

模糊風險評估及其在環境評估之應用

劉豐瑞¹ 柯智元² 陳宜清² 申永順³ 洪明瑞¹

¹明志科技大學環境與安全衛生工程學系

243 台北縣泰山鄉工專路 84 號

²大葉大學環境工程學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

³馬偕醫學院全人教育中心

252 台北縣三芝鄉中正路三段 46 號

摘要

環境風險評估即為環境評估的風險化，可視為環境評估工作的核心，這些評估工作可以包含環境影響評估、環境考量面鑑別、生命週期衝擊評估等。本研究根據英國環境食品農業事務部定義之環境風險評估，進而提出一個具有七個步驟的模糊風險評估系統之理論：(1) 問題描述：可以援引生命週期衝擊評估之概念來協助釐清危害來源、受體與效應之因果關係；(2) 危害嚴重性評估：以模糊邏輯 (fuzzy logic) 來模擬之；(3) 評估危害之發生機率：以模糊機率處理之；(4) 評估受體曝露於危害效應之機率：以模糊機率處理之；(5) 評估受體因為曝露危害造成損害發生之機率：以模糊機率處理之；(6) 評估損害之風險：利用模糊之四則運算之頂點法 (vertex method) 將上述之各項評估直整合計算成一風險值；(7) 評估風險之顯著性：風險之顯著性以多準則多關聯綜合評估法 (multi-criteria and multi-connection comprehensive assessment, MMCA) 來輔助決策。最後將以二個案例探討此理架構的適用性：案例一為某塑膠工廠擴廠之環境影響評估，而案例二為一土石方回收再利用處理廠，為了取得 ISO14001 環境管理系統之認證，以該理論進行環境考量面鑑別。

關鍵詞：模糊風險評估，生命週期衝擊評估，模糊邏輯，多準則多關聯綜合評估法，環境影響評估，環境考量面鑑別

Fuzzy Risk Assessment as a Tool for Environmental Assessment

KEVIN FONG-REY LIU¹, CHIH-YUAN KO², YI-CHING CHEN², YUNG-SHUEN SHEN³ and MING-JUI HUANG¹

¹Department of Safety, Health and Environmental Engineering, Ming Chi University of Technology

No.84, Gongzuan Rd., Taishan Dist., New Taipei City 24301, Taiwan

²Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

168 University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

³General Education Center, Mackay Medical College

No.46, Sec. 3, Zhongzheng Rd., Sanzhi Dist., New Taipei City 252, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The methods developed for evaluating risk provide a solid basis for environmental assessments, including environmental impact assessment, identification of environmental features, life cycle impact assessment and so on. In accordance with the steps of risk analysis developed by the Department of the Environment, Food and Rural Affairs of UK, this study proposes a seven-step fuzzy risk analysis method: (1) Hazard identification including sources of risk, receptors, effects and damage, with a life cycle impact assessment to help identify causal relationships; (2) Estimation of the severity of hazards, in which fuzzy logic is utilized to mimic the reasoning of assessors; (3) Estimation of the probability of hazards, in which fuzzy probability is used in situations for which no solid statistics are available; (4) Estimation of the probability of receptors being exposed to hazards. Considering the influence and the paths simultaneously exporting to receptors, probability is fuzzified in situations for which no solid statistics are available; (5) Estimation of the probability of harm resulting from exposure to hazards, in which probability is fuzzified in situations for which no solid statistics are available; (6) Estimation of the risk of harm. Vertex method was employed to aggregate the severity and fuzzy probability as a fuzzy risk score; (7) Evaluating the significance of risk. The significance of risk is assessed through multi-criteria and multi-connection comprehensive assessment (MMCA). In this paper, two case studies were used to demonstrate the practicality of this approach. The first case was an environmental impact assessment of a plastic manufacturing plant and the other was the identification of the environmental considerations associated with a recycling plant preparing for ISO14001 certification.

Key Words: fuzzy risk analysis, life cycle impact assessment, fuzzy logic, multi-criteria and multi-connection comprehensive assessment, environmental impact assessment, environmental aspect identification

一、前言

環境風險 (environmental risk), 指具有產生對環境不良影響之危害物質、行為及事件, 可能透過環境中的水、空氣、食物、能量及意外事故等, 對自然環境、人類健康、生態或能資源產生負面影響效應之程度與可能性者稱之。環境風險之廣義定義如英國環境食品農業事務部 (Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK, DEFRA) 的定義 [4], 包括氣候變遷、空氣汙染、土壤汙染、水汙染、洪災、水資源衝擊、生態損傷、景觀、財產、人類健康、生活品質等; 狹義定義如美國環保署 (US. Environmental protection Agency) 與歐盟環保署 (European Environment Agency) 的定義, 包括健康風險 (health risk) 與生態風險 (ecological risk)。當有潛在環境風險事件時, 可進行環境風險評估與後續之管理。而環境風險評估即為環境評估的風險化, 可視為環境評估工作的核心, 這些評估工作可以包含環境影響評估 (environmental impact assessment)、環境考量面鑑別 (environmental aspect)、生命週期衝擊評估等 (life cycle

impact assessment)。

環境風險評估時, 危害物質或危害因子之濃度或排放量的規模、衝擊影響範圍、發生或影響時間長短、危害發生的重要性或嚴重程度 (顯著性議題) 等等, 乃為概估的值, 其具有不精確的模糊特性。模糊方法於環境風險評估之應用, 由文獻整理出三大類: 模糊層級分析法 (fuzzy analytic hierarchy process, FAHP)、模糊推理 (fuzzy reasoning) 與模糊機率法 (fuzzy probability method)。使用 FAHP 或類似 FAHP 於環境風險評估之文獻有 Sadiq 與 Husain [18] 利用模糊綜合評估法 (fuzzy synthetic evaluation) 評估海上石油鑽井之廢棄物, 對於海洋生態系統之風險。Sadiq 與 Rodriguez [17] 亦是使用模糊綜合評估法, 評估氯化消毒副產物如三鹵甲烷和鹵乙酸的風險。Tsfamariam 與 Sadiq [24] 以 FAHP 選擇海上石油和天然氣之鑽井液。Sadiq 等人 [19] 利用 FAHP 評估石油鑽井廢棄物對於海洋生態系統之風險。至於模糊推理於環境風險評估之文獻如 Shakhawat 等人 [22] 運用模糊 if-then 評估人類食用受放射物質 (鏷) 污染的魚

的健康風險。Sadiq 等人 [20] 使用 fuzzy C-means (FCM) 集合算法和模糊法則為基礎的模型，評估氯化消毒副產物如三鹵甲烷和鹵乙酸的健康風險。Li 等人 [13] 提出模糊隨機風險評估方法，綜合模糊邏輯與模糊隨機理論，應用於加拿大西部地下水受到石油污染之風險評與管理。至於模糊機率於環境風險評估之文獻如 Chen 等人 [1] 提出整合式模糊隨機風險評估法，應用於加拿大西部地下水受到石油污染之風險評與管理。Guyonnet 等人 [7] 在污染物風險參數不確定性，考慮應用機率論的方法，另外由於數據缺乏，採用模糊來表示模型參數的不確定性。提出了一種方法結合蒙地卡羅與模糊演算，應用於法國北部鎘土壤污染案件。Li 等人 [12] 綜合機率方法與模糊集理論，評估石油在地表下污染之風險。Kentel 與 Aral [10] 提出了以模糊集理論與機率論處理健康風險的不確定因素，爾後他們更進而提出二維模糊蒙地卡羅分析法來處理相同問題 [11]。Karimi 與 Hüllermeier [9] 採用模糊集理論補充機率論，評估自然災害的風險。

本研究將根據 DEFRA [4] 提出的風險評估架構進行改良，並考慮模糊特性，提出一個以生命週期衝擊評估為基礎，並可以容納評估時的模糊性的風險評估架構。本研究目的如下：(1) 提出以生命週期衝擊評估為基礎的顯著性評估因果關係；(2) 根據第 1 點的關係建立模糊風險評估架構；(3) 以多準則多關聯綜合評估法 (multi-criteria and multi-connection comprehensive assessment, MMCA) 進行顯著性評估；(4) 根據建立的模糊風險評估架構進行衝擊評估，如案例一；(5) 根據建立的模糊風險評估架構進行環境

考量面鑑別，如案例二。

二、研究方法

受到英國環境食品農業事務部風險評估系統 [4] 的啟發，本研究嘗試由根本理論去探討環境風險評估應有的架構，提出以下問題：危害為何？受體為何？路徑為何？受體的損害為何？損害的意義為何？根據這些問題，並參考 IES [8] 提出的生命週期評估架構，如圖 1，並提出一個具有七個步驟的風險評估系統：

1. 問題描述 (problem formulation)：包含鑑別危害來源、受體與危害對於受體造成之效應與損害，在此可以援引生命週期衝擊評估之概念來協助釐清危害來源、受體與效應之因果關係。
2. 危害嚴重性評估 (estimation of the severity of hazards) (S_1)：評估者根據主觀經驗來進行評估，因此以模糊邏輯 (fuzzy logic) [26] 來模擬之。
3. 評估危害之發生機率 (estimation of the probability of hazards) (\tilde{P}_1)：發生之機率值如果無法取得詳實的統計資料時，以模糊機率 (fuzzy probability) 處理之。
4. 評估受體曝露於危害效應之機率 (estimation of the probability of the receptors being exposed to the hazard) (\tilde{P}_2)：同時考慮危害造成效應與受體受到效應的機率，該機率值如果無法取得詳實的統計資料時，以模糊機率處理之。

