污染場址土壤與地下水風險評估與管理練習題

第二章、風險概論

2.1 風險定義與法規制度介紹

1. 請說明風險之定義？

   解答：根據美國環境保護署 (United States Environmental Protection Agency, US EPA) 對於風險的定義是指「由暴露於環境壓力下而對人體健康或生態系統造成有害影響的機會」。

2. 美國環保署對於環境風險的評估的主要領域為？

   解答：美國環保署對環境風險主要分成二種類型，包含「人體健康風險」與「生態風險」，其中對於人體健康風險的評估，是指人體長期暴露於受污染環境介質中的化學物質，其影響所可能造成人體不良健康反應之可能性的程序；而生態風險評估則是評估由於暴露一種或多種環境壓力下，如化學品、土地變化、疾病、入侵物種或氣候變化等，可能對環境中生態系造成衝擊影響的程序。美國環保署即利用環境風險評估來描述化學污染物質及其他環境壓力對人體（如居民、勞工及遊客等）健康，以及對生態受體（如鳥類、魚類及野生生物等）之衝擊的風險特性和影響程度。

3. 土壤及地下水污染的常見來源為何？

   解答：土壤與地下水污染多屬於化學性的污染物。土壤地下水中的化學性污染物質種類繁多，常見的污染物可依其化學性質分為無機物與有機物兩大類。無機污染物主要為重金屬與無機鹽類（如硝酸鹽氮、氟離子）為主。常見之有機污染物則包括總石油碳氫化合物 (Total Petroleum Hydrocarbon, TPH)、多環芳香烴 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 與農藥等，這些物質常因工業運作程序的洩漏或滲漏以及農業活動而進入環境中。此外，管制之氯化碳氫化合物與單環芳香烴常見於工業溶劑使用場所，多屬於揮發性有機物 (Volatile Organic Compounds, VOCs)，具有高度揮發性與毒性，除進入水相亦相對容易以氣相存在，代表性的物質包括三氯乙烯 (Trichloroethylene, TCE) 與苯 (Benzene) 等。

2.2 風險分析系統之組成

4. 請說明風險評估作為分析工具之意義？

解答：「風險評估」是一套科學性與系統性的分析方法，評估特定情境下對人體健康或環境可能造成的負面影響。風險評估為以科學性之學理為基礎所發展之量化評估工具，評估結果主要可提供危害因子產生不良影響之程度與途徑等相關訊息，以協助管理者對於可能產生的危害行為進行預防與管理。在土壤與地下水管理領域中，風險評估協助判斷污染程度是否會對人體或生態造成危害，並提供風險導向的污染改善依據。在資源有限的情況下，風險評估可協助決策者釐清優先處理順序，依據污染對健康。

5. 何為風險分析系統？

解答：依據風險評估之結果來作成決定之程序及結果，就是一般所稱之「風險管理」，而由於作成決策攸關民眾與利害關係者之權利義務，因此，在評估與決策程序中必須經過充分之溝通方可順利推動，此溝通作業稱為「風險溝通」。有效降低危害或損失的決策，有賴於風險評估、風險管理與風險溝通三者之結合，國際上將此等三者整合的架構，稱之為風險分析系統 (Risk Analysis)。

6. 請說明我國風險評估方法？

解答：目前我國有關污染場址的健康風險評估方法已建立完成，遵從國際間採用的危害鑑定、劑量反應評估、暴露評估及風險特徵描述之基本架構，透過各個步驟的資料蒐集與判定，以預測人體長期暴露在環境中有害物質，對健康產生影響之理論性及量化之機率。由於風險評估作業的複雜程度不同，我國健康風險評估方法採用國際間採行的層次性評估規範，可依據目的、需求及可用資源，彈性調整評估的方法。此方式與歐洲多個國家及美國材料與試驗協會之以風險為基準之矯正行動 (Risk-Based Corrective Action, RBCA) 規範相似。

7. 請說明健康風險評估方法基本架構？

解答：主要由類似健康風險評估之四大程序組合而成，包含問題擬定 (Problem Formulation)、生態效應評估 (Effect Assessment)、暴露評估 (Exposure Assessment)、風險特徵描述 (Risk Characterization) 等四大步驟。

