追跡子の 化學形 및 同位元素 交換反應
 원소가 여러가지 산화상태 (oxidation state) 를 갖는 것일 때에는 트레이서의 산화상태와 추적하는 非放射性同位元素의 산화상태 등에 주의를 기울여야 한다. 추적하려는 원소가 트레이서와 다른 산화상태에 있는 경우는 이들의 酸化狀態를 같게 하기 위해서 산화제와 환원제를 번갈아 가해서 산화환원사이클을 이루게 해 준다. 예를 들면, S^{2-} , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} 사이에는 빠른 동위원소교환이 일어나지 않으므로 여기에 방사성 S^{2-} 를 가하더라도 SO_3^{2-} 나 SO_4^{2-} 의 트레이서로는 전혀 이용될 수 없다.

이와 반대로 동위원소교환이 트레이서와 반응계 중 어느 한 화학種과의 사이에 쉽게 일어나는 경우도 있으므로 이 점을 주의해야 한다.

다. 동위원소효과 (Isotope Effect)

동위원소의 정의로 보아 原子番號는 같으나 原子質量에 차이가 있으므로 그 거동에도 엄밀한 의미에서 약간의 차이가 있다. $1H$ 과 $2H$ 에서 그 효과가 크며, ^{12}C 와 ^{14}C 사이에도 약간 나 타난다.

예 :



$$\frac{R_3}{R_2} = 1.06 \pm 0.02 \text{ (153} \sim \text{154}^\circ\text{C에서)}$$

$$\frac{R_2 + R_3}{2R_1} = 1.065 \text{ (154}^\circ\text{C에서)}$$

라. 방사선효과 (Radiation Effect)

방사선효과는 통상의 트레이서 실험에서는 무시해도 좋지만 중합반응 등 연쇄반응이 일어나는 경우에는 주의할 필요가 있다. 생체를 對象으로 하는 생이학적 실험에서는 전혀 사정이 달라지며, 방사선이 생체의 정상적 物質代謝에 대해 얼마만큼 영향을 주는가를 잘 고려해야 한다. 가능한 한도안에서 적은 양의 방사성물질 을 써서 소기의 목적을 달성토록 해야한다.

(3) 무기화학 물리화학적 이용

방사성트레이서를 물리화학이나 무기화학적으로 이용한 예도 허다하나 몇가지 예만 간추려 보면 다음과 같다.

나용성염의 용해도 測定, 두 相間 分配率 測定, 蒸氣壓 測定, 粉末粒子的 表面的 測定, 吸着研究, 反應速度定數 測定, 活性度係數 測定, 同位元素 交換反應研究, 自己擴散研究, 分子構造研究, 無機反應, 機作研究 等이다.

2. 工業的 利用

RI는 工業 現場에서 여러가지 研究課題 解決을 위해 利用되고 있다. 一般的으로 現場에서의 利用은 研究室의 理論으로 건주는 間접적 실험과는 달리 가장 必要한 知識을 얻으며 이를 活用하는 것임으로 그 効用性은 크다.

가. 計測制禦

(1) 두계計 (Thickness gauge)

RI比重計, RI두계計 等은 單位面積當 質量을 透過放射線의 強度를 利用하여 測定하는 計器이다. 測定對象物은 一般的으로 放射線源과 計測器의 中間에 놓아 吸收시키는 것이 보통이다. γ 線, X線, Bremsstrahlung 等에서는 아래와 같은 指數減衰法則에 따라 透過放射線의 減衰가 일어나게 된다.

$$I = B I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (38)$$

B : build up 因子 (放射線蓄積 (또는 散亂) 인자 : β 선에 대해서는 ≈ 1)

I_0 : 투과전 방사선세기

I : 투과후 "

μ : 線型 흡수계수 (cm^{-1})

x : 두께 (cm)

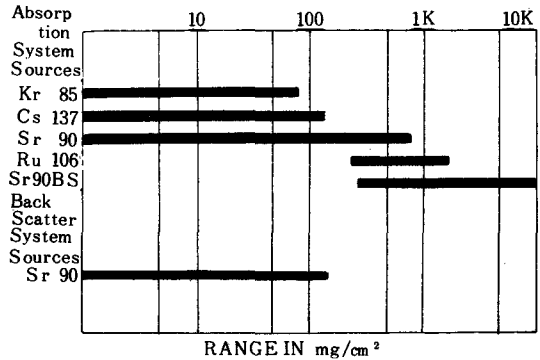
윗式에서 $I = \frac{1}{2} I_0$ 인 두께 $x_{\frac{1}{2}}$ 을 半두께라고 한다.

$$x_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu} \dots\dots\dots (39)$$

實際로 gauge를 정확히 사용하려면 測定하려는 物質과 같은 物質을 써서 補正曲線을 만들어야 한다.