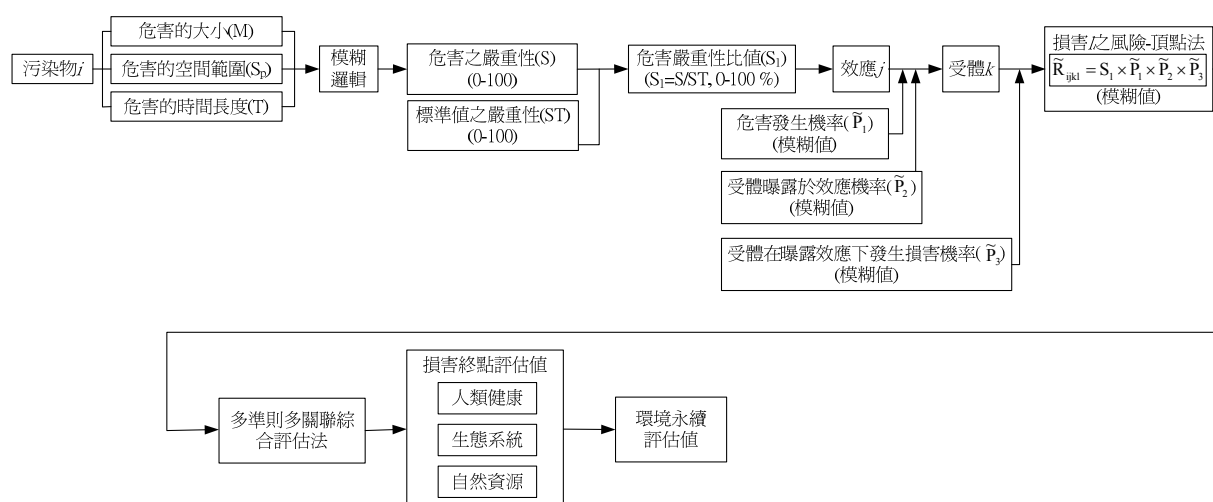


圖 1. 研究架構圖

5. 評估從曝露危害到損害發生之機率 (estimation of the probability of harm resulting from exposure to the hazard)
(\tilde{P}_3): 發生之機率值如果無法取得詳實的統計資料時, 以模糊機率處理之。
6. 評估損害之風險 (estimation of the risk of the harm)
(\tilde{R}): 利用模糊之四則運算之頂點法 (vertex method) [6] 將上述之各項評估直整合計算成一風險值。
7. 評估風險之顯著性 (evaluating the significance of a risk): 風險之顯著性以多準則多關聯綜合評估法 (MMCA) [16] 來輔助決策。

(一) 問題描述

包含鑑別危害來源、受體與危害對於受體造成之效應與損害, 在此可以援引生命週期衝擊評估之概念來協助釐清危害來源、受體與效應之因果關係, 如圖 2, 由於此步驟需明確的列出組織問題, 不然可能造成風險評估失效, 其詳細步驟如下:

1. 危害鑑別 (identification of hazards): 找出可能危害, 如圖 2 的 A。
2. 影響路徑鑑別 (identification of pathway): 危害到受體的過程, 如圖 2 的 B。

3. 受體鑑別 (identification of receptors): 找出因為危害造成負面環境影響對應之個體, 如圖 2 的 C。
4. 損害鑑定 (identification of harms): 找出危害對受體產生的負面影響, 如圖 2 的 D。

(二) 危害嚴重性評估 (S_1)

參閱圖 2, A 部份的危害嚴重性評估主要考量層面為:

- (1) 危害的大小 (magnitude of hazard) (M), (2) 危害的空間範圍 (spatial scale of the hazard) (Sp), (3) 危害的時間長度 (temporal scale of the hazard) (T), 評估者根據主觀經驗來進行評估, 因此以模糊邏輯來模擬之。

根據英國環境食品農業事務部風險評估系統之架構 [4] 由危害的大小 (M)、危害的空間範圍 (Sp)、危害的時間長度 (T) 之衝擊值, 以模糊推理來推論出危害之嚴重性 (S)。例如, 表 1 所示即為危害嚴重性評估 (S) 法則, 以 NO_x 危害物為例分別敘述危害嚴重性評估因子之選取, 如下所述: 危害的大小 (M) 以危害物濃度為單位 (ppm、mg/L、mg/m³ 等), 查出工廠內各排放之危害物濃度與其他因子進行評估。危害的空間範圍 (Sp) 依不同危害物使用擴散模式或方程式, 找出合適之範圍進行評估, 以面積為單位。危害的時間長度 (T) 指的是危害物排放於一年中占的時間以年

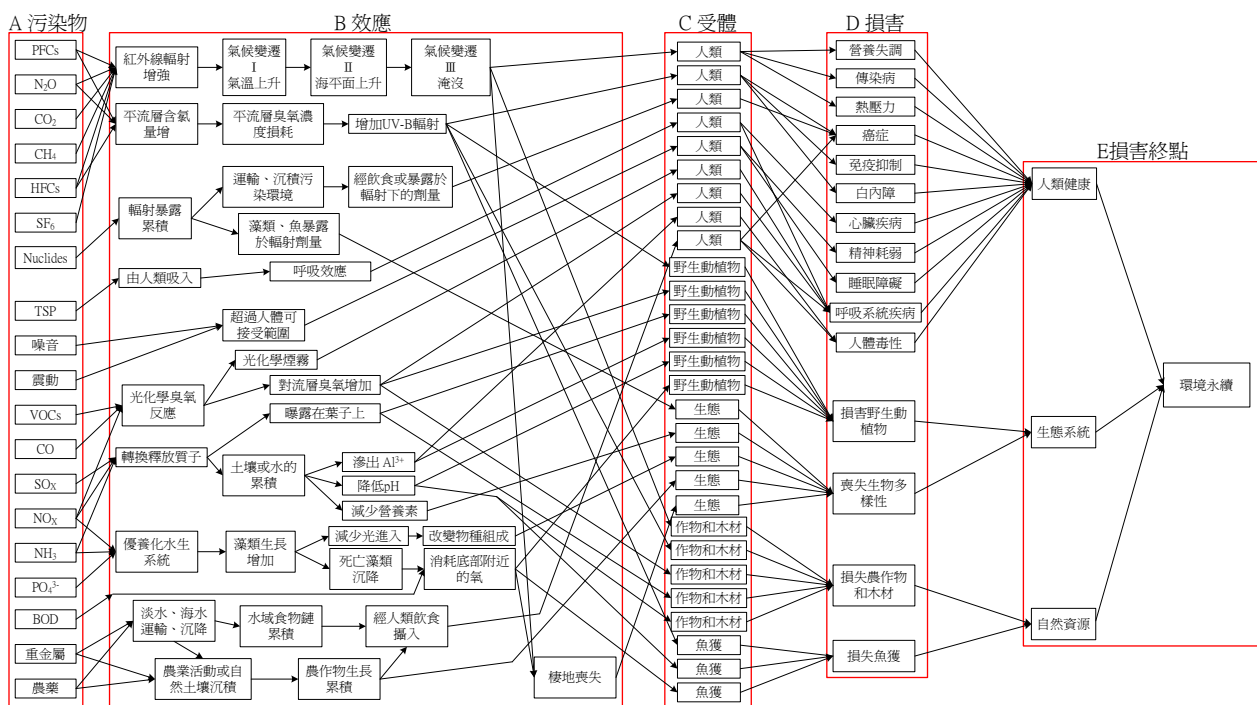


圖 2. 環境危害的風險因果關係 (修改自 IES [9])

表 1. 危害嚴重性評估 (S) 法則

法則 編號	IF(AND)			THEN
	危害的 大小	危害的 空間範圍	危害的 時間長度	危害 嚴重性
1	低	低	低	非常低
2	低	低	中	非常低
3	低	低	高	稍低
4	低	中	低	稍低
5	低	中	中	稍低
6	低	中	高	稍低
7	低	高	低	稍低
8	低	高	中	稍低
9	低	高	高	低
10	中	低	低	稍低
11	中	低	中	低
12	中	低	高	中
13	中	中	低	低
14	中	中	中	中
15	中	中	高	中
16	中	高	低	中
17	中	高	中	中
18	中	高	高	稍高
19	高	低	低	中
20	高	低	中	稍高
21	高	低	高	稍高
22	高	中	低	中
23	高	中	中	稍高
24	高	中	高	高
25	高	高	低	稍高
26	高	高	中	高
27	高	高	高	非常高

為單位進行評估。危害嚴重性因子法則表之分類分別為高、中、低，定義如圖 3(a)-(c) 所示，而危害之嚴重性的範圍為

0-100，程度分為非常高、稍高、高、中、低、稍低、非常低，隸屬度函數之定義如圖 3(d) 所示，依據衝擊類別代表性危害物有 19 個，在此建立了 19 個推理系統，本研究使用軟體 Matlab 2009a。

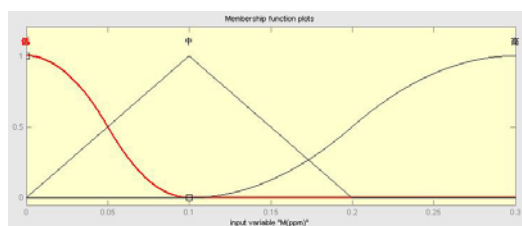
以 NO_x 為例，其危害的大小 (M): 48.09 ppm、危害的空間範圍 (Sp): 12.56 km^2 、危害的時間長度 (T): 1 year，經由圖 4 之模糊推理可推論出 NO_x 危害之嚴重性為 27.2，此數值無法與其他危害物危害之嚴重性比較出嚴重程度，故本研究在此除上標準值之嚴重性 70.8，其它如表 2 所示，危害嚴重性比值為 $S_1=27.2/70.8=38.42\%$ 。

(三) 評估危害之發生機率 (\tilde{P}_1)

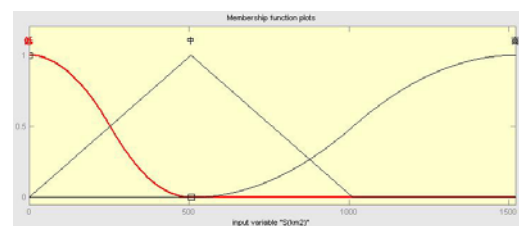
本研究依 ISO 14001 環境考量面鑑別考量工廠常態性的活動，所以危害發生的機率 (\tilde{P}_1) 是固定發生的，因此，此步驟在環境考量面鑑別之常態性可將 \tilde{P}_1 視為 1；若是考慮異常、緊急時，可將發生的頻率 (發生時間/年) 視為 \tilde{P}_1 。

