

基於 QFD 與 FMEA 的 TFT-LCD 工業包裝設計研究

劉說芳* 李雁隆** 高鳳如***

國立成功大學工業設計系

* liusf@mail.ncku.edu.tw

*** ruru.kao@chimei-innolux.com

** 嶺東科技大學科技商品設計系

miro@teamail.ltu.edu.tw

摘要

在全球性競爭的環境下，企業面對顧客複雜而多樣化的需求，更須善用市場資訊來開發符合其需求的新產品。因此，如何透過將顧客需求轉換為產品開發目標之方式，並進行整體產品開發系統的風險規劃及管理，預防潛在性的失效發生，將低產品開發專案的不確定因素，以達到滿足顧客需求之使命確實至為重要。本研究基於品質機能展開法（QFD）及與失效模式與效應分析（FMEA）等兩二方法，並以光電科技產業 TFT-LCD 模組半成品運輸之工業包裝設計產品開發作為研究案例；首先進行顧客問卷調查作為選擇需求項目的依據，其次再以品質機能展開法結合失效模式與效應分析做為顧客需求重要性的評定標準，經由 QFD I、II、III 與 DFMEA I、II 等階段性的交互評估探討，找出產品設計的關鍵因子。經過實驗及驗證後，其結果顯示本方法確實能有效的降低因設計所造成的產品不良及的客訴案件，原平均半年有 4.75 件的客訴，經導入此研究方法後，追蹤 100 年 2 至 7 月，期間已減至僅有 1 件客訴案例，顯示其方法確屬有效。

本研究在包裝產品開發程序上訴諸的方法應用，經實驗的結果顯示在產品關鍵特質的設計階段，確實有助於企業更快速且更精確的完成新產品的開發，減少可能發生之損失並提升競爭力。

關鍵詞：顧客需求、包裝設計、品質機能展開、失效模式與效應分析

論文引用：劉說芳、李雁隆、高鳳如（2012）。基於 QFD 與 FMEA 的 TFT-LCD 工業包裝設計研究。

設計學報，17（4），63-78。

一、前言

當今顧客需求至上的時代裡，企業首先成功要素，就是將「顧客需求」納入競爭策略中的最優先位置。Kotler（2003）提出顧客導向的銷售人員與顧客互動之行銷概念，此概念將公司所有的活動的導向為有助於使顧客滿意之作為，與顧客建立有益的長期關係，並且藉由此一概念整合全公司的經營方針。

在產品開發初期，透過顧客需求，讓產品達到顧客期望是不可忽視的成敗關鍵。而故品質機能展開 (Quality Function Deployment, QFD) 即是在了解顧客需求後，展開一系列流程改造與整合工作，以達成顧客需求的品質管理方法，亦即一種將顧客的需求轉換為產品企劃方針的系統化方法；另外失效模式與效應分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) 則是一種品質工程改善預防的技術，其重點是針對既有品質問題提出改善對策，防範故障再次發生的方法，兩者結合運用則更有助於讓新產品在設計及製造上能更接近顧客的需求；Hassan、Siadat、Dantan 和 Martin (2009) 以汽車車門為例，運用 QFD 與 FMEA 分析了它們之間的互補性和相互之間的相互關係，QFD 是一個規劃工具得以組織邏輯和系統的方式，但它無法判斷製程上設計參數的重要性，可藉由 FMEA 追蹤產品上故障模式其原因和效果。本研究的主要目的就是應用 QFD 與 FMEA 兩者之結合，以顧客需求為導向而發展一套產品研發設計的系統性工程方法，以作為掌握市場趨勢與全面品質保證的工具，不但可協助設計師掌握顧客的需求、確認關鍵設計特徵屬性，更將有助於防止開發過程中資訊傳遞錯誤或遺漏、減少設計變更的次數、並縮短產品開發週期與增加顧客的滿意程度。

二、文獻探討

2-1 顧客需求

顧客此字的定義說明了企業開發顧客並培養顧客忠誠度之重要性。企業要長期經營的方式是滿足顧客的需求，便可為企業帶來長期的獲利。企業組織要成功，必須要能滿足其顧客群的需求，所有顧客的基本需求是由所買的產品給予的價值中得到滿足。這就是以顧客需求導向為出發點的顧客服務理念。

2-2 工業包裝設計

工業包裝是由單位機能、保持機能、搬運機能、用途機能、意義機能與內容物彼此產生關聯下，所形成的一個「裝置」。產品在運輸物流過程中，會受到不等程度的衝擊或振動，需要透過緩衝材料來加以吸收能量，緩衝材料在工業包裝系統中扮演著相當重要的角色。針對包裝功能和包裝結構設計原則的研究，依據鄧成連 (1987) 探討如下敘述：

1. 包裝功能：(1) 保護功能：即保護商品完整性。(2) 方便功能：便於儲運，使用和銷售。(3) 促銷功能：包裝型式是否符合客戶需求。
2. 包裝架構設計原則：(1) 科學性：材料使用正確性及合理性，並使流程標準化並導入機械化自動生產。(2) 可靠性：在包裝結構設計上，需具有足夠的強度和穩定性，通過實驗驗證。(3) 美觀性：包裝設計要運用美學原理達到其要求。(4) 經濟性：設計上運用合理選擇材料、減少原材料成本、降低原材料消耗。

緩衝包裝材的功能在於提供產品在物流或搬運時一個緩衝機制界面。為了設計此一界面，我們必須先測定包裝物在物流過程中遭受到的危害類型與程度，這將包含許多部分，但是其中最重要的是，確保產品安全的運送到顧客手中。

2-3 品質機能展開 (QFD)

品質機能展開 (Quality Function Deployment, QFD) 是以顧客為導向，傾聽顧客的聲音、瞭解消費者的需求，將其為出發點展開一系列整合的工作流程，轉換至產品設計的技術需求上，進行產品的規劃設計與展開。品質機能展開可以使設計人員在設計過程中，對於產品有一個明確的目標。

品質機能展開的整個過程包括了四個階段，本研究採用由水野 (Mizuno)、滋赤尾洋二的整理，形成我們現在所見的品質機能展開圖 (中國生產力中心，1992)，如圖 1 所示，它的活動內容大體可分成四個階段：產品規劃、零件展開、製程規劃、生產規劃。將工程特性之轉換運用 QFD 品質屋進行分析，在一般的文獻中以量化的相對數據表示之並依其重要程度賦予權重。廣義的說法指的是「品質展開」，屬有系統的技術方法，從掌握顧客的需求，訂定產品或服務設計標準化，再將設計品質有系統地展開到各個機能零件或服務項目中，並建立製造工程或服務各要素間的相互關係，使產品或服務在事前完成品質保證，能夠符合顧客需求 (水野滋、赤尾洋二，1978/傅和彥譯，1987)。



