

# 應用失效模式與效應分析(FMEA)與專案品質管理-以營建業機電工程為例

## Application Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Project Quality Management-A Case Study of Electrical and Mechanical Engineering in Construction Industry

葉惠忠<sup>1</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系 副教授

hcyeh@nkust.edu.tw

朱珮儀<sup>2</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系碩士在職專班 研究生

J108257120@nkust.edu.tw

### 摘要

如期、如質、如預算是完成專案最理想的目標，且專案最終品質目標須符合業主的期望及需求。目前一般公共工程不定期會利用工程查核來監督專案工程施工品質，但因本研究所採用之個案案例為承攬私人工程，雖已在品質規劃上落實公共工程三級品管制度，但專案驗收時所發生之缺失之頻率還是很高，故藉此引用專案管理方法，由FMEA來分析缺失發生原因及改善對策，在專案執行時把可能造成缺失的失效模式找尋出來並提出相對應之改善對策，以降低完工時偕同業主或使用單位辦理初次驗收時所發生缺失的次數。

**關鍵詞：專案管理、品質管理、失效模式與效應分析(FMEA)**

### 1.緒論

#### 1.1 研究背景和動機

目前許多建築物都需要仰賴機電、管道及相關建築設備才能順利運作，業界對此行業的需求量也相對較高；新建工程之物件數量雖會受到工程規模的大小、多寡或景氣的好壞有所影響，但已完工且使用中之建築物對於汰舊換新、維護保養、設備檢修等需求卻不會因景氣好壞而消失。(機電、管道及其他建築設備安裝業，2020)

機電、管道及其他建築設備營運模式有別於一般產業，其涵蓋的項目及服務範圍很廣泛，所需要的技術也比較多元，並結合電機、機械、消防、空調、給排水、監控、自動控制、無塵等不同領域之專業工程技術來滿足客戶所需之作業環境；因投資發包金額多屬鉅額，高技術人力需求及資本密集的行業，技術、品質及經驗之累積就相對重要，此外，擁有豐富的工程承攬實績與信譽良好，才得以獲得客戶信賴並順利承接工程。(機電、管道及其他建築設備安裝業，2020)

一般傳統製造業品質管理系統多採ISO 9001系列驗證，但由於通過該驗證就只是代表公司符合某種特定程度之品質，即保證對產品、服務和製程可提供一致性之品質。國際標準組織亦指出，ISO 9001系列標準並無隱含提供品質管理系統架構或文件的一致性之意圖，它所規範的標準亦僅建議適當品質管理系統的必要元素，而不是當作運用的方法，每個組織必須設計自己的系統來配合這些要求。所以通過ISO 9001系列驗證並不保證該公司的產品或服務的品質優於其他公司的品質，只能說ISO 9001系列驗證之公司可能為提供較一致性之品質(簡聰海，2003)。然營造業下之機電工程為工期較長、所投入的成本較為鉅額之行業，故採用與營造業相似之專案管理方法較為適合，且因目前有關機電工程缺失發生頻率大多以以往工程慣例或經驗來降低，因此本研究動機為如何改善機電工程品管缺失之發生頻率。

#### 1.2 研究目的

目前業界專案人員大多以過去相關工程經驗提供並傳承教育給後輩，但相關知識沒有系統性或條列式的分析並改善，往往會將原有可能犯錯的問題點持續延至下一個專案；針對上述可能發生之原因及困難，提出專案品質管

理方法，以FMEA方法分析缺失發生之原因及頻率，並將此結果預防於下個專案工程，以提昇工程品質、降低施工品質缺失頻率，以如期完工來提升工程利潤與企業競爭力。

規劃機電工程專案品質之架構，並依系統性的管理，於工期內提升工程品質、降低施工品質缺失頻率，達成提高工程利潤與企業競爭力之成果。

個案公司以本研究規劃其專案品質架構，並搭配ISO 9001品質管理系統驗證，以達適應不同專案管理之需求。

### 1.3 研究範圍

機電工程多以配合營造業承攬工程為主，屬營造業之一部分，工程進度配合主結構時程進場配管拉線施作、設備安裝及後續設備測試運轉。

本研究僅對於專案品質管理之分析規劃部份進行研究，依據專案之工作分解結構(Work Breakdown Structure, 簡稱WBS)及參考施工規範與契約條文，採用失效模式與效應分析FMEA預防專案品質問題，而後續控制及改善部分僅做簡述。另有關工期及成本預算部分本研究尚未深入探討。

## 2. 文獻探討

### 2.1 營造業與專案管理概述

#### 一、營造業

內政部營建署法規公告第一章第三條二. 營造業：係指經向中央或直轄市、縣（市）主管機關辦理許可、登記，承攬營繕工程之廠商。其中，所謂法定程序係指依據法規內容向主關機關辦理許可、登記、承攬之程序；而合法單位係指依法開業登記之廠商；承辦之項目內容則包含建築、土木、水利、環境、交通、機械、電氣、化工及其他經法規認定之工程。簡言之，營造業是於特定之預算、特定之地點、特定之時間內，集合工程專業人員與施工人力，利用適當之施工機具與設施，整合工程所需之工程材料與設備，完成規劃、設計與規範所需求之產品（王明德，1996）。

依據「中華民國行業標準分類」，營建工程業可大致分為建築工程業、土木工程業、專門營造業，然而機電、管道及其他建築設備安裝業是從事建築物及土木工程結構體基本設備安裝、維修等行業（例如：機電設備、電信線路、電力線路、冷凍系統、通風系統、空調設備、管道等工程），都是屬於專門營造業的其中一項。

機電、管道及其他建築設備安裝業是營建工程業的一部份，建築物及土木工程結構體的機電設備、電信線路及電力線路之安裝、維修等行業，如電力、電纜及電話線路、公路號誌、電梯、電扶梯、消防警報、自動門、監視系統...等安裝工程「機電、電信及電路設備安裝業」、從事冷凍、空調及通風設備之安裝、維修，及下水道、各種管道末端之接、配管等工程「冷凍、空調及管道工程業」及從事避雷針、家用衛星接收器等工程「其他建築設備安裝業」，例如建築物假設是人體，結構就是骨骼，而機電、管道及其他建築設備就好像是器官和血管，必須讓整體建築物保持 24 小時功能正常並發揮最佳效能的任務，掌控運轉的命脈。（嚴真敏，2009）