(四) 評估受體曝露於危害效應之機率 (\tilde{P}_2)

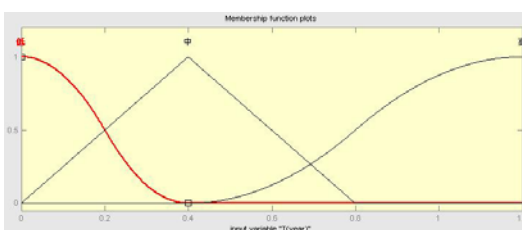
如圖 2 之 B 部份，危害經過路徑後可能致使受體曝露於其中，其中經過之路徑需考量危害造成的影響可能影響途徑、區域的條件等，故無法得知曝露之機率，需由主觀評定，但由專家評估具有模糊性，其模糊機率值 \tilde{P}_2 。工廠排放 NO_x 可能因為路過、居民、風向及風量的因素，影響受體接觸到 NO_x ，在此假設受體曝露於危害效應之機率為 0.5 (大約 0.5)。



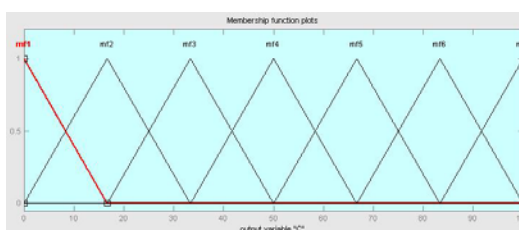
(a) 危害的大小



(b) 危害的空間範圍



(c) 危害的時間長度



(d) 危害嚴重性評估值

圖 3. NO_x 危害嚴重性評估因子之隸屬度函數

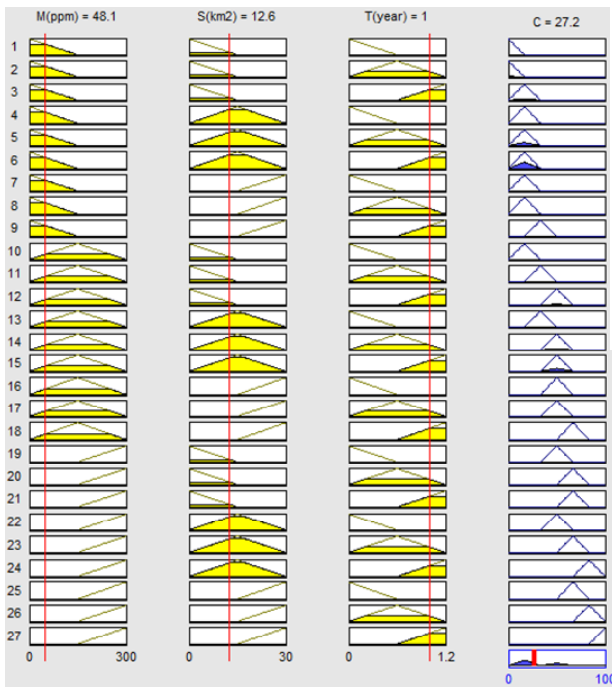


圖 4. NO_x 危害嚴重性 (S) 之推理過程

表 2. 標準值之危害嚴重性 (ST)

危害物	M	Sp	T(year)	標準值之 ST
SO _x	燃燒以外製程 650 ppm	12.56 km ²	1	70.8
	燃氣 100 ppm	12.56 km ²	1	70.8
	燃液 300 ppm	12.56 km ²	1	70.8
	燃固 300 ppm	12.56 km ²	1	70.8
NO _x	燃燒以外製程 250 ppm	12.56 km ²	1	70.8
	燃氣 150 ppm	12.56 km ²	1	70.8
	燃液 250 ppm	12.56 km ²	1	70.8
	燃固 350 ppm	12.56 km ²	1	70.8
VOCs	100 ppm	12.56 km ²	1	70.8
CO	2000 ppm	12.56 km ²	1	70.8
TSP	500 mg/m ³	12.56 km ²	1	70.8
噪音	70 dB(A)	25434 m ²	1	70.8
BOD	30 mg/L	3.14 km ²	1	67.7
PO ₄	4 mg/L	3.14 km ²	1	68.7
Nuclides	617 Bq/m ³	2234 m ²	1	70.2
震動	65 dB	20650 m ²	1	69.6
NH ₃	1 ppm	12.56 km ²	1	67.7
重金屬	1 ppm	3.14 km ²	1	69.2
農藥	0.6 mg/kg	282600 m ²	1	60.3
PFCs	此六種危害物為溫室氣體，國內溫室氣體減量法尚未通過，本研究利用各工廠之溫室氣體配額與全國溫室氣體總值相比，所得到之比值進行後續之評估。			
N ₂ O				
CO ₂				
CH ₄				
HFCs				
SF ₆				

(五) 評估從曝露危害到損害發生之機率 (\tilde{P}_3)

圖 2 中 C 到 D 之部份，受體曝露於危害，根據受體不同之物性，可能產生或不產生損害。這個部份涉及流行病學、生態學、社會形態，無法得知損害發生之機率，需由主觀評定，但由專家評估具有模糊性，其模糊機率值 \tilde{P}_3 。受體接觸 NO_x 後所造成之損害，在此假設曝露危害到損害發生機率為 \tilde{P}_3 (大約 0.3)。

(六) 評估損害之風險 (estimation of the risk of the harm) (\tilde{R})

損害之風險，由於前述之機率具有模糊性，因此傳遞後該風險值亦有模糊性，為一模糊風險 \tilde{R} ，由危害嚴重性比值 S_1 、危害之發生機率 \tilde{P}_1 、受體曝露於危害效應之機率 \tilde{P}_2 、曝露危害到損害發生之機率 \tilde{P}_3 組成，本研究採用模糊數的四則運算法-頂點法 (vertex method) [5]，將 S_1 、 \tilde{P}_1 、 \tilde{P}_2 、 \tilde{P}_3 直接相乘，如 (1) 式：

$$\tilde{R} = S_1 \times \tilde{P}_1 \times \tilde{P}_2 \times \tilde{P}_3 \tag{1}$$

取隸屬度 $\alpha=0、0.5、1$ 為例，危害之發生機率 (\tilde{P}_1)、受體曝露於危害之機率 (\tilde{P}_2)、曝露危害到損害發生之機率 (\tilde{P}_3) 分別為：1、0.5、0.3，各機率各隸屬度之區間下述說明，如圖 5。

危害之發生機率： $\tilde{P}_1=1$

受體曝露於危害之機率： $\tilde{P}_2=0.5$

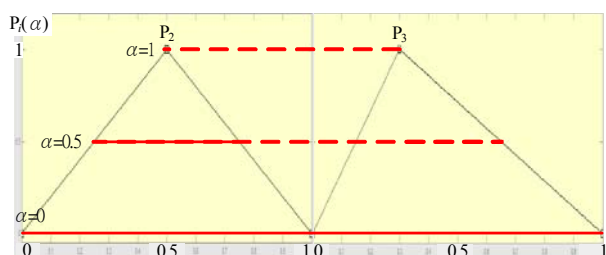
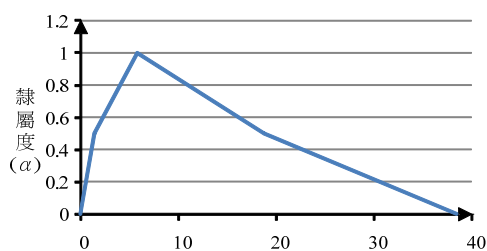
$$\tilde{P}_2(0)=[0,1]; \tilde{P}_2(0.5)=[0.25,0.75]; \tilde{P}_2(1)=[0.5,0.5]$$

曝露危害到損害發生之機率： $\tilde{P}_3=0.3$

$$\tilde{P}_3(0)=[0,1]; \tilde{P}_3(0.5)=[0.15,0.65]; \tilde{P}_3(1)=[0.3,0.3]$$

由模糊推理得知 NO_x 危害嚴重性比值： $S_1=38.42$ ，經區間數相乘分別得到 $\tilde{R}(0)=[0,38.42]$ ； $\tilde{R}(0.5)=[1.44,18.73]$ ； $\tilde{R}(1)=[5.76,5.76]$ ， \tilde{R} 之結果如圖 6。

由於 $\tilde{R} = S_1 \times \tilde{P}_1 \times \tilde{P}_2 \times \tilde{P}_3$ ，乃是一個模糊數的四則運算問題。對於隸屬度為 1 個部分相乘時，其算法即是一般乘法，唯一不同是模糊性會透過模糊數的乘法傳遞，所以 \tilde{R} 的模糊性更大 (更寬扁)。

