방사선방어학회지
제5권 제1호 1980

放射線遮蔽材料論

韓國原子力研究所

文 錫 亨

1. 序 論

放射性物質을 取扱할 때와 放射線施設에서 作業할 때에는 恒常 放射線이 人體에 미치는 危險性을 念頭에 두고 作業을 해야된다. 放射線에 의해 생기는 人體障害에는 一定의被曝線量에 到達될 때까지 나타나지 않는 非確率的影響과 遺傳的인 影響을 包含하여, 어떤 小線量에서도 그 影響이 나타난다고 하는 確率的影響으로 나눌 수 있다.

1977年 國際放射線防禦委員會(ICRP) 勸告에서는 放射線防禦의 目的은 非確率的影響을 防止하고, 確率的影響을 容認할 수 있는 準位까지 制限하는데 있다고 말하고 있다. 그리고 放射線防禦의 推進方法으로 첫째 여하한 행위도 그 作業이 放射線利用을 正當化하는 것이어야 하고, 둘째로 被曝線量을 "合理的으로 達成可能한 限度까지 낮게"해야 된다는 ALARA(as low as reasonably achievable) 槪念에 의한 最適化이고, 셋째는 위의 두가지를 滿足시킨다고 하여도 ICRP가 勸告하는 線量限度를 超過해서 被曝되는 것을 禁하는 線量制限의 方法이다.

放射線施設의 遮蔽設計는 放射線에 대한 安全性을 主眼點으로 하고 同時에 經濟性, 最小重量, 構造上의 安全性 등을 考慮하여 設計되며, 遮蔽方式, 遮蔽材料, 遮蔽體外部에서의 許容線量, 遮蔽해야 할 放射線의 種類·에너지·强度·線源의 幾何學的形狀, 遮蔽體의 두께, 遮蔽體를 貫通하는 實驗孔, 닥트, 迷路構造등에서의 散亂放射線에 對한 影響評價, 設計된 遮蔽構造에 對한 耐火性, 耐震性, 耐久性, 施工特性 및 維持管理方法등 建築工學上의 檢討를 하여야 된다. 따라서 放射線遮蔽設計時에 使用될 遮蔽材料에 對한 考慮事項으로는 遮蔽能力, 物理的·化學的性質, 入手의 難易度, 經濟性, 施工特性등이 있고, 이같은 事項을 檢討하여 가장 使用目的에 부합되는 것을 選擇하는 것이다.

外部放射線被曝으로 부터 人體를 防禦하는 3個의 基本原則은, 첫째, 放射線被曝時間을 될 수 있는 限 短縮하는 것, 둘째, 放射線源과 人體間의 거리를 멀리하는 것, 셋째, 放射線源과 人體 사이에 遮蔽體를 놓는 것등이다.

天然放射性同位元素에서 放出되는 α粒子의 에너지는 4~9 MeV로 空氣中에서의 最大飛程은 겨우 數 cm 程度밖에 透過하지 못한다. β粒子는 數 m의 空氣로 大槪 吸收되어 버린다. 따라서 放射線遮蔽에서는 主로 X線, γ線, 및 中性子束과 같은 透過力이 强한 것만을 考慮對象으로 한다. 따라서 X線, γ線, 中性子에 對한 遮蔽에서 遮蔽體材料에 對해서만 다음에 說明하겠다.

2. 遮蔽材料

遮蔽材料는 放射線의 種類에 따라 有效한 遮蔽能力을 가진 것을 擇해야 된다. γ線은 콤프톤散亂, 光電子吸收, 電子雙生成등으로 減衰되지만, 數 MeV에서 0.5 MeV程度의 γ線에서는 콤프톤散亂이 가장 重要한 減衰過程이다. 그런데 1電子當의 콤프톤散亂確率은 物質에 따라 거의 變化되지 않고, 또 物質 1質量單位當 含有된 電子數도 物質에 따라 거이 變化하지 않는다. 따라서 g/cm^{2}으로 表示된 두께當의 遮蔽能力은 物質에 따라 별로 變化하지 않는다. 그래서 γ線遮蔽에 必要한 遮蔽體두께는, 物質의 密度에 거이 反比例한다. 一般的으로, 原子番號가 큰 元素는 γ線을 減衰시키는데 有效하다. 다시말하면, 鐵, 납, 우라늄과 같은 무거운 元素가 X線이나 γ線遮蔽體로 좋다.