#### (一) 個案公司簡介

個案公司創立於1978年，早期僅承攬一般中、小型空調、水電工程，1981年將資本額增資並開始承接中小型軍方研究單位無塵室工程及大型GMP藥廠之整廠機電、無塵室工程。1985年已擁有製藥廠整廠機電、製程及無塵室工程之實績，2009年與營造業合資，在專業技能方面垂直整合了土建及機電，組成國內唯一跨足高科技建廠、生化建廠及商辦、城市開發的統包工程公司。個案公司重要沿革如下：

1. 1978年，傳統空調/機電工程與Clean room之基礎養成期。
2. 1991年，Clean room專業工程積極投入期，承接大型無塵室工程之能力與實力已成熟。
3. 1995年，投入8吋、12吋IC晶圓製造廠及TFT-LCD生產工廠之規劃、設計、建造工程。
4. 2000年，取得 ISO 9001、ISO 14001、OHSAS 18001之各項品質認證。
5. 2003年，股票在臺上市。
6. 2009年，與營造業務合資。
7. 2016年在上海交易所A股首次公開發行(IPO)掛牌上市。

## 二、專案管理

在專案管理知識體指南(第五版) (A Guide to The Project Management Body of Knowledge) (PMBOK Guide) 將專案定義是一種暫時性的努力以創造出一項獨一無二的產品、服務或結果。一項持續性工作的投入通常是在重複性的流程上，因為它必須遵循組織內現存的程序。相對的，因為專案獨特性的本質，專案產生的產品、服務或結果可能具有不確定性。

專案管理乃是一序列的計畫、組織、用人、指導與控制的過程，經由充分運用企業的資源包括資本、物料、時間與員工等，以達成企業的相對短期目標(許光華、何文榮，1998)。對於一次性的工作(例如軟體開發)，憑藉溝通與領導，經規畫、執行、控制等過程，有效地完成該工作之目標，產生品質好的產品(或服務)，並且使參與該工作的員工生產力增進、成就感提高的整個過程(曹延傑，1990)

### 2.2 品質管理概述

國際標準組織(ISO)對品質管理之定義為：「品質管理是指決定和實施品質政策之整體管理功能面，而品質政策就是高階層正式宣示其組織的全盤品質意圖和方向」。

Mast(2004)提到Juran 針對品質管理的執行，提出三個基本過程當作是品質管理的基礎，被稱之為Juran 三部曲(Juran Trilogy)，Juran(1989)也認為大概有80%的品質不良在管理上是可控制的：

1. 品質規劃(Quality planning)：由品質規劃開始，提供作業單位能生產符合客戶需求產品的方法。規劃完成後，開始進行生產過程，要避免浪費，否則由規劃不當而產生的浪費是長期的。
2. 品質管制(Quality control)：確保在生產過程的穩定並產生一致結果的相關過程。
3. 品質改善(Quality improvement)：持續不斷的改善，以消除製程上的浪費。

Juran數十年的經驗，截取財務管理中的「預算管制」、「成本管制」及「成本降低和利潤改進」的作法，提出「品質三部曲」的理論，作為品質管理的準則。(戴久永2007)

表2.1 朱蘭三部曲

品質規劃	品質管制	品質改進
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 建立品質目標</li> <li>● 確認顧客</li> <li>● 發現顧客需要</li> <li>● 開發產品特質</li> <li>● 開發過程特質</li> <li>● 建立過程管制</li> <li>● 轉移至操作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 選取管制對象</li> <li>● 選取量測單位</li> <li>● 設定目標</li> <li>● 決定感測器</li> <li>● 量測實際績效</li> <li>● 解釋其間差距</li> <li>● 採取管制行動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 確定顧客需要</li> <li>● 確認專案計畫</li> <li>● 組成專案小組</li> <li>● 診斷真因</li> <li>● 擬訂對策</li> <li>● 效果確認</li> <li>● 克服反對改進的阻力標準化，保持成果</li> </ul>
創造機會	達成目標	追求卓越

資料來源：戴久永，2007

國際專案管理知識體系(2006)指出，專案品質不應該只是侷限在專案產品的品質，而是要包含產出專案產品的所有過程的品質，包括活動規劃之品質、組織運作之品質、人員工作之品質、控制機制之品質、技術應用之品質等等，強調執行過程品質的最直接效果就是專案關係人和客戶滿意度的提升。這種全面性的強調組織專案管理品質的作法，可以藉著組織專案管理成熟度來呈現。

專案品質管理是特定專案環境下使用政策和程序去執行組織的品質管理系統，並在執行指導下適切地持續支持流程改善活動。專案品質管理的目的在於確保專案符合需求，包括產品需求，並進行確認，內容包含如下(專案管理知識體指南(第五版)，2013)：

1. 規劃品質管理(Plan Quality Management)：辨識專案及其交付標的之品質需求及/或標準，並記載專案如何展示符合品質需求的流程。

2. 實施品質保證(Perform Quality Assurance)：稽核品質需求與品質管制衡量的結果，以確保使用合適的品質標準與操作定義的流程。

3. 控制品質(Control Quality)：監視與記錄執行品質活動的結果，以評估其成效並建議必要變更的流程。

專案管理知識體指南提及規劃品質、品質保證及控制品質三大過程投入及產出，專案經理必須掌握重要內容和之間運作關係，才可以反映出品質管理計畫給予專案執行時之實際使用，以達成目標，專案透過這些品質管理的程序執行來滿足專案所訂定之目標和需求。