圖 5. 機率模糊數 α 切割區間圖 6. NO_x 損害之風險模糊值

(七) 評估風險之顯著性

風險之顯著性主要是根據我們所關心的議題而異，本研究選用生命週期衝擊評估常用的終點，提出：人類健康、生態系統、自然資源，如圖 2 之 E 部份。由損害（圖 2 的 D 部份）進行評估人類健康、生態系統、自然資源至環境永續（圖 2 的 E 部份），牽涉到決策理論，因此可用的評估方法分析層級程序法 AHP [14]、分析網路程序法 ANP [15] 等，本研究將採用多準則多關聯綜合評估法 (MMCA) [16]。多準則多關聯綜合評估法之決策架構，如圖 7 所示。決策之總目標 (G) 位於層級的最上層，往下展開至多個層級，而每一層級 i 含有多個準則 (O_k^i)。每一層級內每一準則皆與上一層級之每個準則相關聯，兩個層級間形成多關聯式的網路結構，而非單關聯的階層結構。層級的多寡，視決策系統的複雜性而定。某層級 i 中的某個準則 O_k^i ，對於上一層級 $i-1$ 中某個準則 O_j^{i-1} 的關聯，以權重 w_{jk}^i 表示。假設其決策方案在最下層級 i 之準則 O_k^i ，對其 n 個模糊類別的分類表示為一向量，則可將層級 i 所有準則之模糊分類 R_k^i 配合權重向上一層級傳遞，進而計算得 R_j^{i-1} 。依此方法繼續向上傳遞，最後可算出所有準則 O_k^i 與總目標 G 的模糊分類。而這個方法基本上是模糊綜合評估法 (fuzzy comprehensive

assessment, FCA) [6, 23, 25] 的擴展。

1. 建立模糊類別

本研究我們將危害損害之風險模糊值視為一語意變數，其類別為模糊值，分別為“差”、“稍差”、“中”、“稍高”與“高”五個等級類別，如圖 8。

2. 模糊分類

所謂模糊分類 (fuzzy classification)，是指一個物件可以部份隸屬於某個類別 (class)。假設一個物件，經過模糊分類後隸屬於 n 個類別的程度，可表示成一向量 R ，如 (2) 式

$$R=[r_1 \quad r_2 \quad \dots \quad r_n] \quad (2)$$

其中， r_j 代表此物件隸屬第 j 個類別的程度。

以上述 NO_x 損害之風險模糊值為例進行模糊分類，由圖 7 所示，與各模糊類別產生交集之最大值隸屬度，可取得一向量式，如 (3) 式

$$R=[0.83 \quad 0.62 \quad 0.21 \quad 0.00 \quad 0.00] \quad (3)$$

向量中的數值分別表示 NO_x 損害之風險模糊值分別隸屬於“差”、“稍差”、“中”、“稍高”、“高”的程度。

3. 建立決策架構

首先必須對探討的決策界定，找出影響決策的主要、次要準則，並建構出整個決策架構。層級 i 的所有準則所組成的集合，以 U^i 表示，如 (4) 式

$$U^i = \{O_1^i, O_2^i, \dots, O_k^i, \dots, O_q^i\} \quad (4)$$

其中， O_k^i 表示第 i 層級的第 k 個準則， q 為這個層級所有準則的數目。

4. 建立權重集

在層級 i 的所有準則，對於上一層級 $i-1$ 的準則 O_j^{i-1} ，皆有相對應之權重，其所組成之集合，稱為權重集，常以 W_j^i 表示。如 (5) 式

$$W_j^i = [w_{j1}^i \quad w_{j2}^i, \dots, w_{jq}^i] \quad (5)$$

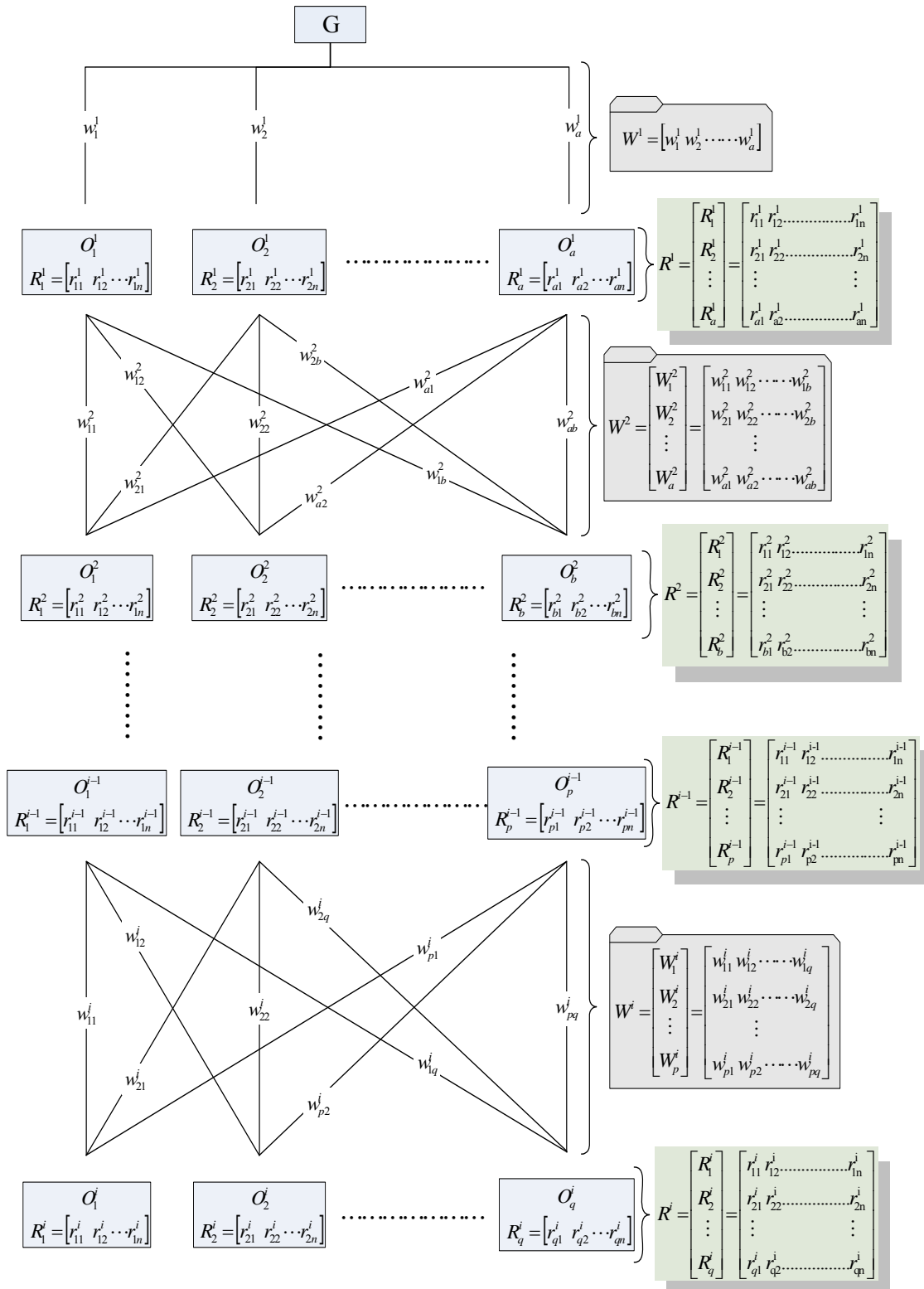


圖 7. 多準則多關聯綜合評估法之決策架構

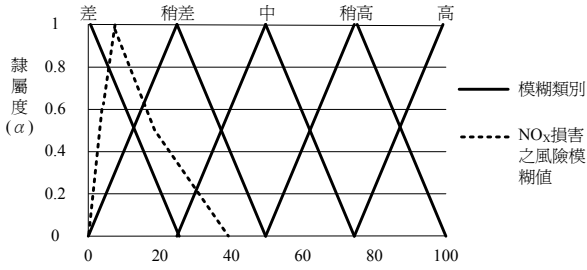


圖 8. 危害之各模糊等級與“NO_x”之模糊等級

其中， w_{jk}^i 表示 O_k^i 對於 O_j^{i-1} 之權重，其權重值總和為 1，如 (6) 式

$$\sum_{k=1}^q w_{jk}^i = 1 \quad (6)$$

同理可求得其他的權重集，將其整合建立層級 i 的權重矩陣 W^i ，如 (7) 式

$$W^i = \begin{bmatrix} W_1^i \\ W_2^i \\ \vdots \\ W_p^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11}^i & w_{12}^i & \dots & w_{1q}^i \\ w_{21}^i & w_{22}^i & \dots & w_{2q}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{p1}^i & w_{p2}^i & \dots & w_{pq}^i \end{bmatrix}_{p \times q} \quad (7)$$

但是，由總目標 G 發展而下的第 1 個層級，其權重值表示為

$$W^1 = [w_1^1, w_2^1, \dots, w_a^1] \quad (8)$$

其中， w_j^1 代表第 1 層級準則 O_j^1 對總目標 G 的權重， a 為這各層級中所有準則的數目。

5. 綜合決策

對最下層級 i 的準則 O_k^i 進行評估，其得分已轉換為模糊分類之向量 R_k^i ，亦稱為評估集，可表示成 (9) 式

$$R_k^i = [r_{k1}^i, r_{k2}^i, \dots, r_{km}^i, \dots, r_{kn}^i] \quad (9)$$

其中， r_{km}^i 代表教學項目 k 對模糊類別 m 的隸屬程度。

同理可求此層級其他的評估集，將其整合建立層級 i 的評估矩陣 R^i ，如 (10) 式

$$R^i = \begin{bmatrix} R_1^i \\ R_2^i \\ \vdots \\ R_q^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}^i & r_{12}^i & \dots & r_{1n}^i \\ r_{21}^i & r_{22}^i & \dots & r_{2n}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{q1}^i & r_{q2}^i & \dots & r_{qn}^i \end{bmatrix}_{q \times n} \quad (10)$$

綜合考慮層級 i 所有準則的評估值與權重，可計算上一層級 $i-1$ 的評估集，如 (11) 式

$$R^{i-1} = W^i \cdot R^i \quad (11)$$

即

$$R^{i-1} = \begin{bmatrix} R_1^{i-1} \\ R_2^{i-1} \\ \vdots \\ R_p^{i-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}^{i-1} & r_{12}^{i-1} & \dots & r_{1n}^{i-1} \\ r_{21}^{i-1} & r_{22}^{i-1} & \dots & r_{2n}^{i-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1}^{i-1} & r_{p2}^{i-1} & \dots & r_{pn}^{i-1} \end{bmatrix}_{p \times n}$$

$$= \begin{bmatrix} w_{11}^i & w_{12}^i & \dots & w_{1q}^i \\ w_{21}^i & w_{22}^i & \dots & w_{2q}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{p1}^i & w_{p2}^i & \dots & w_{pq}^i \end{bmatrix}_{p \times q} \begin{bmatrix} r_{11}^i & r_{12}^i & \dots & r_{1n}^i \\ r_{21}^i & r_{22}^i & \dots & r_{2n}^i \\ r_{31}^i & r_{32}^i & \dots & r_{3n}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{q1}^i & r_{q2}^i & \dots & r_{qn}^i \end{bmatrix}_{q \times n} \quad (12)$$