RI를 이용한 두계計는 被檢物이 高速運動을 하거나 高溫이거나 極軟質인 경우 被檢物에 接觸하지 않고 두께 測定이 가능하다는 長點이 있

(그림 7) 몇가지 放射線源의 正常게이징 可能範圍



다. 두계計에는 透過型和 反射型이 있으며 그 구조는 一般的으로 檢知部 (Sensing unit), 게이징 支持部, 記錄 및 제어부 (registering and control unit) 및 신호부 등으로 되어 있다. 檢知部는 RI線源과 검지기로 되어있는 두계計의 심장부이다. RI線源 等 검지部の 選擇에 있어서 被檢物에의 接近限度, 被檢物 單位面積當의 平均重量, 所要 精密度 等에 따라야 한다. 그림 7에 두계에 따르는 RI線源의 종류를 나타내었다. 一般的으로 투과형 두계計의 선원은 피검체의 두께에 따라 달라지며, 70 mg/cm^2 까지는 ^{85}Kr , 120 mg/cm^2 까지는 ^{137}Cs , 600 mg/cm^2 까지는 ^{90}Sr , $300 \sim 1,000 \text{ mg/cm}^2$ 에는 ^{106}Ru , $400 \sim 10,000 \text{ mg/cm}^2$ 까지는 ^{90}Sr 에 의한 Bremsstrahlung이 사용된다. β 선의 후방散亂에 의한 두계計의 原理는 그림 8에 表示하였다.

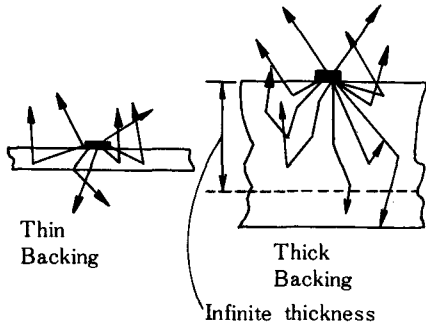
얇은 강판의 RI두계계에 의한 제어데이터를 그림 9에 나타내었다.

(2) 密度計

液體, 粉末, 固體 等の 密度測定 및 自動制禦에 RI密度計가 많이 利用된다. 그 特徵은 感도가 높고 安全하며 自動制禦가 가능하다는 點이다.

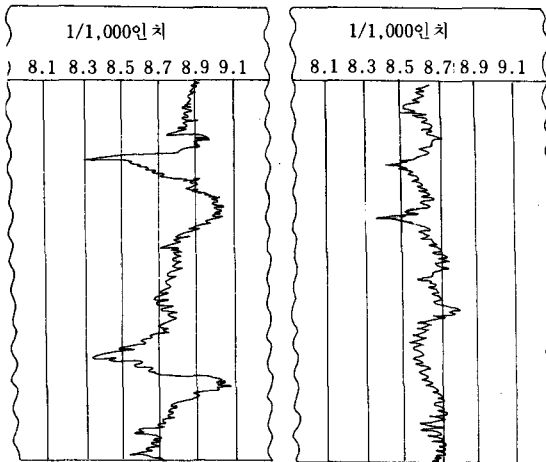
卷煙製造工程에 밀도계에 의한 자동제어를 도입한 곳이 많으며 그림 10과 같이 標準體와의 密度差를 검출해내고 이에 의해 自動制禦토록 설계되어 있다. ^{90}Sr 20mCi의 선원을 사용하여 精

〈그림 8〉 베타粒子的 後方散亂



Backscattering increases with thickness
Saturation occurs at infinite thickness

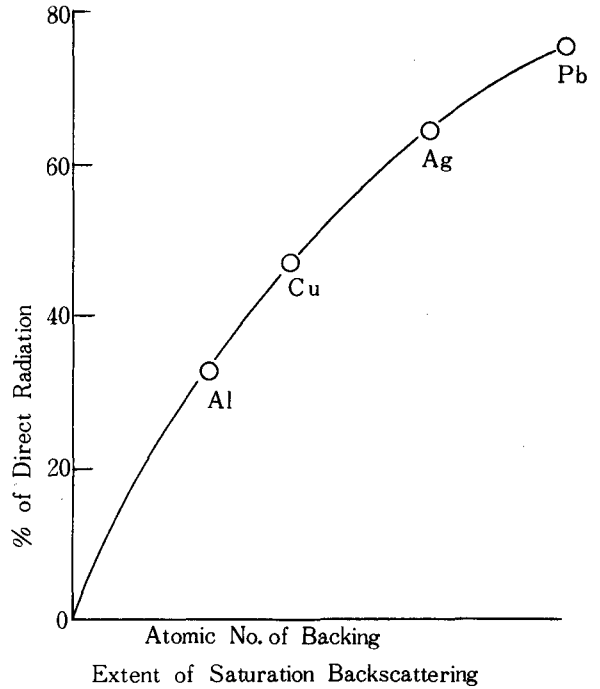
〈그림 9〉 얇은 판 두께의 제어데이터



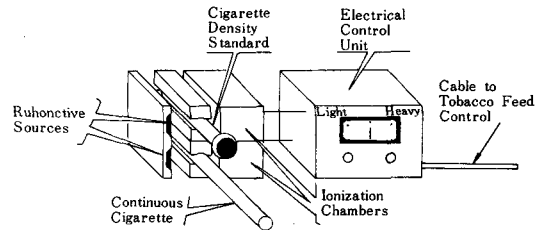
(a) 수동조종에 의한 경우 (b) 동위원소계이지에 의한 경우
도 1%까지 유지한다고 한다.