圖 1. 品質機能展開圖 (中國生產力中心，1992)

Hauser 與 Clausing (1988) 認為品質機能展開是一種有效的先行設計方法，基本概念產品在初期企劃及構想設計階段時能反映出顧客的需求和喜好，藉以製造出顧客願意購買且會持續購買的產品，所以必須協同行銷、設計、工程、製造、品質等相關人員共同合作。Shiu、Jiang 以及 Tu (2007) 認為運用 QFD 全面展開於設計過程中，能提供企業在新產品發展週期上有效的落實方法。

Wang 與 Chang (2007) 提出 QFD 能有效的得知顧客的需求，轉化為工程設計需求，但缺點是很難確定是否會發生故障，這可能會導致設計變更設計。結合 FMEA 的運用能積極在產品設計階段達到預防故障的發生，更是一個適合驗證產品順利量產並於市場銷售的工具。

研發設計人員首要問題是如何取得顧客需求，將其顧客需求轉化為產品設計、相關製程參數，使其最終產品能滿足顧客所需。應用品質機能展開的技術，透過有程序的設計規劃、控管，其效益可以增加設計效率、減少設計過程的錯誤，能確實掌握顧客的需求符合實際產品，同時提升顧客滿意度。

2-4 失效模式與效應分析 (FMEA)

失效模式與效應分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)，是一種系統可靠性 (reliability) 分析方法，是一種預防技術，是在產品設計發展階段用以研究失效因果關係的一種可靠度工程技術。1950 年初由美國的格魯曼 (Grumman) 公司首先提出 FMEA，主要是運用於飛機操控系統的失效分析，當時因各系統之複雜化，在製造系統上需預防失效發生的可能性，因而逐漸發展成安全性與可靠度的設計，以確保並有效地解決不良問題。接著在 1960 年代美國太空總署 (NASA) 也成功的將 FMEA 技術應用於太空計劃，且美國軍方也開始應用失效模式效應與關鍵性分析技術，並於 1974 年出版軍用標準

MIL-STD-1629 規定 FMEA 作業程序，1980 年將此一標準修訂改版為 MIL-STD-1629A (1980)，延用至今，為目前重要的 FMEA 參考指標之一。

FMEA 是利用一系列的表單來進行可靠度分析。當構成系統之最下層之零件或機器發生故障時，藉此手法可以解析出上層子系統之可靠性、維護性、安全性等所受的影響。透過致命度評估，將重要性加以量化，找出實施對策之優先順序。FMEA 之使用手法層次可分為兩種，一為「解析層次」，解析層次的順序由構成零件、構成機器、子系統、系統、人；另一為「影響解析」，影響解析的順序由零件機器的故障、對子系統的影響、對系統的影響、對人與環境的影響。這兩種的解析手法皆是由小到大，即是由零件的故障向上推估到對系統及人與環境的影響。

FMEA 可分為 SFMEA (系統失效模式與效應分析)、DFMEA (設計失效模式與效應分析) 及 PFMEA (製程失效模式與效應分析)。三種 FMEA 只是對象或階段之不同，所用方法則完全相同，本研究採用 DFMEA。1997 年福特公司利用此技術，在產品設計與製造初期找出潛在問題，並以風險優先指數決定改善優先順序且成效顯著。其方法採用由發生度、檢知度及嚴重度三者相乘而得之風險優先指數 (RPN)，進行風險評估 (Chrysler Corporation, Ford Motor Company, & General Motors Corporation, 2001)，風險優先指數之計算公式如下：

$$RPN = \text{嚴重度 (S)} \times \text{發生率 (O)} \times \text{檢知度 (D)}。$$

FMEA 主要係分析出影響系統失效的要因，找出關鍵失效的可能發生源，以採取妥善的預防措施。除須以 FMEA 工作表單建立分析方法及實施外，亦須注意各因數之影響效應程度，使風險度高的影響因素，可正確反應產品本身之可能失效情況，以便讓設計人員能快速、有效地採取對策，降低產品風險，減少成本的浪費與縮短開發時間。

2-5 實驗設計 (DOE)

實驗設計 (Design of Experiment, 縮寫為 DOE) 是以機率論與數理統計為理論基礎，經濟地、科學地制定實驗方案，以便對實驗數據進行有效的統計分析的數學理論和方法。本研究透過 Minitab 軟體，利用 ANOVA (Analysis of Variance, ANOVA) 統計分析的方法，找出顯著之因子後，根據可控因子及反應變數之特性，規劃一個適當之實驗配置，然後再對實驗數據利用統計方法來找出顯著的影響因子。

實驗設計可以在開發初期從眾多的影響因素中，找出影響輸出的主要因素，分析影響因素之間交互作用影響的大小及實驗誤差的影響大小，提高實驗精度。找出較優的參數組合，並通過對實驗結果的分析、比較，找出達到最優化 (Robert, 2000)。

DOE 是工業界常用來規劃實驗及找出最佳配方或改善產品／製程的統計方法實驗設計，隨著顧客需求的多樣化與產品設計漸趨複雜的趨勢下，產品／製程的設計需要同時考慮多個反應，因此如何最佳化經 DOE 所得之具多反應實驗是目前工業界一個值得關注的課題。

本研究以 QFD 與 FMEA 整合找出設計關鍵因子後，進行針對因子找出工作區間，最終實驗的數據是利用變異數 ANOVA 分析，統計運算求出各因子及相互作用的貢獻度，便可由因子貢獻度，了解何者為顯著因子，在設計上必須做好管制。

三、研究方法

本研究整合品質機能展開 (QFD)，失效模式與效應分析 (DFMEA) 方法的優點，進行特性間的交互影響發展。以顧客需求為主，展開品質的要求與設計上缺失的防堵，在設計開發階段找出最佳產品設計關鍵因子，使產品屬性可與產品要求相符合，已確定的設計缺失，可及時反映到技術要求中，同時達到顧客期望之目標。

故本研究蒐集國內外相關文獻資料彙總，針對 QFD、FMEA 技術之探討，由 QFD 考慮顧客資訊的重要程度展開後，其應用於 TFT- LCD 模組之工業包裝設計個案探討，經分析與討論整合成失效預防的經驗與知識，建立新產品開發 QFD 與 FMEA 方法之程序。整合 QFD 矩陣及 FMEA 的交互對應項目改善情形，得到一個真實反應顧客需求 QFD 與 FMEA 方法模式。本研究希望能藉由此整合模式的建立，來修正 QFD 在設計初期上，對於潛在失效的缺點，使 QFD 更具有使用的價值及更接近於實務，並幫助企業快速且更精確的完成新產品的開發，減少可能發生之損失，提升產品品質增加企業之核心競爭能力。