其中， r_{jm}^{i-1} 的算法，如 (13) 式

$$r_{jm}^{i-1} = \sum_{k=1}^q (w_{jk}^i \times r_{km}^i) \quad (13)$$

式 (13) 中， R^{i-1} 的第 j 行 R_j^{i-1} ，表示如 (14) 式

$$R_j^{i-1} = [r_{j1}^{i-1}, r_{j2}^{i-1}, \dots, r_{jn}^{i-1}] \quad (14)$$

代表準則 O_j^{i-1} 的得分之模糊分類的結果。

重複 (14) 式，可計算得整個決策架構的所有準則 O_k^i 之評估集 R_k^i 。

6. 距離法

經由模糊運算之後，雖然得到評估值，但是為一個模糊集合，如何量化成一個分數？本文參考 Cheng [2] 與 Chu 與 Tsao [3] 進而提出一距離法，如圖 9 所示。距離法的概念近似於生命週期衝擊評估裡的 distance-to-target [21] 的概念，而本研究的 target 位於圖 9 的座標原點，亦即沒有任何風

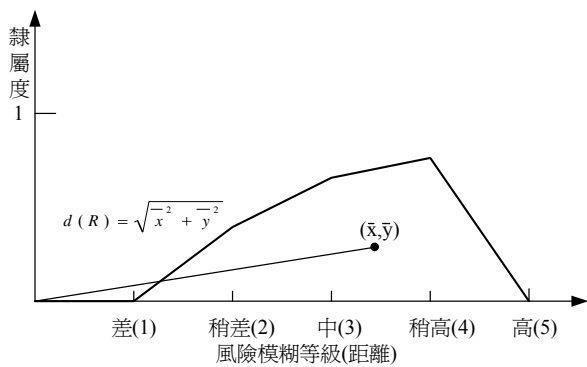


圖 9. 模糊集合之距離法

險。圖 9 中距離，代表距離原點（零風險）之距離，差、稍差、中、稍高、高分別距離原點之距離為 1、2、3、4、5；因此，最差的風險距離為 5。

三、案例一：某塑膠工廠之環境影響評估

某塑膠工廠位於雲林縣之工業區內，以製造塑膠原料（石化）為主，工廠占地 178.90 公頃，年總產量約 391.13 萬噸/年。

（一）問題描述

由於生產製造的過程中用到許多的原物料，在生產過程中會產生對環境之衝擊，在此階段先鑑別出對環境的危害

物，如表 3 所示。

（二）危害嚴重性（ S_1 ）評估

本研究進行危害嚴重性評估（S）考量的層面為：（1）危害的大小（M）；（2）危害的空間範圍（Sp）；（3）危害的時間長度（T），三項進行評估。危害的大小以相同之危害物質經單位換算公式計算為單一數值進行後續之評估。以 NO_x 為例已得知工廠各排放管道廢氣乾基排放量校正值及排放量進行加總分別為 $17,076.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 及 101.18 kg/hr ， NO_x 之分子量為 46 是以 NO_2 為計量依據，經單位換算公式可以推算出全工廠之危害物濃度為 48.09 ppm 。空氣危害的空間範圍使用高斯擴散公式計算出危害物影響範圍，本研究以擴散三分之一最高危害物質濃度處為範圍進行評估。依問題描述所鑑別出之環境危害進行危害嚴重性評估分別估算出危害的大小、危害的空間範圍、危害的時間長度，表 3 所示，與標準（ST）相比得知危害嚴重性比值進行後續之評估。

（三）評估危害之發生機率（ \tilde{P}_1 ）

本研究僅針對工廠常態運作，只要工廠有運作就會排放危害物質，故危害之發生機率 \tilde{P}_1 可視為 1。

（四）評估受體曝露於危害之機率（ \tilde{P}_2 ）

危害物經由傳播途徑的過程中致使受體曝露其中，其中

表 3. 塑膠工廠危害之嚴重性

危害物	M	M(單位)	Sp(km ²)	T(year)	S	ST	S ₁ (%)
SO _x	54.35	ppm	12.56	1.00	21.20	70.8	29.94
NO _x	48.09	ppm	12.56	1.00	27.20	70.8	38.42
VOCs	46.48	ppm	12.56	1.00	42.30	70.8	59.75
CO	432.31	ppm	12.56	1.00	28.60	70.8	40.40
TSP	29.59	mg/m ³	12.56	1.00	19.80	70.8	27.97
噪音	65.80	dB(A)	0.01	1.00	62.80	70.8	88.70
震動	-	dB	-	-	-	-	-
BOD	30.00	mg/L	2.01	1.00	63.30	67.7	93.50
PO ₄ ³⁻	4.00	mg/L	2.01	1.00	64.30	68.7	93.60
PFCs	-	ppm	-	-	-	-	-
N ₂ O	-	ppm	-	-	-	-	-
CO ₂	-	ppm	-	-	-	-	-
CH ₄	-	ppm	-	-	-	-	-
HFCs	-	ppm	-	-	-	-	-
SF ₆	-	ppm	-	-	-	-	-
Nuclides	-	ppm	-	-	-	-	-
NH ₃	-	ppm	-	-	-	-	-
重金屬	-	mg/L	-	-	-	-	-
農藥	-	mg/L	-	-	-	-	-

經過之路徑需考量危害造成的影響可能影響途徑、區域的條件等，故無法得知曝露之機率，需由主觀評定，但由專家評估，具有模糊性，以 \tilde{P}_2 表示，其值如表 4。

(五) 評估從曝露危害到損害發生之機率 (\tilde{P}_3)

在受體曝露在危害中進而造成損害之機率，受體曝露於危害，根據受體不同之物性，可能產生或不產生損害。這個部份涉及流行病學、生態學、社會形態，無法得知損害發生之機率，需由主觀評定，但由專家決定與想法具有不確定性，因此會有模糊性以 \tilde{P}_3 表示，其值如表 4。

(六) 評估損害之風險 (\tilde{R})

經由上述步驟所整理之資料針對 15 項損害類別進行風

險評估，計算方式由第一部分所敘述之頂點法之模糊圖形經危害之各模糊等級類別取得與各級別交集之隸屬度與距離法轉換之結果如表 5 所示。表中距離，代表距離原點（零風險）之距離，差、稍差、中、稍高、高分別距離原點之距離為 1、2、3、4、5；因此，最差的風險距離為 5。

由表 5 得知工廠運作產生之危害物經傳輸途徑至各損害之風險，以 BOD 危害物造成損害野生動植物為最 (2.14)，次之 CO 危害物造成之呼吸系統疾病 (2.10)，再次者為 VOCs 危害物造成呼吸系統疾病 (2.05)，因危害物經不同的傳輸途徑卻對同一種損害類別有影響，因不同傳輸路徑造成同一損害稱為「疊加效應」，但由於無法得知傳輸途徑之相互關係，在本研究取距離法最大值進行計算。

表 4. 受體曝露危害機率 \tilde{P}_2 與損害發生之機率 \tilde{P}_3

效應與途徑	受體	\tilde{P}_2	損害類別	\tilde{P}_3
氣候變遷	人類	大約 0.8	營養失調	大約 0.1
氣候變遷	人類	大約 0.8	傳染病	大約 0.3
氣候變遷	人類	大約 0.8	熱壓力	大約 0.3
臭氧層損耗	人類	大約 0.6	癌症	大約 0.3
臭氧層損耗	人類	大約 0.6	免疫抑制	大約 0.2
臭氧層損耗	人類	大約 0.6	白內障	大約 0.1
輻射曝露累積	人類	大約 0.3	癌症	大約 0.7
呼吸效應	人類	大約 0.9	心臟疾病	大約 0.1
呼吸效應	人類	大約 0.9	呼吸系統疾病	大約 0.5
超過人體可接受範圍	人類	大約 0.5	精神耗弱	大約 0.3
超過人體可接受範圍	人類	大約 0.5	睡眠障礙	大約 0.3
光化學煙霧	人類	大約 0.6	呼吸系統疾病	大約 0.3
對流層臭氧增加	人類	大約 0.7	呼吸系統疾病	大約 0.4
酸化滲出 Al^{3+}	人類	大約 0.8	人體毒性	大約 0.1
食物鏈累積	人類	大約 0.6	人體毒性	大約 0.2
食物鏈累積	人類	大約 0.6	癌症	大約 0.2
氣候變遷	生態	大約 0.8	喪失生物多樣性	大約 0.2
輻射曝露累積	生態	大約 0.2	喪失生物多樣性	大約 0.7
酸化減少營養素	生態	大約 0.7	喪失生物多樣性	大約 0.1
優養化	生態	大約 0.6	喪失生物多樣性	大約 0.2
食物鏈累積	生態	大約 0.6	喪失生物多樣性	大約 0.3
氣候變遷	作物和木材	大約 0.8	損失農作物和木材	大約 0.3
臭氧層損耗	作物和木材	大約 0.6	損失農作物和木材	大約 0.2
對流層臭氧增加	作物和木材	大約 0.4	損失農作物和木材	大約 0.3
酸雨	作物和木材	大約 0.7	損失農作物和木材	大約 0.4
酸化降低 pH	作物和木材	大約 0.6	損失農作物和木材	大約 0.3
臭氧層損耗	野生動植物	大約 0.4	損害野生動植物	大約 0.1
對流層臭氧增加	野生動植物	大約 0.8	損害野生動植物	大約 0.3
酸雨	野生動植物	大約 0.7	損害野生動植物	大約 0.2
酸化滲出 Al^{3+}	野生動植物	大約 0.3	損害野生動植物	大約 0.1
酸化降低 pH	野生動植物	大約 0.5	損害野生動植物	大約 0.2
優養化	野生動植物	大約 0.5	損害野生動植物	大約 0.2
臭氧層損耗	魚獲	大約 0.8	魚獲損失	大約 0.2
酸化降低 pH	魚獲	大約 0.8	魚獲損失	大約 0.1
優養化	魚獲	大約 0.7	魚獲損失	大約 0.2

