

人為疏失風險評估新模型之建構 - 以權重型模糊認知 可靠性與失誤分析為基礎

Construction of a New Human Error Risk Assessment Model-Based on Fuzzy CREAM

翁順泰*、鍾郁貞**

摘要

根據統計發現，人為疏失在許多意外事故中，扮演非常重要的角色，因此有必要在意外事故發生前進行人為可靠性分析(HRA)。在眾多人為可靠性分析方法中，CREAM 為第二代 HRA 之代表性方法，考量了周遭環境對於操作人員之影響，且最近許多學者加入了模糊理論，彌補了 CREAM 固有之缺失。但在 Fuzzy CREAM 內仍存在缺點，即為未考量到變數間之相對重要性，而導致了錯估人為疏失機率之情況產生。

為克服上述困難，本研究考量變數間之相對重要性，使其能更準確評估人為疏失機率。並經過一模擬案例驗證後，證實了本研究之方法論具有考量變數重要性之特點，有效評估考量變數權重後之人為疏失機率。

關鍵字：人為疏失、人為可靠性評估、模糊認知可靠性與失誤分析方法

Abstract

According to statistics, human error plays a very important role in many accidents. Human Reliability Assessment (HRA) is therefore necessary to be

* 翁順泰 Shuen-Tai Ung，國立臺灣海洋大學商船學系副教授；Email：shuentai@mail.ntou.edu.tw

** 鍾郁貞 Yu-Chen Chung，國立臺灣海洋大學商船學系碩士生；Email：19971009@ntou.edu.tw

conducted before accidents. Among human reliability assessment methods, CREAM is the technique that belongs to the second generation of HRA. It considers the effects of the context for operators. Due to the absence of data, many scholars have applied the fuzzy theory to CREAM. However, Fuzzy CREAM still has shortcomings. That includes incapability of considering the relative importance of variables, which leads to misjudge the human error probability.

To overcome the defect, this paper establishes a framework capable of considering the relative importance of variables. So that the human error probability can more accurately assessed. After a test case verification, it is judged that this methodology does have the characteristics of considering the relative weight of each variable. Thus, the new framework can provide more effective assessment of the human error probability.

Keyword : Human error, Human Reliability Assessment, Fuzzy CREAM

壹、前言

許多意外事故發生原因中，人為疏失往往是最大主因，根據英國船東責任互保協會(簡稱 P&I Club)於 1978 至 2002 年間統計主要造成船舶意外的原因，顯示高達 62% 可以直接歸因於一人或多人所造成的錯誤(P&I Club, 2003)，可見人為疏失佔了非常大的比例。因此在事前進行人為可靠性評估(Human Reliability Assessment，簡稱 HRA)，了解人為疏失發生機率之高低，可防範未然。

但許多情況下由於缺乏充足的歷史資料或是尚未發生而導致資料不完整，導致無法有效進行風險分析或可靠性分析，且由於人為可靠性評估的最大困難即為缺乏資料以及資料的可靠性，故目前有許多方法為針對資料缺乏而使用專家學者的專業判斷做為評估之工具，如認知可靠性與失誤分析方法(Cognitive Reliability and Error Analysis Method, CREAM)、APJ(Absolute Probability Judgment)等等，其中 CREAM 透過量化作業環境避開了資料缺乏的問題。

近期許多學者發展出 Fuzzy CREAM 之方法，仍存在缺點，其缺點為未考量變數之相對重要性，故本研究加入權重計算之，並進行驗證考慮變數權重與否之情況下，人為疏失機率是否有不同結果，以驗證本研究方法之合理性。

貳、文獻回顧

2.1 人為可靠性評估

人爲可靠性評估，主要爲分析人爲疏失的風險，可以藉由檢查工作環境內的相關因素，包含工作人員，辨識系統內錯誤和缺點。目的是爲了檢查任務、步驟、系統或組織結構內造成缺失導致失誤的缺點(Lyons *et al.*, 2004)。

第一代HRA方法，是基於人類本質上的缺點，即人類無法如同機器規律運作而發展出一系列的方法，較著重在人員的技術與規則爲基礎的人爲疏失分析。近年來，人爲疏失之相關研究顯示，週遭環境對於意外事故的影響大於作業本身的特性，改變了人爲疏失分析的重點，必須要建立一個週遭環境與人爲疏失機率間相關性的模型，這即爲第二代HRA方法的基本準則 (Marseguerra *et al.*, 2007)。

2.2 CREAM

認知可靠性與失誤分析方法 (Cognitive Reliability and Error Analysis Method, CREAM)於 1993 年開始發展，作者 Hollnagel 於 1998 年撰寫成書出版，爲 HRA 第二代方法中之代表性的方法，是在資料不充足的狀況下，以專家學者的專業判斷作爲評估之工具。CREAM 結合個人(個人職責)、技術(設備、流程)與組織(溝通、訓練)，提供一致的失誤分類系統。首先使用九種共同績效條件(Common Performance Conditions, CPCs)將欲分析的作業判斷其影響(Bell and Holroyd, 2009)，依照影響正面或負面的總和對應至脈絡控制模式(Contextual Control Model, COCOM)，即可粗略判斷人爲疏失機率的區間，脈絡控制模式是將操作人員克服或適應環境所需具備的能力或需付出的努力分爲 4 種特性控制模式(Hollnagel, 1998)。

CREAM 之優點爲控制模式判斷方式非常簡單且易於操作，可快速判斷人爲可靠性區間，且 HRA 最大的困難爲缺乏資料，CREAM 透過量化作業環境避開了資料缺乏的問題。而其缺點爲脈絡控制模式之判斷過程不夠平滑，且判斷之人爲疏失機率爲一個區間值，而非一個明確數值，故除了原有的 CREAM 方法外，亦有以模糊化(fuzzy modeling)的方式量化評量控制模式的失誤率，爲一明確數值，且量化位數可至小數點兩位 (Marseguerra *et al.*, 2007)(Fujita and Hollnagel, 2004)。