本研究的整合架構中，以顧客需求為導向，利用 QFD 及 FMEA 的方法整合，透過 QFD 二元矩陣設計進行轉換，進而利用 FMEA 的方法，建構產品的失效及效應分析預防對策；透過 QFDI、QFDII 的工程特性轉換，交互應用於 DFMEA I、DFMEA II，最後找出產品的設計關鍵因子，針對設計關鍵因子進行專家問卷調查及歷史資料的分析整理，定義其設計值水準，利用 Minitab 軟體工具安排實驗規劃及驗證分析。研究主要發展出一個可逐步執行的方法，並實際應用於包裝產品設計驗證方法的有效性。

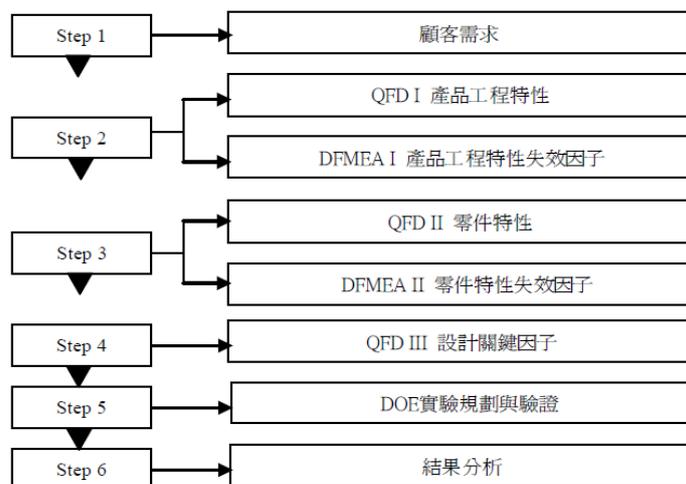


圖 2. QFD 與 DFMEA 設計程序研究方法

四、案例分析與研究結果

本研究之設計目標為工業包裝，而工業包裝主要是以保護產品安全的運送到顧客端，在進行案例分析之前，為了確認研究結果的有效性，本研究統計 98-99 年期間，因設計上的不良造成客訴案件，統計如下表 1，平均每年有 9.5 件因設計上的不良造成的客訴案件，而本研究方法是能掌握市場趨勢與全面品質保證的工具，不但可協助設計師掌握顧客的需求、確認關鍵設計特徵屬性、防止開發過程中資訊傳遞錯誤或遺漏、減少設計變更的次數、並縮短產品開發週期與增加顧客的滿意程度。本研究也將改善後的結果，進行追蹤確認其方法的有效性。

表 1. 98-99 年客訴統計表

Item (單位:件數)	98年		99年	
	1~6月	7~12月	1~6月	7~12月
緩衝設計不良產品破裂Issue	2	1	2	2
紙箱破裂產品破裂Issue	0	1	0	1
緩衝GAP太大產品破裂Issue	1	0	1	2
緩衝GAP太小產品壓傷Issue	1	2	2	1
TOTAL	19			

4-1 案例研究步驟

在進行前必須透過企業內各部門成立專案小組，由銷售人員 2 名、研發人員 2 名、採購人員 1 名、品管人員 1 名、包裝人員 1 名、倉管人員 1 名等相關部門的代表共 8 名人員組成專案小組，協助案例展開的過程中，透過共同的腦力激盪及深度的討論，協力完成此研究方法執行與驗證。

4-1.1 Step 1：顧客需求項目之歸納

本研究以開放式問卷調查的方式廣泛來收集顧客對於工業包裝的功能需求。問卷調查的對象為目前業界顯示器廠商即 TFT-LCD 模組之客戶，該階段訪談之對象為 15 名，包含銷售人員、倉管人員、製造人員…等。問卷內容主要針對顧客對於模組之工業包裝材料的概念、及工業包裝設計該注意哪些事項、設計要求哪些項目、抱怨及不滿之項目。利用 KJ 關聯法展開，我們整理出顧客需求，在工業包裝產品設計之顧客需求與品質要求表中共 28 項，最後再將顧客心目中重要性基準項目可歸納為七個需求分別為：重量輕、體積小、方便拿取、包裝簡單、價格便宜、保護性佳、符合環保等。

4-1.2 Step 2：QFD I 產品工程特性及 DFMEA I 失效因子確認

透過顧客需求經過專案小組的討論進行 QFD I 產品工程特性的轉換，對於競爭產品的評估，本研究將其競爭產品定義為目前 TFT-LCD 業界模組產品常使用之包裝材料的評估，以市場上最具代表性的四種型態進行顧客需求決策，包裝材料分別以 Paper Cushion、EPE Cushion、EPS Cushion、PET Tray 等四種材料及設計架構，如下頁表 2 所示，進行競爭產品的比較，以對顧客需求中的包裝材料之重視程度、水準提昇率與銷售重點來計算出顧客需求的權重分數，以了解顧客對材料應用於 TFT-LCD 模組工業包裝設計的選擇。

QFD I 產品工程特性的轉換結果，主要評分結果重要度以可靠度 40.1%，其次為重量 34%，接續為材積 25.9%，而材料的選擇以 EPE Cushion 為主。後續藉由 DFMEA I 產品工程特性失效因子評估風險優先值，RPN 值如下：緩衝間距過大 42、緩衝間距不適當 42、緩衝外形不適當 42、緩衝材料不適當 42、材質參數不適當 28、緩衝厚度不適當 42、包材重量過重 28、紙箱強度不足 28。

表 2. TFT-LCD 模組之工業包裝材料型態

顧客需求	需求重要度 (1-10)	QFDI 產品工程特性			材料競爭分析				材料權重	
		產品可靠度	包裝重量	緩衝材積	Paper Cushion	EPE Cushion	EPS Cushion	PET Tray	重要度自評 (1-5)	絕對權重
重量輕	8	◎	◎	△	◎	◎	◎	△	1	8
體積小	8	◎	◎	◎	△	○	○	○	1	8
方便拿取	8	◎	○	△	○	◎	○	◎	1	8
包裝簡單	8	◎	○	△	△	◎	◎	○	1	8
價格便宜	9	△	○	◎	○	○	◎	△	1	9
保護性好	10	◎	○	○	○	◎	○	○	2	20
符合環保	7	△	△	△	◎	○	△	○	1	7
重要度	絕對權重 百分比	226 40.1%	192 34.0%	146 25.9%	202	294	240	186		
排列		1	2	3						

