原子力 關係資格試験의 傾向과 対策 (Ⅲ)

《測定技術》

1. 放射能測定

방사능은 원자핵이 단위시간当에 崩壊(disintegration)하는 능력이며 그 단위는 퀴리〔Ci〕 또는 秒当崩壊数〔dps〕가 사용되고 있다. 1Ci는 3.7×10^{10}dps에 相当한다. 최근 국제단위계(SI)에서는 Curie 대신, 새로운 단위로 Becquerel〔Bq〕이 사용되는데 1Bq는 1dps에 相当한다.

방사능측정은 방사성核種의 定量을 목적으로 한 측정인데 방사능強度 측정 외에도 핵종의 동일여부 판정을 포함할 경우도 있다. 핵종을 이미 알고 있을 때는 단순히 pulse의 計数, 또는 電離電流를 측정함으로서 방사능強度가 결정된다. 핵종이 未知일 때, 또는 혼합핵종일 때는 방사선energy spectrum 分析에 따른 측정이 행해진다.

2. 방사선의 종류와 測定器

방사능측정에 사용되는 측정기는 일반적으로 측정의 대상이 되는 방사선의 종류(α, β, γ선), 그 에너지, 측정시료의 물리적상태(기체, 액체, 고체), 크기 및 형상 등에 의해서 달라진다. 각 방사선에 대해 pulse계수 또는 전리전류의 측정에 의하는 경우와 pulse波高 spectrum 측정을 할 경우에 사용되는 대표적 검출기의 분류를 다음 表에 나타내었다.

表 방사선의 종류와 測定器

방사선	pulse計数 또는 電離電流의 측정	波高 spectrum의 측정
α 線	ZnS(Ag)scintillation 검출기 gas flow 比例計数管 液体 scintillation 검출기 電離函	grid가 붙은 電離函 表面障壁形 Si半導体 검출기 液体 scintillation 검출기
β 線	端窓形GM計数管 gas flow 계수관 液体 scintillation 검출기 電離函	plastic scintillation 검출기 液体 scintillation 검출기
γ 線	NaⅠ(TI) scintillation 검출기 電離函	NaⅠ(TI) scintillation 검출기 Ge半導体 검출기(γ선) Si반도체 검출기(X선)

〔문제 1〕 방사선 검출기와 방사선核種 group과의 분류에서 group中에 그 검출기에 의해 방사능을 측정하는 것이 부적당한 핵종을 포함하지 않는 것은 어느 것인가. 번호로 답하라.

① 端窓形 GM 계수관――(^{3}H, ^{32}P, ^{144}Ce) ② gas flow 비례계수관――(^{55}Fe, ^{137}Cs, ^{222}Rn) ③ 液体 scintillation 검출기――(^{14}C, ^{45}Ca, ^{210}Po) ④ NaⅠ(Tl) scintillation 검출기――(^{22}Na, ^{54}Mn, ^{63}Ni) ⑤ Ge(Li)半導体 검출기――(^{60}Co, ^{85}Kr, ^{226}Ra)

〔答과 解說〕 正答은 ③. ① ^{3}H는 軟β선 放出元素이므로 GM계수관에 의한 측정은 일반적으로 부적당하다 ② ^{222}Rn은 不活性가스이므로 부적당 ③ ^{14}C와 ^{45}Ca는 β선 방출원소, ^{210}Po는 α선 방출원소로 모두 적당한 핵종 ④ ^{63}Ni는 軟β線

방출원소이므로 부적당하다 ⑤ ^{85}Kr은 β선 방출원소이며 不活性가스이므로 부적당

방사성 핵종중에서 자주 출제되는 것들에 대해서는 그 특성(방사선의 종류와 에너지, 반감기 등)과 대표적인 측정법을 기억해 두는 것이 좋다. 자주 나오는 핵종들로는 다음의 것들이 있다.

^{90}Sr-^{90}Y, ^{131}I, ^{125}I, RaDEF, ^{24}Na, ^{192}Ir, ^{204}Tl, ^{106}Ru-^{106}Rh, ^{170}Tm, ^{198}Au, ^{56}Mn, ^{35}S, ^{203}Hg, ^{64}Cu, ^{57}Co, ^{239}Pu, ^{241}Am.