8. 請說明我國風險管理模式？

解答：依據風險評估之結果據以作成之管理決策，為風險管理程序，意即為達到降低場址現況風險所提出之管理對策。以風險評估運用於污染場址管理，為確保對於場址周遭人體及環境安全具有足夠之保護，藉由風險評估程序之假設情境及評估結果，探討場址污染及周遭環境對人體健康危害之潛在暴露途徑，並依據各暴露途徑生成風險的潛勢，針對風險潛勢較高之暴露途徑予以適當管理措施，達到減少人體暴露之程度，即為風險管理可進行之工作。決定可接受風險、風險評估結果運用方式、暴露途徑之阻絕、監督管理等，皆屬風險管理之範疇。

9. 請說明風險溝通方式？

解答：風險分析系統之架構是以風險評估結果，協助作成決策之風險管理程序，由於所作成之決策通常會攸關民眾之權利義務，充分的民眾溝通是順利推動決策之關鍵，也因此風險溝通與風險評估及風險管理是密不可分的。風險溝通在整個風險評估執行程序至後續風險管理與決策，都扮演重要角色。藉由污染場址之改善責任主體、相關主管機關與利害關係者相互溝通，促使風險評估作業與風險管理決策更加透明化，使民眾能清楚瞭解風險評估執行程序與使用之資料，同時，民眾亦可參與及回饋，以民眾利益為基礎發揮最大功效。搭配風險溝通可使所採取之行動更具可行性，民眾亦更清楚瞭解受到何種程度的保護。

第三章、健康風險評估執行流程

10. 在污染場址風險評估中，風險管理的核心概念為何？

解答：環境污染要形成健康風險需要有3個元素，即風險來源 (Source)、暴露途徑 (Pathway) 以及受體 (Receptor)，稱之為 S-P-R 模式，管理重點在於確保風險傳遞鏈結能被有效掌握與中斷。以風險來源 (Source) 而言，需明確鑑別污染源區（如農田、工廠、儲槽或是廢棄物掩埋場地），監測污染濃度是否有上升或下降趨勢，以及採取源頭處理（如移除或阻絕），並確認是否有污染擴散之風險；暴露途徑 (Pathway) 需以確立污染傳遞到受體的途徑為目標，評估污染物的傳輸方式與機制（如土壤蒸氣逸散、地下水傳輸），並調查地質與水文條件是否影響污染傳輸方向，最後確保控制及整治處理的完整與功能性，如系統運作穩定、阻絕及覆蓋工作是否維護良好；受體 (Receptor) 因素則以保護受體與環境免

於暴露風險為目標，確認受體如居民、工作者、地下水使用者，並調查暴露途徑如接觸、攝入及吸入等。

11. 一般而言，風險高低取決於那些因素？

解答：健康風險高低主要取決以下3項因素：

1. 環境介質（如土壤、水及空氣）中存在多少污染物質。
2. 受體與被污染的環境介質接觸（暴露）的程度。
3. 污染物質的毒性。

12. 健康風險的表現方式為何？

解答：健康風險的表示方式通常以機率為基準，例如致癌風險是以暴露在特定情境下，終生發生癌症的機率（如10^{-6}是表示1,000,000個人中可能有1個人發生癌症），而非致癌風險則是1代表會發生病症而低於1的數字表示沒有發生的可能。由此也可知健康風險評估方法可以量化環境污染對於受體造成危害影響的可能性，但仍需對於健康風險評估的學理與內涵有正確的認識，方能正確解讀健康風險數值與說明環境污染對於受體的衝擊。

