

原子力關係 資格試驗의 傾向과 對策 (VI)

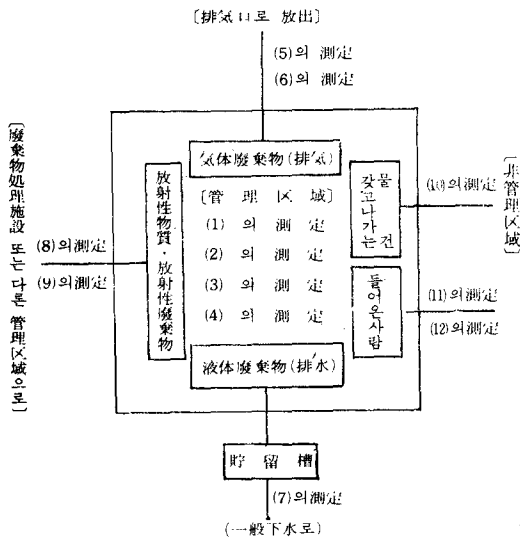
管理 技術

1. 放射線의 monitoring

[問題 1] 밀봉되어 있지않은 방사성동위원소의 취급시설에서의 monitoring에 관해 다음의 각 물음에 답하라.

1. 아래 그림에 표시한 관리구역의 monitoring계통의 각 측정항목에 대해 () 속에 들어가는 적당한 말을 번호와 함께 답하라. (1)~(12)에는 중복되는 것도 있다. 例 : (13)-溫度.

2. ^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{131}I 를 사용하는 시설의 경우, (1)~(12)의 각 측정항목의 실시에 있어서 일반적으로 사용되는 측정기의 명칭과 이것을 사용하여 許容度 以下임을 확인할 수 있는 핵종을 다음의 요령으로 답하라. (測定項目) - (測定器) - (核種)



[答] 1. (1)-放射線量率, (2)-表面汚染密度, (3)-空氣中放射能濃度(먼지, 기체), (4)-水中방사능농도, (5)-排氣中방사성먼지, (6)-排氣中방사성기체, (7)-排水中방사능농도, (8)-放射線量率, (9), (10), (11)-表面汚染密度, (12)-개인피폭선량.

(測定項目)	(測定器)	(核種)
放射線量率	電離函, GM型, NaI型 survey meter	^{60}Co , ^{131}I
表面汚染密度	廣面積 survey meter, hand foot cloth monitor	^{14}C , ^{60}Co , ^{131}I
放射性먼지	smear法에의 함 dust monitor,	^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{131}I
放射性氣體	dust sampler 活性炭	^{131}I
水中放射能濃度	gas monitor, sampling法	^3H , ^{14}C
個人被曝線量	水 monitor, sampling法 smear法에의 함 film badge TLD	^{60}Co , ^{131}I

[解説] 감각을 느끼지 못하는 방사선이 있는 곳, 또는 방사성물질을 취급하는 곳에서 사람이 안전하게 작업을 하기 위해서는 항상 방사선 monitoring이 필요하다. 이 방사선 monitoring의 원칙은 ① 방사성물질의 관리, ② 시설의 유지관리, ③ 방사선 관리이다. 여기서는 방사선의

감시 (monitoring) 용 측정에 대해 기술하기로 한다. 방사선의 monitoring은 管理區域內와 그 경계, 排水 (일반하수구), 排氣口까지를 포함해서 관리하는 作業環境 monitoring과 관리구역내에 출입하는 각 개인을 관리하는 個人 monitoring으로 大別된다 (원자로시설, 핵실험 등을 추적하는 환경 monitoring은 제외). 작업 환경 monitoring이 충분히 행해지고 있으면 예기치 않은 사고가 발생하지 않는 한 개인의 피폭을 예측할 수 있다.

작업 환경 monitoring의 구체적인 측정 방법으로는 작업 환경의 空間線量率의 測定, 空氣中の 放射性物質 (氣體, 먼지)의 濃度測定, 水中의 放射性物質의 濃度測定, 시설내의 모든 물체 표면에 부착되어 있을 우려가 있는 방사성 물질의 表面汚染密度의 測定 등을 들 수 있다. 각 측정 항목에는 거기에 적당한 測定器가 있다. 그 예를 표에 표시하였다. 그리고 연구용 측정기도 필요

에 따라 크게 活用하는 것이 바람직하다. 예를 들면 여러 명의 연구자가 사용하고 있는 곳을 smear法으로 조사할 경우 GM管式 survey meter로는 그 量이 推定된다고 해도 어떤 核種인지 알 수가 없다. γ 선 放出核種일 경우는 Ge型 γ 線 波高分析器로 측정하면 쉽게 判別된다. 軟 β 선 방출핵종 (^3H , ^{63}Ni , ^{14}C)는 液体 scintillation counter로 측정하는 것이 가장 효과적이다.