◎ 有高度對應關係，給予數值 5
○ 有中度對應關係，給予數值 3
△ 有些微對應關係，給予數值 1

註: 1. QFDI 產品工程特性絕對權重 = (各 QFDI x 各需求重要度) 之相加值
EX: 產品可靠度絕對權重 226 = (8x◎5) + (8x◎5) + (8x◎5) + (8x◎5) + (9x△1) + (10x◎5) (7x△1)
2. 材料競爭分析絕對權重 = (各材料競爭分析 x 各絕對權重) 之相加值

4-1.3 Step 3 : QFD II 零件特性及 DFMEA II 失效因子確認

由專案小組依據 DFMEA I 風險指數優先順序，轉換為 QFD II 零件特性重要度。主要評分結果：緩衝材料強度 17.5%、緩衝厚度 17.5%、緩衝間距 17.5%、緩衝外形 15.7%、紙箱強度 10.1%、單箱總重量 10.7%、紙箱材料 7%、袋子材質與強度 3.9%。取其重要度 15%以上進行 DFMEA II 零件特性失效因子進行風險評估，如表 3。

表 3. DFMEA II 零件特性失效因子

功能要求	潛在失效模式	潛在失效潛在效應	嚴重度	發生度	檢知度	風險優先數值
緩衝材料	材料太硬	發泡倍率太小	7	2	2	28
		抗折變形強度不足	7	2	2	28
	材料太軟	發泡倍率太大	7	2	2	28
		緩衝材厚度不足	7	3	2	42
		壓縮強度不足	7	2	2	28
緩衝厚度	緩衝厚度不足	成型時間不足	7	2	2	28
緩衝間距	間距過大	模組放置面X (垂直) 方向尺寸過大	7	4	3	84
		模組放置面Y (水平) 方向尺寸過大	7	4	3	84
		模組放置面Z (深度) 方向尺寸過大	7	4	3	84
	間距過小	表面平整度不良	7	2	3	42
		模組放置面X (垂直) 方向尺寸過小	7	3	3	63
		模組放置面Y (水平) 方向尺寸過小	7	3	3	63
		模組放置面Z (深度) 方向尺寸過小	7	3	3	63
緩衝外形	外形太複雜	外形複雜，不易成型	7	3	4	84

註: RNP=嚴重度 (S) x發生度 (O) x檢知度 (D)
EX: 發泡倍率太小RNP 28=7 (S) x2 (O) x2 (D)

4-1.4 Step 4 : QFD III 設計關鍵因子確認

最後由專案小組經由腦力激盪法依據 DFMEA II RPN 值於 42-84 需區間的風險因子，進行 QFD III 設計關鍵因子確認後，如表 4 所示，取其 QFD III 重要度 15%以上作為設計關鍵值得研究發展，其結果主要依序如下：模組放置面 Z（深度）方向尺寸、緩衝材厚度、模組放置面 X（水平）方向尺寸及模組放置面 Y（垂直）方向尺寸。

表 4. QFD III 設計關鍵因子

顧客需求	QFD III設計關鍵因子						
	需求重要度	材料結構	表面平整度	模組放置面 X (水平) 方向尺寸	模組放置面 Y (垂直) 方向尺寸	模組放置面 Z (厚度) 方向尺寸	緩衝材厚度
包 緩衝材料	9	○	◎	◎	◎	◎	○
材 緩衝厚度	8	○	◎	◎	◎	◎	◎
緩衝間距	10	○	△	○	○	◎	○
緩衝外形	8	△	△	△	△	△	◎
重要度	絕對權重	89	103	123	123	143	137
	百分比重	12.4%	14.3%	17.1%	17.1%	19.9%	19.1%
排列		4	5	3	3	1	2

註：QFD III 設計關鍵因子絕對權重=（各 QFDIII x 各需求重要度）之相加值

EX：材料結構絕對權重 89=（9x3）+（8 x3）+（10 x3）+（8x1）

本研究採用紙本問卷調查方式共為 18 份。受測專家人數為男性 11 位，女性 7 位，專家包含於 TFT-LCD 業界任職 8 年以上之專業工業包裝設計師 9 位，以及 TFT-LCD 產業之包裝材料供應 9 位，本研究以專家們之意見作為研究數據來源，由專家依據實務經驗提供最佳安全設計值為：X1（Z_深度）GAP 1-2mm、X2（緩衝材厚度）厚度 15-20mm、X3（X_水平）GAP 2-3mm、X4（Y_垂直）GAP 2-3mm。為驗證本研究專家問卷之設計指標具有可用性，此階段進行目前業界實際量產中，相同的設計架構之設計值數據的統計，包裝材料為 EPE Cushion，模組尺寸以 9.8~20.1 吋為參考依據，共計 20 項目。依據 Minitab 進行分析，統計分析結果顯示專家問卷之設計指標及量產實績數值符合 95%信賴度。

表 5. 量產品規格值曲率效應分析

ITEM	Minimum	Median	Maximum	Confidence Intervals
x 1 (Z_深度)	1	1.9	2	1.5-1.9765
x 2.1 緩衝材厚度 (X軸)	15	15	20	15-19
x 2.2 緩衝材厚度 (Y軸)	15	20	20	15-20
x 3 (X_垂直)	2	2.4	3	2.1-2.9964
x 4 (Y_水平)	2	2.5	3	2.3714-2.7326

本研究依據專家問卷調查結果及歷史資料統計分析結果，顯示專家經由問卷提供的設計值數據，符合 TFT-LCD 業界量產品的安全設計規格值，如下頁圖 3 所示。

4-1.5 Step 5 : DOE 實驗規劃與驗證

1. DOE 實驗規劃

利用科學的實驗設計方法，從而減少實驗次數、縮短實驗週期，提高經濟效益。運用 Minitab 軟體進行 DOE 全階層實驗進行 24 個變數加上 3 個中心複合的實驗設計，共計 19 組實驗，參數設定規劃如

下，如表 6 所示：

主要指標

1. Y1 定義：產品可靠度，依單箱產品實際進行 RA (Reliability Analysis) TEST 後，產品的安全數量。
2. Y2 定義：因為緩衝材積影響包裝重量，存在相對應的關係。因此，Y2 定義為緩衝材積，也就是單箱模組產品使用的 EPE 材料材積量。

控制因子 X (單位:MM)

