

失效模式與效應分析(FMEA)之應用 – 以個案公司化成鋁箔製程改善為例

The Application of the Failure Mode and Effect Analysis - A Study of the Formed Aluminum Foil Production Process of the Case Company

胡伯潛 Po-Chiang Hu¹

謝易蓁 Yi-Chen Hsieh²

摘要

化成鋁箔透過電能和水作用，在已擴增表面積的電蝕箔表面產生一層氧化皮膜作為絕緣之用，於電容器生產中為所需的主要原料之一。個案公司以生產化成鋁箔的產品為主，其目前產品的不良率可以維持於不超過 1% 的水準，可是由於該產品多半會使用於安全性要求極高的狀況中(例如車用電子零組件)，所以客戶無法容忍該產品存在任何不良的情形。

目前個案公司將其產品每月不良率的水準訂為 0.85%，可是此目標並非每月都能達成。為了進一步提升及改善產品的品質，使其產品的不良率能一直保持在 0.85% 之下，本研究乃嘗試以失效模式與效應分析的方法，將個案公司化成鋁箔製程中，造成產品不良的原因(失效模式)一一找出，再根據這些失效模式的重要性，依序處理或解決。經本研究調查，於 50 項風險失效模式中，重要性排序前五項的失效模式分別為：電蝕箔材料外觀瑕疵、電蝕箔材料氯含量過高、化成鋁箔外觀瑕疵、化成液濃度過低、電蝕箔材料有效面積不足。

本研究所得到的結果將被納入個案公司產品品質改善專案的重要工作項目之中，藉以建立化成鋁箔製程中失效模式的管制方案，減少失效模式發生的風險，以達個案公司要求的不良率目標，並有效提升客戶的滿意度。

關鍵字：化成鋁箔、電容器、失效模式與效應分析、失效模式

1 國立虎尾科技大學工業管理學系工業工程與管理碩士班 副教授(聯絡地址：632 雲林縣虎尾鎮文化路 64 號，聯絡電話：05-6315713，E-mail: pchu@nfu.edu.tw)。

2 國立虎尾科技大學工業管理學系工業工程與管理碩士在職專班 研究生。(E-mail: snny60026@yahoo.com.tw)

Abstract

Formed aluminum foil is the major product of the case company and its defect rate needs to be further reduced. This study applies failure mode and effects analysis (FMEA) into the formed aluminum foil process of the case company. After identify the product defect causes (the failure mode) correction can be conducted accordingly. Results obtained from this study will be used to establish the control mechanism of the formed aluminum foil manufacturing process to reduce the risk of the occurrences of these failure modes, to reach the goal of the product defect rate, and to effectively improve customer satisfaction level.

Keywords: Formed Aluminum Foil, Capacitor, Failure Mode and Effects Analysis, Failure Modes

壹、緒論

本研究個案公司的主要的產品為陽極化成鋁箔，此項產品為鋁電解電容器構成元件之一，且於鋁電解電容器中佔有最重要之地位。鋁電解電容器的用途十分廣泛，幾乎所有電子類的產品中都可見到其蹤跡。

由於化成鋁箔的前段製程需要較高階的生產技術，因，大部分能生產品質穩定的電蝕箔廠商都來自日本，國內廠商則較無這方面的生產技術。於鋁箔電蝕的製程中，不同的電解參數(如電流密度、波型、頻率和化學溶液濃度、溫度...等)，會讓電蝕箔表面產生不同的蝕孔分佈型態，而電蝕箔表面蝕孔分佈的有效表面積，則會決定鋁箔化成後之皮膜品質及靜電容量。個案公司為求電蝕箔材料供貨數量及品質的穩定，乃選擇日本的電蝕箔的供應商。

電蝕箔品質的好壞於化成鋁箔的生產過程中佔有極重要的地位，為了在前端受限的條件下，持續改善化成鋁箔的品質，並維持技術上的領先，本研究選用一個能於事前採取、並經過各方研究確認且普遍應用的改善工具:失效模式與效應分析(Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)做為改善化成鋁箔製程品質的評估方法。

於化成鋁箔的生產流程中，雖然化成技術製程是其中最大也是最關鍵的部分，但每個工作站中之各項作業流程，皆可能影響客戶端電容器生產的績效。為了確保個案公司化成鋁箔製程能維持一定的品質水準並滿足顧客的需求，本研究乃以個案公司化成製程中，各工作站中的流程為調查對象。