表2.2 專案品質管理之綜觀

專案品質管理		
規劃品質管理	實施品質保證	控制品質
1. 投入 (1) 專案管理計畫 (2) 利害關係人登錄表 (3) 風險登錄表 (4) 需求文件 (5) 企業環境因素 (6) 組織流程資產 2. 工具及技術 (1) 成本-效益分析 (2) 品質成本 (3) 品管七工具 (4) 標竿比對 (5) 實驗設計 (6) 統計抽樣 (7) 其他品質規劃工具 (8) 會議 3. 產出 (1) 品質管理計畫書 (2) 流程改進計畫書 (3) 品質指標 (4) 品質檢核表 (5) 專案文件更新	1. 投入 (1) 品質管理計畫書 (2) 流程改進計畫書 (3) 品質指標 (4) 品質管制衡量記錄 (5) 專案文件 2. 工具及技術 (1) 品質管理與管制工具 (2) 品質稽核 (3) 流程分析 3. 產出 (1) 變更申請 (2) 專案管理計畫書更新 (3) 專案文件更新 (4) 組織流程資產更新	1. 投入 (1) 專案管理計畫書 (2) 品質指標 (3) 品質檢查表 (4) 工作績效資料 (5) 獲准之變更申請 (6) 交付標的 (7) 專案文件 (8) 組織流程資產 2. 工具及技術 (1) 品管七工具 (2) 統計抽樣 (3) 檢驗 (4) 獲准之變更申請審查 3. 產出 (1) 品質管制衡量記錄 (2) 確認之變更 (3) 已驗證的交付標的 (4) 工作績效資訊 (5) 變更申請 (6) 專案管理計畫書更新 (7) 專案文件更新 (8) 組織流程資產更新

資料來源：專案管理知識體指南(第五版)，2013

### 2.3 失效模式與效應分析概述

#### 一、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)，為一種預防性之可靠度設計分析技術，它是一種動態的分析，事前預防的工具，藉由專案團隊的運作，以發掘設計與製造的關鍵潛在失效問題及其影響。透過對失效問題的嚴重度、難檢度與發生頻率相乘的乘積，可以幫助生產者決定問題處理的優先順序，並進而透過相關

改善技術、工具、方法來解決問題(周錫英、張起明, 1994)。此外FMEA亦是TS/ISO 1694中設計活動中要求應適當具備的技術, 依照美國汽車工業策進會(AIAG)的要求且FMEA是現在品質系統質五大手冊其中之一; 品質五大手冊: 先期產品品質規劃(Advanced Product Quality Planning, APQP)、生產性零組件核准程序(Production Part Approval Process, PPAP)、統計製程管制(Statistical Process Control, SPC)、失效模式與效應分析(Failure Mode & Effect Analysis, FMEA)、量測系統分析(Measurement System Analysis, MSA)。

#### (一) FMEA之相關名詞

在實行FMEA作業前, 先需瞭解相關的名詞定義(戴久永, 1990):

1. 可靠度(Reliability): 產品在預定時段或任務時間內及環境壓力下發揮其足夠績效的條件機率。
2. 失效模式(Failure Mode): 係指具體地描述失效發生的方式, 如裂開、腐蝕、洩漏、振動、變形或折斷等。
3. 失效原因(Failure Cause): 係指某項設計或製程上的弱點, 最終將導致失效模式的發生(柯輝耀, 2001)。
4. 嚴重度(Severity): 失效對於達成系統任務所造成的衝擊, 亦即某失效發生後對顧客、下一製程或對系統產生影響的程度。
5. 發生度(Occurrence): 某失效模式會發生的機會大小程度, 通常以每年會發生的次數來決定其等級程度。
6. 難檢度(Detection): 某失效的因素能被檢測出來的機率, 或者失效能被顧客察覺出來的機會或難易度。
7. 風險優先數(Risk Priority Number): 用來決定對系統之故障原因, 所要採取對策時之順位(張書文, 2001)。

#### (二) FMEA 風險優先係數RPN

目前較常被使用的評價方式有風險優先數值法(Risk Priority Number, RPN)與評點法(王宗華, 1988)。另福特教育手冊載明FMEA的失效風險評價方法最為傳統, 目前仍被各行業普遍所採用(Ford Motor Company, 1988), 其方法是採用風險優先數(RPN)的數據, 來做風險評估(Risk Assessment)。風險因子組合如下:

S: 嚴重度 — 失效產生的後果。

Sf: 發生度 — 失效發生的機會。

Sd: 難檢度 — 失效不被顧客察覺出來的機會或檢測的難易程度。

三個因子依程度大小, 以1至10的分數來衡量給分, 如下表為三個因子的程度等級與分數之對照表(Gilchrist, 1993)。風險優先數(RPN)是由嚴重度、發生度及難檢度三者相乘而得, 得知公式如下:

風險優先數(RPN) = 嚴重度(S) × 發生度(Sf) × 難檢度(Sd)

例如:  $125(RPN) = 5(S) \times 5(Sf) \times 5(Sd)$

#### (三) FMEA 作業程序

失效模式與效應分析通常應用在高可靠性的產品、設備或製程的開發, 配合專案管理, 其步驟大致整理如下(Ford Motor Company, 1988):

##### 1. 確認系統的任務:

FMEA 工作小組應從基本功能、設計要求或設計規格書等, 詳細確認想要實施 FMEA 之系統, 分系統和展開水準的任務。因工作分析是 FMEA 作業成功的第一步, FMEA是以完成產品設計及生產為評估基準。

##### 2. 展開水準

展開水準是指將系統細分的程度, 如果每件設計的產品都分解至零組件, 則會太過繁瑣, 造成任務時效延誤、無法確認等等困擾; 但是如果解析水準層次過高, 則會產生真正失效原因是什麼難以確認, 以致無法採取適當的矯正行動, 所以FMEA實施能否得到有效果取決於作業適切的展開水準。

##### 3. 列舉潛在性的失效或不良模式

FMEA 的成員, 經由類似的工程歷史儲存資料和經驗, 一一列舉對無法達到預定功能要求之所有可能失效或不良問題。在列舉時必需考慮下列因素: (1)參照類似的設備或零組件、(2)參照類似的搬運作業或輸送方法、(3)檢討因環境條件等所引起的失效或不良模式、(4)檢討人為的作業失誤及(5)設備與製品之間的干擾等。

##### 4. 建立 FMEA 分析表

將失效模式內容整理, 並記錄於FMEA表中。記錄時應簡單明瞭並使第三者能輕易了解。(戴久永, 2007)

