

~放射性廢料簡介~

隨著人類生活日益進步，對於能源的需求亦與日遽增，在所有能源中，電力的需求，可說是與人類有密不可分的關係，除了傳統的火力、水力、天然氣發電外，二十世紀又發展出一新的電力產生方式，也就是核能發電，對於地球上日益消耗殆盡的資源，核能發電不啻提供了一個新的電力產生途徑，對於本身資源並不充分的國家，也大大降低對其他國家資源的依賴性。

但是，核能發電就像是一把雙鋒的劍，一方面其可供應比火力發電穩定且乾淨的電源，故發展初期，世界各國莫不爭相發展各式的核能電廠，以供應國內電力所需，但另一方面核能電廠所產生的放射性廢料問題，因其處理複雜，且若處理不當放射性物質將對人體產生傷害，故最近一、二十年來，世界各國對於核電廠的發展，除了少數國家尚繼續發展核能發電外，例如：日本、法國、大陸，其他國家已開始更審慎評估核能發電的必要性與未來永續的發展性。

然而，不論擁有核能電廠的國家對未來核能發電所抱持的態度為何，放射性廢料的處理與處置卻是每個國家都必須面對的問題。放射性廢料的主要來源為核能電廠，以我國而言，佔所有放射廢料的 90% 以上，放射性廢料可以廣義的區分為高放射性廢料及低放射性廢料。高放射性廢料為用過核燃料或其經再處理所產生之萃取液或產物，通常包括半衰期較長的核種，故在最終處置上遠較低放射性廢料為複雜。低放射性廢料則包含了高放射性廢料以外的所有放射廢料，內含污染衣服、紙張、木材、塑膠等低放射污染物質。

放射性廢料處理的基本目的，為使暴露率及輻射劑量盡可能合理化的抑低，並且在任何環境下，其劑量率小於年劑量限值，其處理原則為：

- 1、 低放射性液態及固態廢料，使用稀釋及擴散的方法，固態物料則以安全屏蔽隔離生物圈，避免環境污染。
- 2、 含有短半衰期的廢料，以延遲排放與稀釋為原則。
- 3、 高放射性廢料，則以濃縮後安全貯存為原則。

這些原則包括了氣體濾淨技術、液態廢料的吸附、過濾、沈澱、蒸發及離子交換，與固態廢料的除污、壓縮、焚化、固化儲存及處置等。

上述對放射性廢料的處理，本質上並無法使放射性物質的放射活度減少，處理的目的，只是使放射性廢料的體積減少、穩定、以利於搬運與儲存，並對未來的處置工作做一準備。處置是使含有放射核種的放射性廢料將來對人類的影響，達到某種可容許限度下的狀態。其作法有兩種。一是使其強度減低至標準以下而排放於大氣或海洋等環境中的分散稀釋。另一種是給予適當的阻擋，使其與生物圈長期隔離。此種處置方式包括陸地處置、海洋處置、地層處置，其中陸地處置目前以低放射性廢料較為適用，海洋處置目前已在國際共識下不予採用，而高放射性廢料則以地層處置方式為世界各國所使用，且技術相當成熟。

究竟處置/處理的效果如何？我們舉一個例子，就可以清楚的瞭解，

表 1 :1000MWe 核電廠所產生之高、低放射性廢料與同等發電量之燃煤電廠及天然鈾與花崗岩之放射性活度比較

	0 年	15 年	50 年	100 年	1000 年	10000 年	100000 年
低放射性廢料 (貝克)	5.45E14	2.41E14	1.52E14	1.06E14	2.59E11	1.63E10	3.03E5
高放射性廢料 (貝克)	3.92E18	1.10E16	4.29E15	1.38E15	6.18E13	1.56E13	1.88E12
煤 (貝克)	1.22E12	1.22E12	1.22E12	1.22E12	1.22E12	1.22E12	1.22E12
天然鈾 (貝克)	2.55E12	2.55E12	2.55E12	2.55E12	2.55E12	2.55E12	2.55E12
花崗岩 (貝克)	7.4E6	7.4E6	7.4E6	7.4E6	7.4E6	7.4E6	7.4E6