本研究結果將成為個案公司相關管理人員或決策者製程績效管理改善之重要參考依據，使他們可以確實掌握可能發生的潛在問題及其可能造成的影響程度，並提出有效可行

之具體改善方案，及早有效預防並免除這些潛在問題的發生，以有效降低因製程問題所造成的損失或浪費。

貳、文獻探討

一、個案公司簡介

個案公司於 2002 年創立，主要生產鋁質電容器（主要應用在電源供應器、主機板或 3C 迴路產品），是被動元件主要材料製造商，鋁電解電容器。2007 年個案公司歷經改組，加入擁有數十年電容器廠實務經驗和化成鋁箔業界豐厚人脈的專業團隊，專業生產低壓及固態電容專用陽極化成鋁箔，產業分類屬於電子產品零組件，產能效率冠全台。個案公司全體員工共同努力之下，化成鋁箔的品質和效率均有長足進展，除擁有製程全時數位監控系統、品質深具競爭力並榮獲多家日本電容器廠認證採用。

早期一般電容為個案公司營收的主要來源，近年來受到來自國內外同業的激烈競爭，電子產品設計製造皆朝向體積小型化來發展。又固態電容器擁有大量的電容及低頻率和高電流獨特的操作性，且廣泛應用於小型電子設備，化成鋁箔品質要求便相對提升，個案公司產品為維持市場佔有率及競爭力，針對此類產品的生產流程進行深入的探討，期由失效模式與效應分析的研究結果，有效改善品質水準，讓產品品質更精實的具有市場競爭力。

二、電蝕箔與化成箔簡介

鋁元素於世界產量相對較多，原料之單位成本較低，又其經由電蝕與化成過程後，具有優於其他金屬的特性，如體積小、儲存電量大、單位靜電容量大、阻抗相對低等特性，更有利於大量生產。鋁電解電容器用陽極化成鋁箔主要製程如圖 1 所示。

高純度鋁箔（99.98%），經直流電或交流電的電化學蝕刻方式之工藝流程，鋁箔因電化學或化學腐蝕侵蝕鋁箔表面，使鋁箔由表面往鋁芯衍生隧道式蝕孔，其表面積擴增，單位面積的倍率容量增加，此種增加電容效率之鋁箔稱為電蝕箔。

本研究個案公司以製造陽極化成鋁箔為主，電蝕箔透過化成液於陽極氧化處理過程中，藉由電能和水之作用，利用電化學原理，在電蝕箔表面形成一層氧化皮膜（ Al_2O_3 ）的過程稱為化成，因此產生的鋁箔稱為化成箔，作為鋁電解電容器的電極材料。氧化皮膜即為電解電容器之誘電體，利用其電位差產生使電容器具備儲存和瞬間釋放電能的功能。



圖 1 鋁電解電容器用陽極化成鋁箔主要製程

三、失效模式與效應分析相關文獻

失效模式與效應分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)，是一種預防性失效分析方法，為風險評估的工具之一，用於檢討分析各項作業流程中應有的功能與要求，及早發現與評估產品或製程中潛在的失效及其影響，並針對這些潛在失效發生的之重要性，擬定具體且適當的預防改善措施。

Rakesh et al. (2013) 指出，失效模式與效應分析於 1950 年初期開始被廣泛地運用。由美國格魯曼 (Grumman) 飛機公司首先開發失效模式與效應分析，並將其應用於噴射機中主要操縱系統的失效分析，以找出各種解析方法交替應用於各種複雜化之系統，預防失效發生的可能性，漸漸發展為安全性與可靠度的設計，以期能確保並有效地解決不良問題。

Johnson & Khan (2003) 指出，失效模式與效應分析於 1960 年由美國的太空總署 (National Aeronautics Space Agency, NASA) 首先用於發展阿波羅太空任務，主要用做工程妥善性全面認證的工具，並當成改善軍用設備可靠度的方法。1970 年，美國汽車業界就開始導入失效模式與效應分析。