表 5. 危害對應各風險模糊等級之隸屬度與距原點（零風險）之距離

危害物	損害類別	風險模糊等級					與原點(零風險) 之距離
		差	稍差	中	稍高	高	
TSP	呼吸系統疾病	0.63	0.64	0.00	0.00	0.00	1.80
噪音	睡眠障礙	0.67	0.73	0.20	0.00	0.00	2.01
噪音	精神耗弱	0.67	0.73	0.20	0.00	0.00	2.01
振動	睡眠障礙	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
振動	精神耗弱	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VOCs	呼吸系統疾病	0.44	0.95	0.60	0.19	0.00	2.05
VOCs	損害野生動植物	0.67	0.67	0.07	0.00	0.00	1.88
VOCs	損失農作物和木材	0.82	0.46	0.00	0.00	0.00	1.71
CO	呼吸系統疾病	0.56	0.86	0.34	0.00	0.00	2.10
CO	損害野生動植物	0.75	0.52	0.00	0.00	0.00	1.74
CO	損失農作物和木材	0.87	0.35	0.00	0.00	0.00	1.66
SO _x	人體毒性	0.92	0.22	0.00	0.00	0.00	1.57
SO _x	喪失生物多樣性	0.93	0.18	0.00	0.00	0.00	1.54
SO _x	損害野生動植物	0.80	0.52	0.00	0.00	0.00	1.63
SO _x	損失農作物和木材	0.68	0.65	0.04	0.00	0.00	1.71
SO _x	魚獲損失	0.91	0.26	0.00	0.00	0.00	1.55
NO _x	呼吸系統疾病	0.69	0.60	0.35	0.00	0.00	2.11
NO _x	人體毒性	0.89	0.27	0.00	0.00	0.00	1.61
NO _x	喪失生物多樣性	0.84	0.41	0.15	0.00	0.00	1.89
NO _x	損害野生動植物	0.76	0.50	0.00	0.00	0.00	1.73
NO _x	損失農作物和木材	0.72	0.54	0.00	0.00	0.00	1.75
PO ₄ ³⁻	喪失生物多樣性	0.69	0.72	0.19	0.00	0.00	1.99
PO ₄ ³⁻	損害野生動植物	0.78	0.57	0.01	0.00	0.00	1.78
PO ₄ ³⁻	魚獲損失	0.72	0.67	0.13	0.00	0.00	1.93
BOD	喪失生物多樣性	0.69	0.71	0.18	0.00	0.00	1.98
BOD	損害野生動植物	0.79	0.57	0.41	0.00	0.00	2.14
BOD	魚獲損失	0.72	0.67	0.13	0.00	0.00	1.92

(七) 評估風險之顯著性

1. 建立決策架構

本研究定出風險之顯著性之決策架構，如圖 10 所示。總共分爲三層，由最上層之目標往下展開至的終點階層；再往下傳遞至損害類別階層。

本研究即是依據 15 種損害類別，利用 MMCA 求出終點，最終找出我們的目標，進而形成風險之顯著性之決策架構。而往上传遞時，將依照所屬之損害類別各自往上传遞。所以第三層的培養方法所組成的集合，以 U^2 表示，如 (15) 式。

$$U^2 = \{\text{營養失調 傳染病 熱壓力 ... 損害野生動植物 損失農作物 損失魚獲}\} \quad (15)$$

同理可得第二層終點 (U^1) 的集合，如 (16) 式。

$$U^1 = \{\text{人類健康 生態系統 自然資源}\} \quad (16)$$

2. 建立權重集

在損害類別中，某損害相對於某終點權重的訂定，與某終點相對於目標之權重訂定，將藉由大葉大學環境工程系 12 老師與明志科技大學環境與安全衛生工程系 10 位老師的專業知識與經驗，利用問卷方式，共回收了 15 分的有效問卷，其問卷結果與其計算之權重（平均值），如表 6。

以第二層人類健康爲例，其所有的損害類對於上一層人類健康皆有相對應之權重，形成集合，如 (17) 式

$$W_1^2 = [0.07 \ 0.08 \ 0.08 \ 0.10 \ 0.07 \ 0.10 \ 0.11 \ 0.08 \ 0.09 \ 0.10 \ 0.12 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (17)$$

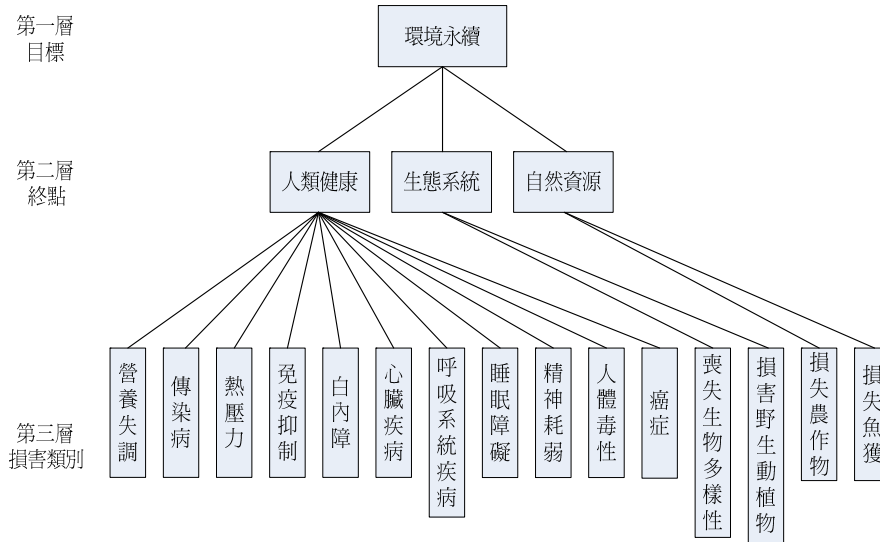


圖 10. 風險之顯著性之決策架構

表 6. 損害到終點 15 份問卷結果與權重計算

項目		1	2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均	加總	權重
人類健康	營養失調	9	6	5	7	5	3	5	5	10	8	2	5	2	5.54	77.62	0.07
	傳染病	6	4	8	5	6	5	8	2	10	9	5	9	3	6.15		0.08
	熱壓力	9	7	3	5	7	1	8	2	10	8	5	7	5	5.92		0.08
	免疫抑制	9	7	9	7	8	4	8	7	10	9	7	8	7	7.69		0.10
	白內障	9	2	5	4	5	6	8	3	10	7	7	5	2	5.62		0.07
	心臟疾病	10	8	10	6	9	10	8	7	10	7	6	6	7	8.00		0.10
	呼吸系統疾病	10	8	9	7	10	7	8	8	10	7	10	9	10	8.69		0.11
	睡眠障礙	4	5	8	5	6	4	7	3	10	9	5	9	8	6.38		0.08
	精神耗弱	7	3	8	5	7	2	7	6	10	9	8	8	9	6.85		0.09
	慢性疾病	7	7	8	10	5	3	8	8	10	10	9	9	7	7.77		0.10
	癌症	10	8	10	9	6	10	9	9	10	9	10	8	9	9.00		0.12
生態系統	喪失生物多樣性	10	8	10	8	8	9	8	7	9	10	7	6	9	8.38	16.08	0.52
	損害野生動植物	9	8	9	9	6	3	7	7	9	10	9	8	6	7.69		0.48
自然資源	損失農作物	9	6	8	7	7	6	9	6	9	8	9	7	8	7.62	14.92	0.51
	損失魚獲	9	6	8	7	7	6	7	6	9	8	9	7	6	7.31		0.49
環境永續	人類健康	5	8	10	8	9	9	9	7	10	8	7	8	8	8.15	24.77	0.33
	生態系統	10	8	10	9	8	7	9	7	9	10	10	9	5	8.54		0.34
	自然資源	8	7	10	8	7	8	9	6	9	10	8	7	8	8.08		0.33

同理可得其餘之損害類別的權重集 (W_2^2 、 W_3^2)。將其整合建立第二層的權重矩陣 W^2 ，如 (18) 式

$$W^2 = \begin{bmatrix} 0.07 & 0.08 & 0.08 & 0.10 & 0.07 & 0.10 & 0.11 & 0.08 & 0.09 & 0.10 & 0.12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.52 & 0.48 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.51 & 0.49 \end{bmatrix} \quad (18)$$

在第一層目標而言，其所有的終點對於上一層目標皆有相對應之權重，形成集合，如 (19) 式。

$$W^1 = [0.33 \ 0.34 \ 0.33] \quad (19)$$

3. 綜合決策

危害造成之損害模糊類別分佈以 NO_x 為例，如表 7 所示。

依據表 7 各評估集而形成依評估矩陣 R^3 與相對應之權重 W^2 ，進行運算，即可求出第二層人類健康之評估集 R^2 ，其運算如 (20) - (21) 式：

表 7. NO_x 之損害風險模糊類別之隸屬度

危害物	損害類別	風險模糊等級				
		差	稍差	中	稍高	高
NO _x	營養失調	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	傳染病	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	熱壓力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	免疫抑制	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	白內障	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	心臟疾病	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	呼吸系統疾病	0.69	0.60	0.35	0.00	0.00
	睡眠障礙	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	精神耗弱	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	慢性疾病	0.89	0.27	0.00	0.00	0.00
	癌症	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	喪失生物多樣性	0.83	0.41	0.15	0.00	0.00
	損害野生動植物	0.76	0.50	0.00	0.00	0.00
	損失農作物	0.72	0.54	0.00	0.00	0.00
損失魚獲	0.85	0.38	0.00	0.00	0.00	

$$R^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.69 & 0.60 & 0.35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.89 & 0.27 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.83 & 0.41 & 0.15 & 0 & 0 \\ 0.76 & 0.50 & 0 & 0 & 0 \\ 0.72 & 0.54 & 0 & 0 & 0 \\ 0.85 & 0.38 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$R^2 = W^2 \times R^3 = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.09 & 0.04 & 0 & 0 \\ 0.85 & 0.45 & 0.08 & 0 & 0 \\ 0.79 & 0.45 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

