

以失效模式與效應分析為基的製程問題 分析模式－以奈米碳管背光模組為例

邱創鈞¹ 方勇盛² 蔡禎騰²

¹大葉大學工業工程與科技管理學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

²東海大學工業工程與經營資訊學系

40704 台中市西屯區台中港路三段 181 號

摘要

背光模組製造為平面顯示器產業中重要的上游產業，研發人員需積極開發新的製程以提高產品的品質與效能。而奈米碳管背光模組（carbon nano-tube back light unit, CNT-BLU）為可取代現行背光模組之最具潛力的製程。然而，CNT-BLU 製程仍處於研發階段，有許多製程問題須加以克服。一般工程師在面對製程問題時僅能依照自身主觀經驗判斷問題的主要原因，缺乏一套系統性分析機制，通常在試誤過程中浪費寶貴的研發時間與成本。因此本研究乃以失效模式與效應分析理論為基本架構，提出一套結合故障樹分析、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論等方法的製程問題分析模式。並將此系統性分析模式導入 CNT-BLU 製程問題，進行實際案例驗證。結果發現本分析模式所得到之結果與實際驗證之原因相吻合。如此顯示本研究模式之適用性，亦即本分析模式可作為 CNT-BLU 製程問題分析的有效工具，此外本模式並可供相關人員訓練之參考。

關鍵詞：失效模式與效應分析，故障樹，特性要因圖，模糊德菲法，奈米碳管背光模組

An Analytical Model for an FMEA-Based Manufacturing Process Problem Applied to a Carbon Nano-tube Back-Light Unit

CHUANG-CHUN CHIOU¹, YUNG-SHENG FANG² and JENTENG TSAI²

¹Department of Industrial and Technology Management, Da-Yeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua, Taiwan 5159, R.O.C.

²Department of Industrial Engineering and Enterprise Information, Tunghai University

No. 181, Taichung Harbor Rd., Sec. 3, Taichung, Taiwan 40704, R.O.C.

ABSTRACT

The back-light unit is one of the most important upstream sectors in the TFT-LCD (thin-film transistor liquid-crystal display) industry. The Carbon Nano-tube Back-Light Unit (CNT-BLU) is a

highly potential product which uses a CNT back-light source to replace the current back-light unit for display products. Presently, CNT-BLU development is encountering various process problems, detected by engineers on the basis of personal experience. Due to trial-and-error, determining the causes of these various problems usually requires considerable time and cost in the R&D stage. In this report, a modified CNT-BLU Manufacturing Process Problem Analysis Model based on Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), in combination with Fault Tree Analysis (FTA), a Cause and Effect Diagram, a Fuzzy Delphi and Fuzzy Inference, is presented. After a real-world case comparison, the results obtained from the proposed FMEA model are promising, showing the capability of process problem analysis. Moreover, this model can provide a useful training tool for engineers to analyze CNT-BLU manufacturing process problems.

Key Words: failure mode and effect analysis (FMEA), fault tree analysis (FTA), cause and effect diagram, fuzzy delphi, carbon nano-tube back light unit (CNT-BLU)

一、緒論

在全球不景氣的衝擊下,台灣高科技產業廠商正面臨嚴苛的競爭與挑戰。高科技產業具有高風險、快速變動、產品生命週期短、技術門檻高的特性,使從事高科技產品研發製造的企業必須具備更快速的因應能力,方能在競爭激烈的環境中生存 [10, 22]。而平面顯示器的製造為台灣近年來主要的重點產業,產業結構相當完整。上中下游廠商為了保持優勢不斷提升研發速度、品質水準、與成本的降低。依據 DigiTimes Research [1] 報告指出,背光模組成本佔液晶顯示器總成本 40% 以上。由此顯示背光模組製造為平面顯示器產業中最重要之上游產業。工研院參考電漿顯示器厚膜網印製程研發以奈米碳管作為發射源的新型背光模組製程,奈米碳管背光模組 (carbon nano-tube-back light unit, CNT-BLU) 取代現行的背光模組製程,將成為大尺寸液晶顯示器最具潛力的背光源選擇 [24]。

目前 CNT-BLU 製造仍處於研發改善階段,在製程、設備、物料、人員技術等各方面皆尚未完善,且各項因素的關連性高。因此當製程失效問題發生時,其原因分析過程相當複雜。CNT-BLU 製程可分為陰極板製程、陽極板製程及封裝製程。其中陰極板製程較為複雜,它包含了奈米碳管漿料網印的製程與發光源的製作,因此對於 CNT-BLU 整體製程的影響更為顯著。

以往工程師在面對製程問題最直接的作法是依據本身的經驗,針對發生的問題來推測造成失效問題的原因,並作設備參數、物料比例及操作程序上的調整,希望能達到改善問題。如此將使研發階段中工程師可能在不斷的嘗試錯誤過程中,浪費了寶貴的時間與成本。

本研究針對 CNT-BLU 陰極板製程在研發階段常面臨的製程失效問題,建構失效分析模式,預先考量造成製程失效的關鍵原因。使研發人員在有限的時間及成本下,集中在關鍵原因的改善上。如此將可有效縮短解決產品製程問題的時間,以達到縮短研發流程時間及成本的目的。本研究乃以 FMEA (failure mode and effects analysis) 為主要架構,並結合故障樹分析、特性要因圖及模糊理論中的模糊德非法 (fuzzy delphi) 與模糊推論 (fuzzy inference),來建構製程問題分析模式,並以 CNT-BLU 陰極板製程問題為例加以說明。

二、文獻探討

(一) 奈米碳管背光模組 (CNT-BLU)

1. 奈米碳管背光模組結構

CNT-BLU 的結構如圖 1 所示, CNT-BLU 的設計概念主要是源自於電漿顯示器的製程結構,主要是包含了下層的陰極板 (cathode)、中間的奈米碳管發射源 (CNT emitter) 及銀電極、上層的陽極板 (anode)。主要原理說明如下:當輸入特定電壓後,陰極線上的奈米碳管將會因為閘極線上的電位較陰極線高,而將奈米碳管激發出的電子束射向閘極線。然而在同一時間,也因為陽極板的電位比閘極線更高,因此被閘極電壓吸引過來的電子束會被導引至陽極板。並且經由結構上的設計,電子束將會打在陽極板的螢光粉區域,而達到發光的目的。

2. 奈米碳管背光模組與現行背光源比較

由表 1 中可發現,冷陰極燈管 (cold cathode fluorescent lamp, CCFL) 之最大優點為製程的穩定性高,成本低廉,但

CNT-BLU

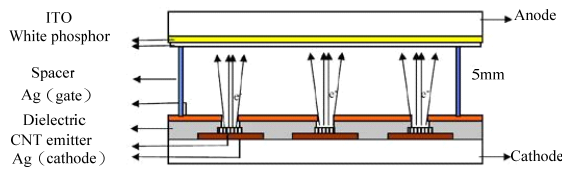


圖 1. 奈米碳管背光模組 (CNT-BLU) 結構圖 [2]

表 1. 現行背光模組優缺點比較 [26]

項目	優點	問題	
現有產品	CCFL	<ul style="list-style-type: none"> • 電器與光學特性安定 • 壽命長 • 耐震 • 耐點滅 	<ul style="list-style-type: none"> • 含汞 • 長管化時有安全性及穩定性問題
替代方案	無水銀燈管	<ul style="list-style-type: none"> • 無水銀符合環保 	<ul style="list-style-type: none"> • 效率較低 • 周邊新材料需要開發 • 製作不易
	EEFL	<ul style="list-style-type: none"> • Inverter 數目較少 • 壽命較長 • 有發光效率高 	<ul style="list-style-type: none"> • 無法提升至高管電流 • Inverter 開發不易
	平面光源	<ul style="list-style-type: none"> • 無水銀符合環保 	<ul style="list-style-type: none"> • Osram 掌握專利權
	ZaULas	<ul style="list-style-type: none"> • 利用電路系統減少 Inverter 數目 	<ul style="list-style-type: none"> • 使各管電流穩定是最大課題
	LED	<ul style="list-style-type: none"> • 混光演色性較佳 	<ul style="list-style-type: none"> • 成本較高 • 散熱問題 • 壽命軍齊度與輝度衰減之均齊度差

若要當作大型背光模組的背光源將會有長型化後不穩定的現象。所列 CCFL 替代方案都可以避免掉因含汞而帶來的環保問題，相對來說，在製作技術困難度、製程穩定性、成本、專利權上都仍面臨著相當大的挑戰。由表 2 [2]，可以看出

CNT-BLU 在成本、表面溫度、驅動電壓上的評比相較其他背光源都顯得更有優勢。更特殊的優勢是面對 CCFL 最受爭議的環保問題及大面積化問題時，CNT-BLU 皆可完全的克服。

(二) 失效模式與效應分析 (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

FMEA 為一種預防失效的系統分析技術，強調在系統失效之前，先行探討潛在失效模式、失效原因，並應用可靠度功能方塊圖分析子系統對主系統失效之影響程度，使工程師能在失效未發生前即採取措施以避免失效發生或減低發生的機率 [23]，並提供工程師面臨製程問題時有一套標準分析步驟，以進行製程問題改善。