### 5.推定造成失效模式的原因

對於產生失效的原因，可分成六類：(1)人員、(2)設備、(3)方法、(4)材料、(5)量測、(6)環境等，逐一推敲失效發生的原因。再配合事先訂立的基準來決定故障等級程度(Stamatis, 1995)。只因每一個失效模式的原因不只有一種，須把相關的原因一一列出並記錄。

### 6.矯正行動擬定與實施

FMEA 分析表填完之後，先依故障嚴重程度檢討何項失效須優先處理，再決定適當矯正行動，有些矯正行動需涉及設計變更，有些需以技術試驗改善品質。至於取決何種矯正方式須以缺失改善成本、改善行動的難易和滿足消費者需求為主要考量。

### 7.改善成果評估

經過重新設計或實行補救措施後，應評估系統失效率是否改善，如果失效率仍然偏高，則可能是因為沒有找到失效的主因或改善方案選擇錯誤，那麼就應該再來一次，重新的作檢討，以使新產品的可靠度和功能可以展現最佳成果。

目前FMEA已被廣泛使用於太空、航空、國防、汽車、電子、機械、造船等產業甚至醫療業，例如：楊京偉(2014)以FMEA應用於醫療器材滅菌之研究，孫嘉正(2008)提出以FMEA作為評估，運用蒙地卡羅模擬方法預測關鍵設備維護時間點之研究。

## 3.研究方法

### 3.1 研究架構

專案品質管理是從品質規劃開始的，進而品質保證及品質控制，計畫書中應確定專案應達到的品質標準和如何達到這些品質標準的工作計畫與安排。機電工程品質規劃的方法，係將公司之品質政策與專案之品質目標、施工規範、工作分解結構等資料輸入，藉由流程規劃、FMEA工具與技巧來進行品質規劃的作業。

機電工程進行專案品質規劃時，針對施工規範與契約書進行作業流程規劃，並藉由FMEA找出潛藏之失效模式及失效原因，針對嚴重影響專案目標之失效模式優先檢討預防措施，藉以提高專案目標之達成率，降低品質缺失率，確保專案能如期如質的完成。

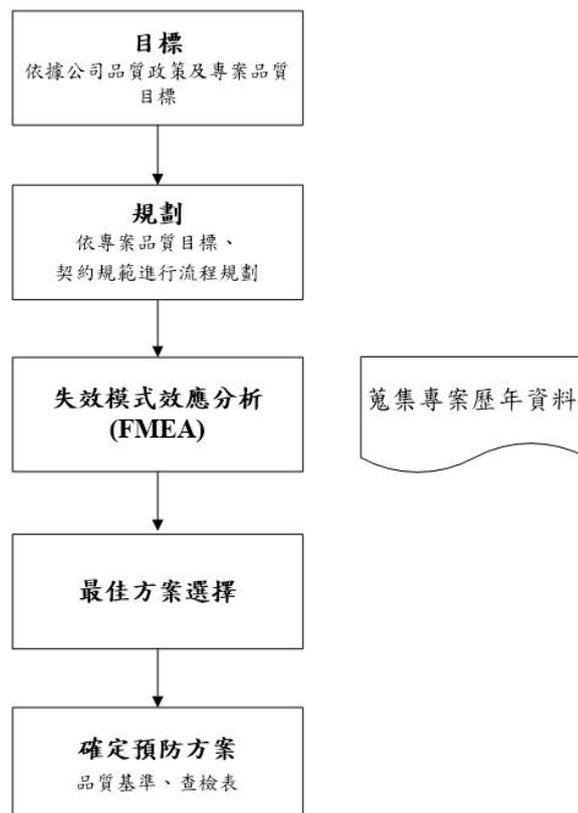


圖3.1 專案品質規劃作業流程圖

### 3.2 研究方法

依據專案之WBS及參考施工規範與契約規範採用FMEA來預防專案品質問題，探討品質缺失發生頻率及影響之要因。

#### 一、失效模式與效應分析之應用

為確保專案能順利達成品質目標，依據專案之WBS及參考施工規範與契約規範採用FMEA來預防專案品質問題。針對施工中可能的失效模式與失效原因，訂定失效模式之發生機率、品管難以察覺的機率以及嚴重性大小，對易發生缺失之作業事先採取預防措施，以提高品質目標之達成。依第二章第三節(三)FMEA作業程序流程彙整如下：