1. X1 定義：模組放置面 (Z_深度) 方向尺寸 GAP 規格值，設定為最小值 1 及最大值 2。
2. X2 定義：緩衝材厚度尺寸厚度規格值，設定為最小值 15 及最大值 20。
3. X3 定義：模組放置面 (Y_垂直) 方向尺寸 GAP 規格值，設定為最小值 2 及最大值 3。
4. X4 定義：模組放置面 (X_水平) 方向尺寸 GAP 規格值，設定為最小值 2 及最大值 3。

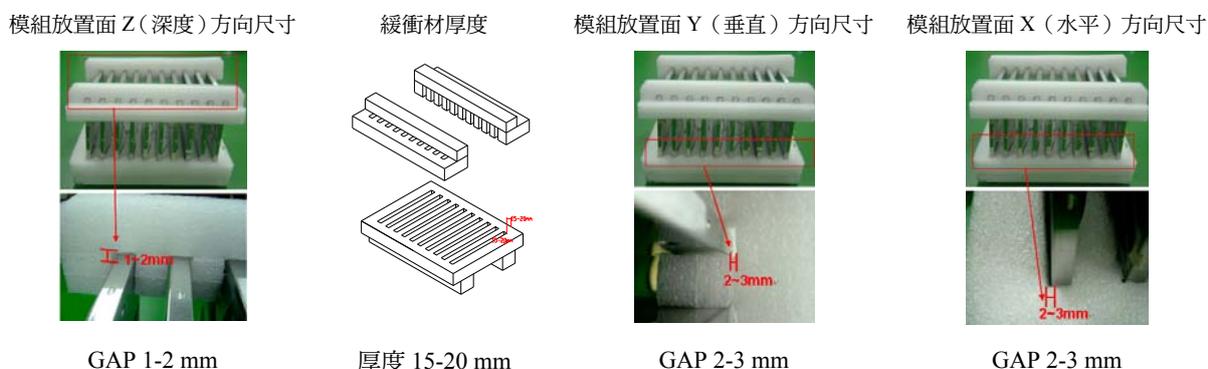


圖 3. TFT-LCD 設計關鍵因子圖示

表 6. DOE 實驗參數列結果表 (單位：MM)

實驗組數	X1 Z_深度	X2 緩衝材厚度	X3 Y_垂直	X4 X_水平	Y1 模組驗證結果/PCS	Y2 緩衝材積用量(CM ³)
1	2	20	2	3	4	9496
2	1.5	17.5	2.5	2.5	6	6453.1
3	1	20	2	2	10	9765.2
4	2	15	3	2	6	6420.9
5	2	15	3	3	3	7119.2
6	2	20	2	2	10	9686.8
7	1	20	3	3	1	8603.1
8	1	15	2	2	8	6506.6
9	1	15	3	2	6	6485.4
10	2	15	2	3	4	6646.9
11	1.5	17.5	2.5	2.5	5	7903.1
12	2	20	3	2	7	9469.6
13	1.5	17.5	2.5	2.5	4	8071.4
14	1	20	3	2	7	9744
15	1	15	3	3	3	6257.4
16	2	15	2	2	9	6442.1
17	1	15	2	3	5	6311.8
18	2	20	3	3	2	9473.6
19	1	20	2	3	5	9494.4

註：Y1 數值代表實際驗證後安全的片數
Y2 數值代表使用的緩衝材料換算的體積

2. TFT-LCD 模組工業包裝驗證條件

依據 DOE 實驗參數，進行 EPE 產品包裝可靠度驗證，模組裝箱狀態，如圖 4 所示。包裝貨物在運輸過程中最常受到人為搬運失誤導致掉落、衝撞、滾翻、振動等，使紙箱遭致物理性破壞。在包裝設計完成時，藉模擬運輸試驗來測試它的保護性，此研究之包裝驗證條件依據 ISTA 1A 2001 (2012) 國際運輸安全測試規範，步驟先進行 Vibration Tset (三軸: X、Y、Z、振動次數: 14,200 次、加速度 1.47G、頻率: 120Hz) 後，接續進行 Drop Tset (1 角、3 菱、6 面)，本研究之產品包裝貨物為 18.7KG，故落下高度為 610mm。



圖 4. TFT-LCD 模組產品實際包裝方式

A. 振動試驗 (Vibration Test)

檢測包裝及緩衝材料之疲勞性，測試產品因振動而遭破壞之情形，主要目的確保包裝保護之性能。包裝貨物在運輸過程中，由於各種運輸工具及不同運輸環境產生之振動與包裝貨物可能產生共振現象，過程中包裝容器、封箱、固定或緩衝材料可能因振動而疲勞，發生破壞現象，此驗證模擬實際運輸時產生之振動之可靠度驗證條件，如圖 5 所示。

B. 落下試驗 (Drop Test)

模擬包裝貨物在所定之高度落下後，紙箱與內容物之強度及破損度之試驗；模擬落下試驗高度、著地點、試驗次數、試驗順序等條件之設定，以瞭解產品在運輸過程中因裝載或搬運不慎造成掉落地面所遭受之撞擊，包裝貨物破損情形。包裝貨物運送中最常遭遇到而且最嚴重的是由掉落所產生的破損。落下試驗是包裝貨物運輸試驗的重要項目之一，如圖 6 所示。

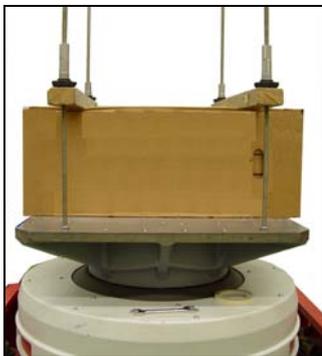


圖 5. 振動試驗狀態

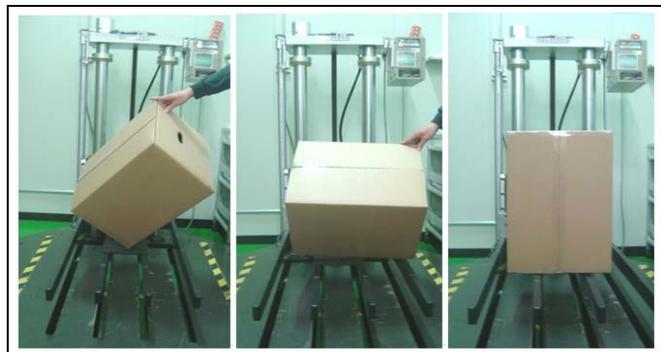


圖 6. 落下試驗狀態

3. 分析結果

(1) Y1 產品可靠度及 Y2 緩衝材積之柏拉圖分析結果

主要因子 Y1（產品可靠度）運用 Minitab 進行結果分析如下：

經由產品可靠度變異數分析，從柏拉圖的分析結果，可以協助找到顯著因子，依據圖 7 所示 Y1 產品可靠度：X4（X_水平）、X3（Y_垂直）因子有顯著、X2/X4（緩衝材厚度/X_水平）因子交互作用顯著，另 X2（緩衝材厚度）在模式中為不顯著效應。