FMEA 原理簡單，基本上是定性分析，也可進行定量分析。適合在設計階段使用 (design FMEA, DFMEA)，亦可在製造階段使用 (production FMEA, PFMEA)，任何生產事業，如機械、航空、汽車、半導體等均可適用。可根據顧客對產品設計與製造需求的影響性，列出失效模式的改進順序，由企業按優先順序逐一改進。並可提供製作故障樹 (fault tree analysis, FTA) 的基礎，有助於編寫失效檢修手冊。標準之建立，有助於企業內之教育訓練成效。提供設計評估、製造現場解決問題的參考資料，用以累積工程經驗，締造「知識管理」的效果。對於硬體設備的檢核相當徹底，可兼具 What-if 分析法之優點。而其缺點為：具有多功能、大量零組件的複雜性產品，將其系統分解後施以 FMEA 要考慮的細節太多，執行起來就顯得繁雜而困難。FMEA 主要是進行表格化、文件化並需要隨時修訂，工作量大且費時，尤其是系統末端的零件評價改變時。多項失效模式同時作用或相互

表 2. 各式背光源技術在關鍵指標上之比較

	CNT	CCFL	W-LED	Plasma
Cost	0.6-1.5	1	1.5-3	1-2
Surface Temp (°C)	<40	<50	<50	<50
Color (NTSC)	95-105%	70-85%	95-105%	95-105%
環保	Vacuum device	Hg	No metal and HG	稀有氣體
Large scale	To 80"	To 30"	Difficult for >30"	To 80"
Efficiency	20-40 lm/W	30-40 lm/W	25-30 lm/W	20-40 lm/W
權利金	自有	X	日亞...等	Osram
Uniform	>85%	>85%	>70%	>85%
BrightnesLife	>10000 nits >20000 hrs	>10000 nits >2-50000 hr	>10000 nits >500000 hrs	>7000 ni >100000
Power (W)	<80	100-125	Data 不足	>100
Company	SDI-Corning、LG		SDI、SONY、NEC	Osram

影響，將難以進行分析。計算風險優先值（risk priority number, RPN）時，常會因為主觀意識或資料不足而導致風險優先順序不能反映真實現象 [4, 12, 13, 19]。王振平 [4] 指出 FMEA 是由單點失效出發，對於兩個以上原因所造成的事故較無法掌握，因此建議以故障樹分析結合 FMEA，將可解決 FMEA 上述缺點。

在文獻探討中已修訂特別強調本論文與過去文獻不同之處：高科技產業中曾有單獨使用 FMEA 進行製程改善，亦使用 FMEA 結合其他分析方法 [3, 15, 18, 26]。而陳耀茂 [14] 指出在故障樹分析中可搭配品管七大手法中的特性要因圖，將可以使分析結果更為明確。此外，陳文欽等人 [13] 及 Yeh 與 Hsieh [36] 提出 FMEA 在計算風險優先值之過程中，常會因為主觀意識或資料不足而導致風險優先順序不能反映真實的問題。因此導入模糊理論至 FMEA 中，避免人員因主觀意識造成的誤差。然而，目前尚無文獻運用本研究所提之整合四種方法（失效模式與效應分析、故障樹、特性要因圖、模糊德菲法）之製程面改善分析方法。

本研究旨在以 FMEA 為主要架構，建構一個製程問題之分析模式，並以 CNT-BLU 製程問題作為模式之驗證。主要貢獻如下：

1. 透過 FMEA 結合其他分析技術，提供研發人員一套步驟系統化的製程問題分析模式。
2. 藉由文獻探討與專家訪談找出 CNT-BLU 的製程特性與製程問題影響原因。
3. 作為 CNT-BLU 量產階段之前導性研究。

（三）故障樹分析

一般故障樹分析可分為三個階段 [17]：

1. 階段一：先決定想防止的事件

先選出一個設想事故，並決定為何它會發生，在哪一種情形下發生，再進行檢討。當各種事情可能有各種組合時，需注意下列事項：

- （1）系統式的探索方法是需要的；
- （2）必須清楚記錄有關的「事象」與探索的內容；
- （3）記述常會捨去現實的型態；
- （4）以圖形表示結果將更容易發揮人的思考能力。

2. 階段二：製作故障樹

運用定性資料與定量數據的分析，對最初所設想之事故找出現狀系統的最弱的地方。在思考所有的弱點時，需對弱點作事先評價的動作。評價後，弱點若是非常重要的，就必

須去應付處理，若是並非那麼嚴重的弱點，只需簡單的改良，可優先解決。

3. 階段三：整理結論

重點在思考如何與現實妥協。當製作故障樹以後，需調查裝置的弱點，並分別加以評價。其結果所斟酌的改善方案通常並非一個，有時也會出現互斥的方案，因此作出決定的方式即為與現實的妥協。

（四）模糊相關理論

模糊理論是由美國加州大學自動控制學家 Zadeh [37] 於 1965 年首先提出。主要是為了解決真實世界普遍存在的模糊現象而發展的一門學問。模糊理論並不需要很繁複的計算過程，就可以將不確定性的「程度」表達出。其涵蓋的範圍甚廣，包括模糊集合、模糊關係、模糊邏輯、模糊量測與概似推論等 [21]。

1. 模糊德菲法

傳統德菲法（Delphi method）乃專家預測法，亦是群體決策法的一種。主要目的在於尋求專家們對特定問題之一致性意見。實施過程中藉由問卷反覆調查的方式來詢問某一領域中具有專業研究之專家，並敘述其對預測項目的看法。雖然此方法可以達到集思廣益的效果 [8, 11]，但仍具有調查次數過多、時間耗費太久、研究成本過多、專家意見被扭曲的缺點 [5]。

針對以上缺點，Ishikawa 等人在 1993 年 [31]，將模糊理論導入德菲法中並使用幾何平均數作為決策群體篩選評估準則的依據。由實證分析，得到以下結論：（1）與傳統德菲法之結果相接近；（2）可藉由此方法減少問卷次數；（3）在時間與成本上更具有經濟效益；（4）能夠充分展現專家個人特質；（5）對於專家知識，經由模糊理論的處理，更符合實際情況 [9, 31]。

模糊德菲法的進行步驟分為三階段如下 [6, 31]：

- （1）蒐集決策群體意見：利用問卷的方式，蒐集決策群體的意見，以取得每位專家對各個初始指標之評價值。
- （2）建立三角模糊數：將從專家問卷所蒐集到之專家評估值，建立每項影響因素之三角模糊數。
- （3）篩選評估指標：將得到之三角模糊數，再以每個影響因素模糊三角函數中之幾何平均數為其隸屬函數 T ，用以代表決策群體對此因素評價值之共識。最後依研究目的決定合適的門檻值 S ，並透過下列的方式篩選出較適當的評估準則。

- $MA \geq S$ ，接受 A 影響因素為評估準則。
- $MA < S$ ，刪除 A 影響因素。

其中，MA 為決策群體對 A 影響因素之共識，S 為門檻值。

然而在 FMEA 中的風險權重值需同時考量到 3 項指標，分別為嚴重度、發生度、難檢度。因此在使用模糊德菲法進行步驟三時，不能僅依照幾何平均數作為團體的評估值。必須作一調整。陳文欽等人 [13] 建議以算數平均數的觀念將三角模糊數轉成單一指標，並導入模糊推論以進行評估風險權重。因此本研究在參考陳文欽等人 [13] 研究後，決定導入此修正後的模糊德菲法，使製程問題分析模式能考量到多人決策的情況，並滿足 FMEA 的使用限制。

2. 模糊推論

模糊系統之基本功能包含 [7]：模糊化機構(fuzzifier)；模糊規則庫(fuzzy rule base)；模糊推論引擎(fuzzy inference engine)；去模糊化機構(defuzzifier)。所謂模糊推論就是模擬人類思考與決策的方式，將輸入系統的語言變數經由模糊推論的方法得到一個合理的系統輸出，亦可稱為近似推論。模糊推論主要的目的就是將傳統的邏輯推論運算推展至模糊推論運算。各種推論法則在應用上都各有優缺點，以下把最常被使用的最小-最大合成運算法步驟作概述 [24]：

- (1) 每個輸入變數在前件部 (premise part) 對應歸屬函數可以對應到一個歸屬度，代表語言所表達的程度。
- (2) 將前件部歸屬度，透過取最小值的過程，對每一模糊規則，在前半部得到權重值。
- (3) 根據每一模糊規則的權重，產生對應每一模糊規則的後件部 (consequent part)。
- (4) 經由後半部的解模糊化，產生明確輸出。

一般常用的解模糊化方法有重心法 (center of gravity, COG)、平均值最大法 (mean of maximum, MOM) 和面積中心法 (center of area, COA)、最大加權平均法 (weight mean of maximum, WMOM)。各方法之間並無好壞之分，只因各自的適用情況而有所差別。由於最大加權平均法可滿足下列兩項解模糊化的策略：(1) 結果落在關鍵性順序的連續範圍上；(2) 規則評估要根據『真實程度』考慮相符的規則 [13, 20]。

經上述對於 CNT-BLU、FMEA、故障樹、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論進行深入的瞭解與探討後。我們發現 FMEA 可以對研發階段的製程進行系統性的分析，而故障樹