3. 絶対測定과 比較測定

측정시료와 표준線源 방사능의 상대적強度를 비교함으로써 측정시료의 방사능을 결정하는 경우를 비교측정이라 하는데, 이에 대해 표준선원과 비교함이 없이 다른 방법으로 검출기의 検出効率을 결정하고 이에 따라 측정결과에서 곧바로 방사능의 絶対値를 얻는 경우를 絶対測定이라 한다. 일반적으로 절대측정에는 최종 결과를 얻기까지 여러가지 補正이 필요하며 높은 精度를 얻기가 어렵다. 따라서 실제로는 비교측정에 의해 방사능을 결정할 경우가 많다.

〔**문제 2**〕 방사능의 절대측정에 관한 다음 記述中 옳바른 것은 어느 것인가.

① 端窓形(end window type) GM계수관을 사용해서 **定位体角法**에 의해 β선 방출核種의 点線源의 放射能을 측정할 경우 최종精度는 주로 立体角 결정에서의 精度로 결정된다.

② **4π計数法**에 의해 β선 방출핵종의 방사능을 측정할 경우, 試料의 自已吸収를 무시하면 계수효율은 100%로 볼 수 있다.

③ **内部가스計数法**에 의한 방사능의 절대측정은 気体状의 β선 방출핵종에 대해서만 적용된다.

④ **액체 scintillation 計数法**은 모든 β선 방출핵종에 대해서 방사능의 절대측정이 가능하다.

⑤ **同時計数法**에 의한 방사능의 절대측정은 β선과 α선을 동시에 방출하는 핵종에 대해서만 적용할 수 있다.

〔**答과 解説**〕 正答은 ③. 대표적인 다섯가지 방사능 절대측정법에 대한 기본지식을 확인하는 문제이다. ①定位体角法은 点線源으로부터 等方的으로 방출되는 β선을 일정한 位体角에서 검출하여 방사능을 결정하는 방법이다. 이 방법에서는 일반적으로 β선 방출율 n_0와 実測되는 계수율 n은 다음과 같이 **幾何学的効率** f_G 外에 많은 補正係数가 개입되어 関係지워진다.

$n = n_0 \cdot f_G \cdot f_W \cdot f_A \cdot f_B \cdot f_H \cdot f_\gamma$ 여기서 f_W는 GM계수관 入射窓에 의한 β선의 흡수, f_A는 空気層에 의한 β선의 흡수, f_B는 試料支持板에 의한 β선의 後方散乱, f_H는 周辺물질에 의한 β선의 산란, f_γ는 γ선에 대한 GM계수관의 感度에 대한 補正계수이다. 실제로는 시료의 자기흡수, 不感時間에 대한 보정이 필요하다. 이들 보정계수를 정확히 결정하는 것이 어렵기 때문에 立体角이 高精度로 결정되더라도 최종결과를 高精度로 얻는 것을 기대할 수 없다. ② 4πβ계수법에서는시료의 자기흡수를 무시할 경우는 있어도 試料支持膜에 의한 β선의 흡수는 무시할 수 없으며 계수효율은 100%가 되지 않는다. ③内部가스계수법은 $^{14}CO_2$, ^{3}H가스 등의 기체시료에 대해서만 적용된다. ④液体 scintillation 계수법에서는 일정한 弁別레벨 이상의 波高를 가지는 pulse가 計数된다. α선 및 高에너지 β선 방출核種의 경우에는 pulse의 대부분이 弁別레벨 이상의 크기가 되어 계수효율은 100%에 가까와진다. 따라서 近似的으로 100%의 계수효율로 보고 절대측정을 할 수 있다. 그러나 低에너지 β선 방출핵종의 경우 그 계수효율은 100%보다 상당히 낮아지기 때문에 절대측정은 어려워진다. ⑤同時計数法에 의한 절대측정은 β－γ 방출핵종 외에 X－γ, γ－γ 방출핵종에 대해서도 적용된다.

4. 電離電流 측정에 따른 방사능측정

β선 방출핵종 기체시료의 방사능은 捕集型電離函을 사용해서 그 전리전류의 측정으로 결정할 수 있다. 電離電流 I〔A〕와 방사능농도〔μCi/cm^3〕와의 관계는 다음式으로 표시된다.

$I = 1.6 \times 10^{-19} \times E \times 10^6 \times 3.7 \times 10^4 \frac{VC\eta}{W}$ 여기

서 E는 β선의 평균에너지〔MeV〕, V는 전리함의 용적〔cm^3〕, w는 한개의 ion双을 만드는데 필요한 평균에너지〔eV〕이다. η는 電離効率이며 방출된 방사선의 全에너지中 전리에 의해 전리함内에서 없어지는 에너지의 비율이다. η는 低에너지 β선의 경우 1에 가까우나 β선의 에너지가 높아질수록 작아진다.

한편 전리함은 γ선 방출핵종 고체시료의 방사능측정에도 적용된다. 이때 電離電流는 표준線源과의 비교측정으로 방사능을 결정한다.

〔문제 3〕

다음 문장중의 ( )부분에 들어가는 가장 적당한 語句를 아래의 (a)~(D) 中에서 선택하여 번호와 함께 기호로 표시하라.

γ放出元素의 방사능 R_m을 알고자 할 때 사용하는 측정기의 하나에 $4\pi\gamma$電離函이 있다. 이것은 試料挿入孔을 갖는 전리함인데 시료가 전리함의 有效電離部分이 되는 立体角이 거의 4π steradian이므로 이와 같은 이름이 命名되었다. 따라서 (1)이 거의 1과 같다. 보통 사용하는 측정법으로는 측정시료와 같은 (2)으로 방사능 R_s의 (3)를 삽입해서 얻어지는 정확한 (4)의 측정치 X_s 및 측정시료의 (4)측정치 X_m를 구하고 다음式에 의해서 R_m를 算出한다. $R_m = \frac{(5)\times(6)}{(7)}$

γ방사원소는 가끔 β선을 동시에 방출하는데 이 전리함에서는 試料挿入孔의 内壁을 충분히 두껍게 하여 β선이 직접 有效電離부분에 들어가지 않도록 하고 있다. 이것은 β선을 함께 측정하면 (8)가 증대하나 전리함의 β선에 대한 response는 시료의 調製방법에 따라 영향받기 쉬우며, 방사능과 측정치의 (9)이 성립되기 어렵기 때문이다. 따라서 β선을 cut한 쪽이 (10)도 양호하게 된다. 그러나 β선의 (11)등이 있으므로 그 영향이 없다고는 할 수 없다. 立体角이 거의 4π steradian인 γ선측정기로서는 우물형 NaI(Tl) scintillation counter가 있는데 $4\pi\gamma$전리함 쪽이 (12)이 불필요하므로 측정되는 (13)이 (14)는 것과 그 측정치는 검출부에 印加되는 전압의 변동에 좌우되기 (15)는 것 등의 장점이 있다. (a)計数率 (b)散乱 (c)比例性 (d)X_m (e)感度 (f) pulse数 (g)吸収 (h)核種 (i)최대방사능 (j)R_s (k)크다 (l)幾何学的 効率 (m)원소 (n)계수 (o)電離電流 (p)再現性 (q)X_s (r)표준시료 (s)최대에너지 (t)쉽다 (u)계수효율 (v)制動輻射 (w)작다 (x)dead time (y)최소에너지 (z)어렵다 (A)指示値의 흔들림 (B)표준물질 (C)自己吸収補正 (D)최소방사능

〔答〕 1 (l), 2 (h), 3 (r), 4 (o), 5 (j), 6 (d), 7 (g), 8 (n), 9 (c), 10(p), 11(v), 12(x), 13(i), 14 (k), 15(z)

5. 端窓形 GM計数管에 대한 β線測定

不感時間에 의한 누락계수 補正, β선의 後方散乱의 영향, 自己吸収에 대한 보정, 吸収板을 사용한 β선의 최대에너지 결정법 등에 대해서는 지금까지 많이 출제되었다.

〔문제 4〕

다음 記述中 틀린것이 있으면 번호를 표시하고 틀린것을 바르게 고쳐라.

1) GM계수관의 分解時間은 계수관에 의해서 다르나 印加電圧에는 거의 무관계이다.

2) **2線源法**에 의해서 GM계수관의 분해시간을 결정할 때 사용되는 2개의 線源 방사능강도는 거의 같은 정도인 것이 바람직하다.

3) 短半減期의 핵종을 사용해서 분해시간을 결정하는 경우, 사용하는 핵종은 2종류 이상의 混合核種이라도 상관없다.

4) 일반적으로 분해시간이 τ(秒), 실측된 계수율이 n〔cps〕일 때 1秒当의 누락되는 계수는 약 $n\tau$로서 표시된다.

〔解説〕 1) 틀린다. GM계수관의 분해시간은 印加電圧에 크게 의존하고 있는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 분해시간은 印加電圧이 높아짐에 따라 감소한다. 이것은 印加電圧과 함께 出力pulse가 커지며 따라서 pulse弁別레벨이 상대적으로 낮아지는 외에 不感時間이 실질적으로 짧아지기 때문이다. 2)는 옳다. 분해시간은 앞에서와 같이 印加電圧에 依存하는 외에 計数率에도 의존하고 있다. 따라서 한정된 계수율의 범

위에서만 분해시간은 일정하다고 볼 수 있다. 이것은 2線源法에 의한 분해시간 측정에서 사용되는 2개의 線源 방사능強度가 되도록 좁은 계수율범위에 들어가는 것이 바람직하다. 또 얻어진 분해시간을 사용한 누락계수의 補正은 엄밀히 하면 그 계수율범위에서의 측정결과에 대해서만 적용할 수 있는 것이다. 3) 틀린다. 短半減期核種을 사용한 분해시간의 측정은 방사능이 指数函数的으로 減衰하는 것을 이용하는 것으로 충분히 감쇠하여 누락계수를 무시할 수 있는 時点에서의 측정데이타로부터 과거의 高計数率時에서의 眞(true)의 계수율을 推定하여 이것과 実測된 계수율로부터 분해시간을 算出한다. 따라서 混合核種을 사용하는 것은 부적당하다. 4) 틀린다. 분해시간을 τ, 実測計数率을 n로 했을 때 眞의 계수율 n_0는 다음式으로 얻어진다.
$n_0=n/(1-n\tau)\doteqdot n+n^2\tau$ 따라서 누락계수는 약 $n^2\tau$이다.

6. gas flow計数管에 의한 α선 및 β선의 測定

4π gas flow계수관은 α선 및 β선 방출핵종의 방사능 절대측정에 가끔 사용된다. gas flow 계수관을 사용한 測定의 실제에 대한 出題는 적은 편이나 계수관의 動作特性, α선과 β선과의 弁別측정의 원리 등을 이해해 둘 필요가 있을 것이다.

〔문제 5〕

4π gas flow계수관을 사용한 点狀線源의 방사능측정에 관한 다음 記述中 틀린 것은 어느 것인가.

1) 일반적으로 비례계수관으로 동작시켰을 경우는 $10^2\sim10^4$倍의 增幅率을 가진 증폭기가 필요하게 되는데 GM계수관으로 동작시킬 경우 증폭기는 10배 정도의 증폭율을 갖는 것이 좋다.

2) PR gas를 사용해서 비례계수관으로 동작시킬 경우 β선에 대한 plateau는 Q gas를 사용해서 GM계수관으로 동작시키는 경우보다도 높은 印加電圧으로 생긴다.

3) 비례계수관으로 동작시킬 경우 α선에 대한 plateau는 β선의 경우에 비해 낮은 印加전압에서 생기나 plateau의 幅은 β선에 대한 경우보다 좁다.

4) 계수관은 시료로부터 β선과 동시에 방출되는 γ선에 대해서도 얼마간의 계수효율을 가지나 이것에 대한 補正은 하지 않아도 된다.

5) 自己吸収가 없는 β線源을 측정할 경우 支持膜에서의 흡수에 의한 計数損失은 上半部와 下半部의 각 계수관의 계수치 및 계수관 전체의 계수치에서 推定할 수 있다.

〔解說〕 1) 옳다. 비례계수관으로 동작시킬 경우 α선 및 β선에 의해서 생기는 信号pulse의 크기는 각각 수 10mV 및 수 mV 정도이다. 이들 신호pulse는 증폭기에 의해 수 V정도의 크기가 되도록 증폭된다. 2) 옳다. PR gas를 사용해서 비례계수관으로 동작할 경우 β선에 대한 plateau는 통상 2,000V 이상에서 시작하나 Q gas를 사용해서 GM계수관으로 동작시킬 경우에는 1,100V 정도부터 plateau 영역이 된다. 3) 틀린다. α선에 의해서 생기는 信号pulse의 크기는 β에 의한 pulse보다 10배 정도이상이나 크므로 α선에 대한 plateau는 β선의 경우보다도 낮은 電圧에서 시작한다. 이 α선에 대한 plateau는 β선에 대한 plateau의 영역까지 계속되고 있다. 따라서 RaDEF線源 等과 같이 α선과 β선을 방출하는 線源을 측정할 경우 印加電圧을 상승시키면 먼저 α선에 의한 plateau가 나타나 α선만이 계수된다. 전압을 더 상승시키면 제2의 plateau가 나타나는데 여기서는 α선과 β선 모두가 계수된다. 4) 옳다. β선의 계수율이 100%에 가까우므로 γ선이 계수되더라도 동시에 β선도 계수된다. 따라서 γ선에 대한 補正은 하지않아도 좋다. 5) 옳다. 上半部 2π 계수관에 의한 계수율을 n_1, 下半部 2π 계수관에 의한 계수율을 n_2, 전체 4π 계수관의 계수율을 n, 眞의 계수율을 n_0, β선이 支持膜을 통과할 때 흡수되는 비율을 f, 片側 2π의 계수관에 최초로 入射한 β선이 散乱하여 반대측의 2π 계수관에 들어가는 確率을 P라고 할 때 다음式이 成立된다.