그 밖의 적용 예;

- 강통안의 氣泡檢定
- 精油장치내 密度檢定
- 精油管内 油狀固形物密度 檢定
- 反應塔内 液面과 氣面의 位置測定
- Pipe line 中の 기계적 청소장치 位置 확인 등.



〈그림 10〉 卷煙密度計



密度計 및 두께計에 자주 쓰이는 RI들을 표 6에, 가장 적합한 측정조건(최고성능)들을 표 7에 각각 나타내었다.

(3) 準位計 (Level gauge)

준위계는 선원과 검출기 사이에 들어있는 물질의 有無에 의해서 달라지는 방사선세기를 측정하여 준위를 결정하는 계기로써 두께계나 밀도계와 유사한 것이다. 액면계는 액면을 조절할 수 있는 액면조절계와 액면차에 의해 선별하는 액면선별기 등으로 나눌 수 있다. 통상의 非放射性 준위계보다 RI준위계가 유리한 점은 다음과 같다.

가) 용기가 연결되지 않고 쓸 수 있어서 누

〈표 6〉 密度計 및 測厚計用 RI의 特性

Radioisotope	Half-life	Useful Range mg/cm ²	Emitted Gamma Rays		Uses	
			Energy	Frequency		
¹²⁴ Sb	⁶⁰ d		2.1Mev	6%	Dense Metals upto 1" steel	
			1.7	70		
			0.65	8		
			0.61	95		
⁶⁰ Co	5.27y	2K to 200K	1.33	100		
			1.17	100		
¹³⁴ Cs	2.3y		0.794	100		
			0.601	100		
			0.567	25		
^{137m} Ba (¹³⁷ Cs)	30y	1K to 20K	0.662	100		Level and den- sity
			⁷⁵ Se	120d		
0.269	71					
0.138	24					
0.098	6.5					
⁹⁰ Sr-BS	25y	500K to 1K	Cont. Spec- tra		Steel, Copper, aluminium sheet	
			¹³³ Ba	9.5y		
0.300	31					
0.082	22					
¹⁷⁰ Tm	127d	100-500	0.053	5		
			0.008	16		
			0.002	16		

Gamma rays are listed only where they occur with a frequency of 5% or more
K: thousand, BS: bremsstrahlung

설, 固形物沈着, 부식 등의 문제가 없다.

나) 탄소화물저장탱크 등 매우 넓은 準位範圍에 걸쳐 쓸수 있다.

다) 실험용으로 임시 가설이 용이하다.

그림11은 일반적으로 사용되는 비교적 간단한 準位계를 나타내고 있다. 단일 γ 선원에 point detector를 사용하여 準位の高低에 따라 투과방사선의 增感이 일어나고 경보도 울리게 되어 있다. (그림11a)

그러나 실질적인 準位指示는 하지 못한다. 만약 몇개의 點線源과 계측기들을 사용한다면(그림11b) 어느 주어진 범위안에서(5~10ft 두께 등) 準位指示도 가능하다. 그림11c와 같이 γ

線源帶와 길게 늘어선 檢出器를 써서도 가능하다. 섬광계측기나 GM 계측기가 흔히 使用된다. 液面조절장치는 그림12에서 보는 바와같이 ⁶⁰Co 60mCi를 RI線源으로 사용하고 電離箱(Ionization chamber)으로 檢出함으로써 탱크속에 있는 漂白液等 腐蝕性液의 체류시간이 일정하도록 액면을 12인치 幅으로 自動조절하게 되어 있다. 強腐蝕性液은 鐵製탱크內壁에 1/6인치의 세라믹으로 둘러 쌓여 있고 線源은 耐腐蝕性白金管에 들어 있으며 液面에 따라 上下로 移動하게 되어 있다.

가. 放射線 寫眞術(Radiography)

(1) 一般의 事項

〈丑7〉 測厚計, 密度計, 濃度計 等の 最高性能

Type of gage	$\Delta I(\text{amps})$	S_x or $S_c(\mu A / \text{mg}/\text{cm}^2)$	$\delta x/x$ or $\delta c/c$	$\sigma x/x$ or $\sigma c/c$	τ (sec)
Transmission thickness (X)	1.72×10^{-10}	3.3	6.1×10^{-3}	1.6×10^{-3}	12.9
Reflection thickness (X)	1.85×10^{-10}	5.8	6.9×10^{-3}	1.9×10^{-3}	12.7
Reflection concentration (C)	$4. \times 10^{-11}$	5.3	2.3×10^{-2}	0.66×10^{-2}	10.4

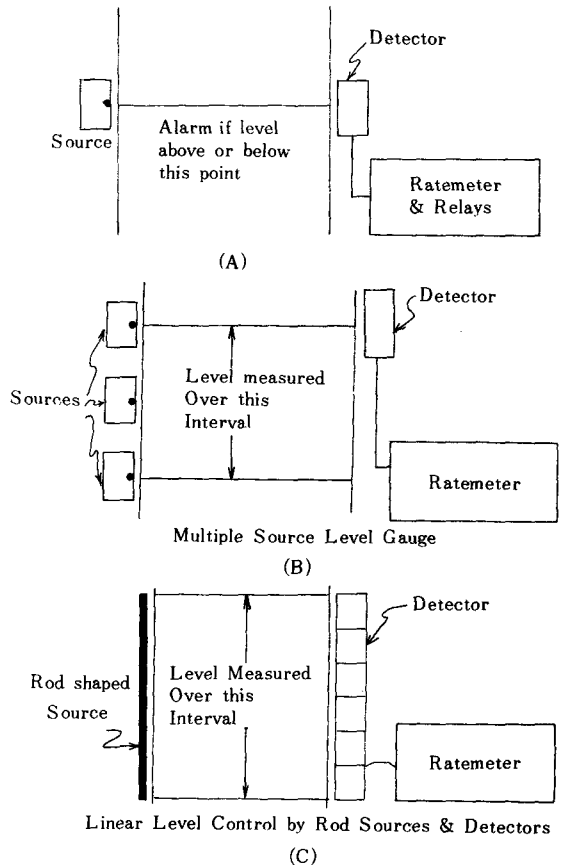
I.....ionization chamber detector current
 S_xsensitivity of thickness gage in $\mu A/\text{mg}/\text{cm}^2$
 S_csensitivity of concentration gage in $\mu A/\text{mg}/\text{cm}^2$
 δxuncertainty in thickness x
 δcuncertainty in concentration c
 σxstandard deviation in x
 σcstandard deviation in c
 τequilibrium time in sec

주물 및 용접부위의 검사에 방사선사진술 (industrial radiography)이 많이 이용된다. USAEC의 발표에 의하면 미국에서의 RI공업적이용에 관한 총인가건수 중 50%가 방사선사진술이라고 한다.

우리나라에서도 방사선사진술이 널리 보급, 이용되고 있으며 한국에너지연구소 동위원소실 제품인 ^{192}Ir 은 현대조선(주) 등에서 수cm의 강관에 대한 방사선사진술에 이용하고 있다. X선에 의한 방사선사진술도 생각할 수 있으나 RI에 의한 경우가 이동성이 좋고 원주방사(圓周放射)에 의한 촬영이 가능한 점 등의 장점을 갖는다.

RI방사선투과력은 X선과 對比할 때, ^{192}Ir 은 400~600KV의 X선, ^{137}Cs 는 1MV의 X선, ^{60}Co 는 2~3MV의 X선에 각각 해당된다. ^{60}Co 에 의한 두터운 鋼板의 비파괴검사에 있어서 撮影時間短縮을 목적으로 10Ci 또는 그 이상의 강한 선원을 사용하여 투과능률을 높임에 따라 X선에 비해 경제적으로 유리하게 된다. 이와 관련하여 문제가 되는 것은 Ci수가 커짐에 따라서 선원의 크기(dimension)도 커지지 않을 수 없다

〈그림 11〉 透過型 準位計들



는 것이다. 흔히 ^{60}Co 의 比放射能은 50Ci/g이상은 여러가지 면에서 제조가 곤란하다.

(2) 增減스크린 및 最適條件

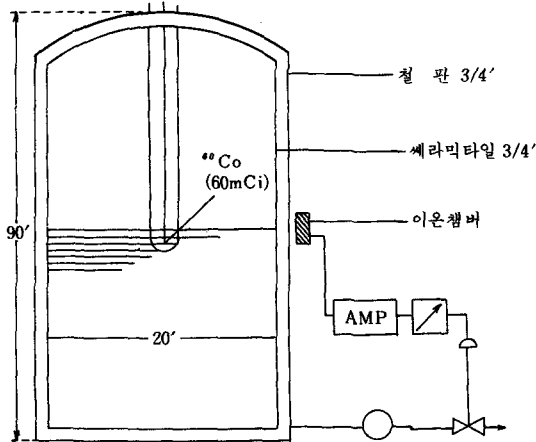
사진필름은 γ 선의 직접작용에 민감하긴 하지만 필름感知効果는 필름兩쪽에 增減스크린(Intensifying screen)을 밀착시킴으로써 向上시키어 露出時間을 短縮할 수 있다.

增減스크린은 鉛薄板 또는 calcium tungstate를 적당한 binder와 섞어서 Cardboard에 입힌 것이다.

Calcium tungstate 等 螢光物質은 放射線을 받아 그 에너지의 일부를 可視光線으로 變換시킴으로써 필름感知效果를 높인다.

방사선사진술에서 被檢體, 필더홀더 및 기타 1次放射線비미이 通過하는 경로에 있는 어떤

〈그림 12〉 액면계에 의한 자동제어



物質도 다소간에 방사선을 散亂시킬 수 있는데 그렇게 되면 放射線寫眞術에서의 콘트라스트가 惡化되어 感度減少가 不可避해진다. 그러나 납의 얇은 板이 필름과 密着되어 있을 경우에는 1次放射線보다는 긴 疲長을 가진 散亂放射線에 對한 吸收가 더 잘 되어 Contrast 惡化를 防止할 수 있다.

一般的으로 銳敏한 像을 얻으려면 아래와 같은 條件들이 滿足되어야 한다.

- 放射線源크기는 작을것 (point source)
- 被檢體와 放射線源의 거리가 멀것.
- 필름은 被檢體와 가까울 것.
- 放射線源은 필름面과 垂直일 것.
- 被檢體面과 필름面은 平行일 것.

線源과 被檢體面에는 逆제곱法則 (inverse square law)이 成立된다. 즉 I_1, I_2 를 各各 거리 d_1, d_2 때의 放射線강도라고 하면

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \dots\dots\dots (40)$$

인 관계가 성립된다.

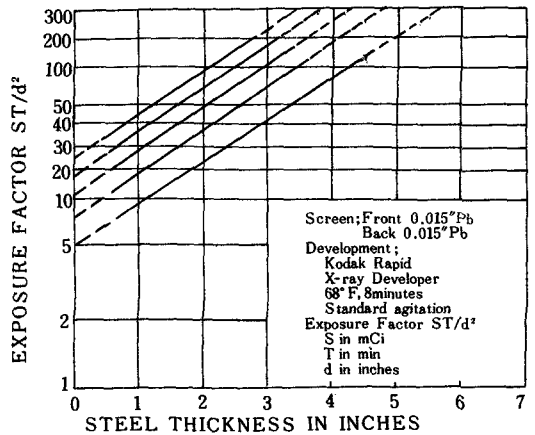
(3) 不鮮明度

檢出可能한 缺陷의 지름을 決定하는 全體의 幾何學的 不鮮明度 U_0 는 필름, 幾何學的配置 및 散亂 等に 의한 各各의 不鮮明度의 3승을 모두 합한 값의 3제곱근과 같다.

〈표8〉 여러가지 두께에 대한 불선명도(Uscat)값

Steel Thickness (inches)	Scatter Unsharpness (in 0.001")
1	6.6
1 1/2	8.2
2	9.6
2 1/2	11.0
3	12.5
3 1/2	14.0
4	15.5

〈그림 13〉 ⁶⁰Co에 의한 Kodak KK필름에 대한 露出因子와 鋼板두께와의 關係



$$U_0 = \sqrt[3]{U_{geom}^3 + U_{film}^3 + U_{scat}^3} \dots\dots\dots (41)$$

따라서 幾何學的 配置의 不鮮明度만을 줄이더라도 全體의 不鮮明度는 크게 줄어들지 않는다. 여러가지 두께의 鋼材에 對한 散亂 不鮮明度 (scatter unsharpness)를 表 8에 나타내었다.

(4) 露出因子 (Exposure factor)

放射線寫眞術에서 適合한 放射線源을 選定하는 것과 選定된 放射線源에 對한 露出因子를 決定하는 것은 가장 重要한 일이다.

그림 13에 나타낸 technique curve에서 사용된 것과 같은 露出因子는 주어진 방사선원으로부터의 필름에 대한 放射線照射量의 尺度이다. 그것은 線源強度 (mCi)에 露出時間 (min)을 곱하여 선원으로 부터 필름까지의 거리 (inch)의 제곱으로 나눈 것이다.

〈표 9〉 金屬에 對한 放射線寫眞術의 等價因子 (equivalence factor)

Metal	¹⁹² Ir	Source ¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	¹²⁶ Ra
Aluminum	0.35	0.35	0.35	0.40
2024Al alloy	0.35	0.35	0.35	
18-8(steel) alloy	1.0	1.0	1.0	1.0
Steel	1.0	1.0	1.0	1.0
Copper	1.1	1.1	1.1	1.1
Zinc	1.1	1.0	1.0	1.0
Brass*	2.1*	1.1*	1.1*	1.1*
Lead	4.0	3.2	2.3	2.1

Steel is used as the reference. The thickness of another metal is multiplied by the corresponding factor to obtain the approximate equivalent thickness of steel. The exposure applying to this thickness of steel is then used in the exposure calculations.

*Tin or lead alloyed in the brass will increase these factors.

$$\text{露出因子 (EF)} = \frac{S \cdot T}{d^2} \dots\dots\dots (42)$$

T : 照射時間 (min)

S : 線源強度 (mCi)

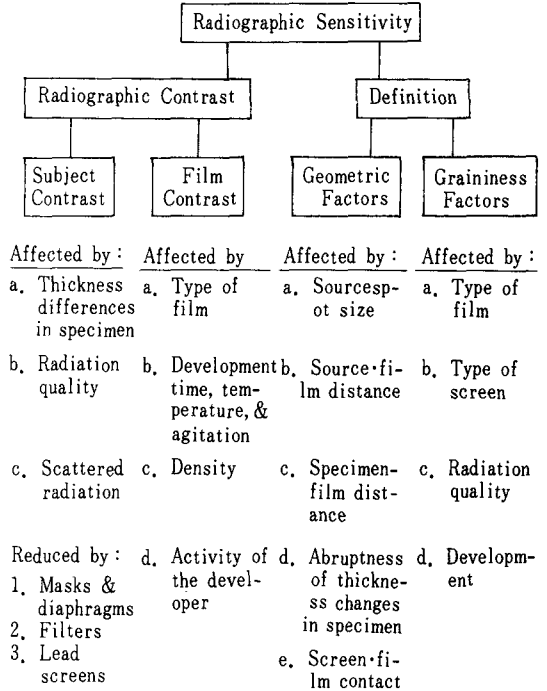
d : 線源 - 필름間 거리 (inch)

어느 필름에 對해서 technique curve를 利用하려면 피사체두께를 알아야 한다. 그 두께를 밑으로부터 재어 바라는 필름density線에 일치시키고 그 때의 값을 y축에서 읽으면 EF가 求해진다.

Sharpness와 그밖의 空間條件으로 부터 距離가 決定되고 technique curve에서 露出因子가 決定되면 露出時間은 쉽게 얻어진다.

表 9은 第 2物質에 對한 露出데이터를 알고 있을 때에 다른 어느 物質에 대한 露出時間을 決定하는데 使用될 수 있다. 만약 1인치 납판 및 필름密度 2에 대한 露出時間이 100sec로 알려져 있고, ⁶⁰Co線源을 쓸때에 표에서 1인치의 납은 2.3인치의 강철에 상당하다고 함으로 2.3인치의 강철에 대한 EF는 1인치의 납에 대한

〈그림 14〉 感度に 영향을 주는 因子들



것과 같다. 또한 表 9에서는 방사선에너지가 증가함에 따라 EF에 대한 原子番號效果는 감소함을 알 수 있다.

(5) 感度 및 透過度計 (Penetrameter)

放射線寫眞術은 檢査體에서의 不均一性を 찾아내는 것이 主目的이므로 放射線사진에서의 識別도에 영향을 주는 因子에 對한 確固한 知識이 必要하다. 그림 14는 放射線사진술에 있어서 예민도에 영향을 주는 여러 因子들 間의 相關關係를 보여 주고 있다.

어느 주어진 檢體에 ⁶⁰Co에서의 1.2 및 1.3MeV의 比較的 短波長 γ선 (hard γ)이 入射될 경우 낮은 Contrast를 보이는 반면, 같은 被檢體에 對해 ¹⁷⁰Tm에서의 84KeV의 比較的 長波長 X線 (soft X-ray)이 入射될 경우에는 좋은 Contrast를 보이게 된다.

感度檢査를 위해서는 透過度計 (Penetrameter)라고 하는 標準試片을 使用하는데 그것은 被檢體와 같은 材料로 되어 있으면서 두께는 다르

〈표10〉 β放射線寫眞術 데이터

Total Aluminum plate Thickness, (in)	Hole Diameter or Rip Width	Per Cent Thickness Flaw Detected	Distance Film from Source (in)	Exposure Time (min)
0.234	0.0625 in.dia.	9.4	4 1/2	90
0.181	0.09 in.dia.	5.2	4 1/2	90
0.181	0.04 in.dia.	5.2	4 1/2	90
0.159	0.02 in.dia.	5.9	4 1/2	40
0.106	0.04 in.dia.	8.9	4 1/2	25

(Source; 60mCi ¹⁴⁴Ce; Eastman "No Screen" X-ray film; One intensifier used all films; All films enclosed in Light-Tight Aluminum Foil)

게 되어 있는 것이다. 透過度計를 試片의 線源 쪽에다 密着시켜 방사선사진술을 적용할 경우 透過度計의 윤곽이 뚜렷하게 나타나면 그 방법은 2%의 두께차를 識別해 주는 것이 된다. (透過度計는 被檢體 두께의 2%로 만들었기 때문임) 즉, 이때 感度は 2%이며 일반적으로 鐵鋼의 방사선사진술에서 2%의 感度면 滿足스러운 것으로 본다.

透過度計에 여러가지 모양(Zigzag무늬, 동그라미 등)을 넣어 만들기도 하는데 그때에도 어느 一定한 感度로 그 모양을 識別하게 된다. 그러나 透過度計로는 識別되더라도 被檢體 内部의 같은 두께의 Cavity를 識別하지 못하는 경우가 있는데, 그 原因은 Cavity가 自然發生되면서 일반적으로 두께가 漸次的으로 달라져 있기 때문이다. Navarov 등은 檢出感度和 關係되는 다른 因子들을 써서 實驗式을 提案한 바 있다.

β放射線사진술데이터와 자주 쓰이는 RI특성을 表10 및 表11에 각각 소개하였다.

다. 放射線照射(Irradiation)

방사선을 照射하여 일어나는 物質의 物理·化學的變化를 工業적으로 利用한다. 照射放射線에너지의 일부 또는 거의 全部가 被照射物質에 傳達되어 原子가 結晶構造로 부터 이탈되거나 軌道電子가 떨어져나가 이온화가 일어나기도 한다. 前者의 경우는 주로 結晶性 固體에서 일어나며, 後者の 경우는 液體 또는 氣體에서 일어

〈표11〉 방사선사진술에 많이 이용하는 RI의 特性

Isotope	Curies ^{a)}	Source Size ^{b)} (inches)	Half-life	Output ^{c)} (ohm)	Equivalent X-ray Energy	Half-Value Layer ^{d)} (steel)
²²⁶ Ra	1/2	1/4	1,600y	0.42	2,500kev	1in.
⁶⁰ Co	1/2	1/16	5y	0.67	2,500kev	1in.
	10	3/16	5y	13.5		
	50	5/16	5y	67.5		
¹⁹² Ir	50	1/8	75d	27.5	700kev	1/2in.
¹³⁷ Cs	10	1/4	33y	3.6	1,400kev	3/4in.

- a) Source strengths represent practical values.
- b) Sizes are approximate diameters.
- c) rhm; Roentgen per hour at one meter.
- d) hvl; the half-value layer of steel.

나 放射線化學의 基本이 되고 있다. 放射線에너지가 物質에 傳達되면 그 분자가 파괴되는데 이것을 放射線損傷(radiation damage)이라고 한다. 이것은 原子爐 設計·運轉分野에서 特別히 重要な 의미를 갖는데 그 理由는 原子爐材料가 恒時 방사선에 被曝되기 때문이다.

한편 物質에 對한 방사선효과는 이로울 수도 있다. 예를들어 旋毛虫(돼지 寄生虫의 一種)에 감염된 돼지에 適當量의 放射線을 照射하여 그 幼虫만 죽게 함으로써 幼虫繁殖을 막을 수가 있다. 또 單位體에 방사선을 조사하여 free radical을 생성케 함으로써 開始劑(initiator)나 熱處理 없이 重合反應을 일으킬 수 있다.

放射線照射에 의한 改質의 例도 많이 알려져 있으나 具體的 論議는 省略하고 代表的인 例 몇 가지만 列舉한다. 表12에 放射線照射量과 여러 가지 照射效果를 要約하였다.

(1) 石油精製工程에서의 利用

약 3kCi의 ⁶⁰Co에서 방출되는 γ선을 150,000 γ/hr照射함으로써 石油Cracking이 이루어지게 하여 850~900°F에서의 非放射線照射 batch보다 5배의 cracking率을 얻을 수 있다. 分解生成物의 spectrum分析結果 高温分解에 의한 것과 差異가 없다고 한다.

(2) 石油化學 製品에 對한 應用

n-hexane을 450°C로 加熱하여 生成하는 n-hexyl radical은 저급의 alkyl radical로 分解되지만 常溫에서 放射線을 照射하면 dodecane이 生成된

〈표12〉 放射線 照射量과 여러가지 効果

10 ⁵ -10 ⁶ Rads	Inhibition of sprouting(onions, potatoes) Deinfestation Polymerization Inhibiting reproduction cycle of trichinae
10 ⁵ -10 ⁶ Rads	Pasteurization Polymerization
10 ⁶ -10 ⁷ Rads	Sterilization Polymerization Bleaching of drying oils
10 ⁷ -10 ⁸ Rads	Vulcanization of rubber Cross-linking of polyethylene, polystyrene

다. 이와 같은 二量體化(dimerization)의 예는 butane, pentane에 對해서도 일어나는 一般의 現象이다. 芳香族化合物이 脂肪族 化合物에 비해 안정하다는 것은 주지의 사실이며 방향족화합물 미량을 파라핀系 化合物에 첨가해 주면 분해량이 현저하게 감소된다.

(3) 高分子物質 性質改善

代表的 例로 polyethylene의 耐熱性 向上을 들 수 있다. 放射線으로는 X선, γ선, β선 電子線(加速器發生) 등을 이용하며 주로 자유基의 作用 메카니즘에 의한다. 一般적으로 主鎖가 C-C 結合인 비닐系高分子에 있어서는 放射線 効果와 化學構造間에 다음과 같은 關係가 있어 대개 그 化學構造로 부터 架橋型인지 崩壞型인지 짐작할 수 있으나 그 밖의 高分子類에 대해서는 實驗結果에 의존할 수 밖에 없다.