與特性要因圖可以使分析的過程中考量到更多的面向，補足 FMEA 的缺點。另外，經由模糊德菲法、模糊推論與 FMEA 的結合，我們可對研發過程中，常面臨的團體決策中取得客觀的共識，並計算出各個製程問題原因的風險權重值，以作為比較之用。

三、研究方法

(一) CNT-BLU 陰極板製程

陰極板製程可分為 10 個製程。製程流程圖如圖 2 所示。

目前 CNT-BLU 仍處於實驗室原型的功能改善階段。因此在設備參數、材料、結構、製造方法上，常因功能上的需求異動而作改變。本研究根據上一小節所描述的陰極板製程步驟，整理陰極板的製程特性如下：

1. 此製造流程在 Hayes 與 Wheelwright [30] 所提出的四種主要製造程序中，係歸屬於零工式流程 (job shop)。也就是指每片陰極板都需經由不同的子製程才能完成，而且子製程間的前後順序不能更換。
2. 陰極板製程與半導體、電漿顯示器的製程具有某方面共同的製程。例如，三者皆須經由黃光區的曝顯製程製作所需特定圖案，因此在製造技術的困難度上都較高。
3. 在每一個子製程中都有檢驗的項目，其主要目的是，避免在此製程中所發生的問題影響到後製程的製作。因此，只要某一片玻璃機板在某一製程中發現問題，就必須立即針對此問題作全面了解及作及時性的改善。
4. 由於 CNT-BLU 尚處於研發的試作階段，目的是為了在少量的製作過程中，製作出符合廠商要求規格的陰極板。因此在檢驗的方式中，所有的陰極板在製作的每一過程中都是以最高標準作檢查，亦即檢驗上所謂的全檢。

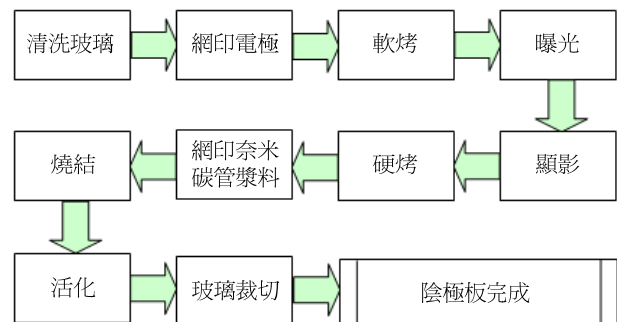


圖 2. 陰極板製程圖 [2]

- 5. 當檢驗出不合格的情形時，只要在燒結製程前都可以以重製 (rework) 的方式來執行。但在燒結階段之後發生問題的陰極板，只能以丟棄 (scrap) 方式，或被工程師拿來當作實驗試驗片之用途。
- 6. 由於試作階段與量產階段所著重的目的不同，而可蒐集到的資料量與功用也不同。目前在各子製程蒐集到的數據主要是提供工程師在進行下一批實驗時的參數改變考量。此與在量產時，著重的良率提升有較大差異性。
- 7. 此陰極板的製作皆由專案小組人員負責。專案小組成員雖然負責各自特定的子製程，但對於其他各子製程也都具有一定程度的瞭解與親身實作體驗。

由特性 1 可以得知，各個子製程都可以看作是各自獨立的系統。因此每一子製程都可個別進行失效模式的分析。如要作全體失效的評量，也可將陰極板視為母系統，並利用失效模式加以分析。

由特性 2、特性 3 可得知，當某一製程出現問題時，確實造成問題的原因或隱形的原因並不容易直接發覺。因此若能使用故障樹及特性要因圖進行系統性的分析，將可快速找到影響問題的關鍵因素，使工程師能大大降低解決問題所花費的時間。

由特性 4、特性 5 可得知，由於檢驗時是以高標準作檢驗，因此花費的時間相對將會較高。況且若是在燒結製程後才檢驗出問題，由於處理方式大多偏向於以丟棄方式處理，因此所花費的材料及人工成本將會大大的提升。所以，如果能有效的判斷失效原因，降低再次失敗的機率。在檢驗上，將可不需要以如此高標準作檢測，如此即可有效降低時間與成本的壓力。

由特性 6、7 可得知，在數據的屬性上與量產數據的意義有極大的差異，因此當進行 FMEA 進行問題分析時，定量的數據取得較困難且不具意義。所以，若能由專案小組人員進行團體式的評量，將可解決此部分所面對的問題

(二) CNT-BLU 陰極板製程問題分析模式

綜合上述所歸納陰極板製程的特性之後，並結合故障樹分析理論、特性要因圖、模糊德菲法，發展出 CNT-BLU 陰極板製程問題分析模式 (圖 3)。

第一階段結合故障樹分析步驟 [27] 針對發生的製程問題作明確定義；第二階段製作 FMEA 表格並加入故障樹圖形及特性要因圖對問題發生之原因作清楚描述；第三階段以模糊德菲法及模糊推論將第二階段蒐集的數據加以統整

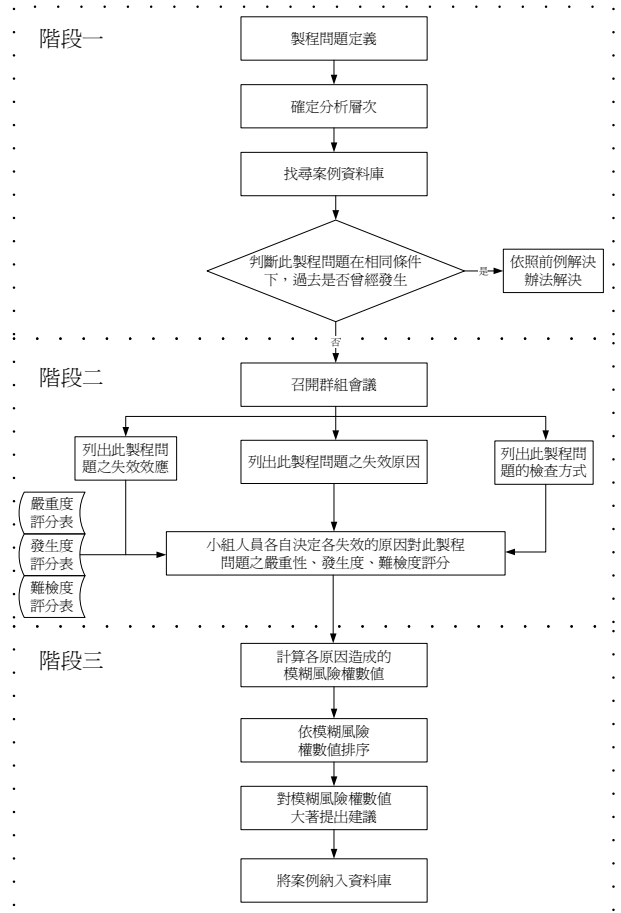


圖 3. CNT-BLU 陰極板製程問題分析模式

及計算，求出各原因的風險權重值，以作為判斷的依據。

1. STEP 1 製程問題定義：當各單站製程問題發生時，由各單站負責人員，針對問題利用表單進行明確的問題描述。主要目的是將引發此問題之現場條件詳加記錄與描述，以作為工程師作後續處理的參考依據。表單內容如表 3 所示。
2. STEP 2 確定分析層次：系統通常由許多不同零件層層組合而成，為了明確區分 FMEA 分析的界線，在執行 FMEA 前須先確定分析的層級 [14]。因此，在本步驟中利用分

表 3. 陰極板製程問題說明表

問題現象：(a)			
板號	製程	步驟	設備
(b)	(c)	(d)	(e)
參數	發生地區	發生時間	操作人員
(f)	(g)	(h)	(i)
問題分類碼：(j)		備註：(k)	

級展開表繪出陰極板製程的各階層次表，如表 4 所示。當製程問題發生時，可藉由此分級展開表判斷出，該製程問題可能會對哪些次製程造成影響，及哪些次製程造成此製程的問題產生。

3. STEP 3 找尋案例資料庫：藉由製程問題的編碼，工程師

表 4. 陰極板製程分級展開表

階層一	階層二	階層三
陰極板	清洗玻璃基板	放置玻璃
		調整玻璃機台參數
		沖洗玻璃
		清洗完畢取出玻璃
	網印電極	放置玻璃
		調整網印機台參數
		倒上電極材料
		啟動機台
		回墨刀刮動電極材料
		刮刀刮印電極材料
	軟烤	網印完畢取出玻璃
		放置玻璃
		調整烘烤溫度及時間
	曝光	烘烤完畢取出玻璃
		放置玻璃
		調整曝光參數
	顯影	曝光完畢取出玻璃
		放置玻璃
		調整顯影參數
	網印奈米碳管漿料	顯影完畢取出玻璃
		放置玻璃
		調整奈米碳管網印機台參數
		倒上奈米碳管漿料
		啟動機台
回墨刀刮動奈米碳管漿料		
刮刀刮動奈米碳管漿料		
網印完畢取出玻璃		
燒結	放置玻璃	
	調整燒結參數	
	燒結完畢取出玻璃	
活化	裝膠膜	
	放置玻璃	
	調整壓模機參數	
	壓模後用手撕開	
	活化完畢取出玻璃	
玻璃切割	放置玻璃	
	調整玻璃切割機參數	
	切割完畢取出玻璃	
	製片機製片	

可在資料庫中找尋以往是否有曾經出現過相同或類似的案例。而在本研究中所指之資料庫，主要為 CNT-BLU 廠商之工程師所提供的案例資料庫。

4. STEP 4 判斷此製程問題過去在相同條件下是否曾經發生在搜尋案例資料庫之後，如果發現此製程問題過去在相同的製程條件下，曾經發生過，即以過去經驗的處理方式去作改善。如果此製程問題未曾發生過，即進入第二階段的分析。

5. STEP 5 召開群組會議：接續第一階段的 STEP 4，由專案小組組長召集專案小組相關人員針對此製程問題進行團體討論。就專案小組而言，小組人員雖然平時只負責各自之單站工作，但在職前訓練及每週固定的團體會議討論後，皆可對所有製程問題有一定程度的認識，進行群組會議。

6. STEP 6 列出製程問題的失效效應、失效原因、檢查方式：

- (1) 專案小組人員依照自身經驗列出此種製程問題造成的失效效應、失效原因、檢查方式。
- (2) 將小組成員列出的失效效應、失效原因、檢查方式匯總後，匯入一張 FMEA 表格。
- (3) 將失效原因間的連結關係繪製成故障樹分析圖。
- (4) 將失效原因繪製成特性要因圖。

7. STEP 7 專案人員針對各原因對製程問題的嚴重度、發生度、難檢度作評分。由於 CNT-BLU 尚在研究室試作階段，因此在使用 FMEA 衡量尺度（嚴重度、發生度、難檢度）時，經由定量數據的考量較為困難。因此，在此步驟中是依照專案人員的經驗來作定性的分析。各專案人員需依據自身經驗及評分表（如表 5-7），針對在 STEP6 時匯總的 FMEA 表格中的各個子原因的嚴重度、發生度、難檢度作出各自的評分。

表 5. 嚴重度評分表

嚴重度（與意等級）	分數	評分標準
非常低	1	完全不嚴重
	2	幾乎不嚴重
低	3	很小嚴重
	4	不太嚴重
中等	5	中度嚴重
	6	中高度嚴重
高	7	嚴重
	8	很嚴重
非常高	9	非常嚴重
	10	極度嚴重

表 6. 發生度評分表

嚴重度 (與意等級)	分數	評分標準
非常低	1	不會發生
	2	幾乎不會發生
低	3	有微小機會發生
	4	有少許機會發生
中等	5	有中度機會發生
	6	有中高度機會發生
高	7	有高度機會發生
	8	很高機會發生
非常高	9	幾乎一定發生
	10	一定發生

表 7. 難檢度評分表

嚴重度 (與意等級)	分數	評分標準
非常低	1	一定可以檢查出
	2	有非常高的機率檢查出
低	3	有很高的機率檢查出
	4	有高的機率檢查出
中等	5	有中高度的機率可以檢查出
	6	有中度的機率可以檢查出
高	7	有小的機率可以檢查出
	8	有非常小的機率可以檢查出
非常高	9	有微小機會可以檢查出
	10	完全檢查不出

評分表可分為嚴重度、發生度、難檢度評分表，而各評分表的尺度水準與等級皆為專家所自訂。

- (1) 嚴重度評分表 (如表 5)：嚴重度：每個子原因造成製程問題的嚴重程度，共分為 5 個等級，分別為非常低、低、中等、高、非常高，並以 1-10 分來表示，影響程度越嚴重者分數越高。
- (2) 發生度評分表 (如表 6)：發生度：造成製程問題之每個子原因的發生機率，共分為 5 個等級，分別為非常低、低、中等、高、非常高，並以 1-10 分來表示，發生機率越高者分數越高。
- (3) 難檢度評分表 (如表 7)：難檢度：在此製程問題中，各個子原因不被檢查出的困難程度，共分為 5 個等級，分別為非常低、低、中等、高、非常高，並以 1-10 分來表示，被檢查出之機率越低者分數越高。

8. STEP 8 計算各原因造成的模糊風險權重值

由 STEP 7 中可發現專案小組每位組員針對製程問題的分析評分，由於每位組員工作經驗與主要負責的製程不同，因此造成對嚴重度、發生度、難檢度的評分分數有所不同。

為了避免個人主觀意識的影響造成偏頗的情形，因此導入 Klir 與 Folger [32] 提出的模糊德菲法 (fuzzy Delphi method)，利用幾何平均數作為三角模糊數的中間值，來整合專案小組的意見，如此將可使關鍵原因的判斷能更符合事實現狀。Saaty [33] 認為在處理平均數一般化時，使用幾何平均數來代表專家們的決策共識，將可以得到較佳的結果。因此，本研究將使用幾何平均數作為三角模糊數的中間值。在使用模糊德菲法將專案小組人員對各原因的嚴重度、發生度、難檢度形成模糊集合後。我們需再將模糊集合透過模糊理論將其解模糊化，得到明確的模糊風險權重值後，才能加以判斷。陳文欽等人 [13] 將此方法應用在新產品開發時之企業決策上，並計算出各失效因子之模糊風險權重值。因此，本階段參考上述文獻使用的方法加以結合，其實施步驟如下：

- (1) 將每一位專家針對某一製程問題每一發生原因所填寫的嚴重分數、發生度分數、難檢度分數，各作其最小值 (l)、幾何平均數 (m)、最大值 (u) 的計算，並以此代表每個原因之嚴重度、發生度、難檢度的三角模糊集合。
- (2) 在最小值、幾何平均數、最大值所構成的三角模糊集合中，為了平衡兩個極端值造成此模糊集合的誤差。因此本步驟參考使用陳文欽等人 [13] 所提出之轉換式，將上述計算得到的每一原因之最小值、幾何平均數、最大值利用平均數法，如式 (1) 所示，轉換成單一值 (K)，作為此模糊集合之模糊數。

$$K = \frac{[(l - m) + (u - m)]}{3} + m \quad (1)$$

因此，在此步驟可以得到各個原因的嚴重度、發生度、難檢度所對應之 k 值。在此以 k_{ij} 表之。

$i=1, 2, 3, \dots$ 表原因項目。

$j=1, 2, 3$ 分別表嚴重度、發生度、難檢度。

- (3) 將嚴重度、發生度、難檢度之評分表轉化為歸屬函數圖：由於在本研究中專家訂定之嚴重度、發生度、難檢度的語意等級皆相同，因此所對應出之歸屬函數亦相同，如圖 4 所示。由於歸屬函數圖者皆相同，因此歸屬函數亦相同。以下列出每一尺度之歸屬函數如式 (2) 至 (6)。

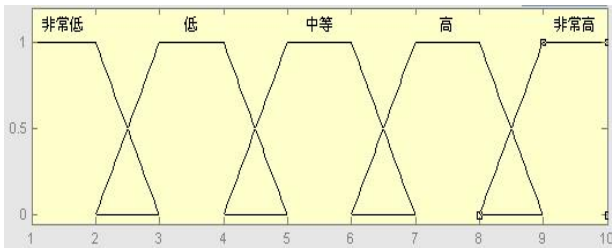


圖 4. 歸屬函數圖

$$\text{非常低: } u(k) = \begin{cases} 0, & k < 1 \\ 1, & 1 \leq k \leq 2 \\ 3-k, & 2 < k < 3 \\ 0, & k \geq 3 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{低: } u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 2 \\ k-2, & 2 < k < 3 \\ 1, & 3 \leq k \leq 4 \\ 5-k, & 4 < k < 5 \\ 0, & k \geq 5 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{中等: } u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 4 \\ k-4, & 4 < k < 5 \\ 1, & 5 \leq k \leq 6 \\ 7-k, & 6 < k < 7 \\ 0, & k \geq 7 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{高: } u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 6 \\ k-6, & 6 < k < 7 \\ 1, & 7 \leq k \leq 8 \\ 9-k, & 8 < k < 9 \\ 0, & k \geq 9 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{非常高: } u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 8 \\ k-8, & 8 < k < 9 \\ 1, & 9 \leq k \leq 10 \\ 0, & k > 10 \end{cases} \quad (6)$$

- (4) 將步驟 2 中所得 k_{ij} 值歸屬函數圖及式 (2) 至 (6) 中，即可得到各自的歸屬函數值。假若 k_{ij} 值對應到之函數不只一組，即將所得函數值皆列出。
- (5) 建立推論規則庫：規則庫一般是以 “if...then” 的方式作為輸入項與輸出項的表達方式。而本研究在嚴重度、發生度、難檢度皆各有 5 個語意等級，總共有 125 條規則，輸出結果共分成不重要、低、中等、重要、很重要，共 5 種影響等級。規則庫的訂定方式參考工

研院工程師與專家意見加以訂定而成 [35]。由規則庫的 5 種影響等級建立歸屬函數圖，如圖 5 所示，並將各等級對應之最大值列出如表 8。

- (6) 使用 “Min-Max” 理論找出各原因的模糊結論：Min-Max 方法將步驟 4 得到的嚴重度、發生度、難檢度三個語意等級的歸屬程度取最小值，若有多個屬於同一等級的風險評估，則取這些結果中的最大值，並將結論歸屬程度設為 “Degree of truth” [13, 16]。
- (7) 將步驟 6 得到的模糊結論進行解模糊化，可得各原因的模糊權重值：本研究使用最大加權平均法，如式 (7)，作為解模糊化的方法，以計算出各原因的模糊風險權重明確值。

公式如下：

$$WMoM = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i} \quad (7)$$

W_i ：第 i th 歸屬函數的真實程度 (degree of truth)

X_i ：當第 i th 歸屬函數達到最大值時的假設值

WMoM：模糊風險權重明確值

9. STEP 9 依模糊風險權重值排序

根據 STEP 8 的計算可找出影響某製程問題中各項原因的模糊風險權重值，在此步驟中由大到小進行排序的動作。

10. STEP 10 對模糊風險權數值大者提出建議

根據 STEP 9 的結果，可以發現到權重值最大者，將是影響此製程問題最關鍵的原因，因此工程師可以將有限資源投注在此原因的探討與改善上，如此將可有效解決此製程問題。

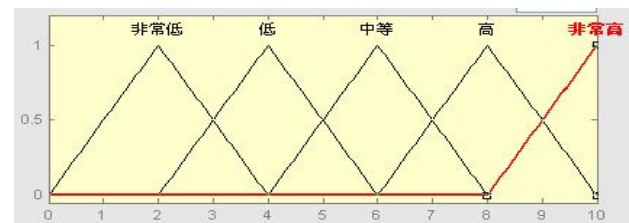


圖 5. 規則庫輸出結果之歸屬函數圖

表 8. 規則庫五種結論等級最大值表

等級	非常低	低	中等	高	非常高
最大值	2	4	6	8	10

11. STEP 11 將案例納入資料庫

在解決問題之後，可將在解決此案例問題的過程中所產生的資料匯總至資料庫（FTP 站）中，以提供之後相同獲類似問題之解決辦法參考。

四、案例驗證

在 CNT-BLU 陰極板製程中，因網印奈米碳管漿料製程為良率最低的製程，本研究以所建構出的分析模式，針對「網印奈米碳管漿料製程」問題進行系統性的分析，並將分析後所得到的結果與某 CNT-BLU 廠商提供之結果作一比較，藉以說明本模式之適用性。

(一) 網印奈米碳管漿料製程問題

本節乃針對網印奈米碳管漿料對位性效果不佳的問題點加以分析。所謂對位性不佳是在網印後，奈米碳管線的位置與預定的位置不同。依照所提模式分析之分析步驟如下。

1. STEP 1 製程問題定義：此板編號為 XX120101，在 xx 年 12 月 5 日早上 10 點 10 分時，操作人員 C302201 在執行網印奈米碳管漿料製程中的刮刀刮動奈米碳管漿料步驟後。透過奈米碳管網印機台上之顯微鏡發現奈米碳管線

並非網印在原先預定的位置。

- STEP 2 確定分析層次：參考表 4 發現，此問題是發生在第三階層中網印奈米碳管漿料的第六步驟。因此，對於此步驟前的執行步驟以及在網印奈米碳管漿料製程之前製程均需詳細再檢視。
- STEP 3 找尋案例資料庫：依照 CNT-BLU 廠商所架設的案例資料庫（FTP 站）進行案例搜尋比對。
- STEP 4 判斷此製程問題過去在相同條件下是否曾經發生。由於此問題並未在資案例料庫（FTP 站）中發現，因此進行第二階段。
- STEP 5 召開群組會議：在單站人員提供專案小組組長製程問題資訊後，由組長召開群組會議。
- STEP 6 列出製程問題的失效效應、失效原因、檢查方式：
 - 專案小組人員依照自身經驗列出此種製程問題造成的失效效應、失效原因、建議解決方式，並在彙總後，彙總填入一張 FMEA 表格，如表 9 所示。
 - 將失效原因的連結關係繪製成故障樹分析圖，如圖 6 所示。
 - 將失效原因繪製成特性要因圖，如圖 7 所示。

表 9. 網印問題 FMEA 分析表

製程名稱	製程目的	問題點描述	失效效應	原因	失效子原因	解決對策	嚴重度	發生度	難檢定
網印	將 cnt 準確印製在 Cathode Line 中央	網印結果偏上方，並非印在預設的位置上 	場發射不均勻並導致面板均勻度不佳	設備	網版變形	請網版公司修正或更換			
					網框形變	請網版公司修正			
					吸氣定位系統故障	請設備供應商解決			
					刮刀形變	網印前檢查，如有缺口或扭曲立即更換			
				漿料	漿料黏稠度不固定	使用黏度計先行測試，並在一定時間內完成網印作業，避免漿料黏度因時間而改變			
					漿料用量不足	先行預估網印次數，以調整漿料使用量			
					漿料配方錯誤	以新材料取代			
				環境	無塵室溫度設定錯誤	調定網印製成適用溫度			
					無塵室溼度設定錯誤	調定網印製成適用溼度			
					無塵室潔淨度不足	管制不必要人員出入			
					機台擺放過於擁擠	將非黃光區設備及無用設備移出黃光區			
				人員技術	操作方式錯誤	參考使用手冊			
					參數設定錯誤	按下啟動鈕前，在檢查一次			
					熟練度不足	參考使用手冊			
				結構設計	Cathode Line 間的排列間距錯誤	以模擬軟體做修正			

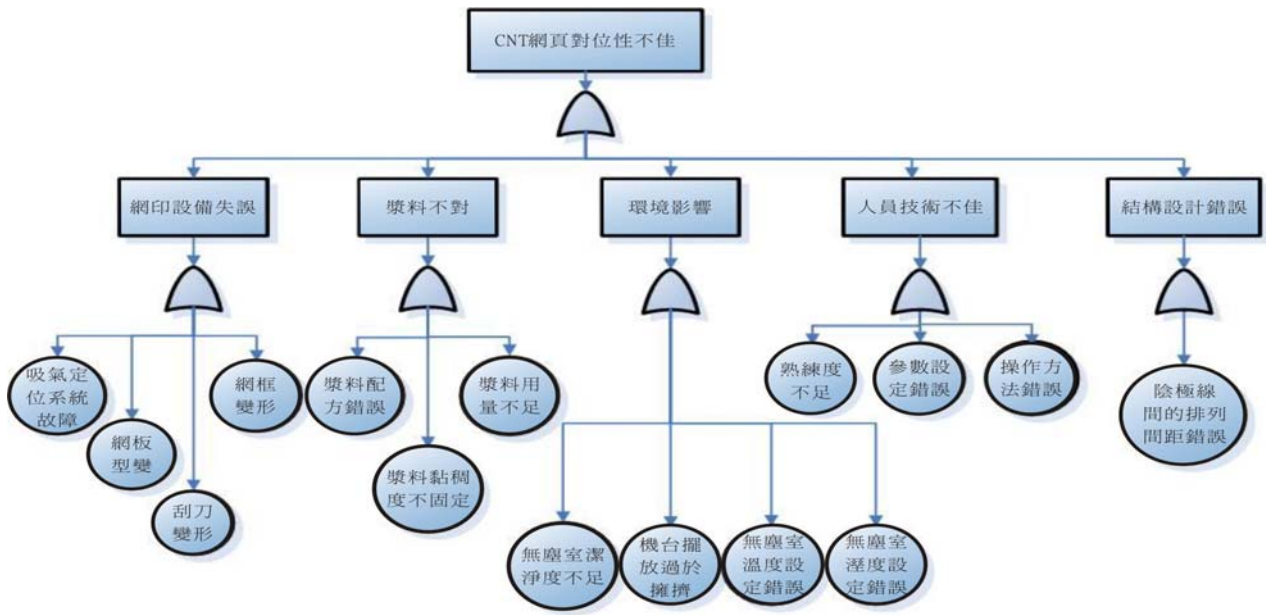


圖 6. 網印問題故障樹

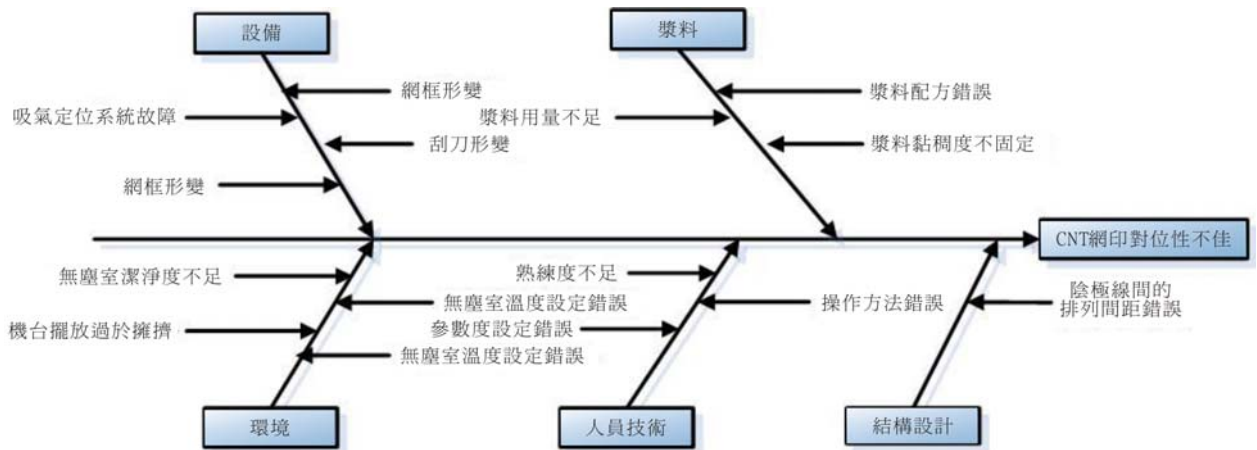


圖 7. 網印問題特性要因圖

7. STEP 7 專案人員針對各原因對網印對位性不佳問題的嚴重度、發生度、難檢度作評分，如表 10 所示。

8. STEP 8 計算各原因造成的模糊風險權重值：

- (1) 計算每一原因嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數，如表 11 所示。
- (2) 將嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數利用式 (1) 轉換成爲單一值，如表 12 所示。
- (3) 將表 12 中之單一值對應圖 5 並導入式 (2) 至 (6) 後，可得到各原因之歸屬函數值，如表 13 所示。

(4) 經由表 13 找出各原因之語意等級所有組合，並利用規則庫導出推論結果，再參照表 8 找出推論結果等級之最大值，如表 14 所示。

(5) 使用“Min-Max”法找出各原因之模糊推論值，如表 15 所示。導入式 (7) 中進行解模糊化動作，即可得到各原因之模糊權重風險值，如表 16 所示。

(6) 導入式 (7) 中進行解模糊化動作，即可得到各原因之模糊權重風險值，如表 16 所示。

9. STEP 9 依模糊權重值排序

將表 16 中所得到的模糊權重風險值由大到小進行排

表 10. 網印問題之評分表

網印問題原因	工程師 A			工程師 B			工程師 C			工程師 D			工程師 E		
	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度
網版形變	10	9	2	9	8	2	8	8	2	10	10	2	8	7	6
網框形變	4	4	3	8	5	2	6	5	3	9	6	4	8	7	2
吸氣定位系統故障	3	2	5	7	2	2	4	5	2	10	1	1	8	2	1
刮刀形變	4	7	4	5	2	2	3	2	2	9	5	1	7	7	2
漿料黏稠度不固定	7	4	8	8	2	2	2	2	2	10	2	2	8	5	7
漿料用量不足	3	5	3	2	5	2	4	3	3	8	2	2	6	6	1
漿料配方錯誤	3	5	3	8	2	2	8	2	2	8	3	4	6	3	4
無塵室溫度設定錯誤	7	3	3	3	2	2	3	3	8	4	1	2	7	2	1
無塵室濕度設定錯誤	7	3	3	3	2	2	3	3	8	4	1	2	7	2	1
無塵室潔淨度不足	2	2	2	2	6	2	2	6	2	3	9	4	2	8	1
機台擺放過於擁擠	2	2	2	2	2	2	3	7	3	4	8	5	1	1	1
操作方法錯誤	8	7	5	7	2	2	9	2	1	9	2	5	8	6	2
參數設計錯誤	6	5	5	8	3	2	8	5	2	7	5	4	7	7	2
熟練度不足	6	5	5	8	5	2	8	5	2	8	3	3	8	4	2
陰極線間的排列間距錯誤	6	5	4	8	2	2	8	3	1	7	5	4	7	4	2

表 11. 每一原因之最小值最大值、幾何平均數

網印問題原因	嚴重度			發生度			難檢度		
	最小值	最大值	幾何平均數	最小值	最大值	幾何平均數	最小值	最大值	幾何平均數
網印對位性不佳	8	10	8.96	7	10	8.34	2	6	2.79
網版形變	4	9	6.73	4	7	5.30	2	4	2.70
網框形變	3	10	5.83	1	5	2.09	1	5	1.82
吸氣定位系統故障	3	9	5.19	2	7	3.97	1	4	2.00
刮刀形變	2	10	6.17	2	5	2.76	2	8	3.39
漿料稠度不固定	2	8	4.10	2	6	3.90	1	.	2.05
漿料用量不足	3	8	6.21	2	5	2.83	2	4	2.86
漿料配方錯誤	3	7	4.46	1	3	2.05	1	8	2.49
無塵室溫度設定錯誤	3	7	4.46	1	3	2.05	1	8	2.49
無塵室濕度設定錯誤	2	3	2.17	2	9	5.53	1	4	2.00
無塵室潔淨度不足	1	4	2.17	1	8	2.95	1	5	2.27
機台擺放過於擁擠	7	9	8.16	2	7	3.20	1	5	2.51
操作方式錯誤	6	8	7.16	3	7	4.83	2	5	2.76
參數設定錯誤	6	8	7.55	3	5	4.32	2	5	2.61
熟練度不足	6	8	7.16	2	5	3.59	1	4	2.30
陰極線間的排列間距錯誤	6	8	7.16	2	5	3.59	1	4	2.30

表 12. 網印問題嚴重度、發生度、難檢度之單一值

網印問題原因	嚴重度 單一值	發生度 單一值	難檢度 單一值
網印對位性不佳	9.0	8.4	3.5
網版形變	6.6	5.4	2.9
網框形變	6.3	2.7	2.6
吸氣定位系統故障	5.7	4.3	2.3
刮刀形變	6.1	3.3	4.5
漿料稠度不固定	4.7	4.0	2.0
漿料用量不足			

表 12. 網印問題嚴重度、發生度、難檢度之單一值（續）

	嚴重度	發生度	難檢度
網印對位性不佳	單一值	單一值	單一值
漿料配方錯誤	5.7	3.3	3.0
無塵室溫度設定錯誤	4.8	2.0	3.8
無塵室濕度設定錯誤	4.8	2.0	3.8
無塵室潔淨度不足	2.4	5.5	2.3
機台擺放過於擁擠	2.4	4.0	2.8
操作方式錯誤	8.1	4.1	2.8
參數設定錯誤	7.1	4.9	3.3
熟練度不足	7.2	4.1	3.2
陰極線間的排列間距錯誤	7.1	3.5	2.4

表 13. 各原因之語意等級及歸屬函數值

網印對位性不佳	嚴重度		發生度		難檢度	
	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值
網版形變	非常高	1	非常高	0.4	低	1
			高	1		
網框形變	高	0.6	中等	1	低	0.9
	中等	0.4			非常低	0.1
吸氣定位系統故障	高	0.3	低	0.7	低	0.6
	中等	0.7	非常低	0.3	非常低	0.4
刮刀形變	中等	1	中等	0.3	低	0.3
			低	0.7	非常低	0.7
漿料稠度不固定	高	0.1	低	1	中等	0.5
	中等	0.9			低	0.5
漿料用量不足	中等	0.7	低	1	非常低	1
	低	0.3				
漿料配方錯誤	中等	1	低	1	低	1
無塵室溫度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1
	低	0.2				
無塵室濕度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1
	低	0.2				
無塵室潔淨度不足	非常低	0.4	中等	1	低	0.3
	低	0.6			非常低	0.7
機台擺放過於擁擠	低	0.4	低	1	低	0.8
	非常低	0.6			非常低	0.2
操作方式錯誤	非常高	0.1	中等	0.1	低	0.8
	高	0.9	低	0.9	非常低	0.2
參數設定錯誤	高	1	中等	0.9	低	1
			低	0.1		
熟練度不足	高	1	中等	0.1	低	1
			低	0.9		
陰極線間的排列間距錯誤	高	1	低	1	低	0.4
					非常低	0.6