中性子에 對한 非彈性散亂斷面積이 큰 元素는 速中性子를 低速中性子로 減速시키는데 適合하다. 原子番號가 작은 元素로 彈性散亂斷面積이 큰 것은, 速中性子의 減速에 有效하다. 速中性子가 散亂에 의해 熱中性子 또는 低速中性子가 되면 原子核에 吸收되기 쉽게 된다. 이 때문에 吸收斷面積이 큰 元素가 適合하지만, 中性子가 吸收되어도 2次 γ線을 放出하지 않던가 放出하여도 그 에너지가 낮은 것이 바람직하다. 中性子는

單獨으로 放射線源이 되는 일이 거이 없고, γ線을 同伴하기 때문에 中性子遮蔽와 γ線遮蔽를 同時에 考慮해야된다. 中性子遮蔽로 適合한 것은 물, 파라핀, 콩크리트등 含水素物質과 鐵등 무거운 物質들이다. 鐵등 무거운 物質은 中性子의 減速材인 同時에 2次放射線의 遮蔽材料로도 有効하게 利用될 수 있다. ^{10}B나 ^{6}Li은 (n, α)反應으로 中性子를 높은 確率로 捕獲·吸收하고 또 γ線을 放出하지 않기 때문에, 中性子遮蔽體中에 여러가지 形態로 混合되어 利用되고 있다. 위의 것 以外에도 吸收確率(吸收斷面積)이 큰 카드미늄, 인디움, 이리디움 등이 있으나 强한 捕獲 γ線을 放出하기 때문에 實驗用으로만 使用되고 있다.

原子爐의 遮蔽材料로는 中性子와 γ線에 對한 有効한 遮蔽能力을 가진 元素를 含有하고 있어야 한다는 것이 가장 重要하다. 그러나 實際的으로 躍起되는 問題로는 工學的强度와 熱에 對한 特性, 施工上의 特性, 經濟性등에 對한 要求條件이 充足되어야 할 必要가 있다.

現在 一般的으로 使用되고 있는 放射線遮蔽材料로는 다음과 같은 것 들이 있다.

2-1 콩크리트

콩크리트는 (1) 適當한 强度를 갖고 있고 構造材의 一部로 利用될 수가 있다, (2) 어느程度 任意의 比重이나 成分의 것을 얻을 수 있어, 遮蔽効果를 改善할 수가 있다, (3) 相當히 複雜한 形狀의 것도 比較的 自由롭게 製造可能하다, (4) 他材料에 比해 값이 싸다는 등의 理由에서 遮蔽材料로 많이 使用된다. 遮蔽用 콩크리트를 施工할 때 注意해야 될 事項은 첫째, 鐵鑛石의 比重등이 큰 骨材를 使用할 때에는, 그것이 沈下되지 않고 均一한 組成을 갖도록 할 것. 둘째, 콩크리트의 龜裂과 發熱에 注意할 것, 셋째, 硼素나 水素를 많이 含有하고 있는 骨材를 使用할 때에는 그 安全性이나 콩크리트硬化에 미치는 影響을 調査하지 않으면 안된다. 含水量이 많은 콩크리트로서, 例를 들어 蛇紋岩이나 蛇灰岩을 骨材로한 콩크리트가 있다. 堅固하고, 經濟的이기 때문에 中性子 및 γ線에 對한 遮蔽材料로 많이 使用되고 있다.

2-2 金屬材料

가) 납

납은 연하고, 鐵板같이 스스로 그 自體를 構造材로 利用할 수 없기 때문에 튼튼한 支持材料로 補强해서 使用할 때가 많다. 또 遮蔽用 납벽돌은 實驗用으로 大端히 많은 곳에서 使用되고 있고 서로 補完할 수 있는 形態의 납벽돌을 만들어 使用하기도 한다. 施設로는 透視窓이나 遮蔽門附近의 角이진 곳등, 콩크리트壁의 弱點을 補完하기 위한 곳에서 鐵材容器中에 납을 녹혀 부어서 만든 것을 많이 使用한다. 密度가 높고 成形加工이 容易하여, γ線의 遮蔽材로 널리 使用된다. 납은 연하고 融點이 比較的 낮기(326°C) 때문에 高溫의 場所에서는 使用할 수 없다.