80 年代美國軍方將失效模式與效應分析列為軍方規範 MIL-STD-1629A 中的一部分，認為失效模式與效應分析是一種系統化之工程設計輔助工具，主要是利用表格方式協助工程師進行工程分析。ISO-9000 則推薦將失效模式與效應分析應用於產品和製程的設計中。1990 年代起，在面臨來自日本汽車製造業者在品質與可靠度方面帶來的挑戰，失效模式與效應分析更被大量的使用。1993 年，美國品管協會與汽車工業小組協助美國三大汽車公司 (通用 General Motors、福特 Ford Motors、克萊斯勒 DaimlerChrysler)，編制一套有效且可以掌握可靠度的作業手冊「潛在失效模式與效應分析參考手冊」，此作業內容日後遂成為 QS 9000 與 ISO/TS 16949: 2002 標準之基礎。1994 年，失效模式與效應分析成為 QS-9000 的認證要求 (Mattsson, 1995)。將失效模式與效應分析列為評鑑必要項目；部分半導體高科技製造產業中，也將生產線管理導入失效模式與效應分析系統評估作業，避免潛在的重大異常發生，強化產品可靠度之品質保證。

小野寺勝重 (2001) 指出，失效模式與效應分析就是用表單解析，預測關於系統最下層之零件或組件發生故障時，上層之子系統或系統會受到何種影響的一種手法。藉此手法可以解析出系統的可靠性、維護性、安全性等所受的影響，並指出可能導致重大故障之零件或機器。經指出問題點所在之後，再透過嚴重重新評估將其重要性相對地加以變化，以找

出實施對策的優先順位。

何錦忠(2004)的研究指出，失效模式與效應分析是各產業應用最廣泛之故障要因解析手法，幾乎都在設計階段中將它用來「檢討」問題。而在汽車產業裡，更將它應用於製程階段中的品質管理與改善。為使產品品質、成本與時程均能符合市場需求。於改善的同時，也伴隨著不確定及風險，因此企業必須思考如何預防或消除風險，而這種思考理念就是風險分析與管理，換句話說，失效模式與效應分析就是風險分析與管。

湯群輝(2004)的研究以電子組裝業為主，利用 F 失效模式與效應分析、特性要因分析及 FTA 分析問題點，追蹤因設計缺失所導致的問題點，並建立設計屬性與設計時的檢核表，確保在產品設計階段即可發現後續製造時可能產生的問題點，減少因問題點的發生造成產品延誤上市，提升企業的競爭優勢。

Linkin et al.(2005)的研究將醫療保健失效模式與效應分析(Healthcare FMEA, HFMEA)應用於外科手術器具的殺菌與使用的過程中，發現醫療保健失效模式與效應分析方法的導入，可協助醫療院所的相關人員發現之前被忽略的一些系統中的錯誤，也可有效的防止一些與醫療保健相關流行性疾病(如血液處理不當所造成的 HIV 感染)的發生。

包保長(2007)的研究利用失效模式與效應分析來設計石化工廠 TAME(Tertiary Amyl Methyl Ether)之工安預防機制。並指出失效模式與效應分析的嚴重度不易改變。難檢度的降低有賴計畫性之管制方法。發生度之風險等級會隨設備使用年限而上升，可利用校正紀錄來調整。在既有的標準管制方法，制定儀表設備校正前與校正後之發生度，並藉由風險優先指數決定校正順序，達到預防工安發生。

林秋婷(2009)的研究利用失效模式與效應分析探討高雄地區連鎖、獨資之汽車維修廠之經營風險，以及顧客接受服務後願意回廠維修機率，針對汽車維修廠之服務系統與相關作業流程進行分析，研究結果發現，維修業者因著重於專業技術的修繕及維修後的檢驗，顧客相對卻更重視優惠方案的觀點有明顯的差異。研究結果，將為國內汽車維修業者參考進行調整作業模式，提高顧客回廠維修機率及顧客滿意度。

Chen & Ko(2009)的研究指出，失效模式與效應分析是一個能再問題真正發生以前，就能將這些潛在的問題辨認出來，並決定這些潛在問題嚴重程度高低的系統化技術。

林清池(2011)的研究利用失效模式與效應分析針對國軍部隊生活營舍防範火災發生進行潛在的危害辨識，量化危害風險值及排序其風險大小。研究結果顯示，整體營舍防火安全失效模式風險優先數分析，國軍營舍火災原因當中，以電器設備為起火原因首位。需進行加強管控項目計有 9 項，並針對需要加強管控項目提出營舍防火改善對策，作為事故發生前預先採取適當之防範措施，藉此提昇營舍防火危害辨識及安全評估能力防範危安事件發生，有效地降低災害之發生頻率與嚴重性，提升國軍部隊具有自我防火防災能力，維持保家衛國的戰力。

林岳賢(2012)的研究以失效模式與效應分析作為研究之方法之一，將其應用於引擎之機匣外徑製程之可能改善評估。探討機械加工可能潛在的失效模式，針對關鍵潛在的失效原因來識別加工失效的風險大小，並找出提升產品製程良率的可能方法，讓企業的競爭力提升。

紀曉菁(2013)的研究以醫療輔具病人吊架做為設計驗證，運用醫療器材品質管理標準(ISO-13485)中的設計審查程序之新產品企劃書和醫療器材風險管理評估標準(ISO-14971)中之失效模式效應分析，得到最佳化設計，縮短研發流程，並建立知識管理標準，以知識共享互用，排除在開發中輔具產品失效之原因。

陳子堯(2014)的研究利用失效模式與效應分析作為研究工具之一，以顧客需求為基礎，對原系統設計和製造過程中的失效模式進行分析後，提出改善方案，並開發軟體管理預期失效點及即時監控整個廣播發射鏈路。不僅提升整體維護作業效率也達到降低台內停播率，更進一步滿足聽眾服務需求。

四、個案公司應用失效模式與效應分析的動機

本研究發現學者也將失效模式與效應分析應用於事務流程、圖書業務流通、壽險業務、資源回收系統、電子商務系統等系統設計上，提昇其系統作業之穩定度與可靠度，皆有明顯效益之成效。本研究以個案公司化成鋁箔製程改善為目的，配合客戶產品能符合安全性要求極高的車用電子零組件之要求，及個案公司內部管理標準與客戶特殊需求，以失效模式與效應分析作為個案公司製程改善之應用評估工具，使個案公司產品製程的不良率能一直保持在 0.85% 之下的水準。

參、FMEA 於個案公司化成鋁箔製程改善之運用

一、研究架構流程說明

化成鋁箔的生產流程中，化成技術製程佔了其中最大也是最關鍵的部分，但每個工作站之各項作業流程，皆可能影響客戶端電容器生產的效益發揮。為確保個案公司化成鋁箔製程能維持其一定水準的品質並滿足顧客的需求，本研究以個案公司 QC 工程圖展開化成製程中，從原物料進料到成品出貨各站工作流程為調查對象。

本研究主題以問卷調查的方式探討，其研究架構如圖 2 所示。第一階段，蒐集有關探討失效模式與效應分析應用有明顯效益之成效的相關文獻為基礎。針對個案公司 QC 工程圖展開各站工作流程，整合個案公司對其品質之管控要求、管制項目與管理方法及曾經發生過的問題與其影響性等相關資料蒐集齊全，並彙整專家意見設計適當的失效模式與效應分析問卷。第二階段，將問卷發放給事先篩選具備鋁箔化成技術、對於電容器特性的瞭解有直接相關經驗滿五年以上的專家們填寫後，將問卷調查結果彙整與分析，所得的風險優先指數，依其數值的大小，依序列出各失效模式重要性的權重次序。最後，依失效模式權重次序，擬定適當且有效的處理方式，減少或預防該項失效模式發生之機率。

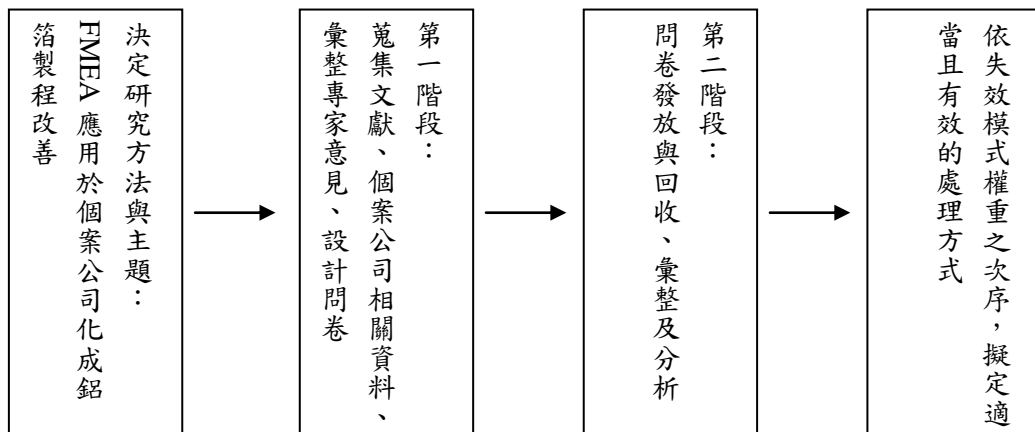


圖 2 本研究流程架構圖

二、失效模式與效應分析問卷發放與填寫

失效模式與效應分析問卷設計完成後，將問卷發放給具備五年以上的鋁箔化成技術相關實務經驗之從業人員填寫。經過篩選後，符合資格條件的專家共有十位協助完成填寫評分，其中有六位更是具備年資超過十五年的專家，非常了解化成鋁箔之相關技術製程，也對於整個被動元件之上、下游產業關係鏈之製程具有相當的技術與專業水準，使本研究調查結果更具專業性與客觀性。問卷填寫評分的專家們資歷如表 1 所示。