3.1 健康風險評估步驟

13. 請說明土壤及地下水污染場址的風險評估中，危害鑑定的步驟建議？

解答：危害鑑定是為了確認特定化學物質與健康影響的關聯性，是否會導致特定不良健康影響（如癌症、紅腫或過敏反應）發生率增加的程序。鑑定一個污染物質是否有可得的科學數據，可能對人體造成的不良效應，當然要完整的收集各種研究與毒理測試的數據，收集後首先要判斷每一個研究的品質，取用品質優良者，作為鑑定的基礎。在土壤及地下水污染場址的風險評估中，危害性鑑定的步驟裡同時建議需要蒐集污染場址相關的資料，包括場址環境資料、場址使用歷史紀錄、場址周邊土地使用情形、關切污染物的濃度資料、場址周邊水文地理的描述與判斷可能被關切污染物影響的受體的相關資料。進行危害鑑定必須調查與污染物質相關之各種化學與生物資料，瞭解該物質是否具有致癌性或其他健康效應，由於污染物質很少以純物質狀態存在，且常在進入人體之後轉化為其他代謝物，進行危害鑑定除需考慮標的污染物外，尚需考慮其衍生產物及代謝產物之影響。

14.「土壤及地下水污染場址健康風險評估方法」中，建議採用的國際資料庫有哪些？

解答：1. 美國環保署綜合風險資訊系統 (Integrated Risk Information System, IRIS)

2. 世界衛生組織簡明國際化學評估文件 (WHO Concise International Chemical Assessment Documents, CICAD)。

3. 國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer, IARC)。

4. 美國環保署之國家暴露量評估中心 (US EPA National Center for Environmental Assessment, NCEA)。

5. 美國毒性物質與疾病登錄署 (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR)。

6. 美國環保署健康效應摘要表格 (Health Effects Assessment Summary Tables, HEAST)。

15. 如何進行劑量反應評估？

解答：劑量反應評估之目的是證明劑量與毒性作用之間的定量關係，產生暴露高低與健康影響發生機率。藉由劑量反應關係評估，估算得到因人體暴露到某一化學物質後不會造成不良效應的參考劑量或濃度（Reference Dose 或 Reference Concentration, RfD 或 RfC）。對具基因毒性的致癌性，則藉由劑量反應關係評估，估算化學物質的單位劑量癌症斜率 (Slope Factor, SF)。劑量反應評估的執行，主要在建立暴露劑量和不良健康影響發生比例之關係式，而此關係式的建構，通常是透過動物的實驗來完成。在劑量反應評估的實驗中，接受暴露的實驗動物，分成幾個不同暴露劑量的組別，其餘的條件則控制在相同的情況下。經過一定時間的暴露（慢性、亞慢性、急性），結束暴露後，將實驗的動物予以解剖，觀察各個標的器官的損傷情形，估算出來在各暴露劑量下，發生標的器官損傷的動物之百分比，然後繪製劑量反應評估曲線。然後，根據劑量反應評估曲線，鑑定出該物質的無不良反應劑量 (No-Observed-Adverse-Effect Level, NOAEL) 或具顯著不良反應最低劑量 (Lowest-Observed-Adverse-Effect Level, LOAEL)。

16. 暴露評估的主要目的？

解答：暴露評估主要的目的在瞭解暴露於污染狀況之受體，於實際或假設之情境下，受體的暴露程度。目前的實際暴露情形，或者是未

來在不同的情境下，潛在性的暴露狀態。亦即，評估不同暴露途徑下，人體在一段的時間內吸收了多少污染物，是否有暴露於此污染環境之機會，以及污染物質又是經由何種途徑進入人體而被吸收等問題。藉由瞭解環境中人體可能遭受到污染物質的暴露濃度或暴露劑量，推估進入人體的潛在劑量。

17.「土壤及地下水污染場健康風險評估評析方法」中，十大暴露途徑為何？

解答：以評估受體的暴露劑量，包含土壤、地下水以及經由空氣等三大環境介質，以食入、吸入與皮膚吸收等三大暴露方式加以設定，分別為：

1. 誤食受污染土壤並經由口服吸收。
2. 受污染土壤經皮膚接觸並為受體吸收。
3. 飲用受污染地下水並經由口服吸收。
4. 使用受污染地下水作為洗澡用途，水中關切污染物汽化後經吸入吸收。
5. 使用受污染地下水作為日常清洗用途，水中關切污染物汽化後經吸入吸收。
6. 使用受污染地下水作為洗澡或日常清洗用途，水中關切污染物經皮膚接觸吸收。
7. 受污染土壤揚塵逸散至空氣中，並為受體所吸入吸收。
8. 受污染表層土壤中之關切污染物經汽化成蒸氣，並為受體所吸入吸收。
9. 受污染裡層土壤中之關切污染物經汽化成蒸氣，並為受體所吸入吸收。
10. 受污染地下水中之關切污染物經汽化蒸散至室外空氣中，並為受體所吸入吸收。