表 14. 各原因之各種推論結果

網印對位性不佳	嚴重度		發生度		難檢度		規則庫	
	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	推論結果	推論結果最大值
網版形變	非常高	1	非常高	0.4	低	1	非常高	10
	非常高	1	高	0.6	低	1	非常高	10
網框形變	高	0.6	中等	1	低	0.9	中等	6
	高	0.6	中等	1	非常低	0.1	中等	6
	中等	0.4	中等	1	低	0.9	低	4
	中等	0.4	中等	1	非常低	0.1	低	4
吸氣定位系統故障	高	0.3	低	0.7	低	0.6	低	4
	高	0.3	低	0.7	非常低	0.4	低	4
	高	0.3	非常低	0.3	低	0.6	低	4
	中等	0.7	低	0.7	低	0.6	低	4
	高	0.3	非常低	0.3	非常低	0.4	非常低	2
	中等	0.7	低	0.7	非常低	0.4	非常低	2
	中等	0.7	非常低	0.3	低	0.6	非常低	2
	中等	0.7	非常低	0.3	非常低	0.4	非常低	2
刮刀形變	中等	1	中等	0.3	低	0.3	低	4
	中等	1	中等	0.3	非常低	0.7	低	4
	中等	1	低	0.7	低	0.3	低	4
	中等	1	低	0.7	非常低	0.7	非常低	2
漿料稠度不固定	高	0.1	低	1	中等	0.5	中等	6
	高	0.1	低	1	低	0.5	低	4
	中等	0.9	低	1	中等	0.5	低	4
	中等	0.9	低	1	低	0.5	低	4
漿料用量不足	中等	0.7	低	1	非常低	1	非常低	2
	低	0.3	低	1	非常低	1	非常低	2
漿料配方錯誤	中等	1	低	1	低	1	低	4
無塵室溫度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1	非常低	2
	低	0.2	非常低	1	低	1	非常低	2
無塵室濕度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1	非常低	2
	低	0.2	非常低	1	低	1	非常低	2
無塵室潔淨度不足	低	0.6	中等	1	非常低	0.7	非常低	2
	非常低	0.4	中等	1	非常低	0.7	非常低	2
	非常低	0.4	中等	1	低	0.3	非常低	2
	低	0.6	中等	1	低	0.3	低	4
機台擺放過於擁擠	低	0.4	低	1	低	0.8	非常低	2
	低	0.4	低	1	非常低	0.2	非常低	2
	非常低	0.6	低	1	低	0.8	非常低	2
	非常低	0.6	低	1	非常低	0.2	非常低	2
操作方式錯誤	非常高	0.1	中等	0.1	低	0.8	高	8
	非常高	0.1	中等	0.1	非常低	0.2	中等	6
	非常高	0.1	低	0.9	低	0.8	中等	6
	非常高	0.1	低	0.9	非常低	0.2	中等	6
	高	0.9	中等	0.1	低	0.8	中等	6
	高	0.9	中等	0.1	非常低	0.2	中等	6
	高	0.9	低	0.9	低	0.8	低	4
	高	0.9	低	0.9	非常低	0.2	低	4
參數設定錯誤	高	1	中等	0.9	低	1	中等	6
	高	1	低	0.1	低	1	低	4
熟練度不足	高	1	中等	0.1	低	1	中等	6
	高	1	低	0.9	低	1	低	4
陰極線間的排列間距錯誤	高	1	低	1	低	0.4	低	4
	高	1	低	1	非常低	0.6	低	4

表 15. 各原因 “Min-Max” 值

網印對位性不佳	嚴重度	發生度	難檢度	規則庫		Min-Max	
	歸屬函數值	歸屬函數值	歸屬函數值	推論結果	推論結果最大值	Min	Max
網版形變	1	0.4	1	非常高	10	0.4	0.6
	1	0.6	1	非常高	10	0.6	
網框形變	0.6	1	0.9	中等	6	0.6	0.6
	0.6	1	0.1	中等	6	0.1	
	0.4	1	0.9	低	4	0.4	0.4
	0.4	1	0.1	低	4	0.1	
吸氣定位系統故障	0.3	0.7	0.6	低	4	0.3	0.6
	0.3	0.7	0.4	低	4	0.3	
	0.3	0.3	0.6	低	4	0.3	
	0.7	0.7	0.6	低	4	0.6	
	0.3	0.3	0.4	非常低	2	0.3	0.4
	0.7	0.7	0.4	非常低	2	0.4	
	0.7	0.3	0.6	非常低	2	0.3	
	0.7	0.3	0.4	非常低	2	0.3	
刮刀形變	1	0.3	0.3	低	4	0.3	0.3
	1	0.3	0.7	低	4	0.3	
	1	0.7	0.3	低	4	0.3	
	1	0.7	0.7	非常低	2	0.7	0.7
漿料黏稠度不固定	0.1	1	0.5	中等	6	0.1	0.1
	0.1	1	0.5	低	4	0.1	0.5
	0.9	1	0.5	低	4	0.5	
	0.9	1	0.5	低	4	0.5	
漿料用量不足	0.7	1	1	非常低	2	0.7	0.7
	0.3	1	1	非常低	2	0.3	
漿料配方錯誤	1	1	1	低	4	1	1
無塵室溫度設定錯誤	0.8	1	1	非常低	2	0.8	0.8
	0.2	1	1	非常低	2	0.2	
無塵室溼度設定錯誤	0.8	1	1	非常低	2	0.8	0.8
	0.2	1	1	非常低	2	0.2	
無塵室潔淨度不足	0.6	1	0.7	非常低	2	0.6	0.6
	0.4	1	0.7	非常低	2	0.4	
	0.4	1	0.3	非常低	2	0.3	
	0.6	1	0.3	低	4	0.3	0.3

表 16. 各原因之模糊權重風險值

網印對位性不佳	規則庫		Min-Max		模糊權重風險值
	推論結果	推論結果最大值	Min	Max	WMOM
網版形變	非常高	10	0.4	0.6	10
	非常高	10	0.6		
網框形變	中等	6	0.6	0.6	5.2
	中等	6	0.1		
	低	4	0.4	0.4	
	低	4	0.1		
吸氣定位系統故障	低	4	0.3	0.6	3.2
	低	4	0.3		
	低	4	0.3		
	低	4	0.6		
	非常低	2	0.3	0.4	
	非常低	2	0.4		
	非常低	2	0.3		
	非常低	2	0.3		

表 16. 各原因之模糊權重風險值 (續)

網印對位性不佳	規則庫		Min-Max		模糊權重風險值
	推論結果	推論結果最大值	Min	Max	WMOM
刮刀形變	低	4	0.3	0.3	2.6
	低	4	0.3		
	低	4	0.3		
	非常低	2	0.7	0.7	
漿料稠度不固定	中等	6	0.1	0.5	4.33
	低	4	0.1		
	低	4	0.5		
	低	4	0.5		
漿料配方錯誤	低	4	1	1	4
無塵室溫度設定錯誤	非常低	2	0.8	0.8	1.6
	非常低	2	0.2		
無塵室濕度設定錯誤	非常低	2	0.8	0.8	2
	非常低	2	0.2		
無塵室潔淨度不足	非常低	2	0.6	0.6	2.4
	非常低	2	0.4		
	非常低	2	0.3		
	低	4	0.3		
機台擺放過於擁擠	非常低	2	0.4	0.6	2
	非常低	2	0.2		
	非常低	2	0.6		
	非常低	2	0.2		
操作方式錯誤	高	8	0.1	0.1	4.6
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	低	4	0.8		
參數設定錯誤	低	4	0.2	0.8	5.8
	中等	6	0.9	0.9	
熟練度不足	低	4	0.1	0.1	4.2
	中等	6	0.1	0.1	
陰極線間的排列間距錯誤	低	4	0.4	0.6	4
	低	4	0.6		

序，即可得到影響網印對位性不佳問題之關鍵影響因素，如表 17 所示。我們可得知「網版形變」、「參數設定錯誤」、「網框形變」、「操作方法錯誤」、「漿料黏稠度不固定」為前五大影響原因，可針對此五項進行改善的工作。

10. STEP 10 對模糊風險權數值大者提出建議

在找出前五大原因之後，可利用表 9 中此五大原因的解決對策進行改善，如此將可達成在有限的資源下，進行關鍵性的改善。

11. STEP 11 將案例納入資料庫

將此案例所蒐集之資料、圖形、表格納入案例資料庫當中，以作為後續問題解決之參考。

結果說明如下，藉由實地訪談某 CNT-BLU 研發單位，

表 17. 網印對位性不佳原因排序

網印對位性不佳原因	WMOM	排序
網版形變	10	1
參數設定錯誤	5.8	2
網框形變	5.2	3
操作方式錯誤	4.6	4
漿料稠度不固定	4.33	5
熟練度不足	4.2	6
漿料配方錯誤	4	7
陰極線間的排列間距錯誤	4	8
吸氣定位系統故障	3.2	9
刮刀形變	2.6	10
無塵室潔淨度不足	2.4	11
機台擺放過於擁擠	2	12
無塵室溫度設定錯誤	2	13
無塵室濕度設定錯誤	1.6	14
漿料用量不足	1.4	15

發現影響此製程問題之原因。依照關鍵性排序為「網版形變」、「網框形變」、「參數設定錯誤」、「操作方法錯誤」、「刮刀形變」。而我們將此結果與表 17 所得到之五大關鍵影響原因進行比對之後，可得到下列結果：

- (1) 廠商提供之製程問題影響原因與使用本模式所得到之預測原因在互相比較之後，可發現只有第五項的「刮刀形變」與「漿料黏稠度不固定」是不同的，其他皆為相同。此結果代表本模式可協助找出問題發生的關鍵原因，且可提供工程師作為教育訓練教材參考之用。
- (2) 廠商提供之製程問題影響原因之第二項的「網框形變」、第三項的「參數設定錯誤」與本研究的排序雖有互換的現象。但因為此兩項原因都是在關鍵原因排名的前五名內，所以都是被列為需進行快速改善的目標，而順序之前後並不會造成顯著性的影響。

由以上結果，可以得知若將本模式應用在分析網印奈米碳管漿料製程之製程問題上時，可有效分析製程的問題，因此可驗證此模型的適用性。

(二) 傳統 RPN 與本模式之比較

傳統風險優先值 (risk priority number, RPN) 的作法是將嚴重度、發生度、難檢度三個評分值相乘，而得到風險優先值 (RPN)。顯示出使用本模式與使用傳統 RPN 方法在網印奈米碳管漿料製程上之比較。由表 18 可以發現兩種方法在排序上有若干不同，且傳統 RPN 的數值變化程度較大。