2.3 Fuzzy CREAM

Fuzzy CREAM 可計算操作者採取錯誤動作導致疏失發生之機率，由輸入變數模糊化後，經由模糊推論及解模糊化，根據 CREAM 取得脈絡控制模式，同時可得到一個疏失機率。

Fuzzy CREAM 第一步先輸入變數的數值，共有九個變數，由共同績效條件所構成。接下來則發展模糊集合(fuzzy set)，此步驟是爲了更佳描繪每個變數間的影響。第三步則

發展模糊法則(fuzzy rule)，在此步驟會由CREAM的邏輯發展出模糊法則，用言語表達描述輸入參數及其連接的模糊集合，可以歸類至CREAM的四種控制模式。同時依照模糊的三步驟—模糊化、模糊推論、去模糊化後，可得到一個人為疏失機率的明確值 (Konstandinidou *et al.*, 2006)。

2.4 重要參考文獻之評析

許多學者使用 Fuzzy CREAM 計算人為疏失機率(Marseguerra *et al.*, 2006) (Konstandinidou *et al.*, 2006)(Marseguerra *et al.*, 2007) (Wang *et al.*, 2011)，其中 Konstandinidou 等學者在 2006 年發表的期刊中提到以一般常理來說，不會所有參數有一樣的重要性，但在該篇期刊內，卻未考量到變數，即為績效條件之相對重要性，這將會導致風險值不精確。

依照人類經驗法則之一般常識可以知道，意外事故發生的原因分為許多種，而每種原因造成意外事故發生的機率皆不同，即為每種原因之相對重要性皆不同。有鑑於上述所提到 Fuzzy CREAM 方法之缺點，並未考慮到變數之相對重要性，以下假設兩情境，以 Fuzzy CREAM 為基礎計算，驗證原 Fuzzy CREAM 並未考量變數相對重要性之缺點造成該方法之不合理性。

2.4.1 模擬案例情境描述

假設有兩種情境，如表 2.1 所示，兩者情境為類似，CPC2 至 CPC8 之分數皆相同，只有 CPC1 與 CPC9 之分數為相反。採用此極端的分數以及權重，是為了能夠容易判斷出若計算相對重要性，則情境二之分數會明顯高於情境一，代表情境二之週遭工作環境比情境一好。

表 2.1 各共同績效條件(CPCs)之分數及其權重

	CPC1	CPC2	CPC3	CPC4	CPC5	CPC6	CPC7	CPC8	CPC9
情境一	90	90	90	90	90	90	13	90	10
情境二	10	90	90	90	90	90	13	90	90
權重	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.84

2.4.2 發展 CPCs 之模糊集合及建立歸屬函數模型

Fuzzy CREAM 共有九個變數，即為共同績效條件，依照(Marseguerra *et al.*, 2007) 對於各變數給予其判別語言詞之分數，如表 2.2 所示，舉例說明：若 CPC 1 之分數為 10 分，對應之語言詞為 Deficient，則表示此變數對於情況之影響為負面的。依照表 2.2

可繪製出歸屬函數之圖形，如圖 2.1 所示，Y 軸為歸屬函數，其範圍為 0 至 1，X 軸除了 CPC7 的變數為時間，故其論域為 [0,24] 外，其餘 CPCs 的論域皆為 [0,100]。

表 2.2 各變數之模糊集合範圍

CPC		Membership Level Intervals			
1	Adequacy of organization	Deficient	Inefficient	Efficient	<i>Very Efficient</i>
		0-25	10-60	40-90	70-100
2	Working conditions	Incompatible	Compatible		<i>Advantageous</i>
		0-30	20-80	70-100	
3	Adequacy of MMI	Inappropriate	Tolerable	Adequate	<i>Supportive</i>
		0-25	10-60	40-90	70-100
4	Availability of procedures and plans	Inappropriate	Acceptable		<i>Appropriate</i>
		0-30	20-80	70-100	
5	Number of simultaneous goals	More than . . .	Matching . . .	Fewer than . . .	
		0-30	20-80	70-100	
6	Available time	Continuously . . .	Temporarily . . .	<i>Adequate</i>	
		0-30	20-80	70-100	
7	Time of day	Night	Day	Night	
		0-8	4-20	16-24	
8	Adequacy of training and experience	Inadequate	Adequate limited	<i>Adequate High</i>	
		0-30	20-80	70-100	
9	Crew collaboration	Deficient	Inefficient	Efficient	<i>Very Efficient</i>
		0-25	10-60	40-90	70-100