18. 如何進行風險特徵描述？

解答：風險評估的最後一個步驟就是風險特徵描述，對於人體健康風險本質與高低之描述，並包括不確定性說明。利用危害性鑑定中所建立之危害物質清單，搭配暴露評估所估算而得之各個危害性物質在各暴露途徑的暴露劑量，並且以劑量反應評估所獲得之各危害性物質之非致癌風險的RfD值和各致癌物質之致癌風險評估的致癌斜率係數 (Cancer Slope Factor, CSF)，以估算發生健康風險的程度。風險特性化中，必須討論風險評估程序中之主要假設、

科學的判斷、以及不確定性等，以期合理的解釋推估出來的風險值的意義。量化健康風險的部分，可先針對各暴露途徑進行致癌與非致癌的量化評估工作，然後再結合各途徑的風險，進行加總。詳細的計算公式如下：

單一暴露途徑致癌風險 (R)=長期每日暴露劑量 (ADD)×致癌風險斜率係數 (SF)

總致癌風險=Σ（各暴露途徑之致癌風險）

單一暴露途徑之非致癌風險 (HQ)=(每日暴露劑量 (ADD))/(非致癌參考劑量 (RfD))

總非致癌風險 (THI)=Σ(HQ)

19. 何謂不確定性分析？

解答：整個風險評估程序是一複雜的程序，需要整合不同階段的評估，而每一階段均可能存在各類的不確定性，如：

1. 污染物釋放至環境的機制和程序。
2. 污染物在各種不同環境中的宿命和傳輸機制，可能過於複雜而難以準確量化，或是對真實的機制瞭解不多。
3. 污染物對人體健康的潛在影響，多以動物實驗推估而來。
4. 人體暴露產生健康危害的機率，和年齡、活動類別和生活型態相關。

第四章、土壤及地下水污染場址風險管理與溝通實務

4.2 執行風險管理之場址適用條件與做法

20. 污染場址的健康風險管理手段為何？

解答：一般而言，風險管理手段可分為3類：

1. 整治行動，即是透過污染物濃度降低來達到的「來源」移除，避免污染程度與風險危害的持續增加。
2. 透過物理或化學方式達到暴露阻絕，是屬於「途徑」阻斷的做法，屬於工程控制，若污染因整治困難之因素，無法完全將污染物移除，考量場址狀況透過對污染的控制方式，可使用較和緩、環境衝擊低，但改善時程較長的工程控制改善工法，亦可確保對人體健康與環境之保護，包含以鋪面措施進行阻絕、地下水流動阻絕、主/被動式減壓系統、生物復育技術與監測式自然衰減法，根據不同場址之特性，若無法實施以上較為直接之工程控制手段，也可進行以下相對權宜但間接之做法，盡量降低暴露並限制污染物移動，包含 (1) 安全

屏障或圍籬：將污染範圍以柵欄等方式進行區隔，限制受體進出。(2) 固化/穩定化：固化為添加水泥於污染土壤內，使其固體化或造成不可流動特性之程序；穩定化則指將原污染物轉變成低毒性或低溶解性之物質，以減輕其潛在危害。(3) 滲出液回收系統：直接將因地表逕流帶出之受污染土壤進行收集移除避免污染土壤之危害。

3. 行政管制手段，達到避免暴露及確保上述之管理目的，如必要的地下水使用禁止公告、風險管理宣導與輔導說明會議辦理等，皆為強化周邊場址關係人的風險認知、降低暴露行為與風險危害的機率等。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy