

土壤及地下水污染場址污染潛勢評估方法之探討

陳慶和¹、蔡鴻德²、陳峻明²、楊鎧行²、吳雅婷²、尤衍翔²、
劉偉麟³、廖法銘⁴、邱英嘉³、黃珂⁵、魯逸群⁵

¹國立台北教育大學社會與區域發展學系(所)

²環保署土壤及地下水污染整治基金管理會

³南亞技術學院環境科技與管理系

⁴中央研究院人文社會科學研究中心

⁵中菲電腦股份有限公司

摘要

土壤及地下水污染潛勢之評估可提供主管機關瞭解民眾受到土壤及地下水污染影響的可能程度，而做為擬定污染監測、預防等策略之重要參考依據。環保主管機關目前已投下許多人力物力針對區域性水井進行定期監測，也針對可能造成污染之工廠等污染源之進行調查，以瞭解是否會有發生污染事件的可能性；此外，未來應可針對污染場址(包括整治場址及控制場址)進行污染潛勢評估，以瞭解污染場址周圍地區可能受影響程度。因此本研究之目的乃是以系統思維(Systems thinking)的方法，參考相關學理與實務，初步發展一套土壤及地下水污染場址污染潛勢評估方法論，以做為未來進行潛勢評估之參考依據。本研究乃將污染場址及其周圍地區界定為一個系統，然後發展一套土壤及地下水污染場址污染潛勢指標，包括場址之土壤及地下水污染物、傳輸途徑、土地及地下水使用等三大面向，共計 12 項指標，並界定各指標值標準化方法及權重，而以綜合指標值而判定其潛勢高低。本研究並以一假設案例，根據上述方法論及地理資訊系統而繪製污染潛勢地圖。因此，本研究所提出之方法論期望可以用來有效地瞭解土壤及地下水污染場址污染潛勢，以擬定適當的土壤及地下水管理策略。

關鍵字：土壤及地下水污染場址、污染潛勢、系統思維、地理資訊系統

A Study on Assessing Pollution Potentials of Soil and Groundwater Pollution Sites

Ching-Ho Chen¹, Hung-Te Tsai², Chun-Ming Chen², Kai-Hsing Yang²,
Ya-Ting Wu², Yan-Hsiang You², Wei-Lin Liu³, Hsuan-Ming Liaw⁴, Ing-Jia
Chiou⁴, Ke Huang⁵, Yi-Chun Lu⁵

¹Department of Social and Regional Development, National Taipei
University of Education, Taipei City, 106, Taiwan

²Soil and Groundwater Pollution Remediation Fund Management Board,
Environmental Protection Administration, Taipei City, 100, Taiwan

³Department of Environmental Technology and Management, Nanya
Institute of Technology, Chung-Li city, 320, Taiwan

⁴Research Center for Humanities and Social Sciences, Academia Sinica,
Taipei City, 115, Taiwan

⁵Dimerco Data System Corp., Taipei City, 104, Taiwan

Abstract

The assessment results of pollution potential of soil and groundwater pollution can be used for the authorities to understand the possibility which people are influenced by soil and groundwater pollution. Then, the authorities can generate the strategies for pollution monitoring and prevention based on the assessment results. The authorities of environmental protection have used lots of manpower and resources to periodically monitor the regional groundwater wells, and investigate the pollution sources (such as factories) to understand the possibility of occurring pollution events. In the future, the authorities may assess the pollution potentials of soil and groundwater pollution sites, including remediation sites and control sites, to understand how neighboring area are influenced by the pollution sites. The purpose of this study is to developed a methodology for assessing pollution potentials of soil and groundwater pollution sites based on the method of systems thinking with related theories and practices. This study identifies a pollution site and its neighboring area as a system. An indicator system for assessing the pollution potentials of soil and groundwater pollution sites is developed, including three phases of soil and groundwater pollutants, transportation pathway, and uses of land and groundwater. 12 indicators, including their normalization methods and weights are also indentified. The comprehensive indicator value can be used for determining the pollution potential levels. An assumed scenario is applied as a case study. The map of pollution potentials is made based on the proposed methodology using geographic information system (GIS). The proposed methodology is expected to be used to effectively understand the pollution potentials of soil and groundwater pollution sites and generate proper management strategies based on the assessment results.

Keywords: soil and groundwater pollution sites, pollution potential, systems thinking, geographic information system

一、前言

土壤及地下水污染問題之發生，乃是因為污染源所排放或洩漏之污染物質進入到土壤及地下水中，經過傳輸、分解等各種物理性、化學性、生物性作用後，造成不同區域的各種污染濃度，進而影響到居民等之健康。

然而土壤及地下水污染問題相當複雜，除了污染場址範圍內之污染程度外，也需考量污染場址範圍內之污染物傳播到場址以外範圍，而且場址外也有其他污染源，共同造成鄰近區域之土壤及地下水污染。而且場址內外的各種抽水行為、土壤及地下水之物理化學特性、外界(如降雨等)對地下水文之改變等，也會影響到污染物的傳輸等作用[1][2]。而整個區域之土壤及地下水污染，由於抽取地下水使用、種植農作物以食用、直接接觸等途徑，則是造成鄰近區域居民健康上之潛在影響。而以上這些作用，都必須考量其空間分布的特性所造成的不同影響。

環保主管機關目前已投下許多人力物力針對區域性水井進行定期監測，也針對可能造成污染之工廠等污染源之進行調查[3][4]，以瞭解是否會有發生污染事件的可能性。除此之外，對於已存在污染之場址(包括整治場址及控制場址)，未來應可應用已可取得的資訊，同時進行污染潛勢評估，以瞭解污染場址周圍地區可能受影響程度，提供做為策略研擬之參考。因此本研究之目的乃是根據系統思維(Systems thinking) [5][6][7][8]的方法，將污染場址及其周圍地區界定為一個系統，然後發展一套土壤及地下水污染場址污染潛勢評估方法論，以做為未來進行潛勢評估之參考依據。

二、污染場址污染潛勢評估方法論

本研究界定土壤及地下水污染的系統概念圖，如圖 1 所示。根據此系統概念，本研究評估污染潛勢所使用指標包括[9]：

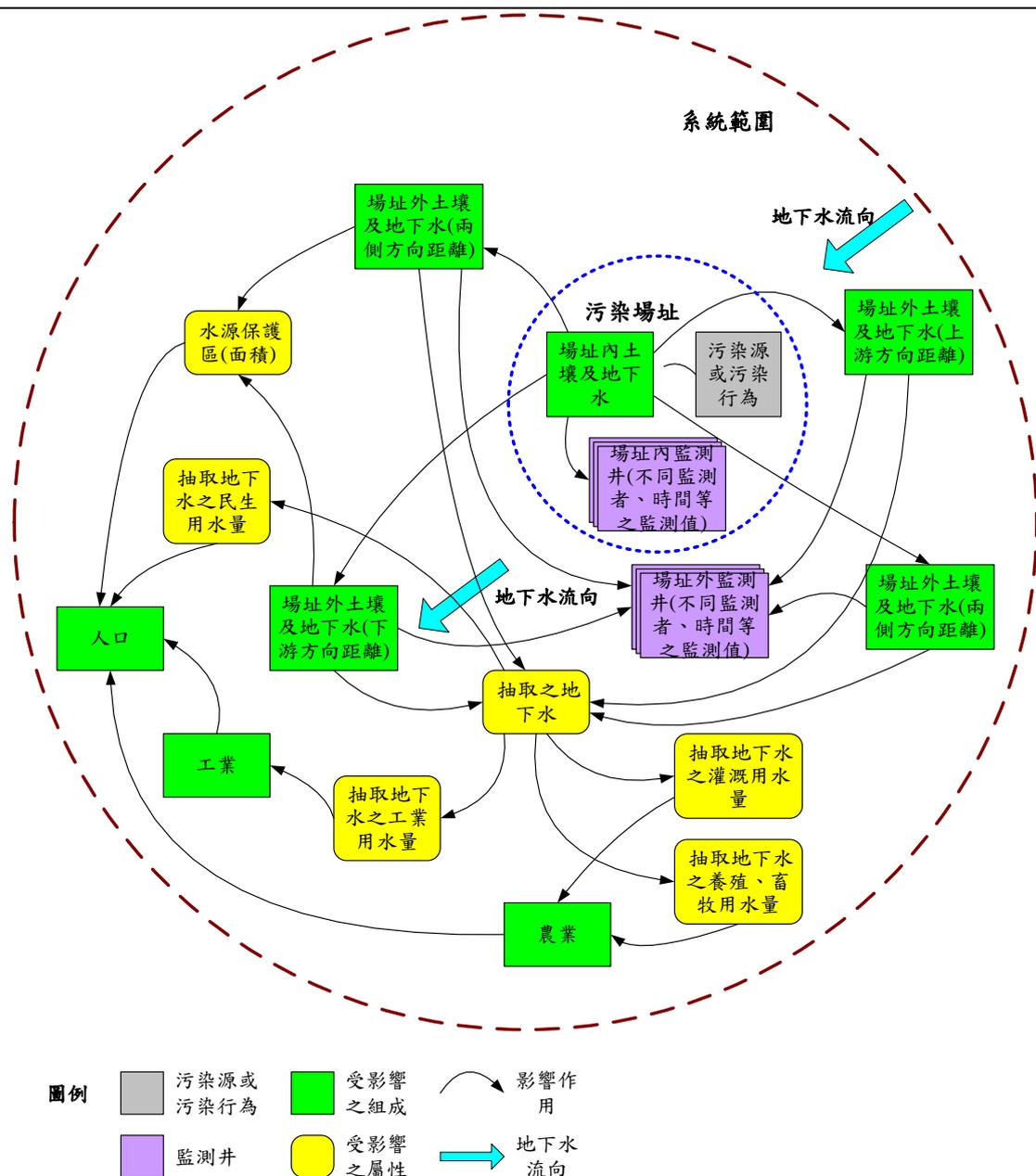


圖 1 土壤及地下水污染場址之系統架構圖

(1) 場址土壤及地下水污染物

污染場址之土壤及地下水污染物可能會擴散到污染場址以外地區，影響民眾健康。污染物對於民眾之影響主要是依據其濃度、毒性、傳輸性質而定，說明如下：

- A. 污染物濃度：污染物監測濃度越高者，代表污染物可能造成民眾健康之潛在影響越大，因此污染潛勢越高。由於污染場址可能有多個污染物項目、多個監測井、多次不同時間的監測結果、不同監測者(主管機關、業者)之監測結果等，因此必須根據這些資料而判斷。原則如下：
 - (i) 場址每一種污染物項目均定義標準化數值，污染物濃度越高者，

其標準化數值越高，代表污染潛勢越高。場址內有多種污染物時，以其中標準化數值最高者為代表。

- (ii) 場址內若有不同監測者進行監測，以環保單位所認定之監測結果為準，包括環保單位自行監測、或符合認證程序、或業者自行監測但經環保單位認可者。
- (iii) 針對不同階段，分析場址污染濃度所造成之污染潛勢，包括整治前、整治中(但監測值需經環保單位認可才評估)、整治後。
- (iv) 場址內若有多個監測井時，以濃度較高之 50% 之監測井之平均濃度代表場址之污染物濃度。
- (v) 若場址周圍有監測井(但監測值需經環保單位認可才評估)，以濃度較高之 50% 之監測井計算平均濃度，再與場址內監測值(也是濃度較高之 50% 之監測井之平均濃度)比較，取較高者代表場址之污染物濃度。

B. 污染物毒性：污染物之毒性越高，對民眾之潛在影響程度越大，因此污染潛勢越高。場址內若是有多種不同的污染物，本研究乃是將污染物依據其毒性大小分級，取較高者代表污染場址之污染物毒性。由於污染物毒性有不同的考量方式，例如急毒性、致死性、致癌性等，基於綜合性之考量，本研究對污染物之毒性分級方式，乃是參考「土壤污染管制標準(100.1.31)」及「地下水污染管制標準(100.2.10)」，管制標準濃度越低者，代表允許在環境中的污染物濃度越低，一般而言也代表此一污染物只要有微量的濃度即對人體健康產生影響，因此可界定為毒性越高。

C. 污染物傳輸性：污染物之傳輸性越高，對民眾之潛在影響程度越大，因此污染潛勢越高。場址內若是有多種不同的污染物，本研究乃是將污染物依據其傳輸性大小分級，取較高者代表污染場址之污染物傳輸性。污染物之傳輸性考慮 2 類特性，包括污染物本身，以及土壤與地下水文之特性。污染物本身如果是屬於比重大於水且與水不互溶之重質非水相液體(Dense Non-aqueous Phase Liquid, DNAPL)，則不易隨地下水流傳輸；另外，重金屬因為容易被土壤吸附，因此傳輸性亦較低。其他污染物水溶性越高者，越容易隨地下水流傳輸。而土壤與地下水文之特性對傳輸之影響，本研究則以水力傳導係數為代表，水力傳導係數越大者，其傳輸性越大。此項因子列入傳輸途徑面向中考量，

(2) 傳輸途徑

傳輸途徑分為 2 項因子考量，包括與污染場址距離(根據地下水流向而定)以及水力傳導係數。說明如下：

A. 與污染場址距離(根據地下水流向而定)：與污染場址距離越近的區域，代表污染物越有可能可以擴散到達，因此受污染場址潛在影響越

大，造成民眾健康之潛在影響越大，因此污染潛勢越高。本研究參考美國環保署之資料，以 5 公里為範圍，並參考污染場址之地下水流向而劃定，主要是地下水流向下游比較有污染潛勢，因此本研究乃是沿地下水流向下游劃設 5 公里範圍而界定；而地下水流向上游雖然比較不會受到污染，但並非絕對不會受到污染，因為仍有污染物擴散作用，所以污染潛勢較低，因此本研究乃是沿地下水流向上游劃設 2.5 公里範圍而界定；而與地下水流向之兩側方向，亦有污染物擴散作用，因此本研究乃是以 3.8 公里範圍而界定。

- B. 水力傳導係數：傳輸途徑之土壤與地下水文特性對傳輸之影響，本研究以水力傳導係數為代表，水力傳導係數愈大，污染物容易在土壤及地下水中傳輸，因此其污染潛勢越大。如果在潛勢評估區域範圍內有一組以上之經試驗或其他方式得到的水力傳導係數值，則取最大值，代表最大的傳輸可能性。

(3) 土地及地下水利用

污染場址周圍區域的土地及地下水利用，代表民眾受到土壤及地下水污染物的影響程度，土地及地下水利用越多者，其影響程度越大，則污染潛勢越大，因此本研究以下列項目進行評估：

- A. 人口：若區域內人口越多，若是發生土壤及地下水污染問題，則可能受影響的民眾越多，因此污染潛勢越大。
- B. 水源保護區：水源保護區分為兩類，包括依據「飲用水管理條例」，由環保單位所公告之「飲用水水源水質保護區」，以及依據「自來水法」，由水利單位所公告之「自來水水質水量保護區」。若屬於水源保護區者，則土壤及地下水污染物一旦進入取水水源，則對民眾的影響越大，因此污染潛勢越大。
- C. 抽取地下水之民生用水量：若抽取地下水做為民生用水，則土壤及地下水污染物一旦進入所使用地下水中，對民眾的影響相當大，用水量越大時，污染潛勢越大。
- D. 抽取地下水之灌溉用水量：若抽取地下水做為灌溉用水，則土壤及地下水污染物一旦進入所使用地下水中，對農作物的影響相當大，用水量越大時，污染潛勢越大。
- E. 抽取地下水之養殖、畜牧用水量：若抽取地下水做為養殖、畜牧用水，則土壤及地下水污染物一旦進入所使用地下水中，對家禽、家畜、漁產等的影響相當大，用水量越大時，污染潛勢越大。
- F. 抽取地下水之工業用水量：若抽取地下水做為工業用水，則土壤及地下水污染物一旦進入所使用地下水中，對工業產品的影響相當大，用水量越大時，污染潛勢越大。
- G. 生態敏感區：包括各種生態保留區、生態棲地等，若是土壤及地下水

污染物進入生態敏感區，則對生態影響越大，因此污染潛勢越大。

根據上述各項評估指標，本研究界定土壤及地下水污染場址之污染潛勢指標值(SGPPI)如下，整體架構如圖 2 所示。指標值越高者，代表土壤及地下水污染潛勢越大。

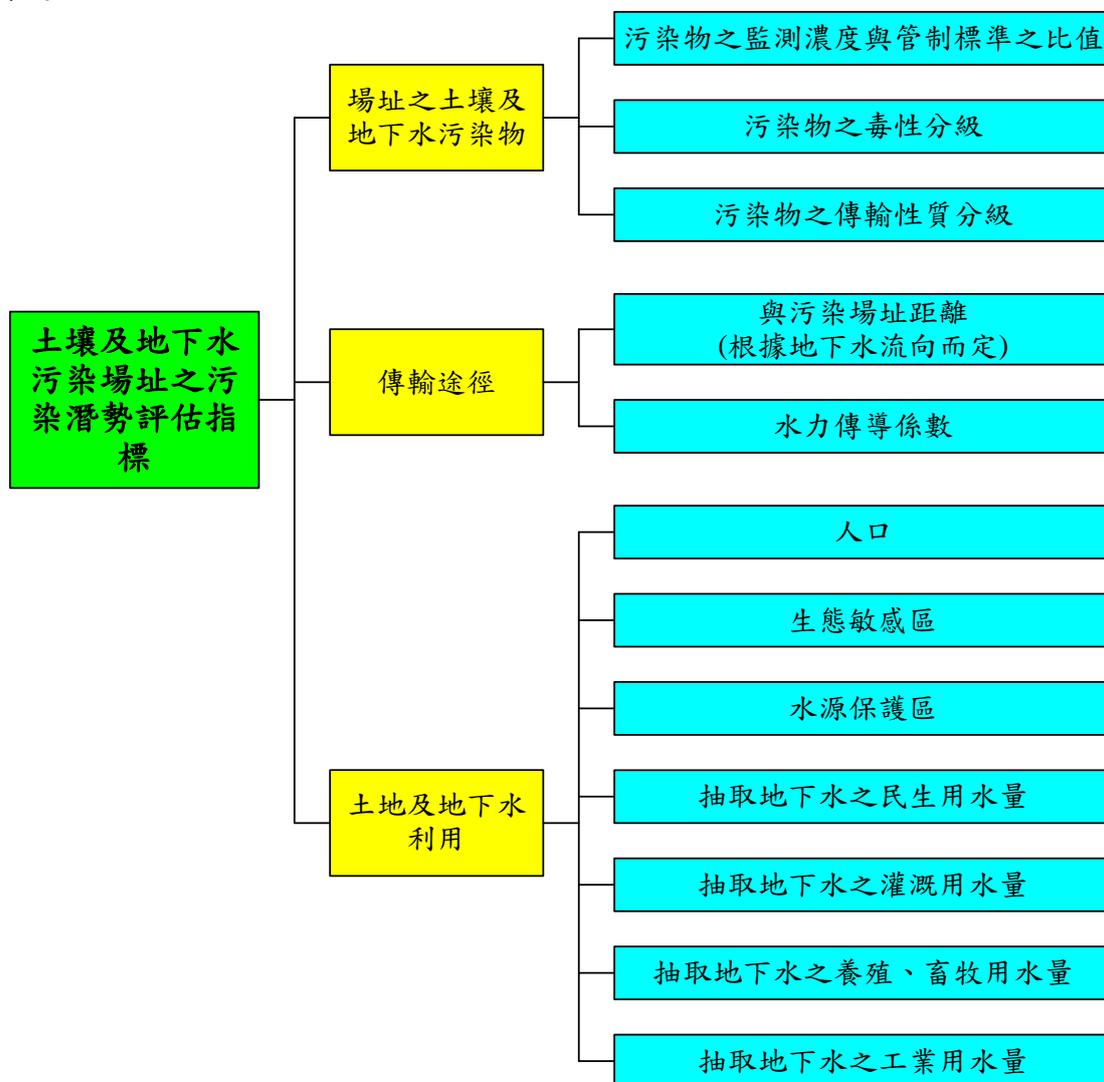


圖 2 土壤及地下水污染場址之污染潛勢評估指標架構圖

$$SGPPI=(IC_1 \times IC_2 \times IC_3) \times (ID_1 \times ID_2) \times [\sum(WU_i \times IU_i)]$$