Note: 斜體表示改善 CPCs 的狀態，而粗體表示減少。
資料來源：(Marseguerra *et al.*, 2007)，本研究整理。

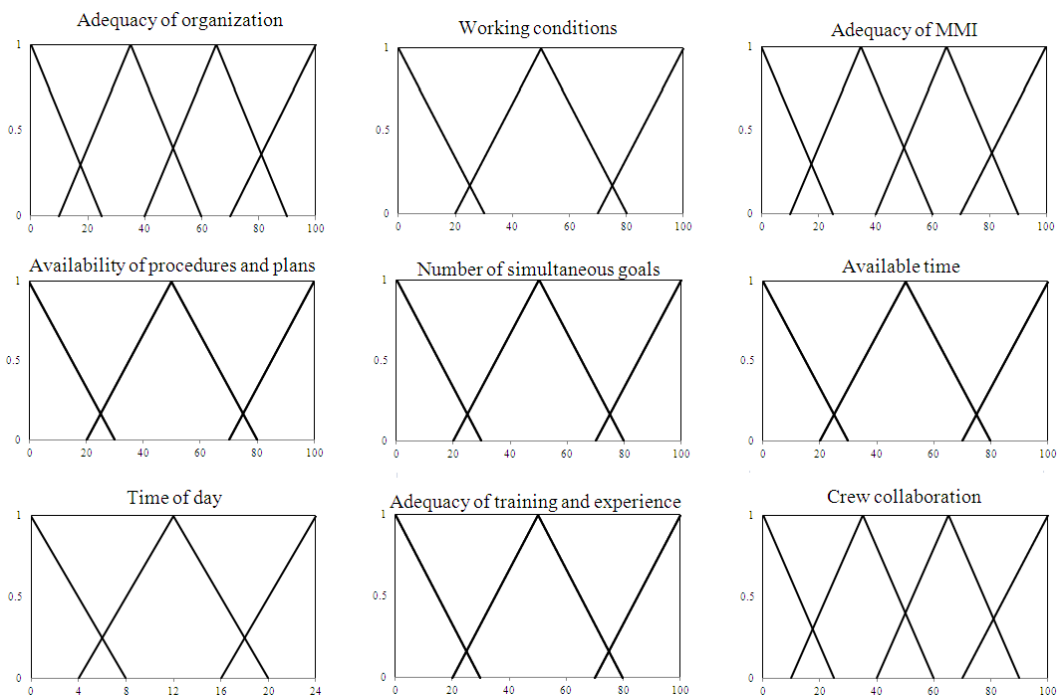


圖 2.1 各變數之歸屬函數圖型

後項控制模式使用四個語言詞描述之，一般學者將四種控制模式之失效頻率劃分為四種不同的頻率區間，在不同控制模式下，人為疏失的基本機率即可大致確定，如表 2.3 所示。表 2.3 是依照客觀且為一般認知可被接受的範圍，依照表 2.3 可畫出後項控制模式之歸屬函數圖型，如圖 2.2，其每個模糊集合之頂點皆為取模糊集合之中間值，X 軸為歸屬函數，Y 軸則為取對數(logarithm)後之失敗機率。後項控制模式坐標化之圖型如圖 2.3 所示，越左上角代表情況越好，越右下角代表情況越糟糕。由情況糟糕至良好分別為混沌控制模式(Scrambled control mode)、機會式控制模式(Opportunistic control mode)、戰術式控制模式(Tactical control mode)、策略式控制模式(Strategic control mode) (Hollnagel, 1998) (游原鑑，2011)。

表 2.3 控制模式與頻率區間

控制模式	頻率區間(行動失效頻率)
策略控制	$0.5 \times 10^{-5} < p < 1 \times 10^{-2}$
戰術控制	$1 \times 10^{-3} < p < 1 \times 10^{-1}$
機會主義控制	$1 \times 10^{-2} < p < 0.5 \times 10^0$
混沌控制	$1 \times 10^{-1} < p < 1 \times 10^0$

資料來源：(Marseguerra *et al.*, 2007) (Konstandinidou *et al.*, 2006)。

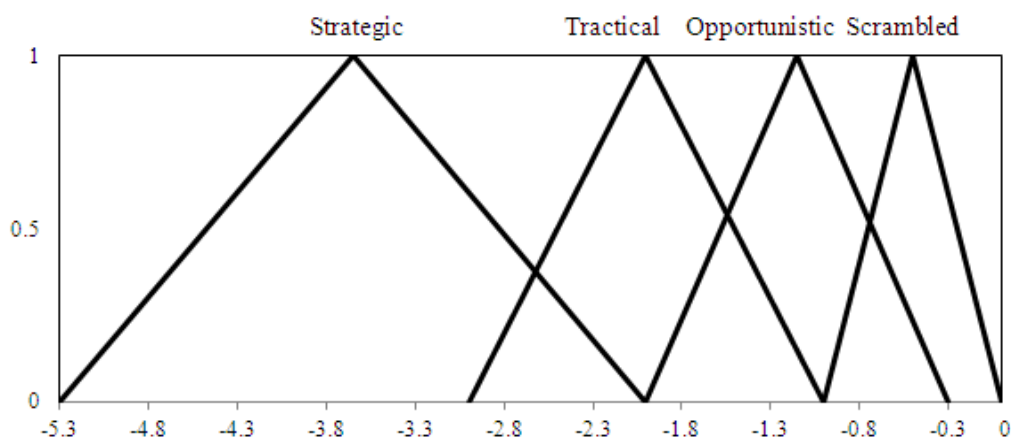


圖 2.2 後項控制模式之歸屬函數圖型

資料來源：(Konstandinidou *et al.*, 2006)

2.4.3 由 CREAM 之邏輯發展模糊法則

由表 2.1 所給予之分數以及表 2.2 之語言詞模糊集合範圍可列出兩情境之模糊法則庫，如表 2.4 所示。情境一之 CPC 1 (90 分) 語言詞描述為 Very efficient，對於情境為改善之變數，故為正；CPC 2 (90 分)之語言詞描述為 Advantageous，對情境之影響為改善，故為正；CPC 9 (10 分)之語言詞描述為 Deficient，對於情境為負面之影響，故為負。

情境二之 CPC 1 (10 分) 語言詞描述為 Deficient，對於情境為影響為負面之變數，故為負；CPC 2 (90 分)之語言詞描述為 Advantageous，對情境之影響為改善，故為正；CPC 9 (90 分)之語言詞描述為 Very efficient，對於情境為正面之影響，故為正，依此類推。統計兩情境狀態描述所對應之影響，可得到數目表示的結果(縮減、不影響、改善)。表示方式只取對於環境造成負面與正面影響的兩種結果，不考慮不影響之結果，其表示為 (\sum Reduced, \sum improved)，由於情境一與情境二只有 CPC1 與 CPC9 之分數不同，互為顛倒，其餘 CPC 分數皆相同，故兩情境皆有六個變數為正面影響、兩個變數為不影響，一個變數為負面之影響。依照上述法則可推論出情境一與情境二皆為(1,6)。評定的結果接著對應至座標化的四種特性控制模式，如圖 2.3 可得知情境一與情境二之控制模式皆為策略式控制模式。