Y2 緩衝材積（如圖 8 所示）統計結果：X2（緩衝材厚度）為顯著因子，其餘因子在模式中為不顯著效應。

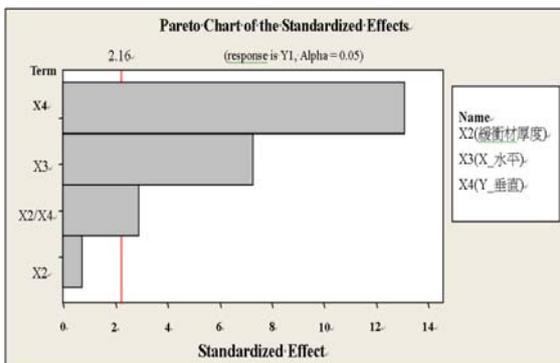


圖 7. Y1 產品可靠度柏拉圖

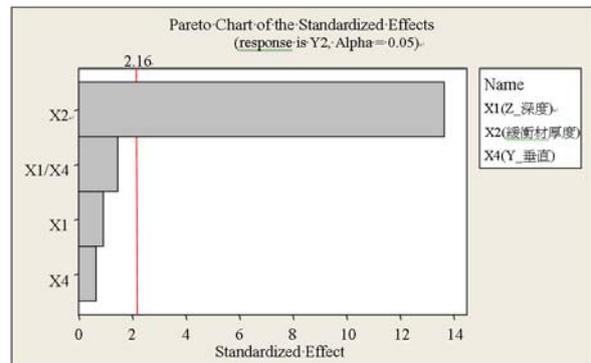


圖 8. Y2 緩衝材積柏拉圖

(2) Y1 產品可靠度及 Y2 緩衝材積之 ANOVA 變異數分析結果

ANOVA 分析 Y1 產品可靠度結果，如圖 9 所示，顯示 X3（Y_垂直）、X4（X_水平）的 p 值 < 0.05 為顯著因子。而 X2（緩衝材厚度）和 X4（X_水平）呈現顯著的交互作用。統計上需求 R-Sq（adj）需大於 70%，而 R-Sq（adj）值 93.48%，表示數據中有 93.48% 的變異可以被數學模式解釋。

ANOVA 分析 Y2 緩衝材積結果，如圖 10 所示，顯示 X2（緩衝材厚度） p 值 < 0.05 為顯著因子。R-Sq（adj）值 91.31%。

Factorial Fit: Y1 versus X2, X3, X4					
Estimated Effects and Coefficients for Y1 (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5.625	0.1626	34.59	0.000
X2	0.250	0.125	0.1626	0.77	0.456
X3	-2.500	-1.250	0.1626	-7.69	0.000
X4	-4.500	-2.250	0.1626	-13.84	0.000
X2*X4	-1.000	-0.500	0.1626	-3.07	0.009
Ct Pt		-0.625	0.4092	-1.53	0.151
S = 0.650444 PRESS = 11.0138					
R-Sq = 95.29% R-Sq(pred) = 90.57% R-Sq(adj) = 93.48%					

圖 9. Y1 產品可靠度 ANOVA 圖

Factorial Fit: Y2 versus X1, X2, X4					
Estimated Effects and Coefficients for Y2 (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7995.2	107.6	74.31	0.000
X1	198.4	99.2	107.6	0.92	0.373
X2	2942.8	1471.4	107.6	13.68	0.000
X4	-139.8	-69.9	107.6	-0.65	0.527
X1*X4	318.8	159.4	107.6	1.48	0.162
Ct Pt		-519.3	270.8	-1.92	0.077
S = 430.341 PRESS = 4465841					
R-Sq = 93.73% R-Sq(pred) = 88.36% R-Sq(adj) = 91.31%					

圖 10. Y2 緩衝材積 ANOVA 圖

(3) Y1 產品可靠度及 Y2 緩衝材積之殘值圖分析結果

接著進行殘差分析，殘值圖判定標準可從 p 值進行判定，Y1 產品可靠度殘差分析圖，如圖 11 所示， p -Value 0.564 > 0.05 時則為常態分配。而可看出點子呈直線分布無違反假設之圖形變化趨勢（X 軸表示為實驗順序 Y 軸表示為殘差），故所配置模式符合常態分配。

Y2 緩衝材積殘值圖，如圖 12 所示， p -Value 0.171 > 0.05 判定為常態分配，且點子呈直線分布，並沒有發現離群的點，則隨機誤差服從常態分配成立。