SGPPI：土壤及地下水污染場址之污染潛勢指標，(1)大於等於 0.3 代表高污染潛勢；(2)在 0.03~0.3 之間代表中污染潛勢；(3)小於 0.03 代表低污染潛勢。由於各面向指標值為 0~1，因此相乘後污染潛勢指標為 0~1，將其三等分後，定為高、中、低三種污染潛勢

IC₁：場址土壤及地下水污染物面向之監測濃度指標值(0~1)

IC₂：場址土壤及地下水污染物面向之毒性指標值(0~1)

- IC₃：場址土壤及地下水污染物面向之傳輸性指標值(0~1)
 ID₁：傳輸途徑面向之與污染場址距離指標值(0~1)
 ID₂：傳輸途徑面向之水力傳導係數指標值(0~1)
 WU_i：土地及地下水利用面向第i個指標之權重，各指標所有權重合計為 1
 IU_i：土地及地下水利用面向第i個指標之指標值(0~1)。由於各指標所有權重合計為 1，因此土地及地下水利用面向之指標值乘上權重後合計值也是在 0~1

針對上述指標項目，本研究分別界定每個指標的評分值，由於每個指標的單位及數值範圍都不同，無法直接進行綜合計算與比較，因此本研究乃將指標值加以標準化，標準化分數在 0~1 分之間，分數越高代表污染潛勢越大。本研究已界定各項指標之定義、說明、計算方式等，由於篇幅所限，僅舉部分如表 1 所示。

表 1 指標說明表(舉例)

指標面向	(1)場址土壤及地下水污染物
指標名稱	(1-1)污染物之監測濃度與管制標準之比值
定義	<p>污染場址之土壤及地下水污染監測濃度與環保署所公告之管制標準之比值。</p> <p>由於污染場址可能有多個污染物項目、多個監測井、多次不同時間的監測結果、不同監測者(主管機關、業者)之監測結果等，因此必須根據這些資料而判斷。原則如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 場址每一種污染物項目均定義標準化數值，污染物濃度越高者，其標準化數值越高，代表污染潛勢越高。場址內有多種污染物時，以其中標準化數值最高者為代表。 ● 場址內若有不同監測者進行監測，以環保單位所認定之監測結果為準，包括環保單位自行監測、或符合認證程序、或業者自行監測但經環保單位認可者。 ● 針對不同階段，分析場址污染濃度所造成之污染潛勢，包括整治前、整治中(但監測值需經環保單位認可才評估)、整治後。 ● 場址內若有多個監測井時，以濃度較高之 50%之監測井之平均濃度代表場址之污染物濃度。 ● 若場址周圍有監測井(但監測值需經環保單位認可才評估)，以濃度較高之 50%之監測井計算平均濃度，再與場址內監測值(也是濃度較高之 50%之監測井之平均濃度)比較，取較高者代表場址之污染物濃度。
單位	%
目的	<p>污染場址之土壤及地下水污染物可能會擴散到污染場址以外地區，影響民眾健康。監測濃度越高者，代表污染物可能造成民眾健康之潛在影響越大，因此污染潛勢越高。</p>

計算方法	指標值=(污染場址之監測濃度/管制標準)*100% 標準化計算見下表
資料來源	環保署及各縣市環保局。

分級標準(%)	標準值	分級標準(%)	標準值
$X \geq 200$	1	$130 > X \geq 120$	0.4
$200 > X \geq 180$	0.9	$120 > X \geq 100$	0.3
$180 > X \geq 160$	0.8	$100 > X \geq 80$	0.2
$160 > X \geq 150$	0.7	$80 > X \geq 50$	0.1
$150 > X \geq 140$	0.6		
$140 > X \geq 130$	0.5		

註：分數越高代表污染潛勢越大

指標面向	(1)場址土壤及地下水污染物
指標名稱	(1-2)污染物毒性
定義	場址內所監測到之污染物對於人體健康之影響程度。 場址內若是有多種不同的污染物，本研究乃是將污染物依據其毒性大小分級，取較高者代表污染場址之污染物毒性。
單位	(無單位)
目的	污染場址之土壤及地下水污染物可能會擴散到污染場址以外地區，影響民眾健康。污染物之毒性越高，對民眾之潛在影響程度越大，因此污染潛勢越高。
計算方法	指標值標準化計算見下表。 由於污染物毒性有不同的考量方式，例如急毒性、致死性、致癌性等，基於綜合性之考量，本研究對污染物之毒性分級方式，乃是參考「土壤污染管制標準(100.1.31)」及「地下水污染管制標準(100.2.10)」，管制標準濃度越低者，代表允許在環境中的污染物濃度越低，一般而言也代表此一污染物只要有微量的濃度即對人體健康產生影響，因此可界定為毒性越高。
資料來源	環保署

分級標準(%)	標準值	分級標準(%)	標準值
戴奧辛、氯乙炔、可氣丹、 毒殺芬、汞	1	氯苯、氯仿、反-1,2-二氯乙 烯、鎳	0.4
苯、四氯化碳、1,2-二氯乙	0.9	乙苯、1,1-二氯乙烷	0.3