##### 1. 確認系統的任務

從專案契約規範、設計圖說等，詳細確認想要實施FMEA之系統，分系統即展開水準之任務。

##### 2. 決定展開水準

展開水準是將系統細分的程度，細分太過繁瑣，造成任務時效延誤、無法確認等等困擾，本研究將機電工程層次分別為系統、子系統、工作項目，如圖3-2所示。

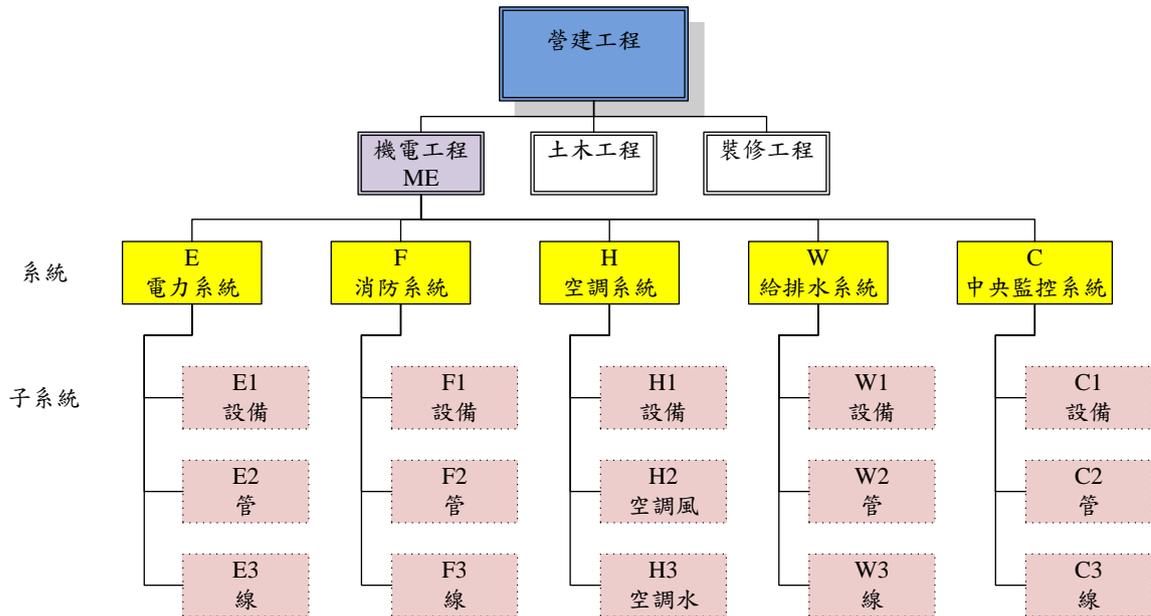


圖3.2 機電系統層次圖

##### 3. 列舉潛在失效模式或不良模式並建立FMEA表

根據各系統分析潛在失效模式，所產生原因和影響後，找出失效的因果關係及主要原因，且依據資歷較深之專案人員或施工人員將以往的工程經驗對已產生失效影響及後果分析，將潛在失效原因寫進失效模式及效應分析表。另用列舉各項作業之潛在品質缺失及防範措施，也填入失效模式與效應分析表，如表3.1。

表3.1 失效模式及效應分析表

名稱：\_\_\_\_\_ 系統：\_\_\_\_\_

單元/編號	規格或功能	失效模式	失效原因	失效影響	防治措施	嚴重等級	失效機率	備註

資料來源：戴久永，2007

##### 4. 訂定風險等級，計算各失效模式風險優先數(RPN)

風險優先數(RPN)是由嚴重度、發生度以及難檢度三者相乘而得，得知公式如下：風險優先數(RPN) = 嚴重度(S) × 發生度(Sf) × 難檢度(Sd)

例如：100 (RPN) = 5(S) × 4(Sf) × 5(Sd)

表 3.2 FMEA 之嚴重度(S)

嚴重等級	分數
輕微影響 (書面資料未確實記載)	1
低影響 (未確實落實執行缺失改善)	2~3
中等影響 (未確實落實執行有可能影響工程品質)	4~6
較高影響 (現場施工品質不良不符規範)	7~8
高影響 (現場施工品質不良致危害施工人員)	9~10

表 3.3 FMEA 之發生度(Sf)

發生機會	分數
幾乎不可能	1
很低	2~3
中等	4~6
高	7~8
很高	9~10

表 3.4 FMEA 之難檢度(Sd)

失效難檢等級	分數
幾乎不可能	1
很低	2~3
中等	4~6
高	7~8
很高	9~10

#### 5. 提出改善措施

根據4.計算出風險優先指數 (Risk Priority Number,RPN) 的高低來改善失效模式，一般是以風險優先指數高於100的失效模式為優先改善對象。填入相對應的失效模式及效應分析表單中，提出改善措施方案，來解決失效問題重複性的發生，降低發生的頻率，此部分可作為後續之相關研究。

### 4.研究分析與結果

#### 4.1 個案資料簡介

本研究以個案公司承攬一大型私人工程為案例，相關基本資料如下所示：

- 1.工程地點：台北市 南港區
- 2.建築物樓層：A棟30F~B5F、B棟20F~B5F、C棟14F~B5F。

3.契約期限：102.1.25(取得使照)、102.3.25(TAB完成)

採用個案公司承攬一大型私人工程，執行工程後於驗收階段所產生之驗收查核缺失資料作分析。取得2014年2月25日至2014年3月7日偕同業主、使用單位及監造單位進行初步驗收共3,072筆驗收缺失資料，共分成電力系統1,160筆、消防系統430筆、空調系統659筆、給排水系統332筆及監控系統491筆(如圖4.1)，本次僅針對發生缺失次數最多占總數38%的電力系統進行分析。

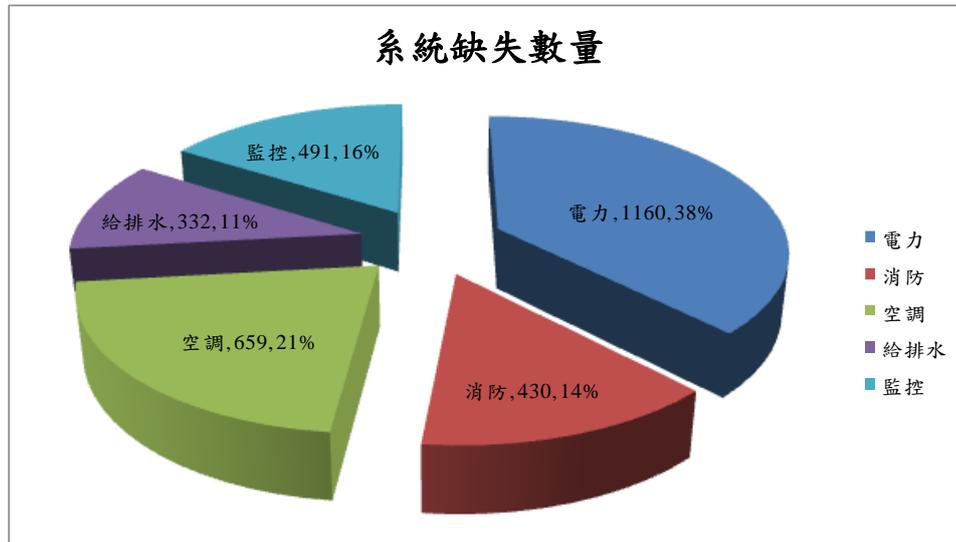


圖4.1 系統缺失數量統計圖

#### 4.2 專案工程組織圖

公司接到新工程後，依合約規定，由總經理指派一位接任新工程之專案經理，做為新專案之對外窗口。另各系統主辦人員及專任相關工程師，則由專案經理做後續對內調派或對外招聘，其專案工程組織圖如下圖所示。