重覆上述計算可得知各危害物對終點之評估值如表 8。

重覆 (21) 式可計算出第一層目標之評估集，其結果如下：

$$R^1 = [0.59 \quad 0.34 \quad 0.04 \quad 0 \quad 0] \quad (22)$$

計算後得知各危害物對環境永續目標的風險評估值，如表 9。表 8、9 中距離，代表距離原點（零風險）之距離，差、稍差、中、稍高、高分別距離原點之距離為 1、2、3、

4、5；因此，最差的風險距離為 5。塑膠工廠經由層層推出最後對於環境永續影響最大的危害物為 BOD 對於生態影響也是最為嚴重，可以考量如何把廢水回中再利用以減少 BOD 影響之範圍。其次對於環境永續影響的危害物為噪音與 PO₄³⁻。

四、案例二：某土石方回收再利用處理廠之環境考量面鑑別

該土石方回收再利用處理廠以營建廢棄土石處理再利用為主，工廠地點位於台中縣，工廠占地 1.14 公頃，年總產量約 35.57 萬噸/年。

將產品、活動、服務所可能產生的所有對環境疑慮的項目鑑別出來，稱為環境考量面 (environmental aspects) 鑑別，其為 ISO 14001 中的評估核心。在各活動之環境考量面鑑別時，須指出該活動會產生何種污染物質，如此就可以參考圖 2，評估其環境永續性，進而決定風險較高的項目，以為持續改善的首要項目。

(一) 問題描述

利用 ISO 14001 環境考量面鑑別，鑑別出工廠內有那些運作或服務會造成環境之衝擊——列舉出來如表 10。

(二) 危害嚴重性 (S₁) 評估

根據環境考量面鑑別方法找出可能造成環境衝擊活動及服務進行危害嚴重性評估，評估各環境考量面之危害的大小 (M)、危害的空間範圍 (Sp)、危害的時間長度 (T) 利

表 9. 環境永續之風險評估與距原點（零風險）之距離

危害物	風險模糊等級					與原點(零風險) 之距離
	差	稍差	中	稍高	高	
NO _x	0.59	0.34	0.04	0.00	0.00	1.78
TSP	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	1.69
SO _x	0.62	0.20	0.00	0.00	0.00	1.60
VOCs	0.27	0.22	0.02	0.00	0.00	1.81
噪音	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	1.99
振動	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO	0.29	0.17	0.01	0.00	0.00	1.74
Nuclides	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NH ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PO ₄ ³⁻	0.37	0.33	0.06	0.00	0.00	1.89
重金屬	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
農藥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BOD	0.37	0.33	0.12	0.00	0.00	2.00
PFCs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HFCs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SF ₆	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 10. 環境考量面之危害嚴重性評估

環境考量面說明	危害物	M	M(單位)	Sp(m ²)	T(year)	S	ST	S _i (%)
鏟土機搬運成品半成品過程產生粉塵	TSP	29.58	mg/m ³	314	0.33	10.33	70.8	14.59
裝載成品半成品或運輸過程產生粉塵	TSP	59.15	mg/m ³	624.58	0.33	14.41	70.8	20.36
車輛運送、傾倒過程產生之灰塵揚起	TSP	88.73	mg/m ³	1017.36	0.33	17.65	70.8	24.93
怪手前處理作業抓臂舉高揚起粉塵	TSP	2.88	mg/m ³	22.06	0.33	5.78	70.8	8.16
場區作業動線乾燥車輛行進產生粉塵	TSP	2.88	mg/m ³	22.06	0.33	5.78	70.8	8.16
廢塑膠廠內搬運與出廠清運過程	TSP	1.44	mg/m ³	12.57	0.33	5.51	70.8	7.78
貯存區成品半成品堆高易揚起粉塵	TSP	163.67	mg/m ³	1963	0.33	23.01	70.8	32.49
挖掘混合物進 A2 餵料斗產生灰塵揚起	TSP	4.83	mg/m ³	38.93	0.33	6.14	70.8	8.68
A3 918 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	9.57	mg/m ³	84.95	0.33	7.00	70.8	9.89
A7 破碎機破碎作業產生大量灰塵	TSP	4.83	mg/m ³	38.90	0.33	6.14	70.8	8.68
B2 125 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	9.66	mg/m ³	84.90	0.33	7.02	70.8	9.91
輸送帶載運土石落下時揚起粉塵	TSP	4.83	mg/m ³	38.40	0.33	6.14	70.8	8.68
B3 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	4.83	mg/m ³	38.40	0.33	6.14	70.8	8.68
A5 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	9.66	mg/m ³	84.90	0.33	7.02	70.8	9.91
A3 918 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	67.45	dB(A)	15386	0.33	46.67	70.8	65.92
B2 125 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	67.45	dB(A)	15386	0.33	46.67	70.8	65.92
A5 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	69.21	dB(A)	20096	0.33	48.17	70.8	68.04
B3 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	69.21	dB(A)	20096	0.33	48.17	70.8	68.04
怪手作業中作業噪音	噪音	72.21	dB(A)	31400	0.33	53.20	70.8	75.14
鏟斗與地面摩擦及機械產生噪音	噪音	66.45	dB(A)	13267	0.33	45.81	70.8	64.71

用模糊推理出各環境考量面之危害嚴重性評估，如表 10 所示。

(三) 評估危害之發生機率 (\tilde{P}_1)

根據環境考量面鑑別工廠活動或服務分為常態、異常、緊急，在此本研究僅針對工廠常態運作，只要工廠有運作就會排放危害物質，故危害之發生機率 \tilde{P}_1 可視為 1。

(四) 評估受體曝露於危害之機率 (\tilde{P}_2)

工廠內人員受到危害 (TSP 與噪音) 為確定，所以 \tilde{P}_2 皆為 1。

(五) 評估從曝露危害到損害發生之機率 (\tilde{P}_3)

曝露危害到損害發生之機率 \tilde{P}_3 與案例一同，其值如

表 4。

(六) 評估損害之風險 (\tilde{R})

經由上述步驟所整理之資料針對 15 項損害類別進行風險評估，計算方式由第三章所敘述之頂點法之模糊圖形經危害之各模糊等級類別取得與各級別交集之隸屬度與距離法轉換之結果如表 11 所示。

(七) 評估風險之顯著性

使用表 6 之權重可計算出環境考量面鑑別對終點之評估值，如表 12。

土石方回收再利用廠經由本研究提出之方法推出對於環境永續影響最大的環境考量面為怪手作業時的噪音影響最大 (1.89)，次之為風選機運轉葉片產生之噪音 (1.81)。

表 11. 環境考量面之風險評估值與距原點 (零風險) 之距離

環境考量面	危害物	損害類別	風險模糊等級					與原點(零風險)之距離
			差	稍差	中	稍高	高	
A3 918 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	心臟疾病	0.97	0.09	0.00	0.00	0.00	1.47
A3 918 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	呼吸系統疾病	0.84	0.28	0.00	0.00	0.00	1.62
A3 918 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	精神耗弱	0.73	0.61	0.03	0.00	0.00	1.81
A3 918 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	睡眠障礙	0.73	0.61	0.03	0.00	0.00	1.81
A5 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	精神耗弱	0.72	0.63	0.05	0.00	0.00	1.84
A5 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	睡眠障礙	0.72	0.63	0.05	0.00	0.00	1.84
A5 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	心臟疾病	0.95	0.13	0.00	0.00	0.00	1.50
A5 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	呼吸系統疾病	0.78	0.39	0.00	0.00	0.00	1.69
A7 破碎機破碎作業產生大量灰塵	TSP	心臟疾病	0.97	0.08	0.00	0.00	0.00	1.46
A7 破碎機破碎作業產生大量灰塵	TSP	呼吸系統疾病	0.86	0.25	0.00	0.00	0.00	1.60
B2 125 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	心臟疾病	0.97	0.09	0.00	0.00	0.00	1.47
B2 125 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	呼吸系統疾病	0.84	0.28	0.00	0.00	0.00	1.62
B2 125 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	精神耗弱	0.73	0.61	0.03	0.00	0.00	1.81
B2 125 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	睡眠障礙	0.73	0.61	0.03	0.00	0.00	1.81
B3 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	精神耗弱	0.72	0.63	0.05	0.00	0.00	1.84
B3 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	睡眠障礙	0.72	0.63	0.05	0.00	0.00	1.84
B3 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	心臟疾病	0.97	0.08	0.00	0.00	0.00	1.46
B3 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	呼吸系統疾病	0.86	0.25	0.00	0.00	0.00	1.60
車輛運送、傾倒過程產生之灰塵揚起	TSP	心臟疾病	0.92	0.20	0.00	0.00	0.00	1.56
車輛運送、傾倒過程產生之灰塵揚起	TSP	呼吸系統疾病	0.66	0.59	0.00	0.00	0.00	1.78
怪手前處理作業抓臂舉高揚起粉塵	TSP	心臟疾病	0.97	0.07	0.00	0.00	0.00	1.45
怪手前處理作業抓臂舉高揚起粉塵	TSP	呼吸系統疾病	0.87	0.24	0.00	0.00	0.00	1.59
挖掘混合物進 A2 餵料斗產生灰塵揚起	TSP	心臟疾病	0.97	0.08	0.00	0.00	0.00	1.46