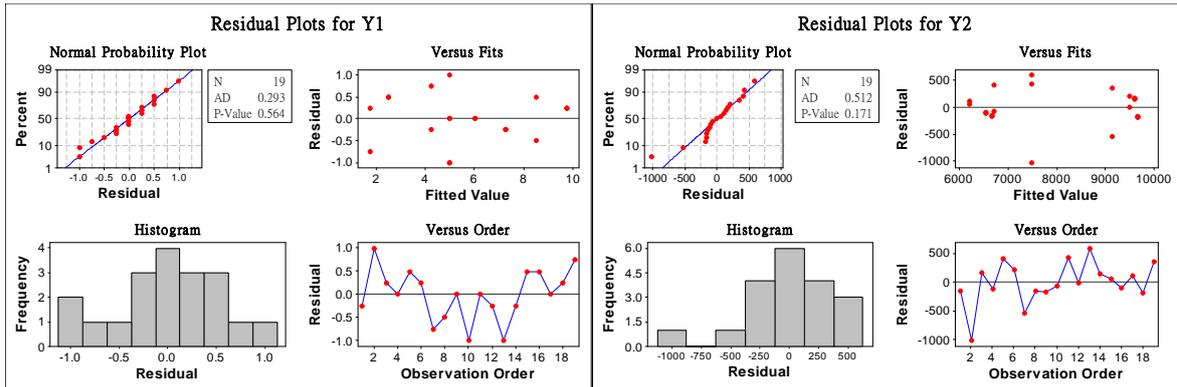


圖 11. Y1 產品殘值圖

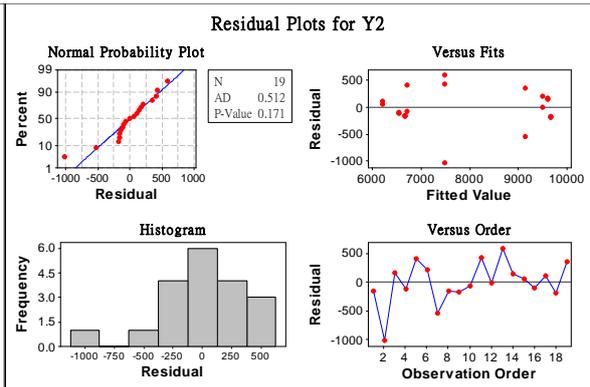


圖 12. Y2 緩衝材積殘值圖

(4) 小結

由實驗檢定分析結果如下，如下頁表 7 所示：

Y1（產品可靠度）：

1. 影響 Y1 的因子 X3 p 值 < 0.001 和 X4 p 值 0.001 為顯著因子、X2/X4（緩衝材厚度/X_水平）因子交互作用顯著，而 X2（緩衝材厚度）在模式中為不顯著效應。
2. 找出 Y1 Constant 為 5.625，而其中 X4 Coef 為 -2.25 影響因子的程度最大。
3. Y1 顯示 R-Sq (adj) 值 93.48%，表示數據中有 93.48% 的變異可以被數學模式解釋。

Y2（緩衝材積）：

1. 影響 Y2 的因子 X2 p 值 0.001 為顯著因子、其餘因子皆為不顯著。
2. 找出 Y2 Constant 為 7995.2，而其中 X2 Coef 為 1471.4 影響因子的程度最大。
3. Y2 顯示 R-Sq (adj) 值 91.31% 的變異可以被數學模式解釋。

實驗結果在工業包裝設計的應用上的建議，如下頁表 8 說明：

Y1 顯著因子 X3 及 X4 GAP 主效應圖顯示趨向 2mm 時，其對應包裝的可靠度越高，GAP 越大時可靠度越低，中心值介於 2-3mm 之間。顯示說明 X3（X_水平）及 X4（Y_垂直）GAP 越小安全性越好，所以在 X3 及 X4 GAP 偏小（2mm）的設計值，可以增加產品的安全性之外，亦可以提升單箱的裝片數。

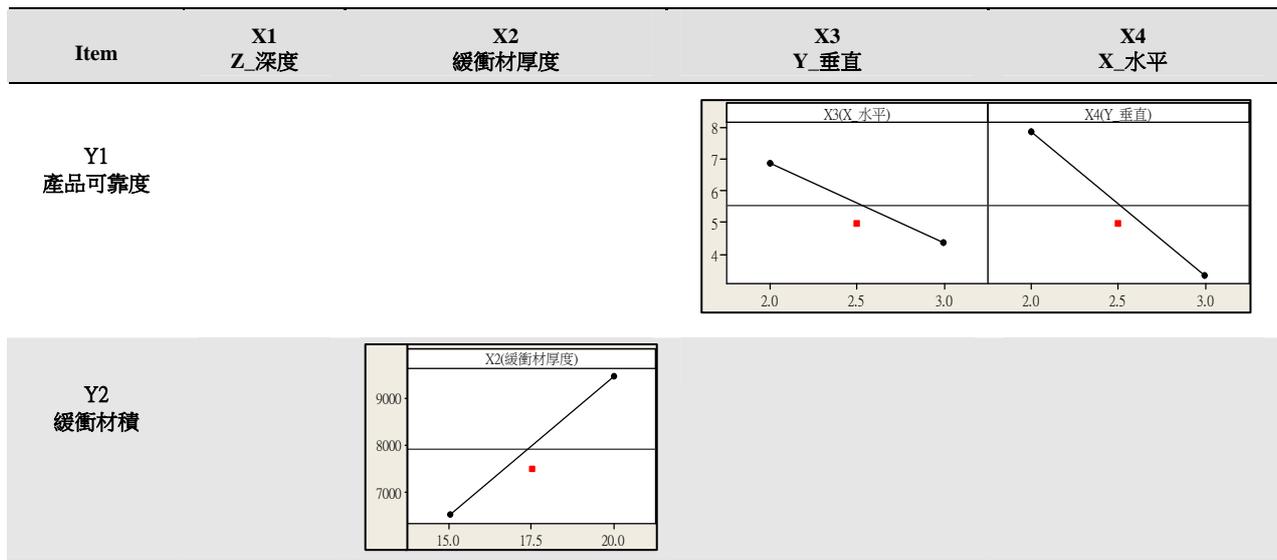
Y2 顯著因子 X2（緩衝材厚度）在工業包裝設計上，會有較大的彈性，材料厚度越厚，材料使用量越多，包裝成本越高，Y1 實驗結果顯示緩衝材厚度於包裝安全上非顯著因子，建議材料的使用可選擇較為有利的設計進行包裝，藉以達到包裝減量，較佳的設計模式。

表 7. 實驗檢定分析結果

Item	X1 Z_深度			X2 緩衝材厚度			X3 Y_垂直			X4 X_水平			X2 (緩衝材厚度) / X4 (X_水平)			X1 (Z_深度) / X4 (X_水平)			Constant	R-Sq (adj)
	Coef	p 值	*	Coef	p 值	*	Coef	p 值	*	Coef	p 值	*	Coef	p 值	*	Coef	p 值	*		
Y1 產品 可靠度	/			0.125	0.456		-1.25	<0.001	**	-2.25	0.001	***	-0.5	0.009	*	/			5.625	93.48%
Y2 緩衝 材積				99.2	0.373		1471.4	0.001	***	/			-69.9	0.527						

註: Coef 為各 Item (X1、X2、X3---) 的係數; p 值<0.05 表示達到顯著; Constant 表示為常數

表 8. Y1 產品可靠度與 Y2 緩衝材厚度顯著因子主效應說明



依據研究結果的最佳設計值，作為設計依據 X2 (緩衝材厚度) : 15mm、X4 (X_水平) : 2mm 及 X3 (Y_垂直) : 2mm 進行工業包裝設計，進行驗證確認其有效性，結果發現 100 年 2 月至 7 月期間，客訴案件僅 1 件，其主要原因: 緩衝 GAP 太小產品壓傷 Issue (GAP 值<2mm)，由此件客訴原因可以驗證 GAP 的設計值偏小時會影響產品的可靠度。結果顯示此設計程序之研究方法能有效的控制新產品研發品質，減少可能發生之損失，提升產品品質。

五、結論與建議

本研究整合品質機能展開 (QFD) 和失效模式與效應分析 (FMEA) 方法做為設計程序之研究方法，將其顧客需求導向為產品研發設計的系統性程序方法，本研究案例主要以 TFT-LCD 模組工業包裝設計為探討個案，研究方法亦可導入其他產品應用。