[問題 2] 다음 측정기중 線量率을 直讀式으로 측정하는데 적당하지 못한 것은 어느 것인가?

1. 電離函式 survey meter, 2. GM管式 survey meter, 3. scintillation式 survey meter, 4. 比例計數管式 survey meter, 5. 個人用 alarm meter

[答] 5

[解説] survey meter는 meter의 指針으로 線量率을 읽을 수 있다 (최근에는 digital 표시도

表 survey meter의 性能例

種 類	檢 出 器	測定可能放射線	測定 範圍	線 質 特 性	指示誤差	기 타	
空 間 線 量 率 用	電離函 survey meter	~1 ϕ 의 圓筒型電離函 壁材: bakelite phenol 氣體: 空氣	X, γ 선, 筒先薄膜窓 (3~7mg/cm ²)이 부 착된 것은 β 선 검출 가능.	0~1mR/h, $\times 1, \times$ 10, $\times 100, \times 1000, 3$ ~5range 積算線量 1mR	30KeV~2MeV (100KeV이상 平坦) $\pm 15\%$	$\pm 10\%$	濕, 溫度의 영향을 받음. 低, 中, 高線量率用 있음. 방향의존성 있음.
	GM計數管 survey meter	2 $\phi \times 15\text{cm}$, 窓2~3 mg/cm ² 의 端窓型 GM計數管	X, γ 선(窓 gap 부착) β 선 검출가능	0~0.1mR/h, $\times 1,$ $\times 10, \times 100$ (0~300cpm)	壁材와의 상호작용, 저에너지 영역에서 광전효과로 커지는 곳과 너무 낮아서 吸收損失로 작아지 는 곳이 있다.	$\pm 10\%$	高計數率時 窓息現象에 주의(보호회로가 부착된 것이 있음). 방향의존성 있음.
	scintillation survey meter	2.5 $\phi \times 2.5\text{cm}$ NaI (TI) plastic scintillator	X, γ 선 β 선용도 있음	0~0.025R/h $\times 1, \times 10, \times 100$	좋지 못하다.	$\pm 10\%$	감도가 양호하여 漏洩線 量 등의 검출용, 상태의 변화를 감지
	neutron survey meter (rem counter)	BF ₃ 比例計數管 ³ He比例計數管 LiI(Eu) scintillator	熱中性子~速中性子	0.1~10 ⁴ mrem/h	0.025eV~14MeV (7MeV)	$\pm 30\%$	polystylen, polyethylen 파라핀 등의 감속재를 圓 筒, 球型상태로 하고 속 에 검출기를 배치한다.
表 面 汚 染 檢 査 用	α 선 survey meter	ZnS(Ag) gas flow 比例計數管	α 선	0~100, 3000cpm	入射窓의 두께에 의 존	$\pm 10\%$	高線量의 β 선에 感應한 다.
	廣面積(廣口) survey meter	5cm ϕ GM計數管 100cm ² 比例計數管	β 선, 低 γ 선 (薄窓은 α 선 가능)	0~300cpm, $\times 1, \times$ 10, $\times 100$ 時定數 1, 10, 30초	³⁵ S, ¹⁴ C 정도까지 측정가능 (薄窓은 ⁶³ Ni도 가능)	$\pm 10\%$	Slit 상태는 開放窓으로 gas flow하는 검출기를 사용한 ³ H用 survey meter도 있다.

많다). 그런데 alarm meter는 일정한 積算線量(任意로 설정가능)이 되면 경보를 發하는(音, lamp點滅 등) 것이 많으며 途中의 積算過程을 지시하는 것은 있어도 선량율을 지시하는 것은 거의 없다.

[問題 3] GM管式 survey meter에 관한 다음 기술중 옳은 것은 어느 것인가?

1. $10\mu\text{R/h}$ 이상의 線量率測定에 適當하다.
2. 方向依存性이 없다.
3. 分解時間은 1ms 이상이다.
4. X선, γ 선에 대한 檢출효율은 10% 정도이다.
5. 10R/h 이하의 선량율 측정 適當하다.

[答] 1

[解説] 일반적인 survey meter의 선량율 측정범위는 $0\sim 0.1\text{mR/h}$, $\times 10, 100$ 정도이다. 따라서 최소 range 지침의 최대치는 $100\mu\text{R/h}$ 이므로 $10\mu\text{R/h}$ 의 측정은 대략적으로 할 수 있다. 한편 최대 range는 10mR/h 정도이므로, 10R/h 는 電離函 survey meter를 사용하는 것이 좋다.

[問題 4] GM計数管式 survey meter로 평균 $3,500\text{cpm}$ 의 値가 얻어졌다. 時定數는 10秒이다. 標準偏差로서 옳은 것을 다음에서 선택하라.

1. 0.6%
2. 3%
3. 6%
4. 12%

[答] 2

[解説] survey meter를 사용해 보면 알 수 있듯이 指針이 상당히 흔들려서 어느 것이 평균 計数率인지를 판단하기 어렵다. 지침의 최소와 최대치 사이를 잘 관측하여 평균치를 구한다면, 일정기간중 일정간격으로 指示値를 읽어 평균치를 산출하는 방법이 시도되고 있다. 이 평균 計数率 $n(\text{cps})$ 와 표준편차 σ 와의 사이에는 다음과 같은 관계식이 있다. $\sigma=1/(2\cdot n\cdot T)^{1/2}$ T는, survey meter내에서 pulse의 수를 電圧(meter를 움직이게 하기 위해)으로 바꾸는 회로의 時定數(초)이다.

$\sigma=1/(2\times 3500/60)\times 10)^{1/2}\approx 0.03$ 이 되며 %로 표시하기 위해 100배하면 약 3%가 된다.

2. 空間線量率計

공간선량율의 측정은 survey meter나 관리

구역내의 적절한 장소에 몇개의 고정검출기를 설치하여 방사선관리실 등에 있는 집중 감시장치에 신호를 보내고 측정하여 기록한다. 상황에 따라 자동차에 실은 monitoring장치를 사용한다.

survey meter에는 공간선량율 측정용과 표면 오염검사용이 있다. 또한 GM計数管과 같이 兩者에 공통으로 사용할 수 있는 것도 있다. 어떤 곳에도 쉽게 휴대할 수 있으므로 기동성이 뛰어난 측정기이다. 한편, 후자는 특정한 장소에 한정되는데 연속적으로 항상 측정기록을 할 수 있고 미소한 변화도 檢知가 가능하다. 일정한 경계선량에 도달했을 경우 경보를 발한다. 이 장치는 공기중, 水中의 방사능농도 측정과 같은 원리로 一括 構成된다.

area monitor는 관리구역내의 특정한 장소, 즉 작업종사자가 피폭의 가능성이 있는 장소에서 일정기간 작업을 할 때 그곳에 常置한다. 공간선량율, 積算線量率을 측정하여 일정치 이상을 넘으면 경보(lamp, 소리)를 發한다. 설치 장소에서의 작업이 완료되면 다음의 요청이 있는 곳으로 이동시킨다.

3. 空氣中 放射能濃度の 測定

공기중의 방사성물질은 粒子狀 또는 氣體狀으로 존재한다. 그러므로 방사성물질의 核種(線量, 에너지, 半減期 등), 물리적(먼지의 粒度 등), 化學的性質을 고려하여 捕集方法을 정하고 다시 방사능 측정방법을 정한다. 공기중에 浮遊하는 粒子狀의 방사성물질은 濾紙集塵器(고정식, 연속이동형), impinger(용매에 물이나 알코올을 넣은 容器內에 nozzle로 공기를 噴出), impacter(粘着材塗布 集塵板에 nozzle로 공기를 분출시켜 衝突捕集), 電氣集塵器, 熱式集塵器 등으로 捕集한다. 捕集後의 시료는 GM계수관이나 scintillation counter(α 선용, γ 선용)로 측정한다. 필요에 따라 α, β, γ 선의 spectrum을 분석할 경우도 있다.

먼지 monitor는 연속적으로 공기중의 먼지를

捕集하여 방사능측정을 행하며 농도가 設定値를 넘으면 경보를 發한다. 락모양의 濾紙가 사용되는 β 선 측정에는 GM계수관, α 선에는 Zn (Ag) scintillator 또는 surface barrier형 Si 검출기가 사용된다. 捕集用濾紙로는 cellulose系, glass섬유계, membrane계 등 세 종류가 있다. 선정에는 捕集效率, 물리적강도, 압력손실(공기저항), 입자의 표면포집상황(특히 α 선) 등을 고려할 필요가 있다. 예를 들면 cellulose, glass섬유계(HE-40T, 여과속도 2.5~120m/min, 捕集效率 99.5~99.9%, 壓力損失 2cmH₂O/m/min), membrane계(실리포어 AA 0.8 μ , 2.5~120m/min, ~100%, 8.5cmH₂O/m/min)이다.

氣體상태의 방사성물질(¹⁴CO₂, ³H, Kr, Ar, Xe, Rn 등)의 경우는 미리 진공으로 한 氣體封入型 電離函(1~1.5 μ)에 포집하고 振動容量電位計(直流電位計) 등으로 電離電流를 측정한다. 연속적으로 측정할 때는 공기중에 존재하는 먼지, 수증기, ion 등을 제거하기 위해 filter, 吸濕材, ion trap을 통해 電離函(3~10 μ)에 유도한다. 電離電流는 방사성물질에 따라 다르므로 pA로서 지시하며 실험 등에서 구한 換算式으로 농도를 계산한다.

揮發性的 방사성물질(¹²⁵I, ¹³¹I, P, S, Hg) 등의 포집에는 活性炭 含浸濾紙, 活性炭 cartilage (charcoal filter : 粒徑 75~100 μ m의 椰子殼炭)를 사용한다. 有機오드는 無機型에 비해 흡착성이 약하며 또 湿度의 영향이 크다. 그래서 活性炭에 triethylenediamine (TEDA)이나 (KI+I₂)

를 흡착시켜 포집효율을 향상시킨 것을 사용한다. 수증기형태로 존재하는 ³H의 경우(³Hgas의 경우에는 炉에서 산화시켜) 低温trap에서 凝縮水로 응축하든가(냉각응축포집방법), silica gel, moleculer sieve 등으로 포집하고 다시 분리하여 액체 scintillation counter로 측정하는 방법이 있다. ¹⁴CO₂의 경우도 phenyl ethylamine, ethanolamine, NaOH, KOH 등의 용액에서 포집하여 ³H경우와 같이 측정한다.

4. 水中放射能濃度の測定

液浸型 GM계수관이나 scintillation 검출기를貯留槽속에 집어 넣거나 또는 이들 검출기를 차폐장치내에 설치하여 pump로 排水를 순환시키는 등의 방법으로 monitor한다. 이들은 모두 검출기의 표면이 점점 오염되어 background의 상승 또는 汚染物이 되어 검출感度가 저하하는 경우가 있다. 排出基準을 上廻하는 感度를 가진 monitor는 적다. 따라서 排水의 일부를 채취하는 방법이 확실하다. 시료채취는 marinely beaker를 사용하여 직접 γ 선 spectrum 分析을 행하고 액체 scintillator로 측정한다. 증발乾固시켜 GM管계수장치나 scintillation counter로 측정하는 방법은 종래부터 행하는 일반적인 방법으로서 확실하기는 하나 증발하는 방사성물질이 있다는 점을 잊어서는 안된다.

5. 表面汚染密度的測定

표면오염의 측정에는 두가지가 있다. 入射窓面積이 넓은 검출기를 汚染面에 되도록 접근시켜 직접 측정하는 survey法과 濾紙 등으로 오염면을 문질러서 이를 측정기로 측정하는 smear법이 있다. survey법은 α 선이나 β 선의 오염면을 신속히 측정하는 데는 적당하나 오염량이 적은 곳이나 空間線量率이 높은 경우에는 적당치 않다.

표면오염용 survey meter에는 5cm ϕ 의 GM계수관이 보급되고 있으나 歐洲에는 10cm角의 比例계수관이 사용되고 있다. 표면오염이 일정하

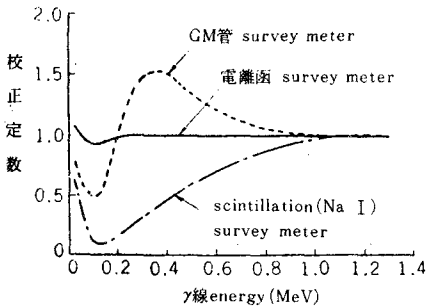


그림 survey meter의 energy 特性

(注: ⁶⁰Co γ 線에 對한 校正定數를 1.0으로 함)

고 窓面積이 크면 感도가 증가하나 background 도 증가하기 때문에 點狀汚染에서는 逆으로 감도가 저하할 때도 있다. 손발, 의복의 검사를 하는 hand foot monitor나 마루바닥 monitor 등이 survey법의 일종이다.

smear法은 직경 2.5~5cm의 濾紙를 사용하여 100cm² 면적의 표면을 잘 문질러 닦아내어 그 濾紙를 측정기로 측정한다. 汚染面의 닦아지는 정도와 문질르는 요령 등에 따라 닦아내지는 양이 대폭적으로 달라진다. 오염량이 비교적 많은 경우 닦아낸 전후를 survey법으로 측정하면 그 닦아지는 효율(除染率)을 대략 알 수 있다. 密封線源의 표면오염은 smear법 또는 浸透法으로 측정한다.

6. 体内被曝의 測定

체내피폭은 체내에 존재하고 있는 방사성물질의 양(身体負荷量) 측정부터 시작한다. 外部被曝線量計와 거의 비슷한 것으로 個人 sampler가 있다. 휴대용 集塵器로 호흡하는 공기의 일부에 포함된 먼지를 모으는 것으로 Pu 등 위험도가 높은 방사성물질을 취급할 때 사용된다. 기본적으로는 ①全身計測과 ②배설물이나 呼氣中에 배출되는 방사성물질을 분석(bioassay)하고 인체의 기관이나 조직중에서의 沈着率, 殘留量 혹은 生物學的 半減期 등의 생물학 데이터를 기초로 내부피폭선량을 推定한다.

全身計測은 human counter(whole body counter)라고 불리는 NaI(Tl)型 또는 plastic scintillator型 검출기를 사용한 α 線 波高分析器로 측정한다. 肺에 沈着한 Pu에는 肺 monitor(X선 검출기)가 있다.

7. survey meter의 取扱上的 注意

1) 장치가 정상적으로 작동하고 있는가를 확인한다

①電源스위치의 ON-OFF, ②電地의 電圧降下點檢, ③零點 check(측정중에도 가끔 점검해야 함), ④平常時 background值와의 비교,

checking線源에 의한 指示點檢, ⑤外觀機能點檢.

2) 使用上的 注意

①電離函式은 微少電流의 측정이므로 진동을 주지 않는다. 습도가 높은 곳에서의 사용은 극력 피하거나 短時間으로 한다. 電離函의 實効中心으로부터의 거리를 사용한다.

②GM計數管式은 不感時間(150~350 μ s) 때문에 窒息現象(自動補正回路 있음)이 생기는 경우가 있다. 표면오염 검사시에는 窓의 Al cap을 벗기고, 공간선량률 측정시에는 cap를 붙이는 것을 잊지말 것.

3) 校正

survey meter 종류는 오랫동안 사용하면 檢出器의 劣化, 回路定數의 變化, 기타의 原因에 의해 指示值가 不正確해지므로 정기적으로 교정할 필요가 있다(年 1회정도).

[問題 5] 다음의 측정사항과 측정기 또는 측정법의 組合중 적당하지 않은 것은 어느 것인가?

1. 密封線源의 汚染檢査-smear法
2. 異常被曝을 作業中에 알기 위한 測定-film badge
3. 個人의 月間 被曝量 測定-熱luminescence線量計
4. 수송용鉛容器의 表面線量率 측정-電離函式照射線量率計
5. 居住區域의 空間線量率 測定-GM管式 survey meter.

[答] 2

[解説] 1. 원래 방사성물질이 누설되지 않게 밀봉하여(γ, β 등) 방사선만을 이용하는 것이 밀봉선원이다. 방사능이 강하므로 만일 누설이 생기면 대단히 위험하다. 그러나 선량율이 높으므로 오염검사에 survey법을 채택할 수 없다. 液浸 등 몇가지 방법이 정해져 있으나 간단하게는 濾紙로 線源표면을 닦아내는 방법이 좋다. 이때 피폭에 충분한 주의가 있어야 한다. 그러므로 선원을 보관하는 차폐용기의 벽을 닦아내는 것도 효과적인 방법이다.