表 11. 環境考量面之風險評估值與距原點（零風險）之距離（續）

環境考量面	危害物	損害類別	風險模糊等級					與原點(零風險) 之距離
			差	稍差	中	稍高	高	
挖掘混合物進 A2 餵料斗產生灰塵揚起	TSP	呼吸系統疾病	0.86	0.25	0.00	0.00	0.00	1.60
場區作業動線乾燥車輛行進產生粉塵	TSP	心臟疾病	0.97	0.07	0.00	0.00	0.00	1.45
場區作業動線乾燥車輛行進產生粉塵	TSP	呼吸系統疾病	0.87	0.24	0.00	0.00	0.00	1.59
貯存區成品半成品堆高易揚起粉塵	TSP	心臟疾病	0.90	0.26	0.00	0.00	0.00	1.60
貯存區成品半成品堆高易揚起粉塵	TSP	呼吸系統疾病	0.58	0.71	0.00	0.00	0.00	1.83
裝載成品半成品或運輸過程產生粉塵	TSP	心臟疾病	0.93	0.17	0.00	0.00	0.00	1.54
裝載成品半成品或運輸過程產生粉塵	TSP	呼吸系統疾病	0.71	0.51	0.00	0.00	0.00	1.74
廢塑膠廠內搬運與出廠清運過程	TSP	心臟疾病	0.97	0.07	0.00	0.00	0.00	1.45
廢塑膠廠內搬運與出廠清運過程	TSP	呼吸系統疾病	0.87	0.23	0.00	0.00	0.00	1.59
輸送帶載運土石落下時揚起粉塵	TSP	心臟疾病	0.97	0.08	0.00	0.00	0.00	1.46
輸送帶載運土石落下時揚起粉塵	TSP	呼吸系統疾病	0.86	0.25	0.00	0.00	0.00	1.60
鏟土機搬運成品半成品過程產生粉塵	TSP	心臟疾病	0.95	0.13	0.00	0.00	0.00	1.50
鏟土機搬運成品半成品過程產生粉塵	TSP	呼吸系統疾病	0.78	0.39	0.00	0.00	0.00	1.67
鏟斗與地面摩擦及機械產生噪音	噪音	精神耗弱	0.73	0.61	0.02	0.00	0.00	1.80
鏟斗與地面摩擦及機械產生噪音	噪音	睡眠障礙	0.73	0.61	0.02	0.00	0.00	1.80

表 12. 環境考量面鑑損害終點之風險評估值與距原點（零風險）之距離

環境考量面說明	危害物	損害終點	風險模糊等級					與原點(零風險) 之距離
			差	稍差	中	稍高	高	
鏟土機搬運成品半成品過程產生粉塵	TSP	人體健康	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.59
裝載成品半成品或運輸過程產生粉塵	TSP	人體健康	0.18	0.07	0.00	0.00	0.00	1.64
車輛運送、傾倒過程產生之灰塵揚起	TSP	人體健康	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	1.67
怪手前處理作業抓臂舉高揚起粉塵	TSP	人體健康	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	1.51
場區作業動線乾燥車輛行進產生粉塵	TSP	人體健康	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	1.51
廢塑膠廠內搬運與出廠清運過程	TSP	人體健康	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	1.51
貯存區成品半成品堆高易揚起粉塵	TSP	人體健康	0.16	0.11	0.00	0.00	0.00	1.72
挖掘混合物進 A2 餵料斗產生灰塵揚起	TSP	人體健康	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	1.51
A3 918 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	人體健康	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	1.53
A7 破碎機破碎作業產生大量灰塵	TSP	人體健康	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	1.51
B2 125 轉筒篩轉動混合物產生灰塵揚起	TSP	人體健康	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	1.53
輸送帶載運土石落下時揚起粉塵	TSP	人體健康	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	1.51
B3 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	人體健康	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	1.51
A5 風選機運轉過程易造成回風及粉塵雜物揚起	TSP	人體健康	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.59
A3 918 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	人體健康	0.12	0.10	0.01	0.00	0.00	1.79
B2 125 轉筒篩轉動產生撞擊聲響	噪音	人體健康	0.12	0.10	0.01	0.00	0.00	1.79
A5 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	人體健康	0.12	0.11	0.01	0.00	0.00	1.81
B3 風選機運轉中葉片風壓力產生噪音	噪音	人體健康	0.12	0.11	0.01	0.00	0.00	1.81
怪手作業中作業噪音	噪音	人體健康	0.12	0.11	0.02	0.00	0.00	1.89
鏟斗與地面摩擦及機械產生噪音	噪音	人體健康	0.12	0.10	0.00	0.00	0.00	1.77

五、結論與建議

本研究提出一個具有七個步驟的模糊風險評估系統：

(1) 問題描述：包含鑑別危害來源、受體與危害對於受體造成之效應與損害，在此可以援引生命週期衝擊評估之概念來協助釐清危害來源、受體與效應之因果關係；(2) 危害嚴重性評估：評估者根據主觀經驗來進行評估，因此以模糊邏輯來模擬之；(3) 評估危害之發生機率：發生之機率值如果無法取得詳實的統計資料時，以模糊機率處理之；(4) 評估受體曝露於危害效應之機率：同時考慮危害造成效應與受體受到效應的機率，該機率值如果無法取得詳實的統計資料時，以模糊機率處理之；(5) 評估受體因為曝露危害造成損害發生之機率：發生之機率值如果無法取得詳實的統計資料時，以模糊機率處理之；(6) 評估損害之風險：利用模糊之四則運算之頂點法將上述之各項評估直整合計算成一風險值；(7) 評估風險之顯著性：風險之顯著性以多準則多關聯綜合評估法來輔助決策。

案例一為某塑膠工廠擴廠之環境影響評估，經由層層推出最後對於環境永續影響最大的危害物為 BOD，其對於生態影響也是最為嚴重，可以考量如何把廢水回中再利用以減少 BOD 影響之範圍；其次，對於環境永續影響的危害物為噪音與 PO_4^{3-} 。案例二為一土石方回收再利用處理廠，為了取得 ISO14001 環境管理系統之認證，以該理論進行環境考量面鑑別。對於環境永續影響最大的環境考量面為怪手作業，其污染物質為噪音，次之環境考量面為風選機運轉，其污染物質為運轉時葉片產生之噪音。

參考文獻

- Chen, Z., G. H. Huang and A. Chakma (2003) Hybrid fuzzy-stochastic modeling approach for assessing environmental risks at contaminated groundwater systems. *Journal of Environmental Engineering*, 129(1), 79-88.
- Cheng, C. H. (1998) A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method. *Fuzzy Sets and Systems*, 95, 307-317.
- Chu, T. C. and C. T. Tsao (2002) Ranking fuzzy numbers with an area between the centroid point and original point. *Computers and Mathematics with Application*, 43, 111-117.
- DEFRA (2002) Guidelines for environmental risk assessment and management. Retrieved February 22, 2010, from <http://www.defra.gov.uk/Environment/risk/eramguide/index.htm>.
- Dong, W. and H. C. Shah (1987) Vertex method for computing functions of fuzzy variables. *Fuzzy Sets and Systems*, 24(1), 65-78.
- Feng, S. and L. D. Xu (1999) Decision support for fuzzy comprehensive evaluation of urban development. *Fuzzy Sets and System*, 105, 1-12.
- Guyonnet, D., B. Bourgine, D. Dubois, H. Fargier, B. Côme and J. P. Chilès (2003) Hybrid approach for addressing uncertainty in risk assessments. *Journal of Environmental Engineering*, 129(1), 68-78.
- Institute for Environment and Sustainability [IES], Joint Research Centre of European Commission (2010) Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment (LCIA) models and indicators. Retrieved December 14, 2010, from <http://ict.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-LCIA-Framework-requirements-online-12March2010.pdf/view>.
- Karimi, I. and E. Hüllermeier (2007) Risk assessment system of natural hazards: A new approach based on fuzzy probability. *Fuzzy Sets and Systems*, 158(9), 987-999.
- Kentel, E. and M. M. Aral (2004) Probabilistic-fuzzy health risk modeling. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 18(5), 324-338.
- Kentel, E. and M. M. Aral (2005) 2D Monte Carlo versus 2D Fuzzy Monte Carlo health risk assessment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(1), 86-96.
- Li, J. B., A. Chakma, G. M. Zenga and L. Liu (2003) Integrated fuzzy-stochastic modeling of petroleum contamination in subsurface. *Energy Sources*, 25(6), 547-563.
- Li, J., G. H. Huang, G. Zeng, I. Maqsood and Y. Huang (2007) An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of groundwater contamination. *Journal of Environmental Management*, 82(2), 173-188.
- Liu, K. F. R. and S. Y. Kung (2009) Fuzzy comprehensive assessment of engineering-education outcomes. *SCIS & ISIS 2008*, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- Saaty, T. L. (1990) *The Analytic Hierarchy Process*, Pergamon Press, New York, NY.
- Saaty, T. L. (2001) *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS,

- Pittsburgh, PA.
17. Sadiq, R. and M. J. Rodriguezb (2004) Fuzzy synthetic evaluation of disinfection by-products-a risk-based indexing system. *Journal of Environmental Management*, 73(1), 1-13.
 18. Sadiq, R. and T. Husain (2005) A fuzzy-based methodology for an aggregative environmental risk assessment: A case study of drilling waste. *Environmental Modelling & Software*, 20(1), 33-46.
 19. Sadiq, R., M. J. Rodriguez, S. A. Imran and H. Najjaran (2007) Communicating human health risks associated with disinfection by-products in drinking water supplies: A fuzzy-based approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(4), 341-353.
 20. Sadiq, R., T. Husain, B. Veitch and N. Bose (2004) Risk-based decision-making for drilling waste discharges using a fuzzy synthetic evaluation technique. *Ocean Engineering*, 31(16), 1929-1953.
 21. Seppälä, J. and R. P. Hämäläinen (2001) On the meaning of the distance-to-target weighting method and normalisation in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(4), 211-218.
 22. Shakhawat, C., H. Tahir and B. Neil (2006) Fuzzy rule-based modelling for human health risk from naturally occurring radioactive materials in produced water. *Journal of Environmental Radioactivity*, 89(1), 1-17.
 23. Shen, G., Y. Lu, M. Wang and Y. Sun (2005) Status and fuzzy comprehensive assessment of combined heavy metal and organo-chlorine pesticide pollution in the Taihu Lake region of China. *Journal of Environmental Management*, 76, 355-362.
 24. Tesfamariam, S. and R. Sadiq (2006) Risk-based environmental decision-making using fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(1), 35-50.
 25. Yager, R. R. (1977) Multiple objective decision-making using fuzzy sets. *International Journal Man-Machine Studies*, 9, 375-382.
 26. Zadeh, L. A. (1975) The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.
- 收件：99.10.07 修正：99.11.04 接受：100.01.03