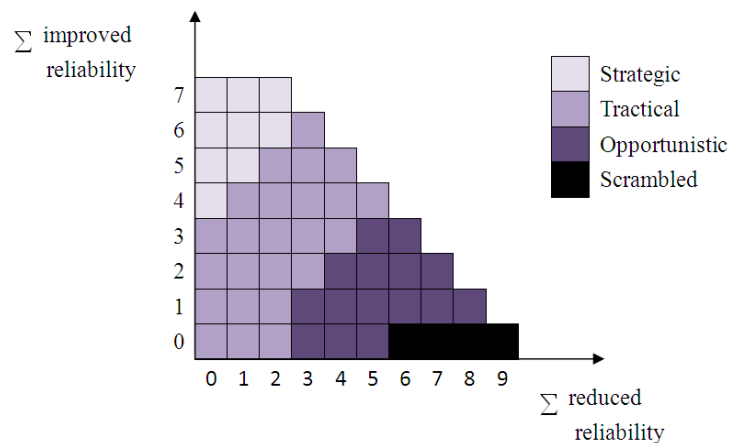


圖 2.3 CREAM 特性控制模式表示圖
資料來源：(Konstandinidou *et al.*, 2006)

表 2.4 模糊法則庫

	CPCs	情境一之語言詞	情境二之語言詞
IF	Adequacy of organization	very efficient	deficient
	Working conditions	advantageous	advantageous
	Adequacy of man-machine interface MMI and operational support	supportive	supportive
	Availability of procedures and plans	appropriate	appropriate
	Number of simultaneous goals	fewer than actual capacity	fewer than actual capacity
	Available time	adequate	adequate
	Time of the day	day	day
	Adequacy of training and experience	adequate with high experience	adequate with high experience
	Crew collaboration quality	deficient	very efficient
THEN	Contextual Control Model	strategic	strategic

2.4.4 模糊推論

用 Min-Max 推論法完成，兩情境之變數歸屬函數(MF)之最小值皆為 0.6，因兩情境皆為 0.6 故取其最大值依然為 0.6，如表 2.5 所示。

表2.5 語言詞與歸屬函數

	CPCs	情境一之語言詞	MF	情境二之語言詞	MF
IF	1	very efficient	0.8	deficient	0.6
	2	advantageous	0.67	advantageous	0.67
	3	supportive	0.8	supportive	0.8
	4	Appropriate	0.67	Appropriate	0.67
	5	Fewer than actual capacity	0.67	Fewer than actual capacity	0.67
	6	adequate	0.67	adequate	0.67
	7	day	0.88	day	0.88
	8	adequate with high experience	0.67	adequate with high experience	0.67
	9	deficient	0.6	very efficient	0.8
THEN	COCOM	strategic	0.6	strategic	0.6

2.4.5 解模糊化

依原方法論使用重心法(COG)之解模糊化方法，其公式可參照公式 3.2，由於情境一與情境二皆為 Strategic 0.6，故計算過程相同。解模糊化之計算結果為-3.674，對照至圖 2.2 可確定情境一與情境二之控制模式為策略式控制模式。由於後項控制模式之 X 軸是取對數方式呈現，如圖 2.2，故經過換算後得到人為疏失機率為 2.12×10^{-4} 。

由上述過程可知情境一與情境二皆為策略式控制模式，其人為疏失機率亦皆為 2.12×10^{-4} 。但依人類經驗法則可知，若有計算相對重要性，情境二之分數會比情境一高，即為情境二之周遭工作環境較情境一優良。由此可知原 Fuzzy CREAM 之方法並未考量變數之相對重要性以導致結果之不合理。

參、方法論

鑒於文獻評析中所提及模糊認知可靠性與失誤分析方法(Fuzzy CREAM)之缺點，本研究以模糊認知可靠性與失誤分析方法為基礎進行風險評估，將增加變數之相對重要性，使各變數能夠更明確的表達其對於整個風險的影響及更合理之風險值，發展一個較貼近實務與合理之海事風險評估模型。

3.1 研究架構

本研究之架構第一步為依照CREAM所給定之九個變數，給予其數值，模糊化後發展模糊集合及建立歸屬函數模型。建立完語言詞歸屬函數模型後，加入各變數之相對重要性，就能將所有可能的模糊法則產出，此產出的集合即為模糊法則庫。模糊法則庫的

數目多寡則依據變數多寡以及語言詞的數目而定。模糊法則庫最主要的功用乃結合各個變數，並以後項結果表示。

產生適用之數條法則(Rule)後，以模糊推論法來求取模糊結論(Fuzzy Conclusion)，經由模糊推論可對應至CREAM之後項控制模式，再經去模糊化的過程來求取一明確數值，經換算後即可取得人為疏失機率。

3.1.1 發展 CPCs 之模糊集合及建立歸屬函數模型

由於每個變數(CPCs)皆有三至四個語言詞，故每個變數之歸屬函數模型由三或四個模糊集合組成，一般歸屬函數有三角形歸屬函數、梯形歸屬函數、橢圓歸屬函數、不規則歸屬函數或其他不同類型的歸屬函數，本研究延續原作者採用三角形歸屬函數，而三角形歸屬函數之優點為計算方便且快速。以第二項 CPC 之歸屬函數圖型為例，如圖 3.1 所示(沈暉閔，2009)。

三角形 (Triangular) 歸屬函數如下：

$$\mu_A(X) = \begin{cases} \frac{x-a}{m-a}, & \text{if } a \leq x \leq m \\ \frac{b-x}{b-a}, & \text{if } m \leq x \leq b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{公式 3.1})$$