表 1 評分專家資歷一覽表

編號	年資(年)	職稱	目前服務單位	相關產業資歷
1	20 以上	經理	品管部	鋁箔電蝕技術經驗 鋁箔化成技術經驗 電容器製造技術經驗
2	20 以上	經理	研發部	鋁箔電蝕技術經驗 鋁箔化成技術經驗 電容器製造技術經驗
3	15 以上	經理	營業部	鋁箔電蝕技術經驗 鋁箔化成技術經驗 電容器製造技術經驗
4	8 以上	副理	製造部	鋁箔化成技術經驗 化成鋁箔異常分析
5	6 以上	課長	品管部	電蝕箔異常分析 化成鋁箔異常分析 電容器異常分析
6	6 以上	組長	製造部	鋁箔化成技術 電容器製造技術經驗
7	5 以上	課長	營業部	化成鋁箔異常分析 電容器製造技術經驗
8	20 以上	經理	製造部	鋁箔電蝕技術經驗 鋁箔化成技術經驗 電容器製造技術經驗
9	35 以上	總經理		鋁箔電蝕技術經驗 鋁箔化成技術經驗 電容器製造技術經驗
10	27 以上	副理	品管部	鋁箔電蝕技術經驗 鋁箔化成技術經驗 電容器製造技術經驗

本研究針對個案公司 QC 工程圖展開各站工作流程，並整合個案公司對其品質之管控要求、管制項目與管理方法及曾經發生過的問題與其影響性等相關資料，擬定個案公司化成鋁箔製程改善適用的嚴重度 (severity, S)、發生度 (occurrence, O) 與檢測度 (detection, D) 評量標準指數表於 FMEA 問卷中，提供專家們填寫相關數據時參考使用，分別如表 2、表 3、表 4 所示。

表 2 個案公司化成鋁箔製程改善各站工作流程嚴重度(S)指數表

嚴重度	內 容	等級
極高	產品於客戶端製成電容器後發生失效，客戶要求賠償且不再下單。	10
很高	產品造成客戶端製程發生失效，客戶要求賠償且不再下單。	9
高	產品於客戶端製成電容器後發生失效，客戶要求賠償但仍會下單。	8
較高	產品造成客戶端製程發生失效，客戶要求賠償，但仍會下單。	7
稍高	產品品質問題經客戶驗出，遭客戶拒收。	6
稍低	產品品質問題經客戶驗出，客戶要求降價才願接受。	5
較低	產品於出廠前因重大品質問題被淘汰。	4
低	產品於出廠前因品質問題，需重工修復。	3
很低	產品於出廠前驗出輕微品質問題，可輕易修復。	2
極微	產品沒有可識別的問題，不會影響客戶製程及最終產品的使用。	1

表 3 個案公司化成鋁箔製程改善各站工作流程發生度(O)指數表

發生度	內 容	等級
極高	依客訴資料統計，每年發生頻率 5 件或 5 件以上。	10
很高	依客訴資料統計，每年發生頻率 3 件~4 件。	9
高	依客訴資料統計，每年發生頻率 1 件~2 件。	8
較高	依廠內矯正資料統計，每年發生頻率 4 件或 4 件以上。	7
稍高	依廠內矯正資料統計，每年發生頻率 2 件~3 件。	6
稍低	依廠內矯正資料統計，每年發生頻率至少 1 件。	5
較低	模擬試驗發現潛在之失效，於製程中加嚴管制即可避免失效發生。	4
低	模擬試驗發現潛在之失效，於製程中遵守 SOP 即可避免失效發生。	3
很低	模擬試驗發現潛在之失效，於製程中失效極少發生。	2
極微	失效未曾於相關模擬試驗或製程中發生。	1