烷、四氯乙烯、三氯乙烯、 二氯甲烷、1,1,2-三氯乙 烷、大劑松、鎘			
1,1-二氯乙烯	0.8	甲苯、銅、亞硝酸鹽氮、柴 油總碳氫化合物	0.2
總酚	0.7	二甲苯、鋅、硝酸鹽氮	0.1
氯甲烷、加保扶、達馬松、 巴拉刈、巴拉松	0.6		
1,4-二氯苯、順-1,2-二氯乙 烯、2,4-地、砷、鉻、鉛、 氰化物	0.5		

註：分數越高代表污染潛勢越大

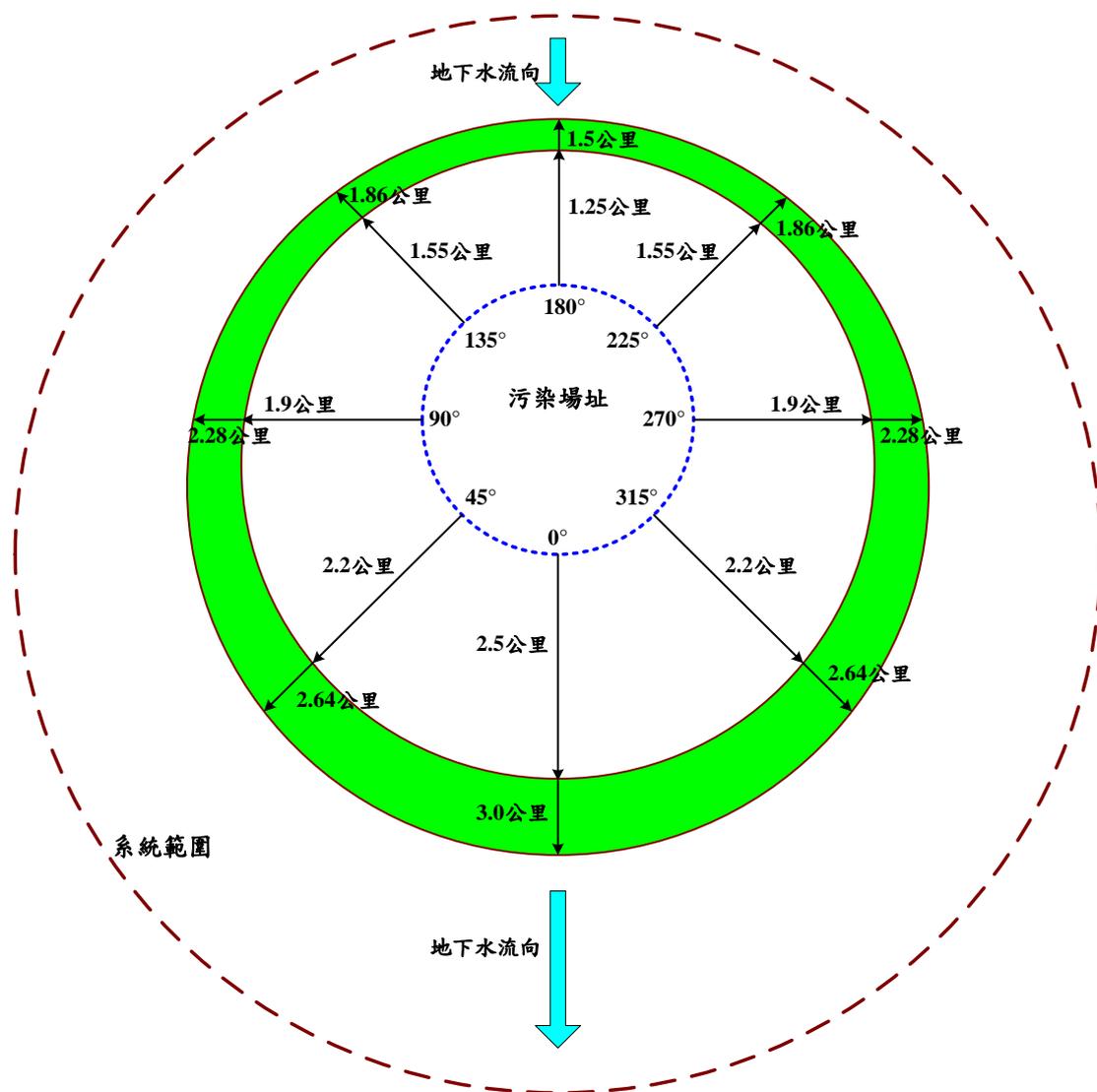


圖 3 指標值計算所涵蓋區域範圍之範例示意圖

上述指標計算時所用之面積，乃是以 GIS 之環域功能，由污染場址周圍向外延伸，將距離均分為 10 等份，每等份之間的範圍做為面積計算之基礎。

由於考慮地下水流向下游因為傳輸作用而比較有污染潛勢，而其他方向則是因為污染物擴散作用，所以污染潛勢較低，因此界定沿地下水流向下游方向到 5 公里範圍，均分為 10 等份之下，每間隔 0.5 公里之間的區域為面積計算之範圍；沿地下水流向下游方向到 2.5 公里範圍，均分為 10 等份之下，每間隔 0.25 公里之間的區域為面積計算之範圍。

以圖 3 為例，乃是針對第 6 個圈型區域，亦即地下水流向之下游方向 2.5 公里到 3.0 公里之間，上游方向 1.25 公里到 1.5 公里之間，兩側方向 1.9 公里到 2.28 公里之間的區域所劃分之範圍，做為其中一塊區域，然後計算其指標值。

三、污染場址污染潛勢評估之案例研究

本研究針對土壤及地下水污染場址污染潛勢評估進行案例探討。本研究乃假設一案例，然後依據此案例之情形評估其污染潛勢，並繪製其污染潛勢圖。進行分析之範圍為場址周圍 5 公里內，共分為 10 個圈型區域。

此一案例之情境乃是假設有一場址受到苯污染，因此需進行整治，而此一場址之情形如下：

- (1) 污染物為苯
- (2) 場址內監測所得之最高濃度為 0.08 mg/L，達管制標準(0.05 mg/L)之 160%
- (3) 此一場址之地下水流方向為北向南
- (4) 此一場址之地下水傳導係數為 1×10^{-4} 公尺/日
- (5) 此一場址周圍 5 公里內人口約為 1,500 人，分別居住於第 2、3、5、6、10 圈
- (6) 距離此一場址最近之水源保護區為 4 公里處
- (7) 此一場址周圍 5 公里內並無生態敏感區
- (8) 此一場址周圍 5 公里內每日約抽取 370 立方公尺之地下水供居住於第 2、3、5、6、10 圈之民眾使用
- (9) 此一場址內每日約抽取 1,200 立方公尺之地下水供位於第 6、8 圈之農田灌溉使用
- (10) 此一場址內每日約抽取 1,200 立方公尺之地下水供位於第 6、10 圈之養豬業使用
- (11) 此一場址內每日約抽取 800 立方公尺之地下水供位於第 2、8、10 圈之工廠使用

根據上述情境，本研究乃以前述 SGPPI 指標來評估場址周圍各圈區域的污染潛勢，然後將各項指標值及標準化值輸入 Excel 試算表，再根據 SGPPI 之計算式而計算場址周圍各圈區域的污染潛勢。評估結果顯示，在場址周圍第 2、3、6 圈為中污染潛勢，而其他圈則為低污染潛勢。

污染潛勢地圖如圖 4 所示，本研究以紅色代表高污染潛勢(本案例無高污染潛勢區)，以黃色代表中污染潛勢，以綠色代表低污染潛勢。每一類污染潛勢再分為 3 級，顏色越深者，代表在此等級中其污染潛勢較高。因此，圖中第 2 圈為中黃色，第 3、6 圈為淺黃色；第 1、5 圈為深綠色，第 4、8 圈為中綠色，第 7、9、10 為淺綠色。

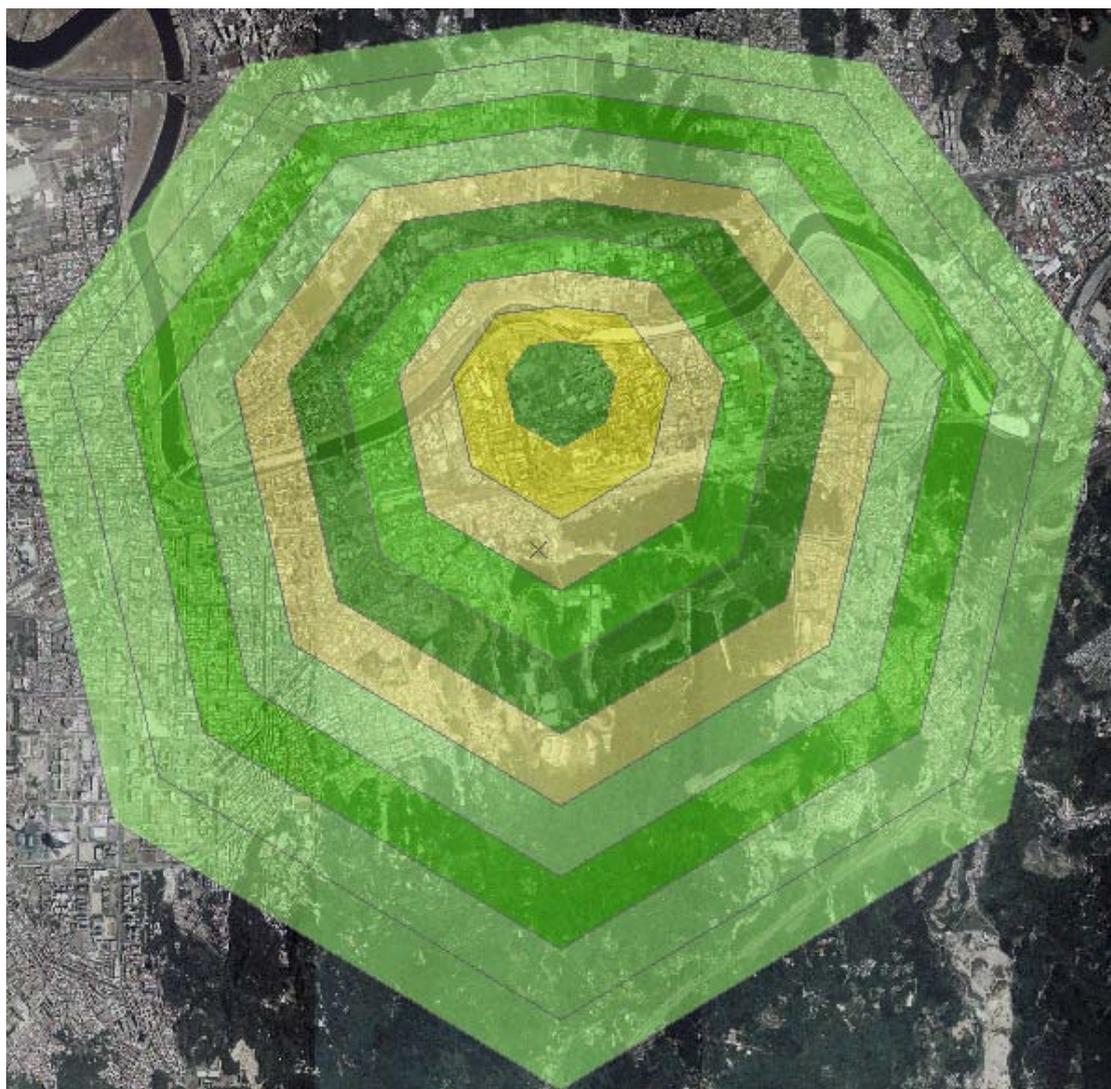


圖 4 以 SGPPPI 指標所評估得到之污染潛勢圖(假設案例)

四、結論與建議

本研究已初步發展一套土壤及地下水污染場址污染潛勢評估方法論，此一方法論乃是以系統思維的方法，參考相關學理與實務而發展。由於土壤及地下水污染問題相當複雜，因此本研究乃將污染場址及其周圍地區界定為一個系統，然後發展一套土壤及地下水污染場址污染潛勢指標，包括場址之土壤及地下水污染物、傳輸途徑、土地及地下水使用等三大面向，共計 12 項指標，並界定各指標值標準化方法及權重，而以綜合指標值而判定其潛勢高低。本研究並以一假設案例，根據上述方法論及地理資訊系統而繪製污染潛勢地圖。研究結果顯示，本研究所提出之方法論已可適當地評估土壤及地下水污染場址污染潛勢，然而在評估時所需應用的資料，目前尚有部分資料仍未完全建立於 GIS 圖層中(例如地下水使用量資料)，因此建議未來應將這些資料項目建立於環保署之 GIS 資料庫中，以利後續之污染潛勢分析。

由於土壤及地下水污染問題之複雜性，因此對於污染潛勢之評估應根據完整之系統概念而做適當的界定，本研究導入系統思維的方法以發展出適當的評估方法論，因此，本研究所提出之方法論期望可以用來有效地瞭解土壤及地下水污染場址污染潛勢，以擬定適當的土壤及地下水管理策略。

誌謝

本研究感謝環保署土壤及地下水污染整治基金管理會於經費上之協助，計畫名稱：100 年度土壤及地下水行動裝置應用暨污染模擬評析計畫(第一期)，計畫編號：EPA-100-A206。

參考文獻

1. Lakea, I. R., Lovetta, A. A. Hiscockb, K. M., Betson, M., Foley, A., Sunnenberg, G., Evers, S., Fletcher, S. 2003. Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS. *Journal of Environmental Management*, 68, 315–328.
2. Thapinta, A., Hudak, P. F. 2003. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. *Environment International*, 29, 87–93.
3. 瑞昶科技，2009，96 年度廢棄工廠土壤及地下水污染潛勢調查計畫(甲)期末報告，環保署計畫報告，台北市。
4. 工業技術研究院，2009，96 年度廢棄工廠土壤及地下水污染潛勢調查計畫(乙)期末報告，環保署計畫報告，台北市。
5. Chen, C. H., W. L. Liu, and H. G. Leu, 2006. Sustainable Water Quality Management Framework and a Strategy Planning System for a River Basin. *Environmental Management*, 38, 952-973.
6. Chen, C. H., and I. J. Chiou. 2008. Remediation of Heavy-metal-contaminated Farm Soil Using Turnover and Attenuation Method Guided with a Sustainable Management Framework. *Environmental Engineering Science*, Vol. 25, No. 1, pp. 11-32.
7. Chen, C. H., W. L. Liu, and S. L. Liaw. 2011. Integrated dynamic policy management methodology and system for Strategic Environmental Assessment of golf course installation policy in Taiwan, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 31, pp. 66-76.
8. Chen, C. H., W. L. Liu, I. J. Chiou, and S. L. Liaw. 2012. Integrated Management Methodology for Sustainability and Land Use of a River Basin. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 121-126, pp 2789-2793.
9. 中菲電腦，2011，土壤及地下水行動裝置應用暨污染模擬評析計畫(第一期)，環保署計畫期末報告(初稿)，台北市。