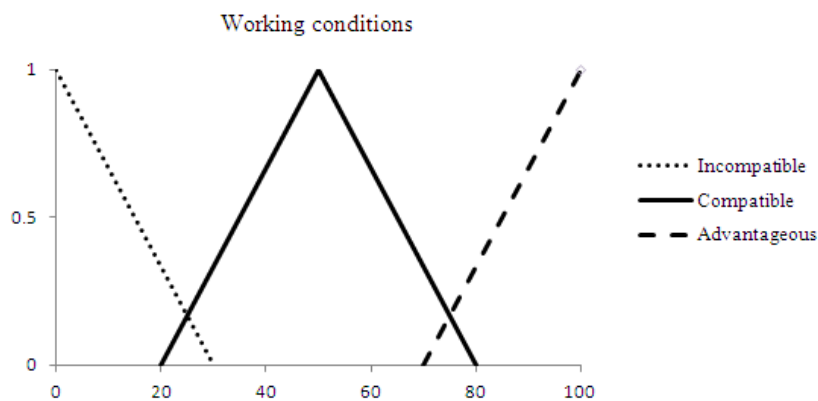


圖 3.1 第二項 CPC 歸屬函數圖型

3.1.2 新模糊法則運算法

於模糊法則庫推導前，需判定各語言詞之加權值，由於傳統方法中的後項歸屬設定中，會造成後項歸納語言詞出現分配不平均，傳統模糊推論的模型中，不論各語言詞分布狀況為何，其語言詞之程度值皆以一等差及數方式表現，在此模式下，不平均分布的語言詞歸屬函數模型之特點不容易看出。

故本研究套用(李方中，2010)所發展出的模型，其特色為評估每個語言詞歸屬函數模型中語言詞，使每個語言詞之權重程度值能充分表達與其他語言值之對應關係，使其相對關係能被正確表達，使語言詞歸屬函數模型能被充分理解。並更改後項語言詞之歸納方式，判斷門檻集合為後項語言詞語言詞歸屬函數模型中，該語言詞間交點之X軸映射值間為判斷門檻，使後項語言詞判斷門檻，如此語言詞判斷門檻會因為語言詞的模型形狀而變動，此設定能使後項語言詞能依歸屬函數的變化來表現模型真實的語言詞間之相對關係，並讓後項語言詞歸納結果更趨近於專家在語言詞所展現的思維。

因此新語言詞運算法如下，X 軸為一連續遞增數列，故設定 X 軸全長為一個 0 到 10 的數列，歸屬程度 Y 軸為一個 0 到 1 的數列。前項語言代表值為語言詞歸屬函數模型中該語言詞歸屬程度為 1(歸屬程度軸=1)之該點 X 軸值，若非單一點，則採平均數。

以圖 3.2 語言詞歸屬函數模型為例，圖中前項語言詞代表值為語言詞歸屬函數模型中該語言詞歸屬程度為 1(y=1)之該點 x 軸值。以 Medium 為例，其語言代表值為 4。若非單一點，則採平均數，以 Remote 為例，其語言代表值為 0.5。

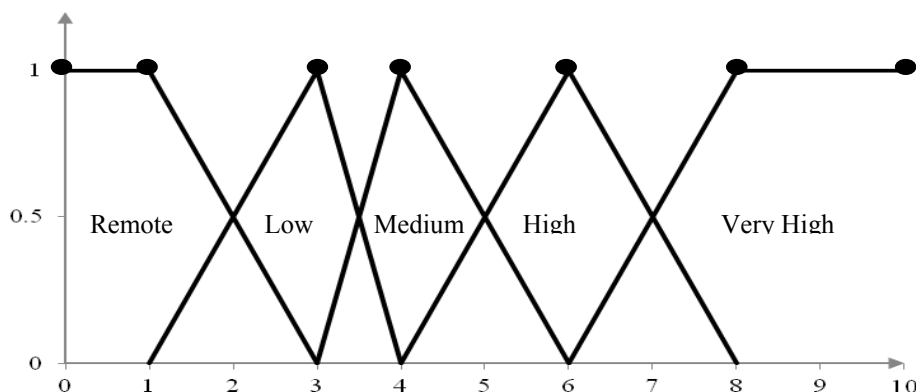


圖 3.2 前項語言詞判定值
資料來源：(李方中，2010)

後項語言詞判定值為語言詞間交點之 X 軸值，此設定能使後項語言詞模型的變化來表現模型真實的語言詞分佈，並讓後項語言詞歸納結果更能反映該語言詞歸屬函數模型設計之思維。以圖 3.3 為例，後項語言詞 Low 之 X 軸映射區段為 2 以及 3.5，故該語言詞之歸屬判斷門檻為 2 到 3.5 之間 (李方中，2010)。推論出來之數值依照比例計算可

推斷情況處於何種控制模式，後項語言詞之歸屬值為法則中的前項語言詞代表值與該變數重要性的乘積之和。

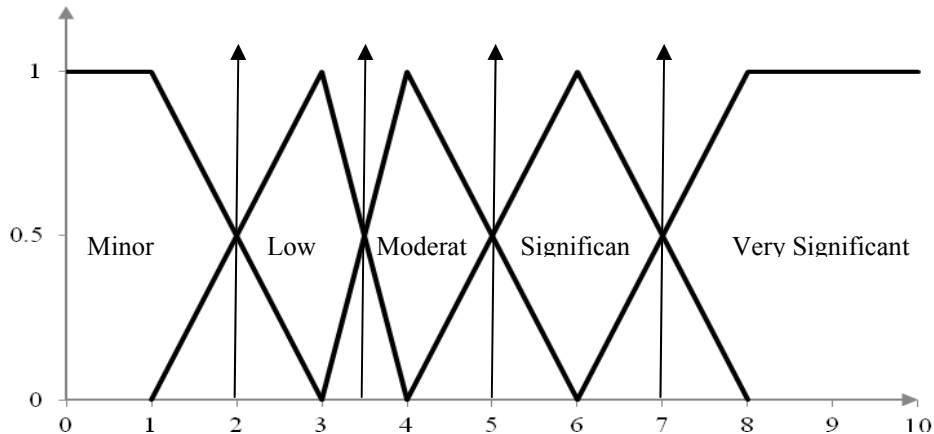


圖 3.3 後項語言詞判定值
資料來源：(李方中，2010)