$n_1 = \frac{n_0}{2}\{1+(1-f)P\}$, $n_2 = \frac{n_0}{2}\{(1-f)+P\}$,

$n = n_0(1-\frac{f}{2})$

이 式에서 n_0 및 P를 消去하면, $f=(n_1-n_2)/(n-n_2)$가 된다.

7. scintillation 檢出器에 의한 측정

일반적으로 검출기로부터의 신호pulse의 크기는 넓은 범위로 分布하고 있는데 discriminator(波高弁別器)를 사용해서 적당한 弁別레벨 이상 크기의 pulse를 計数하던가(積分計数) 또는 single channel分析器를 사용해서 設定한 window의 범위에 들어가는 pulse만을 계수함으로서 방사능의 측정(비교측정)이 행해진다. 典形的인 例로 ZnS(Ag) scintillation 검출기에 의한 α선의 계수, 液体 scintillation 검출기에 의한 β선의 검출, NaⅠ(Tl) scintillation 검출기에 의한 γ선의 계수 등을 들 수 있다.

〔문제 6〕

scintillation 검출기에 사용한 방사능 측정에 관한 다음 記述中 틀린 것은 어느 것인가.

1) α선의 측정에 사용하는 ZnS(Ag) scintillation 검출기는 신호pulse의 크기가 α선의 에너지에 비례하지 않으므로 energy spectrum 측정에는 사용할 수 없다.

2) NaⅠ(Tl) 검출기를 사용해서 γ선을 계수할 경우 **積分bias曲線**이 平坦한 위치에 弁別레벨(bias)를 설정하여 積分計数値를 측정하면 측정기의 gain 변동에 의해서 측정치가 영향을 받지 않는다.

3) single channel 분석기의 window를 波高spectrum의 peak를 포함하도록 적절히 설정하고 그 出力pulse를 계수하도록 하면 측정기의 gain변동에 의한 측정기로의 영향이 軽減된다.

4) 액체 scintillation counter를 사용해서 **効率tracer法**에 의해 측정시료의 방사능을 결정할 때, 측정기료의 β선 spectrum과 표준시료와의 차이를 고려하지 않아도 된다.

5) NaⅠ(Tl) 검출기의 γ선에 대한 **全効率**은 0.1~2MeV의 에너지범위에서 γ선의 에너지가 높아짐과 동시에 저하한다.

〔解説〕 1) 옳다. ZnS(Ag) scintillator는 일반적으로 粉末狀이며 光電子増倍管의 窓에 얇게 발라서 사용한다. α선 에너지에 비례하여 蛍光이 생기나 粉末에 의한 빛의 흡수, 散乱에 의해서 出力pulse의 크기는 고르지 못하다. 2) 옳다. 横軸에 弁別레벨을 취하고 縱軸에 積分計数値를 취해 plot해서 얻은 곡선을 積分bias 曲線이라고 한다. 그 平坦한 부분에서는 弁別레벨이 변화하여도 적분계수치는 변하지 않으므로 gain 変動(弁別레벨이 상대적으로 변화한다고 생각할 수 있다)에 의해서 영향을 받지 않는다. 3) 옳다. gain의 변화는 window의 위치가 상대적으로 변화함에 対応한다. window를 적절히 설정하면, window 위치에 작은 변동이 생기더라도 이에 의한 계수치의 증가분과 감소분이 相殺되어 全体 計数値의 변화는 적어진다. 이와같은 계수법을 **平衡点数法**이라고 한다. 4) 틀린다. 効率tracer法은 측정시료와 표준시료 両者를 故意로 계수효율을 여러가지로 변화시킨 조건에서 측정하고 横軸에 표준시료의 효율을 取하고 縱軸에 측정시료의 계수율을 취해서 plot하여 얻어지는 곡선을 효율 100%까지 外挿하여 측정시료 방사능의 절대치를 구하는 방법이며, 측정시료의 波高spectrum과 표준시료가 크게 틀릴 때는 부정확하게 된다. 5) 옳다. 全効率은 pulse波高 spectrum의 全面積에 対応하는 것인데 통상 size의 scintillator의 경우 이 에너지 범위에서는 에너지가 높아짐에 따라 감소한다.