나) 鐵

鐵은 그 自體가 構造材가 될수 있다. 例를 들면 콩크리트의 거푸집으로 使用되어 그 自體를 遮蔽體의 一部로 利用하기도 한다. 납이나 콩크리트의 弱點을 補强하기 위해 使用되지만, 납과는 달리 녹이 설지 않게 하기 위한 塗裝을 하도록 注意해야 된다. 遮蔽能力은 中程度로 γ線遮蔽에 많이 쓰인다. 特히 ^{60}Co이 含有되지 않는 철은 全身計測室의 遮蔽壁材料로 使用되어 自然放射線의 影響을 減衰시키기도 한다. 構造材로서의 性能은 아주 좋다. 水銀을 遮蔽材로 使用될 때, 그 容器의 材料로 利用되기도 한다.

다) 텅그스텐, 水銀, 우라늄

醫療用 및 工業用 照射線源의 遮蔽容器에서는 될수 있는 限 가볍고 小型으로 만들어 뚜껑의 開閉에 隨伴되는 遮蔽上의 弱點을 補完해야 될 경우가 많다. 그래서 이들 重金屬이 部分的으로 使用되기도 한다.

텅그스텐($Z=74$, $\rho=19.3 g/cm^3$)은 그 密度가 大端히 높기 때문에, 水銀($Z=80$, $\rho=13.6 g/cm^3$)은 높은 密度와 液體의 性質과 價格面에서, 우라늄($Z=92$, $\rho=18.7 g/cm^3$)은 密度가 높고 가장 强한 光電子吸收能力, 등의 各各의 特色을 갖고 있다. ^{60}CO의 球形照射容器에 이들 金屬을 使用했을 때 그 規模에 따라 다르지만, 대개의 경우, 납容器와 같은 程度의 遮蔽効果를 갖는 이들 金屬容器의 重量은 水銀이 납의 70%, 텅그스텐이 40%, 우라늄이 30%程度가 된다. 이들 材料는 γ線遮蔽材로 매우 좋다.

2-3 硝子 및 遮蔽窓材料

가) 硝子벽돌

遮蔽窓用 硝子벽돌은 ^{60}Co γ線에 對한 鉛當量이 0.24~0.55程度의 것을 求할 수 있고, 耐水性, 耐酸性이 요구되는 곳에 使用할 수 있다. γ線遮蔽의 좋은 材料이다.

나) 브롬化亞鉛($ZnBr_2$)등

이것은 普通콩크리트와 같은 程度의 比重을 갖는 液體로, 着色을 避하기 위해 特히 純度가 높은 것이 使

用되고 또 安定劑가 添加되어 있다. 普通濃度는 77~78.3%의 것이 使用되고 그 比重은 2.50~2.55, 빛의 屈折率은 1.55~1.57, 빛의 透過率은 소디움光에 對해, 2.54cm當 99.0%이다. 器壁이나 硝子의 溶出物에 의해 液體가 汚染着色될 可能性이 있고, 人體나 衣服에 묻었을 때 傷害가 生기기 때문에 注意해야 된다. 主로 γ線에 對한 遮蔽材料로 많이 利用되고 있다.

2-4 물 및 흙

물이나 흙은 가장 가까운 곳에서 얻을 수 있고 값이 싸기 때문에 目的에 따라서는 極히 優秀한 遮蔽體이다 물은 γ線에 對한 遮蔽能力은 작지만 中性子에 對해서는 없어서는 안될 遮蔽體이고 또 값이 싸며, 化學的安定性이 높고 또 透明하며, 無限媒質로서의 形狀을 만들수 있다는 點등으로 實驗用原子爐나 照射裝置에 遮蔽體로 利用된다.

흙이나 모래는 地下室이나 半地下室의 周圍에 쌓는 둔덕으로 많이 사용된다. 放射線遮蔽物로는 比重 1.5~1.8 程度라고 生覺하면 된다. 둔덕의 設計에서는 沈下나 헐리는 것을 考慮해 둘 必要가 있다.

3. 參考文獻

R.G. Jaeger, et al., "Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol. Ⅱ" Springer-Verlag, Berlin (1975)