3.1.3 模糊推論

模糊推論引擎是模糊的核心，可以藉以模擬人類思考決策模式，以達到解決問題之目的。本研究使用 Min-Max 推論法，此方法計算較簡易快速，已被廣泛應用於許多領域，並得到不錯的成效(Wang, 1997)。Min-Max 方法是對於個別的規則，於前提和結論兩命題間，取最小值 min 運算，而各規則的結論之間則採最大值 max 運算，故又稱「最大最小推論合成規則」(沈暉閔，2009)。

3.1.4 解模糊化

解模糊化基本上是将模糊運算所得的模糊輸出轉成實際數值，目的為取得與各情境屬性相同的數值。本研究使用重心法(center of gravity, COG)，此方法最常被選用，且計算結果較合理(Wang, 1997)。重心法是一種加權平均的算法，其方式為選取推論所得之模糊集合的重心點為輸出值，即為取模糊推論之面積取其重心點，最後可輸出一個明確值 y^* ，最後由此明確值轉換成人為疏失機率。公式如下：

$$y^* = \frac{\int_y yB'(y)dy}{\int_y B'(y)dy} \quad (\text{公式 3.2})$$

其中 $B'(y)$ 代表模糊推論之結果。 y^* 是被歸屬函數 B 所涵蓋區域的重心，為解模糊化後輸出之參數，分母即為 $B'(y)$ 之面積，分子計算出來之值即為該面積重心在 Y 軸上之投影位置(王文俊，2008)。

肆、案例分析

本章中將以一極端數據之案例進行驗證，其目的為證實本研究方法加入相對重要性後，更能精確的計算失敗機率，而案例取極端數值是為了更明顯的表達加入權重前後數值之差異。此模擬案例與文獻評析中之案例相同，故參照表 2.1 所示，以下為使用本研究方法計算人為疏失機率之過程，最後將與 2.4 節文獻評析使用原 Fuzzy CREAM 所得之人為疏失機率做比較。

4.1 發展 CPCs 之模糊集合及建立歸屬函數模型

Fuzzy CREAM 共有九個變數，即為共同績效條件，依照(Marseguerra *et al.*, 2007) 對於各變數給予其判別語言詞之分數，如表 2.2 所示，舉例說明：若 CPC 1 之分數為 10 分，則對應之語言詞為 Deficient，則表示此變數對於情況之影響為負面的。依照表 2.2 可繪製出歸屬函數之圖形，如圖 2.1 所示，Y 軸為歸屬函數，其範圍為 0 至 1，X 軸除了 CPC7 的變數為時間，故其論域為〔0,24〕外，其餘 CPCs 的論域皆為〔0,100〕。

後項控制模式使用四個語言詞描述之，如圖2.3所示，越左上角代表情況越好，越右下角代表情況越糟糕。由情況糟糕至良好分別為混沌控制模式、機會式控制模式、戰術式控制模式、策略式控制模式。一般學者將四種控制模式之失效頻率劃分為四種不同的頻率區間，其人為疏失的基本機率即可大致確定，如表2.3所示。依照表2.3可繪製出後項控制模式之歸屬函數圖型 如圖2.2，其每個模糊集合之頂點皆為取模糊集合之中間值，X軸為歸屬函數，Y軸則為取對數後之失敗機率。

4.2 新模糊法則運算法

依照新語言詞運算方法，可判斷變數之前後項語言詞門檻，前項語言詞加權值為歸屬程度軸(Y軸)=1之該點X軸值，如表4.3所示，以情境一為例，CPC 1之分數為90分，故依照表2.2可知其語言詞為Very Efficient，再對照表4.1可知其語言詞之加權值為100；而後項語言詞判斷方式為取模糊集合之交點，如圖4.1所示，依照圖4.1可繪製表4.2，推論出來之數值依照比例計算可推斷情況處於何種控制模式，後項語言詞之歸屬值為法則中的前項語言詞代表值與該變數重要性的乘積之和。

表 4.1 前項語言詞加權值

CPC		Membership Level Intervals			
1	Adequacy of organization	Deficient	Inefficient	Efficient	<i>Very Efficient</i>
		0	35	65	100
2	Working conditions	Incompatible	Compatible		<i>Advantageous</i>
		0	50		100
3	Adequacy of MMI	Inappropriate	Tolerable	Adequate	<i>Supportive</i>
		0	35	65	100
4	Availability of procedures and plans	Inappropriate	Acceptable		<i>Appropriate</i>
		0	50		100
5	Number of simultaneous goals	More than . . .	Matching . . .	Fewer than . . .	
		0	50	100	
6	Available time	Continuously . . .	Temporarily . . .	<i>Adequate</i>	
		0	50	100	
7	Time of day	Night	Day	Night	
		0	12	24	
8	Adequacy of training and experience	Inadequate	Adequate limited	<i>Adequate High</i>	
		0	50	100	
9	Crew collaboration	Deficient	Inefficient	Efficient	<i>Very Efficient</i>
		0	35	65	100