表 4 個案公司化成鋁箔製程改善各站工作流程檢測度(D)指數表

檢測度	內 容	等級
極微	非製程能力可控制之因素，無法為產品即刻檢測與分析，需至客戶端才可能發現問題。	10
很低	除使用檢具進行檢查外，即使額外詳細檢查，大部分的情況下仍無法發現問題。	9
低	產品即使經由額外之重捲檢查仍有少部分情況無法發現問題。	8
較低	產品需經由額外之重捲檢查才能發現問題。	7
稍低	成品檢驗過程中，需以檢具詳細才能發現問題。	6
稍高	成品檢驗過程中，以簡易之檢具檢查，即可發現問題。	5
較高	製程中，相關工作人員使用簡易之檢具檢查，大部分皆能發現問題。	4
高	製程中，相關工作人員使用簡易之檢具檢查，即可發現問題。	3
很高	製程中，只要工作人員稍加注意就可發現問題。	2
極高	只要工作人員以簡單目視的方式就可發現問題。	1

三、失效模式與效應分析問卷回收、彙整與結果分析

回收專家們填寫的失效模式與效應分析問卷並確認有效樣本資料共有十份。問卷發放時間為 2015 年 1 月 16 日至 23 日，將專家們評分之嚴重度、發生度與檢測度等各項等級分數，依各站工作流程之製程內容分別加總平均，再計算求得個案公司各站工作流程之風

險優先數值 (Risk Priority Number, RPN)。RPN = S × O × D (S：嚴重度、O：發生度、D：檢測度) 如表 5 所示。

表 5 FMEA 問卷調查結果彙整表

製程編號	製程內容	失效模式	S	O	D	RPN	排序		
1	IQC 進料檢驗	1-1 電蝕箔材料規格錯誤	7.1	2	4.2	59.64	24		
		1-2 電蝕箔材料容量不足	6.6	3.2	5.3	111.936	10		
		1-3 電蝕箔材料拉力偏低	6.6	3.4	4.8	107.712	11		
		1-4 電蝕箔材料折曲偏低	6.5	3.4	4.8	106.08	13		
		1-5 電蝕箔材料外觀有瑕疵	7.6	4.5	6.8	232.56	1		
		1-6 電蝕箔材料純度低於 98%	8.9	1.5	8.9	118.815	7		
		1-7 電蝕箔材料厚度不足	4.9	1.9	3.8	35.378	35		
		1-8 電蝕箔材料有效面積不足	6.7	2.9	6.4	124.352	5		
		1-9 電蝕箔材料氯含量過高	8.8	4.7	5.3	219.208	2		
		1-10 化成用化學藥品名標示錯誤	8.2	1.9	3.2	49.856	26		
		1-11 化成用化學藥品成分標示錯誤	8.3	1.9	5.3	83.581	15		
		1-12 化成用化學藥品包裝瑕疵	5.2	1.9	1.4	13.832	47		
		1-13 化成用化學藥品色調差異	5.6	3	2.2	36.96	34		
2	入庫	2-1 庫位標示不清	2.6	3.7	1.5	14.43	46		
		2-2 入庫標籤標示錯誤	7.8	2.2	2.8	48.048	28		
		2-3 保存環境溫度未在規定範圍內	2.5	2.4	2.1	12.6	48		
		2-4 保存環境濕度未在規定範圍內	3.2	2.9	2	18.56	44		
3	領料	3-1 領料單原料規格或庫位標示錯誤	5.1	2.5	2.3	29.325	38		
		3-2 領料人員錯看庫位而領錯料	5.7	2.6	2.1	31.122	37		
4	IQC 化成	4-1 純水純度不純	7.8	2.8	3.5	76.44	18		
		4-2 化成電壓設定超出額定範圍	5.8	3.6	2.1	43.848	31		
		4-3 化成電流設定超出額定範圍	4.1	3.7	1.7	25.789	39		
		4-4 化成最終電流超出額定範圍	7.2	3.2	2.7	62.208	22		
		4-5 化成液溫度過高	5.2	3.5	2.6	47.32	29		
4	IQC 化成	4-6 化成液溫度過低	6	3.9	2.6	60.84	23		
		4-7 化成液濃度過高	5.9	3.6	3.1	65.844	20		
		4-8 化成液濃度過低	7	5.3	3.5	129.85	4		
		4-9 化成液氯含量過高	5.3	2.8	5.2	77.168	17		
		4-10 化成速度頻率太快	3.9	2.7	2.4	25.272	40		
		4-11 化成速度頻率太慢	3.7	2.4	1.7	15.096	45		
		4-12 退火爐溫度過高	7.2	2.4	1.2	20.736	43		
		4-13 退火爐溫度過低	7.3	2.4	1.2	21.024	42		
		4-14 洗淨水純度不純	5.4	1.9	3.2	32.832	36		
		4-15 洗淨水流量過大	1.7	3.5	1.9	11.305	49		
		4-16 洗淨水流量過小	6.6	3.5	2.1	48.51	27		
		4-17 乾燥爐溫度過高	2.7	1.9	1.3	6.669	50		
		4-18 乾燥爐溫度過低	7.6	1.9	1.5	21.66	41		
		5	FQC 成品檢驗	5-1 化成箔皮膜上升時間過高	8.7	3.6	3.8	119.016	6
				5-2 化成箔皮膜耐壓不足	8.4	3.7	3.8	118.104	8
				5-3 化成箔容量超過或低於規格值	7.5	4	3.9	117	9
				5-4 化成箔拉力偏低	7.4	2.4	4.3	76.368	19
				5-5 化成箔折曲偏低	7.3	2.5	4.3	78.475	16
5-6 化成箔外觀有瑕疵	7.3			5.2	4.9	186.004	3		
5-7 化成箔厚度不足	7			1.7	3.6	42.84	32		
5-8 化成箔氯含量過高	5.8			2.2	4.9	62.524	21		
5-9 化成箔老化試驗皮膜上升時間過高	7.2			3.5	3.9	98.28	14		
5-10 化成箔老化試驗皮膜耐壓不足	6.7			4	4	107.2	12		
6	包裝	6-1 標籤標示與成品規格不符	7.5	3.4	2.1	53.55	25		
		6-2 外箱標籤與內箱標籤不符	7.6	2.8	2.2	46.816	30		
		6-3 外箱標籤標示與客戶要求不相符	7.4	2.7	2	39.96	33		