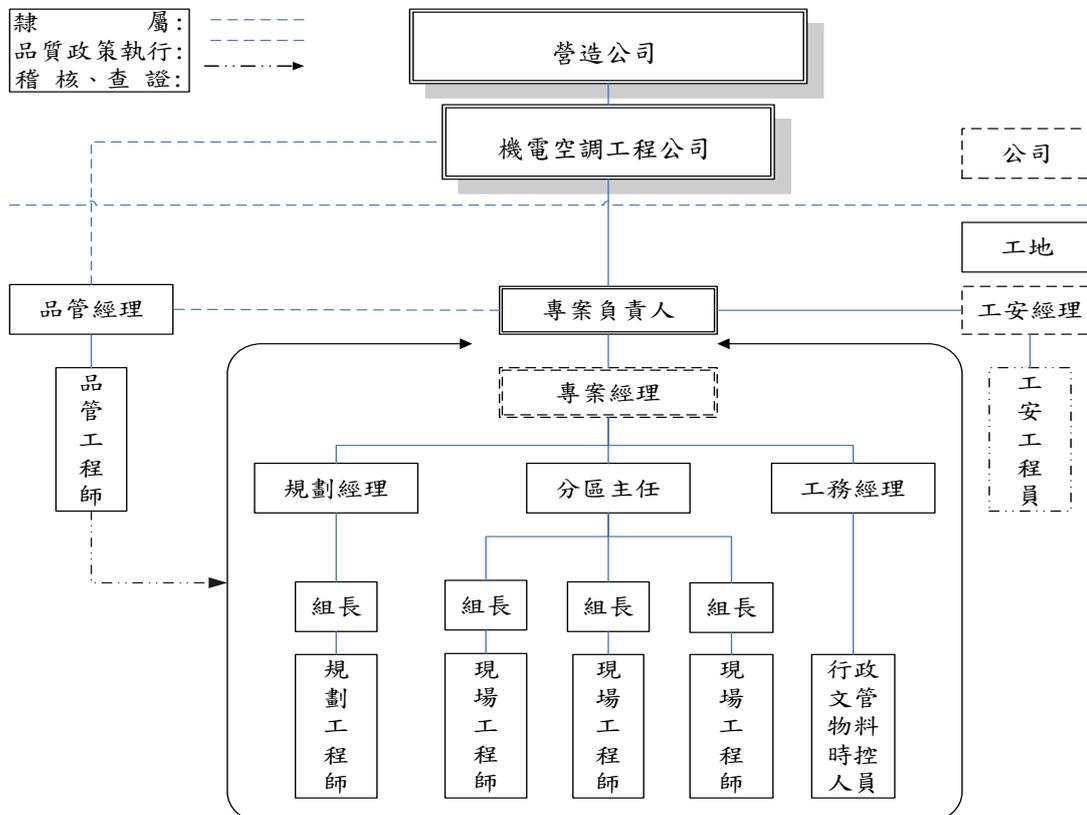


圖 4.1 專案工程組織圖

### 4.3 運用 FMEA 失效模式與效應分析

針對本研究所蒐集之相關資料，經由公司品管資歷較深之品管經理、品管工程師於會議中分析以往已發生過專案工程驗收缺失產生失效影響及後果分析，並將潛在失效原因寫進失效模式及效應分析表，再依據失效模式發生之頻率及檢驗出缺失的難易程度評定分數，以計算出失效模式風險優先數(RPN值)，歸納表格如下表4.1、表4.2、表4.3所示。

表4.1 電力系統\_管FMEA分析表

系統		失效模式	缺失次數	改善前			
				嚴重度	發生度	難檢度	RPN值
電力	管	套PVC材料保護	29	2	7	3	42
		補漆顏色有色差，請確認顏色再行補漆	1	2	7	2	28
		管固定不良	5	6	5	5	150
		地板打鑿破壞3支電管	1	8	4	5	160
		未配管	7	8	5	6	240
		管路以軟管配設，應改為RSG管	1	5	2	5	50
		EMT管線未切除	1	3	2	3	18
		小計	45				

表4.2 電力系統\_線FMEA分析表

系統		失效模式	缺失次數	改善前			
				嚴重度	發生度	難檢度	RPN值
電力	線	未拉線、未結線	84	8	7	6	336
		接地線尺寸及顏色待確認	56	5	7	4	140
		迴路色套及編號請加強整理	33	2	7	2	28
		幹線請加強整理綁紮	7	2	7	2	28
		幹線迴路編號銘牌，尚未標貼	42	2	7	2	28
		線路裸露過長	1	3	6	3	54
		線架臨時線路未拆除	4	3	5	3	45
		線徑現場對調錯接	2	5	6	4	120
		幹線規格不對	64	5	7	4	140
		導線應以端子壓接	25	3	7	2	42
		小計	318				

表4.3 電力系統\_設備FMEA分析表

系統		失效模式	缺失次數	改善前			
				嚴重度	發生度	難檢度	RPN值
電力	設備	型號確認查明	17	6	4	5	120
		設備損壞更換	12	5	7	4	140
		設備未安裝	125	8	7	6	336
		尚未檢測絕緣電阻值	147	3	7	2	42
		設備未標示銘牌	82	2	2	2	8
		設備固定支撐未施作	60	6	5	5	150
		設備缺蓋板、保護鐵板、絕緣隔板	74	4	7	2	56
		設備脫漆需補漆	41	2	7	2	28
		開孔未填塞	15	4	4	4	64
		按鈕缺鈕扣、固定環圈	3	4	4	2	32
		二線控功能未完全	19	4	3	4	48
		缺設備單線圖、負載圖	34	1	2	2	4
		電盤需清潔	17	2	7	2	28
		竣工圖未提送	37	1	2	2	4
		銜接導線應以端子壓接	55	3	6	6	108
		維修開孔位置不符	28	6	3	5	90
		未攜帶儀器測試，無法查驗	31	4	3	5	60
		小計	797				