Note: 斜體表示改善 CPCs 的狀態，而粗體表示減少。

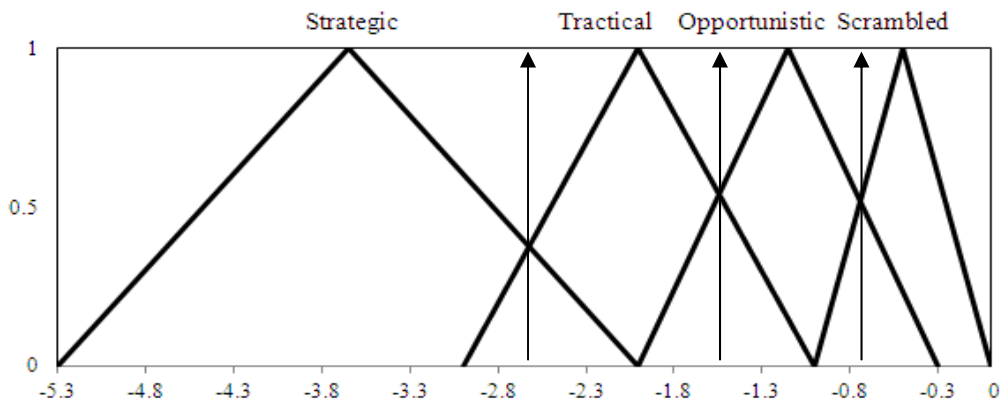


圖 4.1 後項控制模式判斷門檻

表 4.2 後項語言詞門檻

strategic	tactical	opportunistic	scrambled
-5.3 ~ -2.63	-2.62 ~ -1.55	-1.54 ~ -0.75	-0.74 ~ 0

情境一與情境二之 CPC1 至 CPC8 之權重設定為 0.02；而 CPC9 之權重為 0.84。其情境一之計算過程為：

$$100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 12 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 0 \times 0.84 = 14.24$$

而情境二之計算過程為：

$$0 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.02 + 12 \times 0.02 \\ + 100 \times 0.02 + 100 \times 0.84 = 96.24$$

由於前項之論域範圍為 0 至 100，而後項論域範圍為-5.5 至 0，故需換算比例後將其分數對應至後項論域。

$$\text{情境一之換算過程為：} \frac{14.24}{100} \times (-5.3) = -0.754$$

$$\text{情境二之換算過程為：} \frac{96.24}{100} \times (-5.3) = -5.1$$

情境一等於 -0.754，對應至表 4.2 可知-0.754 位於機會式控制模式區間內；情境二等於 -5.1，對應至表 4.2 可知-5.1 位於策略式控制模式內。

4.3 模糊推論

使用 Min-Max 推論法完成，Min-Max 方法是對於個別的規則，於前提和結論兩命題間，取最小值 min 運算，而各規則的結論之間則採最大值 max 運算，運算過程如下：

1. 依照法則列出各項結合

由於兩情境皆為極端值，故兩情境皆只有一條法則，如表4.5所示。情境一之CPC1分數為90分，語言詞為very efficient，對照圖2.1之圖形可取得其歸屬函數(Membership Function, MF)為0.8，依此類推則可繪製表4.5之前項(IF)歸屬函數。

2. 結合後項語言詞與歸屬函數

根據上述所列之法則後項之語言詞，結合變數狀況之最小值。情境一前項歸屬函數由表 4.5 可知，取歸屬函數最小值為 CPC 9 (0.6)；而情境二之前項歸屬函數取最小值為 CPC 1 (0.6)。

3. 取得相同語言詞範疇之最大值

根據上步驟取得之最小值之同範疇中求其最大值，情境一之後項語言詞皆為 Opportunistic，情境二之語言詞為 Strategic，由於歸屬函數只有一值0.6，故最大值同為

0.6，如表4.3所示。由於情境一為Opportunistic 0.6，情境二為Strategic 0.6，由圖2.2之圖形取得此兩個控制模式之圖形，並且畫出歸屬函數為0.6之圖形後繪製出圖4.2。

表 4.3 語言詞與歸屬函數(MF)

	CPCs	情境一之語言詞	MF	情境二之語言詞	MF
IF	1	very efficient	0.8	deficient	0.6
	2	advantageous	0.67	advantageous	0.67
	3	supportive	0.8	supportive	0.8
	4	Appropriate	0.67	Appropriate	0.67
	5	Fewer than actual capacity	0.67	Fewer than actual capacity	0.67
	6	adequate	0.67	adequate	0.67
	7	day	0.88	day	0.88
	8	adequate with high experience	0.67	adequate with high experience	0.67
	9	deficient	0.6	very efficient	0.8
THEN	COCOM	opportunistic	0.6	strategic	0.6

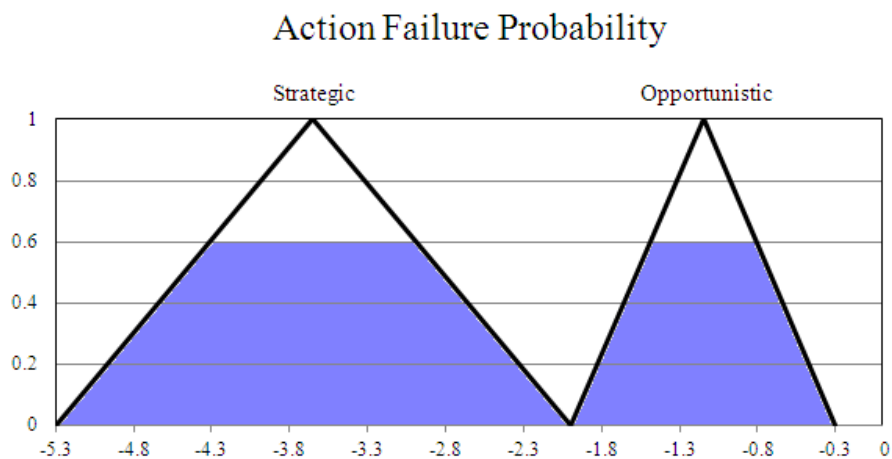


圖 4.2 Min-Max 推論後之圖形

4.4 解模糊化

為取得與各情境屬性相同的數值，模糊結論必須解模糊化。在此使用重心法之方法，依照公式 3.2 可列出下列算式：

情境一：

$$\frac{\int_{-2}^{-1.49} \left(\frac{y+2}{0.85}\right) y dy + \int_{-1.49}^{-0.81} (0.6) y dy + \int_{-0.81}^{-0.5} \left(\frac{-0.3-y}{0.85}\right) y dy}{\frac{(1.7+0.66) \times 0.6}{2}} = \frac{-0.8188}{0.708} = -1.145$$