5-1 研究結論

本研究之結果，可在產品開發上提供一套有系統的方法程序，顧客導向作為基礎來探索需求，能減少新產品開發次數、降低開發過程中潛在失效的發生風險，提升產品品質穩定性及顧客滿意度，增加企業競爭力。

1. 顧客需求導向的程序性產品開發方法

本研究提出之產品開發方法以品質機能展開法 (QFD) 與失效模式與效應分析 (FMEA) 二個方法為主軸，顧客導向為基礎，希望將顧客需求具體的轉化為可實現之設計關鍵，並且可作為一個設計決策的程序，解決在產品在開發初期，對於真正的顧客需求不夠重視的情形，利用品質機能展開了解顧客需求，透過失效模式與效應分析進行改善及預防，讓新產品在設計上能更接近顧客的需求，整合顧客意見與開發團隊間的專業領域知識，實際規劃出產品設計的關鍵因子。

2. QFD 與 FMEA 的結合幫助產品在工程/零件特性的轉換過程提升研發品質

研究將失效模式與效應分析結合入品質機能展開的轉換過程中，修正 QFD 在設計初期上，潛在失效的缺點，使 QFD 更具有使用的價值及更接近於實務，並幫助企業快速且更精確的完成新產品的開發，在新產品研發專案失效預防的參考工具，達成高效率系統化的控制新產品研發品質，減少可能發生之損失，提升產品品質。

3. 運用實驗設計可以節省實驗的資源及時間

實驗設計在實際之實驗程序背後，已建立一套數學的基礎根據，有助於更易於了解分析的技術及直覺上的解釋，對資料的分析相當地方便。實驗設計可以在開發初期，進行合理安排，於簡化解析對象之實驗數目，以最小限度之實驗及較低的試驗成本，達成相同的效果，繼而達成預期之目標，獲得理想的試驗結果以及得出科學的結論。

5-2 研究討論與建議

1. 工業包裝材料的選擇需謹慎注意

工業包裝材料的選擇，對顧客需求重要性分數以及最後的調整係數有舉足輕重有影響，因此在 TFT-LCD 模組工業包裝材料的選擇，需要非常謹慎並且儘可能完整表達設計需求。

2. 對於設計關鍵因子的設計值定義，可參考其他產品設計值

在設計關鍵因子的設計值定義上，本研究主要採用光電業包裝設計專家的看法，建議納入不同產品設計的專家之意見，可讓設計指標研究更周延，也能進一步分析工包裝設計在產品別上的差異。

誌謝

本研究之經費承蒙國家科學委員會補助，計畫編號 NSC 101-2221-E-006-012。

參考文獻

1. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, & General Motors Corporation (2001). *Potential failure mode and effects analysis reference manual* (3rd ed.). Southfield, MI: Automotive Industry Action Group.

2. Hauser, J. R. & Clausing, D. (1988). The house of quality. *Harvard Business Review*, 1, 63-73.
3. Hassan, A., Siadat, A., Dantan, J.Y., & Martin, P. (2009). Interoperability of QFD, FMEA, and KCs methods in the product development process. *Proceedings of Industrial Engineering and Engineering Management Conference* (pp. 403-407). Hong Kong: IEEM.
4. ISTA 1A 2001 (2012). *ISTA 1 Series: Non-Simulation Integrity Performance Test Procedure*. Sunol, CA: International Safe Transit Association (ISTA).
5. Kotler, P. (2003). *Marketing management: An asian perspective*. New Jersey, NJ: Prentice-Hall.
6. MIL-STD-1629A (1980). *Military standard procedure for performing a failure mode, effects and criticality analysis*. Washington, DC: Department of Defense in United States of America.
7. Robert, O. K. (2000). *Design of experiments: Statistical principles of research design and analysis* (2nd ed.). Pacific Grove, CA: Duxbury.
8. Shiu, M. L, Jiang, J. C, & Tu, M. H. (2007). Reconstruct QFD for integrated product and process development management. *The TQM Magazine*, 19(5), 403-418.
9. Wang, C. S., & Chang, T. R. (2007). Integrated QFD, TRIZ and FMEA in conceptual design for product development process. *Proceedings of the 13th Asia Pacific Management Conference* (pp. 1085-1095) . Melbourne, Australia: Melbourne.
10. 中國生產力中心 (1992) 。系統化品質機能展開-實務技術手冊。台北市：中國生產力中心。
Chinese Productivity Center (1992). *Systematic quality function deployment - Technical manual*. Taipei City: Chinese Productivity Center. [in Chinese, semantic translation]
11. 水野滋、赤尾洋二 (1987) 。品質機能展開 (傅和彥譯) 。台北市：前程企業。(原作 1978 年出版)
Yoji, A. & Shigeru, M. (1987). *Quality function deployment: A company-wide quality approach* (Fu, H. Y. Trans.). Taipei City: Future Career Management. (original work published 1978) [in Chinese, semantic translation]
12. 鄧成連 (1987) 。商品包裝設計。台北市：新形象。
Teng, C. L. (1987). *Packaging design*. Taipei City: New Image. [in Chinese, semantic translation]

TFT-LCD Industrial Packaging Design Based on QFD and FMEA

Shuo-Fang Liu^{*} Yann-Long Lee^{**} Feng-Ru Gau^{***}

Dept. of Industrial Design, National Cheng Kung University

* liusf@mail.ncku.edu.tw

* ruru.kao@chimei-innolux.com

** Dept. of Technological Product Design, Ling Tung University

miro@teamail.ltu.edu.tw

Abstract

Nowadays, developing competitive products is becoming more and more important in global business. Therefore, how to convert customer needs into product features, preventing potential failures, and reducing uncertainties in product development will be a major issue in enhancing competitiveness. This research integrated the methods of Quality Function Deployment (QFD) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to develop the industrial packaging design for semi-finished product transportation of TFT-LCD Module. First, a questionnaire was used as the basis for identifying customer needs. Next, QFD I, II, III and DFMEA I, II were used to determine the priority of the essential factors in product feature and quality. Through experiments and validation, the results shown that the procedures and the methods of this research could effectively reduce the number of customer complaints caused by poor design quality. For instance, after we applied the methods of this research to the product development process, the number of customer complaints, which was originally 4.75 in every six months averagely, had reduced to 1 from February to July in 2011. Therefore, we concluded that the method proposed in this research is effective.

Keywords: Customer needs, Industrial Packaging Design, Quality Function Deployment (QFD), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).