그러나 高分子의 架橋 및 崩壞는 照射條件(霧圍氣 溫度)에 의존됨으로 例外도 있다. 즉 PVC

〈표13〉 放射線照射에 依하여 架橋하는 高分子와 崩壞하는 高分子

架 橋 型	崩 壞 型
Polyethylene(-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -)	Polyisoudtylene(-CH ₂ -C(CH ₃) ₂ -CH ₂ -)
Polypropylene(-CH ₂ -CH(CH ₃)-CH ₂ -CH(CH ₃)-)	Poly(α-methyl styrene)
Polystyrene(-CH ₂ -CH(C ₆ H ₅)-CH ₂ -CH(C ₆ H ₅)-)	(-CH ₂ -C(CH ₃)(C ₆ H ₅)-CH ₂ -C(CH ₃)(C ₆ H ₅)-)
Polyacrylate(CH ₂ -CH(COOR)-CH ₂ -CH(COOR)-)	Polymethacrylate(-CH ₂ -C(CH ₃)(COOR)-CH ₂ -C(CH ₃)(COOR)-)
Polyacrylamide(CH ₂ -CH(CONH ₂)-CH ₂ -CH(CONH ₂)-)	Polymethacrylamide
Polyvinyl chloride	(-CH ₂ -C(CH ₃)(CONH ₂)-CH ₂ -C(CH ₃)(CONH ₂)-)
Polyamide	Poly(vinylidene chloride)
Polyester	(-CH ₂ -C(Cl)=C(Cl)-CH ₂ -C(Cl)=C(Cl)-)
Rubber	
Polysiloxanes	
Poly(vinylalcohol)	

는 공기中에서 照射하면 崩壞하나 眞空中에서 조사하거나 可塑劑를 含有하고 있을 때에는 架橋한다.

一般的으로 高分子類의 放射線效果에 있어서 架橋型과 崩壞型을 區分하여 나타내면 表13와 같다.

(4) 그라프트 共重合

줄기重合體(A)의 사슬에 가지重合體(B)가 接木된 형태의 共重合體를 放射線照射하여 만드는 方法이다. 이렇게 만들어진 그라프트공중합체는 줄기중합체(A)와 가지중합체(B)의 성질을 겹쳐 가져서 성질이 向上되는 것이다.

⁶⁰Co γ선 照射(照射率 20,000~30,000rad/hr)에 의한 그라프트共重合의 한 예로서 폴리에틸렌-비닐카바졸은 내열성이 폴리에틸렌보다 우수하다.

(5) 放射線 硬化(Curing)

樹脂나 塗料의 硬化, 乾燥는 여러 加工工程上 중요한 부분인데 최근 방사선을 이용하는 경화법이 이용되고 있다. 이 분야에서 가장 전형적인 반응은 不飽和폴리에스틸 스타이렌 등의 架橋, 아크릴계 단위체의 중합 등이다.

방사선 경화법의 장점은 다음과 같다.

○열이나 촉매를 쓰면 반응유도기간이 필요하나 방사선경화에서는 조사개시와 함께 시작됨으로 생산성이 향상된다.

○사용한 촉매의 잔사가 없어서 경화후 안정하다.

○고온에서 불안정한 재료를 써서도 코팅이 가능하다.

○도장막과 대상물 표면간에 화학결합이 발생하는 경우가 있어 견고하다.

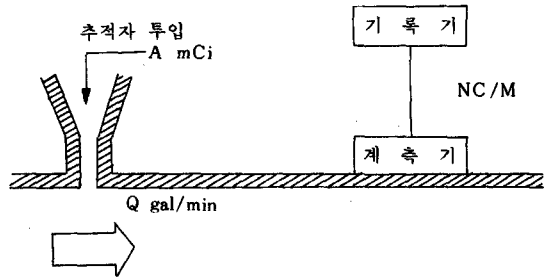
○경화속도가 빠르다.

○대형 가열로가 필요 없다.

(6) 放射線 滅菌

在來式 滅菌方法은 加熱滅菌과 ethylene oxide를 이용하는 가스滅菌이 대표적인 것이다. 근래

(그림 15) Total count法에 의한 流量測定



파이프

에 大單位 放射線源을 利用하여 醫療製品을 滅菌하는 方法이 實用化되었다. 일반세균은 수 Mrad의 照射線量에서 滅菌된다. 이때 對象物은 손상받지 말아야하며 毒性이 生成되어도 안된다.

大概의 경우 이러한 점이 크게 문제시 되지 않아 이 方法이 實用化되었으며, 加熱滅菌이나 가스滅菌으로는 處理가 困難한 脫脂綿, 거즈, 粉末狀製品, 藥品 等の 滅菌에 있어서는 放射線의 강한 투과력 때문에 매우 效果的이다. 放射線 滅菌은 完全包裝한 채로 가능함으로 滅菌後 再汚染도 最大限 防止되는 長點을 갖고 있다.

(7) 工業的 追跡子 利用

工業的 追跡子 利用의 例는 너무 많아서 하나씩 列擧하기 곤란하다. 代表的 例로 流量·流速測定에의 利用을 살펴보자. 그림 15와 같은 系에 放射性追跡子를 投入하고 管의 外部에서 放射能을 測定한다. 流速(Q)과 計測數間에는

$$N_2 N_1 = Q_1 Q_2 \dots \dots \dots (43)$$

인 관계가 成立하며 추적자 양을 A(mCi)라 할 때 계측치(N)는 A에 비례함으로

$$N_2 / N_1 = A_2 / A_1 \times Q_1 / Q_2 \dots \dots \dots (44)$$

이다.

$$즉, N = A \cdot F / Q \dots \dots \dots (45)$$

여기서 F는 RI계측기 및 계측기의 기하학적 배치 등에 따라 決定되어지는 定數이다. 따라서 式에서 F가 알려지면 방사능계측치로부터 Q를 구할 수가 있다.