所計算結果為-1.145，對照至表 4.2 可確定情境一之控制模式為機會式控制模式。由於後項控制模式之 X 軸是取對數方式呈現，如圖 2.2，故經過以下換算：

$$\log(X) = -1.145 \Rightarrow X = 7.16 \times 10^{-2}$$

由以上過程可知情境一控制模式為機會式控制模式，其人為疏失機率为 7.16×10^{-2} 。

情境二：

$$\frac{\int_{-5.3}^{-4.29} \left(\frac{y+5.3}{1.65}\right) y dy + \int_{-4.29}^{-3.01} (0.6) y dy + \int_{-3.01}^{-2} \left(\frac{-2-y}{1.65}\right) y dy}{\frac{(3.3+1.29) \times 0.6}{2}} = \frac{-5.05962}{1.377} = -3.674$$

所計算結果為-3.674，對照至表4.2可確定情境一之控制模式為策略式控制模式。由於後項控制模式之X軸是取對數方式呈現，如圖2.2，故經過以下換算：

$$\log(X) = -3.674 \Rightarrow X = 2.12 \times 10^{-4}$$

故情境一所處之控制模式為機會式控制模式，其人為疏失機率为 7.16×10^{-2} ，情境二為策略式控制模式，其人為疏失機率則為 2.12×10^{-4} 。

4.5 兩方法之比較

使用兩種Fuzzy CREAM方法計算後整理如表4.4，如2.4節所述，意外事故發生的原因分為許多種，而每種原因造成意外事故的機率會不同，而原Fuzzy CREAM並未考量變數之相對重要性，故最後結果同為策略式控制模式，其失敗機率也相同。使用本研究方法後可得知情境一之情況較為糟糕，其控制模式為機會式控制模式；而情境二則不變，同為策略式控制模式，可知本研究可更清楚表達每個CPC對於情境之影響程度。

表 4.4 兩方法之結果比較

	原Fuzzy CREAM		本研究	
	COCOM	失敗機率	COCOM	失敗機率
情境一	Strategic	2.12×10^{-4}	Opportunistic	7.16×10^{-2}
情境二	Strategic	2.12×10^{-4}	Strategic	2.12×10^{-4}

伍、結論

人為疏失常為意外事故發生的主因，因此人為可靠性評估乃為非常重要之研究課題，本研究針對人為可靠性評估內之 Fuzzy CREAM 方法進行改良。

由於傳統模糊理論步驟中的模糊推論，語言詞判斷不會隨著語言詞歸屬函數模型改變而變化，無法充分表達與言詞間的相對關係，導致歸納語言詞出現分配不平均之現象。故本研究使用新模糊法則運算法，能詳細評估每個語言詞歸屬函數中語言詞，使每個語言詞之權重程度能充分表達語言詞間之對應關係，並改良了各變數之相對重要性不會一致之缺點。並加入各變數之相對重要性，具有考量不同變數比重不同之特點，因此對於欲評估之情境若受到多項因素影響時，可考慮各項因素之影響程度之優點。

此外，本研究目前應用模擬情境作為驗證，未來希望能實際應用至實務上之課題。

參考文獻

1. 李方中，2010 新風險評估模糊模型之發展，國立台灣海洋大學商船學系碩士論文，基隆市。
2. 沈暉閔，2009，以模糊理論為基礎之人為疏失量化機率評估方法之發展，國立台灣海洋大學商船學系碩士論文，基隆市。
3. 游原鑑，2011，矽甲烷供氣系統作業人為可靠度評估，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，桃園縣。
4. 王文俊，2008，*認識 Fuzzy*，第三版，全華科技圖書，台北。
5. Bell, J. and Holroyd, J., 2009. Review of Human Reliability Assessment Methods. *Health and Safety Executive*
6. Fujita, Y. and Hollnagel, E., 2004. Failures without errors: quantification of context in HRA. *Reliability Engineering and System Safety*, vol.83, pp.145-151
7. Hollnagel E., 1998. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Elsevier Science Ltd. : Oxford, UK
8. Konstandinidou, M., Nivolianitou, Z., Kiranoudis, C. and Markatos, N., 2006. A fuzzy modeling application of CREAM methodology for human reliability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, vol.91, pp.706-716
9. Lyons, M., Adams, S., Woloshynowych, M. and Vincent, C., 2004. Human reliability analysis in healthcare: A review of techniques. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, vol. 16, pp.223-237.
10. Marseguerra, M., Zio, E. and Librizzi, M., 2006. Quantitative developments in the cognitive reliability and error analysis method (CREAM) for the assessment of human performance. *Annals of Nuclear Energy*, Vol.33, pp.894-910
11. Marseguerra, M., Zio, E. and Librizzi, M., 2007. Human Reliability Analysis by Fuzzy CREAM. *Risk Analysis*, Vol. 27, pp.137-154
12. UK P&I Club., 2003. UK P&I Club Report, <http://www.ukpandi.com>(accesses 4 March 2011)

13. Wang, L. X., 1997. *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall International, Inc.: New Jersey
14. Wang, A., Luo, Y., Tu, G. and Liu, P., 2011. Quantitative Evaluation of Human-Reliability Based on Fuzzy-Clonal Selection. *IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY*, Vol. 60, PP.517-527