分別對各個失效模式再進一步討論找出較適當改善對策，並重新再計算出改善後之風險優先數(新的RPN值)，而得出導入改善對策後的FMEA分析表，如下表.4.4、表4.5、表4.6所示。

表4.4 電力系統\_管FMEA分析表(改善後)

系統		失效模式	缺失次數	改善前				預防措施	改善後			
				嚴重度	發生度	難檢度	RPN值		嚴重度	發生度	難檢度	RPN值
電力	管	套PVC材料保護	29	2	7	3	42	未確實依規範執行施作，加強施工人員教育訓練	2	5	3	30
		補漆顏色有色差，請確認顏色再行補漆	1	2	7	2	28	加強施工人員教育訓練	2	5	2	20
		管固定不良	5	6	5	5	150	未確實依規範執行施作，加強施工人員教育訓練	6	4	5	120
		地板打鑿破壞3支電管	1	8	4	5	160	未注意已施作設備遭破壞，各系統施工人員須協調並加強保護	8	3	5	120
		未配管	7	8	5	6	240	未依施工圖面施作，人員需趕工作業、增加人力	8	5	6	240
		管路以軟管配設，應改為RSG管	1	5	2	5	50	未確實依施工圖施作	5	2	5	50
		EMT管線未切除	1	3	2	3	18	工程師於施工完成確認是否有多餘管線須拆除	3	2	3	18
		小計	45									

表4.5 電力系統\_線FMEA分析表(改善後)

系統		失效模式	缺失次數	改善前				預防措施	改善後			
				嚴重度	發生度	難檢度	RPN值		嚴重度	發生度	難檢度	RPN值
電力	線	未拉線、未結線	84	8	7	6	336	未依施工圖面施作，人員需趕工施作	8	7	6	336
		接地線尺寸及顏色待確認	56	5	7	4	140	施工圖或設計圖未明確標示	5	5	4	100
		迴路色套及編號請加強整理	33	2	7	2	28	於施作時確實將迴路的色套及編號	2	5	2	20
		幹線請加強整理綁紮	7	2	7	2	28	在安裝電纜線時，施作人員需加強電線整理	2	5	2	20
		幹線迴路編號銘牌，尚未標貼	42	2	7	2	28	人員須趕工作業	2	5	2	20
		線路裸露過長	1	3	6	3	54	工程師於施工完成確認是否有多餘管線須拆除	3	4	3	36
		線架臨時線路未拆除	4	3	5	3	45	工程師於施工完成確認是否有多餘管線須拆除	3	4	3	36
		線徑現場對調錯接	2	5	6	4	120	施工人員未依據施工規範及圖說施作，需加強教育訓練	5	4	4	80
		幹線規格不對	64	5	7	4	140	施工人員未依據施工規範及圖說施作，需加強教育訓練	5	6	4	120
		導線應以端子壓接	25	3	7	2	42	於施作前再次與現場工程師確認	3	6	2	36
		小計	318									

表4.6 電力系統\_設備FMEA分析表(改善後)

系統		失效模式	缺失次數	改善前				預防措施	改善後			
				嚴重度	發生度	難檢度	RPN值		嚴重度	發生度	難檢度	RPN值
電力	設備	型號確認查明	17	6	4	5	120	需確實依據施工圖說施作	6	3	5	90
		設備損壞更換	12	5	7	4	140	未注意已施作設備遭破壞，各系統施工人員須協調並加強保護	5	5	4	100
		設備未安裝	125	8	7	6	336	人員需趕工作業、增加人力	8	7	6	336
		尚未檢測絕緣電阻值	147	3	7	2	42	應於每次施工結束後立即檢測絕緣電阻值，並於查驗時攜帶相關器具	3	5	2	30
		設備未標示銘牌	82	2	2	2	8	應列入材料設備進場時之檢查項目	2	1	2	4
		設備固定支撐未施作	60	6	5	5	150	施工人員未依據施工規範及圖說施作，需加強教育訓練	6	4	5	120
		設備缺蓋板、保護鐵板、絕緣隔板	74	4	7	2	56	施工人員工法錯誤，應於施工前確認相關工法	4	5	2	40
		設備脫漆需補漆	41	2	7	2	28	以施工完成之設備應予以保護，若遭刮傷等導致脫漆，應立即補漆	2	5	2	20
		開孔未填塞	15	4	4	4	64	施作結束時應檢查各穿越隔間牆之管線	4	2	4	32
		按鈕缺鈕扣、固定環圈	3	4	4	2	32	施工人員工法錯誤，應於施工前確認相關工法	4	3	2	24
		二線控功能未完全	19	4	3	4	48	未依施工圖說設定及施作，需加強教育訓練	4	3	4	48
		缺設備單線圖、負載圖	34	1	2	2	4	材料設備進場時將相關圖說放置於設備上	1	2	2	4
		電盤需清潔	17	2	7	2	28	施作完成應確認盤體並確實補漆,保持美觀整潔	2	5	2	20
		竣工圖未提送	37	1	2	2	4	工程師應將現況回饋給設計部繪製竣工圖	1	2	2	4
		銜接導線應以端子壓接	55	3	6	6	108	加強施工人員教育訓練	3	5	6	90
		維修開孔位置不符	28	6	3	5	90	施工圖說應確實套繪後施作	6	2	5	60
		未攜帶儀器測試，無法查驗	31	4	3	5	60	查驗時應確實攜帶所有測試儀器及相關文件	4	2	5	40
		小計	797									

#### 4.4 專案品質管理

依據FMEA分析表(改善後)，進行專案品質計畫書之編寫，並針對已提供預防措施後卻未降低風險優先值(RPN值)的失效模式加以進行稽核及管制。

個案公司依據ISO品質系統管理，稽核單位於每半年定期至專案工地執行品質稽核。專案工程品質管制執行為專案之品管單位，權責單位將相關資料收集後再輸入電腦並做成品質缺失統計表或檢討報表，每月提供給專案經理並同時召集各相關單位人員召開品質會議，來檢討當月施工缺失及施工品質，立即改善或者建立相關資料庫(品質缺失原因次數、預防措施...等)，以供後續新專案進行品質規劃之參考用，持續改善，以降低缺失發生率。

#### 4.5 小結

針對每個失效模式提出適當的改善對策，並得出導入改善對策後的FMEA分析表(新的RPN值)，發現電力系統內之管(未配管)、線(未拉線)及設備(未安裝設備)三項失效模式，但經各單位檢討討論後，RPN風險優先數卻沒有降低，是因為既使已提出改善對策方法，但改善對策需考量到工期、人力...等相關因素，故RPN風險優先數無法降低，故本研究從專案品質系統管理之規劃階段時，新專案依據與甲方簽訂之工程契約、圖說及規範，進行WBS工作分解結構2的拆解及組織設立，來確定目標與業主之需求，再進行專案品質計畫書之編寫並持續改善，以降低缺失發生率。

### 5. 結論與建議

#### 5.1 結論

隨著環境變化、組織也日漸龐大，營建業下之機電空調業相對著比以往更多變且複雜，本研究採用實際案例為個案公司承攬私人工程之專案，雖已在品質規劃上落實公共工程三級品管制度，但專案驗收時所發生之缺失頻率還是很高，故藉此引用專案品質管理方法，由FMEA來分析缺失發生原因及改善對策，在專案執行時把可能造成缺失的失效模式找尋出來並提出相對應之改善對策，以降低完工時偕同業主或使用單位辦理初次驗收時所發生缺失的次數。

一般機電工程進行施工時，專案人員大多以過去相關工程經驗提供並傳承給後輩，往往造成新專案工程缺失與已完工工程缺失大同小異，且專案人員不會因為以往已發生過而日後將會有所警惕讓其不再發生，故本研究則因工程慣例或工程經驗所造成之施工品質缺失進行分析與探討，以FMEA方法分析缺失發生之原因及頻率來歸納事件、因果關係並將此結果預防於下個專案工程，來提昇工程品質、降低施工品質缺失頻率，以如期完工來提高工程利潤與企業競爭力。

#### 5.2 建議

在專案結束後，專案人員須確實檢討專案的成敗並詳細記載專案過程的相關資料，並存入資料庫中，作為日後新專案品質規劃前參考資料，持續改善並提升新專案的工程品質，本研究僅針對降低專案缺失發生次數及分析發生原因和改善對策，另有關工期及成本預算部分本研究尚未深入探討，因此後續相關研究者可再多近一步深入探討。

### 6. 參考文獻

#### 6.1 中文文獻

1. 王明德，1996，營造工地協力廠商事務管理系統之應用，營管季刊，28期，P5~22
2. 嚴真敏，2009，企業價值分析—以臺灣機電工程業為例，朝陽科技大學財務金融系碩士論文
3. 王新義，2019，運用失效模式與效應分析(FMEA)進行車輛煞車系統之故障診斷，崑山科技大學機械工程系碩士論文
4. 楊京偉，2014，運用醫療照護失效模式與效應分析以及蒙地卡羅模擬方法應用於醫療器材滅菌之研究，東海大學工業工程與經營資訊學系碩士論文
5. 廖平啟，2014，營造業承擔公共工程品質風險之研究，國立雲林科技大學營建工程系碩士論文
6. 台灣專案管理學會，2013，專案管理知識體指南(第五版)，台灣專案管理學會

7. 洪誌佑，2008，專案品質管理系統分析與規劃—以鋼構業為例，國立高雄應用科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文
8. 孫嘉正，2008，運用蒙地卡羅模擬預測關鍵設備維護時間點之研究—以半導體廠為例，大葉大學工業工程與科技管理學系碩士班碩士論文
9. 戴久永，2007，全面品質管理，滄海書局
10. 徐世輝譯，2007，品質管理，高立圖書有限公司
11. 林宏祥、鍾雲恭，2005，使用動態模擬方法設計預防維修系統，元智大學工業工程與管理學系，2005 年物流暨資訊應用學術研討會
12. 簡聰海，2003，國際標準品質管理系統：2000 年版 ISO 9000 認證，普林斯頓國際
13. 陳相如、吳貴彬，2002，「失效模式與效應分析 (FMEA) —QS9000 之預防分析工具」，品質管制月刊，38，87-90
14. 柯輝耀，2001，預防性失效分析-FMECA&FTA 之應用，中華民國品質學會
15. 小野寺勝重，張書文譯，2001，實踐 FMEA 手法-提升產品或系統的可靠性、維護性和安全性，中衛發展中心。
16. 羅應浮，2000，專案管理的失效模式與效應分析，中華大學工業工程與管理研究所碩士論文
17. 關季明，1999，「失效模式與效應關鍵分析與品質機能展開之正確應用方法—全面品質經營 (TQM) 之利器」，品質管制月刊，35，83-85
18. 王宗華，1988，可靠度工程技術的理論與實務，中華民國品質管制學會
19. 許光華、何文榮，1998，專案管理-理論與實務，泰華書局
20. 楊義明、曹健齡，1997，「失效模式與效應分析的作業方式」，品質管制月刊，第 10 卷，第 4 期，pp.55-59
21. 周錫英、張起明，「實施失效模式、效應與關鍵性分析之功能、需求與步驟」，品質管制月刊，第三十卷第 12 期,pp.75-83，1994
22. 曹延傑，1990，專案管理，格致圖書有限公司
23. 勞動部，2020，<https://www.mol.gov.tw/statistics/2475/2477/3538/>機電、管道及其他建築設備安裝業.pdf

## 6.2 英文文獻

1. Ford Motor Company, 1988 , Potential Failure Mode and Effects Analysis, Instruction Manual
2. Gilchrist, W., 1993, Modelling Failure Modes and Effects Analysis, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.10 No.5, pp.16-23.
3. Jeroen de Mast, 2004, A methodological comparison of three strategies for quality improvement, International Journal of Quality & Reliability Management, 21(2): pp.198-213.
4. Juran, J.M., 1989, Juran on Leadership for Quality, Free press, New York.
5. Stamatis, D.H., 1995, Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution, ASQC Quality Press Milwaukee, Wisconsin.
6. Palisade Corporation, 2005, Risk Analysis and SimulationAdd-In for Microsoft® Excel, Palisade Corporation.