表 18. 與傳統 RPN 法之比較表

網印對位性不佳原因	WMOM	排序	RPN	排序
網版形變	6	1	265.4	1
參數設定錯誤	5.8	2	113.4	2
網框形變	5.2	3	103.7	3
操作方式錯誤	4.6	4	92.9	5
漿料稠度不固定	4.33	5	88.0	6
熟練度不足	4.2	6	94.4	4
漿料配方錯誤	4	7	55.5	9
陰極線間的排列間距錯誤	4	8	60.6	7
吸氣定位系統故障	3.2	9	44.1	10
刮刀形變	2.6	10	57.8	8
無塵室潔淨度不足	2.4	11	30.7	14
機台擺放過於擁擠	2	12	26.2	15
無塵室溫度設定錯誤	2	13	37.2	13
無塵室濕度設定錯誤	1.6	14	37.2	12
漿料用量不足	1.4	15	37.6	11

因此若在專家意見中，出現較大的極端值時，因傳統 RPN 法所產生的 RPN 值將會產生較大的變化幅度，此將容易造成誤差的情形。

由於網印奈米碳管漿料製程所引起的網印對位性不佳問題及陰極線剝落問題皆為影響性重大的問題。因此若能將這關鍵製程作系統性的先期分析，將可有效提高陰極板製程的穩定性。

在比較本研究模式分結論與實際問題之真正原因後，可論非百分之百的保證。但從案例中可得知差異情形並不大，足見本研究模式作為解決製程問題失效分析之參考。

五、結論與建議

(一) 結論

在開發新產品的過程中，製程研發階段為產品能否具有競爭力之高度關鍵影響階段。CNT-BLU 使用奈米碳管做為發光源之高科技產品。然而目前此產品仍處於研發階段，因此在解決製程問題時大多是仰賴專業工程師的經驗與背景。本研究提出一系統性的製程問題分析模式，可使工程師在面臨製程問題時能準確找出造成製程問題發生之原因，並減少因試誤法造成的資源浪費。

本研究進行主要可分為三個階段。第一階段首先整理問題預防分析的相關文獻及方法。第二階段透過第一階段整理的 FMEA、故障樹理論、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論結合 CNT-BLU 陰極板製程特性建構一個製程問題的分析模式，並以 CNT-BLU 陰極板製程問題為例。第三階段以國內某 CNT-BLU 研發單位在網印製程所發生的實際案例作為本研究模式的適用性驗證。

整體而言，本研究具有以下幾點的貢獻：

1. 透過文獻及訪談調查，建構出一套製程問題分析模式，並以 CNT-BLU 陰極板為主要研究範圍。
2. 透過分析模式中詳細的步驟化程序，可使工程師在面臨製程問題時有一個可依循的步驟標準化作業程序。
3. 在學術上，提供後續學者一個建構高科技產品製程問題分析模式的範例參考。

然在考量時間及人力之限制下，本研究僅選擇在研發階段中 CNT-BLU 中最關鍵之陰極板製程作為研究。

(二) 建議

本研究基於研發資料保密協定等因素，仍尚有未盡完備之處，以下對於未來研究方向提出幾點建議以供參考：

1. 由於本研究之研究範圍為 CNT-BLU 的陰極板製程。因此對於 CNT-BLU 的陽極板製程及封裝製程，本研究尚未對其做深入的分析與探討。未來若能針對此兩大部分繼續發展出適合的製程分析模式，將可使 CNT-BLU 在製程改善上能更有效率的執行。
2. 在本研究模式的執行過程中，步驟三是找尋案例資料庫中的檔案，然而目前的案例是以公司 FTP 站作為資料庫，因此若要快速找尋資料較具有困難度。所以，此步驟若能結合案例式推演的理論 [29]，並發展出快速進行比對的資訊管理系統，將能使本研究模式更加完整。
3. 本研究在第三階段導入模糊德非法及模糊推論將多位專家意見整合至 FMEA 當中，並找出風險權重值的排序。此階段之步驟可直接使用程式語言撰寫一個讓專案小組人員方便使用的介面，將可增進製程問題改善的效率。

參考文獻

1. Digitimes 科技網 (民 95)，LCD 面板背光模組策略分析，95 年 9 月 30 日，取自 <http://www.digitimes.com.tw/>。
2. ITIS 產業資訊服務網 (民 95)，快速成長的台灣 TFF-LCD 產業，95 年 4 月 3 日，取自 <http://www.itis.org.tw>。
3. 方鈞 (民 89)，建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究，工業工程學刊，17(2)，133-146。
4. 王振平 (民 89)，失效模式暨效應分析技術於設備完整性之應用，化工技術，8(1)，197-209。
5. 吳嘉文 (民 92)，營建知識管理績效評估模式建構之研究，台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文。
6. 李盈慧 (民 93)，模糊理論運用於中階管理人員管理能力評鑑之研究，義守大學管理科學研究所碩士論文。
7. 李權芳 (民 92)，解制電業市場區域邊際電價之預測，中原大學電機工程研究所碩士論文。
8. 林俊光 (民 86)，建構結合層級分析法與德非法之群體決策支援環境，成功大學工業管理學系碩士班碩士論文。
9. 柳雅瀾 (民 91)，模糊德非層級分析法應用於岩體分類之研究，成功大學資源工程研究所碩士論文。
10. 茹鴻英 (民 93)，組織特性與新產品發展過程對新產品開發績效之影響研究－以中科院為例，中原大學企業管理研究所碩士論文。
11. 張宜慶 (民 88)，電腦網路德非研究系統之建構及其可行性研究，交通大學傳播研究所碩士論文。
12. 曹健齡、楊義明 (民 86)，失效模式與效應分析的作業方式，品質管制月刊，33(4)，55-59。
13. 陳文欽、許惠玲、蔡志弘、羅展奧 (民 94)，模糊失效模式與效應分析於企業決策之應用－以新產品開發風險為例，機械工業，268，112-127。
14. 陳紹興 (民 77)，失效模式與效應分析作業手冊，經濟部工業局中心衛星工廠制度推動小組發行。
15. 陳道宏 (民 93)，檢測 PCBA 之 FMEA 系統建立，元智大學工業工程與管理學系碩士班碩士論文。
16. 陳嘉仁 (民 85)，模糊邏輯失效模式、效應與關鍵性分析系統之研究，中央大學資訊管理研究所碩士論文。
17. 陳耀茂 (民 87)，可靠性方法與應用，初版，雙葉書廊，台北。
18. 湯群輝 (民 93)，以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統，清華大學工業工程與工程管理學系碩士班碩士論文。
19. 黃清賢 (民 92)，危害分析與風險評估操作手冊，初版，新文京開發出版股份有限公司，台北。
20. 楊義民 (民 91)，類神經模糊在 PCB 壓合製程最適化之應用，元智大學資訊管理學系碩士班碩士論文。
21. 楊豐松 (民 86)，聚合式智慧型系統在資訊篩選上之研究－結合類神經網路與模糊理論以證券市場預測為例，政治大學資訊管理研究所碩士論文。
22. 經濟部資訊工業發展推動小組 (民 95)，2006 年新興市場發展趨勢暨資訊產業機會分析，95 年 12 月 31 日，取自 <http://www.ociid.org.tw>。
23. 趙立隆 (民 92)，失效模式與效應分析在全面生產管理之初期管理的應用－以台灣愛普生工業公司為例，朝陽科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文。
24. 奈米國家型科技計畫 (民 93)，20 吋奈米碳管場發射背光版電子所開發完成，95 年 10 月 10 日，取自 <http://www.nownews.com>。
25. 蘇木春、張孝德 (民 93)，機器學習：類神經網路、模糊系統及基因演算法則，全華科技，台北。
26. 鍾秋英 (民 93)，資料挖掘應用於產品失效模式與效應分析－以印刷電路板業為例，元智大學工業工程與管

理學系碩士班碩士論文。

27. Bluvband, Z., R. Polak and P. Grabov (2005) Bouncing failure analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology. Proceedings of the International Symposium on Product Quality and Integrity, Alexandria, VA.
28. Cassanella, G., G. Mura, F. Fantinia, M. Vanzi and B. Plano (2006) Failure analysis-assisted FMEA. *Microelectronics Reliability*, 46, 1795-1799.
29. Fritz, H. G. (1993) Case-based reasoning applying past experience to new problems. *Information Systems Management*, 38, 77-80.
30. Hayes, R. H. and S. C. Wheelwright (1984) *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*. John Wiley and Sons, New York, NY.
31. Ishikawa, A. and M. Amagasa (1993) The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and System*, 5, 241-253.
32. Klir, G. J. and T. A. Folger (1988) *Fuzzy Sets, Uncertainty and Information*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
33. Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, NY.
34. Somsuk, N. and P. Pongpanich (2008) The application of FMEA in defect reduction for the spindle motor assembly process for hard disk drives. Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, Bangkok, Thailand.
35. Wang, L. X. (1997) *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
36. Yeh, R. H. and M. H. Hsieh (2007) Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(6), 505-512.
37. Zaden, L. A. (1965) Fuzzy sets. *Information Control*, 8, 338-353.

收件：98.01.13 修正：98.04.16 接受：98.06.01