將表 5 的統計數據資料依權重計算後之大小進行排序，找出最重要的改善對象。當 RPN 值越高者表示越重要，也越需要個案公司重視及優先處理。個案公司化成鋁箔製程改善各站工作流程於 50 項風險失效模式中，應優先改善並解決的首要關鍵問題，即為「1-5 電蝕箔材料外觀瑕疵」。這即表示個案公司於化成鋁箔製程改善各站工作流程中，必須針對電蝕箔材料外觀瑕疵之問題，找出確實的解決方式。

本研究將重要性排序前五項的失效模式，彙整如表 6 所示，個案公司可依序針對其失效模式進行化成鋁箔製程改善之重點。如此一來，方可事前防範未然，更有效率達到個案公司產品製程的不良率能一直保持在 0.85% 之下的水準目標。

表 6 排序前五項的失效模式列為個案公司化成鋁箔製程改善之重點

失效模式	RPN 分數	排序
1-5 電蝕箔材料外觀瑕疵	232.560	1
1-9 電蝕箔材料氯含量過高	219.208	2
5-6 化成鋁箔外觀瑕疵	186.004	3
4-8 化成液濃度過低	129.850	4
1-8 電蝕箔材料有效面積不足	124.352	5

肆、結論與建議

因應固態電容器日益廣泛應用於日常生活中各式小型電子設備；客戶製品鋁電解電容器也廣泛運用於車用電子零組件。面臨瞬息萬變的市場結構及安全性要求極高的需求，化成鋁箔品質要求相對提升。如何在競爭激烈的同業間脫穎而出，除了技術的領先，持續的改善更是製造業決勝的重要關鍵因素。

本研究於個案公司化成鋁箔製程中依 QC 工程圖展開各個階段的工作流程，導入失效模式與效應分析的評估，並分析探討製程設備中相關失效風險的影響，區分其可能發生嚴重程度的各種模式，以便能夠採取適當的預防措施，對嚴重性或關鍵性等級較高之範圍，設法防止其發生失效之機會，或降低失效可能造成的影響，提昇製程設備及產品品質之信賴性。

個案公司化成鋁箔製程的改善，主要是依經驗的累積及技術資料的建檔保留，建立失效模式與效應分析的模式，將各種問題彙整辨認，並依其重要性排序，擬定相對應的處理方式，使個案公司於化成鋁箔製程作業時，確保產品能符合客戶需求，並於異常事件發生時能提升解決問題之效率。