上表表示 1000MWe 發電量的核電廠與燃煤電廠(241 萬噸/年)在同等發電量下所產生的放射性比較，天然鈾(1000MWe 之核電廠約需 160 噸/年)存在於大地泥土中，除此之外，花崗岩是建築中常用的建材，為了瞭解此活度的意義，我們用等量的花崗岩(160 噸)做計算，其放射性活度亦一併放入比較。

由表中可知，不論高放射性或低放射性廢料，只要有足夠的時間供其衰減，其放射性是可以降低到天然物質範圍的，如果再考慮工程及天然地層的障壁，放射性活度更是可以下降到不考慮障壁的萬分之一以下。

目前全世界各個擁有核能電廠的國家，皆積極尋求妥善的最終處置場，已應付日漸增加的放射廢料，在低放射性廢料方面目前美國、法國、日本、西班牙、瑞典、德國、英國、芬蘭、南非等國皆成功設置低放射性廢料處置場，且順利運轉中。以日本為例，其低放射性廢料處置場為六個所村低放射性廢料最終處置場，此處置場位於日本青森縣上北郡六個所村，該處置場於 1990 年開始興建，1992 年完成並開始運轉。目前每年約接收 20,000 桶，預估 2012 年告一段落。第二階段規劃為 16 個處置坑，處置坑尺寸較第一階段大，。第二階段仍以處置 200,000 桶廢料桶為目標，預訂西元 2000 年開始營運。當最終階段完成後，六個所村處置場之處置容量將可達 60 萬立方公尺，約為 300 萬桶。

高放射性廢料因其大部分是用過的核燃料，具有較強的放射性及較長的半衰期，採用的處置方式為深層地質處置，目前全世界尚無任何商業運轉之用過核燃料最終處置場，只有瑞典、美國、加拿大、芬蘭等少數國家持續進行地下實驗室試驗。高放射性廢料因放射性活度高，因此對於生物的傷害也較大，處置技術因此相對較低放射性廢料來得複雜且困難，但仍不脫多重障壁(包括工程障壁與天然障壁)的觀念。所謂深層地質處置為將廢料處理、裝桶後，置於地下數百甚至數

千公尺下的岩層，數百年後廢料桶因受地下水侵蝕，放射性核種將會隨地下水滲濾出來，並開始於地下水中傳輸，此時，工程障壁已完全失效，唯一能夠阻擋放射性核種的只剩下天然障壁，也就是地下岩層體。因此，地下岩層體的選擇將決定未來放射性核種是否會外釋至生物圈。

所以，當選擇一個處置場時，就工程上而言，最重要的就是處置場的周圍母岩性質與地下水的調查，母岩與地下水的性質應符合以下特性：

- 一、母岩的透水性(permeability)很低。
- 二、地下水的含量很少、且流速夠慢。
- 三、母岩需能承受因高放射性廢料中的放射性物質衰變所產生之大量輻射熱。
- 四、母岩性質必須相當穩定。

基於以上的考量，目前世界各國對於處置場母岩的選擇以下列為主：

- 一、蒸發岩：通常是鹽岩，其組成相當緻密，且幾乎無地下水流動，對於輻射熱的承受度亦佳。
- 二、泥質岩：對於核種有極佳之吸附能力，透水性差。
- 三、結晶岩：岩性硬度佳，但也因此會有裂隙產生，這些裂隙可能形成地下水的主要流通管道(channel)，可能形成核種外釋的途徑，需加以研究，除此之外，其透水性亦低，且對於輻射熱的承受力佳。

不論高或低放射性廢料，目前皆有完備的技術可供使用，只要妥善的處理、處置，並不需太過驚慌，況且放射性本來就存在於你我之間，例如：花崗岩、宇宙射線、泥土等，都含有大小不等的放射性。利用多重障壁之設計，將廢料埋藏於地下穩定的地層中，再利用各種工程、天然障壁構成的重重保護，使其與人類生活圈完全隔離。此法是國際上公認可行的方法。且經過美國國家科學研究院，國際原子能總署、經濟合作開發組織核能署及歐盟等國際組織皆已為放射性廢料的處置提供科學的安全性驗證，以確保人類之安全。