2. 작업중에 이상피폭을 알려면, 작업현장에서 항상 선량율을 알 수 있는 측정기를 사용해야 한다. 즉 survey meter, pocket線量計, 또는 (p.28에 계속)

^{99m}Tc 을 TcO_4 化學形으로 하여 여러가지 진단을 하는 방법이 널리 보급되고 있다. ^{99m}Tc 은 ^{99}Mo 이 붕괴할 때 생기는 딸核種인데 ^{99}Mo 을 구입해 두고 필요할 때 ^{99m}Tc 을 분리해서 이용할 수 있다.

이들 臟器의 진단에는 RI를 注射한 후 방사선측정기를 사용해서 体外에서 体内的 RI분포를 측정한다. 体外에서 방사선측정기(scintillation counter)를 平行하게 走査시키면서 측정하는 방법을 scintiscanning, 측정에서 얻어진 計數率分布를 브라운管上에 표시한 것을 scintigraph(또는 scintigram)이라고 하는데 体外에서 측정하기 위해서는 100keV 정도의 γ 선을 방출하는 핵종이 적당하다.

RI를 生体에 投與해서 진단하는 방법을 in vivo검사라 하며 in vitro검사는 시험관속에서 검사를 행하는 것으로 환자의 혈액을 채취해서 RI와의 반응을 분석하는 등에 의해서 진단을 한다.

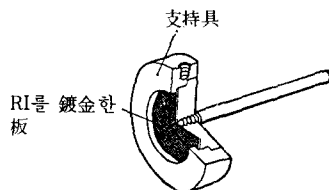
密封線源은 방사성물질에 의한 汚染이 생기지 않도록 방사성물질을 캡슐속에 넣는다든가 하여 금속판의 표면에 鍍金한다. 그러나 α 선이나 β 선을 이용하는 밀봉선원의 경우에는 두꺼운 금속으로 만든 캡슐속에 넣으면 캡슐벽에 방사선이 흡수되어 버리므로 캡슐의 일부에 窓을 만들고 그 부분만 얇은 벽으로 한다든가 또는 방사성물질을 금속판 표면에 鍍金해서 방사선이 좋은 효율로 외부로 나오도록 한다. 그림11(a)는 鍍金한 α 線源, (b)는 얇은 窓이 있는 β 線源의 예이다.

食品照射에 사용되는 ^{60}Co 線源이나 비파괴검사에 사용되는 ^{192}Ir 線源 등은 모두 γ 線源으로서 캡슐에 의한 γ 線 吸收은 크게 문제가 되지 않으므로 이와같은 線源에서는 스테인레스鋼製인 단단한 캡슐이 사용되며 内部캡슐과 外部캡

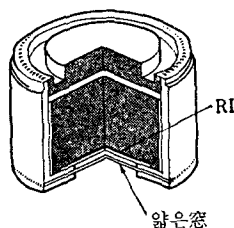
(p.66에서 계속)

alarm meter 등이다. film badge는 現象處理를 하여야 하므로 부적당하다.

3. 월간 피폭선량은 film badge, 熱luminescence(TLD), 螢光 glass 등의 선량계를 사용하는 것이 적당하다. pocket선량계 등은 電荷의



(a) α 線源 α 線을 내는 RI를 板에 鍍金한 것을 支持具에 붙인것



(b) β 線源 RI의 表面에 얇은 板으로 窓을 붙인것

그림11 密封線源의 여러가지 構造

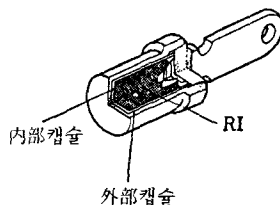


그림12 非破壞檢査用 γ 線源 (内部캡슐과 外部캡슐을 使用하여 2重 密封한 것)

술 2重구조로 된것이 많다. 캡슐内部에 밀봉되는 방사성물질은 ^{60}Co 이나 ^{192}Ir 과 같이 Co나 Ir의 금속으로 된것, ^{137}Cs 나 ^{238}Pu 과 같이 Cs나 Pu의 화합물을 사용하는 것, ^{90}Sr 과 같이 Sr화합물을 고온으로 구워서 磁器와 같은 ceramic 상태로 한 것 등이 있다. (다음호에 계속)

누설에 주의할 것.

4. 5. 모두 선량을 측정이므로 電離函式, GM 계수관식의 survey meter 사용도 좋으나 거주지역에는 低線量率($\sim \mu\text{R}/\text{h}$)의 측정이 가능한 것이 좋다.