依據本研究的調查結果，個案公司化成鋁箔製程作業流程中，風險優先指數數值排名前五的失效模式將被納入個案公司產品品質改善專案的重要工作項目之中。本研究的調查結果資料顯示，個案公司將由最重要的失效模式「電蝕箔材料外觀有瑕疵」優先建立化成鋁箔製程中失效模式的管制方案，藉以減少失效模式發生的風險，達成個案公司要求的不良率目標，並有效提升客戶的滿意度。

個案公司將建立供應商的評鑑稽核計畫，要求廠商改善製程良率，針對各項缺失進行

自主檢驗，並將針對失效模式排名第 1、2、5 名之「電蝕箔材料外觀有瑕疵」、「電蝕箔材料氯含量過高」及「電蝕箔材料有效面積不足」列入加強管制項目，藉此減少個案公司檢驗成本。此外，對於排名第 3、4 名之「化成鋁箔外觀瑕疵」、「化成液濃度過低」等失效模式，將針對人為失誤的問題點制定稽核計畫、實施教育訓練並不定期抽查等多種方式結合，確保相關作業人員對於設備操作之熟練度。

失效模式與效應分析除了有強大預防改善功用外，也能製作成知識管理平台，讓每個新進員工能清楚知道產品的特性，並能在第一時間改善異常問題。本研究建議個案公司應積極導入失效模式與效應分析工具，於確保化成鋁箔品質並滿足客戶的需求，同時還可獲得減少檢驗、人力之成本、降低客戶抱怨指數，提高化成鋁箔產品檢驗合格率、增加客戶滿意度等成效，對於個案公司訂定之品質政策亦將有所助益。

本研究僅就個案公司化成鋁箔製程之 QC 工程圖展開各站工程製程進行探討，爾後可將此失效模式與效應分析的作法推廣至全公司其它各種作業流程，配合不斷的預估、驗證及改進，建立一套可供遵循的完整生產與品質改善制度，讓所有工程、設備、製造管理人員有所遵循，將可有效減少各種失效模式的發生，節省成本並提升公司的競爭力。

伍、參考文獻

- 小野寺勝重 著，張書文 譯 (2001)，實踐 FMEA 手法，財團法人中衛發展中心，台北。
- 包保長 (2007)，TAME 石化工廠之 FMEA 研究，義守大學資訊工程研究所碩士論文。
- 何錦忠 (2004)，以風險分析為概念的失效模式與效應分析之發展與應用-以汽車零組件業之個案研究，大葉大學資訊管理學系碩士班碩士論文。
- 林岳賢 (2012)，運用 ORM、FMEA 與 TRIZ 於產品製程改善之研究-以引擎機匣加工為例，正修科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。
- 林秋婷 (2009)，運用 FMEA 探討台灣汽車維修廠之服務品質與改善之研究，正修科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。
- 林清池 (2011)，失效模式與效應分析應用於營舍防火安全之研究，中華大學碩士論文。
- 紀曉菁 (2013)，運用失效模式分析與同步工程策略於輔具研發設計，國立成功大學工業設計學系在職專班碩士論文。
- 陳子堯 (2014)，以品質機能展開及失效模式與影響分析改善廣播電台工務維修品質，國防大學管理學院資訊管理學系碩士班碩士論文。
- 湯群輝 (2004)，以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統，國立清華大學碩士論文。
- Chen, L.H., Ko, W.C.(2009), "Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA", *Applied Mathematical Modelling*, V. 33(2), pp.633-647.
- Johnson, K. G., Khan, M.K.(2003), "A study into the use of the Process Failure Mode and Effects Analysis(PFMEA) in the automotive industry in the UK", *Journal of Materials Processing Technology*, V. 139(1-3), pp. 348-356.
- Linkin, D. R., Sausman, C., Santos, L., Lyons, C., Fox, C., Aumiller, L., Esterhai, J., Pittman B., Lautenbach, E. (2005), *Applicability of Healthcare Failure Mode and Effects Analysis to*

Healthcare Epidemiology: Evaluation of the Sterilization and Use of Surgical Instruments, *Clinical Infectious Diseases*, V. 41 (1 October), pp. 1014-1019.

Mattsson, F. (1995). "An Introduction to Risk Analysis for Medical Devices" *Compliance Engineering*, 11/12, pp.47-57.

Rakesh, R., Jos, R. C., Mathew, G. (2013), "RMEA analysis for reducing breakdowns of a sub system in the life care product manufacturing industry", *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, V. 2 (2), pp. 218 -225.